



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Māra Pudāne

AĢENTOS SAKŅOTA CILVĒKU GRUPAS EMOCIONĀLĀ STĀVOKĻA MODELĒŠANA

Promocijas darbs



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Māra PUDĀNE

Doktora studiju programmas „Datorsistēmas” doktorante

**AĢENTOS SAKNOTA CILVĒKU
GRUPAS EMOCIONĀLĀ STĀVOKĻA
MODELĒŠANA**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
Dr. sc. ing., asoc. profesors
E. LAVENDELIS

Rīga 2023

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”, Rīgas Tehniskās universitātes Doktorantūras grantu programmas atbalstu un Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas «Izaugsme un nodarbinātība» 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa «Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās» projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 «Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās» ietvaros.



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

ANOTĀCIJA

Neskatoties uz to, ka gadsimtiem uz emociju esamību skatījās kā uz negatīvu racionālās domāšanas blakusefektu, to ietekme gan uz indivīda spriešanu, gan grupas uzvedības faktoriem nav noliedzama. Emocijas būtiski ietekmē ne vien to, kā cilvēks pieņem lēmumus un kādas uzvedības izvēlas, bet arī to, kā laika gaitā attīstās grupas struktūra un indivīdu attiecības. Grupas emocionālais stāvoklis ir cieši saistīts ar dažādiem šķietami netveramiem faktoriem, piemēram, produktivitāti komandā un darba vietā. Apzinoties emociju ietekmi psiholoģijā un pieaugot datortehnoloģiju nozīmei ikdienas dzīvē, pētījumi par emociju modelēšanu datorsistēmās pēdējo 30 gadu laikā ir būtiski auguši gan skaitā, gan kvalitātē.

Cilvēka individuālo emociju un grupas emocionālo mijiedarbību modelēšana datorsistēmā sniedz vairākas priekšrocības: gan tādas, kas attiecas uz datormodeļiem kopumā, gan tādas, kas raksturīgas tieši emociju modelēšanai. Pie pirmajām pieder eksperimentu atkārtojamība vidē, kur bez datormodeļa būtu pārāk daudz citu mainīgo (t.i., eksperimentu nevar atkārtot vairākas reizes uz tās pašas grupas), un dažādu robežgadījumu modelēšana, kas psiholoģijas eksperimentu gadījumā var būt neētiska vai bīstama, piemēram, agresīva pūļa gadījumā. Specifiski emociju modelēšana izmantojama, kad nepieciešams veidot ticamas virtuālās komandas, kas satur gan cilvēkus, gan virtuālos komandas biedrus, piemēram, apmācības nolūkos.

Tomēr šādi modeļi nepastāv augstās starpdisciplinārās sarežģītības dēļ. Promocijas darbs ir pētījums, kas integrē esošos modeļus un psiholoģijā identificētos komunikācijas mehānismus, izmantojot daudzāģentu sistēmas komunikācijas realizēšanai. Daudzāģentu sistēmas ir paradigma, kas ir balstīta izklaidētā intelektuālā skaitļošanā un ietver mijiedarbību protokolus sistēmas līmenī.

Promocijas darba ietvaros pirmajā nodaļā ir analizēta aģentos sakņota modelēšana kā paradigma cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanai, rezultātā iegūstot aģentos sakņotu modeļu klašu savietojamības matricu, kas ekstrapolēta no dažādiem modeļiem. Otrajā nodaļā aprakstīts pētījums par viena cilvēka emocionālās uzvedības modelēšanu, savukārt trešajā – formalizētas, pētītas un apkopotas emocionālās mijiedarbības, kā arī analizēti eksistējošie modeļi. Abas nodaļas raksturo starpdisciplināritāte. Darba turpinājumā – 4. nodaļā – definētas emocijās sakņotas daudzāģentu sistēmas prasības un aprakstīts projektējums. Modeļa sarežģītības dēļ, lai varētu redzēt promocijas darbā izvirzīto tēžu apstiprinājumu, 5. nodaļā izstrādāti vairāki artefakti: pirmkārt, emocijās sakņots aģents, kas ir arī izmantojams kā modulis daudzāģentu sistēmas implementēšanai, otrkārt, pūļa modelēšanas rīks, kas izmantojams vāji strukturētas cilvēku grupas (t.i., pūļa) modelēšanai, treškārt, specifiski promocijas darba validācijai paredzēts galda spēles scenārijs. Darbā aprakstīti veiktie eksperimenti un analizēti iegūtie rezultāti.

Promocijas darba rezultāti atspoguļoti kopumā 11 publikācijās, no kurām 8 ir prezentētas starptautiskās zinātniskās konferencēs. Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas un secinājumus. Kopā darbā ir 187 lappuses, neskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 204 avoti. Darbam ir 4 pielikumi.

ABSTRACT

For centuries, emotions have been considered a negative side-effect of rational thinking; however, it is undeniable that affective states, including emotions, moods, and personality, impact human reasoning and, consequently, group behaviour. Affective states influence how humans make decisions, what actions they choose to perform, and how group structure and relationships among individuals develop over time. Group affective state is also closely related to seemingly inexplicable factors, such as group productivity and working atmosphere. With the research on emotion benefits in psychology and the increasing role of computer technologies in everyday life, the studies on emotion modelling in computer systems have developed in number and quality over the past 30 years.

Individual emotions and group affective interaction modelling in computer systems give multiple benefits, including those that refer to experiment repeatability in environments where there are many variables (i.e., it is impossible to repeat the same experiment on the same human group without changing any parameters), and modelling of borderline cases, that can breach ethics constraints or be dangerous, for example, in case of the aggressive crowd. Specifically, emotion modelling can be used when developing believable virtual teams that are comprised of people and their virtual peers – one such application is intelligent tutoring systems.

While such models reap many benefits, they do not exist due to high interdisciplinarity. The study presented in this dissertation integrates existing models and interaction mechanisms found in psychology research, using multi-agent systems as a tool for affective interaction mechanism implementation. Multi-agent systems belong to a field based on the distributed intelligent computing paradigm; it includes interaction protocols at the whole system level and intelligent agents at the single agent level.

The first section of the thesis analyses agent-based modelling for human group affective state dynamics modelling, creating a compatibility matrix based on multiple studies. The second and third sections are interdisciplinarity. The second section describes single human affective behaviour modelling; the third - formalizes affective interactions among agents and reviews how those interactions are implemented in current models. Further, in the fourth section, fully affective multi-agent system requirements are defined, and a design for such a system is created. Because of the complexity of the model, multiple artifacts have been produced to see how the thesis confirm the hypothesis: an affective agent module that can be used to implement a fully affective multi-agent system and, secondly, a tool that can be used for crowd simulation. Finally, a board game scenario has been developed specifically for thesis validation. In the final section, the experiments have been described, and the results analysed.

The results of the thesis are published in 11 publications, 8 of which are presented at international conferences; the thesis is written in Latvian, containing an introduction, five sections, and conclusions; the work includes 187 pages, not counting the appendices, and has analysed 204 sources. The thesis has 4 appendices.

SATURS

Ievads	6
1. Daudzaģentu sistēmas un aģentos sakņota modelēšana	12
1.1. Aģents un emocijās sakņots aģents	12
1.2. Daudzaģentu sistēma	16
1.3. Aģentos sakņota modelēšana	18
1.4. Aģentos sakņotu modeļu klasifikācijas	21
1.5. Cilvēku grupas uzvedības imitācija ar ASM palīdzību	27
1.6. ASM modeļu izstrādes vides	29
1.7. Kopsavilkums un secinājumi	32
2. Cilvēka emocionālo procesu imitēšana	33
2.1. Emociju nozīme cilvēka domāšanā	33
2.2. Emocijās sakņotu aģentu pamatā esošās psiholoģijas teorijas	37
2.3. Emocijās sakņotu aģentu izstrādes un to vispārīgie procesi	43
2.4. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu analīze un salīdzinājums	49
2.5. Kopsavilkums un secinājumi	65
3. Cilvēku grupas imitācija	67
3.1. Emociju nodošanas sociālie aspekti	67
3.2. Eksistējošie risinājumi	77
3.3. DAS un ASM mehānismu izmantošana emociju mijiedarbības modelēšanai un analīzei	84
3.4. Kopsavilkums un secinājumi	89
4. Cilvēku grupas emociju modelēšanas pieeja	91
4.1. Emocijās sakņota aģenta prasības	92
4.2. Emocijās sakņota aģenta arhitektūra un algoritmi	96
4.3. ESM vispārīgs projektējums	102
4.4. Racionālo funkciju modelēšana	122
4.5. Emociju nodošana starp aģentiem	124
4.6. Kopsavilkums un secinājumi	132
5. Risinājuma implementācija un pārbaude	134
5.1. ESM demonstrācija viena aģenta gadījumā	135
5.2. Emocijās sakņotu DAS lietotņu implementācija	142
5.3. Pūļa modelēšanas scenārijs	144
5.4. Galda spēles scenārijs	153
5.5. Funkciju tiešas ietekmes uz makrošabloniem un racionālajām sekām analīze	159
5.6. Eksperimenti ar izstrādāto modeli	161
5.7. Modeļa ierobežojumi un tālākie pētījumu virzieni	170
5.8. Kopsavilkums un secinājumi	171
Secinājumi	172
Izmantotā literatūra	175

IEVADS

Ir vispārpieņemts, ka cilvēka domāšana sastāv ne tikai no racionālās spriešanas, bet arī no emocionālās komponentes. Tomēr pētnieku uzskati attiecībā uz emociju nozīmi un nepieciešamību tās pētīt laika gaitā ir bijuši mainīgi (Hudlicka, 2011). Psiholoģijā emocijas 20. gs. pirmajā pusē tika uzskatītas par šķērsli ceļā uz ideālo intelektu, lai arī to nozīme savstarpējās attiecībās un organisma spējā izdzīvot tika pierādīta jau 19. gs. otrajā pusē, balstoties uz Darvina (oriģināli – *Charles Darwin* “*The Expression of the Emotions in Man and Animals*”, 1872) un Džeimsa (oriģināli – *William James* “*What is an emotion?*”, 1884) pētījumiem.

Tikai 20. gs. otrajā pusē, attīstoties domai par emociju nepieciešamību cilvēka spriešanā, tika uzsākti intensīvi pētījumi. Viens no šo pētījumu rezultātiem ir Damasio grāmata “Dekarta kļūda” (no angļu val. - *Descartes Error*, Damasio, 1994), kurā aprakstīts pierādījums tam, ka emocijas ne vien nav liekas, bet ir viens no priekšnosacījumiem cilvēka spējai pieņemt lēmumus.

Šī un līdzīgu atklājumu gaismā 20. gs. 80-tajos gados sāka attīstīties arī emociju pētīšana mākslīgā intelekta kontekstā. Par sākumpunktu emociju pētīšanai tieši mijiedarbībā ar datorzinātņi uzskatāma Pikardas grāmatas “Emocionālā skaitļošana” (no angļu val. *Affective computing*, Picard, 1997) iznākšana 1997. gadā, kas faktiski aizsāka šo jomu.

Lai arī sākotnēji emocionālā skaitļošana koncentrējās uz emociju atpazīšanu caur dažādiem sensoriem (Picard, 1997), tomēr laika gaitā tās pētījumu spektrs ir vairākkārtīgi pieaudzis, ietverot gan sistēmas adaptēšanos cilvēka emocijām, gan cilvēka emociju imitācijas modeļu izstrādi, gan citus virzienus. Emociju modelēšana un imitācija datorsistēmās ļauj sekmīgi meklēt ne tikai jaunas starpdisciplināras lietojuma jomas, bet arī paplašināt akadēmisko bāzi psiholoģijā un socioloģijā un uzlabot jau eksistējošos risinājumus.

Lai modelim būtu šādas priekšrocības, viens no būtiskiem aspektiem ir tā ticamība jeb atbilstība realitātei. Šeit ir būtiski uzsvērt to, ka promocijas darbā ar ticamību netiek saprasta vizuālā līdzība, bet gan uzvedības līdzība – t.i., modelī gan atsevišķu grupas dalībnieku (cilvēku), gan grupas kopējai uzvedībai jāatbilst reālai cilvēku grupas uzvedībai.

Lai arī šādi ticami imitācijas modeļi jau ir pētīti, lielākā daļa esošo emociju imitācijas risinājumu koncentrējas uz emociju nozīmi vienā cilvēkā. Tomēr, tā kā emocijām ir arī sociāla nozīme, tad būtiska ir arī cilvēku grupas modelēšana. Ticams cilvēku grupas emociju modelis pavērtu iespējas dažādiem jauniem lietojumiem:

- virtuālo grupu ģenerēšanai, kas varētu būt noderīga dažādiem virtuālās realitātes lietojumiem, nopietnajām spēlēm (piemēram, ģenerējot ticamus virtuālos vienaudžus);
- grupas emocionālā stāvokļa attīstības un uzvedības prognozēšanai, par grupu uzskatot gan stingri strukturētas (piemēram, darba kolektīvu), gan vāji strukturētas grupas (piemēram, pūli);
- grupu pētīšanai, tajā skaitā dažādu parametru savstarpējo saistību meklēšanai.

Tomēr šāda modeļa izstrāde ir komplicēts jautājums gan no psiholoģijas un socioloģijas, gan datorzinātnes skatupunkta. Sarežģītība sociālajās zinātnēs slēpjas tajā, ka, lai varētu izveidot modeli, ir precīzi jādefinē, piemēram, kas ir emocija. Savukārt no datorzinātnes

viedokļa ir jāizvēlas pareizie rīki un paradigmas šāda modeļa izveidei, viens no izaicinājumiem ir arī psiholoģijas un socioloģijas teoriju formalizācija.

Datorzinātnē daudzsolācākā pieeja cilvēku grupas modelēšanai ir aģentos sakņota modelēšana; to raksturo vienkāršas mijiedarbības starp komponentēm jeb aģentiem, un arī aģentu uzvedības šāda tipa imitācijas modeļos lielākoties nav sarežģītas. Cilvēku grupas emocionālā uzvedība sastāv no vairāku tipu mijiedarbībām (piemēram, cilvēks var emocijas paust apzināti vai neapzināti), kas ir atšķirīgas gan pēc to rakstura, gan komunikācijas veida, turklāt atsevišķām mijiedarbībām ir sociāli pieņemta secība (reakcija uz otra emocijām). Šie faktori apgrūtina emociju modelēšanu un sarežģī mijiedarbības, kuras jau tāpat pastāv starp komplicētām komponentēm. Klasiskās daudzāģentu sistēmu pieejas (t.i., tādas pieejas, kas implementē aģentu autonomiju un spēju savā starpā vienoties) apskata sarežģītākas mijiedarbības starp intelektuāliem aģentiem un ļautu projektēt šādu sistēmu. Tādējādi viens no promocijas darba galvenajiem aspektiem ir pētījums par to, kādas attieksmes pastāv starp divām daudzāģentu paradigmas lietojuma jomām: aģentos sakņotu modelēšanu un klasiskajām daudzāģentu sistēmām.

Vūldridžs (Wooldridge, 2009) ir norādījis, ka ir divas pamatproblēmas, kas ir risināmas daudzāģentu sistēmu izstrādē: pirmkārt, ir nepieciešams risināt, kādi aģenti būs daudzāģentu sistēmā, respektīvi, kāda būs šo aģentu uzbūve un funkcijas, otrkārt, starp aģentiem ir nepieciešams definēt atbilstošas mijiedarbības. Šī pieeja atbilst arī sākotnēji viena aģenta emocionālās uzvedības modelēšanai, un pēc tam – vairāku aģentu mijiedarbībai.

Runājot par viena aģenta līmeni, aktīvu pētījumu rezultātā ir izstrādāts ievērojams skaits dažādas izcelsmes, abstrakcijas līmeņa un gatavības pakāpes cilvēka imitācijas sistēmu, kas sevī ietver emociju modelēšanu (Marsella et al., 2010). Lai arī eksistē pētījumi, kas tos sistematizē, tomēr trūkst sistematizācijas no ticamības un funkcionalitātes viedokļa.

Cita situācija ir ar pētījumiem, kas koncentrējas uz emocijām kā sociālās informācijas nesēju, jo šobrīd galvenie pētījumi bijuši viena cilvēka virzienā. Ir nedaudzi, pa jomām un lietojumiem izklaidēti pētījumi, kas pēta emocijas aģentu mijiedarbībā, piemēram, pūļa imitēšanai (Dey & Roberts, 2007); aģenta dzīves paildzināšanai daudzāģentu vidē (Kazemifard et al., 2012) un cilvēku apmācībai dažādos scenārijos (Korecko, Sobota, et al., 2014). Šādu pētījumu nelielais daudzums saistīts galvenokārt ar to, ka emociju ietekme ir salīdzinoši jauns virziens arī psiholoģijā un socioloģijā. Lai arī eksistē atsevišķi modeļi, kas daļēji ļauj modelēt cilvēku grupas emocionālās mijiedarbības, tomēr šobrīd trūkst pētījumu un risinājumu, kas sistematizē un pilnībā imitē visus cilvēka mijiedarbībā izmantotos emocionālos mehānismus.

Balstoties uz iepriekš rakstīto, promocijas darbā izvirzīta šāda **hipotēze**: *Papildinot aģentos sakņoto modelēšanas pieeju ar emociju un emocionālās mijiedarbības modeļiem, var ticami modelēt cilvēku grupas emocionālo stāvokli un tā izmaiņas.*

Aizstāvēšanai izvirzītās **tēzes**:

- daudzāģentu paradigma, kombinējot dažādas tai piederīgas pieejas, ir piemērota, lai modelētu cilvēku grupu gan no racionālās, gan no emocionālās perspektīvas;
- neviena no šobrīd esošajām emocijās sakņotu aģentu izstrādēm nemodelē visas nepieciešamās funkcijas, kas nodrošina emocijās sakņotu uzvedību;

- neviena no šobrīd esošajām cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanas metodēm nemodelē visus mijiedarbības mehānismus, kas nepieciešami ticamai emocijās sakņotai cilvēku grupas uzvedībai;
- izstrādātais metožu kopums viena aģenta līmenī ļauj modelēt visas ar emocijām saistītās funkcijas;
- izstrādātais metožu kopums vairāku aģentu līmenī ļauj modelēt emocijās sakņotas mijiedarbības.

Lai aizstāvētu tēzes un pierādītu hipotēzi, ir izvirzīts promocijas darba **mērķis**: izstrādāt pieeju cilvēku grupas emocionālā stāvokļa imitācijai. Mērķa sasniegšanai izvirzīti seši **uzdevumi**:

1. Izpētīt aģentos sakņotas modelēšanas pieejas intelektuālu aģentu paradigmas kontekstā.
2. Veikt līdzšinējo cilvēka emociju modelēšanas pieeju analīzi.
3. Veikt emocijās sakņoto mijiedarbību modelēšanas pieeju analīzi.
4. Izstrādāt emocijās sakņotas daudzāģentu sistēmas projektējumu, kas implementē emocijās sakņotās mijiedarbības viena aģenta līmenī un to mijiedarbībā.
5. Izstrādāt emocijās sakņotu aģentu, kas modelē emociju ietekmi uz grupu viena aģenta līmenī.
6. Izstrādāt emocijās sakņotu daudzāģentu sistēmu, kas implementē emocijās sakņotās mijiedarbības scenārijos, kas demonstrē modeļa atbilstību modelējamai problēmai.

Promocijas darba **pētījuma objekts** ir emocijās sakņotas daudzāģentu sistēmas. Promocijas darba **pētījuma priekšmets** ir aģentos sakņoti emociju mijiedarbības imitācijas modeļi. Darbā netiek apskatīti tie modeļi, kas koncentrējas uz cilvēka-datora mijiedarbību, bet gan tie, kas imitē cilvēku mijiedarbību savā starpā.

Promocijas darbā izmantotas šādas **teorētiskās pētījumu metodes**:

- *izpēte* tika izmantota trīs pārskatu veikšanai pirmajā, otrajā un trešajā nodaļā: par aģentos sakņotiem modeļiem, emociju modelēšanu vienā aģentā un cilvēku grupas emociju modelēšanu; izpētes rezultātā definēti tālāk analizējamie aspekti. Tālāk veikta *sistemātiska literatūras analīze un salīdzināšana*, kas ļāvusi veikt aģentos sakņotu modeļu, emocijās sakņotu aģentu izstrāžu un emocijās sakņotu cilvēku grupas imitācijas modeļu salīdzinošo analīzi; tā rezultējusies aģentos sakņotu modeļu klasifikācijā, klašu saderības matricā, emocijās sakņotu aģentu izstrāžu un emocijās sakņotu daudzāģentu sistēmu izstrāžu salīdzinājumā pēc realizētajām emociju lomām;
- *projektēšana un modelēšana* izmantota nepieciešamo konceptu formalizēšanai, prasību izvirzīšanai un emocijās sakņota aģenta un daudzāģentu sistēmas projektējuma izstrādei darba ceturtajā nodaļā.

Promocijas darbā izmantotas šādas **empīriskās metodes**:

- *prototipēšanas* rezultāts ir trīs lietojumu implementācija, kas aprakstīta pēdējā nodaļā;
- *eksperimentālā analīze* veikta darba pēdējā nodaļā, lai, balstoties uz izstrādātajiem prototipiem, salīdzinātu modeļi ar paredzamo uzvedību.

Darba **zinātniskie jauninājumi** ir

- pieeja cilvēku emocijās sakņotas mijiedarbības modelēšanai, izmantojot daudzāģentu sistēmās pieejamos mehānismus, tajā skaitā tajā ietilpstošās metodes emociju

matemātiskai modelēšanai un dažādu līmeņu emociju integrācijai, aģentu komunikācijas modelēšanai, kā arī emocijās sakņota aģenta arhitektūra;

- izstrādātās pieejas pielietojums dažāda veida emocijās sakņotu daudzāģentu sistēmu izstrādei;
- aģentos sakņotu modeļu klasifikācija un klašu saderības matrica, kas tālāk izmantota arī darbā esošo prototipu izstrādei;
- aģentu emocionālās mijiedarbības mehānismu klasifikācija no aģentu komunikācijas viedokļa.

Pētījumu **praktiskā nozīmība**: ir izstrādāts modulis, kas ļauj implementēt emocijās sakņotu aģentu daudzāģentu sistēmā un rīks atsevišķu emociju modelēšanai dažādas struktūras pūļos; abi lietojumi ir balstīti uz prasībām un projektējumu emocijās sakņotai daudzāģentu sistēmai. Izstrādāta savietojamības matrica starp dažādiem projektējuma līmeņa aspektiem (modeļa lietojuma jomu, aģentu tīkla struktūru, aģentu uzbūvi, vienādību un to semantisko nozīmi) aģentos sakņota modeļa projektēšanai un izstrādei.

Darba autore ar referātiem, kas saistīti ar promocijas darbu, ir piedalījies šādās **konferencēs**:

- Third Northeast Regional Conference on Complex Systems (NERCCS 2020), 2020. gada 1.-3. aprīlis. Stenda referāta “The Spread of Consumers’ Emotions as Function of the Social Network Structure” prezentācija, Bufalo, ASV (tiešsaistē).
- International Conference on Applied Mathematics & Computational Science (ICAMCS), 2018. gada 19. – 21. janvāris. Raksta “Agent based model of anger contagion and its correlations with personality and interaction frequency” prezentācija, Ungārija, Budapešta.
- The 5th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE’2017), 2017. gada 24. – 25. novembris. Raksta “Classification of Agent-Based Models from the Perspective of Multi-Agent Systems” prezentācija, Latvija, Rīga (saņemta labākā stenda referāta balva).
- Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII2017), 2017. gada 23. – 26. oktobris. Raksta “Affective Multi-Agent System for Simulating Mechanisms of Social Effects of Emotions” prezentācija, ASV, San Antonio.
- Rīgas Tehniskās universitātes 58. starptautiskā zinātniskā konference, sekcija “Lietišķās datorsistēmas”, 2017. gada 12. oktobris. Prezentācija: “Agent-Based Simulation of Human Emotional Interaction”, Latvija, Rīga.
- International Conference on Agents un Artificial Intelligence (ICAART 2017), 2017. gada 24. – 26. februāris. Raksta “Emotion Contagion among Affective Agents: Issues and Discussion” prezentācija, Portugāle, Porto.
- Rīgas Tehniskās universitātes 57. starptautiskā zinātniskā konference, sekcija “Lietišķās datorsistēmas”, 2016. gada 13. oktobris. Prezentācija: “Emotion Modeling for Simulation of Affective Student-Tutor Interaction: Personality Matching”, Latvija, Rīga.
- 9th International Conference on Intelligent Systems un Agents, 2015. gada 22. – 24. jūlijs. Raksta “Collaborative Human-Like Multi-Agent Systems: an Overview” prezentācija, Spānija, Las Palmas.

Par promocijas darba tēmu ir publicētas šādas **publikācijas**:

- **Pudāne, M.**, Brooks, B., Radin, M. The Spread of Supply Chain's Consumers' Emotions as Function of Their Social Network Structure. No: ICTE in Transportation and Logistics 2020. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer Nature Switzerland AG, 2020. 61.-68. lpp. (indeksēts ISI Web of Science) (autore ieguldījums – projektējums, risinājuma izstrāde un 80% raksta).
- **Pudāne, M.**, Brooks, B., Houston, R., Radin, M. Agent based model of anger contagion and its correlations with personality and interaction frequency. International Journal of Education and Information Technologies, 2018, 12, 7.-12.lpp (indeksēts ISI Web of Science) (autore ieguldījums – projektējums, risinājuma izstrāde un 70% raksta).
- **Pudāne, M.** Classification of Agent-Based Models from the Perspective of Multi-Agent Systems. No: Proceedings of Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering AIEEE'2017, Latvia, Riga, 24-25 November, 2017. Riga: 2017, 1.-6. lpp (indeksēts SCOPUS un ISI Web of Science).
- **Pudāne, M.** Affective Multi-Agent System for Simulating Mechanisms of Social Effects of Emotions. No: Proceedings of Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW), United States of America, San Antonio, 23-26 October, 2017. San Antonio: 2017, 129.-134. lpp (indeksēts SCOPUS un ISI Web of Science).
- **Pudāne, M.**, Lavendelis, E. General Guidelines for Design of Affective Multi-Agent Systems. Applied Computer Science, 2017, 22, 5.-12. lpp (indeksēts SCOPUS un ISI Web of Science) (autore ieguldījums – 60%).
- **Pudāne, M.**, Radin, M., Brooks, B. Emotion Contagion among Affective Agents: Issues and Discussion. No: Proceedings of 9th International Conference on Intelligent Systems and Agents (ICAART 2017), Portugal, Porto, 24-26 February, 2017. Porto: 2017, 328.-334. lpp (indeksēts ISI Web of Science) (autore ieguldījums – projektējums un 70% raksta).
- **Pudāne, M.**, Lavendelis, E., Radin, M. Human Emotional Behavior Simulation in Intelligent Agents: Processes and Architecture. Procedia Computer Science, 2017, Vol.104, 517.-524. lpp (indeksēts SCOPUS un ISI Web of Science) (autore ieguldījums ir 95%, otrs autors ir darba zinātniskais vadītājs un trešais – atsevišķu pētījuma daļu konsultants).
- Petroviča, S., **Pudāne, M.** Emotion Modeling for Simulation of Affective Student-Tutor Interaction: Personality Matching. International Journal of Education and Information Technologies, 2016, Vol.10, 159.-167. lpp (indeksēts ISI Web of Science) (autore ieguldījums – 50%).
- Petroviča, S., **Pudāne, M.** Simulation of Affective Student-Tutor Interaction for Affective Tutoring Systems: Design of Knowledge Structure. International Journal of Education and Learning Systems, 2016, No.1, 99.-108. lpp (autore ieguldījums – 50%).
- **Pudāne, M.**, Lavendelis, E., 2015, Collaborative Human-Like Multi-Agent Systems: an Overview. Proceedings of 9th International Conference on Intelligent Systems and Agents (ISA 2015), Gran Canaria Las Palmas, Spain, 211.- 215. lpp (indeksēts SCOPUS un ISI Web of Science) (autore ieguldījums ir 95%, otrs autors ir darba zinātniskais vadītājs).

Par promocijas darba tematiku publicēšanai pieņemta publikācija:

- **Pudāne M.**, Affective multi-agent system: modelling and simulation of social and rational effects of emotions. Proceedings of International Scientific Conference on Information Technology and Management Science, 2023.

Citas **aktivitātes**, kas saistītas ar promocijas darbu:

- Dalība sarunu festivālā “Lampa” ar populārzinātnisku prezentāciju: “Cik plati smaidīt, lai pasaule smaidītu kopā ar Tevi?” 2018. gada jūnijā.
- Dalība Latvijas IKT profesionāļu dienas konferencē 2018 ar prezentāciju “Emocijas datorsistēmās: kāpēc un kā?” 2018. gada martā.
- Dalība jauno zinātnieku konkursa “Research slam” finālā 2018. gada martā.
- Erasmus+ vizīte un lekciju cikla “Affective computing un its applications” lasīšana Malardalenas Universitātē, Vesterosā, Zviedrijā 2018. gada februārī.
- Anohina-Naumeca, A., Lavendelis, E., Petroviča, S., Pudāne, M.: “Kāpēc datorsistēmām nepieciešams emocionālais intelekts?”. Innovation, rudens izdevums, pp. 11-12, 2017 – populārzinātniska publikācija.
- Dalība projekta AAPELE (COST Action IC1303) noslēguma sanāksmē ar prezentāciju “Truly Affective AAL Systems” 2017. gada augustā.
- Dalība RTU Absolventu asociācijas rīkotajā sarunu forumā «Nezūdamības likums» ar prezentāciju par emocionālo skaitļošanu 2017. gada aprīlī.

Darba autorei ir arī 6 publikācijas par citām tēmām, no kurām 3 saistītas ar adaptētās spējīgu daudzāģentu sistēmu modelēšanu un validēšanu mobilo robotu scenārijos.

Publikācijās, kas saistītas ar promocijas darbu, ir aprakstīta aģentos sakņotu modeļu aspektu savietojamības matrica, izstrādātā emocijās sakņota aģentu arhitektūra, kā arī emociju mijiedarbības mehānismu klasifikācija, nestrukturētas cilvēku grupas jeb pūļa modelēšana no dažādiem aspektiem, kur validēts arī emociju nodošanas mehānisms. Publicēta arī emociju nodošanas veidu klasifikācija un lietojumi, un to validācija makrolīmenī.

Darbam ir piecas nodaļas. Pirmajā nodaļā ir apskatīti ar aģentos sakņoto modelēšanu saistīti jēdzieni: aģents un emocijās sakņots aģents, daudzāģentu sistēma, aģentu komunikācijas mehānismi un ontoloģijas. Darba autore izpētījusi plašu aģentos sakņotu modeļu klāstu, kā rezultātā definēta to klasifikācija no daudzāģentu sistēmu viedokļa un izstrādāta klašu saderības matrica. Darba otrā nodaļa satur apskatu par cilvēka modelēšanu gan no psiholoģijas, gan no datorzinātnes viedokļa. Nodaļas galvenais rezultāts ir dažādu emocijās sakņotu aģentu apskats un salīdzinājums. Trešajā nodaļā sniegts emocionālo mijiedarbību apraksts no psiholoģijas viedokļa, kā arī salīdzināti esošie risinājumi, balstoties uz realizēto emocionālo mijiedarbību klāstu. Definētas darba validēšanai nepieciešamās komponentes. Darba 4. nodaļā projektēta emocijās sakņota daudzāģentu sistēma, bet piektajā – implementēti uz projektējuma balstīti lietojumi un analizēti eksperimentu rezultāti. Izstrādātie lietojumi ietver viena aģenta moduļa demonstrāciju, rīku emociju izplatības modelēšanai dažādas struktūras grupās, aģentu grupas demonstrāciju galda spēles scenārijā.

1. DAUDZĀĢENTU SISTĒMAS UN ĀĢENTOS SAKŅOTA MODELĒŠANA

Āģentos sakņota modelēšana ir vispāratzīta pieeja izkļiedētas uzvedības un no tās izrietošo procesu modelēšanai, tāpēc to parasti izmanto sociālo fenomenu, ekonomisko, ekoloģisko u.c. sistēmu pētīšanai (Helbing & Baliotti, 2013). Āģentos sakņotās modelēšanas metodes imitē neatkarīgas sistēmas komponentes (āģentus), kam ir noteikta stāvokļu un uzvedību kopa (Wilensky & Rand, 2015).

Āģents mākslīgā intelekta kontekstā ir sistēma, kas mijiedarbojas ar ārējo vidi caur sensoriem, no kuriem saņem uztveres, un izpildmehānismiem, kas ļauj veikt darbības (Russel & Norvig, 2010). Lai āģentu realizētu, tam parasti definē arhitektūru, šeit saprotot nevis fizisko uzbūvi (piemēram, kā to definē Rasels un Norvigs (Russel & Norvig, 2010)), bet gan loģiskās komponentes, datu struktūras un to mijiedarbības (Wooldridge, 1999).

Āģentos sakņotā modelēšana faktiski ir lietojums izkļiedētās skaitļošanas paradigmai piederošajai daudzāģentu sistēmu pieejai. Daudzāģentu sistēmas sevī ietver mehānismus un metodes, kas vienā sistēmā ļauj apvienot vairākus āģentus. To pamatā esošie mijiedarbības mehānismi ir tehnika, kas ļauj realizēt āģentu komunikāciju (Wooldridge, 2009). Daudzāģentu sistēmās pieejamās metodes (t.i., komunikācijas mehānismi un protokoli) nereti tiek izmantotas, lai implementētu āģentos balstītas modelēšanas sistēmas (Siebers & Aickelin, 2008). Šīs nodaļas mērķis ir izskaidrot, kādā veidā ir saistīta āģentos sakņota modelēšana, kas tiek izmantota modelēšanas un imitācijas virzienā –, un daudzāģentu sistēmas – pieeja, uz kuru tradicionāli ir balstītas izkļiedētas intelektuālas sistēmas.

Šajā nodaļā definēts āģenta un daudzāģentu sistēmas jēdziens cilvēka imitācijas un emocijās sakņotu sistēmu kontekstā, kā arī aprakstīta āģentos sakņota modelēšana, tās piemērotība cilvēku grupas modelēšanai un āģentos sakņotas modelēšanas metožu implementācijas iespējas. Nodaļas nobeigumā sniegti secinājumi par emocijās sakņotu sistēmu vietu analizētajās pieejās.

1.1. Āģents un emocijās sakņots āģents

Intelektuālu āģentu paradigma balstās racionalitātes jēdzienā, tas ir, racionāls āģents cenšas panākt labāko iespējamo vai labāko sagaidāmo rezultātu no iespējamiem (Russel & Norvig, 2010). Lai arī intuitīvi racionālais prāts ir pretstatāms emocijām, tomēr, apskatot racionalitāti raksturojošos jēdzienus, var secināt, ka emocijās sakņots āģents pēc būtības ir papildināts racionāls āģents. Āģenta racionalitāte jebkurā laikā ir atkarīga no (Russel & Norvig, 2010):

- veikuma mēra, ar kura palīdzību āģents nosaka, cik labs būs rezultāts, t.i., lietderības (Russel & Norvig, 2010). Emocijās sakņota āģenta gadījumā ir divas iespējas: vai nu emocijas pašas par sevi ir āģenta darbības mērs, proti, atkarībā no tā, kāda ir āģenta emocija un tās intensitāte, tiek novērtēts darbības rezultāts, vai arī emocijas ir atbilde uz āģenta sniegumu, tas ir, emocija rodas atkarībā no sasniegtās lietderības. Pēc būtības abos gadījumos emocijas ir izdošanās vai neveiksmes vērtējums un, lai tās varētu iegūt, tāpat ir nepieciešamas arī objektīvās notikumu un darbību novērtējuma funkcijas. Pirmā

pieeja ir izmantota WASABI sistēmā, kura mijiedarbojas ar cilvēku, un kur citu aģentu, konkrētajā gadījumā, cilvēka, emocijas tiek izmantotas kā mērs, lai noteiktu, cik veiksmīgi darbojas aģents (Becker-Asano, 2008). Savukārt, Gračs un Marsela emocijas izmanto kā lietderību, respektīvi, aģentam ir pieejamas emocionālās stratēģijas, ar kuru palīdzību tas cenšas panākt, ka tas ir priecīgs un izvairīties no dusmām (Gratch & Marsella, 2004). Daudzaģentu sistēmā, kad citu aģentu lietderība nav zināma, tieši rezultāta novērtēšanai no emocijas ir priekšrocības, tā ļauj atpazīt citu aģentu stāvokļus un viņu redzējumus par savu un citu stāvokli, un veikt secinājumus. Abas pieejas var tikt apvienotas vienā sistēmā, kad paša emociju izpausme ir atkarīga no lietderības, savukārt citu aģentu lietderības tiek noteiktas no viņu emocijām, kā Ramezani un kolēģu sociālās vienošanās aģentā (Ramezani et al., 2011).

- aģenta zināšanām par vidi. Šajā gadījumā zināšanas par vidi ietver arī zināšanas par citu aģentu personībām (Tavakoli et al., 2014) un emociju izraisītājiem kā tādiem (Gratch & Marsella, 2004). Ja aģents, neatkarīgi no lietojuma specifikas, zina, ka eksistē emocijas, tad no aģenta tiek sagaidīta spēja tās vajadzības gadījumā atpazīt vai par tām spriest vismaz teorētiskā līmenī.
- darbību kopas, ko aģents var veikt. Emocijās sakņota aģenta gadījumā darbību kopa tiek paplašināta ar darbībām, kas ļauj izpaust emocijas (Gebhard, 2005), vai emocijās sakņotām stratēģijām (Gratch & Marsella, 2004). Emocijas var ne vien paplašināt pieejamo darbību un stratēģiju kopu, bet arī to samazināt, respektīvi, emocijas darbojas kā profīli, kur katrs no tiem satur noteiktas atļautās darbības pie konkrētā emocionālā stāvokļa (Murphy et al., 2002). Šajā gadījumā aģents emociju ir ieguvis pēc noteikta racionāla kritērija (kā paskaidrots augstāk), un tālāk izvēlas darbību, balstoties uz tam pieejamajām. Abos gadījumos aģentam ir pieejama ar emocijām saistīta darbību pielāgošana.
- aģenta uztveru secībām līdz šim brīdim. Ja viena no aģenta uztverēm ir cita aģenta emocijas, tad aģentu, kas reaģē un spriež, balstoties uz uztvertajām emocijām, var saukt par racionālu. Šāda pieeja bieži tiek izmantota cilvēka-datora mijiedarbības lietojumos, kad aģents reaģē uz lietotāja emocijām. Sistēmu klase, kas ir viena no pirmajām, kurā tika izmantoti emocijās sakņoti aģenti, ir intelektuālas mācību sistēmas. Šajā gadījumā tiek uztvertas un apstrādātas vai nu tikai cilvēka emocijas (kā WASABI aģentā (Becker-Asano, 2008)), vai arī cilvēka un citu aģentu emocijas, ja vide satur citus aģentus kā ALMA sistēmā (Gebhard, 2005). Atkarībā no tā, cik jutīga ir aģenta uztvere, mainās arī tā spēja uztvert emocionālus signālus, taču, ja aģents šos signālus uztver, no racionāla aģenta sagaida, ka tas uz šiem signāliem arī atbilstoši reaģēs.

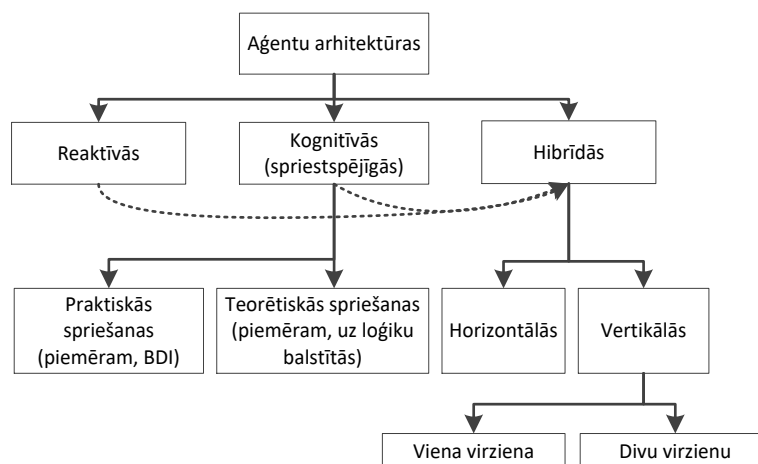
Tā kā emocijās sakņotam aģentam ir veikuma mērs (savas vai citu emocijas) un tas tiecas panākt sev vēlamu lietderību, rīkojas saskaņā ar informāciju par vidi un uztver secības, var secināt, ka, lai arī aģenta darbība ir atkarīga no citu aģentu un paša emocijām, tas vēl arvien būs racionāls aģents un tas izvēlēsies darbību, kas, saskaņā ar veikuma mēru, ļauj sasniegt labāko iespējamo rezultātu.

Promocijas darba ietvaros emocijās sakņots aģents ir skaitļošanas vienība, kas sevī ietver emocijas saturošu zināšanu bāzi, atbilstošu uztveru un darbību kopu, un kura ir racionāla pēc

augstāk minētās definīcijas, tas ir, ar emocijās sakņotu aģentu tiek saprasts papildināts racionālais aģents. Tas ļauj secināt, ka emocijās sakņotam aģentam ir izmantojamas racionāliem aģentiem izmantotās arhitektūras un metodes, kas paredzētas zināšanu glabāšanai un spriešanai. Emocijās sakņota aģenta gadījumā var teikt, ka esošajai aģenta arhitektūrai tiek pievienota abstrakta vienība, kas satur emociju apstrādes un glabāšanas mehānismus – emocionālās skaitļošanas modelis (ESM), taču pēc būtības arhitektūras uzbūve saglabājas kā racionālam aģentam. Šī iemesla dēļ tālāk apskatītas racionālu aģentu arhitektūras, kuras apkopotas 1.1. attēlā.

Ir vairāki aģentu arhitektūru veidi: reaktīvās, deduktīvās jeb uz loģiku balstītās arhitektūras, praktiskās spriešanas jeb pārliecību-vēlējumu-nodomu arhitektūras (BDI arhitektūras, no angļu val. *Belief-Desire-Intention*), kognitīvās jeb spriestspējīgās arhitektūras un hibrīda jeb slāņveida arhitektūras (Chin et al. 2014; Wooldridge 2009; Wooldridge 1999)).

Ar kognitīvo arhitektūru jēdzienu dažādos avotos apzīmēti dažādi arhitektūru abstrakcijas līmeņi, sākot ar vispārēju sinonīmu vārdam arhitektūra (Langley et al., 2009), tas ir, apzīmējot jebkuru ne fizisku arhitektūru, beidzot ar atsevišķu arhitektūru klasi līdzās reaktīvajām, praktiskās, loģiskās spriešanas un hibrīdajām arhitektūrām (On Chin et al., 2014). Ar *reaktīvo arhitektūru* promocijas darbā tiek saprasta tāda arhitektūra, kas konkrētā laikā pieņem lēmumu par izpildāmo darbību atkarībā no uztverēm. Ar terminu *kognitīvā jeb spriestspējīgā arhitektūra* tiek apzīmēta arhitektūra, kas satur spriešanas vai plānošanas mehānismus, t.i., nav reaktīva. Pēc būtības gan deduktīvās, gan praktiskās spriešanas arhitektūras pieder spriestspējīgajām arhitektūrām, savukārt *hibrīdās arhitektūras* veidotas no slāņiem, kur katrs slānis satur kādu no reaktīvajām vai kognitīvajām arhitektūrām (Wooldridge, 1999) (skatīt 1.1. attēlu). Dažādie arhitektūru veidi ir izstrādāti vai nu mēģinot atrisināt iepriekšējo arhitektūru problēmas, vai arī mēģinājumos radīt aģentus konceptuāli atšķirīgiem mērķiem, līdz ar to eksistējošās izstrādēs reti izmantots tieši viens spriešanas veids.



1.1. attēls. Aģentu arhitektūru veidi.

Vēsturiski pirmās aģenta arhitektūras bija kognitīvo arhitektūru paveids: deduktīvās jeb uz loģiku balstītās arhitektūras, kas savā darbībā izmantoja simbolisko pieeju, tas ir, reālās pasaules konceptus atspoguļoja kā simbolus, ar kuriem tālāk tika veiktas sintaktiskas manipulācijas (Wooldridge, 1999). Šo arhitektūru galvenais trūkums bija skaitļošanas laiks un

sarežģītā loģika – gan dažādu interpretācijas problēmu dēļ (respektīvi, visu pasauli šādā veidā aprakstīt nav iespējams), gan izmēra un veicamo operāciju daudzuma dēļ (Wooldridge, 1999).

Reaktīvās arhitektūras radās kā atbilde uz deduktīvo arhitektūru trūkumiem, balstoties uz ideju, ka intelektuāla rīcība nav nosakāma atrauti no vides un tā rodas mijiedarbojoties vairākām vienkāršām uzvedībām (Wooldridge, 1999). Šīs arhitektūras galvenais trūkums ir tas, ka tajā ir sarežģīti vai pat neiespējami uzbūvēt arhitektūras, kas sastāv no vairākiem apstrādes slāņiem, tās praktiski neļauj realizēt ne apmācību, ne spriešanu (Wooldridge, 1999). Ņemot vērā, ka pilnībā reaktīva arhitektūra faktiski nav sastopama, tad darbā šī tipa arhitektūrām pieskaitītas arī tādas, kas ņem vērā aģenta iekšējo stāvokli (parametrus), taču tos neatjaunina (piemēram, aģenta reakcija uz kādu notikumu ir atkarīga no tā personības aspekta, kurš pats par sevi nemainās – šādā gadījumā matemātiski šis ir līdzvērtīgi ar konstanti reizinātam rezultātam).

Paralēli uz loģiku balstītajām arhitektūrām kā alternatīva ir attīstījušās uz praktisko spriešanu balstītās teorijas. Šo abu arhitektūru tipu atšķirība ir veids, kādā notiek spriešana (Wooldridge, 2009). Atšķirībā no teorētiskas spriešanas, kas sakņota spriešanā par faktiem, praktiskajā spriešanā tā ir orientēta uz darbībām, tas ir, plāniem, kā sasniegt noteiktus mērķus. Praktiskās spriešanas arhitektūras radās kā risinājums, lai modelētu cilvēkam līdzīgu spriešanu, kas balstās uz apdomāšanu (angļu val., *deliberation*), tas ir, mērķu izvēli, un cēloņseku spriešanu (angļu val. *means-ends reasoning*), tas ir, veida atrašanu, kā nonākt līdz mērķim. Atšķirību starp šiem veidiem var aprakstīt arī šādi: uz praktisko spriešanu balstītās arhitektūras nosaka mērķi un tad meklē ceļus, kā to sasniegt, savukārt uz loģiku balstītās arhitektūras apraksta faktus un spriešanas ceļu, un nonāk līdz kaut kādam rezultātam.

Jāpiezīmē, ka bieži ir grūti izdalīt, kuram tieši veidam pieder konkrēta arhitektūra, tā kā tās bieži satur vairākus blokus vai dažādiem uzdevumiem izmanto atšķirīgas pieejas (Langley et al., 2009). Piemēram, tīri reaktīva sistēma ir sastopama ļoti reti, jo tā īsti nespēj ne spriest, ne mācīties; tā reaģē tikai uz esošajām uztverēm (Wooldridge, 1999). Vairākās arhitektūrās praktiskā spriešana tiek izmantota plānošanai un īstermiņa atmiņai, savukārt ilgtermiņa atmiņa un jaunu zināšanu veidošana tiek realizēta ar teorētiskās spriešanas palīdzību. Laks un kolēģi 2004. gadā 6. ietvarprogrammas projekta “Agent Link III” ietvaros izstrādātā ceļvedī ir atzīmējuši, ka viens no aģentu izstrādes izaicinājumiem ir līdzsvara atrašana starp uz loģiku balstītajām un praktiskās spriešanas arhitektūrām (Luck et al., 2005), tādēļ var secināt, ka tieši viena veida arhitektūru izstrāde vairs netiek atzīta par pietiekošu autonomu aģentu izstrādei.

Šo iemeslu dēļ ir radušās slāņveida jeb hibrīdās arhitektūras ar mērķi apvienot vairāku arhitektūru priekšrocības, ieviešot vairākus informācijas apstrādes slāņus. 1.1. attēlā ar pārtrauktu līniju ir parādīts, ka hibrīdās arhitektūras var saturēt gan reaktīvās, gan kognitīvās arhitektūras. Ja informācijas apstrāde notiek paralēli vairākos slāņos, un katram no slāņiem ir sava ieeja un sava izeja, tad šīs arhitektūras sauc par horizontāli slāņotajām arhitektūrām, savukārt tad, ja ieejas un izejas nav visos slāņos un informācijas apstrāde notiek secīgi – par vertikāli slāņotām arhitektūrām (Wooldridge, 1999). Vertikāli slāņotās arhitektūras var iedalīt vēl divos veidos: viena virziena arhitektūrās, kurā ieeja ir tikai pirmajam, savukārt izeja – pēdējam līmenim, un divu virzienu arhitektūrās, kur ieeja un izeja ir tikai pirmajam līmenim, respektīvi, eksistē augšupejoša informācijas un lejupejoša kontroles plūsma (Wooldridge, 1999).

Pēc būtības mehānismus, kas saistīti ar emocijām, var pievienot jebkurai no šīm arhitektūrām, pievienojot ESM. Notikumu apstrāde no emociju viedokļa notiek vairākos līmeņos (piemēram, sākotnēji fizioloģiski, tad kognitīvi), tādēļ teorētiski īpašas priekšrocības ir slāņveida arhitektūrām, kuras ļauj implementēt vairākus mehānismus.

1.2. Daudzaģentu sistēma

Daudzaģentu paradigma ļauj vienā sistēmā apvienot vairākus savā starpā komunicējošus aģentus (Wooldridge, 2009). 2022. gadā interneta lietotāju skaits sasniedza 5.3 miljardus¹, un līdz ar lietotāju skaitu ir tendence palielināties arī tīklā savienoto ierīču daudzumam. Šī pieauguma ietekmē arvien aktuālāki kļūst dažādi izkliedētās skaitļošanas risinājumi. Daudzaģentu sistēmas (DAS) ir viens no šādiem risinājumiem, kas ir ļāvis attīstīt lietojumus ar mērķi veikt uzdevumus virtuālā, cilvēkam garlaicīgā vai grūti lasāmā un analizējamā vidē (Wooldridge, 1999).

DAS sastāv no vairākiem abstrakcijas līmeņiem. Lai arī dažādu autoru darbos identificēti atšķirīgi abstrakcijas līmeņi, tomēr viennozīmīgi ir tas, ka DAS var izdalīt līmeni, kas ļauj modelēt viena aģenta darbību tā iekšienē (dažādos avotos sauktu par (a) mikro līmeni (Wooldridge, 2009), (b) iekšējo līmeni (Lavendelis, 2009), (c) aģenta līmeni (Luck et al., 2005)), un vienu vai vairākus līmeņus, kas ļauj modelēt aģenta mijiedarbību ar citiem aģentiem. Laks izdala divus – mijiedarbību un organizācijas līmeni, kur mijiedarbību līmenis ietver komunikāciju starp aģentiem (Luck et al., 2005), savukārt organizācijas līmenis attiecas uz vēl augstāku abstrakcijas pakāpi, kas skar DAS kā vienotu sistēmu, nevis vienkārši kā komunikāciju starp vairākiem aģentiem; tas satur veidu, kā DAS ir strukturēta un kādas ir aģentu lomas tajā (Luck et al., 2005). Vūldridžs, tāpat kā Lavendelis, augstāko abstrakcijas līmeni apskata kā vienu – makro jeb ārējo līmeni, ar kuru apzīmē mijiedarbību un komunikāciju DAS (Wooldridge, 2009), taču Lavendeļa ārējais līmenis faktiski ietver arī Laka organizācijas līmeni (Lavendelis, 2009). Lai izstrādātu emocijās sakņotas sistēmas, ir nepieciešama emociju un to ietekmju projektēšana ne vien viena aģenta līmenī, bet arī DAS kopumā. Tā kā emocijas un to izplatīšanās starp cilvēkiem ir fenomens, kas neveidojas kā summa no atsevišķu cilvēku uzvedības, bet parādās to mijiedarbībā (angļu val. *emergence*) (van Kleef, 2016), tad promocijas darba ietvaros nav būtiski izdalīt kāda ir DAS kopējā arhitektūra, un turpmāk darbā tiks izmantoti Vūldridža apzīmējumi, proti, mikro un makro līmenis.

Mikro līmenis, t.i., līmenis, kas skar vienu aģentu, jau ir apskatīts iepriekšējā apakšnodaļā, tādēļ tālāk apskatīti tieši jautājumi, kas skar makro līmeni. Mijiedarbībām starp aģentiem ir trīs skatupunkti: tehniskais – tas, kurš skar ziņojumu nodošanu, sintaktiskais – ziņojumu pieraksts, un semantiskais – ziņojumu interpretācija (Wooldridge, 2009). Lai tehniski realizētu aģentu mijiedarbību, eksistē komunikācijas standarti, kas definē ziņojumu struktūru, savukārt, ziņojumu interpretāciju nodrošina atbilstošas zināšanu struktūras un komunikācijas secību definēšana.

¹ Saskaņā ar Starptautisko Telekomunikāciju apvienību (angļu val. *International Telecommunication Union*), pieejams: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2022/>

Viens no DAS izaicinājumiem ir nepieciešamība sazināties heterogēniem aģentiem – tas ir, tādiem aģentiem, kuru arhitektūras, zināšanu struktūras un spriešanas mehānismi atšķiras (Wooldridge, 1999). Šī iemesla dēļ 1990-tajos gados gan DARPA², gan FIPA³ darbojās pie komunikācijas standartu izveides. Pirmā komunikācijas valoda bija DARPA radītā KQML (no angļu val. *Knowledge Query and Manipulation Language*), taču tā nebija pietiekami formalizēta (Wooldridge, 2009), un šobrīd ir sastopama tikai novecojušās DAS (Lavendelis, 2009). Vēlāk, balstoties uz KQML, FIPA radīja FIPA ACL (no angļu val. *FIPA Agent Communication Language*), kas ir šobrīd pieņemtais standarts aģentu komunikācijai; to izmanto gan DAS projektēšanas metodēs, gan arī izstrādes platformās (Bellifemine et al., 2007; Lavendelis, 2009). Lai arī FIPA ACL dažos avotos tiek kritizēta tās zemās elastības (Cranefield et al., 2005; Nowostawski et al., 2003) un semantikas trūkuma dēļ (Chopra un Singh, 2012), tomēr tā ir faktiskais standarts. Lai risinātu semantikas trūkumu un reizē arī palielinātu elastību, FIPA ACL paredz ontoloģijas pievienošanu, ko parasti izmanto satura jeb semantikas definēšanai. Turklāt šo standartizēto mehānismu priekšrocība ir aģentu savietojamība ar šī brīža izstrādēm un izstrādes ietvariem.

Tā kā FIPA ACL balstās uz KQML, tām ir vairākas līdzības: pirmkārt, abas definē ziņojuma struktūru; otrkārt, abas satur noteiktus laukus, kas aģentam jāaizpilda, nosūtot ziņojumu (Wooldridge, 2009), un, treškārt, abu valodu ideja ir balstīta runas aktu teorijā, kas nosaka, ka katra frāze tiek izteikta līdzīgi, kā tiek veikta darbība – tai ir gan noteikti priekšnosacījumi, gan sekas. Atšķirībā no KQML, FIPA ACL ir labāk formalizēta un ietver trūkstošos ziņojumu tipus. Svarīgākie FIPA ACL ziņojuma lauki ietver ziņojuma tipu (piemēram, informēt, pieprasīt utt.), sūtītāju, saņēmēju, saturu, izmantoto ontoloģiju u.c.⁴

Lai definētu secību, kādā aģenti mijiedarbojas, tiek definēti mijiedarbības protokoli, kas nosaka, kādā secībā aģenti drīkst sūtīt ziņojumus. Vienkāršos gadījumos, piemēram, kad nepieciešams nosūtīt tikai skaitlisku lielumu un aģentam ir zināms viss konteksts, principā varētu pietikt ar formāli definētu ziņojumu virkni kādā no komunikācijas valodām, taču parasti gan ziņojumu saturs, gan pašas mijiedarbības ir sarežģītākas. Lai aģents varētu saprast ziņojuma nozīmi, tam nepieciešams interpretācijas mehānisms: zināšanu struktūra, kas ļauj glabāt zināšanas par pasaules konceptiem. DAS šo funkciju veic ontoloģijas. Graudiņa (Graudiņa, 2011) par vienu no pilnīgākajām ontoloģijas definīcijām ir atzinusi Grūningera un Foksa definīciju: “Ontoloģija ir formāls realitāšu un to īpašību, attiecsmju, ierobežojumu un uzvedības apraksts” (Grūninger & Fox, 1995).

Specifiski DAS ontoloģijas var klasificēt koplietojamās un privātajās ontoloģijās (Sycara & Paolucci, 2004). Koplietojamām ontoloģijām pieder tās ontoloģijas, kas attiecas uz aģentu komunikāciju un vidi, kurā aģenti darbojas, savukārt privātas ontoloģijas ir tās, kas satur aģenta uzdevumiem specifiskus jēdzienus (Graudiņa, 2011). Privāto un koplietojamo ontoloģiju izmantošana ļauj šīs ontoloģijas vajadzības gadījumā arī apvienot un veikt spriešanu.

² DARPA (no angļu val. *Defence Advanced Research Projects Agency*) - <https://www.darpa.mil/>

³ FIPA (no angļu val. *The Foundation for Intelligent Physical Agents*) - <http://www.fipa.org/>

⁴ FIPA ACL Message Structure Specification – <http://www.fipa.org/specs/fipa00061/SC00061G.html>, apskatīts 2018. gada 6. martā.

Lai arī emocijas attiecas uz visiem emocijās sakņotiem aģentiem, tomēr izpratne par to, ko nozīmē dažādas emocijas, parasti ir atšķirīga. Līdz ar to emocijas ir nepieciešams implementēt tieši interpretācijas daļā – privātajā ontoloģijā. DAS mehānismu izmantošana ļauj projektēt un realizēt visu emociju komunikācijai nepieciešamo, tas ir, gan ziņojumu nodošanu, gan to interpretēšanu atkarībā no aģenta esošās zināšanu bāzes.

1.3. Aģentos sakņota modelēšana

DAS un aģentos sakņota modelēšana (ASM) ir cieši saistītas pieejas: ASM, tāpat kā DAS, balstās daudzāģentu paradigmā un var izmantot DAS mehānismus konkrētam uzdevumam – modelēšanai. No DAS puses ASM sistēmas raksturo samērā vienkārši mijiedarbības mehānismi (parasti bez sarežģītām mijiedarbībām) un vienkāršas, caurredzamas (t.i., viegli izsekojamas) aģentu uzvedības.

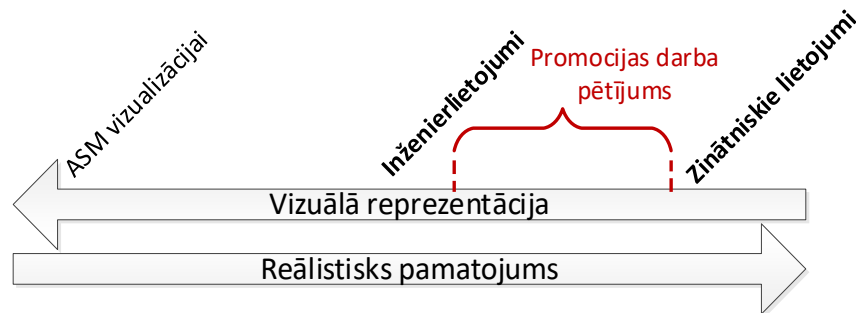
ASM ir plaša joma. Kā atzīst Makals, vēl arvien neeksistē vienotas ASM definīcijas (Macal, 2016). ASM modeļi var tikt izmantoti gan dažādu fenomenu modelēšanai un imitācijai ar mērķi saprast to darbības mehānismus, gan sistēmas tālākas uzvedības paredzēšanai. Aģentos sakņoti modeļi pieder skaitļošanas modeļu grupai, tātad ir modeļi, kas saņem noteiktas ievades, apstrādā tās ar algoritmu palīdzību un izvada iegūto rezultātu. ASM ir pieeja, kas ļauj aprakstīt, kā uzvedīsies atsevišķs aģents, nevis visa sistēma kopumā, līdz ar to ļaujot modelēt sistēmas, kas maina savu darbību laikā vai atkarībā no mijiedarbībām ar citiem aģentiem un vidi (Wilensky & Rand, 2015).

Šāda definīcija, kas ir visnotaļ vispārīga, par aģentos sakņotiem modeļiem ļauj uzskatīt gan dažādus imitācijas modeļus, gan arī vizualizācijas modeļus. Balstoties uz to detalizētību un ticamību, Helbings un Baliēti ir secinājuši, ka, pieaugot modeļu vizuālajai ticamībai, bieži zūd reālistisks pamatojums (Helbing & Baliēti, 2013). Vizuāli vispilnīgākie modeļi bieži vien tiek izmantoti virtuālajā realitātē un datorspēlēs, taču to mijiedarbībām trūkst semantiska pamatojuma. Zinātnisko lietojumu galvenais mērķis ir imitēt procesus, tāpēc mazāka uzmanība tiek pievērsta vizuālajam attēlojumam. Visbeidzot, inženierlietojumi tiek novietoti apmēram skalas viduspunktā (1.2. attēls). Promocijas darba ietvaros autore koncentrējas uz lietojumiem, kas atrodas starp inženierlietojumiem un zinātniskajiem lietojumiem (ieskaitot) – tiek pievērsta uzmanība modeļiem ar zinātniski pamatotu semantisko jēgu, kuri ir vai nav vizuāli attēloti.

ASM parasti tiek pretstatīta vienādojumos sakņotai modelēšanai (VSM) (Wilensky & Rand 2015; Helbing & Baliēti 2015). Abu pieeju galvenā un būtiskākā atšķirība ir tāda, ka VSM izmanto lejupejošo, bet ASM – augšupejošo pieeju, kas savukārt ļauj veidot imitācijas modeļus, balstoties uz indivīda īpašībām⁵. ASM mērķis ir radīt aģentus un likumus, pēc kuriem tie darbojas, cenšoties imitēt paredzēto vai empīriski novēroto uzvedību. Tā balstās uz sarežģītu sistēmu pārstrukturēšanu, tas ir, tā pēta sarežģītas sistēmas kopumā, balstoties uz to, kā sistēmā

⁵ Šī iemesla dēļ ASM literatūrā ir atrodams arī otrs nosaukums – indivīdos balstīta modelēšana (angļu val. *individual-based modelling*), kas vairāk tiek izmantots, modelējot bioloģiskas sistēmas, piemēram, (Paton et al., 2004). Tā kā aģentus bieži implementē ar objektorientētās programmēšanas pieejām, literatūrā atrodams arī termins objektos sakņota modelēšana (angļu val. *object-based modelling*).

uzvedas atsevišķie elementi. Bonabo to ir definējis ne vien kā metodi, bet arī kā citādāku, fraktālu, domāšanas veidu (Bonabeau, 2002). Tas ļauj no vienas puses labāk saprast, kā darbojas konkrētas sarežģītas sistēmas, kā rodas, piemēram, ekonomikas vai socioloģijas fenomeni, bet no otras puses ASM ļauj pētīt sarežģītas sistēmas kā sistēmu klasi, jo cilvēkam ir grūti intuitīvi izprast fraktālu sistēmas uzvedību (Wilensky & Rand, 2015).



1.2. attēls. Vispārīgs aģentos sakņotu modeļu iedalījums (pielāgots no (Helbing & Balietti, 2013)).

Vilenskis ar kolēģiem min, ka ASM, atšķirībā no VSM, ļauj modelēt praktiski jebkuru sistēmu, tomēr ASM ir īpaši piemērota, lai implementētu vai izskaidrotu šādas sistēmu īpašības (Wilensky & Rand, 2015):

- emergenci jeb fenomenu, kas raksturīgs dabīgām sarežģītām sistēmām: sistēmai, kura satur lielu skaitu elementu, darbojoties dinamiski, parādās jauna uzvedība, kas nav raksturīga vienam elementam (Wilensky & Rand, 2015). Aģentos sakņoti modeļi ir parādījuši, ka bieži vien šī jaunā uzvedība rodas no vienkāršiem likumiem un mijiedarbībām. Viens no piemēriem ir meža ugunsgrēka modelēšana – tā izplatīšanos kopumā paredzēt ir grūti, tādēļ ar ASM modelēšanu tiek atsevišķi modelēta katra koka uzvedība un stāvokļi ugunsgrēka gadījumā (Wilensky & Rand, 2015);
- adaptivitāti; ASM var palīdzēt izskaidrot, kāpēc sistēma ir adaptīva un kuri komponentu mijiedarbības likumi un stāvokļu izmaiņas to nodrošina. Spēja adaptēties un ilgtermiņa pielāgošanās jeb dzīvotspēja ir sarežģīta parādība, kas rodas, mijiedarbojoties daudzām komponentēm, lai arī komponentes pašas par sevi konkrētajā abstrakcijas līmenī nav dzīvotspējīgas (Skyttner, 1996). Spēja adaptēties ir pētīta gan no sistēmu teorijas un organizāciju viedokļa (Beer, 1985), gan arī tehniskās sistēmās (Ardavs et al., 2019; Pudāne et al., 2015). ASM ir viens no līdzekļiem, ar kura palīdzību ir iespējams meklēt likumus, kas sistēmai ļauj būt adaptīvai (Wilensky & Rand, 2015);
- heterogenitāti; sarežģītas sistēmas bieži sastāv no atšķirīgiem elementiem, kuri savā starpā mijiedarbojas. ASM ļauj modelēt arī homogēnas sistēmas (piemēram, spīta intelektu), taču to galvenās priekšrocības atklājas tieši heterogēnās sistēmās, kur aģentu heterogenitātei ir nozīme. Šajā gadījumā heterogenitāte var attiekties gan uz aģentu semantisko nozīmi, gan uz to arhitektūru vai spriešanas funkcijām mikrolīmenī, gan uz atšķirīgiem abstrakcijas līmeņiem vai parametriem (avotā (Macal, 2016)).

Visu augstāk minēto īpašību dēļ ASM bieži tiek izmantota sarežģītu sistēmu, piemēram, sociotehnisku sistēmu (Macal, 2016), cilvēka-vides mijiedarbības sistēmu (An, 2012)

modelēšanai. Cilvēka iekļaušana sistēmā to padara daudz neparedzamāku, tā kā cilvēks bieži vien nedarbojas stingri noteiktu likumu veidā (Bonabeau, 2002). Tas vienlaicīgi ir gan ASM modeļu izaicinājums, gan arī iemesls, kādēļ ASM bieži tiek izmantota sociālajai modelēšanai, ļaujot pārbaudīt pieņēmumus par cilvēku grupas uzvedību.

Papildus tam, salīdzinot ar VSM, ASM ir arī citas priekšrocības (Bonabeau 2002; Wilensky & Rand 2015):

- ASM ir vieglāk izmainīt gadījumos, kad sākotnēji nav zināma sistēmas sarežģītība vai elementu daudzums;
- bieži vien aģents ir dabiska metafora, piemēram, cilvēka modelēšanas nolūkā ir būtiski, ka ASM kā metode sniedz iespēju aģentam pievienot atsevišķas uztveres, resursus un to patēriņu;
- ASM neprasa zināšanas par sistēmas uzvedību makrolīmenī, tādējādi ļaujot izskaidrot fenomenus, kas nav intuitīvi saprotami;
- tā kā ASM apraksta indivīdus, rezultāts ir tuvāks realitātei, nav vajadzības izslēgt parametrus; tādējādi aproksimācijas rezultātā nepazūd mazas novirzes no normas, kas var radīt būtiskas sekas sistēmas darbībā kopumā;
- ASM rezultāti ir caurredzami, ir iespējams saprast, kādas individuālas uzvedības dēļ radies fenomens.

Lai arī ASM kā pieeja ir piemērota cilvēku grupu modelēšanai, salīdzinot ar VSM, tomēr tai ir arī savi trūkumi (Wilensky & Rand, 2015):

- viens no acīmredzamākajiem trūkumiem ir lielais skaitļošanas jaudas patēriņš (Wilensky & Rand 2015; Bonabeau 2002). Attīstoties datortehnikai, šis gan vairs nav tik aktuāls jautājums kā pagājušā gadsimta 90-tajos gados, kad ASM radās, tomēr, ja aģentu skaits sasniedz miljonus, tā vēl arvien var būt problēma, kas tiek risināta un ir atzīta par vienu no ASM izaicinājumiem (Macal, 2016); šī iemesla dēļ arī atzīts, ka ASM vislabāk izmantot, kad ir vidējs skaits aģentu (desmiti-miljons);
- jo vairāk detaļu modelī, jo vairāk lēmumu jāpieņem modelētājam, kas modeli padara subjektīvu. Bonabo ir teicis, ka pareizas detalizācijas modeļa izveide ne tikai ASM, bet arī citās modelēšanas pieejās ir vairāk māksla kā zinātne (Bonabeau, 2002). Līdz ar to, ja modelētājs pilnībā nesaprot, kā darbojas indivīdi, arī modelis darbosies kļūdaini;
- parametru kalibrēšana aģentos sakņotos modeļos aizņem daudz laika – tomēr VSM bieži vien vienkāršības nolūkā šos parametrus neiekļauj.

Aplūkojot ASM priekšrocības, var secināt, ka tā ir piemērotāka metode cilvēku grupas modelēšanai, salīdzinot ar VSM. Lai novērstu vismaz daļu no ASM trūkumiem, ir nepieciešama izstrādes metodoloģija, kas ļauj izveidot modeli saskaņā ar labo praksi. Ir atsevišķi mēģinājumi izstrādāt specifiskus soļus ASM radīšanas procesam (piemēram, (Nikolic & Ghorbani, 2011)); tomēr lielākajā daļā apkopojumu un pamācību, ir definēti vairāk vai mazāk abstrakti pamatsoļi, kuri balstās uz trīs pamatelementu: aģentu kopas, aģentu mijiedarbību kopas un aģentu darbības vides (Macal & North, 2010), projektēšanu. Tā kā promocijas darbs saistīts ar cilvēku grupas modelēšanu, tad šeit aprakstītas vispārīgas vadlīnijas, kuras ir izstrādājuši Helbings un Baliēti (Helbing & Baliēti, 2013) un kuras attiecas tieši uz sociālu sistēmu izstrādi.

Lai izstrādātu zinātnisku modeli, nepieciešams veikt sešus secīgus soļus (Helbing & Baliatti, 2013), kas uzskaitīti zemāk:

1. Noteikt empīriskos datus, kurus nepieciešams imitēt.
2. Noteikt imitācijas mērķi, iespējamie mērķi ietver: saprast fenomenu, veikt sistēmas darbības analīzi, prognozēt tālāko sistēmas darbību utt.
3. Identificēt aģentus gan no semantiskā viedokļa, gan arī no iekšējās uzbūves viedokļa, t.i., to stāvokļus, uzvedības, arhitektūru un spriešanas mehānismus.
4. Izvirzīt socioloģiski pamatotu hipotēzi, tas ir, izpētīt sistēmu un, balstoties uz empīriskajiem pierādījumiem, veikt minējumus, no kā šāda uzvedība varētu būt atkarīga.
5. Izvēlēties mijiedarbības mehānismus. Mijiedarbības mehānismam vajadzētu būt vienkāršākam kā fenomenam, ko cenšas izskaidrot.
6. Validēt modeli. Bieži vien modeļa validācija ir problēma tieši sociālo sistēmu modelēšanai, jo ir grūti iegūt objektīvus empīriskos datus 1. solī. Taču, ja modelis atbilst datiem, tas ir koncepta pierādījums (Wilensky & Rand, 2015), tātad lietojumam, kas to realizē ir 3. tehnoloģijas gatavības līmenis (no angļu val. *Technology Readiness Level (TRL)*)⁶.

Sekojošiem soļiem, var iegūt modeli, kura rezultātus ir iespējams analizēt un kurš ir zinātniski pamatots. Labi izstrādāts modelis (Wilensky & Rand, 2015) ir caurredzams: ir skaidrs, kuras uzvedības mikrolīmenī rada lielākas parādības makrolīmenī; ja modelis ir pārlietu pielāgots (respektīvi, satur pārlietu daudz parametru) un ir necaurredzams, ASM daļēji zaudē savas priekšrocības, t.i., nav starpības, vai novērot modeli, vai novērot realitāti.

Šajā apakšnodaļā ir apskatīti ASM vispārīgie jēdzieni, priekšrocības un trūkumi un izstrādes metodoloģija. Tomēr, tā kā ASM ir plašs jēdziens, ir izstrādāti daudz un dažādi modeļi, kas pieskaitāmi inženierlietojumiem vai zinātniskajiem lietojumiem (Helbing & Baliatti, 2013). Lai identificētu promocijas darbā izstrādāto lietojumu vietu, nākamajā apakšnodaļā aprakstītas un veidotas šo modeļu klasifikācijas.

1.4. Aģentos sakņotu modeļu klasifikācijas

Aģentos sakņoti imitācijas lietojumi ir ļoti daudzveidīgi, tie ietver dažādas lietojuma jomas, sākot ar tehnisku līdz pat sociālu sistēmu modelēšanai. Daži no piemēriem ietver elektriskās enerģijas tirgus modelēšanu gan no patērētāja (Kowalska-Pyzalska et al., 2015)), gan no ražotāja viedokļa (Dehghanpour et al., 2016), balsenes slimību attīstības modelēšanu šūnu līmenī (Seekhao et al., 2016), tolerances mehānismu modelēšanu (Zhang & Luby, 2017), slimību, piemēram, C hepatīta izplatīšanās izpēti (Wong et al., 2016), bēgļu integrācijas sabiedrībā modelēšanu (A. J. Collins & Frydenlund, 2016)

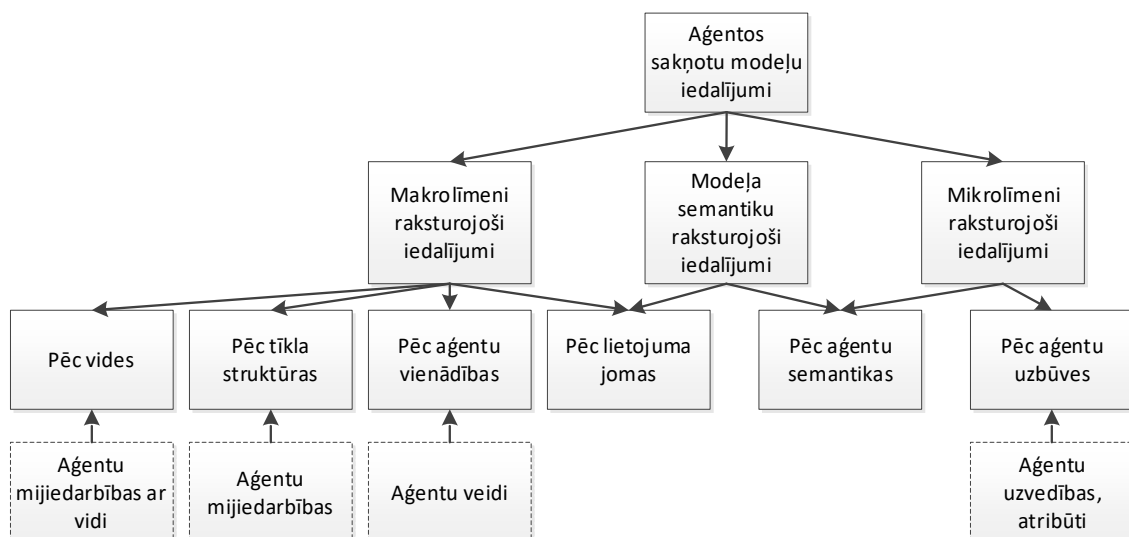
Tā kā ASM balstītu lietojumu spektrs ir plašs, pastāv vairākas eksistējošas klasifikācijas, kas ļauj orientēties modeļu telpā. Parasti ASM lietojumi tiek iedalīti, balstoties uz modeļu

⁶ Pēc Eiropas Savienībā atzītajām vadlīnijām 2014.-2015. gadu projektu uzsaukumiem, avots: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf

semantisko nozīmi. Bonabo (Bonabeau, 2002) ir identificējis 4 šādas jomas: (1) evakuācijas, satiksmes u.c. plūsmas, (2) inovācijas izplatīšanās un pielāgošanās dinamika (tajā skaitā sociālās sistēmas; populācijas modeļi), (3) organizācijas projektēšana, risku analīze, (4) tirgus analīze. Lai gan šī klasifikācija jau ir vairāk kā 15 gadus veca, tomēr pēc būtības nekas nav mainījies, un jebkuru aģentos balstīto modeli ir iespējams pievienot kādai no šīm klasēm. Turpinot iepriekšējā nodaļā aprakstīto Helbinga un Baliēti klasifikāciju, aģentos sakņoti inženieru imitācijas lietojumi var tikt iedalīti trīs grupās: fiziskie, ekonomiskie un sociālie modeļi (Helbing & Ballezzi, 2013). Vispārīgu klasifikāciju ir definējis arī Makals, kur ASM (un līdz ar to šīs pieejas modeļi) daļēji tiek klasificēti pēc aģentam un sistēmai kopumā piemītošajām īpašībām (Macal, 2016). Makala klasifikācija satur četras ASM grupas: individuālā ASM, autonomā ASM, interaktīvā ASM un adaptīvā ASM, kuras tiek iedalītas uz četrām parametru pamata: indivīda uzbūves, uzvedībām (dinamiskas vai iepriekš noteiktas), mijiedarbībām un adaptivitātes. Tomēr šajā klasifikācijā nav paredzētas homogēnas DAS, jo autors uz heterogenitātes jēdzienu raugās ļoti plaši, t.i., heterogēni aģenti ir arī tādi aģenti, kuriem atšķiras parametri. Šī klasifikācija arī neparedz dažādus modeļa struktūras veidus.

Gan pētot esošās klasifikācijas, gan apskatot vairāk kā 90 dažādus aģentos sakņotus modeļus, darba autore ir secinājusi, ka trūkst klasifikāciju, kas ļautu iedalīt lietojumus, raugoties no DAS viedokļa. Šādas klasifikācijas ļautu labāk aprakstīt aģentos balstītus modeļus, izstrādāt vadlīnijas, piemēram, piemērotu tīkla struktūru un aģentu uzbūves izvēlei, un identificēt modeļa vietu ASM telpā. Balstoties gan uz veikto aģentos sakņotu modeļu pētījumu, gan jau apskatītajām klasifikācijām, izstrādāts aģentos sakņotu modeļu iedalījums no DAS viedokļa.

Autores piedāvātā klasifikācija ir sastādīta vairākos līmeņos. Metalīmenī (1.3. attēls) tiek piedāvātas trīs klasifikācijas grupas: modeļa semantiku raksturojošās klasifikācijas, modeļa mikrolīmeni raksturojošās klasifikācijas un modeļa makrolīmeni raksturojošās klasifikācijas.

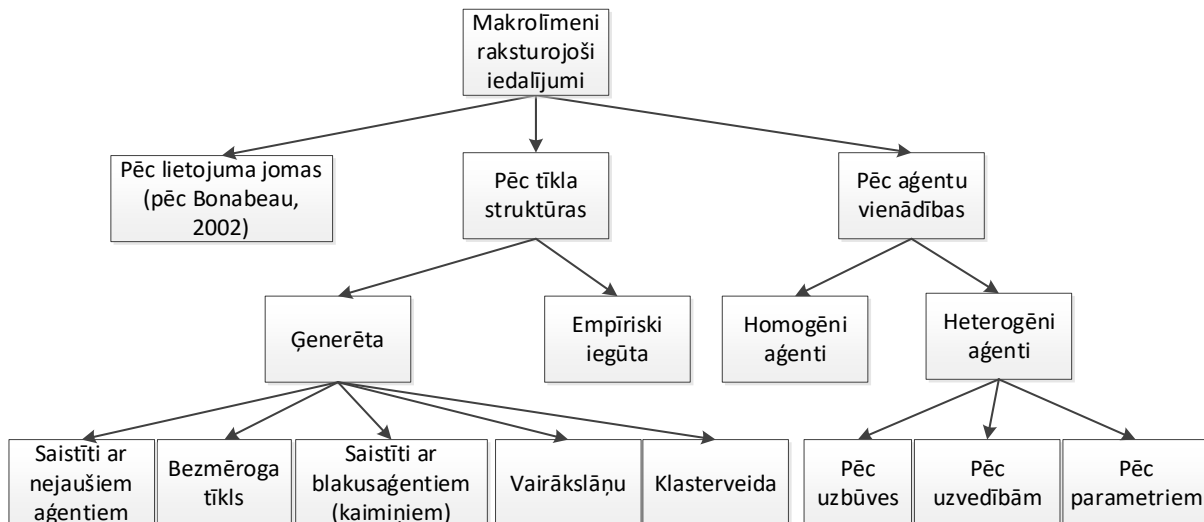


1.3. attēls. Klasifikācijas metalīmenis.

Šīs trīs grupas savā starpā daļēji pārklājas, tā kā semantiku raksturojošie iedalījumi ir pieskaitāmi vai nu mikrolīmenim, vai arī makrolīmenim. Makrolīmeni papildus raksturo aģentu

vide, tīkla struktūra un tas, vai aģenti ir homogēni. Mikrolīmeni papildus raksturo aģenta iekšējā uzbūve. Visas kategorijas, izņemot semantiku raksturojošās, ir balstītas uz iepriekš aprakstītajiem modeļa pamatelementiem (1.3. attēlā ar pārtrauktu līniju) (Macal & North, 2010).

Sistēmas makrolīmenī (1.4. attēls) pēc lietojuma jomas modeļu iedalījumam var izmantot jau eksistējošo Bonabeau klasifikāciju (Bonabeau, 2002).



1.4. attēls. Makrolīmeni raksturojoši iedalījumi.

Darbā nav izstrādāta detalizēta klasifikācija dalījumam pēc vides, tā kā šobrīd esošajās sistēmās tā aprobežojas ar rīkos piedāvāto vidi, piemēram, virtuālo telpu vai sociālās imitācijās bieži izmantoto režģi. Gadījumos, kad videi piemīt parametri, tos var uzskatīt par modeļa kopējiem parametriem, kas šeit nav izdalīts atsevišķi. Vairākos gadījumos aģenti ar vidi vispār nemijiedarbojas.

Pēc tīkla struktūras, pirmkārt, modeļus var iedalīt tādos, kur tīkla struktūras tiek ģenerētas, vai arī tādos, kur tās tiek empīriski iegūtas no jau eksistējošiem datiem (viens no piemēriem ir ārkārtas gadījumu komunikācijas un cietušo sadalīšana pa teltīm, kas ir modelēts, balstoties uz 2012. gada Nepālas zemestrīces datiem (Menth & Heier Stamm, 2015)). Arī šie empīriski iegūtie tīkli pēc struktūras atšķiras, taču nav būtiski, kā tos iedalīt, jo nav vajadzīgas vadlīnijas to ģenerēšanai: struktūra vienkārši atbilst reālajai. Savukārt ģenerētajos tīklos tīkla uzbūve ir atkarīga no jomas. Analizētajā literatūrā (1. pielikums) tika identificēti 5 ģenerēto veidu tīkli, kuru apkopojums parādīts 1.1. tabulā: aģenti saistīti ar nejaušiem aģentiem, bezmēroga tīkls, tuvāko kaimiņu struktūra, hierarhiskā jeb vairākslāņu un klasterveida struktūra. Jāpiebilst, ka ir gana daudz lietojumu (aptuveni 15% no apskatītajiem), kur aģenti viens ar otru nemijiedarbojas vispār, taču šāda klase DAS kontekstā zaudē savu jēgu, tādēļ nav pievienota klasifikācijai.

Nejauši saistītu aģentu struktūra tiek izmantota dažādu fenomenu pētīšanai, kur aģentu struktūrai nav jāatbilst kādam reālās dzīves tīklam. Šādu struktūru var ģenerēt, piemēram, norādot virsotņu un saišu skaitu. Bezmēroga tīkla struktūra ir struktūra, kurā lokālo pakāpju sadalījums ir dilstoša eksponente (Barabási, 2013). Šādu struktūru ir iespējams ģenerēt ar tām metodēm, kas tiek izmantotas nemērogotu tīklu ģenerēšanai, piemēram, Barabasi-Alberta

prioritātes pievienošanas algoritmu (Barabasi & Albert, 1999). Šī algoritma sākumā tiek dota sākotnējā virsotņu kopa un cik loku jābūt katrai pievienotajai virsotnei. Jo vairāk loku virsotnei jau ir, jo lielāka varbūtība, ka tai pievienosies arī jaunā virsotne. Vairākkārt pierādīts, ka šī struktūra atbilst dažādām dabīgajām struktūrām, tajā skaitā, sociālajiem tīkliem (Barabási, 2013). Tuvāko kaimiņu struktūras imitē tādus tīklus, kur ir nepieciešams, lai virsotnes atrastos noteiktā attālumā, piemēram, slimību izplatības tīklus. Šādu tīklu ģenerēšanai sākumā ģenerē virsotnes un tad ģenerē lokus (Eppstein et al., 1997). Visbeidzot, klastergrafi tiek izmantoti loģistikas ķēdēm, kur sākotnēji tiek ģenerēti atsevišķi klasteri, kas tiek savienoti (Schaeffer, 2007). Vairākslāņu struktūras faktiski ir klastergrafu paveids, kad vienā klasterī ietilpst citi.

1.1. tabula

Tīklu struktūras aģentos sakņotos modeļos

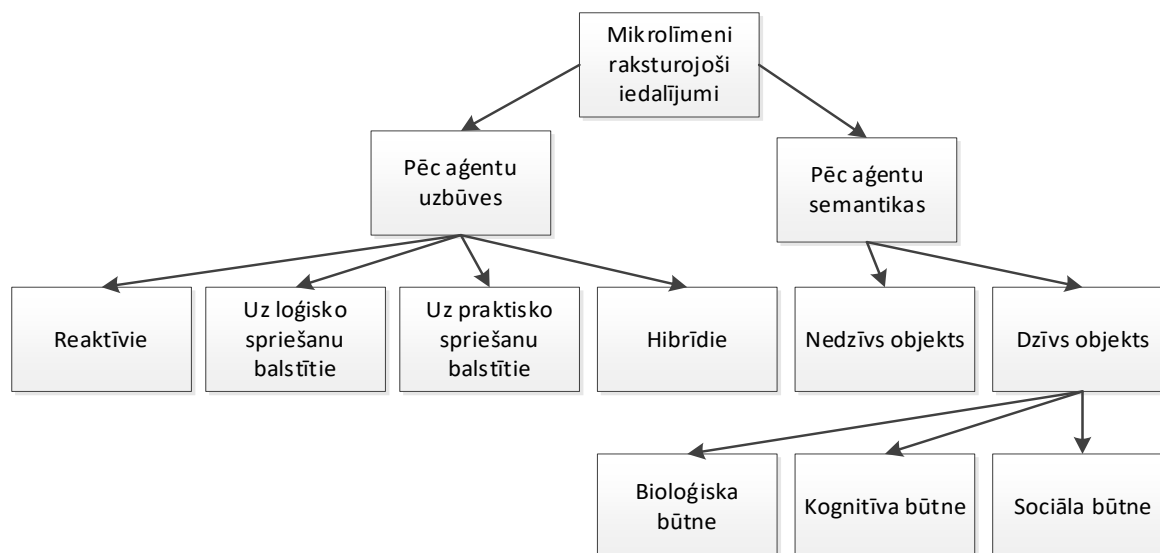
Tīkla struktūra	Vispārīgi – joma, kam izmanto no semantikas viedokļa	ASM lietojuma piemērs	Atbilstošais ģenerēšanas veids
Aģenti ir saistīti ar nejaušiem aģentiem	Mijiedarbību pētīšana	DAS teorētiskai pētīšanai: sāncensības un sadarbības protokolu imitēšanai (Bristow et al., 2014)	Specifisks modelis neeksistē; ģenerēšanai var tikt izmantoti algoritmi, kam jānorāda virsotņu un loku skaits.
Bezmēroga tīkla struktūra	Sociālo tīklu, tas ir, izplatības modelēšana – gan kognitīvā, gan bioloģiskā līmenī	Baumu izplatība sociālajā tīklā (Brooks et al., 2013)	Priekšrocības pievienošanas algoritms
Saistīti ar kaimiņiem	Sociālo fenomenu modelēšana, slimību modelēšana, plūsmas modelēšana, izplatības modelēšana ne sociālajos tīklos (piemēram, pūli)	Viedokļa veidošanās grupā (Ono et al., 2005)	Tuvāko kaimiņu algoritms vai struktūras ģenerēšana uz režģa pamata
Vairāklīmeņu/klasterveida	Organizāciju modelēšana, tehnisko sistēmu modelēšana; specifiskos gadījumos arī sociālo struktūru modelēšana	Loģistikas ķēžu drošības modelēšana (Chen et al., 2016)	Klastergrafu ģenerēšanas algoritmi

Pēc tā, vai aģenti savā starpā atšķiras, tos var iedalīt divās grupās: heterogēni un homogēni. Tā kā heterogenitātes definīcija ir plaša (Macal, 2016), šī kategorija iedalās vēl trijās grupās: aģenti var būt:

- heterogēni pēc uzbūves (piemēram, plūdu riska modelēšanai dažādi aģenti satur atšķirīgus spriešanas mehānismus (Linghu et al., 2013));
- heterogēni pēc uzvedībām (atšķiras šo aģentu uzvedības modeļi, piemēram, zivju modelēšana – daļa zivju ir plēsējas, daļa – “zālēdājas” (Sansores et al., 2011));
- heterogēni pēc parametriem (atšķiras aģentu parametri, piemēram, cilvēkam vai nu ir, vai nav nosliece sadarboties (Gautam et al., 2009)).

Modeļa semantika mikrolīmenī (1.5. attēls) raksturo, kāda ir aģenta semantiskā nozīme. Atkarībā no šīs nozīmes mainās aģenta parametri, kas var aprakstīt vienas un tās pašas parādības makrolīmenī. Viens no šādiem piemēriem ir satiksmes plūsmas modelēšana krustojumā. To ir iespējams modelēt vai nu no lēmumu pieņēmēja (cilvēka) viedokļa (parametrs: pacietība, gaidīšanas laiks u.tml.) (Jamshidnejad & Mahjoob, 2011), vai no sensoru viedokļa, kas tiek salikti krustojumā (Kaminski et al., 2016); abos gadījumos tiek modelēta plūsma, taču tiek

iegūti dažādi rezultāti. Šī iemesla dēļ aģenti ir iedalīti šādi: sākotnēji dzīvos un nedzīvos objektos, savukārt uz dzīvām būtnēm var skatīties no 3 dažādiem skatupunktiem: bioloģiska būtne (tādi parametri kā imunitātes līmenis, enerģijas daudzums u.tml.); kognitīva būtne (tādi parametri kā pacietības līmenis, iegūstamā lietderība u.tml.) un sociāla būtne (parametri kā vēlme sadarboties, tendence uztraukties u.c.).



1.5. attēls. ASM modeļu iedalījums mikrolīmenī.

Kā klasifikāciju pēc aģentu uzbūves autore ir izvēlējusies izmantot iepriekš aprakstītās aģentu arhitektūru kategorijas. ASM ļoti daudz tiek izmantoti aģenti, kas satur vienkāršus likumus (Wilensky & Rand, 2015): tād reaktīvie aģenti. Bieži tirgus izpētes modeļos aģenti balstās uz lietderību, piemēram, naftas cenu politikas modelī (Zhou & Mi, 2014); šie aģenti tiek uzskatīti par uz loģiku balstītiem. Uz praktisko spriešanu balstītie aģenti sastopami tiešā veidā kā BDI aģenti, bieži sociālajā imitācijā populācijas izmaiņu modelēšanai (Sajjad et al., 2015). Reti ir sastopamas vairāklīmeņu hibrīdās arhitektūras, tikai atsevišķās kognitīvās arhitektūrās (kā (Linghu et al., 2013) riska noteikšanai).

Augstāk aprakstītās sistēmu klases nav pilnībā savstarpēji saderīgas. Tādēļ autore, balstoties uz veikto literatūras analīzi, ir izveidojusi saderības matricu (1.6. attēlā).

Ar dažādu toņu pelēku krāsu atzīmētas tās kategorijas, kas atkārtojas, nav savienojamas, vai izslēdz cita citu, piemēram, ja aģents ir nedzīvs objekts, tas reizē nevar būt arī dzīvs. Taču, ja cilvēks ir modelēts kā kognitīva būtne, nav izslēgts, ka tam piemīt arī parametri, kas saistīti ar bioloģiju. Līdzīgi ir arī ar aģentu dažādību, aģents nevar būt homogēns un heterogēns, taču tas var būt heterogēns vairākās kategorijās.

Ar “0” matricā apzīmēti tie varianti, kuriem literatūrā netika atrasts pamatojums – ne citu autoru pētījumos, ne autores apkopotajos modeļos, vai arī tika atrasta informācija, ka šie varianti nav saderīgi. Ar “1” apzīmēti varianti, kas ir izmantoti reti (zem 10% gadījumu), savukārt ar “2” – varianti, kuriem tika atrasti vairāki atbilstoši praktiski eksistējoši vai teorētiski modeļi (no 10 līdz 50%). Visbeidzot, ar “3” ir atzīmētas “labās prakses” – ar baltu krāsu tie

varianti, kas tika identificēti virs 50% imitācijas modeļu, ar dzeltenu – kombinācijas, kas citu autoru pētījumos atzītas par saderīgām.

	Plūsma	Organizācija	Izplatība	Tirgus analīze	Ģenerēta: saistīti nejauši aģenti	Ģenerēta: priekšrocības pievienošana	Ģenerēta: saistīti blakusaģenti (kaimiņi)	Ģenerēta: vairākslāņu	Ģenerēta: klasterveida	Empīriski iegūta	Homogēni	Heterogēni pēc uzbūves	Heterogēni pēc uzvedības	Heterogēni pēc parametriem	Reaktīvi aģenti	Uz loģisko spriešanu balstīti aģenti	Uz praktisko spriešanu balstīti aģenti	Hibrīdie aģenti	Nedzīvs objekts	Dzīvs objekts kā kognitīva būtne	Dzīvs objekts kā bioloģiska būtne	Dzīvs objekts kā sociāla būtne
Plūsma					1	3	3	0	1	3	2	1	2	3	3	1	2	0	2	3	1	1
Organizācija					2	0	1	3	3	3	2	1	2	2	3	2	2	1	2	3	1	2
Izplatība					2	3	3	0	1	3	1	2	3	3	3	2	2	1	2	3	2	2
Tirgus analīze					1	1	1	3	3	3	1	3	2	1	2	2	2	1	3	3	0	1
Ģenerēta: saistīti nejauši aģenti											2	2	2	3	2	2	2	1	2	3	1	2
Ģenerēta: bezmēroga tīkls											1	0	1	3	2	2	2	1	1	2	1	3
Ģenerēta: saistīti kaimiņi											2	1	2	3	3	2	2	0	2	3	3	3
Ģenerēta: vairākslāņu											2	0	2	3	2	2	2	0	3	3	1	2
Ģenerēta: klasterveida											2	2	3	3	3	2	2	1	2	3	2	2
Empīriski iegūta											1	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3
Homogēni															2	2	2	0	2	2	2	1
Heterogēni pēc uzbūves													2	3	3	2	2	2	3	3	0	2
Heterogēni pēc uzvedības													3	3	3	2	2	1	2	3	2	2
Heterogēni pēc parametriem															2	2	2	1	2	3	2	2
Reaktīvi aģenti																			2	3	2	2
Uz loģisko spriešanu balstīti aģenti																			2	3	1	2
Uz praktisko spriešanu balstīti aģenti																			2	3	1	2
Hibrīdie aģenti																			2	2	2	0
Nedzīvs objekts																						
Dzīvs objekts kā kognitīva būtne																					1	3
Dzīvs objekts kā bioloģiska būtne																						1
Dzīvs objekts kā sociāla būtne																						
	Apzīmējumi:																					
	0	nesader vai šādā kontekstā netiek izmantoti																				
	1	tiek izmantoti specifiskos gadījumos (zem 10% gadījumu)																				
	2	tiek izmantoti (kombinācija atrasta 10%-50% gadījumu)																				
	3	ir t.s. labā prakse: atrasts virs 50% gadījumu																				
	3	ir t.s. labā prakse: pamatojums atrasts citos pētījumos																				
		atkārtošanās																				
		kategorijas, kuras izslēdz cita citu																				
		galvenā diagonāle																				

1.6. attēls. Modeļu kategoriju saderības matrica.

Balstoties uz izstrādāto saderības matricu, var konstatēt arī vispārīgas tendences, piemēram, ir redzams, ka hibrīdie aģenti tiek izmantoti reti, kas skaidrojams ar to, ka parasti aģentos sakņotos modeļos aģentu uzbūve ir vienkārša, jo tai jābūt caurskatāmai. Skaidri var redzēt arī to, ka aģenti, neatkarīgi no tīkla struktūras ir heterogēni pēc parametriem, un ka aģenti bieži tiek modelēti tieši kā kognitīvas būtnes, kas pieņem lēmumus. Jāpiebilst, ka, lai arī lietojumos tiek kombinēti aģenti, kas reprezentē gan dzīvas, gan nedzīvas būtnes, tomēr nevienā gadījumā vienam aģentam nav šīs abas lomas.

Promocijas darbā tiek apskatīti tie lietojumi, kur cilvēks ir sociāla vai kognitīva būtne. Izstrādātā klasifikācija ir noderīga kā palīgmateriāls aģentos sakņotu modeļu izstrādei. Šobrīd izmantotās aģentos sakņotu modeļu veidošanas metodoloģijas ir vispārīgas un neietver specifiskas vadlīnijas, tādēļ sākot veidot modeli principā ir skaidra tikai darbību secība. Saskaņā ar autores veidoto klasifikāciju, aģentos sakņotus modeļus var konstruēt, izmantojot labās prakses. Tā, piemēram, zinot, ka promocijas darbā tiek veidoti aģenti, kas imitē cilvēku kā sociālu un kognitīvu būtni, var secināt, ka lielam lietojumam būs bezmēroga vai kaimiņu tīkla struktūra. Turklāt matrica ļauj izvēlēties piemērotu tīkla struktūru, aģentu veidus (heterogēni) un aģentu arhitektūras.

1.5. Cilvēku grupas uzvedības imitācija ar ASM palīdzību

Iepriekšējā apakšnodaļā jau identificētas kategorijas, kurām pieder cilvēka uzvedības modelēšana, kā arī labās prakses, kas tiek izmantotas ASM lietojumos. Cilvēka kā sociālas un kognitīvas būtnes imitēšana, atšķirībā no cita veida aģentiem, ietver vēl papildus izaicinājumus, kas ir saistīti gan ar psiholoģiju un socioloģiju: izprašanu, kāpēc cilvēks uzvedas konkrētā veidā un empīrisku datu ievākšanu, gan ar datorzinātni: empīrisko zināšanu formalizēšanu un validāciju (Kennedy 2012; Lee & Malkawi 2013).

Kenedijs ir atzīmējis trīs cilvēka uzvedībai raksturīgās iezīmes, kas jāņem vērā, veidojot modeli (Kennedy, 2012):

- cilvēks darbības neveic nejauši, tas ir, tās ir pamatotas vai nu izzināšanas, vai arī emocijās sakņotos procesos;
- cilvēki atšķiras savā starpā – lai arī kognitīvā un fiziskā uzbūve ir līdzīga, tomēr personība, pieredze u.c. raksturojumi nosaka to, ka sistēma ir heterogēna;
- cilvēki nav pilnībā racionāli šī jēdziena klasiskajā interpretācijā, respektīvi, cilvēka uzvedību veido ne vien loģiskā spriešana un aprēķins, bet arī emocijas un intuīcija.

Ne visas sistēmas ņem vērā šīs iezīmes, bieži cilvēki ir modelēti vai nu kā homogēnas būtnes, vai arī tiek ignorētas emocijas; cilvēku izvēle reizēm tik modelēta kā nejaušība. Šāda problēma rodas vairāku iemeslu dēļ: pirmkārt, cilvēka emocijas un spriešanas mehānismus ir grūti formalizēt un ietvert modelī, otrkārt, tas, cik detalizēti cilvēku ir iespējams modelēt, atkarīgs no aģentu skaita sistēmā (t.i., nepieciešamās skaitļošanas jaudas).

Cilvēku no sociālā un kognitīvā viedokļa var modelēt kā lielas sabiedrības locekli, kā dalībnieku nelielā grupā un visbeidzot, kā indivīdu (Kennedy, 2012). Lai arī teorētiski visos cilvēka uzvedības modeļos būtu jāietver Kenedija definētās iezīmes, tomēr praktiski tam ir šķēršļi, kas saistīti ar tālāku modeļu pētīšanu. Individuālā līmenī cilvēku pēta gan teorētiski no

jau iepriekš pieminēto aģentu arhitektūru skatupunkta kopumā, gan arī jau specifiskāk, modelējot tieši cilvēka uzvedību (Gratch & Marsella, 2004); šajā gadījumā aģenta darbības ir pamatotas, tas nav tikai racionāls, un tam var piemist parametri, kas to atšķir no citiem aģentiem. Tieši pretēji, sabiedrības pētīšana, kas ietver pūļa un tā mijiedarbības mehānismu modelēšanu (Park et al., 2016), viedokļa veidošanos (Ono et al., 2005), sociālo tīklu modelēšanu (Kaligotla et al., 2015), bieži vien izmanto vienkāršus iekšējos mehānismus un mijiedarbības. Lai arī tas palielina modeļa atkārtojamību un caurskatāmību, tomēr zūd kopējā atbilstība sarežģītākai uzvedībai.

Mazas grupas modelēšanā viens no svarīgākajiem faktoriem ir aģentu mijiedarbības; tā ietver arī ticama individuālā aģenta uzvedības modeļa un arhitektūras veidošanu, līdzīgi kā individuālajā līmenī (viens no šādiem piemēriem ir ALMA sistēma, kas sastāv no diviem aģentiem (Gebhard, 2005)). Arī sabiedrības līmenī realitātei atbilstošu mijiedarbību un aģentu izveide ļautu iegūt realitātei atbilstošus rezultātus. Mazu grupu modeļu salīdzinājumā ar citiem ir maz, un pamatā tie ir izmantoti tieši mijiedarbību pētīšanai (Bristow et al., 2014). Kopsavilkums par visiem 3 modeļu veidiem atrodams 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Cilvēka kā sociālas un kognitīvas būtnes modelēšana

Modelēšanas līmenis	Mērķis	Aģenta uzbūve	Mijiedarbības	Semantikas piemērs
Individuāli	Pēc iespējas precīzāk atveidot uzvedību mikrolīmenī	Sarežģīta, slāņaina	Praktiski nav	Aģents kā indivīds
Maza grupa	Pēc iespējas precīzāk attēlot mijiedarbības	Kāda no spriestspējīgām arhitektūrām	Pilnīgas	Mājsaimniecība, neliels darba kolektīvs
Sabiedrība	Modelēt makroprocesus	Parasti reaktīva	Vienkāršas	Pūlis, lielapjoma imitācijas

Vairākkārt dažādu autoru darbos ir parādījis tas, ka cilvēku vislabāk modelēt ar ASM pieejām (Macal 2016; Kennedy 2012; Bonabeau 2002). Papildus ASM vispārīgajām priekšrocībām, kas aprakstītas šīs nodaļas 3. apakšnodaļā, Lī un Malkavi literatūrā identificējuši šādus iemeslus, koncentrējoties tieši uz cilvēkiem (Lee & Malkawi, 2013):

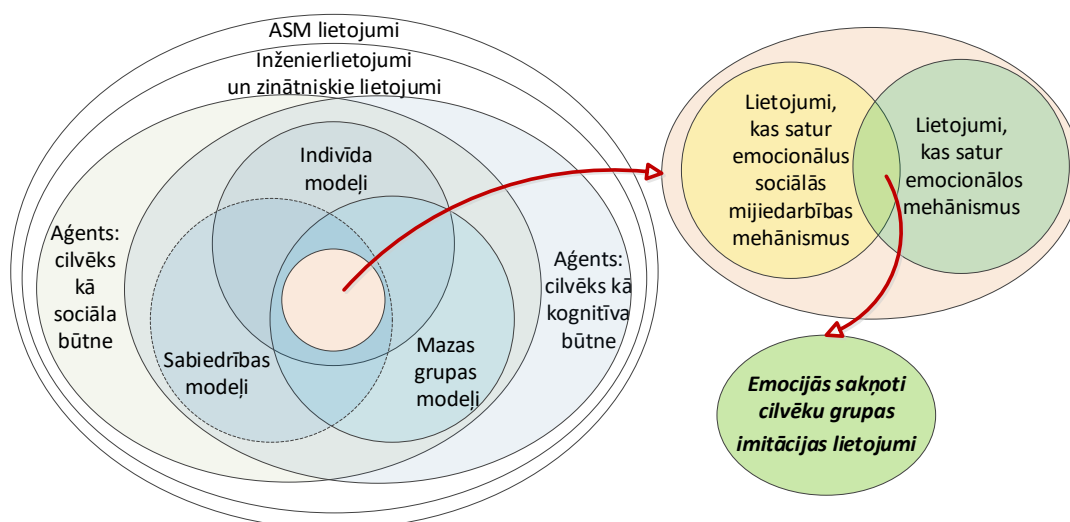
- ASM ļauj modelēt visus uzvedības aspektus, atšķirībā no VSM;
- ASM ļauj aģentiem pieņemt lēmumus un komunicēt lēmumu pieņemšanas procesā;
- ASM ērti ļauj izmantot dažādas metodes nenoteiktības modelēšanai (piemēram, nestrikto loģiku).

