

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Alla ANOHINA

**ADAPTĪVAS APMĀCĪBAS UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS
INTELEKTUĀLA ATBALSTA SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2007

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Alla ANOHINA
Datorsistēmu doktora programmas doktorante

**ADAPTĪVAS APMĀCĪBAS UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS
INTELEKTUĀLA ATBALSTA SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr.habil.sc.ing., profesors
J.GRUNDSPENĶIS

Rīga 2007

UDK 004.89(043.2)

An 650a

Anohina A. Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas izstrādāšana. Promocijas darba kopsavilkums. - R.:RTU, 2007.-50 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2007. gada 16. maija lēmumu, protokols Nr. 53.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

ISBN 9984-9767-8-5

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU (datorsistēmu)
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu (datorsistēmu) doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2007.gada10.septembrī..... Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3...., ...202.. auditorijā.

OFICIĀLIE OPONENTI:

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Leonīds Novickis
Rīgas Tehniskā Universitāte, Latvija

Asoc.profesors, Dr.comp. Māris Vītiņš
Latvijas Universitāte, Latvija

Asoc.profesore, Dr. math. Dale Dzemiene
Mikolas Romeris Universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Alla Anohina (paraksts)

Datums:.....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus un bibliogrāfiju, 12 pielikumus, 39 attēlus un 10 tabulas pamattekstā, kopā 240 lapaspuses. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 177 nosaukumi.

SATURS

IEVADS	5
1. TRADICIONĀLAIS MĀCĪBU PROCESS PRETSTATĀ AR TEHNOLOĢIJU ATBALSTĪTAM MĀCĪBU PROCESAM	11
1.1. Tradicionālais mācību process: raksturojumi un problēmas	11
1.2. Ar tehnoloģiju atbalstīts mācību process: tehnoloģijas un raksturojumi	12
1.3. Secinājumi	14
2. INTELEKTUĀLAS MĀCĪBU UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS	15
2.1. Intelektuālas mācību sistēmas: jēdziens un to uzbūve	15
2.2. Aģenti intelektuālās mācību sistēmās	16
2.3. Intelektuāls un adaptīvs atbalsts zināšanu vērtēšanas sistēmās	18
2.4. Secinājumi	19
3. JĒDZIENU TĪKLOS SAKŅOTA ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMA	19
3.1. Sistēmas koncepcija	20
3.1.1. Jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, ievieojot papildus jēdzienus	24
3.1.2. Jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, piedāvājot dažādu veidu uzdevumus	26
3.2. Eksperimentālās pārbaudes rezultāti	31
3.3. Secinājumi	32
4. INTELEKTUĀLA MĀCĪBU SISTĒMA MINIMAKSA ALGORITMAM	33
4.1. Sistēmas koncepcija	33
4.2. Realizācija	38
4.3. Eksperimentālās pārbaudes rezultāti	43
4.4. Secinājumi	44
DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI	45
BIBLIOGRĀFIJA	47

IEVADS

Vēsturiskā pāreja no industriālā laikmeta uz informācijas laikmetu 20.gadsimta 70.gados lika pamatus zināšanās sakņotas ekonomikas attīstībai mūsdienās. Šodien jaunas prasības, tehnoloģijas un pieprasījums pēc augsti kvalificēta un izglītota darbaspēka nosaka to, ka ir jāmaina arī mācīšanas un mācīšanās procesi, lai tie atbilstu jaunai realitātei un darba tirgus prasībām.

Tēmas aktualitāte

Promocijas darba tēmas aktualitāte ir saistīta ar nozīmīgiem Eiropas Savienības lēmumiem un dokumentiem [BRN 2003, CEC 2000, CEU 2005, KPP 2004], kuros galvenā uzmanība ir veltīta izglītības kvalitātes uzlabošanai, tai skaitā izmantojot informācijas un komunikācijas tehnoloģijas.

Mūsdienās dažādas informācijas un komunikācijas tehnoloģijas nodrošina cilvēkiem iespējas mācīties viņiem ērtā laikā, vietā, apjomā un tempā. Taču mācību procesā ieviešamā tehnoloģija daļēji vai pilnībā pārņem cilvēka-skolotāja lomu un līdz ar to, lai tā varētu šo lomu efektīvi izpildīt, ir nepieciešams paaugstināt tās intelektuālās un adaptīvās spējas, kas piemīt cilvēkam-skolotājam. Šajā kontekstā ir jāatzīmē, ka jau vairāk nekā 30 gadus notiek pētījumi intelektuālu mācību sistēmu (intelligent tutoring systems) jomā. Šādas sistēmas, pamatojoties uz tajā glabātajām zināšanām par apmācāmo, problēmsfēru, mācību plānu un stratēģijām, nodrošina mācību procesa adaptāciju atsevišķam apmācāmajam. Neskatoties uz to, ka intelektuālas mācību sistēmas spēj adaptīvi veidot mācību plānu, sniegt teorētiskās mācību vielas zināšanu vienības un ģenerēt uzdevumus, to adaptīvās spējas nav pietiekami augstas, jo joprojām pastāv virkne neatrisinātu jautājumu, piemēram, kādus apmācāmā psiholoģiskus un emocionālus raksturojumus ir jāņem vērā, kā nodrošināt tādu "apmācības pieredzi", kas būtu optimāla un unikāla konkrētam apmācāmajam, un kā nodrošināt personīgu adaptīvu atbalstu problēmu risināšanas procesā. Savukārt, zināšanu vērtēšanas sistēmas pamatā balstās uz objektīviem testiem (objective test), atbildes uz kuriem ir iepriekš noteiktas, un kaut gan spēj veikt adaptīvu nākošā jautājuma izvēli, pamatojoties uz apmācāmā iepriekšējām atbildēm, neļauj apmācāmajam piedāvāt oriģinālas atbildes un novērtē tikai faktu zināšanas, nevis apmācāmo izpratni par zināšanu savstarpējo saistību un nozīmi mācību kursa ietvaros. Savukārt, sistēmas, kas mēģina novērst šos trūkumus, balstās uz dabīgās valodas apstrādi, t.i., esejām un brīva teksta atbildēm, kas padara tās atkarīgas no mācību priekšmeta un valodas, tādēļ tās ir sarežģītas un grūti izstrādājamas. Tādējādi, nav

starprisinājumu starp objektīvu testu sistēmām un uz esejām balstītām sistēmām, kas turklāt būtu adaptīvi.

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt metodes adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas nodrošināšanai, un tās praktiski realizēt programmatūras sistēmā, veicot arī izstrādātās sistēmas eksperimentālu pārbaudi.

Darba uzdevumi

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- jāizanalizē atšķirības starp tradicionālo un ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu;
- jāveic intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu analīze ar mērķi identificēt to izstrādē neatrisinātos uzdevumus;
- jāizstrādā adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas nodrošināšanas metodes, iepriekš identificēto trūkumu novēršanai;
- jāveic adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas arhitektūras izstrāde un tās praktiska realizācija;
- jāveic izstrādātās sistēmas eksperimentāla pārbaude mācībuursos.

Pētījumu objekts

Darba pētījumu objekts ir intelektuālas mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmas.

Pētījumu priekšmets

Promocijas darba pētījuma priekšmets ir intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu adaptīvas īpašības un to realizācijas iespējas.

Pētījumu metodes

Teorētiskie pētījumi pamatojas uz pieejamo literatūras avotu analīzē noskaidrotajām zināmo sistēmu nepilnībām un trūkumiem. Teorētiskie rezultāti ir iegūti, izmantojot kopu teorijas metodes, veicot klasifikāciju un modelēšanu. Promocijas darbā izstrādāto sistēmu prototipu realizācijai ir izmantotas programmatūras inženierijas un mākslīgā intelekta metodes. Izstrādātie sistēmu prototipi ir aprobēti reālos mācībuursos un novērtēti, pamatojoties uz eksperimentālajā pārbaudē iesaistīto studentu aptauju.

Darba zinātniskais jauniegums ir šāds:

- ir izstrādāta koncepcija un arhitektūra jēdzienu tīklos sakņotai zināšanu vērtēšanas sistēmai ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu un intelektuālai mācību sistēmai ar adaptīvu mājienu izsniegšanu;

- ir izstrādāts algoritms, kurš ir jutīgs pret jēdzienu izvietošanu un to saistību, salīdzinot skolotāja un apmācāmo jēdzienu tīklus;
- ir izstrādātas divas pieejas uzdevuma grūtības pakāpes maiņai jēdzienu tīklos sakņotās zināšanu vērtēšanas sistēmās;
- ir izstrādāta praktisko uzdevumu risināšanas režīmu un tajos saņemamās atgriezeniskās saites veidu shēma intelektuālām mācību sistēmām;
- ir izstrādāts adaptīvas mājienu izsniegšanas divlīmeņu modelis un tā izmantošanas algoritmi intelektuālās mācību sistēmās;
- ir definēta aģentu kopa intelektuālas mācību sistēmas arhitektūrā un ir identificētas šo aģentu funkcijas;
- ir izdalītas 5 kategorijas, kurās ir dalāms studenta modelī glabātais saturs;
- ir izdalītas 8 terminu grupas, kas apraksta ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu, un ir definētas apakškopu attiecības starp tām;
- ir dota intelektuālu mācību sistēmu jēdziena definīcija, pamatojoties uz šādām sistēmām piemītošu raksturojumu kopu.

Pētījumu praktiskā nozīmība

Darba praktiskā nozīmība ir saistīta ar izstrādāto jēdzienu tīklos sakņotu zināšanu vērtēšanas sistēmu un intelektuālu mācību sistēmu, ko var izmantot gan Rīgas Tehniskās universitātes, gan citu mācību iestāžu mācību procesā.

Darba aprobācija

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem tika nolasīti 10 referāti (no tiem 4 ārvalstīs, t.i. Rumānijā, Igaunijā, Ungārijā un Lietuvā, un 6 Latvijā) 8 starptautiskās zinātniskās konferencēs un vienā Latvijas mēroga konferencē:

- 1st International Conference on Virtual Learning, Bucharest, Romania, October 27-29, **2006**.
- RTU 47. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, **2006**. gada 12.-14. oktobrī.
- 35th International IGIP Symposium in cooperation with IEEE/ASEE/SEFI „Engineering education-the priority for global development”, Tallinn, Estonia, September 18-21, **2006**.
- 15th International Conference on Information Systems Development “Methods and Tools, Theory and Practice” (ISD`2006), Budapest, Hungary, August 31-September 2, **2006**.

- 7th International Baltic Conference on Databases and Information Systems (Baltic DB&IS 2006), Vilnius, Lithuania, July 3-6, **2006**.
- Starpaugstskolu zinātniski praktiskā un mācību metodiskā konference “Mūsdienu izglītības problēmas”, TSI, Rīga, Latvija, **2006**. gada 23.-24. februārī.
- RTU 46.Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, **2005**.gada 13.-14.oktobrī.
- RTU 45.Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, **2004**.gada 13.-14.oktobrī (2 referāti).
- RTU 44.Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, **2003**.gada 9.-11.oktobrī.

Darba aprobācija notikusi arī, izmantojot promocijas darba ietvaros izstrādātās intelektuālās sistēmas studentu apmācībai un viņu zināšanu vērtēšanai 7 mācību kursus laika posmā no 2005.gada līdz 2007.gadam.

Promocijas darba rezultāti ir iekļauti Latvijas Izglītības un Zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projektu F6962 „Intelektuāla sistēma procesu orientētas studiju efektivitātes analīzes atbalstam” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2005.gads) un U7117 „Uz jēdzienu tīkliem un ontoloģiju balstīta intelektuāla sistēma studentu zināšanu pašvērtēšanai un procesu orientētai zināšanu pārbaudei” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2006.gads) atskaitēs.

Papildus tam par promocijas darba rezultātiem autore ziņoja RTU doktorantiem, nolasot lekciju mācību kursā „Augstskolu didaktika” (atbildīgā pasniedzēja A.Lanka, RTU Humanitārais institūts, Latvija) par tēmu „Informācijas tehnoloģijas augstākās izglītības pilnveidei” 2006.gada 11.maijā.

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti 16 publikācijās starptautiskos un citos Latvijas Zinātnes padomes atzītos zinātniskos izdevumos, no kurām 12 ir publicētas, 1 atrodas publicēšanas stadijā, 1 ir pieņemta un 2 ir iesniegtas publicēšanai:

1. **Anohina, A.** Learner’s Support in Intelligent Tutoring Systems. Proceedings of the 5th International Conference on Emerging e-learning Technologies and Applications, September 6-8, **2007**, Stará Lesná, the High Tatras, Slovak Republic (iesniegts).
2. **Anohina, A.**, Lavendelis, E., Grundspenkis, J. Concept Map Based Assessment System with Reduction of Task Difficulty. Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems Development “Challenges in Practice,

Theory and Education” (ISD`2007), August 29-31, **2007**, Galway, Ireland (iesniegts).

3. **Anohina, A.**, Pozdnakovs, D., Grundspenkis, J. Changing the Degree of Task Difficulty in Concept Map Based Assessment System. Proceedings of the IADIS International Conference “e-Learning 2007”, July 6-8, **2007**, Lisbon, Portugal (pieņemts).
4. **Anohina, A.** Advances in Intelligent Tutoring Systems: Problem-solving Modes and Model of Hints. International Journal of Computers, Communication and Control, **2007**, Vol. II, No. 1, pp. 48-55.
5. **Anohina, A.**, Grundspenkis, J. A Concept Map Based Intelligent System for Adaptive Knowledge Assessment. In Vasilecas, O., Eder, J., Caplinskas, A. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol.155, Databases and Information Systems IV. Amsterdam: IOS Press, **2007**, pp. 263-276.
6. **Anohina, A.** The Problem-Solving Modes and a Two-Layer Model of Hints in the Intelligent Tutoring System for Minimax Algorithm. Proceedings of the 1st International Conference on Virtual Learning, October 27-29, **2006**, Bucharest, Romania, pp. 105-112.
7. **Anohina, A.**, Grundspenkis, J. Process Oriented Engineering Education Supported by Intelligent Knowledge Assessment System. Proceedings of the 35th International IGIP Symposium in cooperation with IEEE/ASEE/SEFI „Engineering education-the priority for global development”, September 18-21, **2006**, Tallinn, Estonia, pp.189-194.
8. **Anohina, A.**, Graudina, V., Grundspenkis, J. Using Concept Maps in Adaptive Knowledge Assessment. Proceedings of the 15th International Conference on Information Systems Development “Methods and Tools, Theory and Practice” (ISD`2006), August 31-September 2, **2006**, Budapest, Hungary (iespiešanā).
9. **Anohina, A.**, Grundspenkis, J. Prototype of Multiagent Knowledge Assessment System for Support of Process Oriented Learning. Proceedings of the 7th International Baltic Conference on Databases and Information Systems (Baltic DB&IS 2006), July 3-6, **2006**, Vilnius, Lithuania, pp. 211-219.
10. **Anohina, A.**, Graudina, V., Grundspenkis, J. Intelligent System for Learners’ Knowledge Self-Assessment and Process Oriented Knowledge Control Based on Concept Maps and Ontologies. Annual Proceedings of Vidzeme University College „ICTE in Regional Development”, **2006**, Valmiera, Latvia, pp. 1-8.

11. Lanka, A., Grundspenkis, J., **Anohina, A.**, Pozdnyakov, D., Lavendelis, E. Knowledge Assessment and Self-Assessment in the Process-Oriented Learning, Using Intelligent System Based on Concept Maps. Starpaugstskolu zinātniski praktiskās un mācību metodiskās konferences “Mūsdienu izglītības problēmas” zinātnisko rakstu krājums, TSI, Rīga, Latvija, **2006**, 65.-68. lpp.
12. **Anohina, A.**, Stale, G., Pozdnyakov, D. Intelligent System for Student Knowledge Assessment. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol.26, RTU Publishing, Riga, **2006**, pp. 132-143.
13. **Anohina, A.** Analysis of the Terminology Used in the Field of Virtual Learning. Journal of Educational Technology & Society, **2005**, Vol. 8, No. 3, pp. 91-102.
14. Grundspenkis, J., **Anohina, A.** Agents in Intelligent Tutoring Systems: State of the Art. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol.22, RTU Publishing, Riga, **2005**, pp.110-121.
15. **Anohina, A.** Intelligent Tutoring System for Minimax Algorithm. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol.22, RTU Publishing, Riga, **2005**, pp.122-130.
16. **Anohina, A.** Clarification of the Terminology Used in the Field of Virtual Learning. Scientific Proceedings of Riga Technical University „Computer Science. Applied Computer Systems”, 5th series, Vol.17, RTU Publishing, Riga, **2003**, pp.94-102.

Darba autores raksts „Analysis of the Terminology Used in the Field of Virtual Learning, (Journal of Educational Technology & Society, 2005) tika ievietots Pirmās starptautiskās konferences par virtuālo apmācību (1st International Conference on Virtual Learning, Bucharest, Romania, October 27-29, 2006) un Otrās starptautiskās konferences par virtuālo apmācību (2nd International Conference on Virtual Learning, Constanta, Romania, October 26-28, 2007) mājas lapas sadaļā „Fundamentals of Virtual Learning and Technological Knowledge”.

Darba struktūra

Promocijas darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām, secinājumiem, bibliogrāfijas un 12 pielikumiem.

Ievadā ir pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, uzskaitītas promocijas darba izstrādē lietotās zinātniskās metodes, aprakstīta pētījumu

zinātniskā novitāte un iegūto rezultātu praktiskā nozīmība, kā arī ir raksturota darba aprobācija.

Darba 1.nodaļā ar mērķi vispārīgā līmenī definēt prasības pret apmācības un zināšanu vērtēšanas atbalsta sistēmu ir veikta tradicionālā mācību procesa analīze, nosakot tā pamatprocesus, komponentus un to mijiedarbību, raksturojumus un problēmas, ir analizēta ar tehnoloģiju atbalstīta mācību procesa aprakstošā terminoloģija un ir identificētas atšķirības starp tradicionālo un ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu.

Darba 2.nodaļa ir veltīta intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu analīzei ar mērķi identificēt šādu sistēmu izstrādē neatrisinātos uzdevumus un precizēt prasības pret promocijas darbā izstrādāto apmācības un zināšanu vērtēšanas atbalsta sistēmu. Tajā ir aprakstītas šādu sistēmu uzbūve, darbības principi un adaptācijas spējas, kā arī ir analizētas aģentu pieejas izmantošanas iespējas intelektuālu mācību sistēmu izstrādei.

Darba 3.nodaļā ir aprakstīta izstrādātā jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma, pievēršoties tās pamatā esošām koncepcijām, realizācijas detaļām un eksperimentālās pārbaudes rezultātiem.

Darba 4.nodaļā ir izklāstīta piedāvātā pieeja, kas ietver sevī divus praktisko uzdevumu risināšanas režīmus un adaptīvu mājienu izsniegšanu, izmantojot izstrādāto mājienu divlīmeņu modeli, un ir aprakstītas tās realizācijas detaļas intelektuālas mācību sistēmas prototipā „MINIMA”, kā arī ir specificēti šī prototipa eksperimentālās pārbaudes rezultāti.

