

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Vita GRAUDIŅA

**ZINĀŠANU KARTOGRĀFIJAS TEHNIKU UN JĒDZIENU KARTĒS
SAKŅOTAS INTELEKTUĀLAS ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS
INTEGRĀCIJAS IZPĒTE UN REALIZĀCIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2011

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Vita GRAUDIŅA
Doktora studiju programmas „Datorsistēmas” doktorante

**ZINĀŠANU KARTOGRĀFIJAS TEHNIKU UN JĒDZIENU KARTĒS
SAKŅOTAS INTELEKTUĀLAS ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS
INTEGRĀCIJAS IZPĒTE UN REALIZĀCIJA**

Promocijas darba kopsavilkums

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

Rīga 2011

UDK 004.89(043.2)

Gr 265 z

Graudiņa Vita. Zināšanu kartogrāfijas tehniku un jēdzienu kartēs sakņotas intelektuālas zināšanu vērtēšanas sistēmas integrācijas izpēte un realizācija. Promocijas darba kopsavilkums. R.: RTU, 2011. – 48 lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2011. gada 1. jūlija lēmumu, protokols Nr. 72.



EIROPAS SAVIENĪBA

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

ISBN 978-9934-10-228-8

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2011.gada 21. novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1/3, 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI:

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Jānis Osis
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.comp. Jānis Bārzdiņš
Latvijas Universitāte, Latvija

Profesors, PhD Albertas Čaplinskas
Viļņas Universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

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

Vita Graudiņa..... (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā un sastāv no ievada, 4 nodaļām un secinājumiem. Promocijas darba pamatteksts ir 194 lappuses, tas satur 101 attēlu un 16 tabulas. Bibliogrāfiskais saraksts satur 217 nosaukumus. Darbam atsevišķā sējumā pievienoti 10 pielikumi.

SATURS

IEVADS	5
1. JĒDZIENU KARTES ZINĀŠANU VĒRTĒŠANĀ.....	12
1.1. Jēdzienu kartes un to izmantošana.....	13
1.2. Jēdzienu kartes atbalstoša programmatūra	17
1. nodaļas kopsavilkums un secinājumi	19
2. ZINĀŠANU KARTOGRĀFIJAS TEHNIKAS DATORIZĒTĀ APMĀCĪBĀ UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANĀ.....	20
2.1. Zināšanu kartogrāfijas tehniku apskats.....	20
2.2. Ontoloģiju izmantošanas mācību sistēmās izpēte	22
2.3. Ontoloģiju apvienošanas iespējas.....	23
2.4. Ontoloģiju lietojumi IKAS funkcionalitātes paplašināšanai	24
2. nodaļas kopsavilkums un secinājumi	25
3. ALGORITMI JĒDZIENU KARTĒS SAKŅOTAS ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS FUNKCIONALITĀTES PAPLAŠINĀŠANAI.....	25
3.1. OWL ontoloģijas elementu atbilstība jēdzienu kartes elementiem	26
3.2. Algoritms ontoloģijas transformācijai jēdzienu kartē	26
3.3. Algoritms jēdzienu kartes transformācijai ontoloģijā	28
3.4. Algoritmi zināšanu korekcijas nodrošināšanai	29
3. nodaļas kopsavilkums un secinājumi	31
4. PAPLAŠINĀTAS IKAS IZSTRĀDE UN APROBĀCIJA.....	32
4.1. Lietotāju mijiedarbību scenāriji ar paplašināto IKAS	32
4.2. Programmnodrošinājuma prototipu izstrādē izmantotās tehnoloģijas.....	33
4.3. Programmnodrošinājuma un algoritmu demonstrācijas piemēri.....	34
4. nodaļas kopsavilkums un secinājumi	38
DARBA KOPĒJIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI.....	38
BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS.....	41

IEVADS

Mūsdienu sociālekonomiskā vajadzība pēc augsti kvalificētiem zināšanu darbiniekiem [GRU 2001] ietekmē arī mācīšanos, kas vairs nav tikai faktu un gatavu secinājumu uzkrāšana, bet gan patstāvīgs izziņas process ar mērķi iemācīties mācīties, kritiski domāt un analizēt. Turklāt svarīgākas par pašām zināšanām un informāciju ir prasmes tās pielietot jaunu zināšanu ģenerēšanā [CAS 1996].

Zināšanu sabiedrība uzliek darbiniekiem papildus pienākumus un atbildību [KOŅ 2007]: 1) aizvien biežāk darbiniekam patstāvīgi un radoši jārisina iepriekš neparedzētas un nebijušas situācijas, jo veicamajos uzdevumos rutīnas procedūru īpatsvars samazinās; 2) zināšanu ietilpīgu produktu radīšana ir ikvienā nozarē, amatā un darbības sfērā; 3) strauji mainīgajos apstākļos augstu tiek vērtēta cilvēku spēja efektīvi radīt un izmantot zināšanas.

Līdz ar to, par būtiskām kļūst sistēmiskas domāšanas un nerutīnas problēmu risināšanas prasmes, kas ir vienas no prasmēm, kurām ir jāpiemīt cilvēkam, lai sekmīgi iekļautos šī gadsimta sabiedrībā [HIL 2008]. Sistēmisko domāšanu raksturo izpratne, kā sistēma strādā, izvērtēšana un lēmumu pieņemšana, sistēmas analīze un novērtēšana [RUI 2009]. Savukārt nerutīnas problēmu risināšanas prasmēm ir vairākas pazīmes, kas tās raksturo [RUI 2009] – jēgpilnu šablonu atpazīšana un saprašana, problēmas diagnosticēšana, informācijas organizēšana shēmās, problēmas risināšanas aktivitāšu uzraudzīšana, saistītās informācijas iegūšana, kā arī jaunu un inovatīvu risinājumu iegūšana.

Analizējot dabas un inženierzinātņu mācīšanu saskaņā ar 21. gadsimta prasmēm, Ruiz-Primo ir nonākusi pie secinājumiem, ka, pirmkārt, studentiem konceptuālās shēmas netiek mācītas uzreiz, bet gan ilgstošā laika periodā, otrkārt, jaunu konceptuālo zināšanu ieviešana bieži vien ir sarežģīta, jo ir jāmaina jau esošā zināšanu struktūra, un, treškārt, konceptuālās zināšanas nav izolētas definīcijas, bet gan savstarpēji saistītu jēdzienu sistēmas [RUI 2009].

Sekojoši līdzīgi izmaiņām sabiedrībā, mainās arī mācīšanās, tā kļūst vairāk orientēta uz indivīdu un viņa vajadzībām, un par vienu no šī laika pedagoģiskajām idejām ir kļuvusi studenta centrēta mācīšanās, kur galveno lomu spēlē students ar viņa mācību vajadzībām, nevis pasniedzējs kā vienīgais informācijas devējs [LEA 2003]. Viena no studentu centrētas mācīšanās iezīmēm ir studenta atbildība par mācīšanās procesu, un pašvērtēšana ir būtiska aktivitāte, lai palīdzētu studentiem kļūt pašiem atbildīgiem par savu mācīšanos [ONE 2005].

Katrs students ir svarīgs, bet individuālu pieeju katram apmācāmajam un regulāru zināšanu vērtēšanu ar informatīvu atgriezenisko saiti nav iespējams pietiekamā apjomā nodrošināt auditorijas nodarbību ietvaros, tāpēc šeit nozīmīgu vietu ieņem datorizētu

risinājumu izmantošana. Mācību procesa laikā, izmantojot šos risinājumus, ir iespējams nodrošināt adaptāciju dažādām studenta vajadzībām [ANO 2007a]. Lai novērtētu sistēmisko domāšanu un strukturālās zināšanas, nepieciešami tādi zināšanu vērtēšanas mehānismi, kas, pirmkārt, ļauj vizualizēt zināšanu struktūras, otrkārt, eksistē metodes, kā tās novērtēt.

Promocijas darbā veiktās literatūras analīzes rezultātā ir konstatēts, ka zināšanu vērtēšanas process ir neatbilstošs mūsdienu sabiedrības vajadzībām un tajā ir vairākas problēmas – pirmkārt, nepietiekams strukturālo zināšanu un sistēmiskās domāšanas vērtēšanas apjoms; otrkārt, nepietiekama posmsecīga apgūtās vielas kontrole; treškārt, nepietiekams datorizācijas atbalsts strukturālo zināšanu novērtēšanā, it īpaši automatizētā iesniegto atbilžu salīdzināšanā; ceturtkārt, vērtēšanā izmantotie uzdevumi nav piemēroti visiem zināšanu līmeņiem.

Minēto problēmu risināšanā var palīdzēt jēdzienu kartēs sakņotas intelektuālas zināšanu vērtēšanas un pašvērtēšanas sistēmas, jo tās ļauj gan novērtēt strukturālās zināšanas, gan veikt posmsecīgu zināšanu pārbaudi, gan nodrošināt adaptāciju apmācāmā zināšanu līmenim, piedāvājot viņam individuāli piemērotus uzdevumus un informatīvu atgriezenisko saiti, kas palīdz novērst pieļautās kļūdas un nepilnības studenta zināšanās.

Tēmas aktualitāte

Pētījumi par datorizētām jēdzienu kartēs sakņotām zināšanu vērtēšanas sistēmām ir salīdzinoši neseni, tomēr šīs sistēmas ir būtiskas 21. gadsimta mācīšanās kontekstā, kad par galveno mācīšanās mērķi kļūst nevis liela apjoma faktu iegaumēšana, bet gan zināšanu un jēdzienu savstarpējās saistības izprašana, jēgpilna mācīšanās, kritiska domāšana un metaizziņa.

Promocijas darba tēmas aktualitāte ir saistīta ar faktu, ka, lai pilnvērtīgi izmantotu šīs sistēmas, pasniedzējiem ārpus ierastā mācību procesa vēl ir jāiegulda papildus darbs uzdevumu sastādīšanā, atgriezeniskās saites un mācību materiālu izstrādē. Tāpēc aizvien svarīgāka kļūst arī šo un citu sistēmu vajadzībām sagatavotu artefaktu atkārtota izmantošana un integrēšana, kā arī pasniedzēja atbalstīšana sistēmas lietošanas laikā. Turklāt sistēmu darbināšanas laikā ir uzkrāts zināms artefaktu klāsts, kurus ir iespējams izmantot ārpus zināšanu vērtēšanas.

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir izpētīt zināšanu kartogrāfijas tehnikas, no tām atrast piemērotākās integrācijai jēdzienu kartēs sakņotā intelektuālā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS un izstrādāt algoritmus un rīkus tās funkcionalitātes paplašināšanai.

Darba uzdevumi

Promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- Izpētīt jēdzienu karšu un to uzdevumu daudzveidību, lai sastādītu uzdevumu spektru, ar ko iespējams paplašināt adaptāciju apmācāmā zināšanu līmenim.
- Apkopot informāciju par jēdzienu karšu zīmēšanas un novērtēšanas rīkiem un to ietekmi uz pasniedzēja slodzi, ja rīkus izmanto mācību procesā.
- Izanalizēt jēdzienu kartēs sakņotas intelektuālas zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS funkcionalitāti un identificēt, kā iespējams atbalstīt pasniedzēju sistēmas izmantošanā.
- Izpētīt zināšanu kartogrāfijas tehnikas un to izmantošanu mācību procesā un atrast piemērotākās tehnikas datorizētai zināšanu vērtēšanai sistēmā ar automatizētu atbildes novērtēšanu, turklāt novērtēšanā neizmantojot dabīgās valodas apstrādes metodes.
- Veikt izvēlēto zināšanu kartogrāfijas tehniku definīciju un klasifikāciju analīzi un sistematizāciju.
- Izanalizēt izvēlēto zināšanu kartogrāfijas tehniku izmantošanas iespējas datorizētās mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmās, lai paplašinātu to funkcionalitāti.
- Izstrādāt algoritmus izvēlēto zināšanu kartogrāfijas tehniku transformācijai jēdzienu kartēs un jēdzienu karšu transformācijai izvēlētajās tehnikās.
- Izstrādāt algoritmu adaptīvai mācību materiālu piegādei jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā ar zināšanu korekciju.
- Izstrādāt metodi, kā apvienot vairākas jēdzienu kartes vienā, lai paplašinātu gan apmācāmā pieļauto kļūdu analīzes un labošanas iespējas, gan iegūtu kopskatu par saistītiem mācību priekšmetiem.
- Implementēt izstrādātos algoritmus prototipā, ko integrēt ar jēdzienu kartēs sakņotu intelektuālo zināšanu vērtēšanas sistēmu IKAS.
- Veikt izstrādāto algoritmu aprobāciju.

Pētījuma objekti

Darba pētījuma objekti ir jēdzienu kartes, zināšanu kartogrāfijas tehnikas, it īpaši ontoloģijas un jēdzienu kartēs sakņotas zināšanu vērtēšanas un pašvērtēšanas sistēmas.

Pētījuma priekšmets

Promocijas darba pētījuma priekšmets ir zināšanu kartogrāfijas tehniku izvērtēšana, fokusējoties uz ontoloģiju izmantošanu jēdzienu kartēs sakņotās vērtēšanas un pašvērtēšanas sistēmās, lai samazinātu pasniedzēja slodzi, automatizētu ievaddatu iegūšanu un atrastu mācīšanās ceļus un mācību materiālus, kas nepieciešami zināšanu korekcijai.

Zinātniskais jaunieguvums

Darba zinātniskais jaunieguvums ir šāds:

- Izstrādātas metodes un algoritmi ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs un jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijās.
- Izstrādāts algoritms ieteikumu ģenerēšanai pasniedzējam saistībā ar mācību materiālos iekļaujamo informāciju.
- Izstrādāta metode un algoritms adaptīvai mācību materiālu piegādei jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu pašvērtēšanas sistēmā, kas pamatojas uz izstrādāto matemātisko formālismu mācību objekta vispārīguma noteikšanai.

Teorētiskā vērtība

Darba teorētiskā vērtība ir šāda:

- Noskaidrots, kā jēdzienu karšu daudzveidība ietekmē tajās sakņotu uzdevumu daudzveidību un to adaptēšanas iespējas apmācāmo zināšanu vērtēšanā un pašvērtēšanā.
- Izstrādāta formāla metode jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu grūtības pakāpju salīdzināšanai.
- Izpētītas zināšanu kartogrāfijas tehnikas un par piemērotāko integrācijai ar jēdzienu kartēs sakņotu intelektuālu zināšanu vērtēšanas sistēmu IKAS ir atzītas ontoloģijas.
- Sistematizēta un izklāstīta informācija par ontoloģiju definīcijām un klasifikācijas shēmām, kā rezultātā ir noteikta ontoloģiju definīciju atbilstība ontoloģijas īpašībām un izveidots ontoloģiju klasifikācijas shēmu iedalījums.
- Izvērtēts, kā izmantojot ontoloģijas, iespējams paplašināt jēdzienu kartēs sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS funkcionalitāti.

Praktiskā nozīmība

Pētījumu praktiskā nozīmība ir šāda:

- Izstrādāti rīki ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs un jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijās, kas ir integrēti intelektuālajā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS.
- Rīku aprobācijas laikā ir izstrādātas jēdzienu kartes un ontoloģijas mākslīgā intelekta studiju modulim.

Darba aprobācija

Par promocijas darba galvenajiem rezultātiem referēts 6 starptautiskās konferencēs (4 ārvalstīs un 2 Latvijā):

1. 2011.g. 16.-17. jūn. International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'11), Vīne, Austrija.
2. 2008.g. 22.-25. sept. 3rd International Conference on Concept Mapping (CMC 2008), Tallina, Igaunija un Helsinki, Somija.
3. 2007.g. 10.okt. RTU 48. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija.
4. 2006.g. 7-8.sept. E-learning Conference'06: Computer Science Education, Koimbra, Portugāle.
5. 2006.g. 30.aug.-2.sept. Conference on Information Systems Development 2006 (ISD 2006), Budapešta, Ungārija.
6. 2005.g. 1.-4.jūn. The 19th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2005), Rīga, Latvija.