Papildus tam, ASM ļauj modelēt cilvēku piecās abstraktajās dimensijās, kuras definējis Kenedijs: informācijas apstrāde, motivācija, racionalitāte, emocionalitāte, socialitāte (Kennedy, 2012).

1.7. attēlā ir redzama promocijas darba pētījuma un lietojuma vieta ASM telpā. Promocijas darba pētījums attiecas uz inženierlietojumiem un zinātniskajiem lietojumiem, tikai minimālu uzmanību pievēršot modeļa vizualizācijai. Aģents pētījuma ietvaros ir cilvēks kā kognitīva un

sociāla būtne, kur emocijas tiks ņemtas vērā kā papildus parametrs. Lai arī pētījuma rezultāti ir demonstrēti un var tikt izmantoti arī lielāka apjoma imitācijas modeļos, tomēr galvenokārt pētījuma fokuss ir tieši uz individuālajiem un mazās grupas modeļiem (1.7. attēlā tādēļ šie modeļi apzīmēti ar nepārtrauktu līniju, kamēr sabiedrības modeļi – ar pārtrauktu līniju) – saskaņā ar to, kam izmanto DAS kopumā. Visbeidzot, sašaurinot uzmanību uz tiem aģentos sakņotiem imitācijas modeļiem, kas ietver emocijas, ir svarīgi tas, ka emocijās sakņoti cilvēku grupas uzvedības imitācijas lietojumi atrodas krustpunktā starp lietojumiem, kas satur emocionālos un ar emocijām saistītos sociālos mehānismus.

Lai modelētu grupu, aģentiem ir nepieciešamas (1) emocionālās spējas viena aģenta ietvaros (mikrolīmenī), (2) emocionālās spējas mijiedarbības mehānismos, tas ir, aģentam jāspēj interpretēt emociju ziņojumus makrolīmenī. Šie mehānismi ir izmantoti par pamatu promocijas darba pētījumā un lietojuma izstrādē.



1.7.attēls. Emocijās sakņotu cilvēku grupas imitācijas lietojumu joma ASM telpā.

1.6. ASM modeļu izstrādes vides

Lai vienkāršotu DAS izstrādi dažādiem mērķiem, eksistē atšķirīgu sarežģītības līmeņu izstrādes platformas – gan specifiski ASM (Railsback, 2006), gan DAS kopumā (Leon et al., 2018).

Makals un Norss vides un rīkus ir iedalījis trīs lielās grupās: darbvirsmas skaitļošanas lietojumos, lielizmēra aģentu izstrādes vidēs un vispārīgās programmēšanas valodās (Macal & North, 2014). Pēc autores domām, šī klasifikācija nav pilnīga, jo tā neietver DAS izstrādes platformas, kas faktiski tiek izmantotas ASM modeļu izstrādē, tāpēc autore piedāvā pievienot vēl vienu klasi, rezultātā iegūstot četras kategorijas.

1. Darbvirsmas programmas. Īpašas vides specifiskām jomām, piemēram, baktēriju populācijas modelēšanai (Goroehowski et al., 2012)); izklājlapu programmatūras; MATLAB; Mathematica u.c. (Macal & North, 2014).
2. Lielizmēra aģentos balstītu modeļu izstrādes platformas: NetLogo, MASON, RePast, SWARM (Macal & North, 2014).

3. DAS izstrādes platformas: balstītas Java valodā (JADE, Jadex, Jason u.c. (Kravari & Bassiliades, 2015)), vai pēdējos gados attīstījušās un balstītas Python, piemēram, PADE⁷.

4. Vispārīgās programmēšanas valodas: Java, C++ (Macal & North, 2014), Python.

Tā kā promocijas darba ietvaros izstrādāto lietojumu nākotnē ir paredzēts izmantot ne tikai modelēšanai, bet arī citiem mērķiem (piemēram, intelektuālā mācību sistēmā), un nākotnē savietot vienā DAS ar cita veida aģentiem (piemēram, aģentu, kas izvēlas pedagoģisko stratēģiju), ir svarīgi spēt sazināties ar šiem aģentiem. Tādēļ saderība ar FIPA ACL ir būtiska modeļa izstrādei. Turklāt darbvirsma programmās aģentu izstrāde prasa darba virstēriņu (t.i., nav jau gatavu metožu, kas ļautu implementēt aģentus), turklāt tām nav būtisku priekšrocību, salīdzinājumā ar citām vidēm

Pēc jau iepriekš apskatītajām sistēmas īpašībām FIPA nesaderības iemeslu dēļ jāatmet 1. un 4. grupa; rezultātā paliek divas iespējas: izvēlēties rīkus, kas ir paredzēti tieši ASM, vai arī rīkus, kas ļauj implementēt DAS mehānismus, taču nav specifiski paredzēti imitācijai.

Speciāli aģentos sakņotai imitācijai paredzētās vidēs ir vairākas komponentes, kas atvieglo darbu, taču to iespējas var būt ierobežotas. Klasiski aģentos sakņota imitācija ir paredzēta lielu lietojumu implementācijai bez iespējām ieviest mijiedarbību protokolus. Šādi rīki ir, piemēram, NetLogo (Wilensky & Rand, 2015) un RePast (North et al., 2008), un, saskaņā ar autores veikto pētījumu (kopsavilkuma tabula atrodamā promocijas darba 1. pielikumā), tiek bieži izmantoti ASM lietojumos.

DAS izstrādes platformas ir starpprogrammatūra, kas ļauj implementēt DAS. No šīs kategorijas ASM lietojumos pamatā tiek izmantota JADE (Bellifemine et al., 2007).

Lai veiktu salīdzinājumu par autori nepieciešamo vidi, par pamatu ir ņemts Kravari un Basiliadesa 2015. gadā veiktais pētījums par DAS izstrādes platformām (Kravari & Bassiliades, 2015). Sīkākai analīzei tiek apskatīti rīki pēc šādiem kritērijiem:

1. Autores veiktajā pētījumā ir atkārtājušies vairāk nekā vienu reizi. Šī pieeja ļauj atnest rīkus, kas netiek izmantoti ASM implementēšanai un rīkus, kas ir specifiski tieši viena veida sistēmām;
2. Rīki, kas saskaņā gan ar Kravari un Basiliadesa pētījumu, gan ar autores pētījumu (kopsavilkuma tabula atrodamā promocijas darba 1. pielikumā), tiek plaši izmantoti. Šis arguments lielā mērā ir praktisks, un nodrošina izstrādes dokumentācijas esamību un faktu, ka programmatūra tiek uzturēta.

Pēc pirmā kritērija ir atlasītas šādas platformas: JACK, JADE, Jadex, Jason, NetLogo; savukārt, pēc otrā: JADE, NetLogo, RePast; rezultātā sīkākai analīzei ir izvēlēti trīs lietojumi, kas iekļaujas abās grupās: JADE, NetLogo, RePast. Kopš promocijas darba pētījuma izstrādes strauji auguši arī *Python* balstītie DAS programmēšanas ietvari. Promocijas darba autore šos risinājumus, piemēram, PADE un SPADE ir pārskatījusi, taču nav konstatējusi tik būtiskas priekšrocības, lai pārstrādātu tās promocijas darba daļas, kas attiecas uz promocijas darba

⁷ Informācija par PADE pieejama vietnē <https://pypi.org/project/pade/>

rezultātu validāciju (Melo et al., 2019). Savukārt, Jason ir balstīts uz specifiski aģentiem izstrādātu loģiskās programmēšanas valodu AgentSpeak (Bordini et al., 2007).

JADE⁸ ir starpprogrammatūra, kas ir pilnībā implementēta Java programmēšanas valodā un kas satur gan pakotnes aģentu implementēšanai, gan arī vizuālos rīkus, kas atvieglo gan DAS izstrādi, gan administrēšanu (Bellifemine et al., 2007). JADE ir atvērta, nav ierobežojumu attiecībā uz operētājsistēmu, un tā ir gan brīvi pieejama, gan saderīga ar FIPA standartiem, gan labi dokumentēta. Vienā no apskatītajiem ASM modeļiem, kas implementēti, izmantojot JADE, ietvars tiek veiksmīgi izmantots, lai modelētu komandas darbu nelielā grupā (Crowder et al., 2012).

RePast ir plaši izmantots aģentos sakņotu modeļu izstrādes rīks (North et al., 2008), kuram 2016. gadā ir izveidota versija arī lielapjoma modeļu veidošanai uz augstas veiktspējas skaitļotājiem⁹.

NetLogo¹⁰ ir šobrīd visplašāk izmantotais aģentos sakņotu modeļu izstrādes rīks, kas ļauj cilvēkam ar neredz zinašanām veidot aģentos sakņotus modeļus (Wilensky & Rand, 2015). Tas jau satur šablonus dažādās jomās, piemēram, bioloģijā, ekonomikā u.c. Arī NetLogo ir brīva piekļuve un tas nav komerciāls. NetLogo izmanto NetLogo loģikas valodu.

Atlasītās platformas salīdzinātas pēc šādiem kritērijiem, kas noteikti iepriekš un izriet gan no literatūras analīzes, gan no promocijas darbā izstrādājamās sistēmas īpašībām, gan arī no praktiskās implementācijas ērtības (rīku salīdzinājums pēc kritērijiem apkopots 1.3. tabulā):

- saderība ar Windows operētājsistēmu praktisku apsvērumu dēļ;
- pieejamība, lai izstrādātā sistēma būtu publiskojama bez autortiesību problēmām;
- saderība ar FIPA, lai, nav atkārtoti jāizstrādā aģentu ziņojumu ietvari;
- mērogojamība: lai arī promocijas darbā paredzētie rezultāti ir sākotnēji domāti mazas grupas imitēšanai, tomēr var rasties situācija, kad ir jāpievieno vairāk aģentu;
- interpretācijas iespēju implementācija, izmantojot vidē jau esošus interpretācijas mehānismus, tas ir, lai nav atsevišķi jāimplementē daļa, kas aģentiem ļauj atšifrēt ziņojumu semantisko jēgu.

1.3. tabula

DAS izstrādes platformu un rīku salīdzinājums ASM kontekstā

Platforma	Saderība ar Windows operētājsistēmu	Nekomerciāls un brīvi pieejams	Saderība ar FIPA	Mērogojamība	Interpretāciju iespējas
JADE	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā, ontoloģiju veidā
NetLogo	Jā	Jā	Nē	Daļēja	Nē, nav tiešas savietojamības ar dažādām interpretācijām
RePast Suite/RePast Large	Jā/Jā	Jā/Jā	Nē	Nē/Jā	Nē, nav tiešas savietojamības ar dažādām interpretācijām

⁸ JADE pieejama vietnē <http://jade.tilab.com/>

⁹ Abi RePast rīki pieejami vietnē <https://repast.github.io/>

¹⁰ NetLogo pieejams vietnē <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Pēc izvirzītajiem kritērijiem JADE ir vislabākais rezultāts, kā dēļ šis ietvars izvēlēts arī promocijas darba lietojuma izstrādē.

1.7. Kopsavilkums un secinājumi

Promocijas darba 1. nodaļā apskatīti ar ASM saistīti jēdzieni: aģents un emocijās sakņots aģents, DAS, aģentu komunikācijas mehānismi un ontoloģijas. Vēlāk pamatota ASM izvēle cilvēku grupas uzvedības modelēšanai, aprakstot tās priekšrocības un trūkumus. Darba autore izpētījusi plašu aģentos sakņotu modeļu klāstu, kā rezultātā definēta to klasifikācija no DAS viedokļa un izstrādāta klašu saderības matrica. Nodaļā apskatīta arī tieši cilvēku grupas modelēšanai izmantoto ASM modeļu īpatnības, kā arī izvērtētas ASM modeļu izstrādes vides promocijas darba kontekstā.

Nodaļas **rezultāti**, kas autorei tālākajā darba izstrādē sniedz gan praktiskas, gan teorētiskas vadlīnijas, ir (a) ASM klasifikācija un (b) uz pētījumu balstītā klašu saderības matrica. Šī rezultāta nozīme ir divējāda:

1. tas ļāvis identificēt promocijas darba vietu ASM telpā, definējot, ka tā ir mazo grupu kontekstā. Pētījumā un projektējuma izstrādē uzmanība jāpievērš individuāla aģenta uzbūvei, bet īpaši – mijiedarbībām starp šiem aģentiem, tā kā šobrīd interpretācija un citas ar emocijām saistītās mijiedarbības bieži tiek ignorētas;
2. matrica atvieglojusi tālāko darbu, atrisinot dažādus ar projektēšanu saistītus jautājumus, piemēram, aģenta arhitektūras izvēli un aģentu komunikācijas struktūras izvēli.

Nodaļā ir gūti šādi **secinājumi**:

- Tā kā emocijās sakņotam aģentam piemīt racionālās spriešanas īpašības, to projektēšanā un izstrādē ir izmantojamas racionālu aģentu projektēšanas metodes un arhitektūras.
- Ņemot vērā dažādu arhitektūru priekšrocības un trūkumus, kā arī emociju modelēšanas īpatnības, piemērotākais arhitektūru veids emocijās sakņotiem aģentiem ir slāņveida arhitektūras.
- Balstoties uz ASM un DAS paradigmu izpēti var secināt, ka cilvēku grupu vislabāk modelēt, lietojot DAS izmantotos aģentu mijiedarbības mehānismus un ontoloģijas; šādi var iegūt realitātei atbilstošāku uzvedību.
- Dažādu emociju interpretāciju implementācijas nolūkā aģentiem būs vajadzīga dalītā ontoloģija, t.i., tāda, kas atļauj atšķirīgu ziņojumu interpretāciju.
- Lai veicinātu aģentu atkārtotu izmantošanu, jāizmanto komunikācijas valoda FIPA ACL, saderība ar kuru ir būtiska prasība izstrādes videi.
- Balstoties uz izvirzītajiem kritērijiem, promocijas darba prasībām atbilst JADE izstrādes vide.
- Nodaļā skarta viena no būtiskākajām ASM problēmām – modeļa validācija. Ir secināts, ka tad, ja modeļa rezultāti atbilst iecerētajai uzvedībai, tā ir 3. tehnoloģijas gatavības pakāpe – koncepta pierādījums.

Nākošajā nodaļā apskatīta individuāla aģenta modelēšana jeb mikrolīmenis, savukārt trešajā nodaļā – grupas modelēšana jeb makrolīmenis.

2. CILVĒKA EMOCIONĀLO PROCESU IMITĒŠANA

Cilvēka imitēšana nav iedomājama ne vien bez datorzinātnes, bet arī bez psiholoģijas pētījumiem. Līdz ar to šī nodaļa ir starpdisciplināra un satur gan tos psiholoģijas konceptus un teorijas, kas nepieciešami cilvēka emocionālā stāvokļa aprakstīšanai, gan pētījumu par jau eksistējošām emocijās sakņotām izstrādēm datorzinātnē.

No psiholoģijas viedokļa nodaļas sākumā ir paskaidrota emociju nozīme cilvēka lēmumu pieņemšanā un citos racionālajos procesos, kā arī definētas emociju lomas jeb emociju funkcijas. Tālāk nodaļā ir aprakstītas emociju teorijas un citi ar tām saistītie koncepti (piemēram, emociju intensitāte) un to modelēšana. Emocijas šajā promocijas darbā tiek definētas kā īstermiņa emocionālie stāvokļi (Hudlicka 2011, Gebhard 2005). Jāņem vērā, ka ar terminu emocionālais stāvoklis (angļu val. *affective state*) apzīmē ne vien emocijas to klasiskajā izpratnē, bet arī citus īstermiņa emocijas ietekmējošos faktorus, t.sk., noskaņojumu un personību. Noskaņojums ir vidēji ilgstošs emocionālais stāvoklis (Hudlicka 2011, Gebhard 2005). Personība ir iezīmju jeb faktoru kopa, no kuriem daļa ietekmē emocionālo stāvokli ilgtermiņā (Hudlicka 2011, Gebhard 2005).

Balstoties uz psiholoģijas pētījumiem, jau ir izstrādātas gan emociju modelēšanas metodes dažādu emocionālo stāvokļu izraisīšanai un emociju dinamikas aprēķinam aģentos, gan arī to integrācija ar dažādām aģentu arhitektūrām. Emocijās sakņotu aģentu arhitektūru galvenais uzdevums ir emocionālo un racionālo procesu saistīšana. Nodaļā aprakstīts veiktais pētījums par esošajām emocijās sakņotu aģentu arhitektūrām.

2.1. Emociju nozīme cilvēka domāšanā

Ilgu laiku emocijas ir raisījušas pretrunīgas diskusijas. Lai arī emociju nozīme cilvēka dzīvē, sākot ar privāto dzīvi un beidzot ar profesionālo karjeru, nekad nav tikusi noliegta, tomēr uz tām raudzījās kā uz negatīvu racionālas domāšanas blakusefektu. Attiecībā uz emocijām ilgu laiku valdīja aizspriedums, ka tās ir “nezinātniskas”, jo ar tām saistītie pētījumi balstījās un vēl arvien balstās uz novērojumiem, nevis analīzi vai izskaitļošanu (van Kleef, 2016).

Līdz ar psiholoģijas attīstību aizpagājušā gadsimta vidū interese par emociju nozīmi nenoliedzami ir pieaugusi – sākotnēji ar mērķi izprast cilvēka uzvedību un domāšanu emociju ietekmē. Tomēr, ja agrāk pētījumi tika fokusēti uz to, kā no emocijām atbrīvoties un nepieļaut to negatīvo ietekmi, tad šobrīd tās tiek uzskatītas par būtisku intelekta sastāvdaļu un pētījumi ir virzīti uz emociju izmantošanu labākai domāšanai un mijiedarbībai starp cilvēkiem. Par vienu no galvenajām emociju iedarbībām tiek uzskatīta to nozīme iespējamo risinājumu daudzuma samazināšanā. Ir nenoliedzami, ka cilvēka prāts spēj tikt galā ar milzīgu daudzumu informācijas, ātri un vienkārši sašaurinot iespējamo risinājumu telpu, kas reālās pasaules situācijās bieži vien ir ļoti sarežģīta. Mākslīgais intelekts ir mēģinājis imitēt šāda tipa domāšanu, izmantojot heuristiku kā mēru, ar kura palīdzību nogriezt zarus, kuri izskatās neperspektīvi. Tiek uzskatīts, ka emocijas cilvēkam kalpo kā šāda heuristika (Picard, 1997). Damasio izdarītie eksperimenti liecina, ka cilvēki, kuriem fiziski tiek liegta spēja izjust emocijas (t.i., ir bojāts smadzeņu reģions, kurā tās rodas), mēdz pieņemt lēmumus ar negatīvām sekām (Damasio,

1994), turklāt var secināt, ka iemesls tam ir nespēja izslēgt nevēlamos stāvokļus – tas ir, cilvēkam trūkst kapacitātes racionāli izskatīt visus esošos stāvokļus, un nav arī heirstikas, ar kuras palīdzību samazināt to daudzumu. Pikarda (Picard, 1997) apraksta situāciju, kad šādi cilvēki turpina nesekmīgi ieguldīt naudu – cilvēks nespēj racionāli analizēt visas izmaiņas biržā, bet trūkst emociju, piemēram, kauna un dusmu, klātbūtnes, kas palīdzētu izvērtēt un izslēgt neperspektīvos stāvokļus. Emocijām ir pozitīva nozīme arī cilvēku savstarpējās attiecībās – cilvēku novērtēšana pēc būtības atkal ir sarežģīta problēma, kuru risina, pamatā balstoties uz emocijām (Picard, 1997). Emocijas arī ietekmē atmiņu: tie notikumi, kas saistīti ar stiprām emocijām, paliek atmiņā labāk, tādējādi palīdzot mācīties (Picard, 1997). Var secināt, ka emocijām ir ļoti būtiska loma gan notikumam apstrādē, gan arī apmācībā, gan citos, kā tika tradicionāli uzskatīts, stingri racionālos procesos. Tomēr, līdzīgi kā visiem cilvēkiem nav vienāda līmeņa racionālais intelekts, tāpat arī ne visi ir dabiski apveltīti ar spēju atpazīt, vadīt un izmantot savas emocijas. Šie apsvērumi ir ļāvuši attīstīties intelekta definīcijai.

20. gs. arvien vairāk zinātnisko un populārzinātnisko darbu veltīti atziņai, ka intelekts nesastāv tikai no racionālās domāšanas, bet satur arī citas iedzimtas prasmes. No šādas idejas ir dzimusi daudzkārsā intelekta (no angļu val. *multiple intelligence*) teorija, kas iekļauj pat astoņus intelekta veidus (2.1. attēlā, ar krāsām parādītas tās daudzkārsā intelekta komponentes, kas citos avotos definētas kā emocionālais intelekts) (Gardner, 1987). Lai arī daudzkārsā intelekta teorija psihologu un pedagogu sabiedrībā ir tikusi plaši apspriesta un saņēmusi kritiku par to, ka tajā izdalītie intelekta veidi nav objektīvi un zinātniski pamatoti (McGreal, 2013), tomēr tālāki uz šīs teorijas balstīti pētījumi ir pierādījuši, ka, lai arī intelekts var nesastāvēt no tieši šīm 8 komponentēm (atkarībā no tā, kā definē terminu “intelekts”), tomēr ideja par vairāku komponentu intelektu ir korekta. Turklāt ir nenoliedzami, ka intelekts sastāv no vismaz divām komponentēm: emocionālā un racionālā intelekta (Matthews et al., 2002).

Verbālais/ lingvistiskais	Loģiskais/ matemātiskais	Vizuālais/ telpiskais	Muzikālais/ ritmiskais	Ar ķermeni saistītais/ kinestētiskais	Emocionālais intelekts		Dabas
					Iekšējais	Starp cilvēku/ sociālais	
Efektīva valodas izmantošana, Humors, Izskaidrošana, Mācīšana, Mācīšanās	Efektīva skaitļu izmantošana, Cēloņseku izpratne, Loģika	Spēja vizualizēt, Telpiskuma izjūta, Formu, līniju un orientācijas izpratne, Iztēle	Melodijas izpratne, Ātruma un tempa izpratne, Muzikālā dzirde, Ritmiskums	Koordinācija, Lokanums, Līdzvars, Ķermeņa izpratne, Ātrums	Pašizpratne, Noskaņojums, vēlmēs, nolūki, Spēja koncentrēties, Spēku un vājumu izpratne	Komunikācijas spējas, Citu emociju saprašana, Atbildēšana efektīvi, Empātija, Spēja kooperēties	Ekoloģiskā ekspertīze, Apkārtnes izpratne, Spēja novērot

2.1. attēls. Daudzkārsāis intelekts (attēls modificēts no (Gardner, 1987)).

Emocionālā intelekta definīcijas dažādos avotos atšķiras, tomēr mūsdienu izpratnē emocionālais intelekts sevī ietver izpratni par citu cilvēku emocijām (reizēm izdalītu atsevišķi un sauktu par sociālo intelektu) un cilvēka iekšējo emociju izpratni. Salovejs un Meijers, (Salovey & Mayer, 1990), kuri tiek uzskatīti par emocionālā intelekta jēdziena radītājiem,

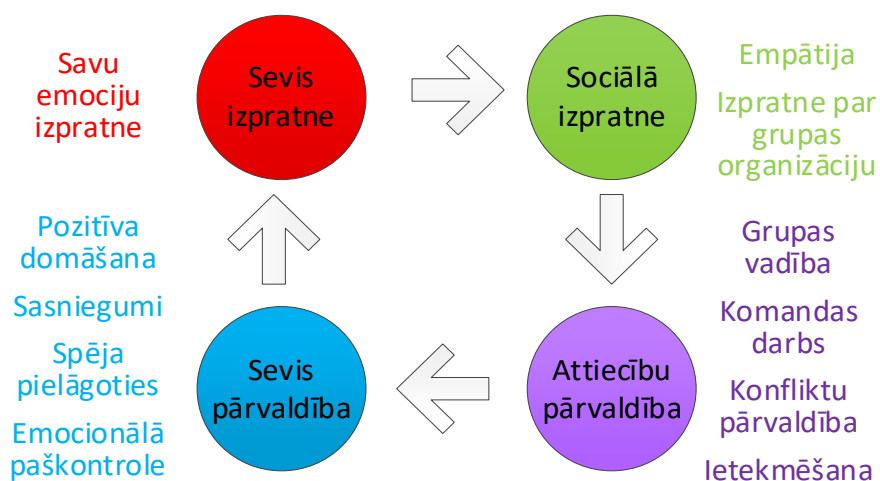
definējuši to kā spēju novērot paša un citu jūtas un emocijas, tās atšķirt un izmantot šo informāciju, lai vadītu savas domas un rīcību. Šī definīcija ietver arī precīzu savu emociju novērtēšanu un izteikšanu, iespēju regulēt savas emocijas, lai radītu iespējas intelektuālai izaugsmei, saprast emociju cēloņus (Salovey & Mayer, 1990). Tomēr atslēgvārds šajā teorijā ir tas, ka emocionālais intelekts vērsts tieši uz savu emociju izzināšanu.

Kopumā emocionālā intelekta modeļi iedalās trīs grupās (McCleskey, 2014), kur pirmā grupa satur tādus modeļus, kas uz emocionālo intelektu raugās kā uz spējām, otrā – modeļus, kas emocionālo intelektu uzskata par rakstura iezīmju kopumu, savukārt trešā grupa satur jauktos modeļus, t.i., tādus modeļus, kura satur gan uz iekšieni vērsts emocionālās, gan starpcilvēku jeb sociālās kompetences.

Tipisks pirmās grupas pārstāvis ir klasiskais Meijera modelis, kas apraksta emocionālo intelektu kā sastāvošu no četriem „zariem” – tas ir, emociju uztveršanas, izraisīšanas, izpaušanas un regulēšanas (Caruso & Salovey, 2004).

Otrajā grupā ietilpst rakstura iezīmju modelis, kas sastāv no labklājības (t.i., pašpārliecinātības, prieka un optimisma), sabiedriskuma (tas ir, pašpārliecības, sociālās kompetences un citu emociju vadības), paškontroles (stresa vadības, savu emociju regulēšanas) un emocionalitātes (emocionālā uztvere, emociju izpaušmes, empātija) (Petrides et al., 2007).

Trešā grupa satur jauktos modeļus, piemēram, Golemana-Boijeca modelis (Goleman et al., 2002), vai Bar-On modelis (Bar-On, 2006). Šie modeļi emocionālo intelektu uzskata par gan uz citiem cilvēkiem, gan uz sevi vērstu īpašību un spēju kopumu, ko ir iespējams trenēt un attīstīt. 2.2. attēlā ir parādīts Golemana-Boijeca modelis. Šī darba ietvaros emocionālais intelekts ir uztverts līdzīgi kā attēlā – ka tas ir saistīts ne tikai ar cilvēka iekšējām emocijām, bet arī ar to, kā cilvēks spēj mijiedarboties ar citiem cilvēkiem.



2.2. attēls. Golemana-Boijeca modelis (pielāgots no (Boyatzis 2013)).

Emocionālais intelekts ir izraisījis diskusijas un pretrunīgus viedokļus (Mayer et al., 2008), tomēr pretrunīgums nav saistīts ar pašu konceptu, bet gan dažādo pieeju skaitu un pētnieku nespēju vienoties par kopīgu definīciju un modeli. Lai šīs problēmas mazinātu, Černiss (Cherniss, 2010) ir ierosinājis emocionālo intelektu tomēr iedalīt divās daļās – cilvēka iekšējā emocionālajā intelektā un mijiedarbības emocionālajā intelektā. Otrs galvenais kritikas virziens

ir tas, ka nav veida, kā emocionālo intelektu pētīt – piemēram, lai arī viennozīmīgi var apgalvot, ka emocionālais intelekts ir attīstāms (Bar-On, 2006), nav pilnībā skaidrs, kā to darīt. Šim nolūkam varētu palīdzēt IT risinājumi, jo no psiholoģijas viedokļa IT risinājums atļautu nodrošināt eksperimentu atkārtojamību.

Neskatoties uz dažādām neskaidrībām attiecībā uz emocionālā intelekta pētīšanu un attīstīšanu, ir veikti dažādi pētījumi par tā nozīmi. Vairākos neatkarīgos pētījumos ir secināts, ka emocionāls intelekts ir nozīmīgs ne tikai grupas līderim (Nafukho et al., 2006), bet arī komandas ar augstu emocionālā intelekta līmeni darbojas krietni efektīvāk salīdzinājumā ar komandām ar zemu emocionālā intelekta līmeni (McCleskey, 2014).

Koncentrējoties uz datorsistēmu (it īpaši imitācijas nolūkos), jādefinē tas, kādas funkcijas nepieciešamas pildīt šādai emocijās sakņotai datorsistēmai, lai imitētu cilvēku. Vispārīgā skatījumā, emociju funkcijas organismā tiek definētas kā lomas, kuras iedala iekšējās un mijiedarbības lomās. Emociju lomu mijiedarbībās sākotnēji aprakstījis Čārlzs Darvins, bet to nozīmi cilvēkā – Viljams Džeimss. Līdz ar emociju pētniecības uzplaukumu 20. gs. 90-tajos gados lomas ir aprakstītas dažādos avotos (kopsavilkums - (Hudlicka, 2011), skatīt 2.1. tabulu).

2.1. tabula

Emociju lomas (pielāgots no (Hudlicka, 2011))

Tips	Loma	Lomas apraksts
Iekšējās lomas	Strauja stimula atpazīšana un apstrāde	Primitīvās emocijas, piemēram, bailes vai dusmas, kalpo kā trauksmes mehānisms, kā arī palīdz ārkārtas situācijā ātri pieņemt lēmumu
	Uzvedības šablonu, kas nepieciešami izdzīvošanai, iedarbināšana, sagatavošana un izpilde	Emocijas kalpo kā novērtējums starp ķermeņa izjūtām un esošo situāciju attiecībā pret vēlamu, šādā veidā veicinot uzvedības šablonu izpildi
	Strauja resursu pārdale un mobilizācija	Emocijas kā fizioloģisks regulētājs, kas, piemēram, piegādā asinis muskuļiem
	Vairāku sistēmu mijiedarbības koordinēšana	Emocijas koordinē dažādas sistēmas, tajā skaitā kognitīvo sistēmu un fizioloģiskās sistēmas
	Darbības profilu (noslieču) iedarbināšana	Emocijas kā iespējamo pasaules stāvokļu heuristiskais novērtējums, kura rezultātā noteiktas emocijas ietekmē tiek izslēgta daļa risinājumu
	Mērķu pārvaldība	Emocijas kā mērķu novērtējums, kura rezultātā tiek mainītas mērķu prioritātes
	Uzvedības motivācija	Emocijas kalpo kā atalgojums vai sods
	Mācīšanās motivācija	Emocijas motivē apgūt jaunas zināšanas
Ārējās lomas	Iekšējā emocionālā stāvokļa komunikācija	Šī komunikācija var būt gan tīša, gan nejauša, taču sniedz informāciju, t.i., emocijas kā informācijas devējs
	Statusa komunikācija sociālā grupā	Komunicē dominanci pār citiem grupas dalībniekiem, padevību, arī vietu hierarhijā
	Sociālo saišu demonstrēšana un pārvaldība	Ļauj noteikt piemērotu uzvedības protokolu
	Iekšējā stāvokļa komunikācija pēc kļūdas pieļaušanas	Tiek veikta ar mērķi uzlabot attiecības vai samazināt kļūdas sekas, t.i., emocijas kā sociālais līdzsvarotājs

Cilvēkā emocijas ļauj realizēt visas šīs lomas. Kopš emocionālās skaitļošanas pirmsākumiem aktuāls jautājums ir bijis, kuras lomas ir nepieciešamas modelēt emocijās sakņotiem aģentiem. Vairākkārt secināts, ka emociju lomu atbalsts ir būtisks, lai aģents uzvestos kā cilvēks (Broekens et al., 2008; Hudlicka, 2011; Sloman, 2000). Īpaši svarīgas tieši aģentu grupas kontekstā kļūst ārējās lomas.

2.2. Emocijās sakņotu aģentu pamatā esošās psiholoģijas teorijas

Emociju teorijas pēta to, kādā veidā emocijas un citi ar tām saistītie raksturojumi (piemēram, noskaņojums, personība, u.c.) rodas, tiek izpausti un ietekmē racionālo domāšanu. Ar emocijām saistītie termini, līdzīgi kā liela daļa ar psiholoģiju un sociālajām zinātnēm saistītu jēdzienu, ir neskaidri definēti. Skatoties augstā abstrakcijas līmenī, lielākā daļa pētnieku piekrīt tam, ka emocijas ir stāvokļi, kas motivē un koordinē adaptīvu uzvedību, atspoguļojot vides, paša un citu uzvedības vērtējumus un spriedumus, kas balstīti uz paša mērķiem un pārlicībām (Hudlicka, 2011). Noskaņojums, līdzīgi emocijām, pieder emocionālajiem stāvokļiem, tikai, atšķirībā no emocijām, ir noturīgāks un līdz ar to ilgstošāks. Savukārt personības modelēšana sastāv no iezīmju kopuma noteikšanas, no kurām daļa ietekmē arī emocionālo stāvokli (Gebhard, 2005; Hudlicka, 2011; Marsella et al., 2010).

Šajā apakšnodaļā definētas emociju lomas, aprakstīti teorētiskie pamati emocijām un ar tām saistītajiem raksturojumiem un parametriem.

2.2.1. Emocijas un noskaņojums

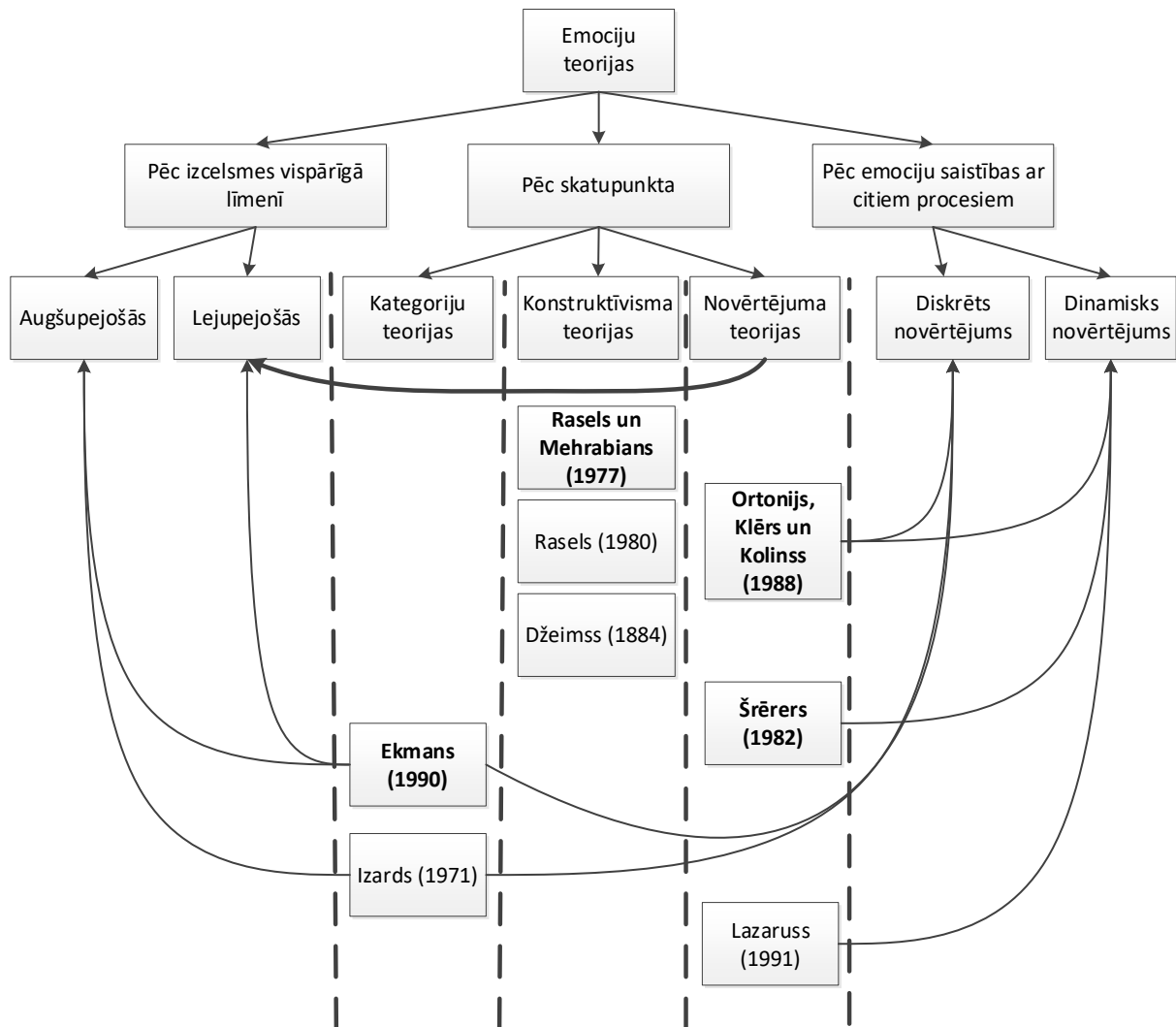
Viena no atšķirībām starp emocijām un noskaņojumu ir to ilgumā un noturībā (Gebhard, 2005), lai arī citos avotos atrodams, ka emocijas un noskaņojumu var atšķirt pēc tā, vai tam ir specifisks stimulants (piemēram, (Frijda, 1993)). Jebkurā gadījumā, emociju un noskaņojuma modelēšanai bieži izmanto līdzīgas vai pat tās pašas metodes. 2.3. attēlā parādīta emociju teoriju klasifikācija, kas balstīta uz Šērera (Scherer, 2009) un Raizencaina (Reisenzein, 2015) pētījumiem.

Pētnieku nespēja vienoties par vienu emociju definīciju un to sarežģītā uzbūve ir veicinājusi vairāku veidu emociju teoriju rašanos. Pirmais iedalījums ir pēc emociju vispārīgās rašanās, kurš satur divas klases. 1884. gadā Džeimss publicēja rakstu, kura interpretācija¹¹ aizsākusi pētījumu virzienu, kas skatās uz ķermeņa reakciju kā emociju izraisītāju, t.i., radījusi augšupejošās emociju teorijas, kas saka, ka emocijas sākotnēji rodas fizioloģiskajā līmenī (kā ķermeņa atbilde uz kairinājumu), tikai pēc tam radot attiecīgo emociju apziņā. Savukārt lejupejošās emociju izcelsmes teorijas uz emociju rašanos skatās kā uz kognitīvu procesu, saskaņā ar kuru emocijas ir radušās prātā, analizējot situāciju un tad piemērojot ķermeņa reakciju (t.i., sagatavojot ķermeni rīcībai) (Smith & Lazarus, 1990).

No emociju teoriju skatupunkta tās var iedalīt trīs grupās: konstruktīvisma, kategoriju un novērtējuma emociju teorijas (Reisenzein, 2015; Scherer, 2009). Abas, gan konstruktīvisma, gan kategoriju emociju teoriju grupas, raugās uz to, kā klasificēt un aprakstīt emocijas, taču konstruktīvisma teorijas emocijas apraksta kā punktu plaknē vai telpā (dimensijas ir, piemēram, ekstraversija un nervozitāte), savukārt kategoriju teorijas pieņem, ka ir zināms daudzums

¹¹ Viljama Džeimsa (*William James*) (1842 – 1910) darbus plaši citējuši viņa laikabiedri, tajā skaitā Džons Džūvijs (*John Dewey*) (1859-1952). 130 gadus vēlāk, 2017. gadā, Liza Feldmane-Bareta (*Lisa Feldman Barrett*) grāmatā “Kā veidojas emocijas: smadzeņu slepenā dzīve” (*How Emotions are Made: The Secret Life of the Brain*) ir atzīmējusi, ka Džūvijs Džeimss ir pārpratis, jo Džeimss nav apgalvojis, ka emocijas atbilst vienai konkrētai ķermeņa izpausmei. Ironiski, ka šis pārpratums ir veicinājis dažādu šobrīd validētu teoriju attīstību, tajā skaitā, emociju izplatību (Hatfield, Cacioppo un Rapson, 1994), kas aprakstīta promocijas darba nākošajā nodaļā.

pamata emociju, no kurām atvasinātas pārējās emocijas. Konstruktīvisma emocijas koncentrējas tikai uz emociju aprakstīšanu, neskatoties uz to, kā tās tiek iegūtas vai vēlāk izpaustas. Kategoriju emociju teorijas uzskata, ka emociju izraisīšana notiek automātiski (bieži augšupejošā ceļā, t.i., no ķermeņa), un noved pie iepriekš definētiem šabloniem (piemēram, konkrētām sejas izteiksmēm). Novērtējuma emociju teorijas savukārt skatās tieši uz to, kāda ir emociju izcelsme, piedāvājot konkrētu klasi, kuru piešķirt emocionālajam stāvoklim atkarībā no situācijas novērtējuma, mazāk koncentrējoties uz izpausmi, vairāk uz sekojošo uzvedību (Reisenzein et al., 2013). Visas novērtējuma teorijas pieder lejupejošām emociju teorijām.



2.3. attēls. Emociju teoriju iedalījums.

Visbeidzot, emociju teorijas var iedalīt, raugoties no to īpašībām: vai tā ļauj noteikt vai aprakstīt emociju tikai noteiktā diskrētā laika momentā, vai arī ļauj modelēt to nepārtraukti, t.i., ietver mehānismus emociju modelēšanai laikā. Lielākā daļa kategoriju teoriju pieder diskrētajām teorijām, savukārt lielākā daļa novērtējuma teoriju – dinamiskām teorijām. Izņēmums ir Ortonija, Klēra un Kolinsa modeļa papildinājums (Ortony et al., 2005), kas ļauj modelēt arī dinamiku. Datorsistēmās emociju modelēšanai laika griezumā tiek izmantotas arī konstruktīvisma teorijas, taču klasiski tās neskatās emocijas ilgākā laika posmā.

2.3. attēlā atspoguļotas emociju teorijas, kuras ir raksturīgākās savam virzienam un kuras ir izmantotas emocijās sakņotu aģentu izstrādē. Teoriju saraksts nav pilnīgs, tās ir dotas vien ieskatam pieminot ietekmīgākās (t.i., vairāk izmantotās vai tādas, kas ir pamatā dažādiem emociju teoriju atzariem) teorijas gan psiholoģijā (Scherer, 2009), gan datorzinātnē (Marsella et al., 2010). Līdz ar to no kategoriju emociju teorijām ir minēti (a) Izards (Izard, 1992) un (b) Ekman (Ekman, 1999), kas šīs teorijas ir attīstījuši salīdzinoši nesena pagātnē. Pēc būtības kategoriju emociju teorijas ir radušās, iedvesmojoties no Darvina evolūcijas teorijas (Scherer, 2009). No konstruktīvistu teorijām ir pieminēts (a) šī virziena pamatlicējs Džeimss (James, 1884), kā arī (b) Rasela plaknes emociju modelis (Russell, 1980) un (c) PAD (no angļu val. *Pleasure-Arousal-Dominance*) telpa (Russell & Mehrabian, 1977), kas daudzkārt izmantota cilvēka emociju modelēšanai (piemēram, ALMA aģentam (Gebhard, 2005)). Visbeidzot, ietekmīgākās novērtējuma emociju teorijas ir: (a) viena no pirmajiem novērtējuma emociju teoriju pētniekiem – Lazarusa – teorija (Smith & Lazarus, 1990), (b) Šērera komponentu procesu modelis (Scherer, 2009), un (c) OCC modelis (Ortony et al., 1988), kas ir viens no izmantotākajiem modeļiem datorzinātnē vienkāršās formalizācijas dēļ.

Atsevišķi teoriju aspekti tiek izmantoti dažādu emocijās sakņotu sistēmu izstrādē, taču tālāk apskatītas tās teorijas, kas ir ietekmīgākās (Marsella et al., 2010; Scherer, 2009) tieši emocionālajā skaitļošanā. Kā redzams no iepriekšējās rindkopas, psiholoģijā ir atrodamas dažādas teorijas par emocijām, to izcelsmi un ietekmi uz lēmumu pieņemšanu, tomēr daudzas no šīm teorijām tiek aprakstītas tik neformālā veidā, ka šo teoriju implementācija datorsistēmās nav iespējama. Pietiekami detalizēta formalizācija un pilna nepieciešamo atribūtu definīcija sastopama tikai dažām teorijām, līdz ar to izmantoto emociju teoriju apjoms nav pārāk plašs (Marsella et al., 2010). Populāra ir arī dažādu emociju modeļu kombinēšana un izmantošana dažādām vajadzībām vienā sistēmā tādēļ, ka teorijām ir atšķirīgi skatījumi uz emocijām (Reisenzein, 2015). Tālāk apskatāmās teorijas izvēlētas arī tā, lai tiku apskatītas emociju teorijas dažādās grupās, tādējādi sniedzot plašāku ieskatu; viens no svarīgiem iemesliem ir pragmatisks – sīkāk izvēlēts aprakstīt tās teorijas, kas nepieciešamas, lai lasītājam būtu saprotams gan promocijas darba, gan arī citu izstrāžu ieguldījums emocionālajā skaitļošanā.

2.3. attēlā šīs teorijas iezīmētas treknrakstā.

Ekmana emociju teorija

Ekmana teorija ir kategoriju emociju teorija, kas pamata emocijas uzskata par īslaicīgiem, pēkšņiem, automātiski ierosinātiem stāvokļiem, kuri ir mantoti no priekštečiem evolūcijas ceļā (nevis apgūti dzīves laikā) (Ekman, 1992). Šī teorija balstās arī tajā, ka pie vienādām emocijām ir ne vien līdzīgas sejas izteiksmes, bet arī aktivitāte tajos pašos smadzeņu reģionos, arī tad, ja tiek demonstrētas emocijas izpausmes bez emocijas izjušanas, ko atbalsta arī nesena veikti pētījumi (Kassam et al., 2013).

Saskaņā ar Ekmanu (Ekman, 1999) emocijas raksturo:

- specifiskas fiziskās izpausmes vienai emocijai (piemēram, prieku izpauž smaidot, nevis saraucot pieri);
- universālas izpausmes vienai emocijai visos cilvēkos (piemēram, prieku visi cilvēki pauž smaidot);
- pamata emocijas ar līdzīgām izpausmēm ir sastopamas primātos;

- emocijām ir universāli priekšnoteikumi, t.i., tās rodas no līdzīgiem stimuliem;
- sakarības dažādu cilvēku reakcijās, t.i., dažādi cilvēki ierosina līdzīgus uzvedības šablonus.

Eksperimentālu pētījumu rezultātā ir secināts, ka sešām pamata emocijām (**priekam, skumjām, bailēm, pretīgumam, dūsmām un pārsteigumam**) ir nemainīgas sejas izteiksmes neatkarīgi no rases un kultūras (Ekman & Friesen, 1971), turklāt daļa no šīm izteiksmēm sastopamas arī primātos. Pārējās emocijas un jēdzieni, ar kuriem tās tiek apzīmētas saskaņā ar Ekmanu pieder kādai no pamata emociju saimēm. Vēlāk Ekman ir pieļāvis arī citu pamata emociju iespēju, lai arī to esamība nav līdz galam pierādīta (Ekman, 1992).¹²

Ekmana teorija ir plaši pazīstama ne vien psihologu, bet arī informācijas sistēmu pētnieku un izstrādātāju vidū. Iemesls šai popularitātei ir uz Ekmana pamata emociju teorijas balstītā sejas izteiksmju mērīšanas sistēma FACS (no angļu val. *Facial Action Coding System*) (Paul Ekman Group, 2023), kas ir ļāvusi attīstīties vienam no pirmajiem emocionālās skaitļošanas apakšvirzieniem – emociju atpazīšanai no attēla vai video (Picard, 1997). FACS pamatā ir emocijām atbilstošās sejas izteiksmes un tās veidojošo muskuļu stāvokļu kombinācijas (Paul Ekman Group, 2023).

Ekmana teorija un arī kopumā kategoriju emociju teorijas tiek kritizētas tādēļ, ka tās nav pilnīgas, tā, piemēram, Ekman atzīst, ka ir 6 emociju kategorijas (lai arī ir pieļāvis citu pamata emociju eksistenci) (Ekman, 1999), bet Izarda ir identificējusi 12 emocijas (Izard, 1992). Emociju iekšējai modelēšanai un izraisīšanās modelēšanai šīs teorijas ir nepietiekamas, taču tās nodrošina mehānismu, caur kuru emocijas tiek saņemtas no citiem.

PAD emociju telpa

PAD (no angļu val. *Pleasure-Arousal-Dominance*) emociju telpa pieder dimensiju teorijām un ir pievilcīga ne vien ar to, ka tā ļauj modelēt emociju abstraktā veidā līdz brīdim, kad šo emociju ir nepieciešamība izpaust, bet arī ar to, ka ar vienas teorijas palīdzību iespējams modelēt gan noskaņojumu, gan emocijas (Mehrabian, 1996; Russell & Mehrabian, 1977).

Saskaņā ar šo teoriju emocijas ir iespējams aprakstīt trīs dimensijās: patikā, uztraukumā un dominancē, kur patika norāda, cik patīkama ir emocija; uztraukums – kāds ir subjekta uzbudinājuma līmenis, savukārt dominance attiecas uz kontroli pār situāciju (Russell & Mehrabian, 1977). Tā, piemēram, bailes raksturo zema patika, augsts uztraukums un zema dominance, savukārt dusmas atšķiras tikai ar dominances vērtību: ja ir bailes, cilvēkam nav sajūtas, ka viņš kontrolē stāvokli.

Trīs asis telpu sadala astoņos oktantos, no kuriem katrs attiecas uz noskaņojuma stāvokli, šos noskaņojumus aprakstot ar kortežu <P,A,D>, kur {P,A,D} pieder kopai {+,-}. Tā, piemēram, atslābināts noskaņojums tiek aprakstīts kā <+,-,+> jeb P+, A-, D+; šādā veidā ir iespējams aprakstīt arī t.s. kodola emocionālo stāvokli, kas ir atkarīgs no personības (Mehrabian, 1996). PAD emociju teorijas autori ir eksperimentāli atraduši PAD telpas vērtības

¹²2017. gadā konferencē “Affective computing and intelligent interaction” viens no PAD telpas izstrādātājiem, Džeimss A. Rasels, kritizēja Ekmana emociju modeli kā nepietiekoši universālu. Lai arī Rasels minēja, ka ir iespējamas dažas universālas pamata emocijas, kā dusmas, prieks, skumjas un bailes, tomēr kategoriju emociju teorijas neizskaidro un neapraksta emocijas, kas ir saistītas ar augstākiem apziņas līmeņiem.

vairāk nekā 160 emocijām katrai dimensijai skalā [-1;1] (piemēram, prieks <0,76; 0,48; 0,35>) (Russell & Mehrabian, 1977).

Datorzinātnē dimensiju teoriju bieži izmanto noskaņojuma vai personības modelēšanai, taču šīs teorijas kalpo tikai aprakstam, neanalizējot emociju cēloņus vai sekas (Reisenzein et al., 2013); līdz ar to šī tipa teorijas (tajā skaitā PAD) izmanto kombinācijā ar novērtējuma teoriju, tādējādi izgūstot arī īslaicīgās emocijas (piemēram, (Gebhard, 2005)).

Komponenšu procesu modelis un OCC emociju modelis

No novērtējuma emociju teorijām ir jāpiemin divas: komponenšu procesu modelis un OCC modelis. Tā kā novērtējuma teorijas ļauj skaidri definēt emociju rašanos, tad tieši šīs grupas teorijām līdz šim pievērsta vislielākā uzmanība gan formalizācijas, gan implementācijas ziņā (Reisenzein et al., 2013).

Šērera komponenšu procesu modelis uz emociju izraisīšanu skatās kā uz secīgu stimula novērtēšanu, kopā definējot trīspadsmit novērtējuma mainīgos, kurus grupē četrās grupās: būtiskums, secināšana, samierināšanās un saderība ar normām. Šie situācijas novērtējuma mainīgie ietekmē gan kognitīvās sistēmas, gan četru citu sistēmu darbu: autonomā fizioloģija, darbību tendences, kustību izpausmes, subjektīvās izjūtas (Scherer, 2009). Hudlička ir atzīmējusi, ka komponenšu procesu modelis potenciāli ļauj modelēt daudz emociju, taču salīdzinājumā ar OCC tas ir mazāk precīzi formalizējams (Hudlicka, 2011).

Viena no izmantotākajām novērtējuma teorijām ir OCC, kas ir nosaukta pēc tās autoru uzvārdiem (*Ortony, Clore un Collins*) (Ortony et al., 1988). Galvenais iemesls, kāpēc tiek izmantots OCC, ir iespēja to salīdzinoši ērti formalizēt un līdz ar to pielāgot programmēšanas vajadzībām. Saskaņā ar OCC tajā atspoguļotās 22 emocijas iedala trīs kategorijās, atkarībā no to izraisītāja: emocijas, kas vērstas uz notikumiem (piemēram, bailes, atvieglojums, cerība), emocijas, kas vērstas uz objektiem (piemēram, patika, nepatika), un emocijas, kas ir saistītas ar paša aģenta un citu aģentu darbību (piemēram, kauns, lepnums, apbrīnošana) (Ortony et al., 1988).

OCC modelim ir pieejamas dažādas formalizācijas, tajā skaitā OCCr (*OCC revisited*) – modelis, kura ietvaros OCC modelis formalizēts BDI arhitektūras terminos (Steunebrink et al., 2009). Formalizētajā modelī emocijas ir saistītas savā starpā hierarhiska (pēc būtības, lēmumu) koka veidā, kas nosaka, kurai klasei emocija pieder.

Sākotnēji OCC modeļa trūkums bija, ka tas ietver tikai augsta līmeņa kognitīvo novērtējumu (salīdzinājumā, piemēram, ar Šērera komponenšu procesu modeli) (Hudlicka, 2011). Vēlāk OCC modelis paplašināts, izveidojot pilnīgu kognitīvās apstrādes shēmu (Ortony et al., 2005). Saskaņā ar šo paplašinājumu emocijas ietekmē četras apakšsistēmas, respektīvi, emociju, apziņas, motivācijas un uzvedības apakšsistēmas, katrā no trīs informācijas apstrādes līmeņiem: reaktīvajā, rutīnas un refleksīvajā līmenī.

Reaktīvais līmenis ir primitīvs, tajā ir vienkārši emocionālie stāvokļi, kas rada fizioloģisku atbildi; šis līmenis nesatur kognitīvo apstrādi. Otrais, rutīnas līmenis, satur labi iemācītas darbības, šablonus, kas nepieciešami darbību izpildei, šajā līmenī var rasties emocijas par šo šablonu izpildi, taču tas praktiski nespriež par nākotni. Visbeidzot, refleksīvajā līmenī notiek spriešana par nākotnes stāvokļiem un jo īpaši jāuzsver, ka šis līmenis satur sociālās zināšanas (Ortony et al., 2005).

2.2.2. Individuālās atšķirības emociju izjušanā

Pēc būtības jau apspriestās emociju teorijas paredz, ka emocijas visiem cilvēkiem rodas vienādi. Taču praksē var novērot, ka cilvēku emocijām bieži atšķiras to intensitāte, izpausmes, emociju izraisīšanās ātrums un ilgums. Van Klifs atzīmē vairākus faktoros: motivāciju, kopējo informācijas apstrādes spēju, un personību (van Kleef, 2016). Emocijas ietekmē arī pieredze (Hudlicka, 2004) un citi kognitīvi-sociālie faktori, piemēram, statuss grupā (Barsade & Gibson, 1998).

Personība ir iezīmju kopums, kas atšķir indivīdus savā starpā (McCrae & Costa, 2003). Lai arī personība un to raksturojošie parametri nav saistīti tikai ar emocijām, bet arī ar informācijas apstrādi un racionālo uzdevumu veikšanu, tomēr personība nozīmīgi ietekmē emociju dinamiku cilvēkā.

Līdzīgi kā emociju modelēšanā, arī personības modelēšanai eksistē vairākas pieejas, taču šobrīd emociju apstrādē viena no vispārattītajām ir iezīmju modeļu pieeja. Saskaņā ar šiem modeļiem personība sastāv no n iezīmēm jeb dimensijām, kur katrā iezīmē jeb dimensijā cilvēka personībai ir iespējams piešķirt vērtību; līdz ar to šī pieeja ir līdzīga dimensiju pieejai. Viens no labāk zināmajiem modeļiem šajā grupā ir Aisanka 4 temperamentu modelis, kas saka, ka ir divas skalas (nervozitāte un intraversija/ekstraversija) un rezultējoši četri personības tipi: holerīķis, sangviniķis, flegmatīķis un melanholiķis (Eysenck & Eysenck, 1964). Plaši izmantots un atzīts šī tipa personības apraksta modelis, kuram pieejama arī vislielākā datu kopa, ir BigFive modelis, kurš ir pazīstams arī kā OCEAN modelis – OCEAN ir abreviatūra tā piecām dimensijām jeb iezīmēm angļu valodā: atvērtībai (angļu val. *Openness*), apzinīgumam (angļu val. *Conscientiousness*), ekstraversijai (angļu val. *Extraversion*), spējai vienoties (angļu val. *Agreeableness*) un nervozitātei (angļu val. *Neuroticism*) (McCrae & Costa, 2003).

Katra iezīme ietekmē kādu cilvēka personības dimensiju un attiecas uz dažādām īpašībām (McCrae & Costa, 2003):

- atvērtība *O* raksturo cilvēka atvērtību pret jaunām pieredzēm; ja *O* ir augsta: plašs interešu loks, iztēles bagāts, inteliģents, oriģināls, ja *O* zema: ikdienišķs, vienkāršs, sekls, trūkst inteliģences;
- apzinīgums *C* apraksta cilvēka mērķtiecību un organizētību; ja *C* ir augsts: organizēts, rūpīgs, veic plānveida darbības, efektīvs, ja *C* zems – bezrūpīgs, nekārtīgs, vieglprātīgs, bezatbildīgs, spontāns;
- ekstraversija *E* ir cilvēka vajadzība pēc sociālā kontakta, ja *E* ir augsta vērtība: runīgs, pārliecinošs, aktīvs, enerģisks, ja *E* zema: kluss, rezervēts, kautrīgs, mierīgs;
- spēja vienoties *A* apraksta cilvēka spēju vienoties; ja *A* ir augsta, tad līdzjūtīgs, laipns, atzinīgs, sirsnīgs, ja zema – vēss, nedraudzīgs, ķildīgs, ietiepīgs;
- neirotizisms *N* apraksta cilvēka kopējo nervozitāti; ja *N* augsta – saspringts, trauksmains, nervozs, kaprīzs, ja *N* ir zema: stabils, mierīgs, ieturēts, nav emocionāls.

No šiem pieciem faktoriem emociju dinamiku visvairāk ietekmē tieši *N* un *E*.

Kā jau minēts apakšnodaļas sākumā, te apskatītas tikai tās teorijas, kas ir formalizējamas un implementējamas datorsistēmā. Katra no šīm teoriju grupām ir izmantojama citam mērķim, respektīvi, lai noteiktu, kāda būs aģenta emocionālā reakcija uz vidē notiekošo, būs

nepieciešams izmantot kādu no novērtējuma emociju teorijām, piemēram, labi definēto OCC modeli. Lai aprakstītu emocijas, var izmantot konstruktīvisma teorijas, piemēram, PAD telpu, kas ļauj modelēt gan emocijas, gan noskaņojumu. Lai arī kategoriju teoriju tieša izmantošana promocijas darbā nav nepieciešama, pastarpināti par pamatemocijām ir daudz pētījumu, kas var noderēt, veicot emociju novērtēšanu un pielāgošanu aģenta personībai.

2.3. Emocijās sakņotu aģentu izstrādes un to vispārīgie procesi

Emocijās sakņotu aģentu izstrādes ir dažādas pēc to lietojuma sfērām, taču tām var izdalīt kopējos procesus un komponentes.

2.3.1. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu klasifikācija

Emociju modelēšana datorsistēmās var tikt iedalīta divās grupās: saskarsmes modelēšanā un emocijās balstītas spriešanas modelēšanā. Saskarsmes modelēšana galvenokārt koncentrējas uz dažādiem aspektiem emociju izrādīšanā un interfeisa izveidē, projektēšanā un implementēšanā. Saskarsmes modeļi ļauj sistēmām sadarboties ar cilvēkiem un radīt ilūziju, ka lietojums (piemēram, robots) izjūt emocijas un ir spējīgs izprast lietotāja emocijas. Turpretim emocijās balstīta spriešana ir koncentrēta uz to, kādā veidā emocijas ietekmē lēmumu pieņemšanu un spriešanu, tādējādi padarot šo procesu līdzīgāku tam, kā to realizē cilvēks (Marsella et al., 2010). Līdzīgi arī Hudlička (Hudlicka, 2004) izdala dziļās un seklās izstrādes, kas atbilst saskarsmes un emocijās balstītas spriešanas modelēšanai.

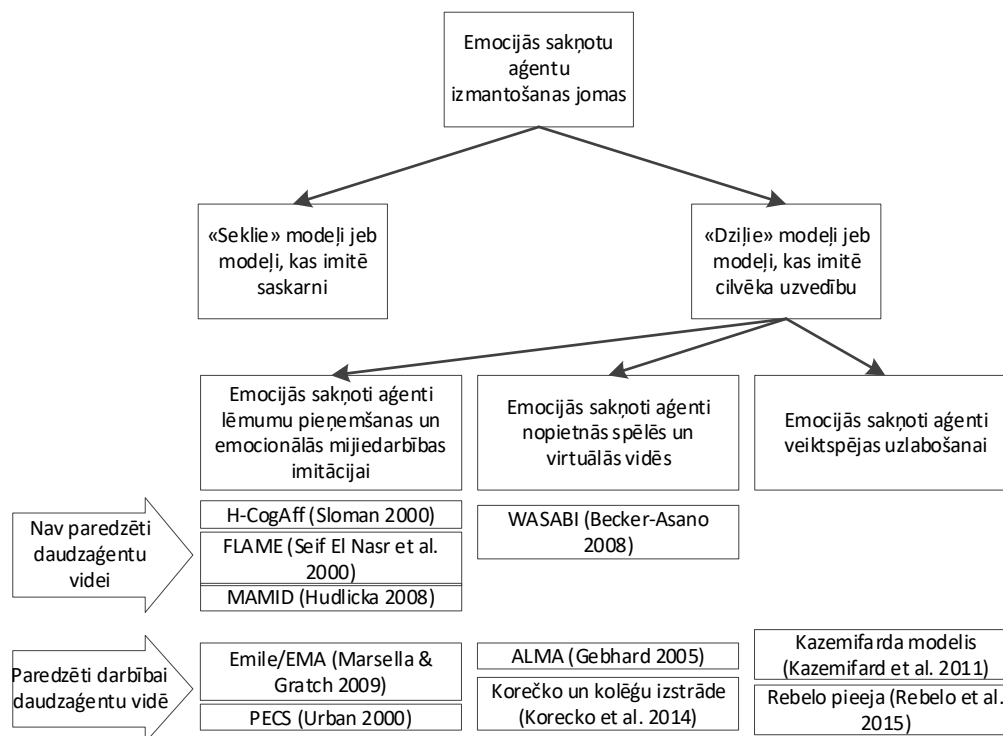
Abām grupām ir atšķirīgas pētīšanas metodes un dažādi pētījumu objekti. Viens no piemēriem saskarsmes modelēšanai ir emocionālo pedagogu projektēšana (piemēram, (Sun et al., 2013)), kas cilvēka un datora saskarsmi padara personiskāku. Šīs sistēmas izstrādē ietilpst ticamas animācijas vai emocionālo izpausmju izveide. Šādām sistēmām ir jāspēj nolasīt cilvēka emocijas, līdz ar to daudzi pētījumi tiek veltīti dažādu sensoru uzstādīšanai, datu apstrādei un tālākai izmantošanai. Savukārt emocijās balstīta spriešana ļauj gan uzlabot sistēmas izturību, dzīves laiku un funkcionēšanas spējas konkrētā vidē (Rebelo et al., 2015; Tavakoli et al., 2014), gan arī, balstoties uz datorizēto emocionālās skaitļošanas modeli, pētīt cilvēka emocijas (Hudlicka, 2008) un noteikt, piemēram, kādā veidā stress un emocijas ietekmē lēmumu pieņemšanu (Gratch, 2000a). Daudzas sistēmas pieder abām no šīm kategorijām – emocijas tiek gan ņemtas vērā spriešanā, gan arī pēc tam attiecīgi izrādītas cilvēkiem.

Veidojot cilvēka imitāciju, neatkarīgi no tā, vai viena, vai daudzu aģentu modelī, ir nepieciešams koncentrēties uz otrā tipa vai jauktajām izstrādēm, kas emocijas ņem vērā lēmumu pieņemšanā un citos kognitīvajos procesos, fonā atstājot saziņu ar cilvēku. Šī iemesla dēļ promocijas darbā netiek apskatīti modeļi, kas emocijas tikai demonstrē cilvēkam, vai izmanto cilvēka emocijas sistēmas darbības adaptācijai (piemēram, emocionāli intelektuālās mācību sistēmās (Petrovica, 2013)). Lai arī šī tipa sistēmai tik un tā ir saskarne, kura darbojas ar emocijām un ar kuras palīdzību tiek uztvertas ievades un dotas izvades, tā var būt formalizēta un iekšēji neatbilst cilvēka spriešanai.

Autore secinājusi, ka emocijās sakņoti aģenti, kuriem emocijas ietekmē racionālos procesus, ir izmantoti trīs jomās: emocijās sakņoti aģenti lēmumu pieņemšanas un emocionālās

mijiedarbības imitācijai, emocijās saknoti aģenti nopietnās spēlēs un virtuālās vidēs un emocijās saknoti aģenti veikspējas uzlabošanai (2.4. attēls). Daļa izstrāžu pieder vairākām grupām, piemēram, ALMA, ietver cilvēka imitāciju, taču ietver arī virtuālo veidolu un ticamu dialoga veidošanas stratēģiju (Gebhard, 2005). Šādiem lietojumiem piešķirta tā kategorija, kurai tie primāri paredzēti.

Atsevišķas arhitektūras ir veidotas kā daļa no DAS, tas ir, paredzot, ka, šāda veida aģenti savā starpā mijiedarbosies, savukārt citās tieša implementācija vairāku aģentu sistēmās nav paredzēta, taču tās ir pietiekami detalizētas, lai varētu sniegt vismaz vadlīnijas komunikācijai. Šī iemesla dēļ apskatītas abu veidu arhitektūras: gan tās, kuras paredzētas implementācijai daudzu aģentu vidē, gan tās, kuras nav.



2.4. attēls. Emocijās saknotu aģentu lietošanas jomu iedalījums.

Tāpat arī šajā klasifikācijā nav iekļautas tās arhitektūras, kuras saskaņā ar Helbingu un Balieti pieder vizuālajiem modeļiem. Atsevišķām apskatītajām arhitektūrām (piemēram, ALMAi vai WASABI) ir bagātīga saskarne, tomēr šiem aģentiem ir arī emocijām atbilstoša uzvedība un lēmumu pieņemšana.

Līdz ar to detalizētāk šajā nodaļā apskatītas tās arhitektūras, kuras:

- nav tikai teorētiski ietvari vai ietvari bez psiholoģiskā pamata, piemēram, ar tikai trīs stingri noteiktiem emociju stāvokļiem;
- ir bijušas implementētas vai ir ar detalizētu projektējumu un līdz ar to ir pietiekoši detalizētas;
- kuras neizslēdz citu aģentu klātbūtni (t.i., komunicē vai nu ar cilvēku, ar citiem aģentiem, vai arī ir pieejamas vadlīnijas/ieteikumi par implementāciju vairākiem aģentiem, piemēram, sociālo zināšanu glabāšanai paredzēts modulis).

2.3.2. Emocijās sakņoti aģenti lēmumu pieņemšanas un emocionālās mijiedarbības imitācijai

Promocijas darbā lielākā vērība pievērsta tām izstrādēm, kuru mērķis ir bijis atdarināt cilvēka domāšanas procesus. Imitācija var tikt veikta dažādu iemeslu dēļ, Hudlicka kā iemeslu atzīmē iespēju pilnveidot psiholoģijas teorijas (Hudlicka, 2011; Reilly, 2006), vai arī veidot pilnībā ticamus aģentus (Seif El-Nasr et al., 2000).

No šīm izstrādēm sīkāk apskatīta viena no pirmajām šāda veida arhitektūrām H-Cog-Aff (Sloman, 2000), sākotnēji militārai jomai paredzētā EMA /Emile (Gratch, 2000a; Marsella & Gratch, 2009), vispārīgais, uz nestrikto loģiku balstītais FLAME (Seif El-Nasr et al., 2000), procesorientētais modelis MAMID (Hudlicka, 2008) un PECS (Urban, 2001).

Viens no ilgstošākajiem projektiem 90-tajos gados, CogAff, piedāvā ļoti detalizētu arhitektūru un pētījumu no psiholoģijas viedokļa, tomēr nav lietojumu, kas to pilnībā implementētu (Sloman, 2000). Pēc tam projekts ir attīstījies, turpinot pētīt aģentu izziņas spējas projektos CoSy un CogX¹³, tomēr šie projekti vairs nav tieši saistīti ar emociju izpēti.

Viena no jomām, kur aģenti tiek izmantoti dažādu cilvēka aspektu imitēšanā un pēc tam izpētē, ir militārā joma. Spilgts piemērs šāda veida sistēmai ir arhitektūra Emile/EMA, kas paredzēta stresa pētīšanai militāros lietojumos. Emile ir projekta sākotnējais nosaukums, kurā ietilpst algoritms un ideja, kas vēlāk ir papildināti un pārveidoti par vispārīgāku arhitektūru EMA ar plašākām iespējām to izmantot arī citos pētījumos. EMA var tikt izmantota arī tam, lai ne vien imitētu cilvēka spriešanu, bet arī tam, lai pētītu, kādā veidā spriešana notiek cilvēka prātā un arī cilvēku grupā (Gratch, 2000b, 2000a). Pētījuma galvenais mērķis ir izveidot vispārīgu spriešanas modeli, kas ņem vērā cilvēka lēmumu pieņemšanas faktorus ar mērķi imitēt cilvēku uzvedību, tomēr rezultātā izveidotā arhitektūra un algoritmi ļauj izveidotos intelektuālos aģentus izmantot arī apmācībā, virtuālajās realitātēs un cilvēka spriešanas un mijiedarbības procesu pētīšanai. Ar modeli tiek strādāts arī tālāk – tas tiek izmantots dažādu sociālo scenāriju izpētei (Marsella & Gratch, 2009). Tā kā EMA faktiski ir Emile uzlabota versija, tālāk 2.4. nodaļā, analizējot dažādas izstrādes, apskatīta tieši EMA.

Arhitektūra FLAME galvenokārt tika radīta ar mērķi atrisināt uz to brīdi eksistējošo arhitektūru problēmu, t.i., nespēju reizē implementēt vairākas emocijas (Seif El-Nasr et al., 2000). FLAME galvenā atšķirība ir nestriktās loģikas pieeja, kas validēta ar mājdzīvnieka imitācijas palīdzību (Seif El-Nasr et al., 2000).

MAMID ir procesorientēta arhitektūra, kas paredzēta augsta līmeņa lēmumu pieņemšanai. Tā ir radīta ar mērķi reprezentēt struktūras un procesus, kas nosaka emocionālo stāvokli un emociju-izziņas mijiedarbības. MAMID ir no problēmsfēras neatkarīga un ir novērtēta vairākos scenārijos, tajā skaitā panikas ietekmes uz domāšanu modelēšanai scenārijā, kurā aģentam jāmeklē citi aģenti nepazīstamā vidē (Hudlicka, 2008).

Visbeidzot, uz sistēmu teoriju balstītais aģentu modelēšanas ietvars PECS ļauj projektēt četras komponentes: fiziskās aģenta izpausmes, emocijas, apziņu un sociālās iezīmes. PECS

¹³ Projekta kopsavilkums pieejams <http://cogx.eu/a-summary-of-the-project/index.html>.

galvenais mērķis ir sociālā imitācija daudzāģentu vidē, taču, lai arī tam ir teorētiskas iestrādes, praktiski tas koncentrējas tikai uz viena aģenta lietojumu (Urban, 2001).

2.3.3. Emocijās sakņoti aģenti nopietnās spēlēs un virtuālās vidēs

Viens no virzieniem, kur izmanto gan viena aģenta, gan daudzu aģentu modeļus, ir dažādas virtuālās realitātes. Šim nolūkam parasti izmanto terminu „ticami aģenti” (no angļu val. *believable agents*). Tie ir aģenti, kas rada dzīves ilūziju, tādējādi cilvēkam neļaujot nojaust, ka tie nav reāli tēli (Riedl & Young, 2005). Šādas virtuālās pasaules var tikt radītas dažādos nolūkos, piemēram, kā izklaides vai mācību spēles (angļu val. *serious games*). Agrākos pētījumos (Picard & Burleson, 2004) šādas virtuālās realitātes vienkārši atspoguļoja emocijas, t.i., aģenta emocionalitāte bija saistīta ar to izrādīšanu, turpretim arvien vairāk pieaugot skaitļošanas resursiem un datoraparātūras veiktspējai, aģenti pasaulē mijiedarbojas arī ārpus lietotāja redzesloka (Slater et al., 2008), un lēmumus pieņem atbilstoši savam emocionālajam stāvoklim, personībai un noskaņojumam (Li et al., 2010). Pētījumi par intelektuālu aģentu implementēšanu virtuālās vidēs lielākoties ir daļa no lielākiem pētījumiem vai projektiem.

Šajā emocijās sakņotu aģentu izmantošanas virzienā jāizceļ aģenti ugunsdzēsēju apmācībai (turpmāk darbā – Korečko un kolēģu izstrāde) (Korecko, Sobota, et al., 2014) un daļa no Eiropas Komisijas FP6 programmas projekta HUMAINE – ALMA (Gebhard, 2005), kā arī WASABI aģents (Becker-Asano, 2008).

Viens no projektiem, kas emocijās sakņotus aģentus izmanto virtuālajās vidēs, implementē emocionālos aģentus kā potenciālos upurus ugunsgrēkā (Korecko, Sobota, et al., 2014). Šīs sistēmas mērķis ir izglītēt un apmācīt brīvprātīgos, kas varētu tikt iesaistīti glābšanas operācijās, līdz ar to projekts pieder nopietno spēļu jomai, bet paši aģenti ir nevadāmie tēli (no angļu val. *non-playable characters*). Projekts ir īpašs ar to, ka tā ietvaros ir izstrādāta emocijās balstītu DAS izstrādes platforma JBdiEmo (Korecko, Sobota, et al., 2014).

ALMA ir radīta ar mērķi virtuālā vidē radīt ticamus sociālos tēlus, ar kuriem lietotājs varētu veidot ticamu sarunu, šī izstrāde ir daļa no Eiropas Savienības FP6 programmas finansētā pētnieku tīkla HUMAINE realizētajiem pētījumiem (Gebhard, 2005). Izstrāde ietilpst projektā VirtualHuman, kura kopējais mērķis ir radīt cilvēkam līdzīgus sarunas aģentus (Gebhard, 2005). ALMA ir implementēta VirtualHuman sistēmā, kurā ir divi aģenti – skolotāja Valērija (angļu val. *Valerie*) un skolnieks Svens (angļu val. *Sven*). Šī sistēma ir domāta apmācībai – tā atspoguļo cilvēkiem līdzīgus tēlus (arī izmēra ziņā) 3D vidē. Galvenā ideja ir veikt grupas apmācību, kuras laikā students apgūst jaunās zināšanas, sacenšoties ar virtuālo aģentu Svenu. Skolotājas mērķis ir uzdot jautājumus, savukārt aģenta Svena – atbildēt, pie kam virtuālais skolnieks pielāgojas reālā studenta apmācības tempam (Gebhard, 2005).

WASABI aģents ir paredzēts ticamas uzvedības imitācijai virtuālajā vidē. Lai arī šī izstrāde robežojas ar saskarnes aģentu, tomēr aģenta emocijas ietekmē arī tā darbības (Becker-Asano, 2008). WASABI aģents implementēts virtuālajā cilvēkā MAX un validēts uz kāršu spēlēšanas lietojuma (Becker-Asano, 2008).

2.3.4. Emocijās sakņoti aģenti veikspējas uzlabošanai

Atsevišķos gadījumos emocijas tiek izmantotas kā mehānisms aģenta veikspējas parametru uzlabošanai (Kazemifard et al., 2012). Lai arī šādu aģentu nav daudz, tomēr to izstrādē ir sasniegti būtiski rezultāti. Šādu izstrāžu autori galvenokārt pamatojas uz domu, ka sociālās emocijas, tādas kā dusmas vai vainas apziņa, var radīt mehānismu, kas ļauj risināt racionāli nerisināmas problēmas, respektīvi, aģenta primitīvās emocijas var tikt atspoguļotas arī vienkārši kā nosacījumi, savukārt emocijas, kas rodas grupā, ļauj komandai sasniegt labāku rezultātu (Rebelo et al., 2015). Līdzīgi, plānošana, kas balstīta neracionālos faktos, piemēram, uz cerību, var ļaut sasniegt mērķi situācijās, kad tas citādi netiktu sasniegts (Kazemifard et al., 2011).

Šai grupai pieder, pirmkārt, GEmAs ESM un ar to saistītie pētījumi (Kazemifard et al., 2012) un, otrkārt, aģentu komandas, kas implementētas Robocode (Rebelo et al., 2015).

Aģentu, kura ESM ir GEmA, autoru mērķis ir radīt vispārīgu ietvaru, kas būtu izmantojams gan imitācijai, gan komandu darba uzlabošanai (t.i., aģenta veikspējas paaugstināšanai) (Kazemifard et al., 2011). Iemesls, kāpēc šis projekts ievietots šiem lietojumiem, ir fakts, ka autori pagaidām šo izstrādi ir testējuši aģenta dzīves ilguma palielināšanai imitētā vidē (Tavakoli et al., 2014) un lai atkarībā no citu emocijām aģentam palīdzētu pieņemt lēmumu (Ramezani et al., 2011). Paši autori atzīst, ka tālākie aģenta lietojumi vēl ir nākotnē, taču iegūtie rezultāti ir daudzsoļi (Tavakoli et al., 2014).

Nelielu, tomēr atbilstošu izstrādi, kas modelē aģentu grupu Robocode vidē, ir izstrādājis Rebelo ar kolēģiem (Rebelo et al., 2015). Tās mērķis ir pētīt, kādā veidā aģentu personības, emocijas, sociālā struktūra un lēmumu pieņemšanas mehānisms ietekmē kolektīvo lēmumu pieņemšanu (Rebelo et al., 2015).

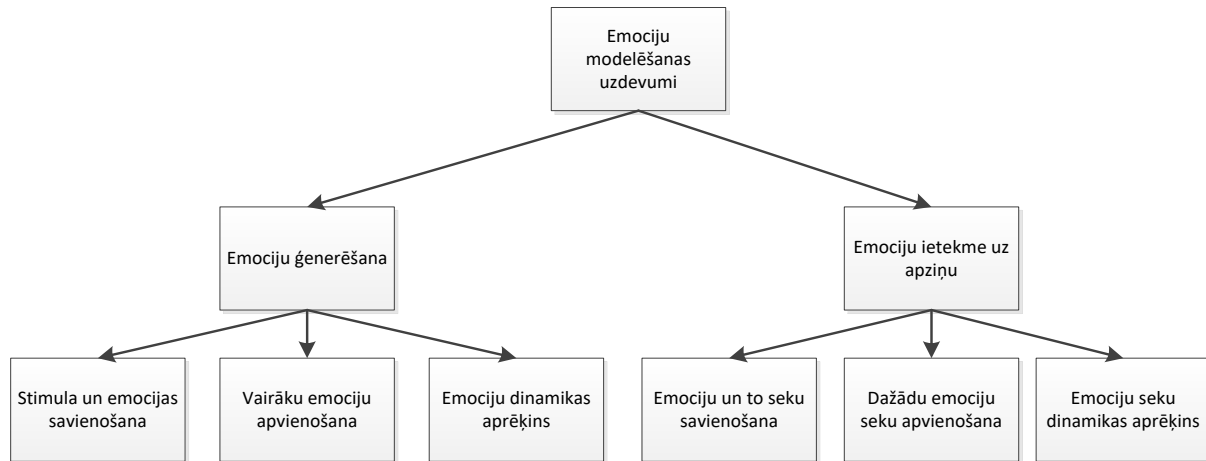
2.3.5. Emocijās sakņotu aģentu vispārīgie procesi

20. gs. 90-tajos gados un 21. gs. sākumā līdz ar emocionālās skaitļošanas attīstību radās daudz dažādu izstrādņu ar mērķi imitēt cilvēka domāšanu: dažas no tām ir jau minētās MAMID arhitektūra (Hudlicka, 2008), FLAME (Seif El-Nasr et al., 2000), Emile/EMA (Gratch, 2000a; Marsella & Gratch, 2009), H-Cog-Aff (Sloman, 2000) un daudzas citas. Lai šīs izstrādes salīdzinātu, nepieciešams definēt kritērijus.

Tā kā emocijās sakņotiem aģentiem nepieciešams implementēt vairākas funkcijas, kuras realizē atsevišķi, tad pa daļām aģentus nepieciešams salīdzināt pēc šīm funkcijām. Šādai funkciju salīdzināšanai ir vairākas priekšrocības: (1) tās ļauj iegūt vadlīnijas un labās prakses tālākai funkciju implementācijai, (2) dod pamatu tālākam salīdzinājumam, jo sniedz priekšstatu, kuru lomu realizācijas arhitektūrā trūkst.

Saskaņā ar vienu no vispārīgiem funkciju iedalījumiem emocijās sakņots aģents sastāv no ESM un kognitīvās komponentes, kas ir savā starpā saistītas vienības (Marsella et al., 2010), taču šis dalījums ir pārāk abstrakts. Detalizētāks skatījums ir Hudličkai (Hudlicka, 2011). Hudlička, balstoties uz 2.1. tabulā uzskaitītajām lomām, kā arī pētot eksistējošās izstrādes, definējusi divus vispārīgus uzdevumus ar apakšuzdevumiem, kas nepieciešami emociju skaitļošanai: emociju ģenerēšana un emociju ietekme uz apziņu (2.5. attēls). Šis uzdevumu

iedalījums balstīts uz laiku, t.i., emociju ģenerēšana notiek pirms emocijas jušanas, savukārt emociju ietekmes uz apziņu modelēšana – pēc izjustās emocijas. Hudličkas emociju ģenerēšana atbilst Marsellas un kolēģu emocionālajam skaitļošanas blokam, savukārt emociju seku ģenerēšana – emocionālā skaitļošanas bloka saistībai ar aģenta kognitīvajām komponentēm.



2.5. attēls. Emociju modelēšanas vispārīgie uzdevumi (pielāgots no (Hudlicka, 2011)).

Hudličkas uzdevumi definēti tā, lai ar to palīdzību varētu implementēt visas emociju lomas (Hudlicka, 2011), taču ārējo lomu definēšana ir ļoti abstrakta – ir definēta, piemēram, emociju paušanas dinamika, nekonzentrējoties, kā aģents uztver cita emocijas.

Hudličkas klasifikācijai ir seši apakšuzdevumi. Ģenerēšanai pieder (Hudlicka, 2011):

- stimula un emocijas savienošana, respektīvi, emocijas, kas rodas no stimula, noteikšana;
- vairāku emociju apvienošana – gan līdzīgu, gan atšķirīgu emociju integrēšana savā starpā un ar esošo emocionālo stāvokli;
- emociju dinamikas aprēķins, kas satur emocijas intensitātes aprēķinu un tās norimšanas dinamiku.

Emociju ietekmei uz apziņu pieder (Hudlicka, 2011):

- emociju un to seku savienošana, tas ir, emocijas un atbilstošā izpausmes šablona vai iekšējo seku noteikšana (piemēram, prieka izpausme ir smaidīšana);
- dažādu emociju seku kombinēšana, tas ir, dažādu emociju seku koordinēšana dažādās izpausmju modalitātēs un aģenta iekšienē;
- emociju seku dinamikas aprēķins, kas satur izpausmes intensitātes aprēķinu un izpausmes norimšanas dinamiku.

Apakšnodaļā minētās triju veidu izstrādes ļauj secināt, ka (1) ticama aģentu uzvedība ir nepieciešama dažādos lietojumos; (2) šobrīd izstrāžu ir diezgan daudz, taču nav kopsavilkumu, kas tās ļautu salīdzināt un apskatīt pēc konkrētiem kritērijiem, kā arī nav aktuālu labo prakšu apkopojumu. Tādēļ tālāk apskatīti un salīdzināti lietojumi, kas ir mērķēti uz ticamu viena aģenta uzvedību. Apakšnodaļā apskatītas arī tās funkcijas, kas ir nepieciešamas visu veidu aģentiem neatkarīgi no to lietošanas jomas. Šīs funkcijas nākamajā nodaļā izmantotas kā viens no kritērijiem dažādu emocijās sakņotu aģentu salīdzināšanai.

2.4. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu analīze un salīdzinājums

Šī nodaļa satur augstāk pieminēto aģentu arhitektūru analīzi. Lai tā būtu strukturēta, kā analīzes kritēriji izvēlēti:

- **vispārīgā ESM uzbūve**, t.i., kādā veidā ir uzbūvēts aģenta ESM un no kādām komponentēm tas sastāv;
- Hudličkas definētie uzdevumi: **ģenerēšana un seku noteikšana**, ar kuriem tiek saprasta augstāk minēto apakšuzdevumu realizācija. Kā secināts, šie uzdevumi palīdz ne vien salīdzināt atsevišķās modelēšanas metodes (piemēram, emociju intensitātei), bet arī kvalitatīvi salīdzināt pašas arhitektūras;
- kā atsevišķa salīdzinājuma dimensija izdalīta **individuālo iezīmju modelēšana**, tā kā grupas modelēšanā tas ir būtiski, bet Hudlička šo īpašo iezīmju modelēšanu iekļauj kā horizontālo procesu – tiek uzskatīts, ka tā tiek veikta katrā uzdevumā bez padziļinātas analīzes;
- apskatīta arī **emociju formalizācija** jeb tas, kādā veidā emocijas ir kodētas datorsistēmā;
- apskatīta aģenta uzbūves kognitīvā daļa, kas sevī ietver **spriešanu un zināšanu glabāšanu**, t.i., ne ar emocijām saistītās komponentes.

2.4.1. Vispārīgā emocionālā skaitļošanas modeļa uzbūve

Lielākā daļa arhitektūru satur vairākus emociju apstrādes slāņus, tā kā atbalsts emociju slāņveida raksturam ir atrodams arī vairāku psihologu darbos, piemēram, Damasio emocijas daļa primārajās (stingri noteiktās, neapzinātās) un sekundārajās (kognitīvajās) (Damasio, 1994), Ortonijs un kolēģi izstrādājuši uzbūves modeļus ar trīs jau aprakstītajiem slāņiem (Ortony et al., 2005). Bekers-Asano atzīmējis, ka OCC trīs slāņi atbilst Šrēra trīs komponentēm (Becker-Asano, 2008). Faktiski vienīgie izņēmumi slāņveida ESM uzbūvei ir PECS (Urban, 2001), FLAME (Seif El-Nasr et al., 2000) un Korečko un kolēģu izstrādes (Korecko, Herich, et al., 2014). Lai arī ALMA aģentā, tāpat kā Rebelo un kolēģu izstrādē (Rebelo et al., 2015), kā slāņi tiek modelēti dažāda ilguma emocionālie stāvokļi, t.i., noskaņojums un personība (Gebhard, 2005), tomēr šāda pieeja arī īsti neatbilst dažādiem informācijas apstrādes līmeņiem.

WASABI (Becker-Asano, 2008) emocijas tiek dalītas primārajās un sekundārajās, taču Kazemifarda un kolēģu darbi (Kazemifard et al., 2011), kas balstās uz OCC un H-Cog-Aff (Sloman, 2000), satur trīs līmeņus. Slāņi realizēti ar secīgas apstrādes palīdzību procesorientētajā MAMID (Hudlicka, 2004) – pirms kognitīvo emociju rašanās notiek process, kurā tiek pievērsta uzmanība sākotnēji vienkārši pozitīvam vai negatīvam kairinājumam; līdzīgi arī EMA (Marsella & Gratch, 2009) aģentā notiek atkārtota stimula novērtēšana.

Esošajās izstrādēs slāņiem ir līdzīgas funkcijas. Primārais slānis (citur – reaktīvais slānis, uzmanības pievēršanas process) veic sākotnējo emociju apstrādi, bieži vienkārši iegūstot pozitīvu vai negatīvu emocionālo stāvokli. Šajā līmenī atrodas likumi, kas liek darboties reaktīvi, izvairoties no bīstamām situācijām vai izmantojot izdevības (Kazemifard et al., 2012). Sekundārais slānis (citur – rutīnas slānis, atkārtota novērtēšana) veic vai nu kognitīvo apstrādi

(Sloman, 2000), vai arī, ja tas balstīts uz OCC, labi iemācītus šablonus un vienkāršas stratēģijas (Ortony et al., 2005). Sekundārajā līmenī izjūtamās emocijas ir vai nu primitīvas, respektīvi, prieks, nepatika, cerība un bailes (Kazemifard et al., 2012), vai arī tās, ko iespējams iegūt ar novērtējuma palīdzību par ārējiem notikumiem (Sloman, 2000). Izstrāžu terciārais līmenis (citur – meta līmenis vai refleksīvais līmenis) ļauj aģentam veikt secināšanu par sociālajiem procesiem (Sloman, 2000), citur – veikt kognitīvo spriešanu (Ortony et al., 2005). Šajā līmenī tiek izskaitļotas sarežģītākas emocijas, notiek mācīšanās un tiek pieņemti lēmumi par vēl nebijušām situācijām.

Var secināt, ka, tā kā katram slānim ir atsevišķas funkcijas, un ne visi slāņi sadarbojas ar ārējo vidi (Kazemifard et al., 2012), to var veidot kā vertikālu slāņveida arhitektūru.

2.4.2. Emociju ģenerēšana

Jau iepriekš minēts, ka emociju ģenerēšana, kas ir viens no lielajiem Hudličkas definētajiem uzdevumiem, sastāv no trīs apakšuzdevumiem, saskaņā ar kuriem analizētas arhitektūras.

Stimula un emocijas savienošana parasti notiek ar novērtējuma teoriju palīdzību. Gandrīz visās arhitektūrās aģentam modelē arī noskaņojumu (izņēmums ir PECS un Korečko un kolēģu izstrāde, kur aģentam ir tikai emocijas). Līdzīgi arī Emile/EMA gan pozitīvās, gan negatīvās emocijas rodas, salīdzinot vēlamo situāciju ar esošo. MAMID pamatā izmanto vairākas novērtējuma teorijas, tajā skaitā Šērera procesu komponešu modeli, taču modelē tikai četras pamata emocijas: prieku, bailes, dusmas un skumjas. ALMA, FLAME, Korečko un kolēģu, Rebelo un kolēģu izstrāde un WASABI izmanto OCC modeli, taču, ne visi ģenerē pilnīgi visas OCC emocijas (piemēram, WASABI).

ALMA, Rebelo un kolēģu izstrāde un WASABI iegūtās OCC modeļa emocijas pārveido PAD emocijās, lai tālāk ar tām veiktu manipulācijas. Principā šis variants sniedz lielākas elastības iespējas vēlāk: emociju paušanā. Emociju pārveidošana PAD telpā ļauj modelēt arī aģenta noskaņojumu.

Daudzi modeļi, tajā skaitā MAMID, modelē tikai dažas pamata emocijas vienkāršības dēļ. Modelētajam emocionālo stāvokļu daudzumam ir novērojama šāda sakarība: jo sarežģītāka un ticamāka informācijas apstrāde (piemēram, vairākos slāņos (Kazemifard et al., 2012) vai ņemot vērā vairāk faktoru (Hudlicka, 2008)), jo mazāk dažādu emocionālo stāvokļu implementēts.

Emociju apvienošanas metodes ir nepieciešamas tad, ja, aģentam esot noteiktā emocionālā stāvoklī, ienāk jauns kairinājums un rodas jauns emocionālais stāvoklis. Emociju apvienošanas metodes atšķiras atkarībā no tā, vai kombinējamās emocijas ir dažādas. Pilnas metodes gadījumā būtu paredzēta gan vienādo, gan dažādo emociju kombinācija. Jāatzīmē, ka ne visām izstrādēm šīs metodes ir pieejamas. Piemēram, Korečko un kolēģu izstrāde, PECS un H-Cog-Aff nav pietiekoši detalizētas vai metode emociju kombinācijai vispār nav aprakstīta.

Ja emocijas ir vienādas, tad apvienošana faktiski ir emocijas intensitātes aprēķināšana (Hudlicka, 2011). Šādā gadījumā tas ir cieši saistīts ar emociju aktivizācijas funkciju, kas nepieciešama emocijas intensitātes izskaitļošanai un aprakstīta tālāk šajā nodaļā, emociju dinamikas modelēšanai.

Turpretim pie dažādām emocijām aktuāls kļūst esošā emocionālā stāvokļa glabāšanas jautājums. MAMID, Kazemifarda un kolēģu izstrāde, EMA un WASABI šo stāvokli glabā kā

emociju kortežu jeb glabā katras emocijas skaitlisko vērtību. ALMA un Rebelo un kolēģu modelī intensitātes tiek pārvērstas noskaņojumā, kas ir diskretizēts PAD telpā. Līdzīgi FLAME emociju kombinācijas apraksta kā produkciju likumus (piemēram, IF esošais stāvoklis ir mazliet dusmīgs un tiek atņemta barība THEN rūkt).

Dažādu emociju apvienošanai un glabāšanai jāizmanto korteži vai kopējā emocionālā stāvokļa saglabāšana, tā kā saglabājot tikai vienu emociju ar pašreiz augstāko vērtību, zūd iespēja ticami modelēt uzvedību nākošajos laika stāvokļos. PAD modeļa, kas ir sakņots psiholoģijā, izmantošana ļauj modelēt nepārtrauktas pārejas starp stāvokļiem, tos diskretizējot tikai izvadei, nevis saglabāšanai aģenta iekšienē. No šī apskata tiek secināts, ka šāda pieeja sniegtu tuvāku emocionālo stāvokli reālajam, jo zūd diskretizēšanas kļūda.

Visbeidzot, **emociju dinamikas aprēķinam** var izdalīt divas funkcijas: jau pieminēto emociju aktivizācijas funkciju sākotnējās intensitātes aprēķinam un norimšanas funkciju. Atsevišķās izstrādēs emociju dinamikas aprēķins nav aprakstīts vispār, konkrēti, PECS un H-CogAff.

Emociju intensitātes izskaitļošanas funkciju sauc par *aktivizācijas funkciju*. Emociju intensitātes izskaitļošanai ir izmantotas dažāda veida funkcijas: lineāras, eksponenciālas, sigmoīdas un logaritmiskas (Reilly, 2006). Emociju intensitāte vairākās izstrādēs, īpaši vecākās, modelēta lineāri (EMA, FLAME). ALMA aģentā un Rebelo un kolēģu izstrādē, kā arī citā, šeit atsevišķi neapskatītā izstrādē (Santos et al., 2011), intensitāte tiek aprēķināta kā absolūtais attālums PAD emociju telpā no centrālā punkta. Taču šī pieeja aprūrina personības ietekmes modelēšanu. Korečko un kolēģu darbā tiek izmantota kvadrātiska, nespecificēta funkcija. Kazemifarda un WASABI izstrādē par pamatu tiek izmantoti OCC modeļa novērtējumi, kas faktiski nozīmē, ka tie tiek mērīti ar abstraktu, nespecificētu funkciju. MAMID izmanto sigmoīdu.

Emocijām to aktivizācijas brīdī piemīt divas īpašības (Picard, 1997):

- emociju piesātināšanās (tas ir, tās nevar augt bezgalīgi – vienā brīdī kairinājumi ar lielām vērtībām radīs vienādi lielu intensitāti – tas pats attiecas arī uz maziem kairinājumiem – nenožīmīgi mazs kairinājums neizraisīs nekādas emocijas);
- emociju intensitātes pastiprināšanās atkārtota kairinājuma rezultātā. Pikarda šo sauc par „zvana efektu” (tas ir, vairāki mazi kairinājumi izraisīs lielāku un ilgstošāku efektu, nekā viens liels kairinājums).

Šo iemeslu dēļ emociju modelēšana nav reālistiska ar lineāru (trūkst piesātināšanās), eksponenciālu vai logaritmisku (trūkst piesātināšanās vienā skalas pusē) funkciju. Sigmoīda nodrošina piesātināšanos, kā arī reālistisku vairāku kairinājumi modelēšanu – “zvana efektu” (Hudlicka, 2011; Picard, 1997).

Visbeidzot, aktivizācijas funkcijai jāapskata arī semantiskā puse, t.i., iespējamie parametri un to vērtības. Vairākās izstrādēs, Rebelo un kolēģu un Kazemifarda un kolēģu modeļos, MAMID, funkcijas semantika ir abstrakta un pilnībā nespecificēta. OCC modelī emocijas intensitāte tiek aprēķināta kā starpība starp plānu vai mērķi un reālo situāciju, respektīvi, jo starpība lielāka, jo emocija intensīvāka (Gratch, 2000b). Līdz ar to tajās izstrādēs, kurās emociju novērtēšana balstīta uz OCC modeli (Korečko un kolēģu izstrāde, EMA, FLAME, WASABI,

ALMA), ar dažādiem koeficientiem tiek izmantoti divi parametri: tas, cik ļoti aģents kaut ko vēlas un notikuma iespējamība (Steunebrink et al., 2009).

Izmantojot vairākus arhitektūras slāņus, tiek izmantota arī vairāku līmeņu emocijas intensitātes izskaitļošana. Pēc tam, kad ir noteikta kairinājuma intensitāte, tā tiek ievietota sliedzīgā funkcijā, lai konstatētu, vai konkrētais kairinājums vispār izraisīs pozitīvas vai negatīvas emocijas (kā MAMID, Kazemifarda un kolēģu izstrādē). Šāda pieeja atbilst uzmanības pievēršanai, tomēr saskaņā ar dažādām informācijas apstrādes teorijām atbilst tikai pirmajam, reaktīvajam, līmenim, tādēļ pati par sevi nav pietiekama.

Norimšanas funkcija ļauj noteikt, cik ātri un kādā dinamiskā emocija pāries un aģents atgriezīsies sākuma stāvoklī. Arī norimšanas funkciju modelē dažādā veidā: lineāri, kā eksponenti vai sinusoīdu/apgrieztu sigmoīdu. Daudzās arhitektūrās šī norimšana modelēta kā eksponente, piemēram, jau minētajā Santosa izstrādē (Santos et al., 2011), arī Rebelo un kolēģu izstrādē, ALMA aģentā, Kazemifarda un kolēģu izstrādē. WASABI kombinē vairākas funkcijas, noskaņojumam izmantojot sinusa funkciju, savukārt emocijām – lineāru funkciju. Korečko un kolēģu izstrādē norimšana, balstoties uz OCCr, tiek modelēta kā apgrieztā sigmoīda. MAMID kā pamatu izmanto Raizencaina darbus, norimšanu modelējot kā sinusa funkciju. EMA aģentā norimšana modelēta ar atkārtotas novērtēšanas palīdzību (lēcienuveidā) vai lineāri, tāpat arī FLAME norimšana ir lineāra.

Citās izstrādēs ir iespēja aģentam ļaut pievienot vairāk kā vienu funkciju (Pereira et al., 2011), jo par emociju norimšanas raksturu vienošanās nav arī psiholoģijā. Piemēram, (Verduyn et al., 2009) apstiprina emociju norimšanas eksponenciālo raksturu, taču (Codispoti et al., 2009) un (Reisenzein, 1994) liknes vairāk atbilst sinusoīdai vai apgrieztajai eksponentei. Lineārā pieeja it īpaši īslaicīgo emocionālo stāvokļu modelēšanai (t.i., emocijām), ir kritizēta un principā atmesta kā nereāla (Hudlicka, 2011).

Būtisks ir arī jautājums par emociju ilgumu kopumā, kas ir viens no galvenajiem parametriem šajā funkcijā (citi ir personības ietekme, taču tie apskatīti tālāk). Psiholoģijā var atrast vairāku veidu eksperimentus, kas meklē emociju ilgumu. Autore konstatējusi, ka ir trīs tipu paņēmieni, ar kuru palīdzību mēra emociju izraisīšanos: ar MRA (magnētiskās rezonanses attēlagnostiku), kas emocijas nosaka 1-2 sekunžu ilgā laika posmā (Canli et al., 2001), taču šīs metodes faktiski nemēra emociju ilgumu, bet gan impulsus, kas attiecīgi ilgst tikai sekundi. Otrs variants ir mērīt fizioloģiskos parametrus, piemēram, sirds ritmu vai ādas vadītspēju (Codispoti et al., 2009), saskaņā ar šiem pētījumiem izskaitļotais emociju norimšanas ilgums ir nepilnas 30 sekundes. Visbeidzot, trešajā variantā emocijas tiek mērītas, izmantojot eksperimenta dalībnieku atgriezenisko saiti (Verduyn et al., 2009). Šeit tiek ziņots, ka emocijas ilgst 20 minūtes, taču eksperimenta laikā dalībniekam faktiski atkārtoti tiek ierosināts kairinājums.

Lielākajā daļā emocijās sakņoto aģentu emociju norimšanas funkcija ir abstrakta, t.i., nav izskaitļota, balstoties uz norimšanas laiku – FLAME, EMA, Rebelo un kolēģu darbos. Citās vietās emocijām izvēlēts aptuvenš ilgums (piemēram, 30 sekundes) bez pamatojuma – MAMID, Aida izstrādē (Aydt et al., 2011), tomēr uzsverot, ka emociju norimšanas laiks atšķiras dažādām emocijām; WASABI un Korečko un kolēģu izstrādei norimšanas laiks ir 10 sekundes. ALMA aģentā noskaņojuma norimšanas laiks ir 20 minūtes.

Lai apmierinātu abas šīs emociju īpašības (piesātināšanos un „zvana efektu”) un būtu balanss starp izteiksmīgumu un skaitļošanas sarežģītību, tiek piedāvāts kā aktivizācijas funkciju izmantot sigmoīdu, kuras parametri atkarīgi no konkrētā lietotāja. Savukārt, emociju norimšana tiks aprakstīta ar eksponentfunkciju. Emociju norimšanas raksturs ir viens no jautājumiem, uz kuriem atbildēt var palīdzēt cilvēka imitācija ar emocijās sakņotu aģentu palīdzību. Visbeidzot, kā laika parametrs promocijas darbā tiks izmantotas nepilnas 30 sekundes emociju norimšanai kā vidējais rādītājs (balstoties uz pētījumiem par fizioloģiskajiem rādītājiem) un 20 minūtes noskaņojuma norimšanai (šīs ir balstīts gan uz to, ka šāds ilgums tiek izmantots ALMA aģentā, gan to, ka ir avoti, kas norāda uz 20 minūtēm kā iespējamo emocionālā stāvokļa ilgumu).

2.4.3. Emociju seku noteikšana

Arī emociju seku norimšanai, kas ir otrais no Hudličkas uzdevumiem, ir trīs apakšuzdevumi.