Promocijas darba rezultāti un secinājumi ir apkopoti darba noslēguma nodaļā.

1. TRADICIONĀLAIS MĀCĪBU PROCESS PRETSTATĀ AR TEHNOLOĢIJU ATBALSTĪTAM MĀCĪBU PROCESAM

Ieviešot mācību procesā kādu tehnoloģiju, ir svarīgi panākt ne tikai tādu pašu apmācības efektivitāti, ko nodrošina ierastā mācību vide, bet gan to paaugstināt. To ir iespējams sasniegt, saglabājot ar tehnoloģiju atbalstītā mācību procesā nozīmīgas tradicionālā mācību procesa īpašības un atrisinot tā problēmas. Šajā promocijas darba nodaļā ir veikta tradicionālā mācību procesa analīze ar mērķi vispārīgā līmenī definēt prasības pret ar tehnoloģiju atbalstītu apmācību un zināšanu vērtēšanu.

1.1. Tradicionālais mācību process: raksturojumi un problēmas

Tradicionālā mācību procesa analīzes rezultātā promocijas darbā ir noteikti tā 3 pamatprocesi (jaunās informācijas uztveršana un apjēgšana, jauno zināšanu nostiprināšana un

prasmju izkopšana, kā arī apgūto zināšanu un attīstīto prasmju pārbaude un vērtēšana) un ir izdalīti 3 pamatdalībnieki (skolotājs, apmācāmais un mācību saturs). Turklāt, ir noskaidrots, ka mācību procesa pamatā ir aktivitātes, kurās ir iesaistīti skolotājs un apmācāmais vienlaicīgi, bet ir arī aktivitātes, kuras abi minētie dalībnieki izpilda vienatnē, bet tās nav obligātas. Skolotājs spēj izzināt mācību situāciju un apmācāmo, spriest par tiem un spriešanas rezultātus izmantot, lai adaptētos gan situācijai, gan apmācāmajam, tādējādi, viņam piemīt noteiktas intelektuālās un adaptīvās spējas.

Neskatoties uz to, ka tradicionālais mācību process pastāv jau ļoti sen, tajā joprojām ir daudz neatrisinātu problēmu. Šajā nodaļā ir formulētas šādas promocijas darba kontekstā aktuālas tradicionālā mācību procesa problēmas: nepietiekama adaptācija atsevišķam apmācāmajam, sistemātiskas zināšanu vērtēšanas trūkums un zināšanu pašvērtēšanas atstāšana bez uzmanības lielākajā daļā gadījumu. Visas nosauktās problēmas var tikt daļēji atrisinātas ar mūsdienu informācijas un komunikācijas tehnoloģiju ieviešanu mācību procesā.

1.2. Ar tehnoloģiju atbalstīts mācību process: tehnoloģijas un raksturojumi

Tehnoloģiju klāsts, kas var tikt izmantotas tradicionālajā mācību procesā, ir plašs un daudzveidīgs, kas noteica daudzu terminu parādīšanos, ko lieto iespējamo ar tehnoloģiju atbalstītu mācību veidu un pieeju apzīmēšanai. Promocijas darba izstrādes gaitā tika veikta dažādu terminu analīze, kas, pamatojoties uz 90 informācijas avotu izpēti, ļāva noskaidrot gan terminu veidošanas shēmas, gan terminos ietilpstošo savienotājevārdu un pedagoģisko jēdzienu nozīmi. Šī informācija detalizētā veidā ir atrodamā darbā [ANO 2005].

Termini, kas apraksta ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu, tiek veidoti, izmantojot vienu no šādām shēmām:

MĀCĪBU RAKSTUROJOŠS VĀRDS + PEDAGOĢIJAS JĒDZIENS

vai

TEHNOLOĢIJU APRAKSTOŠS VĀRDS + SAVIENOTĀJVĀRDS + PEDAGOĢIJAS JĒDZIENS

Minētās shēmas nosaka galvenās atšķirības starp terminiem. Tas ļāva izdalīt astoņas vizuāli atšķirīgas terminu pamatgrupas: 'C' (computer), 'D' (distance), 'I' (Internet), 'O' (online), 'T' (technology), 'W' (Web), 'E' (electronic) un 'R' (resource) [ANO 2005].

Grupas 'C' (uz datoru balstītas mācības) termini ietver sevī vārdu „computer”. Lai gan tas var tikt attiecināts uz datoru jebkura veida lietošanu mācību procesā, tomēr tad, kad dators tiek izmantots kā mācību līdzeklis, vai mācību procesa pārvaldības līdzeklis, termins nozīmē, ka dators ir ārējais un netiek pieslēgts tīklam mācību kursa izmantošanas laikā, kā arī

mācību saturs ir lokāls un tiek piegādāts ar lasāmatmiņas kompaktdiskiem vai diskešu palīdzību.

Grupas 'D' (tālmācība) vārds „distance” raksturo mācības, norādot, ka skolotājs vai mācību avots un apmācāmais ir fiziski atdalīti viens no otra, un tiem nav nepārtraukta un tieša kontakta. Šim nolūkam var tikt izmantota jebkura informācijas un komunikācijas tehnoloģija, kas ļauj nodrošināt apmācību attālinātās vietās: sarakste, televīzija, tālrunis, audio- un videokonferences, mācību kursa saturs tīmeklī, radio, satelītpārraides, audio- un videoieraksti, telefakss, u.c.

'E' grupas (e-mācības) termini nozīmē to, ka mācības tiek organizētas, izmantojot jebkurus elektroniskus līdzekļus vai vides, kas var ietvert sevī ārējās vai tīklam (internetam, iekštīklam, ārtīklam) pieslēgtos datorus, audio- un videoierīces, satelītpārraides, lasāmatmiņas kompaktdiskus vai DVD diskus, interaktīvu televīziju, telefonus, u.tml.

Grupas 'I' (uz internetu balstītas mācības) termini norāda, ka parasti mācību saturs tiek piegādāts, lietojot internetu. Pretstatā mācībām, kuras raksturo grupas 'C' termini, šī veida mācībās ir paredzēta piekļuve ne tikai lokālam mācību saturam, bet arī materiāliem ārpus mācību kursa.

Grupas 'O' (tiešsaistes režīma mācības) terminu definīcijas plašā izpratnē paredz tīkla savienojuma esamību. Vārda „tiešsaistes režīma” šaura nozīme akcentē, ka dators ir pieslēgts tieši internetam. Šajā gadījumā šīs grupas terminus bieži lieto kā sinonīmus grupu 'I' vai 'W' terminiem.

Uz resursiem balstītas mācībās (grupas 'R' termini) galvenā loma pieder apmācāmajiem, kas kļūst par aktīviem apmācības dalībniekiem un izmanto dažāda veida resursus, lai apgūtu mācību kursu. Resursi var ietvert elektroniska un drukāta veida grāmatas, vārdnīcas, dokumentus, zīmējumus, kartes, avīzes, slaidus, audio- un videoierakstus, datorprogrammatūru, spēles, cilvēkus, televīziju, modeļus, u.t.t.

Grupas 'T' (uz tehnoloģiju balstītas mācības) termini uzsver, ka kādai tehnoloģijai/ām, kas tiek izmantota/as mācību satura piegādei un atbilstošu prasmju un zināšanu attīstībai, ir primārā loma mācību procesā. Šī tehnoloģija var būt jebkura: dators (arī ar pieslēgumu internetam, iekštīklam vai ārtīklam), televīzija, audio- un videoieraksti, DVD diski un lasāmatmiņas kompaktdiski, satelītpārraides, telefons, fakss, u.tml.

Grupas 'W' (uz tīmekli balstītas mācības) termini skaidri norāda mācību procesā izmantoto tehnoloģiju - tīmekļa tehnoloģiju. Tādējādi, mācību saturs tiek piegādāts pa publisku vai privātu datortīklu ar tīmekļa pārlūkprogrammas palīdzību. Tipiski mācību viela satur saites uz materiāliem ārpus mācību kursa.

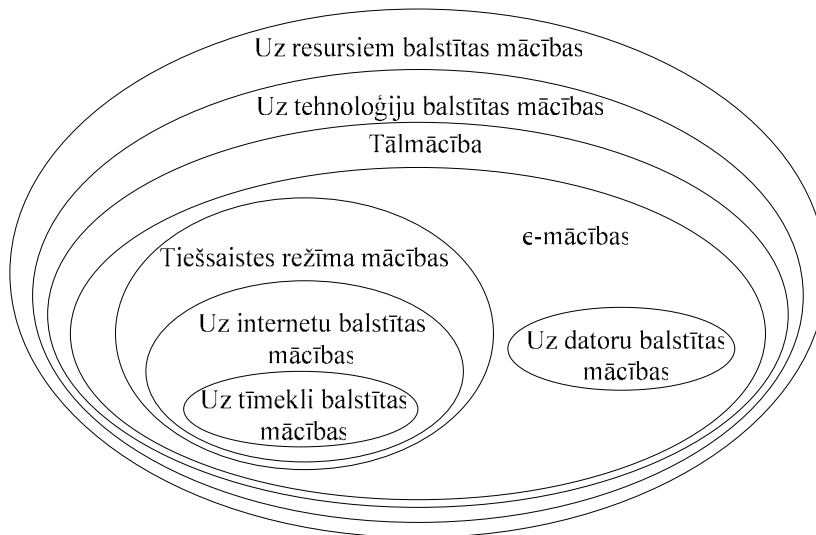
Analīzes rezultātā starp apskatītajām terminu grupām ir definētas apakškopu attiecības (1.2.1.attēls):

$$W \subset I \subset O \subset E,$$

$$C \subset E,$$

$$E \subset D \subset T \subset R,$$

kur lietotie burti atbilst attiecīgās grupas terminiem.



1.2.1.att. Apakškopu attiecības starp terminu grupām

Neatkarīgi no tā, kāda tehnoloģija tiek izmantota, ar tehnoloģiju atbalstītā mācību procesā ir jāpastāv visiem trim tradicionālajiem mācību pamatprocesiem, taču tehnoloģija var atbalstīt jebkuru no tiem atsevišķi, vai dažādas to kombinācijas. Tehnoloģijas ieviešana izraisa izmaiņas gan tradicionālā mācību procesa pamatkomponentu sastāvā, gan arī to mijiedarbībā, kas sīkāk ir izklāstīts promocijas darbā. Šeit ir jāatzīmē, ka nozīmīgākās izmaiņas ir saistītas ar to, ka tehnoloģija daļēji vai pilnībā pārņem cilvēka-skolotāja lomu.

Lai nodrošinātu tādu pašu apmācības efektivitāti, ko nodrošina tradicionālais mācību process, ar tehnoloģiju atbalstītam mācību procesam ir jā saglabā tā svarīgi raksturojumi. Savukārt, tehnoloģija var nodrošināt lielāku apmācības efektivitāti, ja tā atrisinās problēmas, kas eksistē tradicionālajā mācību procesā.

1.3. Secinājumi

Tādējādi, pamatojoties uz definētajiem tradicionālā mācību procesa raksturojumiem un identificētajām problēmām, ir izvirzītas šādas vispārīgās prasības pret ar tehnoloģiju atbalstītu apmācību un zināšanu vērtēšanu:

- tai ir jāatbalsta tradicionālie mācību pamatprocesi vai atsevišķas to daļas;

- tai ir jārealizē skolotāja aktivitātes līmenī, kas nav sliktāks par cilvēka-skolotāja līmeni, un jānodrošina reakcijas uz apmācāmā darbībām;
- tai ir jānodrošina adaptācija gan situācijai, gan apmācāmajam;
- tai ir jāatbalsta tāda skolotāja vienatnē veicama aktivitāte kā mācību satura uzlabošana, piedāvājot līdzekļus sistemātiskas zināšanu vērtēšanas realizācijai un tās rezultātu analīzei;
- tai ir jāatbalsta tāda apmācāmā vienatnē veicama aktivitāte kā zināšanu pašvērtēšana.

Jaunais teorētiskais rezultāts šajā nodaļā ir ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu aprakstošo terminu grupu izdalīšana un apakškopu attieksmju definēšana starp tām.

2. INTELEKTUĀLAS MĀCĪBU UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS

Šīs promocijas darba nodaļas ietvaros ir veikta intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu analīze ar mērķi identificēt šādu sistēmu izstrādē neatrisinātos uzdevumus un precizēt prasības pret apmācības un zināšanu vērtēšanas atbalsta sistēmu.

2.1. Intelektuālas mācību sistēmas: jēdziens un to uzbūve

Veicot intelektuālu mācību sistēmu analīzi, promocijas darbā ir noskaidrota šo sistēmu jēdziena nozīme, uzbūves sastāvdaļas, kā arī izplatītākie adaptācijas veidi. Pētījumu rezultātā ir piedāvāts intelektuālu mācību sistēmu jēdziena skaidrojums, balstoties uz dažādu pētnieku visbiežāk minēto šādu sistēmu raksturojumu kopu. Tādējādi, intelektuāla mācību sistēma ir intelektuāla un adaptīva uz datoru balstīta sistēma, kas imitē cilvēku-skolotāju, mēģina nodrošināt individuālas apmācības priekšrocības un balstās uz apmācības un izziņas teoriju [ANO 2006e]. Papildus tam šīs sistēmas raksturo tas, ka tās ietver sevī trīs tipu zināšanas [CAP 2000, FRA 1997]: zināšanas par to, ko mācīt (problēmsfēras zināšanas), zināšanas par to, kā mācīt (pedagoģiskās zināšanas), un zināšanas par apmācāmo.

Viena no galvenajām intelektuālu mācību sistēmu uzbūves sastāvdaļām ir studenta modelis, kas nodrošina pamatu mācību procesa adaptācijai atsevišķajam apmācāmajam. Balstoties uz dažādu darbu par intelektuālām mācību sistēmām analīzi, promocijas darbā ir izdalītas 5 kategorijas, kurās ir dalāms studenta modelī glabātais saturs [ANO 2006e]: apmācāmo identificējoša informācija, informācija par mācību procesa norisi un apmācāmā tekošo zināšanu un prasmju stāvokli, informācija par apmācāmā būtiskām kognitīvām,

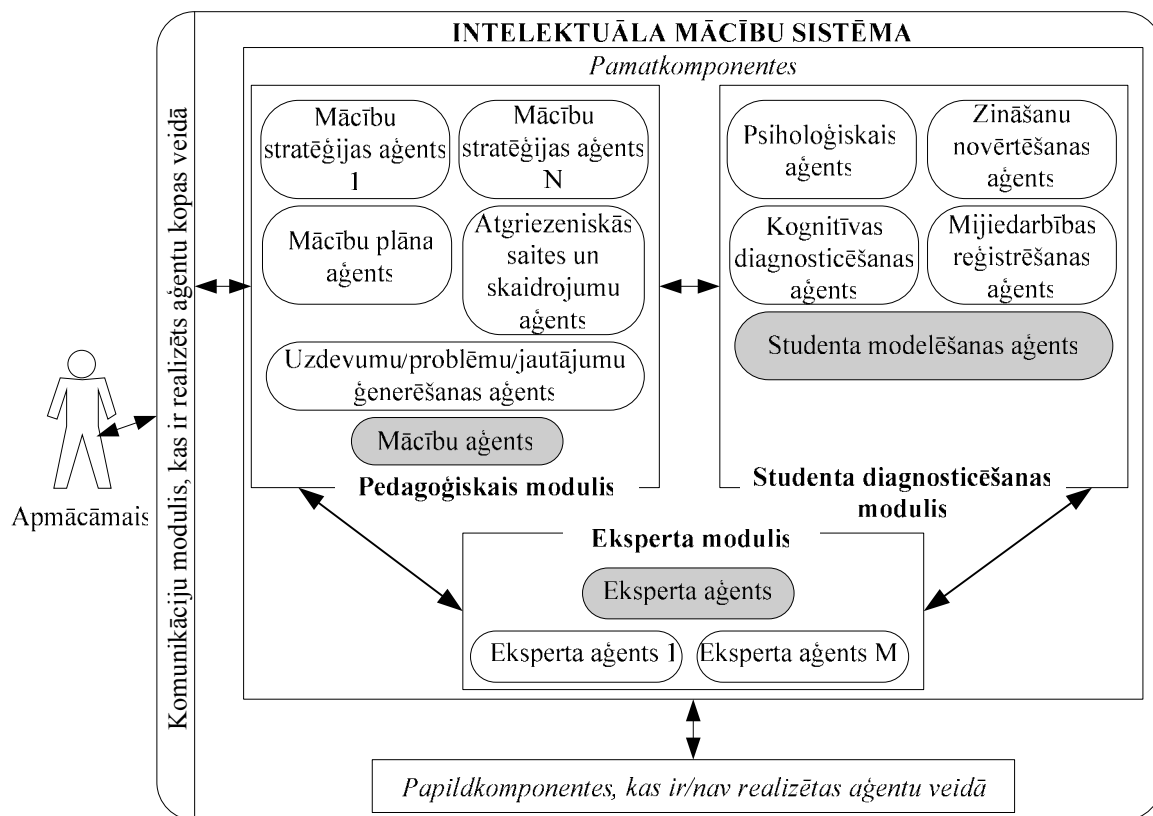
emocionālām un rakstura īpašībām, informācija, kas ir saistīta ar apmācāmā pieredzi, interesēm un vispārīgām zināšanām, un informācija par sistēmas iespēju izmantošanu.

Pieejamo informācijas avotu un izstrādāto sistēmu analīze ļauj izdalīt šādus izplatītākos adaptācijas pamatveidus intelektuālās mācību sistēmās: adaptīva mācību vienību secības izveide (curriculum sequencing) [BRU 1999, DEV 2000, JER 2004], adaptīva informācijas pasniegšana (adaptive presentation) [BRU 2001, KEL 2002, LIE 2000] un adaptīvs atbalsts problēmu risināšanas procesā (adaptive problem solving support) [VIR 2001, WAR 1997]. Taču, neskatoties uz minēto adaptācijas veidu izplatību, intelektuālu mācību sistēmu adaptīvās spējas joprojām nav pietiekami augstas. Promocijas darba izstrādes gaitā ir atklāti šādi divi neatrisinātie uzdevumi. Pirmkārt, tipiski sistēma sniedz apmācāmajam momentānu atgriezenisko saiti pēc katra izpildītā soļa problēmu risināšanas laikā. Taču, šāda politika „vienādo” apmācāmos, ignorējot dažu no tiem pētniecisko garu, kad apmācāmais gribētu izpildīt soļu secību un pēc tam saņemt atgriezenisko saiti par to pareizību, un pašam noteikt, kurš solis noveda pie nepareiza risinājuma. Otrkārt, sistēmās mājieni ir organizēti diapazonā no vispārīgākā uz specifiskāko un tiek doti secīgi, kas nav pietiekami elastīgi, jo prasa no apmācāmā iziet cauri virknei mazinformatīvu mājienu, kamēr viņš saņem savam zināšanu līmenim atbilstošo mājienu.

