

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Lietišķo datorsistēmu institūts

Vadims ŽURAVĻOVS

Datorsistēmu doktora programmas doktorants

**OBJEKTU INDIVIDUĀLAJĀS ĪPAŠĪBĀS SAKNOTAS
DECENTRALIZĒTAS DATU VADĪBAS SISTĒMAS
KONCEPCIJAS IZSTRĀDE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Dr. sc. ing., asociētā profesore
E. LATIŠEVA

Rīga 2012

UDK 004.65(043.2)
Žu 696 o

Žuravļovs V. Objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas izstrāde. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2012.-48. lpp.

Iespiests saskaņā ar DITF LDI padomes 2012. gada 21. septembra lēmumu, protokols Nr. 79.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai».

ISBN 978-9934-10-373-5

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012.gada 19. decembrī 14.30 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža iela 1/3, 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Leonīds Novickis
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr.sc.comp. Māris Vītiņš
Latvijas universitāte

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Jurijs Tolujevs
Otto-von-Guericke Universitāte, Magdeburga, Vācija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu (vai cita) doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Vadims Žuravļovs(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 7 pielikumus, 38 attēlus, kopā 196 lappuses. Literatūras sarakstā ir 264 nosaukumi.

Saturs

Ievads.....	5
1. Datu vadības sistēmu koncepciju analīze no datu glabāšanas un pārvaldības viedokļa.....	11
1.1. Objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas (<i>OIĪSS</i>)	11
1.2. Datu vadības sistēmas koncepcijas.....	16
1.3. DVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotu sistēmu kritērijiem.....	16
1.4. Kopsavilkums un secinājumi.....	19
2. OIĪSS izmantoto tehnoloģiju izpēte	20
2.1. Piemēru apskats tehnoloģiju identificēšanai	20
2.2. Tehnoloģijas	21
2.2.1. Tehnoloģiju salīdzināšanas parametri	21
2.2.2. Tehnoloģiju parametru salīdzinājums	23
2.3. Kopsavilkums un secinājumi.....	24
3. Koncepcijas apraksts	25
3.1. Koncepcijas vispārīgais apraksts	25
3.2. Dokumenta iekšējā struktūra	26
3.3. Resursu mijiedarbības scenāriji	27
3.4. Atribūtu un noteikumu grupas.....	29
3.5. Koncepcijas pārbaude definēto kritēriju atbilstībai.....	31
3.6. Rezultāti un secinājumi	32
4. DARSIR koncepcijas ieviešana.....	33
4.1. Datu apmaiņas un glabāšanas formātu izvēle.....	33
4.2. Tehnoloģijas izvēle.....	34
4.2.1. Ietekmes kritēriji.....	34
4.2.2. Tehnoloģiju izvēles aprēķinu metode.....	35
4.2.3. Ietekmes koeficientu vienvērtīgās nozīmes aprēķins	38
4.3. Drošības jautājumu apskats	38
4.3.1. Informācijas drošības problēmu piemērotība DARSIR koncepcijai	39
4.3.2. RFID kontrole informācijas drošības risku samazināšanai	39
4.4. DARSIR koncepcijas praktiskie pētījumi	40
4.5. Kopsavilkums un secinājumi.....	40
Galvenie rezultāti un secinājumi	41
Literatūra	45

Ievads

Mūsdienīgās informācijas sistēmās (ang. *Information System, IS*) *fiziskais objekts* ir viena no pamatsastāvdaļām tādās nozarēs kā loģistika [Suh2005], apkopes servisi [Lai2011], viedās ēkas [Mon2007], reālās vides monitorings [Mon2007] utt. Klasiskā pieeja IS darbā ar fiziskiem objektiem ir datu glabāšanas un pārvaldības centralizācija. Klasiskā teorija apgalvo [Lah2005, Hei2005, Bau2005, Sar2010], ka viens no efektīvākajiem datu glabāšanas un pārvaldības veidiem ir monolītas datu vadības sistēmas. Šim datu vadības veidam ir savi riski, ierobežojumi un problēmas [Dat2004].

Promocijas darbā ir izstrādāta pieeja risku, ierobežojumu un problēmu novēršanai *objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām (OIĪSS)* – tā ir datu vadības sistēmas koncepcija, kas paredzēta specifiski tieši OIĪSS gadījumam.

Tēmas aktualitāte

Pasaules informācijas un komunikāciju tehnoloģijas tirgus strauji paplašinās. Tīrgū ienākot jauniem dalībniekiem, to savstarpējā konkurence arvien pieaug [KOM2004a]. Mūsdienās ekonomiskās reālijas liek uzņēmumiem aktīvāk izmantot informācijas un komunikāciju tehnoloģijas. Pieaugošā konkurence piespiež kompānijas meklēt jaunus paņēmienus, lai paaugstinātu biznesa efektivitāti, samazinātu produkta pašizmaksu, šādā veidā uzlabojot savu resursu izmantošanu.

Mūsdienās iegultās sistēmas aizņem 98% no visām datoru sistēmām [Ten2000]. Komisijas paziņojumā padomei, Eiropas parlamentam, Eiropas ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai [KOM2007] ir norādīts, ka Septītajā ietvarprogrammā (2007–2013) informācijas un komunikāciju tehnoloģijas 2007. – 2008. gada darba programmā norādīti četri problēmjautājumi: veselības aprūpe, viedo transportlīdzekļu un mobilitātes sistēmas, mikrosistēmas un nanosistēmas, organiskā elektronika un nākotnes tīkli. Tas liek koncentrēties uz risinājumiem, kas izmanto iegultās un mobilitātes sistēmas iespējas.

Informācijas un komunikāciju tehnoloģiju lietošana uzņēmumos ir atzīta par vienu no veiksmes faktoriem Eiropas konkurētspējas uzlabošanai. Taču jaunu biznesa procesu un jaunu biznesa modeļu efektīva ieviešana, lai izmantotu informācijas un komunikāciju tehnoloģijas potenciālu, joprojām ir izaicinājums, jo īpaši miljoniem Eiropas mazo un vidējo uzņēmumu. [KOM2004b] Maziem un vidējiem uzņēmumiem, konkurējot ar lieliem uzņēmumiem un starptautiskām korporācijām, ir nepieciešamas datu vadības sistēmas, kas nodrošina tādas priekšrocības kā: *nelielu risinājumu implementēšana, pakāpeniska ieviešanas iespējas un ieviešanas izmaksu sadale, autonoma darbība* utt. Šīs priekšrocības ir iespējams nodrošināt, izmantojot mūsdienīgas iegultās sistēmas kopā ar decentralizētu datu vadības sistēmu pieeju.

Mūsdienās Eiropas Savienībā, tajā skaitā Latvijā, ir izmantoti aparatūras un programmatūras risinājumi, kuru pamatā jau šodien ir iespējams pētīt un izveidot jaunas datu vadības sistēmas koncepcijas, kurās implementēt jaunas pakāpes IS. Viena no tāda tipa tehnoloģijām ir *radio frekvenču identifikācija*. [EPC2006] ir parādīts, ka šī tehnoloģija tiešām atvērs vārtus uz jaunu informācijas sabiedrības attīstības posmu, bieži vien to dēvē par „lietu internetu”, kurā ir savienoti ne vien datori un sakaru galiekārtas, bet arī ikviens priekšmets, kas ikdienā atrodas mums apkārt – apģērbs, patēriņa preces u.c. Tieši šis aspekts bija iemesls, kādēļ 2006. decembra Eiropadome lūdza Eiropas Komisiju 2008. gada pavasara Padomē pārskatīt nākamās interneta paaudzes un tīklu problēmas.

Eiropas Savienībā nozīmīgs princips ir personas datu aizsardzība. Līguma par Eiropas Savienību 6. pantā teikts, ka Eiropas Savienība ir dibināta uz brīvības, demokrātijas, cilvēktiesību un pamatbrīvību ievērošanas principiem; 30. pantā noteikts, ka personas datu savākšanai, uzglabāšanai, apstrādei, analīzei un informācijas apmaiņai sadarbībā ar policiju jānotiek saskaņā ar noteikumiem par personas datu aizsardzību [KOM2005]. Tas liek pievērst īpašu uzmanību datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšanas jautājumiem.

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepciju un pārbaudīt tās praktiskās realizācijas iespējas.

Darba uzdevumi

Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika risināti šādi darba uzdevumi:

- ņemot vērā mūsdienu informācijas sistēmu attīstības pamattendences un *objektu individuālajās īpašībās sakņotu sistēmu (OIĪSS)* specifiskās vajadzības, jāidentificē kritēriji OIĪSS un jāveic vispazīstamāko datu vadības sistēmu koncepciju analīze atbilstoši izvirzītajiem kritērijiem;
- noteikt tehnoloģijas, kādas ir iespējams izmantot OIĪSS, izvirzīt tehnoloģiju salīdzināšanas parametrus un veikt atbilstošo tehnoloģiju analīzi;
- jāveic OIĪSS koncepcijas izstrāde un jāpārbauda koncepcijas atbilstība OIĪSS izvirzītajiem kritērijiem;
- noteikt kritērijus, kas ietekmē OIĪSS piemērotas tehnoloģijas izvēli, piedāvāt ietekmes kritēriju salīdzināšanas metodi un uz tā bāzes identificēt vispiemērotākās tehnoloģijas izstrādātajai koncepcijai;
- jāveic izstrādātās koncepcijas datu privātuma un drošības jautājumu pētīšana;

- jāveic izstrādātās koncepcijas programmatūras elementu realizācija un jāpārbauda koncepcijas praktiskās realizācijas iespējas.