Emociju un to seku savienošana ir funkcija, kas apraksta, kā tiek savienotas emocijas un tām atbilstošie ārējo un iekšējo izpausmju šabloni (piemēram, prieka izpausme ir smaidīšana (ārējā izpausme) un paaugstināta kognitīvā kapacitāte (iekšējā jeb uzvedības izpausme)) (Broekens et al., 2008). Iekšējām izpausmēm pieder arī citas izpausmes, tajā skaitā uztveres kapacitātes mainīšanās, lēmumu pieņemšanas ātruma un kvalitātes mainīšanās, savukārt ārējās izpausmes var tikt demonstrētas gan caur sejas izteiksmēm, gan ķermeņa pozām, gan balss izmaiņām u.c. veidos. HCogAff šīs emociju ietekmes ir pieminētas tikai teorētiski, taču trūkst to projektējuma. No tā, ko emocijas ietekmē, var izdalīt lietojumus, kas īpaši uzsver iekšējās vai ārējās ietekmes. Tā, piemēram, MAMID koncentrējas uz aģenta spriešanu, taču WASABI – uz aģenta emociju izrādīšanu.

No realizācijas viedokļa atkal var izdalīt divas grupas: tādas, kurās emociju ietekmes ir iekodētas konkrētu produkciju likumu veidā un parādās konkrētā ārējā vai iekšējā izpausmē vienmēr (šeit pieder PECS, FLAME, sākotnēji Kazemifarda un kolēģu izstrādes, Korečko un kolēģu izstrāde, WASABI), un tādas, kur emociju ietekmes ierobežo aģenta darbības, taču tieši tās neiekodē (MAMID, EMA, Rebelo un kolēģu, vēlākās Kazemifarda un kolēģu izstrādes, ALMA).

Īpaši šeit jāizdala MAMID, kur emociju ietekme ir iebūvēta pašā arhitektūrā un faktiski maina veidu, kā funkcionē aģents kopumā, mainot tā moduļu parametrus (tādus kā apstrādājamo uzskatu skaits vienā iterācijā). Tādējādi emocijas ietekmē ne vien mērķus un darbības, un mentālo konstrukciju (piemēram, uzskatu) ranžēšanu, bet arī informācijas apstrādes ātrumu un kapacitāti. EMA aģents balstoties uz emocionālo stāvokli, izvēlas tālāko stratēģiju, faktiski emocijas izmantojot kā veikuma mēru.

Lai arī VirtualHuman projekts ir orientēts uz saskarni, tomēr ALMA nav izstrāde, kurā emocijas tiek tikai atspoguļotas – šajā izstrādē aģenta emocijas un garastāvoklis ietekmē ne vien vārdu un frāzējuma izvēli, žestu izvēli un izmantotās sejas izteiksmes, bet ar plānu izvēli, piemēram, atkarībā no studenta noskaņojuma skolotāja aģents maina apmācības taktiku, turklāt, skolotājs, ietekmējoties no studenta noskaņojuma, var kļūt dusmīgāks un mainīt pasniegšanas veidu. Līdzīgi arī students, atkarībā no emocionālā stāvokļa var apgūt vielu vai nu ar entuziasmu, vai arī mainīt plānu un pārstāt klausīties. No implementācijas viedokļa ALMA

aģentā ir profilu implementācija, kad atkarībā no lomas sarunā, mainās aģenta emociju izpausmes. Rebelo un kolēģu darbā, kā arī vēlākajos Kazemifarda darbos emocijas aģentam rada noslieces rīkoties noteiktā veidā (piemēram, sadarboties vai ne), taču darbības šabloni nav stingri definēti.

Ja pirmais tips (stingri definēti likumi) ir piemērotāks primārajām emocijām, tad, runājot par stratēģiju izvēli, aģentam nav nepieciešami konkrēti likumi, taču emocijām jāietekmē aģenta domāšana kopumā.

Dažādu emociju seku apvienošana, ņemot vērā to, ka izjustās emocijas atšķiras un dažādi ietekmē gan emociju izpausmes dažādās modalitātēs, piemēram, sejas izteiksmē un ķermeņa pozā, gan arī iekšējos procesus. Faktiski šī funkcija attiecas tikai uz tām izstrādēm, kas glabā intensitāti visām emocijām (tā vietā, lai glabātu, piemēram, iekšējo stāvokli, jo šādā gadījumā emociju apvienošana veikta jau iepriekš).

Lielākajā daļā izstrāžu, WASABI, PECS, Korečko un kolēģu izstrādē, sekas rada tās emocijas, kuras ir vizizteiktākās vai relatīvi vizizteiktākās. FLAME realizācija ir balstīta produkcijas likumos, tādēļ arī emociju apvienošana veikta ar to palīdzību. Līdzīgs risinājums ir sākotnējās Kazemifarda un kolēģu izstrādēs, kur lielāks svars tomēr ir jaunajai emocijai. Vēlāk tiek izmantota svērtā summa. Arī MAMID emociju sekas kombinē kā svērtu summu.

Var secināt, ka dažādu emociju seku kombinēšanai svērtā pieeja tiek izmantota visvairāk, un tā ļauj sapludināt dažādu emociju sekas, taču, ja emociju kombinēšana veikta jau sākumā, un tālāk tiek aprēķināts aģenta iekšējais stāvoklis, tad faktiski pietiek rēķināt sekas no šī iekšējā stāvokļa.

Emociju seku dinamikas aprēķins, kas pēc būtības un rakstura atbilst emociju dinamikas aprēķinam un satur izpausmes intensitātes aprēķinu un izpausmes norimšanas dinamiku, nav atrodams visos modeļos. Faktiski šī dinamika nosaka, cik stipra un ilgstoša ir emociju ietekme uz emocijas sekām. Taču lielākajā daļā risinājumu tas modelēts kā binārs lielums, t.i., emocijām vai nu ir ietekme, vai arī nē – FLAME, WASABI, PECS, Korečko un kolēģu darbā, EMA, Kazemifarda un kolēģu darbā.

Rebelo un kolēģu darbā emociju sekām ir dažāda intensitāte atkarībā no noskaņojuma. ALMA aģentā izpausmes diskretizē vairākās pakāpēs (“mazliet”, “vidēji”, “stipri”). Arī MAMID gadījumā emociju ietekmju intensitāte tiek modelēts nepārtrauktā telpā, kas tālāk diskretizēta parametros, piemēram, cik uzskatu vienlaicīgi var apstrādāt.

No semantikas viedokļa emociju sekas ir pētītas daudz mazāk, nekā to rašanās, tādēļ lielākajā daļā risinājumu izvēlēta vai nu binārā pieeja, vai arī uzvedības ir normalizētas noteiktā skalā. Atsevišķi pētījumi ir mērījuši izpausmes ilgumu (3 sekundes) (Marsella & Gratch, 2009), taču citi psiholoģijas pētījumi norāda, ka fizioloģiskie rādītāji ir aptuveni 30 sekundes (Codispoti et al., 2009).

Šī iemesla dēļ izpausmei var būt piemērota vai nu logaritmiskā, vai eksponentfunkcija. Savukārt emociju izpausmas intensitāti, līdzīgi kā aktivizēšanu, var modelēt vai nu lineāri, vai arī kā sigmoīdu, tā kā fizioloģijas dēļ vienalga būs vērojama piesātināšanās abos virzienos. Emociju paušanas funkciju turklāt ļoti ietekmē kognitīvā apstrāde un sociālie uzskati (van Kleef, 2010), tas ir daļēji modelēts ALMA aģentā, kā arī EMA aģentā.

2.4.4. Individuālo iezīmju modelēšana

Lai aģenta uzvedība līdzinātos cilvēka uzvedībai, tai nepieciešamas personības iezīmes. Īpaši būtiski tas ir grupas modeļos, tā kā gan empīriski pētījumi (Kelly & Barsade, 2001), gan esošie imitācijas modeļi (piemēram, (Bosse et al., 2009)) demonstrē, ka iesaistīto personības ietekmē grupas emocionālā stāvokļa attīstību.

Taču ne visas šeit aprakstītās izstrādes modelē individuālās iezīmes. Atsevišķos lietojumos, kas nav paredzēti grupas modelēšanai (t.i., daudzāģentu kontekstam), tas nav tik svarīgi (MAMID, FLAME, H-Cog-Aff), tomēr personības nav arī vairākiem aģentu modeļiem, kas paredzēti darbībai daudzāģentu vidē (PECS, Korečko un kolēģu izstrāde).

Tos modeļus, kas implementē personību, var iedalīt 3 grupās:

- a) tādos, kas personību modelē specifiski lietojuma jomai, ne vienmēr psiholoģiski pamatojot. Šeit pieder EMA aģenta sākotnējā versija Emile, kur aģentiem personība izpaužas kā tendence, piemēram, rīkoties agresīvi (Gratch, 2000a). WASABI ir izmantots parametrs, kas nosaka aģenta tendenci garlaikoties;
- b) tādos, kas personību modelē ar OCEAN modeļa palīdzību un tālāk izmanto šos parametrus aģentu uzvedības ietekmei. Sākotnēji Kazemifarda un kolēģu izstrādē personības nebija (Kazemifard et al., 2011), taču vēlāk tā ir pievienota ar mērķi noskaidrot, kuras OCEAN modeļa dimensijas ietekmē aģentu spēju izdzīvot imitētā plēsēja-medījuma vidē (Tavakoli et al., 2014);
- c) tādos, kas no OCEAN modeļa izgūst pamata stāvokli PAD telpā. Lai varētu personību savienot ar citiem emocionālajiem stāvokļiem, šajās izstrādēs personība tiek noteikta OCEAN modeļa veidā, taču tiek ievietota PAD telpā kā pamata stāvoklis, uz kuru aģenta emocionālais stāvoklis laika gaitā atgriežas. Šāda pieeja izmantota vairākos modeļos (ALMA, Santosa modelī (Santos et al., 2011), Rebelo un kolēģu izstrādē).

Faktiski personība nosaka jau aprakstīto intensitātes un norimšanas funkciju, kā arī ekspresijas funkcijas parametrus. Ekspresijas funkcija apraksta to, cik spēcīgi emocijas tiek izpaustas, t.i., izpausmes atkarību no iekšējās emocijas. Santosa pētījumā (Santos et al., 2011) personība ir ņemta vērā – atkarībā no tā, kāds ir cilvēks, mainās sliekšņa augstums, tādējādi nodrošinot, ka viens kairinājums diviem cilvēkiem var izraisīt dažādas emocijas. Arī citos lietojumos personība maina vai nu uzvedību tieši, vai netieši – caur emociju intensitāti.

Modelēšanas izteiksmīgumam un formalizācijas vienkāršībai (t.i., var izmantot vienu emociju teoriju, nevis apvienot vairākas) vislabākais ir c) variants, tā kā PAD telpa ļauj aprakstīt gan noskaņojumu, gan emocijas, t.i., emocionālo stāvokli kopumā. Lai pārietu no OCEAN dimensijām uz PAD telpu, tiek izmantota formula (2.1.), kuru izveidojuši PAD telpas autori (Mehravian, 1996).

$$\begin{aligned}P_{PAD} &= 0,21 * E + 0,59 * A + 0,19 * N \\A_{PAD} &= 0,16 * O + 0,3 * A - 0,57 * N \\D_{PAD} &= 0,25 * O + 0,17 * C + 0,6 * E - 0,32 * A\end{aligned}\tag{2.1.}$$

Diemžēl problēma ar šo pieeju ir tāda, ka, lai arī tā ļauj dinamiski noteikt aģenta emocijas, tomēr psiholoģijā daudz vairāk ir pētīta dažādu emociju atkarība no OCEAN dimensijām, līdz ar to tieši ir praktiski neiespējami noteikt emociju intensitātes atkarību no PAD dimensijām. Šī iemesla dēļ OCEAN modeli pēc pārveidošanas PAD pamata stāvoklī nevar pilnībā atmett, un tālāk ir analizēts tas, kādā veidā OCEAN dimensijas ietekmē ar emocijām saistītos raksturojumus.

Ne visas OCEAN personības dimensijas ietekmē emocijas, turklāt dažādām emocijām funkcijas atšķirsies arī pie vienas personības (Ramezani et al., 2011), tādēļ ir secināts, ka, lai arī PAD telpa ļauj modelēt nepārtrauktu emocionālo stāvokli, emociju novērtēšanai nepieciešams emocijas diskretizēt.

Tādēļ autore izveidojusi apkopojumu ar Ekmana pamata emocijām un aprakstījusi, kuras personības dimensijas un kā ietekmē emociju dinamiku (2.2. tabula). Ārpus šīm funkcijām ir palikusi vienīgi pārsteiguma funkcija, tā kā pats Ekman atzīst, ka tā ir kognitīva funkcija, kas līdz ar to ir īpaši atkarīga no apziņas.

2.2. tabula

Emociju dinamikas atkarība no OCEAN dimensijām

Emocija	Aktivizācija	Norimšana	Ekspresijas funkcija
Dusmas (Mehl et al., 2006; Zvi & Elaad, 2016)	Jo augstāks N, jo augstāka maksimālā vērtība un kāpums sākas ātrāk Jo augstāks A, jo lēzenāka funkcija	Jo augstāks A, jo stāvāka funkcija Jo augstāks N, jo lēzenāka funkcija	Jo augstāks N, jo lielāka maksimālā ekspresijas vērtība Jo augstāks C, jo vairāk tendēts paust negatīvas emocijas.
Skumjas (Mehl et al., 2006; Zvi & Elaad, 2016)	Jo augstāks N, jo stāvāka funkcija un augstāka maksimālā vērtība	Jo augstāks A, jo stāvāka funkcija Jo augstāks N, jo lēzenāka funkcija	Jo zemāks E, jo mazāka maksimālā vērtība Jo augstāks C, jo vairāk tendēts paust negatīvas emocijas.
Prieks (Mehl et al., 2006)	Jo augstāks E, jo augstāka maksimālā vērtība Jo augstāks A, jo augstāka maksimālā vērtība	Jo augstāks A, jo stāvāka funkcija	Jo zemāks E, jo mazāka maksimālā vērtība
Pretīgums (Zvi & Elaad, 2016)	Jo augstāks N, jo stāvāka funkcija un augstāka maksimālā vērtība	Jo augstāks A, jo stāvāka funkcija Jo augstāks N, jo lēzenāka funkcija	Jo zemāks E, jo mazāka maksimālā vērtība Jo augstāks C, jo vairāk tendēts paust negatīvas emocijas.
Bailes (Zvi & Elaad, 2016)	Jo augstāks N, jo stāvāka funkcija un augstāka maksimālā vērtība	Jo augstāks A, jo stāvāka funkcija Jo augstāks N, jo lēzenāka funkcija	Jo zemāks E, jo mazāka maksimālā vērtība Jo augstāks C, jo vairāk tendēts paust negatīvas emocijas.

Apzīmējumi: O – atvērtība (angļu val. *Openness*)
C – apzinīgums (angļu val. *Conscientiousness*)
E – ekstraversija (angļu val. *Extraversion*)
A – spēja vienoties (angļu val. *Agreeableness*)
N – nervozitāte (angļu val. *Neuroticism*)

Augstākās korelācijas starp emocijām un personību ir E un N dimensijām (Rusting, 1998). Sakarība starp personības iezīmēm un emocijām ir lineāra; tas ir novērots vairākos pētījumos, kas attiecināmi uz emociju intensitātes novērojumiem atkarībā no personības dimensijām (Pease & Lewis, 2015; Rusting, 1998).

2.4.5. Emociju formalizācija

Emociju formalizācijas jautājumi daļēji skarti jau iepriekš, pieminot to, ka ne visas teorijas ir iespējams formalizēt, taču tas ir nepieciešams emocijās sakņotiem aģentiem. Lai arī promocijas darbā tiek apskatīts tas, kā psiholoģija un tās teoriju formalizācija atbalsta emocijās sakņotu aģentu izveidi, tomēr formalizācija sniedz atgriezenisko saiti arī psiholoģijas teorijām, norādot uz neskaidrībām, konsekvences trūkumu, pieņēmumiem un citām problēmām (Reisenzein et al., 2013).

Formalizācija ir jēdzienu un to attieksmju sakārtošana fiksētā struktūrā¹⁴. Raizencains ir izdalījis divus emociju teoriju formalizācijas veidus: pirmkārt, formālās valodas jeb formālu sistēmu izveidi, no kurām secinājumus var izdarīt ar matemātisku darbību palīdzību, un, otrkārt, datormodeļus, kuriem pieder dažādu arhitektūru izveide un kuri paredzētas palaišanai, lai varētu izdarīt secinājumus (Reisenzein et al., 2013).

Saskaņā ar Raizencainu pirmajai grupai pieder formālās sistēmas (Reisenzein et al., 2013) jeb matemātiski jēdzienu un to sakarību sakārtojumi, kas tiek izmantoti kā rīki analīzei un dedukcijai¹⁵. Šai grupai pieder kopu teorija (piemēram, (Broekens et al., 2008)) un dažādu kārtu loģikas (Steunebrink et al., 2009), taču šeit var pieskaitīt arī varbūtību teoriju un nestrikto kopu teoriju, kas izmantota dažādās izstrādēs (Kazemifarda un kolēģu izstrādē, FLAME u.c.). Savukārt datormodeļu grupai pieder, piemēram, BDI vai citas kognitīvās arhitektūras, kas emocijas apraksta vispārīgu procesu secību un moduļu veidā (Reisenzein et al., 2013), kas faktiski atbilst matemātiskajam modelim.

Liela daļa šo pūliņu ir ar mērķi izveidot formalizāciju, kas nav atkarīga no emociju teorijām, t.i., ir vispārīga (Reisenzein et al., 2013). Šobrīd šis gan ir vismaz daļēji realizēts tikai novērtējuma emociju teorijām. Promocijas darba ietvaros uzsvars likts uz datormodeļu analīzi, tā kā šobrīd nav formālu matemātisko modeļu, kas ļautu aprakstīt emociju dinamiku, tikai to novērtējumu un atbilstošās sekas (tādu kā MAMID vai (Broekens et al., 2008)); nav arī pierādījumu, ka šādām matemātiskā modelī balstītām pieejām būtu būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar arhitektūrās balstītām pieejām. Datormodeļi intelektuālu aģentu gadījumā ir salīdzināmi, kā pamatu ņemot to arhitektūras, jo no funkciju viedokļa tie analizēti jau iepriekšējās apakšnodaļās.

No esošajām arhitektūrām HCogAff nav pietiekoši formalizēta, lai būtu implementējama. PECS ir mēģinājums radīt vispārīga sociāla aģenta ietvaru, kas būtu sakņots sistēmu teorijā. PECS ir vispārīga līmeņa formalizācija – arhitektūra, kas sakņota sistēmu teorijā, un satur četrus

¹⁴ Definīcijas avots: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/formalize>

¹⁵ Definīcijas avots: <https://www.britannica.com/topic/formal-system>

abstraktus modeļus. Aģentā, kas realizēts uz PECS pamata, ir veikti daudzi tuvinājumi un pieņēmumi, lai to būtu iespējams implementēt.

Bieži praksē gan datormodeļi, gan formālās sistēmas tiek kombinētas. FLAME gadījumā tiek izmantota procesu secība, kas iekļaujas arhitektūrā, taču notikuma svarīgums, iekārojamība un patika pret notikumu aprakstīta nestrikto kopu veidā. Korečko un kolēģi izmanto OCCr modeļa formalizāciju emociju novērtēšanai, taču papildus rēķina stāvokļu dinamiku, kuru apvieno ar BDI aģentiem, rezultātā formalizējot emocijas arī pārlicību, vēlmju un nodomu veidā.

Kazemifards un kolēģi izmanto nestriktās kopas, lai aprakstītu un diskretizētu emociju intensitātes vērtības; savukārt emociju izraisīšanās balstīta OCC modeļa formalizācijā. Kazemifarda un kolēģu emocijās sakņotais aģents sastāv no vairākiem moduļiem, kuru mērķis ir aprēķināt emociju intensitāti un pēc tam skaitļot dinamiku, savukārt vēlākās izstrādēs tas papildināts ar OCC autoru (Steunebrink et al., 2009) trīs informācijas apstrādes līmeņiem, kas satur uzvedības, motivācijas, darbības un izziņas funkcijas, tādējādi radot pilnīgāku aģentu (Tavakoli et al., 2014).

ALMA un Rebelo un kolēģu darbā emocijas formalizētas PAD telpas kortežu veidā, kurā tiek pārveidoti gan personība, gan noskaņojums, gan notikumu novērtējumi. Emocijas pēc tam tiek diskretizētas ar intervālu palīdzību. Līdzīga pieeja izmantota arī WASABI.

EMA arhitektūra formalizācijas ziņā būtiski atšķiras no Emile arhitektūras. Emile visus notikumus formalizē ar predikātu loģikas palīdzību pārlicībās un mērķos (Gratch, 2000b), savukārt EMA, lai arī tāpat izmanto predikātu loģiku, ir BDI aģents. EMA ietver arī cēloņseku interpretācijas bloku, kurš satur aģenta šī brīža stāvokļa reprezentāciju, pagātnes, tagadnes, nākotnes stāvokļus, saistību starp šiem stāvokļiem un to notikšanas varbūtības.

No apskatītajām izstrādēm vienīgā, kas faktiski atbilst tikai datormodelim, nevis tā kombinācijai ar formālu sistēmu, ir MAMID, kura ir stingri balstīta procesos un pašas arhitektūras parametru mainīšanā. MAMID emocijas un ar tām saistītos parametrus apraksta Beijesa tīkla veidā.

Galvenais formālo sistēmu trūkums ir tas, ka ar to palīdzību ir vai nu sarežģīti, vai praktiski neiespējami aprakstīt emociju dinamiku laikā. Tā kā promocijas darba mērķis ir radīt ticamu aģentu, tad kā pamats formalizācijai izvēlēti datormodeļi vai to kombinācija ar formālajām sistēmām.

2.4.6. Spriešana un zināšanu glabāšana

Visbeidzot, spriešana un zināšanu glabāšana ir tā aģenta daļa, kas faktiski jau ir racionāla. Emocijas pārsvarā tiek saistītas ar aģenta spriešanas un plānošanas procesiem.

Aģenta spriešana lielā mērā sasauca arī ar to, kādā veidā ir formalizētas emociju teorijas. Piemēram, FLAME un PECS secināšanu no iegūtajām diskrētajām kopām veic ar produkcijas likumu palīdzību. Šīs izstrādes arī maz koncentrējas uz vispārīgiem spriešanas procesiem. H-CogAff spriešanai ir teorētiskas iestrādes, tomēr nav definēta tās implementācija. Rebelo un kolēģu izstrādē spriešana tiek veikta ar svaru pielāgošanas palīdzību.

Korečko un kolēģu darbā spriešanas mehānismi ir pakārtoti JADEx ietvara spriešanas mehānismam. JADEx ir JADE paplašinājums (Pokahr et al., 2005), kas paredzēts BDI aģentu

implementācijai un kura spriešana sastāv no plānu realizācijas un plānu izvēles. Zināšanas tiek glabātas Java objektu veidā. ALMA zināšanas par emocijām un apkārtējo vidi glabā AffectML – uz XML (no angļu val. *eXtensible Markup Language*) bāzētā zināšanu struktūrā. Arī ALMA ir BDI aģents, kuram papildus pievienots emociju skaitļošanas bloks. Līdzīgi arī WASABI ir implementēts uz BDI aģenta pamata, izmantojot papildus plānošanas algoritmus.

Kazemifarda arhitektūrā pirmais jeb refleksu līmenis ir implementēts kā produkciju likumi, taču rutīnas līmenis ir implementēts šablonu tabulas veidā (šeit tiek novērtēta notikuma sagaidāmība, atkarībā no pagātnes notikumiem) un savukārt refleksīvais līmenis ir implementēts notikumu un darbību vēstures veidā (tiek rēķināta noteikumu iespējamība, balstoties uz iespējamajiem līdzīgiem stāvokļiem nākotnē), uz kuru pamata tiek veikta spriešana – tāpat pēdējais līmenis balstīts uz lietderībām (Kazemifard et al., 2011).

Emile (Gratch, 2000b) un MAMID ir uz mērķi balstīti aģenti; savukārt EMA balstīta uz lietderībām. EMA arhitektūra ir veidota tā, lai aģents vienlaikus varētu apstrādāt vairāk nekā vienu notikumu, aprēķinot sarežģītu emocionālo stāvokli. Samierināšanās procesā aģents izlemj, kādā veidā reaģēt uz konkrēto emocionālo stāvokli, to izmantojot pārliecību veidošanā, cēloņseku atjaunināšanā un tālāko darbību plānošanā.

Kopumā vairākos šajos modeļos praktiski nav iespējams atsevišķi izdalīt emocionālos un racionālos spriešanas modeļus, līdz ar to var secināt, ka kā tendence parādās aģenta arhitektūrā integrēts ESM, kas izdalāms atsevišķi tikai abstrahējoties no implementācijas detaļām – projektējot sistēmu, tas tiek norādīts kā viens bloks, savukārt implementācijā tā funkcijas praktiski ir sadalītas starp vairākiem citiem blokiem.

Tāpat kā racionālie aģenti, arī emocijās sakņoti aģenti var būt vienkārši refleksu aģenti, kur aģenta atbilde faktiski ir atkarīga no vienas no trim pamatemocijām, tomēr visbiežāk tā ir sarežģītāka arhitektūra (bieži balstīta BDI arhitektūrā), kas ietver arī aģenta mērķus un padziļinātu vides analīzi.

2.4.7. Izstrāžu un modelēšanas metožu salīdzinājums

2.3. tabulā attēlots kopsavilkums aģentu arhitektūru salīdzinājumam. Kā secināts nodaļas sākumā, pilnībā ticami imitēt cilvēku ļautu arhitektūra, kura realizētu visas 2.1. tabulā uzskaitītās emociju lomas. Tā kā Hudličkas identificētie procesi izmantoti analīzei, tad šeit arī minēts, kuram no vispārējiem procesiem loma atbilst. Ņemot vērā, ka arhitektūras un modeļi, kas pilnībā ļauj implementēt cilvēka domāšanu, ir slāņveida, tabulā attēlots arī atbilstošais slānis, kā pamatu ņemot trīs slāņus no Slomana (Sloman, 2000):

- reaktīvajā līmenī notiek ātra, primitīva stimulu apstrāde;
- rutīnas līmenī stimula apstrādē iesaistās kognitīvie procesi;
- refleksīvajā līmenī ir procesi, kas saistīti ar pašrefleksiju un sociālajiem šabloniem.

Katrai no lomām pievienotas arī prasības tiem arhitektūras slāņiem, kuros šī funkcija realizējas – prasības iegūtas gan kā labā prakse no implementētajām arhitektūrām, gan arī no apkopojošiem pētījumiem (Broekens et al., 2008; Reizenzein et al., 2013) un praktiski – no implementācijas viedokļa. Visbeidzot, nepieciešama arī personības modelēšana, kas ietekmē

katru no lomām. Tādēļ tā iekļauta kā horizontālā prasība katrai no realizētajām lomām. Tabulā nav iekļauts HCogAff un PECS zemās formalizācijas dēļ.

Ātra stimula apstrāde ir viena no primārajām emociju lomām, taču faktiski tā implementēta tikai dažās izstrādēs: Kazemifarda un kolēģu darbā, MAMID, WASABI un EMA aģentā, jo visos pārējos modeļos stimulš tiek novērtēts vai nu vienu reizi, vai arī kognitīvi (kā ALMA aģentā). Vienīgā izstrāde, kas modelē personības ietekmi uz ātru stimula apstrādi, ir Kazemifarda izstrāde (Tavakoli et al., 2014).

Turpretim fiksētu uzvedības šablonu iedarbināšana un izpilde ir visos apskatītajos aģentos, tā kā tajos visos emocijas noved pie noteiktām darbībām. Lai arī šī loma vairāk attiecas tieši uz izdzīvošanai veltītiem šabloniem, tomēr mākslīgā aģentā šī loma var tikt paplašināta (Hudlicka, 2011). Šeit aģenta individuālo parametru ietekme ir gan Emile aģentā, gan ALMA, gan Rebelo un kolēģu, gan Kazemifarda un kolēģu izstrādē.

Resursu pārdale ir modelēta tikai divos aģentos: MAMID tā ir iebūvēta pašā arhitektūrā, savukārt EMA aģentā resursi faktiski tiek pārdalīti ar to, kā aģents izvēlas pārvarēt emocijas. Personības ietekme šajā aspektā ir nepilnīgā veidā modelēta EMA iepriekšējā versijā – Emile, kur aģents izvēlas noteiktu emociju pārvarēšanas stratēģiju (Gratch, 2000a).

Vairāku sistēmu koordinācija ir implementēta Kazemifarda trīs līmeņu arhitektūrā, kur kā dažādas sistēmas parādās izziņas un motivācijas komponentes, kā arī MAMID arhitektūrā, kur īpaši uzsvērti dažādi emociju ietekmju domēni (piemēram, situācijas novērtēšana, mērķa ģenerēšana). Arī ALMA tiek koordinētas izpausmes vairākās sistēmās (stratēģijā un veidolā), tāpat kā Rebelo un kolēģu izstrādē. Līdzīgi kā ar fiksēto šablonu iedarbināšanu, mākslīgos aģentos vairāku sistēmu koordinēšanu saprot mazliet plašāk – ietverot arī dažādu modalitāšu izpausmju, piemēram, sejā, ķermenī, balsī, koordinēšanu. Tā kā WASABI aģentā ir gan aģenta ārējā izpausme, gan iekšējais stāvoklis, tad arī šajā izstrādē tiek koordinētas vairākas sistēmas, atšķirībā no Korečko aģenta, kura iekšējais stāvoklis ir tieši saistīts ar vienu uzvedību. Gan ALMA, gan Rebelo un kolēģu izstrādē šīs lomas izpildi ietekmē personība, to norādot kā punktu PAD telpā.

Profilu iedarbināšana sasaucas ar to, vai emocijas ietekmes ir stingri noteiktas, vai emocija tikai ierobežo darbību apgabalu. Līdz ar to, balstoties uz emociju ietekmēm, var secināt, ka šī loma nav realizēta tajās izstrādēs, kurās emociju ietekmes ir iekodētas konkrētu produkciju likumu veidā un parādās konkrētā ārējā vai iekšējā izpausmē vienmēr (FLAME, sākotnēji Kazemifarda un kolēģu izstrādes, Korečko un kolēģu izstrāde, WASABI), bet ir tajās, kurās emociju ietekmes ierobežo aģenta darbības, taču tieši tās neiekodē (MAMID, EMA, Rebelo un kolēģu, Korečko un kolēģu, vēlākās Kazemifarda un kolēģu izstrādes, ALMA). Šai lomai personības ietekme ir visās izstrādēs, kas modelē personību un implementē lomu.

Mērķu pārvaldība realizēta tajās arhitektūrās, kurās ir implementēta vai paredzēta plānošanas un pārplānošanas funkcija, t.i, WASABI, EMA, MAMID. Kazemifarda un kolēģu izstrādē emocijas kalpo kā trauksmes signāls. ALMA un Rebelo un kolēģu izstrādē aģentiem gan ir mērķi, taču emocionālais stāvoklis tos neizmaina. Personības ietekme uz pārplānošanu ir modelēta Kazemifarda un kolēģu vēlākajos darbos (Tavakoli et al., 2014), taču arī EMA aģents atkarībā no personības varētu izvēlēties emociju pārvarēšanas stratēģiju – tas gan nav implementēts.

2.3. tabula

Emociju lomas dažādās arhitektūrās

Loma (Picard 1997; Hudlicka 2011); lomas pārfrāzētas un saīsinātas no 2.1. tabulas	Skaitļ. uzdevums (Hudlicka, 2011)	Arhitektūras līmenis	Prasības	Kazemifarda	EMA (Emile)	ALMA	MAMID	FLAME	Rebelo un	Korečko un	WASABI	Izstrādes, kurās šo lomu realizāciju ietekmē personība
				arhitektūra					kol. izstrāde	kol. izstrāde		
Ātra stimula apstrāde	Emociju ģenerēšana	Reaktīvais	Daudzlīmeņu arhitektūra, reaktīvā arhitektūra	+	+	-	+	-	-	-	+	Kazemifarda un kolēģu izstr.
Fiksētu uzvedības šablonu iedarbināšana un izpilde	Emociju ietekmes modelēšana	Reaktīvais, rutīnas	Daudzlīmeņu arhitektūra, reaktīvs un spriestspējīgs aģents	+	+	+	+	+	+	+	+	Kazemifarda un kolēģu izstr., Emile (EMA), ALMA, Rebelo un kolēģu izstr.
Resursu pārdale un mobilizācija	Emociju ietekmes modelēšana	Rutīnas	Funkcija, saskaņā ar kuru mainās aģentam vai tā moduļiem pieejamie resursi	-	+	-	+	-	-	-	-	Emile
Vairāku sistēmu koordinācija	Emociju ietekmes modelēšana	Refleksīvais	Daudzlīmeņu arhitektūra ar atbilstošām funkcijām, trauksmes ziņojuma nepieciešamība	+	-	+	+	-	+	-	+	ALMA, Rebelo un kolēģu izstr.
Darbības profilu (noslieču) iedarbināšana	Emociju ģenerēšana un ietekmes modelēšana	Reaktīvais, rutīnas, refleksīvais	Profils nav fiksēta, stingri noteikta uzvedība	+/- *	+	+	+	-	+	-	-	Kazemifarda un kolēģu vēlākie darbi, ALMA, Rebelo un kol. izstr., WASABI, Emile
Mērķu pārvaldība	Emociju ietekmes modelēšana	Reaktīvais, rutīnas, refleksīvais	Mērķu vai plānu pārvaldības funkcija	+	+	-	+	-	-	-	+	Kazemifarda un kolēģu vēlākie darbi

Loma (Picard 1997; Hudlicka 2011); lomas pārfrāzētas un saīsinātas no 2.1. tabulas	Skaitļ. uzdevums (Hudlicka, 2011)	Arhitektūras līmenis	Prasības	Kazemifarda	EMA (Emile)	ALMA	MAMID	FLAME	Rebelo un kol. izstrāde	Korečko un kol. izstrāde	WASABI	Izstrādes, kurās šo lomu realizāciju ietekmē personība
				arhitektūra								
Uzvedības motivācija	Emociju ietekmes modelēšana	Reaktīvais, rutīnas, refleksivais	Apmācības funkcija, kas aģentam ļauj mācīties par emocijām un ar tām saistītajām situācijām	+	-	-	+/- **	+	-	-	-	-
Mācīšanās motivācija	Emociju ietekmes modelēšana	Refleksivais	Visu mācīšanās funkciju iekļaušana aģenta darbības plānā atkarībā no emocionālā stāvokļa	+	-	+	-	-	-	-	+	Kazemifarda un kolēģu izstrāde, WASABI, ALMA
Iekšējā stāvokļa komunikācija	Emociju ģenerēšana, Emociju ietekmes modelēšana	Rutīnas, refleksivais	Iekšējā stāvokļa noteikšana, paušanas intensitātes aprēķins	+/- ***	+/- ***	+	+	+/- ***	+	+/- ***	+/- ***	Kazemifarda un kolēģu vēlākie darbi, ALMA, Rebelo un kol. izstrāde
Statusa komunikācija grupā	Emociju ietekmes modelēšana	Refleksivais	Sava un citu (aģentu vai lietotāja) statusa novērtēšanas funkcija	-	-	+	+/- **	-	+	-	-	Rebelo un kolēģu izstrāde
Pieķeršanās pārvaldība	Emociju ietekmes modelēšana	Refleksivais	Soc. attiecību glabāšana; emociju regulācija atkarībā no attiecībām	+	+/- **	-	+/- **	-	-	-	+/- ***	Kazemifarda un kolēģu vēlākās izstrādes
Iekšējā stāvokļa komunikācija pēc kļūdas pieļaušanas	Emociju ietekmes modelēšana	Refleksivais	Pašnovērtēšanas funkcija, ārējo personu novērtējums, emociju komunikācijas funkcija	-	+/- ***	-	+/- **	+	-	-	+	-

Skaidrojumi apzīmējumiem:

“+” – loma tiek realizēta pilnībā, “-” – loma vispār netiek realizēta

“+/-*” – loma realizēta agrākajā versijā, taču ne vēlākajā

“+/-***” – loma realizēta tikai teorētiski

“+/-****” – realizē daļu nepieciešamo funkciju (sīkāka informācija tekstā)

Uzvedības motivācija no emociju lomu viedokļa nozīmē to, ka emocijas kalpo kā balva vai sods. Praktiski mākslīgā aģentā to var implementēt ar mācīšanās funkcijas palīdzību, tādēļ tiek uzskatīts, ka šī loma piemīt tiem aģentiem, kas mācās, kā balvu izmantojot emocionālo stāvokli. Šādas izstrādes ir divas: Kazemifarda un kolēģu izstrāde un FLAME. MAMID arhitektūrā šāds mehānisms ir minēts, taču tikai teorētiski (tādēļ “+/-”). Personības ietekmi uz mācīšanās funkciju nemodelē neviena izstrāde.

Emocijas kalpo arī kā mācīšanās motivācija, kas faktiski nozīmē, vai aģenta mācīšanās funkcija tiek izsaukta, balstoties uz tā emocionālo stāvokli. Šāda pieeja izmantota Kazemifarda un kolēģu izstrādē, kur personības parametrs *O* (no OCEAN modeļa) mudina aģentu mācīties, un WASABI, kur aģenta garlaicība (kā personības parametrs) liek viņam vēlēties kaut ko darīt. Netiešā veidā šī loma izpildīta arī ALMA aģentā, kur studenta vēlme mācīties mainās no viņa emocionālā stāvokļa, savukārt emocionālais stāvoklis ir atkarīgs no personības.

Attiecībā uz iekšējā stāvokļa komunikāciju jāpiemin divi faktori: pirmkārt, tas, vai ir iespējams izskaitļot emociju paušanas intensitāti (nepieciešamais faktors iekšējā stāvokļa komunikācijas realizācijai), un otrkārt, tas, vai emocijas tiek paustas tieši, vai caur uzvedību. Komunikācija caur uzvedību ir netieša, un, lai arī gan tiešā, gan netiešā emociju paušana atbilst emociju lomai, tomēr tālāk aģenta projektēšanā šīs divu veidu izstrādes nepieciešams izdalīt atsevišķi. Izstrādes, kas rēķina emociju paušanas intensitāti un pauž emocijas tieši, ir ALMA un Kazemifarda un kolēģu darbi, atsevišķās izstrādēs MAMID (Hudlicka, 2012). Citas izstrādes emocijas pauž vai nu caur uzvedību (kā FLAME, Rebelo un kolēģu darbos u.c.), vai caur spriešanas procesiem (EMA eksistē dažādas emociju pārvarēšanas stratēģijas). Lielai daļai risinājumu tabulā atzīmēts “+/-” tāpēc, ka tie realizē tikai daļu vajadzīgo funkciju, proti, tiem trūkst emociju paušanas intensitātes aprēķina: FLAME, WASABI, Korečko un kolēģu izstrādei, EMA, Kazemifarda un kolēģu risinājumam. Personības ietekme uz iekšējā stāvokļa komunikācijas intensitāti ir modelēta ALMA un Rebelo un kolēģu izstrādē, atkal netieši – caur PAD telpu; Kazemifarda izstrādē emocija ietekmē to, cik bieži notiks iekšējā stāvokļa komunicēšana.

Statusa komunikācija grupā nav bieži realizēta loma, viens no iemesliem ir tas, ka šāda komunikācija nav tik būtiska, sadarbojoties ar lietotāju. Lai arī teorētiski statusa komunikāciju iespējams modelēt arī MAMID, tomēr praktiski tā modelēta tikai ALMA aģentā, veidojot skolotāja-studenta attiecības, un Rebelo un kolēģu izstrādē, kur statusa komunikācija nepieciešama grupas ilgtspējīgākai darbībai; turklāt šeit statusa komunikāciju ietekmē arī aģenta sākotnējā personība.

Līdzīgi arī pieķeršanās pārvaldība nav realizēta daudzos darbos; vistiešāk tas ir darīts Kazemifarda un kolēģu izstrādē, kur tas tiek veikts caur *A* dimensiju OCEAN modelī. MAMID arī šī loma modelēta tikai teorētiski, tāpat arī EMA aģentā ir pārvarēšanas stratēģijas, kas ļautu pārvaldīt pieķeršanos, taču tas nav implementēts. Visbeidzot, WASABI saglabā informāciju par lietotājiem, taču neglabā savu attieksmi pret tiem.

Iekšējā stāvokļa komunikācija pēc kļūdas pieļaušanas ir saistīta ar tādām emocijām kā vainas apziņa un kauns; šādas emocijas ir WASABI. EMA aģentā ir stratēģija, kas paredzēta realizācijai pēc kļūdas pieļaušanas ar mērķi mazināt vainas apziņu, taču šī stratēģija neietver

emociju komunikāciju. MAMID šī loma atkal realizēta teorētiski, savukārt FLAME atkarībā no lietotāja atgriezeniskās saites komunicē savas emocijas caur uzvedību.

Šajā apakšnodaļā pēc kritērijiem salīdzināti visi apskatītie modeļi, nākošajā apakšnodaļā veikta salīdzinājuma rezultātu analīze.

2.4.8. Arhitektūru un modelēšanas metožu salīdzinājuma analīze

Salīdzinājuma rezultātu analīze satur četrus apskatāmos jautājumus:

1. Cik lomu ir implementēts vai daļēji implementēts modelī?
2. Cik ārējo vai iekšējo lomu implementēts modelī?
3. Kāda ir personības ietekme uz lomu realizāciju?
4. Vai mākslīgā aģentā visām emociju lomām ir vienlīdz liela nozīme?

Cik lomu ir implementēts vai daļēji implementēts modelī?

Atbildot uz pirmo no jautājumiem, visvairāk lomu ir implementēts vai daļēji implementēts MAMID modelī (11 lomas – 75%), taču, var arī novērot, ka 4 no šīm lomām ir implementētas daļēji, kas MAMID modeļa kontekstā nozīmē, ka šo lomu realizācijai nav detalizēta projektējuma. Nākošais modelis pēc skaita ir Kazemifarda un kolēģu izstrāde, kur kopā implementētas 9 lomas, no kurām tikai 2 ir daļējas (kopā 11 - 75%). Tālu neatpaliek arī ALMA, WASABI un EMA ar 50% lomu. Pārējās izstrādes modelē mazāk par pusi no lomām, īpaši maz lomu ir Korečko un kolēģu izstrādē ar tikai 2 implementētām lomām. Kāpēc ir šādas atšķirības?

Pirmkārt, šeit tomēr jāņem vērā lietojuma mērķis jeb arhitektūras vispārīgums. Korečko un kolēģu izstrāde tika veidota specifiskam lietojumam, taču MAMID mērķis bija pilnībā ticama uzvedība, tāpat kā Kazemifarda un kolēģu izstrādē. Lomu implementāciju bieži vien atrisina pati arhitektūras struktūra; īpaši būtiski tas ir MAMID gadījumā, kur aģenta skaitļošanas blokiem pašiem ir parametri (piemēram, kapacitāte). Līdzīgi arī EMA/Emile ir vispārīga arhitektūra, kas pilnībā implementē 5, daļēji – 3 lomas. Arī WASABI mērķis bija izveidot ticamu virtuālo aģentu, kā rezultātā no 8 kopā implementētām lomām pilnībā implementētas 5. ALMA gadījumā visas 6 implementētās lomas ir pilnīgas; būtiskas līdzības ir ALMA un Rebelo un kolēģu izstrādei, kas parāda, ka PAD telpa ir vispārīgs modelis, kas ļauj modelēt vairākas lomas.

Cik ārējo vai iekšējo lomu implementēts modelī?

Skatoties uz iekšējo un ārējo lomu sadalījumu, iekšējās lomās līderi ir MAMID, Kazemifarda un kolēģu izstrāde, kā arī EMA, savukārt ārējās – ALMA un Rebelo un kolēģu izstrāde ar 2 pilnībā implementētām lomām. EMA un MAMID ir šķietami daudz daļēji implementētu ārējo lomu, taču tas faktiski nozīmē, ka ir atzīta atbilstošu funkciju nepieciešamība bez projektējuma. Daudzās izstrādēs ārējās lomas ir daļēji implementētas, kas nozīmē, ka tām trūkst vai nu būtisku funkciju, vai tās ir tikai pieminētas. Arī kopā iekšējo lomu relatīvā implementācija 2 reizes pārsniedz ārējo lomu implementāciju, kas ļauj secināt, ka šajās izstrādēs modelēšanas trūkst tieši ārējām emociju lomām, kas nepieciešamas grupas modelēšanai.

Kāda ir personības ietekme uz lomu realizāciju?

No tām izstrādēm, kas modelē personību, visvairāk tās ietekme relatīvi modelēta Kazemifarda un kolēģu izstrādē. Arī ALMA un Rebelo un kolēģu izstrādē šī ietekme ir

ievērojama. Tās izstrādes, kas neizmanto plašu personības aprakstīšanas modeli (WASABI, Emile), personību izmanto tikai atsevišķās lomās, lai gan, kā minēts iepriekš, tai jācaurvij visas lomas. Kazemifards šim nolūkam izmanto formulas, kas tieši saistītas ar OCEAN modeli, taču pieeja, kas ļauj izmantot tikai vienu teoriju un ir gana izteiksmīga, izmantota ALMA un Rebelo un kolēģu izstrādē, kur personība pārveidota PAD telpas mainīgajos, ar kuriem tālāk tiek veikti visi aprēķini.

Vai mākslīgā aģentā visām emociju lomām ir vienlīdz liela nozīme?

Visbeidzot, skatoties uz lomām, ko realizē aģenti, un to sasniegtajiem rezultātiem var secināt, ka, ja lietojuma joma ir šaura un specifiska, ne visas lomas ir vienlīdz svarīgas un aģents var sasniegt atbilstošus rezultātus arī bez visām lomām. Tā, piemēram, FLAME, kas implementēts kā mājdzīvnieks, demonstrē, ka arī ar dažām lomām var sasniegt ticamu aģenta uzvedību. Taču tas attiecas tikai uz lietojumiem ar vienkāršotu uzdevumu vai imitējamo būtni.

Ja runā par pilnībā ticamu cilvēka vai cilvēku grupas imitācijas modeli, ir svarīgi, lai tas saturētu visas lomas – lai arī šāda tipa imitācijās var zust to izsekojamība daudzo parametru dēļ, tomēr pilnībā ticamas imitācijas mērķis var atšķirties no tipiskiem aģentos sakņotiem modeļiem – t.i., mērķis ir radīt ticamas uzvedības ilūziju. Jāņem vērā, ka lai arī nepieciešamība pēc šādiem lietojumiem un atbilstošiem modeļiem ir atzīta¹⁶, tomēr modeļi, kas pilnībā īstenotu visas lomas, neeksistē. Vēl jo vairāk šī plaša pašreizējās pētījumos attiecināma uz ārējām lomām. Promocijas darba ietvaros tiek imitēta cilvēku grupa ar tās mijiedarbībām, kas nozīmē, ka tieši šīs lomas ir īpaši nozīmīgas – taču to realizācijas dažādu lietojumu vajadzību dēļ bieži atstāta novārtā.

2.5. Kopsavilkums un secinājumi

Promocijas darba 2. nodaļa satur apskatu par cilvēka modelēšanu gan no psiholoģijas, gan no datorzinātnes viedokļa. Nodaļā aprakstīta emociju nozīme un emociju lomas cilvēka modelēšanā, kā arī emociju teorijas un dažādi ar emocijām saistītie faktori. Pēc tam veikts esošo sistēmu un aģentu arhitektūru apskats un salīdzinājums, koncentrējoties uz emociju lomu izpildi.

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir dažādu emocijās sakņotu aģentu apskats un salīdzinājums, kā arī no salīdzinājuma izrietošie lēmumi tālākai tāda risinājuma projektēšanai, kas ļautu implementēt visas emociju lomas.

Izskatot esošos gatavos risinājumus, autore **galvenie secinājumi** ir šādi:

- emocijās balstīta spriešana ļauj gan uzlabot aģenta darbības rādītājus un funkcionēšanas spējas konkrētā vidē, gan arī modelēt dažādas sarežģītas situācijas gan apmācības, gan izklaides, gan pētniecības nolūkos;

¹⁶ Piemēram, emocionālās skaitļošanas pamatlicēja, R. Pikarda, 2017. gada “Affective computing un intelligent interaction” (ACII) konferencē tieši ticamu emocionālo tēlu veidošanu minēja kā pamatnosacījumu ilgtspējīgiem sociālajiem aģentiem, vienlaicīgi minot arī, ka šādi aģenti vēl neeksistē to augstās sarežģītības pakāpes dēļ.

- emociju ieviešana intelektuāla aģenta spriešanas procesos vai aģentu savstarpējā mijiedarbībā ļauj modelēt daudz sarežģītāku sistēmu, kas vairāk atbilst reālās dzīves situācijām, līdz ar to šādas sistēmas varētu būt izmantojamas ne vien sociālo zinātņu pētījumu attīstīšanai, bet arī dažādu sistēmu teorijas modeļu testēšanai;
- tomēr, par spīti emociju modelēšanas priekšrocībām, neviens no šobrīd esošajiem risinājumiem nerealizē visas lomas. It īpaši trūkst izstrāžu, kas modelētu un implementētu ārējās lomas, t.i., tos uzdevumus, kas aģentiem ļauj mijiedarboties līdzīgi kā cilvēkiem, kas ir īpaši būtiski promocijas darbam.

Nodaļā veikti arī **citi secinājumi:**

- Emocionālā intelekta daudzšķautņainās definīcijas pierāda to, ka, lai būtu iespējams imitēt pilnībā ticamu cilvēka uzvedību, aģentam nepieciešama ne vien spēja apzināties savas emocijas, bet arī spēja komunicēt ar citiem aģentiem un uztvert to emocionālo stāvokli, it īpaši, ja plānots modelēt aģentu grupu. Emociju nozīme un funkcijas cilvēkā ir aprakstāmas emociju lomās jeb uzdevumos. Uz šo lomu pamata iespējams ne vien salīdzināt emocijās sakņotus aģentus, bet arī definēt to prasības.
- Izmantoto psiholoģijas modeļu skaits emocijās sakņotu aģentu izstrādei ir neliels, un bieži vien tiek izmantotas šo modeļu kombinācijas. Katrai no emociju teorijām ir savs apgabals, ko tā ļauj modelēt. Novērtējuma emociju teorijas ir ērtas stimula un emocionālā stāvokļa saistības aprakstīšanai, taču neļauj aprakstīt emocijas un to dinamiku. Gan psiholoģijas teorija, gan esošo emocijās sakņoto aģentu apskats ļauj secināt, ka emociju dinamikas modelēšanai ar konstruktīvisma emociju teorijām, konkrēti PAD modeļi, ir priekšrocības: tas ļauj integrēt emocijas, noskaņojumu un personību, kā arī apvieno vienā telpā dažādas emocijas, kas savukārt nepieciešams, lai modelētu pārejas starp tām, t.i., emociju dinamiku.
- Būtiski ir tas, ka visām emocijām nav vienāda dinamika, tādēļ katrai modelējamai emocijai ir nepieciešamas savas emociju dinamikas aprēķina funkcijas.
- Arhitektūras, kas ticamai cilvēka imitācijai ir vistuvāk, satur vairāk nekā vienu komponenti un vairāk nekā vienu slāni, līdz ar to būtu nepieciešams veidot vertikālu daudzslāņu arhitektūru, kas ļauj atspoguļot primārās, sekundārās un terciārās emocijas.
- Pagaidām apskatītajos lietojumos emociju nodošana un arī citu aģentu emociju saņemšana nav bijusi mērķis, taču, lai tās sasniegtu vēlamu rezultātu grupā, citiem jāspēj tās uztvert (t.i., interpretēt).

Nākošā nodaļa veltīta aģentu sociālajām emocijām un tam, kā emocijas tiek nodotas un ko tās ietekmē grupas līmenī.

3. CILVĒKU GRUPAS IMITĀCIJA

Cilvēku grupas emocionālo mijiedarbību imitācija ir sakņota cilvēka emociju ietekmē uz citu cilvēku emocionālo stāvokli, domāšanu un darbībām, neatkarīgi no tā, vai emocija tiek izpausta ar vai bez nodoma. Ar cilvēku grupu šajā promocijas darbā līdzīgi kā klasiski psiholoģijas literatūrā, tiek saprasta sociālā sistēma, kurai ir robežas, kopējs mērķis, kura sasniegšanai eksistē savstarpējās atkarības, un noteiktas dalībnieku lomas (Kelly & Barsade, 2001). To, kādu iespaidu viena cilvēka emocijas atstāj uz citu cilvēku emocionālo stāvokli vai racionālajiem spriedumiem, sauc par emociju sociālajām ietekmēm.

Lai būtu iespējams modelēt emociju nodošanas mehānismus, tie ir jāformalizē. Atšķirībā no cilvēka iekšējiem modeļiem, emociju nodošanas mehānismiem šāda formalizācija vēl neeksistē, lai arī jau pastāv atsevišķas izstrādes, kas ļauj aprakstīt vienkāršus mijiedarbības modeļus (piemēram, emociju izplatību Bosē un kolēģu darbos (Bosse et al. 2009; Bosse et al. 2014)). Īpašu uzmanību šim nolūkam no psiholoģijas un socioloģijas viedokļa nepieciešams pievērst pētījumiem, kas ļauj (1) klasificēt emociju nodošanas mehānismus, (2) noteikt, kā šie mehānismi mainās atkarībā no cilvēka subjektīvajiem rādītājiem, piemēram, sociālajiem mērķiem un personības, kā arī (3) konstatēt kopējo grupas emocionālā stāvokļa attīstības tendenci.

No DAS viedokļa, ir nepieciešams pievērst uzmanību gan eksistējošajiem imitācijas modeļiem, gan citiem risinājumiem, kas varētu veicināt emociju nodošanu no semantikas viedokļa, piemēram, emociju ontoloģijām.

Šīs nodaļas sākumā aprakstīta psiholoģiskā un socioloģiskā bāze, kas nepieciešama cilvēku emocionālo mijiedarbību modelēšanai, tajā skaitā, emociju nodošanas un to seku izskaitļošanas mehānismi. Tālāk veikta mehānismu klasifikācija, balstoties uz kuru, ir salīdzināti jau eksistējošie cilvēku emocionālo mijiedarbību modeļi. Visbeidzot apskatīti ar DAS saistītie risinājumi, respektīvi emociju ontoloģijas un emociju nodošanas mehānismi.

Nodaļas nobeigumā sniegti secinājumi par cilvēku emocionālo mijiedarbību un iespējām to implementēt datorsistēmā.

3.1. Emociju nodošanas sociālie aspekti

Lai arī lielākā daļa ar emocijām saistīto pētījumu gan psiholoģijā, gan tā rezultātā arī datorzinātnē, apskata emociju izcelsmi un to ietekmi uz domāšanu vienā cilvēkā, nekoncentrējoties uz emociju sociālajām ietekmēm un nozīmi, tomēr ir pētījumu virziens, kas aplūko emocijas kā sociālu paradigmu grupas ietvaros.

Šie pētījumi balstās uz uzskatu, ka emocijas ir sociālas, t.i., attīstījušās kā sociālās informācijas nesējs, kas ļauj pieņemt lēmumus citādi neskaidrās situācijās (van Kleef, 2016). Arī no augstāk aprakstītajām Hudličkas (Hudlicka, 2011) minētajām emociju lomām secināms, ka cilvēku mijiedarbības regulēšana ir viens no emociju galvenajiem uzdevumiem. Šajā apakšnodaļā apskatīti, pirmkārt, pētījumi, kuru objekts ir cilvēku grupas un cilvēku emociju ietekmes uz citiem, otrkārt, apskatīti emociju nodošanas mehānismi no psiholoģijas viedokļa un visbeidzot aprakstīti makrošabloni – emociju ietekmes un raksturs grupas līmenī.

3.1.1. Emociju sociālais raksturs

Pētījumi par emociju sociālajām ietekmēm literatūrā ir izklaidēti pa dažādām jomām (piemēram, pāru attiecības, grupu konflikti, utt.) (van Kleef, 2016), taču promocijas darbā galvenokārt apskatītas vispārīgas teorijas: pirmkārt, Barseidas ilggadēji veiktie pētījumi, kuri pēta emociju mehānismus nelielās grupās galvenokārt ar mērķi noteikt, kā tie iespaido grupas noskaņojumu, un, otrkārt, EASI teorija (no angļu val. *Emotions as Social Information*), kas pēta emocijas kā sociālās informācijas nesēju plašākā kontekstā.

Promocijas darba idejas no psiholoģijas viedokļa lielā mērā balstās uz abām šīm teorijām, tā kā tās viena otru papildina un ļauj noteikt gan to, kā emocijas grupā ietekmē indivīdu, gan kopējo grupas dinamiku.

Barseidas pētījums par emocijām nelielās grupās

Barseida un kolēģi grupas dinamikas pētīšanu veic jau kopš 90-to gadu beigām ar mērķi uzlabot grupas darba efektivitāti, produktivitāti un kopējo noskaņojumu. Rezultātā var identificēt četrus stūrakmeņus, uz kuriem balstās pētniecība šajā jomā (Barsade & Gibson, 2012): emociju konverģence, emociju diverģence, emociju kultūra un grupas emociju dinamika.

Konverģence šobrīd ir visilgāk pētītais grupas makrolīmeņa fenomens, kura pamatā ir empīriski novērojumi par to, ka grupas dalībnieku kopējam noskaņojumam ir tendence kļūt līdzīgam, t.i., konverģēt. Līdzīgi emociju diverģence pēta tās grupas, kuru kopīgais noskaņojums nekonverģē, bet tieši otrādi – kļūst atšķirīgs. Abi pētījumu virzieni koncentrējas uz procesiem, cēloņiem un faktoriem, kas varētu ietekmēt grupas kopējo noskaņojumu un tā raksturu.

Emocionālā kultūra ir pētījumu virziens, kas ir cieši saistīts ar grupas politikas vadlīnijām un to, kāda ir grupas pieņemtā uzvedība.

Pēdējos gados (Barsade & Gibson 2012, Collins et al. 2016) arvien aktuālāka kļūst diskusija par to, ka emocionālos procesus grupā nedrīkst pētīt atrauti; tie ir jāpēta ilgākā laika griezumā, t.i., dinamiski. Emociju dinamikas pētījumu virziens koncentrējas uz dažādiem ilgāka laika grupas noskaņojuma šabloniem, tajā skaitā emociju spirālēm (t.i., emociju cikliskumu – to, ka emocijām ir tendence eskalēties vai norimt cikliskā veidā ar pastiprinājumu vai pavājinājumu, ko var ilustrēt ar spirāles palīdzību) (Barsade 2002, Hareli & Rafaeli 2008) un grupas emociju norimšanu.

Barseida un kolēģi izdala divu līmeņu faktoros, kas ietekmē emocionālos procesus grupā (Barsade & Gibson, 2012):

- Augšupejošās perspektīvas faktori, t.i., tie faktori, kas ir saistīti ar vienu indivīdu, piemēram, personība, emociju uzņemšanas tendences. Raugoties no augšupejošās perspektīvas uzskata, ka indivīdu emocionālās ievades kombinējas ar to emocionālajiem procesiem, lai veidotu grupas kopējo noskaņojumu un emociju dinamiku.
- Lejupejošās perspektīvas faktori jeb faktori, kas saistīti ar grupu kopumā, piemēram, grupas normas, notikumi laika griezumā. Lejupejošā pieeja skatās uz sekām, ko atstāj

grupas vai konteksta iezīmes vai nu neatkarīgi, vai kombinācijā ar augšupejošajiem procesiem.

Promocijas darba ietvaros pirmkārt ir apskatīti augšupejošie procesi jeb procesi, kuru norisi ietekmē viena aģenta uzvedība un to mijiedarbības, un emociju makrošablonus ietekmējošie faktori, kas atrodas aģenta līmenī. Lejupejošie procesi galvenokārt attiecas uz to, kādā veidā grupa formējas (piemēram, cilvēki ir tendēti izvēlēties sev līdzīgus), un tas neietilpst promocijas darba tēmā (Barsade & Gibson, 2012).

EASI teorija

EASI teorijas pamatā ir sistemātisks pētījums un tā pēta viena cilvēka emociju ietekmi uz citu cilvēku emocijām. EASI teorijas pirmsākumi meklējami 21. gadsimta pirmās dekādes beigās (van Kleef, 2010). 2016. gadā iznākušajā grāmatā “*The Interpersonal Dynamics of Emotion*” pilnībā formulēta šī teorija un ar to saistītie pētījumi (van Kleef, 2016). Viena no pamata tēzēm, kurās balstīta EASI teorija, ir šāda: “Emocijas vismaz daļēji ir attīstījušās informācijas vērtības dēļ, ko tās sniedz novērotājam; tas, savukārt, palīdz koordinēt sociālās mijiedarbības” (van Kleef, 2016, 20. lpp).

Emociju kā sociālās informācijas nesēja teorija ietver divus galvenos apsvērumus. Pirmkārt, cilvēki, paužot emocijas, ne vienmēr tieši demonstrē iekšējo stāvokli, bieži saskaņojot emociju izpausmes ar mērķiem un vispārpieņemtajām sociālajām normām. EASI teorijā uz emociju izpausmēm skatās kā uz komunikācijas aktiem, kas ir vērsti uz kādu un kas var būt vai nebūt saistīti ar iekšējo emocionālo stāvokli (Parkinson, 1996). Otrkārt, visas emociju izpausmes novērotājam var sniegt informāciju, taču ne visas emociju izpausmes obligāti ir funkcionālas un palīdz izpaudējam sasniegt savu mērķi (van Kleef, 2016). Neatkarīgi no tā, vai emocijas tiek izrādītas tīšām vai netīšām; vai tās no izrādītāja viedokļa ir funkcionālas, vai ne, tās ļauj spriest par indivīda vēlmēm un nolūkiem, respektīvi, tas nemaina faktu, ka emocijām ir sociālas sekas (van Kleef, 2016).

Fundamentāls EASI pieņēmums ir, ka emocijas ir galvenais lēmumu pieņemšanas palīgs neskaidrās sociālajās situācijās, un cilvēki tās izmanto, lai pieņemtu lēmumu par veicamo darbību (van Kleef 2016; Manstead & Fischer 2001), pie kam neskaidrība var rasties gan par cita cilvēka mērķiem, gan arī par savu vai citu cilvēku sociālajiem motīviem. Tas saistās ar iepriekšējā nodaļā aprakstītajiem informācijas apstrādes līmeņiem, kas liecina, ka neskaidrās informācijas apstrāde var notikt:

- sekundārajā līmenī: neskaidrība par otra motīviem vai mērķiem un par savu iekšējo stāvokli (van Kleef, 2016); atbilstoši 2.1. nodaļā definētajām lomām: *iekšējā stāvokļa komunikācija pēc kļūdas pieļaušanas ar mērķi uzlabot attiecības vai samazināt kļūdas sekas un pieķeršanās jeb sociālo saišu demonstrēšana un pārvaldība (racionālu iemeslu vadīta)*;
- terciārajā līmenī: neskaidrība par statusu grupā un tās struktūru¹⁷; neskaidrība par citu

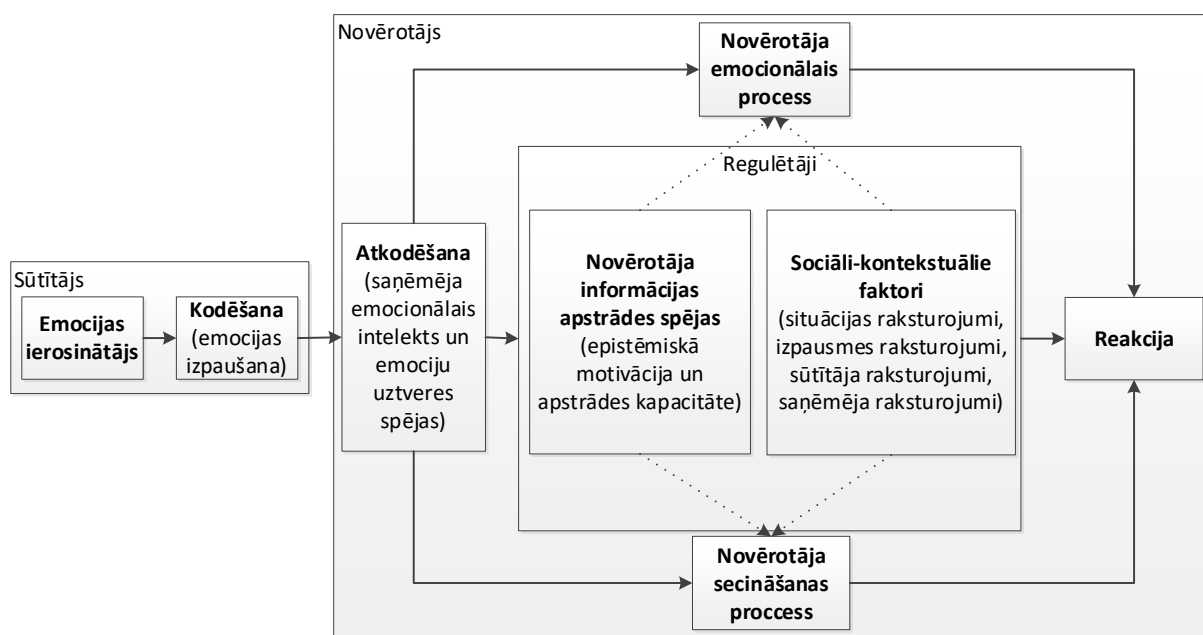
¹⁷ Šī ideja sākotnēji nāk no Čārlza Darvina (*Charles Darwin*) 1872. gada grāmatas “Emociju izpausmes cilvēkā un dzīvniekos” (oriģināli angļu valodā: *The Expression of the Emotions in Man un Animals*).

sociālajiem nolūkiem un sadarbības tipu (sāncensība vai sadarbība) (van Kleef, 2016) atbilstoši 2.1. nodaļā definētajām lomām: *komunikācija sociālā grupā (piemēram, dominances) un pieķeršanās jeb sociālo saišu demonstrēšana un pārvaldība (sociālu iemeslu vadīta)*.

Saskaņā ar EASI teoriju emocijām ir divējāda ietekme uz emocijas saņēmēja emocionālajiem un racionālajiem procesiem (van Kleef, 2016). Arī emociju ietekmei cilvēka domāšanā piemīt duāls raksturs, t.i., pēc atkārtotas stimula novērtēšanas tās atkal var ietekmēt racionālos vai emocionālos procesus. Emocionālās citu emociju ietekmes ietver novērotāja emocionālā stāvokļa vai intensitātes maiņu (van Kleef, 2016). Racionālās ietekmes ietver tālāku secinājumu veikšanu no emocionālajiem stāvokļiem (van Kleef, 2016).

Šī ietekmju turpināšanās savukārt noved pie izmaiņām uzvedībā un mijiedarbībā, tādējādi var teikt, ka emociju nodošanas un uzņemšanas mehānismiem piemīt rekursīvs raksturs (van Kleef et al., 2017).

Izmaiņas, kas rodas emociju dēļ, ietekmē galvenokārt saņēmēja pusē esošos procesus jeb reakciju, kuru savukārt ietekmē dažādi faktori, tajā skaitā iesaistīto pušu emocionālais intelekts (t.i., emociju kodēšanas un atkodēšanas spējas), vispārējās informācijas apstrādes spējas un vēlme saprast cita emocijas (jeb epistēmiskā motivācija, t.i., vēlme padziļināti izziņāt situāciju), ārējās vides un stāvokļa raksturojumi, kā arī iesaistīto pušu personības. EASI teorija shematiski parādīta 3.1. attēlā. Atšķirībā no Barseidas pētījumu līnijas, van Klīfs neizšķir mikro un makro līmeņa faktoros, atsevišķi izdalot racionālos un sociālos faktoros.



3.1. attēls. Emociju sekas saskaņā ar EASI teoriju (pielāgots no (van Kleef, 2010)).

Tālākā promocijas darba izstrāde, t.i., emociju nodošanas mehānismi un to klasifikācija, lielā mērā balstās uz abām šīm teorijām un to idejām. Abas aprakstītās teorijas apskata emociju sociālo nozīmi un apstiprina, ka emocionālo šablonu izplatība ir būtiska un ietekmē gan grupas,

gan viena aģenta racionālos aspektus. Abās teorijās ir aprakstīti līdzīgi procesi un emocionālos procesus ietekmējošie faktori, taču tie ievietoti dažādās klasēs.

Barseidas un kolēģu pētījumu virziens vairāk orientēts uz grupas līmeni, līdz ar to satur vairāk un detalizētākus aprakstus par grupas kopējo emocionālo procesu dinamiku, savukārt EASI teorija ietver precīzāku un detalizētāku seku aprakstu tieši saņēmēja pusē, ņemot vērā, ka šīs sekas ir gan emocionālās, gan racionālās. Tādējādi EASI un tai līdzīgās teorijas ir labi piemērotas mikrolīmeņa un mijiedarbību modelēšanai, savukārt teorijas, kas skatās uz grupas noskaņojumu kopumā (kā Barseidas un kolēģu pētījums) ļauj novērtēt izstrādāto modeli.

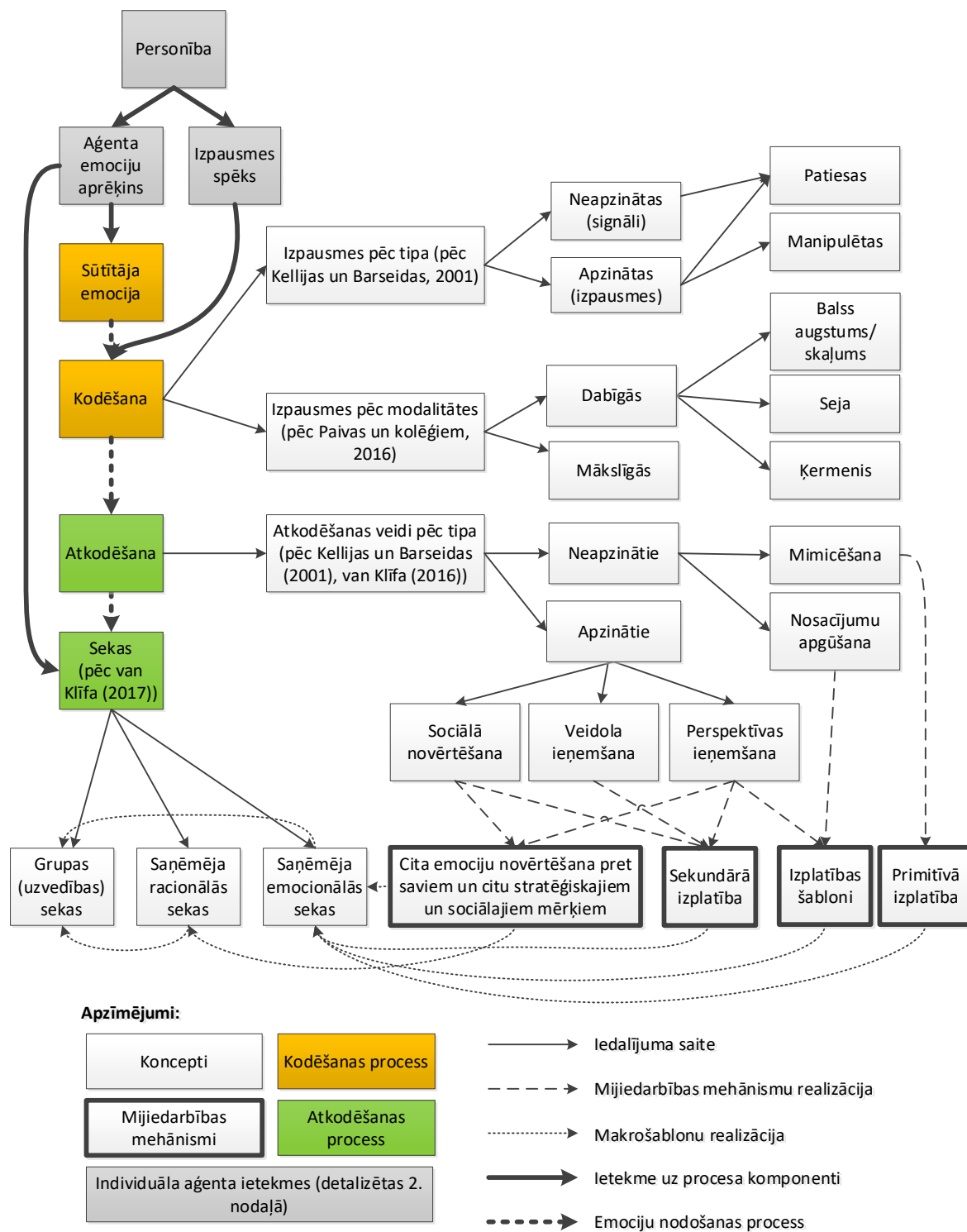
3.1.2. Emociju nodošanas mehānismi

Augstāk minētajās teorijās un arī citur literatūrā ir atrodami dažādi emociju nodošanas mehānismi, kas tiek skatīti kā procesi, kuru rezultātā notiek grupas līmeņa emociju izmaiņas. Van Klīfs (van Kleef, 2016) emociju nodošanai ir izdalījis trīs daļas (ja neskaita emocijas izjušanu, kas ir jau iekļauta aģenta iekšējā arhitektūrā): emociju kodēšana sūtītāja pusē, atkodēšana un sekas saņēmēja pusē. Ar emociju nodošanas mehānismiem saistīto jēdzienu karte atrodama 3.2. attēlā.

Kodēšanā ietilpst, pirmkārt, izpausmju iedalījums pēc modalitātes. Modalitāte ir kanāls, caur kuru emocijas tiek nodotas (Castellano et al., 2008). Modalitātes var būt dabīgas un mākslīgas, ar dabīgajām saprotot tās, kas sastopamas cilvēka uzvedībā, piemēram, sejas izteiksme, balss skaļums un augstums, ķermeņa poza, savukārt ar mākslīgajām – tās, kas ir radītas speciāli cilvēka-datora mijiedarbības realizācijai, piemēram, krāsas, dažādi trokšņi (Paiva et al., 2015). Promocijas darbā saziņa notiek starp aģentiem, kas sazinās, izmantojot mākslīgu interfeisu, t.i., caur FIPA ACL ziņojumiem, ar kuriem arī tiek modelētas dažādās modalitātes. Savukārt, tiklīdz lietojumā tiek iekļauts cilvēks, emociju nolasīšanas un izpaušanas modalitātes un komunikācija caur tām kļūst par vienu no būtiskākajiem jautājumiem (Paiva et al., 2015).

Emociju kā sociālās informācijas nesēju idejas balstās uz to, ka emociju izpausmes ir universāli atpazīstamas (van Kleef, 2016), taču, atkarībā no sūtītāja mērķiem, tās var būt patiesas vai manipulētas. Šo atšķirību uzver Kellijā un Barseida (Kelly & Barsade, 2001). Signāli ir speciāli paredzēti emociju nodošanai, bet mājieni ir blakusprodukti (Shariff & Tracy, 2011). Pēc būtības arī emociju izpaušanas funkcija pieder emociju kodēšanai. 3.2. attēlā ar pelēku krāsu parādītas tās emociju nodošanas daļas un faktori, kas pieder aģentu mikrolīmenim un līdz ar to apskatīti iepriekšējā nodaļā.

Atkodēšanas veids var būt apzināts vai neapzināts (Kelly & Barsade, 2001). Neapzinātajiem atkodēšanas veidiem pieder mimicēšana t.i., tendence atkārtot cita cilvēka emocijas kas savukārt noved pie primitīvās izplatības, un nosacījumu apgūšana, kas realizē šablonus (van Kleef, 2016). Apzinātajiem atkodēšanas veidiem pieder perspektīvas ieņemšana, veidola ieņemšana vai sociālā novērtēšana, kas savukārt veido sekundāro izplatību (van Kleef, 2016). Perspektīvas ieņemšana un sociālā novērtēšana ļauj veikt arī cita cilvēka emociju novērtēšanu pret saviem stratēģiskajiem un sociālajiem mērķiem, tādējādi ietekmējot racionālo spriešanu. Visbeidzot, saņēmēja emocionālās un racionālās sekas noved pie grupas uzvedības maiņas (van Kleef, 2016; van Kleef et al., 2017).



3.2. attēls. Ar emociju nodošanas mehānismiem saistītie jēdzieni.

Lai emocijas būtu iespējams nodot un tas novestu līdz sekām, ir identificēti emociju nodošanas mehānismi, kuru apkopojums atrodams 3.1. tabulā.

Mehānismi dažādos pētījumos

(Kelly & Barsade, 2001)	(A. L. Collins et al., 2016)	(van Kleef, 2016)	(Hareli & Rafaeli, 2008)
Neapzinātie: <ul style="list-style-type: none"> • Emociju izplatība • Emociju izplatība caur apziņu • Uzvedības ietrenēšana Apzinātie: <ul style="list-style-type: none"> • Emocionāla ietekmēšana • Emocionālo izpausmju pārvaldība 	<ul style="list-style-type: none"> • Primitīvā emociju izplatība • Uzvedības ietrenēšana • Empātija • Emociju ietekmēšana 	Atbilstošās (izplatās atšķirīgas emocijas): <ul style="list-style-type: none"> • Emociju izplatība • Perspektīvas ieņemšana • Sociālā novērtēšana • Iemiesošana Saskaņīgās (izplatās vienādas emocijas)	<ul style="list-style-type: none"> • Mimicēšana (izplatība) • Emociju interpretēšana

Sākotnēji mehānismu daudzums ir liels, tomēr faktiski šie mehānismi ir pārdēvēti dažādos nosaukumos. Izņēmums ir uzvedības ietrenēšana (kas atbilst van Klīfa iemiesošanai), jo tā nav tieši saistīta ar emociju nodošanu, bet gan ir viens no iemesliem, kāpēc grupas noskaņojums konverģē. Ja saņēmēja un sūtītāja emocija neatšķiras, tad saņēmēja emocionālo stāvokli sauc par savstarpēju, savukārt, ja emocija atšķiras – par atbilstošu (van Kleef, 2016).

Rezultātā identificēti šādi mehānismi:

- primitīvā emociju izplatība, kuru satur visi minētie pētījumi – savstarpējās emocijas nodošana;
- sekundārā emociju izplatība, kas atbilst emociju izplatībai caur apziņu (Kelly & Barsade, 2001) un empātijai (A. L. Collins et al., 2016); van Klīfs (van Kleef, 2016) sīkāk izdala divus mehānismus, perspektīvas ieņemšana atbilst sekundārajam līmenim, sociālā novērtēšana – terciārajam, taču pēc būtības šie divi mehānismi kopā atbilst sekundārajai emociju izplatībai;
- emociju nodošanas šabloni, ar kuru palīdzību, atšķirībā no izplatības, tiek izraisīts atbilstošs, nevis savstarpējs, emocionālais stāvoklis. Emociju nodošanas šabloni ir maz pētīti (van Kleef, 2016), taču šos mehānismus nevar apvienot ar izplatības mehānismiem, jo tie paredz citu emociju rašanos, līdz ar to būs implementējami atsevišķi; šis mehānisms atbilst Hareli un Rafaeli definētajai emociju interpretēšanai (Hareli & Rafaeli, 2008);
- emocionāla ietekmēšana jeb emociju tiešā nodošana, ar ko promocijas darbā tiek apzīmēts apzināts emociju nodošanas process, ar kura palīdzību grupas dalībnieki tīšām cenšas panākt noteiktu reakciju no citiem (Kelly & Barsade, 2001);
- manipulācija jeb emocionālo izpausmju pārvaldība – līdzīgi emociju tiešajai nodošanai, taču šajā gadījumā dalībnieks nepauž izjustu iekšējo emociju, bet gan cenšas pielāgoties sociālajām un emocionālajām normām (Kelly & Barsade, 2001).

Primitīvā emociju izplatība

Šis mehānisms ir balstīts uz diviem neapzinātiem procesiem: mimicēšanu, t.i., tendenci atkārtot cita cilvēka emociju, un, otrkārt, emociju rašanos no konkrētas sejas izteiksmes vai

ķermeņa pozas (Hatfield et al., 1993). Emociju izplatība balstās jau pieminētajās augšupejošajās emociju teorijās, saskaņā ar kurām noteikta ķermeņa poza vai noteikta sejas izteiksme var izraisīt emociju. Primitīvā emociju izplatība notiek bez apziņas iesaistes.

Personība stipri ietekmē emociju izplatību, tā kā tā ir tieši atkarīga no diviem individuāliem parametriem: pirmkārt, cik viegli un stipri cilvēks emocijas pauž, un otrkārt, cik viegli saņēmējs maina savu emocionālo stāvokli atkarībā no cita cilvēka emocionālā stāvokļa (Barsade, 2002). Pirmo parametru apraksta ar ekspresijas funkciju, kas jau aprakstīta iepriekšējā nodaļā, taču otro – ar uzņēmības funkciju. Līdzīgi kā ekspresijas funkciju, arī uzņēmības funkcijas raksturu ir iespējams izgūt no personību raksturojošiem modeļiem (Santos et al., 2011).

Uzņēmības funkciju dažādās izstrādēs modelē dažādi, taču parasti tas ir parametrs, kuru pārsniedzot, aģents saņem emociju. Tipiski uzņēmības funkcija tiek modelēta ar sliekšni, kur jo OCEAN modeļa dimensijas N vērtība lielāka, jo sliekšnis zemāks (piemēram, (Bosse et al., 2015)). Taču dažādām emocijām uzņēmība var atšķirties atkarībā no emocijas. Dažādu emociju uzņēmības sliekšņu atkarība no personības dimensijām parādīta 3.2. tabulā.

3.2. tabula

Uzņēmības sliekšņa atkarība no OCEAN personības dimensijām dažādām emocijām

	Dusmas (Mehl et al., 2006; Zvi & Elaad, 2016)	Skumjas (Mehl et al., 2006; Zvi & Elaad, 2016)	Prieks (Mehl et al., 2006)	Pretīgums (Zvi & Elaad, 2016)	Bailes (Zvi & Elaad, 2016)
Uzņēmības sliekšnis	Jo N lielāks, jo zemāks	Jo N lielāks, jo zemāks	Jo E lielāks, jo zemāks	Jo N lielāks, jo zemāks	Jo N lielāks, jo zemāks

Sekundārā emociju izplatība

Sekundārā emociju izplatība ir process, kad cilvēks emocijas jušanā iekļauj arī izziņas spējas, sociālās vērtības un sociālos modeļus, tādējādi izvēloties, vai viņš vēlas šo emociju just, un kādā veidā to var paust (Barsade, 2002). Emociju izplatība caur šo mehānismu ir apzināta, un tiek veikta vai nu caur cita perspektīvas ieņemšanu (angļu val. *perspective taking*) vai sociālās situācijas novērtējumu (angļu val. *social appraisal*) (van Kleef, 2016). Šie līmeņi atbilst sekundārajam un terciārajam līmenim informācijas apstrādē.

Emociju nodošanas šabloni

Abi iepriekšējie mehānismi, t.i., primitīvā un sekundārā emociju izplatība, attiecas uz savstarpējo emociju izplatību. Papildus tam eksistē arī mehānismi, kas var iesaistīt vai neiesaistīt izziņu un ietver saderīgu, taču citu emociju rašanos (van Kleef, 2016), t.i., kad aģents ir priecīgs, ja cits aģents ir skumjš vai dusmīgs. Šie mehānismi ir modelējami vai nu apziņā ar novērtējuma emociju teorijas palīdzību (sekundārais līmenis), piemēram, OCC modelis tieši ļauj implementēt šādas emocijas, vai arī zemapziņā, ar iemācīšanās palīdzību, piemēram, produkciju likumu ģenerēšanu primārajā līmenī. Emociju nodošanas šabloni arī saistīti ar terciāro līmeni gadījumā, ja emocijas rašanās atkarīga no sociālajām attiecībām.

Emocionāla ietekmēšana

Šis mehānisms ir kognitīvs un ietver emociju paušanu ar mērķi mainīt kāda darbības vai pārlicības un sasniegt savus mērķus (Kelly & Barsade, 2001). Emocionālā ietekmēšana var

attiekties gan uz sociālajām, gan kognitīvajām stratēģijām, tādējādi var rasties gan sekundārajā, gan terciārajā līmenī.

Manipulācija

No saņēmēja viedokļa nav starpības, vai cilvēks pauž reālu vai manipulētu emociju (Kelly & Barsade, 2001). Manipulācija var būt divējāda: ar mērķi iederēties sociālajā vidē (Kelly & Barsade, 2001), vai arī mērķi panākt savu (Austin et al., 2007); pirmajā gadījumā tā atbilst mijiedarbībai terciārajā līmenī, savukārt otrajā – mijiedarbībai sekundārajā līmenī.

Atsevišķs pētījumu jautājums sekundārā līmeņa manipulācijai ir tas, vai cilvēkam ir tendence manipulēt (Austin et al., 2007), taču sarežģītības dēļ no psiholoģijas viedokļa tas promocijas darbā nav iekļauts.

3.1.3. Emocionālās un racionālās ietekmes

Emociju izplatības mehānismi saņēmējā rada gan emociju stāvokļa, gan racionālās spriešanas izmaiņas, kuru dēļ savukārt izmainās uzvedība, radot ciklu, piemēram, negatīvas emocijas rada vēlmi izvairīties no darba, savukārt neizdarītais darbs pastiprina negatīvās emocijas (A. L. Collins et al., 2016).

Citu emociju emocionālās un racionālās sekas ir apskatītas dažādos kontekstos gan psiholoģijā, gan arī datorzinātnē, piemēram, van Klīfs ir apkopojis šīs sekas vairākās jomās, tajā skaitā pārdevēja-pircēja mijiedarbībā un grupu pārvaldībā (van Kleef, 2016). Atsevišķi pētījumi ir veikti arī ar datorsistēmu palīdzību, piemēram, kā medicīniskā personāla attieksme ietekmē virtuālu pacientu (Wu et al., 2014), u.c., taču ir tikai daži pētījumi, kas apskata emociju sekas kopumā, ne specifiskā kontekstā. EASI teorijā specifiski izdalītas emocionālās un racionālās sekas (van Kleef, 2016):

- Emocionālas sekas, kuras rada savstarpējo un atbilstošo emocionālo stāvokļu izraisīšana, kā arī ar emocijām saistīto attieksmju ģenerēšana:
 - emocionālā stāvokļa ietekmēšana, t.i., sūtītāja emocijas ietekmē saņēmēja emocionālo stāvokli;
 - patikas vai nepatikas veidošanās, t.i., sūtītāja emocijas ietekmē emocionālo attieksmi pret kaut ko;
 - emocijas kā nosacījuma refleksa veidošanās, t.i., spēcīgas emocijas var radīt nosacījuma refleksus.
- Racionālas sekas – emocijas ietekmē uzvedību un secinājumu veikšanu par:
 - to, kā emocijas sūtītājs novērtē situāciju;
 - sūtītāja personību;
 - sūtītāja sociālajiem motīviem un nolūkiem.

Hareli un Rafaeli izdala trīs veidu secinājumus, kas tiek veikti cita cilvēka emociju izpausmju dēļ: par sūtītāja spēku, par sūtītāja kompetenci un par sūtītāja uzticamību (Hareli & Rafaeli, 2008). Lai arī van Klīfs neizšķir tieši secinājumus par sūtītāja kompetenci, tomēr EASI teorija ietver atkodēšanas procesu, kura laikā emocijas saņēmējs nosaka, vai emocija šķiet atbilstoša situācijai (van Kleef, 2016), kas saskan ar Hareli un Rafaeli paustajām idejām.

Hareli un Rafaeli darbos ir atrodama doma, kas ir līdzīga Ortonija un kolēģu idejām par refleksīvā līmeņa nozīmi, t.i., cita cilvēka emocijas var radīt jaunas vai mainīt esošās pārlicības par attiecībām (Hareli & Rafaeli, 2008).

Saskaņā ar šajos pētījumos definēto seku klasifikāciju, aģenta terciārajā līmenī cita aģenta emocijām jāspēj izraisīt izmaiņas zināšanās par citu aģentu personībām un sociālajām stratēģijām, kā arī par sevi, un sekundārajā – par citu aģentu racionālajām stratēģijām.

3.1.4. Emociju ietekmes grupas līmenī

Kā jau iepriekš minēts, grupas līmenī ir divu veidu makrošabloni: konverģence un diverģence, kurus kombinējot, var iegūt emociju izmaiņas ilgtermiņā (tajā skaitā, mijiedarbību spirāles). Promocijas darbā apskatītas trīs šos makrošablonus veidojošās augšupejošo faktoru grupas: dalībnieku personības, sociālais statuss un attiecības. Jāpiezīmē, ka promocijas darbā tiek izslēgti lejupejošie faktori, t.i., grupa jau tiek ģenerēta noteiktā veidā tādēļ, lai pēc tam būtu iespējams to validēt pret esošiem psiholoģijas pētījumiem; izslēgti arī informācijas apstrādes faktori.

Makrošablonu atkarība no dalībnieku personībām ir īpaši uzsvēta vienā no agrākajiem šīs jomas pētījumiem (Barsade & Gibson, 2012), tā kā grupas dalībnieki, kam ir ekstrēmi emocionālie stāvokļi, var veidot grupas noskaņojumu primitīvās emociju izplatības dēļ. Nav pārsteidzoši, ka sakarība starp emociju izplatību un personību ir būtiska, tā kā personība ietekmē gan izpaušanas, gan uzņēmības funkciju raksturu (Barsade, 2002; Doherty, 1997). Makrošabloni ir atkarīgi arī no paudēja sociālā statusa. Literatūrā vairākkārt uzsvērts, ka mainoties grupas līdera emocionālajam stāvoklim, visticamāk, mainīsies arī padoto emocionālais stāvoklis (Sy & Choi, 2013). Visbeidzot, makrošablonu rašanās un raksturs ir atkarīgs no savstarpējām attiecībām – sāncensības vai sadarbības, un intimitātes (Hareli & Rafaeli, 2008).

Vispārīgi, lai veidotos makrošabloni, var izdalīt divus nosacījumus (Hareli & Rafaeli, 2008; Kelly & Barsade, 2001; Sy & Choi, 2013), no kuriem jāizpildās vismaz vienam:

- cilvēkiem nepieciešams nepārtraukti mijiedarboties;
- mainās īpaši ietekmīga cilvēka emocionālais stāvoklis.

Konverģence nenoliedzami ir visvairāk pētītais fenomens galvenokārt tās praktisko seku, t.i., grupas produktivitātes kāpuma vai krituma dēļ (Kelly & Barsade, 2001). Konverģences un emociju norimšanas rezultātā var rasties savstarpējo emociju dinamika ilgtermiņā. Barsade 2002. gadā publicētais pētījums analizē grupas mijiedarbības spirāles, pamatojoties uz to, ka grupas kopējā emociju intensitāte var pārsniegt indivīda emociju intensitāti, ko vēlāk apstiprinājuši arī Hareli un Rafaeli veiktie pētījumi (Hareli & Rafaeli, 2008).

Konverģences makrošablona raksturojumi (Barsade, 2002; Hareli & Rafaeli, 2008; van Kleef, 2016):

- emocijas rodas, arī vienkārši novērojot mijiedarbības (Felps et al., 2006), tas ir, emociju ietekme sniedzas pāri tiešai mijiedarbībai;
- ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst (Hareli & Rafaeli, 2008);

- jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus (Barsade, 2002);
- jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm (Sy & Choi, 2013);
- jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte (Hareli & Rafaeli, 2008).

Hareli un Rafaeli (Hareli & Rafaeli, 2008) ar ciklu saprot ne vien savstarpējo, bet arī atbilstošo emociju veidošanos, kas savukārt ir viens no augšupejošajiem mehānismiem diverģences modelēšanai. Viens no faktoriem, kas veicina diverģenci ir sāncensība, t.i., šablons ir atkarīgs no sociālajām attiecībām starp cilvēkiem (van Kleef, 2016).

Diverģences makrošablona raksturojumi (Barsade, 2002; Hareli & Rafaeli, 2008; van Kleef, 2016):

- sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos;
- ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst.

3.2. Eksistējošie risinājumi

Tālāk apskatīti eksistējošie risinājumi, kuros modelētas emocijas un to sociālās ietekmes, ar mērķi noskaidrot, kuri no esošajiem modeļiem modelē kurus mijiedarbības mehānismus. No identificētajiem mijiedarbības mehānismiem pamatā ar datormodelēšanas palīdzību ir pētīta primitīvā emociju izplatība. Kā galvenos iemeslus popularitātei var minēt to, ka primitīvā emociju izplatība ir visvairāk pētītais un visagrāk identificētais mehānisms psiholoģijā (līdz ar to par to ir pieejams visvairāk informācijas), kas skaidro cilvēku emocionālās mijiedarbības. Papildus tam, primitīvā izplatība ir pamatā dažādiem sociālajiem fenomeniem (piemēram, pūļa uzvedības pāraugšanai agresijā (Bassi, 2006)), kas veicina sabiedrības interesi un pētnieku vēlmi attīstīties šajā virzienā. Emociju izplatības modeļi visbiežāk abstrahējas no konkrētā neiroloģiskā vai psiholoģiskā mehānisma (mimicēšanas, veidola ieņemšanas u.c.), kas ļauj nodot emocijas, tomēr modelējot parametrus, kas veicina emociju izplatību (ekspresiju, uzņēmīgumu u.c.).

Netieši dažādās IT izstrādēs ir implementēti arī citi emociju nodošanas mehānismi, taču šādu izstrāžu ir ievērojami mazāk. Šajā apakšnodaļā apskatīti un salīdzināti eksistējošie risinājumi.

3.2.1. Modeļi, kas imitē emociju izplatību

Modeļi, kas ļauj modelēt emociju izplatību šobrīd iedalāmi divos veidos:

- analīzes modeļi, kas pēta eksistējošus (visbiežāk sociālos) tīklus un, izmantojot mašīnmācīšanās vai statistiskās analīzes metodes, meklē emocionālās izplatības klātbūtni un ietekmi tīklā;
- imitācijas modeļi, kas tiek izmantoti cilvēku tīkla darbības prognozei un ietekmējošo faktoru pētīšanai.

Emocionālās izplatības pētīšanā ar analīzes modeļiem pamatā tiek izmantoti sociālie tīkli galvenokārt tādēļ, ka tajos ir iespējams iegūt pietiekami liela izmēra datu kopu. Tā, piemēram, 2014. gadā Krāmers un kolēģi ir veikuši pētījumu par emociju izplatību *Facebook* sociālā tīkla ziņās (Kramer et al., 2014). Kopumā tika analizēti aptuveni 155 tūkst. cilvēku *Facebook* lapu un gandrīz 700 tūkst. ierakstu. Lai arī pētījums tika vērtēts visai pretrunīgi privātuma tiesību dēļ, tomēr tas ļāva apstiprināt, ka emociju izplatība tīklā eksistē neatkarīgi no tā izmēra un rakstura (t.i., izplatība eksistē arī virtuālajā vidē). Līdzīgi Koviello pētījums veic noskaņojuma analīzi tīklam ar mērķi pētīt mijiedarbības (Coviello et al., 2014). Alsagri ir izstrādājis ietvaru, kas ļauj izgūt emocijas un to izplatības šablonus kā vienu no vairākiem parametriem (citi parametri ietver politiski nozīmīgo personu identificēšanu, klasteru identificēšanu u.c.) (Alsagri & Ykhlef, 2016). Lai arī analīzes modeļi veido ievērojamu kopu, tomēr promocijas darbā galvenā uzmanība vērsta tieši uz imitācijas modeļiem, tā kā tie tieši saistās ar promocijas darba mērķi.

Emocionālās izplatības raksturojumu dēļ tā lielākoties ir pētīta tieši pūļa kontekstā, un daži no eksistējošiem modeļiem ir attālināti no realitātes vai specifiski konkrētai jomai vai emocijām. Vienkāršota modeļa piemērs ir aģentu pūļi, kas koncentrējas tieši uz ķermeņa kustībām (Carretero et al., 2014); pēc Baliatti klasifikācijas šis modelis atbilst vizuālajam modelim, līdz ar to ticamība un iekšējā modeļa sarežģītība zūd, jo aģents var atrasties tikai trīs diskrētos stāvokļos: bēdīgs, neitrāls vai priecīgs. Savukārt Bu un Vangs modelē pūļi, kas var kļūt vardarbīgs ar mērķi analizēt, kādi parametri vecina pūļa agresivitāti (Bu & Wang, 2013). Personība šajā modelī tiek modelēta kā atkarīga no tā, kā aģents pauž dusmas, kā arī aģentam nav iespējamās citas negatīvas emocijas; šīs iezīmes modeli padara specifisku konkrētajam gadījumam, t.i., tas nav piemērojams citām emocijām un dažādiem personības veidiem.

Ir arī ticamāki un universālāki pūļa modelēšanas paņēmieni. Vienu no šādiem pētījumiem ir veicis Aidts ar kolēģiem (Ayd et al., 2011). Aģentu emocionālie stāvokļi balstīti uz novērtējuma emociju teoriju (Scherer, 2009) un izmanto MAMID emocionālo arhitektūru (Hudlicka, 2008). Aģenta darbības pamatā ir uzvedību balstīta arhitektūra HumDPM (Luo et al., 2010), kas ļauj izvēlēties darbību, balstoties uz pieredzi (ja aģentam pieredzes nav, tas dara to, ko dara citi aģenti – šāda pieeja ļauj ticami attēlot panikas situācijas). Lai arī kopumā modelis ir reālistisks, tam ir daži pieņēmumi, kas nav saskaņā ar psiholoģijas teoriju, piemēram, modelī pieņemts, ka nav atšķirības starp aģenta pausto un esošo emociju. Aģentiem ir arī piešķirtas personības, kas ir specifiskas jomai. Evakuācijas imitācijas gadījumā (modelētā emocija – bailes) aģentiem ir piešķirtas divas personības: normāli un neirotiski aģenti, kas atšķiras ar uzņēmīgumu (Luo et al., 2010). Vēlāk modelis validēts nopietno spēļu kontekstā scenārijā, kurā militārajam personālam jānotur pūlis mierīgs (Ayd et al., 2011). Šajā gadījumā ir modelētas dusmas, un aģentiem ir iespējamās trīs personības: miermīlīgā, kareivīgā un kūdītāja, kas atšķiras ar norimšanas ilgumu un uzņēmīgumu (Ayd et al., 2011).

Specifiski pūļa modelēšanai radītie lietojumi tomēr pilnībā neiederas promocijas darba kontekstā. Jāņem vērā, ka pūlis ir specifiska, vāji saistīta struktūra, kuras modelēšanai var tikt izmantoti ne vien aģentos sakņoti modeļi, bet arī, piemēram, populācijas pētīšanai paredzēti modeļi (viens no piemēriem atrodams (Klūpfel et al., 2010)). Modelējot cilvēku grupu, kurā cilvēki viens otru jau pazīst, ir jau eksistējoša sociālā struktūra, kur var atšķirties gan

dominances (respektīvi, varas), gan intimitātes attieksmes starp cilvēkiem. Lai pilnībā ticami varētu imitēt cilvēku grupu, nepietiek ar to, ka var imitēt konkrētu emociju, jābūt vismaz teorētiskam ietvaram, kā imitēt dažādu emociju izplatību. Šo iemeslu dēļ sīkāk apskatīti trīs modeļi, kas atbilst šādām prasībām:

1. Modelī jābūt iespējai implementēt parametrus mijiedarbības kanāliem ar cilvēkiem, kas ļautu realizēt dažādas sociālās struktūras.
2. Modelis nedrīkst būt specifisks attiecībā uz vienu konkrētu emociju bez tālākām paplašināšanas iespējām.

Pirmais no šādiem vispārīgiem ietvariem ir izstrādāts un sākotnēji validēts VU (Vrijes Universitātē) Amsterdamā. Šis emociju izplatības modelis ir vispārīgs un tālāk ir izmantots dažādiem lietojumiem. Modeļa pirmsākumi meklējami 2009. gadā, taču darbs pie tā turpinās vēl arvien.

2012. gadā uz šī modeļa bāzes izveidots ASCRIBE ietvars, kas ļauj modelēt pūļa uzvedību pētot ne tikai emociju izplatību, bet arī to, kā tiek pieņemti lēmumi pūlī (Bosse et al., 2013). Autori ASCRIBE balsta uz “spoguļošanās” efektu (Bosse et al., 2013), kad tiek pārņemtas ne vien citu emocijas, bet arī pārlicības un nodomi. Izstrāde ir validēta, izmantojot videoierakstu ar reāla pūļa uzvedību panikas situācijā Amsterdamā; līdzīgā scenārijā modelis pārbaudīts arī vēlāk (Formolo & van der Wal, 2017). Modelis izmantots arī emociju izplatības pētīšanai, t.i., kā tā mainās ar dažāda veida struktūrām (Klein et al., 2014), un aģentos balstītas intelektuālas sistēmas izstrādei, kas var palīdzēt lēmumu pieņemējam pārvaldīt grupas emocionālo noskaņu (Bosse et al., 2015).

Modelis ir aģentos balstīts; katrs aģents reprezentē indivīdu. Emociju izplatība šajā modelī ir atkarīga no parametriem, kas iedalīti trīs grupās: sūtītāja parametri, saņēmēja parametri un kanāla (mijiedarbības) parametri. Aģentu parametri, t.i., sūtītāja un saņēmēja parametri ir sakņoti psiholoģijas literatūrā, taču nav saistīti ar OCEAN modeli vai tā personības dimensijām. Sūtītāja parametrs ir emociju izpaušanas līmenis, saņēmēja parametri: jutīgums pret saņemto emociju (uzņēmīgums), nosliece uz pozitīvajām vai negatīvajām emocijām, tendence paaugstināt vai absorbēt emocijas. Bosē ar kolēģiem ir ieviesis arī kanāla spēku, kas sākotnēji definēts abstrakti, taču validējot modeli kā kanāla spēks semantiski izmantots attālums starp aģentiem metros (Bosse et al., 2013) un tas, vai aģents atrodas blakus otram aģentam (Formolo & van der Wal, 2017). Lai arī modelis pamatā ir validēts uz pūļa lietojumiem un tas izskaidro, kāpēc kā kanāla spēks tiek izmantots attālums, tomēr pēc būtības šo mainīgo var definēt arī kā sociālās attiecības starp aģentiem.

Interesanti ir tas, ka modelis ļauj matemātiski modelēt spirāles efektu (Bosse et al., 2009). Šo makrolīmeņa parādību Bosē ar kolēģiem modelējuši kā atkarīgu no indivīda, t.i., katram aģentam ir tendence vai nu pastiprināt, vai absorbēt emocijas. Šāda pieeja ir caurskatāma, taču nav nekādā veidā saistīta ar aģentu semantiku un indivīda modelēšanu.

Modelis ir implementēts ar DAS palīdzību. Vienkāršības labad aģenti ir pilnīgi homogēni, t.i., lai arī ir iespēja pievienot dažādus parametrus, dažādajās implementācijās aģenti ir identiski. Aģentiem nav specifiskas arhitektūras, lai arī tiem ir pārlicības un nodomi ASCRIBE modelī, tādējādi atgādinot BDI arhitektūru (Bosse et al., 2013). Autori modelē arī ietekmes starp emocijām un pārlicībām (Hoogendoorn et al., 2011), un nodomiem (Bosse et al., 2013).

Modeļa galvenais trūkums ir tāds, ka tas koncentrējas tikai uz viena tipa emocijām. 2009. gada versija abstrahējas no emocijas tipa, t.i., modelis izmantojams jebkurai no pamatemocijām, taču modelējama vēl arvien ir viena emocija (piemēram, bailes (Bosse et al., 2013)). Neto ar kolēģiem Bosē modeli papildinājis, implementējot trīs emocijas: prieku, dusmas un skumjas (Neto et al., 2015). Lai arī izplatās trīs emocijas, taču vēl arvien trūkst sapludināšanas metodes, kas ļautu pateikt, kādu emociju jūt aģents.

Modelis nesatur nekādas vadlīnijas, kādus parametrus un to vērtības vajadzētu izvēlēties semantiskā līmenī – saistība ar OCEAN modeli varētu nodrošināt ticamas parametru vērtības. Lielākajai daļai parametru to vērtības tiek noteiktas makrolīmenī (parasti vienādas visiem aģentiem). Lai arī šāda pieeja ļauj analizēt pūli vai citas liela izmēra struktūras, taču nav izmantojama mazai grupai ar mērķi ticami imitēt cilvēku.

Visbeidzot, lai arī modeli tiek galvenokārt modelēta primitīvā emociju izplatība, tajā var identificēt arī citus mijiedarbības mehānismus. Tā kā ir iespējams mainīt kanāla vērtību, piešķirot tam atbilstošu semantiku, to var uzskatīt par sekundāro emociju izplatību. 2012. gada paplašinājumā ar nodomiem un pārliecībām, lai arī tos saņem tieši ar tādiem mehānismiem kā emocijas (Bosse et al., 2013), citu emocijas tomēr tiek izmantotas, lai mainītu savus plānus, kas atbilst secināšanai no citu emocionālā stāvokļa.