2.2. Aģenti intelektuālās mācību sistēmās

Intelektuālas mācību sistēmas savā uzbūvē un darbībā pielieto mākslīgā intelekta metodes. Šīs metodes var būt visdažādākās, taču jau vairāk nekā desmit gadus viens no vadošiem pētījumu virzieniem šādu sistēmu izstrādē ir aģentu paradigma. Šajā apakšnodaļā ir definēts aģenta jēdziens un raksturojumi, kā arī ir apskatītas daudzāģentu sistēmas un vairākas aģentu programmas. Taču galvenā uzmanība ir veltīta tam, kādas intelektuālu mācību sistēmu komponentes var tikt realizētas aģentu veidā, un kādas funkcijas aģenti var pildīt katrā komponentē.

Veiktās analīzes rezultātā ir noskaidrots, ka visas vispārīgas intelektuālas mācību sistēmas arhitektūras komponentes var tikt realizētas daudzāģentu arhitektūras veidā, un ir definēta aģentu kopa, kas ir atspoguļota 2.2.1.attēlā [GRU 2005]. Kopsavilkums par aģentu funkcijām intelektuālas mācību sistēmas galvenajās komponentēs ir dots 2.2.1.tabulā.



2.2.1.att. Aģentu kopa, kas veido intelektuālas mācību sistēmas arhitektūru (pelēkie taisnstūri atspoguļo vadošos aģentus katrā komponentē)

2.2.1.tabula

Aģentu funkcijas intelektuālas mācību sistēmas komponentēs

Intelektuālas mācību sistēmas komponente	Aģentu funkcijas
Studenta diagnosticēšanas modulis	<ul style="list-style-type: none"> apmācāmā tekošā zināšanu un prasmju līmeņa modeļa izveide, balstoties uz novērtējumiem (zināšanu novērtēšanas aģents) apmācāmā psiholoģisko raksturojumu (tas, kam apmācāmais dod priekšroku apmācībā, apmācības stils, uzmanība, personības īpašības, u.c.) profila izveide (psiholoģiskais aģents) apmācāmā mijiedarbības ar sistēmu vēstures reģistrācija (mijiedarbības reģistrēšanas aģents) apmācāmā kļūdu un to iemeslu noteikšana un reģistrēšana (kognitīvas diagnosticēšanas aģents)
Pedagoģiskais modulis	<ul style="list-style-type: none"> mācību plāna ģenerēšana, novērtēšana un modificēšana (mācību plāna aģents) dažādu apmācības stratēģiju (apmācība ar līdzapmācāmo, apmācība traucējot, u.c.) realizācija (mācību stratēģiju aģenti) atgriezeniskās saites, skaidrojumu un palīdzības ģenerēšana un sniegšana (atgriezeniskās saites un skaidrojumu aģents) apmācāmajam piemērotu uzdevumu/problēmu/jautājumu ģenerēšana (uzdevumu/problēmu/jautājumu ģenerēšanas aģents)
Komunikāciju modulis	<ul style="list-style-type: none"> apmācāmā un sistēmas mijiedarbības novērošana dažādu mijiedarbības ierīču pārvaldība
Eksperta modulis	<ul style="list-style-type: none"> ar mācību priekšmetu saistītu problēmu un uzdevumu risināšana (eksperta aģenti)

2.3. Intelektuāls un adaptīvs atbalsts zināšanu vērtēšanas sistēmās

Intelektuālas mācību sistēmas spēj nodrošināt arī sistemātisku zināšanu vērtēšanu un zināšanu pašvērtēšanu, kas tika izvirzītas kā prasības pret ar tehnoloģiju atbalstītu apmācību un zināšanu vērtēšanu 1.3.apakšnodaļā, taču šie zināšanu vērtēšanas veidi intelektuālas mācību sistēmās ir attiecināmi tikai uz to mācību kursu, kuram sistēma ir izstrādāta. Savukārt, zināšanu vērtēšana tradicionālajā mācību procesā ir darba un laika ietilpīga, kas prasa tehnoloģijas atbalstu pati par sevi, neatkarīgi no tā, vai tehnoloģija tiek izmantota arī pārējos mācību procesos. Šajā promocijas darba apakšnodaļā uzmanība ir veltīta ar datoru atbalstītas zināšanu vērtēšanas sistēmu analīzei, īpašu uzmanību veltot intelektuālam un adaptīvam atbalstam šādās sistēmās.

Ar datoru atbalstītas vērtēšanas sistēmas iedalās sistēmās, kas veic objektīvu testēšanu (objective testing) un subjektīvu testēšanu (subjective testing) [SEA 2002]. Objektīvas testēšanas sistēmas apmācāmajam piedāvā jautājumu kopu, atbildes uz kuriem ir iepriekš definētas [CAA 2002]. Subjektīvas testēšanas sistēmas var novērtēt apmācāmo iesniegtus darbus pēc satura, stila, oriģinalitātes, u.c. [SEA 2002], un pamatā balstās uz esejām un brīva teksta formā dotām atbildēm. Kaut gan abu veidu sistēmām ir savas priekšrocības, promocijas darbā veiktās analīzes rezultātā ir noskaidroti šādi to trūkumi:

- Objektīva testēšana neļauj apmācāmajam piedāvāt oriģinālas atbildes, un līdz ar to pastāv ierobežojumi zināšanām un prasmēm, kas var tikt novērtētas ar tās palīdzību.
- Objektīva testēšana novērtē tikai faktu zināšanas, nevis apmācāmo izpratni par to savstarpējo saistību un nozīmi mācību kursa ietvaros.
- Subjektīvas testēšanas sistēmas izmanto mākslīgā intelekta metodes, it īpaši dabīgās valodas apstrādi. Tas nosaka arī šo sistēmu pamattrūkumus: lielo atkarību no mācību priekšmeta un dabīgās valodas, kā arī sarežģītu struktūru un funkcionālos mehānismus.
- Uz esejām un brīva teksta formā dotām atbildēm balstītu uzdevumu izmantošana sistemātiskai zināšanu vērtēšanai ir apšaubāma lielas apmācāmo kognitīvās slodzes dēļ.

Identificētie trūkumi ļauj secināt, ka ir vajadzība pēc tādas ar datoru atbalstītas zināšanu vērtēšanas sistēmas, kas novērstu šos trūkumus un nodrošinātu starprisinājumu starp objektīvas testēšanas un subjektīvas testēšanas sistēmām. Par pamatu šādai sistēmai promocijas darbā ir piedāvāts izmantot jēdzienu tīklus.

Jēdzienu tīkli ir viens no mentālu modeļu veidiem, kas izmanto grafu, kura iezīmētās virsotnes atbilst problēmsfēras jēdzieniem, un loki attēlo attiecības starp jēdzienu pāriem. Jēdzienu tīklu loki var tikt uzdoti ar/bez virziena, kā arī ar/bez attiecsmju aprakstošām frāzēm uz tiem. Attiecsmju aprakstošās frāzes apraksta attiecības starp jēdzienu pāri būtību. Promocijas darbā veiktās analīzes rezultātā ir noskaidrots, ka jēdzienu tīkli ļauj novērtēt augstākas kārtas kognitīvās attīstības līmeņus, piedāvāt dažādas grūtības pakāpes uzdevumus un pārbaudīt apmācāmā izpratni par mācību kursā apgūto jēdzienu savstarpējo saistību, nevis tikai atsevišķu faktu iegaumēšanas pakāpi. Jēdzienu tīkli ir pietiekami universāli un nav atkarīgi no mācību priekšmeta. Tie ļauj izstrādāt ar datoru atbalstītas zināšanu vērtēšanas sistēmas, kas pamatojas uz darbu ar grafiskajiem objektiem, un neprasa dabīgās valodas apstrādi. Jēdzienu tīkli var tikt izmantoti jebkurā mācību procesa stadijā un jebkuram zināšanu vērtēšanas veidam.

2.4. Secinājumi

Ņemot vērā 1.3.apakšnodaļā formulētās vispārīgās prasības pret ar tehnoloģiju atbalstītu apmācību un zināšanu vērtēšanu un šajā nodaļā identificētos neatrisinātos uzdevumus un to risinājumus, ir izvirzītas šādas prasības pret apmācības un zināšanu vērtēšanas sistēmu:

- ir jāizstrādā intelektuāla mācību sistēma, kas nodrošina divus režīmus praktisko uzdevumu risināšanai un mājienu izsniegšanu adaptīvā manierē;
- ir jāizstrādā adaptīva zināšanu vērtēšanas sistēma, kas balstās uz jēdzienu tīkliem, nodrošina sistemātisku zināšanu vērtēšanu un zināšanu pašvērtēšanu, kā arī atbalsta skolotāju mācību kursa uzlabošanā;
- abu sistēmu izstrāde ir jābalsta uz aģentu pieeju.

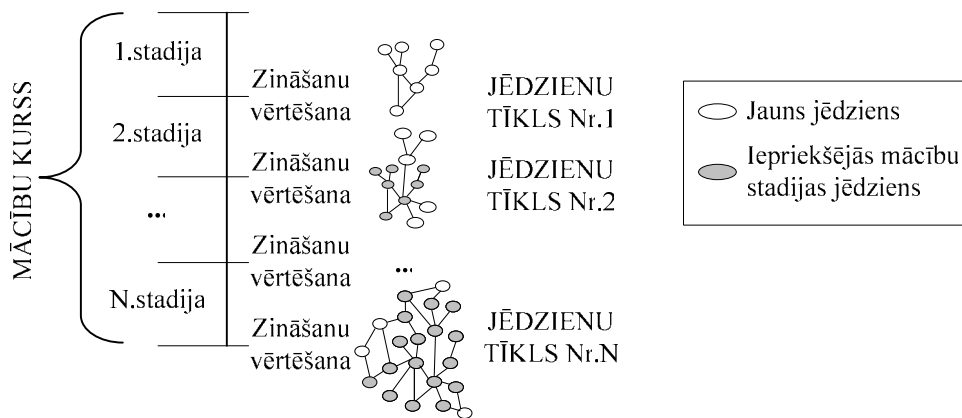
Šīs nodaļas jaunie teorētiskie rezultāti ir, pirmkārt, intelektuālu mācību sistēmu jēdziena definīcija, pamatojoties uz šādām sistēmām piemītošu raksturojumu kopu, otrkārt, studenta modelī glabātā satura kategoriju izdalīšana un, treškārt, intelektuālas mācību sistēmas arhitektūru veidojošo aģentu kopas definēšana.

3. JĒDZIENU TĪKLOS SAKŅOTA ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMA

Šajā nodaļā ir aprakstīta promocijas darba ietvaros izstrādātā jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēma, specificējot tās pamatkonceptijas un eksperimentālās pārbaudes rezultātus.

3.1. Sistēmas koncepcija

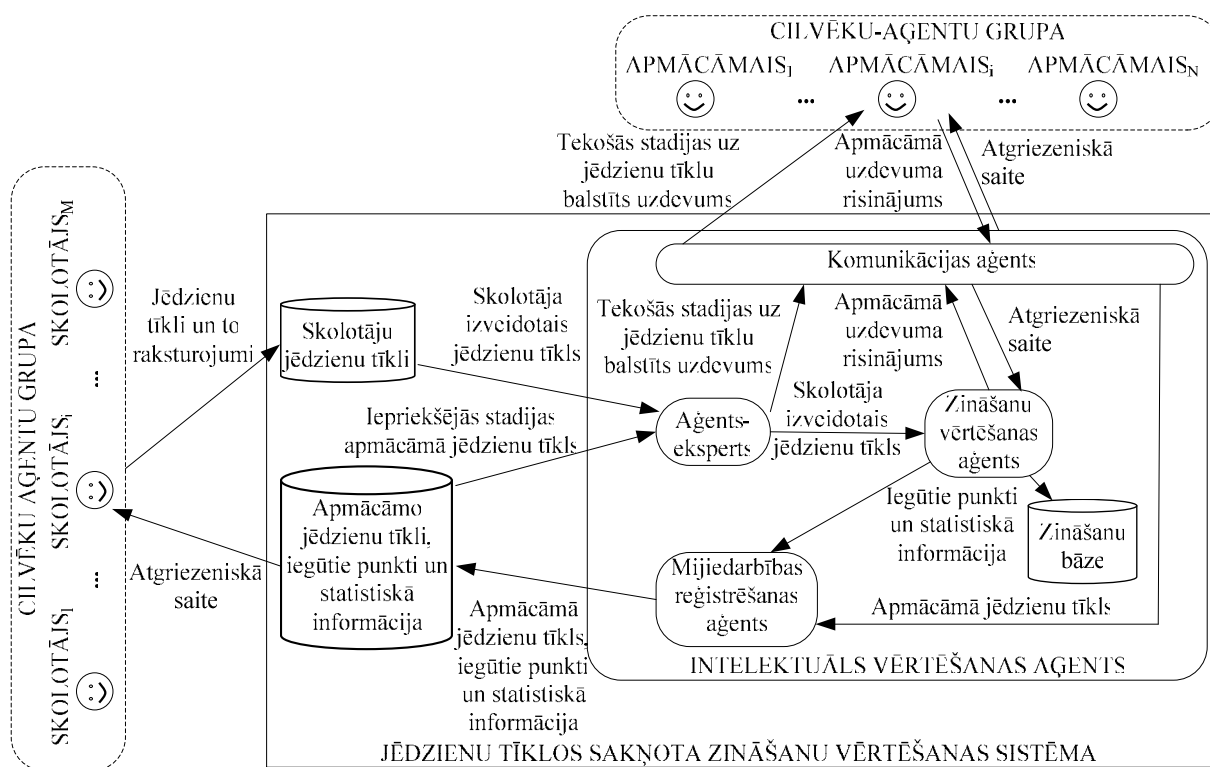
3.1.1.attēlā ir atspoguļota promocijas darbā izstrādātā kopējā shēma jēdzienu tīklu izmantošanai sistemātiskā zināšanu vērtēšanā [ANO 2007a]. Tā pamatojos uz to, ka skolotājs sadala mācību kursu vairākās stadijās, katrai no kurām izveido jēdzienu tīklus tādā veidā, ka atsevišķas mācību stadijas jēdzienu tīkls nav nekas cits, kā iepriekšējās mācību stadijas jēdzienu tīkla paplašinājums. Šajā gadījumā pēdējās stadijas jēdzienu tīkls atspoguļo visus mācību kursa jēdzienus un attieksmes starp tiem. Izveidotie jēdzienu tīkli katras stadijas beigās tiek piedāvāti apmācāmo zināšanu vērtēšanai.



3.1.1.att. Jēdzienu tīklu izmantošana sistemātiskai zināšanu vērtēšanai

3.1.2.attēlā ir atspoguļots scenārijs [ANO 2006a] vispārīgai mijiedarbībai starp jēdzienu tīklos sakņotu zināšanu vērtēšanas sistēmu un tās diviem lietotājiem, kā arī uz aģentiem balstīta izstrādātās sistēmas arhitektūra [ANO 2006b]. Sistēmu vispārīgā līmenī var apskatīt kā daudzāģentu sistēmu, kas sastāv no programmatūras aģenta (pašas jēdzienu tīklos sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas) un diviem cilvēkiem-aģentiem (skolotāja un apmācāmā), kas komunicē ar programmatūras aģentu. Pašā sistēmā ir definēts intelektuāls aģents, kas vērtē apmācāmā tekošo zināšanu līmeni, un veido sistēmas intelekta kodolu. Tas sastāv no četriem aģentiem, kas tiek lietoti intelektuālās mācību sistēmās un ir aprakstīti promocijas darba 2.2.apakšnodaļā: komunikācijas, zināšanu vērtēšanas, mijiedarbības reģistrēšanas un eksperta aģentiem. Apmācāmais zināšanu vērtēšanas laikā risina uzdevumu, kas sistēmas kontekstā tiek definēts kā atsevišķas mācību kursa stadijas jēdzienu tīkla aizpildīšana vai izveidošana, izmantojot šim nolūkam piedāvāto jēdzienu kopu un/vai attieksmju aprakstošo frāžu kopu atkarībā no uzdevuma grūtības pakāpes. Komunikācijas aģents uztver apmācāmā darbības uz darba virsmas, t.i., jēdzienu tīkla elementu izvietojuma maiņu un klikšķināšanu uz darba logā piedāvātajām pogām. Tas arī atbild par jēdzienu tīkla struktūras un/vai tās elementu, ko saņem

no aģenta-eksperta, vizualizāciju, un par atgriezeniskās saites, kas pienāk no zināšanu vērtēšanas aģenta, izvadi. Pēc tam, kad apmācāmais ir apstiprinājis savu risinājumu, komunikācijas aģents nogādā apmācāmā jēdzienu tīklu zināšanu vērtēšanas aģentam, kas salīdzina apmācāmā un skolotāja jēdzienu tīklus un aprēķina apmācāmā iegūtos punktus. Turklāt, zināšanu vērtēšanas aģents veic statistiskās informācijas vākšanu un atgriezeniskās saites ģenerēšanu, kas tālāk tiek nogādāta atpakaļ komunikācijas aģentam. Mijiedarbības reģistrēšanas aģents saņem apmācāmā aizpildīto/izveidoto jēdzienu tīklu no komunikācijas aģenta un tā salīdzināšanas rezultātus ar skolotāja izveidoto tīklu no zināšanu vērtēšanas aģenta, un saglabā tos datu bāzē. Aģents-eksperts formē tekošās mācību stadijas uzdevumu, balstoties uz skolotāja izveidoto jēdzienu tīklu un apmācāmā darbības rezultātiem iepriekšējā stadijā. Izveidotā jēdzienu tīkla struktūra un/vai tās elementi tiek nogādāti komunikācijas aģentam to vizualizācijai uz darba virsmas. Aģents-eksperts arī nodod skolotāja izveidoto jēdzienu tīklu zināšanu vērtēšanas aģentam salīdzināšanai ar apmācāmā jēdzienu tīklu.



