

Māra Pudāne

AĢENTOS SAKŅOTA CILVĒKU GRUPAS EMOCIONĀLĀ STĀVOKĻA MODELĒŠANA

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Māra Pudāne

Doktora studiju programmas “Datorsistēmas” doktorante

AGENTOS SAKŅOTA CILVĒKU GRUPAS EMOCIONĀLĀ STĀVOKĻA MODELĒŠANA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
asociētais profesors *Dr. sc. ing.*
EGONS LAVENDELIS

RTU Izdevniecība
Rīga 2023

Pudāne, M. Aģentos sakņota cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšana. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2023. 51 lpp.

Iespiests saskaņā ar Lietišķo datorsistēmu institūta 2022. gada 20. septembra lēmumu, protokols Nr. 12300-1-e/6.

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” projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

<https://doi.org/10.7250/9789934229671>
ISBN 978-9934-22-967-1 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 24. oktobrī plkst. 16.15 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Zunda krastmalā 10, 206. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Jānis Grabis,
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesore *Dr. paed.* Sarma Cakula,
Vidzemes Augstskola, Latvija

Profesors *Ph. D. Nuno Manuel Garcia dos Santos*,
Lisabonas Universitāte, Portugāle

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Māra Pudāne (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 61 attēls, 25 tabulas, četri pielikumi, kopā 187 lappuses, neieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 204 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Neskatoties uz to, ka gadsimtiem cilvēka emocijas tika uzskatītas par negatīvu racionālās domāšanas blakusefektu, to ietekme gan uz indivīda spriešanas spējām, gan grupas uzvedības faktoriem nav noliedzama. Emocijas būtiski ietekmē ne vien to, kā cilvēks pieņem lēmumus un kādu uzvedību izvēlas, bet arī to, kā laika gaitā attīstās grupas struktūra un indivīdu attiecības. Cilvēku 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 palaist vairākas reizes tajā pašā grupā), un dažādu robežgadījumu modelēšana, kas psiholoģijas eksperimentu gadījumā var būt neētiska vai pat bīstama, piemēram, agresīva pūļa gadījumā. Specifiski emociju modelēšana izmantojama tad, kad nepieciešams veidot ticamas virtuālās komandas, kas ietver gan cilvēkus, gan virtuālos komandas biedrus, piemēram, mācību nolūkos.

Tomēr šādu modeļu nav 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 balstīta izklaidētā intelektuālā skaitļošanā un ietver mijiedarbību protokolus sistēmas līmenī.

Promocijas darba pirmajā nodaļā 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; šīs 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 definēto 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 astoņas ir prezentētas starptautiskās zinātniskās konferencēs.

SATURS

Ievads	6
1. Daudzaģentu sistēmas un aģentos sakņota modelēšana	11
1.1. Emocijās sakņots aģents un daudzaģentu sistēma.....	11
1.2. Aģentos sakņota modelēšana un modeļu klasifikācija projektēšanai.....	12
1.3. Cilvēku grupas uzvedības imitācija ar ASM palīdzību	14
1.4. Kopsavilkums un secinājumi.....	15
2. Cilvēka emocionālo procesu imitēšana	16
2.1. Emociju nozīme un emociju teorijas	16
2.2. Emocijās sakņotu aģentu izstrādes	17
2.3. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu analīzes aspekti	18
2.4. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu salīdzinājums un analīze	19
2.5. Kopsavilkums un secinājumi.....	20
3. Cilvēku grupas imitācija.....	22
3.1. Emocijas kā sociālā informācija.....	22
3.2. Emociju nodošanas mehānismi	22
3.3. Emociju ietekmes grupas līmenī	24
3.4. Eksistējošo risinājumu salīdzinājums.....	25
3.5. DAS un ASM mehānismu izmantošana emociju mijiedarbības modelēšanai	25
3.6. Kopsavilkums un secinājumi.....	27
4. Cilvēku grupas emociju modelēšanas pieeja.....	29
4.1. Emocijās sakņota aģenta prasības, arhitektūra un algoritmi	29
4.2. ESM vispārīgs projektējums	32
4.3. Emociju nodošana starp aģentiem.....	34
4.4. Kopsavilkums un secinājumi.....	36
5. Risinājuma implementācija un pārbaude	37
5.1. Promocijas darba pieejas validācija un eksperimentu plāns	37
5.2. Demonstrācijas aģents	39
5.3. Pūļa modelēšanas scenārijs	40
5.4. Galda spēles scenārijs.....	41
5.5. Validācija pret makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām	41
5.6. Modeļa ierobežojumi un tālākie pētījumu virzieni.....	44
5.7. Kopsavilkums un secinājumi.....	44
Secinājumi.....	45
Izmantotā literatūra	48

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). Tikai 20. gs. otrajā pusē, attīstoties domai par emociju nepieciešamību cilvēka spriešanā, sākās ar tām saistīti intensīvi pētījumi. Par sākumpunktu emociju pētīšanai mijiedarbībā ar datorzinātņi uzskatāma R. Pikardas grāmatas "Emocionālā skaitļošana" (angļu val. *Affective computing*, Picard, 1997) iznākšana 1997. gadā, kas faktiski aizsāka šo jomu un sākotnēji koncentrējās uz emociju atpazīšanu, izmantojot dažādus sensorus (Picard, 1997). Tomēr laika gaitā tās pētījumu spektrs ir vairākkārt 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 šādi lietojumi, 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, ņemot vērā to, ka emocijām ir arī sociāla nozīme, būtiska ir arī cilvēku grupas modelēšana. Ticams cilvēku grupas emociju modelis pavērtu iespējas dažādiem jauniem lietojumiem:

- virtuālo grupu ģenerēšanai;
- grupas emocionālā stāvokļa attīstības un uzvedības prognozēšanai;
- grupu pētīšanai.

Šāda modeļa izstrāde ir komplicēts jautājums gan no psiholoģijas un socioloģijas, gan no datorzinātnes skatpunkta. Sarežģītība sociālajās zinātnēs slēpjas tajā, ka, lai varētu izveidot modeli, ir precīzi jādefinē saistītie koncepti. 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 ietver vairāku tipu mijiedarbības, 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 sarežģīt mijiedarbības. Daudzaģentu sistēmu pieejas apskata komplicētas mijiedarbības starp intelektuāliem aģentiem un ļauj 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 daudzāģentu sistēmām.

Vūldridžs (Wooldridge, 2009) norādījis, ka ir divas pamatproblēmas, kas 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 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 ietver emociju modelēšanu (Marsella et al., 2010). Lai arī ir 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 et al., 2014). Šādu pētījumu nelielais daudzums saistīts galvenokārt ar to, ka emociju ietekme ir salīdzinoši jauns virziens arī psiholoģijā un socioloģijā. Lai arī ir atsevišķi modeļi, kas daļēji ļauj modelēt cilvēku grupas emocionālās mijiedarbības, tomēr patlaban trūkst pētījumu un risinājumu, kas sistematizē un pilnībā imitē visus cilvēka mijiedarbībā izmantotos emocionālos mehānismus.

Balstoties iepriekš aprakstītajā, definēta promocijas darba **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 patlaban esošajām emocijās sakņotu aģentu izstrādēm nemodelē visas nepieciešamās funkcijas, kas nodrošina emocijās sakņotu uzvedību;
- neviena no patlaban esošajām cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanas metodēm nemodelē visus mijiedarbības mehānismus, kas nepieciešami ticamai emocijās sakņotai cilvēku grupas uzvedībai;
- izstrādātā pieeja viena aģenta līmenī ļauj modelēt visas ar emocijām saistītās funkcijas;
- izstrādātā pieeja vairāku aģentu līmenī ļauj modelēt emocijās sakņotas mijiedarbības.

Lai aizstāvētu tēzes un pierādītu hipotēzi, ir definēts promocijas darba **mērķis:** izstrādāt pieeju cilvēku grupas emocionālā stāvokļa imitācijai. Mērķa sasniegšanai noteikti 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** 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. Tālākā darba gaitā 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 noteikšanai 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 izstrādātajos prototipos, salīdzinātu modeli 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 lietojums 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**:

- izstrādāts modulis, kas ļauj implementēt emocijās sakņotu aģentu daudzāģentu sistēmā, un rīks atsevišķu emociju modelēšanai dažādas struktūras pūļos; abi lietojumi balstīti prasībās 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 piedalījusies astoņās zinātniskās **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 balva par labāko stenda referātu).
- 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 10 zinātniskās **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 un Infrastructure. Springer Nature Switzerland AG, 2020. 61.–68. lpp. (indeksēts ISI Web of Science) (autores 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) (autores ieguldījums – projektējums, risinājuma izstrāde un 70 % raksta).
- **Pudāne, M.** Classification of Agent-Based Models from the Perspective of Multi-Agent Systems. In: 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. In: Proceedings of Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops un 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) (autores ieguldījums – 60 %).
- **Pudāne, M.**, Radin, M., Brooks, B. Emotion Contagion among Affective Agents: Issues and Discussion. In: 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) (autores 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) (autores ieguldījums – 95 %, otrs autors ir darba zinātniskais vadītājs, 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) (autores 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 (autores 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) (autores ieguldījums – 95 %, otrs autors ir darba zinātniskais vadītājs).

Par promocijas darba tematiku pieņemta publicēšanai viena 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.

Darba autorei ir arī sešas publikācijas par citām tēmām, no kurām trīs saistītas ar adaptēties spējīgu daudzāģentu sistēmu modelēšanu un validēšanu mobilo robotu scenārijos.

Publikācijās, kas saistītas ar promocijas darbu, 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, lietojumi un to validācija makrolīmenī.

1. DAUDZĀĢENTU SISTĒMAS UN ĀĢENTOS SAKŅOTA MODELĒŠANA

Šīs nodaļas mērķis ir aprakstīt jēdzienus, kas saistīti gan ar viena cilvēka uzvedības modelēšanu – emocijās sakņotus intelektuālus āģentus, gan arī jēdzienus, kas saistīti ar emocijās sakņotas āģentu grupas modelēšanu – daudzāģentu sistēmas (DAS) un āģentos sakņotu modelēšanu (ASM), kā arī definēt teorētisko pamatu šādu modeļu projektēšanai.

1.1. Emocijās sakņots āģents un daudzāģentu sistēma

Āģents mākslīgā intelekta kontekstā ir sistēma, kas mijiedarbojas ar ārējo vidi, izmantojot sensorus, no kuriem saņem uztveres, un izpildmehānismiem, kas ļauj veikt darbības (Russel & Norvig, 2010). Intelektuālu āģentu paradigma balstās racionalitātes jēdzienā – racionāls āģents cenšas panākt labāko iespējamo vai labāko sagaidāmo rezultātu no iespējamiem (Russel & Norvig, 2010). Emocijās sakņots āģents pēc būtības ir papildināts racionāls āģents, kur emocijas tiek izmantotas kā papildu parametrs, ko āģents spēj izmantot kā veikuma mēru, novērtēt un atpazīt (Becker-Asano, 2008) vai iekļaut savā uztveru vai darbību kopā (Gratch & Marsella, 2004). Tas ļauj secināt, ka emocijās sakņotam āģentam ir izmantojamas racionāliem āģentiem izmantotās arhitektūras un metodes, kas paredzētas zināšanu glabāšanai un spriešanai, kur esošajai āģenta arhitektūrai tiek pievienota abstrakta vienība, kas ietver emociju apstrādes un glabāšanas mehānismus – emocionālais skaitļošanas modelis (ESM).

Ir vairāki intelektuālu āģentu arhitektūru veidi, un notikumu apstrāde no emociju viedokļa notiek vairākos līmeņos (piemēram, sākotnēji fizioloģiski, tad kognitīvi). Emocijās sakņotu āģentu modelēšanai piemērotākas ir slāņveida jeb hibrīdās arhitektūras. Šīs arhitektūras var ietvert **reaktīvās** vai **kognitīvās** jeb spriestspējīgās arhitektūras, tajā skaitā **deduktīvās** jeb loģikā balstītās arhitektūras un **praktiskās spriešanas** jeb pārliecību-vēlpmju-nodomu arhitektūras (*BDI* arhitektūras, angļu val. *Belief-Desire-Intention*) (Chin et al. 2014; Wooldridge 2009; Wooldridge 1999).

Cilvēku grupas uzvedības imitācijas nolūkā būtu nepieciešami vairāki emocijās sakņoti āģenti; DAS paradigma ir tā, kas ļauj vienā sistēmā apvienot vairākus savā starpā komunicējošus āģentus (Wooldridge, 2009). ASM ir vispāratzīta pieeja izklaidētas uzvedības un no tās izrietošo procesu modelēšanai, un tā dēļ to parasti izmanto sociālo fenomenu, ekonomisko, ekoloģisko u. c. sistēmu pētīšanai (Helbing & Baliatti, 2013). Promocijas darba izstrādes gaitā secināts, ka ASM ir lietojums izklaidētās skaitļošanas paradigmai piederošajai DAS pieejai, kā dēļ āģentos sakņotos modeļos ir izmantojami DAS koncepti.

DAS nosaka vismaz divus abstrakcijas līmeņus: (1) līmeni, kurā modelē viena āģenta darbību tā iekšienē; (2) vismaz vienu līmeni, kas ļauj modelēt āģenta mijiedarbību ar citiem āģentiem (Lavendelis, 2009; Luck et al., 2005; Wooldridge, 2009). Turpmāk darbā tiks izmantoti Vūldridža apzīmējumi, proti, mikrolīmenis (āģenta iekšienē) un makrolīmenis (sistēmas līmenī) (Wooldridge, 2009).

Mijiedarbībām starp āģentiem DAS ir trīs skatupunkti: tehniskais – kas skar ziņojumu nodošanu, sintaktiskais – ziņojumu pieraksts, semantiskais – ziņojumu interpretācija

(Wooldridge, 2009). Lai realizētu aģentu mijiedarbību, ir *FIPA ACL* standarts, kas definē ziņojumu struktūru, savukārt ziņojumu interpretāciju nodrošina atbilstošas zināšanu struktūras – ontoloģijas – un komunikācijas secību jeb protokolu definēšana.

DAS uzbūve kopumā ir sarežģīta, tai ir vairāki līmeņi, tāpēc eksistē dažādas izstrādes platformas – gan specifiski aģentos sakņotai modelēšanai, gan DAS kopumā. Darba autore, papildinot Makala un Norsa klasifikāciju (Macal & North, 2014) un veicot pētījumu par aģentos sakņotiem modeļiem, ir definējusi šādas četras kategorijas: (1) vispārīgas darbvirsmas programmas; (2) lielizmēra aģentos balstītu modeļu izstrādes platformas; (3) DAS izstrādes platformas; (4) vispārīgās programmēšanas valodas. Balstoties saderībā ar *FIPA* standartiem, dokumentācijas pieejamību un izmantotajiem rīkiem autores veiktajā aģentos sakņotu modeļu pētījumā sīkākai analīzei izvēlētajās grupās ir atlasīti trīs lietojumi: *JADE* (Bellifemine et al., 2001), *NetLogo* (Wilensky, 2023) un *RePast* (North et al., 2008). Pēc noteiktajiem kritērijiem *JADE* ir vislabākais rezultāts, un tā dēļ šis ietvars izvēlēts promocijas darba lietojuma izstrādē.

1.2. Aģentos sakņota modelēšana un modeļu klasifikācija projektēšanai

No modelēšanas viedokļa ASM parasti tiek pretstatīta vienādojumos sakņotai modelēšanai (VSM) (Wilensky & Rand 2015; Helbing & Balietti 2015). Abu pieeju būtiskākā atšķirība ir tāda, ka VSM izmanto lejupejošo, ASM – augšupejošo projektēšanas pieeju, kas savukārt ļauj veidot imitācijas modeļus, balstoties indivīda īpašībās. ASM ir īpaši piemērota, lai implementētu vai izskaidrotu emergenci, sistēmas spēju adaptēties un modelētu sistēmas, kas ietver heterogēnus elementus (Wilensky & Rand, 2015), tātad arī sociotehniskas sistēmas (Macal, 2016), un sistēmas, kas iekļauj cilvēka uzvedības modelēšanu (Bonabeau, 2002). ASM iegūto rezultātu, īpaši cilvēka iesaistes gadījumā, ir grūti validēt. Tiek uzskatīts, ka tad, ja modeļa darbība atbilst reālās vides scenārijiem, tas ir koncepta pierādījums (Wilensky & Rand, 2015), kas savukārt atbilst trešajam tehnoloģijas gatavības līmenim¹ (angļu val. *Technology Readiness Level*).