Promocijas darba ietvaros veikto pētījumu rezultāti ir atspoguļoti 10 publikācijās starptautiskos zinātniskos izdevumos:

1. Graudiņa V. Algorithms for Knowledge Remediation in Concept Map Based Assessment System. 2nd International Workshop on Intelligent Educational Systems and Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU 2011), 2011, 6. okt. Rīga, Latvija (pieņemts publicēšanai)
2. Graudiņa V., Grundspenķis J. Algorithm of Concept Map Transformation to Ontology for Usage in Intelligent Knowledge Assessment System. International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'11, 2011, 16.-17. jūn., Vīne, Austrija, 109.-114. lpp. (būs indeksēts: ACM Digital Library, Scopus, DBLP)
3. Graudiņa V., Grundspenķis J. Concept Map Generation from OWL Ontologies. The 3rd International Conference on Concept Mapping, 2008, 22.-25. sept., Tallina, Igaunija un Helsinki, Somija. - OU Vali Press, Igaunija, 2008, 173.-180. lpp. (indeksēts: Microsoft Academic Search)
4. Graudiņa V. OWL Ontology Transformation into Concept Map. RTU zinātniskie raksti. 5. sēr., Datorzinātne, 34. sēj., 2008, 80.-91. lpp.
5. Anohina A., Graudiņa V., Grundspenķis J. Using Concept Maps in Adaptive Knowledge Assessment. Advances in Information Systems Development "New Methods and Practice for the Networked Society". USA: Springer, 2008, 469.-479. lpp. (indeksēts: SpringerLink)

6. Graudiņa V. An Overview of Ontology Usage in Computer-Based Tutoring Systems. Annual Proceedings of Vidzeme University College: ICTE in Regional Development, 2007, 70.-77. lpp. (indeksēts: EBSCO HOST)

7. Anohina A., Graudiņa V., Grundspenķis 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, 1.-8. lpp. (indeksēts: EBSCO HOST)

8. Graudiņa V., Grundspenķis J. Conceptual Model for Ontology-based Adaptive Assessment System. The 3rd E-learning Conference-Computer Science Education, 2006, 7.-8. sept., Coimbra, Portugāle. 2006, 1.13-1.-1.13-6. lpp.

9. Graudiņa V. Dažādība ontoloģiju definīcijās un klasifikācijas shēmās. RTU zinātniskie raksti. 5. sēr., Datorzinātne, 22. sēj., 2005, 181.-192. lpp.

10. Graudiņa V., Grundspenķis J. The Role of Ontologies in Agent-Based Simulation of Intelligent Tutoring Systems. The 19th European Conference on Modelling and Simulation, 2005, 1-4. jūn., Rīga, Latvija. 2005, 446.-451. lpp.

Papildus promocijas darba rezultātiem darba autore ir publicējusi vēl šādas zinātniskas publikācijas:

1. Lukašenko R., Graudiņa V., Grundspenķis J., Computer – Based Plagiarism Detection Methods and Tools: An Overview. International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'07, 2007, 14.-15.jūn., Ruse, Bulgārija. - Ruse: 2007, IIIA.18.1.-IIIA.18.6. lpp. (indeksēts: ACM Digital Library, DBLP, Scopus)

2. Graudiņa V., Grundspenķis J. Agent-Based Systems, Their Architecture and Technologies from Logistics Perspective. RTU zinātniskie raksti. 5. sēr., Datorzinātne, 26. sēj., 2006, 159.-174. lpp.

3. Graudiņa V., Grundspenķis J. Technologies and Multi-Agent System Architectures for Transportation and Logistics Support: An Overview. International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, 2005, 16.-17. jūn., Varna, Bulgārija. 2005, IIIA.6-1.-IIIA.6-6. lpp.

4. Graudiņa V., Grundspenķis J., Valkovska I. Usage of Frame System for Modelling of Intelligent Tutoring System Architecture. Annual Proceedings of Vidzeme University College „ICTE in Regional Development”, 2005, 105.-109. lpp. (indeksēts: EBSCO HOST)

Promocijas darba rezultāti ir iekļauti arī 8 zinātnisku projektu atskaitēs. Šie projekti ir:

1. „Ontoloģijās sakņotu metožu un algoritmu izstrādāšana dažādu saistītu studiju priekšmetu konceptu karšu salīdzināšanai un apvienošanai” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2011.gads, Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projekts).

2. „Jaunas informācijas tehnoloģijas balstītas uz ontoloģijām un modeļu transformācijām” (projekta vadītājs J.Bārzdiņš (Latvijas Universitātes Matemātikas un informātikas institūts), 2010.-2013.gads, Valsts Pētījumu programmas „Inovatīvu daudzfunkcionālu materiālu, signālapstrādes un informātikas tehnoloģiju izstrāde konkurētspējīgiem zinātņu ietilpīgiem produktiem” projekts).

3. „Konceptuāla modeļa izstrāde pārejai no tradicionālās programmatūras izstrādes MDA orientētājā” (projekta vadītāja O.Ņikiforova, 2009.gads, Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projekts).

4. „Uz izklidēta mākslīgā intelekta un tīmekļa tehnoloģijām balstītas metodes un modeļi intelektuālas lietišķās programmatūras un datorsistēmu arhitektūras izstrādei” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2009.-2012.gads, Latvijas Zinātņu padomes grants).

5. „Programmatūras sistēmas klašu struktūras ģenerēšanas rīka prototipa izstrāde, pamatojoties uz divpusložu modeli” (projekta vadītāja O.Ņikiforova, 2008.gads, LR Izglītības un zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projekts).

6. „Ontoloģijās sakņotas intelektuālas sistēmas izstrāde uzdevumu ģenerēšanai jēdzienu tīklu formā un zināšanu vērtēšanai” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2007.gads, LR Izglītības un zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projekts).

7. „Jēdzienu tīklu un ontoloģiju balstīta intelektuāla sistēma studentu zināšanu pašvērtēšanai un procesu orientētai zināšanu pārbaudei” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2006.gads, LR Izglītības un zinātnes ministrijas un Rīgas Tehniskās universitātes pētniecības projekts).

8. „Intelektuālu aģentu un zināšanu pārvaldības tehniku integrēšana apmācības procesu intelektuālam atbalstam” (projekta vadītājs J.Grundspenķis, 2005.-2008.gads, Latvijas Zinātņu padomes grants).

Darba struktūra

Promocijas darbu veido ievads, 4 nodaļas, secinājumi, bibliogrāfiskais saraksts un 10 pielikumi. Promocijas darba pamatteksts ir 194 lappuses, tas satur 101 attēlu un 16 tabulas. Bibliogrāfiskajā sarakstā 217 nosaukumu informācijas avoti.

Promocijas darba *ievadā* ir pamatota veikta pētījuma aktualitāte, formulēts promocijas darba mērķis un uzdevumi, aprakstīta pētījumu zinātniskā novitāte un iegūto rezultātu praktiskā nozīmība, kā arī ir atspoguļota darba aprobācija.

Darba *1.nodaļā* ir izpētīta jēdzienu karšu izmantošana zināšanu vērtēšanā un tās datorizēts atbalsts. Tajā ir ietverts pētījums par jēdzienu karšu izmantošanu, to daudzveidību, uzdevumu dažādību, jēdzienu karšu izmantošanas pedagoģisko pamatotību un jēdzienu karšu izmantošanu tieši zināšanu vērtēšanā, kā arī par programmatūru dažādu uzdevumu veikšanai ar jēdzienu kartēm.

Darba *2.nodaļā* ir veltīta zināšanu kartogrāfijas tehniku analīzei, kuras rezultātā par piemērotāko integrēšanai intelektuālā jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS ir atzītas ontoloģijas. Tāpēc arī šī tehnika ir sīkāk analizēta nodaļas turpinājumā, lai atrastu iespējamās IKAS attīstīšanas virzienus, pārņemot idejas no pētījumiem par ontoloģiju izmantošanu datorizētās mācību sistēmās.

Darba *3.nodaļā* ir aprakstīti izstrādātie algoritmi jēdzienu kartēs sakņotas intelektuālas mācību sistēmas IKAS paplašināšanai. Nodaļā ir aprakstīti algoritmi jēdzienu karšu transformācijai OWL ontoloģijās un OWL ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs. Arī IKAS paplašināšana ar zināšanu korekciju ir aprakstīta.

Darba *4.nodaļā* ir aprakstīta izstrādāto algoritmu, kas paplašina IKAS funkcionalitāti, realizācija, darbība un aprobācija, izmantojot dotu aparatūras ontoloģiju un studiju priekšmeta „Mākslīgā intelekta pamati” pasniedzēja izveidoto jēdziena karti.

Darba *noslēguma daļā* ir izklāstīti promocijas darba galvenie rezultāti un iegūtie secinājumi, kā arī sniegti iespējamie turpmāko pētījumu virzieni.

Darbam pievienoti *10 pielikumi*: 1. Jēdzienu karšu uzdevumu veidi, 2. Jēdzienu karšu uzdevumu sakārtojums pēc grūtības pakāpes, sākot ar vienkāršāko, 3. Specifisku jēdzienu karšu zīmēšanas rīku apraksti, 4. Jēdzienu kartēs sakņotu zināšanu vērtēšanas sistēmu apraksti, 5. Ontoloģiju klasifikācijas shēmu apraksti, 6. Piemēri OWL ontoloģijas transformācijai jēdzienu kartē, 7. Aparatūras ontoloģija, 8. Jēdzienu kartes MIP 1.1 transformācijas rezultātā iegūtā ontoloģija, 9. Mācīšanās ceļu sastādīšana, 10. Sapludinātā ontoloģija.

1. JĒDZIENU KARTES ZINĀŠANU VĒRTĒŠANĀ

Neskatoties uz aktīvajiem pētījumiem jēdzienu karšu jomā, vēl joprojām ir salīdzinoši nedaudz pētījumu par zināšanu vērtēšanu ar jēdzienu kartēm, tāpēc promocijas darba 1. nodaļā ir izpētīta jēdzienu karšu izmantošana zināšanu vērtēšanā un tās datorizēts atbalsts.

1.1. apakšnodaļa ietver pētījumu par jēdzienu karšu izmantošanu, to daudzveidību, uzdevumu dažādību, jēdzienu karšu izmantošanas pedagoģisko pamatotību un to lietošanu tieši zināšanu vērtēšanā. Apakšnodaļas mērķis ir noskaidrot, kā jēdzienu karšu dažādība ietekmē tajās sakņotu uzdevumu daudzveidību, kurus būtu iespējams lietot adaptīvas zināšanu vērtēšanas un pašvērtēšanas sistēmās ar automatizētu jēdzienu karšu novērtēšanu. 1.2. apakšnodaļa ir veltīta programmatūrai dažādu uzdevumu veikšanai ar jēdzienu kartēm, lai noskaidrotu pasniedzēja iesaistīšanos un noslodzi, izmantojot šādus rīkus mācību procesā, īpašu uzmanību pievēršot Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Sistēmu teorijas un projektēšanas katedrā izstrādātajai intelektuālai zināšanu vērtēšanas sistēmai IKAS, kuras funkcionalitāte ir paplašināta ar promocijas darba rezultātiem.

1.1. Jēdzienu kartes un to izmantošana

Termins „jēdzienu karte” ir zināms jau vairākus gadu desmitus, kad pagājušā gadsimta septiņdesmitajos gados tās sāka lietot Džozefs Novaks no ASV [NOV 1972], [NOV 1984]. Viņš arī ieteica 4 primāros jēdzienu karšu izmantošanas veidus dažādos ar pedagoģiju saistītos procesos – mācīšanas procesā, kur pasniedzējs strukturē prezentācijai nepieciešamo mācību vielu, mācību plāna sastādīšanas procesā, mācīšanās procesā, kur apmācāmais strukturē informāciju, lai to apstrādātu, un arī zināšanu vērtēšanas procesā [NOV 1990].

Matemātiski jēdzienu kartes ir kognitīvās struktūras atspoguļojums grafa veidā, kur virsotnes ar nosaukumiem atbilst jēdzieniem, bet loki jeb saites norāda saistību starp diviem jēdzieniem. Jēdzienu definē kā „notikumos/objektos atklātu likumsakarību jeb paraugu (angļu val. *regularity*) vai notikumu/objektu raksturojumu (angļu val. *record*)”, ko apzīmē ar kādu simbolu, parasti vārdu [CAÑ 2008]. Savukārt lokiem piesaista lingvistisku saišu frāzi, kas parasti ir darbības vārds. Promocijas darbā veiktā literatūras analīze ir pierādījusi, ka jēdzienu kartes atbilst mūsdienu pedagoģijas principiem. To izmantošana mācību procesā palīdz apmācāmajiem saistīt procedurālas zināšanas ar deklaratīvām, tā rezultātā iegūstot strukturālas zināšanas [JON 1996], turklāt to izmantošana zināšanu vērtēšanā ļauj gan pašam apmācāmajam, gan arī mācībspēkam izsekot un novērtēt apmācāmā kognitīvās struktūras attīstību [VAN 2005], [AND 1998].

Turpinot 2008. gadā Barbaras Deilijas (*Daley*) ar kolēģiem veikto apkopojumu par jēdzienu karšu izmantošanu [DAL 2008], promocijas darbā ir analizēti vēl divu jēdzienu

karšu konferenču CMC2008¹ un CMC2010² rakstu krājumi. Tā rezultātā ir izdarīts secinājums, ka ir saglabājušies Deilijas konstatētie pētījumu virzieni (mācīšana un mācīšanās, zināšanu vērtēšana un jēdzienu karšu novērtēšana, zināšanu pārvaldība, programmatūra darbam ar jēdzienu kartēm, mācībspēku profesionālā pilnveidošana, kas ietver jēdzienu karšu izmantošanu, jēdzienu kartes kā pētījumu metodes) un klāt nākuši šādi papildinājumi:

- jēdzienu karšu formalizācija, datorizēta apstrāde, jēdzienu karšu analīze un teorijas par tām [MIL 2008], [KOZ 2008], [VAL 2008], [ROM 2010], [SIM 2008], [KOW 2010] u.c.;
- jēdzienu karšu izmantošana ārpus izglītības jomas [SAL 2008], [SÁN 2008], [KYR 2008], [HEL 2010] u.c.

Tomēr joprojām ir maz pētījumu par jēdzienu karšu izmantošanu datorizētā zināšanu vērtēšanā, kļūdaino un nepilnīgo zināšanu korekciju un šo procesu atbalstošas programmatūras izstrādi un attīstīšanu, kā arī nav apkopojoša pētījuma par dažādām jēdzienu karšu variācijām (izņemot [AHL 2004], kur lielāka uzmanība ir pievērsta jēdzienu karšu izmantošanai dažādās valstīs, nevis jēdzienu karšu elementu dažādībai). Tāpēc promocijas darbā veikta jēdzienu karšu dažādības analīze, lai vēlāk turpinātu pētījumu par tās ietekmi uz jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu daudzveidību.

Promocijas darbā ir konstatēts, ka jēdzienu karšu dažādību ietekmē (1.1. att.):

- kartes pamatā esošā topoloģija (lineāra, cikliska, centriska, tīklveida, hierarhiska koka un hierarhiska šķērssaišu struktūra [SAF 2003], [DER 2004], [AHL 2004], [YIN 2005]);
- kartes pamatā esošais grafa tips (orientēts vai neorientēts);
- saišu nosaukumi, kas nosaka attieksmes veidu starp jēdzieniem (statiska/dinamiska attieksme [SAF 2003], kauzāla/nekauzāla attieksme [MIL 2008], kvantitatīva/ nekvantitatīva attieksme [MIL 2008]);
- saišu homogenitāte/heterogenitāte, t.i., vai saites ir ar vienādu vai atšķirīgu svaru (nozīmi) [ANO 2006b], [GRU 2009];
- multimediju objektu piesaiste jēdzieniem un saitēm [BRI 2004].

¹ The 3rd International Conference on Concept Mapping. Tallinn, Estonia, Helsinki, Finland, September, 22-25, 2008 (<http://cmc.ihmc.us/cmc2008/cmc2008Program.html>)

² The 4th International Conference on Concept Mapping. Viña del Mar, Chile, October, 5-7, 2010 (<http://cmc.ihmc.us/cmc2010/CMC2010Program.html>)

saistīts ar faktu, ka promocijas darbs fokusējas uz papildinājumu ieviešanu jau realizētā intelektuālā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS [ANO 2006b], [GRU 2009]. Tās pamatkonceptija ir tādi zināšanu vērtēšanas uzdevumi, kuru automatizētai vērtēšanai nav vajadzīga dabīgās valodas apstrāde, kā arī nav nepieciešama mācībspēka iesaistīšanās zināšanu vērtēšanas procesā.

Jēdzienu karšu uzdevumu daudzveidību nosaka tas, ka uzdevumu veido kombinācija no 1) uzdevuma prasībām (angļu val. *task demand*), kuras definē uzdevuma nostādni, kas studentam ir jādara, 2) uzdevuma ierobežojuma (angļu val. *task constraint*), kas definē, ko students drīkst/nedrīkst darīt, un 3) uzdevuma satura struktūras (angļu val. *task content structure*), kas ir uzdevuma nostādnes un uzdevuma ierobežojuma šķēlums ar problēmsfēras struktūru t.i., kā problēmsfēra ietekmē uzdevumu [RUI 1996]. Uzdevuma prasības ir saistītas ar uzdevuma nostādni, kas nosaka veicamā uzdevuma veidu [GRU 2011]: 1) aizpildīt jēdzienu karti (ievietot jēdzienus/saišu frāzes dotā kartes struktūrā), 2) konstruēt jēdzienu karti, 3) kāds cits uzdevums, piemēram, „novērtēt jēdzienu kartes pareizību”.

Jēdzienu karšu aizpildīšanas un jēdzienu karšu konstruēšanas uzdevumu dažādību nosaka uzdevumu 4 kategoriju ierobežojumi jēdzienu un saišu frāžu kopām [GRU 2011]:

1. Pilna kopa – students uzdevuma veikšanai saņem visus jēdzienus un/vai saišu frāzes, kas vai nu jāievieto jēdzienu kartes struktūrā (aizpildīšanas uzdevuma gadījumā), vai pašam jādefinē to saistība (konstruēšanas uzdevuma gadījumā).