Vēl vienu vispārīgu ietvaru ir izstrādājuši Bispo un Paiva (Bispo & Paiva, 2009). Tas modelē piecas emocijas: patiku (angļu val. *love*), prieku (angļu val. *happiness*), bailes, dusmas un skumjas. Lai arī šāda emociju izvēle neatbilst klasiskajām Ekmana pamatemociju grupām (Ekman, 1992), tā ir radusies tādēļ, ka pamatā izmatota Emociju izplatības skala, kas ļauj noteikt emociju izplatības iespējas no psiholoģijas viedokļa (Doherty, 1997).

Pētījuma mērķis bija izveidot modeli, kurā izplatība notiek līdzīgi un ticami cilvēku grupai. Autori nespecificē konkrētu izmantošanas jomu, norādot, ka izstrādātais modelis var būt izmantojams satiksmes modelēšanai, panikas situāciju imitēšanai, datorspēļu ticamības paaugstināšanai u.c. lietojumiem (Bispo & Paiva, 2009), tomēr vēlāk modelis ir validēts tieši datorspēlē, mērķējot uz spēlētāja pieredzes uzlabošanu (Dimas et al., 2011). Līdzīgi nav minēti arī ierobežojumi uz grupas struktūru; t.i., modeli teorētiski iespējams izmantot gan pūļa, gan nelielas cilvēku grupas emociju dinamikas modelēšanai. 2011. gadā modelis papildināts ar iespēju pievienot attiecības (piemēram, sociālās) starp aģentiem makrolīmenī (Pereira et al., 2011).

Šajā izstrādē emociju dinamikas modelēšana notiek, pamatojoties uz plaknes emociju modeli (angļu val. *circumplex model of emotions*), kas pieder dimensiju emociju teorijām un modelē emocijas divās dimensijās: patika un satraukums. Līdz ar to emocijām tiek modelēta enerģija, kas atbilst satraukuma vērtībai un netieši tas, cik emocija ir pozitīva; pieeja balstās uz to, ka negatīvā noskaņojumā negatīvas emocijas izplatās ātrāk un otrādi (Bispo & Paiva, 2009). Visām piecām emocijām tiek glabāta to pašreizējā vērtība un tiek izpausta tā emocija, kurai ir vislielākā vērtība (Bispo & Paiva, 2009).

Vēlāk modelis papildināts ar iespēju aģentam pievienot personības vērtību un iespēju modelēt attiecības starp aģentiem (Pereira et al., 2011). Personība nosaka noslieci izpaust emocijas, kas tiek implementēta kā varbūtība, ka aģents izpaudīs emociju; jo lielāka ekstraversijas vērtība, jo lielāka varbūtība, ka aģents tās izpaudīs. Attiecību modelēšanā var

izdalīt divas daļas: ietekmi, kas tiem modelēta kā varas starpība starp aģentiem (emocijām ir tendence izplatīties no cilvēka ar lielāku ietekmi uz cilvēku ar mazāku ietekmi), un intimitātes mainīgais, kas norāda, cik labi aģenti viens otru pazīst un vai viens otram uzticas.

Modelis ir implementēts NetLogo vidē; modeļa makrolīmeņa parametri ir grupas izmērs un tas, kādā secībā un cik bieži aģents sūta ziņojumu. Interesanti ir tas, ka šī DAS var būt heterogēna pēc aģentu emocionālā mehānisma: modeļa papildinātajā versijā ir iespējama trīs tipu norimšana: eksponenciāla, lineāra vai logaritmiska (Pereira et al., 2011).

Par modeļa trūkumiem var atzīt pirmkārt to, ka tas nav pietiekami validēts, lai arī teorētiski ir iespējams implementēt dažādas emocijas, tomēr praktiski šādu izstrāžu nav. Otrkārt, aģenta personību modelē tikai kā ekstraversijas dimensiju, autori to pamato ar apgalvojumu, ka tā visvairāk ietekmē emociju izpaušanu. Taču negatīvām emocijām spēcīgāka korelācija ir ar neirotizmu (Pease & Lewis, 2015). Lai arī pētījums specifiski neatsaucas ne uz vienu personības modeli, taču parasti personībai tiek identificētas vismaz divas dimensijas, t.i., ekstraversija un neirotizms (Pereira et al., 2011). Treškārt, lai arī modelis tēmē uz pilnību ticamību un ir skaidrs, kādēļ ir izvēlētas tieši šīs emociju kategorijas, tomēr Ekmana teoriju izmantošana (kas, savukārt pētīts citos kontekstos, tajā skaitā kognitīvajās arhitektūrās) ļautu modelim būt universālākam. Modelī ir implementēta un validēta pirmitīvā emociju izplatība, taču paredzēti arī kanāli, kas atbilst sekundārajai emociju izplatībai.

Visbeidzot, vispārīgs ietvars emocijās sakņotu aģentu sabiedrību modelēšanai izstrādāts arī Rinkona un kolēģu kolektīvā (Rincon et al., 2018). Šis modelis skatās uz emocijām kā uz daļiņu sistēmu, kurā daļiņas savā starpā pievelkas vai atgrūžas (Rincon et al., 2018). Modelī tiek izmantoti Ņūtona pievilksnās likumi, un tas ļauj ne vien modelēt daļiņu emocijas, bet arī matemātiski noteikt, cik tālu grupas dalībnieki ir no vēlamā emocionālā stāvokļa.

Atšķirībā no pārējām iestrādēm, šajā ir iespējams modelēt vairākas ne kategoriskas emocijas, jo emociju izplatīšanās notiek PAD telpā. Kā parametri šajā modelī ir empātija, ko var uzskatīt par personības iezīmi, un sociālās attiecības starp grupas dalībniekiem, kas tiek modelētas skalā [-1;1]. Taču šajā modelī netiek ņemts vērā, ka sociālās saites var būt nevienlīdzīgas, t.i., neņem vērā iesaistīto sociālo statusu.

Modelis ir implementēts Python valodā, un pētījumi demonstrē modeļa atbilstību atsevišķiem vispārpieņemtiem šabloniem. Tālāk to paredzēts implementēt robotā, kurš varētu noteikt apkārtesošās cilvēku grupas noskaņojumu, un, iespējams, veikt tajā izmaiņas, analizējot cilvēku emocijas un nosakot tos, kurus ir vieglāk ietekmēt.

Modelī faktiski implementēta emociju primitīvā izplatība, ņemot vērā, ka ir attiecības un empātija, arī sekundārā izplatība. Lai arī autori šeit nav demonstrējuši modeli darbībā, balstoties uz to, ka “daļiņas” arī atgrūžas, modelis varētu imitēt arī vismaz daļu no šabloniem.

3.2.2. Modeļi, kas satur emociju izplatības mehānismus, lai arī primāri nav tam paredzēti

Šajā apakšnodaļā no implementēto emociju nodošanas mehānismu viedokļa apskatīti tie lietojumi, kas veidoti uz iepriekš analizēto emociju arhitektūru pamata. Var secināt, ka vismaz vienu emociju nodošanas mehānismu satur tās izstrādes, kuras realizē ārējās lomas, turklāt *iekšējā stāvokļa komunikācija, statusa komunikācija un iekšējā stāvokļa komunikācija pēc*

kļūdas pieļaušanas tieši attiecas uz ziņojumu nodošanu. Šajā salīdzinājumā atmesta to lomu realizācija, kas ir paredzēta teorētiski, taču nav projektēta vai implementēta, tā kā šādā gadījumā nav iespējams konstatēt komunikācijas mehānismus.

Arī MAMID, WASABI un FLAME aģentos, kas ir viena aģenta izstrādes, emociju nodošanas mehānisma noteikšana ir apgrūtināta, jo tie komunicē ar cilvēku un nav zināms, kāda ir šo aģentu emociju ietekme. Neviens no šiem aģentiem nemanipulē un var secināt, ka tie emocijas nodod tieši – ar ziņojumu palīdzību, savukārt FLAME – ar uzvedības palīdzību, tomēr ar informāciju viena aģenta pusē ir par maz, lai šos mehānismus klasificētu.

Rebelo un kolēģu izstrādē aģenti vēro citu aģentu uzvedību, un tas ietekmē viņu uzvedību, taču ne emocionālo stāvokli. Korečko un kolēģu aģenti komunicē savas emocijas, taču neņem vērā citu emocijas, līdz ar to abas šīs izstrādes nav uzskatāmas par modeļiem, kas satur emociju izplatības mehānismus.

Emociju nodošanas mehānismi ALMA aģentā ir implementēti, balstoties uz citu emocionālā stāvokļa novērtēšanu. Kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, ALMA aģentam ir četru veidu emociju novērtēšanas likumi, trīs no kuriem attiecas uz komunikāciju ar citiem aģentiem: cita aģenta darbību, emocionālo izpausmju un noskaņojuma novērtēšanu (Gebhard, 2005). Emocionālo izpausmju novērtēšanas rezultāts ALMAS ESM tiek ievadīts kā cita aģenta darbība, ļaujot saņēmējam iedarbināt savu emociju, kas faktiski atbilst emociju nodošanai. Cita aģenta no noskaņojuma vai emocionālā stāvokļa izrietošās darbības ALMA aģentam var radīt negatīvu vai pozitīvu emocionālo stāvokli, kas savukārt maina dialoga veidošanas stratēģiju (Gebhard et al., 2003). Lai arī konkrētajā izstrādē dialogos aģenti emocijas nekomunicē tiešā veidā (Gebhard, 2005), principā ALMA aģents pie konkrētas dialoga stratēģijas varētu veikt arī tiešu emociju komunicēšanu.

Emociju nodošanas mehānismi implementēti arī Emile/EMA, jo šī arhitektūra tika veidota ar ideju, ka tā tiks ieviesta DAS (Marsella & Gratch, 2009). Emociju nodošana šajā izstrādē neeksistē tiešā veidā, aģents var emocionāli reaģēt uz cita aģenta racionālajām darbībām, vai arī reaģēt racionāli uz cita aģenta emocijām (Gratch, 2000a). Aģents var izvēlēties paust emocijas cenšoties sasniegt savu mērķi. Teorētiski aģentiem ir arī personība, kas kā parametrs maina emociju paušanu, taču tā nav aprakstīta vispārīgā modelī (piemēram, OCEAN), bet gan tiek piešķirta kā īpašība, piemēram, tendence būt rupjam (Gratch, 2000a).

Kazemifarda un kolēģu veiktajos pētījumos aģents pieņem lēmumus balstoties uz cita emocijām (Ramezani et al., 2011). Šajā izstrādē cita aģenta saņemtais emocionālais stāvoklis tiek ņemts vērā, lai pieņemtu racionālos lēmumus, un tiek nodots tiešā veidā (lai arī bez mērķa mainīt cita aģenta stratēģiju). Tālāk veikts modeļu salīdzinājums.

3.2.3. Emociju izplatības mehānismu salīdzinājums dažādās izstrādēs

Iepriekš aprakstītie pētījumi pēc būtības iedalās divās daļās: tādos, kur izplatība vairāk koncentrējas tieši uz pūli, imitējot vienkāršus emociju izplatības mehānismus, un tādos, kur koncentrācija ir uz ticamu imitāciju neliela skaita aģentu starpā. Emociju izplatības mehānismu salīdzinājuma kopsavilkums atrodams 3.3. tabulā.

Izplatības mehānismu salīdzinājuma kopsavilkums

	Bosē un kolēģi	Bispo un kolēģi	Rinkons un kolēģi	ALMA	Emile/EMA	Kazemifards
Primitīvā emociju izplatība	+	+	+	–	–	–
Sekundārā emociju izplatība	+ sekund. – terc.	– sekund. + terc.	– sekund. +/- terc.	–	–	–
Izplatības šabloni	–	–	+/-	+	+/-	–
Tiešā nodošana	–	–	–	+/-	+	R
Manipulācija	–	–	–	+/-	–	–

Tabulā izmantotie apzīmējumi:

“+” – mehānisms ir implementēts;

“–” – mehānisms pilnīgi nav implementējams;

+/-” – mehānisms var tikt projektēts un implementēts, taču tas nav izdarīts;

“R” – modelētas tikai emociju racionālās ietekmes caur šo mehānismu;

“sekund.” un “terc.” norāda, par kuru informācijas apstrādes līmeni ir runa (ja tas nepieciešams).

Ir acīmredzami, ka emociju izplatība implementēta Bosē un kolēģu, kā arī Bispo un kolēģu darbos. Jau iepriekš paskaidrots, ka šajos darbos eksistē arī sekundārā emociju izplatība. Tā kā sekundārā emociju izplatība ietver divus mehānismus, sekundārajā un terciārajā līmenī, tad atšķirību starp abiem emociju izplatības modeļiem var aprakstīt šādi: Bosē un kolēģu darbā eksistē sekundārā izplatība sekundārajā līmenī, tā kā aģents, piemēram, no nodomiem var saņemt bailes, taču neeksistē terciārajā līmenī, tā kā aģentiem netiek piešķirta nekāda sociālā struktūra. Savukārt Bispo un kolēģu darbā sekundārā izplatība kalpo tieši terciārajā līmenī, tā kā tiek ņemta vērā varas attiecība starp aģentiem. Abās izstrādēs neeksistē citi emociju izplatības mehānismi. Rinkona un kolēģu izstrādē, līdzīgi kā Bispo un kolēģu izstrādē, ir primitīvā emociju izplatība, nav ņemta vērā sekundārā izplatība pilnībā, taču tā ir daļēji implementēta caur attiecībām. Autori abstrahējas no dažādiem sekundārās emociju izplatības mehānismiem, to definējot kā empātijas parametru, kas atbilst A dimensijai (t.i., spējai vienoties) OCEAN modelī, taču paši OCEAN autori A faktoru neaprunā tieši kā empātiju. Papildus tam, šeit implementēta arī daļa šablonu, taču ņemot vērā, ka emocionālais stāvoklis saskaņā ar šo stāvokli virzās tieši pretēji, tas var negarantēt reālistiskus rezultātus, tā kā dažādas emocijas (piemēram, dusmas-bailes) nav pretējas.

ALMA aģentā faktiski nav implementēti izplatības mehānismi, jo aģents neiegūst to pašu emociju ko otrs. Savukārt aģents iegūst emociju ar OCC modeļa palīdzību caur novērtēšanu, kas atbilst šablonu mehānismam. Ar +/- atzīmēti tie mehānismi, kuri modelī var tikt implementēti, taču tas nav specifiski aprakstīts eksistējošai izstrādei. ALMA aģentā šādi izplatības mehānismi ir tiešā emociju nodošana un manipulācija: lai arī intuitīvi vajadzētu būt tā, ka skolotājs veic manipulācijas ar skolēna emocionālo stāvokli, tomēr tas tiek veikts netieši caur darbībām.

Tieši tāpat aģentā Emile/EMA netieši implementēti izplatības šabloni (formā aģenta A emocija – aģenta B frāze – aģenta B emocija). Emile/EMA aģentos nav manipulācijas, taču emocija var tikt nodota tieši.

Visbeidzot, Kazemifarda izstrādēs faktiski ir implementēta emociju tiešā nodošana. Ar R burtu apzīmēts, ka emocijas iespaido tikai spriešanu, t.i., emociju izplatībai ir racionālās sekas.

Var secināt, ka neviens no eksistējošiem lietojumiem neimplementē visus izplatības mehānismus, lai arī atsevišķos lietojumos šie mehānismi ir atrodam. Tomēr, lai imitācija būtu pilnībā ticama, nepieciešama metode, kas šos visus mehānismus apvieno.

Nākošā apakšnodaļa satur šo mehānismu projektēšanas un implementēšanas iespēju aprakstu un analīzi, izmantojot DAS komunikācijas mehānismus.

3.3. DAS un ASM mehānismu izmantošana emociju mijiedarbības modelēšanai un analīzei

Iepriekšējās apakšnodaļās apskatīta psiholoģijas un socioloģijas bāze, kā arī eksistējošie risinājumi ar emociju nodošanu saistītos datorzinātnes darbos. Emociju izplatības imitācijas modeļi (piemēram, (Bosse et al., 2015)) vienmēr ir aģentos sakņoti, taču no implementācijas viedokļa tikai daļa izmanto DAS komunikācijas mehānismus, kamēr pārējie realizēti NetLogo vai citās tieši ASM paredzētās vidēs (Bispo & Paiva, 2009). Turklāt eksistējošie risinājumi nav koncentrējušies tieši uz emociju stāvokļa izmaiņām nelielā grupā, līdz ar to nav bijis nepieciešams diferencēt starp dažādiem mehānismiem. Līdz ar to, piemēram, Bosē un kolēģu izstrādē nodošanas mehānismi ir triviāli un nav īpaši definēti, kādi tie ir (Bosse et al., 2015). Savukārt ALMA aģentā komunikācija notiek caur dialogu dabīgajā valodā, kas vienmēr nav nepieciešams (piemēram, emociju izplatības gadījumā) (Gebhard, 2005).

DAS mehānismu izmantošana un apvienošana ar ASM tipiski izmantotām pieejām visu emociju nodošanas mehānismu implementācijai nodrošinātu to atkārtotu izmantošanu un sistematizāciju, kā arī ļautu implementēt dažādus parametrus izplatībai, un vēlāk analizēt iegūtos rezultātus. Lai noteiktu DAS mehānismu piemērotību emocijās sakņotu mijiedarbību modelēšanai, ir būtiski analizēt, kādā veidā esošie standarti ir izmantojami iepriekš identificēto mehānismu realizācijai. Līdz ar to šajā apakšnodaļā meklētas atbildes uz vienu no šiem apsvērumiem izrietošu jautājumu: kā DAS komunikācijas mehānismi un uz tiem attiecināmie standarti ir izmantojami emocijās sakņotu mehānismu modelēšanai?

No DAS viedokļa mijiedarbība starp aģentiem notiek dažādos līmeņos (Martin et al., 2000):

- savienojumu līmenī, kurā tiek projektēti un implementēti tīkla protokoli;
- transporta līmenī, kurā ziņojumi tiek nodoti;
- sarunas līmenī, kurā tiek definētas ziņojumu secības;
- mērķu līmenī, kurā tiek definēti, kādēļ aģents komunicē;
- satura līmenī, kurā tiek definēts informācijas saturs, ar kuru aģenti apmainās.

Tā kā pirmos divus līmeņus aģentu izstrādes platformas, piemēram, JADE kā ietvars, risina bez DAS programmētāja iejaukšanās, turklāt tie saistīti ar DAS izstrādes platformas uzbūvi, promocijas darbā tie netiek skatīti, galvenokārt koncentrējoties uz (a) sarunas un mērķu līmeni un (b) satura līmeni.

3.3.1. Emociju nodošanas mehānismu modelēšana no DAS ziņojumu mērķu un sarunu skatupunkta

Aģentu sarunu pamatā ir protokoli, kas ir DAS aģentu mijiedarbības nosacījumi (tajā skaitā ziņojumu secības) jeb specifikācija, kas definēti augstā abstrakcijas līmenī. Mijiedarbības tiek specificētas ziņojumu veidā (t.i., protokoli sastāv no viena vai vairākiem ziņojumiem) un atkārtotas izmantošanas nolūkos tiek definētas starp lomām, kuras aģenti var realizēt, nevis aģentu instancēm. Protokoli tiek definēti tādā implementācijas detalizācijas līmenī, lai būtu iespējama komunikācija (un līdz ar to vienošanos panākšana, resursu sadale DAS uzdevumos) starp heterogēniem aģentiem (Chopra & Singh, 2013; Poslad, 2007). Lai arī protokoli ir sarunu pamatā, tie lielā mērā saistīti ar to, kādēļ aģents komunicē, t.i., mērķu līmeni.

Protokolus DAS iespējams definēt dažādos veidos, tajā skaitā vispārīgā līmenī vai kā ziņojumu secību (Poslad, 2007; Wooldridge, 2009). Čopra un Sings izdala trīs veidus protokolu definēšanai un aprakstīšanai (Chopra & Singh, 2013): (1) tradicionālās programmatūras izstrādes pieejas, kas Martina un kolēģu definētajos līmeņos faktiski apraksta tikai sarunas līmeni (Martin et al., 2000), (2) tradicionālās mākslīgā intelekta pieejas, kas apraksta mērķu līmeni, ar tiem definējot aģenta ziņojumu secības, un (3) pieejas, kas balstītas uz apņemšanos (angļu val. *commitment*), un ļauj aprakstīt ne vien ziņojumu secības, bet arī to saturu bez papildus konstrukciju nepieciešamības (ietver arī satura līmeni).

Tradicionālās programmatūras izstrādes pieejas aģentu protokolu modelēšanai tiek izmantotas vēl arvien, kas ir loģiski, jo aģentu paradigmas priekštecis faktiski ir objektorientētā paradigma. Šīs pieejas stingri definē ziņojumus un to secību; tām pieder protokolu specificēšana ar stāvokļa grafiem, Petri tīkliem, UML secību diagrammām un ar citiem līdzīgiem formālā apraksta veidiem (Chopra & Singh, 2013). Ierastākais veids protokolu modelēšanai ir FIPAs standarta AUML vai UML secību diagrammas (Chopra & Singh, 2013; Pudāne & Lavendelis, 2017). FIPA definē vairākus protokolus, kas ietver standarta ziņojumu secības (FIPA, 2002) un kas formalizēti ar AUML palīdzību. Tādēļ arī promocijas darba ietvaros turpmākā protokolu modelēšana veikta, izmantojot AUML.

FIPA ir izstrādājusi arī jau 1. darba nodaļā pieminēto un tālākajai projektēšanai izvēlēto aģentu komunikācijas valodu, kas ļauj definēt ziņojumus. FIPA ACL ziņojuma tipi ir iedalīti piecās grupās: informācijas nodošana, informācijas pieprasīšana, vienošanās, darbību veikšana un kļūdu apstrāde (FIPA, 2002), kas faktiski apraksta ziņojuma nolūku. Arī Čopra un Sings ziņojumu nodošanas valodas, kā KQML un FIPA ACL, ieskaita tradicionālās mākslīgā intelekta pieejās (Chopra & Singh, 2013).

Emociju nodošanas mehānismu modelēšanas gadījumā visi protokoli tiks definēti starp divām aģentu lomām: sūtītāju un saņēmēju. 3.4. tabula apraksta mehānismu saistību ar FIPA ACL definētajiem ziņojumu mērķiem un to, vai nepieciešams specifisks protokols. Tiem emociju nodošanas mehānismiem, kas ir netīši, principā pietiek ar informācijas nodošanu, jo pret emocijām var izturēties kā pret informāciju (van Kleef, 2016), taču tiem mehānismiem, kur emocijas tiek komunicētas ar mērķi, t.i., tiešajai komunikācijai un manipulācijai, ir nepieciešams specifisks protokols, kas ietver atbildes nosūtīšanu.

Emociju nodošanas mehānismu attēlojuma uz DAS mijiedarbības mehānismiem
kopsavilkums

Emociju nodošanas mehānisms	Atbilstošie ziņojuma mērķi	Protokols ar vairāk kā vienu ziņojumu
Primitīvā emociju izplatība	Informācijas nodošana – <i>inform</i>	Nē
Sekundārā emociju izplatība	Informācijas nodošana – <i>inform</i>	Nē
Izplatības šabloni	Informācijas nodošana – <i>inform</i>	Nē
Tiešā nodošana	Informācijas pieprasīšana un informācijas nodošana – <i>request</i> un <i>inform</i>	Jā
Manipulācija	Informācijas pieprasīšana un informācijas nodošana – <i>request</i> un <i>inform</i>	Jā

Jāņem vērā, ka emociju racionālās un emocionālās ietekmes, kā arī pati komunikācija, t.i., protokola izvēle, lielā mērā atkarīgas ne vien no nodošanas mehānisma, bet arī no aģenta iekšējiem parametriem un starp aģentiem esošajām attiecībām. Izklidētās sistēmās, kurām pieder arī DAS, parametri, kas attiecas uz informācijas apstrādi, atrodas atsevišķos skaitļošanas mezglos, šajā gadījumā – aģentos. Tomēr jau 1. nodaļā aprakstīts, ka bieži vien aģentu struktūru vai to attiecības var aprakstīt arī makrolīmenī, visu sistēmu modelējot kā grafu. Līdz ar to komunikācijas modelēšana ir saistīta ar transformāciju starp diviem modeļiem:

- pārskata modeli, t.i., grafu, kurā attiecību esamība starp aģentiem tiek apzīmēta ar loku, savukārt attiecību vērtības iespējams attēlot ar svērtu grafu, t.i., grafu, kuram uz lokiem norādītas vērtības (Diestel, 2017);
- izklidēto modeli, kad visi informācijas apstrādei nepieciešamie parametri glabājas aģentos. Esošajās izstrādēs aģentu sociālo attiecību aprakstīšanai ir divi varianti: abi aģenti glabā vienādu svaru (Rincon et al., 2018)), vai arī aģenti glabā katrs savu svaru jeb attieksmi pret otru aģentu (Pereira et al., 2011). Jāatzīmē, ka nevienā no apskatītajām izstrādēm emocijas netiek nodotas, ņemot vērā to, ka attiecības starp aģentiem var būt mainīgas, lai gan šāda pieeja eksistē cita veida DAS – tādās, kas balstītas uz uzticēšanos (Ramchurn et al., 2004), ko faktiski arī var interpretēt kā sociālās attiecības.

Var secināt, ka sarunu un mērķu līmenī emociju nodošanas mehānismu implementācijai nav nepieciešamas speciālas pieejas DAS līmenī. Tomēr šobrīd vēl nav formālas klasifikācijas un formalizācijas, kas ļautu definēt emocijās sakņotas mijiedarbības no DAS viedokļa. Veidojot aģentos sakņotu modeli ar DAS metodēm, faktiski notiek pārslēgšanās starp pārskata un izklidēto līmeni – daļu parametru var modelēt pārskata līmenī, taču šādā gadījumā tāpat ir jāparedz transformācijas funkcija, kas ļautu parametrus piešķirt aģentiem.

3.3.2. Ziņojumu saturs un tā interpretācija

Lai arī ierobežotā veidā, FIPA ACL ļauj komunicēt ziņojuma mērķi, tādējādi nododot daļu semantikas – to, kādēļ aģents vispār komunicē. Tajā pašā laikā, aģentu komunikācijas valodas pašas par sevi nav semantiskas, tās ir veids, kādā sintaktiski noformēt un nodot ziņojumu, līdz ar to nedodot iespēju detalizēt ziņojuma saturu. Lai interpretētu ziņojumu saturu, FIPA ACL paredz ontoloģiju izmantošanu, savukārt, lai konstruētu ziņojumu saturu, tiek izmantota kāda

no formālajām valodām. Promocijas darba ietvaros lielas nozīmes formālās valodas izvēlei nav, tādēļ ir izvēlēta ar FIPA ACL saderīgā FIPA SL¹⁸, kas ir ieteiktais standarts DAS implementēšanai. Savukārt emociju ziņojumu interpretēšanai ar emociju ontoloģiju palīdzību standarta nav, tādēļ šajā apakšnodaļā apskatītas dažādas ontoloģijas. Pilns pārskats pār emociju ontoloģijām pieejams 2. pielikumā.

Promocijas darba autore konkrētajā kontekstā neskatās uz ontoloģijām, kuras ir izveidotas no psiholoģijā nesakņotām emociju grupām, t.i., vairāk paredzētas teksta apstrādei. Šādu ontoloģiju piemēri ir:

- robustā emociju ontoloģija (Ptaszynski et al., 2012), kura satur 10 emocijas, kas iegūtas no Emocionālo izteikumu vārdnīcas (Emotive Expression Dictionary) – vairāk nekā 2000 izteicieniem, kas apraksta emocionālos stāvokļus un ir manuāli iegūti no literatūras;
- Emotive Ontology, kura satur tikai daļēji psiholoģiski pamatotas 8 emociju kategorijas, kas sapludinātas no 4 dažādām teorijām (Ekmana, Plutčika, Drummonda un Izarda);
- uz HowNet (ķīniešu valodas leksikona) balstīta emociju ontoloģija, kurā nav noteikts kategoriju daudzums, un kura kopā satur 113 emocijas (Yan et al., 2008).

Tāpat ir skaidrs, ka tieši atkārtoti izmantot nav iespējams tās ontoloģijas, kas balstās, piemēram, uz japāņu (Japanese Emotion Ontology) (Kaneko & Okada, 2013) vai ķīniešu valodu.

Šobrīd plašākā un pilnīgākā emociju ontoloģija ir EMO (Hastings et al., 2011), kas paredzēta vispārīgai emociju atspoguļošanai. Tā satur ne tikai emocijas, bet arī ar tām saistītos fizioloģiskos faktorus. Šī iemesla dēļ autore secina, ka EMO ontoloģija būtu noderīga emociju aprakstam medicīniskos lietojumos, vai tādos lietojumos, kur aģentiem ir cilvēka veidols. Šīs ontoloģijas galvenais trūkums ir tāds, ka tā nebalstās uz psiholoģijas modeļiem, respektīvi, bez papildināšanas neļauj izsecināt emociju cēloņus un īpašības.

Tāpat kā EMO, arī HEO (Human Emotion Ontology) (Grassi, 2009) ir pietiekoši vispārīga, taču tā ļauj aprakstīt dažādas emociju teorijas, tajā skaitā kategoriju un konstruktīvisma teorijas. Ontoloģija satur iespēju norādīt arī, piemēram, emocijas izraisītāju un modalitātes, kas parāda, ka lietotājs izjūt konkrēto emociju. Tā ir augsta līmeņa ontoloģija, kas definē svarīgākos konceptus un īpašības emociju aprakstam. Autora galvenais mērķis ir radīt ietvaru, kas palīdzētu nodrošināt elastību, ļaujot dalīties ar emocijām, kuras satur multimediji. Līdzīgi arī EmotionsOnto ir pietiekoši vispārīga ontoloģija, kura koncentrēta uz emociju mehānismiem un to, kādā veidā emocijas tiek parādītas (Gil et al., 2015).

Citas ontoloģijas ir specifiskas un palīdz realizēt nelielus uzdevumus, piemēram, OLA, kas ir OCC balstīta ontoloģija, kas palīdz paredzēt studenta emocijas testā (Eyharabide et al., 2011), vai uz PAD balstītā *Japanese Emotion Ontology*, kas tiek izmantota reālistisku virtuālo tēlu radīšanai (Kaneko & Okada, 2013).

Darbā (Sykora et al., 2013) četras pamatemociju teorijas ir izmantotas, lai kategorizētu visas emocijas astoņās grupās un lai varētu veikt noskaņojuma analīzi Twitter ierakstos, turklāt šīs

¹⁸ FIPA SL Content Language Specification, apskatīts 2020. gada 5. oktobrī.

emocijas ir savienotas arī ar sekundārajām emocijām, kas ir specifiskas lietojumam. EmOCA ontoloģija (Berthelon & Sander, 2013) ir balstīta divu faktoru teorijā, t.i., paredz, ka ir primārās un sekundārās emocijas, kuras ir saistītas savā starpā – turklāt arī šī ontoloģija paredzēta konteksta analīzei.

OLA ontoloģijā tiek skatīta tieši iespēja noteikt emocijas cēloņus no OCC modeļa. AMPLIA (Boff et al., 2006) ontoloģijā OCC tiek izmantots arī personības modelēšanai.

No formālā skatu punkta, lielākā daļa ontoloģiju modeļu ir ar stingri definētām klasēm un to īpašībām, turklāt ir aprakstīti OWL¹⁹, kas ir semantiskā tīmekļa standarts zināšanu formalizācijai. Citi modeļi, piemēram, EmOCA, ir aprakstīti izmantojot RDF²⁰ – vēl vienu standartu, kurš ir vienkāršots, salīdzinot ar OWL, taču arī ļauj nodot zināšanas tīmeklī. Japanese Emotion Ontology paplašina OWL, izmantojot EmotionML, kas ir tieši emociju aprakstam izveidota iezīmju valoda²¹.

Emociju būtības glabāšanai, t.i., tam, kādai klasei emocijas pieder, var tikt izmantota jau pieminētā HEO, vai arī citas emociju ontoloģijas, kas balstās uz PAD modeļa, piemēram Onyx ontoloģija (Sánchez-Rada & Iglesias, 2013). Onyx ontoloģijas trūkums, kaut arī salīdzinoši vienkārši atrisināms ar konvertācijas rīkiem, ir tas, ka tā aprakstīta RDF formātā, līdz ar to izmantošanai tā būtu jāpārtaisa uz OWL formātu, kas to padarītu savienojamu ar citām.

Citas idejas izveidotajās ontoloģijās iekļauj emociju intensitātes izsecināšanu, balstoties uz kontekstu, piemēram, Japanese Emotion Ontology paredz emociju intensitātes norādīšanu. Šāda pieeja ļauj tieši nodot emociju intensitāti citiem aģentiem, kas ir noderīgi promocijas darba kontekstā, tomēr autori šī risinājuma realizēšanai izvēlējušies izmantot OWL un Emotion ML kombināciju, kas samazina ontoloģijas lietojamību izvēlētajā implementācijas vidē. Tāpat arī ne visas augstāk minētajās ontoloģijas paredz, ka emocija var piederēt, piemēram, vairāk nekā vienai klasei, līdz ar to teorētiski šai emocijai nevar būt vairāk kā viens cēlonis, un, piemēram, AMPLIA, lai arī izmanto varbūtības, tās tāpat apraksta ārpus OWL. Tajā pašā laikā Bentas un kolēģu (Benča et al., 2007) aprakstītā konteksta ontoloģija ir labs piemērs, kā savienot un izskaitļot emocijas ar OWL palīdzību – autori detalizēti apraksta, kā dažādus papildus parametrus atspoguļot ar OWL izteiksmes līdzekļiem.

Apskatot ontoloģijas, var secināt, ka nepastāv vienotas ontoloģijas, kas ļautu aprakstīt emocijas, pie kam ir apšaubāmi, ka šāda ontoloģija kādreiz varētu pastāvēt, tā kā, atkarībā no lietojuma un arī implementējamās vides, prasības ievērojami atšķiras. Papildus sarežģītību šeit rada jau minētā problēma – emocijas pašas par sevi vēl arvien nav strikti definētas, tādēļ ir grūti izveidot universālu tām atbilstošu datu struktūru. Šī iemesla dēļ arī promocijas darba lietojuma izveidei ir jāanalizē emocijās sakņotas DAS prasības un vai nu no jauna jārada, vai arī no esošajām ontoloģijām jāsakombinē lietojumam piemērota.

Radot šādu ontoloģiju, ir svarīgi saprast, kādas zināšanas tajā jāiekodē. Lai arī teorētiski būtu iespējams nodot emociju vērtības PAD telpā, saskaņā ar autores zināšanām nav pētījumu, kas tieši ļautu modelēt emociju izplatību, balstoties uz šo teoriju. Tā kā emociju nodošanas

¹⁹ W3C, Web Ontology Language, pieejams <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>.

²⁰ W3C, Resource Description Framework, pieejams <https://www.w3.org/RDF/>.

²¹ W3C, Emotion Markup Language, <https://www.w3.org/TR/emotionml/>.

mehānismi pēc būtības ir balstīti uz to, ka saņēmējs atpazīst emociju, konkrētajam lietojumam izveidotajai ontoloģijai būtu jāsaturs *emociju tips*. Tā kā emociju nodošanas mehānismi ir atkarīgi no intensitātes, ontoloģijai jāsaturs arī *emociju intensitāte*.

3.4. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļā sniegts emocionālo mijiedarbību apraksts no psiholoģijas viedokļa, kā arī salīdzināti esošie risinājumi, balstoties uz realizēto emocionālo mijiedarbību klāstu. Pēdējā apakšnodaļā aprakstīts veiktais pētījums par emociju komunikācijas mehānismu implementācijas iespējām, izmantojot DAS.

Nodaļas **galvenie rezultāti** ir komunikācijas mehānismu klasifikācija no datorsistēmu implementācijas viedokļa, kā arī mijiedarbības šablonu un to atkarību no parametriem definēšana. Ir būtiski, ka darba autore nepretendē uz jaunas klasifikācijas izstrādi socioloģijas jomā, un nodaļā veiktais apkopojums ir veikts, tieši apstrādājot literatūrā atrodamo informāciju, izvairoties veikt vispārīgus secinājumus vai interpretācijas, kā arī konsultējoties ar psiholoģi, kuras atzinums atrodams 3. pielikumā.

Identificētie emocionālie makrošablonu raksturojumi paredz, ka:

- emocijas rodas, arī vienkārši novērojot mijiedarbības;
- ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst;
- jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus;
- jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm;
- jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte;
- sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos;
- ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst.

Identificētās racionālās sekas ļauj secināt, ka:

- citu emocijas maina grupas dalībnieku racionālo uzvedību;
- citu emocijas maina grupas dalībnieku uzskatus par statusu un sociālajām attiecībām.

Nodaļā izstrādāts arī aģentos sakņotu modeļu salīdzinājums no implementēto emociju nodošanas mehānismu skatupunkta. Kā rezultāti minami arī emociju nodošanas mehānismu attēlojums uz DAS mijiedarbības mehānismiem, kā arī ontoloģijā glabājamā informācija – emociju tips un intensitāte.

Nodaļas gaitā veikti **secinājumi**:

- Dažādi emociju mijiedarbības mehānismi tiek izmantoti gan pūļa, gan grupas modelēšanā. Pūļa modelēšanā tie parasti ir primitīvi, savukārt mazo grupu gadījumā vairāk koncentrējas uz kognitīvu emocionālā stāvokļa apstrādi. Līdz ar to var secināt, ka nav sistēmu, kam būtu šie visi mehānismi, taču tie ir nepieciešami, lai pilnvērtīgi varētu modelēt cilvēku mijiedarbības.

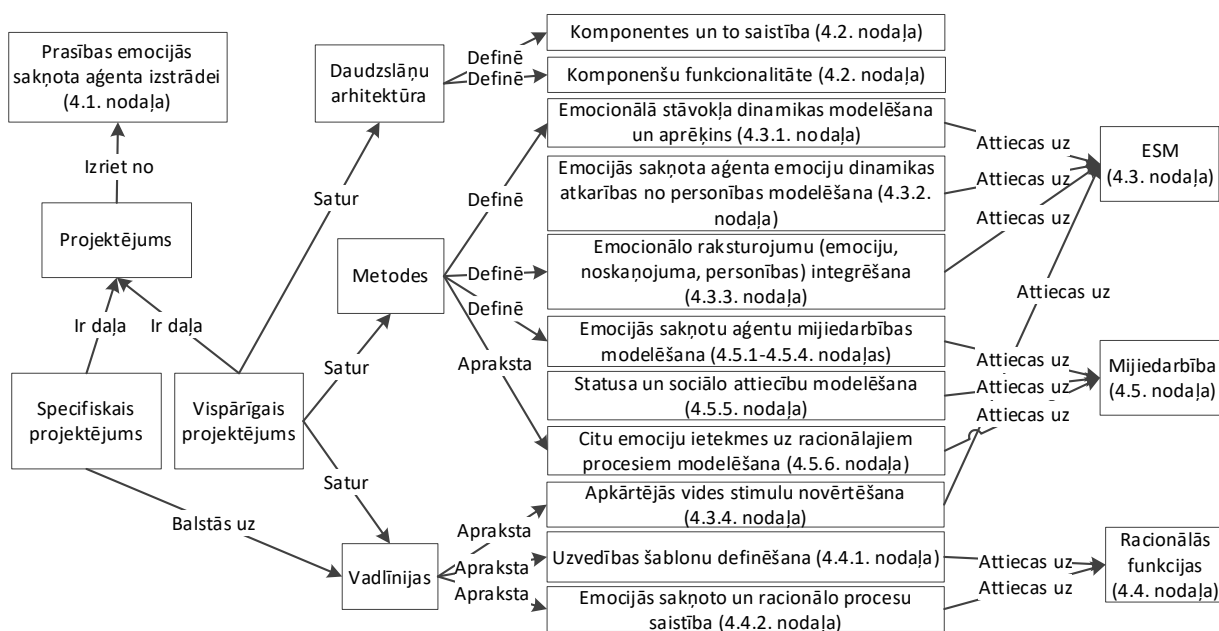
- Lai ticami modelētu grupas mijiedarbības, modelim jārealizē pieci emociju mijiedarbības mehānismi: primitīvā un sekundārā emociju izplatība, emociju šablonu iedarbināšana, tiešā emociju nodošana un manipulēšana. Šie mehānismi ir atkarīgi no trīs faktoriem: dalībnieku personības, sociālā statusa un attiecībām. Papildus tam, ir iespējams modelēt arī citus kognitīvos apsvērumus, lai radītu aģentus ar dažādu emocionālā intelekta pakāpi, taču šis pētījumu virziens promocijas darbā nav apskatīts.
- Lai pārbaudītu to, vai mijiedarbības strādā korekti, nepieciešams pārbaudīt, vai modelis spēj realizēt augstāk minētos emocionālos makrošablonus un to raksturojumus, kā arī to, vai aģentos notiek racionālās izmaiņas. Lai šo mērķi sasniegtu, mehānismi lielākoties atrodas aģentu iekšienē, t.i., ziņojumu interpretācijā un DAS mikrolīmenī – aģentiem ir nepieciešami mehānismi, kas ļauj regulēt emociju izpausmi. Raugoties no otras puses, racionālo un emocionālo ietekmju virzība ir cikliska, tādēļ, lai imitācijas modelis strādātu korekti, mijiedarbībai jāpastāv no primitīviem, nevis jābūt implementētai tieši kā DAS protokolam ilgākā laika posmā.
- Esošie mehānismi tehniski ir pietiekami, lai realizētu emociju nodošanu, tomēr papildus ACL ziņojumiem un protokoliem, modeļi pārskata līmenī projektē kā grafu ar svērtiem lokiem. Šāda pieeja sniedz iespēju noteikt aģentu komunikāciju parametrus. Loku svaru, kas reprezentē aģentu attiecības, glabāšanai jānotiek aģenta iekšienē, tādēļ nepieciešama transformācija no pārskata modeļa uz izklaidēto modeli.
- Lai nodrošinātu emocionālo mijiedarbību, kur ziņojumu apmaiņa notiek starp divām lomām – emocijas sūtītājs un emocijas novērotājs. Balstoties uz pētījumu secināts, ka nav vienas ontoloģijas, kas būtu universāli izmantojama, tāpēc (a) ontoloģija jāveido atkarībā no lietojuma jomas; (b) emociju komunikācijas mehānismiem jādarbojas iespējami neatkarīgi no ontoloģijas un iespējamo emociju skaita.
- Iepriekšējā nodaļā tika aprakstīts, ka arhitektūrai jāpastāv no trīs slāņiem, pētījums, kas veikts šajā nodaļā, ļauj veikt šādus secinājumus par emociju komunikācijas mehānismu uzbūvi dažādos slāņos:
 - primārajā līmenī jābūt pieejamai primitīvajai izplatībai, ja ir runa par patiku vai nepatiku, vai arī, ja aģenti atpazīst konkrētas emocijas, taču tiem nav stratēģijas;
 - sekundārajam līmenim jārealizē tās mehānismu daļas, kas saistītas ar stratēģijas noteikšanu, un primitīvā izplatība, ja ir runa par konkrētām emocijām un aģentiem ir stratēģija;
 - terciārajā līmenī ir jābūt pārlicībām par citu aģentu sociālo stāvokli un attiecībām, uz kuru pamata aģents realizē emociju komunikācijas mehānismus.

4. CILVĒKU GRUPAS EMOCIJU MODELĒŠANAS PIEEJA

Balstoties uz iepriekš gūtajiem secinājumiem, šajā nodaļā ir izvirzītas prasības emocijās saknota aģenta implementācijai grupas kontekstā. Promocijas darba izstrādes laikā ir secināts, ka emocijās saknotam aģentam gan tā uzbūvē un funkcionēšanā, gan mijiedarbībā ar citiem, ir izdalāmas divu veidu prasības: pirmkārt, vispārīgās, kuras ir iespējams atbalstīt ar vispārīga līmeņa projektējumu, kas pēc tam izmantojams dažādu imitācijas modeļu veidošanai, un, otrkārt, no modeļa specifiskās problēmsfēras atkarīgās (turpmāk saukts par specifisko projektējumu). Balstoties uz pirmo prasību kopu, ir izstrādāts vispārīga līmeņa projektējums, kas atkārtoti izmantojams dažādu problēmsfēru modelēšanai.

Vispārīgā līmeņa projektējums iekļauj:

- arhitektūru (aģenta komponentes, to mijiedarbību un tām atbilstošās funkcijas);
- pieeju kopumu cilvēku grupas emociju modelēšanai, kas vispārīgā līmenī sastāv no viena aģenta uzbūves un funkcionēšanas (mikrolīmeņa) un aģentu mijiedarbības (makrolīmeņa) metodēm;
- vadlīnijas tām emociju funkcijām, kuras vai nu nav definējamas vispārīgā līmenī, vai arī ir ārpus promocijas darba pētījuma, tomēr ir nepieciešamas emocijās saknota aģenta funkcionēšanai.



4.1. attēls. Projektējuma komponentes, to saistība un konteksts.

Visas projektējuma komponentes attēlotas 4.1. attēlā. Projektējums kopumā ir balstīts emocijās saknota aģenta prasībās, kas savukārt izriet no literatūras analīzes. Projektējuma un prasību saistība aprakstīta 4.1. apakšnodaļā. Kopējā aģenta arhitektūra ir aprakstīta 4.2. nodaļā. Tālāk nodaļā projektējuma pieejas un vadlīnijas ir iedalītas trīs grupās: tās, kas attiecas uz ESM, tās, kas attiecas uz emociju ietekmi uz racionālo spriešanu, un tās, kas attiecas uz mijiedarbību un mijiedarbības ietekmi uz spriešanu, un attiecīgi aprakstītas 4.3., 4.4., un 4.5. nodaļās.

Specifiskā projektējuma komponentes attiecas uz kādu no vispārīgajā projektējumā definētajām pieejām vai vadlīnijām, tādēļ tās komentētas pie konkrētajām pieejām. Savukārt specifiskā projektējuma izmantošana praksē demonstrēta lietojumu implementācijā, tāpat 5. nodaļā.

4.1. Emocijās sakņota aģenta prasības

Lai izstrādātu emocijās sakņotu aģentu, tam nepieciešams realizēt funkcijas, kuras balstās uz 2. nodaļā definētajām emociju lomām. Kas attiecas uz aģentu mijiedarbībām, ir secināts, ka to realizācija un pēc tam interpretācija arī ir tieši atkarīga no viena aģenta realizācijas, tādēļ uzmanība pievērsta arī viena aģenta projektējumam.

Daļa no šīm funkcijām attiecas uz pašas arhitektūras uzbūvi: lai implementētu ātru stimula apstrādi, fiksētu uzvedības šablonu iedarbināšanu un izpildi, kā arī vairāku sistēmu koordināciju, ir nepieciešama daudzlīmeņu arhitektūra. Papildus tam, var secināt, ka slāņiem nepieciešams veikt gan reaktīvu, gan spriestspējīgu uzvedību; līdzīgi kā to darījuši Kazemifards un kolēģi.

Lai būtu iespējams koordinēt emocijas un racionālo spriešanu, papildus ir būtiski izdalīt emocionālo un kognitīvo komponenti, kurām jātiek realizētām horizontāli visos līmeņos. Būtiska ir arī moduļu saistība caur trauksmes funkciju, t.i., gan atrast risinājumu gadījumos, kad to šķietami nav, gan arī spēja pārtraukt esošo uzvedību jauna stimula ienākšanas gadījumā. MAMID piemērs demonstrē, ka resursu pārdali var modelēt, izmantojot aģenta resursu pieejamību.

Balstoties uz minētajiem apsvērumiem un 2. nodaļā veikto analīzi, definētas prasības emocijās sakņota aģenta arhitektūrai.

1. Aģentam jābūt daudzlīmeņu arhitektūrai, kur pirmais slānis ir reaktīvs, savukārt atlikušie slāņi ir spriestspējīgi.
2. Aģenta reaktīvajā slānī ir jābūt iespējai ātri izvēlēties atbilstošu uzvedību un novērtēt emocionālo stāvokli primitīvā veidā.
3. Aģentam ir jābūt reaktīvam, t.i., ienākot jaunai uztverei ar augstu kairinājumu reaktīvajā slānī jāspēj pārtraukt darbība un atkārtoti jānovērtē situācija.
4. Pārslēgšanās starp slāņiem notiek atbilstošas uzvedības neatrašanas gadījumā, t.i., gadījumā, ja aģents vai nu nespēj atrast uzvedību vienā līmenī emociju ierobežojuma dēļ, vai arī vienā līmenī nespēj realizēt visus savus mērķus (piemēram, gan racionālos, gan sociālos).
5. Arhitektūrā ir jābūt mehānismam, kas ļauj "fiziski" ierobežot aģenta spējas, piemēram, samazinot apstrādājamo uzskatu skaitu. Šī prasība ir īpaši būtiska tad, ja aģentam ir veidols, t.i., fizisks vai virtuāls ķermenis vai seja.

Tālākās funkcijas skar aģenta spriešanas procesus un emociju ietekmi uz spriešanas procesiem. Uzvedības izvēle arhitektūras augstākajos līmeņos nedrīkst būt stingri definēta, t.i., emocionālais stāvoklis ietekmē un ierobežo uzvedību, taču vēl arvien aģentam ļauj izvēlēties no darbību apgabala. Aģentam ir jābūt paredzētai plānošanas komponentei, kas ļauj mainīt plānus vai mērķus atkarībā no esošā emocionālā stāvokļa.

Ja emocijās sakņotam aģentam piemīt spēja mācīties, tad tā apmācību emocijas ietekmē divējādi: (1) mācīšanās biežums un vēlme mācīties ir atkarīga no emocionālā stāvokļa; (2) aģents mācās, emocijas izmantojot vai nu kā atalgojumu, vai arī sodu. Apmācības procesā aģents gan apgūst zināšanas par vidi, gan citiem aģentiem, kas atbilst apmācības procesiem augstākajos apziņas līmeņos. Prasības, kas attiecas uz emocionālo spēju saistību ar racionālajiem procesiem, ir uzskaitītas tālāk.

6. Uzvedības izvēli (tajā skaitā, pieejamo uzvedību) ietekmē aģenta emocionālais stāvoklis.
7. Aģentam pieejamās uzvedības atšķiras dažādos arhitektūras līmeņos.
8. Emocionālajam stāvoklim ir ietekme uz darbību secības definēšanu, piemēram, plānošanu, un atkarībā no emocionālā stāvokļa aģents spēj mainīt savus mērķus un plānus.
9. Aģenta mācīšanās ir atkarīga no aģenta emocionālā stāvokļa šādos veidos:
 - a. Atkarībā no emocionālā stāvokļa tiek noteikts aģenta apmācības biežums, aģentā šo prasību implementē definējot, cik bieži un plaši aģents atjauno savu pasaules modeli, un cik bieži ģenerē jaunus likumus, balstoties uz šo pasaules modeli;
 - b. Aģents spēj mācīties par emocijām un ar tām saistītajām situācijām, kur emocijas kalpo kā atalgojums vai sods.

Aģenta ESM tiek iekļauts kā horizontālā prasība un ir nepieciešams visos līmeņos visu lomu implementācijā. Lai emocijām būtu iespējams ietekmēt aģenta spriešanas procesus un uzvedību, tās nepieciešams implementēt noteiktā veidā, kas ir cieši saistīts ne vien ar emociju realizāciju datorsistēmā, bet arī to semantisko pamatojumu, t.i., emociju psiholoģiskajām iezīmēm. Prasības pret aģenta emocionālā stāvokļa modelēšanu ietver gan uzvedības un spriešanas apgabalu definēšanu (kas atšķirsies dažādām emocijām), gan arī emociju seku intensitātes noteikšanu. Kopumā ESM prasības uzskaitītas tālāk.

10. Aģentam nepieciešams vairāku līmeņu emocionālais stāvoklis, kas ietver emocijas, noskaņojumu un personību, atbilstoši tam, kā tie definēti 2. nodaļā.
11. Aģenta emocionālo stāvokli ietekmē aģenta personība.
12. ESM ir nepieciešams emociju dinamikas aprēķins, kas sevī ietver:
 - a. Aktivizācijas funkciju, kas nosaka emociju intensitāti atkarībā no personības;
 - b. Norimšanas funkciju, kas nosaka, kā un cik ātri emocija pāries;
 - c. Izpaušanas funkciju, kas nosaka, ar kādu intensitāti emocijas ietekmēs pārējos racionālos procesus un uzvedību.
13. Aģentam nepieciešams novērtēt apkārtējās vides stimulus, nosakot emocijas objektīvo intensitāti, t.i., kairinājuma intensitāti, un emocijas tipu.

Visbeidzot, aģentam nepieciešams realizēt komunikāciju ar citiem aģentiem. Lai arī šeit prasības attiecas uz makrolīmeni, t.i., sistēmas uzbūvi kopumā, tomēr atsevišķas funkcijas nepieciešamas arī mikrolīmenī. Lai realizētu ārējās lomas, kas definētas 2. nodaļā, aģentam nepieciešams glabāt sociālās zināšanas, t.i., zināšanas par citiem aģentiem, to statusu un sociālajām attiecībām. Aģentam jāspēj spriest par citiem aģentiem un attiecībām ar tiem, kā arī

iedarbināt atbilstošo emociju nodošanas šablonu, interpretēt citu emocijas. Tāpat aģentam jāspēj novērtēt savu statusu grupā attiecībā pret citiem.

Aģentam nepieciešama spēja paust savas emocijas, kuru intensitāte tiek aprēķināta ar emociju izpaušanas funkciju (12.c. prasību), taču paušanas veidu aģentam jāspēj izvēlēties atkarībā no sociālajām attiecībām un statusa.

14. Aģentam ir nepieciešams glabāt zināšanas par statusu un veikt šādas darbības:

- a. Spriest par savu statusu grupas ietvaros;
- b. Spriest par citu statusu grupas ietvaros;
- c. Pielāgot komunikācijas mehānismu statusam.

15. Aģentam nepieciešams uzturēt zināšanas par sociālajām attiecībām un veikt šādas darbības:

- a. Uzturēt un mainīt sociālās attiecības atbilstoši grupas izmaiņām;
- b. Pielāgot komunikācijas mehānismu sociālajām attiecībām.

Vispārīgā gadījumā, aģentam jābūt spējai:

16. Paust (tiešā izpaušana, manipulācija) un uztvert (sekundārā izplatība) emocijas apzināti, t.i., ietverot kognitīvās funkcijas;

17. Paust (primitīvā izplatība) un uztvert (primitīvā izplatība, šabloni) emocijas neapzināti, t.i., tās saņemot uzreiz no citiem aģentiem.

18. Emociju uzņemšana no citiem aģentiem ir atkarīga no dažādiem parametriem:

- a. Aģenta paša tendences uzņemt un paust emocijas;
- b. Aģenta emociju intensitātei un veidam jābūt atkarīgiem no citu aģentu statusa un attiecībām.

Definētās prasības aptver gan lomu implementāciju, gan arī nepieciešamās mikrolīmeņa iezīmes emocijās sakņotu aģentu komunikācijai. Jāatzīmē, ka definētās prasības aptver gan aģenta vispārīgā projektējuma līmeni, kurā prasību realizāciju veic autores izstrādātais metožu kopums, gan specifiskā projektējuma līmeni, kurš atkarīgs no problēmsfēras. Atsevišķas prasības ir definētas vispārīgajā projektējuma līmenī, taču specifiskā projektējuma līmenī ir jāpapildina: piemēram, 13. prasības realizācijai vispārīgajā projektējumā nepieciešams paredzēt stimula apstrādes funkciju kā tādu, taču vēlāk tā jāspecificē atkarībā no problēmsfēras (respektīvi, kādi stimuli konkrētajā problēmsfērā izraisa konkrēti kādas emocijas). 4.1. tabulā katrai prasībai ir norādīts tas, kādā veidā prasības izpilde tiek atbalstīta ar vispārīgā projektējuma palīdzību un kādā - ar specifiskā projektējuma palīdzību.

4.1. tabula

Prasības un to realizācija

Prasības numurs	Prasība	Vispārīgā projektējuma līmenī realizē	Specifiskā projektējuma līmenī ir
1.	Daudzlīmeņu emociju apstrāde	Arhitektūras uzbūve un slāņu īpašības	-
2.	Primārajā slānī vienkārša uzvedība un emocijas	Primārā slāņa uzbūve	Jāspecificē, kas ir patīkams, kas nepatīkams notikums
3.	Aģenta reaktivitāte	Arhitektūras uzbūve	Jāspecificē produkcijas likumi, t.i. uzvedības primārajā līmenī

Prasības numurs	Prasība	Vispārīgā projektējuma līmenī realizē	Specifiskā projektējuma līmenī ir
4.	Pārslēgšanās starp slāņiem noteiktos gadījumos	Arhitektūras uzbūve	-
5.	Fiziska spēju ierobežošana	Arhitektūras uzbūve	Jāspecifificē, kādas vienības tiks ierobežotas (uzskati, vēlmes, nolūki utt.) un kā šo vienību skaits mainīsies atkarībā no aģenta skaitļošanas kapacitātes
6.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz uzvedību	Vadlīnijas uzvedības šablonu definēšanai (dažādos PAD telpas apgabalos)	Jādefinē problēmai specifiskas uzvedības katrā PAD noskaņojumā
7.	Aģenta uzvedības šablonu pieejamība	Vadlīnijas uzvedības šablonu definēšanai (dažādos arhitektūras līmeņos)	Jādefinē problēmai specifiskas uzvedības katrā arhitektūras līmenī
8.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz plānošanu	BDI arhitektūras ieviešana un vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	Jādefinē specifiska plānošana (stratēģija)
9.a.	Aģenta apmācības biežuma noteikšana	Vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	Jādefinē apmācības biežums
9.b.	Emocijas kalpo kā atalgojums vai sods	BDI arhitektūras ieviešana un vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	Jādefinē specifiska mācīšanās metode
10.	Aģentam jābūt vairāku līmeņu emocionālajam stāvoklim.	Emocionālo raksturojumu (emociju, noskaņojuma, personības) integrācijas metode	-
11.	Personība ietekmē aģenta emocionālo stāvokli.	Emocijās sakņota aģenta emociju dinamikas atkarības no personības modelēšanas metode	-
12.a.	Aktivizācijas funkcija	Emocionālā stāvokļa dinamikas modelēšanas un aprēķina metode	-
12.b.	Norīšanas funkcija		-
12.c.	Izpaušanas funkcija		-
13.	Apkārtējās vides stimulu novērtēšana	Vadlīnijas apkārtējās vides stimulu novērtēšanai	Jāspecifificē novērtējuma funkcijas
14.a.	Spriešana par savu statusu	Metode statusa un sociālo attiecību modelēšanai	Atkarībā no tā, kas ir statusa mērs, jāspecifificē statusa izmaiņu funkcijas
14.b.	Spriešana par citu statusu	Metode statusa un sociālo attiecību modelēšanai	Atkarībā no tā, kas ir statusa mērs, jāspecifificē statusa izmaiņu funkcijas
14.c.	Komunikācijas mehānisma pielāgošana aģenta iekšējam stāvoklim	Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības modelēšanas metode (tajā skaitā mehānismu klasifikācija)	-
15.a.	Sociālo attiecību uzturēšana	Vadlīnijas sociālās spriešanas implementācijai	Jāspecifificē sociālo attiecību atjaunināšanas funkcija
15.b.	Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām	Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības modelēšanas metode (mehānismu klasifikācija)	-
16.	Emociju neapzināta paušana un uztveršana	Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības modelēšanas metode	-
17.	Emociju apzināta paušana un uztveršana	Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības modelēšanas metode	Jāspecifificē gadījumi, kuros aģents veiks apzinātu emociju paušanu un uztveršanu
18.a.	Emociju uzņemšana	Uzņēmības un paušanas funkcijas	-
18.b.	Emociju atkarība no statusa un attiecībām	Metode statusa un sociālo attiecību modelēšanai	-

4.2. Emocijās sakņota aģenta arhitektūra un algoritmi

Balstoties uz prasībām, kas aprakstītas iepriekšējā apakšnodaļā, ir izstrādāta aģenta arhitektūra. Pirmajā nodaļā tika secināts, ka vispiemērotākais arhitektūras veids ticamai cilvēka modelēšanai ir tāds, kas satur vertikālus slāņus, jo šāda arhitektūra atbilst arī cilvēka spriešanai (realizē 1. prasību). Pierādījumi tam atrodami gan jau izstrādātās arhitektūrās (Hudlicka, 2012; Kazemifard et al., 2011), gan teorētiskās iestrādēs (Sloman, 2000), gan arī psihologu darbos (Ortony et al., 2005).

Lai arī pastāv iespēja izmantot divus slāņus, tomēr, tā kā esošie aģenti ir sociāli un tiem piemīt pašrefleksija, var secināt, ka piemērotākais slāņu skaits ir trīs (shematiski arhitektūra attēlota 4.2. attēlā):

- Primārais slānis, kurā aģentam ir reaktīva uzvedība; līdz ar to šajā slānī notiek vienkārši aprēķini un tiek realizētas vienkāršas uzvedības;
- Sekundārais slānis, kurā aģents veic spriešanu par stratēģiju un plāno darbības vidē, kā arī glabā uzskatus par vidi. Šajā slānī rodas emocijas, kas saistītas ar stratēģiju un plāniem attiecībā uz stratēģiju;
- Terciārais slānis, kurā aģents veic spriešanu par sociālo stratēģiju un savu vietu grupā. Šajā līmenī notiek spriešana par citiem aģentiem un to nolūkiem, personībām, un izraisās emocijas, kas saistītas ar grupu un aģenta vietu tajā.

Otrajā nodaļā ir secināts, ka ESM funkcijas parasti ir izklaidētas starp dažādām arhitektūras komponentēm. Šī iemesla dēļ katrs no līmeņiem satur funkcijas, kas veic emocionālā stāvokļa aprēķinu, taču personības un noskaņojuma bloks ir izdalīts atsevišķi, tā kā personība ietekmē visus līmeņus (11. prasība).

Vispārīgā gadījumā, emocijās sakņota aģenta stāvoklis jebkurā laika momentā sastāv no racionālā stāvokļa \mathcal{R} un emocionālā stāvokļa \mathcal{E} . Šī iemesla dēļ arī aģentā ir izdalāmas tādas funkcijas, kas atgriež darbību (\mathcal{R} tipa funkcijas), un tādas, kas atgriež emocionālo stāvokli (\mathcal{E} tipa funkcijas). Pirmajā nodaļā secināts, ka emocijās sakņota aģenta gadījumā emocijas ir lēmumu pieņemšanas sastāvdaļa, kuru aģents uzskata par racionālu komponenti, tādēļ aģenta emociju skaitļošanas funkcijas darbību neatgriež.

4.2. attēlā ir redzama kopējā aģenta arhitektūras shēma, kas sevī ietver visus trīs līmeņus un sadarbību ar ārējo vidi, kura attēlā apzīmēta kā aktieris, t.i., cita entīcija, ar kuru aģents sadarbojas. Ar treknāku līniju iezīmētas tās arhitektūras daļas, kas pieder aģenta ESM. Uztvere iezīmēta ar pārtrauktu treknāku līniju, tā kā tā daļēji pieder ESM.

Saites apzīmē pārslēgšanos starp arhitektūras slāņiem, t.i., vadības plūsmas pāreju no viena slāņa citā, kas var notikt noteiktos gadījumos.

Vadības plūsmas pārslēgšanās starp slāņiem:

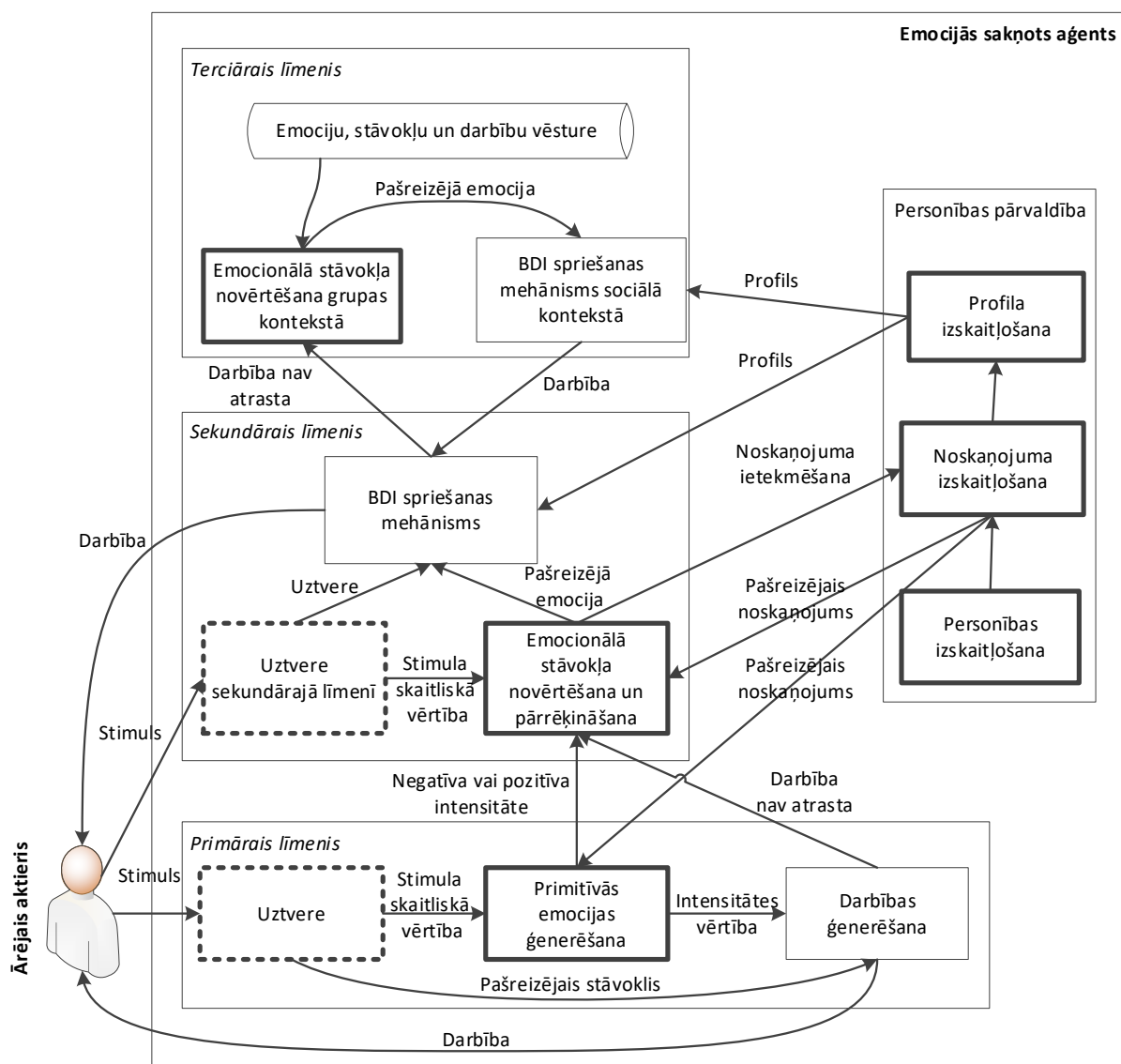
Primārais \rightarrow sekundārais: nav atrasta piemērota darbība (4. prasība). Ja aģents reaktīvajā līmenī nevar atrast situācijas risinājumu, sākas apstrāde nākamajā – rutīnas – līmenī. Signāls *darbība_nav_atrasta* tiek iedarbināts arī tad, ja ir izpildīta reaktīvajā līmenī atrodamā darbība, veicinot stimula atkārtotu novērtēšanu.

Sekundārais \rightarrow terciārais līmenis – aģents nevar atrast darbību sekundārajā līmenī (jāņem vērā tas, ka ja aģents nespēj atrast darbību, nenozīmē, ka tādas nav – emocionālā nosliece var

ietekmēt to, ka aģents neizskata darbību veikšanu), tiek iedarbināts terciārais līmenis. Pāreja tiek iedarbināta arī sava un citu statusa un attiecību novērtēšanai.

Sekundārais vai terciārais → primārais: veic trauksmes mehānisma funkciju gadījumā, kad ienāk jauns stimuls (3. prasība). Ja vienā no emociju novērtēšanas līmeņiem emociju līmenis sasniedz sliekšni, kad aģents uzskata, ka ir apdraudēts, trauksmes mehānisms nodod vadības plūsmu reaktīvajam līmenim, tādējādi nodrošinot vairāku sistēmu koordināciju. Bīstams stimuls var parādīties divos gadījumos: pirmkārt, ja aģents izsecina, ka kaut kas ir ļoti bīstams, otrkārt, ja ienāk jauns kairinājums no apkārtējās vides (aģents vidi novēro nepārtraukti). Šī iemesla dēļ aģentā tiek definēta funkcija, kas patstāvīgi novēro vidi un atgriež tās stāvokli un tā vērtību gadījumā, ja stāvoklis ir kritisks (formula (4.1)).

$$\text{KRITISKS-STĀVOKLIS: } uztvere \rightarrow stāvoklis \quad (4.1.)$$



4.2. attēls. Emocijās sakņotā aģenta arhitektūra.

Personības pārvaldības bloks

Personības pārvaldības bloks satur daļu no ESM funkcijām; tā mērķis ir atgriezt esošo emocionālo stāvokli, t.i., integrēt atsevišķu līmeņu aprēķinātās emocionālās intensitātes savā starpā un kopējā noskaņojumā. Šī integrācija kā vispārīga funkcija parādīta formulā (4.2). Personības pārvaldības bloks atgriež arī darbības profilu, kurā aģents darbosies, saskaņā ar tā emocionālo stāvokli (formula (4.3)). Papildus tam, personības bloks veic arī atsevišķu, t.i., konkrētu, emociju subjektīvās intensitātes izskaitļošanu, kas aprakstīta formulā (4.4). Funkcijas, ar kuru palīdzību notiek subjektīvās emocijas izskaitļošana, detalizētāk aprakstītas 4.3. nodaļā.

$$\text{INTEGRĒŠANA: } \textit{pašreizējais-noskaņojums} \times \textit{jaunais-emoc-st} \rightarrow \textit{pašreizējais-noskaņojums} \quad (4.2.)$$

$$\text{PROFILĒŠANA: } \textit{profilu-kopa} \times \textit{pašreizējais-noskaņojums} \rightarrow \textit{profils} \quad (4.3.)$$

$$\text{SUBJEKTĪVĀS-FUNKCIJAS: } \textit{emociju-aprēķina-funkcijas(objektīvā-emocija, pašreizējais-noskaņojums)} \rightarrow \textit{subjektīvā-emocija} \quad (4.4.)$$

Visbeidzot, personības pārvaldības blokam pieder arī objektīvās emocijas novērtēšana, ko veic funkcija OBJEKTĪVĀ-NOVĒRTĒŠANA. Jāņem vērā, ka, atkarībā no līmeņa, šīs funkcijas ieejas parametri atšķiras, tā kā pirmajā līmenī objektīvās emocijas noteikšana balstīta produkciju likumos, sekundārajā – aģenta vēlmēs, uzskatos un nolūkos, terciārajā – aģenta sociālajās vēlmēs, uzskatos un nolūkos.

Slāņu uzbūve

Katram no slāņiem ir nepieciešama sava arhitektūra, tā kā to sarežģītība ievērojami atšķiras.

Primārajā slānī ir izvēlēta reaktīvā aģenta uzbūve, tā kā šajā slānī nepieciešams reaģēt uz ienākošo uztveri. Tā mērķis no emociju izskaitļošanas viedokļa ir pēc iespējas ātrāk apstrādāt stimulu; šī iemesla dēļ pieejamo darbību un apstrādājamo uztveru skaits tajā ir mazs, aģentam nav nepieciešams noteikt emociju, bet tikai patiku vai nepatiku pret situāciju un intensitāti (2. prasība). Tas saņem uztveri no vides un veic objektīvu esošo stāvokļa novērtējumu (13. prasība), ar kuru aģents darbojas tālāk. Primārais slānis no racionālā viedokļa izvada darbību, tādēļ arī aģenta funkcija ir līdzīga reaktīvā aģenta darbībai (4.3. attēlā).

```
function PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA (uztvere) returns darbība
persistent: produkcijas-likumi, produkcijas likumu kopa primārā līmeņa realizācijai

begin
if (stāvoklis.Statuss == kritisks) //t.i. PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA izsaukta no citām aģenta funkcijām
    stāvoklis.Statuss == nav kritisks;

stāvoklis ← INTERPRETĒT-UZTVERI(uztvere)
emoc-stāvoklis ← PRIMĀRĀS-EMOCIJAS(uztvere)
likums ← LIKUMA-MEKLĒŠANA(stāvoklis, emoc-stāvoklis, produkcijas-likumi)
darbība ← likums.Darbība
return darbība
end
```

4.3. attēls. Primārās spriešanas pseidokods.

Tāpat kā citiem slāņiem, arī primārais slānis satur komponenti, kas pārlicinās, vai no jauna ienākošais stimulš neveido kritisku stāvokli. Ja tā ir, tad šajā slānī tiek noņemta kritiskā stāvokļa iezīme un stimulš atkal apstrādāts primārajā līmenī. Funkcija izsauc otru primārā slāņa funkciju: PRIMĀRĀS-EMOCIJAS, kas novērtē kairinājumu, tā intensitāti un patiku pret šo stāvokli, un pēc tam tos integrē pašreizējā emocionālajā stāvoklī (4.4. attēlā). Jāņem vērā, ka dažādos pētījumos tiek atšķirīgi interpretētas tas, kādas emocijas tiek atpazītas primārajā līmenī – dažas no primitīvajām emocijām, kā bailes, dusmas, prieks, vai arī kairinājuma polaritāte, t.i., vai šis kairinājums ir pozitīvs vai negatīvs. Promocijas darbā izvēlēts līmeņus balstīt pētījumos, kur sākumā aģents noreāģē uz situāciju tikai kā uz pozitīvu vai negatīvu. Šādā interpretācijā ir divi varianti, kā notiek “pārslēgšanās” uz augstāku līmeni: (a) ja aģents neatpazīst emociju, tad aģents saglabā emocionālo intensitāti, rīkojas saskaņā ar šo primārajā līmenī iegūto emocionālo stāvokli, savukārt, (b) ja aģents atpazīst emociju, tad automātiski notiek pārslēgšanās uz nākošo līmeni, kur notiek konkrētās emocijas novērtēšana un apstrāde.

```

function PRIMĀRĀS-EMOCIJAS (uztvere) returns emoc-stāvoklis
persistent: objektīvās-noteikšanas-likumi, likumu kopa, kas ļauj novērtēt kairinājuma patiku un intensitāti

begin
if (stāvoklis.Statuss == kritisks)
    jauna-uztvere ← stāvoklis.Vērtība
    PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA(jauna-uztvere)
else
    emocija, obj-intensitāte ← OBJEKTĪVĀ-NOVĒRTĒŠANA(uztvere, obj-noteikšanas-likumi)
    subj-intensitāte ← SUBJEKTĪVĀS-FUNKCIJAS(emocija, obj-intensitāte)
    emoc-stāvoklis ← INTEGRĒŠANA (emocija, subj-intensitāte)
    return emoc-stāvoklis
end

```

4.4. attēls. Primārās emociju novērtēšanas pseidokods.

BDI arhitektūra emocijās sakņotiem aģentiem sniedz priekšrocības, ļaujot implementēt uz mērķiem balstītu spriešanu, kā arī konceptuāli implementējot plānošanu un mācīšanos, kas savukārt nepieciešama 8. un 9.b prasības realizācijai. Šo iemeslu dēļ gan sekundārajam, gan terciārajam slānim spriešanas nolūkiem izvēlēta BDI aģenta arhitektūra. Spriešanas pseidokods ir atrodams 4.5. attēlā. Atšķirībā no klasiskas BDI arhitektūras, tā ietver esošā emocionālā stāvokļa ietekmi uz šīm funkcijām. Atgriezto darbību tieši ietekmē aģenta emocionālais profils, bet uzskatu atjaunināšanu - emocionālais stāvoklis.

4.5. attēlā sekundārās spriešanas pseidokodā ir definēts arī tas, kā savienojas sekundārais un terciārais līmenis – darbības neatrašanas vai sliktas darbības atrašanas rezultātā aģents izsauc terciāro spriešanu, un pēc tam, ar funkcijas SALĪDZINĀT palīdzību, salīdzina risinājumus abos līmeņos, izvēloties labāko.

Kā viens no svarīgiem jautājumiem BDI arhitektūrā ir minēts tas, ka B, D, un I kopām jābūt saderīgām, t.i., aģentam jābūt pieejamiem līdzekļiem, lai tas varētu realizēt savas vēlmes (Wooldridge, 1999). Tā kā emocijas ierobežo aģenta darbību spektru, šo jautājumu nepieciešams risināt, tādēļ aģenta sekundārajā līmenī iebūvēti divi mehānismi: pirmkārt, tas var vērsties pie terciārā līmeņa, otrkārt, tam vienmēr ir pieejama vismaz viena stratēģija katrā no emocionālajiem profiliem.

function SEKUNDĀRĀ-SPRIEŠANA (*uztvere*) **returns** *darbība*

persistent: *B*, pašreizējo uzskatu kopa

D, pašreizējo vēlmju kopa

I, pašreizējo nolūku kopa

begin

if (*stāvoklis.Statuss == kritisks*)

jauna-uztvere ← *stāvoklis.Vērtība*

PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA(*jauna-uztvere*)

else

emoc-stāvoklis ← SEKUNDĀRĀS-EMOCIJAS (*uztvere, B, D, I*)

profils ← PROFILĒŠANA (INTEGRĒŠANA (*emoc-stāvoklis*))

B ← ATJAUNINĀT-UZSKATUS (*uztvere, emoc-stāvoklis, B*)

D ← ĢENERĒT-IESPĒJAS (*D, I, profils*)

I ← FILTRĒT (*B, D, I, profils*)

if (*darbība nav atrasta or darbība nav apmierinoša*)

soc-darbība ← TERCIĀRĀ-SPRIEŠANA(*uztvere*)

I ← SALĪDZINĀT(*darbība, soc-darbība*)

return IZPILDĪT(*I*)

end

4.5. attēls. Sekundārās spriešanas pseidokods.

Sekundārā slāņa emociju skaitļošanas funkcija nosaka arī emocijas tipu. Sekundārajā slānī, balstoties uz personību, pašreizējiem nolūkiem un uzskatiem, tiek veikta emocionālā stāvokļa atkārtota novērtēšana (šīs funkcijas pseidokods ir 4.6. attēlā). Aģenta noskaņojums ietekmē arī pašreizējos nolūkus, veidojot emocionālos profilus, kas savukārt tālāk ietekmē darbību. Ienākošā uztvere tiek savienota ar pārliecību kopu, lai ģenerētu darbību iespēju kopu. Šajā brīdī darbību iespējas tiek izvēlētas, ņemot vērā arī nolūkus, kurus savukārt ietekmē noskaņojuma profils – tādējādi aģents var nevēlēties veikt vienu vai citu darbību, jo tam nav atbilstošā noskaņojuma. Profils var iespaidot arī aģenta vēlmes, tādā veidā radot noslieci uz noteiktām darbībām. Aģenta pārliecības ir saistītas ar emocijām, līdz ar to no pārliecību atjaunināšanas funkcijas var rasties emocija, tādējādi savienojot racionālos un emocionālos procesus.

function SEKUNDĀRĀS-EMOCIJAS (*uztvere, B, D, I*) **returns** *emoc-stāvoklis*

persistent: *objektīvās-noteikšanas-likumi*, likumu kopa, kas ļauj novērtēt kairinājuma intensitāti

emociju-modelis, klasifikators, kas ļauj noteikt emocijas tipu

begin

if (*stāvoklis.Statuss == kritisks*)

jauna-uztvere ← *stāvoklis.Vērtība*

PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA(*jauna-uztvere*)

else

emoc-tips ← TIPANOTEIKSANA(*emociju-modelis, uztvere, B, D, I*)

emoc-intensitāte ← OBJEKTĪVĀ-NOVĒRTĒŠANA(*objektīvās-noteikšanas-likumi, uztvere, B, D, I*)

objektīvā-emocija ← SAPLUDINĀŠANA (*emoc-tips, emoc-intensitāte*)

emoc-stāvoklis ← SUBJEKTĪVĀS-FUNKCIJAS(*objektīvā-emocija*)

return *emoc-stāvoklis*

end

4.6. attēls. Sekundārās emociju novērtēšanas pseidokods.

Emociju objektīvajai novērtēšanai tiek izmantots emociju novērtēšanas modelis, kas var būt likumu vai funkciju veidā un definē, kāda veida kairinājumi izraisa kāda veida emocijas (13. prasība). Vadlīnijas šāda modeļa izvēlei aprakstītas 4.4. nodaļā.

Visbeidzot, terciārajā līmenī tiek veikta tā spriešana, kas attiecas uz aģenta vietu sociālajā struktūrā un pašvērtējumu. Terciārais līmenis nemijiedarbojas ar vidi (Kazemifard et al., 2011), līdz ar to tā ieeja ir jau interpretēts notikums, bet izeja – pieejamā sociālā darbība, kuru aģents var izvēlēties neveikt (4.7. attēls). Šis līmenis darbojas līdzīgi kā sekundārais, taču šeit tiek glabāti uzskati par citiem aģentiem un sevi grupas kontekstā, ir pieejamas citas darbības (7. prasība), tajā pašā laikā ņemot vērā arī racionālos nolūkus, kas ģenerēti sekundārajā līmenī.

```

function TERCĪARĀ-SPRIEŠANA (interpretēta-uztvere) returns sociāla-darbība
persistent: socB, pašreizējo sociālo uzskatu kopa
               socD, pašreizējo sociālo vēlmju kopa
               socI, pašreizējo sociālo nolūku kopa
               I, pašreizējo racionālo nolūku kopa
begin
if (stāvoklis.Statuss == kritisks)
    jauna-uztvere ← stāvoklis.Vērtība
    PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA(jauna-uztvere)
else
    emoc-stāvoklis ← TERCĪARĀS-EMOCIJAS (interpretēta-uztvere)
    profils ← PROFILĒŠANA (INTEGRĒŠANA (emoc-stāvoklis))
    socB ← ATJAUNINĀT-UZSKATUS (interpretēta-uztvere, emoc-stāvoklis, socB)
    socD ← ĢENERĒT-IESPĒJAS (socD, socI, I, profils)
    socI ← FILTRĒT (socB, socD, socI, profils)
    return sociāla-darbība
end

```

4.7. attēls. Terciārās spriešanas pseidokods.

Visbeidzot, emocijas terciārajā līmenī (4.8. attēls) tiek skaitļotas līdzīgi kā sekundārajā, taču ir pieejamas citas novērtējuma funkcijas (un potenciāli – citas emocijas). Aģents izmanto vides (tajā skaitā, arī grupas) stāvokļu vēsturi un reakcijas uz šiem stāvokļiem, kas savukārt ļauj spriest par problēmsfēras un sociālās grupas kopējo attīstību.

```

function TERCĪARĀS-EMOCIJAS (interpretēta-uztvere, socB, socD, socI) returns emoc-stāvoklis
persistent: soc-objektīvās-noteikšanas-likumi, likumu kopa, kas ļauj novērtēt kairinājuma intensitāti
               soc-emociju-modelis, klasifikators, kas ļauj noteikt emocijas tipu
               atmiņu-kopa, aģenta atmiņu kopa
begin
if (stāvoklis.Statuss == kritisks)
    jauna-uztvere ← stāvoklis.Vērtība
    PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA(jauna-uztvere)
else
    emoc-tips ← TIPA-NOTEIKSANA(soc-emociju-modelis, interpretēta-uztvere, socB, socD, socI)
    emoc-intensitāte ← OBJEKTĪVĀ-NOVĒRTĒŠANA (soc-objektīvās-noteikšanas-likumi, interpretēta-uztvere, atmiņu-kopa)
    objektīvā-emocija ← SAPLUDINĀŠANA (emoc-tips, emoc-intensitāte)
    emoc-stāvoklis ← SUBJEKTĪVĀS-FUNKCIJAS(objektīvā-emocija)
    atmiņu-kopa ← ATJAUNINĀT-ATMIŅU(atmiņu kopa, interpretēta-uztvere, emocionālais stāvoklis)
    return emoc-stāvoklis
end

```

4.8. attēls. Terciārās emociju novērtēšanas pseidokods.

Rezultātā ir definēti visi algoritmi un funkcijas, kas nepieciešamas arhitektūras realizācijai. Ne visas funkcijas ir definētas pie arhitektūras, tā kā dažas no tām, piemēram, emociju dinamikas definēšana, tipa noteikšana nav triviālas un prasa atsevišķu projektējumu. Šīs funkcijas un to realizācija aprakstīta tālākajā metožu kopumā.

4.3. ESM vispārīgs projektējums

Tieši uz ESM attiecas četras no 4.1. nodaļā minētajām prasībām (11. prasība un 12.a., 12.b. un 12.c. prasības). Autore ESM vispārīgajā projektējumā ir iekļāvusi:

- emociju dinamikas modelēšanas un aprēķina metodi; metode ir saistīta ar Hudličkas (2011) un Pikardas (1997) piedāvātajām pieejām, papildus izstrādājot pieeju funkciju parametru atkarības noteikšanai no aģenta personības;
- pieeju tam, kādā veidā emocionālo stāvokli ietekmē aģenta personība, kur ietekmju raksturs un spēks ir balstīts psiholoģijas literatūrā;
- pieeju trīs emociju līmeņu modelēšanai un integrēšanai (personības, noskaņojuma un emociju), kuras pamatā izmantota metode ar emociju integrēšanu PAD telpā, līdzīgi kā ALMA aģentā (Gebhard, 2005);
- visbeidzot, lai arī apkārtējās vides stimulu novērtēšana ir veicama no problēmsfēras atkarīgā projektējuma vai implementācijas līmenī, taču vispārīgā projektējuma līmenī ir sniegtas vadlīnijas šo stimulu novērtēšanai.

4.3.1. Emociju dinamika

Aģenta emocionālo stāvokļu pamatā esošais aprēķinu cikls jeb emociju dinamika sastāv no trīs funkcijām: aktivizācijas funkcijas, norimšanas funkcijas un izpaušanas funkcijas. Tā kā aģents atrodas daudzāģentu vidē, ir apskatīta arī vēl viena funkcija, kas tieši saistīta tieši ar to, kādā veidā aģents mijiedarbojas ar citiem aģentiem, t.i., emociju uzņēmības sliekšnis. Šīs funkcijas tiek izmantotas gan primitīvajā līmenī, kur par spīti konkrētas emocijas neesamībai, tāpat nepieciešams regulēt emocionālo stāvokli, gan arī augstākajos līmeņos. Emocionālā stāvokļa aprēķins sastāv no četru funkciju kopas (formula (4.5.)), kas turpmāk sauktas par emociju skaitļošanas funkcijām.

$$\Omega = \left(act(I_{obj}), dec(t), expr(I_{subj}), susc(I_{subj}) \right), \quad (4.5.)$$

kur $act()$ – aktivizācijas funkcija;

$dec()$ – norimšanas funkcija;

$expr()$ – izpaušmes funkcija;

$susc()$ – uzņēmības sliekšnis;

I_{obj} – objektīvā kairinājuma intensitāte,

t – laiks (s);

I_{subj} – subjektīvā kairinājuma intensitāte.

Aktivizācijas funkciju act definē kā subjektīvās intensitātes I_{subj} atkarību no objektīvās intensitātes (formula (4.6)).

$$I_{subj} = act(I_{obj}), \quad (4.6.)$$

kur I_{obj} ir objektīvā intensitāte.

Otrajā nodaļā secināts, ka aktivizācijas funkcija atbilst sigmoīdai, kas vispārīgā gadījumā ir parādīta formulā (4.7.).

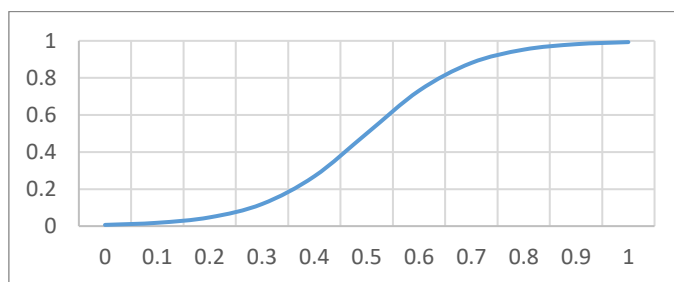
$$act(I_{obj}) = \frac{g}{1 + e^{-\frac{I_{obj} - I_{obj0}}{s}}} + I_{subj0}, \quad (4.7.)$$

kur I_{obj} ir objektīvais kairinājums jeb objektīvā intensitāte – funkcijas arguments; g , s , I_{obj0} un I_{subj0} ir funkcijas parametri, kas nosaka līknes īpašības.

Parametri I_{obj0} un I_{subj0} norāda sigmoīdas nobīdes pa I_{obj} un I_{subj} asīm, s nosaka grafika izliekumu; g matemātiski ir sigmoīdas augšējā robeža, kas semantiski atbilst maksimāli sasniedzamajam emocijas līmenim.

Parametriem s , I_{obj0} un I_{subj0} pašiem par sevi nav semantiskas nozīmes. Semantiskā nozīme ir konstantes e pakāpes parametriem kopumā – tie nosaka, cik stāva būs funkcija, kas semantiski atbilst tam, cik strauji aug aģenta emocijas dažādu kairinājumu ietekmē. Visi sigmoīdas parametri ir savstarpēji saistīti, tādēļ to definēšana atbilstoši aģenta personībai nav triviāla un ir aprakstīta 4.3.2. nodaļā.

Izmantojot s , I_{obj0} un I_{subj0} parametru mijiedarbību, nepieciešamā sigmoīdas rakstura iegūšanai, tā ir pielāgota tā, lai gan I_{subj} , gan I_{obj} būtu skalā no (0..1). Tā kā sigmoīdas vērtības tiecas uz tās robežām, bet to nekad nesasniedz, tad apgabala definēšanai izvēlēta nobīde ar vērtību 0,001, kas nozīmē, ka faktiski pie I_{obj} vērtību intervāla [0..1], I_{subj} vērtību intervāls ir [0,001..0,999] (šādas sigmoīdas grafiks 4.9. attēlā); šajā attēlā citi parametri: $g = 1$, $s = 0,1$, $I_{obj0} = 0,5$ un $I_{subj0} = 0$, semantiski grafiks atbilst aktivizācijas funkcijai bez personības ietekmes.



4.9. attēls. Emociju aktivizācijai pielāgota sigmoīda.

Norimšanas funkciju dec , kas nosaka gan aģenta iekšējās emocionālās intensitātes, gan ārējo izpausmju norimšanu, definē kā subjektīvās intensitātes I_{subj} atkarību no laika t (formula (4.8)). No 2. nodaļas secināts, ka norimšanas funkcija atbilst dilstošai eksponentes funkcijai (vispārīgā gadījumā formula (4.9)). Eksponentes funkcijas stāvumu, kas semantiski atbilst tam,

cik ātri norimst aģenta emocijas, regulē, mainot parametra λ vērtību; tā atkarība no personības aprakstīta 4.3.2. nodaļā.

$$I_{subj} = dec(t) \quad (4.8.)$$

$$dec(t) = e^{-\lambda t}, \quad (4.9.)$$

kur t – laiks (s);

λ – parametrs, kas regulē funkcijas stāvumu.

Izpaušanas funkcija ir aģenta emociju izpaušanas spēka E_{subj} atkarība no iekšējā emocionālā stāvokļa I_{subj} (formula (4.10)).

$$E_{subj} = expr(I_{subj}), \quad (4.10.)$$

kur I_{subj} ir subjektīvā intensitāte.

Līdzīgi kā aktivizācijas funkcija, arī šī funkcija tiek modelēta ar sigmoīdas palīdzību (parādīta 4.9. attēlā). Analogiski aktivizācijas funkcijas argumentam I_{obj} un vērtībai I_{subj} , izpaušanas funkcijā attiecīgi ir arguments I_{subj} un vērtība E_{subj} , kā arī s un g parametri, kuru kombinācija nosaka funkcijas raksturojumu (stāvuma un maksimālās vērtības) atkarību no personības (formula (4.11)). Arī šīs kombinācijas atrašana aprakstīta 4.3.2. nodaļā.

$$expr(I_{subj}) = \frac{g}{1 + e^{\frac{I_{subj0} - I_{subj}}{s}}} + E_{subj0}, \quad (4.11.)$$

kur I_{subj} ir subjektīvais kairinājums jeb mainīgā vērtība;

g , s , I_{subj0} un E_{subj0} ir funkcijas parametri, kas regulē līknes īpašības.

Līdzīgi aktivizācijas funkcijai, arī izpaušanas funkcija ir pielāgota tā, lai gan arguments I_{subj} , gan mainīgā vērtība E_{subj} , būtu vērtību intervālā (0..1), izmantojot to pašu nobīdi: 0,001. Līdz ar to, arī izpaušanas funkcija bez personības ietekmes atbilst 4.9. attēlā esošajai sigmoīdai.

Visbeidzot, uzņēmības sliekšnis modelē aģenta uzņēmīgumu pret citu aģentu emocijām, t.i., vai aģents vispār reaģēs uz konkrētu izpausmi (formula (4.12)). Šī funkcija tiek attēlota kā sliekšņa funkcija, kur sliekšņa tr vērtība ir atkarīga no personības (formula (4.13)).

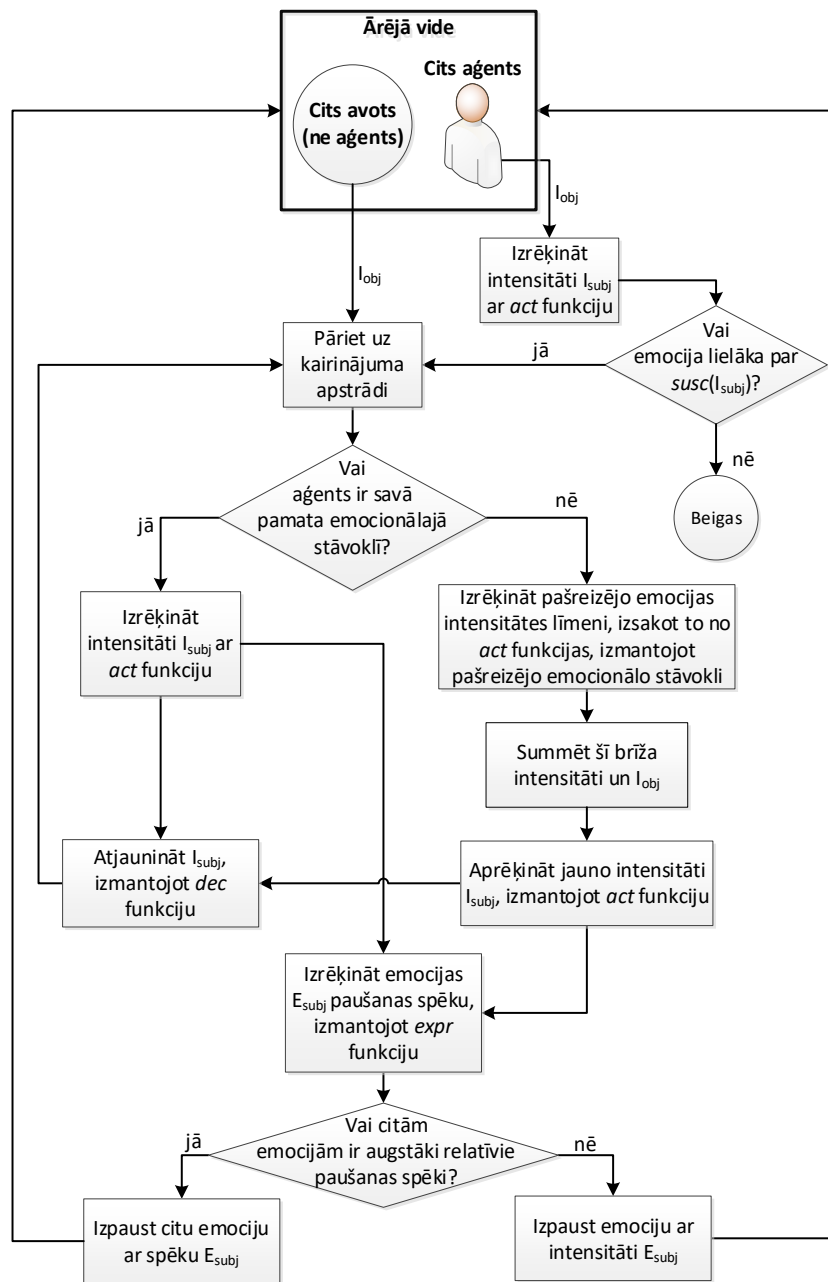
$$S = susc(I_{subj}) \quad (4.12.)$$

$$susc(I_{subj}) = \begin{cases} 1, & ja (I_{subj} \geq tr) \\ 0, & ja (I_{subj} < tr) \end{cases}, \quad (4.13.)$$

kur I_{subj} – subjektīvais kairinājums;

tr – sliekšņa vērtība.

Tā kā funkcijas ir tieši atkarīgas no personības, tad katrai no aģentam piemītošajām emocijām nepieciešama sava parametru kopa. Emociju skaitļošanas funkciju mijiedarbība gadījumā, kad ienāk jauns kairinājums, algoritma veidā parādīta 4.10. attēlā.



4.10. Emociju skaitļošanas funkciju mijiedarbība gadījumā, kad ir ienācis jauns kairinājums.

Pēc tam, kad ir izskaitļota objektīvā intensitāte, tā tiek ievadīta personībai pielāgotajā aktivizācijas funkcijā. Uzreiz pēc tam aktivizācijas funkcijas vērtība tiek ievadīta norimšanas funkcijā un tiek aprēķināta jaunā norimšanas funkcijas vērtība. Ienākot jaunam kairinājumam laika momentā, kad emocijas vēl nav norimušas, aktivizācijas funkcija tiek aprēķināta, ņemot vērā esošo intensitāti; šādā veidā tiek modelēta emociju intensitātes pastiprināšanās atkārtota kairinājuma rezultātā ("zvana efekts"). Balstoties uz aktivizācijas funkcijas izeju, tiek izrēķināts emociju paušanas spēks.

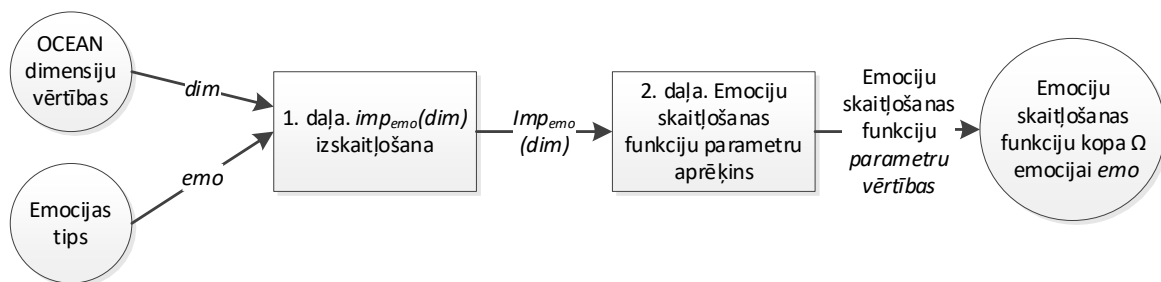
Gadījumā, ja jauns kairinājums nav ienācis, tiek izsaukta norimšanas funkcija, izmantojot laiku (sekundēs), kas pagājis kopš iepriekšējā kairinājuma ienākšanas.

Visbeidzot, kā jau minēts, uzņēmības funkcija tiek izmantota pie specifiskiem kairinājumiem, konkrēti - citu aģentu izradītajām emocijām. Šajā gadījumā pirms emocija ietekmē iekšējos spriešanas procesus un izpausmi, tiek noteikta aģenta uzņēmība pret emocijām.

4.3.2. Emociju atkarība no personības

Lai arī emociju skaitļošanas funkcijas un to vispārīgais raksturs visiem aģentiem ir vienāds, tomēr funkciju parametros nepieciešamas atšķirības, lai būtu iespējams modelēt dažādas personības. Jau iepriekš minēts tas, ka šie parametri ne vien atšķirsies dažādiem aģentiem, bet arī dažādām emocijām vienam un tam pašam aģentam (piemēram, cilvēki ar augstu ekspresiju ir jutīgi uz prieku, taču ne dūsmām (Mehl et al., 2006)). Ar definētās metodes palīdzību aprēķināma ne vien atsevišķu emociju, bet arī pozitīvā vai negatīvā emocionālā stāvokļa dinamika.

Tā kā vienam aģentam funkciju parametri atšķirsies dažāda tipa emocijām, tad autore darba ietvaros definējusi secību, kādā iegūstami kādas konkrētas emocijas skaitļošanas funkciju parametri. Šī metode nav triviāla, jo ir nepieciešams noteikt divas atkarības. Pirmkārt, nepieciešams noteikt to, cik stipri personības dimensija OCEAN modelī ietekmēs konkrētu emociju, tā kā dimensijas vērtība nav vienāda ar dimensijas ietekmes vērtību uz emocijām. Turpmāk jebkura no dimensijām, ja nav specifiski definēts, kura, apzīmēta ar *dim*, un ietekme uz emocionālo stāvokli apzīmēta ar *imp*. Tā kā ietekme uz konkrētu emociju ir funkcija no dimensijas vērtības, tad kopā to apzīmē kā $imp_{emo}(dim)$, kur attiecīgi *emo* un *dim* var aizvietot ar konkrētu emociju un dimensiju. Otrkārt, pēc $imp_{emo}(dim)$ aprēķina, izmantojot šo ietekmi kā parametru, aprēķina Ω kopā (formula (4.5.)) esošo funkciju parametrus. Shematiski šī metode parādīta 4.11. attēlā, metodei izdalītas divas daļas.



4.11. attēls. Emociju skaitļošanas funkciju parametru izskaitļošanas metode.

Ar šīs metodes palīdzību var aprēķināt personības ietekmi uz dažādām emocijām ar priekšnosacījumu, ka ir pieejams pietiekoši daudz datu par to, kāda ir personības dimensiju *dim* ietekme *imp* uz emocijām *emo*. Diemžēl nav daudz pētījumu, kas analizētu konkrētu emociju atkarību no personības. Promocijas darbā ir izmantotas divas datu kopas: Pīsa un Lūisa pētījumā iegūta dusmu ietekmes *imp* atkarība no personības dimensijām (Pease & Lewis, 2015), savukārt prieka, baiļu, pretīguma un skumju ietekmes *imp* atkarība no personības dimensijām ir iegūta no (Verduyn & Brans, 2012).

1. daļa – $imp_{emo}(dim)$ izskaitlošana

Vispārīgi ietekmes funkcija ir atkarīga no konkrētās emocijas un kādas no personības dimensijām (formula (4.14)).

$$imp_{emo} = f(dim), \quad (4.14)$$

kur emo – konkrēta emocija vai tās komponente;

dim – OCEAN modeļa dimensija.

Šīs metodes 1. daļas realizācijai no psiholoģijas pētījumiem nepieciešama šāda informācija: (1) vispārējās tendences definēšana, t.i., atkarībā no kuras personības dimensijas rēķināt parametrus (aprakstīti un definēti 2.4.4 nodaļā), un, otrkārt, datu kopa, kurā ir iegūtas cilvēku emociju intensitātes vērtības atkarībā no personības dimensiju vērtībām (izmantotas iepriekš pieminētās datu kopas pētījumos (Pease & Lewis, 2015; Verduyn & Brans, 2012)).

Psiholoģijas pētījumos, kas attiecināmi uz personības dimensiju ietekmi uz emociju intensitāti, norādīts, ka sakarība starp dimensiju (piemēram, N) vērtībām un to ietekmi uz emocijām ir lineāra (Rusting, 1998). Tas nozīmē, ka starp dim un imp jāmeklē lineāra sakarība, kuru tiek piedāvāts atrast, izejot no populācijas vidējām vērtībām un standartnovirzēm, to normalizējot skalā no 0 līdz 1.

Tipiski vienai un tai pašai emocijai būs vairākas imp funkcijas, jo, piemēram, ietekme uz emociju izjušanu un izpaušanu būs atkarīga no dažādām dimensijām dim (saskaņā ar 2.4.4 nodaļu). 4.2. tabulā, kur veikts visu funkciju apkopojums, ir redzams, ka viena funkcija ir tikai priekam, tā kā šeit gan tā izjušana, gan izpaušana saistāma ar E dimensijas vērtību. Piemēram, skumjām, aktivizācijas, norimšanas un uzņēmības funkcijas tiešām ietekmē N dimensija, bet ekspresijas funkciju vairāk ietekmē E dimensija (t.i., saskaņā ar Pīsa un Lūisa pētījumu ir augstāka korelācija (Pease & Lewis, 2015)). Savukārt dūsmām literatūrā identificējamās vairākas komponentes, no kurām katra ir atkarīga no N . Rezultātā šīs iegūtās korelācijas tiks ņemtas vērā attiecīgo parametru aprēķinam, kā norādīts 4.2. tabulā.