ASM trūkumi ir saistīti gan ar lielo skaitļošanas jaudas patēriņu, gan arī ar izstrādes procesa neprecizitāti (Wilensky & Rand 2015; Bonabeau 2002). Lai risinātu pēdējo problēmu, ir definētas izstrādes metodoloģijas, taču to nav daudz un izstrādes soļi ir abstrakti, pieredzē balstīti (Helbing & Balietti, 2013; Macal & North, 2010; Nikolic & Ghorbani, 2011), trūkst labajā praksē balstīta apkopojuma.

Aģentos sakņoti imitācijas lietojumi ir daudzveidīgi, tie ietver dažādas lietojuma jomas, tādēļ pastāv vairākas eksistējošas klasifikācijas, kas ļauj orientēties modeļu telpā, balstoties modeļu semantiskajā nozīmē (piemēram, Bonabeau, 2002). Gan apkopojot esošās klasifikācijas (Bonabeau, 2002; Helbing & Balietti, 2013; Macal, 2016), gan apskatot vairāk nekā 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

¹ Pēc Eiropas Savienībā atzītajām vadlīnijām 2014.–2015. gada projektu uzsaukumiem, avots: https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf.

modeļus, izstrādāt vadlīnijas, piemēram, piemērotas aģentu uzbūves izvēlei, un identificēt modeļa vietu ASM telpā, tādējādi attīstot aģentos sakņotu modeļu projektēšanas pieejas.

	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	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																				

1.1. att. Modeļu kategoriju saderības matrica.

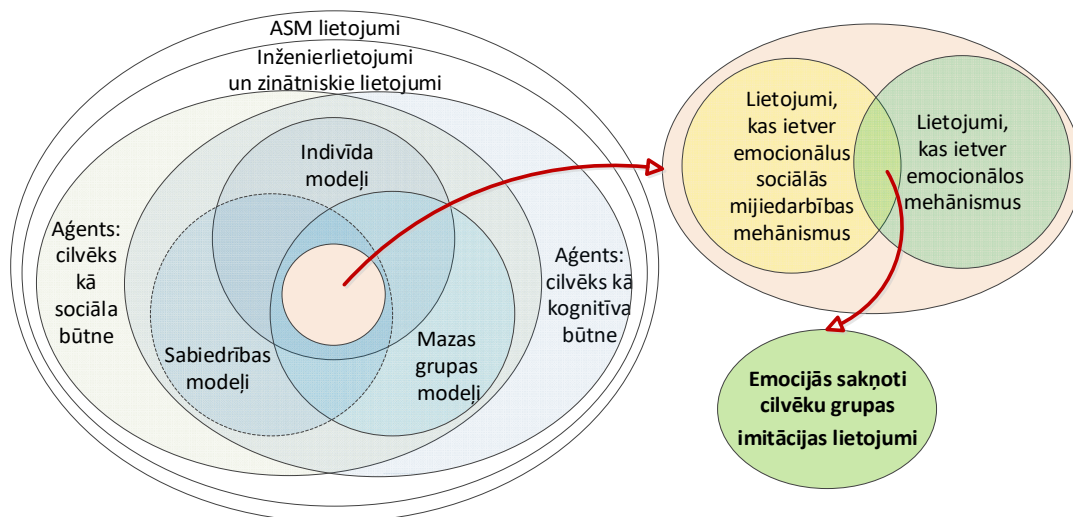
Autores piedāvātā klasifikācija ir sastādīta vairākos līmeņos (Pudāne, 2017b). Metalīmenī tiek piedāvātas trīs klasifikācijas grupas: (1) modeļa semantiku raksturojošās; (2) modeļa makrolīmeni raksturojošās; (3) modeļa mikrolīmeni raksturojošās klasifikācijas.

1. Modeļa semantiku raksturojošai klasifikācijai izmantots jau eksistējošs Bonabo iedalījums: plūsmas modeļi, izplatības modeļi, organizācijas modeļi un tirgus analīzes modeļi (Bonabeau, 2002).
2. Modeļa makrolīmeni raksturojošās klasifikācijas ir iedalījums **pēc tīkla struktūras** (aģenti saistīti ar nejaušiem aģentiem, bezmēroga tīkls, tuvāko kaimiņu struktūra, hierarhiskā jeb vairākslāņu un klasterveida struktūra) un **pēc tā, vai aģenti savā starpā atšķiras** (homogēni, heterogēni pēc uzbūves, heterogēni pēc uzvedībām, heterogēni pēc parametriem).
3. Modeļa mikrolīmeni raksturojošās klasifikācijas ir **aģenta semantiskā nozīme** (nedzīvs objekts, bioloģiska būtne, kognitīva vai sociāla būtne) un **aģenta uzbūve** (izmantotas iepriekš aprakstīto intelektuālo aģentu arhitektūru kategorijas).

Iepriekš aprakstītās sistēmu klases nav pilnībā savstarpēji saderīgas. Tādēļ autore, balstoties veiktajā literatūras analīzē, ir izveidojusi 1.1. attēlā redzamo saderības matricu (Pudāne, 2017b). Izstrādātā klasifikācija un īpaši klašu saderības matrica ir noderīga kā palīgmateriāls aģentos sakņotu modeļu projektēšanai un izstrādei; tas darīts arī promocijas darba tālākajās nodaļās.

1.3. Cilvēku grupas uzvedības imitācija ar ASM palīdzību

Cilvēka kā sociālas un kognitīvas būtnes imitēšana, atšķirībā no cita veida aģentiem, ietver vēl papildu izaicinājumus, kas ir saistīti (a) ar psiholoģiju un socioloģiju: izprašanu, kāpēc cilvēks uzvedas konkrētā veidā; empīrisku datu ievākšanu; (b) ar datorzinātni: empīrisko zināšanu formalizēšanu un validāciju (Kennedy 2012; Lee & Malkawi 2013). Promocijas darba vieta dažādos cilvēku grupas imitācijas lietojumos redzama 1.2. attēlā.



1.2. att. Emocijās sakņotu cilvēku grupas imitācijas lietojumu joma ASM telpā.

Cilvēku no sociālā un kognitīvā viedokļa var modelēt kā lielas sabiedrības locekli, kā dalībnieku nelielā grupā un, visbeidzot, kā indivīdu (Kennedy, 2012). Mazas grupas modelēšanā viens no svarīgākajiem faktoriem ir aģentu mijiedarbības; tā ietver arī ticama

individuālā aģenta uzvedības modeļa un arhitektūras veidošanu. Mazu grupu modeļu, salīdzinot ar citiem, ir maz, un galvenokārt tie ir izmantoti tieši mijiedarbību pētīšanai (Bristow et al., 2014). Promocijas darba pētījums attiecas uz inženierlietojumiem un zinātniskajiem lietojumiem, minimālu uzmanību pievēršot modeļa vizualizācijai. Aģents pētījuma kontekstā ir cilvēks kā kognitīva un sociāla būtne ar papildu parametru – emocijām. Lai arī pētījuma rezultāti ir demonstrēti arī pūļa modelī, tomēr pētījuma fokuss ir tieši uz individuālajiem un mazās grupas modeļiem. Visbeidzot, sašaurinot uzmanību uz tiem aģentos sakņotiem imitācijas modeļiem, kas ietver emocijas, emocijās sakņoti cilvēku grupas uzvedības imitācijas lietojumi atrodas krustpunktā starp lietojumiem, kas ietver emocionālos un ar emocijām saistītos sociālos mehānismus.

1.4. Kopsavilkums un secinājumi

Promocijas darba 1. nodaļā apskatīti ar ASM saistīti jēdzieni. Darba autore izpētījusi plašu aģentos sakņotu modeļu klāstu, īpašu uzmanību pievēršot cilvēku grupas modelēšanai izmantoto ASM modeļu īpatnībām, kā rezultātā definēta: (a) to klasifikācija no DAS viedokļa; (b) izstrādāta klašu saderības matrica. Šie ir nodaļas galvenie **rezultāti**, kas autorei tālākajā darba izstrādē sniedz gan praktiskas, gan teorētiskas vadlīnijas. Rezultātu nozīme ir divējāda: (1) identificēt promocijas darba vietu ASM telpā, definējot, ka tā ir mazo grupu kontekstā; (2) atvieglot tālāko darbu, atrisinot dažādus ar projektēšanu saistītus jautājumus, piemēram, aģenta arhitektūras izvēli un DAS struktūras izvēli.

Nodaļas secinājumi

- Emocijās sakņotam aģentam piemīt racionālās spriešanas īpašības, tāpēc to projektēšanā un izstrādē ir izmantojamas racionālu aģentu arhitektūras.
- Ņemot vērā dažādu arhitektūru raksturojumus, kā arī emociju modelēšanas īpatnības, piemērotākais arhitektūru veids emocijās sakņotiem aģentiem ir slāņveida arhitektūras.
- Balstoties ASM un DAS paradigmu izpētē, var secināt, ka cilvēku grupu vislabāk modelēt, lietojot DAS izmantotos konceptus, tā iegūstot realitātei atbilstošāku uzvedību.
- Lai veicinātu aģentu atkārtotu izmantošanu, jāizmanto komunikācijas valoda *FIPA ACL*, saderība, kas ir būtiska prasība izstrādes videi. Balstoties šajā un citos definētajos kritērijos, 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 trešā tehnoloģijas gatavības pakāpe – koncepta pierādījums.

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

2. CILVĒKA EMOCIONĀLO PROCESU IMITĒŠANA

Nodaļas mērķis ir apskatīt un salīdzināt sistēmu iestrādes, kas modelē cilvēku un cilvēka emocionālo uzvedību, kā arī definēt, kādām spējām un īpašībām šīm sistēmām jāpiemīt. Cilvēka imitēšana nav iespējama ne vien bez datorzinātnes, bet arī bez psiholoģijas pētījumiem. Līdz ar to šī nodaļa ir starpdisciplināra un ietver gan tos psiholoģijas konceptus un teorijas, kas nepieciešami cilvēka emocionālā stāvokļa aprakstīšanai, gan pētījumu par jau esošajām emocijās sakņotām izstrādēm datorzinātnē.

2.1. Emociju nozīme un emociju teorijas

Emocijas šajā promocijas darbā tiek definētas kā īstermiņa emocionālie stāvokļi (Hudlicka 2011, Gebhard 2005). Ar terminu emocionālais stāvoklis (angļu val. *affective state*) apzīmē ne vien emocijas to klasiskajā izpratnē, bet arī citus emocijas ietekmējošos faktoros, t. sk. noskaņojumu un personību, kā arī kombināciju starp šiem emocionālajiem stāvokļiem. 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). Emociju teorijas pēta to, kādā veidā emocijas un citi emocionālie stāvokļi rodas, tiek izpausti un ietekmē racionālo domāšanu. Promocijas darbā apskatītas tās emociju teorijas, kas ir formalizējamas un lielā mērā tādēļ ietekmīgākās (Marsella et al., 2010; Scherer, 2009) tieši emocionālajā skaitļošanā.

Ekmana teorija emocijas iedala kategorijās, izšķirot sešas pamatemocijas (prieks, skumjas, bailes, pretīgums, dusmas un pārsteigums) (Ekman, 1992). Emociju iekšējai modelēšanai un izraisīšanās modelēšanai šīs teorija ir nepietiekama, jo neizskaidro emociju izraisīšanos un pārejas starp emocijām, tomēr tā ļauj aģentiem identificēt cita aģenta emocijas.

PAD (angļu val. *Pleasure-Arousal-Dominance*) **emociju telpa** ar vienas teorijas palīdzību ļauj modelēt gan noskaņojumu, gan emocijas (Mehrabian, 1996; Russell & Mehrabian, 1977). Saskaņā ar šo teoriju, emocijas ir iespējams aprakstīt trīs dimensijās: patikā, uztraukumā un dominancē: $\langle P, A, D \rangle$. Patika norāda, cik patīkama ir emocija; uztraukums – kāds ir subjekta uzbudinājuma līmenis, savukārt dominance attiecas uz kontroli pār situāciju (Russell & Mehrabian, 1977). PAD emociju teorijas autori eksperimentāli ir atraduši PAD telpas vērtības vairāk nekā 160 emocijām katrai dimensijai skalā $[-1; 1]$ (piemēram, prieks $\langle 0,76; 0,48; 0,35 \rangle$) (Russell & Mehrabian, 1977).

Ekmana teorija un PAD emociju telpa ļauj modelēt emocijas, taču ne to izraisīšanos. To ļauj darīt **OCC modelis**, kas datorzinātnē izmantots daudz, jo ir iespēja to salīdzinoši ērti formalizēt un līdz ar to pielāgot programmēšanas vajadzībām (Ortony et al., 1988; Steunebrink et al., 2009). Vēlāk OCC modelis paplašināts, izveidojot pilnīgu kognitīvās apstrādes shēmu (Ortony et al., 2005), kurā ir trīs informācijas apstrādes līmeņi: reaktīvais, rutīnas un refleksivais līmenis (Ortony et al., 2005).

Personības modelēšanai izmantots **BigFive modelis**, kas ir pazīstams arī kā **OCEAN** modelis – **OCEAN** ir abreviatūra tā piecām dimensijām jeb iezīmēm: atvērtībai (angļu val. *Openness*), apzinīgumam (angļu val. *Conscientiousness*), ekstraversijai (angļu val.

Extraversion), spējai vienoties (angļu val. *Agreeableness*) un neirotizmam (angļu val. *Neuroticism*) (McCrae & Costa, 2003).

Koncentrējoties uz emociju modelēšanu datorsistēmās (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, ko iedala iekšējās un mijiedarbības lomās (to kopsavilkums pētījumā (Hudlicka, 2011)). 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: iekšējā emocionālā stāvokļa komunikācija; statusa komunikācija; sociālo saišu demonstrēšana un pārvaldība; iekšējā stāvokļa komunikācija pēc kļūdas pieļaušanas.

2.2. Emocijās sakņotu aģentu izstrādes

Emociju modelēšanu datorsistēmās var iedalīt divās grupās: saskarsmes modelēšanā un emocijās balstītas spriešanas modelēšanā. Saskarsmes modelēšana galvenokārt koncentrējas uz dažādiem aspektiem cilvēka-datora mijiedarbībā, 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 (Hudlicka, 2004; Marsella et al., 2010). Veidojot cilvēka imitāciju, neatkarīgi no tā, viena vai daudzu aģentu modelī, promocijas darbā ir nepieciešams koncentrēties uz otrā tipa vai jauktajām izstrādēm.

Autore secinājusi, ka emocijās sakņoti aģenti, kur emocijas ietekmē racionālos procesus, ir izmantoti trīs tālāk tekstā norādītajās jomās.

1. Emocijās sakņoti aģenti lēmumu pieņemšanai un emocionālās mijiedarbības imitācijai. Promocijas darbā lielākā vērtība pievērsta tām izstrādēm, kuru mērķis ir bijis atdarināt cilvēka domāšanas procesus. No šī tipa darbiem promocijas darbā analizēti *H-Cog-Aff* (Sloman, 2000), *EMA / Emile* (Gratch, 2000; Marsella & Gratch, 2009), *FLAME* (Seif El-Nasr et al., 2000), *MAMID* (Hudlicka, 2008) un *PECS* (Urban, 2001).
2. Emocijās sakņoti aģenti nopietnās spēlēs un virtuālās vidēs. darbā apskatīti aģenti ugunsdzēsēju apmācībai (turpmāk darbā – Korečko un kolēģu izstrāde) (Korecko et al., 2014), *ALMA* aģents (Gebhard, 2005), kā arī *WASABI* aģents (Becker-Asano, 2008).
3. Emocijās sakņoti aģenti veikspējas uzlabošanai. Promocijas darbā apskatīts *GEMAs* ESM un ar to saistītie pētījumi (Kazemifard et al., 2012), kā arī aģentu komandas, kas implementētas *Robocode* (Rebelo et al., 2015).