3.1.2.att. Jēdzienu tīklos sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas arhitektūra aģentu terminos

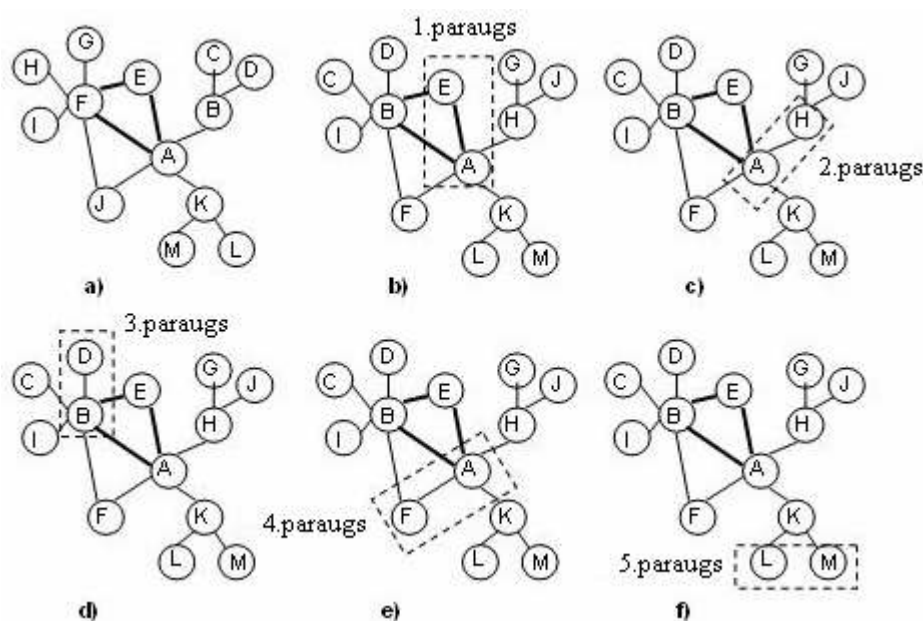
Zināšanu vērtēšanas aģents skolotāja un apmācāmā jēdzienu tīklu salīdzināšanai izmanto promocijas darbā izstrādāto algoritmu, kas ir jutīgs pret jēdzienu izvietojumu un spēj atpazīt dažādus apmācāmā risinājuma paraugus. Algoritms ir pielietojams jēdzienu tīkla struktūras aizpildīšanas uzdevumam, kurā netiek izmantotas attieksmju aprakstošās frāzes,

nav uzdots loku virziens un tiek atšķirtas svarīgas un mazāk svarīgas konceptuālas attieksmes, kur svarīgas attieksmes norāda, ka attieksmes starp atbilstošiem jēdzieniem tiek uzskatītas par svarīgām zināšanām mācību kursā, bet mazāk svarīgas attieksmes specificē vēlamās zināšanas. Pieņemot, ka pilnīgi pareizas attieksmes vērtība ir 100%, ir definēti šādi katras tās sastāvdaļas ieguldījumi:

- attieksmes esamība apmācāmā jēdzienu tīklā – 50% (apmācāmā izpratnei par attieksmes esamību starp jēdzienu pāri ir primāra nozīme);
- attieksmei ir norādīts pareizs tips – 30% (apmācāmajam ir jāprot atšķirt, kas ir svarīgs vai mazāk svarīgs mācību kursā);
- abi jēdzieni, starp kuriem ir definēta attieksme, atrodas pareizās vietās – 20% (šim faktoram ir vislielākā subjektivitāte).

Tādējādi, apmācāmā risinājumu paraugi (3.1.3.att.), ko algoritms spēj atpazīt, un kas veido zināšanu vērtēšanas aģenta zināšanu bāzi (3.1.2.att.), ir šādi [ANO 2006c, ANO 2006d]:

- 1.paraugs. Apmācāmais ir saistījis jēdzienus tāpat, kā tie ir saistīti skolotāja jēdzienu tīklā. Šajā gadījumā apmācāmais iegūst 5 punktus par katru svarīgu attieksmi un 2 punktus par katru mazāk svarīgu attieksmi.
- 2.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas neeksistē skolotāja jēdzienu tīklā. Šajā gadījumā viņš neiegūst punktus.



3.1.3.att. Apmācāmā risinājuma paraugi, ko spēj atpazīt sistēma: a) skolotāja izveidotais jēdzienu tīkls; b) – f) paraugi apmācāmā aizpildītajā jēdzienu tīklā

3.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, attieksmes tips ir pareizs, bet vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 80% no maksimālā punktu skaita.

4.paraugs. Apmācāmā definētā attieksme eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, attieksmes tips ir nepareizs, un vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 50% no maksimālā punktu skaita.

5.paraugs. Jēdziens atrodas nepareizā vietā, bet tā vietai nav būtiskas nozīmes. Apmācāmais saņem maksimālo punktu skaitu par attiecīgo attieksmi.

Statistiskā informācija, ko vāc zināšanu vērtēšanas aģents par apmācāmo jēdzienu tīklu atšķirībā no skolotāja jēdzienu tīkla, ietver sevī:

- tādu attieksmju sarakstu, kas ir apmācāmo jēdzienu tīklos, bet nav skolotāja tīklā (2.paraugs 3.1.3.attēlā);
- tādu attieksmju sarakstu, kas ir skolotāja jēdzienu tīklā, bet ir reti sastopamas apmācāmo jēdzienu tīklos;
- tādu attieksmju sarakstu, kas skolotāja jēdzienu tīklā ir definētas kā svarīgas, bet apmācāmie parasti tās izveido kā mazāk svarīgas (4.paraugs 3.1.3.attēlā, apskatot mazāk svarīgas attieksmes apmācāmā jēdzienu tīklā).

Zināšanu vērtēšanas aģents ir uz zināšanām balstīts aģents [RUS 2003], kura zināšanu bāze satur sevī zināšanas par to, kāds vērtējums ir jādod noteiktam apmācāmā risinājuma paraugam (3.1.3.att.). Šīs zināšanas ir atspoguļotas IF...THEN likumu formā:

```
IF (paraugs=X) AND (attieksmes_tips=Y) THEN punktu_skaits=Z,  
piemēram,
```

```
IF (paraugs=1) AND (attieksmes_tips=mazāk_svarīga_attieksme)  
THEN punktu_skaits=2,
```

```
IF (paraugs=3) AND (attieksmes_tips=svarīga_attieksme)  
THEN punktu_skaits=5*0.8.
```

Pārējie aģenti ir realizēti kā vienkārši reaktīvie aģenti [RUS 2003], t.i., tādi, kas momentāni atbild uz izmaiņām savā vidē. To programmas viennozīmīgi specificē visus iespējamus uztveres attēlojumus darbībā, un līdz ar to tiem nav paredzēta zināšanu bāze.

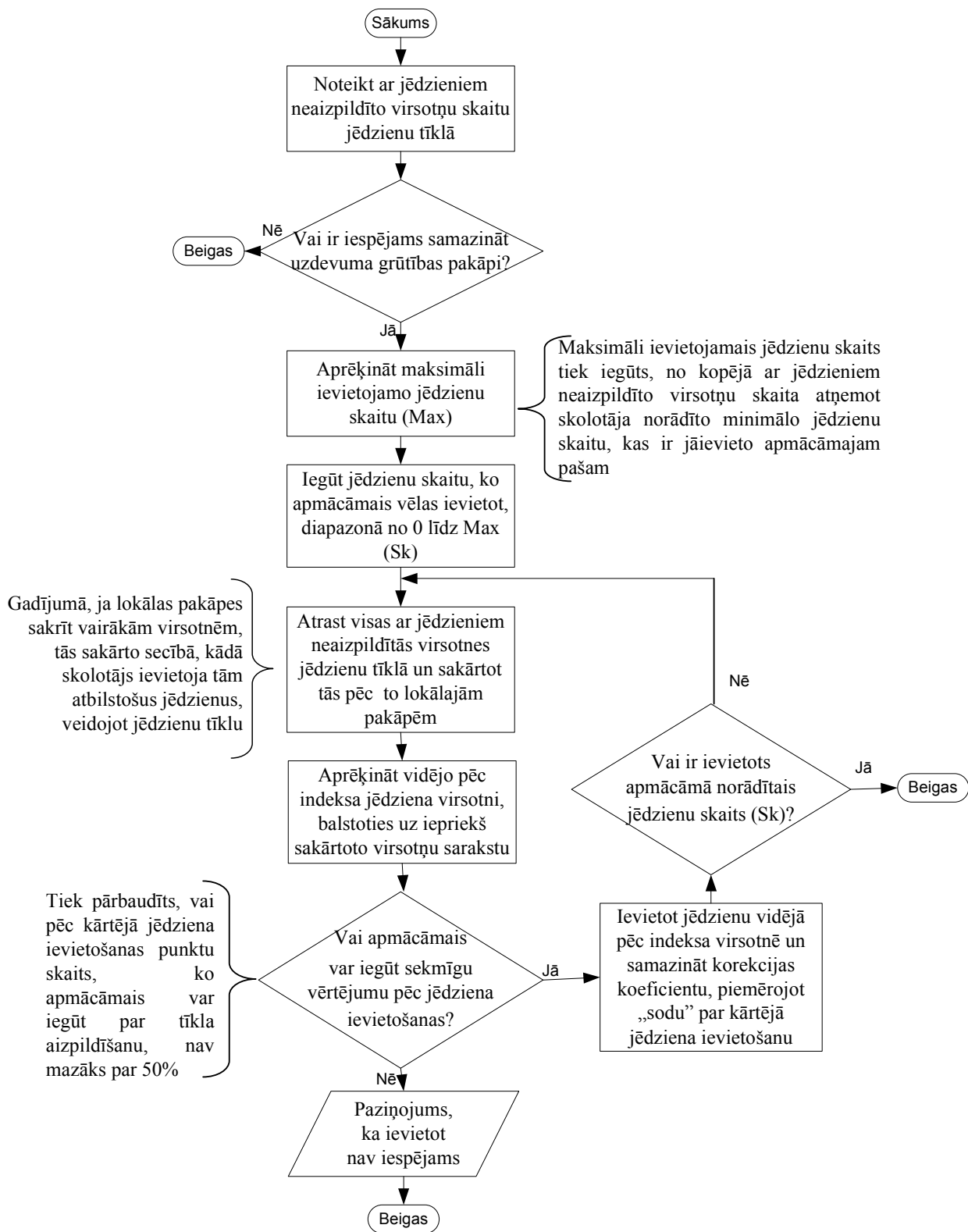
Promocijas darba izstrādes gaitā ir piedāvātas divas pieejas (3.1.1. un 3.1.2. apakšnodaļas), kas ļauj pilnīgāk novērtēt apmācāmo zināšanu līmeni, pamatojoties uz risināmā uzdevuma grūtības pakāpes maiņu. Šīs pieejas ir aprakstītas darbos [ANO 2006d, ANO 2007a, ANO 2007c, ANO 2007d].

3.1.1. Jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, ievietojot papildus jēdzienus

Pieejā, kas pamatojas uz uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, ievietojot papildus jēdzienus, apmācāmajam tiek piedāvāts tikai viena tipa uzdevums, kurā ir dota jēdzienu tīkla struktūra, ko iepriekš ir izveidojis skolotājs, un jēdzieni, kas tajā ir jāievieto. Pildot uzdevumu, apmācāmais var pieprasīt samazināt uzdevuma grūtības pakāpi. Šajā gadījumā sistēma ievieto papildus jēdzienus tīkla struktūrā, samazinot kopējo jēdzienu skaitu, kas ir jāievieto apmācāmajam. Šis process beidzas trīs gadījumos: a) apmācāmais ir beidzis uzdevuma izpildi; b) jēdzienu tīkla struktūrā ir palicis skolotāja norādītais minimālais jēdzienu skaits, kas apmācāmajam ir jāievieto pašam; c) ar nākošo sistēmas ievietojamo jēdzienu apmācāmajam zūd iespēja saņemt sekmīgu vērtējumu, t.i., pusi no punktiem.

Pēc tam, kad apmācāmais ir pieprasījis uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanu, notiek apmācāmā aizpildītā jēdzienu tīkla analīze, kuras rezultātā pilnīgi nepareizi ievietotie jēdzieni tiek izslēgti no tīkla un atgriezti kopējā jēdzienu sarakstā, atstājot jēdzienu tīkla struktūrā tikai pareizi vai daļēji pareizi (atbilstoši 3.1.3.attēla paraugiem) ievietotus jēdzienus. Jēdziens tiek uzskatīts par nepareizu, ja tam nav pareizu attieksmju ar citiem jēdzieniem vai tas atrodas nepareizā vietā, un vietai ir nozīme. Pēc tam sistēma ievieto papildus jēdzienus, balstoties uz algoritmu, kura blokshēma ir atspoguļota 3.1.1.1.attēlā [ANO 2007d]. Pēc šī algoritma darbojas 3.1.2.attēlā atspoguļotais aģents-eksperts. Ievietojamo jēdzienu izvēles pamatā ir uz doto brīdi jēdzienu tīkla struktūrā esošo ar jēdzieniem neaizpildīto virsotņu lokālās pakāpes, t.i., sistēma ievieto jēdzienus ar vidējo lokālo pakāpi, tādējādi atvieglojot turpmāko uzdevuma izpildi.

Šajā pieejā jēdzienu tīkla struktūras izskats, sākot uzdevuma izpildi, ir atkarīgs no mācību stadijas. Pirmajā stadijā apmācāmais saņem tukšu jēdzienu tīkla struktūru ar dažiem skolotāja definētiem un ievietotiem sākotnējiem jēdzieniem. Pārējās stadijās jēdzienu tīkla struktūra tiek paplašināta ar jauniem jēdzieniem un attieksmēm un satur sevī ne tikai skolotāja definētos sākotnējos jēdzienus, bet arī jēdzienus, ko apmācāmais ir pareizi vai daļēji pareizi (atbilstoši 3.1.3.attēla paraugiem) ievietojis iepriekšējās stadijās, vai ir ievietojusi sistēma, samazinot uzdevuma grūtības pakāpi iepriekšējās stadijās.



3.1.1.1.att. Papildus jēdzien ievietošanas algoritma blokshēma

Šajā pieejā apmācāmā iegūtos punktus par uzdevuma izpildi aprēķina, izmantojot šādu sakarību [ANO 2007d]:

$$P = \left(\sum_{i=1}^n p_i * c_i \right) * (1 - c_s * s - \sum_{i=1}^j (a + \Delta * (i - 1) / m) / m) \quad (3.1.1.1)$$

kur P - apmācāmā iegūtie punkti par jēdzienu tīkla aizpildīšanu;

p_i - punktu skaits, kas atbilst i-tās attieksmes tipam (5 punkti par katru svarīgu attieksmi un 2 punkti par katru mazāk svarīgu attieksmi);

c_i - koeficients, kas atbilst attieksmes pareizības pakāpei (pamatojoties uz apmācāmā risinājuma paraugiem 3.1.3.attēlā);

n- attieksmju skaits jēdzienu tīklā;

c_s - „sods” par katru grūtības pakāpes samazināšanas reizi;

s- grūtības pakāpes samazināšanas reižu skaits;

a- „sods” par pirmā jēdziena ievietošanu;

j- sistēmas papildus ievietoto jēdzienu skaits;

m- kopējais jēdzienu skaits jēdzienu tīklā;

Δ - „soda” palielinājums par katra nākošā jēdziena ievietošanu.

Sistēmas realizācijai empīriskā ceļā, veicot 13 dažādu jēdzienu tīklu analīzi, tika izvēlētas šādas koeficientu vērtības: $c_s=0.01$, $a=0.07$ un $\Delta =1.5$, pamatojoties uz apsvērumu, ka apmācāmais varētu likt sistēmai ievietot aptuveni 35% jēdzienu un saņemt pozitīvu vērtējumu, ja pārējie jēdzieni ir ievietoti pareizi.

3.1.2. Jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, piedāvājot dažādu veidu uzdevumus

Šī pieeja uzdevuma grūtības pakāpes maiņai jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā paredz vairāku dažāda tipa uzdevumu ieviešanu, kuri atšķiras viens no otra pēc grūtības pakāpes. Pētījumu rezultātā tika izvēlēti pieci uzdevumi [ANO 2007a, ANO 2007c], kas ļauj nodrošināt savā starpā loģiskas un realizējamās pārejas, un aptver gan jēdzienu tīkla aizpildīšanas, gan izveides uzdevumus. Šie uzdevumi ir sakārtoti no vieglākā uz grūtāko (3.1.2.1.tabula), ņemot vērā to, kāda informācija apmācāmajam ir dota, un kas viņam pašam ir jāizdara.

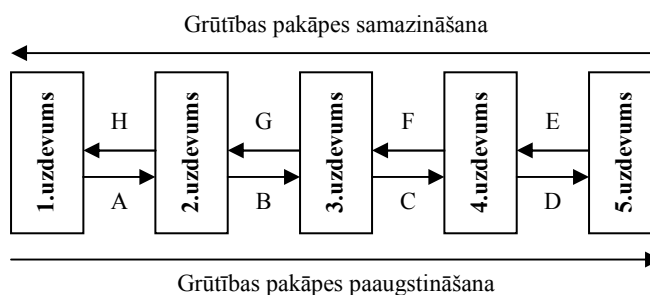
Tīkla struktūras izskats, sākot uzdevuma izpildi, ir atkarīgs no mācību stadijas. Pirmajā stadijā apmācāmais saņem tās grūtības pakāpes uzdevumu (pēc numura 3.1.2.1.tabulā), kuru skolotājs ir norādījis kā sākotnējo grūtības pakāpi. Pildot uzdevumu, apmācāmais var pieprasīt samazināt uzdevuma grūtības pakāpi. Šajā gadījumā notiek pāreja, samazinot par vienu pildāmā uzdevuma numuru atbilstoši 3.1.2.1.tabulai, izņemot pirmo uzdevumu.

Uzdevumi jēdzienu tīklos sakņotai zināšanu vērtēšanas sistēmai ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu

Uzdevuma tips	Uzdevuma numurs	Jēdzienu tīkla struktūra	Attieksmju aprakstošās frāzes	Jēdzieni	Grūtības pakāpe
Jēdzienu tīkla aizpildīšana	1	Ir dota	Ir ievietotas jēdzienu tīkla struktūrā	Jāievieto apmācāmajam	Visvieglākā ↓ Visgrūtākā
	2	Ir dota	Netiek izmantotas	Jāievieto apmācāmajam	
	3	Ir dota	Jāievieto apmācāmajam	Jāievieto apmācāmajam	
Jēdzienu tīkla izveide	4	Nav dota	Netiek izmantotas	Jāsaista apmācāmajam	
	5	Nav dota	Jāievieto apmācāmajam	Jāsaista apmācāmajam	

Pārējās stadijās uzdevuma grūtības pakāpe ir atkarīga no iepriekšējā stadijā sasniegtā rezultāta. Ja apmācāmais, darbojoties kādā grūtības pakāpē un nesamazinot to, ir sasniedzis vismaz skolotāja norādīto minimālo punktu skaitu, tad nākošajā stadijā grūtības pakāpe viņam tiek palielināta, t.i., uzdevuma numurs kļūst par vienu lielāks atbilstoši 3.1.2.1.tabulai. Pretējā gadījumā grūtības pakāpe paliek nemainīga. Šis process turpinās, kamēr tiek sasniegta visaugstākā uzdevuma grūtības pakāpe, vai apmācāmais ir izpildījis visu mācību kursa stadiju uzdevumus.