2. Nepilna kopa – students uzdevuma veikšanai saņem tikai daļu jēdzienu un/vai saišu frāžu, kas tiek dotas saraksta veidā vai jau ievietotas jēdzienu kartes struktūrā. Studentam pašam ir jādefinē trūkstošie jēdzieni un/vai saišu frāzes.

3. Pārpilna kopa – students saņem ne tikai jēdzienus un/vai saišu frāzes, kas attiecas uz viņa uzdevumu, bet arī papildus jēdzienus un/vai saišu frāzes, kas ir maldinošas, jo ir nepareizas vai neattiecas uz problēmsfēru.

4. Tukša kopa – studentam pašam ir jādefinē visi jēdzieni un/vai saišu frāzes.

Minēto ierobežojumu ieviešana jēdzienu un saišu kopām ievērojami palielina jēdzienu kartēs saknotu uzdevumu klāstu, kas dod iespēju adaptēt uzdevumus katra apmācāmā zināšanu līmenim un spējām. Izanalizējot iespējamās uzdevumu prasības un uzdevumu ierobežojumus aizpildīšanas un konstruēšanas uzdevumiem, ir konstatēts, ka ir iespējami 108 uzdevumu varianti (promocijas darba 1. pielikums). 34 uzdevumu veidiem nav nepieciešama dabīgās valodas apstrāde automatizētas uzdevuma atbildes novērtēšanas nodrošināšanai, jo apmācāmais tiek nodrošināts ar pilnu/pārpilnu jēdzienu un/vai saišu frāžu kopu. Katram uzdevuma veidam norādīts ierobežojuma veids jēdzienu un saišu frāžu kopām, kā arī

informācija par strukturā iekļautajiem elementiem (1.1. tabula), turklāt katram elementam eksperimentāli ir noteikts grūtības pakāpes koeficients. Diviem vai vairākiem uzdevumiem, atzīmējot uzdevuma nosacījumos dotos elementus un tad summējot atzīmēto elementu koeficientus, ir iespējams sakārtot uzdevumus pēc to grūtības pakāpes. Visu 108 uzdevumu veidu sakārtojums ir dots promocijas darba 2. pielikumā. Jo lielāka koeficientu summa, jo sarežģītāks uzdevums.

1.1. tabula

Jēdzienu karšu uzdevumu elementi un to sarežģītības ietekmes koeficienti

Jēdzienu kopa				Saišu frāžu kopa				Struktūra							
Pilna	Nepilna	Pārpilna	Tukša	Pilna	Nepilna	Pārpilna	Tukša	Nav dota	Ievietoti visi jēdzieni	Ievietota daļa jēdzienu	Nav ievietoti jēdzieni	Ievietotas visas saišu frāzes	Ievietota daļa saišu frāžu	Nav ievietotas saišu frāzes	Saišu frāzes neizmanto
2	7	5,2	14	1	3,7	2	7,2	26	0,4	2,8	9	0	2,2	4,1	0,5

Kā redzams, jēdzienu karšu uzdevumi ir dažādi un līdz ar to piemērojami dažādām zināšanu vērtēšanas vajadzībām (vienkāršāki un sarežģītāki uzdevumi). Turklāt jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu daudzveidība un to sakārtošanas iespēja pēc grūtības pakāpes ļauj tos piemērot adaptīvai zināšanu vērtēšanai [ANO 2008]. No pieejamās literatūras izriet, ka līdz šim nav izstrādātas formālas metodes uzdevumu grūtības pakāpju salīdzināšanai. Ir tikai Ruiz-Primo pētījums [RUI 2004] par ievirzīšanas pakāpes ietekmi uz uzdevuma grūtības pakāpi, Jina ar kolēģiem veiktais pētījums [YIN 2005] par divu veidu uzdevumu salīdzināšanu, kā arī Lukašenko un Anohinas-Naumecas darbs [LUK 2010], kur studentiem atkarībā no rezultātiem tiek piedāvāti seši dažādas grūtības pakāpes uzdevumi.

Šajā apakšnodaļā aprakstītajā analīzē par jēdzienu karšu izmantošanas un pētījumu jomām ir konstatēts, ka ir salīdzinoši maz pētījumu par datorizētu atbalstu jēdzienu karšu veidošanai un to izmantošanai zināšanu vērtēšanā, tāpēc, nākamajā apakšnodaļā ir sniegts apkopojums par šādu programmatūru.

1.2. Jēdzienu kartes atbalstoša programmatūra

Jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu veikšanu mūsdienās nodrošina diezgan daudz datorprogrammu [KMH], [CIM 2003], [HOE 2003], [CAÑ 2004], [DAR 2005], [ANO

2006b], [GOU 2008], [GRU 2009] u.c. Tās atbalsta dažādas ar jēdzienu karšu uzdevumiem saistītas aktivitātes. Galvenās atšķirības starp šiem rīkiem ir saistītas ar piedāvātās funkcionalitātes sarežģītību. Vienkāršākajā gadījumā tā ir tikai jēdzienu karšu zīmēšana, sarežģītākajā arī izveidoto jēdzienu karšu novērtēšana, kas ietver to analīzi un atgriezeniskās saites sniegšanu apmācāmajam. Parasti karšu novērtēšanas rīki ietver arī karšu zīmēšanas funkciju:

1. Jēdzienu karšu zīmēšanas funkcija nodrošina jēdzienu kartes izveidošanu kādā ciparu formātā, ko ir iespējams labot, papildināt, modificēt un saglabāt. Ar šīs funkcijas palīdzību gan apmācāmie, gan pasniedzēji veido jēdzienu kartes dažādiem mācību mērķiem, piemēram, pasniedzēji – kā skaidrojošo materiālu, tēmas kopsavilkumu vai mācību programmas plānu, apmācāmie – kā pārbaudes darbu, attēlojot apgūtos jēdzienus un saites starp tiem, izlasītās literatūras apkopojumu. Programmatūra nodrošina jēdzienu karšu zīmēšanu, atspoguļojuma izkārtojuma vieglāku modificēšanu, jo vairums rīku saglabā saites starp elementiem, lielu jēdzienu karšu un to kopu pārvaldību.

2. Jēdzienu karšu novērtēšanas funkcija ir saistīta ar apmācāmo izveidoto jēdzienu karšu analīzi, salīdzinot ar pasniedzēja izveidoto jēdzienu kartes etalonu vai izmantojot kādu citu novērtēšanas metodi, un vērtējuma par apmācāmā zināšanām sniegšanu. Turklāt atkarībā no sistēmas funkcionalitātes apmācāmajam sniegtā atgriezeniskā saite svārstās no kvantitatīva vērtējuma, piemēram, cik jēdzieni ir pareizi sasaistīti, līdz bagātīgai atgriezeniskajai saitei, kas apmācāmajam sniedz ieteikumus konstatēto kļūdu novēršanai un zināšanu uzlabošanai.

Jēdzienu karšu zīmēšanas rīki ir piemēroti izmantošanai mācīšanas un mācīšanās laikā, kad nav nepieciešams novērtēt izveidotās jēdzienu kartes. Pretējā gadījumā tie no pasniedzējiem prasa tādu pašu piepūli, kā ar roku zīmētu jēdzienu karšu novērtēšana. Savukārt novērtēšanas rīki uzliek pasniedzējam slodzi, kas ir saistīta ar uzdevumu etalonkaršu (jēdzienu karte, ar kuru salīdzina studenta iesniegto) un atgriezeniskajā saitē un palīdzībā studentam izmantojamo materiālu sagatavošanu. Promocijas darbā ir sniegts apkopojums par 5 tieši jēdzienu kartēm domātiem zīmēšanas rīkiem un 5 novērtēšanas rīkiem, kuru plašāki apraksti ir pievienoti attiecīgi 3. un 4. pielikumā.

Ņemot vērā faktu, ka pasniedzējam ir jāiegulda liels darbs uzdevumu sagatavošanā un īpaši materiālu izveidošanā, kas nepieciešami informatīvas un nepilnīgo zināšanu korigējošas atgriezeniskās saites nodrošināšanai, promocijas darbā ir identificēts, kā iespējams atbalstīt pasniedzēju minētajās aktivitātēs:

- etalonkartes, to fragmentus vai uzmetumus iegūt no esošajiem priekšmetu aprakstiem un ontoloģijām, zināšanu kopumiem, nozares klasifikatoriem un taksonomijām un citās

sistēmās izstrādātām jēdzienu kartēm vai līdzīgām zināšanu struktūrām, lai samazinātu pasniedzēja slodzi uzdevumu sagatavošanā;

- jēdzienu skaidrojumus, definīcijas un piemērus iegūt no jau eksistējošiem mācību materiāliem;
- pēc studenta atbildes novērtēšanas piedāvāt mācību materiālus konstatēto zināšanu nepilnību novēršanai, izsniedzot tos, ievērojot nepieciešamo priekšzināšanu kopumu;
- sistēmā uzkrātās etalonkartes tālāk izmantot precīzākai studentu atbilžu novērtēšanai;
- apvienojot uzkrātās etalonkartes, veikt mācību priekšmetu, to moduļu un studiju programmas izvērtēšanu.

Promocijas darbā ir meklēti risinājumi minētajiem attīstības virzieniem, un tie ir integrēti intelektuālā jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS [ANO 2006b], [GRU 2009], ko izstrādā Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātes Sistēmu teorijas un projektēšanas katedrā un kuras funkcionalitātes nodrošināšanai pasniedzējiem ir jāiegulda liels darbs.

IKAS sistēmas darbības pamatā ir ideja, ka pasniedzējs izveido savam kursam jēdzienu karti un uzstāda uzdevuma parametrus, piemēram, ar kādas grūtības pakāpes uzdevumu jāsāk vērtēšana. Pasniedzēja izveidoto jēdzienu karti sistēma izmanto par pamatu uzdevuma ģenerēšanai un kā etalonu, ar ko salīdzina studenta iesniegto atbildes jēdzienu karti. IKAS sistēmā mācību kursu iedala posmos un katra posma beigās veic vērtēšanu. Katrā posmā students izpilda vienu jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu, kas ir pieejams 6 grūtības pakāpēs un atkarībā no studenta veikuma mainās nākamajā posmā. Pēc vērtēšanas gan pasniedzējs, gan students saņem atgriezenisko saiti par vērtēšanas rezultātiem.

1. nodaļas kopsavilkums un secinājumi

- Lai arī jēdzienu kartes ir plaši un salīdzinoši ilgstoši izmantotas pedagogijā un atbilst tās mūsdienu idejām, tomēr nav apkopojošu pētījumu par jēdzienu karšu dažādību. Tāpēc promocijas darbā ir identificētas jēdzienu karšu komponentes un to īpašības, kas ietekmē to dažādību.
- Sastādot jēdzienu kartēs sakņotu uzdevumu spektru (kopā 108 uzdevumu veidi), ir atrasts matemātisks formālisms, kas ļauj kvalitatīvi salīdzināt uzdevumu grūtības pakāpes, tā paplašinot adaptācijas iespējas katra apmācāmā zināšanu līmenim.
- Lai pilnvērtīgi izmantotu datorizētus jēdzienu kartēs sakņotus zināšanu vērtēšanas rīkus, pasniedzēji papildus tiek noslogoti ar etalonkaršu un atgriezeniskās saites sastādīšanu. Tāpēc promocijas darbā ir identificēti intelektuālas jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu

vērtēšanas sistēmas IKAS attīstīšanas virzieni pasniedzēja slodzes samazināšanai, funkcionalitātes paplašināšanai zināšanu korekcijas virzienā un jau uzkrāto etalonkaršu tālākai izmantošanai.

2. ZINĀŠANU KARTOGRĀFIJAS TEHNIKAS DATORIZĒTĀ APMĀCĪBĀ UN ZINĀŠANU VĒRTĒŠANĀ

Balstoties uz iepriekšējā nodaļā konstatētajiem IKAS pilnveidošanas virzieniem, 2.1. apakšnodaļā ir analizētas zināšanu kartogrāfijas tehnikas, ar mērķi atrast piemērotākās IKAS funkcionalitātes paplašināšanai, 2.2. apakšnodaļā aprakstīti ontoloģiju definīciju un klasifikāciju sistematizācijas rezultāti, ontoloģiju izmantošana datorizētās mācību sistēmās, 2.3. apakšnodaļā ir izvērtēta ontoloģiju apvienošanas iespēju izmantošana jēdzienu karšu apvienošanai, 2.4. apakšnodaļā ir identificēti IKAS pilnveidošanas virzieni, izmantojot ontoloģijas.

2.1. Zināšanu kartogrāfijas tehniku apskats

Apakšnodaļas ietvaros ir izanalizētas prāta kartes [BUZ 1996], [ASH 2009], [TIP 2009], zināšanu kartes [GRE 1999], [TAN 2005], argumentu kartes [TWA 2004], [OKA 2008b], [ROW 2008], tematu kartes [PAR 2002], [OLS 2006], [MAT 2008], semantiskie tīkli [SOW 1992], [HEL 2002], konceptuālie grafi [AMI 2008], [SOW 2008] un ontoloģijas [GRU 1995], [GRA 2005b], [JOV 2007]. Pirmo 3 tehniku izcelsme ir saistīta ar pedagoģijas un zināšanu pārvaldības jomu, savukārt pārējās 4 tehnikas ir saistītas ar zināšanu inženieriju, kas ir mākslīgā intelekta apakšnozare. Promocijas darba ietvaros netiek aplūkotas domāšanas kartes [HYE 2004], [HYE 2008], dialogu kartes [CON 2006], [OKA 2008b], kā arī pētījumā [BUC 2008] minētās jautājumu, konsultāciju, geštalta un diskutējamu gadījumu (angļu val. *issue*) kartes. Darbā nav iekļautas arī kartes, ko izmanto tikai viens autors vai autoru kolektīvs. Visbiežāk tās ir kartes, kas ir implementētas specifiskos rīkos un ārpus tiem netiek izmantotas. Tāpat promocijas darbā nav aplūkotas kartes, ko lieto tikai specifisku zināšanu atspoguļošanai, piemēram, programmatūras inženierijā pazīstamās UML diagrammas, jo pilnvērtīgai to izmantošanai nepieciešama papildus mācīšanās pašas tehnikas apgūšanai un tās nav izmantojamas jebkurai problēmsfērai.

Kopsavilkums par analizētajām zināšanu kartogrāfijas tehnikām ir izveidots tabulas veidā (2.1. tabula), kur katram tehnikas veidam uzskaitīti zināšanu struktūru veidojošie elementi, tas, vai tehniku izmanto mācību procesā, vai zināšanu vērtēšanā un vai tehniku ir iespējams izmantot automatizētā zināšanu vērtēšanā.

Kopsavilkums par zināšanu kartogrāfijas tehnikām

#	Tehnika	Strukturālā ietvertie elementi	Izmantošana mācību procesā	Izmantošana zināšanu vērtēšanā	Izmantošana automatizētā vērtēšanā
1.	Prāta karte	– Jēdzieni – Hierarhiskas saites – Grafiskie elementi (nav obligāti)	+	+	-
2.	Zināšanu karte	– Dažādu informāciju atspoguļojošas virsotnes – Saistības starp virsotnēm – Grafiski objekti	+	-	-
3.	Argumentu karte	– Dažādu tipu virsotnes – Virsotņu saistības	+	+	-
4.	Tematu karte	– Tematu virsotnes – Tematu saistības – Resursi par konkrētiem tematiem	+*	-	-
5.	Semantiskais tīkls	– Jēdzieni – Saites	-	-	-
6.	Konceptuālais grafs	– Jēdzienu virsotnes – Saišu virsotnes – Virsotņu saistības	+*	-	-
7.	Ontoloģija	– Jēdzieni – Hierarhiskas saites – Lingvistiskas saites – Loģikas ierobežojumi	+*	+*	+*

* - izmanto tikai kā tehnoloģisku līdzekli datorizētās mācību sistēmās, nevis kā paša procesa sastāvdaļu, piemēram, apmācāmie neveic uzdevumus, saistītus ar konkrēto zināšanu kartogrāfijas tehniku

Pētījuma rezultātā ir secināts, ka no zināšanu kartogrāfijas tehnikām integrācijai intelektuālā jēdzienu kartēs sakņotā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS vispiemērotākās ir ontoloģijas, jo 1) tām piemīt zināma strukturāla līdzība ar jēdzienu kartēm, neskatoties uz to, ka ontoloģiju struktūra ir daudz izteismīgāka un sarežģītāka; 2) ontoloģiju izmantošanu neierobežo mācību priekšmets, jo tās ir izmantojamas jebkura veida priekšmetos, gan humanitāros, gan eksaktos; 3) ontoloģiju integrēšana zināšanu vērtēšanas sistēmā ļautu tajā ieviest funkcionalitāti, ko ontoloģijas nodrošina mācību sistēmām, piemēram, mācību materiālu strukturēšanu un bagātākas atgriezeniskās saites ģenerēšanu; 4) ontoloģiju un jēdzienu karšu līdzība neizslēdz to savstarpējas transformācijas, tādā veidā ļaujot izmantot jau gatavās ontoloģijas par pamatu zināšanu vērtēšanas sistēmās lietotajām jēdzienu kartēm un, izmantojot ontoloģiju apstrādes metodes un līdzekļus, apstrādāt zināšanu vērtēšana sistēmā esošās jēdzienu kartes; 5) ir maz pētījumu par ontoloģiju lietošanu zināšanu vērtēšanas sistēmās.