Lai demonstrētu, kā darbojas metode, tālāk detalizēta $imp(dim)$ izskaitlošana dūsmām. 2.4.4. nodaļā ir definēts, ka dūsmas ir atkarīgas no N , A un C dimensijām. Taču jāņem vērā, ka promocijas darbā funkcijas skaitļotas, balstoties uz emociju fizioloģiskajiem parametriem, un Pīsa un Lūisa pētījumā definēts, ka dūsmu fizioloģisko izraisīšanos ietekmē tieši N dimensija (Pease & Lewis, 2015). Arī skatoties uz to, kādi ir personības dimensiju raksturojumi, var secināt, ka C un A dimensijas vairāk saistītas ar dūsmām kognitīvajā, nevis fizioloģiskajā līmenī, turklāt arī korelācija ir augstāka N dimensijai. Arī norimšanas funkcija, dūsmu uzņēmības sliekšnis un ekspresijas funkcija ir tieši atkarīgi no N dimensijas. Dūsmām un N attieksme ir pozitīva: augot N , aug arī imp uz dūsmām.

Ir būtiski pieminēt, ka dūsmas ir īpašs gadījums, tā kā par dūsmām psiholoģijā ir veltīts nozīmīgs daudzums pētījumu to lielās ietekmes uz cilvēku domāšanu un savstarpējām attiecībām dēļ. Šī iemesla dēļ ir iespējams definēt N ietekmi uz dažādām to komponentēm, kas nav iespējams citām emocijām. Tādēļ dūsmas ir vienīgā emocija, kurai ir divas dažādas ietekmes funkcijas, kas atkarīgas no tās pašas dimensijas N , tomēr tas konceptuāli nemaina metodes darbību.

Viens no praksē bieži izmantotiem rīkiem dusmu noteikšanai un mērīšanai ir STAXI (no angļu val. *State-Trait Anger Expression Inventory*) skala, kas ļauj skaitliski novērtēt dažādas dusmu iezīmes, t.i., dusmas netiek skatītas kā vienots vienums, bet gan sadalītas sastāvdaļās. Tā kā dusmas ir salikta emocija, kas veidojas gan no kognitīvajām, gan fizioloģiskajām iezīmēm, tad ne visi STAXI parametri ir izmantojami (piemēram, vēlme izpaust dusmas verbāli) (Spielberger et al., 1995). Tādēļ ietekme *imp* dusmām tiek aprēķināta, balstoties uz divām specifiskām STAXI sastāvdaļām, kas visvairāk ietekmē dusmu aktivizāciju un izpaušanu, kuras abas ir atkarīgas no N :

- dusmu ārējā izpausme *AX-O* ir attiecināma uz ekspresijas funkciju un ietekme uz šo dusmu komponenti apzīmēta kā $imp_{AX-O}(N)$;
- dusmu personības iezīme *Ang-T* norāda uz vispārēju tendenci tikt nokaitinātam, t.i., raksturo vispārīgo dusmu dinamiku un ietekme uz šo dusmu komponenti apzīmēta kā $imp_{Ang-TN}(N)$.

Pētījums (Pease & Lewis, 2015), kas analizē abus šos aspektus, ļauj modelēt dusmu attīstības dinamiku, pieņemot, ka argumenta (t.i. N) un ietekmes uz mērāmo parametru (*AX-O* vai *Ang-T*) vidējās vērtības, kā arī abas standartnovirzes vērtības ir lineāri atkarīgas viena no otras. Abi parametri (šajā gadījumā, N un *AX-O* vai *Ang-T*), kas ir doti absolūtās vērtībās, tiek normalizēti, pieņemot, ka testos maksimāli iegūstamā vērtība kļūst par vienu un minimālā – par 0, savukārt pārējās vērtības tiek aprēķinātas attiecībā pret to.

Balstoties uz normalizētajām vērtībām, tiek aprēķināti lineārās funkcijas parametri, izveidojot lineāru vienādojumu sistēmu parametru aprēķinam, balstoties uz vidējo vērtību abām asīm un vienu no standartnovirzes vērtībām abām asīm, dusmu gadījumā datus ņemot no Pīsa un Lūisa pētījuma.

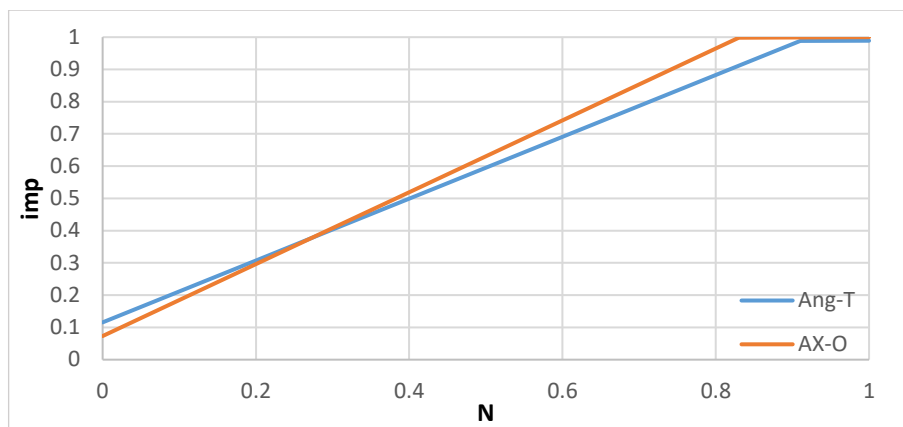
Rezultātā (formulās (4.15) un (4.16)) tiek izskaitļotas parametru *Ang-T* un *AX-O* atkarības no N (vizuāli parādītas 4.12. attēlā) kā $imp_{ANG_T}(N)$ un $imp_{AX-O}(N)$. Gadījumā, ja izskaitļotā vērtība ir zem 0 vai virs 1, par aktuālo tiek pieņemta robežvērtība, t.i., attiecīgi 0 vai 1.

$$imp_{ANG_T}(N) = 0,95926 * N + 0,11563, \quad (4.15.)$$

$$imp_{AX-O}(N) = 1,11485 * N + 0,07318, \quad (4.16.)$$

kur N – neirotisma vērtība no OCEAN modeļa.

Balstoties uz psiholoģijas pētījumos pieejamajām skaitliskajām sakarībām, kā arī nodaļā 2.4.4. definētajām tendencēm, promocijas darba ietvaros ir noteikti funkciju parametri piecām pamata emocijām, kā arī pozitīvajām, un negatīvajām emocijām (emocionālā stāvokļa aprēķināšanai primārajā līmenī).



4.12. attēls. Ietekmes atkarība no N dusmu komponentēm $Ang-T$ un $AX-O$.

4.2. tabula

Personības dimensiju un emociju intensitāšu saistība

Emocija vai emocionālais stāvoklis	Datu kopa	Personības dimensijas un emocijas saistības parametri	Tālākā izmantošana funkciju parametros šīm funkcijām
Dusmas	(Pease & Lewis, 2015)	$imp_{AngT}(N) = 0,95926*N + 0,11563$ $imp_{AX-O}(N) = 1,11485*N + 0,07318$	<i>act, dec, susc</i> <i>expr</i>
Skumjas	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{sadness}(N) = 0,921053*N + 0,24515$ $imp_{sadness}(E) = 0,979021*E + 0,063397$	<i>act, dec, susc</i> <i>expr</i>
Prieks	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{joy}(E) = 0,986*E + 0,07036$	Visām funkcijām
Bailes	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{fear}(N) = 0,947368*N + 0,161053$ $imp_{fear}(E) = 1,006993*E - 0,02589$	<i>act, dec, susc</i> <i>expr</i>
Pretīgums	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{disgust}(N) = 1,177632*N + 0,104483$ $imp_{disgust}(E) = 1,251748*E - 0,1279$	<i>act, dec, susc</i> <i>expr</i>
Pozitīvās emocijas (primārajam līmenim)	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{pos}(E) = 1,00699*E + 0,01839$	Visām funkcijām
Negatīvās emocijas (primārajam līmenim)	(Verduyn & Brans, 2012)	$imp_{neg}(N) = 1,04605*N + 0,15211$	Visām funkcijām

2. daļa – emociju skaitlošanas funkciju parametru aprēķins

Aktivizācijas un ekspresijas funkcijām, kas ir sigmoīdas, parametru aprēķina soļi ir līdzīgi, vienīgi tām var tikt izmantotas dažādas *imp* funkcijas vērtības, balstoties uz 4.2. tabulu. Vienkāršības labad šajā apakšnodaļā par x asi tiek saukta tā ass, uz kuras ekspresijas funkcijā atrodas I_{subj} , bet aktivizācijas funkcijā – I_{obj} , savukārt par y asi – tā, uz kuras ekspresijas funkcijā atrodas E_{subj} , bet aktivizācijas funkcijā – I_{subj} . Abu funkciju vispārīgās formulas ir parādītas formulās (4.7) un (4.11). Tāpat vienkāršības labad šajās formulās atrodami I_{obj0} un I_{subj0} šajā apakšnodaļā apzīmēti ar x_0 . Rezultātā ir gan aktivizācijas, gan ekspresijas funkcijai jānosaka parametri g , s un x_0 .

Aktivizācijas funkcijas parametri nosaka:

- maksimālo iespējamo emocijas līmeni aktivizācijas funkcijā;

- cik ātri kairinājums liek sasniegt maksimālo emociju aktivizācijas funkcijā ar līknes stāvuma palīdzību.

Līdzīgi ekspresijas funkcija nosaka:

- maksimālo iespējamo emocijas līmeni ekspresijas funkcijā;
- cik ātri un stipri emocija sāk izpausties ar funkcijas stāvuma palīdzību.

Ir svarīgi tas, ka ne visām parametru izmaiņām ir atrodami kvantificēti dati, lai arī ir definēta vispārējā sakarība. Šādos gadījumos promocijas darbā izmantota ranžēšanas pieeja, kas paredz, ka mainīgajiem (šajā gadījumā, funkcijas rezultātam), jāatšķiras relatīvi vienam pret otru (Parthasarathy et al., 2016), taču to absolūtā vērtība netiek definēta – šāda pieeja izmantota arī vēlāk uzņēmības sliksnim. Visi promocijas darbā esošie risinājumi, kur autorei nebija iespējams atrast datus, balstās uz augstāk minēto ranžēšanas pieeju, kas gan arī īpaši jāņem vērā, veicot uz modeli balstītus secinājumus. Piemēram, aprēķinot cilvēku pūļa emocionālo stāvokli, var veikt secinājumus par dažādiem pūļiem to salīdzinājumā, nevis absolūtās vērtībās, t.i., modelis labi izmantojams salīdzinošai analīzei.

Parametra g noteikšana. Šis parametrs reprezentē vērtību, kurai tuvojas aģenta emocionālais stāvoklis: ja uz x ass vērtība ir 1, tad uz y ass tiks sasniegta emocijas maksimālā vērtība g , kādu aģents spēj sasniegt, balstoties uz tā personības funkciju. Promocijas darbā dažādos lietojumos izmantotas divas aprēķina metodes: (1) g aprēķināts, balstoties uz attiecīgo *imp* vērtību, izmantojot lineāru funkciju, piemēram, formulā (4.17) redzamo: konstantes 0,3 un 0,7 izvēlētas pēc ranžēšanas pieejas; (2) ņemta attiecīgā *imp* vērtība bez papildus aprēķina (4.18). Abas metodes ir atzītas par semantikai atbilstošām (3. pielikums) un atbilst ranžēšanas pieejai.

$$g(\text{imp}_{emo}(\text{dim})) = 0,3 * \text{imp}_{emo}(\text{dim}) + 0,7 \quad (4.17.)$$

$$g(\text{imp}_{emo}(\text{dim})) = \text{imp}_{emo}(\text{dim}) \quad (4.18.)$$

Parametru x_0 un s noteikšana.

Ir svarīgi, ka šie parametri ir jānosaka reizē, tā kā to kombinācija nosaka sigmoīdas īpašības. Parametri līdzīgi tiek aprēķināti *act* un *expr* funkcijām, *act* funkcijas gadījumā aizstājot iepriekš ieviestos vispārīgos y ar *act* un x ar I_{obj} , bet *expr* gadījumā: y ar *expr* un x ar I_{subj} . Sigmoīdas gadījumā tās definēšanai ir nepieciešami 3 punkti.

Jau no augstāk rakstītā ir saprotams, ka šos punktus var definēt dažādi, un semantiski tas būs pareizi – saskaņā ar darba autores zināšanām, nav pētījumu, kas ļautu noteikt un skaitliski precīzi formalizēt atšķirības starp dažādām personībām, līdz ar to, saskaņā ar pieejamajiem psiholoģijas pētījumiem, abi tālāk 4.13. attēlā esošie grafiki ir vienlīdz pareizi. Ierobežojumi, kuriem grafikiem jāatbilst, lai tie būtu korekti, ir šādi: (1) sigmoīdai jāatrodas definētajā vērtību diapazonā pa x asi, (2) kļūdai pa y asi jābūt mazākai par noteikto (šajā gadījumā 0,001 – kļūdas noteikšana skaidrota iepriekš) un (3) jāatšķiras funkcijas lēzenumam. Līdz ar to šis jautājums lielā mērā saistīts ar modeļa semantisko kalibrēšanu, kas ir neatrisināts jautājums un paliek starpdisciplinārs nākotnes pētījums, kas ir ārpus promocijas darba robežām.

Lai analītiski izteiktu funkcijas, izmantoti 3 punkti:

- $(1, y_{max})$: ja vērtība uz x ass ir 1, tad vērtība uz y ass vienmēr tuvosies maksimāli pieejamajai vērtībai pa y asi, kas atbilst augšējai funkcijas robežai. Tā kā sigmoīda tuvojas augšējai robežai, bet nekad to nesasniedz, tad y ass vērtība nevar būt 1; līdz ar to y_{max} vērtība tuvojas g parametra vērtībai, kas aprēķināma pēc formulām (4.17) vai (4.18);
- $(0, 0,001)$: ja vērtība uz x ass ir 0, tad vērtība uz y ass būs 0,001 – darbā pieņemtajai kļūdas vērtībai. Tā kā sigmoīda tuvojas apakšējai robežai, bet nekad to nesasniedz, tad y ass vērtība nevar būt 0;
- $(0,5, y_{mid})$: trešais punkts tiek definēts x ass viduspunktā, pie vērtības 0,5. Šim punktam ir būtiski, lai y_{mid} vērtība atšķirtos dažādām personībām, tāpēc arī šī punkta aprēķinam var tikt izmantota personības ietekme vai nu tieši, vai arī izmantojot personības ietekmi lineārā funkcijā.

Ir izveidota trīs vienādojumu sistēma un analītiski izteikti parametri s un x_0 (formula (4.19)). Funkcijas augšējai robežai g var būt dažādas vērtības. Izsakot mainīgos, iegūst formulas (4.20) un (4.21), novienkāršojot (4.21). formulu iegūst (4.22) formulu.

$$\begin{cases} \frac{g}{1+e^{-\frac{0-x_0}{s}}} = 0,001 \\ \frac{g}{1+e^{-\frac{1-x_0}{s}}} = y_{max}, \\ \frac{g}{1+e^{-\frac{0,5-x_0}{s}}} = y_{mid} \end{cases} \quad (4.19.)$$

$$s \approx -\frac{0,5}{\ln\left(\frac{0,001}{y_{max}-0,001}\right) - \ln\left(\frac{y_{mid}}{y_{max}-y_{mid}}\right)}, \quad (4.20.)$$

$$x_0 \approx -\frac{0,5 \ln\left(\frac{0,001}{y_{max}-0,001}\right)}{\ln\left(\frac{0,001}{y_{max}-0,001}\right) - \ln\left(\frac{y_{mid}}{y_{max}-y_{mid}}\right)}, \quad (4.21.)$$

$$x_0 \approx s \left(\frac{0,001}{y_{max}-0,001} \right), \quad (4.22.)$$

kur y_{max} – maksimālā y vērtība;

y_{mid} – viduspunkta y vērtība;

x_0, s – izsakāmie parametri.

Turpmāk šī metode saukta par pilno metodi. Taču aprēķins pēc iegūtajām formulām naturālā logaritma dēļ var patērēt daudz skaitļošanas resursu. Alternatīva, rēķinot parametru vērtības, ir pieņemt, ka y_{max} un y_{mid} ir konstantes. Promocijas darba lietojumos izmantota gan pilnā, gan vienkāršotā metode. y_{max} un y_{mid} kā konstanšu pieņemšana rada problēmu, ka funkcijas nemainās semantiski korekti, t.i., nemainās lēzenums. Tādēļ 2. solis ir parametra s skaitītājā konstantes vietā definēt lineāru sakarību ar *imp* funkcijas izskaitļotajām vērtībām. Šāda pieeja ļauj vienkāršot un paātrināt aprēķinus, jo faktiski logaritmi kļūst par konstantēm; rezultātā iegūtas formulas (4.23) un (4.24). Faktiski visa skaitītājā esošā izteiksme norāda to, pie kuras x ass vērtības tiks sasniegta maksimālā iespējamā y vērtība. Eksperimentālā ceļā

konstatēts, ka pietiekama variācija tiek iegūta, ja $0,5 < (a + b * imp_{emo}(dim)) \leq 1$. 4.12. attēlā ir redzams salīdzinājums ar pilno un vienkāršoto metodi iegūtiem *act* funkcijas grafikiem, kur redzams, ka pie dažādām N vērtībām abos (a) un (b) gadījumos emociju intensitāte mainās semantiski pareizi. Ievietojot *act* un *expr* funkcijās parametru formulas, iegūtas (4.25) un (4.26) formulas.

$$s = -\frac{a + b * imp_{emo}(dim)}{\ln 0,001 - \ln 999} \approx \frac{a + b * imp_{emo}(dim)}{13,8}, \quad (4.23.)$$

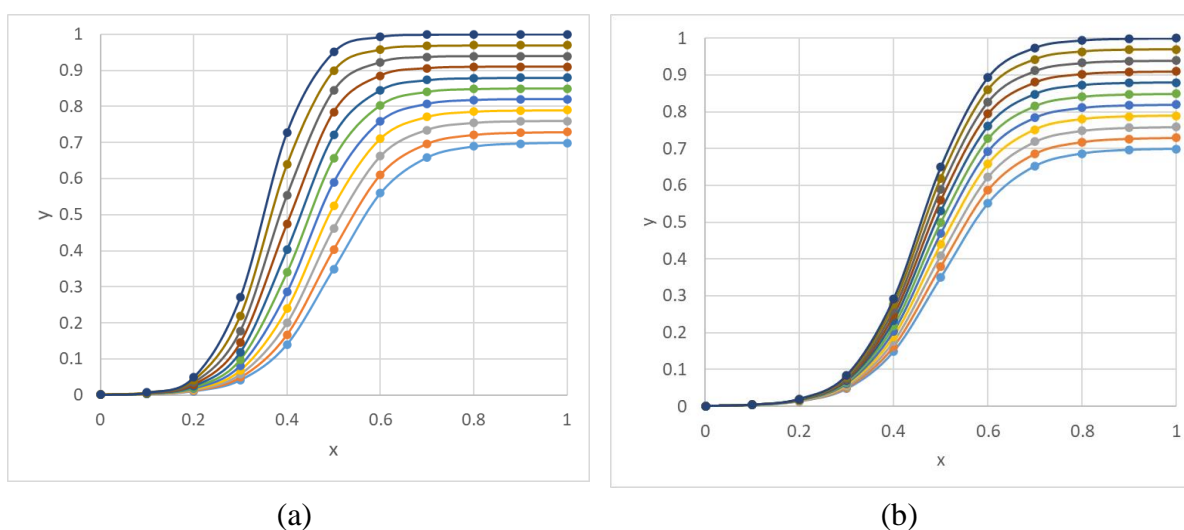
$$x_0 = s * \ln 999 \approx 6,9s, \quad (4.24.)$$

$$act(I_{obj}) = \frac{ymax(imp_{emo}(dim))}{1 + e^{\frac{6,9*(a+b*imp_{emo}(dim)-2*I_{obj})}{a+b*imp_{emo}(dim)}}}, \quad (4.25.)$$

$$expr(I_{subj}) = \frac{ymax(imp_{emo}(dim))}{1 + e^{\frac{6,9*(a+b*imp_{emo}(dim)-2*I_{subj})}{a+b*imp_{emo}(dim)}}}, \quad (4.26.)$$

kur *a* un *b* – koeficienti;

imp_{emo}(dim) – funkcija, kas apraksta personības ietekmi uz emociju.



4.13. attēls. Abos attēlos ar dažādām krāsām attēlotas dažādas dimensijas N vērtības $N = [0..1]$ ar soli 0,1 (gaiši zilā līkne apakšā – 0, tumši zilā augšā – 1), $imp_{emo}(N) = N$; (a) ar pilno metodi skaitļotas līknes, (b) līknes, kas izskaitļotas, izmantojot konstantes, *s* skaitītāja izteiksmes vērtība $[0,7..1]$.

Norimšanas funkcija tiek mainīta atkarībā no tā, cik ilgs ir norimšanas ilgums un ļauj aprēķināt emocionālo stāvokli vienā laika momentā. Vairākos avotos kā ticams emociju norimšanas ilgums tiek minētas nepilnas 30 sekundes, un šeit nav precīza skaitļa vai precīzas sakarības ar personības parametriem. No Kodispoti un kolēģu pētījuma var pieņemt, ka vidējais laiks emociju norimšanai ir nepilnas 30, tātad aptuveni 25 sekundes (Codispoti et al., 2009), un

darba autore ir izvēlējusies to ņemt kā vidējo vērtību, ar 10 sekunžu novirzi katrā pusē, tādējādi personības modelēšanai izmantota laika amplitūda, kurā var iekļauties emociju ilgums. Tādējādi, ar formulas (4.27) palīdzību tiek aprēķināts maksimālais emocijas norimšanas laiks t_{max} .

$$t_{max} = 15 + 20 * imp_{emo}(dim), \quad (4.27.)$$

kur t_{max} - emociju norimšanas laiks,

$imp_{emo}(dim)$ – attiecīgās personības dimensijas ietekme konkrētajai emocijai.

Norimšanas funkcija vispārīgā gadījumā parādīta formulā (4.28). Pakāpes koeficients iegūts, t vietā ievietojot maksimālo norimšanas laiku – 35 sekundes, un pieņemot, ka šajā punktā emociju intensitātes vērtība būs 0,01. Šāda vērtība tika izvēlēta, balstoties uz praktiskajiem eksperimentiem – pie 0,001 vērtības, kas kā kļūdas vērtība izvēlēta *act* un *exp* funkcijās, *dec* funkcijas grafiks kļūst stāvāks, un atšķirība starp līknēm – mazāk izteikta. Tā kā literatūrā nav precīzas proporcijas, tad pēc ranžēšanas pieejas abi varianti ir semantiski pieņemami.

$$dec(t) = e^{\frac{\ln(0,01)*t}{t_{max}}} \approx e^{\frac{-4.6*t}{t_{max}}}, \quad (4.28.)$$

kur t_{max} - emociju norimšanas laiks.

Uzņēmības sliekšnis tiek mainīts atkarībā no *imp* funkcijas vērtības. Tā kā literatūrā nav atrodamas konkrētas sakarības vai kvantitatīvi lielumi, atkal izmantota ranžēšanas pieeja. Uzņēmības sliekšnim kairinājums tiek normalizēts, balstoties uz personību, kā sliekšņa amplitūdu izvēloties vērtības no 0,05 līdz 0,2. Lai iegūtu sliekšņa formulu, tika izveidota lineāra vienādojumu sistēma (formula (4.29)), kur tika pieņemts, ka tad, ja *imp* vērtība = 1, aģentam ir minimālā sliekšņa vērtība, savukārt, ja *imp* vērtība = 0, sliekšņa vērtība ir maksimālā. No vienādojumu sistēmas izsakot koeficientus $q1$ un $q2$ un tos ievietojot lineārajā sakarībā, iegūta sliekšņa tr formula (4.30).

$$\begin{cases} 0,05 = q1 * imp_{emo}(1) + q2 \\ 0,2 = q1 * imp_{emo}(0) + q2 \end{cases} \quad (4.29.)$$

$$tr = -\frac{imp_{emo}(dim) * 3}{20(imp_{emo}(1) - imp_{emo}(0))} + \frac{4imp_{emo}(1) - imp_{emo}(0)}{20(imp_{emo}(1) - imp_{emo}(0))} \quad (4.30.)$$

kur $q1$ un $q2$ – koeficienti;

tr – sliekšņa augstums emociju uzņēmībai.

Lai ilustrētu iepriekš aprakstītās funkcijas, tālāk aprakstīts visu četru funkciju aprēķins dusmu gadījumā.

Ietekmes *imp* atkarība no N dusmu komponentei *Ang-T*, tas ir, $imp_{Ang-T}(N)$ funkcija tiek izmantota, lai modelētu aktivizācijas, norimšanas un uztņēmības funkcijas, savukārt ietekmes *imp* atkarība no N dusmu komponentei *AX-O* (funkcija $imp_{AX-O}(N)$) tiek izmantota, lai modelētu ekspresijas funkciju. Veicot parametru aprēķinus pēc promocijas darbā izstrādātās metodes, ir izveidotas rezultējošās formulas *act* funkcijai (formula (4.31)), *expr* funkcijai (formula (4.32)), *dec* funkcijai (formula (4.33)) un *susc* funkcijai (formula (4.34)).

$$act(I_{obj}, N) = \frac{0,7+0,3*(0,95926*N + 0,11563)}{1+e^{\frac{6,9*(1-0,3*(0,95926*N + 0,11563)-2*I_{obj})}{1-0,3*(0,95926*N + 0,11563)}}} \approx \frac{0,73+0,29*N}{1+e^{\frac{0,24-1,99*N-13,8*I_{obj}}{0,97-0,29*N}}}, \quad (4.31.)$$

$$expr(I_{subj}, N) = \frac{0,7+0,3*(1,11485*N + 0,07318)}{1+e^{\frac{6,9*(1-0,3*(1,11485*N + 0,07318)-2*I_{subj})}{1-0,3*(1,11485*N + 0,07318)}}} \approx \frac{0,72+0,33*N}{1+e^{\frac{0,15-2,31*N-13,8*I_{subj}}{0,98-0,33*N}}}, \quad (4.32.)$$

$$dec(t, N) = e^{\frac{-4,6*t}{15+20*(0,95926*N + 0,11563)}} \approx e^{\frac{-4,6*t}{17,31+19,19*N}}, \quad (4.33.)$$

$$susc(I_{subj}) = \begin{cases} 1, ja (I_{subj} \geq -\frac{(0,95926*N + 0,11563)*3}{20*(1-0,11563)} + -\frac{4+0,11563}{20*(1-4+0,11563)}, \\ 0, ja (I_{subj} < -\frac{2,88*N+0,35}{17,69} + 0,07 \end{cases}, \quad (4.34.)$$

kur N – neirotisms no OCEAN modeļa;

I_{obj} ir objektīvais kairinājums jeb objektīvā intensitāte;

I_{subj} ir subjektīvā intensitāte;

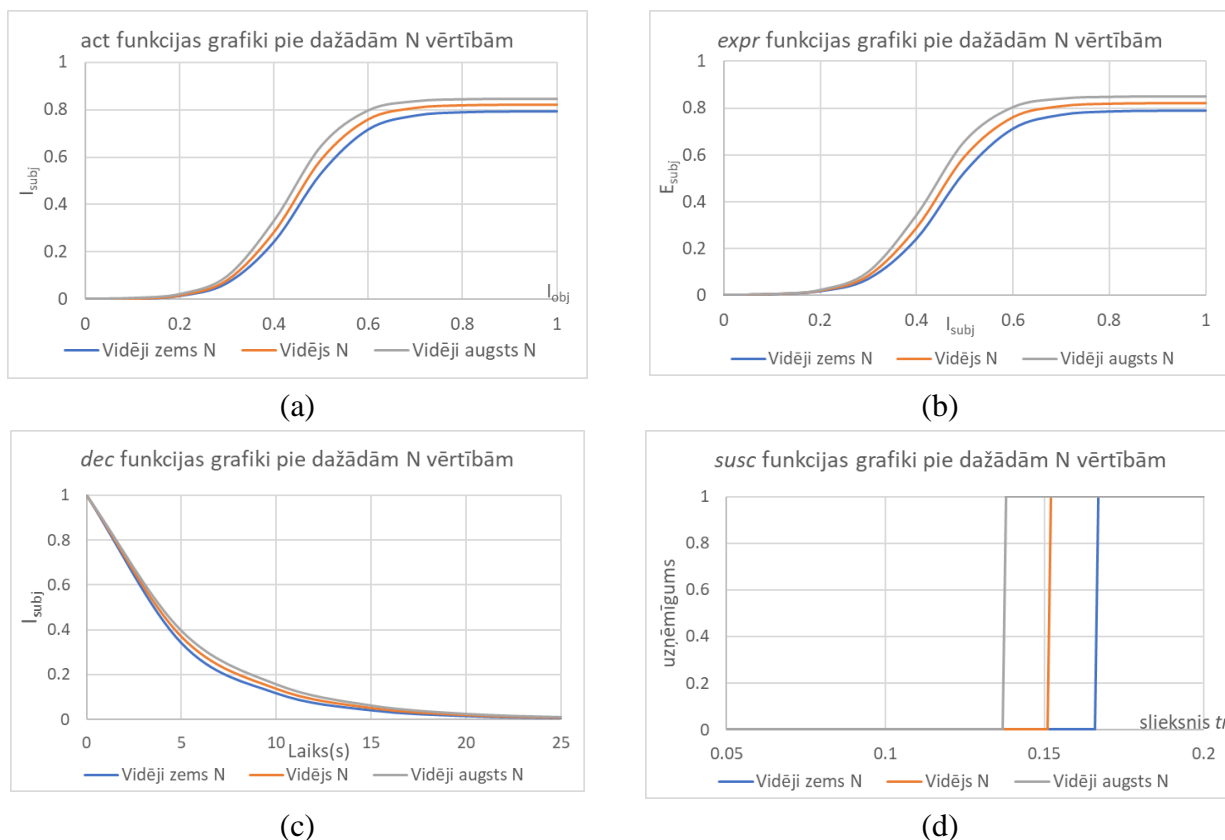
t – laiks.

4.14. attēlā parādīti funkcijām atbilstošie grafiki pie vidējās personības dimensijas N vērtības ($N = 0,297143$) un pie standartnovirzēm ($N = 0,387143$ un $N = 0,207143$).

4.3.3. Vairāku emociju līmeņu integrēšana

Viena no prasībām emocijās sakņotam aģentam ir vairāku emociju līmeņu, t.i., personības, noskaņojuma un emociju, integrēšana. Darba 2. nodaļā secināts, ka vispiemērotākā metode ir PAD telpā saknota emociju integrēšana, tā kā šī metode:

- ļauj attēlot visas emocijas trīs dimensiju telpā, nemēģinot skaidri semantiski definēt stāvokļus starp divām emocijām;
- ļauj modelēt personību kā pamata stāvokli, uz kuru laikā konverģē jebkurš emocionālais stāvoklis;
- ļauj modelēt dažādas emociju intensitātes un pārejas starp emocijām;
- apraksta emocijas matemātiski;
- pēc tam bez papildus mehānismiem ļauj integrēt dažādu darbības profilu izvēli.



4.14. attēls. Dusmu skaitļošanas funkciju atkarība no personības, visos attēlā esošajos grafikos “Vidējs N” ir $N=0,297143$; “Vidēji augsts N” ir $N = 0,387143$ un “Vidēji zems N” ir $N = 0,207143$.

Promocijas darbā izvēlēta pieeja ir līdzīga ALMA aģentā izmantotajai pieejai (Gebhard, 2005), tomēr atšķiras ar to, ka emocijas tiek iekodētas vienā PAD telpas punktā, nevis glabātas visas emocijas, no kurām tiek izvilka vidējā vērtība, lai iegūtu pašreizējo punktu. No semantikas viedokļa šī atšķirība nav būtiska, taču tā nozīmīgi atvieglo funkciju aprēķinu un programmatūras ātrdarbību, tā kā promocijas darbā emociju skaitļošana balstās uz funkcijām, kas jāreķina katrā laika ciklā (piemēram, sekundē). Līdzīgi kā ALMA aģentā, arī promocijas darbā izmantotajā metodē, noskaņojums ietekmē emocijas un emocijas – noskaņojumu; no tā izriet vēl viena PAD telpas priekšrocība: visi emocionālo stāvokli raksturojošie parametri (personības un noskaņojuma, un emociju ietekme uz emocionālo stāvokli), kā arī to savstarpējās mijiedarbības ir aprakstāmas, izmantojot vienu koordināti trīs dimensiju telpā katrā laika momentā.

Statisko parametru definēšana

PAD telpā ir definēti divi statistiskie lielumi, kas nav atkarīgi no aģenta personības u.c. parametriem, un trešais lielums – personība, kas ir statistiska vienam aģentam, taču var mainīties no aģenta uz aģentu.

Maksimālās iespējamās konkrētu emociju vērtības definētas, balstoties uz Rasela un Merabiana pētījumu, kurā dažādām emocijām PAD telpā ir definēti punkti (Russell & Mehrabian, 1977). Šajā pētījumā ir atrodamas koordinātes vairāk nekā 151 emocijai, taču šeit izvēlētas tās emocijas, kas ir konkrētās pamatemocijas spilgtākais variants (piemēram, bailēm

izmantots apzīmējums *terrified* (no angļu val. pārbiedēts, šausmās), nevis *fearful* (no angļu val. nobijies)) (4.3. tabula). Šāda pieeja saskan arī ar Ekmana teoriju par to, ka katra emocija pieder kādai no pamatemociju “saimēm” (Ekman, 1992), t.i., katrai emocijai ir vairākas intensitātes pakāpes.

Konkrētu emociju punktus turpmāk apzīmē ar emo_{max} , savukārt to koordinātes atbilstoši ar $\langle P_{emo_{max}}, A_{emo_{max}}, D_{emo_{max}} \rangle$, kur *emo* ir konkrēta emocija.

4.3. tabula

Pamatemociju atrašanās koordinātes PAD telpā (Russell & Mehrabian, 1977)

Emocija	P	A	D
Prieks	0,81	0,51	0,46
Skumjas	-0,72	-0,29	-0,41
Dusmas	-0,44	0,72	0,32
Bailes	-0,62	0,82	-0,43
Pretīgums	-0,6	0,35	0,11

Maksimālās noskaņojuma vērtības definē, balstoties uz faktu, ka PAD telpā noskaņojumu matemātiski apraksta dažādi oktanti – t.i., PAD telpā ir 8 noskaņojumi. Lai arī šiem noskaņojumiem ir semantiskie nosaukumi (piemēram, 1. oktantā esošo noskaņojumu, ko raksturo augstas P, A un D vērtības, semantiski sauc par “pārbagātu, pārpilnu” (angļu val. *exuberant*) (Gebhard, 2005)), tomēr promocijas darbā šie noskaņojumu semantiskie skaidrojumi netiek izmantoti, tā kā tiem nav funkcionālas nozīmes.

Maksimālie noskaņojuma punkti turpmāk apzīmēti ar Mn , savukārt to koordinātes atbilstoši ar $\langle P_{Mn_{max}}, A_{Mn_{max}}, D_{Mn_{max}} \rangle$, kur *n* – oktanta numurs.

Personība sākotnēji tiek definēta OCEAN modeļa dimensijās kā aģenta statistiskais parametrs. Izmantojot formulu (2.1), tā tiek pārvērsta PAD pamata stāvoklī, kurš tiek uzskatīts par aģenta emocionālo bāzes stāvokli C_0 ; uz šo punktu laikā konverģē aģenta emocionālais stāvoklis. Tā koordinātes atbilstoši apzīmē ar $\langle P_{C_0}, A_{C_0}, D_{C_0} \rangle$.

Pamata stāvoklis tiek izrēķināts, izmantojot OCEAN modeli. Personība sākotnēji definēta OCEAN modelī divu praktisku apsvērumu dēļ: pirmkārt, par šo modeli ir veikts ievērojams skaits pētījumu, līdz ar to ir atrodami dati aģenta izstrādei, un, otrkārt, trūkst līdzekļu (piemēram, testu) personības (jeb bāzes punkta C_0) noteikšanai PAD modelī, kas vēlāk var apgrūtināt modeļa validāciju.

Noskaņojuma un emociju dinamika

Lai aprakstītu noskaņojumu un dinamiku, papildus tiek modelēts pašreizējais noskaņojums M_{curr} ar koordinātēm $\langle P_{M_{curr}}, A_{M_{curr}}, D_{M_{curr}} \rangle$, un pašreizējais emocionālais stāvoklis E_{curr} ar koordinātēm $\langle P_{E_{curr}}, A_{E_{curr}}, D_{E_{curr}} \rangle$.

Tā kā gan personība, gan pašreizējais noskaņojums un emocionālais stāvoklis tiek modelēti kā punkti trīs dimensiju telpā, visos dinamikas aprēķinos attālums starp jebkuriem 2 punktiem *n* un *m* PAD telpā tiek izskaitļots kā Eiklīda attālums pēc formulas (4.35), kas atbilst nogriežņa *nm* garumam.

$$d(N, M) = \sqrt{(P_N - P_M)^2 + (A_N - A_M)^2 + (D_N - D_M)^2}, \quad (4.35.)$$

kur P, A, D – PAD telpas asis

N, M – punkti.

Kopumā emocijas un noskaņojums mijiedarbojas, balstoties uz šādiem principiem:

- pašreizējā emocionālā stāvokļa E_{curr} dinamiku nosaka ar emociju skaitļošanas funkcijām, kas definētas iepriekšējā nodaļā;
- pašreizējais noskaņojums M_{curr} mainās atkarībā no ienākošajiem kairinājumiem un ar tiem saistītajām izmaiņām aģenta pašreizējā emocionālajā stāvoklī E_{curr} , tas ir, tad, kad ir ienācis jauns kairinājums;
- pašreizējo noskaņojumu M_{curr} nemaina pašreizējais emocionālais stāvoklis, kas pārrēķināts emociju norimšanas dēļ;
- pašreizējais emocionālais stāvoklis E_{curr} norimst bāzes emocionālā punkta C_0 virzienā;
- ja $C_0 = E_{curr}$, tas ir, pašreizējais emocionālais stāvoklis sakrīt ar pašreizējo noskaņojumu, M_{curr} norimst atpakaļ uz bāzes punktu C_0 .

Noskaņojums ir vidēja ilguma emocionālā stāvokļa parametrs. Noskaņojuma maiņas pamatā ir emocionālā stāvokļa tuvināšanās un attālināšanās no PAD modeļa oktantu ekstrēmjiem. Kā noskaņojuma maiņas laiks, balstoties uz promocijas darba 2. nodaļā veikto pētījumu, ir izvēlētas 20 minūtes no noskaņojuma ekstrēma līdz pamata stāvoklim. Tā kā literatūrā nav atrodamā noskaņojuma norimšanas funkcija, tiek pieņemta lineāra norimšanas funkcija.

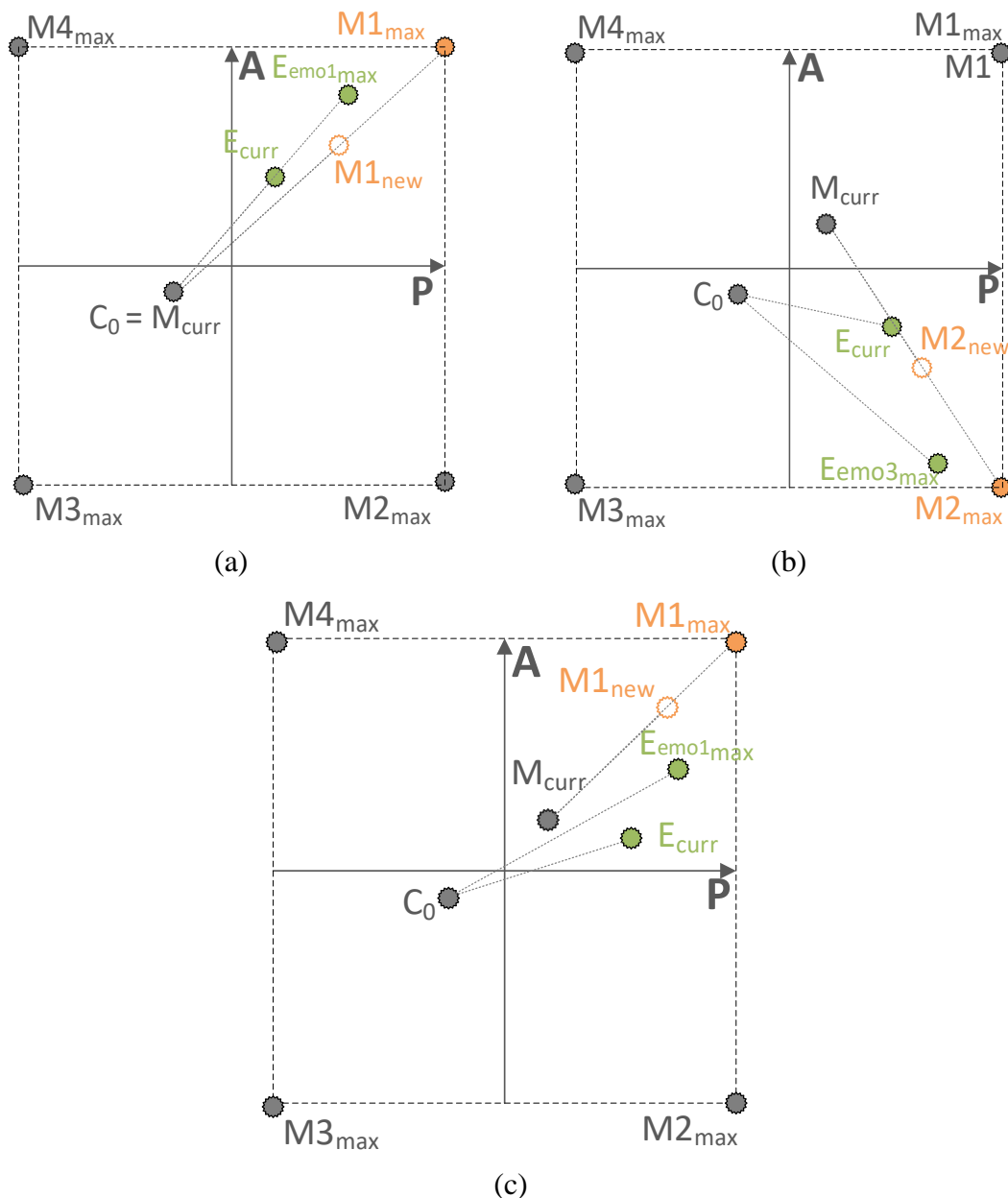
Noskaņojuma maiņa balstās uz šādiem principiem:

- noskaņojums M_{curr} mainās pie katra jauna kairinājuma atkarībā no emocijas subjektīvās vērtības I_{subj} – tas pieaug proporcionāli aģenta pašreizējā emocionālā stāvokļa intensitātei;
- ja aģenta pašreizējais emocionālais stāvoklis E_{curr} atrodas tajā pašā oktantā, kurā pašreizējais noskaņojums M_{curr} , noskaņojuma intensitāte aug vai nemainās. Šāda pieeja (1) stabilizē noskaņojumu gadījumā, ja aģents pēc kārtas jūt vairākas emocijas, kas atrodas vienā un tajā pašā oktantā, un tomēr (2) gadījumā ja aģents sāk just cita veida emocijas, sekmē lēnāku noskaņojuma maiņu;
- ja aģenta pašreizējais emocionālais stāvoklis E_{curr} ir citā oktantā, nekā tajā, kurā ir pašreizējais noskaņojums, jaunais noskaņojums M_{new} tiek pārrēķināts, balstoties uz maksimālo noskaņojuma vērtību jaunajā oktantā;
- noskaņojums sāk norimt tad, kad emocionālais stāvoklis E_{curr} ir vienāds ar punktu C_0 – un noskaņojums norimst lineāri uz C_0 punktu.

Noskaņojuma maiņa trīs dažādos gadījumos ilustrēta 4.15. attēlā, uzskatāmības labad izmantojot plakni, nevis 3D telpu. 3D telpas gadījumos ekstrēmi atradīsies oktantu, nevis kvadrantu maksimālajās vērtībās, taču izskaitļošanas process ir identisks plaknei, atšķiroties vien tajā, ka izmanto trīs, nevis divas koordinātes. 4.15. attēla (a) daļā ir redzamas noskaņojuma izmaiņas gadījumā, ja aģents ir pamata stāvoklī, (b) daļā – tad, ja aģenta jaunais un pašreizējais

emocijas punkts ir tajā pašā kvadrantā, un (c) daļā – tad, ja aģenta jaunais pašreizējais emocijas punkts ir citā kvadrantā.

4.15. attēlā ar C_0 apzīmē bāzes stāvokli jeb pamata noskaņojuma punktu, ar M_{curr} – pašreizējo noskaņojumu, ar $M1_{max}$, $M2_{max}$, $M3_{max}$ un $M4_{max}$ attēloti noskaņojumu maksimālie punkti, ar $M1_{new}$ un $M2_{new}$ – jaunie noskaņojuma punkti, ar $E1_{max}$, $E2_{max}$, $E3_{max}$ – emociju maksimālie punkti (šeit demonstrācijai izmantotas abstraktas emocijas – t.i., bez semantiskās nozīmes – realitātē šeit būs, piemēram, dusmu maksimālā vērtība), attiecīgi ar E_{curr} – jaunie emociju punkti.



4.15. attēls. Noskaņojuma aktivizācijas aprēķins dažādos gadījumos. $M\{1,2,3,4\}_{max}$ apzīmē noskaņojumu maksimālās vērtības. E_{curr} ir pārrēķinātais emocionālais stāvoklis, uz kura pamata pārrēķina noskaņojumu, $E\{1,2,3\}_{max}$ ir atbilstošo emociju maksimālā emocijas vērtība. Ar zaļu krāsu apzīmētas emociju izmaiņas, ar oranžu – noskaņojuma izmaiņas, ar pelēku apli – pašreizējā noskaņojuma un personības C_0 punkti, ar tukšu – aprēķināmā vērtība.

Jebkurā gadījumā noskaņojums tiek izskaitļots, balstoties uz šādiem soļiem:

1. *Tiek noteikts, kas ir laikā pēdējais emocijas tips un tā intensitāte.* Šis emocijas tips ir tas, kas ietekmē pašreizējo noskaņojumu. Intensitāti skalā [0..1] nosaka, izmantojot emociju skaitļošanas funkcijas, un tad izsakot kādu proporciju *prop* no attāluma starp bāzes punktu C_0 un maksimālo emocijas E_{max} punktu, veido attālums starp bāzes punktu C_0 un pašreizējo emocionālo stāvokli E_{curr} (formula (4.36)). Lai arī šeit būtu iespējams izmantot attālumu starp pašreizējo noskaņojumu un emocionālo stāvokli, tomēr noskaņojuma aprēķinam emocija netiek noteikta, balstoties uz iepriekšējo emocionālo stāvokli, bet gan pamata stāvokli ar mērķi stabilizēt noskaņojumu.

$$prop = \frac{|C_0 E_{curr}|}{|C_0 E_{emo_{max}}|} \quad (4.36.)$$

kur C_0 – pamata emocionālā stāvokļa punkts;

E_{curr} – pašreizējais emocionālā stāvokļa punkts;

$E_{emo_{max}}$ – maksimālās emocijas *emo* vērtības punkts.

2. Proporcija *prop* tiek izmantota, lai noteiktu nogriežņa $M_{curr}M_{new}$ garumu un jaunās koordinātes. Lai aprēķinātu $M_{curr}M_{new}$ garumu un jaunās koordinātes, ņem vērā divus faktorus: (1) proporcijas *prop* un $|M_{curr}M_{new}|/|M_{curr}M_{max}|$ ir vienādas; (2) nogriežņi $M_{curr}M_{new}$ un $M_{curr}M_{max}$ vienmēr būs paralēli. Tādējādi vektora $M_{curr}M_{new}$ garumu, kas semantiski atbilst noskaņojuma intensitātei, var aprēķināt, izmantojot formulu (4.37). Tālāk nepieciešams aprēķināt jaunā noskaņojuma punkta koordinātes PAD telpā jeb veikt integrāciju PAD telpā. Tā kā abi nogriežņi ir paralēli, arī to projekcijas būs proporcionālas uz katras no asīm. Tādējādi jaunās koordinātes ir aprēķināmas pēc formulas (4.38). Noskaņojuma aprēķinam tiek izmantots oktants, kurā ir jaunā emocija – 4.15. attēla (b) piemērā redzams, ka M_{curr} , iepriekšējais punkts ir bijis citā kvadrantā, taču pārrēķinam izmantota cita M_{max} vērtība. 4.15. attēla (a) un (c) piemēros pārrēķinātais emocionālais stāvoklis atrodas tajā pašā kvadrantā, tādēļ M_{max} nemainās.

$$|C_0 M_{new}| = prop * |C_0 M_{n_{max}}|, \quad (4.37.)$$

$$\begin{aligned} P_{Mn_{new}} &= P_{M_{curr}} + prop * (P_{Mn_{max}} - P_{M_{curr}}) \\ A_{Mn_{new}} &= A_{M_{curr}} + prop * (A_{Mn_{max}} - A_{M_{curr}}), \\ D_{Mn_{new}} &= D_{M_{curr}} + prop * (D_{Mn_{max}} - D_{M_{curr}}) \end{aligned} \quad (4.38.)$$

kur P, A, D – jaunā noskaņojuma koordinātes;

M_{curr} – pašreizējā noskaņojuma vērtība;

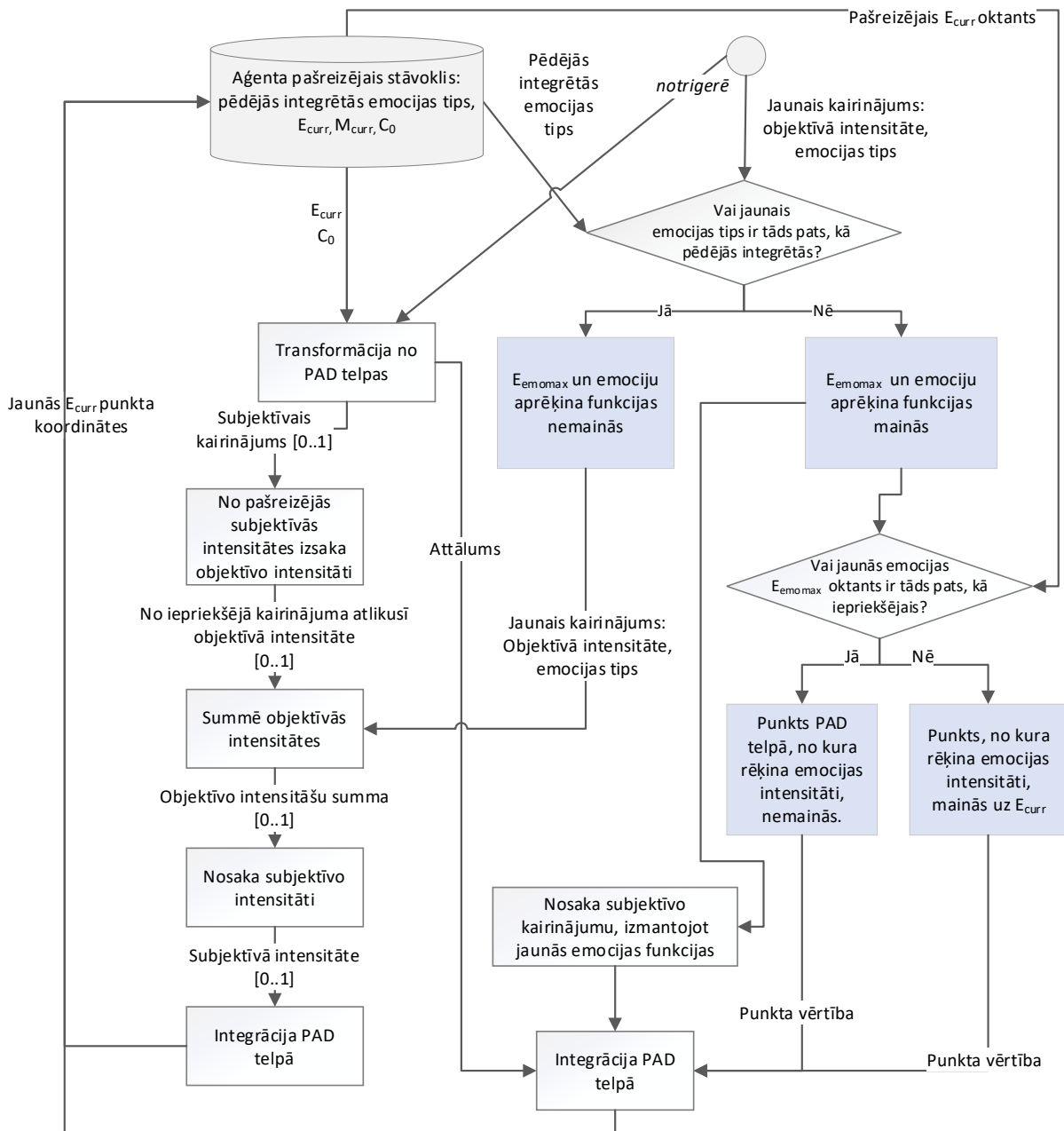
Mn_{max} – maksimālā noskaņojuma vērtība.

Emocijas un emocionālie stāvokļi (primārā arhitektūras līmeņa gadījumā) pirms integrācijas PAD telpā tiek aprēķināti pēc emociju dinamikas funkcijām *act* un *dec*, kas definētas iepriekšējā apakšnodaļā – šīs funkcijas ļauj definēt dažādu emociju intensitāti skalā

no 0 līdz 1 jebkurā laika momentā: ienākoša kairinājuma gadījumā izmantojot *act* funkciju, bez ienākoša kairinājuma – izmantojot *dec* funkciju.

Šīs absolūtās no *act* un *dec* funkcijām iegūtās vērtības tiek izmantotas kā proporcija *prop*, lai aprēķinātu pašreizējā emocionālā stāvokļa intensitāti PAD telpā no nogriežņa CoE_{max} garuma, analogiski kā formulā (4.37). Tālāk, līdzīgi kā formulā (4.38), tiek noteiktas jaunās emocionālā stāvokļa koordinātes.

Viens no netriviāliem jautājumiem, modelējot emocijas 3 dimensiju telpā, ir dažādu emociju tipu sapludināšana jeb integrēšana, kas shematiski attēlota 4.16. attēlā.



4.16. attēls. Dažādu emociju tipu integrēšana.

Ienākot jaunai emocijai, tiek noteikts, vai tā ir tā paša veida emocija, kā iepriekšējā.

Ja tā, tad notiek intensitāšu summēšana, un jaunā emocijas vērtība tiek aprēķināta, izmantojot 4.3.2. nodaļā aprakstīto metodi – sākumā no subjektīvās emocionālās I_{subj} intensitātes izsakot objektīvo intensitāti, summējot to ar jauno intensitāti I_{obj} , un aprēķinot jauno subjektīvo intensitāti, kura pēc tam sāk norimt. Vienīgā atšķirība ir tāda, ka pirms un pēc šiem aprēķiniem notiek intensitātes izteikšana no PAD telpas un jaunās intensitātes integrēšana PAD telpā, izmantojot formulu (4.36) izteikšanai no PAD telpas un (4.38) formulu integrācijai PAD telpā, abās formulās noskaņojuma pašreizējo un maksimālo punktu vietā attiecīgi ievietojot pašreizējos un maksimālos emociju punktus.

Savukārt, ja emocijas tips mainās, tad tiek pārrēķināti funkciju parametri, balstoties uz jauno emocijas tipu (kā definēts 4.3.2. nodaļā), kā arī nomainīta emocijas maksimālā vērtība PAD telpā. Ja jaunās emocijas maksimālā vērtība atrodas tajā pašā oktantā, kur punkts, no kura tiek rēķināta intensitāte PAD telpā (sākotnēji C_0), tad šis punkts nemainās, savukārt tad, ja oktants ir mainījies, punkts, no kura rēķina nākošo pašreizējo emociju punktu E_{new} , mainās uz pašreizējo emocijas punktu E_{curr} . Attiecīgi proporciju *prop* rēķina kā formulā (4.36), C_0 vietā izmantojot E_{curr} punktu un E_{curr} vietā – E_{new} punktu. Integrācija PAD telpā notiek pēc formulas (4.38), taču attiecīgi maksimālās noskaņojuma vērtības tiek aizvietotas ar maksimālajām emociju vērtībām un pašreizējās noskaņojuma vērtības – ar pašreizējām emociju vērtībām.

4.3.4. Kairinājuma novērtēšana

Visbeidzot, arī kairinājuma novērtēšana ar mērķi noteikt emocijas tipu un objektīvo intensitāti nav mazsvarīgs jautājums. Lai arī šī nav promocijas darba pamattēma, tomēr kairinājuma novērtēšana ir būtiska komponente aģenta tālākajai darbībai. Tā var tikt realizēta dažādos veidos un tās semantiskā nozīme var atšķirties, tomēr pēc būtības nepieciešams noteikt, pirmkārt, kāda veida emocija tiek izjusta (emociju tipa novērtēšana) un, otrkārt, konkrētās emocijas intensitāti (ar darbības mēra palīdzību).

Emocijas tipa noteikšana

Lai arī emocijas tipa noteikšanai var tikt izmantotas dažādas pieejas, tomēr literatūras analīzes rezultātā ir konstatēts, ka izmantotākā un formalizētākā pieeja ir OCC modelis (Steunebrink et al., 2009), kurš ļauj definēt, kāda tipa notikumu rezultātā rodas kādas emocijas. Modelis ir semantiski pamatots un validēts vairākos lietojumos. Definējot novērtējamās emocijas ir arī skaidri jāizšķir, kādos gadījumos aģents izjutīs kuras emocijas, lai mazinātu nenoteiktību – arī šo izdarīt palīdz OCC modelis;

OCC modelis ļauj specificēt 32 dažādus emocionālos stāvokļus, un iepriekš aprakstītās emociju dinamikas aprēķina un integrācijas funkcijas ļauj izmantot visus šos stāvokļus, taču darba ietvaros novērtēšanu izvēlēts veikt piecām pamatemocijām, kā arī pozitīvajiem un negatīvajiem stāvokļiem – psiholoģijas pētījumos tās ir vislabāk dokumentētās emocijas, kā rezultātā ir iespējams noteikt to atkarību no personības un citiem faktoriem.

OCC modelī ir trīs veidu kairinājumi:

- notikumi;
- citu aģentu darbības, kas vērstas uz vides objektiem;
- citu aģentu darbības, kas vērstas uz aģentu.

Šeit ir svarīgi piebilst, ka emocijās sakņota aģenta gadījumā *aģentu emocijas rodas arī emocijās sakņotu mijiedarbību rezultātā*, kas detalizēti apskatīti, projektējot aģentu mijiedarbības, tādējādi šī apakšnodaļa attiecas tikai uz aģenta vidē notiekošo, izslēdzot komunikāciju ar citiem aģentiem. 4.4. tabulā ir redzami vispārīgi likumi, pie kuriem izraisās dažāda veida emocijas dažādos līmeņos, saskaņā ar šo modeli. Jāpiebilst, ka emociju teorijas savā starpā nav saistāmas vienkārši, tādēļ ir izdarīts pieņēmums, ka skumjas atbilst žēlumam (angļu val. *pity*), savukārt apstiprinātās bailes (angļu val. *fear-confirmed*) – dusmām.

4.4. tabula

Nosacījumi, pie kādiem izraisās konkrētās emocijas

Līmenis	Nosacījums
Primārais līmenis	IF <i>notikums ir pozitīvs</i> THEN <i>pozitīva reakcija</i> IF <i>notikums ir negatīvs</i> THEN <i>negatīva reakcija</i>
Sekundārais līmenis	IF <i>ir iespēja uz negatīvām sekām</i> THEN <i>bailes</i> IF <i>ir iespēja uz negatīvām sekām un tā apstiprinās</i> THEN <i>dusmas</i> IF <i>ir jauns objekts un tas nav patīkams</i> THEN <i>pretīgums</i> IF <i>sekas ir pozitīvas</i> THEN <i>prieks</i>
Terciārais līmenis	IF <i>sekas ir negatīvas citam aģentam</i> THEN <i>skumjas</i> IF <i>sekas ir pozitīvas citam aģentam</i> THEN <i>prieks</i>

Emocijas objektīvās intensitātes noteikšana

Emocijas objektīvās intensitātes noteikšana ir cieši saistīta ar problēmsfēru, konkrēti aģenta veikuma mēru. Promocijas darba autore dažādos izstrādātos lietojumos semantiski ir izmantojusi dažādas pieejas, piemēram, uzdevuma sarežģītības un studenta zināšanu līmeņa starpību (Petroviča & Pudāne, 2016) vai absolūto iegūto punktu skaitu spēlē (Pudāne, 2017). Šie mēri tiek normalizēti skalā no 0 līdz 1 un kļūst par I_{obj} . Par veikuma mēru var izmantot gan diskrētas vērtības, gan arī konstruēt nepārtrauktu lietderības funkciju.

4.4. Racionālo funkciju modelēšana

Emocijās sakņota aģenta racionālo procesu modelēšana nav promocijas darba centrā, taču to savienošana ar emociju procesiem, ir būtiska emocijās sakņota aģenta izveidei.

Arī 4.1. nodaļā ir formulētas piecas emocijās sakņota aģenta prasības, kas saistītas tieši ar šo ietekmi. Gan no šīm prasībām, gan no literatūras izpētes kopumā secināts, ka emocionālajam stāvoklim ir jāiespaido trīs galvenie procesi: plānošana (8. prasība), darbību izvēle jeb uzvedība (6. un 7. prasība) un mācīšanās (9. prasība).

Vadlīnijas uzvedības definēšanai

Aģentam jārealizē divu līmeņu uzvedības ierobežošana: pirmkārt, tās uzvedības, kas ir pieejamas dažādos arhitektūras līmeņos un, otrkārt, tās uzvedības, kas ir pieejamas dažādos noskaņojumos.

Uz arhitektūras līmeņiem attiecas šādi vispārīgi aspekti, kas jāpielāgo problēmsfērai:

- Primārajā līmenī ir instinktīvas darbības, kas attiecas vai nu uz pamatemociju izrādīšanu, vai arī bēgšanu, slēpšanos utt., un kognitīva uzdevuma gadījumā šajā līmenī darbības var netikt izraisītas;
- Sekundārajā līmenī aģents izvēlas uz vidi orientētas darbības, tas ir, darbības, kas tieši saistītas ar stratēģiju;
- Terciārajā līmenī uz citiem aģentiem orientētas darbības, t.i., darbības, kas saistītas ar sociālo stratēģiju realizēšanu.

Uzvedības ierobežošanu atkarībā no noskaņojuma veic, balstoties uz PAD modeļa oktantiem. Katram oktantam tiek paredzēts savs uzvedības profils, kas definēts kā darbības, ko aģents katrā oktantā veic. Šāda pieeja nodrošina arī to, ka aģentam pamata emocionālā stāvokļa dēļ būs predispozīcija uz vienām vai citām darbībām, tajā skaitā tāda vai citāda veida komunikāciju (piemēram, manipulāciju (šī tēma sīkāk apskatīta 4.5.3. nodaļā)), kā arī dažādiem kognitīvajiem procesiem, piemēram, mācīšanos.

Darbību definēšana tieši atkarīga no problēmsfēras. Darba autore nav atradusi psiholoģiskos pētījumus, kas tieši ļautu pateikt, kāda tipa darbības būtu izmantojamas dažādos oktantos, tāpēc šobrīd tas paliek projektētāja ziņā specifiskajā projektējumā – piemērs konkrētā gadījumā meklējams 5. nodaļā.

Vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai

Ir divi procesi, kuriem ir būtiska saistība ar emocijās sakņotajiem procesiem: plānošana un mācīšanās. Promocijas darba autore šeit uzsver, ka šīs tēmas nav promocijas darba centrā, taču pilnībā ignorēt šos procesus nozīmētu ignorēt atsevišķas emocijās sakņota aģenta prasības. Šī iemesla dēļ vispārīgā projektējuma līmenī te aprakstītas tikai vispārīgas prasības, kam plānošanas un mācīšanās metodēm jāatbilst. Faktiski piedāvātā arhitektūra ļauj veikt gan plānošanu, gan arī uzvedības izvēli caur BDI komponentēm – atkarībā no esošajiem uzskatiem un plāniem, tādēļ var teikt, ka šie procesi ir paredzēti jau arhitektūras līmenī.

Plānošana

BDI arhitektūrā plānošana tiek veikta ar vēlmju un nodomu palīdzību. Vēlme (*Desire*) nosaka aģenta pašreizējo mērķi, savukārt nodoms nosaka nākošo veicamo darbību (*Intention*). Balstoties uz uzskatiem (*Beliefs*), aģents sastāda darbību plānu, kuru izmanto, lai sasniegtu vēlmes. Katrā iterācijā aģents salīdzina plānu ar vēlmēm, ja vēlme ir mainījies, tas nomaina arī plānu.

Iepriekš definētie algoritmi paredz, ka nolūku izvēli ietekmē emocijas – šajā gadījumā emocionālais stāvoklis tiek iekļauts kā papildus faktors līdzās vēlmei, kas ietekmē aģenta nodomu izvēli; emocionālais stāvoklis tiek iekļauts kā viens no oktantiem. Gadījumā, ja aģenta darbības ir neatkarīgas un aģents neplāno tālāk kā vienu soli uz priekšu, aģenta plānošana faktiski atbilst vienas uzvedības izvēlei, kā aprakstīts iepriekš.

Mācīšanās

BDI arhitektūrā aģents mācās, iekļaujot savā uzskatu bāzē jaunus uzskatus. Lai arī mācīšanās ir uzskatāma par atsevišķu moduli, kur vajadzības gadījumā iespējams iekļaut dažādus mašīnmācīšanās modeļus un algoritmus, raugoties uz mašīnmācīšanos šaurākā nozīmē, ir iespējams izmantot šo BDI arhitektūrā iekļauto mehānismu.

Tā kā aģenta sekundārais un terciārais slānis ir konstruēti kā BDI arhitektūra, tad mācīšanās un atmiņas funkcijas ir šajos līmeņos. Šeit ir iespējams modificēt to, kā un cik bieži veidojas aģenta zināšanas, mācīšanos iekļaujot kā vienu no iespējamām darbībām. Šādā gadījumā apmācības biežumu regulē uzvedības izvēle, un faktiski tā ir uzskatāma par vienu no uzvedībām.

Lai arī šī temata padziļināta izpēte sniegtu būtisku ieguldījumu tādu pētījumu objektu kā intelektuālas mācību sistēmas attīstībā, tomēr emociju ietekme uz mācīšanās procesiem ir ārpus promocijas darba pētījuma robežām. Viens no Latvijā veiktiem pētījumiem, kas detalizētāk apskata šo ietekmi intelektuālu mācību sistēmu kontekstā, ir Petrovičas veiktais pētījums "Pedagoģiskā moduļa realizācija emocionāli intelektuālā mācību sistēmā" (Petroviča, 2019).

4.5. Emociju nodošana starp aģentiem

Pēdējā vispārīgā projektējuma daļa ir saistīta ar to, kādā veidā aģenti komunicē. Jau minēts, ka tas skar gan vienu aģentu un projektējumu viena aģenta iekšienē, gan arī aģentu savstarpējo komunikāciju. Trešajā nodaļā secināts, ka atsevišķiem mehānismiem, t.i., emociju tiešajai nodošanai un manipulācijai nepieciešams protokols.

Ir svarīgi tas, ka šeit apskatīts, kā aģents reaģē uz cita aģenta emocionālajiem ziņojumiem, vai arī nosūta emocionālus ziņojumus (neatkarīgi no tā, vai tie cēlušies emocionālu, vai racionālu iemeslu dēļ). Aģentu racionālā komunikācija (atkarībā no lietojuma jomas – spēles gājieni, koordinātes utt.) šajā nodaļā nav apskatīta, tiek pieņemts, ka to projektē, balstoties uz izvēlēto lietojuma jomu. Citu aģentu racionālos ziņojumus aģents izskata kā ienākošos kairinājumus, un tas, vai un kādas emocijas radīsies atkarībā no šiem ziņojumiem, atkarīgs no novērtējuma funkcijām (skatīt 4.3.4. nodaļu).

4.5.1. Emociju nodošanas mehānismu klasifikācija

Emociju izplatībai starp aģentiem 3. nodaļā ir definēti vairāki veidi: primitīvā izplatība, sekundārā izplatība sekundārajā un terciārajā līmenī, izplatības šabloni, tiešā nodošana un manipulācija. Lai šos mehānismus būtu iespējams ieviest DAS, nepieciešama to formalizācija. Šeit izmantots arī princips, kura nepieciešamība secināta 3. nodaļas rezultātā: mehānismi faktiski netiek implementēti kā vispārīgi protokoli, bet gan meklētas primitīvu kombinācijas, kas šos mehānismus realizē, piemēram, diviem aģentiem novērtējot vienādu situāciju, var rasties atšķirīgas emocijas, kas realizē emociju šablonus.

Tā kā pat viens un tas pats mehānisms un tā interpretācija atšķiras sūtītāja un saņēmēja pusē, tad izvirzīti četri mehānismus raksturojoši parametri, pēc kuriem, balstoties uz 3. nodaļas rezultātiem, mehānismi aprakstīti 4.5. tabulā:

- komunikācijas raksturs sūtītāja pusē, kas nozīmē, vai emociju nodošana ar šo mehānismu ir tīša vai netīša;
- komunikācijas raksturs saņēmēja pusē, kas nozīmē, vai emociju saņemšana ir tīša vai netīša;
- emocija sūtītāja pusē, ar ko apzīmē, vai aģents konkrēto emociju izjūt, vai ne;

- emocija saņēmēja pusē, kur definē, vai aģents izjūt to pašu emociju, ko sūtītājs, vai ne.

No 4.5. tabulas izriet, ka primitīvā un sekundārā izplatība, kā arī emociju nodošanas šabloni no sūtītāja viedokļa neatšķiras, jo to, kāda emocija tā ir, nosaka tas, kā saņēmējs interpretē emocijas; līdz ar to nav būtiski – saņemamā emocija ir īsta vai manipulēta. Tiešās izpaušanas un manipulācijas gadījumā gan izpaužamā emocija ir tīša. Lai arī atsevišķas teorijas, piemēram, EASI teorija, neizšķir starp manipulāciju vai patiesām emocijas izpaušmēm, jo koncentrējas tieši uz emociju sekām saņēmējā, ir būtiski izšķirt arī šos divus mehānismus, jo pēc būtības tas ietekmē komunikāciju un mehānismi ir atšķirīgi sūtītāja pusē.

Jau minēts, ka interpretācija galvenokārt ir saņēmēja ziņā. Tādēļ šeit var izdalīt mehānismus, kas emocijas ierosina netīši jeb automātiski, un tādus, kur emocija tiek izraisīta caur stratēģijas jeb sociālo analīzi.

Visbeidzot, mehānismi atšķiras atkarībā no tā, vai sūtītāja pusē konkrētā emocija tiek vai netiek izjusta, un kāda emocija nonāk pie saņēmēja. Balstoties uz šiem kritērijiem, mehānismi ir tālāk saskaņoti ar iepriekš izstrādāto arhitektūru tālākajās apakšnodaļās.

4.5. tabula

Mehānismu raksturojumi

Mehānisms	Komunikācijas raksturs nosūtītāja pusē	Komunikācijas raksturs saņēmēja pusē	Emocija sūtītāja pusē	Emocija saņēmēja pusē
Primitīvā izplatība	Nav nozīmes, var būt gan tīša, gan netīša	Netīša	Tiek izjusta	Neatšķiras no sūtītāja emocijas
Sekundārā izplatība	Nav nozīmes, var būt gan tīša, gan netīša	Tīša, jo aģents izvēlas vai nu izmantot perspektīvas ieņemšanu (stratēģiski novērtēt otra stāvokli), vai sociālo attiecību, vai statusa novērtēšanu	Tiek izjusta	Neatšķiras no sūtītāja emocijas
Emociju nodošanas šabloni	Nav nozīmes, var būt gan tīša, gan netīša	Tīša, jo emocijas rodas caur stratēģisko vai attiecību novērtēšanu	Tiek izjusta	Atšķiras no sūtītāja emocijas
Izpaušana	Tīša	Tīša	Tiek izjusta	Nav nozīmes, var gan atšķirties, gan neatšķirties
Manipulācija	Tīša	Tīša, gadījumā, ja manipulētā izpaušme ir verbāla, netīša, ja tā ir emocionālā manipulācija	Netiek izjusta	Nav nozīmes, var gan atšķirties, gan neatšķirties

4.5.2. Mijiedarbības mehānismu saistība ar mikrolīmeni no saņēmēja viedokļa

No saņēmēja viedokļa tiek izšķirti vairāki mehānismi tādēļ, ka tieši no saņēmēja ir atkarīga ziņojumu interpretācija. Atšķirībā no sūtītāja, saņēmējs neizšķir manipulāciju un tiešo nodošanu, tā kā promocijas darbā pieņemts, ka aģents nespēj atšķirt manipulētu un patiesu izteiksmi. Visi mehānismi apkopoti 4.6. tabulā.

No saņēmēja viedokļa, tad, kad ienāk emocionāls ziņojums, aģents caur uzņēmības funkciju uz to reaģē, ja emocija pārsniedz sliekšni. Šī reakcija var notikt primārajā līmenī, ja emocija nav zināma, vai arī sekundārajā, ja emocija ir zināma.

Emocijas noteikšana un emocijas izraisīšanās notiek sekundārajā līmenī un terciārajā līmenī divos veidos, kas nodrošina emociju šablonu un sekundārās emocionālās izplatības mehānismus:

- aģents var analizēt cita aģenta situāciju no šī aģenta perspektīvas un iegūst atbilstošu emociju saskaņā ar OCC modeli (aprakstīts 4.3.4 nodaļā) (t.i. emocija mainās novērtēšanas funkcijas rezultātā;
- aģents analizē statusu un sociālās attiecības, un var iegūt pretējās emocijas, ja aģentu sociālās attiecības ir sliktas, vai arī pastiprināt emocijas, ja attiecības ir labas un statuss – augsts.

Respektīvi, emociju šabloni un sekundārā izplatība rodas, izmantojot to pašu mehānismu, taču ir atkarīga no citiem parametriem.

4.6. tabula

Emociju mehānismi no saņēmēja viedokļa

Mehānisms	Saņēmēja līmenis	Iegūtais ziņojuma parametrs	Aģenta ievade
Primitīvā izplatība	Primārais	I_{obj}	Uzņēmības funkcija
Sekundārā izplatība	Sekundārais	- (notikums vidē)	Novērtējuma funkcijas
	Terciārais	I_{obj}	Uzņēmības funkcija → Sociālo pārliecību iedarbināšana
Šabloni	Sekundārais/ terciārais	I_{obj}	
Tiešā izpaušana /Manipulācija	Sekundārais	Ziņojums ontoloģija +	Pārliecību iedarbināšana
	Terciārais	Ziņojums ontoloģija +	Sociālo pārliecību iedarbināšana

Ja pasaulē esošais stāvoklis aģentam ir labvēlīgs, tad citam aģentam, novērtējot situāciju no aģenta perspektīvas, arī radīsies pozitīvas emocijas (pieņemot, ka starp šiem aģentiem ir pozitīva sociālā saite). Šādā veidā sekundārā izplatība realizējas caur pasaules novērtēšanu. Līdzīgā veidā pie negatīvas emocionālās saites, aģents var izjust cita veida emociju, realizējot šablonus. Savukārt emociju rašanās no citu emocijām, uz ko promocijas darbā ir uzsvars, nav tieši saistīta ar vides faktoriem. Tādēļ to aģenta emociju, kuru cēlonis ir citu aģentu emocijas, apstrāde notiek, izmantojot sociālās attiecības un statusu kā parametrus, izraisot vai nu tā paša tipa emocijas, vai arī pretējās emocijas. Tādējādi, reakcijas uz citu aģentu izraisītām emocijām jebkurā laikā var aprakstīt ar formulu (4.39).

$$I_{subj} = \mathfrak{R} \times \mathcal{E} \times Soc \times Sta, \text{ kur } Soc, Sta \subset SocB, \quad (4.39.)$$

kur \mathfrak{R} – racionālais stāvoklis,
 \mathcal{E} – emocionālais stāvoklis,
 Soc – sociālo attiecību vērtība,
 Sta – statusa vērtība,
 $SocB$ – sociālie uzskati.

Visbeidzot, tiešā emociju izpaušana un manipulācija saņēmējam izraisa vai nu sekundārā līmeņa izmaiņas un liek atjaunināt uzskatus par sevi un citiem (sīkāk aprakstīts 4.6.7. nodaļā), vai arī liek izvēlēties kādu citu darbību.

Var secināt, ka saņēmējs var izvēlēties no četrām iespējām, kā integrēt ziņojumu savā spriešanas mehānismā:

- automātisku apstrādi, t.i., emociju pārrēķināšanu ar 4.3. nodaļā iegūtajām funkcijām;
- emociju iekļaušanu savā emocionālajā stāvoklī, ņemot vērā sūtītāja statusu un sociālās attiecības;
- racionālu reaģēšanu un iecerētās stratēģijas nomainīšanu;
- uzskatu par attiecībām un aģenta sociālo stāvokli atjaunināšanu.

Ir svarīgi, ka emociju izplatības mehānismus var realizēt arī tieši nesaņemot otra emocijas, t.i., caur vides novērtēšanu.

4.5.3. Mijiedarbības mehānismu saistība ar mikrolīmeni no sūtītāja viedokļa

Šajā apakšnodaļā ir aprakstīta emociju mijiedarbības mehānismu salāgošana ar aģenta iekšējo arhitektūru no sūtītāja viedokļa. Tas sevī ietver, pirmkārt, definēšanu, kurā arhitektūras līmenī notiek emociju nosūtīšana, un otrkārt, kādā veidā emocija tiek nodota un saņemta (piemēram, kāda mainīgā veidā).

Sūtītājs var izšķirt trīs, nevis piecus, dažādus mehānismus, jo primitīvā, sekundārā izplatība un šabloni, kā seko no 4.7. tabulas, no sūtītāja viedokļa neatšķiras. Šie trīs mehānismi var izcelties jebkurā no līmeņiem ar priekšnosacījumu, ka aģents jūt emociju. Šie mehānismi no sūtītāja aģenta puses ir neapzināti, t.i., aģents vienkārši nodod emociju, ko jūt, vienalga, vai tā radusies primārajā, sekundārajā vai terciārajā līmenī. Emocija tiek izvadīta kā subjektīvā emocionālā intensitāte E_{subj} un, ziņojumu nododot, kļūst par objektīvo kairinājuma vērtību I_{obj} nākošajam aģentam.

4.7. tabula

Emociju mehānismi no sūtītāja viedokļa

Mehānisms	Asociēts ar	Sūtītāja līmenis	Aģenta izeja	Ziņojuma parametrs
Primitīvā izplatība/ sekundārā izplatība/ šabloni	Pēkšņām emocijām/ Plānu nesaderība/ Sociālā pieķeršanās	Primārais Sekundārais, Terciārais	E_{subj}	I_{obj}
Tiešā izpaušana	Mērķu sasniegšana/ Sociālā konteksta uzlabošana	Sekundārais Terciārais	E_{subj}	$I_{obj} + izjustā emocija$
Manipulācija	Mērķu sasniegšana/ Sociālā konteksta uzlabošana	Sekundārais Terciārais	Inicializēta stratēģija	$I_{obj} + izjustā emocija$

Tiešā izpaušana un manipulācija ir mehānismi, kas aģentam pieejami sekundārajā un terciārajā līmenī. Šie mehānismi rodas stratēģijas iedarbināšanas rezultātā un var būt saistīti ar vai nu aģenta stratēģiju, vai arī sociālo stratēģiju. Individuālajām stratēģijām pieskaitāmas tās, kas saistītas ar aģenta mērķa izpildi, piemēram, uzvaru spēlē, sociālajām – tās, kas saistītas ar attiecību uzlabošanu vai paša statusa celšanu. Manipulācija un tiešā izpaušana ir darbības, ko aģents var veikt konkrētā līmenī un konkrētā emocionālajā stāvoklī, t.i., manipulāciju un tiešo emociju izpaušanu nepieciešams iekļaut aģentam pieejamajās darbībās.

No šīs apakšnodaļas var secināt, ka implementējot aģenta ziņojumu sūtīšanu, tam būs trīs veidu ziņojumi:

- ziņojuma tips, kuru tas izmanto pirmo trīs mehānismu iedarbināšanai;
- ziņojuma tips, kuru tas izmanto tiešās izpaušanas iedarbināšanai un manipulācijas iedarbināšanai;
- ziņojums, kuru konstruējot aģentam jāizvēlas piemērotu emociju, kas ļautu sasniegt mērķi.

4.5.4. Ziņojumu konstruēšana un saturs

Primitīvās, sekundārās izplatības un emociju šablonu ziņu konstruēšana ir diezgan tieša, jebkura ziņa sastāv no emocijas tipa un emocijas intensitātes, tas ir, tā var tikt aprakstīta ar predikātu *Emocionāla_reakcija(emocijas intensitāte, emocijas tips)*. Pēc būtības aģentam nav svarīgi, kādā veidā saņēmējā notiek emociju atkodēšana.

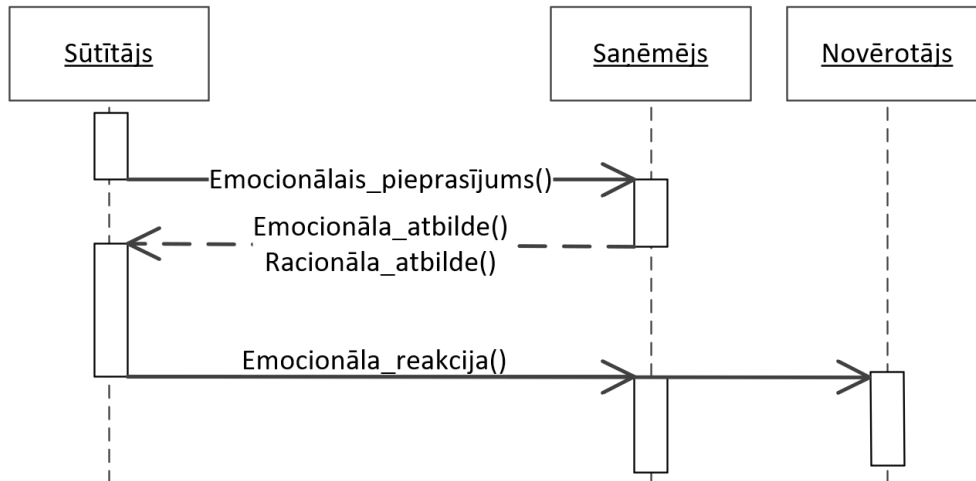
Savukārt emociju tiešā nodošana un manipulācija ietver mijiedarbības secības, kuras DAS apraksta ar protokolu. Jāatzīmē, ka aģents var izvēlēties komunicēt arī bez emocionālās iesaistes, šajā gadījumā šāda komunikācija tiek definēta kā racionālā uzvedība un ir tiešā veidā atkarīga no konkrētās problēmsfēras.

Gan tiešā emociju nodošana, gan manipulācija ir cieši saistītas ar aģenta stratēģiju, līdz ar to, nododot emocijas šādā veidā, aģents sagaida atbildi. No ziņojumu secības viedokļa, starp šiem mehānismiem atšķirības nav, tā kā aģents abos gadījumos cenšas panākt konkrētu darbību. Aģentu komunikācija sastāv no četrus veidu ziņojumiem (4.17. attēls):

- *Emocionāls_pieprasījums(emocija, tips, pieprasītā_darbība)*, kas var būt gan manipulēts, gan tiešs emocionāls lūgums aģentam kaut ko izdarīt. Tiešās emociju komunikācijas (vai manipulācijas) saņemšana ir atkarīga no tā, vai emocija ir vērsta uz konkrēto aģentu, tādēļ pirmais ziņojums ietekmē tikai tiešo saņēmēju. Parametrs *pieprasītā_darbība* nav obligāts, ja ir iespējams gadījums, kad aģents vienkārši prasa tam izdevīgu darbību, ja visiem ir vienāda stratēģija.
- *Emocionāla_atbilde(emocija, tips)*, kas ir neobligāta aģenta emocionālā atbilde uz aģenta pieprasījumu ar mērķi saregulēt attiecības, emocionālā atbilde var tikt iedarbināta, ja aģents neizvēlas palīdzēt, vai arī tad, ja tas jūtas spiests palīdzēt.
- *Racionāla_atbilde()*, kas ir aģenta racionālā atbilde, t.i., vai aģents piekrīt apmierināt pieprasījumu;

- *Emocionāla_reakcija()*, kas ir tāds pats ziņojums, kā primitīvās, sekundārās izplatības un emociju šablonu gadījumā, t.i., aprakstāms ar predikātu *Emocionāla_reakcija(emocijas intensitāte, emocijas tips)*.

Papildus protokolā iekļauts novērotājs. Novērotāji ir visi aģenti, kas no aģenta saņem ziņojumus par emociju izpausmēm. Tie iekļauti attēlā, lai demonstrētu, kā divu aģentu tiešā komunikācija ietekmē arī grupas kopējo emocionālo stāvokli.



4.17. attēls. Mijiedarbības starp aģentiem emociju tiešās nodošanas un manipulācijas gadījumā

Šeit būtisks jautājums ir par to, kādas emocijas nepieciešams imitēt aģentā, lai emociju izplatība būtu ticama. Šim nolūkam ir izstrādātas literatūrā balstītas vadlīnijas, kā faktoros vērā ņemot gan semantisko ticamību, gan arī iespēju šīs emocijas formalizēt.

Primitīvā emociju izplatība pēc definīcijas ietver tādu komunikāciju, kas balstīta uz citu emociju automātisku atpazīšanu. Vairākos pētījumos norādīts, ka cilvēks automātiski atpazīst dažu pamatemociju sejas izteiksmes, piemēram, Ekmana definētās emocijas. Līdz ar to šajā gadījumā ir svarīgi izmantot nelielu emociju kopu, savukārt neatpazītās emocijas tiek pārveidotas par pozitīvām vai negatīvām un šādā veidā integrētas emocionālajā stāvoklī.

Sekundārās izplatības un šablonu modelēšanai ir piemērotas tās teorijas, kas saistītas ar emociju izraisīšanos dažādu faktoru iedarbības rezultātā. To apraksta novērtējuma teoriju grupa un viena no šādām teorijām ir jau vairākkārt minētais OCC modelis, kurš ļauj novērtēt arī citu aģentu stāvokļus pasaulē. Lai arī emocijas ir iespējams modelēt PAD modelī, un šādā veidā tās tiek integrētas viena aģenta ietvaros, tomēr tieši emociju nodošanai tā izmantošana pie pašreizējiem psiholoģijas un socioloģijas pētījumiem ir ierobežota. Saskaņā ar autores zināšanām, emociju izplatība kā uzbudinājuma vai patikas izplatība praktiski nav pētīta.

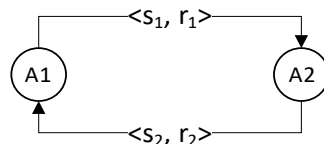
Emocijas, ko izpauž tieši – vienalga, vai patiesās izpausmes, vai manipulācijas gadījumā, ir tieši saistītas ar to, kuras emocijas aģents atpazīst. Tas ļauj secināt, ka faktiski, atkarībā no aģentam pieejamās ontoloģijas šo emociju daudzums nav ierobežots, tomēr no implementācijas vienkāršības viedokļa tās nepieciešams grupēt saimēs (t.i., emocijām ar līdzīgu noskaņu – dusmas, aizkaitinājums, niknums – piešķirt virsklasi – dusmas –, un variāciju noteikt ar intensitātes palīdzību).

Ziņojumu nosūtīšana un interpretācija ir cieši saistītas ar ontoloģiju izmantošanu. Ontoloģijai jāsaturs zināšanas: (1) par emocijas būtību, t.i, emocijas veidu un kurai no emociju klasēm tā pieder, ja ir vairāk nekā viena emocija no katras saimes, (2) par emocijas intensitāti. Promocijas darbā izmantotas Ekmana emocijas – t.i., aģenti atpazīst piecas pamata emocijas: prieku, dusmas, skumjas, bailes un pretīgumu, līdz ar to ontoloģija sastāv no šīm piecām emocijām. Šāda izvēle izdarīta tādēļ, ka ir pietiekami pētījumu, kas ļauj, balstoties uz šiem konceptiem, konstruēt imitācijas modeli. Lai veidotu ticamas ontoloģijas, kādas izmanto cilvēks, spriežot par savām emocijām, ir nepieciešami papildus pētījumi psiholoģijā. Šobrīd kā alternatīvu ontoloģijai ir iespējams izmantot arī OCC modeli, ja nepieciešams spriest par emociju izraisīšanos.

4.5.5. Statusa un sociālo attiecību modelēšana

Kaut arī viennozīmīgi ir tas, ka statuss un sociālās attiecības ietekmē emociju izplatību grupā, tomēr nav pētījumu, kas ļautu precīzi un kvantitatīvi definēt to ietekmi, tādēļ izvēlēta ranžēšanas pieeja. Saskaņā ar van Klīfu (van Kleef, 2016), sociālo uzskatu interpretēšana tiek realizēta caur ziņojuma atkodēšanas procesu, t.i., mehānismi, kas palīdz realizēt makrošablonus, atrodas emocijas saņēmējā.

Modelējot DAS tās makrolīmenī, statusu s un attiecības r modelē kā loku svarus (4.18. attēls). Statusa un attiecību vērtības nav abpusējas, t.i., aģenti var neuzskatīt, ka starp tiem ir vienādas attiecības, kā arī var atšķirties statusa vērtības. DAS arī var nebūt viena aģenta, kam ir augstāks statuss attiecībā pret visiem aģentiem, statuss ir subjektīvs.



4.18. attēls. Statusa un attiecību ilustrācija vienkāršā gadījumā, $A1$ un $A2$ aģenti, s_1 un r_1 – aģenta $A1$ subjektīvās statusa un attiecību vērtības attiecībā pret aģentu $A2$, s_2 un r_2 – aģenta $A2$ subjektīvās statusa un attiecību vērtības attiecībā pret aģentu $A1$.

Mikrolīmenī statuss un sociālās attiecības ir skatāmi kā palīgfactori, kas ļauj pastiprināt, pavājināt, vai arī pilnībā mainīt emocionālo uzvedību, līdzīgi kā stratēģijas izpildīšanās vai neizpildīšanās aģenta arhitektūras sekundārajā līmenī. Līdz ar to promocijas darba ietvaros ir izdarīta izvēle aģentu attiecības un statusu iekļaut kā objektīvo kairinājumu, kas iegūts, reizinot esošo objektīvo kairinājumu ar koeficientu q .

Par sociālo factoru ietekmi kopumā ir maz pētījumu, un autore nav atradusi pētījumus, kas ļautu šo ietekmi kvantificēt. Tomēr ir vispārīgi likumi, balstoties uz kuriem, promocijas darbā modelēta šī ietekme. Statuss nevar būt negatīvs, tādēļ promocijas darbā pieņemts, ka statusa vērtība s var būt robežās $[0..1]$. Savukārt attiecības var būt negatīvas (tas ir, sāncensības attiecības), vai arī pozitīvas (tas ir, sadarbības attiecības); tādēļ promocijas darbā pieņemts, ka attiecību vērtība r var būt skalā no $[-1..1]$.

Promocijas darba ietvaros tiek pieņemts, ka statuss un attiecības ir vienādā svarā, t.i., ietekmē emocijas vienādā veidā. Sociālā saite, kur attiecību vērtība $r=0$ un statusa vērtība $s=0$,

nekādā veidā neietekmē emocionālo stāvokli, savukārt gan statusa, gan attiecību vērtība r , $s=1$ palielina emociju vērtējumu par 0,5 no kairinājuma vērtības – konstante 0,5, saistīta ar modeļa kalibrēšanu, tā kā literatūrā nav atrodamā kvantificējama ietekme. Rezultātā iegūtas formulas (4.40) un (4.41). Ar koeficientiem q_r un q_s tiek reizināta emociju intensitāte. Attiecīgi, ja $r = 1$, vai $s = 1$, q_r un q_s būs 1,5, tā pastiprinot emociju intensitāti. Ja r vai $s = 0$, tad koeficienti ir 1 un emociju intensitāte nemainās. Gadījumā, ja r negatīvs, nepieciešams iedarbināt emociju šablonus, tāpēc q_r jābūt negatīvam.

$$q_r = \begin{cases} -r, & \text{ja } r < 0 \\ \frac{r}{2} + 1, & \text{ja } r \geq 0 \end{cases} \quad (4.40.)$$

$$q_s = \frac{s}{2} + 1, \quad (4.41.)$$

kur r – attiecību vērtība un s – statusa vērtība.

Abu koeficientu savienošana notiek atšķirīgi pie negatīvām un pie pozitīvām attiecībām. Sociālais statuss nevar mainīt emocionālo stāvokli uz pretējo pusi, tādēļ, ja attiecības ir pozitīvas, tad no statusa un attiecību koeficientiem izvelk vidējo vērtību. Savukārt, ja attiecības ir negatīvas, statusa koeficients nosaka, cik pretēju emociju aģents izjutīs – jo statusa koeficients augstāks, jo zemāka negatīvo attiecību ietekme, t.i., augsts statuss mazina negatīvo attiecību ietekmi.

$$q = \begin{cases} q_r * (2 - q_s), & \text{ja } q_r < 0 \\ \frac{q_r + q_s}{2}, & \text{ja } q_r > 0 \end{cases} \quad (4.42.)$$

kur r – attiecību vērtība un s – statusa vērtība.

4.5.6. Secināšana uz citu emociju pamata jeb emociju racionālo ietekmju modelēšana

Tiešā komunikēšana ir tieši saistīta ar racionālā stāvokļa izmaiņām, tā kā šie mehānismi liek veikt izmaiņas stratēģijā un mainīt uzskatus. Promocijas darbā apskatīts tas, kādā veidā aģentu emocionālā komunikācija ietekmē statusu un sociālās attiecības, tā kā tas savukārt ietekmē emociju dinamiku grupā; caur statusa un sociālo attiecību izmaiņām tiek realizētas prasības 14.a un 14.b, kā arī 15.a.

Aģentam tā terciārajā līmenī, balstoties uz cita aģenta paustajām emocijām, jāspēj veikt izmaiņas par citu aģentu statusu un sociālajām attiecībām, kā arī par savu statusu sociālajā grupā, savukārt sekundārajā līmenī aģents veic secinājumus par citu aģentu racionālajām stratēģijām, kas gadījumā, ja visiem aģentiem ir viena stratēģija, kā imitācijas modelēšanā, nav nepieciešams.

Sociālajām pārliecībām par katru aģentu, ieskaitot sevi, obligāti jāsaturs informācija par aģenta statusu, kā arī par attiecībām ar katru no aģentiem. Papildus šeit iespējams iekļaut zināšanas par citu aģentu personībām un emocionālajiem stāvokļiem, kas ir nozīmīgi gadījumā, ja aģentiem jāspēj diferencēt starp manipulētām un reālām emocijas izpausmēm. Sociālās pārliecības ir dinamiskas, t.i., ir atkarīgas no komunikācijas.

Sociālā statusa modelēšanai aģentiem nepieciešams piešķirt mēru. Šis mērs var būt vai nu definēts makrolīmenī (piemēram, organizācijas hierarhija), vai arī rasties dinamiski kā problēmsfērai specifisks kritērijs, piemēram, iespējas palīdzēt citiem aģentiem. Arī sociālā statusa izmaiņas un elastība būs atkarīga no konkrētā mēra. Literatūrā nav kvantificējama veida sociālā statusa definīcijai, tāpēc sociālā statusa izmaiņas jebkurā laika momentā formāli ir aprakstāmas, izmantojot formulu (4.43).

$$S_{jaunais} \leftarrow S_{vecais} + \rho_s \times \text{statusa_izmaiņa}(k_s), \quad (4.43.)$$

kur $S_{jaunais}$ – jaunā statusa vērtība;

S_{vecais} – vecā statusa vērtība;

ρ_s – statusa izmaiņas elastības koeficients;

$\text{statusa_izmaiņa}(k)$ – no kritērija k atkarīga statusa izmaiņas funkcija.

Ja statusu izmaiņas elastības koeficients ir vienāds ar 1, tad statusu struktūra ir ļoti mainīga, ja 0 – ļoti stabila. Statusa izmaiņas funkcijas atkarība no kritērija ir jādefinē specifiskajā projektējumā, balstoties uz šādu principu: sociālais statuss un tā izmaiņu funkcija ir cieši saistīti ar to, kāda ir aģenta ietekme uz citiem aģentiem, respektīvi, gan semantiski, gan funkcionāli pēc statusa augstākajiem aģentiem ir jābūt lielākai racionālajai ietekmei.

Sociālo attiecību modeļošana var tikt veidota dažādos veidos. Tā var būt semantiskā definēta saite pašā sākumā (savstarpējā patika vai nepatika), vai arī konkrēti problēmsfērā definētas saites (t.i., sāncensības saites).

Sociālo attiecību veidošanās ir atkarīga no savstarpēji veiktajām labvēlīgajām darbībām. Arī sociālo attiecību veidošanas gadījumā ir nepieciešams koeficients, kas nosaka, cik viegli šīs saites ir maināmas, vai šīs saites ir stingrāk noteiktas ilgākā laika posmā (atbilst iepriekš pazīstamu cilvēku attiecību saglabāšanai), vai arī straujāk maināmas. Līdzīgi kā ar statusu, arī sociālo attiecību modeļošana ir nosakāma specifiskajā projektējumā (formula (4.44)).

$$r_{jaunais} \leftarrow r_{vecais} + \rho_r \times \text{attiecību_izmaiņa}(k_r), \quad (4.44.)$$

kur $r_{jaunais}$ – jaunā attiecību vērtība;

r_{vecais} – vecā attiecību vērtība;

ρ_r – attiecību izmaiņas elastības koeficients;

$\text{attiecību_izmaiņa}(k)$ – no kritērija k atkarīga attiecību izmaiņas funkcija.

4.6. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir izstrādātais projektējums, kas nepieciešams cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanai. Izstrādātais vispārīgais projektējums sevī ietver aģenta vispārējo arhitektūru, aģenta ESM projektējumu, vadlīnijas racionālo funkciju modelēšanai, kā arī nepieciešamās klasifikācijas un modeļus emociju nodošanai starp aģentiem. Šis vispārīgais projektējums, kas tālāk izmantojams kā pamats lietojuma jomas specifisku modeļu izstrādei,

arī ir nodaļas galvenais rezultāts. Papildus tam, 4.1. tabulā ir identificētas arī funkcijas, kas jāspecifificē implementācijas līmenī, kas savukārt atvieglo specifiskā modeļa tālāku izstrādi.

Nodaļai ir šādi **rezultāti**:

- nodaļas sākumā, balstoties uz pētījumiem, kuru rezultāti aprakstīti 1., 2. un 3. nodaļā, izstrādātas *prasības emocijās sakņotam aģentam*, koncentrējoties uz komponentēm, kas nepieciešamas grupas emociju dinamikas modelēšanai;
- tālāk ir definēta un aprakstīta *kopējā emocijās sakņota aģenta daudzslāņu arhitektūra un tās komponentes realizējošie algoritmi*, balstoties uz 2. nodaļā veikto pētījumu par emocijās sakņotiem aģentiem;
- ir izveidots *projektējums emocionālajam skaitļošanas modelim*, kura galvenā priekšrocība ir dažādu emociju un noskaņojuma integrācija vienā PAD telpā, kā arī personības ietekmes modelēšana šajā pašā PAD telpā. Autore ir definējusi metodi personības parametru izmantošanai emociju skaitļošanas funkcijās;
- definēti faktori, kuriem jāpievērš uzmanība, modelējot ESM mijiedarbību ar aģenta racionālajiem procesiem *vadlīniju veidā*.
- būtiska daļa no projektējuma ir *emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības modelēšana*. Ir formalizēti 3. nodaļā definētie mehānismi, kā arī sociālo attiecību un statusa ietekme uz aģenta emocionālo stāvokli, kā arī definēti atbilstošie komunikācijas protokoli.

Izveidojot šo pieeju, darba autore ir **secinājusi**, ka ticama cilvēku grupas emocionālā stāvokļa dinamikas modelēšana, tajā skaitā potenciāli makrošablonu realizācija, ir iespējama, izmantojot DAS esošās pieejas. Tāpat autore secinājusi, ka, projektējot DAS, emociju nodošanas mehānismi atšķiras mikrolīmenī, t.i., komunikācijas tīšumā sūtītāja pusē un interpretācijā saņēmēja pusē. Tas, savukārt, nozīmē, ka ASM ir īpaši piemērota šīs problēmsfēras modelēšanai.

Projektējuma izstrādes gaitā autorei radās arī divi secinājumi attiecībā uz darba validāciju:

- tā kā vairākās vietās projektējumā izmantota ranžēšanas pieeja, jāpievērš uzmanība, interpretējot imitācijas modeļa rezultātus, tas ir, nedrīkst izmantot no modeļiem iegūtās absolūtās vērtības, tā vietā jāizmanto salīdzinošā un analītiskā pieeja;
- reālā lietojumā modelis ir jākalibrē; lai to izdarītu, ir nepieciešami papildus pētījumi psiholoģijā un socioloģijā, kas ir pamats starpdisciplināriem pētījumu projektiem.

Uz izstrādātā vispārīgā projektējuma bāzes iespējams ne vien veidot dažādus no lietojuma jomas atkarīgus emocionālās mijiedarbības imitācijas modeļus, bet arī veikt **tālākus akadēmiskus pētījumus**, tajā skaitā:

- modelēt grupas ar dažādām emocionālā intelekta pakāpēm, modificējot aģentiem pieejamās ontoloģijas;
- imitēt izziņas jeb kognitīvos procesus (mācīšanos, plānošanu) vienā cilvēkā un pētīt to ietekmi uz grupas kopējo emocionālo stāvokli;
- pētīt dažādu sociālo struktūru ietekmi uz cilvēku grupas emocionālo stāvokli.

Promocijas darba nākošajā un pēdējā nodaļā ir demonstrēts, kā izmantojami šīs nodaļas rezultāti, un galvenais fokuss ir tieši uz to, kādā veidā ir iespējams modelēt grupas emocionālā stāvokļa izmaiņas un tiem parametriem, kas ir nepieciešami šāda modeļa izveidei.

5. RISINĀJUMA IMPLEMENTĀCIJA UN PĀRBAUDE

Balstoties uz izstrādāto cilvēku grupas modelēšanas pieeju, ir izstrādāti trīs lietojumi: (1) ESM demonstrācija viena aģenta gadījumā²², kā arī divi lietojumi, kas demonstrē aģentu darbību grupā gadījumos, kad tiem ir dažāda nepieciešamība pēc emociju lomām: (2) pūļa modelēšana²³ un (3) galda spēles scenārija modelēšana²⁴.

Sākumā nodaļā aprakstīts viena aģenta gadījums, kura mērķis ir demonstrēt, kā realizēta iepriekšējā nodaļā aprakstītā emociju dinamika. Šis lietojums izstrādāts tādēļ, ka promocijas darba imitācijas modelim ir daudz elementu, un izveidojot grupas imitācijas modeli, nav saprotama un testējama mikrolīmeņa darbība. Lietojums realizē viena aģenta ESM un tālāk kā modulis izmantots arī 2. un 3. lietojumā.