Apakšnodaļā minētās izstrādes kopumā ļauj secināt, ka: (1) ticama aģentu uzvedība ir nepieciešama dažādos lietojumos; (2) patlaban izstrāžu ir daudz, taču nav kopsavilkumu, kas tās ļautu salīdzināt un apskatīt pēc konkrētiem kritērijiem, kā arī aktuālu labo praksi apkopojumu.

2.3. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu analīzes aspekti

Lai izstrādātu emocijās sakņotu aģentu, ir nepieciešams ņemt vērā dažādus aspektus. Šie aspekti aprakstīti, analizējot tās izstrādes, uz kurām atsaucas dotas 2.2. nodaļā. Šeit aprakstīti galvenie secinājumi.

Vispārīgā ESM uzbūve ir aspekts, kas norāda uz aģenta arhitektūru. Apskatot izstrādes, var secināt, ka vispārīgajā ESM uzbūvē lielākajā daļā arhitektūru ir vairāki vertikāli emociju apstrādes slāņi. Atbalsts emociju apstrādes slāņveida raksturam ir atrodamas arī vairāku psihologu darbos, un esošajās izstrādēs slāņiem ir līdzīgas funkcijas: (1) primārais slānis veic sākotnējo emociju apstrādi; (2) sekundārais slānis veic kognitīvo apstrādi; (3) terciārais līmenis ļauj aģentam veikt secināšanu par sociālajiem procesiem vai augstāka līmeņa kognitīvajiem procesiem.

ESM nepieciešams realizēt vairākas **funkcijas**, kas promocijas darbā aizgūtas no esošiem pētījumiem (Hudlicka, 2011; Marsella et al., 2010). Analīzei izmantotas Hudlickas definētās funkcijas, jo tās arī atbilst emociju lomām (Hudlicka, 2011). Šajā iedalījumā ir divas galvenās funkcijas ar sešiem apakšuzdevumiem: **(a) emociju ģenerēšana** (ar apakšuzdevumiem: stimula un emocijas savienošana, vairāku emociju apvienošana un emociju dinamikas aprēķins); **(b) emociju ietekme uz apziņu** (ar apakšuzdevumiem: emociju un to seku savienošana, dažādu emociju seku kombinēšana un emociju seku dinamikas aprēķins).

Emociju ģenerēšanā (a) stimula un emocijas savienošana parasti notiek ar novērtējuma teoriju palīdzību, piemēram, *OCC*, kas var tikt pārveidotas *PAD* telpas emocijās. **Emociju apvienošanas metodes** ietver gan vienādu, gan dažādu emociju apvienošanu. Vienādu emociju apvienošana faktiski ir emocijas intensitātes pārrēķināšana, savukārt dažādu emociju gadījumā stāvoklis tiek glabāts kā kortsveiciens vai integrēts *PAD* telpā. Visbeidzot, **emociju dinamikas aprēķinam** ir divas funkcijas – emociju aktivizācijas funkcija sākotnējās intensitātes aprēķinam un norimšanas funkcija. Aktivizācijas funkcija nosaka, cik intensīvi aģents izjutīs emociju attiecībā pret kādu kairinājumu; balstoties literatūras analīzē, atbilstošākā funkcija ir sigmoīda (Hudlicka, 2011; Picard, 1997), tā arī izmantota promocijas darbā. Norimšanas funkcija ļauj noteikt, cik ātri un kādā dinamikā emocija pāries un aģents atgriezīsies sākuma stāvoklī. Darbā tā modelēta kā eksponentfunkcija (Codispoti et al., 2009; Reisenzein, 1994), tās parametri balstīti fizioloģiskajos rādītājos (Codispoti et al., 2009) un psiholoģijas pētījumos (Verduyn et al., 2009).

Emociju ietekmē uz apziņu (b) emociju un to seku savienošana ir funkcija, kas apraksta, kā tiek savienotas emocijas un tām atbilstošās iekšējās un ārējās izpausmes. Emocijās sakņotās izstrādēs emociju ietekmes ir iekodētas vai nu produkciju likumu veidā (tas ir, **IF emocija THEN ietekme**) (piemērotāks primārajā arhitektūras līmenī), vai arī ietekmē izpausmes pastarpināti (piemērotāks atbilstošas stratēģijas izvēlei). **Dažādu emociju seku apvienošanai** svērta pieeja tiek izmantota visvairāk – taču, ja emocijas aģentā tiek glabātas jau kombinētā veidā, nevis vektora veidā, tad pietiek rēķināt sekas no šī iekšējā stāvokļa. **Emociju seku dinamikas aprēķins** pēc būtības un rakstura atbilst emociju dinamikas aprēķinam. Faktiski šī dinamika nosaka, cik stipra un ilgstoša ir emociju ietekme uz emocijas sekām. Ekspresijas

funkcija apraksta to, cik spēcīgi emocijas tiek izpaustas, t. i., izpausmes atkarību no iekšējās emocijas. Emociju izpausšanas stiprumu, līdzīgi kā aktivizēšanu, var modelēt kā sigmoīdu.

Individuālo iezīmju modelēšana nodrošina to, ka aģentu uzvedībai tiek nodrošināta nepieciešamā variācija tā, lai tie līdzinātos cilvēka uzvedībai (Bosse et al., 2009; Kelly & Barsade, 2001). Lai personību varētu integrēt citos emocionālajos stāvokļos, izstrādēs personība tiek definēta *OCEAN* modeļa veidā, taču tiek pārveidota *PAD* (Mehrabian, 1996) telpā kā pamata stāvoklis, uz kuru aģenta emocionālais stāvoklis laika gaitā atgriežas. Lai arī *OCEAN* modelis šajās izstrādēs ir šķietami lieks, tā nav, jo psiholoģijā dažādu emociju atkarība pētīta tieši no *OCEAN* modeļa, nevis *PAD* telpas dimensijām. Augstākās korelācijas starp emocijām un personību ir E un N dimensijām (Rusting, 1998). Sakarība starp *OCEAN* personības iezīmēm un diskrētām emocijām ir lineāra (Pease & Lewis, 2015; Rusting, 1998). Praktiski personība nosaka jau aprakstīto funkciju – aktivizācijas un norimšanas, kā arī ekspresijas funkcijas parametrus.

Emociju formalizācijai tiek izmantoti matemātiskie vai imitācijas modeļi. Promocijas darbā uzsvars likts uz datormodeļu analīzi, jo šobrīd nav formālu matemātisko modeļu, kas ļautu aprakstīt emociju dinamiku, tikai to novērtējumu un atbilstošās sekas; nav arī pierādījumu, ka šādam matemātiskam modelim būtu būtiskas priekšrocības, salīdzinot ar algoritmiskiem modeļiem. Gan datormodeļi, gan formālās sistēmas (nestriktās kopas, varbūtību teorija, Beijesa tīkls) praksē bieži tiek kombinētas.

Spriešana un zināšanu glabāšana ir tā aģenta daļa, kas ir ārpus ESM. Emocijas pārsvarā tiek saistītas ar aģenta spriešanas un plānošanas procesiem. Aģenta spriešana lielā mērā sasauca arī ar to, kādā veidā ir formalizētas emociju teorijas. Kopumā vairākos šajos modeļos praktiski nav iespējams atsevišķi izcelt emocionālos un racionālos spriešanas modeļus, līdz ar to var secināt, ka ir tendence veidot aģenta arhitektūrā integrētu ESM, kas izceļams atsevišķi, tikai abstrahējoties no implementācijas detaļām. 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. Emocijās sakņotu aģentu izstrāžu salīdzinājums un analīze

Pilnībā ticama cilvēka imitācija saistīta ar izstrādi, kas imitētu visas esošās emociju lomas un individuālās atšķirības. To var realizēt, pārlicinoties, ka: (1) tiek implementēti visi Hudličkas vispārējie procesi; (2) tiek ieviesta daudzslāņu arhitektūra, par pamatu ņemot trīs slāņus no Slomana (Sloman, 2000) – reaktīvajā līmenī notiek ātra, primitīva stimulu apstrāde, rutīnas līmenī stimula apstrādē iesaistās kognitīvie procesi, refleksiīvajā līmenī ir procesi, kas saistīti ar pašrefleksiju un sociālajiem šabloniem; (3) tiek ieviesta personības modelēšana, kas iekļaujama kā horizontālā prasība katrai no realizētajām lomām.

Apskatot 2.2. nodaļā uzskaitītās izstrādes, balstoties 2.3. nodaļā aprakstītajos aspektos kā salīdzinājuma kritērijos, definēti vairāki secinājumi.

Visvairāk lomu ir implementēts vai daļēji implementēts *MAMID* modelī un Kazemifarda un kolēģu izstrādē (vairāk nekā 70 %), bet liela daļa izstrāžu modelē mazāk par

pusi no lomām. Šāda atšķirība veidojas tādēļ, ka daļa izstrāžu veidotas specifiskam lietojumam, kurā visas lomas nav nepieciešamas. Lomu realizācijā bagātajās implementācijās to bieži vien atrisina pati arhitektūras struktūra.

Iekšējo un ārējo lomu implementācijas sadalījums parāda, ka ārējās lomas lielākoties ir daļēji implementētas, kas nozīmē, ka tām trūkst vai nu būtisku funkciju, vai arī tās ir tikai pieminētas. Iekšējo lomu relatīvā implementācija divas reizes pārsniedz ārējo lomu implementāciju, kas ļauj secināt, ka šajās izstrādēs trūkst tieši to lomu, kas nepieciešamas grupas modelēšanai.

Personības ietekme relatīvi visvairāk modelēta Kazemifarda un kolēģu izstrādē. Tās izstrādes, kas neizmanto plašu personības aprakstīšanas modeli (*WASABI*, *Emile*), personību izmanto tikai atsevišķās lomās, lai gan, kā minēts iepriekš, tai jācaurvij visas lomas. Pieeja, kas ļauj izmantot tikai vienu teoriju un ir gana izteiksmīga, izmantota *ALMA* un *Rebelo* un kolēģu izstrādē, kur personība pārrēķināta *PAD* telpā, kurā tālāk tiek veikti visi aprēķini.

Nepieciešamība pēc emociju lomu pilnas realizācijas ļauj secināt, ja lietojuma joma ir šaura un specifiska, ne visas lomas ir vienlīdz svarīgas un aģents var sasniegt atbilstošus rezultātus arī bez tām. 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 ietvertu visas lomas, tomēr šāda tipa imitācijās var zust izsekojamība daudzo parametru dēļ. Jāņem vērā, ka, lai arī nepieciešamība pēc šādiem lietojumiem un atbilstošiem modeļiem ir atzīta, tomēr modeļi, kas pilnībā īstenotu visas lomas, neeksistē. Promocijas darba pētījumā tiek imitēta cilvēku grupa ar tās mijiedarbībām, kas nozīmē, ka ārējās lomas ir īpaši nozīmīgas, taču to realizācija bieži atstāta novārtā.

2.5. Kopsavilkums un secinājumi

Promocijas darba 2. nodaļa ietver apskatu par cilvēka modelēšanu gan no psiholoģijas, gan no datorzinātnes viedokļa. Nodaļā aprakstītas emociju teorijas un dažādi ar emocionālo stāvokli saistītie faktori. Pēc tam veikts esošo sistēmu un aģentu arhitektūru salīdzinājums, koncentrējoties uz emociju lomu izpildi.

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir dažādu emocijās sakņotu aģentu apskats un salīdzinājums, kā arī no salīdzinājuma izrietošie lēmumi tālākai risinājuma projektēšanai.

Izskatot esošos risinājumus, autores **galvenie secinājumi** ir šādi:

- emocijās balstīta spriešana ļauj gan uzlabot aģenta darbības rādītājus un funkcionēšanas spējas konkrētā vidē, gan arī modelēt dažādas sarežģītas situācijas;
- emociju ieviešana intelektuāla aģenta spriešanas procesos vai aģentu savstarpējā mijiedarbībā ļauj modelēt sistēmu, kas vairāk atbilst reālās dzīves situācijām;
- par spīti emociju modelēšanas priekšrocībām neviens no šobrīd esošajiem risinājumiem tomēr 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 darba pētījumā.

Nodaļā definēti arī **citi secinājumi**.

- Uz emociju 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. Gan psiholoģijas teorija, gan esošo emocijās sakņoto aģentu apskats ļauj secināt, ka emociju dinamikas modelēšanai ar konstruktīvisma emociju teorijām, konkrēti *PAD* modeli, 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 ar atšķirīgiem parametriem.
- Arhitektūras, kas ticamai cilvēka imitācijai ir vistuvāk, ietver vairāk nekā vienu komponenti un vairāk nekā vienu slāni, līdz ar to nepieciešams veidot vertikālu daudzslāņu arhitektūru.
- Aģentiem jāspēj saņemt un interpretēt citu aģentu emocijas.

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

3. CILVĒKU GRUPAS IMITĀCIJA

Nodaļas mērķis ir apskatīt un salīdzināt mijiedarbības mehānismus, kas ir pamatā emociju komunikācijai sociālā grupā, kā arī iespējas tos imitēt. Nodaļa ir starpdisciplināra un ietver gan mijiedarbības pamatā esošās sociālās teorijas, gan arī esošo izstrāžu salīdzinājumu un saistīto konceptu apskatu. Ar cilvēku grupu šajā promocijas darbā tiek saprasta sociālā sistēma, kurai ir robežas, kopējs mērķis, kura sasniegšanai eksistē savstarpējās atkarības, un noteiktas dalībnieku lomas (Kelly & Barsade, 2001).

3.1. Emocijas kā sociālā informācija

Modeļa izstrādes nolūkiem apskatīts pētījumu virziens, kas aplūko emocijas kā sociālu paradigmu grupas ietvaros un balstās uz to, ka emocijas ir sociālas, t. i., attīstījušās kā sociālās informācijas nesējs (van Kleef, 2016). Arī no iepriekš aprakstītajām Hudličkas (Hudlicka, 2011) minētajām emociju lomām secināms, ka cilvēku mijiedarbības regulēšana ir viens no emociju galvenajiem uzdevumiem.

EASI teorija (angļu val. *Emotions as Social Information*) ietver divus galvenos apsvērumus: (a) cilvēki, paužot emocijas, ne vienmēr tieši demonstrē iekšējo stāvokli; (b) visas emociju izpausmes novērotājam var sniegt informāciju, taču ne visas emociju izpausmes obligāti ir funkcionālas un palīdz izpaudējam sasniegt savu mērķi (van Kleef, 2016). Fundamentāls *EASI* pieņēmums ir, ka emocijas ir galvenais lēmumu pieņemšanas palīgs neskaidrās situācijās (van Kleef 2016; Manstead & Fischer 2001), kas saistās ar iepriekšējā nodaļā aprakstītajiem informācijas apstrādes līmeņiem un liecina, ka neskaidrās informācijas apstrāde var notikt: (a) sekundārajā līmenī, ja neskaidrība ir par otra motīviem vai mērķiem un par savu iekšējo stāvokli (van Kleef, 2016); vai (b) terciārajā līmenī, ja neskaidrība ir par statusu grupā un tās struktūru; neskaidrība par citu sociālajiem nolūkiem un sadarbības tipu (sāncensība vai sadarbība) (van Kleef, 2016).