2.2. Ontoloģiju izmantošanas mācību sistēmās izpēte

Tā kā pētījumu par ontoloģijām ir daudz, tas ir radījis definīciju un klasifikāciju daudzveidību, tādēļ promocijas darbā ir izvirzīts uzdevums veikt definīciju un klasifikāciju analīzi un sistematizāciju un izanalizēt ontoloģiju izmantošanu datorizētās mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmās.

Izanalizējot 17 ontoloģiju definīcijas un izvērtējot, vai tajās ir ietvertas visas ontoloģijām piemītošās īpašības (obligātās, tipiskās un vēlamās) [LAS 2001], ir secināts, ka vispilnīgākās ir Hendlera [HEN 2001] un Grūningera & Foksa [GRU 1995] ontoloģiju definīcijas. Tās nosauc ontoloģiju veidojošos elementus (jēdzieni (realitātes), semantiskās mijiedarbības, īpašības, attieksmes, ierobežojumi un uzvedība) un norāda uz ontoloģijas izmantošanu mākslīgajā intelektā (ontoloģija ietver izveduma likumus un ir formāls apraksts).

Datorizēto mācību sistēmu jomā strādājošie ir pieņēmuši T.Grūbera ontoloģiju definīciju [DOA 2006], [MIZ 2000], [LEE 2005], [BOY 2007], ka „*ontoloģija ir precīzi formulēta konceptualizācijas specifiskācija*” [GRU 1993]. Tomēr par piemērotākajām ontoloģiju definīcijām mācību sistēmu kontekstā uzskatāmas iepriekš par pilnīgākajām definīcijām identificētās Hendlera un Grūningera & Foksa, jo lietojot tās, tiek skaidri norādīts, ka mācību sistēmu vajadzībām izmanto ontoloģiju veidojošos elementus, kā arī ir vajadzīgs ontoloģiju formāls apraksts un izveduma likumi.

Ontoloģiju klasifikācijā līdzīgi kā ontoloģiju definīcijās ir liela dažādība. Gandrīz katrs autors, kas runā par ontoloģiju iedalījumu (klasifikāciju), piedāvā savu klasifikācijas shēmu, kas vislabāk atbilst viņa priekšstatiem par pareizāko, piemērotāko un uzskatāmāko ontoloģiju klasifikāciju. Van Heijsts ar kolēģiem piedāvā ontoloģiju klasifikācijas shēmas iedalīt, pamatojoties uz 2 dimensijām [VAN 1997]: 1. konceptualizācijas apjoma un tipa, 2. konceptualizācijas priekšmeta.

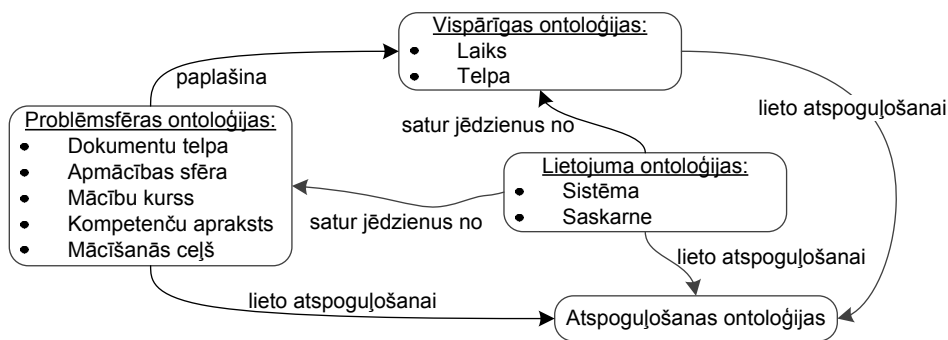
Promocijas darba ietvaros, analizējot 17 dažādas ontoloģiju klasifikācijas shēmas (promocijas darba 5. pielikumā), ir paplašināts van Heijsta shēmu iedalījums. Rezultātā ir izdalītas 2 ontoloģiju klasifikācijas shēmu grupas un to apakšgrupas [GRA 2005b]:

- problēmsfēras atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmas;
- problēmsfēras neatkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmas, kas iedalās vēl:
 - atspoguļojuma struktūras atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmās;
 - konceptu satura atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmās.

Promocijas darbā analizētās klasifikācijas shēmas ir sistematizētas atbilstoši izveidotajam iedalījumam un ir izveidots to grafisks atspoguļojums. Turklāt konceptu satura

atkarīgas klasifikācijas shēmas, kuras saistītas ar ontoloģijā iekļauto konceptu vispārīgumu, ir analizētas sīkāk, lai noteiktu shēmu neatkarību no problēmsfēras, vēl ir norādīti arī iespējamie klasifikācijas shēmu apvienojumi precīzākam ontoloģiju iedalījumam [GRA 2005a].

Neskatoties uz dažādiem nosaukumiem, datorizētās mācību sistēmās izmantotās ontoloģijas iekļaujas van Heijsta [VAN 1997] ontoloģiju klasifikācijā, kur tās ir iedalītas atspoguļošanas, vispārīgās, problēmsfēras un lietojuma ontoloģijās. Daudzos gadījumos mācību sistēmu izstrādātāji ontoloģijai ir devuši precīzāku nosaukumu (nevis tikai, piemēram, lietojuma vai problēmsfēras ontoloģija), kas labāk atspoguļo jēdzienus, ko tā satur, vai lietošanas mērķus. 2.1. att. ir atspoguļota iepriekš minētā ontoloģiju klasifikācija, kura ir papildināta ar mācību sistēmās biežāk lietoto ontoloģiju problēmsfērām, kas atbilst izvēlētās klasifikācijas kategorijām.



2.1. att. Datorizētās mācību sistēmās lietoto ontoloģiju problēmsfēras

Bez datorizētās mācību sistēmās izmantoto ontoloģiju tipu identificēšanas promocijas darbā ir pētīti arī ontoloģiju kā metadatu lietojumi, izmantojot tās mācību materiālu aprakstīšanai. Promocijas darbā ir secināts, ka ontoloģijas kopā ar tradicionālajiem mācību materiālu metadatu standartiem dod vislabākos rezultātus mācību materiālu aprakstīšanā. Vēl promocijas darbā ir apkopota literatūra par ontoloģiju izmantošanu mācību sistēmu autorēšanas rīkos un citos pielietojumos mācību sistēmu kontekstā. Promocijas darbā ir secināts, ka ontoloģijas izmanto visās intelektuālu mācību sistēmu komponentēs, kur tās apraksta problēmsfēras zināšanas, kas ir izmantojamas gan kā kursa saturs, tēmas un atslēgvārdi, gan metadati mācību materiāliem.

2.3. Ontoloģiju apvienošanas iespējas

1. nodaļā kā viens no IKAS tālākās attīstības virzieniem ir izvirzīts: „apvienojot uzkrātās etalonkartes, veikt mācību priekšmetu, to moduļu un studiju programmas izvērtēšanu”, tāpēc ir izpētītas ontoloģiju apvienošanas iespējas un izvērtētas, vai tās ir iespējams pārņemt jēdzienu karšu apvienošanai jeb sapludināšanai (angļu val. *merge*).

Promocijas darbā ir pētīta ontoloģiju saskaņības (angļu val. *matching*) noteikšana, kas saistīta ar attieksmju vai atbilstību noteikšanu starp vairāku ontoloģiju elementiem [EUZ 2007]. Saskaņības noteikšanas rezultātā iegūst līdzinājumu (angļu val. *alignment*), kas satur ontoloģiju elementu savstarpējo atbilstību (angļu val. *correspondence*) kopu. Lai starp ontoloģijām iegūtu līdzinājumu, to elementiem ir jānosaka savstarpējās līdzības pakāpe, tāpēc promocijas darbā ir apkopoti līdzības mēri.

No pieejamiem un strādājošiem ontoloģiju apvienošanas rīkiem promocijas darbā par piemērotāko ir atzīts Protègè spraudnis PROMPT [FRI 2000], neskatoties uz to, ka šis spraudnis ir savietojams ar iepriekšējās paaudzes Protègè rīku un apvienošanas rezultātā jaunajā ontoloģijā tiek ģenerēti „lieki” dati (saistīti ar tās paaudzes Protègè rīkā izmantoto ontoloģiju glabāšanas formātu). Minētā trūkuma novēršanai promocijas darbā ir izstrādāta ontoloģiju pēcapstrādes utilitprogramma MergeUtil.

2.4. Ontoloģiju lietojumi IKAS funkcionalitātes paplašināšanai

Visbūtiskākais IKAS pilnveidošanas virziens, izmantojot ontoloģijas, ir saistīts ar sistēmas pārveidošanu no zināšanu vērtēšanas sistēmas uz zināšanu vērtēšanas un/vai pašvērtēšanas sistēmu ar zināšanu korekciju, jo ontoloģijas ir sevi pierādījušas mācību sistēmās kā atbilstošs mehānisms mācību materiālu aprakstīšanai, indeksēšanai un mācīšanās ceļu personalizācijai [GRA 2007]. Pārņemot pētījumu pieredzi par ontoloģiju izmantošanu mācību sistēmās, ontoloģijas IKAS sistēmā var izmantot, modelējot pedagoģiskās zināšanas, kas izmantojamas studenta pieļauto kļūdu analīzei un to korekcijas nodrošināšanai, kā arī pasniedzēju mācību materiālu sagatavošanas atbalstam; studentu, aprakstot viņa iepriekšējās zināšanas, progresu, mācīšanās uzvedību un stilu, izdarītās izvēles, tādā veidā pilnveidojot IKAS adaptēšanos studentam; kursu saturu apvienojumā ar izmantojamajiem mācību materiāliem un citu veidu zināšanu pārbaudes uzdevumiem; atgriezenisko saiti un dialogus. Tomēr saistībā ar šiem IKAS attīstības virzieniem ir nepieciešami papildus pētījumi par to lietderību, bet tas ir ārpus šī promocijas darba.

Šajā promocijas darbā ir risināti tādi ar IKAS funkcionalitātes paplašināšanu saistīti uzdevumi, kā ontoloģiju un jēdzienu karšu savstarpējo transformāciju izstrāde, lai atvieglotu pasniedzēja darbu un jēdzienu kartēm izmantotu ontoloģiju apstrādes rīkus, kā arī jēdzienu kartes analīzes metožu izstrāde mācību objektu satura ieteikumu, kursa mācīšanās ceļu un personalizētu mācīšanās ceļu ģenerēšanai. Respektīvi, promocijas darbā ir izstrādāti IKAS funkcionalitātes paplašināšanai nepieciešamie algoritmi, kas balstās gan uz ontoloģiju integrāciju IKASā, gan jēdzienu karšu analīzi un apstrādi zināšanu korekcijas nodrošināšanai.

2. nodaļas kopsavilkums un secinājumi

- Zināšanu kartogrāfijas tehniku analīzes rezultātā ir secināts, ka ontoloģijas ir integrējamas ar jēdzienu kartēm, jo ontoloģijām un jēdzienu kartēm ir zināma līdzība, t.i., ontoloģiju klases un eksemplāri neatšķiras no jēdzienu kartēs esošajiem jēdzieniem, saistības starp klasēm un eksemplāriem ontoloģijā ir līdzīgas saistībām starp jēdzieniem jēdzienu kartēs.
- Ir atrastas mācību sistēmās izmantoto ontoloģiju definēšanai piemērotākās definīcijas, kas sevī iekļauj ontoloģiju veidojošos elementus un norāda uz ontoloģijas izmantošanu mākslīgajā intelektā.
- Izanalizējot ontoloģiju klasifikācijas shēmas, ir secināts, ka tās iedalās četrās dažādās un atšķirīgās ontoloģiju klasifikācijas shēmu grupās. Izveidotais iedalījums sistematizē vairākumu no eksistējošajām ontoloģiju klasifikācijas shēmām. Promocijas darbā iegūtais iedalījums ir lietots mācību sistēmās izmantoto ontoloģiju klasifikācijai.
- Apkopojot literatūru par ontoloģiju izmantošanu intelektuālās mācību sistēmās, mācību materiālu metadatu aprakstīšanā un mācību materiālu autorēšanā, ir secināts, ka ontoloģijas ir iespējams izmantot jebkurā sistēmas komponentē, kur ir nepieciešama zināšanu formalizēšana, kā tas ir redzams intelektuālu mācību sistēmu gadījumā.
- Lai atrisinātu uzdevumu, ka IKASā uzkrātās jēdzienu kartes ir jāapvieno vienā, promocijas darbā ir analizētas ontoloģiju apvienošanā izmantotās metodes un rīki, lai noskaidrotu, vai tie ir piemērojami arī jēdzienu karšu apvienošanai. Pētījuma rezultātā ir secināts, ka pēc jēdzienu karšu transformācijas ontoloģijās metodes un rīki ontoloģiju sapludināšanai ir izmantojami jēdzienu karšu apvienošanai.

3. ALGORITMI JĒDZIENU KARTĒS SAKŅOTAS ZINĀŠANU VĒRTĒŠANAS SISTĒMAS FUNKCIONALITĀTES PAPLAŠINĀŠANAI

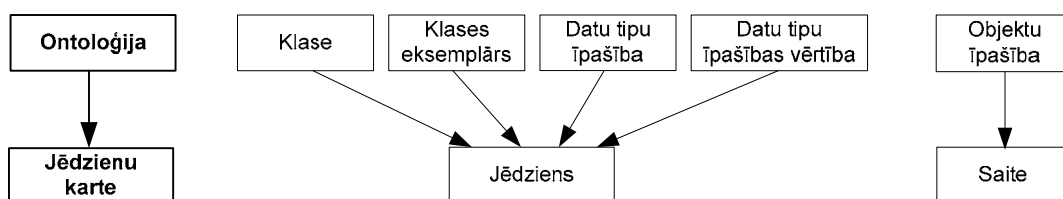
Šajā nodaļā ir definēti algoritmi intelektuālas jēdzienu kartēs sakņotas zināšanu vērtēšanas sistēmas IKAS funkcionalitātes paplašināšanai. 3.1. apakšnodaļā aprakstīta OWL ontoloģijas elementu atbilstība jēdzienu kartēm. 3.2. apakšnodaļā definēts algoritms ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs. 3.3. apakšnodaļā definēts algoritms jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijās. 3.4. apakšnodaļā aprakstīti algoritmi, kas IKASu paplašina par zināšanu pašvērtēšanas sistēmu un sistēmu ar zināšanu korekciju. Jēdzienu karšu un ontoloģiju savstarpējās transformācijas ir izstrādātas valodā OWL definētām ontoloģijām un IKASā glabājamām jēdzienu kartēm. Valoda OWL ir izvēlēta tāpēc, ka šobrīd tā ir W3

konsorcija atzīts ontoloģiju aprakstīšanas standarts³ un viena no biežāk izmantotajām ontoloģiju valodām.

3.1. OWL ontoloģijas elementu atbilstība jēdzienu kartes elementiem

Izanalizējot OWL valodas sintaksi un semantiku [OWL 2004a], [OWL 2004b], [OWL 2004c], [LAC 2005], [OWL 2009a], [OWL 2009b] un OWL valodā pierakstītās ontoloģijas, promocijas darbā ir definēta OWL ontoloģijas elementu atbilstība jēdzienu kartes elementiem [GRA 2008b].

Vispārīga OWL ontoloģijas un jēdzienu kartes atbilstība ir redzama 3.1. att., kur ilustrēts, kuri ontoloģijas elementi tieši atbilst jēdzienu kartes elementiem, t.i., visas ontoloģijas klases, eksemplāri, datu tipu īpašības un datu tipu īpašības vērtības ir jēdzieni, savukārt objektu īpašības atbilst saitēm jēdzienu kartē. Papildus šiem elementiem promocijas darbā ir atrasti un apkopoti OWL konstruktori, kas apraksta dažādas šo elementu īpašības, kuras ietekmē elementu transformāciju jēdzienu kartē, piemēram, konstruktors, kas definē, ka viena klase ir citas klases apakšklase.