Tādējādi, kopumā starp uzdevumiem ir 8 pārejas (3.1.2.1.att.) [ANO 2007c]. Pārejas A, B, C un D paaugstina grūtības pakāpi, un tās var tikt izpildītas tikai pēc tam, kad apmācāmais ir apstiprinājis uzdevuma izpildi, viņa aizpildītais vai izveidotais jēdzienu tīkls ir salīdzināts ar skolotāja jēdzienu tīklu un ir konstatēts, ka apmācāmais ir sasniedzis vismazā minimālo nepieciešamo punktu skaitu. Šīs pārejas ir sistēmas adaptīva reakcija uz apmācāmā darbībām. Pārejas E, F, G un H samazina grūtības pakāpi, un tās var tikt realizētas uzdevuma izpildes laikā, saņemot apmācāmā pieprasījumu. Tādējādi, šīs pārejas ir apmācāmā apzināta izvēle.



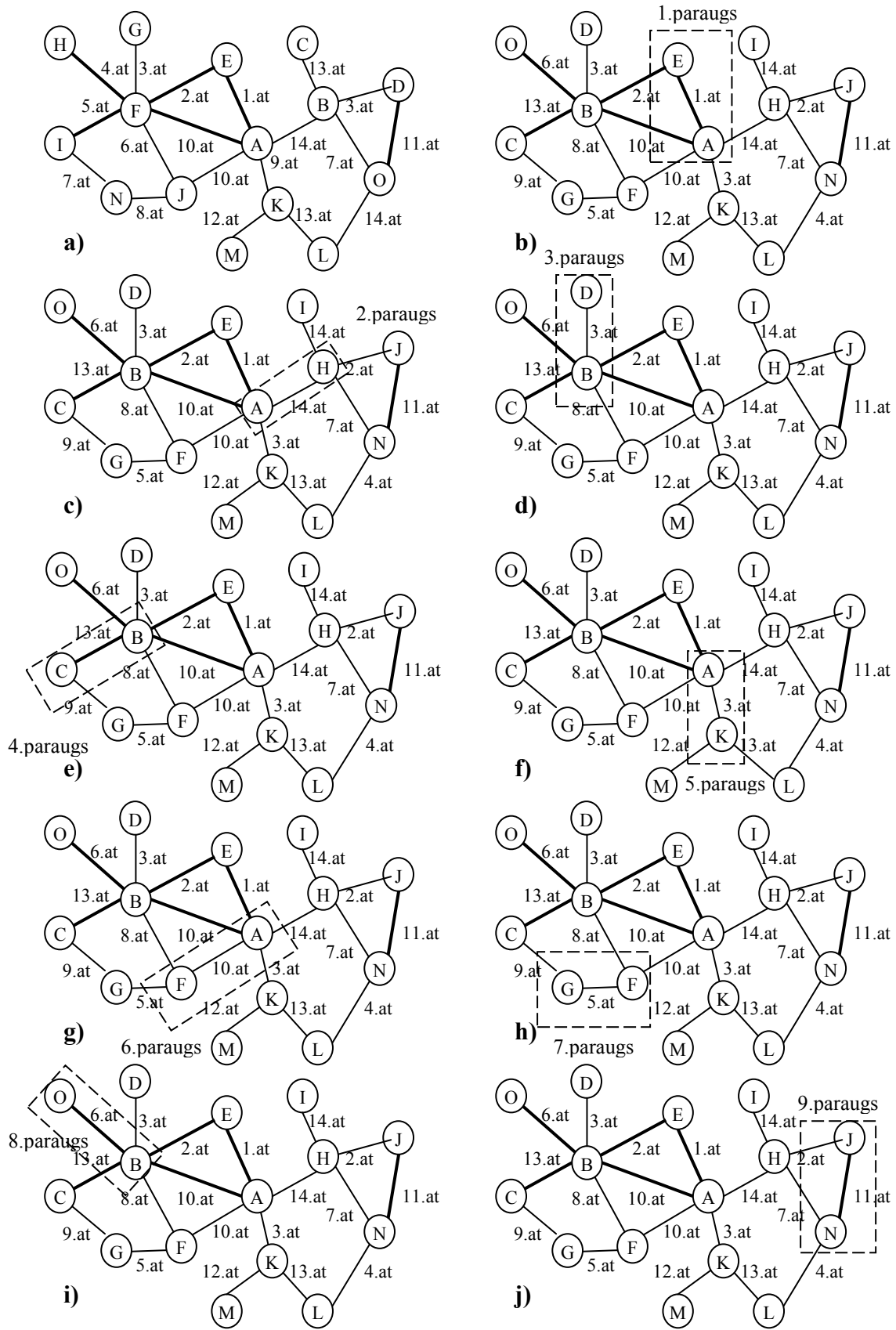
3.1.2.1.att. Pārejas starp uzdevumiem

Šajā pieejā jauna tipa uzdevumu ieviešanas dēļ ir papildināta apmācāmā risinājumu paraugu kopa (3.1.3.att.), ko sistēma spēj atpazīt, kā arī ir modificēti par katru paraugu saņemamie punkti. Pieņemot, ka pilnīgi pareizas attieksmes vērtība ir 100%, ir definēti šādi katras tās sastāvdaļas ieguldījumi:

- attieksmes esamība apmācāmā jēdzienu tīklā – 40% (apmācāmā izpratnei par attieksmes esamību starp jēdzienu pāri ir primāra nozīme);
- attieksmei ir norādīta pareiza attieksmi aprakstošā frāze – 30% (attieksmes semantika izsaka svarīgas zināšanu vienības);
- attieksmei ir norādīts pareizs tips – 20% (apmācāmajam ir jāprot atšķirt, kas ir svarīgs vai mazāk svarīgs mācību kursā);
- abi jēdzieni, starp kuriem ir definēta attieksme, atrodas pareizās vietās – 10% (šim faktoram ir vislielākā subjektivitāte).

Tādējādi, papildinātā apmācāmā risinājumu paraugu kopa (3.1.2.2.att.0 un atbilstošā 3.1.2.attēlā atspoguļotā zināšanu vērtēšanas aģenta zināšanu bāze ir šāda [ANO 2007c]:

- 1.paraugs. Apmācāmais ir definējis pilnīgi pareizu attieksmi. Šajā gadījumā apmācāmais iegūst 5 punktus par katru svarīgu attieksmi un 2 punktus par katru mazāk svarīgu attieksmi.
- 2.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas neeksistē skolotāja jēdzienu tīklā. Šajā gadījumā viņš neiegūst punktus.
- 3.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, attieksmes tips un tās aprakstošā frāze ir pareizi, bet vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 90% no maksimālā punktu skaita.
- 4.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet tikai tās tips ir nepareizs. Apmācāmais iegūst 80% no maksimālā punktu skaita. Šis paraugs ir raksturīgs tikai uzdevumiem, kuros apmācāmajam pašam ir jāizveido jēdzienu tīkls (4. un 5.uzdevums 3.1.2.1.tabulā), un tādējādi jēdzienu vieta netiek ņemta vērā.
- 5.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet ir norādījis nepareizu attieksmi aprakstošo frāzi. Apmācāmais iegūst 70% no maksimālā punktu skaita.



3.1.2.2.att. Apmācāmā risinājuma paraugi, ko spēj atpazīt sistēma: a) skolotāja izveidotais jēdzienu tīkls; b) – j) paraugi apmācāmā jēdzienu tīklā (loku numerācija atspoguļo dažādas konceptuālās attieksmes)

6.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet attieksmes tips ir nepareizs un vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 70% no maksimālā punktu skaita.

7.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet attieksmi aprakstošā frāze ir nepareiza un vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 60% no maksimālā punktu skaita.

8.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet attieksmi aprakstošā frāze un tips ir nepareizi. Apmācāmais iegūst 50% no maksimālā punktu skaita. Šis paraugs ir raksturīgs tikai uzdevumiem, kuros apmācāmajam pašam ir jāizveido jēdzienu tīkls (4. un 5. uzdevums 3.1.2.1.tabulā), un tādējādi jēdzienu vieta netiek ņemta vērā.

9.paraugs. Apmācāmais ir definējis attieksmi, kas eksistē skolotāja izveidotajā jēdzienu tīklā, bet attieksmi aprakstošā frāze un tips ir nepareizi, kā arī vismaz viens jēdziens atrodas nepareizā vietā. Apmācāmais iegūst 40% no maksimālā punktu skaita.

Šajā pieejā apmācāmo zināšanu vērtēšanai tiek izmantota šāda formula [ANO 2007c]:

$$P = \sum_{i=1}^n lk_i * p_i * c_i, \quad (3.1.2.1)$$

kur P- apmācāmā iegūtie punkti par uzdevuma izpildi;

lk_i - uzdevuma grūtības pakāpes koeficients;

p_i - punktu skaits, kas atbilst i-tās attieksmes tipam (5 punkti par katru svarīgu attieksmi un 2 punkti par katru mazāk svarīgu attieksmi);

c_i - koeficients, kas atbilst attieksmes pareizības pakāpei (pamatojoties uz apmācāmā risinājuma paraugiem 3.1.2.2.attēlā);

n- attieksmju skaits jēdzienu tīklā.

Sakarā ar to, ka sistēmā ir paredzēta iespēja mainīt uzdevuma grūtības pakāpi, tekošās zināšanu vērtēšanas stadijas jēdzienu tīkls var saturēt sevī attieksmes, kas tika definētas iepriekšējās stadijās, pildot uzdevumus dažādās grūtības pakāpēs. Tieši tādēļ koeficients lk_i tiek definēts katrai attieksmei atsevišķi, nevis uzdevumam kopumā. Empīriskā ceļā, veicot 10 dažādu jēdzienu tīklu analīzi, tika iegūtas šādas uzdevuma grūtības pakāpes koeficienta vērtības: 5.uzdevums – 1, 4.uzdevums – 0.71, 3.uzdevums – 0.89, 2.uzdevums – 0.65, un 1.uzdevums – 0.67.

3.2. Eksperimentālās pārbaudes rezultāti

2006.gada rudenī tika realizēti divi jēdzienu tīklos sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas prototipi, katrs no kuriem īsteno atšķirīgu pieeju uzdevuma grūtības pakāpes maiņai. Abi prototipi tika novērtēti mācībuursos un studentiem, kas piedalījās novērtēšanā, tika piedāvāts aizpildīt aptaujas lapas. Aptaujas mērķis bija noskaidrot studentu viedokli par izvēlēto pieeju zināšanu vērtēšanai, uzdevuma grūtības pakāpes maiņas iespējas izmantošanu un lietderību, kā arī iegūt informāciju par izstrādāto sistēmas prototipu priekšrocībām, trūkumiem un nepilnībām.

Sistēmas prototips, kas īstenoja uzdevuma grūtības pakāpes maiņu ar papildus jēdzienu ievietošanu, tika novērtēts 4 mācībuursos. Kopumā 44 studenti piedalījās tā izmēģināšanā un 35 no viņiem aizpildīja aptaujas lapu. Pamatā studentiem bija grūti aizpildīt jēdzienu tīklus (21 (60%) studentam bija grūti un 4 ($\approx 11\%$) studentiem ļoti grūti). Taču tikai mazāk par vienu trešdaļu (10 ($\approx 28.5\%$) studenti) apmācāmo izmantoja sistēmas piedāvāto iespēju samazināt uzdevuma grūtības pakāpi. Pārējie apmācāmie savās atbildēs skaidroja, ka nevēlas, lai viņu vērtējums tiktu samazināts. Taču 80% (8 cilvēki) respondentu no tiem, kas samazināja grūtības pakāpi, atzīmēja, ka tas atvieglo tālāko uzdevuma izpildi.

Sistēmas prototips, kas īstenoja uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, piedāvājot dažādu veidu uzdevumus, tika novērtēts vienā mācību kursā. Prototipa novērtēšanai tika izmantots trīs stadiju jēdzienu tīkls, ko promocijas darba autore ir izstrādājusi patstāvīgi. Kopumā 30 studenti tika iesaistīti eksperimentālā pārbaudē un 28 no viņiem pēc zināšanu vērtēšanas pabeigšanas aizpildīja piedāvāto aptaujas lapu. Arī šajā gadījumā studentiem bija grūti strādāt ar jēdzienu tīkliem (16 cilvēki jeb $\approx 57\%$). Viņi to skaidroja ar to, ka šāda vērtēšanas metode netiek pielietota citos mācībuursos un līdz ar to ir nepierasta, kā arī ar to, ka ir nepieciešams aktivizēt domāšanas procesus. Divpadsmit ($\approx 43\%$) studenti no tiem, kam bija grūti aizpildīt jēdzienu tīklos sakņotus uzdevumus, izmantoja sistēmas piedāvāto iespēju samazināt uzdevuma grūtības pakāpi. Pārējie nevēlējās samazināt kopējo vērtējumu par uzdevuma izpildi. No tiem, kas samazināja grūtības pakāpi, 9 (75%) respondenti norādīja, ka tas atviegloja tālāko uzdevuma izpildi, un 3 (25%) studenti tam nepiekrita. Savukārt, kopumā 11 ($\approx 92\%$) studenti uzskatīja, ka pēc uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanas viņiem tika piedāvāts vieglāks uzdevums. Gandrīz trešajai daļai studentu no kopējā skaita (9 respondenti jeb $\approx 32\%$) uzdevuma grūtības pakāpe tika paaugstināta, veiksmīgi izpildot iepriekšējā posma uzdevumu. Pie tam 8 ($\approx 89\%$) no šiem studentiem uzskatīja, ka tika piedāvāts sarežģītāks

uzdevums, it īpaši ja bija nepieciešams pašam veidot savu jēdzienu tīklu. Tas ļauj secināt, ka sistēmā realizētās pārejas starp uzdevumiem ir loģiskas.

3.3. Secinājumi

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Ir izstrādātā intelektuāla jēdzienu tīklos sakņota zināšanu vērtēšanas sistēma, kas savā uzbūvē un darbībā balstās uz aģentu paradigmu un ietver sevī reaktīvus un uz zināšanām balstītus aģentus, kā arī veic zināšanu vērtēšanu līmenī, kas nav sliktāks par cilvēka-skolotāja līmeni, izmantojot šim nolūkam algoritmu, kas spēj atpazīt vairākus apmācāmā risinājumu paraugus, nevis veic pārbaudi uz precīzu attieksmju sakrišanu skolotāja un apmācāmā jēdzienu tīklos.
- Sistēma, kas pamatojas uz uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, piedāvājot dažāda tipa jēdzienu tīklos sakņotus uzdevumus, realizē adaptīvu uzdevuma grūtības pakāpes paaugstināšanu, ja apmācāmais ir izpildījis tekošo uzdevumu, nemainot tā grūtības pakāpi.
- Sistēmu prototipu eksperimentālās pārbaudes rezultāti ļauj secināt, ka uzdevuma grūtības pakāpes maiņa jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā ir lietderīga funkcija.
- Izstrādātā sistēma atbalsta sistemātisku zināšanu vērtēšanu.
- Sistēma var arī tikt izmantota apmācāmo zināšanu pašvērtēšanai, ja skolotājs to ir paredzējis, jo sistēma automātiski vērtē apmācāmo jēdzienu tīklus un sniedz atgriezenisko saiti, ļaujot apmācāmajiem redzēt savas kļūdas un nepilnības.
- Izstrādātā sistēma atbalsta tādu skolotāja vienatnē veicamu aktivitāti kā mācību kursa uzlabošana, jo nodrošina statistiskās informācijas vākšanu par apmācāmo jēdzienu tīklu atšķirībām no skolotāja tīkla.

Izstrādātā jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēma ir tapusi Latvijas Izglītības un Zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes finansēto projektu F6962 „Intelektuāla sistēma procesu orientētas studiju efektivitātes analīzes atbalstam” (projekta vadītājs J.Grundspeņķis, 2005.gads) un U7117 “Jēdzienu tīklu un ontoloģiju balstīta intelektuāla sistēma studentu zināšanu pašvērtēšanai un procesu orientētai zināšanu pārbaudei” (projekta vadītājs J.Grundspeņķis, 2006.gads) ietvaros. Darba autore patstāvīgi ir izstrādājusi sistēmas un lietotāju mijiedarbības scenāriju, algoritmu jēdzienu tīklu salīdzināšanai, uz aģentiem balstītu sistēmas realizāciju un pieejas uzdevuma grūtības pakāpes

maiņai, kā arī kopā ar citiem projektu dalībniekiem piedalījusies jēdzienu tīklu izveides procedūras, atgriezeniskās saites un vērtēšanas mehānismu definēšanā un aptaujas lapu izstrādē. Sistēmas praktisko (programmatūras) realizāciju minēto projektu ietvaros ir veikuši RTU Sistēmu teorijas un projektēšanas katedras maģistranti Dmitrijs Pozdņakovs un Egons Lavendelis. Darba autore ir izstrādājusi 3 stadiju jēdzienu tīklu tēmai „Minimaksa algoritms divpersonu spēļu realizācijai” mācību kursā „Mākslīgā intelekta pamati” (atbildīgais pasniedzējs J.Grundspenķis, RTU Sistēmu teorijas un projektēšanas katedra). Šis tīkls tika piedāvāts studentu zināšanu vērtēšanai, veicot sistēmu prototipu eksperimentālu pārbaudi.

Izstrādātajai sistēmai ir trīs atšķirīgas iezīmes salīdzinājumā ar citām jēdzienu tīklos sakņotām zināšanu vērtēšanas sistēmām. Pirmkārt, sistēma izmanto jaunu, autores izstrādātu algoritmu, kas ir jutīgs pret jēdzienu izvietojumu un to saistību, salīdzinot skolotāja un apmācāmo jēdzienu tīklus. Otrkārt, sistēma nodrošina uz jēdzienu tīklu balstītu uzdevuma grūtības pakāpes maiņu. Treškārt, sistēma ļauj skolotājam paplašināt sākotnēji izveidoto jēdzienu tīklu jaunai vērtēšanas stadijai, tādējādi atbalstot sistemātisku zināšanu vērtēšanu.

Galvenie jaunie teorētiskie rezultāti ir, pirmkārt, darba autores izstrādātais algoritms, skolotāja un apmācāmo jēdzienu tīklu salīdzināšanai, un, otrkārt, abas definētās un realizētās pieejas uz jēdzienu tīklu balstītu uzdevumu grūtības pakāpes maiņai, kas līdz šim nav aprakstītas citos darbos un realizētas citās zināmajās sistēmās. Teorētiskie rezultāti ir praktiski realizēti jēdzienu tīklos sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas divos prototipos.

4. INTELEKTUĀLA MĀCĪBU SISTĒMA MINIMAKSA ALGORITMAM

Ņemot vērā 2.nodaļā aprakstītos intelektuālu mācību sistēmu trūkumus, kas ir saistīti ar adaptīva atbalsta nodrošināšanu laikā, kad apmācāmais risina praktiskos uzdevumus, promocijas darbā ir piedāvāta pieeja, kas ietver sevī divus praktisko uzdevumu risināšanas režīmus un adaptīvu mājienu izsniegšanu, izmantojot mājienu divlīmeņu modeli. Šajā nodaļā ir izklāstīta izstrādātā pieeja, ir aprakstītas šīs pieejas realizācijas detaļas intelektuālas mācību sistēmas prototipā „MINIMA” un šī prototipa eksperimentālās pārbaudes rezultāti.