Pētīšanas metodes

Promocijas darba teorētiskie pētījumi pamatojas uz pieejamās zinātniskās literatūras avotu analīzi; izvirzīto uzdevumu risināšanai tiek izmantota sistēmu teorija, algebras un kopu teorijas elementi, reālo sistēmu funkcionēšanas simulēšanas paņēmieni un programmatūras inženierijas metodes.

Darba zinātniskais jaunieguvums ir šāds:

- ir identificēti 8 kritēriji, kuriem jāatbilst *objektu individuālajās īpašībās sakņotai sistēmai (OIĪSS)*;
- ir izpētītas 9 monolītas un 5 decentralizētas klasiskās datu vadības sistēmas un novērtēta to atbilstība izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem. Ir noskaidrots, ka neviena no apskatītajām datu vadības sistēmām neatbilst visiem izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem, radot nepieciešamību pēc objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas izstrādes;
- ir identificētas 16 tehnoloģijas un tehnoloģiju modifikācijas, kas parasti tiek izmantotas OIĪSS risinājumos, un piedāvātas trīs tehnoloģiju grupas, kas klasificē tehnoloģijas pēc OIĪSS izmantošanas nolūkiem. Ir izvirzīti 8 tehnoloģiju salīdzinājuma parametri, pamatojoties uz dažādu tehnoloģiju kopējiem parametriem, kuri ietekmē OIĪSS risinājuma tehnoloģijas izvēli;
- ir izstrādāta objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcija, kas atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem; ir klasificēti piedāvātās koncepcijas 3 objektu pamattipi, 3 objektu mijiedarbības scenāriji un 10 objektu īpašību tipi. Piedāvātajai koncepcijai ir šādas priekšrocības: lēmumu pieņemšana ir realizēta uz vietas fiziskajā objektā; tiek atbalstīta fizisko objektu daudzveidība un unikalitāte; ir paaugstināts datu privātuma līmenis; ir izdarīta atteikšanās no centralizētas datu glabāšanas un pārvaldības infrastruktūras nodrošinājuma.
- ir identificētas trīs galvenās tehnoloģiju ietekmes kritēriju grupas un klasificēti 20 ietekmes kritēriji. Ietekmes kritēriju pamatā ir izveidota *IKKATN* (saīsinājums no *Ietekmes Kritēriju Kombinācijas Aprēķins Tehnoloģiju Novērtējumam*) metode, lai palīdzētu izvēlēties konkrētam OIĪSS risinājumam piemērotāko tehnoloģiju;
- ir izpētīts datu aizsardzības nodrošināšanas jautājums OIĪSS koncepcijas pielietošanas kontekstā un izvirzītas rekomendācijas informācijas drošības risku samazināšanai.

Pētījumu praktiskā nozīmība

Darba praktiskā nozīmība ir programmatūras elementu izstrāde, kurus var pielietot OIĪSS risinājumos. *RPML (paplašināmās iezīmēšanas valodas (XML) paplašinājums)* un *JSONR (JavaScript objektu notācijas (JSON) paplašinājums)* datu glabāšanas un pārvaldības formātus iespējams izmantot programmatūrā, kas paredzēta darbam ar fiziskiem objektiem (piemēram, loģistikā, ražošanā utt.). Programmatūru, kas izveidota un aprakstīta promocijas darbā var izmantot OIĪSS risinājumu uzbūvei, implementēšanai un modificēšanai. Pētījumu rezultāts galvenokārt piemērots maziem un vidējiem uzņēmumiem, kuriem nepieciešamas tādas konkurences priekšrocības kā nelielu risinājumu implementēšana, pakāpeniskas ieviešanas iespējas un ieviešanas izmaksu sadale, autonoma darbība utt.

Darba aprobācija

Darba aprobācija ir notikusi šādās starptautiskās zinātniskās konferencēs:

1. Informatics in the Scientific Knowledge 2012, ISK 2012, Varna, Bulgārija, 2012. gadā. 27. – 29. jūnijā.
2. Agents and Multiagents Systems for Enterprise Integration 2012, ZOCO 2012, Salamanca, Spānija, 2012. gada 29. martā.
3. International Conference on Computer and Management 2012, CAMAN 2012, Vuhan, Ķīna, 2012. gada 9. – 11. martā.
4. RTU 52. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 2011. gada 13. oktobrī.
5. 6th Electrical and control technologies, Kauņa, Lietuva, 2011. gada 5. – 6. maijā.
6. RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 2010. gada 12. – 16. oktobrī.
7. Applied Information and Communication technologies. The 4-th International Scientific Conference, Jelgava, Latvija, 2010. gada 22. – 23. aprīlī.
8. RTU 49. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 2008. gada 12. – 14. oktobrī.
9. Informatics in the Scientific Knowledge 2008, ISK 2008, Varna, Bulgārija, 2008. gadā. 26. – 28. jūnijā.
10. Modeling of business, industrial and transport systems 2008, MBIT 2008, Rīga, Latvia, 2008. gada 7. – 10. maijā.
11. RTU 48. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 2007. gada 11. – 13. oktobrī.
12. RTU 47. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīga, Latvija, 2006. gada 12. – 14. oktobrī.

Publikācijas

Pētījumu rezultāti ir atspoguļoti 11 publikācijās, kuras tapušas gan strādājot promocijas darba autoram patstāvīgi, gan sadarbībā ar līdzautoriem:

1. Zuravlyov V., Latisheva E., Lavendels J. Concept of Data Management Systems Based on Individual Object Properties // Proceedings of papers 'Informatics in the scientific knowledge 2012', Bulgaria, Varna, 27–29 June, 2012, pp. 269–279.
2. Zuravlyov V., Latisheva E. Research of Data Storage and Management Technology Applied to DARSIR Concept // Proceedings of papers 'Informatics in the scientific knowledge 2012', Bulgaria, Varna, 27–29 June, 2012, pp. 280–294.
3. Zuravlyov V., Matrosov A., Rutko D., Behavior Pattern Simulation of Freelance Marketplace, Workshop on Agents and Multi-agent systems for Enterprise Integration, ZOCO 2012, Salamanca, Espana, March, 2012.
4. Zuravlyov V., Matrosov A., Rutko D., Freelance resource management system optimization, The 2nd International Conference on Computer and Management, CAMAN 2012, Wuhan, China, March, 2012.
5. Zuravlyov V., Matrosov A. Multi-agent system built using RFID technology // Proceedings of the 6th international conference on electrical and control technologies, ISSN 1822-5934, Lithuania, Kaunas, 5–6 May, 2011. – pp. 15–20.
6. Zuravlyov V., Kryukov D., Kairish V. Security problems related to RFID-based concept usage and methods to counter them // Proceedings of the 6th international conference on electrical and control technologies, ISSN 1822-5934, Lithuania, Kaunas, 5–6 May, 2011. pp. 76–81.
7. Zuravlyov V., Latisheva E., Karish V. The Theoretical Basis and Practical Usage of the Simulation for Creating IT solutions for Data Management Systems // Proceedings of the international conference on Applied Computer Systems, ISSN 1407-7493, Latvia, Riga, 2011., pp. 138–144.
8. Zuravlyov V., Latisheva E. Various Aspects of RFID Technology and Their Use in Monitoring and Management of Traffic // Scientific Journal of RTU. 5. series., Datorzinātne. – 34. vol., Latvia, Riga, 2008, pp. 238–245.
9. Zuravlyov V. Various Aspects of 'Smart Laundry' Task Implementation, Using 'RFID' Technology // Proceedings of papers 'Informatics in the scientific knowledge 2008', Varna, Bulgaria, 26–28 June, 2008, pp. 150–156.
10. Zuravlyov V. Various Aspects of Simulation's Usage for Creation of Real Solutions with „DARSIR” Conception as Example // Proceedings of Conference 'Modeling of

business, industrial and transport systems 2008; MBITS 2008', ISBN 978-9984-818-04-7, Latvia, Riga, 7–10 May, 2008, pp. 132–135.

11. Zuravlyov V. Main Principles of a New Concept of Designing Data Management Systems // Scientific Journal of RTU. 5. series., Datorzinātne. – 30. vol., Latvia, Riga, 2007, pp. 38–46.

Darba autora raksts „*Behavior Pattern Simulation of Freelance Marketplace*”, kuru viņš rakstīja kopā ar Dmitriju Rutko un Antonu Matrosovu, ir ieguvis balvu „*PAAMS '12 Award of Scientific Excellence*” starptautiskajā konferencē „*10th International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 12)*“, Salamankā, Spānijā.

Darba struktūra

Promocijas darbs sastāv no ievada, 4 nodaļām, secinājumiem, bibliogrāfijas un 7 pielikumiem.