3.1. att. Ontoloģijas atbilstība jēdzienu kartei

3.2. Algoritms ontoloģijas transformācijai jēdzienu kartē

Visi ontoloģijas transformācijas gadījumi ir iedalīti 3 grupās:

- Klašu un to eksemplāru hierarhiskās attiecības – ietverti gadījumi, kas saistīti ar ontoloģijas klašu un to eksemplāru atrašanu un to hierarhiskās saistības noskaidrošanu, t.i., klašu un to apakšklašu attiecības, klašu un to eksemplāru attiecības, Būla attiecības starp klasēm, klašu un eksemplāru sinonīmi, klašu un eksemplāru atšķirības.
- Klašu un to eksemplāru semantiskās attiecības – ietverti gadījumi, kas saistīti ar objektu īpašību atrašanu, kas definē semantisko saistību starp klasēm/eksemplāriem.
- Klašu un to eksemplāru īpašību attiecības – ietverti gadījumi, kas saistīti ar klašu/eksemplāru datu tipu īpašību atrašanu.

³ http://www.w3.org/standards/techs/owl#w3c_all

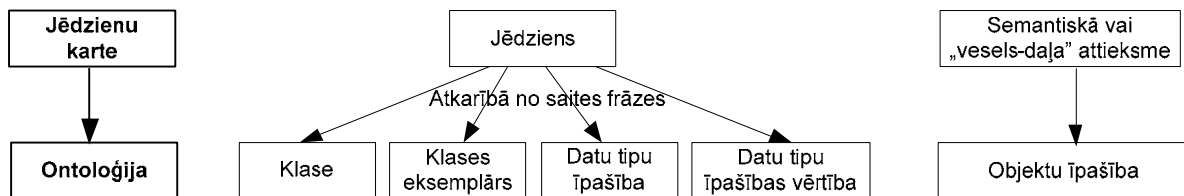
Algoritma darbības laikā no ontoloģijas teksta faila iegūst paplašināto blakusvirsotņu matricu, kurā atspoguļo jēdzienu nosaukumus un jēdzienu savstarpējo saistību, norādot saites nosaukumu un saites virzienu. Turklāt šī matrica ir papildināta ar vēl vienu kolonnu, kas satur datus par jēdziena veidu jeb jēdziena veida marķieri (saknes klase – klase, kurai nav virsklases, apakšklase, eksemplārs, īpašība vai vērtība). OWL ontoloģijas transformācijai par jēdzienu karti ir šādi pamatsoļi [GRA 2008a]: **1. solis:** Nolasīt ontoloģijas failu un pārbaudīt, vai tas atbilst OWL sintaksei. **2. solis:** Iegūt visas klases (sākt veidot paplašināto blakusvirsotņu matricu). **3. solis:** Katrai klasei noteikt apakšklases (matricā starp atbilstošajām klasēm norādīt saiti „ir apakšklase”, kas no apakšklases ir vērsta uz virsklasi, saknes klasēm pievienot jēdziena veida marķieri). **4. solis:** Katrai klasei pārbaudīt, vai tā ir iegūta apvienojuma, šķēluma vai kolekcijas veidā (matricā starp atbilstošajām klasēm norādīt saiti „ir apakšklase”). **5. solis:** Katrai klasei pārbaudīt, vai tā ir citas klases papildinājums (matricā starp atbilstošajām klasēm norādīt saiti „nav”). **6. solis:** Katrai klasei noteikt eksemplārus (matricu papildināt ar eksemplāriem, un starp atbilstošajām klasēm un eksemplāriem norādīt saiti „ir eksemplārs”, eksemplāriem pievienot jēdziena veida marķieri). **7. solis:** Katrai klasei un eksemplāram noteikt datu tipu īpašības (matricu papildināt ar īpašībām un starp atbilstošajām klasēm/eksemplāriem un īpašībām norādīt saiti „ir īpašība”, īpašībām pievienot jēdziena veida marķieri). **8. solis:** Katrai datu tipu īpašībai noteikt vērtības (matricu papildināt ar īpašības vērtībām, un atbilstošajām īpašībām un to vērtībām norādīt saiti „ir vērtība”, īpašības vērtībām pievienot jēdziena veida marķieri). **9. solis:** Katrai klasei, eksemplāram un datu tipu īpašībai atrast sinonīmus (matricu papildināt ar saiti „ir sinonīms” starp atbilstošajiem elementiem). **10. solis:** Katrai klasei un eksemplāram noteikt objektu īpašības (matricu papildināt ar saitēm starp atbilstošajām klasēm vai eksemplāriem). **11. solis:** Katrai objektu īpašībai pārbaudīt, vai tā ir inversa, simetriska vai transitīva (matricu papildināt ar atbilstošajām saitēm). **12. solis:** Atrast slēptās saites (saites, kuras ir izsecināmas, lietojot secināšanas mehānismus un kas nav tieši definētas ontoloģijā). **13. solis:** Veikt jēdzienu un saišu nosaukumu labošanu (simbolu „_” matricā aizstāt ar atstarpī). Tas ir nepieciešams, jo, veidojot ontoloģijas elementu nosaukumos, atstarpes starp vārdiem nav atļautas, tāpēc tās parasti ir aizstātas ar „_”. **14. solis:** Attēlot iegūto paplašināto blakusvirsotņu matricu grafa veidā un saglabāt atbilstoši IKASā glabātajam XML formātam.

Promocijas darbā ir dots detalizēts apraksts un blokshēmas visiem soļiem, kas jāveic klašu un to eksemplāru hierarhisko, semantisko un īpašību attieksmju transformācijā [GRA 2008a] un iegūtās jēdzienu kartes integrēšanai IKASā. Transformāciju piemēri visu trīs grupu gadījumiem ir apkopoti 6. pielikumā.

3.3. Algoritms jēdzienu kartes transformācijai ontoloģijā

Promocijas darba ietvaros, analizējot jēdzienu kartes, ir secināts, ka jēdzienu kartei, lai to varētu transformēt par ontoloģiju, ir jābūt ar orientētām saitēm, jo tas ļauj noteikt gan jēdzienu hierarhiskās, gan semantiskās attiecības. Bez tam saitēm starp jēdzieniem ir jābūt ar saišu nosaukumiem, kas ļauj identificēt saites veidu. Turklāt ir jāievēro sintaktiskie ierobežojumi nosaukumu veidošanai OWL valodas ietvaros, piemēram, viens ontoloģijas elementa nosaukums nedrīkst atkārtoties vairākas reizes, t.i., nevar būt vairākas klases ar vienādiem nosaukumiem, tāpat ir virkne simbolu, ar kuriem nevar sākties elementa nosaukums, un aizliegums lietot tukšuma zīmes.

Algoritmam, kas paredzēts transformācijas no jēdzienu kartes uz ontoloģiju veikšanai, jēdzienu kartē ir jānosaka attiecsmju starp jēdzieniem veidi un atbilstoši tam jāidentificē, kādiem ontoloģijas elementiem atbilst saistītie jēdzieni. Algoritmā ir iebūvēts mehānisms, kas nosaka attiecsmju veidu starp jēdzieniem, t.i., ir informācija, kā no saites nosaukuma noteikt attiecsmes veidu un ar to saistītos ontoloģijas elementus. 3.2. att. ir shematiski dota jēdzienu kartes un ontoloģijas elementu atbilstība, kur redzams, ka tieši saišu frāze nosaka to, kāds ir izteikumā saistīto jēdzienu veids, un ka tikai semantiskas un „vesels-daļa” attiecsmes ir tieši transformējamas objektu īpašībās.



3.2. att. Jēdzienu kartes elementu atbilstība ontoloģijas elementiem

Jēdzienu kartē ir iespējams identificēt šādus attiecsmju veidus: *hierarhijas attiecsmes*, kur ar saišu frāzēm „ir”, „ir apakšklase”, „ir apakškopa” ir saistītas divas klases; *eksemplāra attiecsmes*, kur ar saišu frāzēm „ir piemērs”, „ir eksemplārs” ir saistīta klase ar eksemplāru; *vesels-daļa attiecsmes*, kur ar saišu frāzi „ir daļa” ir saistītas divas klases; *veidu hierarhijas attiecsmes*, kur ar saišu frāzi „ir veids” ir saistītas divas klases; *īpašības attiecsmes*, kur ar saišu frāzēm „raksturo”, „ir īpašība”, „ir īpašība (objekts-īpašība)” ir saistīta klase vai eksemplārs ar īpašību; *vērtības attiecsmes*, kur ar saišu frāzi „ir vērtība” ir saistīta īpašība ar vērtību; *papildinājuma attiecsmes*, kur ar saišu frāzi „nav” ir saistītas divas klases; *semantiska jeb lingvistiska attiecsmes*, kur ar jebkuru citu saišu frāzi ir saistītas divas klases vai eksemplāri.

Algoritmu jēdzienu kartes transformācijai ontoloģijā veido 7 soļi [GRA 2011a], kuru laikā apstrādā visus jēdzienu kartes elementus, lai noteiktu to atbilstību ontoloģijas

elementiem un izveidotu atbilstošas ontoloģijas konstrukcijas. Pirmajos 6 soļos analizē jēdzienu kartē iekļautās saišu frāzes, kā rezultātā nosaka saistīto jēdzienu veidus un atbilstoši veidam ievieto ontoloģijā. 6. solī atrod jēdzienu kartes elementiem definētos sinonīmus, jo IKASā tie nav definēti ar saišu palīdzību, bet gan norādīti XML faila struktūrā. **1. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas savā starpā saistīti ar klašu vai veidu hierarhiju attieksmēm. **2. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas ir savā starpā saistīti ar eksemplāra attieksmēm. **3. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas savā starpā saistīti ar īpašības attieksmēm. **4. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas savā starpā ir saistīti ar vērtības attieksmēm. **5. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas saistīti ar papildinājuma attieksmēm. **6. solis:** Atrast visus jēdzienus, kas savā starpā ir saistīti ar vesels-daļa vai semantisko attieksmēm. **7. solis:** Atrast visus jēdzienu un saišu sinonīmus. Atbilstoši katrā solī atrastajiem jēdzienu pāriem tiek veidots OWL kods.

Promocijas darbā katram solim ir dots detalizēts apraksts un veicamās darbības attēlotas blokshēmu veidā, kā arī ir aprakstīti katrā solī iegūstamie OWL koda fragmenti.

3.4. Algoritmi zināšanu korekcijas nodrošināšanai

IKAS ir jāpapildina ar diviem algoritmiem, lai to paplašinātu ar zināšanu korekcijas funkciju: algoritmu mācību objektu apakšgrafu izveidei un algoritmu kursu un personalizētu mācīšanās ceļu izveidei [GRA 2011b].

Pēc tam, kad pasniedzējs ir izveidojis jēdzienu karti, programmatūra ģenerē ieteikumus. Tie satur informāciju, kādiem mācību objektiem ir jābūt pievienotiem, lai programmatūra būtu izmantojama ne tikai zināšanu vērtēšanā, bet arī pašvērtēšanā. Zināšanu pašvērtēšanas režīms atšķirībā no vērtēšanas režīma ir papildināts ar mācību materiāliem, lai nodrošinātu studenta kļūdaino zināšanu korekciju. Pasniedzējs, balstoties uz izveidoto jēdzienu karti, saņem ieteikumus, kuriem jēdzieniem un saitēm ir jābūt aprakstītiem (paskaidrotiem, ilustrētiem) konkrētajā mācību objektā. Ieteikumi par mācību objekta saturu ir izstrādāti, balstoties uz mūsdienu pedagoģijas ideju, ka jāamāca strukturālās zināšanas. Līdz ar to mācību objekts ir nevis piesaistīts jēdzienam, bet diviem vai vairākiem saistītiem jēdzieniem, tādā veidā atklājot to savstarpējo saistību. Turklāt studentam ir būtiski atklāt ne tikai izteikumus (saistītu jēdzienu pārus), bet plašākus grafu paraugus, piemēram, klasi ar visām tās apakšklasēm.

Katrs mācību objekts tiek piesaistīts pie viena no šādiem jēdzienu kartes apakšgrafu veidiem: virsklases jēdziens un visi tiešie apakšjēdzieni (saite „ir apakšklase”); jēdziens un visi tā eksemplāri (saite „ir eksemplārs”); divi vai vairāki jēdzieni, kas savā starpā saistīti ar „ir īpašība”, „ir vērtība”; divi vai vairāki jēdzieni, kas savā starpā saistīti ar „ir sinonīms” vai

semantisko saiti. Promocijas darbā ir definēts, un aprakstīts mācību objektu ieteikumu ģenerēšanas algoritms un dota tā blokshēma.

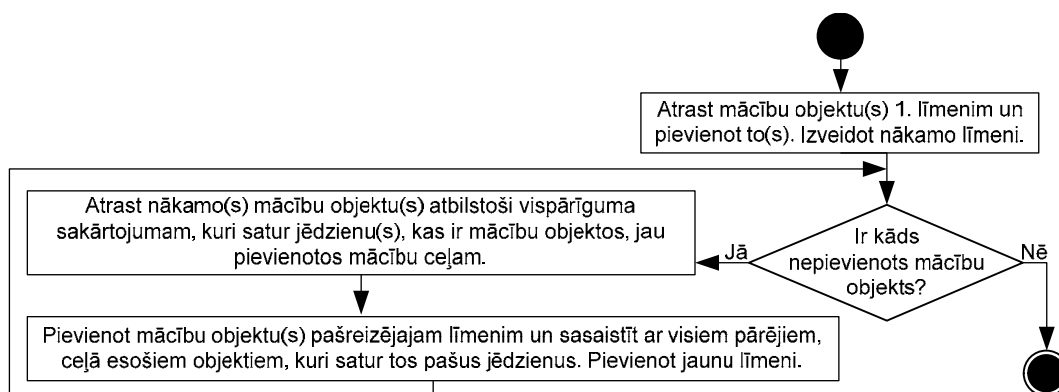
Katram saites veidam tiek meklētas atšķirīgas daudzkrāšības starp saites sākuma un beigu jēdzieniem, izmantojot paplašināto blakusvirsoņņu matricu:

- Semantiskās saites gadījumā (izņemot „ir daļa” saiti) tiek meklēts N:M (visi sākuma jēdzieni un visi beigu jēdzieni).
- Saišu „ir daļa”, „ir eksemplārs” un „ir apakšklase” gadījumos tiek meklēts N:1 (vienam beigu jēdzienam tiek meklēti visi saistītie sākuma jēdzieni, jo saites virziens ir no specifiskā uz vispārīgo).
- Saišu „ir īpašība” gadījumos tiek meklēts 1:N (vienam sākuma jēdzienam tiek atrastas visas tā īpašības). Turklāt mācību objektā ietver arī katras īpašības vērtības, t.i., arī saitei „ir vērtība” meklē 1:N. Tātad mācību objektā ir iekļautas visas jēdziena īpašības kopā ar to vērtībām.
- Saites „ir sinonīms” saites gadījumā tiek meklēti apakšgrafi, kas satur saites sākuma un beigu jēdzienus un kur pārējie apakšgrafa jēdzieni ir savā starpā saistīti ar saiti „ir sinonīms”.

Rezultātā pasniedzējs saņem ieteikumu promocijas darbā izstrādātajā formā par to, kādi jēdzieni un saites viņam ir jāapraksta katrā mācību objektā. Kad mācību materiāli ir izveidoti un pievienoti jēdzienu kartei, nepieciešama to sakārtošana mācīšanās ceļos, tādā veidā nodrošinot, ka studentam tiek piegādāti tie mācību materiāli un tādā secībā, kas vislabāk piemērota viņa zināšanu uzlabošanai. Mācīšanās ceļš jeb mācību materiālu piegādes secība ir saistīta ar mācību materiāla vietu mācību vielas apgūvē, proti, mācību materiāli tiek kārtoti tā, lai jēdzienu mācīšanās tiktu ievērota priekšzināšanu secība, t.i., kurš jēdziens ir jāapgūst pirms kura. Sistēma ģenerē sākotnējos mācīšanās ceļus, ko pasniedzējam ir iespējams mainīt pēc saviem ieskatiem, piemēram, ja jēdziena apgūvei ir nepieciešamas vēl kādas citas priekšzināšanas vai priekšmeta mācīšanai izmantotā pedagoģiskā taktika to prasa.

Algoritms mācību ceļu ģenerēšanai ir redzams 3.3. att. Mācību objekti tiek secīgi pievienoti mācību ceļam un sakārtoti pa līmeņiem, balstoties uz to vispārīguma sakārtojumu. Visvispārīgākais objekts ir tas, kurā jēdzieni ir saistīti ar semantisku attieksmi, turklāt objektā iekļautajiem jēdzieniem ir augstas lokālās pakāpes (ienākošo un izejošo loku summa), kā arī objektā ir iekļauti vairāki jēdzieni, kas ir saknes jēdzieni. Vispārīguma sakārtojumu iegūst mācību objektu kopai MO veicot divkrāšu sakārtojumu. Vispirms tos sakārto dilstošā secībā pēc saknes jēdzienu skaita mācību objektā. Pēc tam tos sakārto dilstoši pēc vispārīguma

(attieksmes tipa koeficients + mācību objekta jēdzienu maksimālā lokālā pakāpe, ņemot vērā tikai saistību starp objektā iekļautajiem jēdzieniem + jēdzienu skaits objektā). Eksperimentāli ir atrastas šādas attieksmes tipa koeficienta vērtības: semantiskā attieksme starp klasēm – 6; hierarhijas, vesels-daļa, papildinājuma attieksme – 5; eksemplāra attieksme – 4; semantiskā attieksme starp eksemplāriem – 3; īpašības un vērtības attieksmes pie klasēm, sinonīmu attieksme starp klasēm vai īpašībām – 2; īpašības un vērtības attieksmes starp eksemplāriem, sinonīmu attieksme starp eksemplāriem – 1.