5.1. tabula

Pūļa modelēšanas un galda spēles scenāriju raksturojums

Prasības numurs	Prasība	Pūļa modelēšanas scenārijs	Galda spēles scenārijs
1.	Daudzlīmeņu emociju apstrāde	-	+
2.	Primārajā slānī vienkārša uzvedība un emocijas	+	+/-
3.	Aģenta reaktivitāte	+	+
4.	Pārslēgšanās starp slāņiem noteiktos gadījumos	-	+
5.	Fiziska spēju ierobežošana	-	-
6.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz uzvedību	+/-	+
7.	Aģenta uzvedības šablonu pieejamība	-	+
8.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz plānošanu	-	+/-
9.a.	Aģenta apmācības biežuma noteikšana	-	+/-
9.b.	Emocijas kalpo kā atalgojums vai sods	-	+/-
10.	Aģentam jābūt vairāku līmeņu emocionālajam stāvoklim.	+	+
11.	Personība ietekmē aģenta emocionālo stāvokli.	+	+
12.a.	Aktivizācijas funkcija	+	+
12.b.	Norimšanas funkcija	+	+
12.c.	Izpaušanas funkcija	+	+
13.	Apkārtējās vides stimulu novērtēšana	+/-	+
14.a.	Spriešana par savu statusu	-	+
14.b.	Spriešana par citu statusu	-	+
14.c.	Komunikācijas mehānisma pielāgošana aģenta iekšējam stāvoklim	-	+
15.a.	Sociālo attiecību uzturēšana	-	+
15.b.	Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām	-	+
16.	Emociju neapzināta paušana un uztveršana	+	+
17.	Emociju apzināta paušana un uztveršana	-	+
18.	Emociju uzņemšana	+	+

Tālākie divi scenāriji attiecas uz grupas uzvedības modelēšanu, t.i., jau ir DAS. Pūļa modelēšanas scenārijs ļauj modelēt vāji strukturētu cilvēku grupu, kurā attiecīgi nav sociālās

²² Saite uz pirmkodu demonstrācijas aģentam: <https://github.com/MaraPuda/DemoAffectiveAgent>

²³ Saite uz pirmkodu pūļa modelēšanas rīkam: <https://github.com/MaraPuda/Emotional-contagion-tool>

²⁴ Saite uz pirmkodu galda spēles scenārijam: <https://github.com/MaraPuda/BoardGameScenario>

hierarhijas, t.i., sociālo saišu un statusa. Šajā gadījumā ir izstrādāts rīks, kas ļauj modelēt pūli ar dažāda veida parametriem, tajā skaitā, personības un struktūras izmaiņām. Galda spēles scenārijā implementēta galda spēle “Uno”, kurā iespējams atspoguļot aģentu attiecības un stratēģijas. Ņemot vērā promocijas darba specifiku, funkcijas, kas nav saistītas ar makrošablonu implementēšanu gan no emocijās sakņota aģenta viedokļa, gan problēmsfēras viedokļa, ir implementētas vienkāršoti – piemēram, aģenta spēja mācīties nav tieši saistīta ar makrošablonu realizāciju, tāpēc funkcija faktiski nav implementēta; arī nav implementētas sarežģītākas stratēģijas galda spēlē, tā kā no tām tieši nav atkarīga makrošablonu realizācijas demonstrācija. Abu lietojumu, tas ir, pūļa modelēšanas scenārija un galda spēles scenārija, raksturojums, balstoties uz prasībām, parādīts 5.1. tabulā, kur redzams, kādas funkcijas implementētas katrā no scenārijiem. Sīkāki komentāri par prasību realizāciju, t.i., par to, ko precīzi nozīmē “+/-” jeb daļēji realizēta prasība, atrodami attiecīgajās apakšnodaļās.

Tālāk nodaļā ir veikta modeļu validācija. Lai pārbaudītu sistēmas darbību, ir nepieciešama eksperimentu kopa. Eksperimentu kopa ietver eksperimentus, kas (1) pārbauda viena aģenta darbību (2) visa modeļa darbību kopumā attiecībā pret 3. nodaļā formulētajiem makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām, kas aprakstīti šajā nodaļā. Viena aģenta darbība ir demonstrēta 5.1. nodaļā, savukārt visa modeļa darbība aprakstīta un pārbaudīta 5.4. nodaļā, balstoties uz pūļa modelēšanas un galda spēles scenārijiem.

5.1. ESM demonstrācija viena aģenta gadījumā

Lai demonstrētu ESM viena aģenta gadījumā, tika izveidots vienkāršs aģents, kas mijiedarbojas tikai ar lietotāja saskarni, bet ne citiem aģentiem. Šī apakšnodaļa demonstrē realizētā ESM risinājuma atbilstību 4. nodaļā definētajam teorētiskajam modelim. Visi parametri, kas ietekmē emociju izskaitļošanu, tiek ievadīti lietotāja saskarnē (5.1. attēls).

5.1. attēls. Demonstrācijas aģenta saskarne.

Demonstrācijas aģenta mērķis ir parādīt aģenta ESM abstraktās funkcijas, t.i., tās funkcijas, kas neatšķiras atkarībā no lietojuma jomas:

- pamata stāvokļa transformāciju uz PAD telpu;
- emocionālā stāvokļa un noskaņojuma izmaiņas pie negatīva un pozitīva kairinājuma abstraktā gadījumā;
- emocionālā stāvokļa un attiecīgi – noskaņojuma - izmaiņas pie konkrētām emocijām sekundārajā un terciārajā līmenī;
- visu līmeņu integrāciju;
- emociju atkarību no paudēja sociālā statusa un attiecībām vispārīgā gadījumā terciārajā līmenī.

Primārajā līmenī aģents saņem objektīvo novērtējumu, kas tiek nolasīts no saskarnes (t.i., to ievada lietotājs) un padots aģenta ESM. 5.2. attēlā (a, b un c) ir redzamas emocionālā stāvokļa izmaiņas primārā līmeņa gadījumā, kad aģents saņem vai nu pozitīvu, vai negatīvu impulsu (saskarnē attiecīgi ar pozitīvu vai negatīvu zīmi). Ar melnu krāsu parādīts C_0 punkts jeb aģenta personības punkts. Kopumā 5.2. attēlā parādītā dinamika iegūta, ievadot kairinājumu secību $0,5 \rightarrow 0,5 \rightarrow -0,5$. Attēla (a), (b) un (c) daļas attiecīgi ir secīgas. 5.2. attēls demonstrē arhitektūras primārā līmeņa darbību, parādot daļēji 1. un 2. prasības realizāciju.

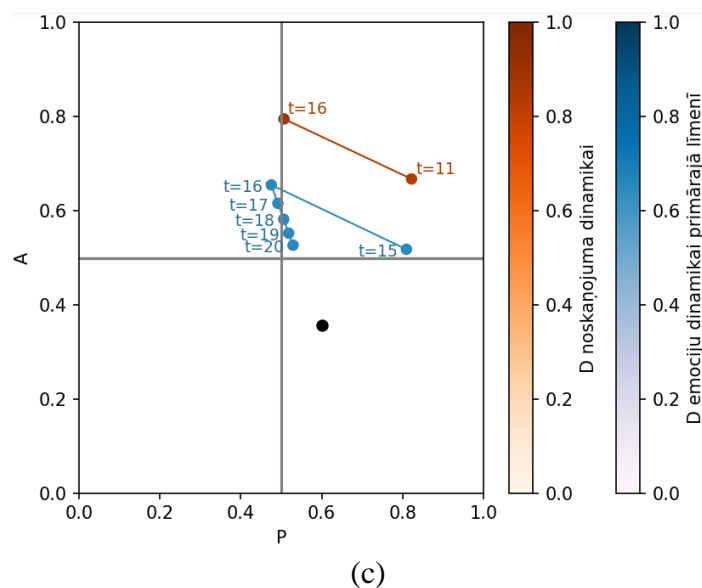
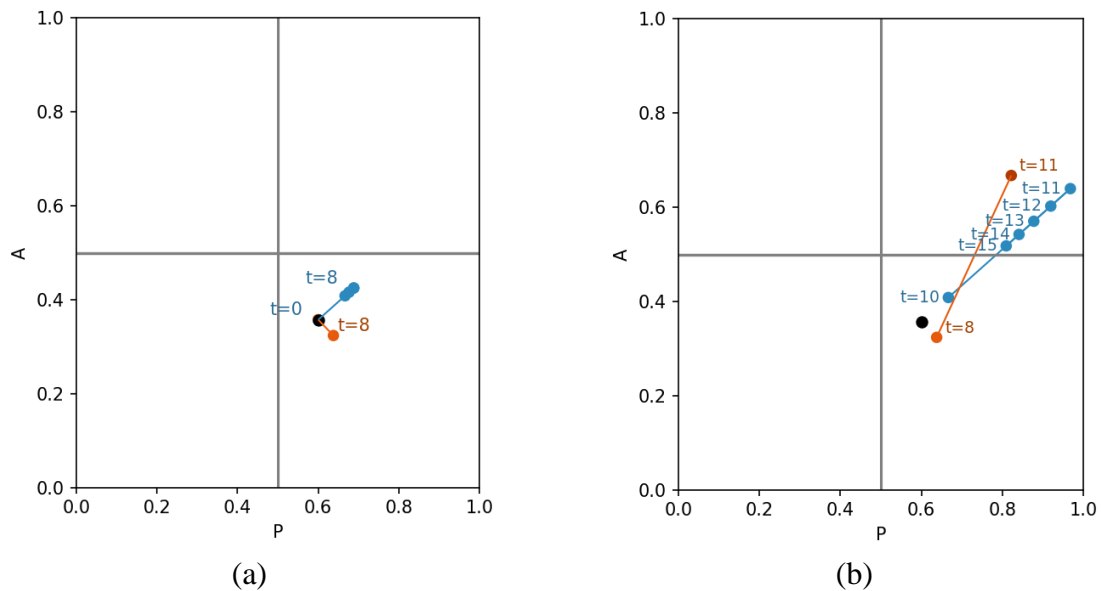
5.2. (a) attēlā ir redzams, kā mainās aģenta emocionālais stāvoklis pēc pirmā kairinājuma, kas notiek 8. sekundē ($t = 8$): pieaug patika (P) un uztraukums (A), pārlicība par situāciju (D) nemainās (tā kā tas ir primārais līmenis). Attēlā emocijām atzīmēts $t=10$, kas ir brīdis, kad emocijas jau 2 sekundes ir norimušas. Mainās arī noskaņojums virzienā uz attiecīgā oktanta ekstrēmu (attēlā ar oranžu krāsu).

5.2. (b) attēlā, saņemot otru kairinājumu 11. sekundē ($t=11$), emocionālais stāvoklis pavirzās stipri tālāk pa P un A dimensijām – šis rezultāts tiek iegūts tādēļ, ka emociju aktivizācija tiek modelēta ar sigmoīdas palīdzību, kā aprakstīts iepriekšējā nodaļā, un pēc otra kairinājuma tās ir sasniegušas straujās augšanas posmu. Emocijas atkal sāk norimt līdz 15. sekundei ($t=15$). Ir redzams, ka norimšana sākumā notiek straujāk, t.i. nogrieznis starp $t=11$ un $t=12$ ir garāks, nekā nogrieznis starp $t=14$ un $t=15$ norimšanas funkcijas eksponenciālā rakstura dēļ. Arī noskaņojums mainās, tas sāk tiekties uz citu ekstrēmu, tā kā ir mainījies pašreizējā emocionālā stāvokļa oktants $t=11$ punktā. Noskaņojumam ir mainījusies arī D dimensija – tas ir attēlots ar tumšāku krāsu.

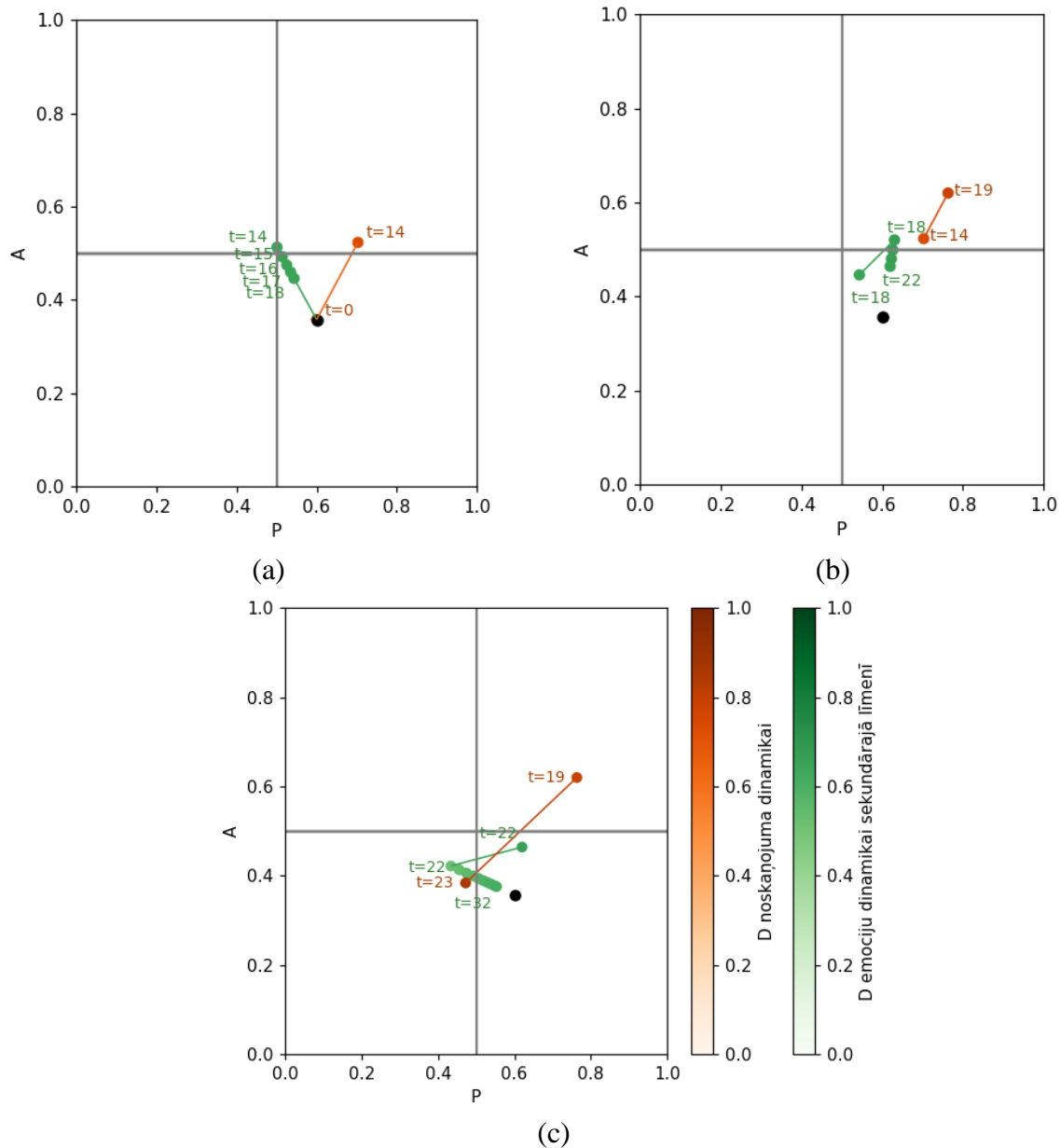
Visbeidzot 5.2. (c) attēlā ienāk nepatīkams kairinājums, kā dēļ emocijas mazliet palielinās pa A dimensiju (šī dimensija jau ir gandrīz sasniegusi piesātinājumu aktivizācijas funkcijā), un stipri – pa P dimensiju. Atšķirība P un A novirzēs izskaidrojama ar emociju maksimālo punktu attālumu, kā arī to, ka negatīvie kairinājumi izraisa stiprākas emocijas. Pēc tam emocionālais stāvoklis sāk norimt pamata stāvokļa virzienā (attēlā 5.2. melnā krāsā) līdz $t = 20$, un šajā brīdī aģenta darbība ir pārtraukta. Līdzīgi kā iepriekšējā gadījumā, mainās arī noskaņojuma vērtība, kas pārvietojas jauna oktanta ekstrēma virzienā. Kaut arī jaunā emocija ir stipri mainījusi pašreizējo emocionālo stāvokli, noskaņojums ir palicis tajā pašā oktantā.

Sekundārā vai terciārā līmeņa dinamika demonstrēta 5.3. attēlā, kur parādīta emociju integrācija sekundārajā vai terciārajā līmenī, t.i., pie konkrēta emocijas tipa. Attēlā parādīta emociju dinamika kairinājumu secībā $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle \rightarrow \langle \text{prieks}, 0,5 \rangle \rightarrow \langle \text{skumjas}, 0,5 \rangle$. Šajā

scenārijā demonstrēta daļēji 1. prasība un tās prasības, kas attiecas uz ESM kopumā, kā arī noskaņojuma un emociju integrācija un dinamika PAD telpā. Kairinājums sākas ar dusmām 5.3.(a) attēlā laika momentā $t=14$, tādēļ samazinās patika un palielinās uztraukums. Tā kā pamata stāvokļa dominānce ir 0,65 – salīdzinoši augsta, tad dominānce faktiski nemainās, pēc tam emocionālais stāvoklis sāk norimt momentos $t=14$ līdz $t=18$.



5.2. attēls. Emociju un noskaņojuma dinamika primārā līmeņa gadījumā, ar $t = [\text{numurs}]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa (skatīt skalu (c) attēlā – izņemot personības punktu, kas ir melns). Ar melnu krāsu attēlots pamata stāvoklis (personība), ar zilu – emociju dinamika, ar oranžu – noskaņojuma dinamika. Kairinājumi un laika periodi: (a) attēlā 8. līdz 11. sekunde, 8. sekundē kairinājums $+0,5$; (b) attēlā 11. līdz 15. sekunde, 11. sekundē kairinājums $+0,5$, (c) attēlā 16. līdz 20. sekunde, 16. sekundē kairinājums $-0,5$.



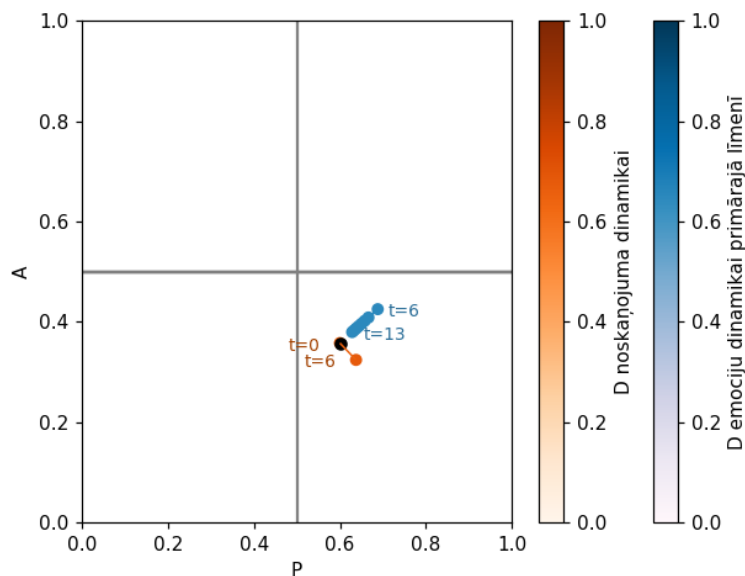
5.3. attēls. Emociju un noskaņojuma dinamika sekundārā vai terciārā līmeņa gadījumā, ar $t = [numurs]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa (skatīt skalu (c) attēlā – izņemot personības punktu, kas ir melns). Ar melnu krāsu attēlots pamata stāvoklis (personība), ar zaļu – emociju dinamika, ar oranžu – noskaņojuma dinamika.

Kairinājumi un laika periodi: (a) attēlā 14. līdz 18. sekunde, 14. sekundē kairinājums $\langle dusmas, 0,5 \rangle$; (b) attēlā 18./19.²⁵ līdz 22. sekunde, 18./19. sekundē kairinājums $\langle prieks, 0,5 \rangle$; (c) attēlā 22./23. līdz 32. sekunde, 22./23. sekundē kairinājums $\langle skumjas, 0,5 \rangle$.

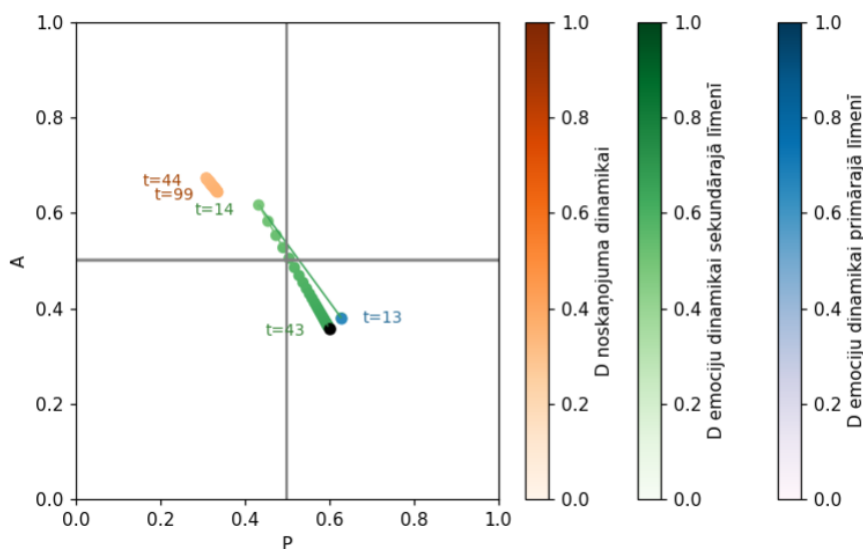
Ievadot prieka vērtību 5.3.(b) attēlā, palielinās P un D laika momentā $t=18$.

²⁵ Šeit un turpmāk pieraksts n./m. nozīmē, ka programmatūra piefiksējusi divas dažādas sekunžu vērtības, jo abas funkcijas izpildījušās ar dažu milisekunžu starpību. Līdzīgi atkārtots laika spiedogs (piemēram, sekundārajā līmenī divas reizes $t = 22$) izskaidrojams ar to, ka sistēma sekundes rēķina, balstoties uz operētājsistēmas laiku, kas nozīmē, ka notikums var būt noticis gandrīz ar sekundes atšķirību, tomēr sekundes numurs uzrādīsies tāds pats.

Ievadot skumju vērtību 5.3.(c) attēlā, kas faktiski ir pretēja emocija priekam (tas ir, atrodas negatīvās gan P , gan A , gan D vērtībās), samazinās gan P , gan A , gan D laika momentā $t=22$. Pēc tam līdz $t=32$ emocionālais stāvoklis norimst.



(a)



(b)

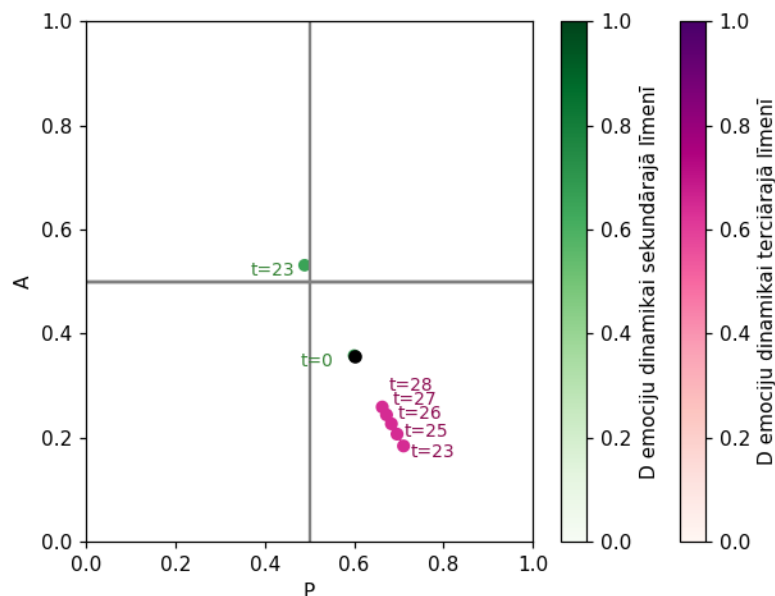
5.4. attēls. Dažādu līmeņu emocionālā stāvokļa integrācija, ar $t = [\text{numurs}]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa – izņemot personības punktu, kas ir melns. Ar melnu krāsu vizualizēts pamata stāvoklis (personība), ar oranžu – noskaņojuma dinamika, ar zilu un zaļu – attiecīgi primārā un sekundārā līmeņa emocionālā stāvokļa dinamika. Kairinājumi un laika periodi: (a) attēlā 6. līdz 13. sekunde, 6. sekundē kairinājums: $+0,5$; (b) attēlā 13. līdz 99. sekunde, 14. sekundē kairinājums $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle$.

5.4. attēlā demonstrēta primārā un sekundārā vai terciārā līmeņa mijiedarbība, tas ir, mijiedarbība starp pozitīvu/negatīvu emocionālo stāvokli un konkrētām emocijām, attiecīgi tieši realizējot prasības, kas attiecas uz vairāku līmeņu emociju apstrādi. Šajā attēlā demonstrēta

arī noskaņojuma norimšana. 5.4.(a) attēlā parādītas primārā līmeņa emocionālā stāvokļa. Laika momentā $t=6$ aģentam pienāk pozitīvs kairinājums ar vērtību 0,5. Pēc tam emocionālais stāvoklis norimst līdz laika momentam $t=13$. Laika momentā $t=14$ pienāk jauns kairinājums $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle$. Šī izmaiņa redzama 5.4.(b) attēlā. Tālāk emocionālais stāvoklis norimst līdz laika momentam $t=43$, un laika momentā $t=44$ sākas noskaņojuma norimšana. Aģenta darbība pārtraukta laika momentā $t=99$. Ir svarīgi, ka līmeņu krāsas atšķiras tikai vizualizācijas nolūkos, aģents darbības laikā neizšķir starp šiem dažādajiem līmeņiem, un darbojas ar pašreizējo emocionālo stāvokli, kas izteikts PAD telpā.

5.5., 5.6. un 5.7. attēli demonstrē emociju izmaiņas atkarībā no statusa un sociālajām attiecībām, liekot pamatu ar sociālajām attiecībām un statusu saistītajām prasībām, kā arī realizējot projektējumā aprakstīto emociju atkarību no sociālā statusa un attiecībām.

5.5. attēlā ir redzama emociju šablona realizācija, kad aģentā izraisās pretējā emocija (balstoties uz to, ka sākotnēji aģents ir pamata stāvoklī) laika momentā $t=23$, šajā konkrētajā gadījumā – ar kairinājuma vērtību $\langle \text{dusmas}, 0,6 \rangle$ un galēji negatīvām attiecībām (vērtība -1). Ar zaļu krāsu attēlota vērtība, kādu aģents iegūtu bez statusa vai attiecību vērtības, savukārt ar violetu – faktiskais emocionālais stāvoklis, kas iegūts pēc pārrēķināšanas, balstoties uz statusu un attiecībām. Jāatzīmē, ka ar zaļu attēlotā vērtība ir izmantota vizualizācijas nolūkiem, jo normāli aģents uzreiz iegūst terciārā līmeņa vērtību, kura pēc tam sāk norimt.

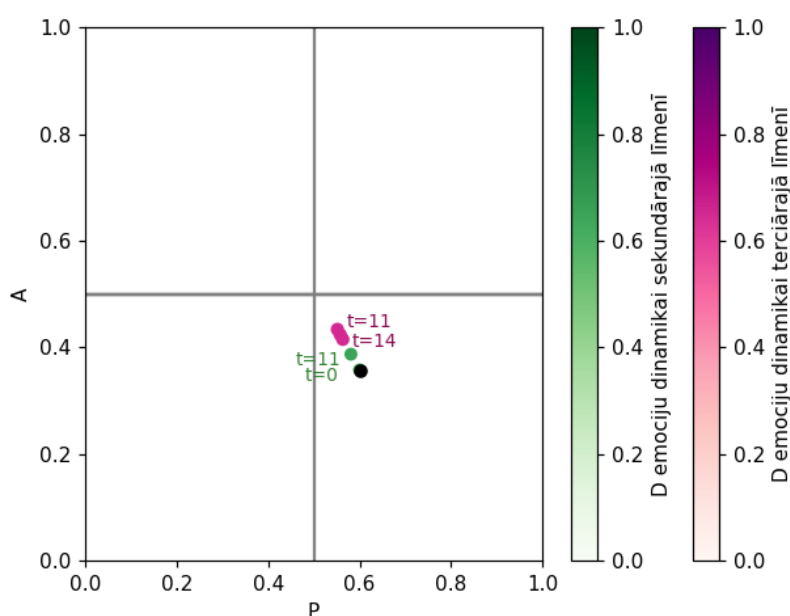


5.5. attēls. Statusa un attiecību ietekme uz aģenta emocionālo stāvokli. Statuss = 0, attiecības = -1, kairinājums: $\langle \text{dusmas}, 0,6 \rangle$, ar $t = [\text{numurs}]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa – izņemot personības punktu, kas ir melns. Ar melnu krāsu vizualizēts pamata stāvoklis (personība), ar zaļu hipotētiski iegūtais emocionālais stāvoklis, ja nebūtu statusa un attiecību, ar violetu – faktiskā emocionālā stāvokļa dinamika terciārajā līmenī.

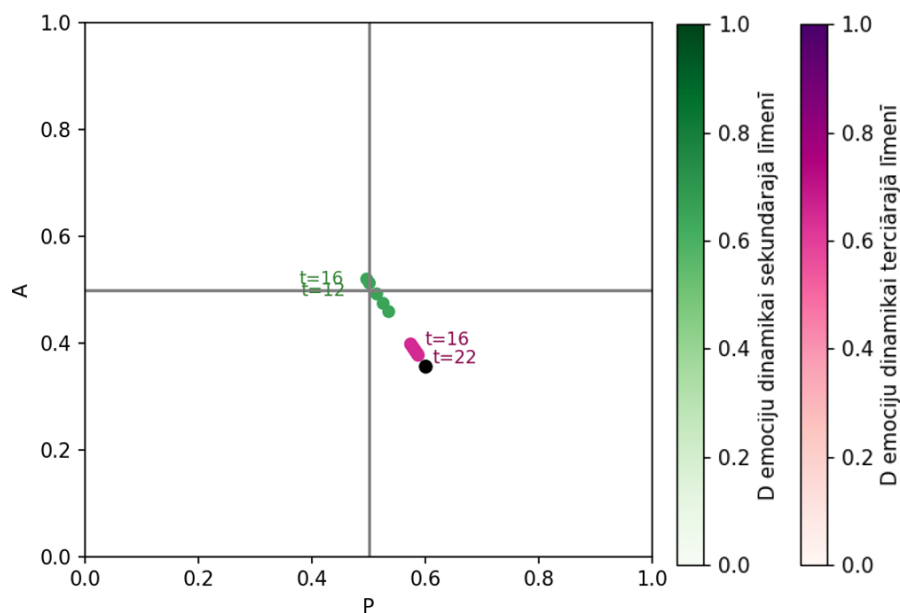
Savukārt, 5.6. attēlā ir redzams statusa pastiprinošais efekts pie kairinājuma $\langle \text{dusmas}, 0,3 \rangle$ un statusa vērtības 1. Līdzīgi kā iepriekšējā gadījumā, arī šeit ar zaļo krāsu parādīts tas emocionālais stāvoklis, kāds būtu laika momentā $t=11$, ja nebūtu statusa un attiecību ietekmes. Var redzēt, ka statuss pastiprina emocionālo stāvokli.

Visbeidzot, 5.7. attēlā demonstrēts gadījums, kad aģents jau ir augstas intensitātes emocionālā stāvoklī sekundārajā līmenī, kad ienāk jauns kairinājums – faktiski gadījums, kad mijiedarbojas sekundārais un terciārais līmenis. Šajā attēlā vispirms ienāk kairinājums sekundārajā līmenī $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle$ laika momentā $t=12$. Tad emocionālais stāvoklis norimst līdz laika momentam $t=15$.

Laika momentā $t=16$ rodas vēl viens kairinājums ar vērtību $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle$; attēlā tam vizualizētas divas alternatīvas – ar zaļu krāsu tā vērtība, kas tiktu iegūta sekundārajā līmenī un ar violetu – tā, kas faktiski iegūta terciārajā līmenī, emocionālais stāvoklis tālāk norimst līdz laika stāvoklim $t=22$. Var redzēt, ka šis kairinājums $\langle \text{dusmas}, 0,5 \rangle$ nesamazina stāvokli uz pilnīgi pretēju attiecībā pret pamata stāvokli, taču būtiski to tuvina pamata stāvoklim, t.i., pretējā virzienā maksimālajam emocionālajam stāvoklim.



5.6. attēls. Statusa un attiecību ietekme uz aģenta emocionālo stāvokli. Statuss = 0, attiecības = 1, kairinājums: $\langle \text{dusmas}, 0,6 \rangle$, ar $t = [\text{numurs}]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa – izņemot personības punktu, kas ir melns. Ar melnu krāsu vizualizēts pamata stāvoklis (personība), ar zaļu hipotētiski iegūtais emocionālais stāvoklis, ja nebūtu statusa un attiecību, ar violetu – faktiskā emocionālā stāvokļa dinamika terciārajā līmenī.



5.7. attēls. Pavājināšana gadījumā, kad aģentam jau ir emocionālais stāvoklis. Ar $t = [numurs]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā PAD telpas dimensija, D , attēlota ar krāsas intensitāti – jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa – izņemot personības punktu, kas ir melns. Ar melnu krāsu vizualizēts pamata stāvoklis (personība), ar zaļu faktiskais emocionālais stāvoklis laika momentos $t=12$ līdz $t=16$ un hipotētiski iegūtais emocionālais stāvoklis, ja nebūtu statusa un attiecību, ar violetu – faktiskā emocionālā stāvokļa dinamika terciārajā līmenī.

Šajā apakšnodaļā esošie piemēri un aģenta darbības demonstrācija rāda, ka:

- emocijas darbojas paredzētajā veidā katrā no līmeņiem, tajā skaitā saskaņā ar emociju skaitļošanas funkcijām;
- ESM dažādos arhitektūras līmeņos mijiedarbojas korekti, un emocionālais stāvoklis, neatkarīgi no līmeņa, tiek integrēts vienā PAD telpā esošā emocionālā stāvokļa punktā un vienā noskaņojuma punktā;
- noskaņojuma dinamika darbojas atbilstoši vispārīgajam projektējumam;
- mikrolīmenī statusa un attiecību ietekme uz emocionālo stāvokli darbojas atbilstoši projektējumam.

5.2. Emocijās saknotu DAS lietotņu implementācija

Visas lietotnes (arī iepriekš aprakstītā viena aģenta lietotne) implementētas, izmantojot JADE starpprogrammatūru. Šāds lēmums tika pieņemts programmēšanas uzdevumu atvieglošanai, un arī tādēļ, ka viens no uzstādījumiem bija sistēmas reālā laika darbība. Lai arī implementācijas detaļas neietekmē modeļa kopējo darbību, tomēr tās ietekmē tālāko datu apstrādi un ar piemēru demonstrē to, kā šis modelis tiek realizēts.

Šajā nodaļā specifiski aprakstītas aģenta uzvedības, aģenta parametri un komunikācijas implementācija.

Aģenta uzvedības ir implementētas, tieši balstoties uz arhitektūrā definētajām funkcijām. JADE ir vairāku tipu uzvedības, darbā ir izmantotas trīs tipu uzvedības:

- *Behaviour* – aģenta uzvedība, kas izpildās, kamēr ir sasniegts beigu nosacījums;
- *CyclicBehaviour(cikla_garums)* – uzvedība, kas izpildās cikliski; darbā izmantota gan šī uzvedība bez parametriem, gan ar parametru 1000 ms, kas nozīmē, ka uzvedība izpildīsies reizi sekundē (šī uzvedība nodrošina sistēmas reālā laika darbību);
- *OneShotBehaviour* – uzvedība, kas izpildās tieši vienu reizi.

Uzvedību kopsavilkums pilna emocijās sakņota aģenta gadījumā parādīts 5.2. tabulā. Visu funkciju implementācija nav obligāta. Treknrakstā attēlotas tās uzvedības, kas saistītas ar emocijās sakņota aģenta implementāciju. *InterpretInput* un *LaunchBehaviours* ir specifiski paredzētas pilna emocijās sakņota aģenta darbībai, lai nerastos konflikti darbību izpildē, kad aģentam ienāk dažādi ziņojumi.

5.2. tabula

Uzvedības, kuras piemīt aģentiem, un to atbilstība arhitektūrā definētajām funkcijām

Uzvedības nosaukums	Uzvedības tips	Semantiskā nozīme
<i>InterpretInput</i>	<i>CyclicBehaviour</i>	Ziņojumu saņemšana un notikuma ierakstīšana apstrādes rindā
<i>LaunchBehaviours</i>	<i>CyclicBehaviour</i>	Stimula apstrādes palaišana, ja procesā nenotiek cita stimula apstrāde
<i>EmotionCycle</i>	<i>CyclicBehaviour (1000 ms)</i>	Realizē emocionālā stāvokļa norimšanu, tiek izsaukta tad, ja aģents nerealizē spriešanu
<i>PrimitiveReasoning</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju PRIMĀRĀ-SPRIEŠANA
<i>PrimitiveEmotions</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju PRIMĀRĀS-EMOCIJAS
<i>SecondaryReasoning</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju SEKUNDĀRĀ-SPRIEŠANA
<i>SecondaryEmotions</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju SEKUNDĀRĀS-EMOCIJAS
<i>TertiaryReasoning</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju TERCIĀRĀ-SPRIEŠANA
<i>TertiaryEmotions</i>	<i>Behaviour</i>	Realizē funkciju TERCIĀRĀS-EMOCIJAS
Ar modelējamo jomu saistītas uzvedības, piemēram, pacelt kārti vai izdarīt gājieni	<i>OneShotBehaviour, Behaviour, Cyclic behaviour</i>	Nozīme ir atkarīga no modelēšanas jomas

JADE aģents savu iekšējo stāvokli glabā savos parametros, kas JADE realizēti kā objektu masīvs un tiek izmantoti gan lai aģentam padotu sākotnējos argumentus, gan arī vēlāk, lai glabātu parametru izmaiņas. Šis masīvs un tam atbilstošie objekti apkopoti 5.3. tabulā.

Ziņojumu semantikas nodošanu iespējams realizēt vai nu izmantojot JADE ontoloģijas, vai arī vienkārši nododot nepieciešamo informāciju. Gadījumā, ja ir nepieciešams nodot gan emociju intensitāti, gan emociju tipu, tiek izmantotas JADE ontoloģijas, kas ļauj aģentiem kodēt un dekodēt ziņojumu. Gadījumā, ja tiek pētīta vienas emocijas izplatība, iespējams izmantot ziņojumus bez ontoloģijas mehānisma. Papildus emociju nodošanai, tiek izmantoti arī ziņojumu veidi, kas nepieciešami problēmsfērai specifiskai komunikācijai.

Aģenta parametri

Param. indekss	Semantiskais apraksts	Objekti
0	Satur kontroles plūsmas stāvokli ar trīs parametriem: (1) vai nav kritisks stāvoklis, (2) vai emociju cikls (uzvedības <i>EmotionCycle</i>) ir ieslēgts, (3) vai pašreiz nenotiek spriešana.	Control (boolean Critical, boolean Cycle, boolean BehCycleDone)
1	Atstāts brīvs testēšanas nolūkiem	-
2	Personību aprakstošie parametri OCEAN dimensijās un PAD telpā, kā arī no personības atkarīgais maksimālais ekstrēms (t.i., ekstrēms PAD telpā, kas ir vistālāk no punkta – izmantots emociju dinamikas aprēķinā).	Personality (double O, double C, double E, double A, double N, PAD pers, PAD maxExtreme) PAD – objekta tips, kas apraksta stāvokli PAD telpā: PAD (double P, double A, double D)
3	Parametrā tiek glabātas apstrādājamo vienību saraksts ar <i>Incoming</i> tipa objektiem (šo objektu aģents izveido spriešanas laikā), kas apraksta kairinājumu: vai ir racionāls, vai ir jauns, tā spēku un emocijas tipu (ja tā ir emocija), vai jāapstrādā terciārajā līmenī, vai emocija ir pozitīva, vai kairinājums ir apstrādāts).	Incoming (boolean rational, boolean isNew, double EmotionStrength, char EmotionType, boolean Tertiary, boolean Tag, double Processed)
4	Satur pašreizējā emocionālā stāvokļa aprakstu: emocijas, noskaņojumu, to, cik laika nepieciešams noskaņojuma norimšanai, kā arī emociju vektoru: sarakstu, kas satur tipu, vērtību, atlikušās norimšanas sekundes, kā arī to, vai šī emocija ir bijusi pēdējā katrai no aģenta apstrādājamajām emocijām.	CurrentStateDescription (PAD currentState, PAD mood, double moodTime, EmotionVector [] emoVect) EmotionVector (char Type, double Value, boolean Last, double SecLeft)
5	Satur sekundārā līmeņa BDI realizācijai nepieciešamās datu struktūras, uzskatu kopa (<i>BeliefSet</i>) un nolūku jeb veicamo darbību kopa (<i>IntentionSet</i>) tiek glabāti kā saraksti.	BelDesInt (List BeliefSet, int Desire, List IntentionsSet) BeliefSet sastāv no Belief tipa elementiem Belief (String Type, Object Object) IntentionSet sastāv no Intention tipa elementiem Intention(String Type, Object Object)
6	Rezervēts primārā līmeņa produkciju likumiem	-
7	Satur terciārā līmeņa BDI realizācijai nepieciešamās datu struktūras, uzskatu un nolūku kopa tiek glabāti kā saraksti.	SocBelDesInt (List BeliefSet, int Desire, List IntentionSet) SocialBelief (String Subject, int Type, double Number)
8	Satur argumentus, kas nepieciešami konkrētajai lietotnei, piemēram, rokā esošās kārtis.	Atkarīgs no lietojuma

5.3. Pūļa modelēšanas scenārijs

Pūļa modelēšanas scenārija galvenais mērķis ir demonstrēt, ka, vienkāršojot izstrādāto arhitektūru, to iespējams izmantot arī tādos lietojumos, kur aģentiem nav nepieciešamas visas emocionālās spējas. Šāda vienkārša lietotne arī ļauj demonstrēt izstrādātā risinājuma pamataspektu – makrošablonu atkarību no personības.

Pēc būtības lietojums ļauj modelēt vāji strukturētu aģentu grupu, kur saites starp aģentiem ir interpretējamās ne tikai kā attiecības, bet arī kā sasniedzamība, fiziskais attālums utt. Lietojums demonstrē pūļa emocionālā stāvokļa atkarību no dažādiem parametriem, kā

dalībnieku personība. Tajā pašā laikā lietojumā ir iespēja definēt dažādas struktūras, kas padara to izmantojamu dažādu struktūru pētīšanai makrolīmenī.

5.3.1. Prasību implementācija

Šis lietojums tika izveidots ar mērķi analizēt cilvēku grupas struktūru tās makrolīmenī. Pūli kā cilvēku grupu raksturo tā vājā strukturētība un kognitīvo parametru trūkums, t.i., tajā iesaistītie cilvēki viens otru nepazīst, vai pazīst slikti. Šāda problēmsfēra neatļauj aģentam piemērot visas promocijas darbā izvirzītās prasības aģentu vienkāršības dēļ. Tomēr šī problēmsfēra ļauj demonstrēt cilvēku grupas emocionālā stāvokļa izmaiņu imitācijas atbilstību makrošabloniem.

Attiecīgi lietojumam ir ierobežojumi attiecībā uz šādām prasībām.

Aģenti nerealizē 1. un 4. prasību, jo, lai arī ir modelēti uz daudzu līmeņu ietvara pamata, tomēr faktiskā pārslēgšanās starp līmeņiem nenotiek. Tā kā lietojuma mērķis bija pētīt struktūru vispārīgā gadījumā, nevis modelēt konkrētu scenāriju, tad aģentiem nav nepieciešams kognitīvi novērtēt esošo situāciju.

Saistībā ar 2. un 3. prasību, tā kā aģentam faktiski ir tikai primārais slānis, tad esošās uzvedības bija reaktīvas un vienkāršas, t.i., saņemt emociju, to apstrādāt, un nodot tālāk, neiedziļinoties tās cēloņos. Līdz ar šīs lietotnes kognitīvā aspekta trūkumu, pūļa aģenti nerealizē arī dažādas citas ar kognitīvo stāvokli vai kognitīvā un emocionālā stāvokļa mijiedarbību saistītas prasības: t.i., 5., 7., 8., un 9. prasības. Daļēji implementēta 6. prasība, tā kā aģentu emociju izpaušanas spēks konkrētajā scenārijā saistīts ar emocionālo stāvokli, tomēr emocijas šādā vispārīgā gadījumā nemaina aģenta uzvedību kā tādu – gadījumā, ja modelis tiktu papildināts ar konkrētu scenāriju, šī prasība būtu jāimplementē pilnībā.

Aģenti pilnībā implementē prasības, kas saistītas ar emocionālā stāvokļa aprēķinu, tas ir, 10., 11. un 12. prasību, tomēr nav implementēta noskaņojuma integrācija, tā kā imitācija sastāv no epizodēm, kurās tam nav nozīmes. Aģenta personība tiek modelēta kā viens no parametriem, kas var ietekmēt emociju izplatības šablonus.

13. prasība, apkārtējās vides stimulu novērtēšana, implementēta daļēji, tā kā apkārtējā vide šajā gadījumā ir abstrahēta, un šie stimuli tiek novērtēti tieši, t.i., šajā lietojumā kairinājums tiek definēts kā skaitlis bez semantiskā pamatojuma.

Tā kā pūli starp aģentiem neeksistē attiecības, tad nav realizētas tās prasības, kas attiecas uz statusa un attiecību izmaiņām, tas ir, 14. un 15. prasība. Visbeidzot, skatoties no komunikācijas mehānismu viedokļa, ņemot vērā, ka modelē pūli, ir implementēta tikai neapzinātā emociju paušana un nodošana (16. prasība), kā arī šī procesa atkarība no personības (18. prasība), taču nav implementēta kognitīvā emociju izplatība (17. prasība).

5.3.2. Pūļa modelēšanas lietojuma projektējums

Kopumā lietojuma projektējums atbilst vispārīgajam projektējumam, izņemot tās daļas, kas, balstoties uz prasībām, nav implementētas. Lielākā daļa prasību implementētas ar vispārīgajiem mehānismiem. Specifiskā projektējuma līmenī atbilstoši lietojumā realizētajām prasībām specificēti:

- uzvedības likumi, šajā gadījumā tas ir viens likums, kas liek aģentiem paust emocijas;
- caur saskarni definēti patīkami vai nepatīkami notikumi (attēls 5.8.), tas ir, norādot kairinājuma intensitāti, tiek norādīta arī atbilstošā emocija.
- novērtējuma funkciju specificēšana šajā gadījumā arī īstenota vienkārši, izmantojot saskarni, lietotājam norādot objektīvo kairinājumu (attēls 5.8.).

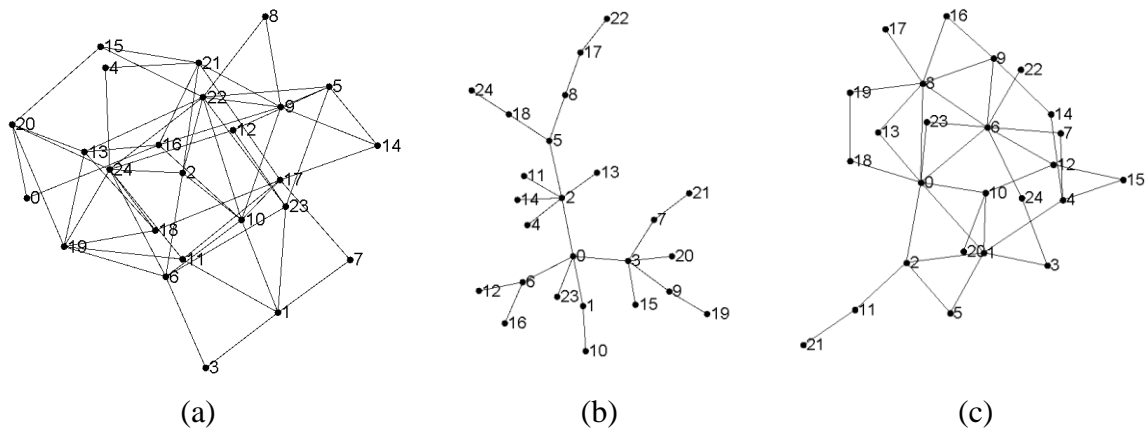
Papildus tam, lietotne saskarnē ir atrodams arī lauks “*Starting agent number*”, kurā norāda to aģentu, kuram ievada objektīvo kairinājumu. Pēc noklusējuma vērtība = 0. Iemesls, kādēļ ir paredzēts šāds lauks: atkarībā no struktūras, var būt, ka modeļa rezultāti atšķiras atkarībā no aģenta, kuram ievada objektīvo kairinājumu – tas ir noderīgi nākotnes pētījumiem.

5.8. attēls. Funkciju specificēšana lietotāja saskarnē.

5.3.3. Pūļa modelēšanas rīks

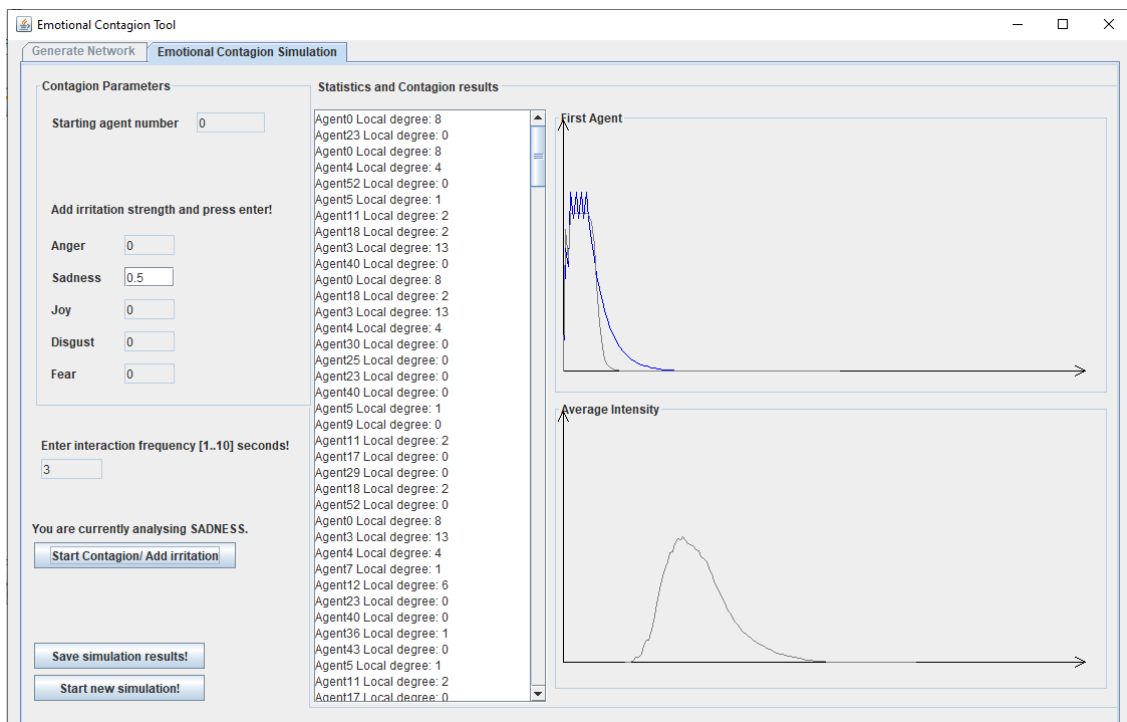
Promocijas darba ietvaros izstrādātais pūļa modelēšanas lietojums sastāv no divām daļām: dažādu pūļa struktūru ģenerēšanas un emociju izplatības modelēšanas.

Pūļa struktūra modelēta, balstoties uz grafu, kur loks nozīmē, ka starp aģentiem ir saistība. *Saistība* semantiski nozīmē to, ka starp aģentiem ir komunikācijas kanāls, kas emociju izplatības kontekstā norāda, ka pastāv varbūtība, ka emocija izplatīsies no viena aģenta uz otru. Struktūras jeb grafa ģenerēšanas fāzē ir iespēja uzģenerēt grafu, kur loki (t.i., saistība) starp virsotnēm tiek uzģenerēti ar noteiktu varbūtību. Praktiski tas nozīmē to, ka, piemēram, ģenerējot grafu ar varbūtību 0,3, vidēji tas saturēs 30% no maksimālā iespējamā loku daudzuma. Šāda struktūra atbilst pūlim, taču, lai modelētu, piemēram, sociālo tīklu struktūru, daudz atbilstošāka ir ar priekšrocības pievienošanas algoritmu ģenerēta struktūra, tādēļ rīkā var uzģenerēt arī šāda veida struktūru. Šeit ir realizēts Alberta-Barabasi algoritms (Barabasi & Albert, 1999), kas pēc varbūtības principa noģenerē sākotnējo grafu, un pēc tam pievieno nākošās virsotnes, ar lielāku varbūtību savienojot jauno virsotni ar to virsotni, kurai jau ir vairāk savienojumu (lielāka lokālā pakāpe). Dažas no ģenerētajām struktūrām ir parādītas 5.9. attēlā.



5.9. attēls. (a) Ar varbūtību palīdzību ģenerēts grafs ar 20 virsotnēm; (b) Ar priekšrocības pievienošanas algoritma palīdzību ģenerēts grafs, katrā solī pievienojot 1 lokus; (c) Ar priekšrocības pievienošanas algoritma palīdzību ģenerēts grafs, katrā solī pievienojot 1 vai 2 lokus.

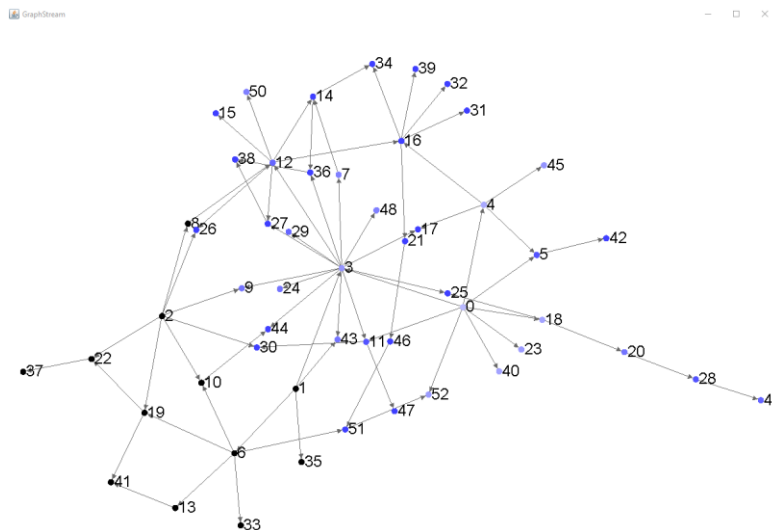
Tālākā emociju izplatības modelēšana notiek, balstoties uz kādu no grafu struktūrām, kas no datnes ielādējamas rīkā (rīka lietošanas pamācība ir 4. pielikumā). Visi aprēķini un manipulācijas ar pūļa struktūru notiek ar blakusvirsotņu matricu palīdzību. Viena no šādām manipulācijām ir matricas pārveidošana par trīsstūrveida matricu vienvirziena komunikācijas iegūšanai.



5.10. attēls. Skumju modelēšana rīkā “Emotional Contagion Tool”

Virzienam nav lielas nozīmes ar varbūtību palīdzību ģenerētā grafa gadījumā, taču modelējot struktūru, kas ģenerēta ar priekšrocības pievienošanas algoritma palīdzību, tas var palīdzēt noteikt centrālā elementa ietekmi uz tīklu kopumā gadījumā, ja centrālais elements pauž emocijas, taču tās neuzņem. Balstoties uz grafa struktūru, tiek ģenerēta DAS. Tālākā

imitācija implementēta kā komunikācija starp aģentiem. Lietotāja ērtībām izveidota dinamiska saskarne ar vidējās emociju intensitātes un viena aģenta emocionālā stāvokļa dinamikas atspoguļojumu (5.10. attēls) un grafa dinamisku attēlojumu (5.11. attēls).



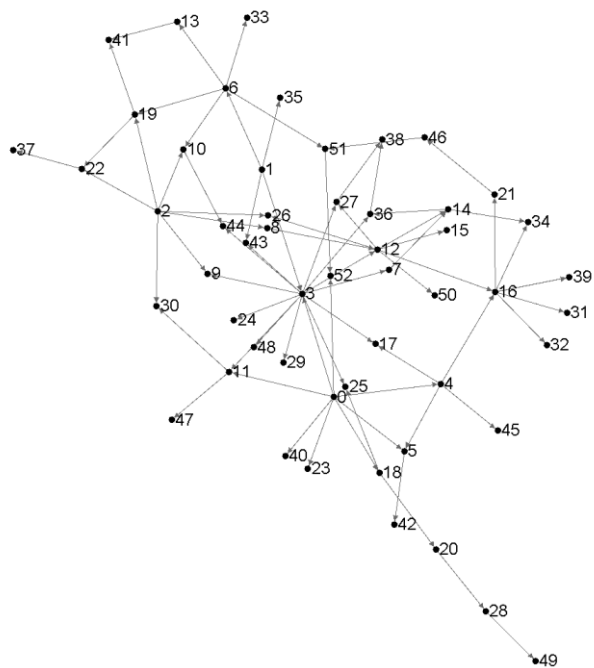
5.11. attēls. Emociju dinamikas attēlojums vienā laika momentā grafā “Emotional Contagion Tool”; ar dažādu toņu zilajiem – emociju intensitāte (jo tumšāks zilā tonis, jo intensīvāka emocija, ar melnu – emociju intensitāte = 0).

5.3.4. Ar pūļa modelēšanas lietojumu saistītie rezultāti

Rīkā ir iespējams modelēt piecas pamatemocijas, un šo piecu pamatemociju vidējās emociju intensitātes izmaiņas struktūrai, kas parādīta 5.12. attēlā, redzama 5.13. attēlā. Konkrētais grafs ir orientēts, tātad komunikācija atbilst vienvirziena komunikācijai un emocijas pakāpeniski norimst. Kā N un E vērtības izvēlētas cilvēku grupas, kas aprakstīta (Verduyn et al., 2009) vidējās vērtības, mijiedarbības biežums: 3 sekundes.

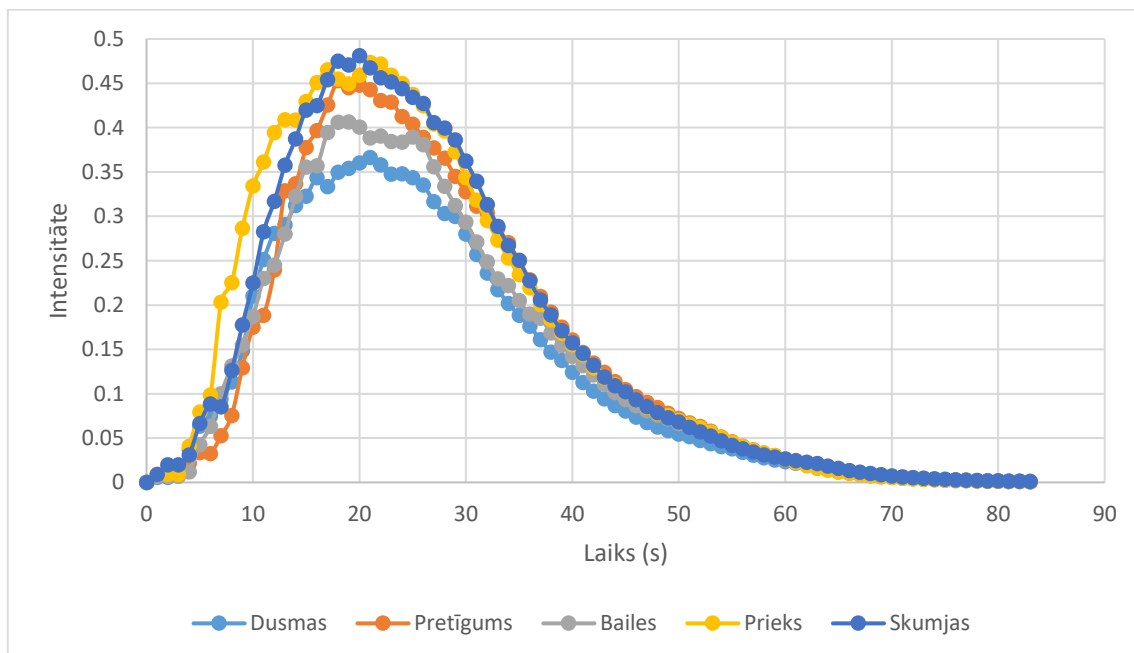
Ar rīkā veiktajām imitācijām arī demonstrēts, kā mainās emociju dinamika pie dažādiem personības ierobežojumiem, ir būtiski tas, ka pie dažādiem personības parametriem nemainās emocijas izplatības šablona kopējais raksturs, taču atšķiras emociju intensitāte (5.13. attēls). Šīs atšķirības ir izskaidrojamas ar to, ka mainās gan aktivizācijas, gan izpausmes funkcijas.

Viens no ierobežojumiem konkrētajam rīkam ir tāds, ka tajā izmantotie personības un dusmu izpausmju koeficienti balstās uz vienas grupas rādītājiem (Verduyn et al., 2009). Ņemot vērā, ka šī grupa ir vienas konkrētas jomas – psiholoģijas – studenti, ir ticams, ka šī grupa nav pietiekami daudzveidīga, lai reprezentētu populāciju kopumā. Balstoties uz promocijas darba 4. nodaļā definēto metodi, koeficientus iespējams pārrēķināt, ņemot vērā citu grupu rezultātus, kā tas ir izdarīts dusmām, balstoties uz (Pease & Lewis, 2015).



5.12. attēls. Grafa struktūra eksperimentu veikšanai.

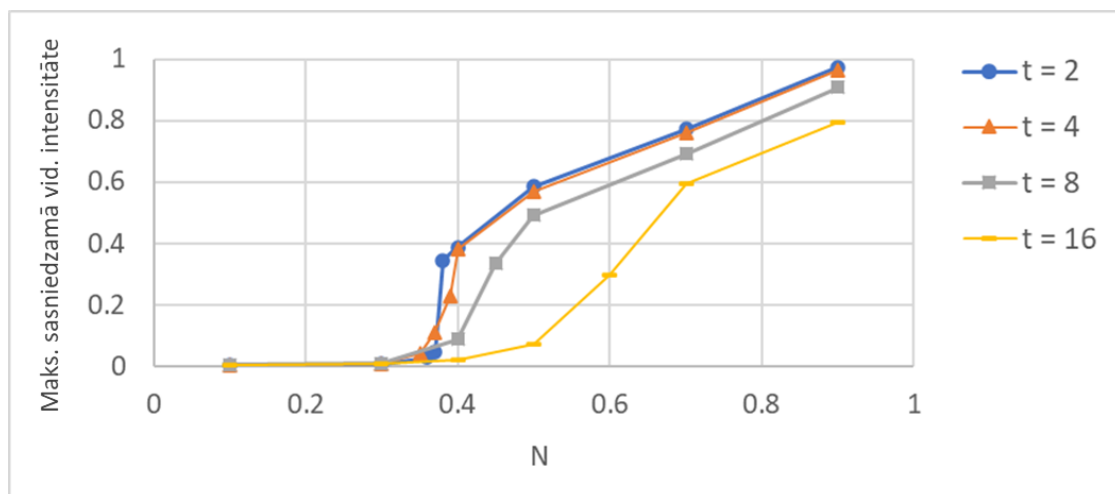
Emociju kvalitatīvo atšķirību dēļ atsevišķi pētīta viena emocija, dusmas. Par šo tēmu, izmantojot šo rīku un imitācijas modeli, ir izdotas arī 3 publikācijas kuras attiecīgi apraksta rīka projektējumu (Pudāne et al., 2017), dusmu izplatības šablonu analīzi atkarībā no komunikācijas biežuma un personības ietekmes (Pudāne et al., 2018) un emociju izplatību dažādās grafa struktūrās (Pudāne et al., 2020).



5.13. attēls. Dažādu emociju intensitāte vidēji pūlī – viens eksperiments katrai emocijai. Izmantotie parametri $N = 0,48$, $E = 0,63$, vidējais komunikācijas biežums (t.i., cik bieži vidēji aģents nodos emocijas citam aģentam) – 3 sekundes, kairinājums ar intensitāti 0,5 piecas reizes ar sekundes starpību, aģents, kuram dota ievade (“Starting agent number”) – 0.

2018. gada publikācijā (Pudāne et al., 2018) dusmu izplatības analīze veikta no 2 skatupunktiem: tā, kā N ietekmē maksimāli sasniedzamo vidējo pūļa dusmu līmeni (5.14. attēls) un tā, kā mijiedarbības laiks ietekmē maksimāli sasniedzamo vidējo pūļa dusmu līmeni (5.15. attēls). Eksperimenti tika veikti līdzīgi kā iepriekš – piecas reizes kairinot aģentu ar 3 sekunžu intervālu un dusmu vērtību 0,5. Aģentu tīkls jeb pūļa struktūra bija orientēta un sastāvēja no 52 virsotnēm, tika ģenerēta ar priekšrocības pievienošanas grafa palīdzību un katrā solī tika pievienoti 1 vai 2 loki.

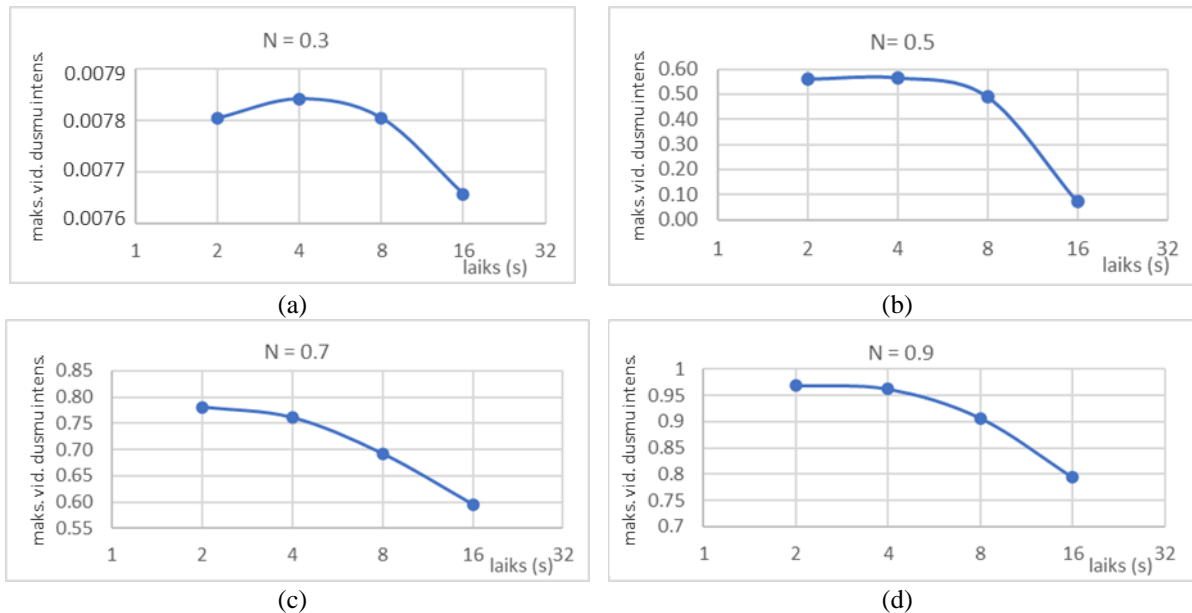
Aģentiem tika mērīta maksimāli sasniedzamā vidējā pūļa emocijas intensitāte – t.i., katrā laika momentā tika izgūta vidējā intensitāte no visiem aģentiem un šajās vidējās intensitātēs noteikts maksimums. 5.14. attēlā ir redzams, ka maksimāli sasniedzamās vidējās dusmu intensitātes atkarība no N ir sigmoīda. Tas sasaucas ar to, ka arī katra individuālā aģenta dusmu intensitāte modelēta kā sigmoīda, lai arī sigmoīdas parametru izmaiņas viena aģenta ietvaros atkarībā no N ir lineāras. Būtiski ir tas, ka šis sigmoīdas stāvums ir atkarīgs ne vien no N , bet arī no komunikācijas biežuma – gadījumā, kad komunikācijas biežums ir 2 sekundes, sigmoīda ir tik stāva, ka faktiski ir interpretējama kā sliekšņa funkcija. Saskaņā ar Pīsa un Lūisa (Pease & Lewis, 2015) veikto pētījumu, šis sliekšnis ir turpat, kur ir vidējā N vērtība. Var secināt, ka dusmu intensitāte strauji aug, ja N grupā ir virs vidējās populācijas vērtības.



5.14. attēls. Maksimāli sasniedzamās vidējās dusmu intensitātes atkarība no neirotizma (N) pie dažādiem komunikācijas biežumiem (t).

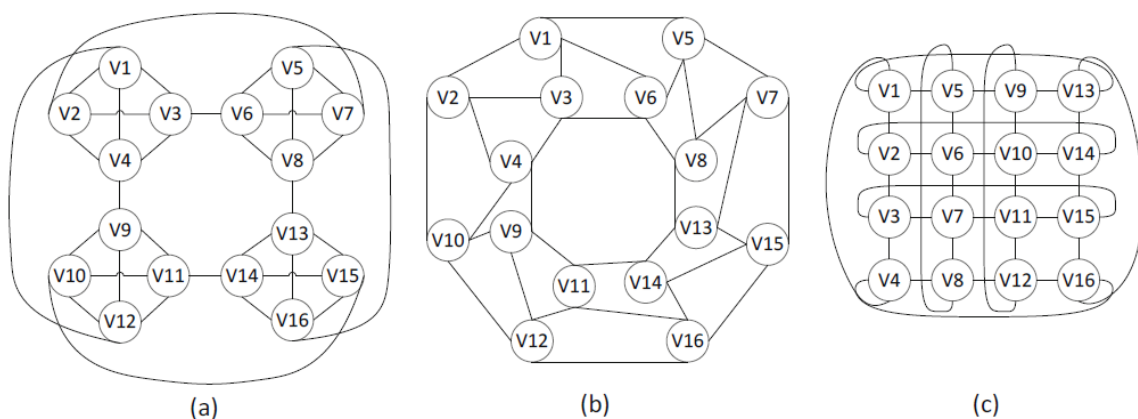
5.15. attēlā ir redzama maksimāli sasniedzamās vidējās emocijas intensitāte atkarība no dažādiem vidējiem komunikācijas biežumiem pie dažādiem N līmeņiem. Rezultātos redzams, ka komunikācijas biežumam esot no 2-4 sekundēm, maksimāli sasniedzamā vidējā dusmu līmeņa vērtība ir tāda pati vai pat pakāpjas, kad komunikācijas biežums sasniedz 4 sekundes, taču pēc tam šī vērtība strauji krītas. Viens no šī pētījuma ierobežojumiem ir tas, ka psiholoģijā trūkst pētījumu, kas ļautu apstiprināt vai noliegt šos iegūtos šablonus – un šis ir vēl viens piemērs, kas demonstrē, ka starpdisciplināros pētījumos ir nepieciešama dažādu jomu sadarbība. Pētījuma ietvaros tika izslēgti tie cēloņi, kas saistīti ar modeļa implementāciju vai nejaušību, eksperimentus atkārtojot vairākkārt.

Veicot šos eksperimentus, tika novērots, ka parasti viens un tas pats aģents palika kā pēdējais ar emocionālo stāvokli, kas lielāks par 0. Šis novērojums lika secināt, ka dusmu izplatība ir atkarīga no aģentu komunikācijas struktūras, tādēļ tālākie pētījumi tika saistīti ar pūļa struktūru.



5.15. attēls. Maksimāli sasniedzamās vidējās pūļa dusmu intensitātes atkarība no komunikācijas biežuma (t) pie dažādiem neirotizma līmeņiem (N).

Pētījumā (Pudāne et al., 2020) ir apskatītas trīs dažādas grafa struktūras, kurām ir vienāds virsotņu un loku skaits, taču atšķirīga struktūra (5.16. attēls): toroīds grafs, grupās saistīts grafs un lentes veida grafs. Pētījuma mērķis bija salīdzināt, kā dažādas pūļa struktūras var ietekmēt emociju izplatības parametrus: maksimāli sasniedzamo vidējo aģentu emocionālo intensitāti un to, cik drīz šī maksimālā vidējā emocionālā intensitāte tiek sasniegta.

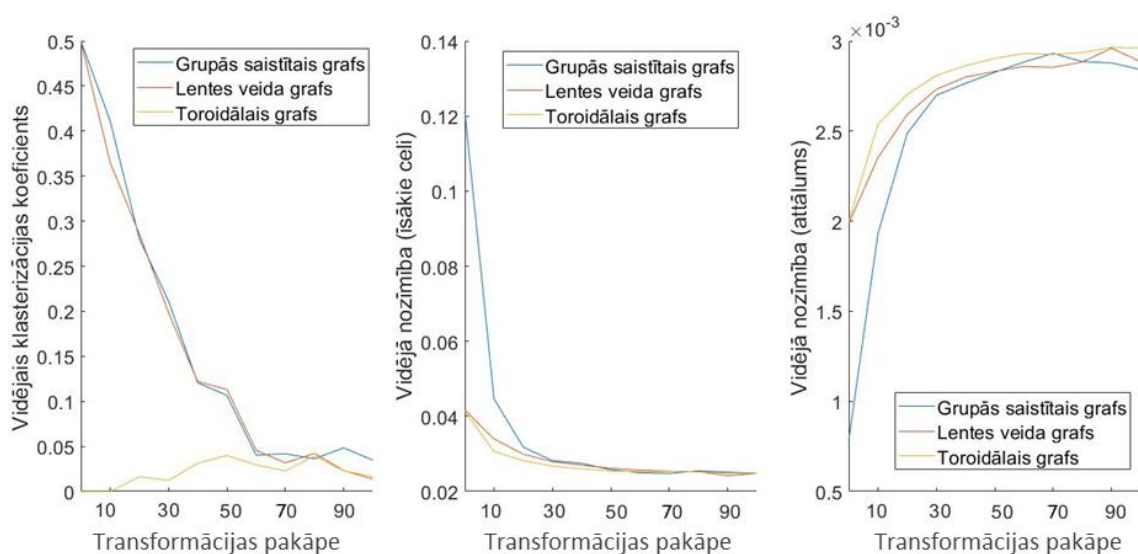


5.16. attēls. Trīs vienmērīgās grafu struktūras. (a) – grupās saistīts grafs, (b) – lentes veida grafs, (c) – toroidālais grafs.

Šīs trīs struktūras ir arī vienmērīgas, t.i., tām brīvi iespējams pievienot virsotnes, lai iegūtu struktūru ar tādiem pašiem kvantitatīvajiem rādītājiem (piemēram, klasterizācijas koeficientu).

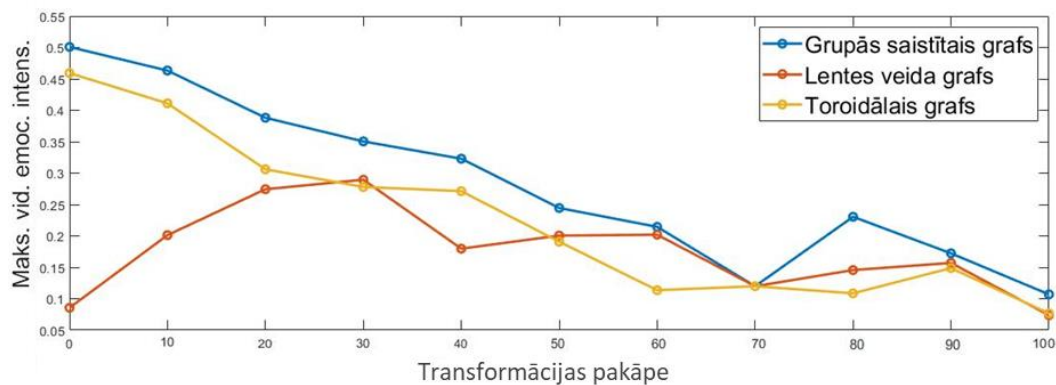
Pēc tam šīm struktūrām pakāpeniski tika veikta loku transformācija, t.i., nemainot kopējo loku skaitu, lokiem tika nomainīta viena no gala virsotnēm uz citu – sākotnēji 10% loku, tad 20% loku utt.; tās sauc par transformācijas pakāpēm. Katrai no transformācijas pakāpēm tika uzģenerēti 10 grafi, lai mazinātu nejaušības ietekmi – kopā tika iegūta 303 grafu kopa).

Tālāk tika meklēts labākais mērs, lai prognozētu emociju izplatību. Tādēļ vispirms tika aprēķināti dažādi grafu raksturojoši lielumi, kas tika izvēlēti tā, lai tie attiektos uz grafa saistību (vidējais klasterizācijas koeficients), grafa virsotņu nozīmību, skatoties no īsāko ceļu viedokļa (vidējā virsotņu nozīmība, aprēķināta ar vienu metodi (angļu val. *betweenness centrality*), kā arī uz virsotņu attālumu no citām virsotnēm (vidējā virsotņu nozīmība, aprēķināta ar citu metodi (angļu val. *closeness centrality*)). Visu trīs lielumu atkarība no transformācijas pakāpes parādīta 5.17. attēlā.

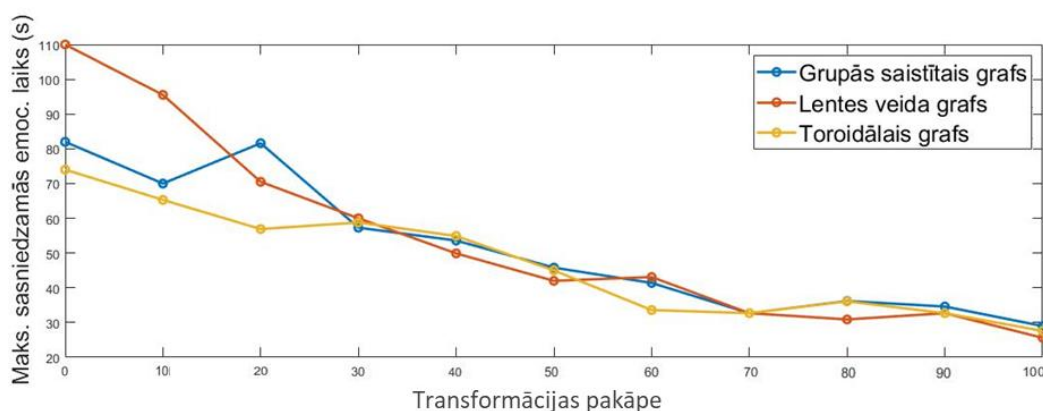


5.17. attēls. Visu trīs grafus raksturojošo parametru izmaiņa pie dažādām transformācijas pakāpēm.

Tālāk katrs no grafiem tika izmantots kā pūļa struktūra, izmērot divus mainīgos: (1) maksimāli sasniedzamo vidējo dusmu intensitāti katrai no transformācijas pakāpēm (5.18. attēls) un (2) laika momentu, kad šī augstākā emociju pakāpe tiek sasniegta (5.19. attēls). Balstoties gan uz parametru aprēķinu, gan imitācijas modeļa rezultātiem, var secināt, ka grafi zaudē savas vienmērīgo grafu īpašības gadījumā, ja ir transformēti 20%-25% no visiem lokiem. Analizējot maksimāli sasniedzamo vidējo emociju intensitāti attēlos 5.18. un 5.19., un to salīdzinot ar 5.17. attēlā redzamajiem grafu raksturojošo lielumu atkarībām no transformācijas pakāpes, secināts, ka aizkavi vislabāk novērtēt ar vidējo nozīmību, kas aprēķināta, izmantojot īsākos ceļus. Interpretācija: jo vairāk īsākajos ceļos vidēji virsotnes ietilpst, jo tiks sasniegta augstāka emocija. Otrkārt, emociju aizkavi tīklā (t.i. laika momentu, kad tiks sasniegta augstākā emocijas intensitāte) vislabāk prognozēt ar apgrieztas vidējās nozīmības, kas noteikta, izmantojot attālumus, palīdzību. To var interpretēt šādi: jo lielāki attālumi starp virsotnēm, jo ilgāk paies, pirms vidējā emociju intensitāte būs sasniegusi maksimālo punktu.



5.18. attēls. Maksimāli sasniedzamās vidējās emocijas intensitāte pie dažādām transformācijas pakāpēm.



5.19. attēls. Maksimāli sasniedzamās vidējās emocijas intensitātes aizkave (laiks) pie dažādām transformācijas pakāpēm.

Balstoties uz imitācijas rezultātiem, var secināt, ka tieši uz ceļiem balstītie raksturlielumi ir tie, kas korelē ar emociju izplatību, nevis, piemēram, grafa klasterizācijas pakāpe. Tas nozīmē, ka emociju dinamika tīklā lielā mērā atkarīga no tīkla izmēra, un arī vidējā emociju intensitāte lielos tīklos var sasniegt maksimālo punktu ilgi pēc faktiskā sākotnējā kairinājuma.

Promocijas darbā tālāk nav pētīta grupas makrošablonu un to raksturojumu atkarība no komunikācijas biežuma un grafa struktūras, taču šie pētījumi demonstrē to, ka izstrādāto rīku iespējams izmantot kā imitācijas rīku dažāda veida eksperimentiem.

Saistībā ar promocijas darbu, šī lietotne tieši demonstrē, ka primitīvās izplatības mehānismi darbojas tiem paredzētajā veidā gan atkarībā no personības, gan atkarībā no emocijas.

5.4. Galda spēles scenārijs

Galda spēles scenārijs implementēts, lai demonstrētu tās emocijās sakņotu aģentu grupas uzvedības, kuras nav iespējams nodemonstrēt puļā modelēšanas scenārijā. Būtiski ir tas, ka promocijas darba rezultātu iegūšanai ir implementēta tikai daļa no galda spēles imitācijai pilnībā nepieciešamajām lietām. Tas skaidri norādīts šajā nodaļā pie attiecīgajām funkcijām.

5.4.1. Spēles laukums un nosacījumi

Galda spēles “Uno” kāršu kavā ir 108 kārtis. Spēles sākumā katram spēlētājam ir noteikts kāršu skaits (spēlētāji neredz citu spēlētāju kārtis), un viena kārts tiek novietota galda vidū. Promocijas darbā izsekojamības dēļ katram spēlētājam sākumā izdala 3 kārtis.

Katrai no “Uno” kārtīm ir krāsa (dzeltena, sarkana, zila, zaļa un melna), un cipars vai darbība. Kopumā kavā ir pa divām kārtīm no dzeltenās, sarkanās, zilās un zaļās krāsas cipariem no 1 līdz 9, un viena kārts šajās pašās krāsās ar ciparu 0 (4 krāsas * (2 kārtis * 9 cipari) + 4 nulles = 76 kārtis). Papildus tam ir darbības kārtis: likt nākošajam spēlētājam izlaist gājienu, pacelt divas kārtis, vai arī nomainīt spēlēšanas virzienu. Arī šīs kārtis ir dzeltenā, sarkanā, zilā un zaļā krāsā, katrā krāsā divas viena veida kārtis (4 krāsas * (2 kārtis * 3 darbības) = 24 kārtis). Turklāt ir divas melnā tipa kārtis, no katras pa četrām kārtīm (2 tipi * 4 kārtis = 8 kārtis). Pirmā tipa melnās kārtis spēlētājam, kas to uzliek, ļauj nomainīt pašreizējo krāsu uz jebkuru citu, un otrā tipa melnā kārts papildus krāsas maiņai liek nākošajam spēlētājam pacelt četras kārtis.

Spēlētāji pēc kārtas izdara gājienu, un spēles mērķis ir atbrīvoties no kārtīm, līdz ar to uzvar spēlētājs, kas atbrīvojas no visām kārtīm. Spēlētāji arī tiecas samazināt rokā esošo punktu skaitu, jo tad, kad viens no spēlētājiem ir atbrīvojies no kārtīm, tālākās vietas nosaka, skaitot punktus, un augstākas vietas ieņem tie spēlētāji, kam ir mazāk punktu. Par kārtīm pienākas šādi punktu skaiti:

- par melnajām kārtīm – 50 punkti;
- par 0-9 kārtīm – tik punkti, cik liels ir cipars uz kārts;
- par citām darbības kārtīm – 20 punkti.

Spēlētāji izdara gājienu, balstoties uz šādiem nosacījumiem:

- spēlētājs uzliek melnu kārti, vai arī vai nu tādā krāsā, vai ar tādu ciparu, kāda ir iepriekšējā kārts. Ja spēlētājam šādas kārts nav, viņš paceļ kārti no kavas, un to drīkst arī uzreiz izspēlēt, ja tā atbilst gājiena nosacījumam;
- ja iepriekšējais spēlētājs izspēlē kārtis “izlaist gājienu”, “pacelt divas kārtis”, vai “pacelt četras kārtis”, spēlētājam nav iespēju izvēlēties un jāveic darbība, ko nosaka kārts;
- melnās kārtis drīkst novietot uz jebkuras krāsas un vērtības kārtīm, ja vien spēlētājam ir iespēja izvēlēties, ko viņš savā gājienu dara. Izspēlējot melno krāsu, spēlētājam ir jāizvēlas, kādu krāsu jāliek nākošajam spēlētājam.

Papildus tam ir nosacījums, ka tad, ja spēlētājam paliek viena kārts, tad viņam noteikti ir jāpasaka “Uno!”. Ja spēlētājs to neizdara un citi spēlētāji pamana, ka viņam ir viena kārts, pirms spēlētājs nākošajā aplī to paspējis izlikt, spēlētājam jāpaceļ 3 kārtis.

Lietotnē ir 6 aģenti, kuri savā starpā spēlē Uno. Testēšanas ērtības labad centrā ir redzams saraksts ar izspēlētajām kārtīm, kā arī aģenti, kas šīs kārtis ir izspēlējuši (5.20. attēls). Laukā zem aģenta vārda var redzēt tam esošās kārtis. Piemēram, aģentam Ana ir divas kārtis: dzeltena kārts, kas ļauj nomainīt virzienu un dzeltena parasta kārts ar numuru 3. Logā vidū var redzēt spēles secību. Pirmā rindiņa, “Base 9” apzīmē kārti, kas sākumā novietota galda vidū. Pēc tam aģents Ana ir izspēlējis melno kārti “Pacelt četras kārtis” un izvēlējis zilu krāsu kā aktīvo krāsu. Aģents Gita ir pacēlis četras kārtis – attiecīgi nav uzliktās kārts, ir tikai aģenta vārds. Arī tālāk katra rindiņa atbilst vienam gājienu.



Apzīmējumi saskarnē:

W – aģentam ir rokā (vai ir izspēlēta) melnā kārta bez 4 kāršu pacelšanas; izspēlētas melnās kārta gadījumā “W” ir krāsā, ko izvēlēties aģents

+4 – aģentam ir rokā (vai ir izspēlēta) melnā kārta ar 4 kāršu pacelšanu; izspēlētas melnās kārta gadījumā “+4” ir krāsā, ko izvēlēties aģents

Nav kārta izspēlē – aģents pacēlis kārta vai izlaidis gājieni

↔ – mainīt spēles virzienu

5.20. attēls. Spēles “Uno” saskarne.

5.4.2. Specifiskais projektējums

Galda spēles scenārijs ir implementēts, balstoties uz iepriekšējā nodaļā aprakstīto vispārīgo projektējumu, šeit koncentrējoties uz jomai specifisku funkciju implementēšanu (saskaņā ar 4.1. prasību tabulu). No emocijām neatkarīgās darbības ir gājiena izdarīšana, kas ir svarīga spēles norisei.

Patīkamie un nepatīkamie notikumi, produkcijas likumi

Patīkamo, nepatīkamo notikumu un produkcijas likumu definēšana saistīti ar primāro arhitektūras līmeni. Promocijas darbā vairākkārt minēts, ka primārais līmenis darbojas brīžos, kad situācija ir saistīta ar aģenta izdzīvošanu, vai arī ir neskaidra. Tā kā gan aģenta saņemto emociju tipu, gan gājieni galda spēles scenārijā ir zināmi, tad šajā līmenī aģents neveic nekādas darbības.

Apstrādājamo vienību skaits (fiziska spēju ierobežošana)

Teorētiski apstrādājamo vienību skaits būtu implementējams caur apstrādājamo uzskatu daudzumu, taču faktiski tas nav nepieciešams, jo aģentiem nav “ķermeņa”, vai arī sarežģītas stratēģijas, kuras dēļ šim parametram būtu nozīme.

Uzvedību specificēšana PAD un arhitektūras līmeņos

Aģentam Uno ir pieejamas vairākas iespējamās izvēles, ko darīt. Jau iepriekš promocijas darbā minēts, ka nav konkrētu vadlīniju par to, kādas darbības būtu jāizvēlas konkrētos oktantos, izņemot ļoti vispārīgus norādījumus, piemēram, aģents labi mācās pozitīvā emocionālā stāvoklī, vai arī aģents tiecas palīdzēt citiem aģentiem pozitīvā un zemas dominances emocionālā stāvoklī. Šī iemesla dēļ katrai no zemāk uzskaitītajām nodarbībām ir pieejams pamatojums.

1. *Emociju spontānā izrādīšana* atkarībā no emocionālā stāvokļa, kas nepieciešams arī primitīvajai emociju izplatībai – pieejama visos līmeņos.

2. *Parastās kārts izlikšana* – t.i., aģents izspēlē kārti, kas citam aģentam nekaitē; aģentam jābūt zemas dominances emocionālā stāvoklī (D-).
3. *Speciālās kārts uzlikšana* – aģents izspēlē kārti, kas citam aģentam kaitē vai nu neatļaujot veikt darbību, vai arī liekot pacelt papildus kārtis. Aģents darbību veic augstas dominances emocionālā stāvoklī (D+).
4. *Melnās kārts izlikšana un krāsas nosaukšana* – aģents izspēlē kārti, kas citam aģentam kaitē vai nu neatļaujot veikt darbību, vai arī liekot pacelt papildus kārtis. Aģents darbību veic augstas dominances emocionālā stāvoklī (D+).
5. *Uzskatu atjaunināšana par aģentu kāršu skaitiem* – šie uzskati nav obligāti nepieciešami spēles realizācijai; tie ir saistīti ar mācīšanos, tāpēc aģenti šo darbību veic pozitīvā un mierīgā emocionālā stāvoklī (P+A-) – nav implementēts, jo nav nepieciešams promocijas darba rezultāta iegūšanai.
6. *Teikt Uno* – šo darbību aģents veic mierīgā emocionālā stāvoklī, pieņemot, ka uztraukumā to var neizdarīt (A-).
7. *Pateikt citam aģentam, ka viņš nav minējis Uno* – augsta dominance, jo šī darbība ir īpaši nelabvēlīga citam aģentam, un orientēta uz neļaušanu aģentam uzvarēt (D+) – nav implementēts, jo nav nepieciešams promocijas darba rezultāta iegūšanai.
8. *Atjaunināt sociālos uzskatus* – darbība tiek veikta terciārajā līmenī visos noskaņojumos. Jāņem vērā, ka aģents maina uzvedību atkarībā no emocionālā stāvokļa, ja tam ir izvēle. Var būt situācija, kad aģentam šādas izvēles nav, jo ir tieši viena kārts, ko aģents var uzlikt, saskaņā ar spēles noteikumiem.

5.3. tabula

Uzvedību sadalījums dažādos PAD telpas oktantos un arhitektūras slāņos

<i>PAD noskaņojuma oktants</i>	<i>Primārais līmenis</i>	<i>Sekundārais līmenis</i>	<i>Terciārais līmenis</i>
P+A+D+	-	1,3,4,7	1,8
P+A+D-	-	1,2	1,8
P+A-D+	-	1,3,4,5,6,7	1,8
P+A-D-	-	1,2,5,6	1,8
P-A+D+	-	1,3,4,7	1,8
P-A+D-	-	1,2	1,8
P-A-D+	-	1,3,4,6,7	1,8
P-A-D-	-	1,2,6	1,8

Plānošana, apmācības biežums un mācīšanās metode

Sekundārajā līmenī aģenta darbības, tajā skaitā arī plānošana un mācīšanās, tiek realizētas caur BDI mehānismu – kaut arī konkrētajā implementācijā šīs spējas ir ierobežotas. Abas no šīm funkcijām galda spēles aģentā ir vienkāršotas. Aģents neplāno tālāk par vienu gājieni. Savukārt mācīšanās biežuma un satura regulēšana sekundārajā līmenī notiek caur uzskatu atjaunināšanu.

Aģenta uzskatu kopa sekundārajā līmenī sastāv no uzskatiem par to, kādas kārtis ir pašam aģentam un cik kāršu ir citiem aģentiem, kā arī to, vai aģentiem ir sācies pēdējais aplis,

un vai kādam aģentam ir viena kārts. Uzskati ir kodēti formā <Tips, Objekts>. Tipiem var būt šādas vērtības:

- *Have* – aģentam ir kārts, kas tiek glabāta mainīgā *Objekts* vērtībā;
- *Uno* – aģentam, kura vārds ir mainīgā *Objekts* vērtībā, ir viena kārts;
- *None* – aģentam, kura vārds ir mainīgā *Objekts* vērtībā, vairs nav kāršu;
- *Has* – mainīgā *Objekts* vērtībā ir aģenta vārds un kāršu skaits, cik šim aģentam ir. Aģenta vēlmju kopā sekundārajā līmenī ir trīs vēlmes:
- atbrīvoties no kārtīm (apzīmējums: *NC*) – normālais spēles režīms;
- atbrīvoties no punktiem (*NP*) – pēdējais aplis tad, ja kādam no aģentiem nav kāršu (atrusts uzskats *None*);
- neļaut uzvarēt citam aģentam (*NAW*) – tad, ja kādam no aģentiem ir viena kārts (atrusts uzskats *Uno*) un ja aģents var ietekmēt aģentu, kuram ir palikusi viena kārts. Šajā gadījumā aģents neņems vērā emocionālo stāvokli un attiecības.

Aģenta nodomu kopa tiek ģenerēta, balstoties uz uzskatu kopu un noskaņojumu. Katrs nodoms, līdzīgi kā uzskats ir kodēts formā <Tips, Objekts>. Kopā var būt šādi nodomu tipi, kas reprezentē konkrētas darbības:

- *Play* – izspēlēt parastu kārti, kas atrodama laukā *Objekts*;
- *PlayChColor* – izspēlēt kārti, kas nomaina krāsu, kas atrodama laukā *Objekts*;
- *PlayChDirection* – izspēlēt kārti, kas nomaina virzienu, kas atrodama laukā *Objekts*;
- *PlayPass* – izspēlēt kārti, kas liek izlaist gājienu, kas atrodama laukā *Objekts*;
- *PlayPlus2* – izspēlēt kārti, kas liek pacelt 2 kārtis (atrodama laukā *Objekts*);
- *PlayPlus4* – izspēlēt kārti, kas liek pacelt 4 kārtis (atrodama laukā *Objekts*);
- *NoMove* – aģents neveic nekādu gājienu;
- *SayUno* – teikt *Uno*;
- *NoUno* – teikt kādam aģentam, ka tas nav pateicis *Uno*, aģenta vārds atrodams laukā *Objekts*;
- *ShowEmotions* – izpaust emocijas ar mērķi mainīt kāda cita aģenta darbību, laukā *Objekts* atrodams aģents, kuram emocijas demonstrēt.

Katrā spriešanas ciklā sekundārajā līmenī aģents veic šādas darbības:

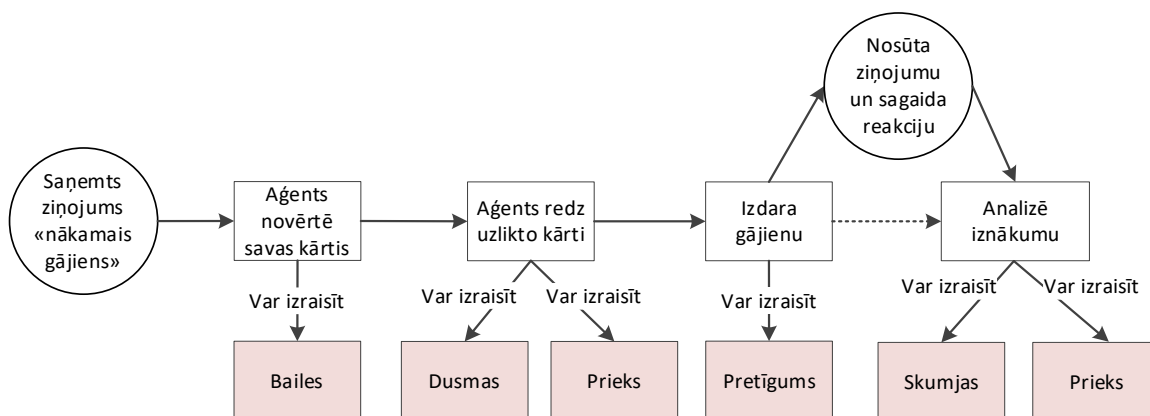
- uzskatu atjaunināšana saskaņā ar jaunajiem iegūtajiem parametriem, t.i., aģenta kārtīm un citu aģentu kāršu skaitu;
- ņemot vērā jaunus uzskatus, tiek ģenerētas vēlmes;
- ņemot vērā pašreizējo vēlmi, aģents izvēlas darbību, kas attiecīgi vai nu ļaus aģentam atbrīvoties no kārtīm, ļauj atbrīvoties no visvairāk punktiem, vai arī neļauj uzvarēt vienam no aģentiem. Aģents ņem vērā arī noskaņojumu, izvēloties veicamo darbību.

Terciārajā līmenī aģenta uzskati tiek kodēti formā <Aģents, Tips, Vērtība>, kur *Aģents* – aģenta identifikators, uz kuru attiecas uzskats, *Tips* – apzīmē to, vai uzskats attiecas uz statusu vai attiecībām, *Vērtība* – attiecīgi statusa vai sociālo attiecību vērtība.

Specifiskais projektējums: novērtējuma funkcijas

Jau iepriekš minēts, ka aģents spēles situāciju novērtē, balstoties uz pamatemocijām, līdz ar to novērtēšana notiek sekundārajā un terciārajā līmenī, izlaižot primāro līmeni. Emociju

novērtēšana ir balstīta uz OCC modeli un tas, kādā secībā tiek novērtētas emocijas, redzams 5.21. attēlā. Pēc tam, kad aģents saņem ziņojumu, ka tam būs nākošais gājiens (t.i., starp aģenta gājienu un pašreiz uzlikto kārti ir vēl viena aģenta gājiens), aģentam var izraisīties bailes. Pēc tam, kad iepriekšējais aģents veic gājienu, atkarībā no tā, vai šis gājiens ir labvēlīgs, var izraisīties dusmas vai prieks. Kad aģents izdara savu gājienu, ja tas paceļ kārtis, kas nav labvēlīgas, var rasties pretīgums. Visas iepriekšminētās emocijas rodas sekundārajā līmenī. Visbeidzot, atkarībā no uzliktās kārts, terciārajā līmenī izraisās skumjas vai prieks.



5.21. attēls. Emociju novērtēšana. Baltā aplī – ar citu aģentu saistītas darbības, baltā taisnstūrī – aģenta darbības, tonētā taisnstūrī – izraisītās emocijas. Bultas bez uzraksta norāda plūsmu, pārtraukta bulta norāda darbību secību aģenta iekšienē, ja starp darbībām nav tiešas plūsmas.

Katrai emocijai ir savs intensitātes aprēķins. Promocijas darba rezultātu demonstrēšanai izmantota baiļu aprēķināšana. Baiļu intensitāte tiek aprēķināta kā proporcija starp (a) tām kārtīm, kuras vēl nav izspēlētas un uz kurām aģents nevarētu uzlikt kārti un (b) tām kārtīm, kas vēl nav izspēlētas. Lai to izdarītu, veic šādus soļus:

- tiek iegūta kopa, kur katrs elements sastāv no divām kārtīm; elementi reprezentē jebkuru iespējamo kombināciju starp neizspēlēto kāršu un rokā esošo kāršu kopām;
- elementi tiek salīdzināti ar atļautajām kombinācijām, iegūstot divas kopas: kopu AK , kas sastāv no atļautajām kombinācijām un kopu NK , kas sastāv no neatļautajām kombinācijām;
- no abām kopām tiek iegūti kāršu saraksti, no kartežiem atlasot tikai pirmo elementu un izslēdzot dublikātus, tādējādi iegūstot divas kopas: AK_k un NK_k , kas satur attiecīgi neizspēlēto kāršu kavā esošās kārtis, kuras ir iekļautas atļautajās un neatļautajās kombinācijās. Iegūstot kopu starpību NK_k/AK_k , tiek iegūtas kārtis, kas ir tikai neatļautajās kombinācijās, t.i., uz kurām nevar uzlikt kārtis;
- izmantojot formulu (5.1), tiek aprēķināta baiļu intensitāte I_{bailes} .

$$I_{bailes} = \frac{n_{NK_k/AK_k}}{n_{neizspēlētas\ kārtis}}, \quad (5.1.)$$

kur n_x – kāršu daudzums n kopā x .

Specifiskais projektējums: statusa izmaiņu funkcijas

Statuss mainās, balstoties uz emociju nodošanu. Brīdī, kad aģents tieši izrāda emocijas vai manipulē, tā statuss ziņas saņēmēja sociālajos uzskatos samazinās par 0,1.

Specifiskais projektējums: sociālo saišu atjaunināšanas funkcijas

Sociālo saišu atjaunināšana ir atkarīga no aģenta darbībām:

- ja aģents palīdz, tad sociālās attiecības palielinās par 0,1 aģentam, kurš lūdzis palīdzību;
- ja aģentam ir lūgta palīdzība, bet tas nepalīdz, tad sociālās attiecības samazinās par 0,1 aģentam, kurš lūdzis palīdzību.

Specifiskais projektējums: apzinātā emociju paušana un uztveršana un komunikācija

Pēc būtības apzinātā emociju paušana un uztveršana ir balstīta uz uzvedībām, taču faktiski tā notiek brīdī, kad aģents ir saņēmis ziņojumu, ka viņam būs nākamais gājiens. Ja aģents secina, ka ir liela varbūtība, ka tas būs negatīvs (t.i., aģentam ir mazāk kā 3 kārtis un neviena no tām nav melnā kārts), aģents mēģina ietekmēt iepriekšējā aģenta gājienu paužot dusmas vai skumjas atkarībā no D dimensijas emocionālajā telpā, relatīvi pret pamata stāvokli.

Šis lietojums ir izveidots speciāli promocijas darba validācijai un ļauj demonstrēt tos makrošablonu raksturojumus, kas saistīti ar uzvedību mainīšanu un racionālo spriešanu.

5.5. Funkciju tiešas ietekmes uz makrošabloniem un racionālajām sekām analīze

Promocijas darba mērķis ir saistīts ar emociju izplatību cilvēku grupā kopumā, kuru tieši ietekmē ne visas pilnībā emocijās sakņotā aģenta komponentes un funkcijas. Tas ir iemesls, kādēļ arī promocijas darbā veidotajos lietotnēs dažu prasību implementācijai ir pievērsta lielāka uzmanība, nekā citu prasību realizācijai. Šajā apakšnodaļā ir analizēta šo prasību nozīme grupas šablonos. 5.5. tabulā ir apkopotas tās prasības, kuru realizācija tieši ietekmē dažādu makrošablonu realizāciju un kuru implementācijai līdz ar to pievērsta īpaša uzmanība arī veidojot eksperimentu plānu.

Emociju izplatību pirmām kārtām netieši ietekmē tās prasības, kas nodrošina aģenta funkcionēšanu kopumā: *Daudzliemeņu emociju apstrāde, Pārslēgšanās starp slāņiem noteiktos gadījumos; Aģentam jābūt vairāku liemeņu emocionālajam stāvoklim; Komunikācijas mehānisma pielāgošana aģenta iekšējam stāvoklim; Emociju uzņemšana; Aģenta reaktivitāte.* Šo prasību realizācija ir nepieciešama aģenta funkcionēšanai, un tabulā nav analizēta.

No otras puses, daļa prasību, kas ir nepieciešamas emocijās sakņota aģenta realizācijai, tiešā veidā neveicina makrošablonu un racionālo seku rašanos, vai arī to ietekme uz makrošabloniem un racionālajām sekām ir specifiska, un trūkst literatūras, uz kuru balstīt modeli. Šo prasību realizācija un saistība ar aģentu grupas emocionālo stāvokli, pēc autores domām, ir interesanti pētījumi, kas īsi ir apskatīti arī promocijas darbā, tomēr šie pētījumi ir tik specifiski, ka tie sniedzas pāri promocijas darba robežām. Šīs prasības ir šādas: *Primārajā slānī vienkārša uzvedība un emocijas, Emocionālā stāvokļa ietekme uz plānošanu; Aģenta apmācības biežuma noteikšana; Emocijas kalpo kā atalgojums vai sods.* Šīm prasībām nav pievērsta pastiprināta uzmanība.