Ievadā ir pamatota veikto pētījumu aktualitāte, formulēts darba mērķis un uzdevumi, uzskaitītas promocijas darba izstrādē lietotās zinātniskās metodes, aprakstīta pētījumu zinātniskā novitāte un iegūto rezultātu praktiskā nozīmība, kā arī ir raksturota darba aprobācija.

Darba 1. nodaļā, ir izvirzīti kritēriji objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām un izpētītas klasiskās monolītās un decentralizētās datu vadības sistēmas koncepcijas, lai noskaidrotu to atbilstību šiem kritērijiem. Ir identificēti vispazīstamāko datu vadības sistēmu koncepciju ierobežojumi un priekšrocības, kas tālāk promocijas darbā tiek ņemti vērā objektu individuālajās īpašībās sakņotas datu vadības sistēmas koncepcijas uzbūvē.

Darba 2. nodaļā ir izvirzīti tehnoloģiju salīdzināšanas parametri ar mērķi veikt objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas izmantoto tehnoloģiju analīzi un piedāvāt parametru salīdzināšanas bāzi. Nodaļā iegūtie rezultāti ir izmantoti objektu individuālajās īpašībās sakņotām informācijas sistēmām nepieciešamo tehnoloģiju izvēles metožu pielietošanai.

Darba 3. nodaļā ir aprakstīta objektu individuālajās īpašībās sakņota datu vadības sistēmas koncepcija. Klasificēti vispārīgā līmenī koncepcijas darbības objektu tipi, objektu mijiedarbības scenāriji, objektu īpašības un noteikumu grupas, kā arī veikta koncepcijas pārbaude 1. nodaļā izvirzītajiem individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas kritērijiem.

Darba 4. nodaļā ir veikti detalizēti objektu atribūtu un noteikumu grupu pētījumi, ar mērķi sagatavot teorētisko bāzi to realizēšanai programmatūrā. Ir izvirzīti svarīgākie koncepcijas tehnoloģiju izvēles kritēriji, balstoties uz kuriem ir izveidota tehnoloģiju izvēles metode. Ar šīs metodes palīdzību ir identificētas vispiemērotākās tehnoloģijas, pamatojoties

uz IS būtiskākajiem darba apstākļiem. Tehnoloģija, kura ieguva vislabāko rezultātu pēc metodes pielietošanas tiek izmantota drošības jautājumu detalizētai analīzei.

Promocijas darba rezultāti un secinājumi ir apkopoti darba noslēguma nodaļā.

Koncepcijas praktiskie pētījumi ir atspoguļoti pielikumos: DARSIR koncepcijas datu apmaiņas tehniskā realizācija, resursu atribūtu grupas realizācija, resursu noteikumu tehniskā realizācija, vizuālā interaktīvā simulācija, koncepcijas pārbaude ar tipisku uzdevumu, koncepcijas pārbaude ar netipisku uzdevumu un jaunas funkcijas ieviešana.

1. Datu vadības sistēmu koncepciju analīze no datu glabāšanas un pārvaldības viedokļa

Mūsdienās, ja nepieciešams apskatīt informācijas apstrādi *informācijas sistēmu* (ang. *Information System, IS*) kontekstā, pirmkārt tiek apskatītas *datu vadības sistēmas* (ang. *Data Management System, DVS*). DVS var sadalīt divās lielās kategorijās: *monolītās datu vadības sistēmās* (ang. *Monolithic Data Management Systems, MDVS*) un *decentralizētās datu vadības sistēmās* (ang. *Decentralized Data Management Systems, DDVS*). Šo divu kategoriju sistēmām būtiski atšķiras uzbūves principi un īpašības.

Šai nodaļai ir trīs pamatmērķi. Pirmais mērķis ir definēt kritērijus objektu individuālajās īpašībās sakņotām decentralizētām datu vadības sistēmām. Otrais mērķis ir izpētīt vispazīstamākās DVS koncepcijas un novērtēt to atbilstību izvirzītajiem kritērijiem. Trešais mērķis ir no apskatītajām datu vadības sistēmu koncepcijām apkopot labās prakses principus un metodes, kas ir izturējušas laika pārbaudi. Apkopotie rezultāti tiks izmantoti objektu individuālajās īpašībās sakņotu sistēmu koncepcijas izstrādei.

1.1. Objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas (OIĪSS)

Šajā apakšnodaļā ir izvirzīti kritēriji objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Vispirms ir apskatītas mūsdienīgas IS galvenās attīstības tendences un dots apraksts objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Uz šīs informācijas pamata ir definēti kritēriji objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Nobeigumā ir apskatīti objektu individuālajās īpašībās sakņotu sistēmu tipiskie piemēri, lai pārbaudītu izvirzīto kritēriju darbību reālos piemēros.

Informācijas sistēmas uzbūves tendences

Lai definētu kritērijus objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām, jādefinē IS uzbūves principi. IS uzbūves principus reglamentē dažādi ar datorsistēmām saistīti virzieni: datu vadības sistēmas, programmēšanas valodas, tehnoloģijas un IS projektu vadība. Katram

virzienam ir milzīgs skaits iespējamo variantu. IS attīstības tendenču analīze ļauj izvēlēties gala lietotājam vispiemērotāko variantu.

DVS pētījuma laikā ir analizēti sekojoši informācijas avoti: datu vadības sistēmas teorija un ieskats nākotnē [Dat2004, Sim1995, utt.]; datu vadības sistēmas darbības principi [Alt1980, Wid1996, utt.]; datu vadības sistēmas manifesti [Atk1990, Dat2000a, utt.]; atsevišķas datu vadības sistēmas realizācijas [Gre2007, Row1987, utt.] utt.

Analizējot programmēšanas valodas un ar tām saistītās sfēras, ir apskatīta programmēšanas valodas teorija [Boo1991, Eck2003, utt.], programmēšanas valodas un vides realizācijas [AOS2011, Tel2011, utt.], datubāzes programmēšanas valodas [ISO1999, Dat1997, utt.], datu apmaiņas protokoli [Ber1992, Bay2010, utt.], iezīmēšanas valodas [Cel1995, Cag2000, utt.] utt.

Tiek apkopotas iepriekš informācijas avotos apskatīto IS attīstības tendences. Rezultāts pamatā sakrīt ar [Sim1995] pētījumu. Pētījumā tiek apgalvots, ka eksistē četras IS attīstības tendences, kas ir apkopotas 1.1. tabulā.

1.1. tabula

IS attīstības pamattendences (adaptēts no [Sim1995])

Nr.	Nosaukums	Apraksts
1	<i>Skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija</i>	Ar katru gadu datorsistēmas kļūst mazākas un jaudīgākas. Izmantojot datu komunikācijas līdzekļus (lokālos un bezvadu tīklus), ir iespējams apmainīties ar informāciju starp ierīcēm. Gandrīz visus nepieciešamos darbus lietotāji var realizēt lokāli, nepieslēdzoties lieliem serveriem.
2	<i>IS komponentu neviendabīgums</i>	Dati tiek glabāti dažādos formātos, datu apstrāde tiek nodrošināta ar dažādu veidu programmatūru un aparatūru.
3	<i>Standartu izplatīšana</i>	2. tendences seku samazinājumu nodrošina ar standartu ieviešanu. Lietotājiem ir nepieciešama brīvība aparatūru un programmatūras izvēles procesā. Tas nodrošina brīvu konkurenci un vienkāršu IS izplatīšanu.
4	<i>Reālās pasaules modelēšana informācijas sistēmās</i>	Viens no būtiskākajiem trūkumiem IS ieviešanā ir atšķirības starp IS un reālās pasaules procesiem. Viens no piemēriem ir uz <i>objektiem orientētu modeļu</i> (ang. <i>Object Oriented Model, OOM</i>) izmantošana. OOM ir principi, kuri bija piemēroti programmēšanai un datu vadībai. OOM ir vēl ciešāks sakars starp uzdevumu projektēšanu un realizēšanu.

Viena no galvenajām īpašībām, kas ir svarīga DVS koncepcijas izvēles gadījumā, ir monolītais vai decentralizētais datu glabāšanas un pārvaldības princips. Nākamajās nodaļās ir dots apskats no datu glabāšanas un pārvaldības principu raksturojuma skatu punkta.

OIĪSS apraksts

Objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas operē ar fiziskiem objektiem. Par *objektu* tiek uzskatīts reālās pasaules fiziskais objekts ar unikālām individuālajām īpašībām. *Īpašības* - tās ir objekta fiziskās īpašības (atribūti) un darbības ar tiem (noteikumi).