3.3. att. Algoritms mācīšanās ceļu ģenerēšanai

Pēc tam, kad students ir izveidojis savu jēdzienu karti, sistēma veic tās pārbaudi un, balstoties uz studenta pieļautajām kļūdām, izveido personalizētu mācīšanās ceļu. To sastādot, algoritms ņem vērā, kuros izteikumos students ir kļūdījies. Iepriekš sastādītajā mācīšanās ceļu grafā ir jāatrod visgarākais savienoto mācību objektu ceļš, kas sākas visaugstākajā grafa līmenī un kuros ir iekļauts mācību materiāls, kas nepieciešams zināšanu nepilnību novēršanai. Gadījumā, ja grafā neatrod ceļus, t.i., vairākus saistītus mācību objektus, tad studentam piegādā atsevišķus mācību objektus, sākot ar vispārīgāko.

3. nodaļas kopsavilkums un secinājumi

- Ir definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms OWL ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs. Lai nodrošinātu algoritma darbību, ir definēta paplašinātā blakusvirsotņu matrica, kurā atspoguļo jēdzienu nosaukumus un to savstarpējo saistību, norādot saites nosaukumu un virzienu, kā arī datus par jēdzienu veidu jeb jēdziena veida marķieri.
- Ir definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms ar IKASu veidoto jēdzienu karšu transformācijai OWL ontoloģijās. Šī algoritma izstrādes laikā ir secināts, ka transformācija no jēdzienu kartes uz ontoloģiju ir iespējama, bet tā nav pilnībā automatizējama. Tas ir saistīts ar faktu, ka jēdzienu karšu izstrādē neeksistē formāli ierobežojumi, piemēram, ka divi īpašības jēdzieni nedrīkst būt savstarpēji saistīti ar

semantisku saiti, un visus šos gadījumus nav iespējams iekļaut algoritmā, līdz ar to pagaidām ir nepieciešams ontoloģiju speciālistam pārbaudīt jēdzienu kartes atbilstību ontoloģiju likumiem un vajadzības gadījumā veikt labojumus.

- Ir definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms, kas atbalsta pasniedzēju mācību materiālu veidošanā, lai tie ietvertu sistēmisko domāšanu veicinošu informāciju. Tas balstās uz ideju, ka mācību materiālam ir jābūt nevis par pašiem jēdzieniem, bet par to savstarpējo saistību.
- Ir definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms mācību kursu un personalizētu mācīšanās ceļu sastādīšanai.
- Ir izstrādāts matemātisks formālisms mācību objektu vispārīguma noteikšanai, kas nepieciešams kursa mācīšanās ceļu sastādīšanas algoritmam.

4. PAPLAŠINĀTAS IKAS IZSTRĀDE UN APROBĀCIJA

Šajā nodaļā aprakstīta izstrādāto algoritmu, kas paplašina IKAS funkcionalitāti, realizācija, darbība un aprobācija. Promocijas darba ietvaros ir izstrādāts rīks OntoJK ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs, rīks JKOnto jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijās un utilitprogramma MergeUtil apvienotās ontoloģijas pēcapstrādei. 4.1. apakšnodaļā ir aprakstīts jaunais IKAS darbības scenārijs, izmantojot izstrādātos papildinājumus. 4.2. apakšnodaļā aprakstītas izstrādātajā programmnodrošinājumā izmantotās tehnoloģijas. 4.3. apakšnodaļā ir demonstrēti darbības piemēri, izmantojot izstrādātos algoritmus un rīkus.

4.1. Lietotāju mijiedarbību scenāriji ar paplašināto IKAS

Izmantojot iepriekšējā nodaļā izstrādātos algoritmus, IKAS funkcionalitāte ir paplašināta ar trīs jauniem darbības scenārijiem:

1. Ontoloģiju izmantošana etalonkaršu iegūšanai [GRA 2006], [ANO 2006a].
2. Jēdzienu karšu transformācija ontoloģijās, lai, izmantojot ontoloģiju apstrādes rīkus, sapludinātu ontoloģijas un pēc tam, transformējot sapludināšanā iegūto ontoloģiju atpakaļ uz jēdzienu karti, iegūtu sākotnējo jēdzienu karšu apvienojumu.
3. IKAS funkcionalitātes paplašināšana, nodrošinot studenta zināšanu korekciju.

Turklāt 1. scenārijs ir apvienojams ar 3., ļaujot vienlaicīgi paplašināt IKAS funkcionalitāti gan ar ontoloģiju izmantošanu, gan ieviešot zināšanu korekciju. **1. solis:** Scenārijs sākas ar pasniedzēja lēmumu pievienot jaunu etalonkarti, kam seko lēmums par vienas no iespējamajām alternatīvām izvēli: a) atvērt IKASā jēdzienu karšu redaktoru un

modificēt esošo jēdzienu karti, b) atvērt IKASā jēdzienu karšu redaktoru un izveidot pilnīgi jaunu jēdzienu karti, c) atvērt ontoloģiju repozitoriju un izvēlēties ontoloģiju, ko transformēt jēdzienu kartē, d) pievienot jaunu ontoloģiju, kas ir ņemta no interneta, kādas ontoloģiju izmantojošas sistēmas vai ir pasniedzēja paša izveidota un kas ir jātransformē jēdzienu kartē.

2. solis: Alternatīvu c) un d) gadījumos IKAS veic ontoloģiju transformāciju jēdzienu kartē un izvada to lietotājam. **3. solis:** Ja pasniedzējs vēlas, viņš var veikt izmaiņas ģenerētajā jēdzienu kartē. **4. solis:** Sistēma ģenerē pasniedzējam ieteikumus par to, kādai informācijai ir jābūt iekļautai mācību materiālos. **5. solis:** Pasniedzējs izveido un pievieno mācību materiālus. **6. solis:** IKAS ģenerē jēdzienu kartei atbilstošu mācīšanās ceļu grafu, kurā pasniedzējs, ja nepieciešamas, veic izmaiņas. **7. solis:** Pasniedzējs uzstāda uzdevuma parametrus, piemēram, uzdevuma publicēšanas datumu, sākotnējo grūtības pakāpi.

No studenta viedokļa pie šāda paplašinātā IKAS darbības scenārija, mainās tikai tas, ka pēc uzdevuma iesniegšanas, viņš saņem vēl arī mācību materiālus, kuru piegādes secība ir atkarīga no pieļautajām kļūdām. Savukārt 2. scenārija gadījumā pasniedzēja mijiedarbība ar IKASu nav viennozīmīga, jo, iegūstot jēdzienu karšu apvienojumu, to ir iespējams izmantot dažādiem mērķiem, piemēram, mācību kursu auditā, lai pārbaudītu, vai viss, kas ir priekšmeta aprakstā, ir iekļauts kursa vērtēšanā izmantotajās jēdzienu kartēs.

4.2. Programnodrošinājuma prototipu izstrādē izmantotās tehnoloģijas

Promocijas darba ietvaros ir izstrādāti trīs rīku prototipi, kuros implementēti definētie algoritmi un kuri paplašina IKAS funkcionalitāti:

- **Rīks OntoJK ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs**

Piekluvei OWL failiem ir izmantota lietojumu programmēšanas saskarne Jena⁴, kas paredzēta piekļūšanai OWL valodā rakstītām ontoloģijām. Izvēlēta lietojumu programmēšanas saskarne Jena ietekmē arī to, ka visa programmatūra ir rakstīta programmēšanas valodā Java. Jena realizācijā jebkurš ontoloģijas fails tiek ielasīts ontoloģijas modelī `m`, kuram ir virkne metožu. Būtiskākās metodes piekļuvei ontoloģijas elementiem ir `m.listHierarchyRootClasses()` – atrod visas saknes klases; `rootcls.listSubClasses()` – atrod visas apakšklases klasei `rootcls`; `m.listClasses()` – atrod visas klases; `cls.listEquivalentClasses()` – atrod visus klases `cls` sinonīmus; `cls.listInstances()` – atrod visus klase `cls` eksemplārus; `m.listObjectProperties()` – atrod visas objektu īpašības; `m.listObjectProperties()` – atrod visas datu tipu īpašības; `p.listDomain()` –

⁴ <http://jena.sourceforge.net/> (apmeklēts 29.05.2011)

atrod īpašības `p` definīcijas apgabalu; `p.listRange()` – atrod īpašības `p` vērtību apgabalu. Lietojot minētās metodes, tiek atgriezti attiecīgo elementi saraksti, pēc tam izmantojot iteratoru, piekļūst katram saraksta elementam.

- **Rīks JKOnto jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijā**

Arī šis rīks ir rakstīts valodā Java, izmantojot lietojumu programmēšanas saskarni Jena, kas ļauj ne tikai piekļūt OWL failos iekļautajiem datiem, bet arī ierakstīt OWL failos jaunu informāciju. Ontoloģijas izveidošanā būtiskās metodes ir `m.createClass(String uri)` – izveido klasi ar nosaukumu `uri`; `m.createDatatypeProperty(String uri)` – izveido datu tipu īpašību ar nosaukumu `uri`; `m.createObjectProperty(String uri)` – izveido objektu īpašību ar nosaukumu `uri`. Lai klasei piešķirtu apakšklasi, izmanto metodi `class.addSubClass(Resource cls)` – klasei pievieno jau definētu citu klasi, kā apakšklasi. Lai klasei piešķirtu eksemplāru, izmanto `class.createIndividual(String uri)` – klasei pievieno eksemplāru ar nosaukumu `uri`. Lai objektu vai datu tipu īpašībai pievienotu definīcijas un vērtību apgabalus, izmanto `p.addDomain(Resource cls)` – īpašībai pievieno definīcijas apgabalu un `p.addRange(Resource res)` – īpašībai pievieno vērtību apgabalu.

- **Rīks MergeUtil apvienoto ontoloģiju failu pēcapstrādei**

Rīks MergeUtil ir rakstīts valodā Java, un tas no ontoloģiju apvienošanas faila izdzēš liekos datus, kas nav nepieciešami tālākai ontoloģijas izmantošanai un apstrādei. Ontoloģiju apvienošana tiek veikta, izmantojot ontoloģiju redaktoru Protégé v.3.2, pieslēdzot tam spraudni PROMPT. Apvienotajā ontoloģijā „papildinformācijas” ierakstīšana ir saistīta ar 3. paaudzes Protégé rīkos izmantotajām ontoloģiju glabāšanas tehnikām. No apvienotās ontoloģijas tiek dzēsti šie tagi un tajos iekļautie dati:

```
<owl:Class rdf:ID="_DUMMY-FRAMES-METACLASS">;  
<owl:Class rdf:ID="_DUMMY-FRAMES-METASLOT">;  
<owl:Class rdf:ID="_TEMPORARY-ITEMS">;  
<owl:ObjectProperty rdf:ID="_REFERENCES">.
```

4.3. Programmnodrošinājuma un algoritmu demonstrācijas piemēri

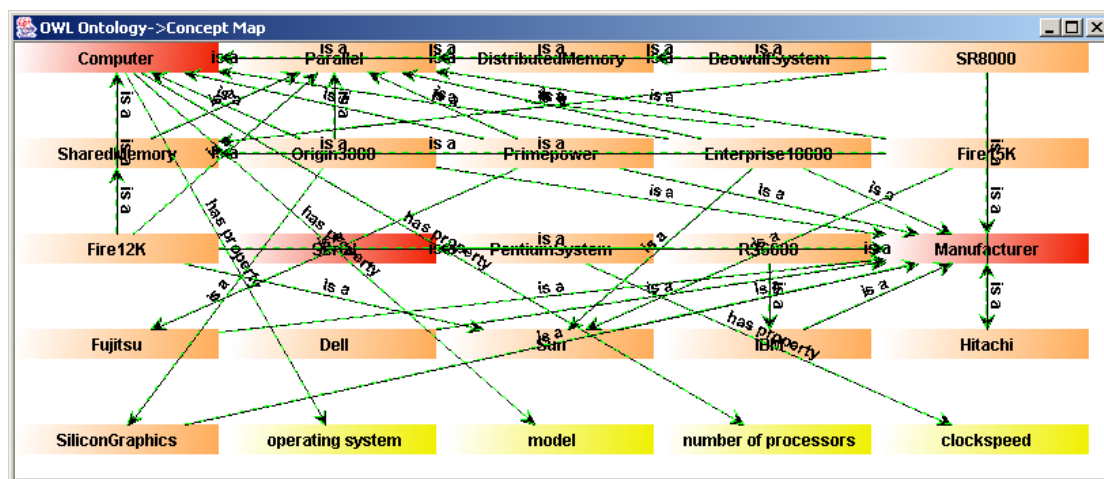
Šajā apakšnodaļā demonstrēta ontoloģiju transformācija ar rīku OntoJK, jēdzienu karšu transformācija ar rīku JKOnto, algoritmu zināšanu korekcijas nodrošināšanai darbība un ontoloģiju sapludināšana ar rīku Protégé, izmantojot spraudni PROMPT un apstrādājot iegūto failu ar utilītu MergeUtil.

- **Ontoloģiju transformācija jēdzienu kartēs ar rīku OntoJK**

Rīks OntoJK transformē ontoloģiju jēdzienu kartē, izmantojot 3.2. nodaļā definēto algoritmu. Atkarībā no valodas, kurā pierakstīta ontoloģija, ir iespēja nomainīt saišu

nosaukumu valodu no angļu valodas uz latviešu valodu un otrādi. Tas nepieciešams, lai jēdzienu kartēs, kas ir ģenerētas no angļu valodas, visi saišu nosaukumi būtu angļu valodā arī tie, kuri ontoloģijā tieši neparādās, piemēram, „ir apakšklase”, „ir īpašība”, „ir vērtība” un to angļiskie ekvivalenti. Rīkam ir trīs izvēlnes, kas nodrošina šādas darbības: „File”→„Open ontology...”, kas nodrošina iespēju izvēlēties ontoloģiju, ko izmantos transformācijai; „File”→„Save As CMAP”, kas transformācijā iegūto jēdzienu karti saglabā XML formātā, lai pēc tam vajadzības gadījumā varētu eksportēt uz IKASu; „File”→„Export to IKAS”, kas transformācijā iegūto jēdzienu karti eksportē uz IKASu; „File”→„Exit” beidz sistēmas darbību; „Settings” uzstāda, kādā valodā būs noklusēto saišu nosaukumi, izvēloties starp angļu un latviešu valodām; „Help” sniedz informāciju par darbu ar rīku. Iegūtajā jēdzienu kartē, kad tā ir atspoguļota, ir iespējams pārvietot tās elementus, veidojot to pārskatāmāku.

Rīka OntoJK darbības demonstrācijai no aparatūras ontoloģijas⁵ (pievienota 7. pielikumā) ir iegūta jēdzienu karte, kas vizualizēta grafu atspoguļošanas formā (4.1. att.).



4.1. att. Logs ar jēdzienu karti, kas iegūta no aparatūras ontoloģijas bez manuāla elementu pārkārtojuma

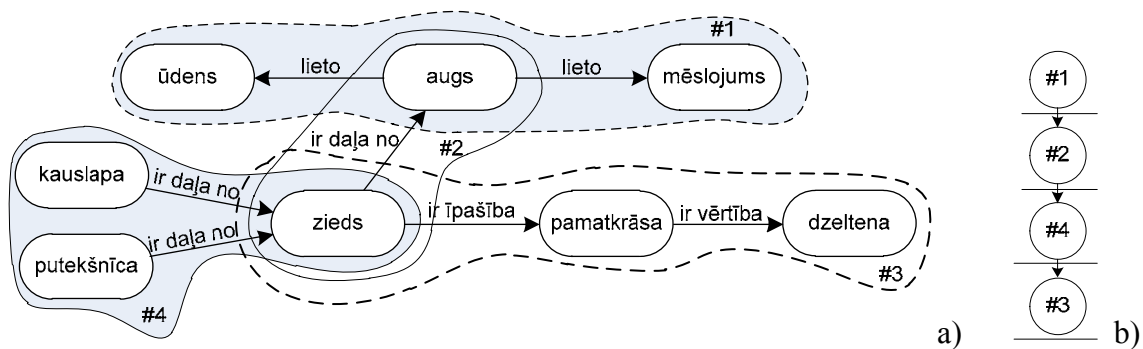
Salīdzinot ar eksistējošo ontoloģiju redaktoru CmapTools COE, kas piedāvā transformāciju no ontoloģijas uz jēdzienu karti jeb, precīzāk, ontoloģijas attēlošanu jēdzienu kartē, OntoJK ģenerētās jēdzienu kartes ir piemērotākas izmantošanai zināšanu vērtēšanā, jo nesatur liekus datus, kā tas ir CmapTools COE gadījumā. Tas jēdzienu kartē atspoguļo tādus liekus elementus kā jēdziens „Things which”, saitei klāt skaidrojums „Object property” u.c.