Saskaņā ar *EASI* teoriju emocijām ir divējāda ietekme uz emocijas saņēmēja emocionālajiem un racionālajiem procesiem (van Kleef, 2016). Emocionālās citu emociju ietekmes ietver novērotāja emocionālā stāvokļa vai intensitātes maiņu (van Kleef, 2016). Racionālās ietekmes ietver tālāku secinājumu veikšanu, ietekmējoties no emocionālajiem stāvokļiem (van Kleef, 2016). Šī ietekmju turpināšanās savukārt izraisa izmaiņas uzvedībā un mijiedarbībā, tādējādi var teikt, ka emociju nodošanas un uzņemšanas mehānismiem piemīt rekursīvs raksturs, radot ciklus (Collins et al., 2016; van Kleef et al., 2017).

3.2. Emociju nodošanas mehānismi

Iepriekš 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 izšķir trīs daļas (ja neskaita emocijas izjušanu, kas ir jau iekļauta aģenta iekšējā arhitektūrā): emociju kodēšana sūtītāja pusē, atkodēšana un sekas saņēmēja pusē.

Emociju kā sociālās informācijas nesēju idejas balstās faktā, ka emociju izpausmes ir universāli atpazīstamas (van Kleef, 2016), taču atkarībā no sūtītāja mērķiem tās var būt **patiesas** vai **manipulētas** (Kelly & Barsade, 2001). **Atkodēšanas veids** var būt apzināts vai neapzināts (Kelly & Barsade, 2001). Pie neapzinātajiem atkodēšanas veidiem pieder mimicēšana, t. i., tendence atkārtot cita cilvēka emocijas, un nosacījumu apgūšana; pie apzinātajiem atkodēšanas veidiem pieder perspektīvas ieņemšana, veidola ieņemšana vai sociālā novērtēšana (van Kleef, 2016). Perspektīvas ieņemšana un sociālā novērtēšana ļauj veikt arī cita emociju novērtēšanu, balstoties savos stratēģiskajos un sociālajos mērķos, tādējādi ietekmējot racionālo spriešanu. Visbeidzot, saņēmēja emocionālās un racionālās sekas izraisa grupas uzvedības maiņu (van Kleef, 2016; van Kleef et al., 2017). Ja saņēmēja un sūtītāja emocija neatšķiras, tad saņēmēja emocionālo stāvokli sauc par savstarpēju, savukārt, ja emocija atšķiras – par atbilstošu (van Kleef, 2016).

Balstoties (Collins et al., 2016; Hareli & Rafaeli, 2008; Kelly & Barsade, 2001; van Kleef, 2016), ir identificēti pieci mehānismi, kas aprakstīti apakšnodaļas turpinājumā.

Primitīvā emociju izplatība, ko ietver visi minētie pētījumi – neapzināta savstarpējās emocijas nodošana. Tā ir tieši atkarīga no diviem ar personību saistītiem parametriem: pirmkārt, cik viegli un stipri cilvēks emocijas pauž, otrkārt, cik viegli saņēmējs maina savu emocionālo stāvokli atkarībā no cita cilvēka emocionālā stāvokļa (Barsade, 2002). Pirmo parametru apraksta ar ekspresijas funkciju, otro – ar uzņēmības funkciju. Arī uzņēmības funkcijas raksturu ir iespējams izgūt no personību raksturojošiem modeļiem (Santos et al., 2011). Tipiski uzņēmības funkcija tiek modelēta ar sliksni, kur – jo *OCEAN* modeļa dimensijas N vērtība lielāka, jo sliksnis zemāks (piemēram, (Bosse et al., 2015)).

Sekundārā emociju izplatība ir process, kad notiek apzināta savstarpējās emocijas nodošana un kad cilvēks tajā iekļauj arī izziņas spējas, sociālās vērtības un modeļus, tā izvēloties, vai viņš vēlas šo emociju just un kādā veidā to var paust (Barsade, 2002). Tas atbilst apzinātai emociju izplatībai; van Klīfs (van Kleef, 2016) sīkāk izšķir divus mehānismus, perspektīvas ieņemšana atbilst sekundārajam līmenim, sociālā novērtēšana – terciārajam.

Emociju nodošanas šabloni, ar kuru palīdzību atšķirībā no izplatības tiek izraisīts atbilstošs, nevis savstarpējs, emocionālais stāvoklis. 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 saistīti arī ar terciāro līmeni gadījumā, ja emocijas rašanās atkarīga no sociālajām attiecībām.

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 citu personu reakciju (Kelly & Barsade, 2001). Šis mehānisms ir kognitīvs un ietver emociju paušanu ar mērķi mainīt kāda darbības vai pārliecības 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 jeb emocionālo izpausmju pārvaldība ir līdzīga emociju tiešajai nodošanai, taču šajā gadījumā dalībnieks nepauž izjustu iekšējo emociju, bet gan cenšas

pielāgoties sociālajām un emocionālajām normām (Kelly & Barsade, 2001). 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); ar mērķi panākt savu (Austin et al., 2007). Pirmajā gadījumā tā atbilst mijiedarbībai terciārajā līmenī, savukārt otrajā – mijiedarbībai sekundārajā līmenī.

3.3. Emociju ietekmes grupas līmenī

Emociju ietekmes grupas līmenī promocijas darba kontekstā ir būtiskas, jo apraksta makrošablonus, t. i., modeļa uzvedību, kas ļaus validēt, ka izstrādātais modelis darbojas korekti, kā arī tās citu emociju sekas, kam jābūt implementētām vienā aģentā. **Konverģence** ir grupas makrolīmeņa fenomens, kura pamatā ir empīriski novērojumi par to, ka grupas dalībnieku kopējam noskaņojumam ir tendence kļūt līdzīgam. Emociju **diverģence** pēta tās grupas, kuru kopīgais noskaņojums – tieši pretēji – kļūst atšķirīgs (Barsade & Gibson, 2012). Šos makrošablonus kombinējot, var iegūt emociju izmaiņas ilgtermiņā. Promocijas darbā apskatītas trīs makrošablonus veidojošās augšupejošo faktoru grupas: dalībnieku personības; sociālais statuss; attiecības.

Tātad, lai veidotos makrošabloni, var izšķirt divus nosacījumus (Hareli & Rafaeli, 2008; Kelly & Barsade, 2001; Sy & Choi, 2013), no kuriem jāizpildās vismaz vienam: (a) cilvēkiem nepieciešams nepārtraukti mijiedarboties; (b) mainās īpaši ietekmīga cilvēka emocionālais stāvoklis. Promocijas darbā validācija tālāk veikta pēc makrošablonu raksturojumiem.

Konverģences makrošablona raksturojumi apkopoti, apskatot vairākus avotus, (Barsade, 2002; Felps et al., 2006; Hareli & Rafaeli, 2008; Sy & Choi, 2013; van Kleef, 2016):

- (1) emocijas rodas, arī vienkārši novērojot citu mijiedarbības;
- (2) ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst;
- (3) jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus;
- (4) jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm;
- (5) jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte.

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

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

Attiecībā uz emociju racionālajām sekām *EASI* teorijā specifiski izceltas racionālās sekas: uzvedības ietekme un secinājumu veidošanās par situāciju, sūtītāja personību un sociālajiem motīviem (van Kleef, 2016). 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 – mainīt savas stratēģijas. No tā izriet vēl divi raksturojumi, kas veicina atbilstošu modeļa uzvedību:

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

3.4. Eksistējošo risinājumu salīdzinājums

Eksistējošos risinājumus var iedalīt divās daļās: (a) modeļi, kas specifiski izveidoti emociju izplatības modelēšanai; (b) modeļi, kas ļauj imitēt grupu, taču nav tam specifiski paredzēti.

Modeļus, kas ļauj modelēt emociju izplatību, var iedalīt divos veidos: (1) analīzes modeļi, kas pēta esošos (visbiežāk, sociālos) tīklus; (2) imitācijas modeļi, kas tiek izmantoti cilvēku tīkla darbības prognozei un ietekmējošo faktoru pētīšanai. No šīm grupām promocijas darba pētījumā ietilpst otrie. Tālāk apskatīti modeļi, kas atbilst šādām prasībām: (1) modelī jābūt iespējai implementēt parametrus, kas ļautu realizēt dažādas sociālās struktūras; (2) modelis nedrīkst būt specifisks attiecībā uz vienu konkrētu emociju bez tālākām paplašināšanas iespējām. Šiem kritērijiem atbilst *ASCRIBE* ietvars (Bosse et al., 2015), Bispo un Paivas izstrādātais ietvars (Bispo & Paiva, 2009) un Rinkona un kolēģu izstrādātais modelis (Rincon et al., 2018).

Modeļi, kas ietver emociju izplatības mehānismus, lai arī primāri nav tam paredzēti, ir iegūti, balstoties uz pētījumu 2. nodaļā, t. i., tie, kas realizē vismaz vienu ārējo lomu. Šie lietojumi ir *ALMA*, *Emile / EMA* un Kazemifarda un kolēģu izstrāde. To salīdzinājums pēc izplatības mehānismu realizācijas apkopots 3.1. tabulā.

Analīzes rezultātā konstatēts, ka neviens no eksistējošiem lietojumiem neimplementē visus izplatības mehānismus, lai arī atsevišķos lietojumos šie mehānismi ir atrodami. Tomēr, lai imitācija būtu pilnībā ticama, nepieciešama metode, kas visus mehānismus apvieno.

3.1. tabula

Izplatības mehānismu salīdzinājuma kopsavilkums

	Bosē un kolēģi	Bispo un kolēģi	Rinkons un kolēģi	<i>ALMA</i>	<i>Emile/EMA</i>	Kazemifards
Primārā 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” – izmantojot šo mehānismu, modelētas tikai emociju racionālās ietekmes;

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

3.5. DAS un ASM mehānismu izmantošana emociju mijiedarbības modelēšanai

Emociju izplatības imitācijas modeļi (piemēram, (Bosse et al., 2015)) vienmēr ir aģentos sakņoti, taču no implementācijas viedokļa lielākā daļa realizēta ASM paredzētās vidēs. Tomēr,

tiklīdz ir nepieciešams diferencēt starp dažādiem emociju nodošanas mehānismiem, tikai šāda pieeja vairs nav izmantojama, jo ir nepieciešamas dažāda veida mijiedarbības, ko nodrošina DAS aģentu komunikācijas mehānismi. Lai analizētu DAS mehānismu piemērotību emocijās sakņotu mijiedarbību modelēšanai, ir būtiski analizēt, kādā veidā esošie standarti ir izmantojami iepriekš identificēto mehānismu realizācijai. No DAS viedokļa mijiedarbība starp aģentiem notiek dažādos līmeņos (Martin et al., 2000), kur promocijas darbs koncentrējas uz: (a) sarunas un mērķu līmeņiem; (b) satura līmeni.

Aģentu sarunu realizācijas pamatā ir protokoli, kas ir DAS aģentu mijiedarbības nosacījumi (tajā skaitā ziņojumu secības) jeb augstā abstrakcijas līmenī definēta specifiskācija (Chopra & Singh, 2013; Poslad, 2007). **Mērķu** līmeni palīdz realizēt *FIPA ACL* ziņojuma tipu, kas iedalīti piecās grupās – informācijas nodošana; informācijas pieprasīšana; vienošanās; darbību veikšana; kļūdu apstrāde (FIPA, 2002) – un apraksta ziņojuma nolūku.

Emociju nodošanas mehānismu modelēšanas gadījumā visi protokoli tiks definēti starp divām aģentu lomām: sūtītāju un saņēmēju. Secināts, ka emociju nodošanas mehānismiem, kas ir netīši, pietiek ar informācijas nodošanu, jo pret emocijām var izturēties kā pret informāciju (van Kleef, 2016). Mehānismiem, kur emocijas komunicē ar mērķi – tiešajai komunikācijai un manipulācijai, ir nepieciešams specifisks protokols, kas ietver atbildes nosūtīšanu. Ierastākais veids protokolu modelēšanai ir *FIPA* standarta *AUML* vai *UML* secību diagrammas, kas izmantots arī promocijas darbā (Chopra & Singh, 2013; Pudāne & Lavendelis, 2017).

Emociju racionālās un emocionālās ietekmes, kā arī protokola izvēle, atkarīga ne vien no nodošanas mehānisma, bet arī no aģenta iekšējiem parametriem. Izklidētās sistēmās, pie kurām pieder arī DAS, parametri, kas attiecas uz informācijas apstrādi, atrodas atsevišķos skaitļošanas mezglos, šajā gadījumā – aģentos, tajā pašā laikā aģentos sakņotu modeli var aprakstīt arī makrolīmenī, visu sistēmu modelējot kā grafu. Līdz ar to komunikācijas modelēšana ir saistīta ar transformāciju starp diviem modeļiem: (a) pārskata modeļi, t. i., grafu, kurā attiecību esamība starp aģentiem tiek apzīmēta ar loku un attiecības – ar loku svariem (Diestel, 2017); (b) izklidēto modeļi, kad visi (arī sociālo attiecību) parametri glabājas aģentos.

Var secināt, ka sarunu un mērķu līmenī emociju nodošanas mehānismu implementācijai nav nepieciešamas speciālas pieejas DAS līmenī, taču, lai būtu iespējama implementācija no semantikas viedokļa, nepieciešamas formālas klasifikācijas un formalizācijas, kas ļautu definēt emocijās sakņotas mijiedarbības no DAS viedokļa.

Satura līmenī *FIPA ACL* ļauj komunicēt ziņojuma nolūku, tādējādi nodot daļu no semantikas. Tajā pašā laikā aģentu komunikācijas valodas pašas par sevi nav semantiska līmeņa protokoli, tādēļ, lai interpretētu ziņojumu saturu, *FIPA ACL* paredz ontoloģiju izmantošanu. Lai konstruētu ziņojumu saturu, tiek izmantota kāda no formālajām valodām. Promocijas darba pētījumā lielas nozīmes formālās valodas izvēlei nav, tādēļ ir izvēlēta ar *FIPA ACL* saderīgā *FIPA SL*. Savukārt emociju ziņojumu interpretēšanai ar ontoloģijas palīdzību nav eksistējošu standartu. Apskatot ontoloģijas, var secināt, ka nepastāv vienotas emociju ontoloģijas, pie kam ir apšaubāmi, ka šāda ontoloģija kādreiz varētu pastāvēt, jo prasības ievērojami atšķiras gan atkarībā no lietojuma, gan arī implementējamās vides. Papildu sarežģītību 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 darbā faktiski nav izmantojamas esošās ontoloģijas. Radot jaunu ontoloģiju, ir svarīgi saprast, kādas zināšanas tajā jāiekodē. Emociju nodošanas mehānismi pēc būtības ir balstīti faktā, ka saņēmējs atpazīst emociju, tāpēc konkrētajam lietojumam ontoloģijai būtu jāietver **emociju tips**. Turklāt emociju nodošanas mehānismi ir atkarīgi arī no **emociju stipruma**, tāpēc ontoloģijai jāietver arī to.

3.6. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļā sniegts emocionālo mijiedarbību apraksts no psiholoģijas viedokļa, kā arī salīdzināti esošie risinājumi, balstoties realizēto emocionālo mijiedarbību klāstā, kā arī veikts 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; nodaļā veiktais apkopojums ir veikts, tieši apstrādājot literatūrā atrodamo informāciju, izvairoties veikt vispārīgus secinājumus vai interpretācijas, kā arī konsultējoties ar ekspertu. Nodaļā izstrādāts arī aģentos sakņotu modeļu salīdzinājums no implementēto emociju nodošanas mehānismu skatpunkta, emociju nodošanas mehānismu attēlojums uz DAS mijiedarbības mehānismiem, kā arī noteikta ontoloģijā glabājamā informācija.