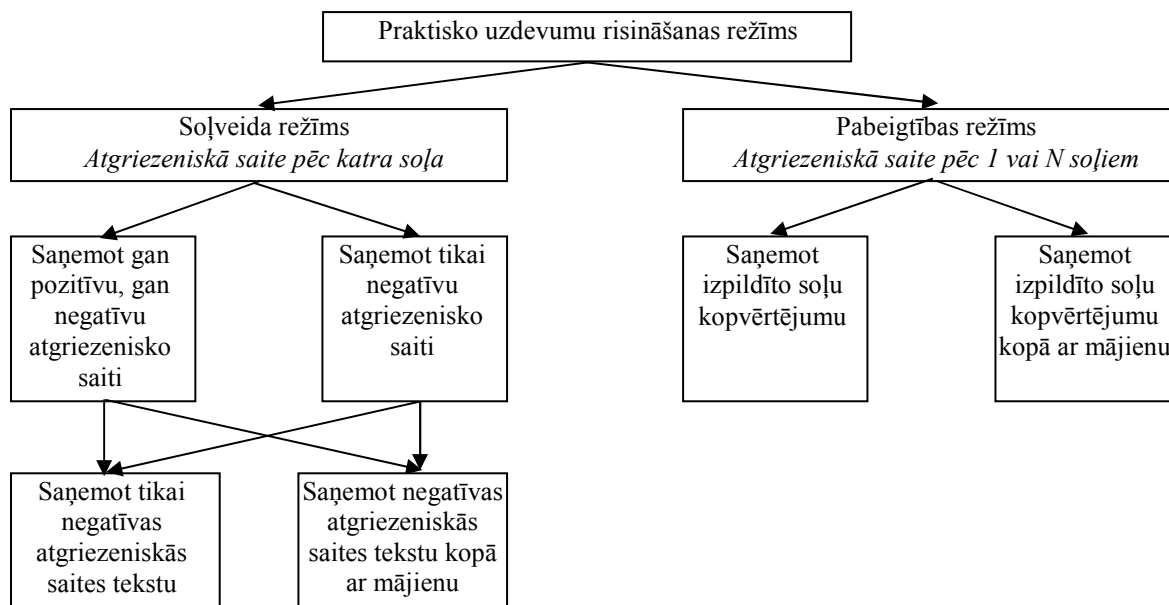
4.1. Sistēmas koncepcija

Vispārīgā gadījumā intelektuālā mācību sistēmā var nodrošināt divus režīmus problēmu risināšanai [ANO 2007b, ANO 2007e]: soļveida režīmu, kurā sistēma novēro katru apmācāmā problēmas risināšanas soli un sniedz atgriezenisko saiti par tā pareizību, un pabeigtības režīmu, kurā apmācāmais pats izvēlas atgriezeniskās saites saņemšanas brīžus ar mērķi

pārbaudīt izpildīto soļu virkni. Aprakstītie režīmi var tikt realizēti tikai tad, ja problēmas risinājuma atrašana sastāv no vairākiem soļiem. Ir acīmredzams, ka soļa nozīme ir atkarīga no problēmsfēras uzdevuma specifikas.

Abi režīmi ir sadalāmi sīkāk, ņemot vērā apmācāmajam izvadāmās informācijas veidu, ko var redzēt 4.1.1.attēlā [ANO 2007b, ANO 2007d]. Pozitīva atgriezeniskā saite jeb balva tiek dota apmācāmajam, ja viņš ir izpildījis pareizu soli. Ja solis ir bijis nepareizs, apmācāmajam tiek izvadīta kritika jeb negatīva atgriezeniskā saite. Pabeigtības režīmā apmācāmais nesaņem uzslavu vai kritiku pēc katra izpildītā soļa. Pretēji tam, viņam tiek izvadīts kopvērtējums visām izpildītajām darbībām, kas norāda, cik tālu apmācāmais atrodas no pareiza problēmas risinājuma.

Ir acīmredzams, ka sistēmā, kas realizē aprakstītos uzdevumu risināšanas režīmus, ir jāparedz iespēja apmācāmajam pēc viņa vēlmes pašam mainīt gan režīmu, gan atgriezeniskās saites veidu, kā arī jānodrošina mājienu pieprasīšana tad, kad viņš saņem tikai negatīvas atgriezeniskās saites tekstu vai darbību kopvērtējumu. Turklāt, pirms apmācāmais sāk risināt praktiskās problēmas, ir jāveic viņam piemērota uzdevumu risināšanas režīma un atgriezeniskās saites veida noteikšana. Visvienkāršākajā gadījumā apmācāmajam var tikt piedāvāts pašam veikt savu izvēli, pamatojoties uz sistēmas sniegtajiem uzdevumu risināšanas režīmu un atgriezeniskās saites veidu skaidrojumiem. Sarežģītākajā gadījumā ir jāizstrādā uzdevumu vai jautājumu virkne, uz kuriem doto risinājumu vai atbilžu analīze ļauj noteikt apmācāmajam vispiemērotāko uzdevumu risināšanas režīmu un atgriezeniskās saites veidu.

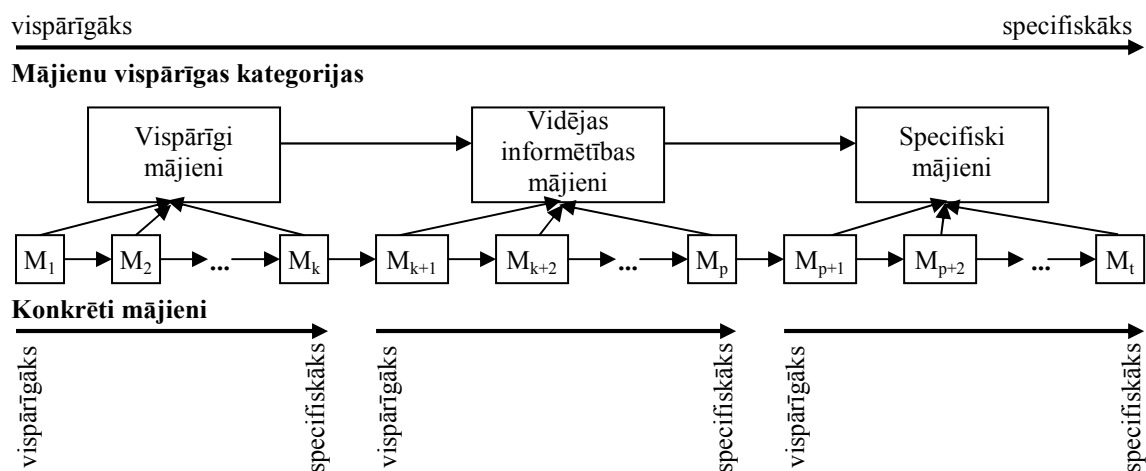


4.1.1.att. Praktisko uzdevumu risināšanas režīmu un atgriezeniskās saites veidu shēma

Lai atbalstītu adaptīvu mājienu izsniegšanu gan solņveida, gan pabeigtības praktisko uzdevumu risināšanas režīmā, promocijas darbā ir izstrādāts mājienu divlīmeņu modelis [ANO 2006e], kas ietver sevī mājienu vispārīgu kategoriju līmeni un konkrētu mājienu līmeni vispārīgu kategoriju iekšienē (4.1.2.att.). Kopumā ir trīs vispārīgas mājienu kategorijas [ANO 2007e]:

- specifiski mājienu tiešā veidā parāda vai pasaka, ko darīt, vai atsaucas uz kādu iepriekš izpildītu apmācāmā darbību, no kuras var secināt, kur ir kļūda, un kā to var izlabot;
- vidējas informētības mājienu netiešā veidā norāda uz apmācāmā kļūdu un iespējām to izlabot, piedāvājot, piemēram, kļūdas pamatā esoša jēdziena definīciju;
- vispārīgi mājienu satur informāciju, kas abstraktā formā norāda uz kļūdainu darbību, un ir vajadzīgas augsta līmeņa zināšanas, lai sameklētu kļūdas vietu un noteiktu darbības tās izlabošanai.

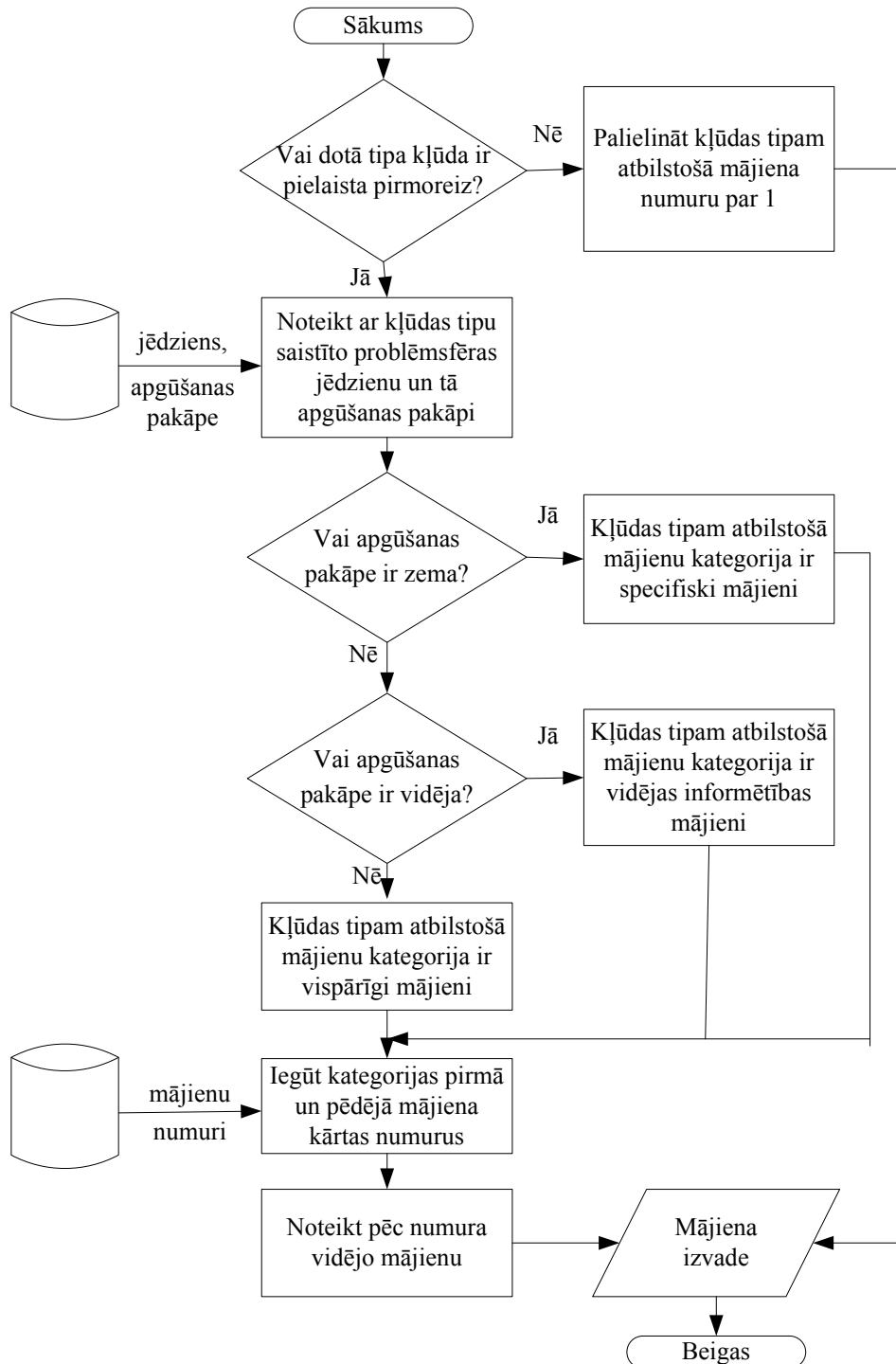
Katra kategorija satur vienu vai vairākus mājienu, kas arī ir sakārtoti diapazonā no vispārīgākā uz specifiskāko.



4.1.2.att. Mājienu divlīmeņu modelis

Piedāvātais mājienu divlīmeņu modelis prasa noteikt apmācāmā zināšanu līmeni pirms modeļa izmantošanas. Te ir svarīgi atzīmēt, ka modelis pamatojas uz apgalvojumu, ka jebkura praktiska uzdevuma pamatā parasti ir viens vai vairāki problēmsfēras jēdzieni. Kļūda, ko pieļauj apmācāmais, risinot uzdevumu, ir saistīta ar vājām zināšanām par vienu no šiem jēdzieniem. Tas prasa noteikt katra jēdziena, uz kuriem balstās sistēmas uzdevumi, apgūšanas pakāpi. Šim nolūkam var izmantot jebkuru zināšanu novērtēšanas metodi, kas ļauj apgūšanas pakāpi definēt, izmantojot trīs vērtības: zema, vidēja un augsta.

Mājienu divlīmeņu modeļa izmantošanai intelektuālā mācību sistēmā ir izstrādāts kārtējā mājienu izsniegšanas algoritms (4.1.3.att.) [ANO 2007e], kas pamatojas uz tā jēdziena apgūšanas pakāpi, kurš ir kļūdas pamatā.

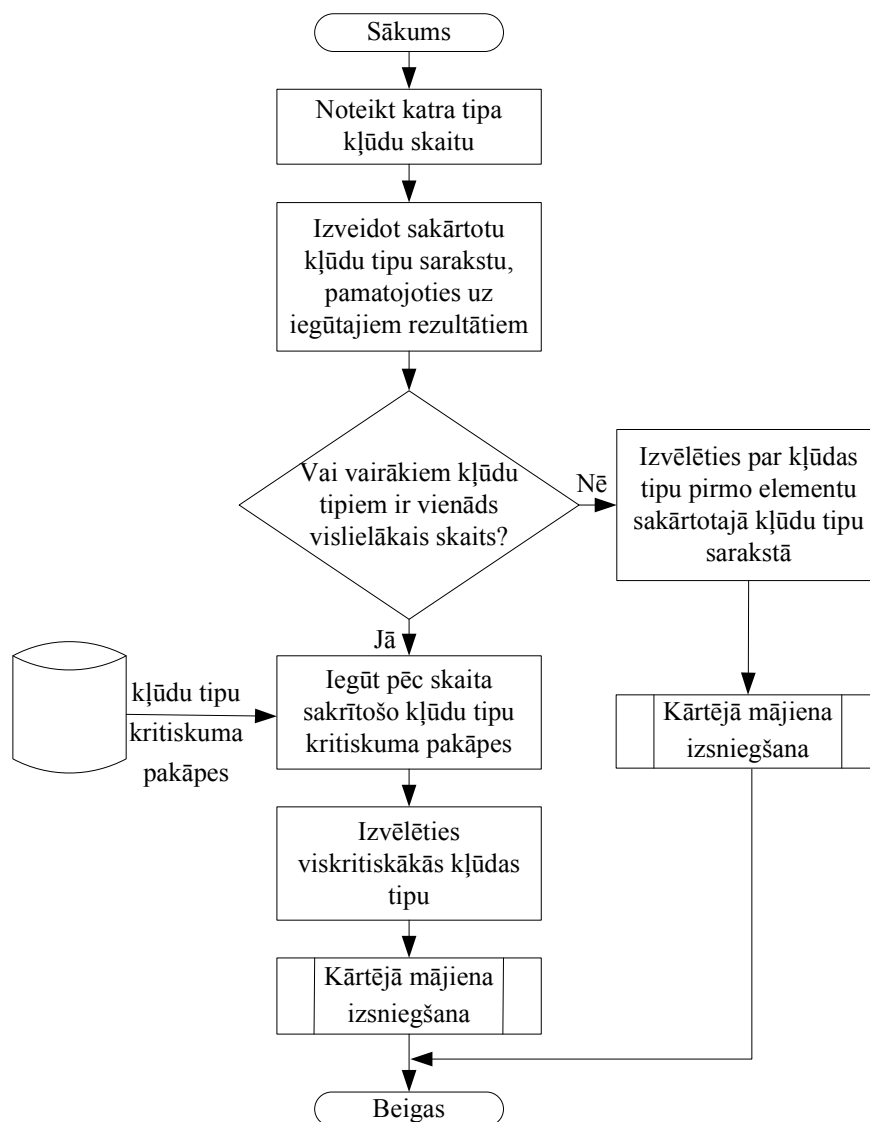


4.1.3.att. Kārtējā mājienu izsniegšanas algoritma blokhēma

Atbilstoši algoritmam, jēdziena apgūšanas pakāpes vērtība nosaka apmācāmajam piemērotu mājienu kategoriju. Tālāk apmācāmajam tiek dots viņam piemērotas kategorijas

pēc numura vidējais mājiens. Gadījumā, ja pēc mājienu saņemšanas apmācāmais joprojām darbojas nepareizi, atkārtoti pieļaujot to pašu kļūdu, tad viņš saņem pēc numura nākošo mājienu. Šis process turpinās, apmācāmajam virzoties uz arvien specifiskākiem mājienu cauri kategorijām, kamēr netiek sasniegts pēdējais šī tipa kļūdai atbilstošais mājiens.

Pastāv zināma atšķirība starp mājienu divlīmeņu modeļa izmantošanu soļveida un pabeigtības praktisko uzdevumu risināšanas režīmos. Pabeigtības režīmā mājiens tiek dots pēc noteikta soļu skaita izpildes. Izpildītie soļi var būt gan pareizi, gan nepareizi. Turklāt, kļūdaini soļi var attiekties uz dažādiem kļūdu tipiem. Tādējādi, pirms mājienu divlīmeņu modeļa izmantošanas ir nepieciešams noteikt to kļūdas tipu, par kuru apmācāmajam tiks dots mājiens. Šim mērķim promocijas darbā ir izstrādāts kļūdas tipa noteikšanas algoritms, kura blokshēma ir atspoguļota 4.1.4.attēlā [ANO 2007e]. Tas pamatojas uz kļūdu kritiskuma pakāpēm.