- **Jēdzienu karšu transformācija ontoloģijā ar rīku JKOnto**

Rīks JKOnto nodrošina ar IKASu veidotu jēdzienu karšu transformāciju, balstoties uz 3.3. nodaļā definēto algoritmu. Rīka demonstrācijai ir izmantota IKASā veidota jēdzienu karte

⁵ <http://monet.nag.co.uk/cocoon/monet/publicdocs/ontologies/hardware.owl>

Promocijas darbā ir aprakstīts piemērs, balstoties uz jēdzienu karti priekšmetā „Mākslīgā intelekta pamati” un kāda studenta iesniegtu atbildes jēdzienu karti. Visi izdalītie mācību objektu apakšgrafi, izveidotais mācību ceļš un studentam personalizētais mācību ceļš ir ievietoti 9. pielikumā. 4.3. att. ir dots piemērs nelielai jēdzienu kartei, kurā ir norādīti izdalītie mācību objektu apakšgrafi #1 - #4 un atbilstoši 3.4. nodaļā aprakstītajam algoritmam tie ir sakārtoti kursa mācību ceļā.

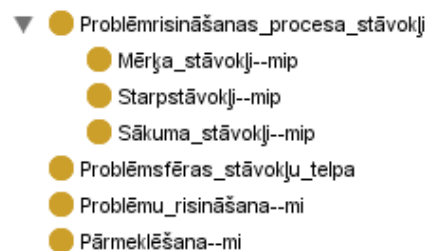


4.3. att. Jēdzienu karte ar izdalītiem mācību objektu apakšgrafiem a) un atbilstošo mācību ceļu b)

Piemērā visvispārīgākais mācību objekts ir #1, jo tajā semantiski ir saistīti 3 jēdzieni.

- **Ontoloģiju sapludināšanas piemērs**

Ontoloģiju sapludināšanas piemēra demonstrācijā ir izmantoti mācību priekšmeta „Mākslīgā intelekta pamati” (MIP 1.1) un priekšmeta „Mākslīgais intelekts” jēdzienu karšu fragmenti. Pirmā karte atbilst bakalauru studiju priekšmetam, savukārt otrā ir no maģistru studiju kursa. Abos studiju priekšmetos apskata stāvokļu telpas pārmeklēšanas algoritmus, tādēļ abus jēdzienu karšu fragmentus saista stāvokļu pārmeklēšanas jēdziens. Pirms sapludināšanas minētās jēdzienu kartes tiek transformētas par ontoloģijām, tad, lietojot ontoloģiju redaktoru Protègè kopā ar spraudni PROMPT, tās sapludina. Sapludināšanā iegūtā OWL faila apstrādei izmanto promocijas darbā izstrādāto utilitārogrammu MergeUtil, lai izdzēstu liekos elementus. Fragments no ontoloģiju sapludināšanas rezultātā iegūtās ontoloģijas ir redzams 4.4. att., pilns tās OWL kods ir pievienots promocijas darba 10. pielikumā.



4.4. att. Sapludinātās ontoloģijas fragments

Lai arī ontoloģiju sapludināšanai ir rīku atbalsts, tomēr ir nepieciešama lietotāja iesaistīšanās apvienošanas procesā. Turklāt PROMPT izmantotais algoritms ir jutīgs pret nelielām sintaktiskām atšķirībām jēdzienu nosaukumu formulējumos, un tādēļ lietotājam rūpīgi jāseko sapludināšanas procesam un manuāli jānorāda, kuri sintaktiski atšķirīgie, bet semantiskie vienādie elementi ir jāsapludina.

4. nodaļas kopsavilkums un secinājumi

- Ir aprakstīti IKAS lietotāju darbības scenāriji pēc IKAS funkcionalitātes paplašināšanas.
- Ir izstrādāts programmnodrošinājums (rīks OntoJK) ontoloģijas transformācijai jēdzienu kartē, pamatojoties uz 3.2. nodaļā aprakstīto algoritmu.
- Ir izstrādāts programmnodrošinājums (rīks JKOnto) jēdzienu karšu transformācijai ontoloģijā, pamatojoties uz 3.3. nodaļā definēto algoritmu.
- Ir izstrādāta utilitprogramma MergeUtil ontoloģiju apvienojuma faila pēcapstrādei, lai novērstu ontoloģiju redaktora Protégé spraudņa PROMPT trūkumus.
- Ar konkrētiem piemēriem ir veikta visu izstrādāto algoritmu un atbilstošo rīku darbības aprobācija.
- Algoritmu aprobācijas rezultāti liecina, ka izstrādātie algoritmi un tos realizējošie rīki nodrošina vajadzīgās transformācijas un ontoloģiju sapludināšanu. Tomēr rezultātus nav iespējams iegūt pilnībā automātiski, jo formālismu trūkuma dēļ lietotāji jēdzienu kartēs attēlo konstrukcijas, ko nav iespējams transformēt ontoloģijā, piemēram, semantiska saistība starp divām datu tipu īpašībām.

DARBA KOPEJIE REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika aizvirzīts mērķis izpētīt zināšanu kartogrāfijas tehnikas, no tām atrast piemērotākās integrācijai jēdzienu kartēs sakņotā intelektuālā zināšanu vērtēšanas sistēmā IKAS un izstrādāt algoritmus un rīkus tās funkcionalitātes paplašināšanai. Izvirzītā mērķa sasniegšanai ir izpildīti šādi uzdevumi:

- izpētītas jēdzienu kartes un tajās sakņotu uzdevumu daudzveidība, ir izstrādāta formāla pieeja jēdzienu kartē sakņotu uzdevumu grūtības pakāpju kvalitatīvai salīdzināšanai, lai paplašinātu IKASā izmantoto uzdevumu spektru, kā arī ir sastādīts iespējamais uzdevumu spektrs ar 34 uzdevumiem, ko var izmantot IKASā, un ir izveidots arī pilnais uzdevumu spektrs ar 108 uzdevumiem, kas sakārtots pēc to grūtības pakāpes;

- izpētīti jēdzienu karšu zīmēšanas un novērtēšanas rīki, kas ļauj secināt, ka pasniedzējus visvairāk šo sistēmu izmantošanā noslogo etalonkaršu veidošana un mācību materiālu informatīvas atgriezeniskās saites sastādīšana;
- izanalizēta IKAS sistēma un identificēti IKAS pilnveidošanas virzieni, kas saistīti ar 1) etalonkaršu un to fragmentu iegūšanu no jau iepriekš izstrādātajām zināšanu struktūrām, 2) jēdzienu skaidrojumu, definīciju un piemēru iegūšanu no jau pieejamajiem mācību materiāliem, 3) pašvērtēšanas režīma paplašināšanu studentam, pēc studenta atbildes novērtēšanas piedāvājot mācību materiālus konstatēto zināšanu nepilnību novēršanai, ievērojot nepieciešamo priekšzināšanu kopumu, 4) IKASā uzkrāto etalonkaršu tālāku izmantošanu precīzākai studentu atbilžu novērtēšanai, 5) uzkrāto etalonkaršu apvienošanu, veicot mācību priekšmetu, to moduļu un studiju programmas izvērtēšanu.

Lai atrastu risinājumus IKAS pilnveidošanas realizācijai, ir atrisināti šādi uzdevumi:

- izanalizētas zināšanu kartogrāfijas tehnikas (prāta karte, zināšanu karte, argumentu karte, tematu karte, semantiskais tīkls, konceptuālais grafs un ontoloģija) un par piemērotāko izmantošanai datorizētās mācību un zināšanu vērtēšanas sistēmās ar automatizētu atbildes novērtēšanu ir atzīta ontoloģija;
- izanalizētas ontoloģijas definīcijas pēc iekļautajām ontoloģiju raksturojošajām īpašībām un atrasta piemērotākā definīcija mācību sistēmās izmantoto ontoloģiju definēšanai, ko veido Hendlera un Gruningera & Foksa definīcijas, kas nosauc ontoloģiju veidojošos elementus (jēdzieni (realitātes), semantiskās mijiedarbības, īpašības, attieksmes, ierobežojumi un uzvedība) un norāda uz ontoloģijas izmantošanu mākslīgajā intelektā (ontoloģija ietver izveduma likumus un ir formāls apraksts);
- sistematizēta ontoloģiju klasifikācija un izveidots ontoloģijas klasifikācijas shēmu iedalījums, kā arī veikta shēmu analīze no problēmsfēras neatkarības viedokļa; visas analizētās ontoloģiju klasifikācijas shēmas ir iedalītas četrās dažādās un atšķirīgās ontoloģiju klasifikācijas shēmu grupās (problēmsfēras atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmas un problēmsfēras neatkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmas, kas vēl iedalās atspoguļojuma struktūras atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmās un konceptu satura atkarīgas ontoloģiju klasifikācijas shēmās);
- noteikti datorizētās mācību sistēmās izmantoto ontoloģiju tipi, un tie ir pielīdzināti esošajai van Heijsta klasifikācijai pēc vispārīguma, kur ontoloģijas iedalās atspoguļošanas ontoloģijās, vispārīgās ontoloģijās, problēmsfēras ontoloģijās un lietojuma ontoloģijās; ir

secināts, ka visu tipu ontoloģijas, izņemot atspoguļojuma, tiek izmantotas datorizētās mācību sistēmās;

- apkopota un sistematizēta literatūra par ontoloģiju izmantošanu intelektuālās mācību sistēmās, mācību materiālu metadatu aprakstīšanā un mācību materiālu autorēšanā; pētījuma rezultātā ir secināts, ka ontoloģijas ir iespējams izmantot jebkurā intelektuālu mācību sistēmu komponentē, kur ir nepieciešama zināšanu formalizēšana.

Realizējot IKAS pilnveidošanu, ir atrisināti šādi uzdevumi:

- definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms OWL ontoloģiju transformācijai jēdzienu kartēs; lai nodrošinātu algoritma darbību, ir definēta paplašinātā blakusvirsoņu matrica, kurā ir atspoguļoti jēdzienu nosaukumi un to savstarpējā saistība, norādot saites nosaukumu un virzienu, kā arī datus par jēdzienu veidu jeb jēdziena veida marķieri;
- definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms ar IKASu veidoto jēdzienu karšu transformācijai OWL ontoloģijās;
- definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms, kas atbalsta pasniezējus mācību materiālu veidošanā, lai mācību objektos būtu ietverta sistēmisko domāšanu veicinoša informācija, akcentējot jēdzienu savstarpējo saistību;
- definēts, aprakstīts un grafiski attēlots algoritms mācību kursu un personalizētu mācīšanās ceļu sastādīšanai, kura realizācijai ir izstrādāts matemātisks formālisms mācību objektu vispārīguma noteikšanai.

Lai pārbaudītu izstrādātos algoritmus darbībā:

- ir izstrādāts rīks OntoJK ontoloģijas transformācijai jēdzienu kartē;
- ir izstrādāts rīks JKOnto jēdzienu kartes transformācijai ontoloģijā;
- ir izstrādāta utilitprogramma MergeUtil ontoloģiju apvienojuma faila pēcapstrādei, lai novērstu ontoloģiju redaktora Protégé spraudņa PROMPT trūkumus;
- ir veikta visu izstrādāto algoritmu un atbilstošo rīku darbības aprobācija, izmantojot konkrētu studiju priekšmetu jēdzienu kartes un ontoloģiju.

Iespējamie turpmākie pētījumu virzieni ir:

- metožu izstrāde jēdzienu karšu izmantošanai studiju programmas auditā mācību priekšmetu saistību analīzei;
- liela apjoma jēdzienu karšu vizualizācijas problēmu atrisināšana;
- ontoloģiju lietojumu mācību sistēmās pārņemšana zināšanu vērtēšanas sistēmu elementos.

BIBLIOGRĀFISKAIS SARAKSTS

- [AHL 2004] Ahlberg M. Varieties of Concept Mapping. In Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping, September 14-17, 2004, Pamplona, Spain. Available at: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-206.pdf> (accessed 10.12.2009).
- [AKK 2005] Akkaya R., Karakirik E., Durmus S. A Computer Assessment Tool for Concept Mapping. In Turkish Online Journal of Educational Technology – TOJET, 4(3), Article 1, 2005. Available at <http://www.tojet.net/articles/431.pdf> (accessed 10.12.2009).
- [AMI 2008] Amiri H., AleAhmad A., Rahgozar M., Oroumchian F. Keyword Suggestion Using Conceptual Graph Construction from Wikipedia Rich Documents. In Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering (IKE'08) held at the 2008 World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing, July 14-17, 2008, Las Vegas, USA. Available at: <http://ro.uow.edu.au/dubaipapers/54> (accessed 15.03.2011).
- [AND 1998] Anderson-Inman L., Ditson L.A., Ditson M.T. Computer-Based Concept Mapping: Promoting Meaningful Learning in Science for Students with Disabilities. Information Technologies and Disabilities Journal, Special K-12 issue, June 1998. ITDV05N1-2, article 2. Available at: <http://people.rit.edu/easi/itd/itdv5n12/article2.htm> (accessed 10.12.2009).
- [ANO 2006a] Anohina A., Graudina V., Grundspenkis J. Intelligent System for Learners' Knowledge Self-Assessment and Process Oriented Knowledge Control Based on Concept Maps and Ontologies. In Annual Proceedings of Vidzeme University College „ICTE in Regional Development”, 2006, pp. 1-8.
- [ANO 2006b] Anohina A., Stale G., Pozdnakovs D. Intelligent System for Student Knowledge Assessment. In Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5th Series, Computer Science. Applied Computer Systems, Vol. 26, 2006, pp.132-143.
- [ANO 2007a] Anohina A. Adaptīvas apmācības un zināšanu vērtēšanas intelektuāla atbalsta sistēmas izstrādāšana. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2007, 155 lpp.
- [ANO 2007b] Anohina A., Lanka A. Individualizēta zināšanu vērtēšana datorizētas vērtēšanas sistēmā. RTU zinātniskie raksti. 8.sēr., Humanitārās un sociālās zinātnes. 12.sēj., 2007, 23.-31. lpp.
- [ANO 2008] Anohina A., Graudina V., Grundspenkis J. Using Concept Maps in Adaptive Knowledge Assessment. In Advances in Information Systems Development "New Methods and Practice for the Networked Society". USA: Springer, 2008, pp. 469-479.
- [ASH 2009] Ashley S. Mind Mapping and Note Taking Strategies for Exam Revision, 2009. Available at: <http://ezinearticles.com/?Mind-Mapping-and-Note-Taking-Strategies-For-Exam-Revision&id=2412482> (accessed 3.04.2011).