Fiziskā objekta struktūra ir aprakstīta, lietojot kopu teorijas pierakstu. Ja F ir fiziskais objekts:

$$F = \{A, N\},$$

kur A ir objekta atribūtu kopa, kas satur atribūtus no 1 līdz i :

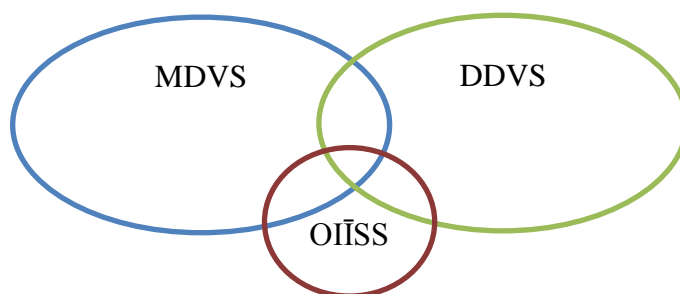
$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_i\}$$

un N ir objekta noteikumu kopa, kas satur noteikumus no 1 līdz i :

$$N = \{N_1, N_2, \dots, N_i\}.$$

Kritēriju definēšana objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām

Ja tiek apskatītas objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas no datu pārvaldības viedokļa, tad daļa no raksturojumiem pārklājas starp monolītām un decentralizētām datu vadības sistēmām. Tiek prognozēts, ka daļa no nepieciešamajiem raksturojumiem nav pilnvērtīgi realizējami ar klasisko datu vadības sistēmu palīdzību (grafisko attēlojumu skat. 1.1. attēlā).



1.1. attēls. MDVS, DDVS un OIĪSS raksturojumu pārklājums

Pirmais promocijas darba uzdevums ir izvirzīt kritērijus OIĪSS klāstam, lai pārbaudītu MDVS un DDVS atbilstību šiem kritērijiem. No IS attīstības 1., 2. un 3. pamattendences (skat. 1.1. tabulā) izriet (i) kritērijs par *skaitļošanas resursu pārvaldības sadali un decentralizāciju*, kā arī (ii) kritērijs par *standartu izmantošanu*. Savukārt IS attīstības 4. pamattendence nosaka, ka jāvērsas pie reālās pasaules modelēšanas IS'ās.

OIĪSS tā ir sistēma, kas operē ar fiziskiem objektiem. Viens objekts atšķiras no cita objekta ar savām individuālajām īpašībām. Tās var būt objekta fiziskās īpašības un/vai

operācijas, kuras jāpiemēro objektam. No tā visa izriet (iii) kritērijs par *fizisko objektu daudzveidības atbalstīšanu*. Cilvēks fizisko objektu individuālo īpašību noskaidrošanai analizē objektu. Analīzei viņš izmanto pieredzi un uz vietas pieejamo informāciju. Definēts (iv) kritērijs par *lokālu datu piekļuves nodrošināšanu*. Ja visa nepieciešamā informācija ir pieejama, tad iespējams pieņemt lēmumu uz vietas. Tiek nodrošināts (v) kritērijs par *autonomu darbību*.

Lielām IS parasti izmanto MDVS (detalizētāk skat. [Sim1995]). Pamatojoties uz (v) kritēriju par *autonomu darbību*, var pieņemt, ka IS sistēma ir sadalīta mazos neatkarīgos risinājumos. Tiek ieviests (vi) kritērijs, ka *nelielu risinājumu ieviešana jābūt ekonomiski izdevīgai*. Vairākos informācijas avotos (detalizētāk skat. [Pic2010, utt.]) ir rekomendēts IS būvēt nelielās iterācijās, izmantojot spējos izstrādes principus. Šī rekomendācija definē/nosaka (vii) kritēriju par *pakāpeniskām ieviešanas izmaksām*. Ievadā ir pamatots datu drošības un privātuma nodrošināšana, balstoties uz to, ir izvirzīts (viii) kritērijs par *datu konfidencialitāti, integritāti un pieejamību*.

Visi kritēriji ir apkopoti 1.2. tabulā.

1.2. tabula

Izvirzītie kritēriji objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām

Nr.	Nosaukums	Apraksts
I.	<i>Skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija</i>	Atteikšanās no centralizētas vadības iespējama tad, ja risinājuma realizēšanai ir pietiekamas lokālās datorsistēmas skaitļošanas jaudas.
II.	<i>Standartu izmantošana</i>	Lai IS lietotājiem nodrošinātu aparatūras un programmatūras izvēles brīvību, ir jānodrošina mūsdienīgu standartu atbalsts. Īpaši nepieciešama brīvība aparatūras izvēles procesā. Jauna risinājuma ieviešanas gadījumā eksistējošās aparatūras risinājumu izmantošana samazina ieviešanas izmaksas.
III.	<i>Fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana</i>	Sistēmai jābūt spējīgai operēt ar lielu objektu skaitu. Katram objektam ir savas individuālās īpašības. Vienam objektam var būt unikālas individuālās īpašības, kas nav piemērotas citiem objektiem.
IV.	<i>Lokālas datu piekļuves nodrošināšana</i>	Informācijas saņemšana no avotiem, kas neatteicas uz pašu objektu, aizņem papildus resursus (datu pārraide līdz krātuvei, datu ņemšana no krātuves, datu apmaiņas interfeisu nodrošināšana, datu krātuves vietu organizēšana, datu apmaiņas nodrošināšana caur dažādām krātuvēm utt.). Ja datus

		iespējams glabāt universālā vietā (piemēram, pašā fiziskajā objektā), tad iespējams būtiski samazināt datu nodrošināšanas izmaksas.
V.	<i>Autonoma darbība</i>	Ja katram DVS darbības elementam ir pieejami lokāli dati, kas nepieciešami lēmumu pieņemšanai, tad ir iespējams teikt, ka ir nodrošināta autonoma darbība.
VI.	<i>Nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums</i>	Gadījumā, kad fizisko objektu skaits ir neliels, jābūt ekonomiskam pamatojumam izmantot tieši šo datu pārvaldības principu. Ja nepieciešams nodrošināt nelielu skaitu objektu mijiedarbību, ekonomiski neizdevīgi izmantot lielus DVS risinājumus.
VII.	<i>Pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale</i>	(vi) kritērijs par nelieliem risinājumiem savukārt prasa zemas ieviešanas izmaksas. IS ieviešana parasti ir vajadzīga, lai automatizētu manuālo darbu, un lielas ieviešanas izmaksas var samazināt IS ieviešanas ekonomisko izdevīgumu.
VIII.	<i>Datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana</i>	Informācijas drošība ir svarīga visos informācijas procesos, fiziskos un elektroniskos, neatkarīgi no tā, vai tajos iesaistīti cilvēki un tehnoloģijas vai attiecības ar tirgus partneriem, klientiem vai trešajām personām. Tas attiecas uz visiem informācijas un tās aizsardzības aspektiem visos tās dzīves cikla punktos organizācijā.

OIĪSS piemēri

Šis apakšnodaļas ietvaros ir apskatīti IS piemēri, kas atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem (skat. 1.2. tabulā). OIĪSS piemēri ir:

- Autonomie kooperatīvie loģistikas procesi;
- Tīrīšanas, remonta un apkopes servisi;
- Viedās ēkas;
- Monitoringa, informēšanas un regulēšanas sistēmas;
- Uzņēmuma iekšējās politikas īstenošanas kontrole;
- Darba procesa analīze;
- Utt.

Detalizēti ir apskatīti pirmie četri no minētajiem OIĪSS piemēriem. Katram no aprakstītajiem piemēriem ir dots problēmas apraksts ar atsauksmēm uz ārējiem avotiem.

Sākotnēji ir aprakstīti tipiski MDVS uzbūves principu risinājumi. Papildus tiek piedāvāts, kā uzbūvēt jaunas IS, pamatojoties uz OIŠSS kritērijiem.

1.2. Datu vadības sistēmas koncepcijas

Šī promocijas darba robežās tiek uzskatīts, ka *datu vadības sistēmas koncepcija* ir sistematizēti un apkopoti uzskati par šo sistēmu un procesiem tajā, ka tas ir viens no galvenajiem soļiem IS izstrādē vai modernizācijā. Citiem vārdiem sakot, koncepcija ir ģenerālais plāns, vadošā ideja, ceļu sistēma, kas apraksta kārtējā uzdevuma risinājumu. Darbu kontekstā *datu vadības sistēma* un *datu vadības sistēmas koncepcija* ir sinonīmi.

Visbiežāk datu vadības sistēmas aprakstam pielieto *datu modeļus* (ang. *Data Model, DM*). Terminu DM pirmoreiz ieviesa *Edgars E. Codd* savā ziņojumā [Cod1980]. Pirmais aprakstītais DM ir *relāciju modelis* [Cod1980]. Pirmie teorētiskie modeļi bija realizēti, pamatojoties uz tobrīd reāli strādājošām sistēmām. Relācijas modelis, tas ir pirmais DM, kas bija izveidots vispirms kā teorētiskais modelis. Un tikai uz relācijas modeļa pamata tika veikta programmatūras realizācija. Ne visas DVS ir aprakstītas ar modeļiem, darbā eksistē arī realizācijas apraksti.

No MDVS kopas DM daudzuma izšķir četrus modeļus: hierarhiskais, tīkla, relāciju un uz objektu orientēts modelis. Mūsdienās visizplātītākie DM izpētes virzieni ir relāciju un uz objektu orientēts modelis. Parasti citus DM apraksta, izmantojot šos četrus bāzes modeļus. Visas pārējās DVS iespējams būvēt, izmantojot četrus pamatmodeļus, bet parasti tiek izmantoti relāciju un uz objektu orientētais modeļi. Tādas DVS, kurām ir noteikti DM, tiek aprakstītas kā DM. Ir tādi, kuri skaitās relāciju modeļa paplašinājumi, tiem nav definēts stingrs DM, un tāpēc tie ir aprakstīti kā *datubāzes*.