Prasību ietekme uz makrošabloniem

No 3. nodaļas iegūtie konverģences/diverģences makrošablonu raksturojumi un racionālās sekas	To ietekmējošie mehānismi	Tieši ietekmējošās prasības vai aģenta komponentes
Emocijas rodas arī vienkārši novērojot mijiedarbības	Primitīvā izplatība	<ul style="list-style-type: none"> • Personība ietekmē aģenta emocionālo stāvokli • Emociju neapzināta paušana un uztveršana
Ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst	Primitīvā izplatība	<ul style="list-style-type: none"> • Personība ietekmē aģenta emocionālo stāvokli • Emociju neapzināta paušana un uztveršana
Jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus	Aģenta mikrolīmenis, primitīvā izplatība	<ul style="list-style-type: none"> • Personība ietekmē aģenta emocionālo stāvokli • Aktivizācijas funkcija • Norimšanas funkcija • Izpaušanas funkcija • Emociju neapzināta paušana un uztveršana
Jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm	Sekundārā izplatība, emociju šabloni	<ul style="list-style-type: none"> • Apkārtējās vides stimulu novērtēšana • Sociālo attiecību uzturēšana • Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām • Emociju neapzināta paušana un uztveršana • Emociju atkarība no statusa un attiecībām
Jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte	Sekundārā izplatība	<ul style="list-style-type: none"> • Apkārtējās vides stimulu novērtēšana • Sociālo attiecību uzturēšana • Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām • Emociju neapzināta paušana un uztveršana • Emociju atkarība no statusa un attiecībām
Sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos	Emociju šabloni	<ul style="list-style-type: none"> • Apkārtējās vides stimulu novērtēšana • Sociālo attiecību uzturēšana • Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām • Emociju neapzināta paušana un uztveršana • Emociju atkarība no statusa un attiecībām
Ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst.	Emociju šabloni	<ul style="list-style-type: none"> • Apkārtējās vides stimulu novērtēšana • Sociālo attiecību uzturēšana • Komunikācijas mehānismu pielāgošana aģenta sociālajām attiecībām • Emociju neapzināta paušana un uztveršana • Emociju atkarība no statusa un attiecībām
Citu emocijas maina grupas dalībnieku racionālos uzskatus	Tiešā nodošana/mani pulācija	<ul style="list-style-type: none"> • Fiziska spēju ierobežošana • Emocionālā stāvokļa ietekme uz uzvedību • Emociju apzināta paušana un uztveršana • Dažādu uzvedību pieejamība dažādos līmeņos
Citu emocijas maina grupas dalībnieku uzskatus par statusu un sociālajām attiecībām	Tiešā nodošana/mani pulācija	<ul style="list-style-type: none"> • Spriešana par savu statusu • Spriešana par citu statusu • Emociju apzināta paušana un uztveršana

5.6. Eksperimenti ar izstrādāto modeli

Promocijas darba ietvaros tiek pieņemts, ka, lai pierādītu, ka imitācijas modelis strādā korekti, pietiek pārbaudīt, vai modelis strādā atbilstoši literatūrā atrastajiem makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām. Modeļa precīza validācija un kalibrēšana, izmantojot reālus datus, ir iespējama vien ciešā sadarbībā ar psihologiem, un paliek ārpus promocijas darba robežām – detalizēti šis aprakstīts vēlāk nodaļā kopā ar citiem ierobežojumiem.

Šo eksperimentu mērķis ir demonstrēt, kādā veidā visu piecu mehānismu: primitīvās un sekundārās izplatības, emociju šablonu, tiešās izpaušanas un manipulācijas, klātesamība uzlabo grupas emocionālā stāvokļa atbilstību makrošablonu raksturojumiem – un attiecīgi, arī makrošabloniem. Šī iemesla dēļ ir izvēlēta eksperimentu kopa, kas demonstrē makrošablonu raksturojumu un racionālo seku esamību aģentos ar atšķirīgu emocionālo spēju klātesamību (t.i., dažādos pielietojuma scenārijos).

5.6.1. Eksperimentu plāns

Daļa eksperimentu ir veikta uz pūļa modelēšanas scenārija, savukārt daļa – uz galda spēles scenārija (precīzāk 5.6. tabulā). Šī atšķirība ir tādēļ, ka galda spēles scenārijā problēmsfēra kļūst pārāk komplicēta; daļu no makrošablonu raksturojumiem var nodemonstrēt pūļa gadījumā, tā kā tajā ir mazāk mainīgo, t.i., pats scenārijs sastāv no mazāk pārbaudāmām daļām. Ir veikti trīs veidu eksperimenti, to kopsavilkums – 5.6 tabulā.

1. Aģenti mijiedarbojas, izmantojot primitīvo izplatību. Šī pieeja atbilst Bosses darbam. Taču ar šādu pieeju nav iespējams iegūt diverģences makrošablonu. Pirmais eksperiments veikts pūļa modelēšanas lietotnē.
2. Primitīvajai izplatībai tiek pievienota sekundārā izplatība un šabloni, ar ko iespējams iegūt līdzīgus rezultātus Rinkona un kolēģu darbam. Eksperiments veikts galda spēles scenārijā.
3. Visbeidzot, tiek pievienota emociju tiešā nodošana un manipulācija, kas ietekmē statusa izmaiņas un sociālo attiecību izmaiņas (t.i., veicina racionālās ietekmes, kas savukārt ietekmē tālākās emociju izmaiņas un nodrošina dinamiku grupā). Eksperiments veikts galda spēles scenārijā.

5.6.2. Makrošablonu realizācija – pirmais eksperiments

Šajā apakšnodaļā aprakstīta makrošablonu realizācija modelī caur primitīvo izplatību.

1. Emocijas rodas, arī vienkārši novērojot mijiedarbības

Šis makrošablona raksturojums ir realizēts visās lietotnēs, kad novērojot citus aģentus, pat ja emocijas tieši nav vērstas uz konkrēto aģentu, aģents tās vienalga redz, un maina savu emocionālo stāvokli, balstoties uz cita aģenta izpaušmes funkciju. Gan pūļa, gan galda spēles gadījumā šis ir realizēts, aģentiem novērojot citu aģentu reakcijas un attiecīgi uz tām reaģējot, neatkarīgi no tā, kas ir emocijas paudējs.

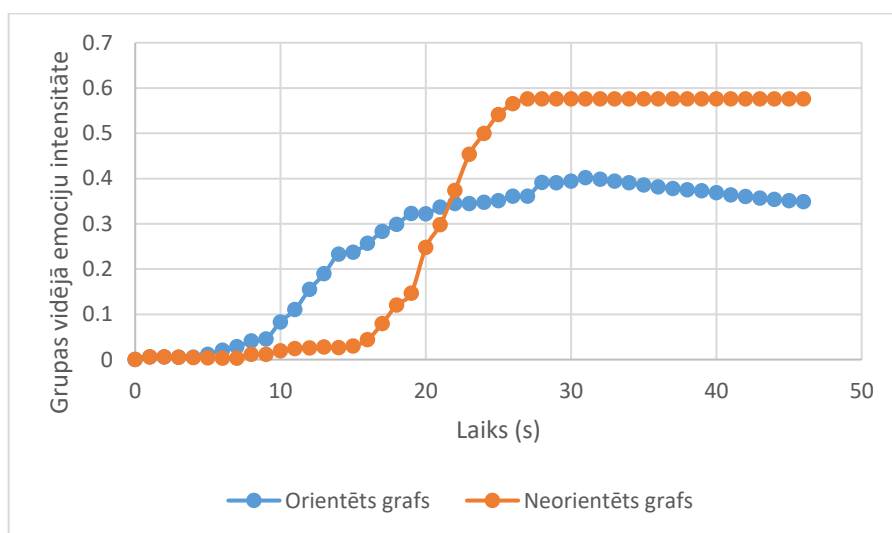
Eksperimentu kopsavilkums

No 3.3. nodaļas: konverģences/diverģences makrošablonu raksturojumi	Realizē	Pārbaude	To specifiski ietekmē šādi mehānismi	Eksperimenta ieejas	Eksperimenta izejas
1. Emocijas rodas, arī vienkārši novērojot mijiedarbības	Novērtēšanas funkcijas	1. eksperiments	Primitīvā izplatība	Aģenti, aģentu personības	Vidējais emocionālais stāvoklis
2. Ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst	Primitīvās izplatības ziņojumu nodošana	1. eksperiments	Primitīvā izplatība		
3. Jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus	Primitīvās izplatības ziņojumu nodošana, personības implementācija	1. eksperiments	Primitīvā izplatība		
4. Jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm	Sociālā statusa piešķiršana un interpretācija	2. eksperiments	Sekundārā izplatība, emociju šabloni	Aģenti, aģentu personības, aģentu attiecības, sociālais statuss	Vidējais emocionālais stāvoklis, citi emocionālo stāvokļu rādītāji
5. Jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte	Sociālo attiecību piešķiršana	2. eksperiments	Sekundārā izplatība		
6. Sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos	Sociālo attiecību piešķiršana	2. eksperiments	Emociju šabloni, sekundārā izplatība		
7. Ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst.	Sociālo attiecību piešķiršana	2. eksperiments	Emociju šabloni, sekundārā izplatība		
8. Citu emocijas maina grupas dalībnieku racionālo uzvedību	Mikrolīmenis, nodošanas protokoli	3. eksperiments	Tiešā nodošana/manipulācija	Aģenti, aģentu personības, aģentu attiecības, sociālais statuss, aģentu uzskati	Aģentu uzvedības, to biežums un mainītie uzskati
9. Citu emocijas maina grupas dalībnieku uzskatus par statusu un sociālajām attiecībām	Mikrolīmenis, nodošanas protokoli	3. eksperiments	Tiešā nodošana/manipulācija		

2. Ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst

Tā kā galda spēles scenārijs ietver vairākus parametrus, tad šī makrošablona raksturojuma izpildīšanos uzskatāmāk var demonstrēt, izmantojot pūļa modelēšanas scenāriju. Iepriekš analizētajos rezultātos var redzēt, ka emocijām ir tendence norimt. Tas ir tādēļ, ka gan pūļa struktūru analīzei, gan atkarības no komunikācijas biežuma analīzei ar nolūku izmantots orientēts grafs. Grafiki orientēta un neorientēta grafa gadījumā parādīti 4.22. attēlā. Redzams, ka aģentu komunikācijai neapstājoties, arī emociju intensitāte sasniedz piesātinājumu un nerimst, savukārt orientēta grafa gadījumā emociju intensitāte pakāpeniski norimst, jo komunikācija notiek vienā virzienā. Grafiki iegūti, 3 reizes ar trīs sekunžu intervālu kairinot aģentu grupu.

Brīdī, kad modelī ievieš parametrus, piemēram, stipri pazemina aģentu neirotizmu vai paildzina vidējo komunikācijas biežumu, šī īpašība zūd.

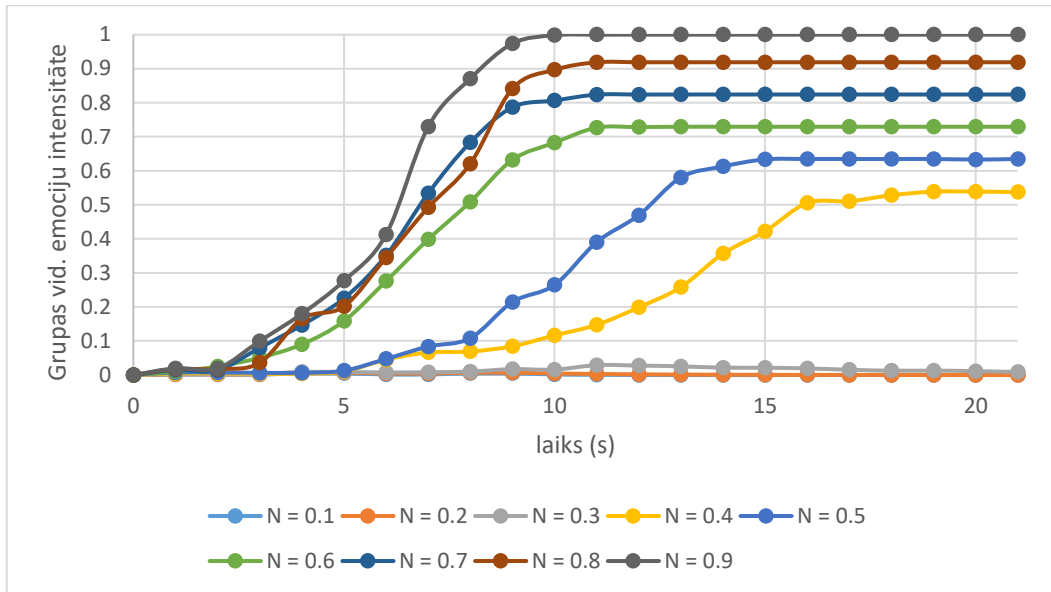


5.22. attēls. Emociju dinamika grupā vienvirziena un divvirzienu komunikācijas gadījumā. Parametri: $N = 0,48$, $E = 0,68$; kairināts 3 reizes $\langle 0,5, \text{dusmas} \rangle$. Izmantota 5.12. attēlā esošā struktūra.

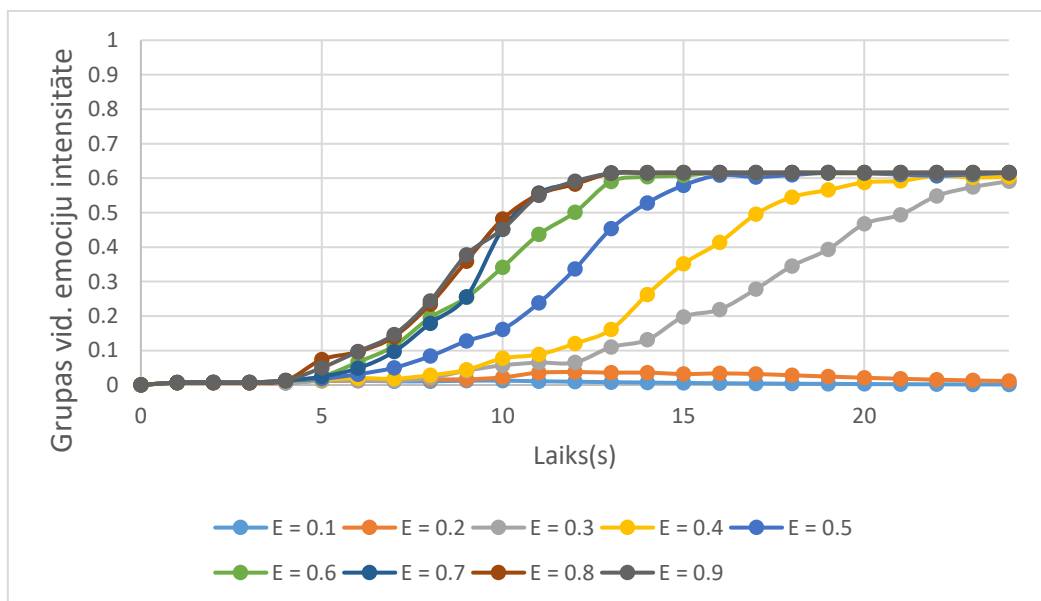
3. Jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniedz griestus

Šis makrošablona raksturojums tiek demonstrēts, izmantojot atkarību no personības, tā kā izpausmes un uzņēmības funkcijas piedāvātajā modelī ir no tās atkarīgas.

Lai nodemonstrētu šo makrošablona raksturojumu, veiktas vairākas imitācijas, kas parāda emociju izpausmes un uzņēmības nozīmi. Kā piemērs demonstrācijai izvēlētas bailes. Aģenta uzņēmību baiļu gadījumā ietekmē neirotizms (N dimensija), savukārt izpausmi – ekspresivitāte (E dimensija). 5.23. attēlā parādīts, kā mainās emociju dinamika vienā un tajā pašā aģentu grupā (5.12. attēlā parādīta šīs grupas struktūra) pie vienas un tās pašas N vērtības, bet atšķirīgām E vērtībām, un līdzīgi 5.24. attēlā parādīts, kā mainās grupas vidējā emociju intensitāte pie vienādas E vērtības un atšķirīgām N vērtībām. Abi eksperimenti ir veikti, pūļa modelēšanas rīkā aģentu grupā aģentu ar numuru 0 kairinot trīs reizes ar trīs sekunžu intervālu un emociju stiprumu 0,5.



5.23. attēls. Emociju dinamika grupā pie mainīga N , $E = 0,68$; kairināts 3 reizes $\langle 0,5$, bailes \rangle .



5.24. attēls. Emociju dinamika grupā pie mainīga E , $N = 0,38$; kairināts 3 reizes $\langle 0,5$, bailes \rangle .

Ir redzams, ka gan N dimensija (kas ietekmē arī maksimāli sasniedzamo emociju), gan E dimensija ietekmē laiku, kurā emocijas sasniedz maksimālo intensitāti. Tā kā emociju izpausme modelēta kā sigmoīda, tās ietekmi var redzēt 4.25. attēlā, kur pie $E = 0,3$ līdz $E = 0,6$ notiek redzamākās izmaiņas. Šie mērījumi skaidri demonstrē, ka emocijas griestus sasniedz straujāk gadījumos, kad pieaug N un E .

5.6.3. Makrošablonu realizācija – otrs eksperiments

Lai arī galda spēle ir izstrādāta tā, ka to var spēlēt aģenti ar pilnām emocionālām spējām, tomēr promocijas darba rezultātu demonstrēšanai šī spēle ir ar pārāk daudz nejaušības faktoriem. Tāpēc ir ieviestas šādas izmaiņas:

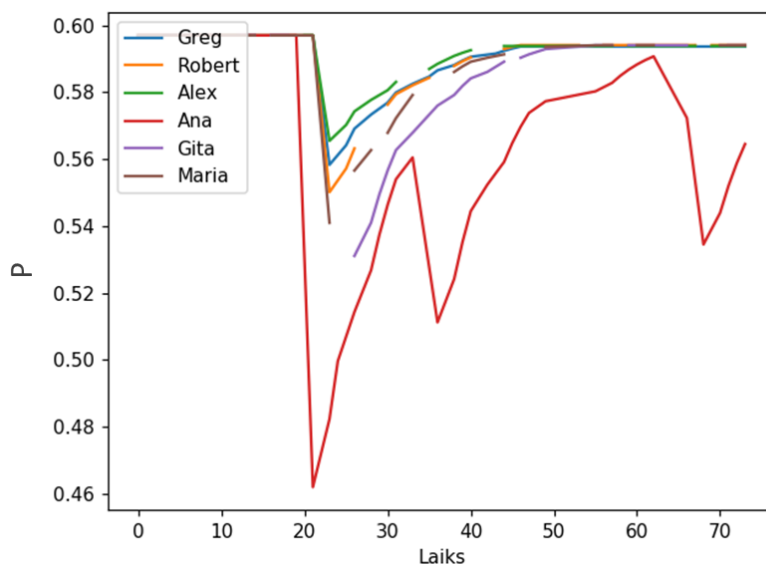
- kāršu kavu vienmēr ievada vienā veidā;
- atsevišķu grafiku izveidei pašā programmatūrā ir ieviestas atsevišķas izmaiņas, piemēram, aģenti izjūt tikai bailes.

Te ir svarīgi pieminēt, ka galda spēles scenārijā izveidotajā DAS uzskatāmāka bija aģentu asinhronā darbība. Tā kā aģentu uzvedības ir sarežģītas un asinhronas, tad arī rezultātu salīdzināšana ir komplicētāka, jo rezultāti bieži netiek ierakstīti vienā laikā. Šī iemesla dēļ šajā nodaļā rezultātu apskats balstās uz grafiku vizuālo analīzi; šis ir arī iemesls, kāpēc grafikos ir pārtraukumi.

4. Jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm

5. Jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte

Šos makrošablonu raksturojumus var redzēt 5.25. attēlā, skatoties uz vidējo attālumu līdz pamata stāvoklim uz P ass tiem aģentiem, kas neizjūt emociju, balstoties uz sākotnējo kairinājumu.



5.25. attēls. Dažādu aģentu emociju izmaiņas pa P asi – dažādiem aģentiem ir atšķirīgi uzskati par aģenta Ana statusu.

Aģenti sāk spēlēt spēli no spēles sākuma stāvokļa, uz kuru balstītā spēles gaita atspoguļota 5.20. attēlā. Šajā gadījumā dažādu aģentu uztvere par aģenta Ana statusu dažādiem aģentiem atšķiras no 0,2 līdz 1: aģentam Alex: 0,2; aģentam Greg: 0,4; aģentam Robert: 0,6; aģentam Maria: 0,8 un aģentam Gita: 1.

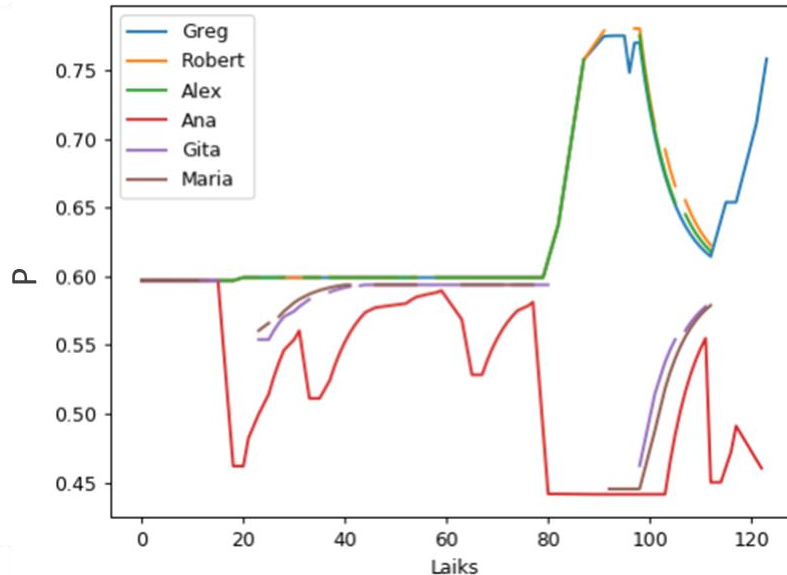
Aģents Ana bija vienīgais, kurš ieguva emocijas no novērtējuma funkcijām. Līdz ar to pārējiem aģentiem emocionālais stāvoklis mainās tikai sekundārās emociju izplatības rezultātā. Var novērot, ka jo augstāka statusa vērtība, jo augstāka konkrētā aģenta maksimāli sasniegtā emociju intensitāte. Var secināt, ka nomainot statusus visiem aģentiem, mainītos arī grupas vidējā emocionālā stāvokļa intensitāte. Līdzīgā veidā notiek arī emociju izmaiņas atkarībā no pozitīvām jeb sadarbības attiecībām.

6. Sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos

7. Ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst

Lai demonstrētu nākošos divus makrošablonu raksturojumus, tika izveidotas divas aģentu grupas, kurām savstarpēji ir negatīvas emocionālas attiecības. Pirmajā grupā aģenti Ana, Gita un Maria, savukārt otrajā – aģenti Greg, Robert un Alex. Piemēram, aģenta Gita attiecību vērtība aģentiem Maria un Ana ir 1, bet pārējiem aģentiem: -1. Emocijas saņem tikai aģents Ana un aģenti spēlē spēli kā scenārijā, kas parādīts 5.20. attēlā.

5.26. attēlā laika posmā, kad aģents Ana nonāk līdz brīdim, kad tas sasniedz tik augstu baiļu vērtību, ka aģenti to uztver (no 80 līdz 100 sekundēm), var redzēt emociju intensitātes diverģenci, taču tā kā modelī ir paredzēti sliekšņi emociju uzņemšanai u.c. parametri, tad tās tomēr pakāpeniski norimst. Diemžēl nav iespējams demonstrēt diverģenci dažādu emociju gadījumā, jo grafiks kļūst nelasāms.

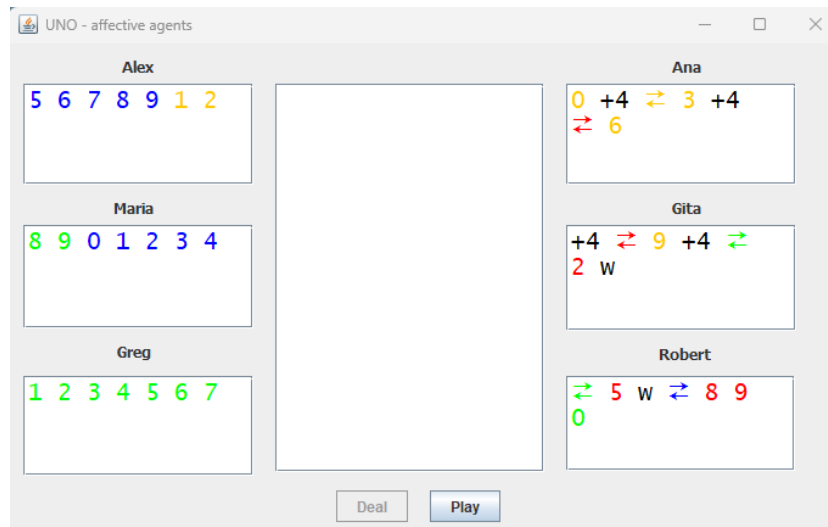


5.26. attēls. Dažādu aģentu emociju izmaiņas pa P asi – dažādiem aģentiem ir atšķirīgi uzskati par attiecībām ar aģentu Ana.

5.6.4. Racionālo ietekmju realizācija – trešais eksperiments

Lai demonstrētu racionālo ietekmju realizāciju, bija nepieciešams scenārijs, kurā aģentiem ir vairākas iespējamās darbības un spēle ir ilgāka. Šī iemesla dēļ tika izmantots cits kāršu sākotnējais sadalījums, kas parādīts 5.27. attēlā; aģentiem pieejamo kāršu dēļ izspēle sastāv no

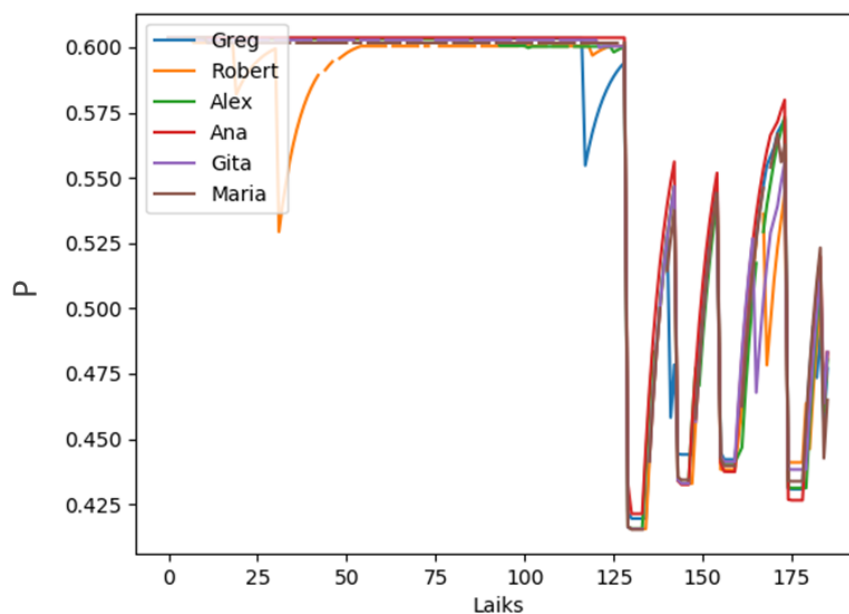
daudz gājieniem – tiek izspēlēta visa kava un tad nejauši sajaukta vēlreiz. Lai nodrošinātu to, ka aģentam ir pieejami līdzekļi stratēģijas realizācijai, t.i. attiecīgās kārtis, aģentiem tiek izdalīts pa 7 kārtīm.



5.27. attēls. Trešajā eksperimentā izmantotais kāršu sadalījums.

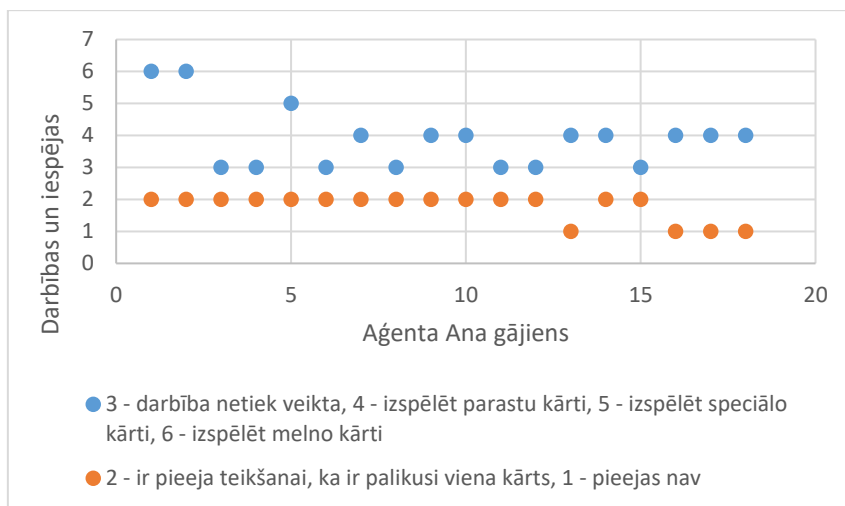
8. Citu emocijas maina grupas dalībnieku racionālo uzvedību

Ietekme realizēta caur emociju izplatību un tiešo emociju nodošanu. Eksperimentā ir pārbaudīts, kā mainās aģenta Ana uzvedība, ja aģentam Ana ir atslēgta ārējo stimulu uzņemšana, taču tās “ieslēgtas” citiem aģentiem. Tas nozīmē, ka aģents emocijas saņems tikai no citiem aģentiem. 5.28. attēlā var redzēt, kā mainās aģenta Ana emocionālais stāvoklis, kaut arī aģents Ana konkrēti nekādas emociju ievades nesaņem.



5.28. attēls. Aģentu emociju izmaiņas pa P asi PAD modelī. Aģenta Ana emocijas mainās līdz ar citiem.

Lai demonstrētu, kā emocijas ietekmē uzvedību, izmantotas bailes. Bailes atrodas oktantā (P-, D-, A+). Aģenta Ana personība atrodas oktantā (P+, D+, A-). Tas nozīmē, ka sākotnēji aģents Ana veiks tās uzvedības, kas raksturīgas personības oktantam, tas ir, teiks “Uno!”, kad tam palikusi viena kārts. Kad citiem aģentiem ir baiļu emocijas, arī aģents Ana ietekmējas no šīm emocijām un pārstāj veikt uzvedību “Teikt Uno!” (attēls 5.29.).



5.29. attēls. Aģenta Ana darbības izmaiņas un pieeja darbībai “Teikt UNO!” savā gājienā.

Pievienojot aģentiem tiešo emociju nodošanu, redzams, ka mainās aģentu izvēlētas darbības un līdz ar to – arī spēles gaita. 5.30. attēlā ir redzamas divas kāršu izspēles secības pie sākotnēji identiskām kārtīm.

- | | |
|---------------|-------------|
| 1. Base 0 | 1. Base 0 |
| 2. Ana 2 | 2. Ana 2 |
| 3. Gita +4 | 3. Gita 3 |
| 4. Robert | 4. Robert 6 |
| 5. Greg +4 | 5. Greg 9 |
| 6. Maria | 6. Maria w |
| 7. Alex 5 | 7. Alex 5 |
| 8. Ana 5 | 8. Ana 5 |
| 9. Gita 5 | 9. Gita +4 |
| 10. Robert +4 | 10. Robert |
| 11. Greg | 11. Greg +4 |
| 12. Maria w | 12. Maria |
| 13. Alex w | 13. Alex 6 |
| 14. Ana w | 14. Ana 8 |

5.30. attēls. Divas spēles izspēles gaitas – pa kreisi – bez emociju tiešās nodošanas, pa labi – ar emociju tiešo nodošanu

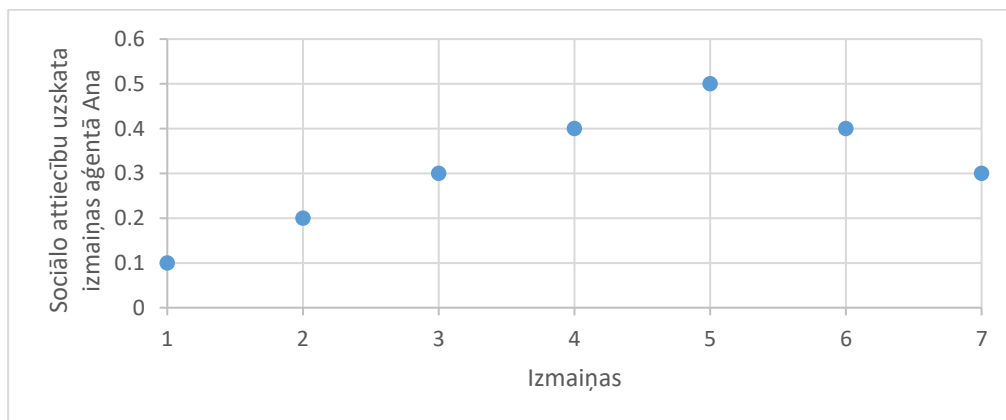
Redzams, ka pirmajā variantā 3. gājienā aģents Gita veic tam izdevīgāko gājieni: liek aģentam pacelt četras kārtis. Tas atbilst personības noskaņojumam. Savukārt, otrajā variantā

aģents Robert nosūta emocionālu ziņu, kurā demonstrē skumjas, tādējādi aģents Gita izvēlas citu gājienu, jo emociju izplatības rezultātā mainās paša aģenta Gita PAD oktants jeb profils. Manipulēšanai aģenti izmanto skumjas, tā kā nepieciešams pazemināt dominanci uzvedības maiņai.

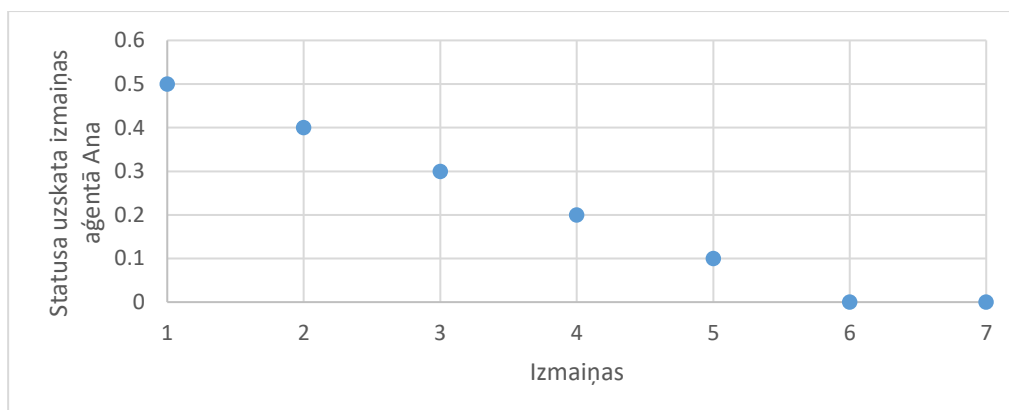
9. Citu emocijas maina grupas dalībnieku uzskatus par statusu un sociālajām attiecībām

Visbeidzot, emocijām un emociju izpausmēm jāmaina dalībnieku uzskati par statusu un sociālajām attiecībām; tas realizēts netieši. Spēlējot spēli, aģenti izvēlas komunicēt tieši, kad blakus esošais aģents var palīdzēt.

Aģenti izvēlas citam aģentam palīdzēt vai nepalīdzēt, balstoties uz to emocionālo stāvokli, t.i, profilu, kas savukārt tālāk ietekmē sociālo attiecību izmaiņas (5.31. attēls). Uz x ass attēlotas izmaiņu reizes. Tā kā aģentiem tiek dota tikai baīļu emocija, tad sākotnēji attiecības mainās uz labo pusi, jo aģenti izvēlas viens otram palīdzēt, tad uz slikto, jo vairs nepalīdz. Savukārt, izpaužot tieši emociju, kas saistīta ar zemu dominanci (skumjas), aģenta statuss cita aģenta sociālajos uzskatos samazinās (5.32. attēls).



5.31. attēls. Aģenta Ana attiecību izmaiņas pret aģentu Gita. Mainoties noskaņojumam, mainās aģentu palīdzība.



5.32. attēls. Aģenta Ana statusa izmaiņas aģentam Alex.

5.7. Modeļa ierobežojumi un tālākie pētījumu virzieni

Kaut arī promocijas darba autore esošo modeli un projektējumu ir veidojusi pēc iespējas pilnīgu, tomēr modelim ir vairāki ierobežojumi, kas ir jāņem vērā gan analizējot ar to iegūtos datus, gan arī izmantojot šo modeli tālākajos pētījumos un tehniskās realizācijās.

Galvenais modeļa ierobežojums ir saistīts ar to, ka tas nav kalibrēts un validēts reālā scenārijā. Kaut arī tas nav izdarīts objektīvu iemeslu dēļ, tas ir, augstās starpdisciplināritātes un sarežģītības citās jomās (psiholoģijā, socioloģijā) dēļ, tomēr, lai modelis būtu pilnībā izmantojams, to ir nepieciešams izdarīt tālākajos pētījumos. Tā pašreizējā versijā modelis ir izmantojams dažādu grupu emocionālo stāvokļu salīdzināšanai. Izstrādātās klases un programmatūras moduļi ir izmantojami tālāku scenāriju izstrādei. Pūļa modelēšanas rīks īpaši ir izmantojams dažādu pūļa struktūru pētīšanai.

Promocijas darba iestrādes paver iespējas tās attīstīt un turpināt citus starpdisciplinārus pētījumus, kas nav veicami tikai datorzinātnē, abstrahējoties no psiholoģijas un socioloģijas. Turpmākie pētījumi ietver šādas tēmas:

- Statusa un sociālo attiecību ietekme uz emocionālā stāvokļa izmaiņām, pašreiz modelī esošos abstraktos skaitliskos lielumus definējot un piesaistot reālām vadības struktūrām un cilvēku grupām. Matemātiski šādu struktūru definēšana pavērtu ceļu dažādām uz grafu teoriju balstītām pieejām.
- Uz PAD modeli balstīta emociju izplatība. Saskaņā ar autores zināšanām, šāda veida emociju izplatība nav pētīta psiholoģijā, lai gan ir bijuši mēģinājumi to modelēt datorsistēmā. Šobrīd promocijas darbā esošajā modelī notiek emocionālā stāvokļa transformēšana uz PAD telpu, tomēr lietderīgi būtu izpētīt, vai cilvēku grupas mijiedarbība atbilst PAD telpas stāvokļa nodošanai un no tā izrietoši: vai ir iespējams definēt aģentu mijiedarbības nepastarpināti caur PAD telpas dimensiju vērtībām.
- Emociju ietekme uz aģentu pārliecībām par citiem aģentiem un to statusu. Šāda tipa pētījumu idejas atrodamas gan psiholoģijas pētījumos, piemēram, EASI teorijas autora darbos, gan datorzinātnē esošajos darbos minēts, ka aģents var veikt secinājumus uz citu emociju pamata, tomēr šādas izstrādes nav pilnīgas un ir tapušas bez psiholoģijas un datorzinātnes mijiedarbības, kas mazina to lietojamību.
- Dažādu emocionālā intelekta līmeņu modelēšana, kas vienkāršības un validējamības labad promocijas darba modelī nav iekļauta. Šāda pieeja būtu lietderīga dažādu mācību sistēmu izstrādei. Viena no idejām šī koncepta realizācijai ir kopīgo un privāto ontoloģiju izmantošana. Šāda ontoloģija dalāma apgabalos, t.i., jo aģentam lielāks emocionālais intelekts, jo vairāk no šīs objektīvās ontoloģijas ir zināms un jo vairāk konceptu tas var pievienot arī par savu grupas biedru emociju modeļiem. Turpretim, ja aģentam emocionālā intelekta līmenis ir zems, tam vai nu vispār nav pieejama objektīvā ontoloģija, vai arī pieejamas tikai tās daļas (piemēram, ir pieejams, kāda veida emociju otrs izjūt, bet nav pieejams, kādi ir šīs emocijas cēloņi). Tādējādi katram aģentam būs sava zināšanu struktūra un bāze, kas balstīsies uz kopējo ontoloģiju un kopējo interpretāciju.

Viens no būtiskākajiem modeļa ierobežojumiem tieši reālā laika sistēmās tika novērots, implementējot galda spēles scenāriju. Viens no darba autores uzstādījumiem bija, ka DAS modulim ir jābūt pievienojamam citām reāla laika sistēmām, taču, skatoties atpakaļ, var secināt, ka DAS, kurā aģentu uzvedības ir tik komplicētas, būtu atsevišķs izaicinājums. Ir divas iespējas, kā uzlabot sistēmas darbību: semantiskā jeb pēc būtības, un tehniskā. No semantiskā viedokļa ir iespējams aģentam sniegt ierobežotu daudzumu kairinājumu, tas ir, uzstādīt augstāku jutības sliekšni sūtītāja aģenta pusē, kas neliek apstrādāt visus kairinājumus.

5.8. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir promocijas darba ietvaros izstrādātās pieejas implementācija trīs dažādos scenārijos ar izrietošu emocijās sakņotu aģentu grupas uzvedības demonstrāciju un validāciju pret makrošabloniem.

Nodaļai ir šādi **rezultāti**, kas ļāvuši sasniegt nodaļas galveno rezultātu:

- *modulis*, kas demonstrē emocijās sakņota aģenta darbību *viena aģenta gadījumā*;
- *lietotne*, kas ļauj modelēt *pūļa uzvedību* ar dažādiem aģentu parametriem un dažādās pūļa struktūrās;
- *lietotne*, kas demonstrē *sarežģītākas spriešanas izmaiņas* aģentu grupas gadījumā, kas kā problēmsfēru izmanto galda spēli.

Nodaļā darba autore ir **secinājusi**:

- izstrādātais vispārīgais projektējums ļauj pilnībā modelēt visus literatūrā identificētos makrošablonus;
- izstrādātais vispārīgais projektējums ir izmantojums dažādas emocionālās kapacitātes aģentu modelēšanai, ko skaidri demonstrē trīs izstrādātie lietojumi;
- lai demonstrētu dažādus makrošablonus, ir izmantoti dažādas emocionālās kapacitātes aģenti, pretējā gadījumā modelis kļūst pārāk komplicēts viennozīmīgu secinājumu veikšanai.

Nodaļā sasniegtie rezultāti ir ļāvuši validēt izstrādāto pieeju, demonstrējot, kā izstrādātais projektējums viena aģenta līmenī un DAS kopumā realizē definētos grupas uzvedības makrošablonus un emociju sekas.

SECINĀJUMI

Promocijas darbam ir šādi galvenie **rezultāti**:

- Aģentos sakņotu modelēšanas un imitācijas lietojumu klasifikācija, raugoties no daudzāģentu sistēmu viedokļa, kas ļauj pamatoti izvēlēties piemērotāko aģenta arhitektūru un tīkla struktūru konkrētas problēmas modelēšanai, kā arī demonstrē promocijas darba vietu aģentos sakņotas modelēšanas telpā.
- Emocijās sakņotu aģentu arhitektūru kopsavilkums un salīdzinājums, balstoties uz emociju lomām cilvēkā.
- Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības mehānismu kopsavilkums un salīdzinājums, balstoties uz īstenoto mijiedarbības protokolu daudzuma, kā arī mehānismu klasifikācija no formalizācijas viedokļa.
- Izstrādāta pieeja cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanai, kas sastāv no vispārīgā projektējuma un specifiskajā projektējumā detalizējamo funkciju kopas. Vispārīgais projektējums sevī ietver (a) emociju dinamikas modeli, ietverot personību un noskaņojumu; (b) emocijās sakņota aģenta arhitektūru; (c) emocijās sakņotu mijiedarbības mehānismu formalizāciju.
- Izstrādāti trīs lietojumi: viena aģenta demonstrācijas modulis, pūļa modelēšanas rīks, un emocijās sakņotu aģentu grupas darbības demonstrācija galda spēles gadījumā. Ar lietojumiem iegūtie rezultāti ļauj demonstrēt to, kā projektējums izmantojams dažādu emocionālo aģentu izveidei.
- Ar lietojumu palīdzību demonstrēts, kā modeļos tiek sasniegti literatūrā identificētie makrošabloni, tādējādi validējot izstrādāto pieeju.

Teorētiskā un praktiskā **nozīmība**:

- Aģentos sakņotu modelēšanas un imitācijas lietojumu klasifikācija izmantojama kā vadlīnijas dažādu aģentos sakņotu modeļu projektēšanai un izstrādei.
- Emocijās sakņotu arhitektūru un emocijās sakņotu mijiedarbības mehānismu apskati izmantojami kā pārskata materiāls un kā vadlīnijas gadījumos, ja sistēmai nav nepieciešama pilna emocionālā kapacitāte. Potenciāli šos apskatus var izmantot kā kritērijus gadījumos, kad sistēmai jānosaka emocionālā kapacitāte.
- Ir izstrādāta jauna cilvēku modelēšanas pieeja, kas ļauj ticami modelēt visus psiholoģijas pētījumos identificētos ar emocijām saistītos mijiedarbības mehānismus. Šī modelēšanas pieeja ir aprakstīta projektējuma veidā un var tikt izmantota dažādu modeļu izveidē.
- Izstrādātajām sistēmām ir vairāki lietojumi:
 - Demonstrācijas aģenta lietojums ir iekļaujams kā modulis emocijās sakņotās sistēmās.
 - Pūļa modelēšanas lietojums ir izmantojams eksperimentu veikšanai uz dažādām pūļa struktūrām un ir potenciāli papildināms ar citiem faktoriem, piemēram, attiecībām.

- Galda spēles scenārijs lietots galvenokārt promocijas darba rezultātu demonstrācijai. Potenciāli tas ir pārveidojams par sistēmu, kas lietotājam ļautu attīstīt emocionālās spējas.

Darba 5. nodaļā aprakstītie eksperimenti ir **apstiprinājuši darba hipotēzi**. Ja par ticamu modelēšanu uzskata literatūrā atrasto makrošablonu realizāciju, tad emocijās sakņotie aģenti un emocionālās mijiedarbības modeļi daudzāģentu sistēmā ļauj modelēt cilvēku grupas emocionālo stāvokli un tā izmaiņas. Tas pats secināms arī par pārējām tēzēm:

- pirmajā nodaļā pierādīts, ka daudzāģentu sistēmas ir piemērota paradigma cilvēku grupas emocionālā stāvokļa izmaiņu modelēšanai;
- otrajā nodaļā pierādīts, ka neviena no šobrīd esošajām emocijās sakņotu aģentu izstrādēm nemodelē visas nepieciešamās funkcijas, kas nodrošina emocijās sakņotu uzvedību;
- trešajā nodaļā pierādīts, ka neviena no šobrīd esošajām cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanas metodēm nemodelē visus mijiedarbības mehānismus, kas nepieciešami ticamai emocijās sakņotai cilvēku grupas uzvedībai;
- ceturtā un piektā nodaļa demonstrē, ka izstrādātais metožu kopums ļauj modelēt gan ar emocijām saistītās funkcijas, gan emocijās sakņotas mijiedarbības gan viena, gan vairāku aģentu līmenī.

Galvenie **secinājumi** skar darba starpdisciplināros aspektus.

Lai arī ir daudz izstrāžu, kas ļauj modelēt gan viena aģenta emocionālās kapacitātes, gan aģentu mijiedarbību, tomēr trūkst lietojumu, kuriem piemistu pilns emociju spektrs. Šādu izstrāžu esamība ļautu gan radīt jaunas lietojumu jomas virtuālajai videi, tādas kā emocionālā intelekta apmācība un emociju terapija, gan arī ļautu uzlabot iepriekšējās, piešķirot sistēmai emocionālās kapacitātes. Šobrīd sistēmu, kuras modelētu cilvēka emocionālās kapacitātes, trūkst galvenokārt tāpēc, ka emociju modelēšana ir salīdzinoši jauns virziens, turklāt, kā jebkuru starpdisciplināru jomu, to raksturo vajadzība pēc pētījumiem arī citur, konkrēti, psiholoģijā un socioloģijā. Tomēr darba autore emociju modelēšanā redz potenciālu – gan strādājot ar studentiem pēcpandēmijas laikmetā, gan redzot, kā attīstās tehnoloģijas un to nozīme ikdienā, ir skaidrs, ka ir nepieciešamība pētīt un modelēt dažādus ar emociju imitāciju saistītus scenārijus.

Gan emociju, gan arī citu cilvēkam raksturīgo iezīmju modelēšana ar datorsistēmu palīdzību tiek izmantota arī kā papildus metode citās jomās, uzskatot, ka ar to iespējams iegūt datus, kas ir līdzīgi empīriskajiem, tādējādi virzot progresu arī šajās jomās. Līdz ar to var secināt, ka emociju modelēšanai jāattīstās uz priekšu ciešā mijiedarbībā starp datorzinātņi un sociālajām zinātnēm. Ja sociālās zinātnes apsteidz datorzinātņi, veidojas daudz neformalizējamu modeļu, kas pēc autores domām, tieši emociju modelēšanas sākumposmā kavēja tās attīstību. Savukārt, ja datorzinātne cenšas apsteigt sociālās zinātnes, veidojas situācija, kad modeļi ne vienmēr ir pilnībā aprobēti. Tieši mēģinājumi izvairīties no šī scenārija ir bijis lielākais izaicinājums šī promocijas darba autorei. Virziens, kurā darbojas promocijas darba autore, t.i., mijiedarbību modelēšana, līdz šim nav formalizēts un detalizēts, jo emociju mijiedarbības ir salīdzinoši jauns pētījumu virziens arī psiholoģijā. Līdz ar to darba aprobācija veikta, formalizējot un izmantojot literatūrā atrodamos makrošablonus, un darbā izstrādātie trīs lietojumi sniedz pierādījumus tam,

ka izmantojot darbā izstrādātās metodes, ir izstrādājams modelis, kas darbojas saskaņā ar empīriski novērotajiem šabloniem.

Darbā jau minēti vairāki potenciāli pētījumi, kas papildinātu un turpinātu promocijas darba pētījumus. Kopumā emociju modelēšanu ir iespējams attīstīt dažādos virzienos:

- lietotāja emociju modelēšana un lietotāja iekļaušana sistēmā;
- augstāka līmeņa spriešanas modelēšana grupas līmenī par citu aģentu parametriem (personību, sociālajām attiecībām);
- emociju ietekme uz dažādiem racionāliem procesiem.

Gan potenciālos pētījumus, kas uzskaitīti 4.7. nodaļā, gan šeit definētos virzienus raksturo augsta starpdisciplināritāte. Lai pilnībā ieviestu gan promocijas darbā izstrādāto modeli, gan citus saistītus potenciālos modeļus reālās sistēmās, nepietiek ar to, ka atsevišķās Latvijas augstskolās ir atsevišķas laboratorijas, ir nepieciešama kopīga, starpdisciplināra laboratorija vai pētījumu centrs, kas apvieno nepieciešamās kompetences.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- Alsagri, H. S., & Ykhlef, M. (2016). A framework for analyzing and detracting negative emotional contagion in online social networks. *2016 7th International Conference on Information and Communication Systems, ICICS 2016*, 115–120. <https://doi.org/10.1109/IACS.2016.7476096>
- An, L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models. *Ecological Modelling*, 229, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.07.010>
- Ardavs, A., Pudāne, M., Lavendelis, E., & Nikitenko, A. (2019). Long-Term Adaptivity in Distributed Intelligent Systems: Study of ViaBots in a Simulated Environment. *Robotics*, 8(2), 1–22.
- Austin, E. J., Farrelly, D., Black, C., & Moore, H. (2007). Emotional intelligence, Machiavellianism and emotional manipulation: Does EI have a dark side? *Personality and Individual Differences*, 43(1), 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.019>
- Aydt, H., Lees, M., Luo, L., Cai, W., Low, M. Y. H., & Kadirvelan, S. K. (2011). A computational model of emotions for agent-based crowds in serious games. *Proceedings - 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, IAT 2011*, 72–80. <https://doi.org/10.1109/WI-IAT.2011.154>
- Bar-On, R. (2006). The Bar-On model of emotional-social intelligence (ESI). *Psicothema*, 18(SUPPL.1), 13–25.
- Barabasi, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286, 509–512.
- Barabási, A. (2013). *Network Science*. <http://networksciencebook.com/>. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0375>
- Barsade, S. G. (2002). The ripple effect: Emotional contagion and its influence on group behavior. *Administrative Science Quarterly*, 47(4), 644–675. <https://doi.org/10.2307/3094912>
- Barsade, S. G., & Gibson, D. E. (1998). Group Emotion: A view from top and bottom. *Research on Managing Groups and Teams*, 1, 81–102.
- Barsade, S. G., & Gibson, D. E. (2012). Group Affect: Its Influence on Individual and Group Outcomes. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 119–123. <https://doi.org/10.1177/0963721412438352>
- Bassi, B. (2006). *Computer Simulation of Crowd Dynamics and Destructive Crowd Behavior*. [University of Connecticut, Honors Scholar Theses].
- Becker-Asano, C. (2008). *WASABI: Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity Dissertation zur Erlangung des Grades eines at Bielefeld* [Doctoral Thesis, Universität Bielefeld]. https://becker-asano.de/Becker-Asano_WASABI_Thesis.pdf
- Beer, S. (1985). *Diagnosing the System for Organizations*. John Wiley & Sons.
- Bellifemine, F., Caire, G., & Greenwood, D. (2007). Developing Multi-Agent Systems with JADE. No: *Developing Multi-Agent Systems with JADE* (p. 312). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470058411.ch5>
- Bența, K. I., Rarău, A., & Cremene, M. (2007). Ontology based affective context representation. *Euro American Conference on Telematics and Information Systems - Proceedings of the 2007 Euro American Conference on Telematics and Information Systems, EATIS 2007*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/1352694.1352741>
- Berthelon, F., & Sander, P. (2013). Emotion ontology for context awareness. *4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2013 - Proceedings*, 59–64. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2013.6719313>
- Bispo, J., & Paiva, A. (2009). A model for emotional contagion based on the emotional

- contagion scale. *Proceedings - 2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, ACII 2009*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ACII.2009.5349396>
- Boff, E., Santos, E. R., & Vicari, R. M. (2006). Social agents to improve collaboration on an educational portal. *Proceedings - Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies, ICAIT 2006, 2006*, 896–900. <https://doi.org/10.1109/icalt.2006.1652587>
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(SUPPL. 3), 7280–7287. <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- Bordini, R. H., Hübner, J. F., & Wooldridge, M. (2007). *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. Wiley.
- Bosse, T., Duell, R., Memon, Z. A., Treur, J., & Van der Wal, C. N. (2015). Agent-Based Modeling of Emotion Contagion in Groups. *Cognitive Computation*, 7(1), 111–136. <https://doi.org/10.1007/s12559-014-9277-9>
- Bosse, T., Duell, R., Memon, Z. A., Treur, J., & Van Der Wal, C. N. (2009). A multi-agent model for emotion contagion spirals integrated within a supporting ambient agent model. No: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 5925 LNAI* (pp. 48–67). https://doi.org/10.1007/978-3-642-11161-7_4
- Bosse, T., Hoogendoorn, M., Klein, M. C. A., Treur, J., van der Wal, C. N., & van Wissen, A. (2013). Modelling collective decision making in groups and crowds: Integrating social contagion and interacting emotions, beliefs and intentions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 27(1), 52–84. <https://doi.org/10.1007/s10458-012-9201-1>
- Bristow, M., Fang, L., & Hipel, K. W. (2014). *Agent-Based Modeling of Competitive and Cooperative Behavior Under Conflict*. 44(7), 834–850.
- Broekens, J., DeGroot, D., & Kusters, W. A. (2008). Formal models of appraisal: Theory, specification, and computational model. *Cognitive Systems Research*, 9(3), 173–197. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2007.06.007>
- Brooks, B. P., DiFonzo, N., & Ross, D. S. (2013). The GBN-dialogue model of outgroup-negative rumor transmission: Group membership, belief, and novelty. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences*, 17(2), 269–293.
- Bu, F., & Wang, Y. (2013). Computing model of individual emotion in the mass incidents with venting anger. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7995 LNCS, 621–628. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39479-9_72
- Canli, T., Zhao, Z., Desmond, J. E., Kang, E., Gross, J., & Gabrieli, J. D. E. (2001). An fMRI study of personality influences on brain reactivity to emotional stimuli. *Behavioral Neuroscience*, 115(1), 33–42. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.115.1.33>
- Carretero, M. R., Qureshi, A., & Peters, C. (2014). Evaluating the perception of group emotion from full body movements in the context of virtual crowds. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception, SAP 2014*, 7–14. <https://doi.org/10.1145/2628257.2628266>
- Caruso, D. R., & Salovey, P. (2004). *The Emotionally Intelligent Manager: How to Develop and Use the Four Key Emotional Skills of Leadership* (Jossey-Bass (ed.)). John Wiley & Sons.
- Castellano, G., Kessous, L., & Caridakis, G. (2008). Emotion recognition through multiple modalities: Face, body gesture, speech. No: C. Peter & R. Beale (Eds.), *Affect and Emotion in Human-Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science: Vol. 4868 LNCS* (pp. 92–103). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85099-1_8
- Chen, S., Tai, K., & Li, Z. (2016). Evaluation of supply chain resilience enhancement with

- multi-tier supplier selection policy using agent-based modeling. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Decem*, 124–128. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797849>
- Cherniss, C. (2010). Emotional Intelligence: Toward Clarification of a Concept. *Industrial and Organizational Psychology*, 3(2), 110–126. <https://doi.org/10.1111/j.1754-9434.2010.01231.x>
- Chopra, A. K., & Singh, M. P. (2013). Agent Communication. No: G. Weiss (Ed.), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence* (2nd ed., p. 867). The MIT Press.
- Codispoti, M., Mazzetti, M., & Bradley, M. M. (2009). Unmasking emotion: Exposure duration and emotional engagement. *Psychophysiology*, 46(4), 731–738. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00804.x>
- Collins, A. J., & Frydenlund, E. (2016). Agent-based modeling and strategic group formation: A refugee case study. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 0, 1289–1300. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822184>
- Collins, A. L., Jordan, P. J., Lawrence, S. A., & Troth, A. C. (2016). Positive affective tone and team performance: The moderating role of collective emotional skills. *Cognition and Emotion*, 30(1), 167–182. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1043857>
- Coviello, L., Fowler, J. H., & Franceschetti, M. (2014). Words on the web: Noninvasive detection of emotional contagion in online social networks. *Proceedings of the IEEE*, 102(12), 1911–1921. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2366052>
- Cranefield, S., Purvis, M., Nowostawski, M., & Hwang, P. (2005). Ontologies for Interaction Protocols. No: V. Tamma, S. Cranefield, T. W. Finin, & S. Willmott (Eds.), *Ontologies for Agents: Theory and Experiences* (pp. 1–17). Birkhäuser Basel.
- Crowder, R. M., Robinson, M. A., Hughes, H. P. N., & Sim, Y. W. (2012). The development of an agent-based modeling framework for simulating engineering team work. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 42(6), 1425–1439. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2199304>
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' Error: emotion, reason, and the human brain*. Penguin Group.
- Dehghanpour, K., Nehrir, M. H., Sheppard, J. W., & Kelly, N. C. (2016). Agent-Based Modeling in Electrical Energy Markets Using Dynamic Bayesian Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(6), 4744–4754. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2016.2524678>
- Dey, P., & Roberts, D. (2007). A conceptual framework for modelling crowd behaviour. *Proceedings - IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, DS-RT*, 193–200. <https://doi.org/10.1109/DS-RT.2007.5>
- Diestel, R. (2017). *Graph Theory* (5th ed.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53622-3>
- Dimas, J., Pereira, G., Santos, P. a, Prada, R., & Paiva, A. (2011). “I’m happy if you are happy.” A model for emotional contagion in game characters. *ACM International Conference Proceeding Series*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/2071423.2071426>
- Doherty, R. W. (1997). The emotional contagion scale: A measure of individual differences. *Journal of Nonverbal Behavior*, 21(2), 131–154. <https://doi.org/10.1023/A:1024956003661>
- Ekman, P. (1992). Are There Basic Emotions? *Psychological Review*, 99(3), 550–553. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.3.550>
- Ekman, P. (1999). Basic Emotions. No: T. Dalgleish & M. J. Power (Eds.), *Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 45–60). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470013494.ch3>

- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 17(2), 124–129. <https://doi.org/10.1037/h0030377>
- Eppstein, D., Paterson, M. S., & Yao, F. F. (1997). On nearest-neighbor graphs. *Discrete and Computational Geometry*, 17(3), 263–282. <https://doi.org/10.1007/PL00009293>
- Eyharabide, V., Amandi, A., Courgeon, M., Clavel, C., Zakaria, C., & Martin, J. C. (2011). An ontology for predicting students' emotions during a quiz. Comparison with self-reported emotions. *IEEE SSCI 2011 - Symposium Series on Computational Intelligence - WACI 2011: 2011 Workshop on Affective Computational Intelligence*, 76–83. <https://doi.org/10.1109/WACI.2011.5953153>
- Eysenck, H. J., & Eysenck, S. B. G. (1964). *Manual of the Eysenck Personality Inventory*. Hodder and Stoughton.
- Felps, W., Mitchell, T. R. R., & Byington, E. (2006). How, When, and Why Bad Apples Spoil the Barrel: Negative Group Members and Dysfunctional Groups. *Research in Organizational Behavior*, 27, 175–222. [https://doi.org/10.1016/S0191-3085\(06\)27005-9](https://doi.org/10.1016/S0191-3085(06)27005-9)
- Formolo, D., & van der Wal, C. N. (2017). Simulating Collective Evacuations with Social Elements. No: N. Nguyen, G. Papadopoulos, P. Jędrzejowicz, B. Trawiński, & G. Vossen (Eds.), *Computational Collective Intelligence. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 10448 LNAI* (pp. 160–171). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67074-4_16
- Frijda, N. H. (1993). Moods, emotion episodes, and emotions. No: M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 381–403). The Guilford Press.
- Gardner, H. (1987). *Frames of Mind: The theory of multiple intelligences*. Basic Books.
- Gautam, D., Singh, R. R., & Singh, V. K. (2009). Multi-agent based models of social contagion and emergent collective behavior. *2009 International Conference on Intelligent Agent and Multi-Agent Systems, IAMA 2009*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IAMA.2009.5228082>
- Gebhard, P. (2005). ALMA. *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 29–36. <https://doi.org/10.1145/1082473.1082478>
- Gebhard, P., Kipp, M., Kiesen, M., & Rist, T. (2003). Adding the emotional dimension to scripting character dialogues. No: T. Rist, R. S. Aylett, D. Ballin, & J. Rickel (Eds.), *Intelligent Virtual Agents. Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)* (Vol. 2792, pp. 48–56). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39396-2_9
- Gil, R., Virgili-Gomá, J., García, R., & Mason, C. (2015). Emotions ontology for collaborative modelling and learning of emotional responses. *Computers in Human Behavior*, 51, 610–617. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.100>
- Goleman, D., Boyatzis, R., & McKee, A. (2002). The Emotional Reality of Teams. *Journal of Organizational Excellence*, Spring, 55–65.
- Gorochowski, T. E., Matyjaszkiewicz, A., Todd, T., Oak, N., Kowalska, K., Reid, S., Tsaneva-Atanasova, K. T., Savery, N. J., Grierson, C. S., & di Bernardo, M. (2012). BSim: An agent-based tool for modeling bacterial populations in systems and synthetic biology. *PLoS ONE*, 7(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042790>
- Grassi, M. (2009). Developing HEO Human Emotions Ontology. No: J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, A. Esposito, A. Drygajlo, & M. Faundez-Zanuy (Eds.), *Biometric ID Management and Multimodal Communication. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 5707 LNCS* (pp. 244–251). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04391-8_32
- Gratch, J. (2000a). Émile. *Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous*

- Agents - AGENTS '00*, 325–332. <https://doi.org/10.1145/336595.337516>
- Gratch, J. (2000b). Modeling the interplay between emotion and decision-making. *Proceedings of the 9th Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, 1–11.
- Gratch, J., & Marsella, S. (2004). A domain-independent framework for modeling emotion. *Cognitive Systems Research*, 5(4), 269–306. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2004.02.002>
- Graudīna, V. (2011). *Zināšanu kartogrāfijas tehniku un jēdzienu kartēs sakņotas intelektuālas zināšanu vērtēšanas sistēmas integrācijas izpēte un realizācija*. [Promocijas darbs, Rīgas Tehniskā universitāte].
- Grüninger, M., & Fox, M. S. (1995). Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI95), Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, 1–10.
- Hareli, S., & Rafaeli, A. (2008). Emotion cycles: On the social influence of emotion in organizations. *Research in Organizational Behavior*, 28, 35–59. <https://doi.org/10.1016/j.riob.2008.04.007>
- Hastings, J., Ceusters, W., Smith, B., & Mulligan, K. (2011). Dispositions and processes in the emotion ontology. *CEUR Workshop Proceedings*, 833, 71–78.
- Hatfield, E., Cacioppo, J. T., & Rapson, R. L. (1993). Emotional Contagion. *Current Directions in Psychological Science*, 2(3), 96–100. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770953>
- Helbing, D., & Baliotti, S. (2013). How to Do Agent-Based Simulations in the Future : From Modeling Social Mechanisms to Emergent Phenomena and Interactive Systems Design Why Develop and Use Agent-Based Models ? No: *Social Self-Organization* (pp. 25–70). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-24004-1>
- Hoogendoorn, M., Treur, J., Van Der Wal, C. N., & Van Wissen, A. (2011). Agent-based modelling of the emergence of collective states based on contagion of individual states in groups. No: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 6560, pp. 152–179). https://doi.org/10.1007/978-3-642-19968-4_8
- Hudlicka, E. (2004). Beyond Cognition: Modeling Emotion in Cognitive Architectures. *Sixth International Conference on Cognitive Modeling*, 3, 118–123.
- Hudlicka, E. (2008). Modeling the mechanisms of emotion effects on cognition. *Papers from the 2008 AAI Fall Symposium*, 1–5.
- Hudlicka, E. (2011). Guidelines for Designing Computational Models of Emotions. *International Journal of Synthetic Emotions*, 2(1), 26–79. <https://doi.org/10.4018/jse.2011010103>
- Hudlicka, E. (2012). Reasons for Emotions: Modeling Emotions in Integrated Cognitive Systems. No: W. D. Gray (Ed.), *Integrated Models of Cognitive Systems* (pp. 263–278). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195189193.003.0019>
- Izard, C. E. (1992). Basic emotions, relations among emotions, and emotion-cognition relations. *Psychological Review*, 99(3), 561–565. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.3.561>
- James, W. (1884). What is an emotion? *Mind*, 9(34), 188–205.
- Jamshidnejad, A., & Mahjoob, M. J. (2011). Traffic simulation of an urban network system using agent-based modeling. *2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering, CHUSER 2011*, 300–304. <https://doi.org/10.1109/CHUSER.2011.6163738>
- Kaligotla, C., Yucesan, E., & Chick, S. E. (2015). An Agent Based Model of Spread of Competing Rumors Through Online. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 3985–3996. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408413>
- Kaminski, N. J., Murphy, M., & Marchetti, N. (2016). Agent-based modeling of an IoT network. *ISSE 2016 - 2016 International Symposium on Systems Engineering -*

- Proceedings Papers*, 13, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SysEng.2016.7753151>
- Kaneko, K., & Okada, Y. (2013). Building of Japanese emotion ontology from knowledge on the web for realistic interactive CG characters. *Proceedings - 2013 7th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, CISIS 2013*, 735–740. <https://doi.org/10.1109/CISIS.2013.132>
- Kassam, K. S., Markey, A. R., Cherkassky, V. L., Loewenstein, G., & Just, M. A. (2013). Identifying Emotions on the Basis of Neural Activation. *PLoS ONE*, 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066032>
- Kazemifard, M., Ghasem-Aghaee, N., & Ören, T. I. (2011). Design and implementation of GEmA: A generic emotional agent. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 2640–2652. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.054>
- Kazemifard, M., Ghasem-Aghaee, N., & Ören, T. I. (2012). Emotive and cognitive simulations by agents: Roles of three levels of information processing. *Cognitive Systems Research*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2010.10.002>
- Kelly, J. R., & Barsade, S. G. (2001). Mood and emotions in small groups and work teams. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 86(1), 99–130. <https://doi.org/10.1006/obhd.2001.2974>
- Kennedy, W. G. (2012). Modelling Human Behaviour in Agent-Based Models. No: *Agent-Based Models of Geographical Systems* (Issue January 2012, pp. 167–179). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8927-4_9
- Klein, M., Manzoor, A., Mollee, J., & Treur, J. (2014). Effect of changes in the structure of a social network on emotion contagion. *Proceedings - 2014 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology - Workshops, WI-IAT 2014*, 3, 270–277. <https://doi.org/10.1109/WI-IAT.2014.177>
- Klüpfel, H., Schreckenberg, M., & Meyer-König, T. (2010). Models for Crowd Movement and Egress Simulation. No: S. P. Hoogendoorn, S. Luding, P. H. L. Bovy, M. Schreckenberg, & D. E. Wolf (Eds.), *Traffic and Granular Flow '03* (pp. 357–372). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-28091-X_35
- Korecko, Š., Herich, T., & Sobota, B. (2014). JBdiEmo - OCC model based emotional engine for Jadex BDI agent system. *SAMI 2014 - IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, Proceedings*, 299–304. <https://doi.org/10.1109/SAMI.2014.6822426>
- Korecko, Š., Sobota, B., & Curilla, P. (2014). Emotional agents as non-playable characters in games: Experience with Jadex and JBdiEmo. *CINTI 2014 - 15th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Proceedings*, 471–476. <https://doi.org/10.1109/CINTI.2014.7028721>
- Kowalska-Pyzalska, A., Maciejowska, K., Weron, R., & Sznajd-Weron, K. (2015). Diffusion and adoption of dynamic electricity tariffs: An agent-based modeling approach. *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM 2015*, 1277–1283. <https://doi.org/10.1145/2808797.2808859>
- Kramer, A. D. I., Guillory, J. E., & Hancock, J. T. (2014). Experimental evidence of massive-scale emotional contagion through social networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(24), 8788–8790. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320040111>
- Kravari, K., & Bassiliades, N. (2015). A survey of agent platforms. No: *JASSS* (Vol. 18, Issue 1). <https://doi.org/10.18564/jasss.2661>
- Langley, P., Laird, J. E., & Rogers, S. (2009). Cognitive architectures: Research issues and challenges. *Cognitive Systems Research*, 10(2), 141–160. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2006.07.004>

- Lavendelis, E. (2009). *Atvērta daudzagentu arhitektūra un metodoloģija intelektuālu mācību sistēmu izstrādei*. [Promocijas darbs, Rīgas Tehniskā universitāte].
- Lee, Y. S., & Malkawi, A. (2013). Simulating human behavior: An agent-based modeling approach. No: E. Wurtz (Ed.), *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association* (pp. 3184–3191).
- Leon, F., Paprzycki, M., & Ganzha, M. (2018). *A Review of Agent Platforms*. ICT COST Action IC1404, Multi-Paradigm Modelling for Cyber-Physical Systems (MPM4CPS), http://florinleon.byethost24.com/cost_ic1404/agent_platforms.htm?i=1
- Li, L., Liu, G., Zhang, M., Pan, Z., & Song, E. (2010). BAAP: A behavioral animation authoring platform for emotion driven 3D virtual characters. No: H. S. Yang, R. Malaka, J. Hoshino, & J. H. Han (Eds.), *Entertainment Computing - ICEC 2010. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 6243 LNCS* (pp. 350–357). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-15399-0_37
- Linghu, B., Chen, F., Guo, X., & Li, W. (2013). A Conceptual Model for Flood Disaster Risk Assessment Based on Agent-Based Modeling. *2013 International Conference on Computer Sciences and Applications*, 369–373. <https://doi.org/10.1109/CSA.2013.93>
- Luck, M., McBurney, P., Shehory, O., & Willmott, S. (2005). *Agent technology: Computing as interaction*. <http://www.agentlink.org/roadmap/al3rm.pdf>
- Luo, L., Zhou, S., Cai, W., Lees, M., Yoke, M., & Low, H. (2010). Modeling human-like decision making for virtual agents in time-critical situations. *Proceedings - 2010 International Conference on Cyberworlds, CW 2010*, 360–367. <https://doi.org/10.1109/CW.2010.61>
- Macal, C. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144–156. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.7>
- Macal, C., & North, M. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4(3), 151–162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>
- Macal, C., & North, M. (2014). Introductory Tuorial: Agent-Based Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference A.*, 6–20.
- Manstead, A. S. R., & Fischer, A. H. (2001). Social appraisal: The social world as object of and influence on appraisal processes. No: K. R. Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Eds.), *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research* (pp. 221–232). Oxford University Press.
- Marsella, S., & Gratch, J. (2009). EMA: A process model of appraisal dynamics. *Cognitive Systems Research*, 10(1), 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2008.03.005>
- Marsella, S., Gratch, J., & Petta, P. (2010). Computational Models of Emotion. No: K. R. Scherer, T. Bänziger, & E. Roesch (Eds.), *A Blueprint for Affective Computing* (pp. 21–46). <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2005.1556117>
- Martin, F. J., Plaza, E., & Rodríguez-Aguilar, J. A. (2000). Conversation Protocols: Modeling and Implementing Conversations in Agent-Based Systems. No: *Issues in Agent Communication*. https://doi.org/10.1007/10722777_17
- Matthews, G., Roberts, R. D., & Zeidner, M. (2002). *Emotional Intelligence: Science and Myth*. The MIT Press.
- Mayer, J. D., Salovey, P., & Caruso, D. R. (2008). Emotional Intelligence: New Ability or Eclectic Traits? *American Psychologist*, 63(6), 503–517. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.6.503>
- McCleskey, J. (2014). Emotional intelligence and leadership: A review of the progress, controversy, and criticism. *International Journal of Organizational Analysis*, 22(1), 76–93. <https://doi.org/10.1108/IJOA-03-2012-0568>
- McCrae, R., & Costa, P. (2003). Personality in Adulthood. No: *Personality in Adulthood* (2nd

- ed.). The Guilford Press. <https://doi.org/10.4324/9780203428412>
- McGreal, S. A. (2013). *The Illusory Theory of Multiple Intelligences*. Psychology Today. <https://www.psychologytoday.com/blog/unique-everybody-else/201311/the-illusory-theory-multiple-intelligences>
- Mehl, M. R., Gosling, S. D., & Pennebaker, J. W. (2006). Personality in its natural habitat: Manifestations and implicit folk theories of personality in daily life. *Journal of Personality and Social Psychology*, *90*(5), 862–877. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.5.862>
- Mehrabian, A. (1996). Pleasure-Arousal . Dominance : A General Framework for Describing and Measuring Individual Differences in Temperament. *Current Psychology*, *14*(4), 261–292. <https://doi.org/10.1007/BF02686918>
- Melo, L. S., Sampaio, R. F., Leão, R. P. S., Barroso, G. C., & Bezerra, J. R. (2019). Python-based multi-agent platform for application on power grids. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, *29*(6), e12012. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2050-7038.12012>
- Menth, M., & Heier Stamm, J. L. (2015). An agent-based modeling approach to improve coordination between humanitarian relief providers. *2015 Winter Simulation Conference (WSC). IEEE, 2015*, 3116–3117.
- Murphy, R. R., Lisetti, C. L., Tardif, R., Irish, L., & Gage, A. (2002). Emotion-based control of cooperating heterogeneous mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *18*(5), 744–757. <https://doi.org/10.1109/TRA.2002.804503>
- Nafukho, F. M., Machuma, H. M., Farnia, F., Kacirek, K., & Lynham, S. A. (2006). Developing Emotional Intelligence Skills among Practicing Leaders: Reality or Myth? *Performance Improvement Quarterly*, *29*(1), 71–87.
- Neto, A. B. F., Pelachaud, C., & Musse, S. R. (2015). Emotion Contagion Model for Crowds. *SBC Journal on Interactive Systems*, *6*(2), 37–44.
- Nikolic, I., & Ghorbani, A. (2011). A method for developing agent-based models of socio-technical systems. *2011 International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC 2011*, 44–49. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2011.5874914>
- North, M. J., Howe, T. R., Collier, N. T., & Vos, J. R. (2008). A Declarative Model Assembly Infrastructure for Verification and Validation. No: S. Takahashi, D. Sallach, & J. Rouchier (Eds.), *Advancing Social Simulation: The First World Congress* (pp. 129–140). Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-73167-2_13
- Nowostawski, M., Carter, D., Cranefield, S., & Purvis, M. (2003). Communicative acts and interaction protocols in a distributed information system. *Proceedings of the Second International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 1082–1083. <https://doi.org/10.1145/860722.860806>
- On Chin, K., Gan, K. S., Alfred, R., Anthony, P., & Lukose, D. (2014). Agent Architecture: An Overview. *Transactions on Science and Technology*, *1*(1), 18–35.
- Ono, K., Harao, M., & Hirata, K. (2005). Multi-agent based modeling and simulation of consensus formations in arguments. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Technology and Applications, ICITA 2005, 1*, 264–267. <https://doi.org/10.1109/icita.2005.184>
- Ortony, A., Clore, G. L., & Collins, A. (1988). Introduction. No: *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press.
- Ortony, A., Norman, D. A., & Revelle, W. (2005). Affect and Proto-Affect in Effective Functioning. No: J.-M. Fellous & M. A. Arbib (Eds.), *Who Needs Emotions?: The Brain Meets the Robot* (pp. 173–202). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195166194.003.0007>
- Paiva, A., Leite, I., & Ribeiro, T. (2015). Emotion Modeling for Social Robots. No: *Oxford handbook of affective computing* (Vol. 31, Issue 4, pp. 625–647).

- <https://doi.org/10.1093/cje/bem005>
- Park, A. J., Tsang, H. H., Buckley, S., Ramirez, H. C. A., & Spicer, V. (2016). A Decision Support System for Crowd Control Using Agent-Based Modeling and Simulation. *Proceedings - 15th IEEE International Conference on Data Mining Workshop, ICDMW 2015*, 997–1000. <https://doi.org/10.1109/ICDMW.2015.249>
- Parkinson, R. B. (1996). Emotions are social. *British Journal of Psychology*, 87, 663–683.
- Parthasarathy, S., Cowie, R., & Busso, C. (2016). Using Agreement on Direction of Change to Build Rank-Based Emotion Classifiers. *IEEE/ACM Transactions on Audio Speech and Language Processing*, 24(11), 2108–2121. <https://doi.org/10.1109/TASLP.2016.2593944>
- Paton, R., Gregory, R., Vlachos, C., Saunders, J., Wu, H., & Member, S. (2004). Evolvable Social Agents for Bacterial Systems Modeling. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 3(3), 208–216. <https://doi.org/10.1109/TNB.2004.833701>
- Paul Ekman Group. (2023). *Facial Action Coding System*. FACS. <https://doi.org/10.4135/9781483381411.n178>
- Pease, C. R., & Lewis, G. J. (2015). Personality links to anger: Evidence for trait interaction and differentiation across expression style. *Personality and Individual Differences*, 74, 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.10.018>
- Pereira, G., Dimas, J., Prada, R., Santos, P. A., & Paiva, A. (2011). A generic emotional contagion computational model. No: S. D’Mello, A. Graesser, B. Schuller, & J. Martin (Eds.), *Affective Computing and Intelligent Interaction. ACII 2011. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 6974 LNCS* (pp. 256–266). https://doi.org/10.1007/978-3-642-24600-5_29
- Petrides, K. V., Pita, R., & Kokkinaki, F. (2007). The location of trait emotional intelligence in personality factor space. *British Journal of Psychology*, 98(2), 273–289. <https://doi.org/10.1348/000712606X120618>
- Petrovica, S. (2013). Adaptation of tutoring to students’ emotions in emotionally intelligent tutoring systems. *2013 2nd International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education, ICEEE 2013*, 131–136. <https://doi.org/10.1109/ICeLeTE.2013.6644361>
- Petroviča, S. (2019). *Pedagoģiskā moduļa realizācija emocionāli intelektuālā mācību sistēmā*. [Promocijas darbs, Rīgas Tehniskā universitāte].
- Petroviča, S., & Pudāne, M. (2016). Emotion Modeling for Simulation of Affective Student-Tutor Interaction: Personality Matching. *International Journal of Education and Information Technologies*, 10, 159–167.
- Picard, R. W. (1997). Affective Computing. No: *Affective Computing*. The MIT Press. <https://doi.org/10.1007/BF01238028>
- Picard, R. W., & Bursleson, W. (2004). Affective Agents: Sustaining Motivation to Learn Through Failure and a State of “Stuck.” *Social and Emotional Intelligence in Learning Environments Workshop In Conjunction with the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 1–6.
- Pokahr, A., Braubach, L., & Lamersdorf, W. (2005). Jadex: A BDI Reasoning Engine. No: *Multi-Agent Programming. Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations* (vol 15, pp. 149–174). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-26350-0_6
- Poslad, S. (2007). Specifying protocols for multi-agent systems interaction. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, 2(4), 15–es. <https://doi.org/10.1145/1293731.1293735>
- Ptaszynski, M., Rzepka, R., Araki, K., & Momouchi, Y. (2012). A Robust Ontology of Emotion Objects. *Proceedings of The Eighteenth Annual Meeting of The Association for Natural Language Processing (NLP-2012)*, 719–722.
- Pudāne, M. (2017). Affective Multi-Agent System for Simulating Mechanisms of Social

- Effects of Emotions. *2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW 2017): Proceedings*, 129–134.
- Pudāne, M., Brooks, B., Houston, R., & Radin, M. (2018). Agent Based Model of Anger Contagion and Its Correlations with Personality and Interaction Frequency. *International Journal of Education and Information Technologies*, 12(1), 7–12.
- Pudāne, M., Brooks, B., & Radin, M. A. (2020). The Spread of Supply Chain's Consumers' Emotions as Function of Their Social Network Structure. No: E. Ginters, M. Ruiz Estrada, & M. Piera Eroles (Eds.), *ICTE in Transportation and Logistics 2019. ICTE ToL 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure* (pp. 61–68). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_9
- Pudāne, M., & Lavendelis, E. (2017). General Guidelines for Design of Affective Multi-Agent Systems. *Applied Computer Systems*, 22(1), 5–12. <https://doi.org/10.1515/acss-2017-0012>
- Pudāne, M., Lavendelis, E., Nikitenko, A., & Ekmanis, M. (2015). ViaBots: a Concept for Viability for Distributed Systems. *STO-MP-AVT-241 - Technological and Operational Problems Connected with UGV Application for Future Military Operations*, 10-1-10–12.
- Pudāne, M., Radin, M., & Brooks, B. (2017). Emotion Contagion among Affective Agents - Issues and Discussion. *Proceedings of 9th International Conference on Intelligent Systems and Agents (ICAART 2017)*, 328–334. <https://doi.org/10.5220/0006252603280334>
- Ramchurn, S. D., Huynh, D., & Jennings, N. R. (2004). Trust in multi-agent systems. *Knowledge Engineering Review*, 19(1), 1–25. <https://doi.org/10.1017/S0269888904000116>
- Ramezani, F., Ghasem-Aghaee, N., & Kazemifard, M. (2011). Modeling of emotional-social negotiator agents. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA*, 42–46. <https://doi.org/10.1109/ISDA.2011.6121628>
- Rebelo, A., Catalão, F., Alves, J., Marreiros, G., Analide, C., Novais, P., & Neves, J. (2015). Prototyping Teams of Affective Agents in Robocode. *International Journal of Imaging and Robotics*, 15(1), 102–112.
- Reilly, W. (2006). Modeling What Happens Between Emotional Antecedents and Emotional Consequents. *Ace*, April, 607–612. <http://www.ofai.at/~paolo.petta/conf/ace2006/pres/Reilly-ModelingWhatHappensBetween-E0144-pres.pdf>
- Reisenzein, R. (1994). Pleasure-Arousal Theory and the Intensity of Emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(3), 525–539. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.67.3.525>
- Reisenzein, R. (2015). A short history of psychological perspectives of emotion. No: R. Calvo, S. D'Mello, J. Gratch, & A. Kappas (Eds.), *The Oxford Handbook of Affective Computing* (pp. 21–37). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199942237.013.014>
- Reisenzein, R., Hudlicka, E., Dastani, M., Gratch, J., Hindriks, K., Lorini, E., & Meyer, J. J. C. (2013). Computational modeling of emotion: Toward improving the inter-and intradisciplinary exchange. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4(3), 246–266. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2013.14>
- Riedl, M. O., & Young, R. M. (2005). An objective character believability evaluation procedure for multi-agent story generation systems. No: T. Panayiotopoulos, J. Gratch, R. Aylett, D. Ballin, P. Olivier, & T. Rist (Eds.), *Intelligent Virtual Agents. IVA 2005. Lecture Notes in Computer Science(): Vol. 3661 LNAI* (pp. 278–291). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/11550617_24
- Rincon, J. A., Costa, A., Villarrubia, G., Julian, V., & Carrascosa, C. (2018). Introducing dynamism in emotional agent societies. *Neurocomputing*, 272, 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.03.091>

- Russel, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161–1178. <https://doi.org/10.1037/h0077714>
- Russell, J. A., & Mehrabian, A. (1977). Evidence for a three-factor theory of emotions. *Journal of Research in Personality*, 11(3), 273–294. [https://doi.org/10.1016/0092-6566\(77\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0092-6566(77)90037-X)
- Rusting, C. L. (1998). Personality, Mood, and Cognitive Processing of Emotional Information: Three Conceptual Frameworks. *Psychological Bulletin*, 124(2), 165–196. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.2.165>
- Sajjad, M., Singh, K., & Ahn, C. W. (2015). Multi-Agent modeling for match-making using BDI architecture. *Proceedings of the 2015 International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2015*, 350–355. <https://doi.org/10.1109/HPCSim.2015.7237061>
- Salovey, P., & Mayer, J. (1990). Emotional Intelligence. *Imagination, Cognition and Personality*, 9(3), 185–211. <https://doi.org/10.2190/DUGG-P24E-52WK-6CD>
- Sánchez-Rada, J. F., & Iglesias, C. A. (2013). Onyx: Describing emotions on the web of data. *CEUR Workshop Proceedings, 1096*, 71–82.
- Sansores, C. E., Reyes, F., Gómez, H. F., Pavón, J., & Calderón-Aguilera, L. E. (2011). BioMASS: A biological multi-agent simulation system. *2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2011*, 675–682.
- Santos, R., Marreiros, G., Ramos, C., Neves, J., & Bulas-Cruz, J. (2011). Personality, emotion, and mood in agent-based group decision making. *IEEE Intelligent Systems*, 26(6), 58–66. <https://doi.org/10.1109/MIS.2011.92>
- Schaeffer, S. E. (2007). Graph clustering. *Computer Science Review*, 1(1), 27–64. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2007.05.001>
- Scherer, K. R. (2009). Emotions are emergent processes: They require a dynamic computational architecture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3459–3474. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0141>
- Seekhao, N., Shung, C., Jaja, J., Mongeau, L., & Li-Jessen, N. Y. K. (2016). Real-time agent-based modeling simulation with in-situ visualization of complex biological systems: A case study on vocal fold inflammation and healing. *Proceedings - 2016 IEEE 30th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2016*, 463–472. <https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2016.20>
- Seif El-Nasr, M., Yen, J., & Ioerger, T. R. (2000). FLAME - Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 3(3), 219–257. <https://doi.org/10.1023/A:1010030809960>
- Shariff, A. F., & Tracy, J. L. (2011). What are emotion expressions for? *Current Directions in Psychological Science*, 20(6), 395–399. <https://doi.org/10.1177/0963721411424739>
- Siebers, P. O., & Aickelin, U. (2008). *Introduction to Multi-Agent Simulation*. <https://ssrn.com/abstract=2827970>
- Skyttner, L. (1996). *General Systems Theory: An Introduction* (1st ed.). Macmillan Education UK.
- Slater, S. I., Moreton, R., Buckley, K., & Bridges, A. (2008). A Review of Agent Emotion Architectures. *Eludamos: Journal for Computer Game Culture*, 2(2), 203–214. <https://doi.org/10.7557/23.5982>
- Sloman, A. (2000). Architectural Requirements for Human-like Agents Both Natural and Artificial: What sorts of machines can love? No: K. Dautenhahn (Ed.), *Human Cognition and Social Agent Technology* (pp. 163–195). John Benjamins Publishing Company.
- Smith, C. A., & Lazarus, R. S. (1990). Emotion and adaptation. No: L. A. Pervin (Ed.),

- Handbook of personality: Theory and research* (pp. 609–637). Guilford.
- Spielberger, C. D., Reheiser, E. C., & Sydeman, S. J. (1995). Measuring the experience, expression, and control of anger. *Journal of the American College of Cardiology*, 18(3), 207–232. <https://doi.org/10.3109/01460869509087271>
- Steunebrink, B. R., Dastani, M., & Meyer, J.-J. C. (2009). The OCC Model Revisited. No: D. Reichardt (Ed.), *Proceedings of 4th Workshop on Emotion and Computing - Current Research and Future Impact* (pp. 1–8).
- Sun, Y., Li, Z., & Xie, J. (2013). A formal model of emotional pedagogical agents in intelligent tutoring systems. *Proceedings of the 8th International Conference on Computer Science and Education, ICCSE 2013*, 319–323. <https://doi.org/10.1109/ICCSE.2013.6553931>
- Sy, T., & Choi, J. N. N. (2013). Contagious leaders and followers: Exploring multi-stage mood contagion in a leader activation and member propagation (LAMP) model. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 122(2), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2013.06.003>
- Sycara, K., & Paolucci, M. (2004). Ontologies in Agent Architectures. No: S. Staab & R. Studer (Eds.), *Handbook on Ontologies* (pp. 343–363). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0_17
- Sykora, M. D., Jackson, T. W., O'Brien, A., & Elayan, S. (2013). Emotive ontology: Extracting fine-grained emotions from terse, informal messages. *IADIS International Journal on Computer Science and Information Systems*, 8(2), 106–118.
- Tavakoli, M., Palhang, M., & Kazemifard, M. (2014). Three levels of information processing: improvement using personality. *2014 Iranian Conference on Intelligent Systems, ICIS 2014*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IranianCIS.2014.6802602>
- The Foundation for Intelligent Physical Agents. (2002). *FIPA Communicative Act Library Specification*. FIPA TC Communication. <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.html>
- Urban, C. (2001). PECS: A reference model for human-like agents. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 206–216. <https://doi.org/10.1007/978-0-306-47002-8>
- van Kleef, G. A. (2010). The Emerging View of Emotion as Social Information. *Social and Personality Psychology Compass*, 4(5), 331–343. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2010.00262.x>
- van Kleef, G. A. (2016). The Interpersonal Dynamics of Emotion. No: *The Interpersonal Dynamics of Emotion: Toward an integrative theory of emotions as social information*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107261396>
- van Kleef, G. A., Heerdink, M. W., & Homan, A. C. (2017). Emotional influence in groups: the dynamic nexus of affect, cognition, and behavior. *Current Opinion in Psychology*, 17, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.07.017>
- Verduyn, P., & Brans, K. (2012). The relationship between extraversion, neuroticism and aspects of trait affect. *Personality and Individual Differences*, 52(6), 664–669. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.12.017>
- Verduyn, P., Delvaux, E., Van Coillie, H., Tuerlinckx, F., & Mechelen, I. Van. (2009). Predicting the Duration of Emotional Experience: Two Experience Sampling Studies. *Emotion*, 9(1), 83–91. <https://doi.org/10.1037/a0014610>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling*. The MIT Press.
- Wong, W. W. L., Feng, Z. Z., & Thein, H. (2016). *A Parallel Sliding Region Algorithm to Make Agent-Based Modeling Possible for a Large-Scale Simulation: Modeling Hepatitis C Epidemics in Canada*. 20(6), 1538–1544.
- Wooldridge, M. (1999). Intelligent Agents. No: G. Weiss (Ed.), *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence* (pp. 27–78). Massachusetts Institute of

Technology.

- Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Wu, Y., Babu, S. V., Armstrong, R., Bertrand, J. W., Luo, J., Roy, T., Daily, S. B., Dukes, L. C., Hodges, L. F., & Fasolino, T. (2014). Effects of virtual human animation on emotion contagion in simulated inter-personal experiences. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *20*(4), 626–635. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.19>
- Yan, J., Bracewell, D. B., Ren, F., & Kuroiwa, S. (2008). The Creation of a Chinese Emotion Ontology Based on HowNet. *Engineering Letters*, *16*(1), 166–171.
- Zhang, Y., & Luby, A. (2017). Simulating tolerance - A collective behavior observed in dynamic social networks. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2016 - Conference Proceedings*, 4749–4755. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844981>
- Zhou, Y., & Mi, J. N. (2014). Agent-based modeling for oil pricing policy: Simulation and V&V test research. *International Conference on Management Science and Engineering - Annual Conference Proceedings*, 815–819. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2014.6930312>
- Zvi, L., & Elaad, E. (2016). Contributions of personality dimensions to spontaneous and deliberate information processing in the guilty actions test. *International Journal of Psychophysiology*, *110*, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.10.003>

PIELIKUMI

Pētījumā apskatītie aģentos sakņotie modeļi

Koda apzīmējumi tālāk modeļu salīdzinājumā:

□	Ar modeļa semantisko vērtību saistītās klases	P	Plūsmas modelis
		O	Organizācijas modelis
		I	Izplatības modelis
		T	Tirgus analīzes modelis
◇	Ar tīkla struktūru saistītās klases	N	Struktūra ģenerēta, saistīti nejauši aģenti
		PP	Struktūra ģenerēta, bezmēroga tīkls
		B	Struktūra ģenerēta, saistīti kaimiņi (blakusaģenti)
		H	Struktūra ģenerēta, vairākslāņu
		K	Struktūra ģenerēta, klasterveida
		E	Struktūra empīriski iegūta
		-	Struktūras nav, aģenti nesadarbojas
○	Ar aģentu dažādību saistītās klases	O	Homogēni
		HP	Heterogēni pēc parametriem
		HB	Heterogēni pēc uzvedības
		HU	Heterogēni pēc uzbūves
●	Ar aģentu uzbūvi saistītās klases	R	Reaktīvie aģenti
		UL	Uz loģiku balstītie aģenti
		UP	Uz praktisko spriešanu balstītie aģenti
		H	Hibrīdie aģenti
■	Ar aģenta semantisko nozīmi saistītās klases	N	Nedzīvs objekts
		K	Dzīvs objekts kā kognitīva būtne
		B	Dzīvs objekts kā bioloģiska būtne
		S	Dzīvs objekts kā sociāla būtne

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Lee & Malkawi 2013)	Pētīt un prognozēt, kādā veidā cilvēka uzvedība ietekmē mikroklimatu un enerģijas patēriņu; organizācija	Cilvēks, kurš cenšas uzturēt temperatūru istabā	Logs vaļā Logs ciet	Uz loģiku balstīta	Satur 1 aģentu	-	Istaba	Matlab balstīta vide EnergyPlus	O	-	-	UL	K
(Maniatty et al. 1999)	Imitēt epidēmijas attīstību; izplatība	Parazīti	Imunitāte Parazīta tips Genotips	Izmanto ģenētiskos algoritmus, lai imitētu ģenētiskās izmaiņas, paaudzēs taču aģenti ir reaktīvi	Heterogēns (sacensības parazīti ar dažādiem tipiem)	Tuvākais kaimiņš (savienots ar 8 tuvākajiem kaimiņiem)	-	C++ un MPI (Message Passing Interface) balstīta sistēma	I	B	HP	R	B
(Paton et al. 2004)	Baktēriju attīstības imitēšana; izplatība	Šūna un tās iekšiene	Neaktīva Aktīva Gatava dalīties Dalās	Faziloģika, uz loģiku balstīts izvedums mutāciju modelēšanai	Homogēnas, var atrasties dažādos stāvokļos	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Vide, kurā atrodas baktērijas ar dažādiem parametriem	RUBAM (RULE-based BACTERIAL Modeling)	I	-	O	UL	B
(Kuan et al. 2011)	Ķīmisku reakciju modelēšana un prognozēšana; organizācija, jo faktiski pārbauda variantus	Aģents ir pati reakcija, tas, vai tā notiks	Reakcija vai nu notiek, vai nē, atkarībā no kāda parametra	Reaktīvs aģents, kas uztveri sareizina ar koeficientu	Satur 1 aģentu	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	-	Izmantota JADE	O	-	-	R	N
(Sansores et al. 2011)	Modelēt atsevišķas funkcionālās grupas, kas ekosistēmā ir "kaut kas" ar līdzīgām īpašībām (gan no vienas sugas, gan dažādām); izplatība	Organismi, konkrētajā lietojumā zivis, plēsējas un "zālēdājas"	Ēst Mirt Atjaunināt enerģiju utt. Modelē populāciju	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēna pēc parametriem un uzvedības	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Planktons	RePast (BioMass)	I	-	HP, HB	UP	B

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Bayrak et al. 2014)	Modelēt cilmes šūnu spēju izdzīvot pie dažādiem apstākļiem, to attīstību; izplatība	Cilmes šūnas	Šūnas aug	Reaktīvais	Homogēns	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Audi	-	I	-	O	R	B
(Liu 2016)	Pētīt nanorobotu simulāciju mērogojamību vēža iznīcināšanai, t.i., cik robotu vajag cik lielam audzējam; raksts fokusējas uz modeļa veiktspēju; izplatība	Nanoroboti	Meklēt, apskatīt, iznīcināt	Reaktīvais	10-50 tūkstoši vienību spiets, t.i., homogēns	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Audi	C++	I	-	O	R	N
(E. Pierce et al. 2015)	Mencu populācijas modelēšanai; izplatība	Menca	Skābeklis, enerģija	Uztur iekšējo stāvokli, t.i., enerģiju, apraksta ar ML-rules valodu; konkrēti arhitektūru nevar izsecināt	Heterogēns pēc parametriem	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Vide ar objektiem, ar ko menca var mijiedarboties	-	I	-	HP	-	B
(Neri et al. 2011)	Nākošās paaudzes tīklu (t.i., tādu telekomunikāciju tīklu, kas ir sarežģīti) modelēšanai no ekonomiskā viedokļa; tirgus analīze	Pilsēta, bankas, tirgus, cilvēki utt.	Dažādi ekonomiskie parametri	-	-	Klasterveida, lai arī netiek analizētas konkrēti saites starp klasteriem	-	RePast	T	K	-	-	K
(Jamshidnejad & Mahjoob 2011)	Satiksmes imitēšana pilsētvidē ar mērķi konstatēt sastrēgumu iemeslus; plūsma	Transportlīdzekļi	Pacietība	Reaktīvais	Heterogēni pēc parametriem	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Vide ietver luksoforus utt., tas ir, iela	Netlogo	P	-	HP	R	N

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Kaminski et al. 2016)	Izpētīt to, cik ASM ir noderīga IoT modelēšanai, konkrēti, kā MAC protokola izvēle ietekmē tīkla darbību; modelē IoT balstītu satiksmes pārvaldības sistēmu; plūsma	Sensori krustojuma malās	Uztveres rādiuss; aģenta mērķis reģistrēt satiksmi.	Nav minēts	Homogēni	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	Braucošās mašīnas	Mesa (Python) balstīts ASM ietvars	P		O	-	N
(Sopha et al. 2016)	Transporta tīkla modelēšanai; plūsma	Mašīnas, mazumtirgotāji	Mazumtirgotājiem: tolerance, vieta, pieprasījums.	Reaktīvi un uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni, jo divi dažādi tipi	Daļēji iegūts no esošajiem datiem, daļēji patvaļīgs	-	NetLogo	P	E/N	HP, HB, HU	R, U, P	K/N
(Sawhney et al. 2003)	Modelētu, cik laika celtniekiem vajadzēs dažādiem darbiem un kā celtnieku skaits ietekmē paveiktā darba kvalitāti; organizācija	Celtnieki, 3 tipi.	Aģentam ir tikai laika grafiks un statistiska iespēja, ar kuru tas padarīs darbu labi; aģenta tips.	Faktiski reaktīvais; uztur veicamo darbu sarakstu	Heterogēni pēc parametriem	Nav definēta, aģenti konkrētajā versijā nesadarbojas	-	StarLogo	O	-	HP	R	K
(Ono et al. 2005)	Izveidot sistēmu, kur aģenti spēj vienoties, par vienu viedokli, ja tādi ir trīs un izpētīt, kā mainās publiskais viedoklis; saskaņā ar modeļa rezultātiem – neperiodiski svārstās; izplatība	Kognitīvas būtnes	Tiek modelēts pats viedoklis, cik aģents to atbalsta un ietekmes spēks no citiem aģentiem.	Kognitīvais/ loģiskais	Homogēni	2 līmeņi kā daudzāģentu sistēmās – mikro un makro līmenis, savienojumi tīklā nejauši.	-	-	I	N	O	UL	K

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Schuster & Gilbert 2005)	Modelēt iespējamās svārstības e-mūzikas tirgū; tirgus analīze	Patērētāji, izplatītāji, ražotāji	Definēts "ideālais produkts" kā parametru kopa. Vēlme klausīties, apmierinātība ar kvalitāti.	Kognitīvais/Loģiskais	Heterogēni pēc parametriem un pēc uzvedības	Nav konkrēti definēta, taču var pieņemt, ka ir soc. tīkla struktūra ņemot vērā, ka ir daži "centrālie" aģenti, t.i., ražotāji	Tirgus	-	T	PP	HP, HB	UL	K
(Takahashi & Terano 2006)	Modelēt sakarību starp investoru uzvedību un svārstībām finanšu tirgū; tirgus analīze	Investori	Tas, cik ļoti patīk riskēt/pārliecība	Loģiskais, balstās uz lietderību	Heterogēni pēc parametriem	Nav definēta, mijiedarbojas ar vidi	Akciju tirgus	-	T	-	HP	UL	K
(Lao et al. 2007)	Modelē uzņēmuma informācijas resursu integrācijas problēmas; izplatība	Uzņēmumi	Uzņēmuma kompetence, apgrozījums, u.c. parametri	Reaktīvs	Sākotnēji pilnībā homogēni	Pēc būtības tuvākā kaimiņa (ietekmējas no tiem, kas ir blakus)	Piegādātāji, izplatītāji, ražotāji utt.	RePast	I	B	O	R	N
(Gautam et al. 2009)	Modelē globālo sociālo šablonu emergenci un sociālo izplatību jeb to, kā rodas kooperēšanās; izplatība	Kognitīvas vienības, cilvēki	Aģentiem ir vairākas abstraktas iezīmes, katrai iezīmei ir vērtība.	Reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem	Kaimiņu tīkls	-	NetLogo	I	B	HP	R	K
(Romano et al. 2009)	Nelegālo narkotiku tīklu modelēšana; izplatība	Cilvēki: dīleri, kas lieto, kas nelieto, atkarīgie, policija, neatkarīgie, ārstēšanas darbinieki u.c.	Dažāda veida narkotiku ietekme, nauda, atkarības līmenis	Uz loģisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Patvaļīga, jebkurš var mijiedarboties ar jebkuru, bet pie izdevības	-	FLAME; paredzēta skaitliski lielām imitācijām	I	N/B	HP, HB	UL	K, S

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
						mijiedarbojas ar tuvāko								
(Mudrak & Semwal 2012)	Pilsētas un populācijas plānošana, ieskaitot ēkas un piesārņojumu; organizācija	Zonas, iedzīvotāji	Iedzīvotājiem: prieks, veselība, mājas, darbs	Uztur iekšējo stāvokli, taču faktiski reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Klasterveida	-	NetLogo3D	O	K	HP, HB	R	K	
(Wagner & Agrawal 2012)	Modelē evakuāciju ārkārtas situācijās; plūsma	Cilvēks	Nav minēti	Uz praktisko spriešanu balstīts	Homogēni	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Uguns, kas izplatās, ēka	-	P	-	O	UP	K	
(ElBanhawy et al. 2012)	Mērķis ir izpētīt, vai esošā infrastruktūra ir pietiekama e-auto uzlādēšanai tagad un vai būs pietiekama nākotnē; organizācija	Cilvēks + baterija	Lādēšanas grafika plānošana	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Uzlādes vietas (pieejamas, nepieejamas u.c.)	AnyLogic	O	-	HP	UP	K	
(Taboada et al. 2012)	Izveidot sistēmu, kas palīdzēs slimnīcas vadībai pieņemt lēmumus; organizācija	Aktīvie aģenti – cilvēki (gan pacienti, gan slimnīcas personāls), pasīvie – servisi	Vārds, simptomi, pieredzes līmenis, spēja komunicēt u.c.	Reaktīvi, taču tādi, kas uztur iekšējo modeli, uz loģiku balstīti	Pilnībā heterogēni	Dažādi varianti, 1:n, kas atbilst klasteru struktūrai, bet arī 1:1	Imitēta slimnīcas vide ar uzgaidāmo telpu u.c.	NetLogo	O	K	HP, HB, HU	UL, R	K, N	
(Linghu et al. 2013)	Modelēt plūdu risku; organizācija	Vairākas klases: riska aģenti (ekonomiskais zaudējums u.c.), plūdu draudu aģenti (lietus, plūdi u.c.), vides draudu aģenti (augšnes u.c.), draudu seku aģenti (populācijas,	Atkarīgi no aģenta tipa	Gan BDI, gan reaktīvie, gan hibrīdie atkarībā no aģenta tipa	Sistēma izteikti heterogēna	Sadarbojas viens ar otru, balstoties uz likumiem, tikpat labi varētu būt nejauši sadalīti	-	-	O	N	HP, HB, HU	UP, UL, H, R	N	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
		infrastruktūras, u.c.)												
(Azar & Menassa 2010)	Enerģijas patēriņa novērtēšanai ēkā; izplatība	Cilvēks	Augsta līmeņa patērētāji, vidēja un zema. Modelē to, kādā veidā šie patērētāji maina savus paradumus.	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem	Nejauši izveidota	Telpa	eQuest	I	N	HP	R	K	
(Zhao & Kockar 2011)	Noteikt, kā emisijas kvotu tirdzniecības sistēmas direktīva ietekmē individuālas uzvedības, konkrēti, elektrības ražotājus; tirgus analīze	Izmaksas/ieņēmumi	Maksa, elektrības daudzums u.c.	Uz loģiku balstīti	Homogēni	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	-	-	T	-	O	UL	N	
(Divenyi & Dan 2013)	Kā integrēt nelielas elektrības ģenerēšanas stacijas; tirgus analīze (stratēģiju imitācija)	Ģenerēšanas aģents un uzkrāšanas (sakoncentrēšanas) aģents	Finanšu un tehniskie parametri	Uz praktisko spriešanu balstīts, lai arī lietderības	Heterogēni pēc parametriem	Centriskā sistēma, kur uzkrāšanas aģenti pārvalda ģenerēšanas aģentus	Vide ietver dažādas vides izmaiņas (piemēram, vēja ātruma mainīšanos, u.c.)	JADE	T	PP	HP	UP	N	
(Guo et al. 2014)	Saules enerģijas izmantošanas izplatīšanās starp mājāsaimniecībām modelēšana; izplatīšanās	Mājsaimniecības	Aģenti patērē dažādus enerģijas tipus.	Uz loģisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Bezmēroga struktūra (angļu val. <i>scale-free</i>)	-	-	I	PP	HP	UL	N	
(Macal et al. 2014)	Izstrādāts Electricity Market Complex Adaptive System (EMCAS) modelis, kura	Elektrību ģenerējošās kompānijas, neatkarīgie	Aģentu parametri ļoti atšķiras atkarībā no tipa.	Uz loģiku balstītie, aģents izvēlas stratēģiju, balstoties uz	Pilnībā heterogēni	Mijiedarbības ir specifiskas aģentu	Neplānoti elektrības pārtraukumi, laikapstākļi	RePast	I	N	HP, HB, HU	UL	N, K	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/ heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
	mērķis ir pētīt tirgus pārstrukturizēšanas un jaunu tehnoloģiju ietekmi uz enerģijas tirgu; izplatība	operatori, klienti, izplatītāji		ienākošo informāciju, reaktīvie		tipiem, principā – nejauša								
(Zhang et al. 2015)	Lai modelētu to, cik bieži maināmas elektromobiļu baterijas un cik tas ir ekonomiski izdevīgi; tirgus analīze	Elektromobilis (un tā īpašnieks), elektromobiļa baterija, lādēšanas stacija	Baterija: cik pilna; vadītājs: cik bieži lādē (pie cik pilnas baterijas).	Baterija: reaktīva, vadītājs: reaktīvs; stacija – faktiski reaktīva	Heterogēni pēc parametriem un semantikas, taču ne uzbūves	Principā nejauša, taču var pieņemt, ka centrējas ap lādēšanās stacijām.	-	AnyLogic	T	N	HP, HB	R	K, N	
(Kowalska-Pyzalska et al. 2015)	Lai noteiktu, kā dinamiskie elektrības tarifi ietekmē patērētājus, balstoties uz viedokļa veidošanos un lēmumu pieņemšanu; izplatība	Cilvēks	Viedoklis un lēmumu pieņemšana tiek modelēti kā divas atsevišķas plūsmas; aģenta individuālo viedokli izsaka skaitlī, ko veido neizpratne un nevēlēšanās pēc jaunām tehnoloģijām.	Uz loģiku balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Mijiedarbojas ar 4 kaimiņiem, taču “kaimiņš” var būt jebkurš, līdz ar to pilnībā saistīts grafs	-	-	I	B, R	HP	UL	K, S	
(Dehghanpour et al. 2016)	Elektriskās enerģijas tirgus modelēšana, kompāniju uzvedība šādā tirgū; tirgus analīze	Ģenerēšanas kompānijas un izplatītājs	Peļņa, pārdodamās elektrības daudzums	Uz loģiku balstīti, izmanto Beijesa tīklu tirgus attīstības paredzēšanai	Heterogēni pēc parametriem	Mijiedarbojas tikai ar izplatītāju	Pieprasījums	-	T	PP	HP	UL	N	
(Tsang et al. 2010)	Modelēt cilvēku uzvedību panikas gadījumā, lai konstatētu,	Lomas: civiliedzīvotāji,	Vecums (bērni, pieaugušie, seniori),	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem,	Klasterveida	Fiziskie elementi	GENIUS	P / I	K	HP	R	K	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
	kādus drošības pasākumus vērts ieviest; pēta gan plūsmu, gan arī izplatību	darbinieki, policija	dzimums, personība (drošs vai bailīgs)		taču izmanto spieta idejas.									
(Malinchik 2010)	Viedokļa izmaiņu modelēšana (konkrēti, teksta ziņās) sociālajā tīklā; izplatība	Indivīdi (viedokļa aģents), ziņojumu aģents	Viedoklis (-1..1) intervālā; ziņojumu aģentam: ilgums un ietekme, biežums	Reaktīvi ar iekšējo modeli	Heterogēni pēc parametriem	Savienots ar 6 kaimiņiem, taču ir eksperimentēts arī ar nejausi izveidotu grafu, lai gan izveides algoritms atgādina priekšrocības pievienošanu.	-	-	I	B	HP	R	S	
(Filho et al. 2011)	Modelis izmantots, lai pētītu cilvēku migrāciju un dažādu faktoru ietekmi uz to; plūsma	Cilvēki	Vecums, izglītība, alga, zināšanas par citurieni, attiecības.	Uz loģiku balstīti	Heterogēni pēc parametriem.	Faktiski nejausa	Divi reģioni, kas atrodas samērā lielā attālumā un kam ir savi sociāli ekon. parametri. Tiek imitēti divi līdzīgi reģioni, parametri izvēlēti atbilstoši vienam no Brazīlijas apgabaliem.	Net Logo	P	N	HP	UL	K, S	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Choi et al. 2011)	Komandas radošuma cēloņu noteikšanai atkarībā no heterogenitātes un tīkla struktūras; organizācija	Cilvēki	-	-	Homogēni	Dažādas struktūras ar dažādiem parametriem, kas nejausi ģenerētas	Komandu ģenerēšana	Net Logo	O	N	O	-	K
(Fa et al. 2011)	Liela izmēra epidēmiju imitēšanai, lai noteiktu, kādi mēri nepieciešami, lai tās apturētu; izplatība	Cilvēki	Imunitāte, slimis, inkubācija, miris; kopā 12 stāvokļi	Reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem	Tā kā modelis satur vairākas struktūras, tad sastopamas dažādas struktūras: pilnīgi savienots, nejaus tīkls (faktiski tomēr balstīts uz attālumu), aģents saistīts ar n citiem aģentiem.	Vide satur dažādus parametrus, piemēram, iedzīvotāju blīvums konkrētajā vietā.	C++ (izstrādāta pakotne QAST lielām imitācijām)	I	B	HP	R	B
(Pint et al. 2010)	Modelē to, kādā veidā rodas kriminālā aktivitāte ar mērķi analizēt un paredzēt nākošās kriminālās aktivitātes; izplatība	Divi aģentu tipi, iedzīvotājs un darba devējs	Iedzīvotājs: izglītības līmenis, gadi, dzimums, u.c. Darba devējs: prasības pret darbiniekiem, piedāvātā alga u.c.	Uz praktisko spriešanu balstīts.	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības.	Klasterveida, jo modelētas ģimenes.	Tiek modelēti vairāki pilsētas rajoni, kurus raksturo to līmenis, izglītības līmeņa un	AnyLogic University	I	K	HP, HB	UP	K

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
							vecuma sadalījums u.c. parametri.							
(Maretto et al. 2010)	Modelē dažādus veidus, kā veidojas segregācija – kā pilsēta sadalās nabadzīgajos, vidējos un augstas klases rajonos ar mērķi imitēt klasiskos šādu rajonu sadalījumus pilsētā; izplatība	Iedzīvotāji	Dažādi aģentu tipi: finansiālie aģenti (5% no populācijas), augstu ienākumu aģenti (20%), vidēji ienākumi (25%), zemi ienākumi (50%).	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Tuvākā kaimiņa sadalījums	2D matrica 99x99 elementi	-	I	B	HP, HB	R	K, S	
(Savarimutu et al. 2011)	Imitēta medījuma-medītāja vide, kur sabiedrības normas ietekmē mainīgi vides apstākļi, lai pētītu, kā dažādu resursu pieejamība ietekmē sabiedrības normas; izplatība	Cilvēki/kognitīvas būtnes	Enerģija, kuru zaudē, ja neēd un iegūst, ja ēd.	Reaktīva	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Dinamiska, tuvākie kaimiņi	2D režģis, kur ir divu tipu resursi: savācamie resursi (zāle, rieksti u.c.) un medījамie resursi (gaļa).	NetLogo	I	B	HP, HB	R	K	
(Liu & Chen 2011)	Baumu izplatības modelēšana Twitter tīklā ar mērķi konstatēt, kādas aģentu tipu kombinācijas rada kādus šablonus un kādu aģentu tipu sadalījumu; izplatība	Trīs veidu cilvēki (kognitīvās būtnes): baumu izplatītāji, baumu apstādinātāji un baumu nezinošie cilvēki.	Uzticība citiem	Reaktīva	Heterogēni pēc parametriem	Bezmēroga tīkls	Twitter	NetLogo	I	PP	HP	R	K, S	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Huang & Chi 2011)	Mērķis ir modelēt dažādas cilvēku motivācijas un to izplatību sociālā tīklā; izplatība	Cilvēks	Motivācija, pašprezentācija, pašattīstība	Reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem	Saistībai ir svars, taču tīkla struktūra faktiski nav definēta	-	-	I	-	HP	R	K, S
(Zaffar et al. 2014)	Izpētīt, kā starporganizāciju mijiedarbības ietekmē programmatūras izplatīšanu /tehnoloģiju integrēšanu; izplatība	Firmas	Pieejamā programmatūra, maina vai nemaina šo programmatūru, firmas lielums un struktūra	Uz loģiku balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Specifiski definēts blīvums un topoloģija, izmēģināts: bezmēroga, savienots ar x kaimiņiem, nejauši tīkli	-	-	I	PP, B, N	HP	UL	N
(Gutierrez-Garcia et al. 2013)	Tiek izmantots noziegumu imitācijai pieņemot, ka cilvēki maina savu uzvedību, balstoties uz iekšējiem un ārējiem apstākļiem; izplatība	Cilvēks, kas vai nu spēj, vai nespēj veikt noziegumu	Cilvēkiem, kas nespēj veikt noziegumus: vecums, dzimums, izglītības līmenis, nodarbinātība, vai ir narkotiku lietotājs, u.c. Cilvēkiem, kas spēj: iespējamais ieguvums, iespējamais sods, ilgums, nozieguma tips.	Atkarībā no vides, cilvēki pieņem izvēli, vai veikt noziegumu, uz loģiku balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Videi ir vairāki parametri: dienas ilgums, aģentu daudzums u.c.	NetLogo	I	-	HP	UL	K

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Zou et al. 2014)	Kolektīvo pakalpojumu izmantošanas (<i>crowdsourcing</i>) modelēšanai ar mērķi testēt dažādas uzdevumu konfigurācijas darba ātruma un kvalitātes uzlabošanai; organizācija	Aģenti ir cilvēki, kas pieņem darbus un tie, kas pieprasa darbus.	Valsts, un tas, cik bieži darbs ir labi izpildīts. Laika zona.	Uz loģiku balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Šeit par eksperimenta ievadēm saukti aģenta un vides parametri, t.sk. video ātrums, ilgums, u.c.	-	O	-	HP	UL	K
(Wang & Collins 2015)	Pētījumā modelēta sociālā tīkla veidošanās struktūra ar mērķi konstatēt, vai reālajai dzīvei atbilst situācija, ka jaunas virsotnes pievienojas populārākajām, nevis līdzīgākajām virsotnēm; organizācija, jo attiecas uz tīkla konfigurācijas pētīšanu	Intelektuālas būtnes sociālajā tīklā	Parametrs, kas nosaka, cik ļoti cilvēki ir ieinteresēti savu kontaktu popularitātē.	Reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem.	Pēta bezmēroga tīklus	-	NetLogo	O	PP	HP	R	K, S
(Hu et al. 2014)	Izpētīt cilvēku migrācijas atkarību no klimata izmaiņām; plūsmas veidošanās	Cilvēki, bet ierobežotu skaitļošanas resursu dēļ – mājsaimniecības.	Slieksnis, pie kura pārvāksies	Reaktīva – ja risks pārsniedz sliekšni, aģents pārvietojas	Homogēni	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Dažādi notikumi ar klimatu (piemēram, lietusgāzes).	Pašu veidota platforma	P	-	O	R	K
(Sajjad et al. 2015)	Imitēt cilvēku grupas vēlni veidot ilgtermiņa attiecības (t.i. precēties); izplatība	Cilvēki	Vecums, izglītība, statuss, dzimums.	Uz praktisko spriešanu balstīts.	Heterogēni pēc parametriem.	Faktiski nav, nejauša.	-	Jason	I	N	HP	UP	K, S
(Kaligotla et al. 2015)	Modelēt un pētīt baumu izplatīšanos sociālajā tīklā; kādas baumas spēj ilgāk izdzīvot; izplatība	Cilvēki	Reputācija un pūles, sliekšnis, kuru nepieciešams	Neveic secināšanu, ir reaktīvi, taču	Heterogēni pēc parametriem	Nejaušs tīkls	-	NetLogo	I	N	HP	R	K, S

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
			pārsniegt, lai pārliecinātu aģentu, kā arī aģenta attieksme pret konkrētajām baumām: neitrāla, aktīvi vai latenti atbalstoša, aktīvi vai latenti noliedzīga.	uztur iekšējo stāvokli.										
(Singh et al. 2016)	Imitēt demogrāfiju un to, kā dzimstību ietekmē vecums, ienākumi, tēriņi, sociālais atbalsts; izplatība	Sieviešu un vīriešu dzimuma aģenti	Nem vērā vēlmes, bērnu skaitu, izglītības līmeni, ienākumus/ tēriņus.	Uz praktisko spriešanu.	Heterogēns pēc parametriem.	Faktiski nav, nejauša.	-	Jason (tie paši autori, kas mazliet augstāk)	I	N	HP	UP	K, S	
(Rouleau 2016)	Imitēt normu parādīšanos sabiedrībā; izplatība	Kognitīvas racionālas būtnes/ cilvēki	Atšķirīga spēja pieņemt normas dažādiem likumiem	Uz loģiku balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Regulārs grafs ar astoņiem kaimiņiem	-	MASON	I	B	HP	UL	K, S	
(Wang et al. 2011)	Imitēt pūļa evakuāciju; plūsma	Cilvēki, kas izvēlas virzienu, kurā evakuēties	Reakcijas laiks, pārvietošanās ātrums	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Nepārtraukta vide, kuru raksturo cilvēku blīvums	-	P	-	HP	R	K	
(Zhou et al. 2012)	Vispārējo šablonu meklēšanai pūlī – kādā virzienā pūlim ir tendence pārvietoties; plūsma	Gājēji	Dinamika (t.i., pārvietoējuma virziens un ātrums), uzskati	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	-	Datu apstrādei izmantots MatLab	P	-	HP	UP	K	
(Xue et al. 2017)	Vakcinācijas politikas pieņemšanas modelēšanai; tā kā	Cilvēki	Attieksme pret vakcinēšanos un norma, kas	Uz loģiku balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Sabiedrībai atbilstošs modelis ar	Slimības attīstības pakāpe	SOARS (Java-balstīts)	T	E	HP	UL	K, S	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
	mērķis ir noteikt politiku – tirgus modelēšana		atkarīga no tiem, kas ir apkārt, vecums, dzimums			heterogēnām attieksmēm starp grafa virsotnēm, kas reprezentē draugu, ģimenes u.c. sociālās attiecības		imitācijas rīks)						
(Collins & Frydenlund 2016)	Lai pētītu un imitētu, kādā veidā bēgļi veido grupas ar mērķi veidot labāku humanitāro palīdzību; plūsma	Bēgļis	Ātrums	Kognitīvā arhitektūra, uz lietderību balstīti aģenti, kas satur pasaules modeli; uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	-	NetLogo	P	-	HP	UP	K	
(Ruiz-Martin et al. 2016)	Komunikācijas modelēšanai un imitācijai ārkārtas situācijās (konkrēti, kodolkatastrofa); organizācija	Cilvēki un cilvēku grupas	Vai ir saņēmis informāciju	Reaktīvi, pārsūta informāciju balstoties uz ienākošo informāciju	Semantiski heterogēni, taču modelēti kā homogēni	Modelēta reāla sistēma; hierarhiska uzbūve	-	Rīku kombinācija: MySQL+VLE+R	O	H	O	R	K	
(Zhang & Luby 2016)	Modelēt toleranci (aģenta vēlmi uzturēt neatalgojošu saikni) - tiek modelēta kā saites ar mazāku lietderību aģentam, bet ar lielāku atalgojumu grupai kopumā; izplatība	Cilvēki	Pašreizējā lietderība	Uz praktisko spriešanu balstīti, rēķina lietderību	Homogēni	Nejauša	-	-	I	N	O	UP	K, S	
(van Maanen & van der	Modelēt sociālo ietekmi tīklā, konkrēti Twitter	Twitter lietotājs; kognitīva būtne	Statistiskie faktori, piemēram,	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc	Atbilstoša Twitter tīklam	Tēmas, vai šovs šobrīd notiek, vai	RePast Symphony	I	E	HP, HB	UP	K, S	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
Vecht (2013)	un par VoiceKids Nīderlandē; izplatība		sekotāju skaits; interese par tēmu		parametriem un uzvedībām		cilvēks uzstājas							
(Garcia & Schweitzer 2011)	Modelēt lietotāju emocionālo stāvokli un tā ietekmi uz produktu novērtējumiem Amazon; izplatība	Lietotājs	Emocionālais stāvoklis un lietotāja vēlmes	Uz loģiku balstītais – novērtē produktu un uz to balstoties, izvada rezultātu	Heterogēni pēc parametriem	Nav minēta	Produkti ar īpašībām	-	I	-	HP	UL	K, S	
(Bu et al. 2014)	Modelēt vardarbīgu uzvedību pūlī; izplatība	Cilvēks	Piesaiste notikumam, emocionālais stāvoklis; ja aizvainojums kļūst lielāks par risku, sākas vardarbība	Reaktīvs: ja iekšējais stāvoklis un uztvere pārsniedz sliekšni, veikt darbību	Heterogēni pēc parametriem	Uz tuvumu (redzamību) balstīta struktūra	Notikumi	NetLogo	I	B	HP	R	K, S	
(MacKenzie et al. 2010)	Kaujas imitēšanai, kā karaspēka komplektācija (it īpaši tehnisko darbinieku daudzums) maina tās gaitu; organizācija	Ražošanas pārraudzības aģenti, lidmašīnas, to uzturētāji, pārvadātāji (ekspeditori)	Air Force Specialty Code (AFSC) un darbības ātrums tiem aģentiem, kas attēlo cilvēkus	Uztur iekšējo modeli, uzbūve nav specificēta	Pilnībā heterogēni	Atbilstoša problēmai/ empīriski iegūta	Ģenerē notikumus	-	O	E	HP, HB, HU	-	N, K	
(Abbas et al. 2012)	Analizēt satiksmes drošību; plūsma	Vadītājs (cilvēks)	Parametri, kas ietekmē drošu braukšanu, piemēram, cik strauja ir paātrināšanās; aģenta darbības likumi ģenerēti balstoties uz īstiem datiem	Reaktīvs aģents, kurš atjaunina parametrus (mācās)	Heterogēni pēc uzvedības/parametriem	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	-	VISSIM – rīks, kas paredzēts tieši satiksmes modelēšanai	P	-	HP, HB	R	K	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Koelle 2013)	Modelēt dažādus gaisa transportlīdzekļu satiksmes pārvaldības scenārijus; organizācija	Lietotāji, lidostas, lidsabiedrības	-	-	-	Atbilstoša problēmai/empīriski iegūta	-	Repast Symphony	O	E	-	-	N, K
(Tsai et al. 2013)	Modelēt, kādā veidā mainās ainava, balstoties uz zemes īpašnieku pieņemtajiem lēmumiem; faktiski tirgus analīze	Zemes īpašnieki (zemnieki, tie kas apsaimnieko zemi) un pati zeme – mežs, agri kultūra vai pilsēta.	Zemes aģentiem – kas uz zemes aug, kam zeme pieder; zemes īpašniekiem – finansiālais stāvoklis	Reaktīvi	Heterogēni pēc uzvedībām un parametriem	Atbilstoša problēmai/empīriski iegūta	-	UrbanSim komponentes	T	E	HP, HB	R	N, K
(Das et al. 2013)	Imitēt migrāciju uz jaunām tīkla tehnoloģijām; tā kā lēmumus pieņem atkarīgi viens no otra, izplatība	Kognitīvas būtnes, kas spēj pieņemt lēmumu pāriet uz jaunu tehnoloģiju	Stratēģiju kopa	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Bezmēroga tīkli, 100 virsotnes - tīkli	Izmaksas un ieguvumi izvēloties jaunu tehnoloģiju	-	I	PP	HP	UP	K
(Purbasari et al. 2013)	Pētīt un imitēt imūnsistēmu; izplatība	Imūnsistēmas šūnas	Četri stāvokļi: inicializācija, aktivizēšanās, reproducēšanās, nāve	Reaktīvi	Homogēni	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	-	Izmanto UML mijiedarbību aprakstam	I	-	O	R	
(Zhou & Mi 2014)	Modelēt naftas cenu politiku; tirgus analīze	Ražotāji, izplatītāji, uzņēmēji un patērētāji (patērētāju grupas); finanšu ministrija, reformu komisija	Atkarīgs no aģenta; ienākumi, kopējās izmaksas, kopējie ieņēmumi utt. uzņēmējiem/Patērētājiem.	Visi aģenti ir reaktīvi, taču mainās to uztveres; aprēķina izvadī balstoties uz iekšējo stāvokli	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Atbilstoša realitātei	Starptautiskā vide, kas satur naftas cenu	-	T	E	HP, HB	R	N, K
(Du & El-Gafy 2014)	Modelēt celtniecības uzņēmumu darbu ar	Celtnieki, arī citas lomas	Kompetence, darba kvalitāte,	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc	Hierarhiska	Ienākošie projekti:	RePast Symphony	O	H	HP, HB	UP	K, S

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
	mērķi noteikt, kā organizācijas struktūra ietekmē paveikto darbu; organizācija	(vadītāji, prezidents, u.c.) un dažādas saites starp tiem	kapacitāte, autoritāte, alga u.c.		parametriem un uzvedībām		daudzums, prioritāte, sarežģītība, izmaksu un laika ierobežojumi, kļūdu varbūtība; tie tiek sadalīti uzdevumos, kam ir līdzīgi atribūti						
(Illangakoon et al. 2014)	Novērtēt aģentos sakņotas modelēšanas lietderību malārijas izplatības imitēšanai; izplatība	Ods un cilvēks (bioloģiskas būtnes)	Stāvokļi kā parametri: uzņēmīgs pret slimību/ inficējies/ miris	Reaktīvs, taču uztur iekšējo stāvokli	Heterogēni pēc parametriem un uzvedībām	Uz attālumu balstīts	Temperatūra	-	I	B	HP, HB	R	B
(Takahashi 2015)	Modelē akciju tirgu ar mērķi noteikt rājumu indeksa <i>smart beta</i> lietderību; tirgus analīze	Investori (kognitīvas būtnes)	Tips: fundamentālists, beta investors, prognozēšana, balstoties uz pagātnes notikumiem vai pašreizējo tirgus virzību.	Beta investori: reaktīvi, citi – uz praktisko spriešanu balstīti	Pilnībā heterogēni	Nav minēta; aģenti mijiedarbojas ar vidi	Tirgus ar kopējiem aktīviem	-	T	-	HP, HB, HU	R, UP	K
(Darabi & Mansouri 2015)	Modelēt to, kāda nozīme ir aviokompāniju apvienošanai un kā šis process maina tirgu; tirgus analīze	Aviokompānijas un pasažieri	Aviokompānijām: lidojuma izmaksas, ietilpība; tīkla daļa; pasažieriem nav.	Uz praktisko spriešanu balstīti, lai gan atšķiras spriešanas process	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Pamatojoties uz cenām, t.i., balstīts uz parametru: nepieciešamība	Atbilst pilsētu tīklam	AnyLogic	T	B	HP, HB	UP	N

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Wong et al. 2016)	Mērķis ir liela mēroga modeļu izmantošana C hepatīta izplatības modelēšanai Kanādā; izplatība	Cilvēki kā kognitīvas un bioloģiskas būtnes	Vecums, dzimums, seksuālā orientācija, imigranta statuss, seksuālā uzvedība, narkotiku lietošanas paradumi un slimības attīstības pakāpe.	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem	Seksuālā uzvedība: bezmēroga tīkls; narkotiku izmantošanas uzvedība: bezmēroga tīkla paveids	-	AnyLogic	I	PP	HP	R	K, B
(Bouarfa et al. 2016)	Modelēt un imitēt četras koordinācijas politikas ar mērķi optimizēt gaisa transportēšanas sistēmu; organizācija	Pārvaldnieks, pilots, ekipāžas kontrolieris, uzturēšanas servisi, lidostas inženieris, stacijas pārvaldnieks, lidmašīnas kustību sistēma, ekipāžas izsekošanas sistēma, ekipāža.	Aģentiem ir dažādi tipi, kas var tikt uzskatīti par parametru, pēc kura izvēlas uzvedību, taču faktiski parametru nav	Reaktīvi	Heterogēni pēc uzvedības	Atbilstoši problēmsf.	-	LEADSTO	O	E	HB	R	K, N
(Arvitrida et al. 2016)	Modelēt to, kādā veidā sadarbība vai sāncensība firmu starpā ietekmē loģistikas ķēdes tirgū, kurā tās strādā; organizācija	Klienti, ražotāji un piegādātāji	Spēja iet uz kompromisu, lojalitāte klientam/ ražotājam.	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Klasterveida starp dažādiem aģentiem; sadarbība balstīta uz attālumu	Tirgus parametri, tādi kā novitāte, efektivitāte	NetLogo	O	K, B	HP, HB	R	K, S

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Behmer et al. 2016)	Piekrastes kauju imitācija; pārbaudīt, cik izturīgas ir dažādas stratēģijas pret uzbrukumu; organizācija	Komandieri, kontrolieri, sensori	Sensoriem: uztveres attālums	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Klasterveida (katra fiziskā platforma satur 2 aģentus); klasteru savienojumi atbilst reālai kaujai.	Kaujas vide	TRITON	O	K	HP, HB	R	K
(Kowalska-Pyzalska 2016)	Modelēt viedo elektrības skaitītāju ieviešanu un to, kā šādi skaitītāji ietekmē tirgu; tirgus analīze	Patērētāji	Ieguvumi un izmaksas (vienā mainīgajā gan taustāmās, gan netaustāmās)	Uz loģisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Katram aģentam 4 nejauši izvēlēti kaimiņi	-	Rezultāti iegūti analītiski	T	N	HP	UL	K
(Gao et al. 2017)	Imitēt slimnīcas servisu procesus, lai saprastu, kādā veidā slimnīcas aug; organizācija	Pacienti un slimnīcas	Slimnīcas: dažādas izplešanās stratēģijas Pacienti: preferences slimnīcu izvēlei	Reaktīvs; izmanto varbūtības; slimnīcām – uz loģisko spriešanu balstīts	Pilnībā heterogēni	Faktiski mijiedarbojas balstoties uz attālumu	Slimnīcas kā vide; cik vietu ir slimnīcās	NetLogo	O	B	HP, HB, HU	R, UL	K, N
(Seekhao et al. 2016)	Modelē balss saišu iekaisumu un ārstēšanu ar mērķi noteikt, kā labāk izārstēt; izplatība	Imūnsistēmas un ārstējošās šūnas	Izdalāmā viela	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem	Koncentrējas uz liela izmēra imitācijām, implementēts uz 3,8 mlj aģentiem; mijiedarbība balstīta uz parametru	-	Speciāli izstrādāts risinājums, kas strādā Linux operētājsistēmā uz grafiskās kartes	I	B	HP	R	B
(Chen et al. 2016)	Lai modelētu to, cik drošas ir loģistikas ķēdes; organizācija	Piegādātāji	Cena, maksimālā ražošanas jauda, teorētiski arī	Uz loģisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Līdzinās hierarhiskai struktūrai	-	LeCas modelēšanas rīks	O	H	HP	UL	K

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
			sākotnējais uzkrājums											
(Hill 2017)	Noskaidrot, kādas skolu politikas ir drošākās pie norovīrusa epidēmijas; izplatība	Skolēni	-	Reaktīvs	Homogēni	Klasterveida tīkla struktūra, lai imitētu klases; klasteros mazās pasaules grafa īpašība	-	-	I	K	O	R	B	
(Sokolowski & Banks 2010)	Izpētīt, kā globalizācija ietekmē stabilu kultūru specifiskā reģionā; izplatība	Kulturālā identitāte (divas pretējas kultūras, kas laikā nemainās; šis aģents izmantots implementācijas vienkāršībai); cilvēki	5 abstraktas iezīmes kas raksturo kultūras un cilvēkus	Reaktīvs	Heterogēni pēc parametriem	Centriska, aģenti mijiedarbojas ar kultūrām. Līdzinās bezmēroga tīkliem.	Globalizācijas pakāpe – varbūtība, ka aģents mijiedarbosies ar citu kultūru	-	I	PP	HP	R	S, N	
(Crowder et al. 2012)	Inženieru komandas darbības imitācijai ar mērķi optimizēt komandas darbu; organizācija	Projektētāji, resursi (reprezentē informācijas resursu – ne cilvēku) un uzdevumu pārvaldnieks, kas reprezentē pārvaldības procesus.	Dažādiem aģentiem atšķirīgi: kompetence, motivācija, pieejamība, uzticamība, atbildes proporcija; uzdevumu vadītājam – sarežģītība un darbplūsma.	Resurss: reaktīvs, pārējie: uz praktisko spriešanu balstīti	Pilnībā heterogēni	Faktiski nejauša	-	JADE	O	N	HP, HB, HU	R, UP	K, S, N	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
(Popescu et al. 2013)	Pēta emociju dinamiku ārkārtas gadījuma evakuācijas laikā; izplatība (atkarībā no vides)	Cilvēks	Vecums, ienākumi, reliģiskā piederība	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	-	Attālums no noietnes, notikuma vietas raksturojumi	MATLAB	I	-	HP	UP	K
(Pan et al. 2013)	Pētīt un validēt metodes armijas morālas uzvedības uzturēšanai; izplatība	Kareivis	Parametri, kas veido morālu uzvedību: apziņa, vērtības, ekspertīze, motivācija; mijiedarbības parametri: inerce, mijiedarbība, vēsture.	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem	Balstīta uz attālumu	Vides režģis	RePast J (RePast for Java)	I	B	HP	UP	K, S
(Bristow et al. 2014)	Modelē sāncensības un sadarbības modeļus konflikta laikā daudzāģentu sistēmās ar mērķi pētīt sistēmas un aģentu kopējo lietderību; organizācija	Aģents ar spēju pieņemt lēmumus	Vērtību sistēma un vēlmes	Uz praktisko spriešanu balstīts	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Dinamiska, atkarīga no mijiedarbībām, taču mijiedarboties drīkst visi ar visiem	Atalgojumi un sodi	Python 2.7	O	N	HP, HB	UP	K
(Tan et al. 2015)	Modelēt viedokļa izplatīšanos cilvēku grupā; izplatība	Cilvēki kā sociālas būtnes	Cilvēks var būt 5 stāvokļos: normāls, imūns, šaubīgs, izplatošs un izolējošs.	Reaktīvs, uztur iekšējo stāvokli	Heterogēni pēc parametriem	Cieši un nejauši savienots, modelim piemīt mazās pasaules modeļa īpašība	-	AnyLogic	I	N	HP	R	S
(Raoufi & Robinson Fayek 2015)	Modelēt celtnieku grupas darbu ar mērķi prognozēt grupas darba efektivitāti; organizācija	Darbinieki un grupas	Darbiniekam: vecums, dzimums, pieredze,	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Hierarhiska	-	-	O	H	HP, HB	UP	K, S, N

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/ heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
			efektivitāte, motivācija; grupai: izmērs, sastāvs, normas, dalībnieku līdzīgums.											
(Park et al. 2015)	Pūļa imitācijai un modelēšanai ar mērķi saprast, kā novērst un kontrolēt kolektīvu vardarbīgu uzvedību; izplatība	Pūļa dalībnieki	Trīs tipu aģenti: tie, kuru agresijas līmenis vienmēr ir augsts; tie, kuri parasti nav agresīvi, taču var tikt ietekmēti un tie, kas nekad nav agresīvi.	Reaktīva	Heterogēni pēc parametriem un uzvedības	Uz attālumu balstīts	Policijas barjeras, t.i., ierobežojums	Unity 3D un C#	I	B	HP, HB	R	K, S	
(Belem et al. 2011)	Modelē fermas, konkrēti: oglekļa dinamiku ar mērķi noteikt fermu sistēmu dzīvotspēju dažādos scenārijos; organizācija	Ģimene un ganāmpulks	Ģimeni raksturo: augkopības kultūra, fermas lielums, cilvēku skaits, ģimenes struktūra (dzimuma un vecuma sadalījums), resursi un izaudzētā izlietojums. Ganāmpulku raksturo tā dalībnieku vecums un no tā izrietošā masa,	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc uzvedības un parametriem	Nejauša	Gadalaiks, klimata scenāriji	-	O	N	HP, HB	UP	K, B	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods					
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/heterogēns	Tīkla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■	
			pārvietošanās ātrums.											
(Hosseinali et al. 2013)	Modelē zemes izmantošanu ar mērķi prognozēt nekustamo īpašumu attīstību dažādos scenārijos; tirgus analīze	Zemes attīstītāji	Jauni cilvēki (meklē nedārgu zemi ar labām komunikācijām); cilvēki ar augstākiem ienākumiem (meklē vērtīgāku, labāku zemi); pārtikušie (meklē pašu labāko); ar zemiem ienākumiem kas meklē lētāko; un tie, kuriem visi parametri ir vienādā svarā.	Uz praktisko spriešanu balstīti	Heterogēni pēc parametriem	Kaimiņi	Zemes gabali ar parametriem: pievilcīgums, komunikācija, cena	NetLogo 4.1	T	B	HP	UP	K	
(Mao 2014)	Slimības attīstības modelēšana, izmantojot trīs izplatības tīklus: informācijas izplatība, slimības izplatība un pret slimības pasākumu izplatība ar mērķi izveidot modeli dažādu slimības apkarošanas stratēģiju rezultātu imitācijai.	Cilvēks	Katram cilvēkam parametri iedalīti 6 grupās: tīkla, demogrāfijas, atrašanās vietas, infekcijas, aizsargāšanās un informācijas atribūti	Hibrīdi: informācijas, uzvedības un slimības slāņi	Heterogēns pēc parametriem	Uz attālumu balstīta, empīriskā (apvienotas pieejas)	Mediji, no kuriem nāk informācija; epidēmijas sākums	-	I	B, E	HP	H	B, K	
(Schreinemachers et al. 2007)	Modelēt sakarību starp dažādu bioloģisku un ekonomisku jauninājumu (piemēram,	Saimniecības	Zemes kvalitāte un daudzums, darbaspēka daudzums un	Reaktīvi; izvēle: pieņemt jauninājumus vai nē	Heterogēns pēc parametriem	-	Sākotnējie parametri: zemes parametri,	Specifisks brīvi pieejams rīks	T	-	HP	R	N	

Atsauce	Semantiskais mērķis	Mikrolīmenis			Makrolīmenis			Izstrādes vide	Kods				
		Aģenta semantiskā nozīme	Aģenta parametri/ stāvokļi	Aģentu uzbūve	Homogēns/ heterogēns	Tikla struktūra	Vide		□	◇	○	●	■
	minerālmēslu un īstermiņa kredītu) pieņemšanu dažādu ar lauksaimniecību saistītu darbu veikšanai un nabadzību		kvalitāte, dzīvnieku kvalitāte, ilggadīgo augu daudzums un kvalitāte; zināšanu līmenis				dzīvnieku, koku augšana, demogrāfija utt.	MP-MAS, valoda: C++ .					
(Xiong et al. 2017)	Pētīt to, kādā veidā rodas kolektīvās uzvedības, konkrēti modelis pēta viedokļa izplatīšanos	Sociāla būtne (cilvēks)	Spēja noturēt savu viedokli un uzticība apkārtējiem aģentiem.	Reaktīvi	Heterogēni pēc parametriem	Izmantots termins "kaimiņi", taču eksperiments veikts sociālajā tīklā, tātad bezmēroga struktūrā	-	-	I	PP	HP	R	S

Analizēto modeļu atsaucē saraksts

- Abbas, M. M., Higgs, B., Chong, L., & Medina, A. (2012). Combined car-following and unsafe event trajectory simulation using agent based modeling techniques. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/WSC.2012.6465329>
- Arvitrida, N. I., Robinson, S., & Tako, A. A. (2016). How do competition and collaboration affect supply chain performance? An agent based modeling approach. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 2016-Febru*, 218–229. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408166>
- Azar, E., & Menassa, C. (2010). A conceptual framework to energy estimation in buildings using agent based modeling. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 3145–3156. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679007>
- Bayrak, E. S., Mehdizadeh, H., Akar, B., Somo, S. I., Brey, E. M., & Cinar, A. (2014). Agent-based modeling of osteogenic differentiation of mesenchymal stem cells in porous biomaterials. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*, 2924–2927. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944235>
- Behmer, J., Ogunsina, K., Shah, P., & Srinivasan, S. (2016). An agent-based modeling approach to creating more resilient littoral combat architectures. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2016-June*. <https://doi.org/10.1109/AERO.2016.7500743>
- Belem, M., Manlay, R. J., Müller, J. P., & Chotte, J. L. (2011). CaTMAS: A multi-agent model for simulating the dynamics of carbon resources of West African villages. *Ecological Modelling*, 222(20–22), 3651–3661. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.08.024>
- Bouarfa, S., Blom, H. A. P., & Curran, R. (2016). Agent-Based Modeling and Simulation of Coordination by Airline Operations Control. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 4(1), 9–20. <https://doi.org/10.1109/TETC.2015.2439633>
- Bristow, M., Fang, L., & Hipel, K. W. (2014). Agent-based modeling of competitive and cooperative behavior under conflict. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 44(7), 834–850. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2013.2282314>
- Bu, F., Dang, H., & Gao, M. (2014). Study of individual's risk perception in collective violent events. *PIC 2014 - Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing*, 139–143. <https://doi.org/10.1109/PIC.2014.6972312>
- Chen, S., Tai, K., & Li, Z. (2016). Evaluation of supply chain resilience enhancement with multi-tier supplier selection policy using agent-based modeling. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Decem*, 124–128. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797849>
- Choi, D. Y., Seo, Y. W., & Lee, K. C. (2011). Agent-Based Modeling Approach to a Team Creativity Pattern Analysis Based on Heterogeneity and Network Structure. *2011 International Conference on Management and Service Science*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2011.5998592>
- Collins, A. J., & Frydenlund, E. (2016). Agent-based modeling and strategic group formation: A refugee case study. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 0, 1289–1300. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822184>
- Crowder, R. M., Robinson, M. A., Hughes, H. P. N., & Sim, Y. W. (2012). The development of an agent-based modeling framework for simulating engineering team work. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 42(6), 1425–1439. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2012.2199304>
- Darabi, H. R., & Mansouri, M. (2015). Governing Competition and Collaboration in Network Industries Using Agent-Based Modeling: A Case-Study of US Air Transportation Network. *IEEE Systems Journal*, 11(4), 2118–2127. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2015.2448635>
- Das, T., Drogon, M., Jukan, A., & Hoffmann, M. (2013). An agent-based modeling approach of network migration to new technologies. *IEEE International Conference on Communications*, 2583–2588. <https://doi.org/10.1109/ICC.2013.6654924>
- Dehghanpour, K., Nehrir, M. H., Sheppard, J. W., & Kelly, N. C. (2016). Agent-Based Modeling in Electrical Energy Markets Using Dynamic Bayesian Networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(6), 4744–4754. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2016.2524678>
- Divenyi, D., & Dan, A. M. (2013). Agent-based modeling of distributed generation in power system control. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4(4), 886–893. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2013.2253811>
- Du, J., & El-Gafy, M. (2014). Modeling Organizational Behaviors of Construction Enterprises: An Agent Based Modeling Approach. *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 3341–3362. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2693848.2694266>
- E. Pierce, M., Warnke, T., Helms, T., Uhrmacher, A., Krumme, U., & Hammer, C. (2015). *Individual-based cod simulation with ML-Rules* (pp. 3192–3193).
- ElBanhawy, E. Y., Dalton, R., Thompson, E. M., & Kotter, R. (2012). A heuristic approach for investigating the integration of electric mobility charging infrastructure in metropolitan areas: An agent-based modeling simulation. *2012 2nd International Symposium On Environment Friendly Energies And Applications*, 74–86.

- <https://doi.org/10.1109/EFEA.2012.6294081>
- Fa, Z., Qiao-xia, Z., & Lu, L. (2011). Intervention for contagious disease: Agent-based modeling and simulation. *2011 2nd IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences*, 155–158. <https://doi.org/10.1109/ICEMMS.2011.6015643>
- Filho, H. S. B., de Lima Neto, F. B., & Fusco, W. (2011). Migration and social networks: An explanatory multi-evolutionary agent-based model. *2011 IEEE Symposium on Intelligent Agent (IA)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/IA.2011.5953616>
- Gao, B., Chan, W. K., & Deng, X. (2017). Generative Agent-Based Modeling and Empirical Validation of the Size Distribution of Hospitals. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 47(11), 3089–3100. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2587163>
- Garcia, D., & Schweitzer, F. (2011). Emotions in product reviews - Empirics and models. *Proceedings - 2011 IEEE International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and IEEE International Conference on Social Computing, PASSAT/SocialCom 2011*, 483–488. <https://doi.org/10.1109/PASSAT/SocialCom.2011.219>
- Gautam, D., Singh, R. R., & Singh, V. K. (2009). Multi-agent based models of social contagion and emergent collective behavior. *2009 International Conference on Intelligent Agent and Multi-Agent Systems, IAMA 2009*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IAMA.2009.5228082>
- Guo, Y., Zhang, H., Dong, J., Shen, D., & Yin, J. (2014). Simulation for Promotion of Solar Energy Diffusion in Residential Consumer Market with Agent-Based Modeling and Random Forest. *2014 Sixth International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 2, 301–304. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2014.174>
- Gutierrez-Garcia, J. O., Orozco-Aguirre, H., & Landassuri-Moreno, V. (2013). Agent-based simulation of crime. *Proceedings - 2013 12th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI 2013*, 24–29. <https://doi.org/10.1109/MICAI.2013.9>
- Hill, A. L. (2016). Norovirus outbreaks: Using agent-based modeling to evaluate school policies. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1265–1276. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822182>
- Hosseinali, F., Alesheikh, A. A., & Nourian, F. (2013). Agent-based modeling of urban land-use development, case study: Simulating future scenarios of Qazvin city. *Cities*, 31, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.09.002>
- Hu, C., Zhou, L., Cui, X., & Zhang, Y. (2014). A computational simulation model for understanding the correlation of climate change and population migration. *Proceedings - 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, IIKI 2014*, 212–215. <https://doi.org/10.1109/IIKI.2014.50>
- Huang, D., & Chi, C. (2011). A mathematical value system model for agent in online social network. *2011 11th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS)*, 364–369. <https://doi.org/10.1109/HIS.2011.6122133>
- Illangakoon, C., McLeod, R. D., & Friesen, M. R. (2014). Agent based modeling of malaria. *2014 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference - (IHTC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IHTC.2014.7147546>
- Jamshidnejad, A., & Mahjoob, M. J. (2011). Traffic simulation of an urban network system using agent-based modeling. *2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering, CHUSER 2011*, 300–304. <https://doi.org/10.1109/CHUSER.2011.6163738>
- Kaligotla, C., Yucesan, E., & Chick, S. E. (2015). An Agent Based Model of Spread of Competing Rumors Through Online. *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 3985–3996. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408413>
- Kaminski, N. J., Murphy, M., & Marchetti, N. (2016). Agent-based modeling of an IoT network. *ISSE 2016 - 2016 International Symposium on Systems Engineering - Proceedings Papers*, 13, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SysEng.2016.7753151>
- Koelle, R. (2013). Agent-based modeling for performance management in air navigation. *2013 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/ICNSurv.2013.6548546>
- Kowalska-Pyzalska, A. (2016). An analysis of factors enhancing adoption of smart metering platforms: An agent-based modeling approach. *International Conference on the European Energy Market, EEM, 2016-July*. <https://doi.org/10.1109/EEM.2016.7521246>
- Kowalska-Pyzalska, A., Maciejowska, K., Weron, R., & Sznajd-Weron, K. (2015). Diffusion and adoption of dynamic electricity tariffs: An agent-based modeling approach. *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM 2015*, 1277–1283. <https://doi.org/10.1145/2808797.2808859>
- Kuan, Z., Rui-bin, Q., Hao-ran, Z., & Jun-qing, N. (2011). An Agent-based Modeling Approach for Stochastic Molecular Events of Biochemical Networks. *Intelligent Computation Technology and Automation, International Conference On*, 1, 759–763.

- Lao, G., Xing, L., & He, X. (2007). Complexity Analysis and Modeling of Enterprise Information Resources Integration. *2007 IEEE International Conference on Control and Automation*, 1873–1878. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2007.4376687>
- Lee, Y. S., & Malkawi, A. (2013). Simulating human behavior: An agent-based modeling approach. No: E. Wurtz (Ed.), *Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association* (pp. 3184–3191).
- Linghu, B., Chen, F., Guo, X., & Li, W. (2013). A Conceptual Model for Flood Disaster Risk Assessment Based on Agent-Based Modeling. *2013 International Conference on Computer Sciences and Applications*, 369–373. <https://doi.org/10.1109/CSA.2013.93>
- Liu, D., & Chen, X. (2011). Rumor propagation in online social networks like Twitter - A simulation study. *Proceedings - 3rd International Conference on Multimedia Information Networking and Security, MINES 2011*, 278–282. <https://doi.org/10.1109/MINES.2011.109>
- Liu, E. S. (2016). On the scalability of agent-based modeling for medical nanorobotics. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 2016-Febru*, 1427–1435. <https://doi.org/10.1109/WSC.2015.7408265>
- Macal, C., Thimmapuram, P., Koritarov, V., Conzelmann, G., Veselka, T., North, M., Mahalik, M., Botterud, A., & Cirillo, R. (2014). Agent-based modeling of electric power markets. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 276–287. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019895>
- MacKenzie, A., Miller, J. O., & Hill, R. (2010). An exploration of the effects of maintenance manning on combat mission readiness utilizing agent based modeling. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 1376–1382. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679053>
- Malinchik, S. (2010). Framework for Modeling Opinion Dynamics Influenced by Targeted Messages. *2010 IEEE Second International Conference on Social Computing*, 697–700. <https://doi.org/10.1109/SocialCom.2010.108>
- Maniatty, W., Szymanski, B., & Caraco, T. (1999). High-performance computing tools for modeling evolution in epidemics. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, 318. <https://doi.org/10.1109/hicss.1999.773085>
- Mao, L. (2014). Modeling triple-diffusions of infectious diseases, information, and preventive behaviors through a metropolitan social network-An agent-based simulation. *Applied Geography*, 50, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.02.005>
- Maretto, R. V., Assis, T. O., & Gavlak, A. A. (2010). Simulating Urban Growth and Residential Segregation through Agent-Based Modeling. *2010 Second Brazilian Workshop on Social Simulation*, 52–57. <https://doi.org/10.1109/BWSS.2010.27>
- Mudrak, G., & Semwal, S. K. (2012). AgentCity-An agent-based modeling approach to city planning and population dynamics. *2012 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 91–96. <https://doi.org/10.1109/CTS.2012.6261033>
- Neri, A., Ugolini, M., & Allegretti, M. (2011). Agent-based modeling as a tool to investigate the viability of Next-Generation Networks. *2011 50th FITCE Congress - "ICT: Bridging an Ever Shifting Digital Divide,"* 1–7. <https://doi.org/10.1109/FITCE.2011.6133420>
- Ono, K., Harao, M., & Hirata, K. (2005). Multi-agent based modeling and simulation of consensus formations in arguments. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Technology and Applications, ICITA 2005, I*, 264–267. <https://doi.org/10.1109/icita.2005.184>
- Pan, J., Lv, Y., Guo, D., & Feng, C. (2013). Morale behavioral operations for the recruits from agent-based modeling. *Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2013*, 518–523. <https://doi.org/10.1109/SOLI.2013.6611469>
- Park, A. J., Tsang, H. H., Buckley, S., Ramirez, H. C. A., & Spicer, V. (2016). A Decision Support System for Crowd Control Using Agent-Based Modeling and Simulation. *Proceedings - 15th IEEE International Conference on Data Mining Workshop, ICDMW 2015*, 997–1000. <https://doi.org/10.1109/ICDMW.2015.249>
- Paton, R., Gregory, R., Vlachos, C., Saunders, J., Wu, H., & Member, S. (2004). Evolvable Social Agents for Bacterial Systems Modeling. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, 3(3), 208–216. <https://doi.org/10.1109/TNB.2004.833701>
- Pint, B., Crooks, A., & Geller, A. (2010). Exploring the Emergence of Organized Crime in Rio de Janeiro: An Agent-Based Modeling Approach. *2010 Second Brazilian Workshop on Social Simulation*, 7–14. <https://doi.org/10.1109/BWSS.2010.24>
- Popescu, M., Keller, J. M., & Zare, A. (2013). A framework for computing crowd emotions using agent based modeling. *2013 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Creativity and Affective Computing (CICAC)*, 25–31. <https://doi.org/10.1109/CICAC.2013.6595217>
- Purbasari, A., S, I. S., Santoso, O. S., & Mandala, R. (2013). Designing Artificial Immune System Based on Clonal Selection: Using Agent-Based Modeling Approach. *2013 7th Asia Modelling Symposium*, 11–15. <https://doi.org/10.1109/AMS.2013.64>
- Raoufi, M., & Robinson Fayek, A. (2015). *Integrating Fuzzy Logic and agent-based modeling for assessing*

- construction crew behavior. 1–6. <https://doi.org/10.1109/NAFIPS-WConSC.2015.7284151>
- Romano, D. M., Lomax, L., & Richmond, P. (2009). NARCSim an agent-based illegal drug market simulation. *1st International IEEE Consumer Electronic Society's Games Innovation Conference, ICE-GiC 09*, 101–108. <https://doi.org/10.1109/ICEGIC.2009.5293584>
- Rouleau, M. D. (2016). NormSim: An agent-based model of norm change. *Proceedings of 2015 IEEE World Conference on Complex Systems, WCCS 2015*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICoCS.2015.7483251>
- Ruiz-Martin, C., Wainer, G., Bouanan, Y., Zacharewicz, G., & Paredes, A. L. (2016). A hybrid approach to study communication in emergency plans. *2016 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1376–1387. <https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822191>
- Sajjad, M., Singh, K., & Ahn, C. W. (2015). Multi-Agent modeling for match-making using BDI architecture. *Proceedings of the 2015 International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2015*, 350–355. <https://doi.org/10.1109/HPCSim.2015.7237061>
- Sansores, C. E., Reyes, F., Gómez, H. F., Pavón, J., & Calderón-Aguilera, L. E. (2011). BioMASS: A biological multi-agent simulation system. *2011 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2011*, 675–682.
- Savarimuthu, B. T. R., Arulanandam, R., & Savarimuthu, S. (2011). Emergence of a Sharing Norm in a Simulated Hunter-Gatherer Society. *2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, 2, 34–37. <https://doi.org/10.1109/WI-IAT.2011.141>
- Sawhney, A., Bashford, H., Walsh, K., & Mulky, A. R. (2003). Agent-based Modeling and Simulation in construction. *Winter Simulation Conference Proceedings*, 2, 1541–1547 vol.2.
- Schreinemachers, P., Berger, T., & Aune, J. B. (2007). Simulating soil fertility and poverty dynamics in Uganda: A bio-economic multi-agent systems approach. *Ecological Economics*, 64(2), 387–401. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.018>
- Schuster, S., & Gilbert, N. (2005). Agent based simulation for modelling the distribution of online music. *First International Conference on Automated Production of Cross Media Content for Multi-Channel Distribution (AXMEDIS'05)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/AXMEDIS.2005.6>
- Seekhao, N., Shung, C., Jaja, J., Mongeau, L., & Li-Jessen, N. Y. K. (2016). Real-time agent-based modeling simulation with in-situ visualization of complex biological systems: A case study on vocal fold inflammation and healing. *Proceedings - 2016 IEEE 30th International Parallel and Distributed Processing Symposium, IPDPS 2016*, 463–472. <https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2016.20>
- Singh, K., Sajjad, M., Paik, E., & Ahn, C. W. (2016). Simulating demography - Dynamics of fertility using a multi agent model. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, 2016-March*, 787–791. <https://doi.org/10.1109/ICACTION.2016.7423560>
- Sokolowski, J. A., & Banks, C. M. (2010). Investigating social dynamics and global connectivity: An agent-based modeling approach. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 733–740. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679116>
- Sopha, B. M., Siagian, A., & Asih, A. M. S. (2016). Simulating Dynamic Vehicle Routing Problem using Agent-Based Modeling and Simulation. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2016-Decem*, 1335–1339. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798095>
- Taboada, M., Cabrera, E., Luque, E., Epelde, F., & Iglesias, M. L. (2012). A decision support system for hospital emergency departments designed using agent-based modeling and simulation. *2012 IEEE 13th International Conference on Information Reuse Integration (IRI)*, 364–370. <https://doi.org/10.1109/IRI.2012.6303032>
- Takahashi, H. (2015). Analyzing the validity of smart beta in financial markets through agent-based modeling. *Proceedings - International Computer Software and Applications Conference*, 3, 361–366. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2015.168>
- Takahashi, H., & Terano, T. (2006). Exploring risks of financial markets through agent-based modeling. *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, 939–942. <https://doi.org/10.1109/SICE.2006.315648>
- Tan, L., Yang, Y., Han, P., & Li, Y. (2014). Agent-based modeling and simulation of the public opinion propagation in the small-world network. *Proceedings - 2014 7th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics, BMEI 2014*, 940–944. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2014.7002907>
- Tsai, Y., Zia, A., Koliba, C., Guilbert, J., Bucini, G., & Beckage, B. (2013). Impacts of land managers' decisions on landuse transition within Missisquoi Watershed Vermont: An application of agent-based modeling system. *SysCon 2013 - 7th Annual IEEE International Systems Conference, Proceedings*, 824–829. <https://doi.org/10.1109/SysCon.2013.6549979>
- Tsang, H. H., Park, A. J., Sun, M., & Glasser, U. (2010). GENIUS: A computational modeling framework for counter-terrorism planning and response. *2010 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics*, 71–76. <https://doi.org/10.1109/ISI.2010.5484772>
- van Maanen, P., & van der Vecht, B. (2013). An agent-based approach to modeling online social influence. *2013 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM 2013)*, 600–607. <https://doi.org/10.1145/2492517.2492564>

- Wagner, N., & Agrawal, V. (2012). Emergency decision support using an agent-based modeling approach. *2012 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics*, 186. <https://doi.org/10.1109/ISI.2012.6284298>
- Wang, C., Li, C., Liu, Y., Cui, J., & Zhang, T. (2011). Behavior-based simulation of real-time crowd evacuation. *Proceedings - 12th International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics, CAD/Graphics 2011*, 456–461. <https://doi.org/10.1109/CAD/Graphics.2011.62>
- Wang, X., & Collins, A. (2015). Popularity or proclivity? Revisiting agent heterogeneity in network formation. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 2015-Janua*, 3084–3095. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7020146>
- Wong, W. W. L., Feng, Z. Z., & Thein, H. H. (2016). A parallel sliding region algorithm to make agent-based modeling possible for a large-scale simulation: Modeling Hepatitis C epidemics in Canada. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 20(6), 1538–1544. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2471804>
- Xiong, F., Liu, Y., & Cheng, J. (2017). Modeling and predicting opinion formation with trust propagation in online social networks. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 44, 513–524. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2016.09.015>
- Xue, J., Terano, T., Deguchi, H., & Ichikawa, M. (2017). Simulation analysis of immunization policy diffusion in social network with ABM approach. *IEEE/ACM BESC 2016 - Proceedings of 2016 International Conference on Behavioral, Economic, Socio - Cultural Computing*. <https://doi.org/10.1109/BESC.2016.7804489>
- Zaffar, M. A., Kumar, R. L., & Zhao, K. (2014). Impact of Interorganizational Relationships on Technology Diffusion: An Agent-Based Simulation Modeling Approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 61(1), 68–79. <https://doi.org/10.1109/TEM.2013.2259495>
- Zhang, Y., & Luby, A. (2017). Simulating tolerance - A collective behavior observed in dynamic social networks. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2016 - Conference Proceedings*, 4749–4755. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844981>
- Zhang, Z., Han, P., Wang, J., Li, Y., & Han, Y. (2015). Agent-based modeling and simulation for the coordinated pricing strategy of the electric vehicle battery switching station. *Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2015*, 5521–5527. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7161782>
- Zhao, Y., & Kockar, I. (2011). Electricity Market Analysis with Generation Emission Allowance Constraints and Trades using Agent-Based Modeling. *2011 46th International Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, 1–6.
- Zhou, B., Wang, X., & Tang, X. (2012). Understanding collective crowd behaviors: Learning a Mixture model of Dynamic pedestrian-Agents. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2871–2878. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2012.6248013>
- Zhou, Y., & Mi, J. N. (2014). Agent-based modeling for oil pricing policy: Simulation and V&V test research. *International Conference on Management Science and Engineering - Annual Conference Proceedings*, 815–819. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2014.6930312>
- Zou, G., Gil, A., & Tharayil, M. (2014). An agent-based model for crowdsourcing systems. *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, 407–418. <https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7019907>

Pētījumā apskatītās emociju ontoloģijas

Ontoloģijas nosaukums un izstrādātājs	Psiholoģiskais modelis	Augšējā ontoloģija (ja ir)/saderība ar citiem standartiem	Mērķis	Atspoguļošanas valoda	Komentāri
OLA (Eyharabide et al., 2011)	Emocijas – OCC mainīgo kombinācijas, Nepilns OCC (nav emociju, kas saistītas ar citiem aģentiem, tā kā nav iesaistīti citi cilvēki)	-	Studenta emociju paredzēšana	Katrai emocijai viena aksioma – kādām īpašībām emocijai jāpiemīt; uz to pamata tiek veikta arī secināšana.	Klasifikācijai – J48 lēmumu koks.
Japanese Emotion Ontology (Kaneko & Okada, 2013)	PAD modelis kopā ar emociju intensitāti katrai no tālāk minētajām emociju kategorijām katrā ierakstā, klasifikācijai – <i>Japanese Emotion Expression Dictionary</i> – 10 emociju veidi, papildus piešķirtas trīs kategorijas: pozitīvs, negatīvs, neitrāls.	-	Seja, kas mainās atkarībā no tā, kāds ziņojums ievadīts (izvada ziņojuma emocijas sejas izteiksmē), tas ir, tiek atspoguļotas emociju izmaiņas.	OWL+EmotionML	-
Ontoloģija konteksta reprezentēšanai (The Affective Model) (Benča et al., 2007)	Primārie stāvokļi no Ekmana teorijas un sekundārie stāvokļi, kas atkarīgi no problēmsfēras, valence, aktivitātes līmenis	<i>SOCAM (A Middleware for Context-Aware Mobile Services)</i>	Konteksta reprezentēšanai, lai sistēma būtu intuitīvāka un saprastu lietotāja stāvokļus, implementēts uz <i>Context Aware Museum Guide</i> .	OWL	Kā savienot un izskaitļot emocijas ar OWL palīdzību – detalizēts apraksts, papildus parametri (piem. valence) norādīti kā <i>object properties</i> , <i>datatype properties</i> ,
EmotionsOnto (Gil et al., 2015)	<i>Emergent emotions</i> , ontoloģija ir koncentrēta galvenokārt uz kopējo emociju mehānismu izprašanu, nevis konkrētām emocijām.	DOLCE	Vispārīga ontoloģija emociju aprakstam, kas validēta lietojumā <i>EmoCS (Emotions Common Sense)</i>	OWL	Ontoloģijā ir aksiomas, kas ierobežo atļauto datu ievadi.
Robust ontology (Ptaszynski et al., 2012)	<i>10 emocijas, kas iegūtas no Emotive Expression Dictionary (Nakamura) – vairāk nekā 2000 izteicieniem, kas apraksta emocionālos stāvokļus un ir manuāli iegūti no literatūras</i> Emocijas kategorizētas atbilstoši to klasei, katrai emocijai ir objekts, uz ko tā vērsta	-	Ontoloģija tiek izgūta automātiski no bloga un ir paredzēta noskaņojuma analīzei	EmotionML	Ontoloģija, kas izgūta automātiski

Ontoloģijas nosaukums un izstrādātājs	Psiholoģiskais modelis	Augšējā ontoloģija (ja ir)/saderība ar citiem standartiem	Mērķis	Atspoguļošanas valoda	Komentāri
Emotive Ontology (Sykora et al., 2013)	Ir iegūtas 8 emocijas kopā no 4 dažādām teorijām (Ekmana, Plutčika, Drummonda un Izard), 306 frāzes sašķirotas pa šīm 8 grupām: <i>Anger, Confusion, Disgust, Fear, Happiness, Sadness, Shame, Surprise.</i>	-	Noskaņojuma analīze, emociju saskaņošana (<i>Emotion Matching</i>)	OWL/RDF, ontoloģijas ielādēšanai Python	Sīki veikta izstrāde, teksts tiek sadalīts pa frāzēm, tiek analizētas frāzes, kas piešķir negāciju utt.
Onyx (Sánchez-Rada & Iglesias, 2013)	Onyx ir demonstrēts uz 6 pamata emocijām un PAD, tomēr tas netiecas uz specifisku teoriju atspoguļošanu.	“Provenance” – W3C standarts, apraksta sakarības starp realitātēm, aktivitātēm, aktieriem.	Teksta analīzei, dažādu standartu savienošanai, faktu savienošanai ar emocijām	<i>RDF (Lemon – Lexicon Resources Semantic Vocabulary)</i>	Autori Onyx sauc par semantisku vārdnīcu. Ir savietojams ar lielāko daļu emociju ontoloģiju.
EMO (Hastings et al., 2011)	Vispārējs modelis, kas nebalstās ne uz vienu īpašu teoriju	BFO (<i>Basic Formal Ontology</i>)/ <i>OMD (Ontology of Mental Diseases)</i>	Emociju vispārējais atspoguļošanai	OWL	
EmOCA (Berthelon & Sander, 2013)	Divu faktoru teorija, kas paredz, ka emocijas veidojas saistībā ar cilvēka ķermeni, un pēc tam izziņu, tomēr praktiski ontoloģijā parādās tikai 6 emocijas, valence, uzbudinājums.	-	Spriež un apraksta kontekstu	RDF	Emociju intensitātes noteikšanai izmanto kontekstu. CORESE izveduma mehānisms.
Social Agent – AMPLIA Ontology (Boff et al., 2006)	OCC tiek izmantots personības iezīmju izsecināšanai	-	Ontoloģija tiek izmantota daudzgaģentu sistēmā.	OWL+ varbūtības	
Emociju ontoloģija (Triezenberg, 2005)	62. lappusē – 8 pamatemocijas no Plutčika modeļa, 8 sekundārās emocijas, intensitāte, utt.	-	Zināšanu interpretācijai	Ontoloģija nav formalizēta, t.i., ir pašas autore definēts ietvars	Uz šī pamata (?) turpināta izstrādāt EMO.
HEO (Grassi, 2009)	Ontoloģija ļauj aprakstīt dažādas emociju teorijas, tajā skaitā kategoriskās (piem., Ekmana), arī dimensionālās. Ir iespējams norādīt arī, piemēram, izraisītāju un modalitātes.	FOAF ir savienota ar HEO tiek izmantota, lai aprakstītu cilvēku, kas izjūt emocijas, plāno saistīt ar MPEG-7.	Augsta līmeņa ontoloģija, kas definē svarīgākos konceptus un īpašības, galvenais mērķis ir radīt ietvaru, kas palīdzētu dalīties ar informāciju, kas kodēta multimedijās.	OWL	

Ontoloģijas nosaukums un izstrādātājs	Psiholoģiskais modelis	Augšējā ontoloģija (ja ir)/saderība ar citiem standartiem	Mērķis	Atspoguļošanas valoda	Komentāri
Emotion Cues Onto (Obrenovic et al., 2005)	Neatkarīga, domāta modalitāšu apvienošanai	-	Vispārīga ontoloģija, emociju pavedienu (izteicēju) noteikšana	XML	-
Uz HowNet balstīta ontoloģija (Yan et al., 2008)	No HowNet iegūtas 113 emocijas, tomēr kategoriju daudzums atkarīgs no analizējamā teksta	Hierarhija balstīta uz HowNet leksikonu	Teksta analīzei ķīniešu valodā (pamatā)	Principā predikātu loģika, varbūt vienkāršota.	

Analizēto ontoloģiju atsauču saraksts:

- Benča, K. I., Rarāu, A., & Cremene, M. (2007). Ontology based affective context representation. *Euro American Conference on Telematics and Information Systems - Proceedings of the 2007 Euro American Conference on Telematics and Information Systems, EATIS 2007*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/1352694.1352741>
- Berthelon, F., & Sander, P. (2013). Emotion ontology for context awareness. *4th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, CogInfoCom 2013 - Proceedings*, 59–64. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2013.6719313>
- Boff, E., Santos, E. R., & Vicari, R. M. (2006). Social agents to improve collaboration on an educational portal. *Proceedings - Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2006, 2006*, 896–900. <https://doi.org/10.1109/icalt.2006.1652587>
- Eyharabide, V., Amandi, A., Courgeon, M., Clavel, C., Zakaria, C., & Martin, J. C. (2011). An ontology for predicting students' emotions during a quiz. Comparison with self-reported emotions. *IEEE SSCI 2011 - Symposium Series on Computational Intelligence - WACI 2011: 2011 Workshop on Affective Computational Intelligence*, 76–83. <https://doi.org/10.1109/WACI.2011.5953153>
- Gil, R., Virgili-Gomá, J., García, R., & Mason, C. (2015). Emotions ontology for collaborative modelling and learning of emotional responses. *Computers in Human Behavior*, 51, 610–617. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.100>
- Grassi, M. (2009). Developing HEO Human Emotions Ontology. No: J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, A. Esposito, A. Drygajlo, & M. Faundez-Zanuy (Eds.), *Biometric ID Management and Multimodal Communication. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 5707 LNCS* (pp. 244–251). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04391-8_32
- Hastings, J., Ceusters, W., Smith, B., & Mulligan, K. (2011). Dispositions and processes in the emotion ontology. *CEUR Workshop Proceedings*, 833, 71–78.
- Kaneko, K., & Okada, Y. (2013). Building of Japanese emotion ontology from knowledge on the web for realistic interactive CG characters. *Proceedings - 2013 7th International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems, CISIS 2013*, 735–740. <https://doi.org/10.1109/CISIS.2013.132>
- Obrenovic, Z., Garay, N., López, J. M., Fajardo, I., & Cearreta, I. (2005). An Ontology for Description of Emotional Cues. No: J. Tao, T. Tan, & R. W. Picard (Eds.), *Affective Computing and Intelligent Interaction* (pp. 505–512). Springer Berlin Heidelberg.
- Ptaszynski, M., Rzepka, R., Araki, K., & Momouchi, Y. (2012). A Robust Ontology of Emotion Objects. *Proceedings of The Eighteenth Annual Meeting of The Association for Natural Language Processing (NLP-2012)*, 719–722.
- Sánchez-Rada, J. F., & Iglesias, C. A. (2013). Onyx: Describing emotions on the web of data. *CEUR Workshop Proceedings*, 1096, 71–82.
- Sykora, M. D., Jackson, T. W., O'Brien, A., & Elayan, S. (2013). Emotive ontology: Extracting fine-grained emotions from terse, informal messages. *IADIS International Journal on Computer Science and Information Systems*, 8(2), 106–118.
- Triezenberg, K. (2005). *The Ontology of Emotion*. [PhD thesis, Purdue University].
- Yan, J., Bracewell, D. B., Ren, F., & Kuroiwa, S. (2008). The Creation of a Chinese Emotion Ontology Based on HowNet. *Engineering Letters*, 16(1), 166–171.

Atsauksme par promocijas darbu

Latvijas Universitātes Pedagoģijas, psiholoģijas un mākslas fakultātes vadošās pētnieces,
RTU Rīgas Biznesa skolas docentes,
Dr.psych. Ineses Muzikantes

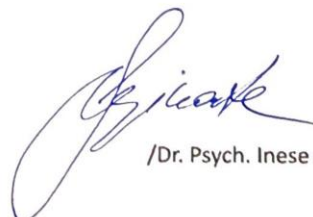
atsauksme par Māras Pudānes promocijas darbu "Aģentos sakņota cilvēku grupas emocionālā stāvokļa novērtēšana".

Ar šo apliecinu, ka Māras Pudānes promocijas darbā "Aģentos sakņota cilvēku grupas emocionālā stāvokļa novērtēšana" darbā esošie ar psiholoģiju saistītie apskati un pieņēmumi nesatur nepamatotus vispārinājumus vai klasifikācijas; tie ir balstīti uz esošo literatūru un ir iegūti darbu teorētiskās analīzes ceļā. Promocijas darba validācija, kas balstīta uz literatūrā definētajām grupas uzvedībām un attīstības veidiem, ir pamatota.

Darbā tālāk vairākās vietās izdarīti pieņēmumi attiecībā uz dažādu faktoru ietekmi, izmantojot vispārīgas vadlīnijas. Ņemot vērā datu trūkumu šobrīd esošajos pētījumos, izdarītie pieņēmumi un modelēšanas varianti ir atbilstoši To precīzai aprakstīšanai nepieciešams atsevišķs apjomīgs pētījums ar pietiekamiem resursiem eksperimenta veikšanai.

Promocijas darbs ir lietderīga iestrāde cilvēku grupas imitācijas veikšanai un tālāku starpdisciplināru pētījumu veikšanai arī digitalizācijas kontekstā.

2023. gada 16. augusts



/Dr. Psych. Inese Muzikante/

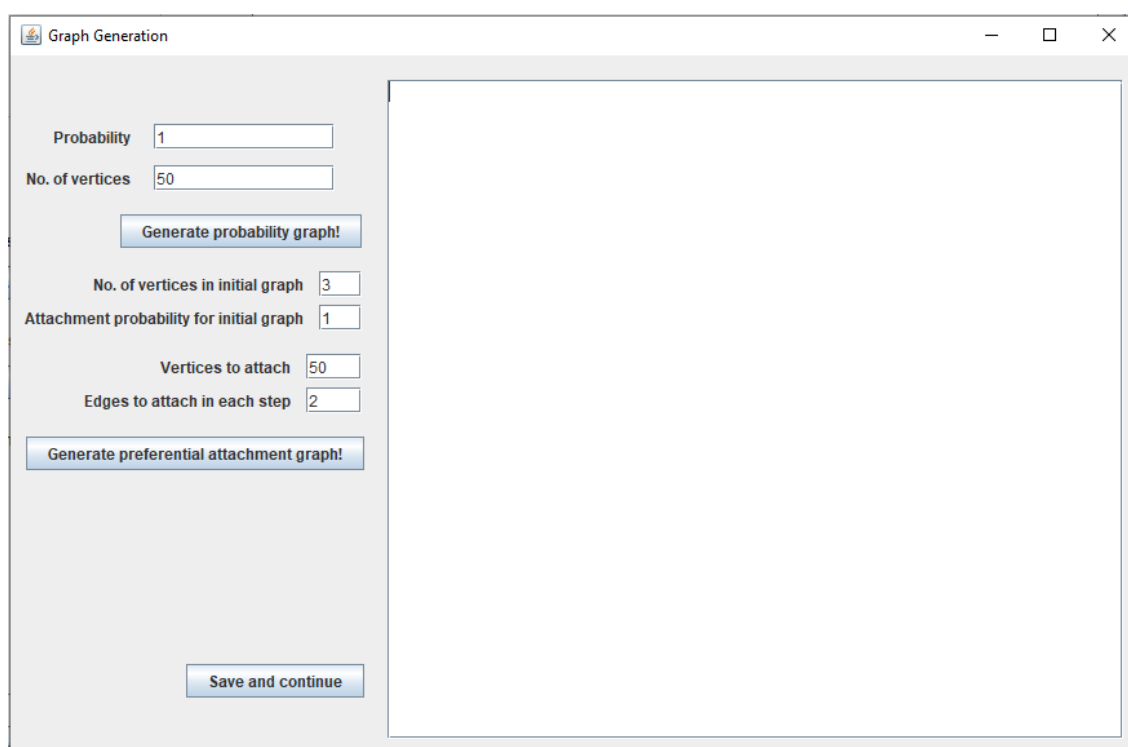
Lietošanas pamācība emociju izplatības rīka lietošanai

Rīks “Emotional Contagion Tool” ļauj modelēt piecu pamatemociju: prieka (angļu val. *joy*), pretīguma (angļu val. *disgust*), dusmu (angļu val. *anger*), skumju (angļu val. *sadness*) un baiļu (angļu val. *fear*) modelēšanai. Rīka pamatā izmantotās konstantes iegūtas rakstā par neirotisma un ekstraversijas saistību ar dažādu pamatemociju dinamiku¹. Rīka realizācijai izmantots JADE ietvars² – daudzāģentu sistēmas implementācijai, un GraphStream³ – struktūras dinamiskai vizualizācijai.

Lietošanas pamācība sastāv no divām daļām: grafa struktūras ģenerēšanas funkcionalitātes izmantošanas un emociju izplatības imitācijas izvēlētajā grafa struktūrā.

Pūļa struktūras ģenerēšana

Pūļa struktūru ģenerēšana notiek logā Graph Generation (1. attēls), kur ir iespējams uzģenerēt varbūtību grafu un grafu, kas ir ģenerēts ar priekšrocības pievienošanas metodi.



1. attēls. “Graph Generation” logs.

¹ Verduyn, P., & Brans, K. (2012). The relationship between extraversion, neuroticism and aspects of trait affect. *Personality and Individual Differences*, 52(6), 664–669. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.12.017>

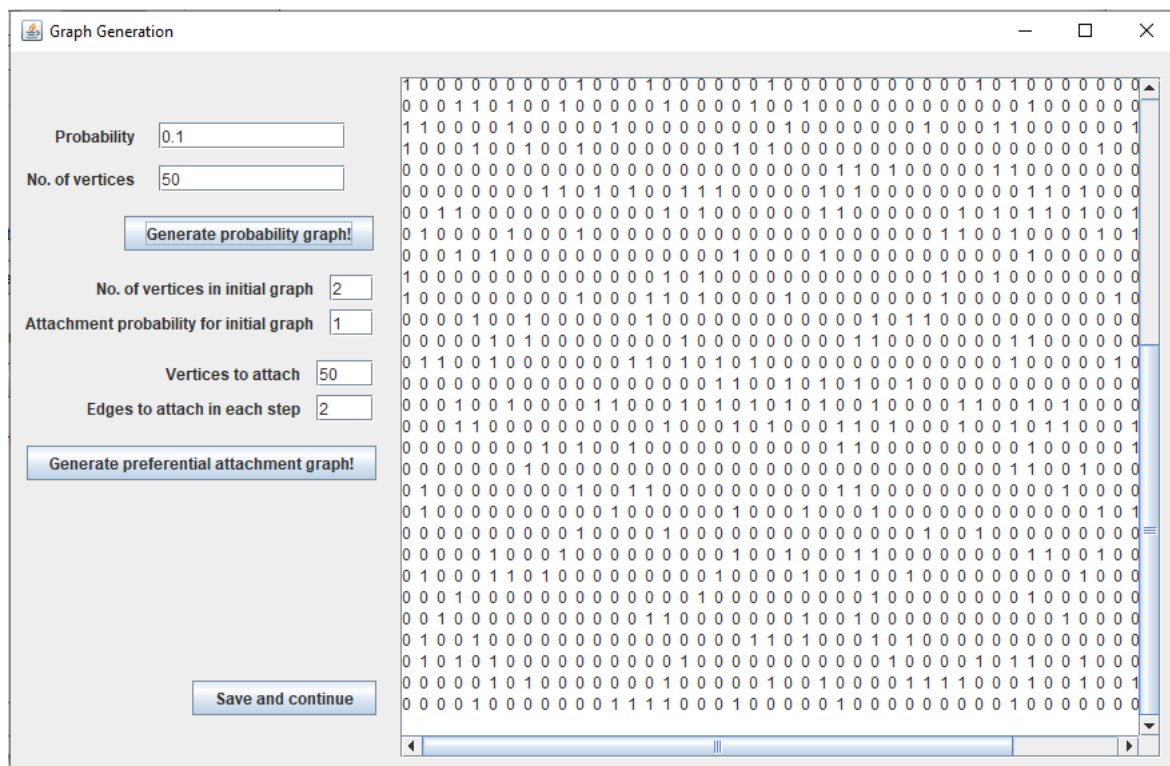
² Fabio Luigi Bellifemine, Giovanni Caire, and Dominic Greenwood. 2007. *Developing Multi-Agent Systems with JADE* (Wiley Series in Agent Technology). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

³GraphStream, A Dynamic Graph Library, pieejams: <http://graphstream-project.org/>

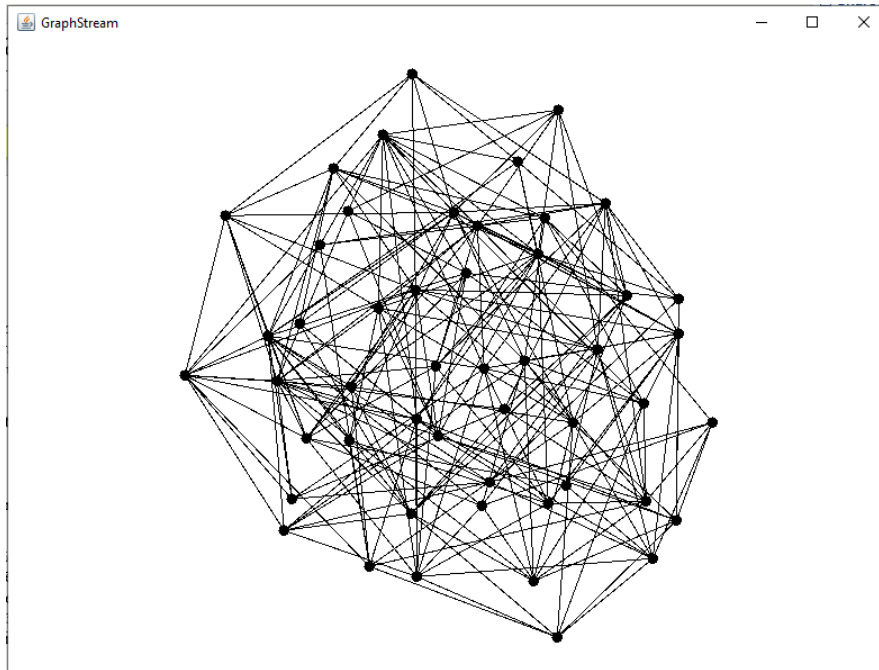
Varbūtību grafs ir grafs, kur loks starp divām virsotnēm tiek ģenerēts ar definētu varbūtību. Šāda grafa ģenerēšanai ir divi parametri: “Probability”, kas nosaka, ar kādu varbūtību tiks uzģenerēts loks starp divām virsotnēm, un “No. of vertices”, kas nosaka, cik virsotņu būs grafā. Pēc grafa parametru ievades, nospiežot pogu “Generate probability graph!” Tiek uzģenerēta attiecīgā struktūra, kas tiek parādīta blakus esošajā teksta laukā blakusvirsotņu matricas veidā (skatīt 2. attēlā). Papildus tam atvēršies jauns logs ar grafa vizualizāciju (skatīt 3. attēlā). Varbūtību grafs nenodrošina to, ka grafam nebūs izolētu virsotņu.

Grafu, kas ir ģenerēts, izmantojot priekšrocības pievienošanas metodi, izveido līdzīgi, taču atšķiras parametri. Šim grafa veidam vispirms jānorāda sākotnējā grafā jeb grafa centrā esošās virsotnes laukā “No. of vertices in the initial graph”. Norādot vienu virsotni, grafa centrā būs viena virsotne, savukārt, norādot vairākas, grafam būs centra virsotņu kopa. Loki starp šīm virsotnēm tiek ģenerēti tāpat kā varbūtību grafā, norādot varbūtību parametram “Attachment probability for initial graph”. Pēc tam nosaka to, kādā veidā tiks pievienotas jaunās virsotnes. To dara, norādot divus parametrus. “Vertices to attach” norāda, cik virsotņu tiks pievienots grafa centram, tādējādi kopējais virsotņu skaits grafā vienāds ar grafa centra un šī parametra vērtības summu. “Edges to attach in each step” norāda, cik esošām virsotnēm tiks pievienota jaunā virsotne ([1..n], kur n ir parametra vērtība).

Logā ir iespējams uzģenerēt dažādas grafu struktūras, taču spiežot pogu “Save un continue” tiks saglabāts tikai pēdējais uzģenerētais grafs.



2. attēls. “Graph Generation” logs ar uzģenerētu grafu.



3. attēls. Uzģenerētā grafa vizualizācija.

Emociju izplatības imitācija

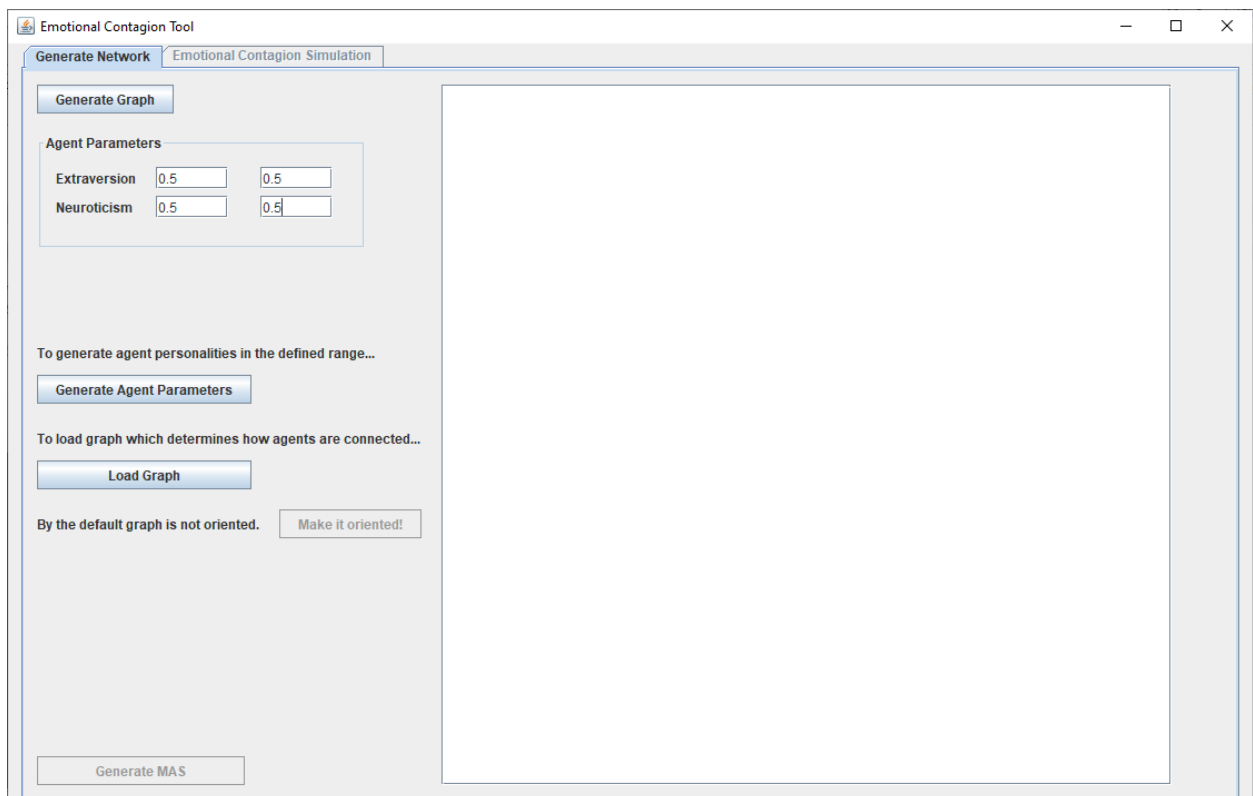
Emociju izplatības imitācijai ir divas daļas:

1. Struktūras un tās parametru ievade, t.i., pūļa un cilvēku personības parametru ievade. Šis solis ir globāls, un nomainīt gan pūļa struktūru, gan personības parametrus ir iespējams tikai aizverot un atkal atverot rīku.
2. Viena imitācijas gadījuma parametru ievade.

Katrai no šīm daļām rīkā ir paredzēta sava cilne, attiecīgi “Generate Network” un “Emotional Contagion Simulation”. Abu cilņu darbplūsma tiek vadīta ar pogu aktivizācijas palīdzību, piemēram, 4. attēlā var redzēt, ka nav iespējams uzģenerēt pūli, kamēr nav ievadīti aģentu parametri un ielādēts grafs. Tāpat pašā saskarnē ir definēta pogu funkcionalitāte, nodrošinot instrukcijas arī pašā rīkā. Kopumā nākošais solis darbplūsmā tiek aktivizēts vai nu ar pogas nospiešanu, vai arī vērtības ievadi tekstā laukā un taustiņa “Enter” nospiešanu.

Aģenta parametru ievade (OCEAN modeļa E un N dimensijas, t.i., tās dimensijas, kas ietekmē emociju izplatību) notiek 4 tekstā laukos, definējot augšējo un apakšējo vērtību, tādējādi ir iespējams nodefinēt parametru amplitūdu. Norādot vienādas vērtības, visiem aģentiem tiek piešķirta vienāda parametra vērtība. Pēc tam jānospiež poga “Generate Agent Parameters”.

Ar pogas “Load Graph” palīdzību ielādē grafu no datora. Grafam jābūt *.txt failā blakusvirsotņu matricas formā, ar atstarpī starp matricas lauku vērtībām un jaunas rindas simbolu pēc katras matricas rindas. Šādu grafu iespējams uzģenerēt, nospiežot pogu “Generate Graph” un veicot darbības atbilstoši šīs pamācības nodaļai “Pūļa struktūras ģenerēšana”.

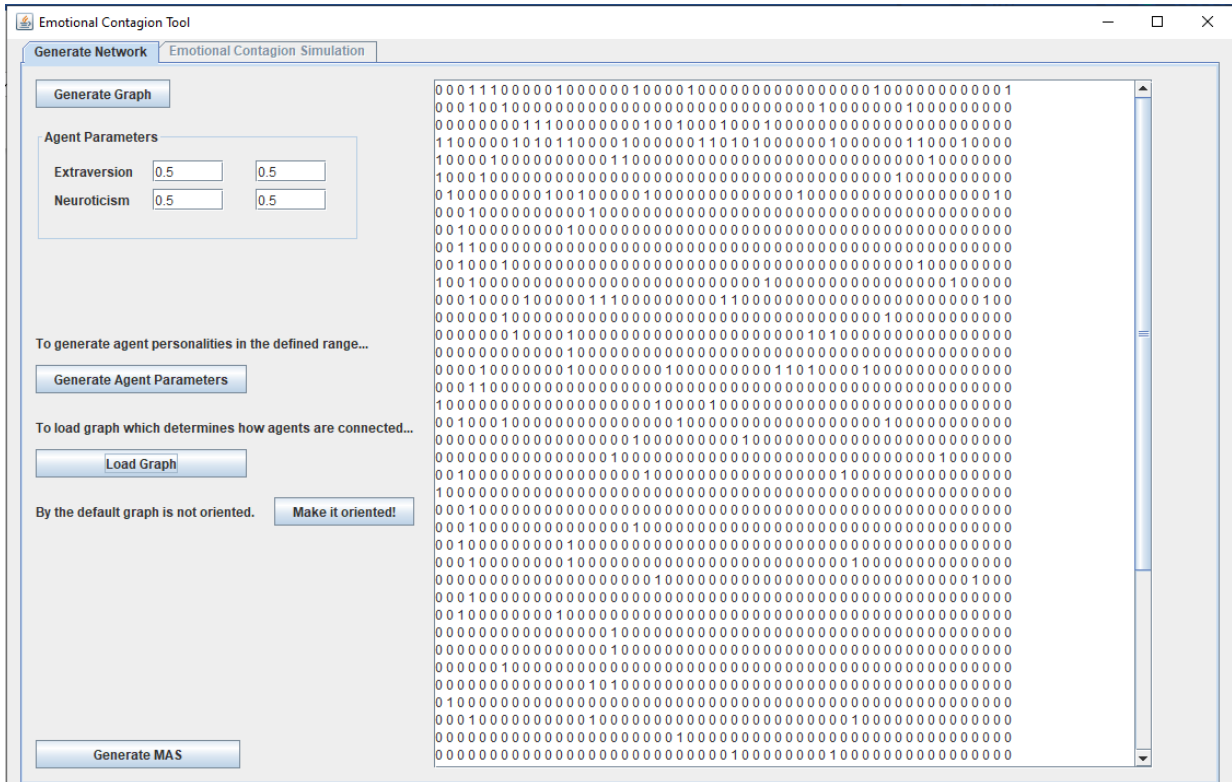


4. attēls. “Generate Network” cilne.

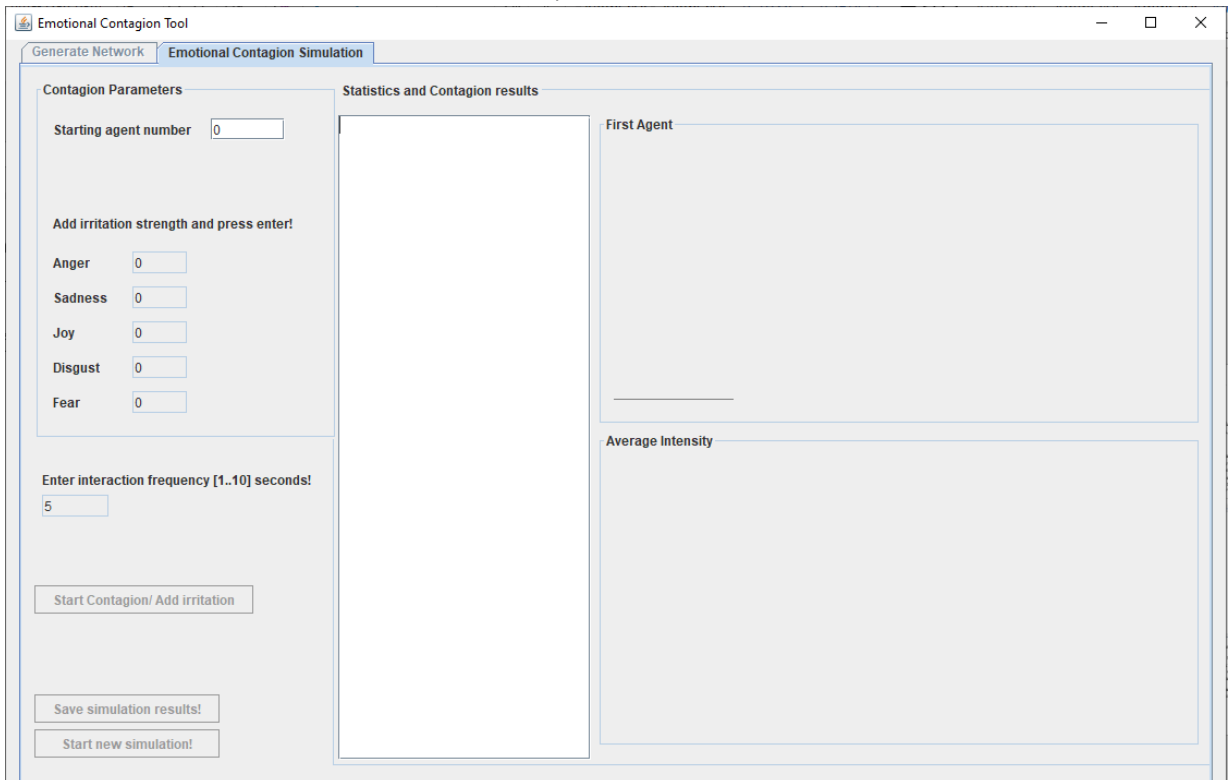
Pēc tam, kad ir ielādēts grafs un uzģenerēti parametri, aktivizējas pogas “Make it oriented!” un “Generate MAS” (5. attēls.) Pirmā poga ļauj izveidot orientētu grafu, savukārt otrā – uzģenerē pūli jeb daudzāģentu sistēmu, balstoties uz iepriekš definētajiem parametriem un struktūru. Pēc pūļa uzģenerēšanas arī aktivizējas emociju izplatības cilne “Emotional Contagion Simulation”, kurā iespējams ievadīt izplatības parametrus.

Tagad ir definēti globālie parametri, t.i., pūļa struktūra un aģentu personības. Lai sāktu imitāciju uz šo parametru vērtību pamata definētajā daudzāģentu sistēmā, jāseko darbplūsmai. Sākotnēji cilnē “Emotional Contagion Simulation” ir tikai viens aktīvs logs: “Starting agent number” (6. attēls). Šis logs definē aģenta numuru, ar kuru sāksies imitācija. Šis numurs var būt nejauši izvēlēts (piemēram, uz varbūtības pamata ģenerētajā grafā starp virsotnēm nav nozīmes), taču manuāli var izvēlēties virsotni, kam ir kādas īpašas pazīmes (piemēram, ģenerējot grafu ar priekšrocības pievienošanas algoritma palīdzību šajā rīkā, 0. virsotne būs viena no centra virsotnēm).

Nospiežot “Enter” tiek aktivizēta nākoša parametru kopa. Šajā rīkā ir iespējams izvēlēties vienu no piecām emocijām, līdz ar to ievadot sākotnējā kairinājuma spēku vienā no šīm emocijām un nospiežot “Enter”, pārējās kļūst neaktīvas. Pēc tam zemāk ir iespējams ievadīt, cik bieži starp aģentiem notiks komunikācija (sekundēs). Balstoties uz šo skaitli, tiek ģenerēts Puašāna sadalījums atsevišķiem ziņojumiem.



5. attēls. Tālākie soļi “Generate Network” cilnē



6. attēls. Sākotnēji ir iespējams rediģēt tikai vienu teksta lauku.

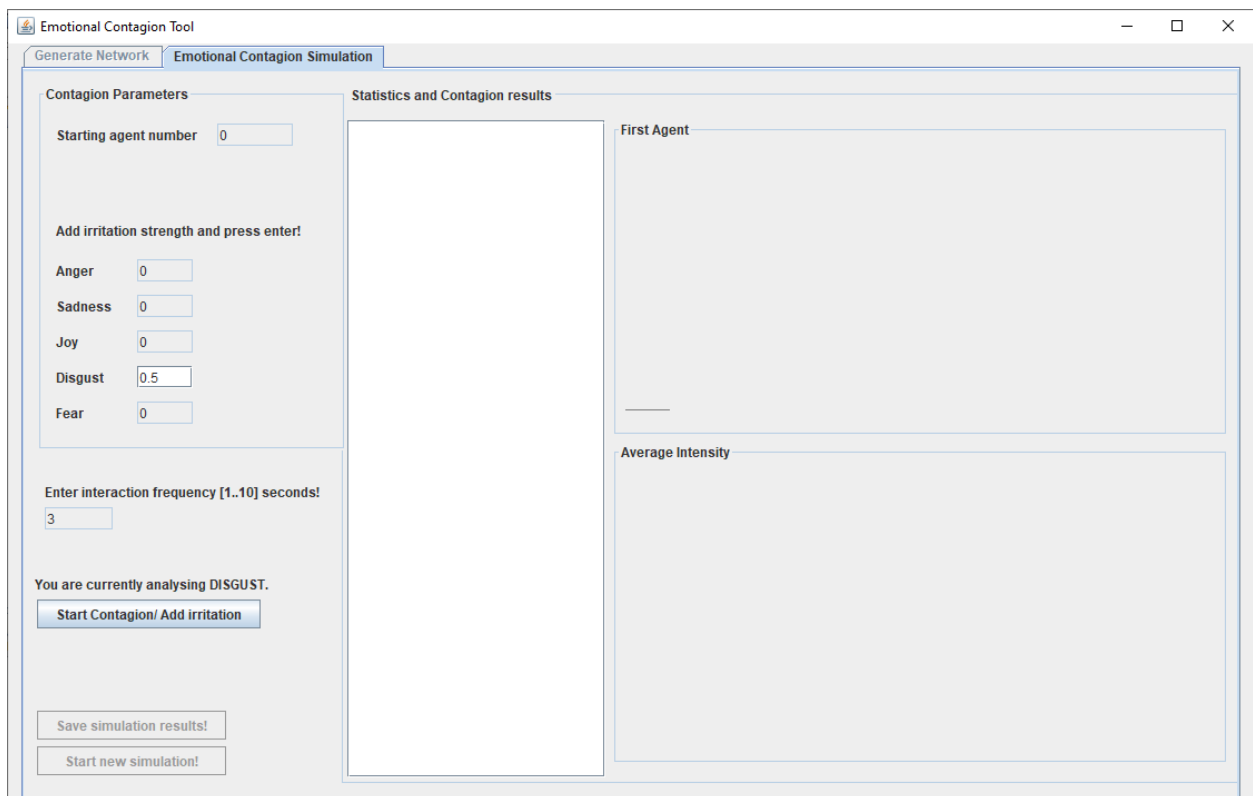
Pēc visu parametru ievades aktivizējas poga “Start Contagion/Add Irritation” (7. attēls). Papildus tam, virs pogas ir redzams, kura emocija tiek analizēta šobrīd (7. attēlā – pretīgums),

un ar tās palīdzību ne vien sāk jaunu imitāciju, bet arī imitācijas procesā dinamiski ir iespējams pievienot jaunus kairinājumus.

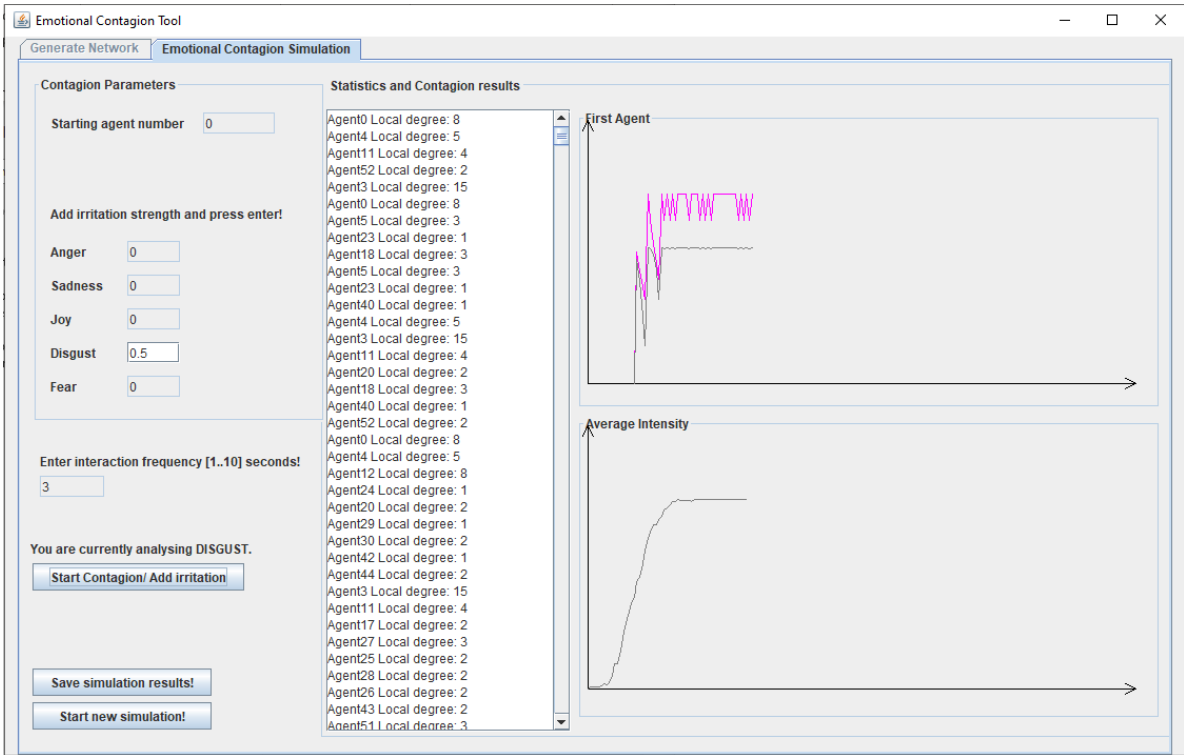
Pēc pogas nospiešanas (8. attēls), teksta laukā parādās tie aģenti un to lokālās pakāpes, kuru emocionālais stāvoklis ir mainījies. Grafikā “First Agent” parādās pirmā kairinājumu saņēmumā aģenta (šajā gadījumā – 0. aģenta) emocionālais stāvoklis (ar emocijai atbilstošu krāsu) un tam atbilstošais izpaušanas spēks (ar pelēku krāsu). Emocijām atbilst šādas krāsas: dusmām – sarkana, skumjām – zila, priekam – dzeltena, pretīgumam – violela, bailēm – zaļa. Krāsas ieviestas imitāciju veikšanas ērtības dēļ. Grafikā “Average Intensity” parādās grupas kopējā emocionālā stāvokļa izmaiņas.

Atveras arī jauns logs ar dinamisku grafa vizualizāciju, kur melna virsotne nozīmē, ka aģents konkrētajā brīdī nav emocionāls, savukārt dažādas pakāpes krāsa norāda uz aģenta emociju intensitāti (jo intensīvāka krāsa, jo intensīvāka emocija (9. attēls).

Ir aktivizējušās divas jaunas pogas: “Save simulation results!”, kas ļauj failā saglabāt aģentu vidējās emocionālā stāvokļa izmaiņas un viena aģenta (šajā gadījumā 0. aģenta) emocionālā stāvokļa izmaiņas, un “Start new simulation!”, pēc kuras nospiešanas dzēšas visi imitācijas rezultāti un var atkal veikt nākošo imitāciju, izmantojot to pašu aģentu tīklu un parametrus.

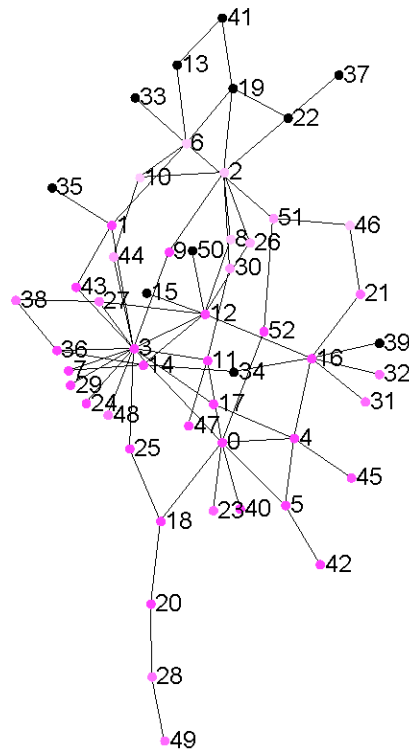


7. attēls. Ievadīti visi parametri “Emotional Contagion Simulation” cilnē.



8. attēls. Ir sāka emociju izplatības imitācija.

GraphStream



9. attēls. Emociju izplatības vizualizācija.



Māra Pudāne dzimusi 1990. gadā Preiļos. Pabeigusi Riebiņu vidusskolu, Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) 2011. gadā ieguvusi inženierzinātņu bakalaura grādu datorvadībā un datorzinātnē un 2013. gadā – inženierzinātņu maģistra grādu (ar izcilību) datorsistēmās. Kopš 2013. gada ir RTU Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Mākslīgā intelekta un sistēmu inženierijas (iepriekš – Sistēmu teorijas un projektēšanas) katedras pētniece un lektore. 2020. un 2022. gadā stažējusies Bufalo Universitātē, ASV. Zinātniskās intereses saistītas ar aģentos sakņotu modelēšanu un emocionālo skaitļošanu.