- [BOY 2007] Boyce S., Pahl C. Developing Domain Ontologies for Course Content. In *Educational Technology & Society*, 10(3), 2007, pp. 275-288.
- [BRI 2004] Briggs G., Shamma D.A., Cañas A.J., Carff R., Scargle J., Novak J.D. Concept Maps Applied to Mars Exploration Public Outreach. In *Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping*, September 14-17, 2004, Pamplona, Spain. Available at: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-122.pdf> (accessed 10.12.2009).
- [BUC 2008] Buckingham Shum S., Okada A. Knowledge Cartography for Controversies: The Iraq Debate. In Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) *Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques*. London: Springer-Verlag, 2008, pp. 249-265.
- [BUZ 1996] Buzan T., Buzan B. *The Mind Map Book: How to Use Radiant Thinking to Maximize Your Brain's Untapped Potential*. New York: Plume, 1996, 320 p.
- [CAÑ 2004] Cañas A.J., Hill G., Carff R., Suri N., Lott J., Eskridge T., Gómez G., Arroyo M., Carvajal R. CmapTools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment. In *Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping*, September 14-17, 2004, Pamplona, Spain. Available at: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-283.pdf> (accessed 10.12.2009).
- [CAÑ 2008] Cañas A.J., Novak J.D. Concept Mapping Using CmapTools to Enhance Meaningful Learning. In Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) *Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques*. London: Springer-Verlag, 2008, pp. 25-46.
- [CAS 1996] Castells M. *The Information Age: Economy, Society and Culture*. Vol. 1: *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell, 1996, 556 p.
- [CHA 2001] Chang K.-E., Sung Y.-T., Chen S.-F. Learning Through Computer-based Concept Mapping with Scaffolding Aid. In *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 17, 2001, pp. 21-33.
- [CIM 2003] Cimolino L., Kay J., Miller A. Incremental Student Modelling and Reflection by Verified Concept-Mapping. *Proceeding of the 11th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED2003)*, July 20-24, 2003, Sydney, Australia, pp. 219-227.
- [CON 2006] Conclin J. *Dialogue Mapping: Building Shared Understanding of Wicked Problems*. Chichester: Wiley, 2006, 264 p.
- [DAL 2008] Daley B.J., Conceição S., Mina L., Altman B.A., Baldor M., Brown J. Advancing Concept Map Research: A Review of 2004 and 2006 CMC Research. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping*, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 84-91.
- [DAR 2005] da Rocha F.E.L., Costa Jr. J.V., Favero E.L. CMTTool: Facilitating Meaningful Learning Practice in the Classroom. In *Informática na educação: teoria & prática*, Porto Alegre, 8(1), 2005, pp. 55-70.
- [DER 2004] Derbentseva N., Safayeni F., Cañas A.J. Experiments on the Effects of Map Structure and Concept Quantification during Concept Map Construction. In *Proceedings of the 1st*

- International Conference on Concept Mapping, September 14-17, 2004, Pamplona, Spain. Available at: <http://cmc.ihmc.us/papers/cmc2004-125.pdf> (accessed 10.12.2009).
- [DOA 2006] Doan B.-L., Bourda Y. An Educational System Based on Several Ontologies. In Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Learning Technologies 2006 (ICALT'06), July 5-7, 2006, Kerkrade, The Netherlands, pp. 176-183.
- [EUZ 2007] Euzenat J., Shvaiko P. *Ontology Matching*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2007, 333 p.
- [FRI 2000] Fridman Noy N., Musen M.A. PROMPT: Algorithm and Tool for Automated Ontology Merging and Alignment, In Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence and 12th Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence, July 30 - August 3, 2000, Austin, USA, pp. 450-455.
- [GOU 2008] Gouli E., Gogoulou A., Alexopoulos A., Grigoriadou M. Exploiting COMPASS as a Tool for Teaching and Learning. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 2, pp. 383-390.
- [GRA 2005a] Graudina V., Grundspenkis J. The Role of Ontologies in Agent-Based Simulation of Intelligent Tutoring Systems. In Proceedings of the 19th European Conference on Modelling and Simulation 2005 (ECMS 2005), June 1-4, 2005, Riga, Latvia, pp. 446-451.
- [GRA 2005b] Gaudiņa V. Dažādība ontoloģiju definīcijās un klasifikācijas shēmās. RTU Zinātniskie raksti, 5. sērija, Datorzinātne, Lietišķās datorsistēmas, 22. sējums. Rīga: izdevniecība "RTU", 2005, pp.181-192.
- [GRA 2006] Graudina V., Grundspenkis J. Conceptual Model for Ontology-based Adaptive Assessment System. In Proceedings of the 3rd E-learning Conference-Computer Science Education, September 7-8, 2006, Coimbra, Portugal, pp. 1.13-1 – 1.13-6.
- [GRA 2007] Graudina V. An Overview of Ontology Usage in Computer-Based Tutoring Systems. In Annual Proceedings of Vidzeme University College: ICTE in Regional Development, 2007, pp. 70-77.
- [GRA 2008a] Graudina V., Grundspenkis J. Concept Map Generation from OWL Ontologies. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September, 22-25, 2008, Tallinn, Estonia and Helsinki, Finland, pp. 173-180.
- [GRA 2008b] Graudina V. OWL Ontology Transformation into Concept Map. In Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5th Series, Computer Science. Applied Computer Systems, Vol. 34, 2008, pp. 80-91.
- [GRA 2011a] Graudina V., Grundspenkis J. Algorithm of Concept Map Transformation to Ontology for Usage in Intelligent Knowledge Assessment System. International Conference on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'11), June 16-17, 2011, Vienna, Austria. pp. 109-114.
- [GRA 2011b] Graudina V. Algorithms for Knowledge Remediation in Concept Map Based Assessment System. 2nd International Workshop on Intelligent Educational Systems and

- Technology-enhanced Learning (INTEL-EDU 2011), 2011, 6. okt. Riga, Latvia (accepted for publishing).
- [GRE 1999] Grey D. Knowledge Mapping: A Practical Overview. 1999. Available at: <http://kmguru.tblog.com/post/98920> (accessed at 4.04.2011).
- [GRU 1993] Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specification. In Knowledge Acquisition 5(2), 1993, pp. 199-220.
- [GRU 1995] Gruninger M., Fox M.S. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. In Proceedings of IJCAI'95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, August 20-25, 1995, Montreal, Canada, 1995, 10 p.
- [GRU 2001] Grundspenkis J. Concepts of Organizations, Intelligent Agents, Knowledge, Learning and Memories: Towards an Inter-disciplinary Knowledge Management. In Wang K. et al. (Eds.). Lectures Notes of the Nordic-Baltic-NW Russian Summer School (NBR'2000) on Applied Computational Intelligence to Engineering and Business, 2001, pp. 172-191.
- [GRU 2009] Grundspenkis J. Concept Maps as Knowledge Assessment Tool: Results of Practical Use of Intelligent Knowledge Assessment System. In Proceedings of the IADIS International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2009), November, 20-22, 2009, Italy, Roma, pp. 258-266.
- [GRU 2011] Grundspenkis J. Concept Map Based Intelligent Knowledge Assessment System: Experience of Development and Practical Use. In D. Ifenthaler (Eds.) Multiple Perspectives on Problem Solving and Learning in the Digital Age. New York: Springer, 2011, pp. 179-197.
- [HEL 2002] Helbig H., Gnörlich C. Multilayered Extended Semantic Networks as a Language for Meaning Representation in NLP Systems. Computational Linguistics and Intelligent Text Processing. LNCS 2276, 2002, pp. 11-28.
- [HEL 2010] Helfgott M.A., Brewer A., Novak J. The Use of Cmaps in the Description of Clinical Information Structure and Logic. In Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping, October, 5-7, 2010, Viña del Mar, Chile. Available at: <http://cmc.ihmc.us/cmc2010papers/cmc2010-b7.pdf> (accessed 17.02.2011).
- [HEN 2001] Hendler J. Agents and the Semantic Web. In IEEE Intelligent Systems, 16(2), pp. 54-59.
- [HIL 2008] Hilton M. Workshop: Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century Skills. Unpublished document. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Center for Education. Washington, D.C. The National Academies, 2008.
- [HOE 2003] Hoeft R.M., Jentsch F.G., Harper M.E., Evans A.W., Bowers C.A., Salas E. TPL-KATS-Concept Map: A Computerized Knowledge Assessment Tool. In Computers in Human Behavior, No. 19, 2003, pp. 653-657.
- [HYE 2004] Hyerle D. Student Successes with Thinking Maps. Thousand Oaks, CA: Corwin Press, 2004, 232 p.

- [HYE 2008] Hyerle D. Thinking Maps®: A Visual Language for Learning. In Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques. London: Springer-Verlag, 2008, pp. 73-88.
- [JON 1996] Jonassen D.H. Computers in the Classroom: Mindtools for Critical Thinking. Columbus: Merrill Publishing, 1996, 304 p.
- [JOV 2007] Jovanovic J., Gasevic D., Knight C., Richards G. Ontologies for Effective Use of Context in e-Learning Settings. In Educational Technology & Society, 10(3), 2007, pp. 47-59.
- [KMH] Rīka Knowledge Master iebūvētā palīdzība.
- [KOŅ 2007] Koņe T., Muraškova I. Latvija ceļā uz zināšanu sabiedrību: izpratne un izaicinājumi//Izglītība zināšanu sabiedrības attīstībai Latvijā. Rīga: Zinātne, 2007, 121.-141. lpp.
- [KOW 2010] Kowata J.H., Cury D., Boeres M.C.S. A Review of Semi-Automatic Approaches to Build Concept Maps. In Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping, October, 5-7, 2010, Viña del Mar, Chile. Available at: <http://cmc.ihmc.us/cmc2010papers/cmc2010-b20.pdf> (accessed 17.02.2011).
- [KOZ 2008] Kozminsky E. Nathan N. Does the Form of Concept Map Nodes Matter? In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 359-364.
- [KYR 2008] Kyrö P., Niskanen V.A. A Concept-Map Modeling Approach to Business Planning in a Computer Environment. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 22-29.
- [LAC 2005] Lacy L.W. OWL: Representing Information Using the Web Ontology Language. Trafford Publishing, 2005, 302 p.
- [LAS 2001] Lassila O., McGuinness D.L. The Role of Frame-Based Representation on the Semantic Web. In Electronic Transactions on Artificial Intelligence, Vol. 5, 2001. Available at: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dim/etai/lassila-mcguinness-fbr-sw.doc> (accessed 20.03.2011).
- [LEA 2003] Lea S.J., Stephenson D., Troy J. Higher Education Students' Attitudes to Student Centred Learning: Beyond 'Educational Bulimia'. In Studies in Higher Education, 28(3), 2003, pp. 321-334.
- [LEE 2005] Lee M.-C., Ye D.Y., Wang T.I. Java Learning Object Ontology. In Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2005), July 5-8, 2005, Kaohsiung, Taiwan, pp. 538-542.
- [LUK 2010] Lukashenko R., Anohina-Naumeca A. Development of the Adaptation Mechanism for the Intelligent Knowledge Assessment System Based on the Student Model. In Proceedings of International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN'10), July 5-7, 2010, Barcelona, Spain, pp. 005140-005149.

- [MAT 2008] Matsuura S., Naito M. Creating a Topic Maps Based e-Learning System on Introductory Physics. In Proceedings of 4th International Conference on Topic Maps Research and Applications. Subject-Centric Computing, TMRA 2008, October 16-17, 2008, Leipzig, Germany, pp. 271-284.
- [MIL 2008] Miller N.L., Cañas A.J. Effect of the Nature of the Focus Question on Presence of Dynamic Propositions in a Concept Map. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 365-372.
- [MIZ 2000] Mizoguchi R., Bourdeau J. Using Ontological Engineering to Overcome Common AI-ED Problems. In International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol.11, 2000, pp. 107-121.
- [NOV 1972] Novak J.D. The Use of Audio-Tutorial Methods in Elementary School Instruction. In Postlethwait S.N. et al. (Eds.). The Audio-Tutorial Approach to Learning. Minneapolis, MN: Burgess, pp. 110-120.
- [NOV 1984] Novak J.D., Gowin D.B. Learning How to Learn. Cambridge: Cambridge University Press, 1984, 199 p.
- [NOV 1990] Novak, J.D. Concept Mapping: A Useful Tool for Science Education. In Journal of Research in Science Teaching, 27(10), 1990, pp. 937-949.
- [OKA 2008a] Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques. London: Springer-Verlag, 2008, 400 p.
- [OKA 2008b] Okada A. Scaffolding School Pupils' Scientific Argumentation with Evidence-based Dialogue Maps. In Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques. London: Springer-Verlag, 2008, pp. 131-162.
- [OLE 2006] Olsevicova K. Topic Maps e-Learning Portal Development. In Electronic Journal of e-Learning, 4(1), pp. 60-67. Available at: <http://www.ejel.org/volume4/issue1> (accessed 7.09.2010).
- [ONE 2005] O'Neill G., McMahon T. Student-Centred Learning: What Does It Mean for Students and Lecturers? In O'Neill G., Moore S., McMullin B. (Eds.). Emerging issues in the practice of University Learning and Teaching. Dublin: All Ireland Society for Higher Education (AISHE), 2005, 10 p. Available at: http://www.aishe.org/readings/2005-1/oneill-mcmahon-Tues_19th_Oct_SCL.pdf (accessed 21.03.2011).
- [OWL 2004a] Smith M.K., Welty C., McGuinness D.L. OWL Web Ontology Language Guide. 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/> (accessed 20.08.2010).
- [OWL 2004b] McGuinness D.L., van Harmelen F. (Eds.). OWL Web Ontology Language Overview. 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-features/> (accessed 20.08.2010).

- [OWL 2004c] Bechhofer S., van Harmelen F., Hendler J., Horrocks I., McGuinness D.L., Patel-Schneider P.F., Stein L.A. OWL Web Ontology Language Reference. 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-ref/> (accessed 20.08.2010).
- [OWL 2009a] Golbreich C., Wallace E.K. (Eds.). OWL 2 Web Ontology Language New Features and Rationale. 2009. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl2-new-features/> (accessed 20.08.2010).
- [OWL 2009b] Hitzler P., Krötzsch M., Parsia B., Patel-Schneider P.F., Rudolph S. (Eds.). OWL 2 Web Ontology Language Primer. 2009. Available at: <http://www.w3.org/TR/owl2-primer/> (accessed 20.08.2010).
- [PAR 2002] Park J., Hunting S. XML Topic Maps: Creating and Using Topic Maps for the Web. Boston, USA: Addison-Wesley Professional, 2002, 640 p.
- [ROJ 2008] Rojas M.A.R., Sánchez E., Barrios J.D.C., Vergara J., Torres O., Bravo E. Concept Maps in Panamanian Classrooms: Searching for Photographs of Knowledge. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 306-313.
- [ROM 2010] Romano J.G., Correia P.R.M. A Taxonomic Scheme for Propositional Analysis. In Proceedings of the 4th International Conference on Concept Mapping, October, 5-7, 2010, Viña del Mar, Chile. Available at: <http://cmc.ihmc.us/cmc2010papers/cmc2010-b21.pdf> (accessed 17.02.2011).
- [ROW 2008] Rowe G., Reed C. Argument Diagramming: The Araucaria Project. In Okada A., Buckingham Shum S., Sherborne T. (Eds.) Knowledge Cartography: Software Tools and Mapping Techniques. London: Springer-Verlag, pp.163-181.
- [RUI 1996] Ruiz-Primo M.A., Shevelson R.J. Problems and Issues in the Use of Concept Maps in Science Assessment. In Journal of Research in Science Teaching, 33(6), 1996, pp. 569-600.
- [RUI 2009] Ruiz-Primo M.A. Towards a Framework for Assessing 21st Century Science Skills. Commissioned paper for The National Academies, 2009, 65 p. Available at: http://www7.nationalacademies.org/bose/Ruiz_Primo_21st_Century_Paper.pdf (accessed 17.03.2011).
- [SAF 2003] Safayeni F., Derbentseva N., Cañas, A.J. Concept maps: A Theoretical Note on Concepts and the Need for Cyclic Concept Maps. In Journal of Research in Science Teaching, 42(7), 2005, pp. 741-766.
- [SAL 2008] Salerno F., Cuccillato E., Muetzelfeldt R., Giannino F., Bajracharya B., Caroli P., Viviano G., Staiano A., Carteni F., Mazzoleni S. Concept Maps for Combining Hard and Soft System Thinking in the Management of Socio-Ecosystems. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 298-305.

- [SÁN 2008] Sánchez Preciado D.J., Pemberthy Gallo L.S., Plazas Tenorio A.L. The Concept Map as a Tool for Desingning a Competitiveness and Innovation System for Cauca – Colombia. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 2, pp. 611-617.
- [SIM 2008] Simón-Cuevas A., Ceccaroni L., Rosete-Suárez A., Suárez-Rodríguez A., Victoria-Oquendo R. A Support to Formalize a Conceptualization from a Concept Map Repository. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 68-75.
- [SOW 1992] Sowa F.J. Semantic Networks. In Shapiro S.C. (Ed.) Encyclopaedia of Artificial Intelligence, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1992, Vol. 2, pp. 1493-1511.
- [SOW 2008] Sowa J.F. Conceptual Graphs. In van Harmelen F. et al. (Eds.). Handbook of Knowledge Representation. Amsterdam: Elsevier, 2008, pp. 213-237.
- [TAN 2005] Tandukar D. Knowledge Mapping, 2005. Available at: <http://ezinearticles.com/?Knowledge-Mapping&id=9077> (accessed 29.07.2010).
- [TIP 2009] Tipper M. Brainstorming Mind Mapping and Other Creative Confusions, 2009. Available at: <http://www.michaelonmindmapping.com/blog/mind-maps/brainstorming-mind-mapping-and-other-creative-confusions/> (accessed 3.04.2011).
- [TWA 2004] Twardy C.R. Argument Maps Improve Critical Thinking. *Teaching Philosophy*, 27(2), 2004, pp. 95-116.
- [VAL 2008] Valerio A., Leake D.B., Cañas A.J. Automatic Classification of Concept Maps Based on a Topological Taxonomy and Its Application to Studying Features of Human-Built Maps. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 1, pp. 122-129.
- [VAN 1997] van Heijst G., Schreiber A., Wielinga B. Using Explicit Ontologies in KBS Development. In *International Journal of Human-Computer Studies*, 46, 1997, pp. 183-298.
- [VAN 2005] Vanides J., Yin Y., Tomita M., Ruiz-Primo M.A. Using Concept Maps in the Science Classroom. In *Science Scope*, 28(8), 2005, pp. 27-31.
- [WEH 2008] Wehry S., Algina J., Hunter J., Monroe-Ossi H. Using Concept Maps Transcribed from Interviews to Quantify the Structure of Preschool Children's Knowledge about Plants. In Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping, September 22-25, 2008, Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland. Vol. 2, pp. 732-739.
- [YIN 2005] Yin Y., Vanides J., Ruiz-Primo M.A., Ayala C.C., Shavelson R.J. Comparison of Two Concept-mapping Techniques: Implications for Scoring, Interpretation, and Use. In *Journal of Researches in Science Teaching*, 42(2), 2005, pp. 166-184.