No DDVS kopas šajā apakšnodaļā tiek apskatīti pieci galvenie DVS veidi: *dalītās datubāzes, daudzagentu sistēmas, hipervides datubāzes, vienranga datubāzes un sensoru tīkli*. Dalītās datubāzes apvieno sevī kā MDVS, tā arī DDVS pamatraksturojumus un nodrošināta centralizētu datu vadību, bet tomēr tiek izmantoti arī decentralizēti datu glabāšanas un vadības principi.

1.3. DVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotu sistēmu kritērijiem

Iepriekšējās apakšnodaļās ir apskatītas vispazīstamākās DVS koncepcijas. Šajā apakšnodaļā ir apkopota informācija, lai pārbaudītu apskatītās DVS atbilstību objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas kritērijiem. Vienai DVS ir iespējamas daudzas realizācijas variācijas. Šajā nodaļā tiek apskatītas tipiskās realizācijas. Šīs nodaļas mērķis ir

pārbaudīt DVS atbilstību objektu individuālajās īpašībās sakņotās sistēmas kritērijiem, kas ir apkopoti 1.2. tabulā. Ja neviena no apskatītajām DVS pilnībā neatbilst izvirzītajiem kritērijiem, tad rodas nepieciešamība pēc DVS koncepcijas izstrādes.

Monolītās datu vadības sistēmas

Pamatoties uz 1.2. nodaļas MDVS apskatu ir pārbaudīta MDVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Pārbaude nodrošina atbilstību izvirzītajiem kritērijiem, kas ir aprakstīti 1.2. tabulā.

Mūsdienās trīs no apskatītajām MDVS (*izplātās datnes modelis, hierarhiskais modelis un tīkla modelis*) jau ir zaudējušas savu aktualitāti (fakts no [Sim1995]). Par šīm MDVS analīzes rezultāti ir pievienoti datu tabulai 1.3., bet tos komentēt nav nepieciešams.

Ir kritēriji, kurus nav iespējams nodrošināt ar MDVS, tie ir *(i) skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija* un *(iv) lokālas datu piekļuves nodrošināšana*. Klasiskā teorija uzskata, ka MDVS pārvalda datus centralizēti, kas ir pretēji *(i)* kritērijiem. Un datu piekļuvei ir nepieciešams pieslēgties centralizētai datu krātuvei, kas neatbilst *(iv)* kritērijiem.

Mūsdienās visām populārajām MDVS ir nodrošināti tādi kritēriji kā *(ii) standartu izmantošana* un *(viii) datu konfidencialitāte, integritāte un pieejamības nodrošināšana*.

Kritēriju par *(iii) fizisko objektu daudzveidību atbalstīšanu* pilnībā nodrošina *objektorientētais modelis*. *Objektu relāciju modelis* nodrošina šo kritēriju daļēji. Visas pārējās MDVS pilnībā nodrošina atbilstību šim kritērijam, ja tiek nodrošināta iespēja pielietot šo MDVS ar *objektorientētu modeli*.

Kritērijs *(v) par autonomu darbību* MDVS kontekstā ir pretrunīgs. Autonomai darbībai ir nepieciešams nodrošināt datu pieejamību lokāli, kas netiek nodrošināts. Tomēr pašus DVS uzbūves principus iespējams izmantot autonomai darbībai, tas ir atkarīgs no konkrētas realizācijas.

Divi no kritērijiem ir cieši saistīti viens ar otru, tas ir *(vi) mazu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums* un *(vii) pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale*. Centralizētas datu glabāšanas un pārvaldības nodrošināšana prasa lielas sākotnējās investīcijas. Tas ir viens no iemesliem, kāpēc *(vi)* kritērijs parasti netiek nodrošināts. Ir iespējami izņēmumi, tās ir MDVS, kas ir domātas mobilajām ierīcēm un mazām datubāzēm. *(vii)* kritēriju ieviešana prasa kopēju risinājuma sākuma datu glabāšanas un pārvaldības uzbūvi. Viena no priekšrocībām ir samazināts lietojumprogrammas izstrādāšanas cikls ar nosacījumu, ka netiek mainīta datu glabāšanas struktūra.

MDVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām ir apkopotas 1.3. tabulā. Tabulā ir izmantotas vērtības, kritēriju atbilstībai: 0 – neatbilst, 0/1 – daļēji atbilst un 1 – atbilst.

MDVS kritēriju atbilstības salīdzinājums

(I - skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija; II - standartu izmantošana; III - fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana; IV - lokālas datu piekļuves nodrošināšana; V - autonoma darbība; VI - nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums; VII - pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale; VIII - datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana)

MDVS \ Kritērijs	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Izplātās datnes modelis	0	0	0	0/1	0	0/1	0	0
Hierarhiskais modelis	0	0/1	0	0	0	0/1	0/1	0
Tīkla modelis	0	0/1	0	0	0	0/1	0/1	0
Relāciju modelis	0	1	0	0	0/1	0/1	0/1	1
Objektu orientēts modelis	0	1	1	0	0/1	0/1	0/1	1
Objektu relāciju modelis	0	1	0/1	0	0/1	0/1	0/1	1
Aktīvas datubāzes	0	1	0/1	0	0/1	0/1	0/1	1
Datu noliktavas un citi specifiskie datu vadības sistēmas	0	1	0/1	0	0/1	0/1	0/1	1

Decentralizētas datu vadības sistēmas

Pamatoties uz 1.2. nodaļas DDVS apskatu, ir pārbaudīta DDVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Pārbaude tika veikta, lai nodrošinātu 1.2. tabulā definēto kritēriju atbilstību.

Pirmais kritērijs par *(i) skaitļošanas resursu pārvaldības sadali un decentralizāciju* ir nodrošināts, pamatojoties uz decentralizētu datu vadības principu kā tādu. Tomēr *dalītas datubāzes* un *sensoru tīkli* atbilst kritērijiem daļēji. *Dalītās datubāzes* tiek raksturotas ar MDVS un DDVS principiem vienlaicīgi. *Sensoru tīklos* katrs atsevišķais mezgls saņem uzdevumu no blakus mezgliem. Ir iespējams, ka rezultāti ir apvienoti un apstrādāti tikai vienā mezglā.

Mūsdienās visām populārajām DDVS ir nodrošināts *(ii) kritērijs par standartu izmantošanu*. Cits kritērijs *(iii) par fizisko objektu daudzveidību atbalstīšanu* pilnvērtīgi var nodrošināt *daudzaģentu sistēmas*. *Dalītām datubāzēm* un *hipervides datubāzēm* tas ir iespējams, ja šīs DDVS tiek realizētas ar ar objektorientētu pieeju.

Divi kritēriji *(iv) lokālas datu piekļuves nodrošināšana* un *(v) autonoma darbība* ir cieši saistīti. Tie pilnībā atbilst kritērijiem *vairākaģentu sistēmās*. *Dalītām datubāzēm* to var nodrošināt, ja datu apmaiņa notiek, izmantojot mezglus. Visiem mezgliem jābūt realizētiem ar DDVS principu palīdzību. Tādām DDVS kā *hipervides datubāzes* un *vienranga datubāzes* atbilstība šiem kritērijiem ir atkarīga no konkrētas realizācijas. *Sensoru tīklam* dati kā tādi

netiek glabāti vispār. Tie tiek pieprasīti no pamatmezgla un tiek nodrošināta datu pārraide līdz šim mezglam. Ja nav saites ar pamatmezglu, viss tīkls strādā bez mērķa.

Divus sekojošos kritērijus iespējams apskatīt kopā. Tie ir (vi) *nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums* un (vii) *pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale*. Tādām DDVS kā *dalītas datubāzes, daudzāģentu sistēmas un hipervides datubāzes* ir nepieciešams pilns izstrādes cikls līdz gatava risinājuma ieviešanas. Tas savukārt apgrūtina realizēt mazus risinājumus, vai arī lieli risinājumi jāievieš pakāpeniski. *Vienranga datubāzēm un sensoru tīkliem* galvenais programmatūras un aparatūras nodrošinājums jau eksistē, un pielietošana ir vienkāršāka. Piemēram, *sensoru tīklam* pamatelementi ir sensori, kurus iespējams nodrošināt vēlāk un papildināt eksistējošu risinājumu.

Kritērijs (viii) *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana* ir sarežģīti realizējams priekš DDVS. Vienīgais kas atbilst šim kritērijam ir *dalītas datubāzes, MDVS un DDVS principu apvienošanas dēļ*. Visām pārējām DDVS ir ierobežojumi datu drošību mehānismu izmantošanai, datu integritātes kontrolei utt.

DDVS atbilstība objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām ir apkopotas 1.4. tabulā. Tabulā ir izmantotas vērtības kas atbilst izvirzītajiem, kritērijiem: 0 – neatbilst, 0/1 – daļēji atbilst un 1 – atbilst.