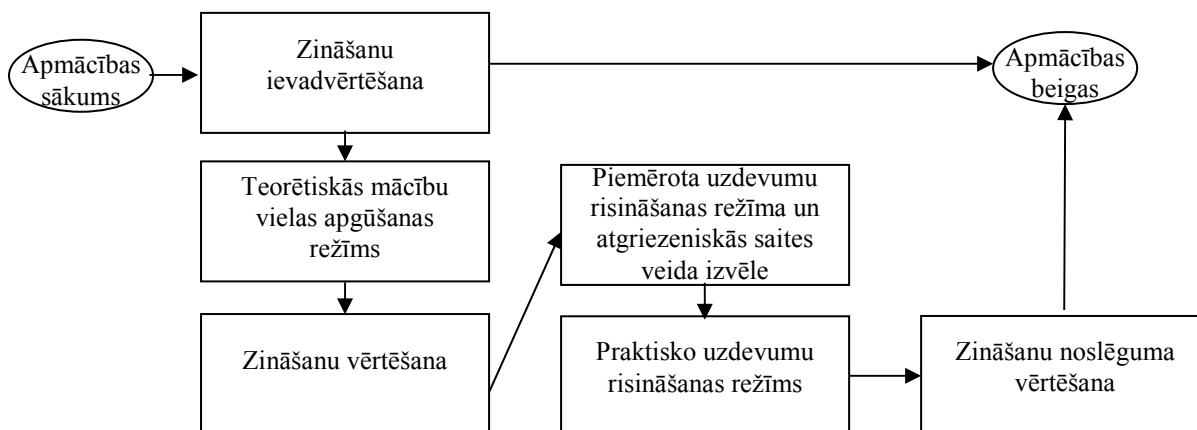
4.1.4.att. Kļūdas tipa noteikšanas algoritma blokshēma pabeigtības praktisko uzdevumu risināšanas režīmam

Ņemot vērā faktu, ka vienam uzdevumam var būt raksturīgas vairākas kļūdas, katrai no tām ir jāparedz savs mājienu divlīmeņu modelis. Gadījumā, kad apmācāmais ir sasniedzis pēdējo jeb visspecifiskāko mājienu jebkuram kļūdas tipam, sistēmai ir jāveic koriģējošas pedagoģiskas darbības, piemēram, tādas, kā uzdevuma atkārtošana pie citiem sākumdatiem, vai uzdevumam atbilstošas mācību vielas pārlasīšana.

4.2. Realizācija

Promocijas darbā ir izstrādāts intelektuālas mācību sistēmas prototips „MINIMA” tēmai „Heiristika divpersonu spēlēs” mācību kursā „Mākslīgā intelekta pamati”, kas tiek lasīts Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes 3.kursa bakalaura studiju studentiem. Tēma ir saistīta ar vienu no pilnas informācijas divpersonu spēļu realizācijas algoritmiem apgūšanu, t.i., Minimaksa algoritmu [LUG 2002].

4.2.1.attēlā ir atspoguļota izstrādātā intelektuālas mācību sistēmas prototipa darbības shēma.



4.2.1.att. Intelektuālas mācību sistēmas prototipa „MINIMA” darbības shēma

Praktisko uzdevumu risināšanas režīms paredz piecus uzdevumus, kuri ir sadalīti trīs uzdevumu blokos, t.i., spēles koka labošanu, heiristisko vērtējumu pārņemšanu un uzvaru nesošu ceļu noteikšanu, aptverot pamatprasmes, kas ir vajadzīgas Minimaksa algoritma izmantošanai divpersonu spēļu realizācijā. Visi uzdevumi sastāv no noteiktu soļu secības:

- 1.uzdevumu blokā solis ir viena loka (pareiza vai nepareiza) izslēgšana no spēles koka;
- 2.uzdevumu blokā par soli tiek uzskatīta heiristiskā vērtējuma (pareiza vai nepareiza) pārņemšana vienam stāvoklim spēles kokā;

- 3.uzdevumu blokā solis ir viena posma (pareiza vai nepareiza) pievienošana tekošajam uzvaru nesošajam ceļam.

Tas ļauj sistēmas prototipā nodrošināt soļveida un pabeigtības uzdevumu risināšanas režīmus (4.1.apakšnodaļa). Apmācāmajam piemērotu uzdevumu risināšanas režīmu sistēma noskaidro, piedāvājot pirms praktisko uzdevumu risināšanas pašam veikt savu izvēli, pamatojoties uz sistēmas sniegtajiem paskaidrojumiem par katru režīmu. Tad, kad ir zināms apmācāmajam piemērots uzdevumu risināšanas režīms, viņam tiek piedāvāts izvēlēties atgriezeniskās saites veidu atbilstoši 4.1.1.attēlā dotajai shēmai.

Sistēmas prototipā ir paredzētas trīs iespējas, kad apmācāmais var mainīt praktisko uzdevumu risināšanas režīmu un saņemamās atgriezeniskās saites veidu:

- gadījumā, ja iepriekšējā mācību epizodē apmācāmais ir apstājies praktisko uzdevumu risināšanas režīmā, tad uzsākot jaunu mācību seansu, viņam tiek izvadīts kopsavilkuma logs par iepriekš izpildītajiem uzdevumiem, kurā viņš var mainīt gan uzdevumu risināšanas režīmu, gan arī saņemamās atgriezeniskās saites veidu;
- jebkura praktiskā uzdevuma risināšanas laikā apmācāmais var mainīt atgriezeniskās saites veidu tā režīma ietvaros, kurā viņš strādā;
- pēc kārtējā praktiskā uzdevuma pabeigšanas apmācāmajam tiek izvadīts rezultātu logs, kurā ir iespējams mainīt uzdevumu risināšanas režīmu un atgriezeniskās saites veidu nākošajiem uzdevumiem.

Soļveida režīmā sistēma seko katram apmācāmā izpildītajam solim un automātiski sniedz atgriezenisko saiti par tā pareizību. Savukārt, pabeigtības režīmā apmācāmajam ir nodrošināta speciāla poga, kuru nospiežot, viņš var pārbaudīt izpildīto soļu pareizību. Pēc risinājuma analīzes tiek izvadīta atgriezeniskā saite kopvērtējuma veidā, kas ietver sevī: pareizi un nepareizi izpildīto darbību skaitu pēc iepriekšējās risinājuma pārbaudes, un pareizi un nepareizi izpildīto darbību skaitu pēc tekošās risinājuma pārbaudes. Abos režīmos, ja apmācāmais ir izvēlējies atgriezeniskās saites veidus, kas neparedz mājienu automātisku izvadi, sistēmas prototipā ir paredzēta poga, kura ļauj pieprasīt mājienu.

Lai nodrošinātu mājienu divlīmeņa modeļa (4.1.apakšnodaļa) izmantošanu, katram uzdevumam ir definēti iespējamie kļūdu tipi un to kritiskuma pakāpes. Kļūdu tipi tika noteikti, pamatojoties uz Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes 3.kursa bakalaura programmas studentu eksāmena un studiju darbu pārbaudi un analīzi mācību kursā „Mākslīgā intelekta pamati”, ko promocijas darba autore ir

veikusi, četrus gadus lasot lekcijas iepriekš minētajā priekšmetā. Katram kļūdas tipam ir izveidots savs mājienu divlīmeņu modelis atbilstoši 4.1.2.attēlam. Kārtējā mājienu izsniegšana balstās uz 4.1.3.attēlā doto algoritmu. Kļūdas tipa izvēles pamatā pabeigtības uzdevumu risināšanas režīmā ir algoritms, kura blokshēma ir attēlota 4.1.4.attēlā.

Lai identificētu katra uzdevumu pamatā esoša jēdziena apgūšanas pakāpi, apmācāmajam pēc teorijas apgūšanas tiek piedāvāti vairāku atbilžu jautājumi (multiple answer questions). Viena jēdziena pārbaudei ir paredzēti trīs jautājumi ar dažādām grūtības pakāpēm: vieglu, vidēju un sarežģītu. Grūtības pakāpe nosaka jautājumam piešķirto svaru. Atbilde uz jautājumu ietver sevī vairākas sastāvdaļas. Katrai sastāvdaļai ir piesaistīts noteikts punktu skaits. Tādējādi, katram jēdzienam tiek rēķināts šāds vērtējums:

$$C = \sum_{i=1}^3 s_i * p_i , \quad (4.2.1)$$

kur C- jēdziena kopējais vērtējums,

s_i - i-tā jautājuma svars,

p_i - punktu skaits par atbildi, kas tika dota uz i-to jautājumu.

Jautājumiem ir definēti šādi svāri: viegls jautājums- 1.5, vidējas grūtības pakāpes jautājums- 3.5, un sarežģīts jautājums- 5. Atsevišķa jēdziena apgūšanas pakāpe tiek noteikta šādā veidā:

- ja C ir diapazonā [0...4}, tad apgūšanas pakāpe ir zema;
- ja C ir diapazonā [4...7}, tad apgūšanas pakāpe ir vidēja;
- ja C ir diapazonā [7...10], tad apgūšanas pakāpe ir augsta.

Vērtību diapazoni ir izvēlēti pamatojoties uz Latvijas valsts atzīmju sistēmu, kurā: 10 un 9 atbilst ļoti augstam apguves līmenim, 8 un 7- augstam apguves līmenim, 6, 5 un 4- vidējam apguves līmenim un 3, 2 un 1- zemam apguves līmenim.

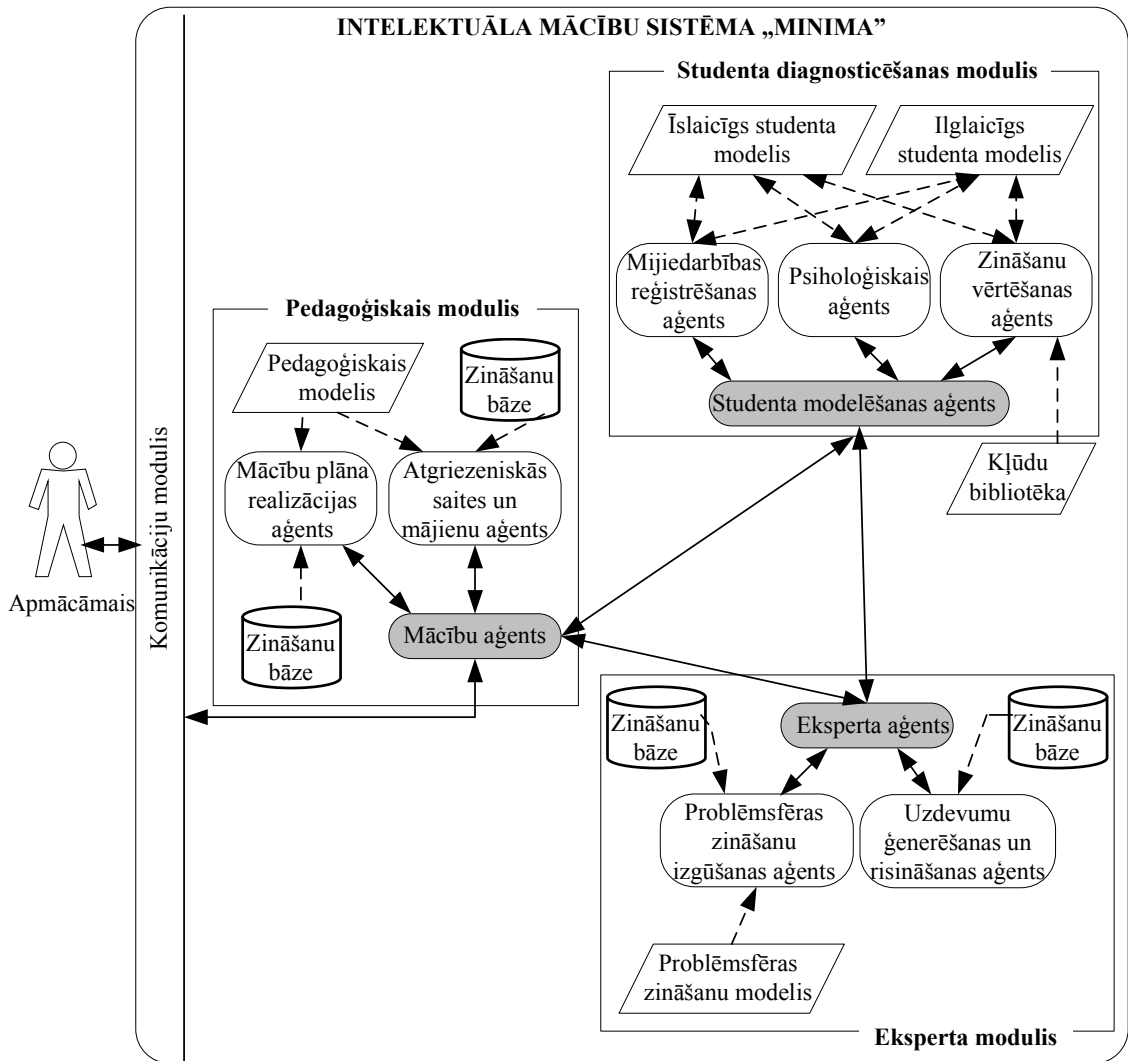
Jebkurš praktiskais uzdevums ir pabeigts divos gadījumos: apmācāmais ir to atrisinājis, vai ir sasniegts pēdējais mājiens jebkuram kļūdas tipam risināmā uzdevuma ietvaros. Abos gadījumos sistēma veic pārbaudi, kuru reizi apmācāmais pilda doto uzdevumu, un vai viņš ir pieļāvis kļūdas un izmantojis mājienu. Izstrādātajā sistēmas prototipā katru uzdevumu ir iespējams izpildīt tikai divas reizes. Tas balstās uz pieņēmumu, ka ja apmācāmajam ir piedāvāts izpildīt uzdevumu atkārtoti, tad viņš iepriekš ir sasniegjis kādam kļūdas tipam atbilstošu pēdējo mājienu. Pēdējie mājienu ietver sevī uzdevuma izpildes demonstrāciju un skaidrojoša mācību materiāla izvadi, no kā ir viegli saprast, kas bija jāizdara un kāpēc. Tādējādi, apmācāmajam, kurš to ir redzējis, nebūs problēma atrisināt uzdevumu pie citiem

sākumdatiem, un otrs mēģinājums kalpo tikai kā izpratnes nostiprināšanas līdzeklis, kas vissliktākajā gadījumā var beigties ar vēl vienu uzdevuma izpildes demonstrāciju. Ja apmācāmais ir pildījis uzdevumu pirmo reizi, tad pēc tā pabeigšanas sistēma veic šādu analīzi:

- ja kādam uzdevuma raksturīgam kļūdas tipam apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi specifiski mājienu, un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais ir pieļāvis šī tipa kļūdu, vai apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi vidējas informētības mājienu, vai vispārīgi mājienu, un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais, saņemot mājienu, ir sasniedzis specifiskas kategorijas mājienu, tad viņam ir jāatkārto uzdevuma izpilde;
- ja kādam uzdevuma raksturīgam kļūdas tipam apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi vidējas informētības mājienu, un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais ir pieprasījis vairāk nekā vienu mājienu no šīs kategorijas, vai apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi vispārīgi mājienu un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais, saņemot mājienu, ir sasniedzis vidējas informētības mājienu kategoriju, tad sistēma piedāvā apmācāmajam pašam izvēlēties vai nu atkārtot uzdevuma izpildi, vai arī pāriet pie nākošā uzdevuma;
- ja kādam uzdevuma raksturīgam kļūdas tipam apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi vispārīgi mājienu, un uzdevuma izpildes laikā mājienu kategorija nav mainījusies, vai apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi vidējas informētības mājienu, un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais ir pieprasījis tikai vienu mājienu no šīs kategorijas, vai apmācāmā sākotnējā mājienu kategorija ir bijusi specifiski mājienu, un uzdevuma izpildes laikā apmācāmais nav pieprasījis mājienu, tad viņš pāriet pie nākošā uzdevuma izpildes.

Pēc analīzes katram kļūdas tipam atbilstoša mājienu kategorija tiek mainīta, samazinot informētības pakāpi, t.i., specifiska mājienu kategorija tiek nomainīta ar vidējas informētības mājienu kategoriju, bet vidējas informētības mājienu kategorija ar vispārīgiem mājienu. Tas balstās uz iepriekš aprakstīto pieņēmumu, ka ja apmācāmajam ir jāpilda uzdevums atkārtoti, tad viņš jau ir redzējis tā izpildes demonstrāciju un, iespējams, ir izlasījis arī piedāvāto skaidrojošo materiālu. Ja apmācāmais ir pildījis uzdevumu otro reizi, tad jebkurā gadījumā viņš pāriet pie nākošā uzdevuma.

Izstrādātais sistēmas prototips „MINIMA” ir realizētas aģentu veidā (4.2.2.att.), pamatojoties uz 2.2.1.attēlā attēloto aģentu kopu intelektuālās mācību sistēmās. Aģentu funkcijas un sadarbība sīkāk ir izklāstīta promocijas darbā.



- ↔ abpusēja apmaiņa ar informāciju un vadības plūsma starp sistēmas moduļiem, kā arī starp sistēmu un apmācāmo
- ← - - - - - informācijas ierakstīšana attiecīgajā modelī un nolasīšana no tā
- - - - - informācijas nolasīšana no modeļa/zināšanu bāzes

4.2.2.att. Intelektuālas mācību sistēmas „MINIMA” uzbūve aģentu terminos

Ir jāatzīmē, ka studenta diagnosticēšanas moduli veidojošie aģenti ir vienkārši reaktīvi aģenti, kuru programmas iespējamās uztveres viennozīmīgi atspoguļo darbībās. Savukārt, mācību plāna realizācijas aģents, atgriezeniskās saites un mājienu aģents, problēmsfēras zināšanu izgūšanas aģents un uzdevumu ģenerēšanas un risināšanas aģents ir uz zināšanām balstīti aģenti [RUS 2003], kuru zināšanu bāze ir realizēta IF...THEN likumu veidā. Uzdevumu ģenerēšanas un risināšanas aģenta zināšanu bāze ietver sevī likumus, kuru nosacījuma daļa (IF paraugs) apraksta mācību pasākumu un risināmā uzdevuma numuru, bet darbības daļa (THEN paraugs) nosaka, kas ir jādara, lai ģenerētu uzdevuma nosacījumus:

IF (macību_pasākums=X) AND (uzdevuma_numurs=Y)

```

THEN (darbiba_1) AND (darbiba_i) AND (darbiba_n),
piemēram,
IF (macibu_pasākums=praktisko_uzdevumu_risināšanas_režims)
AND (uzdevuma_numurs=2.1)
THEN (ģenerēt_līmeņu_skaitu) AND (ģenerēt_virsotnes) AND
(ģenerēt_lokus) AND (sadalīt_koku_līmeņos) AND
(piešķirt_vērtējumus_beigu_stāvokļiem).

```

Turklāt, šis aģents saglabā ģenerētos uzdevuma nosacījumus, lai būtu iespējams to atrisināt, kad apmācāmais pabeigs uzdevuma izpildi.

Līdzīgā veidā ir veidotas citu aģentu zināšanu bāzes:

- problēmsfēras zināšanu izgūšanas aģenta likumi apraksta, kādas problēmsfēras zināšanu vienības ir jāsniedz (THEN paraugs) atbilstoši tekošajam mācību pasākumam (IF paraugs);
- mācību plāna realizācijas aģenta zināšanu bāze apraksta, kurš mācību pasākums ir jārealizē kā nākošais (THEN paraugs) atkarībā no tekošā vides stāvokļa (IF paraugs);
- atgriezeniskās saites un mājienu aģenta zināšanu bāze satur sevī IF...THEN likumus, kas skaidri norāda, kurš mājiens ir jādod (THEN paraugs), pamatojoties uz risināmā uzdevuma numuru, kļūdas tipu un kļūdas tipam atbilstošā pēdējā apmācāmajam dotā mājienu numuru (IF paraugs).