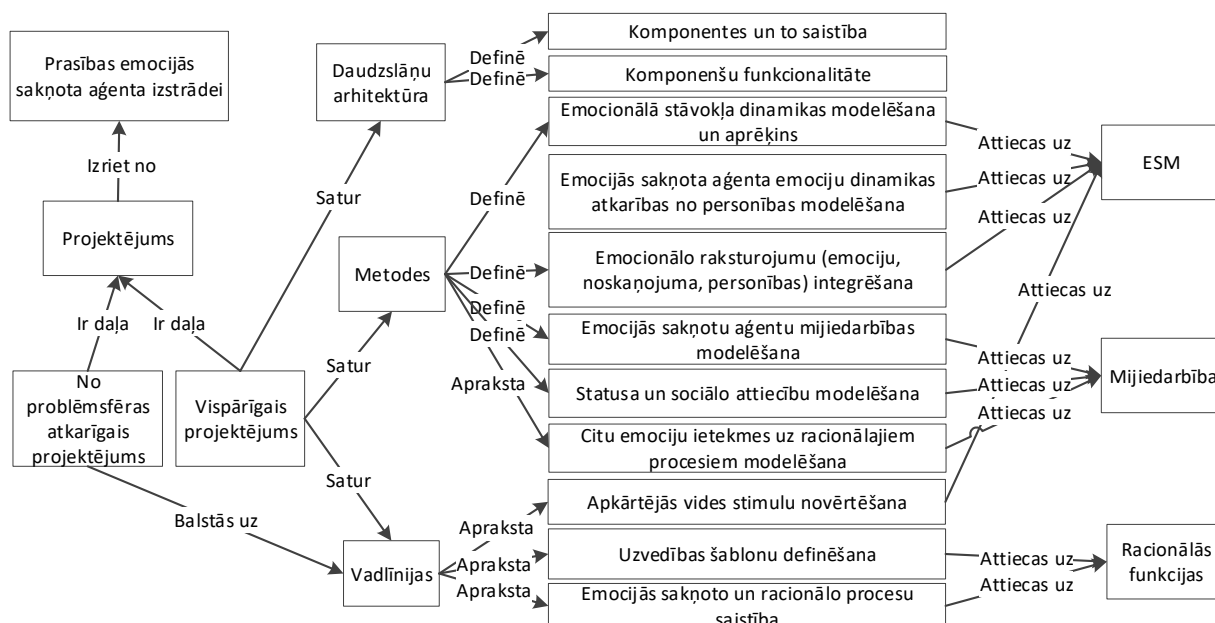
Nodaļas **secinājumi**

- Dažādi emociju mijiedarbības mehānismi tiek izmantoti gan pūļa, gan grupas modelēšanā; var secināt, ka nav sistēmu, kam būtu visi šie mehānismi, taču tie ir nepieciešami, lai pilnvērtīgi varētu modelēt cilvēku mijiedarbības.
- Lai ticami modelētu grupas mijiedarbības, modelim jārealizē pieci emociju mijiedarbības mehānismi: primārā 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.
- Lai pārbaudītu jeb validētu to, vai mijiedarbības strādā korekti, nepieciešams pārbaudīt, vai modelis spēj realizēt iepriekš minētos emocionālos makrošablonus, kā arī to, vai aģentos notiek racionālās izmaiņas. Lai šo mērķi sasniegtu, mehānismi lielākoties atrodas aģentu iekšienē, t. i., ziņojumu interpretācijā un DAS mikrolīmenī. Raugoties no otras puses, racionālo un emocionālo ietekmju virzība ir cikliska, tādēļ, lai iegūtu makrošablonus, mijiedarbībai jāpastāv no primitīviem elementiem, nevis jābūt implementētai kā DAS protokolam ilgākā laika posmā.
- Esošie mehānismi sintaktiski ir pietiekami, lai realizētu emociju nodošanu.
- Iepriekšējā nodaļā tika aprakstīts, ka arhitektūrai jāietver trīs slāņi. Pētījums, kas aprakstīts šajā nodaļā, ļauj definēt šādus secinājumus par emociju komunikācijas mehānismu uzbūvi dažādos slāņos: primārajā līmenī jābūt pieejamai primitīvajai izplatībai, ja ir runa par patiku vai nepatiku, vai arī gadījumā, ja aģenti atpazīst konkrētas emocijas bez stratēģijas, sekundārajam līmenim jārealizē tās daļas, kas saistītas ar stratēģijas aprēķinu, un primitīvā izplatība, ja ir runa par konkrētām emocijām un

aģentiem ir stratēģija; terciārajā līmenī ir jābūt pārliecībām par citu aģentu sociālo stāvokli un attiecībām, uz kuru pamata aģents realizē emociju komunikācijas mehānismus.

4. CILVĒKU GRUPAS EMOCIJU MODELĒŠANAS PIEEJA

Balstoties iepriekš gūtajos secinājumos, promocijas darbā izstrādāta pieeja, kas nodrošina ietvaru emocijās sakņota aģenta un emocijās sakņotas DAS izstrādei. Pieejas ietvaros izstrādātie artefakti – metodes, vadlīnijas, algoritmi – nodrošina iespēju projektēt un implementēt emocijās sakņotu aģentu divos līmeņos: vispārīgajā un specifiskajā. Pieejas komponentes redzamas 4.1. attēlā. Projektējums kopumā balstīts emocijās sakņota aģenta prasībās, kas savukārt izriet no literatūras analīzes.



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

4.1. Emocijās sakņota aģenta prasības, arhitektūra un algoritmi

Lai izstrādātu emocijās sakņotu aģentu, tam nepieciešams realizēt funkcijas, kas balstās 2. nodaļā definētajās emociju lomās. Ir secināts, ka aģentu mijiedarbību realizācija un pēc tam interpretācija arī ir tieši atkarīga no viena aģenta realizācijas, tādēļ uzmanība pievērsta arī viena aģenta projektējumam. Definētās prasības aptver gan lomu implementāciju, gan arī nepieciešamās mikrolīmeņa iezīmes emocijās sakņotu aģentu komunikācijai.

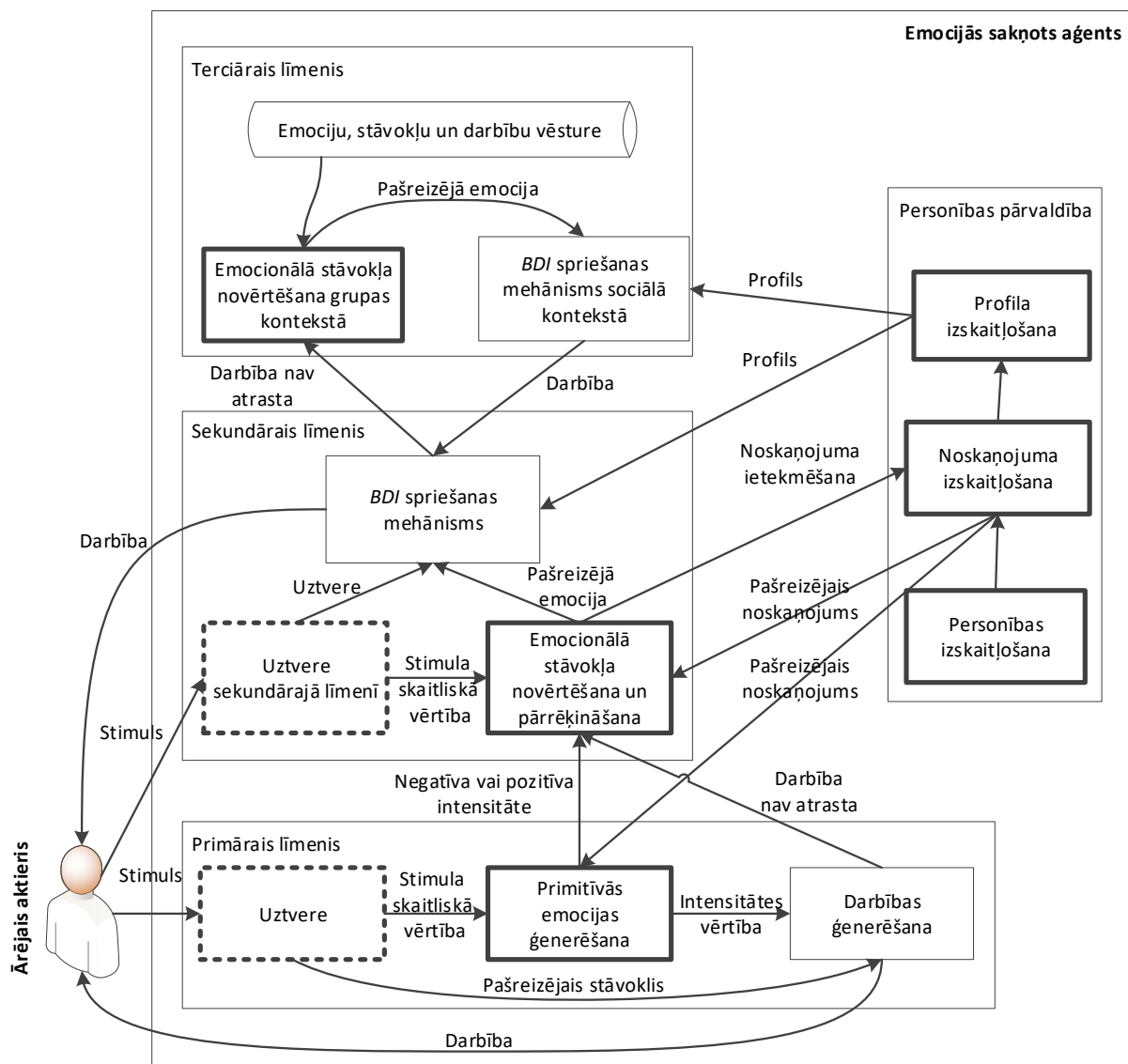
Balstoties minētajos apsvērumos, definētas prasības emocijās sakņota aģenta implementācijai. Prasības attiecas uz: (a) pašu aģenta arhitektūru; (b) arhitektūras komponentēm, kas nodrošina spriešanu; (c) ESM; (d) aģenta emocionālā stāvokļa integrēšanu spriešanā; (e) aģentu komunikāciju (kopsavilkums – 4.1. tab.). Jāatzīmē, ka definētās prasības aptver gan aģenta vispārīgā projektējuma līmeni, kurā prasību realizāciju veic autores izstrādātais metožu kopums, gan specifiskā projektējuma līmeni, kas atkarīgs no problēmsfēras. Atsevišķas prasības ir definētas vispārīgajā projektējuma līmenī, taču specifiskā projektējuma līmenī ir jāpapildina.

Prasības un to realizācija

Nr. p. k.	Prasība	Vispārīgā projektējuma līmenī realizē	Specifiskā projektējuma līmenī ir jāspecificē
1.	Daudzlīmeņu emociju apstrāde	Arhitektūras uzbūve un slāņu īpašības	–
2.	Primārajā slānī vienkārša uzvedība un emocijas	Primārā slāņa uzbūve	Kas ir patīkams, kas nepatīkams notikums
3.	Aģenta reaktivitāte	Arhitektūras uzbūve	Produkcijas likumi
4.	Pārslēgšanās starp slāņiem noteiktos gadījumos	Arhitektūras uzbūve	–
5.	Fiziska spēju ierobežošana	Arhitektūras uzbūve	Kādas vienības tiks ierobežotas
6.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz uzvedību	Vadlīnijas uzvedības šablonu definēšanai (dažādos PAD telpas apgabalos)	Problēmai specifiskas uzvedības katrā PAD noskaņojumā
7.	Aģenta uzvedības šablonu pieejamība	Vadlīnijas uzvedības šablonu definēšanai (dažādos arhitektūras līmeņos)	Problēmai specifiskas uzvedības katrā arhitektūras līmenī
8.	Emocionālā stāvokļa ietekme uz plānošanu	BDI arhitektūras ieviešana un vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	Plānošana (stratēģija)
9. a	Aģenta apmācības biežuma noteikšana	Vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	Apmācības biežums
9. b	Emocijas kalpo kā atalgojums vai sods	BDI arhitektūras ieviešana un vadlīnijas emocijās sakņoto un racionālo procesu saistībai	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	Norimšanas funkcija		–
12. c	Izpaušanas funkcija		–
13.	Apkārtējās vides stimulu novērtēšana	Vadlīnijas apkārtējās vides stimulu novērtēšanai	Novērtējuma funkcijas
14. a	Sprīšana par savu statusu	Metode statusa un sociālo attiecību modelēšanai	Statusa mērs un statusa izmaiņu funkcijas
14. b	Sprīšana par citu statusu	Metode statusa un sociālo attiecību modelēšanai	Statusa mērs un 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	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	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	–

Emocijās sakņota aģenta arhitektūra sastāv no trīs slāņiem (Pudāne et al., 2017), shematisks attēlojums redzams 4.2. attēlā: (a) primārais jeb reaktīvās uzvedības slānis, kas implementēts kā reaktīvā arhitektūra; (b) sekundārais slānis, kur aģents veic spriešanu un gūst ar to saistītās emocijas, implementēts kā *BDI* arhitektūra; (c) terciārais slānis, kur aģents veic spriešanu par sociālajiem uzskatiem un gūst attiecīgās emocijas; implementēts kā *BDI* arhitektūra. Papildus tam, atsevišķi izcelts personības un noskaņojuma bloks, jo personība ietekmē visus līmeņus.

Darbā iepriekš secināts, ka ESM funkcijas parasti ir izklaidētas starp dažādām arhitektūras komponentēm. Vispārīgā gadījumā emocijās sakņota aģenta stāvoklis jebkurā laika momentā ietver racionālo stāvokli \mathfrak{R} un emocionālo stāvokli \mathcal{E} . Šī iemesla dēļ arī aģentā ir izšķiramas tādas funkcijas, kas atgriež darbību (\mathfrak{R} tipa funkcijas), un tādas, kas atgriež emocionālo stāvokli (\mathcal{E} tipa funkcijas). 1. nodaļā secināts, ka emocijās sakņota aģenta gadījumā emocijas ir lēmumu pieņemšanas sastāvdaļa, ko aģents uzskata par racionālu komponenti, tādēļ aģenta emociju skaitļošanas funkcijas darbību neatgriež.



4.2. att. Emocijās sakņotā aģenta arhitektūra.

Rezultātā ir definēti visi algoritmi un funkcijas, kas nepieciešamas arhitektūras realizācijai. Daļa no funkcijām, kas saistītas ar emocijām, piemēram, emociju dinamikas definēšana, tipa noteikšana, nav triviālas un prasa atsevišķu projektējumu. Šīs funkcijas un to realizācija aprakstīta tālākajā metožu kopumā.

Uzvedību izvēlē aģentam jārealizē divu līmeņu uzvedības ierobežošana: pirmkārt, tās uzvedības, kas ir pieejamas dažādos arhitektūras līmeņos, otrkārt, tās uzvedības, kas ir pieejamas dažādos noskaņojumos (*PAD* telpā) – promocijas darbā tie saukti par profiliem. Darba autore nav atradusi psiholoģiskos pētījumus, kas tieši ļautu pateikt, kāda tipa darbības būtu izmantojamas dažādos oktantos, tāpēc patlaban tas paliek projektētāja ziņā no problēmsfēras atkarīgajā projektējumā. Piedāvātā arhitektūra faktiski ļauj veikt gan **plānošanu**, gan arī **mācīšanos un uzvedības izvēli**, izmantojot *BDI* komponentes, atkarībā no esošajiem uzskatiem un plāniem, tādēļ var teikt, ka šie procesi ir paredzēti jau arhitektūras līmenī.

4.2. ESM vispārīgs projektējums

ESM vispārīgais projektējums ietver:

- emociju dinamikas modelēšanas metodi, balstoties 2. nodaļā aprakstītajās funkcijās;
- personības ietekmes noteikšanas metodi, kur ietekmju raksturs un spēks balstīts psiholoģijas literatūrā;
- metodi 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);
- vadlīnijas apkārtējās vides stimulu novērtēšanai.