1.4. tabula

DDVS kritēriju atbilstību salīdzinājums

(I – skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija; II – standartu izmantošana; III – fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana; IV – lokālas datu piekļuves nodrošināšana; V – autonoma darbība; VI – nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums; VII – pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale; VIII – datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana)

DDVS \ Kritērijs	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Dalītas datubāzes	0/1	1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	1
Daudzāģentu sistēmas	1	1	1	1	1	0/1	0/1	0/1
Hipervides datubāzes	1	1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1	0/1
Vienranga datubāzes	1	1	0	0/1	0/1	1	1	0/1
Sensoru tīkls	0/1	1	0	0	0	1	1	0/1

1.4. Kopsavilkums un secinājumi

Šīs nodaļas galvenais teorētiskais rezultāts ir identificētie OIĪSS kritēriji. Veikta vispazīstamāko MDVS un DDVS koncepciju analīze to atbilstībai identificētiem kritērijiem. Nodaļas galvenie secinājumi ir:

- Ir noskaidrots, ka no apskatītajām klasiskajām MDVS un DDVS neviena no tām pilnībā neatbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem. Vistuvāk no MDVS ir *objektu orientētais modelis* un *aktīvās datubāzes*. No DDVS tās ir *daudzaģentu sistēmas*.
- Apskatītās DVS atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem tikai daļēji. Radās nepieciešamība pēc objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas izstrādes, kas atbilstu kritērijiem, kas ir izvirzīti objektu individuālajās īpašībās sakņotām decentralizētām datu vadības sistēmām.

2. OIĪSS izmantoto tehnoloģiju izpēte

Jebkurš IS risinājums balstās uz konkrētām tehnoloģijām. Šīs nodaļas mērķis ir identificēt tehnoloģijas, kuras plānots izmantot objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām. Pamatojoties uz jaunās koncepcijas definētajiem kritērijiem, ir izvirzīti tehnoloģiju salīdzināšanas parametri, kuri ir nepieciešami, lai nodrošinātu izvirzītos OIĪSS kritērijus. Izvirzītie parametri ar apkopotajām vērtībām tiks izmantoti gala risinājuma piemērotāko tehnoloģiju izvēlei.

2.1. Piemēru apskats tehnoloģiju identificēšanai

Tiek ņemti piemēri no objektu individuālajās īpašībās sakņotajām sistēmām, kuri ir apskatīti 1.1. nodaļā. Tika apskatīti četri piemēri, lai identificētu tipiskās tehnoloģijas, kas ir izmantotas objektu individuālajās īpašībās sakņotās sistēmās. Šīs tehnoloģijas tiks apskatītas detalizētāk, lai pēc tam identificētu parametrus, kas ir svarīgi jaunajai koncepcijai. Ir identificētas sekojošas tehnoloģijas (kas dotas ar izmantošanas aprakstiem):

- *Svītrkods* – tā ir tehnoloģija, kas tiek izmantota fizisko objektu identificēšanai, ir gadījumi kad birkā kopā ar identifikatoru tiek glabāta papildu informācija par objektu (piemēram, partijas numurs, ražotāja identifikators utt.).
- *RFID* – tā ir tehnoloģija, kas izmantota tādiem pašiem nolūkiem kā svītrkodu tehnoloģija. Parasti RFID sauc par „*svītrkoda nākamās paaudzes tehnoloģiju*”.
- *NFC* – tā ir RFID tehnoloģijas modifikācija, kas bieži ir iebūvēta mobilajās ierīcēs, viens no tās tipiskās izmantošanas piemēriem ir ātri maksājumi un lietotāju identificēšana.
- *Lokālais tīkls* – tā ir tehnoloģija, kas tiek izmantota datu pārraidei, tīkla nodrošinājumam nepieciešams uzbūvēt struktūru. Ar Internet izplatīšanos lokālais tīkls kļūst par populāru un pieejamu tehnoloģiju.

- *Bluetooth, IrDA* – datu pārraides tehnoloģijas, kuras parasti tiek izmantotas, ja nepieciešami savienojumi ar mobilajām ierīcēm.
- *GSM, GPRS* – mobilo sakaru standarts un mobilais datu pārraides serviss, kurš tiek izmantots datu pārraidei, tagad tas ir bieži pieejams un tiek lietots tur, kur nav pieejami uz vietas citi datu pārraides standarti.
- *Wi-Fi, WiMAX* – bezvadu datu pārraides tehnoloģijas, kuras mūsdienās ir izplatītas un to infrastruktūra tiek plaši izmantota.
- *Satelīti* – viens no populārākajiem šīs tehnoloģijas piemēriem ir GPS, kas ir piemērota pozicionēšanai. Līdzīgas tehnoloģijas, kas strādā pēc tāda paša principa ir Galileo, KOMPASS, GLONASS un citas.

2.2. Tehnoloģijas

Objektu individuālajās īpašībās sakņota decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijai jāatbilst 1.2. tabulā definētajiem kritērijiem. Tehnoloģijas apskats tiek veikts pamatojoties uz tehnoloģiju salīdzināšanas parametriem, kas izvirzīti šo kritēriju pamatā. Pamatojoties uz šiem parametriem, ir veikts tehnoloģiju apskats.

2.2.1. Tehnoloģiju salīdzināšanas parametri

Pamatojoties uz tādiem kritērijiem kā (i) *skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija*, (ii) *standartu izmantošana*, (iii) *fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana* un (v) *autonoma darbība*, tiek piedāvāts sadalīt visas tehnoloģijas grupās pēc tehnoloģiju izmantošanas mērķiem. Tehnoloģiju salīdzināšanas parametra (i) *tehnoloģiju grupa* vērtības ir dotas 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Tehnoloģiju grupas pēc izmantošanas mērķiem

Nr.	Nosaukums	Apraksts
1.	<i>Objektu identificēšanas tehnoloģijas</i>	Šīs grupas tehnoloģijas pamatmērķis ir identificēt objektu. Parasti tas ir fizisks objekts. Ietilpstošās definētās tehnoloģijas ir: svītrkods, RFID, NFC utt.
2.	<i>Datu pārraides tehnoloģijas</i>	Tās ir tehnoloģijas, kuru pamatmērķis ir pārvietot datus no vienas vietas uz citu. Šeit ietilpstošās definētās tehnoloģijas ir: Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, GPRS, IrDA, satelīti utt.
3.	<i>Uz sensoriem bāzētas</i>	Uz šo grupu attiecas tehnoloģijas, kas parasti tiek izmantotas

	<i>tehnoloģijas</i>	kopā ar 1. un 2. grupas tehnoloģijām un ir vajadzīgas, lai paplašinātu standartu tehnoloģijas funkcionalitāti. Parasti tie ir dažādu veidu sensori: <i>globālas pozicionēšanas sistēma</i> (ang. <i>Global Positioning System, GPS</i>), termometrs utt.
--	---------------------	---

(iv) kritērijam par *lokālas datu piekļuves nodrošināšanu* ir jādefinē tehnoloģiju salīdzināšanas parametri, kas attiecas uz apraksta tehnoloģiju darba parametriem: (ii) *darba rādīus*, (iii) *datu pārraides ātrumu*, (iv) *darba frekvenci* un (v) *tiešās redzamības nepieciešamības*.

Divi no kritērijiem (vi) *nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums* un (vii) *pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale* ietekmē izmaksas aprēķinu. Šīs nepieciešamības dēļ ir ieviesti nākamie tehnoloģiju salīdzināšanas parametri (vi) *ieviešanas izmaksas* un (vii) *tehnoloģiju iedarbināšanas mehānismu sarežģītība*. Īpaša uzmanība ir pievērsta (viii) *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšanas jautājumam*. Šis kritērijs ir atspoguļots (viii) *datu aizsardzības* tehnoloģiju salīdzināšanas parametrā.

Izvirzīto tehnoloģiju salīdzināšanas parametri ir aprakstīti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Tehnoloģiju salīdzināšanas parametri

Nr.	Nosaukums	Apraksts
I.	<i>Tehnoloģiju grupa</i>	Definētas trīs tehnoloģiju izmantošanas grupas, kas attiecas uz izmantošanas mērķi: <i>objektu identificēšana</i> (1. grupa), <i>datu pārraidei</i> (2. grupa) un <i>uz sensoriem bāzētas tehnoloģijas</i> (3. grupa). Viena tehnoloģija var vienlaicīgi piederēt dažādām grupām.
II.	<i>Darba rādīuss</i>	Tehnoloģijas maksimālais darba rādīuss starp divām ierīcēm.
III.	<i>Datu pārraides ātrums</i>	Cik ātri iespējams pārsūtīt datus no vienas ierīces uz otru. Tehnoloģijām, kas attiecas uz objektu identificēšanu, ir norādīts, cik daudz laika ir vajadzīgs viena objekta identificēšanai.
IV.	<i>Darba frekvence</i>	Lielākā daļa no tehnoloģijām savā darbā izmanto konkrētu frekvenci. Svarīgi tās zināt, jo katrā valstī ir savi ierobežojumi, un ir tehnoloģijas, kuras aizliegts izmantot specifisko frekvenču izmantošanas dēļ.