4.3. Eksperimentālās pārbaudes rezultāti

2007.gada pavasarī izstrādātais sistēmas prototips tika novērtēts mācību kursā „Mākslīgā intelekta pamati” (atbildīgais pasniedzējs J.Grundspenķis), kas tiek lasīts Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes 3.kursa bakalaura studiju studentiem. Kopumā 34 studenti tika iesaistīti eksperimentālajā pārbaudē un 32 no viņiem pēc apmācības pabeigšanas aizpildīja piedāvāto aptaujas lapu.

Aptaujas mērķis bija noskaidrot studentu viedokli par praktisko uzdevumu risināšanas režīmu, tajā piedāvātajiem uzdevumu risināšanas režīmiem, atgriezeniskās saites veidiem un mājienu izsniegšanu, kā arī sistēmas prototipa priekšrocībām un trūkumiem.

Kopumā 30 (≈94%) studenti ir strādājuši praktisko uzdevumu risināšanas režīmā, pārējie 2 (≈6%) cilvēki bija veiksmīgi izpildījuši zināšanu ievadvērtēšanas testu un līdz ar to nepiedalījās apmācībā. Septiņpadsmit (≈57%) studenti bija izvēlējušies soļveida praktisko uzdevumu risināšanas režīmu, 9 (30%) apmācāmie deva priekšroku pabeigtības režīmam, un tikai 4 (≈13%) studenti izmēģināja abus režīmus. No tiem, kas strādāja abos režīmos, soļveida

režīmu atzīsta par visērtāko 3 (75%) studenti un 1 (25%) students par tādu uzskatīja pabeigtības režīmu. Aptaujas rezultāti parādīja, ka abos režīmos katru atgriezeniskās saites veidu bija izvēlēties noteikts skaits studentu, un pie tam nebija studentu, kas būtu mainījuši sākotnēji izvēlētais atgriezeniskās saites veidu, risinot praktiskos uzdevumus.

Septiņpadsmit ($\approx 57\%$) studenti no tiem, kas strādāja praktisko uzdevumu risināšanas režīmā, saņēma/pieprasīja mājienus. No tiem 12 ($\approx 71\%$) apmācāmie saņēma/pieprasīja tikai vienu mājienu. Pārsvārā viņi pamatoja to ar faktu, ka mājiens bija informatīvs un uzreiz ļāva saprast, kur ir kļūda.

4.4. Secinājumi

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Praktiskie uzdevumi, kuru risinājuma atrašana sastāv no vairākiem soļiem, ļauj intelektuālā mācību sistēmā nodrošināt divus problēmu risināšanas režīmus: soļveida režīmu, kurā sistēma novēro katra apmācāmā problēmas risināšanas soli un sniedz atgriezenisko saiti par tā pareizību, un pabeigtības režīmu, kurā apmācāmais pats izvēlas atgriezeniskās saites saņemšanas brīžus ar mērķi pārbaudīt izpildīto soļu virkni.
- Katrā no minētajiem režīmiem ir iespējams nodrošināt dažādus atgriezeniskās saites veidus. Promocijas darbā soļveida režīmam ir izdalīti četri veidi un pabeigtības režīmam ir identificēti divi atgriezeniskās saites veidi.
- Mājienus, kas atbilst atsevišķam kļūdas tipam praktiskajos uzdevumos, ir iespējams sadalīt pēc to informētības pakāpes vispārīgu mājienu, vidējas informētības mājienu un specifisku mājienu kategorijās. Pirms praktisko uzdevumu risināšanas režīma nosakot apmācāmo zināšanu līmeni par katru no jēdzieniem, kas ir pamatā kļūdu tipiem, un veicot zināšanu līmeņa vērtējuma reducēšanu uz trim vērtībām (augsta, vidēja un zema) atbilstoši iepriekš minētajām mājienu kategorijām, ir iespējams nodrošināt tādu mājienu izsniegšanas politiku, kas novērš mazinformatīvu mājienu saņemšanu.
- Promocijas darbā izstrādātais intelektuālas mācību sistēmas prototips ir intelektuāla sistēma, kas savā uzbūvē un darbībā pamatojas uz aģentu paradigmu un ietver sevī reaktīvus un uz zināšanām balstītus aģentus.
- Promocijas darbā izstrādātais intelektuālas mācību sistēmas prototips ir arī adaptīva sistēma, jo nodrošina atsevišķam apmācāmajam piemērotas obligātās

mācību vielas fragmentu secības izveidi teorētiskās mācību vielas apgūšanas režīmam un adaptīvu mājienu izsniegšanu praktisko uzdevumu risināšanas režīmā.

- Izstrādātā intelektuālās mācību sistēmas prototipa eksperimentālās pārbaudes rezultāti ļauj secināt, ka:
 - divu praktisku uzdevumu risināšanas režīmu un vairāku atgriezeniskās saites veidu atbalstīšana intelektuālā mācību sistēmā padara sistēmu elastīgāku un piemērotāku dažādiem apmācāmajiem;
 - mājienu divlīmeņu modelis nodrošina tādu mājienu izsniegšanu, ka lielākajā daļā gadījumu pietiek ar vienu mājienu, lai izvairītos no pieļautās kļūdas un atrisinātu uzdevumu.

Šīs nodaļas galvenie jaunie teorētiskie rezultāti ir izstrādātā praktisko uzdevumu risināšanas režīmu un tajā iespējamo atgriezeniskās saites veidu shēma un adaptīvas mājienu izsniegšanas divlīmeņu modelis, kā arī tā izmantošanas algoritmi. Teorētiskie rezultāti ir praktiski realizēti intelektuālās mācību sistēmas prototipā „MINIMA”.

DARBA GALVENIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika izvirzīts mērķis, pamatojoties uz zināmo sistēmu analīzi un tajā neatrisināto uzdevumu identificēšanu, izstrādāt metodes adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas nodrošināšanai un praktiski tās realizēt programmatūras sistēmā, veicot arī izstrādātās sistēmas eksperimentālo pārbaudi. Izvirzītā mērķa sasniegšanai tika realizēti šādi uzdevumi:

- **Tradicionālā un ar tehnoloģiju atbalstīta mācību procesu salīdzinoša analīze, kas ļāva definēt vispārīgas prasības pret** apmācības un zināšanu vērtēšanas atbalsta sistēmu, nosakot atšķirības nosaukto procesu komponentu un to mijiedarbības terminos, kā arī identificējot tradicionālā mācību procesa problēmas.
- Intelektuālu mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmu izpēte pamatjēdzienu, arhitektūras komponentu, adaptācijas spēju un aģentu realizācijas tehnoloģiju terminos ar mērķi identificēt šādu sistēmu izstrādē neatrisinātos uzdevumus un precizēt prasības pret apmācības un zināšanu vērtēšanas atbalsta sistēmu.
- Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas nodrošināšanas metožu izstrāde, iepriekš identificēto trūkumu novēršanai.
- Uz izstrādātajām metodēm pamatotas adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas arhitektūras izstrāde un praktiska realizācija.

- Izstrādātās sistēmas eksperimentāla pārbaude mācībuursos.

Risinot minētos uzdevumus, promocijas darbā ir sasniegti šādi galvenie jaunie teorētiskie rezultāti:

- Ir izstrādāta koncepcija un arhitektūra jēdzienu tīklos sakņotai zināšanu vērtēšanas sistēmai ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu un intelektuālai mācību sistēmai ar adaptīvu mājienu izsniegšanu.
- Ir izstrādāts algoritms, kurš ir jutīgs pret jēdzienu izvietošanu un to saistību, salīdzinot skolotāja un apmācāmo jēdzienu tīklus jēdzienu tīklos sakņotās zināšanu vērtēšanas sistēmās.
- Ir izstrādātas divas pieejas uzdevuma grūtības pakāpes maiņai jēdzienu tīklos sakņotās zināšanu vērtēšanas sistēmās: viena pieeja paredz apmācāmā apzinātu uzdevuma grūtības pakāpes samazināšanu, bet otra pieeja papildus nodrošina arī adaptīvu sistēmas reakciju, paaugstinot nākošā uzdevuma grūtības pakāpi, ja apmācāmais ir veiksmīgi izpildījis iepriekšējo uzdevumu.
- Ir izstrādāta praktisko uzdevumu risināšanas režīmu un tajos saņemamas atgriezeniskās saites veidu shēma intelektuālām mācību sistēmām.
- Ir izstrādāts adaptīvas mājienu izsniegšanas divlīmeņu modelis un tā izmantošanas algoritmi intelektuālās mācību sistēmās.

Iegūtie teorētiskie rezultāti praktiski ir realizēti trīs prototipos:

1. jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, ievieojot papildus jēdzienus;
2. jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā ar uzdevuma grūtības pakāpes maiņu, piedāvājot dažādu veidu uzdevumus;
3. intelektuālajā mācību sistēmā „MINIMA”.

Prototipu izstrāde un eksperimentālās pārbaudes rezultāti ļauj izdarīt šādus secinājumus:

- Jēdzienu tīklu izmantošana nodrošina tādu zināšanu vērtēšanas sistēmu izstrādi, kas novērtē apmācāmo izpratni par mācību kursā apgūtās vielas savstarpējo saistību, nav atkarīgas no mācību priekšmeta un dabīgās valodas, nodrošina vienkāršāku struktūru un funkcionālos mehānismus, pamatojoties uz darbu ar grafiskiem objektiem nevis dabīgās valodas apstrādi, un var tikt izmantotas jebkurā zināšanu vērtēšanas stadijā.
- Uzdevuma grūtības pakāpes maiņa jēdzienu tīklos sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā ir lietderīga sistēmas funkcija, jo tā atvieglo uzdevuma izpildi un palīdz

apmācāmajiem atrast viņu zināšanu līmenim atbilstošo uzdevumu un demonstrēt noteiktu zināšanu esamību problēmsfērā.

- Divu praktisku uzdevumu risināšanas režīmu un vairāku atgriezeniskās saites veidu atbalstīšana intelektuālā mācību sistēmā padara sistēmu elastīgāku un piemērotāku dažādiem apmācāmajiem.
- Piedāvātais mājienu divlīmeņu modelis novērš mazinformatīvu mājienu saņemšanu un nodrošina tādu mājienu izsniegšanu, ka lielākajā daļā gadījumu apmācāmajam pietiek ar vienu mājienu, lai izvairītos no pieļautās kļūdas un atrisinātu uzdevumu.

Promocijas darba izstrādes gaitā papildus vēl iegūti šādi teorētiski rezultāti:

- ir definēta aģentu kopa intelektuālas mācību sistēmas arhitektūrā, un ir identificētas šo aģentu funkcijas;
- ir izdalītas 5 kategorijas, kurās ir dalāms studenta modelī glabātais saturs;
- ir izdalītas 8 terminu grupas, kas apraksta ar tehnoloģiju atbalstītu mācību procesu, un ir definētas apakškopu attieksmes starp tām;
- ir dota intelektuālu mācību sistēmu jēdziena definīcija, pamatojoties uz šādām sistēmām piemītošu raksturojumu kopu.

Turpmāko pētījumu iespējamie virzieni:

1. Dažādu mājienu veidu realizāciju atkarībā no apmācāmo darbībām.
2. Metožu izstrādi mājienu izsniegšanai, pamatojoties ne tikai uz uzdevumu pamatā esošo jēdzienu apgūšanas pakāpes noteikšanu, bet arī uz to jēdzienu zināšanu līmeņa noteikšanu, uz kuriem atsaucas paši mājieni.

BIBLIOGRĀFIJA

- [ANO 2005] Anohina, A. Analysis of the terminology used in the field of virtual learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 2005, Vol.8, No.3, pp.91-102.
- [ANO 2006a] Anohina, A., Stale, G., Pozdnakovs, D. Intelligent system for student knowledge assessment. *Scientific proceedings of Riga Technical University, Computer science, 5th series*. Riga: RTU, 2006, Vol.26, pp.132-143.
- [ANO 2006b] Anohina, A., Graudina, V., Grundspenkis, J. Intelligent system for learners' knowledge self-assessment and process oriented knowledge control based on concept maps and ontologies. *Annual Proceedings of Vidzeme University College "ICTE in Regional Development"*, Valmiera, Latvia, 2006, pp.1-8.

- [ANO 2006c] Anohina, A., Grundspenkis, J. Prototype of multiagent knowledge assessment system for support of process oriented learning. Proceedings of the 7th International Baltic Conference on Databases and Information Systems (Baltic DB&IS 2006), Vilnius, Lithuania, July 3-6, 2006, pp.211-219.
- [ANO 2006d] Anohina, A., Graudina, V., Grundspenkis, J. Using concept maps in adaptive knowledge assessment. Proceedings of the 15th International Conference on Information Systems Development "Methods and Tools, Theory and Practice" (ISD`2006), Budapest, Hungary, August 31 - September 2, 2006 (in print).
- [ANO 2006e] Anohina, A. The problem-solving modes and a two-layer model of hints in the intelligent tutoring system for Minimax algorithm. Proceedings of the 1st International Conference on Virtual Learning, Bucharest, Romania, October 27-29, 2006, pp.105-112.
- [ANO 2007a] Anohina, A., Grundspenkis, J. A concept map based intelligent system for adaptive knowledge assessment. In Vasilecas, O., Eder, J., Caplinskas, A. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol.155, Databases and Information Systems IV. Amsterdam: IOS Press, 2007, pp.263-276.
- [ANO 2007b] Anohina, A. Advances in intelligent tutoring systems: problem-solving modes and model of hints. International Journal of Computers, Communication and Control, 2007, Vol.II, No.1, pp.48-55.
- [ANO 2007c] Anohina, A., Pozdnakovs, D., Grundspenkis, J. Changing the degree of task difficulty in concept map based assessment system. Proceedings of the IADIS International Conference "e-Learning 2007", Lisbon, Portugal, July 6-8, 2007 (pieņemts).
- [ANO 2007d] Anohina, A., Lavendelis, E., Grundspenkis, J. Concept map based assessment system with reduction of task difficulty. Proceedings of the 16th International Conference on Information Systems Development "Challenges in Practice, Theory and Education" (ISD`2007), Galway, Ireland, August 29- 31, 2007 (iesniegts).
- [ANO 2007e] Anohina, A. Learner's support in intelligent tutoring systems. Proceedings of the 5th International Conference on Emerging e-learning Technologies and Applications, September 6-8, 2007, Stará Lesná, the High Tatras, Slovak Republic (iesniegts).
- [BRN 2003] Brunner, J.J. Augstākā izglītība: mainīgie apstākļi, problēmas, uzdevumi un politikas risinājumi. Pasaules Bankas ziņojums. 2003.gada jānvarī, 53 lpp.

- [BRU 1999] Brusilovsky, P. Adaptive and intelligent technologies for Web-based education. In Rollinger, C., Peylo, C. Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching, *Künstliche Intelligenz*, 1999, Vol.4, pp.19-25.
- [BRU 2001] Brusilovsky, P. Adaptive hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 2001, Vol.11, pp.87–101.
- [CAA 2002] General CAA topics [online]. Computer-Assisted Assessment (CAA) Centre, 2002 [cited 8 May 2006]. Available from World Wide Web: <<http://www.caacentre.ac.uk>>
- [CAP 2000] Capuano, N., De Santo, M., Marsella, M., et al. A multi-agent architecture for intelligent tutoring. *Proceedings of the International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Science, and Education on the Internet, SSGRR 2000, L'Aquila, July 31-August 6, 2000*, 12 p.
- [CEC 2000] A Memorandum on Lifelong Learning. Commission of the European Communities. Brussels 30.10.2000 SEC (2000) 1832, 36 p.
- [CEU 2005] Council Conclusions on Education and Training in the Framework of the Mid-Term Review of the Lisbon Strategy. Doc.6604/05 EDUC 29 SOC 76. Brussels, 21 February 2005. Council of the European Union, 9 p.
- [DEV 2000] Devedzic, V., Debenham, J., Popovic, D. Teaching formal languages by an intelligent tutoring system. *Educational Technology & Society*, 2000, Vol.3, No.2, pp.36-49.
- [FRA 1997] Frasson, C., Mengelle, T., Aïmeur, E. Using pedagogical agents in a multi-strategic intelligent tutoring system. *Proceedings of the 8th World Conference on Artificial Intelligence in Education AI-ED97, Workshop V: Pedagogical Agents, Kobe, Japan, 1997*, pp.40-47.
- [GRU 2005] Grundspenkis, J., Anohina, A. Agents in intelligent tutoring systems: state of the art. *Scientific proceedings of Riga Technical University, Computer science, 5th series*. Riga: RTU, 2005, Vol.22, pp.110-121.
- [JER 2004] Jeremić, Z., Devedžić, V., Gašević, D. An intelligent tutoring system for learning design patterns. *Proceedings of the Workshop on Adaptive Hypermedia and Collaborative Web-based Systems (AHCW'04) at the 4th International Conference on Web Engineering, Munich, Germany, July 28-30, 2004*, 8 p.
- [KEL 2002] Kelly, D., Tangney, B. Incorporating learning characteristics into an intelligent tutor. *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Tutoring*

- Systems, Biarritz, France and San Sebastian, Spain, June 2-7, 2002, pp.729-738.
- [KPP 2004] Komisijas paziņojums Padomei un Eiropas Parlamentam-Mūsu kopīgas nākotnes veidošana-Paplašinātās Eiropas Savienības politiski risināmie jautājumi un budžeta līdzekļi 2007.-2013.gadā. Brisele, Eiropas Komisijas izdevums 2004.gada 10.februāris COM/2004/0101, 50 lpp.
- [LIE 2000] Liegle, J.O., Han-Gyun, W. Developing adaptive intelligent tutoring systems: a general framework and its implementations. Proceedings of the ISECON Conference, Philadelphia, November 9-12, 2000, 8 p.
- [LUG 2002] Luger, G.F., Stubblefield, W.A. Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving. Harlow: Addison-Wesley, 2002, 856 p.
- [RUS 2003] Russell, S. J., Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2003, 1080 p.
- [SEA 2002] Seale, J. Using CAA to support student learning [online]. Learning Technology and Support Network, 2002 [cited 8 May 2006]. Available from World Wide Web: <<http://www.alt.ac.uk/docs/eln004.pdf>>
- [VIR 2001] Virvou, M., Tsiriga, V. Web Passive Voice Tutor: an intelligent computer assisted language learning system over the WWW. Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technology: Issues, Achievements and Challenges, Madison, WI, USA, August 6-8, 2001, pp.131-134.
- [WAR 1997] Warendorf, K., Tan, C. ADIS - An animated data structure intelligent tutoring system or putting an interactive tutor on the WWW. Proceedings of the workshop "Intelligent Educational Systems on the World Wide Web" at the 8th World Conference of the AIED Society, Kobe, Japan, 18-22 August, 1997, pp.54-60.