Emociju dinamikas modelēšana. Funkcijas ir tieši atkarīgas no personības, tāpēc katrai no aģentam piemītošajām emocijām nepieciešama sava parametru kopa, kas jādefinē četru funkciju kopai (4.1. formula); funkcijas no objektīvā kairinājuma emociju intensitātes I_{obj} ļauj aprēķināt no personības un esošās emociju dinamikas atkarīgo subjektīvo intensitāti I_{subj} .

$$\Omega = \begin{cases} act(I_{obj}) = \frac{g}{1 + e^{\frac{I_{obj0} - I_{obj}}{s}}} + I_{subj0} \\ dec(t) = e^{-\lambda t}, \\ expr(I_{subj}) = \frac{g}{1 + e^{\frac{I_{subj0} - I_{subj}}{s}}} + E_{subj0}, \\ susc(I_{subj}) = \begin{cases} 1, & \text{ja } (I_{subj} \geq tr) \\ 0, & \text{ja } (I_{subj} < tr) \end{cases} \end{cases} \quad (4.1.)$$

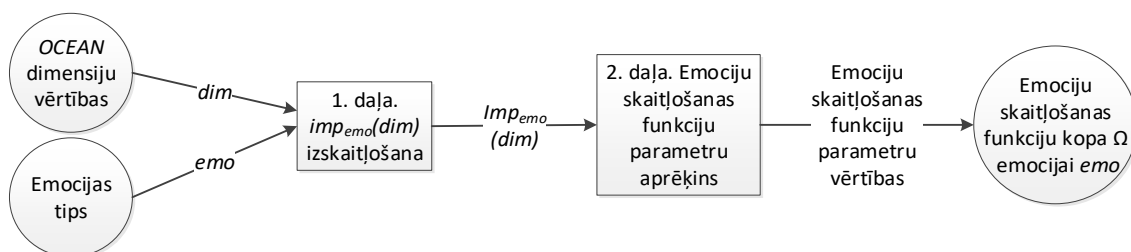
kur $act()$ – aktivizācijas funkcija, subjektīvās intensitātes I_{subj} atkarība no objektīvās intensitātes I_{obj} – jauna ienākoša kairinājuma gadījumā;

$dec()$ – norimšanas funkcija; aģenta emocionālās intensitātes I_{subj} norimšanas atkarība no laika t ;

$expr()$ – izpausmes funkcija; aģenta emociju izpausmas spēka E_{subj} atkarība no iekšējā emocionālā stāvokļa I_{subj} ;

$susc()$ – uzņēmības sliekšnis; modelē, vai aģents uzņems kairinājumu no citiem aģentiem atkarībā no I_{subj} .

Personības ietekmes noteikšana. Lai arī emociju dinamikas funkcijas un to vispārīgais raksturs visiem aģentiem ir vienāds, tomēr funkciju parametrus nepieciešamas atšķirības, lai būtu iespējams modelēt dažādas personības. Ar definētās metodes palīdzību izgūstams ne vien atsevišķu emociju, bet arī pozitīvā vai negatīvā emocionālā stāvokļa aprēķins (Pudāne u. c., 2017) – katrai no emocijām aģentam būs 4.1. formulā minēto funkciju kopa. Metodei ir divas daļas (4.3. att.): (1) noteikt konkrētās emocijas emo ietekmes imp atkarību no personības dimensiju vērtībām; (2) funkciju parametru aprēķins, kas faktiski nozīmē iegūtās $imp_{emo}(dim)$ sakarības izmantot 4.1. formulas funkciju parametru izrēķināšanai.



4.3. att. Personības ietekmes noteikšanas metodes soļi.

Trīs līmeņu emocionālā stāvokļa modelēšana. Viena no prasībām emocijās sakņotam aģentam ir vairāku emocionālo stāvokļu, t. i., personības, noskaņojuma un emociju, integrēšana. *PAD* telpā balstītā metode ļauj: (a) attēlot visas emocijas trīs dimensiju telpā, nemēģinot skaidri semantiski definēt stāvokļus starp divām emocijām; (b) modelēt dažādas emociju intensitātes un pārejas starp emocijām; (c) pēc tam bez papildu mehānismiem integrēt dažādu darbības profilu izvēli. Visu emocionālo stāvokli raksturojošo parametru ietekme (personības, noskaņojuma un emociju ietekme uz emocionālo stāvokli) ir aprakstāma, izmantojot vienu koordināti trīs dimensiju telpā katrā laika momentā E_{curr} .

Papildus tam, *PAD* telpā tiek definēts aģenta personības punkts C_0 un pašreizējais noskaņojums M_{curr} , kā arī statistiski visiem aģentiem: konkrētu emociju (piemēram, dusmu) maksimālās koordinātes E_{emomax} un visu *PAD* telpas oktantiem atbilstošo astoņu noskaņojumu maksimālās koordinātes attiecīgā oktanta tālākajā punktā, rēķinot no punkta $(0,0,0)$.

Apkārtējās vides stimulu novērtēšana. Lai arī šī nav promocijas darba pamattēma, tomēr novērtēšana ir būtiska komponente aģenta tālākajai darbībai. Novērtēšanu var realizēt dažādos veidos, un tās semantiskā nozīme var atšķirties, tomēr pēc būtības nepieciešams noteikt: (a) kāda veida emocija tiek izjusta (emociju tipa novērtēšana) – parasti veikta ar *OCC* modeļa palīdzību; (b) konkrētās emocijas intensitāti (ar darbības mēra palīdzību), kur 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, 2017a). Šie mēri tad tiek normalizēti skalā no 0 līdz 1 un kļūst par I_{obj} .

4.3. Emociju nodošana starp aģentiem

Emociju izplatībai starp aģentiem 3. nodaļā ir definēti pieci dažādi mehānismi. Lai šos mehānismus būtu iespējams ieviest DAS, nepieciešama to formalizācija, kas publicēta (Pudāne, 2017a). Mehānisma veidu lielā mērā izšķir vai nu sūtīšanas veids, vai arī tā interpretācija, tāpēc ir nepieciešams tos modelēt arī mikrolīmenī. Šeit izmantots princips, kura nepieciešamība secināta 3. nodaļas rezultātā: tiek meklētas primitīvu kombinācijas, kas šos mehānismus realizē. Saskaņā ar autores zināšanām, emociju izplatība kā uzbudinājuma vai patikas izplatība praktiski nav pētīta, tāpēc ziņojumu nodošanai izmanto emociju saimes – piemēram, Ekmana noteiktos emociju tipus.

Ziņojuma interpretācija ir saņēmēja ziņā. Tādēļ šeit var izšķirt mehānismus, kas emocijas ierosina netīši jeb automātiski, un tādus, kur emocija tiek izraisīta, izmantojot stratēģijas vai sociālo analīzi. 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. Līdz ar to aģenta emocionālā stāvokļa izmaiņas, balstoties citu aģentu emocionālajos stāvokļos, var aprakstīt ar 4.2. formulu.

$$I_{\text{subj}} = \mathfrak{R} \times \mathcal{E} \times Soc \times Sta, \text{ kur } Soc, Sta \subset SocB, \quad (4.2.)$$

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

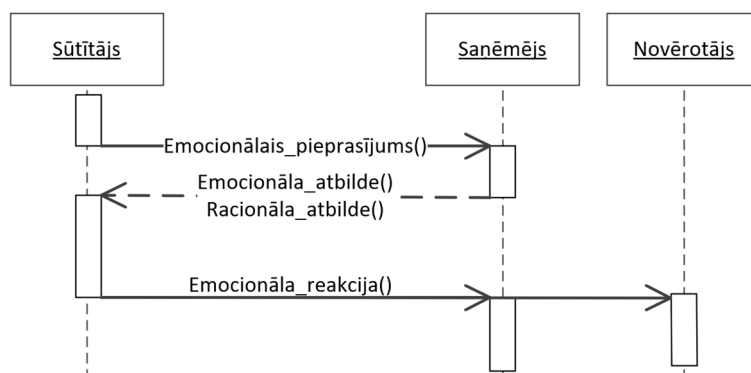
Saņēmēja gadījumā ir svarīgi aģentā iebūvēt ziņojuma interpretāciju, savukārt sūtītāja gadījumā – emocijas tipa izvēli. **Saņēmējam** ir četras iespējas, kā integrēt ziņojumu savā spriešanas mehānismā: (1) emociju pārrēķināšana, izmantojot iepriekš aprakstīto funkciju kopu Ω ; (2) emociju iekļaušana savā emocionālajā stāvoklī, ņemot vērā sūtītāja statusu un sociālās attiecības; (3) racionāla reakcija; (4) sociālo uzskatu atjaunināšana. Pēc tam saņēmējs šo emociju izpauž kā subjektīvo emocionālo intensitāti E_{subj} , kļūstot par **sūtītāju**. Ziņojumu nododot, E_{subj} kļūst par objektīvo kairinājuma vērtību I_{obj} ziņojuma saturā.

Tiešā izpaušana un manipulācija ir mehānismi, kas aģentam pieejami sekundārajā un terciārajā līmenī. Šie mehānismi rodas stratēģijas iedarbināšanas rezultātā un var būt saistīti vai nu ar aģenta racionālo stratēģiju, vai arī sociālo stratēģiju.

Implementējot aģenta ziņojumu sūtīšanu vispārīgā gadījumā, tam būs trīs veidu ziņojumi: (1) ziņojuma tips, ko tas izmanto **pirmo trīs mehānisma iedarbināšanai**, kura saturs var tikt aprakstīts ar predikātu **Emocionāla_reakcija (emocijas stiprums, emocijas tips)**; (2) ziņojuma tips, ko tas izmanto **tiešās izpaušanas iedarbināšanai**; (3) ziņojuma tips, kas iekļauj piemērotas emocijas izvēli **manipulācijas iedarbināšanai**. Šie trīs veidi ļauj implementēt emocijās sakņotas komunikācijas. Pirmā ziņojuma tipa gadījumā aģents negaida atbildi, savukārt pārējos divos gadījumos – tiešās izpaušanas un manipulācijas iedarbināšanai – protokols ietver četru veidu ziņojumus: (a) **Emocionāls_pieprasījums (emocija, tips, pieprasītā_darbība)**, kas var būt gan manipulēts, gan tiešs emocionāls lūgums aģentam kaut ko izdarīt; (b) **Emocionāla_atbilde (emocija, tips)**, kas ir aģenta emocionālā atbilde uz aģenta pieprasījumu ar mērķi saregulēt attiecības; (c) **Racionāla_atbilde ()**, kas ir aģenta racionālā atbilde; (d) **Emocionāla_reakcija ()**, kas ir tāds pats ziņojums, kā primārās, sekundārās

izplatības un emociju šablonu gadījumā, t. i., aprakstāms ar predikātu **Emocionāla_reakcija (emocijas stiprums, emocijas tips)**.

Protokolā papildus 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 (4.4. att.).



4.4. att. Mijiedarbības starp aģentiem emociju tiešās nodošanas un manipulācijas gadījumā.

Statuss un sociālās attiecības ietekmē emociju izplatību grupā, tomēr nav pētījumu, kas ļautu precīzi un skaitliski definēt to ietekmi, tādēļ izvēlēta ranžēšanas pieeja. Saskaņā ar van Klīfu, mehānismi, kas palīdz realizēt makrošablonus, atrodas emocijas saņēmējā.

Modelējot DAS tās makrolīmenī, statusu s un attiecības r modelē kā grafa loku svarus, kur statusa un attiecību vērtības nav abpusējas. Mikrolīmenī statuss un sociālās attiecības ir skatāmi kā palīgfactori, kas ļauj pastiprināt, pavājināt vai arī pilnībā mainīt emocionālo uzvedību; r un s ietekme tiek modelēta kā koeficienti q_r un q_s . Par sociālo faktoru ietekmi kopumā ir maz pētījumu, un autore nav atradusi pētījumus, kas ļautu šo ietekmi kvantificēt. Darbā izmantoti vispārēji likumi, balstoties tajos, promocijas darbā modelēta šī ietekme.

Sociālajām pārlicībām par katru aģentu, ieskaitot sevi, obligāti jāietver informācija par aģenta statusu, kā arī par attiecībām ar katru no aģentiem. Sociālās pārlicības ir dinamiskas. **Sociālā statusa** modelēšanai aģentiem nepieciešams piešķirt mēru. Arī sociālā statusa izmaiņas un elastība būs atkarīga no konkrētā mēra. Literatūrā nav kvantificējama veida sociālā statusa definīcijai, tāpēc sociālā statusa izmaiņas funkcijas atkarība no kritērija k_s ir jādefinē no problēmsfēras atkarīgajā projektējumā, balstoties šādā principā: 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 modelēšanu** var veidot dažādos veidos. 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 modelēšana ir nosakāma no problēmsfēras atkarīgajā projektējumā un ir atkarīga no kritērija k_r .

Gan statusa, gan sociālo attiecību projektēšanā ir nepieciešamība pēc izmaiņu elastības mēra; koeficients ρ nosaka, cik viegli ir maināma esošā struktūra.

Attiecīgi sociālo attiecību un sociālā statusa atjaunināšanu apraksta 4.2. un 4.3. formula.

$$r_{\text{jaunais}} \leftarrow r_{\text{vecais}} + \rho_r \times \text{attiecību_izmaiņa}(k_r), \quad (4.2.)$$

$$s_{\text{jaunais}} \leftarrow s_{\text{vecais}} + \rho_s \times \text{statusa_izmaiņa}(k_s), \quad (4.3.)$$

kur r_{jaunais} , s_{jaunais} – attiecību r un statusa s jaunā vērtība;

r_{vecais} , s_{vecais} – attiecību r un statusa s vecā vērtība;

ρ_r , ρ_s – izmaiņas elastības koeficients, kas nosaka, cik stabilas ir esošās vērtības;

no kritērija k atkarīga attiecību vai statusa izmaiņas funkcija.

4.4. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir pieeja cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanai. Izstrādātais vispārīgais projektējums ietver aģenta vispārējo arhitektūru, aģenta emocionālā skaitļošanas modeļa 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. Nodaļas **rezultāti** grafiski attēloti 4.1. attēlā.

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. Autore secinājusi arī to, 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:

- vairākās vietās projektējumā izmantota ranžēšanas pieeja, tāpēc ir jāuzmanās, interpretējot imitācijas modeļa rezultātus, t. i., nedrīkst izmantot no modeļiem iegūtās absolūtās vērtības, tā vietā jāizmanto salīdzinošā un analītiskā pieeja;
- reālā lietojumā modelis ir jākalibrē, lai to izdarītu, ir nepieciešami papildu pētījumi psiholoģijā un socioloģijā, kas ir stabils pamats tālākiem starpdisciplināriem pētījumu projektiem.

Promocijas darba nākamajā un pēdējā nodaļā ir demonstrēts, kā izmantojami šīs nodaļas rezultāti, galvenokārt fokusējoties uz to, kādā veidā ir iespējams modelēt grupas emocionālā stāvokļa izmaiņas, kā arī uz tiem parametriem, kas ir nepieciešami šāda modeļa izveidei.

5. RISINĀJUMA IMPLEMENTĀCIJA UN PĀRBAUDE

Balstoties izstrādātajā pieejā, ir izstrādāti trīs lietojumi: (1) ESM demonstrācija viena aģenta gadījumā; (2) pūļa modelēšana; (3) galda spēles scenārija modelēšana DAS. Lai pārbaudītu sistēmas darbību, ir izveidota eksperimentu kopa, kas: (1) pārbauda viena aģenta darbību; (2) pārbauda visa modeļa darbību kopumā saistībā ar 3. nodaļā formulētajiem makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām.