V.	<i>Tiešās redzamības nepieciešamība</i>	Viens no būtiskākajiem ierobežojumiem, kas attiecas uz tehnoloģijām.
VI.	<i>Ieviešanas izmaksas</i>	Tiek sniegtas relatīvās izmaksas relatīvās vienībās, kur pirmā vienība nozīmē infrastruktūras izmaksas, otrā vienība – termināla daļas izmaksas un trešā – birku izmaksas (attiecība uz 1. grupu). Vienības izmaksas ir robežās no 0 līdz 9 (jo augstāk, jo dārgāk).
VII.	<i>Tehnoloģiju iedarbināšanas mehānismu sarežģītība</i>	Tā ir uz konkrētas tehnoloģijas balstītu ierīču darbības principu nodrošināšanas sarežģītība. Piemēram, definēts, ka viena no sarežģītākajām tehnoloģijām ir satelītu tehnoloģija, tās iedarbināšanai nepieciešams nodrošināt satelītus. Pašas vērtības ir definētas no tehnoloģijas apraksta un ekspertu viedokļiem šajā jomā.
VIII.	<i>Datu aizsardzība</i>	Tiek definēts, kāda līmeņa datu drošības un konfidencialitātes atbalsts ir nodrošināts. Tiek definētas divas pazīmes: <i>programmatūras līmenis</i> (ang. <i>Software, SW</i>) un <i>aparātūras līmenī</i> (ang. <i>Hardware, HW</i>).

2.2.2. Tehnoloģiju parametru salīdzinājums

Pēc augstāk minēto tehnoloģiju vispārīga apskata ir definēti OIĪSS nozīmīgākie tehnoloģiju parametri. Parametru analīzei ir izmantotas visbiežāk lietotie tehnoloģiju paveidi un versijas. Piemēram, Bluetooth tehnoloģijas populārākā versija mūsdienās ir Bluetooth 2.0. Visa šī informācija ir apvienota tabulas veidā (skat. 2.3. tabulā).

2.3. tabula

Tehnoloģiju parametri salīdzinājums

(I – tehnoloģiju grupa; II – darba rādiuss (kilometros); III – datu pārraides ātrums (datu pārraides ātrums, vai obj/s); IV – darba frekvence; V – tiešās redzamības nepieciešamība; VI – ieviešanas izmaksas (infrastruktūra/termināls/birka); VII – tehnoloģiju iedarbināšanas mehānismu sarežģītība; VIII – datu aizsardzība)

Parametrs	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Tehnoloģija								
<i>Svītrkods (Code128)</i>	1.	0.01	0.3-0.5 obj/s	n/a	ir	3/1/0	nē	SW
<i>Svītrkods (DataMatrix)</i>	1.	0.002	0.2-0.4 obj/s	n/a	ir	3/2/0	nē	SW
<i>Svītrkods (QR Code)</i>	1.	0.002	0.2-0.4	n/a	ir	3/2/0	nē	SW

			obj/s					
<i>RFID (pasīvais)</i>	1.	0.0001 - 0.009	1-200 obj/s	LF, HF	vēlama	4/2/1	nē	SW, HW
<i>RFID (daļēji aktīvais)</i>	1.	0.001 – 0.035	1-200 obj/s	UHF, MF	vēlama	4/2/3	nē	SW, HW
<i>RFID (aktīvais)</i>	1.	0.035 – 0.1	1-200 obj/s	UHF, MF	vēlama	4/2/5	viduvēji	SW, HW
<i>NFC</i>	1. un 2.	0.0015	424 KB/s	HF	vēlama	4/1/1	nē	SW, HW
<i>LAN</i>	2.	0.1	1 Gbit/s	HF	nav	5/3/-	viduvēji	SW, HW
<i>Bluetooth</i>	1. un 2.	0.1	2 MB/s	HF	vēlama	2/2/4	nē	SW
<i>IrDA</i>	1. un 2.	0.01	4 MB/s	LF	ir	2/2/4	nē	SW
<i>GSM</i>	1. un 2.	35	43.3 KB/s	UHF	nav	7/3/5	jā	SW, HW
<i>GPRS</i>	2.	35	80 KB/s	UHF	nav	7/3/5	jā	SW, HW
<i>Wi-Fi</i>	1. un 2.	0.1	600 MB/s	MF	vēlama	4/3/6	jā	SW, HW
<i>WiMAX</i>	1. un 2.	50	70 MB/s	HF	vēlama	5/3/7	jā	SW, HW
<i>GPS</i>	3.	globālais	n/a	UHF	ir	9/2/2	jā	n/a
<i>Sensori</i>	3.	0.001	n/a	n/a	ir	2/2/2	nē	n/a

2.3. Kopsavilkums un secinājumi

Šajā nodaļā ir identificētas tehnoloģijas, kas ir izmantotas OIĪSS gadījumā. Šis nodaļas galvenie jaunie teorētiskie rezultāti ir izvirzītie tehnoloģiju salīdzināšanas parametri, kas ietekmē koncepcijas izstrādi nākotnē. Informācija ir apkopota, veicot tehnoloģiju salīdzinājumu.

Galvenie secinājumi ir šādi:

- Izpildot četru objektu individuālo īpašību sakņoto sistēmu analīzi (*autonomie kooperatīvie loģistikas procesi; tīrīšanas, remonta un apkopes servisi, viedās ēkas, monitoringa, informēšanas un regulēšanas sistēmas*) ir identificētas 16 tehnoloģijas un tehnoloģiju modifikācijas, ko var izmantot objektu individuālajās īpašībās sakņotās sistēmās.
- Neviena no apskatītajām tehnoloģijām neatrisina (*viii*) kritēriju par *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana*. Šo kritēriju nepieciešams atbalstīt programmatūras līmenī.

- Tikai 1. un 2. grupas tehnoloģijas ir iespējams izmantot kā pamata tehnoloģijas DARSIR koncepcijas praktiskas realizācijas laikā. 3. grupas tehnoloģijas var izmantot tikai par papildu informācijas avotu.

3. Koncepcijas apraksts

Nemot vērā definētos OIĪSS kritērijus, šajā nodaļā ir piedāvāta objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcija.

3.1. Koncepcijas vispārīgais apraksts

Objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas pamatprincipi pirmoreiz tika publicēti [Zur2007] publikācijā. Koncepcija ir nosaukta par *Dati un noteikumi glabāti resursā* (ang. *Data And Rules Saved In Resource, DARSIR*). Tā kā DARSIR saīsinājums visos pētījumos ir dots angļu valodā (pilnais saraksts ar autora publikācijām ir pieejams Ievadā), tad turpmāk šeit arī tiks izmantots šis saīsinājums.

IS, kas izstrādāta pēc DARSIR koncepcijas principiem, dati netiek glabāti centralizēti, bet sadalīti starp fiziskiem objektiem (IS dalībniekiem). Tas nodrošina atteikšanos no klasiskajai datubāzei nepieciešamā tehniskā nodrošinājuma (piemēram, serveris, tīkls utt.). Šī koncepcija piemērota gadījumos, kad IS iespējams realizēt, izmantojot decentralizētas datu glabāšanas un pārvaldības principus.

DARSIR koncepcija bāzējas uz *objektorientētas pieejas*, saskaņā ar kuru jāizskata dati, kuri jāizmanto, lai sistēma pildītu savu uzdevumu. DARSIR koncepcija par tādiem datiem uzskata objektus. DARSIR koncepcijas objekts ir nosaukts par *resursu*. *Resurss* ir jebkurš dzīvās vai nedzīvās dabas objekts, kas ir iesaistīts informācijas sistēmas darbības procesā. Resursa dati tiek glabāti *birkā*. *Birka* ir koncepcijas izmantotās tehnoloģijas sastāvdaļa. Birka resursam ir piesaistīta vai iebūvēta tajā. Piemēram, RFID tehnoloģijas birka ir *RFID birka* (ang. *RFID tag*). Svītrkodu tehnoloģijā tā ir *divu dimensiju svītrkods*.

Resursa struktūru var aprakstīt šādi:

$$B = \{S, D\},$$

kur B ir birka,

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_i\}$ ir sensoru kopa

un D ir dokuments, kurš atspoguļo datu glabāšanas formātu.

Savukārt, dokuments D:

$$D = \{A, N\},$$

kur $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i\}$ ir resursa atribūtu kopa

un $N = \{N_1, N_2, \dots, N_i\}$ ir resursa noteikumu kopa.

Paša birkā ir realizēta saite starp sensoriem un dokumentu. Ar sensoru saņemtajām vērtībām (piemēram, temperatūra pēc Celsija) iespējams operēt (piemēram, saņemt, apstrādāt, nodot utt.), izmantojot noteikumus, kas definēti dokumentā.

3.2. Dokumenta iekšējā struktūra

Dokuments tas ir resursa datu aprakstu veids, kas apraksta resursa atribūtus un noteikumus. Skaidrojumiem par dokumenta iekšējo struktūru par pamatu ir ņemts piemērs no loģistikas.