5.1. Promocijas darba pieejas validācija un eksperimentu plāns

Promocijas darbā veidotie lietojumi balstās iepriekšējā nodaļā definētajās prasībās, apzināti dažu prasību implementācijai ir pievērsta lielāka uzmanība nekā citu prasību realizācijai, jo promocijas darba mērķis ir saistīts ar emociju izplatību cilvēku grupā kopumā, ko tieši ietekmē ne visas pilnībā emocijās sakņotā aģenta komponentes un funkcijas. Analīzes rezultātā konstatēts, ka emociju izplatību ietekmē šādas prasības: **daudzlīmeņu emociju apstrāde, pārslēgšanās starp slāņiem noteiktos gadījumos; aģentam jābūt vairāku līmeņu emocionālajam stāvoklim; komunikācijas mehānisma pielāgošana aģenta iekšējam stāvoklim; emociju uzņemšana; aģenta reaktivitāte.** Daļa prasību, kas ir nepieciešamas emocijās sakņota aģenta realizācijai, tiešā veidā neveicina makrošablonu rašanos, vai arī to ietekme uz makrošabloniem ir specifiska, un trūkst literatūras, kurā balstīt modeli – šis ir ārpus promocijas darba pētījuma robežām. Šīs prasības ir: **primārajā slānī vienkārša uzvedība un emocijas; emocionālā stāvokļa ietekme uz plānošanu; aģenta apmācības biežuma noteikšana; emocijas kalpo kā atalgojums vai sods.**

Sākotnēji viena aģenta darbības validācijai izveidots vienkāršs aģents, kas mijiedarbojas tikai ar lietotāja saskarni, bet ne citiem aģentiem. Tā mērķis ir demonstrēt, kā darbojas iepriekšējā nodaļā aprakstītā emociju dinamika, un parādīt, ka izstrādātā programmatūra darbojas saskaņā ar šo modeli. Šis lietojums izstrādāts tādēļ, ka promocijas darba imitācijas modelim ir daudz elementu un, izveidojot vienkārši grupas imitācijas modeli, nav saprotama un testējama mikrolīmeņa darbība.

Abu pārējo lietojumu mērķis ir demonstrēt emocijās sakņotas DAS darbību. Divu visai atšķirīgu lietojumu – pūļa modelēšanas un galda spēles scenārija modelēšanas – implementācija demonstrē, ka promocijas darba gaitā izstrādātā pieeja ir vispārīga un izmantojama DAS implementācijai ar dažādu emocionālo kapacitāti. Ņemot vērā promocijas darba specifiku, funkcijas, kas nav saistītas ar makrošablonu implementēšanu, ir implementētas vienkāršoti gan no emocijās sakņota aģenta viedokļa, gan problēmsfēras viedokļa.

Promocijas darbā tiek pieņemts, ka, lai pierādītu to, ka imitācijas modelis strādā korekti, pietiek pārbaudīt, vai modelis strādā atbilstoši literatūrā identificētajiem makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām. Modeļa precīza validācija un kalibrēšana, izmantojot reālus datus, ir iespējama vien ciešā sadarbībā ar psihologiem, un tas paliek ārpus promocijas darba robežām. 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 makrošabloniem.

Daļa eksperimentu ir veikta, izmantojot pūļa modelēšanas scenāriju, savukārt daļa – galda spēles scenāriju. Šī atšķirība ir tādēļ, ka pūļa lietojuma gadījumā pūli kā cilvēku grupu raksturo tā vājā strukturētība un kognitīvo parametru trūkums, t. i., tajā iesaistītie cilvēki cits citu nepazīst vai pazīst slikti. Šāda problēmsfēra neatļauj aģentam piemērot visas promocijas darbā noteiktās prasības aģentu vienkāršības dēļ. Tomēr šī problēmsfēra ļauj demonstrēt cilvēku grupas emocionālā stāvokļa izmaiņu imitācijas atbilstību makrošabloniem. Tajā pašā laikā galda spēles gadījumā modelī ir daudz parametru, kas apgrūtina atsevišķu makrošablonu raksturojumu validāciju. Ir veikti trīs veidu eksperimenti, kas aprakstīti tālāk tekstā, to apkopojums dots 5.1. tabulā.

1. Aģenti mijiedarbojas, izmantojot primitīvo izplatību. Šī pieeja atbilst Boses darbam. Taču ar šādu pieeju nav iespējams iegūt diverģenci vai racionālās sekas. 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, izmantojot galda spēles scenāriju.
3. Noslēgumā tiek pievienota emociju tiešā nodošana un manipulācija, kas ietekmē statusa izmaiņas un sociālo attiecību izmaiņas (t. i., veicina racionālās ietekmes). Eksperiments veikts, izmantojot galda spēles scenāriju.

5.1. tabula

Eksperimentu kopsavilkums

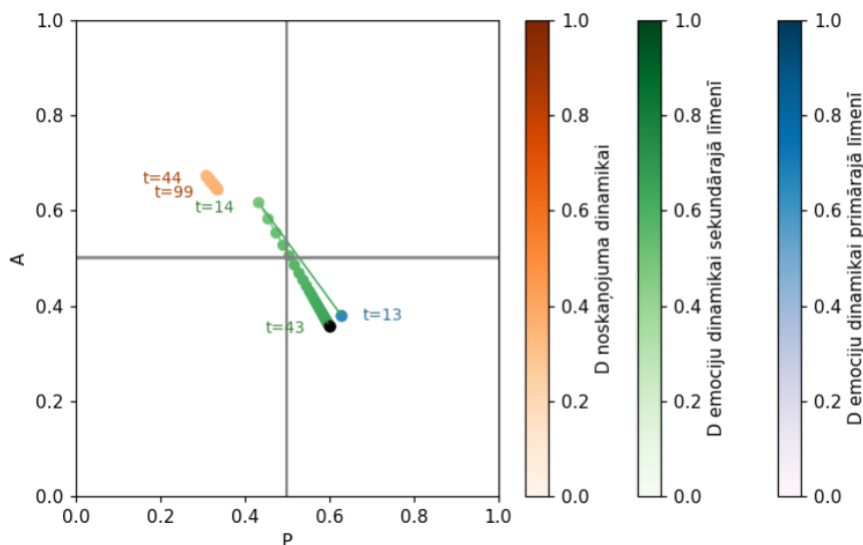
Makrošablonu raksturojumi un racionālās sekas	Pārbaudīts eksp. nr.	To specifiski ietekmē šādi mehānismi/komponentes	Kopsavilkumā demonstrēti
Emocijas rodas, arī vienkārši novērojot mijiedarbības	1.	Primitīvā izplatība	5.5. nodaļas tekstā
Ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst	1.	Primitīvā izplatība	5.2. (a) attēlā
Jo spēcīgāka emociju izpausmes un uzņēmības funkcija, jo straujāk emocijas sasniegs griestus	1.	Aģenta mikrolīmenis, primitīvā izplatība	5.2. (b) attēlā
Jo sociāli nozīmīgāks paudējs, jo lielāka ietekme viņa emociju izpausmēm	2.	Sekundārā izplatība, emociju šabloni	5.2. (c) attēlā
Jo tuvākas attiecības, jo straujāka konverģence un relatīvi augstāka sasniedzamā emociju intensitāte	2.	Sekundārā izplatība	5.2. (c) attēlā
Sāncensības attiecības starp dalībniekiem veicina diverģences rašanos	2.	Emociju šabloni, sekundārā izplatība	5.2. (d) attēlā
Ja modelī nav citu parametru, dalībnieki sasniedz pretējās emociju intensitātes un nerimst	2.	Emociju šabloni, sekundārā izplatība	5.5. nodaļas tekstā
Citu emocijas maina grupas dalībnieku racionālo uzvedību	3.	Tiešā nodošana vai manipulācija, aģenta mikrolīmenis	5.2. (e) un (f)
Citu emocijas maina grupas dalībnieku uzskatus par statusu un sociālajām attiecībām	3.	Tiešā nodošana vai manipulācija, aģenta mikrolīmenis	5.5. nodaļas tekstā

5.2. Demonstrācijas aģents

Demonstrācijas aģenta mērķis ir demonstrēt tās aģenta ESM funkcijas, kas neatšķiras atkarībā no lietojuma jomas:

- pamata stāvokļa transformāciju uz *PAD* telpu;
- emocionālā stāvokļa izmaiņas pie negatīva un pozitīva kairinājuma abstraktā gadījumā;
- emocionālā stāvokļa izmaiņas pie emocijām sekundārajā un terciārajā līmenī;
- visu līmeņu integrāciju – personības, noskaņojuma, emociju;
- emociju atkarību no sociālā statusa un attiecībām vispārīgā gadījumā terciārajā līmenī.

Lai ilustrētu, kā darbojas šis aģents, 5.1. attēlā parādīts emocionālā stāvokļa aprēķins, kas iegūts no demonstrācijas aģenta, izmantojot abstraktus kairinājumus.



5.1. att. Dažādu līmeņu emocionālā stāvokļa integrācija, ar $t = [\textit{numurs}]$ apzīmēts laika spiedogs (sekunde) attiecīgajam emocionālajam stāvoklim. Trešā *PAD* telpas dimensija, *D*, attēlota ar krāsas intensitāti (jo lielāka vērtība, jo tumšāka krāsa), izņemot pamata personības punktu, kas ir melns. Ar oranžu krāsu vizualizēta noskaņojuma dinamika, ar zilu un zaļu – attiecīgi primārā un sekundārā līmeņa emocionālā stāvokļa dinamika². Attēlā parādīta 13. līdz

99. sekunde, sākuma stāvoklis $t = 13$, laika momentā $t = 14$ pienāk jauns kairinājums <dusmas, 0,5>. Emocionālais stāvoklis norimst līdz laika momentam $t = 43$, un $t = 44$ sākas noskaņojuma norimšana. Aģenta darbība pārtraukta laika momentā $t = 99$.

Demonstrācijas aģents parāda, 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;

² Ir svarīgi, ka līmeņu krāsas atšķiras tikai vizualizācijas nolūkos, aģents darbības laikā neizšķir krāsas starp šiem dažādajiem līmeņiem un darbojas ar pašreizējo emocionālo stāvokli, kas izteikts *PAD* telpā.

- noskaņojuma dinamika darbojas atbilstoši vispārīgajam projektējumam;
- mikrolīmenī statusa un attiecību ietekme uz emocionālo stāvokli darbojas atbilstoši projektējumam.

5.3. Pūļa modelēšanas scenārijs

Pūļa modelēšanas 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, piemēram, dalībnieku personība un mijiedarbību biežums. Tajā pašā laikā lietojumā ir iespēja definēt dažādas struktūras, kas padara to izmantojamu dažādu struktūru pētīšanai makrolīmenī.

Detalizētā projektējuma līmenī ir šādi papildinājumi vispārīgajā projektējuma līmenī izmantotajām metodēm:

- specifificēti uzvedības likumi – likumi, kas liek aģentiem paust emocijas;
- caur saskarni definēti patīkami vai nepatīkami notikumi;
- novērtējuma funkciju specifificēšana šajā gadījumā arī īstenota vienkārši, izmantojot saskarni, lietotājam norādot objektīvo kairinājumu.

Pūļa modelēšanas lietojumam ir divas daļas – dažādu pūļa struktūru ģenerēšana un emociju izplatības modelēšana. Pūļa struktūra modelēta, balstoties grafā, kur loka esamība norāda, ka starp aģentiem ir saistība. Tālākā emociju izplatības modelēšana notiek, balstoties kādā no grafu struktūrām, kas no datnes ielādējamas rīkā. Lietotāja ērtībām izveidota dinamiska izplatības vizualizācija. Balstoties grafa struktūrā, tiek ģenerēta *DAS*.

Rīkā ir iespējams modelēt piecas pamatemocijas un šo piecu pamatemociju vidējās intensitātes izmaiņas. Emociju kvalitatīvo atšķirību dēļ, kā arī psiholoģijā esošo pētījumu daudzuma dēļ, atsevišķi pētīta viena emocija – dusmas. Par šo tēmu, izmantojot šo rīku un imitācijas modeli, ir izdotas arī trīs publikācijas, kas 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).

2018. gada publikācijā (Pudāne et al., 2018) dusmu izplatības analīze veikta no diviem skatpunktiem – neirotizma ietekmes uz maksimālo vidējo dusmu līmeni un mijiedarbības biežuma ietekmes uz maksimālo sasniedzamo dusmu līmeni. Pētījuma rezultātā var secināt, ka dusmu intensitāte strauji aug, ja neirotizms grupā ir virs vidējās populācijas vērtības. Veicot šos eksperimentus, tika novērots, ka parasti viens un tas pats aģents palika pēdējais ar emocionālo intensitāti, kas lielāka par 0. Šis novērojums lika secināt, ka dusmu izplatība ir atkarīga no aģentu komunikācijas struktūras, tādēļ tālākie pētījumi tika saistīti ar pūļa struktūru.

Pētījumā (Pudāne et al., 2020) demonstrēta rīka izmantojamība emociju izplatības pētīšanai dažādās struktūrās, izdarot secinājumus par vidējās maksimālās emociju intensitātes sasniegšanu atkarībā no grafu parametriem. Saistībā ar promocijas darbu šī lietotne tieši demonstrē to, ka primitīvās izplatības mehānismi darbojas tiem paredzētajā veidā gan atkarībā no personības, gan atkarībā no emociju veida.

5.4. Galda spēles scenārijs

Galda spēles scenārijam implementēta galda spēle *UNO*, lai demonstrētu tās emocijās sakņotu aģentu grupas uzvedības, ko nav iespējams nodemonstrēt pūļa modelēšanas scenārijā. Būtiski ir tas, ka promocijas darba rezultātu iegūšanai ir implementēta tikai daļa no galda spēles imitācijai pilnībā nepieciešamajām funkcijām. Galda spēles scenārijs ir implementēts, balstoties iepriekšējā nodaļā aprakstītajā vispārīgā projektējumā. No emocijām neatkarīgās darbības ir gājiena izdarīšana, kas ir svarīga spēles norisei. Detalizētā projektējuma līmenī ir šādi papildinājumi vispārīgajā projektējuma līmenī izmantotajām metodēm:

- uzvedību specificēšana *PAD* un arhitektūras līmeņos, kas balstīta vispārīgās vadlīnijās konkrētu pētījumu trūkuma dēļ;
- vienkāršota plānošana un mācīšanās, kur mācīšanās notiek, izmantojot uzskatu atjaunināšanu. Uzskati ir kodēti formā <Tips, Objekts>. Aģenta nodomu kopa tiek ģenerēta, balstoties uzskatu kopā un noskaņojumā. Katrs nodoms, līdzīgi kā uzskats, ir kodēts formā <Tips, Objekts>. 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;
- emociju novērtēšana balstīta *OCC* modelī, un katrai emocijai ir savs stipruma aprēķins. Promocijas darba rezultātu demonstrēšanai izmantota baiļu aprēķināšana. Baiļu stiprums tiek aprēķināts kā proporcija starp: (a) tām kārtīm, kas vēl nav izspēlētas un uz kurām aģents nevarētu uzlikt kārti; (b) tām kārtīm, kas vēl nav izspēlētas;
- statuss mainās, balstoties emociju nodošanā. Brīdī, kad aģents pastiprināti izrāda emocijas, t. i., tieši izrāda vai manipulē, tā statuss ziņas saņēmēja sociālajos uzskatos samazinās par 0,1, līdz sasniedz 0;
- sociālo saišu atjaunināšana ir atkarīga no aģenta darbībām un tā, vai tas palīdz, vai nepalīdz citam aģentam;
- apzinātā emociju paušana, uztveršana un komunikācija notiek brīdī, kad aģents ir saņēmis ziņojumu, ka viņam būs nākamais gājienš, tad tas var mēģināt ietekmēt iepriekšējā aģenta gājieni, paužot dusmas vai skumjas, atkarībā no D dimensijas emocionālajā telpā.

5.5. Validācija pēc makrošablonu raksturojumiem un racionālajām sekām

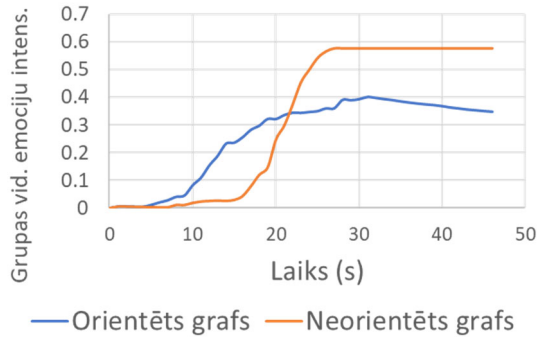
Lai demonstrētu promocijas darba rezultātu validāciju, eksperimentu kopsavilkums apkopots 5.1. tabulā. Šajā tabulā ir: (1) makrošablonu raksturojumi un racionālās sekas, pēc kuriem darba rezultāti validēti; (2) norādīts, ar kura eksperimenta palīdzību tas realizēts, specifiskās komponentes, kas tos ietekmē; (3) izsekojamības labad norādīts arī tas, kurā attēlā demonstrēts konkrētā makrošablona raksturojuma vai racionālo seku pierādījums.

Visās lietotnēs **emocijas rodas, arī novērojot citus aģentus**, pat ja emocijas tieši nav vērstas uz konkrēto aģentu, aģents tās vienalga redz un maina savu emocionālo stāvokli,

balstoties cita aģenta izpausmes funkcijā. 5.2. (a) 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. Emociju intensitātes griestu sasniegšana, izmantojot atkarību no personības, demonstrēta 5.2. (b) attēlā – augot N , mainās grafika stāvums un maksimālā sasniedzamā emociju vērtība. Šī makrošablona raksturojuma darbība sīkāk aprakstīta publikācijās (Pudāne et al., 2017, Pudāne et al., 2018).

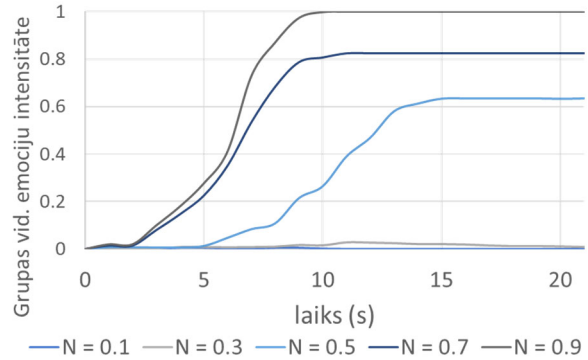
2. eksperimenta rezultātā iegūtās makrošablonu raksturojumu validācijas ir redzamas (c) un (d) attēlā un ir aprakstītas publikācijā (Pudāne, 2017). 5.2. (c) attēlā parādīts, kā iegūto emociju intensitāte mainās atkarībā no statusa un attiecību vērtībām. Šajā gadījumā dažādu aģentu uztvere par aģenta *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, mainoties statusam, pieaug arī konkrētā aģenta maksimāli sasniegtā emociju intensitāte. Līdzīgā veidā notiek arī emociju izmaiņas atkarībā no pozitīvām jeb sadarbības attiecībām. 5.2. (d) attēlā redzamas divas aģentu grupas, kurām savstarpēji ir negatīvas emocionālas attiecības. Pirmajā grupā aģenti *Ana*, *Gita* un *Maria*, savukārt otrajā – aģenti *Greg*, *Robert* un *Alex*. Emocijas saņem tikai aģents *Ana*. 5.2. (d). 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 modeli ir paredzēti sliekšņi emociju uzņemšanai u. c. parametri, tāpēc tās tomēr pakāpeniski norimst. **Emocijas nenorimtu, ja nebūtu citu parametru.**

Visbeidzot, racionālās sekas demonstrētas 5.2. (e) un (f) attēlā un aprakstītas publikācijā (Pudāne, 2023). Eksperimentā ir pārbaudīts, kā mainās aģenta *Ana* uzvedība, ja aģentam *Ana* ir atslēgta ārējo stimulu uzņemšana, taču tās “ieslēgtas” citiem aģentiem. 5.2. (e) attēlā var redzēt, kā mainās aģenta *Ana* emocionālais stāvoklis, lai arī aģents *Ana* konkrēti nekādas emociju ievades nesaņem. Saskaņā ar šo spēles gaitu, 5.2. (f) attēlā redzams, ka sākotnēji aģents *Ana* veiks tās uzvedības, kas raksturīgas personības oktantam, t. i., 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!*””. Dalībnieki maina grupas dalībnieku uzskatus **par statusu un sociālajām attiecībām**, balstoties faktā, vai viņi lūdz viens otram palīdzību un vai izvēlas palīdzēt (Pudāne, 2023).



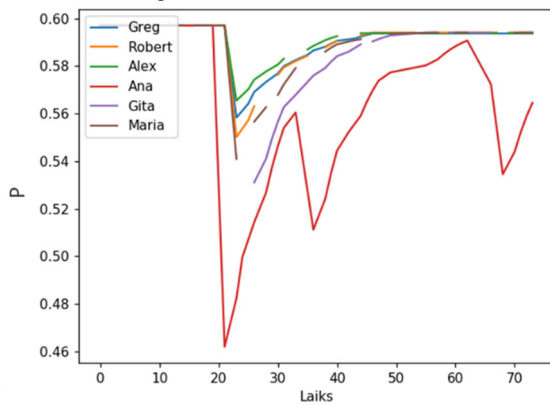
(a)

Ja grafs nav orientēts un ja modelī nav citu parametru, emociju intensitāte sasniedz griestus un nerimst.



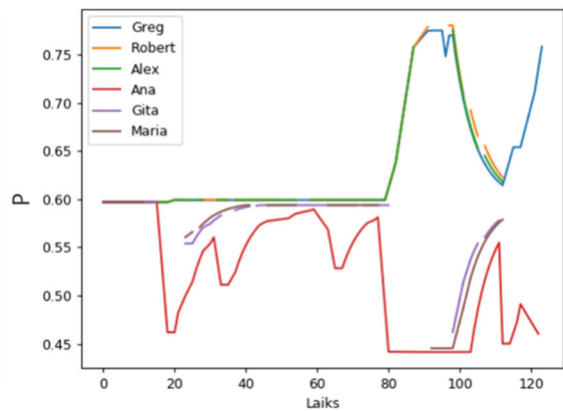
(b)

Emociju dinamika grupā pie mainīga N .



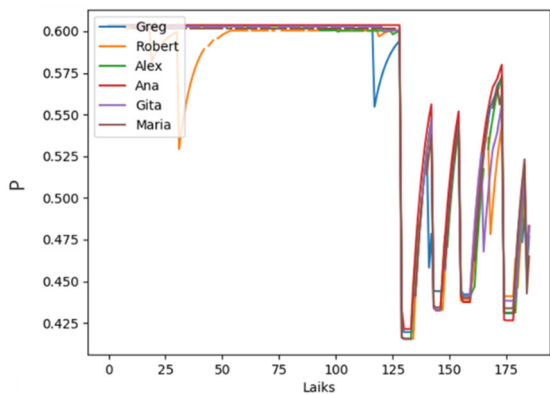
(c)

Dažādu aģentu emociju dinamikas atkarībā no aģenta glabātā statusa – dažādiem aģentiem ir atšķirīgi uzskati par aģentu *Ana* statusu.



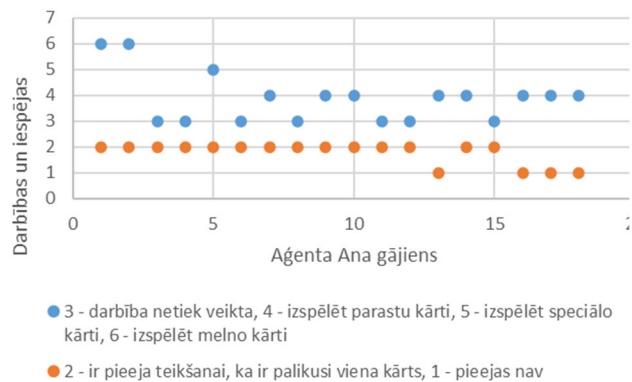
(d)

Dažādu aģentu emociju dinamikas atkarībā no aģenta glabātās attiecību vērtības – dažādiem aģentiem ir atšķirīgi uzskati par attiecībām ar aģentu *Ana*.



(e)

Dažādu aģentu emociju dinamikas. Aģenta *Ana* emocijas mainās līdzi ar citiem.



(f)

Aģentu darbības izmaiņas un pieeja darbībai “Teikt “*UNO!*””.

5.2. att. Dažādu makrošablonu raksturojumu validācija.

5.6. Modeļa ierobežojumi un tālākie pētījumu virzieni

Lai arī promocijas darba autore esošo modeli un projektējumu ir veidojusi maksimāli 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 reālā scenārijā. Kaut arī tas nav izdarīts objektīvu iemeslu, t. i., augstās starpdisciplināritātes un sarežģītības citās jomās (psiholoģijā, socioloģijā) dēļ, tomēr, lai modelis būtu pilnībā izmantojams, to ir nepieciešams izdarīt tālākajos pētījumos. Modelis tā pašreizējā versijā 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.

Arī esošie scenāriji, piemēram, izstrādātā galda spēle, paver iespējas dažādu citu starpdisciplināru aspektu pētīšanai:

- vienpusēja statusa un sociālo attiecību ietekmei uz emocionālo stāvokli;
- *PAD* modelī balstītai emociju izplatībai;
- emociju izpausmju ietekmei uz spriešanas procesiem par citu emocijām;
- atšķirīgu emocionālā intelekta līmeņu imitācijai.

5.7. Kopsavilkums un secinājumi

Nodaļas **galvenais rezultāts** ir promocijas darba gaitā 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:

- lietojums, kas demonstrē emocijās sakņota aģenta darbību **viena aģenta gadījumā**;
- **rīks**, kas ļauj modelēt **pūļa uzvedību** ar dažādiem aģentu parametriem un dažādās pūļa struktūrās;
- **lietojums, 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 izmantojams dažādas emocionālās kapacitātes aģentu modelēšanai, ko skaidri demonstrē trīs izstrādātie lietojumi;
- lai demonstrētu dažādus makrošablonus, ir izmantoti dažādas emocionālās kapacitātes aģenti, izmantojot vienādas kapacitātes aģentus 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.

SECINĀJUMI

Promocijas darba galvenie **rezultāti**

- Aģentos sakņotu modelēšanas un imitācijas lietojumu klasifikācija, raugoties no DAS 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 cilvēka emociju lomās.
- Emocijās sakņotu aģentu mijiedarbības mehānismu kopsavilkums un salīdzinājums, balstoties īstenoto mijiedarbības protokolu bagātīgumā, kā arī mehānismu klasifikācija no formalizācijas viedokļa.
- Izstrādāta pieeja cilvēku grupas emocionālā stāvokļa modelēšanai, kas ietver vispārīgo projektējumu un specifiskajā projektējumā detalizējamo funkciju kopas. Vispārīgais projektējums 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; iegūtie rezultāti ļauj parādīt to, kā projektējums izmantojams dažādu emocionālo aģentu izveidei.
- Ar lietojumu palīdzību demonstrēts, kā modeļos tiek sasniegti literatūrā identificētie makrošabloni un to raksturojumi, 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.
- Izstrādāta jauna cilvēku grupas modelēšanas pieeja, kas ļauj ticami modelēt visus psiholoģijas pētījumos identificētos ar emocijām saistītos mijiedarbības mehānismus. Šī modelēšanas pieeja ir aprakstīta projektējuma veidā, kas var tikt izmantota dažādu modeļu izveidē.
- Izstrādātajām sistēmām ir vairāki lietojumi:
 - demonstrācijas aģents ir iekļaujams kā modulis emocijās sakņotās sistēmās;
 - pūļa modelēšanas lietojums ir izmantojams eksperimentu veikšanai dažādās pūļa struktūrās un ir potenciāli papildināms ar citiem faktoriem, piemēram, attiecībām;
 - galda spēles scenārijs lietots 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 DAS ļauj modelēt cilvēku grupas emocionālo stāvokli un tā izmaiņas. Tas pats secināms arī par pārējām tēzēm.

Atsevišķu nodaļu secinājumi

- 1. nodaļā pierādīts, ka DAS ir piemērota paradigma cilvēku grupas emocionālā stāvokļa izmaiņu modelēšanai.
- 2. nodaļā pierādīts, ka neviena no šobrīd esošajām emocijās sakņotu aģentu izstrādēm nemodelē visas nepieciešamās funkcijas, kas nodrošina emocijās sakņotu uzvedību.
- 3. 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.
- 4. un 5. nodaļa demonstrē, ka izstrādātā pieeja ļauj modelēt gan ar emocijām saistītās funkcijas, gan emocijās sakņotas mijiedarbības gan viena, gan vairāku aģentu līmenī.

Galvenie **secinājumi** galvenokārt skar darba starpdisciplināros aspektus.

Lai arī ir daudz izstrāžu, kas ļauj modelēt gan viena aģenta emocionālās kapacitātes, gan aģentu mijiedarbību, tomēr trūkst lietojumu, kam būtu pilns emociju spektrs. Šādu izstrāžu esamība ļautu gan radīt virtuālajai videi jaunas lietojumu jomas, tādas kā emocionālā intelekta apmācība un emociju terapija, gan arī uzlabot iepriekšējās, piešķirot sistēmai emocionālās kapacitātes. Patlaban sistēmu, kas 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 pēcpanēmijas 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 papildu 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 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. Mēģinājumi izvairīties no šī scenārija promocijas darba autorei bija lielākais izaicinājums. 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 izstrādāto pieeju, ir izstrādājams modelis, kas darbojas saskaņā ar empīriski novērotajiem šabloniem. Lai pilnībā ieviestu šādu sistēmu dzīvē, nepietiek ar to, ka atsevišķās Latvijas universitātēs ir atsevišķas laboratorijas. Ir nepieciešama kopīga, starpdisciplināra laboratorija vai pētījumu centrs, kas apvieno nepieciešamās kompetences.

Darbā jau minēti vairāki potenciāli virzieni, kā iespējams turpināt promocijas darba pētījumus:

- kritēriju definēšana virtuālas sistēmas emocionālās kapacitātes noteikšanai, kas ļautu to noteikt skaitliskā veidā – šo iespējams definēt, pieņemot, ka, implementējot promocijas darbā minēto pieeju, sasniedzama maksimālā iespējamā kapacitāte;
- lietotāja emociju modelēšana un lietotāja iekļaušana sistēmā;
- dažādu sociālo struktūru modelēšana, piemēram, hierarhija, vienlīdzīgas attiecības utt.;
- emociju ietekmes modelēšana, izmantojot dažādus racionālus procesus, piemēram, mācīšanos.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- 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>.
- 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. (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>.
- Becker-Asano, C. (2008). *WASABI: Affect Simulation for Agents with Believable Interactivity* [Dissertation zur Erlangung des Grades eines at Bielefeld] [Doctoral Thesis, Universitat Bielefeld]. https://becker-asano.de/Becker-Asano_WASABI_Thesis.pdf.
- Bellifemine, F., Poggi, A., & Rimassa, G. (2001). JADE. *Telecom Lab Italia*, 216–217. <https://doi.org/10.1145/375735.376120>.
- 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>.
- 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>.
- 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.
- 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>.
- 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. 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>.
- 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>.
- Ekman, P. (1992). Are There Basic Emotions? *Psychological Review*, 99 (3), 550–553. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.3.550>.
- 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).
- 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>.

- Gratch, J. (2000). Émile. *Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous Agents - AGENTS '00*, 325–332. <https://doi.org/10.1145/336595.337516>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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 AAAI 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>.
- 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.
- 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>.
- Lavendelis, E. (2009). *Atvērtā daudzāģentu 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).
- Luck, M., McBurney, P., Shehory, O., & Willmott, S. (2005). *Agent technology: Computing as interaction*. <http://www.agentlink.org/roadmap/al3rm.pdf>.
- 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 Tutorial: 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.
- McCrae, R., & Costa, P. (2003). Personality in Adulthood. No: *Personality in Adulthood* (2nd ed.). The

- Guilford Press. <https://doi.org/10.4324/9780203428412>.
- 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>.
- 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.
- 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.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- Pudāne, M. (2017a). 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. (2017b). Classification of agent-based models from the perspective of multi-agent systems. *2017 5th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AIEEE.2017.8270547>.
- Pudāne, M. (2023). Affective multi-agent system: modelling and simulation of social and rational effects of emotions. *Proceedings of 64th International Scientific Conference on Information Technology and Management Science*.
- 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., 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>.
- 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.

- 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>.
- 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., & 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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>.
- 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.
- 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).
- 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>.
- 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. (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., 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. (2023). *NetLogo*.
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling*. The MIT Press.
- 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.



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.