Atribūti

Atribūts ir objekta īpašību prezentācija dokumentā. Atribūtiem eksistē daudzi paveidi. Lai vienkāršotu standartizācijas procedūru, atribūtus var klasificēt – sadalīt *atribūtu grupas*. Pieņemot, ka $A = \{A_1, A_2, \dots, A_i\}$ ir atribūtu grupa, atsevišķo grupas atribūtu var aprakstīt šādi:

$$A_i = \{NS, V, P\},$$

kur NS ir atribūta nosaukums,

V ir atribūta vērtība

un $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i\}$ ir atribūta pazīmes kopa.

Piemēram, konteineram ir fiziskie parametri. Fizisko parametru atribūtu grupa ietver sevī atribūtus, kas apraksta konteīnera augstumu, platumu, ietilpību utt. Atribūtam, kas apraksta konteīnera augstumu ir nosaukums *con_height* (N), vērtība 2.4 (V) un pazīme *m* (P). Dotajā gadījumā pazīme norāda, ka augstuma vērtība ir norādīta metros.

Noteikumi

Resursa *noteikums*, objektorientētās pieejas kontekstā, ir *metode*. Objektorientētajā programmēšanā tiek definētas divas lielas sastāvdaļas, kuras darbina metodes: tās ir mainīgie un metodes. Noteikumus DARSIR koncepcijā var aprakstīt šādi:

$$N = \{M, PR, FN, T\},$$

kur M ir mainīgie,

PR ir procedūras,

FN ir funkcijas

un T ir *triggeris* (ang. *trigger*) – ir operāciju kopa, kas tiek glabāta resursā un tiek palaista automātiski, kad iepriekš ir definēts notikums.

Resursu grupas

Nodrošināt katram resursam aparatūras iespēju fiziski mijiedarboties ar citiem resursiem ir ekonomiski neizdevīgi. IS eksistē aktīvie un pasīvie darbības elementi. Ņemot vērā šo principu, visus resursus var iedalīt divas grupas:

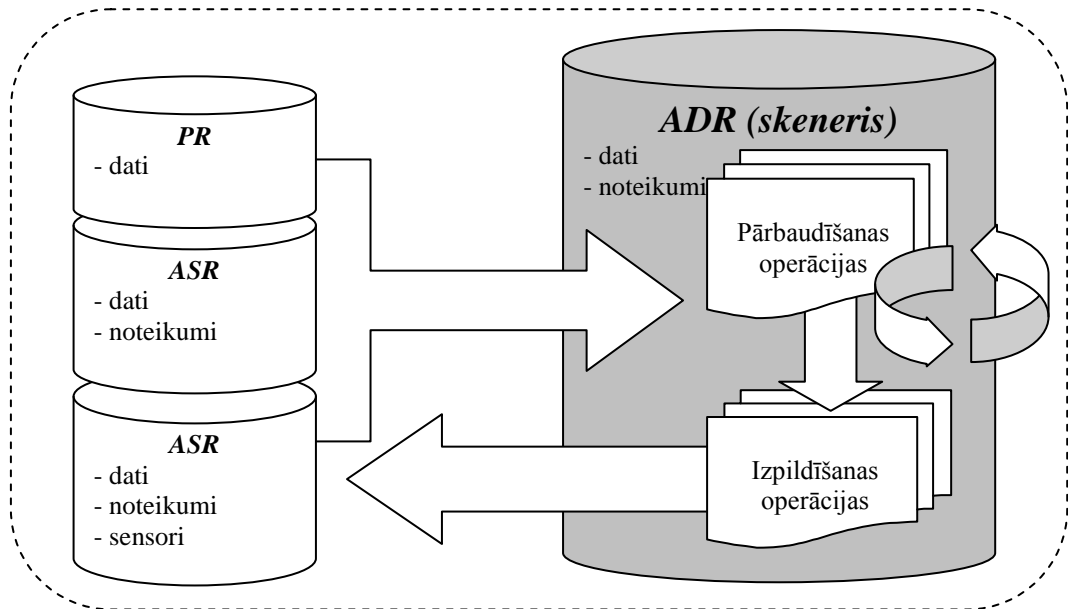
1. *Pasīvie resursi* (ang. *Passive Resource, PR*) – resursi, kuros tiek glabāti dati un piesaistīti sensori (tāda veida resurss tikai saglabā iekšējos datus),
2. *Aktīvie resursi* (ang. *Active Resource, AR*) – resursi, kuros tiek glabāti dati un kuriem papildus piemīt arī funkcionalitāte. Aktīvus resursus var sadalīt:
 - a. *Aktīvie statiskie resursi* (ang. *Active Static Resource, ASR*) – informācija tiek glabāta statiskā veidā (statiskas instrukcijas) un to var mainīt tikai citi resursi vai ierīces.
 - b. *Aktīvie dinamiskie resursi* (ang. *Active Dynamic Resource, ADR*), kuri ne tikai glabā informāciju, bet arī ir spējīgi tiešā veidā ietekmēt citus resursus (piemēram, saņemt informāciju, palaist resursus utt.). Šeit tipiskākais piemērs ir RFID skeneris. Ja pieņem, ka resurss ir prezentēts kā RFID tags, tad RFID skeneris var lasīt un modificēt datus, kas atrodas resursos (RFID tagos).

DARSIR risinājumu iedarbināšana tiek nodrošināta ar ADR elementiem. ADR analogu ir iespējams atrast MAS teorijā (skat. [Woo2001]), kur to sauc par *aģentu*. Ņemot vērā 2. nodaļā apskatītās tehnoloģijas, ADR tas ir *skeneris*, kurš DARSIR koncepcijas gadījumā ir aktīvais elements, kas nodrošina resursu iekšējo funkcionalitāti gadījumā, ja tie atrodas tā uztveršanas zonā.

3.3. Resursu mijiedarbības scenāriji

Resursu mijiedarbības ir nodrošinātas caur aktīvajiem resursiem. ASR var glabāt sevī noteikumus, bet tikai ADR var palaist noteikumus. ADR var nosaukt par skeneri. Skeneris var mijiedarboties ar citiem resursiem, ja šie resursi atrodas tā uztveršanas zonā. Šīs apakšnodaļas mērķis ir parādīt trīs resursu mijiedarbības scenārijus.

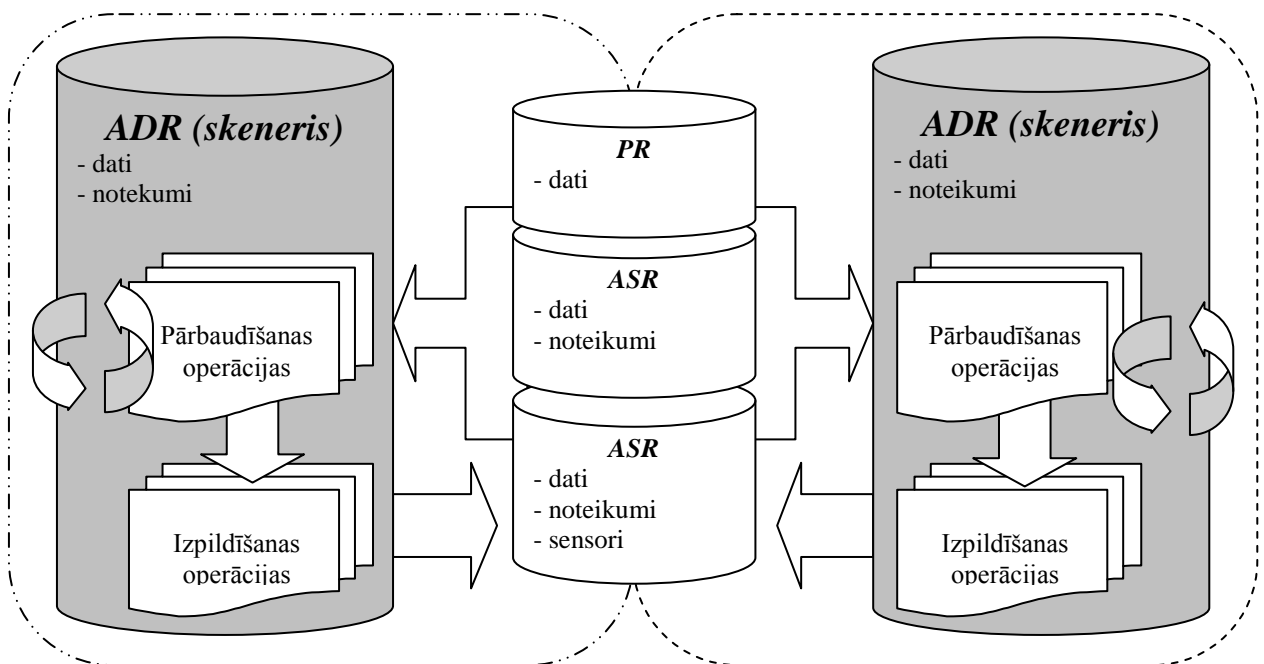
ADR pamata raksturojums ir autonoma darbība ar iespēju pašam pieņemt lēmumus uz vietas, pamatojoties uz pieejamajiem datiem. Visvienkāršākā darbības scenārijs ir attēlots 3.1. attēlā.



3.1. attēls. Viena ADR mijiedarbības scenārijs

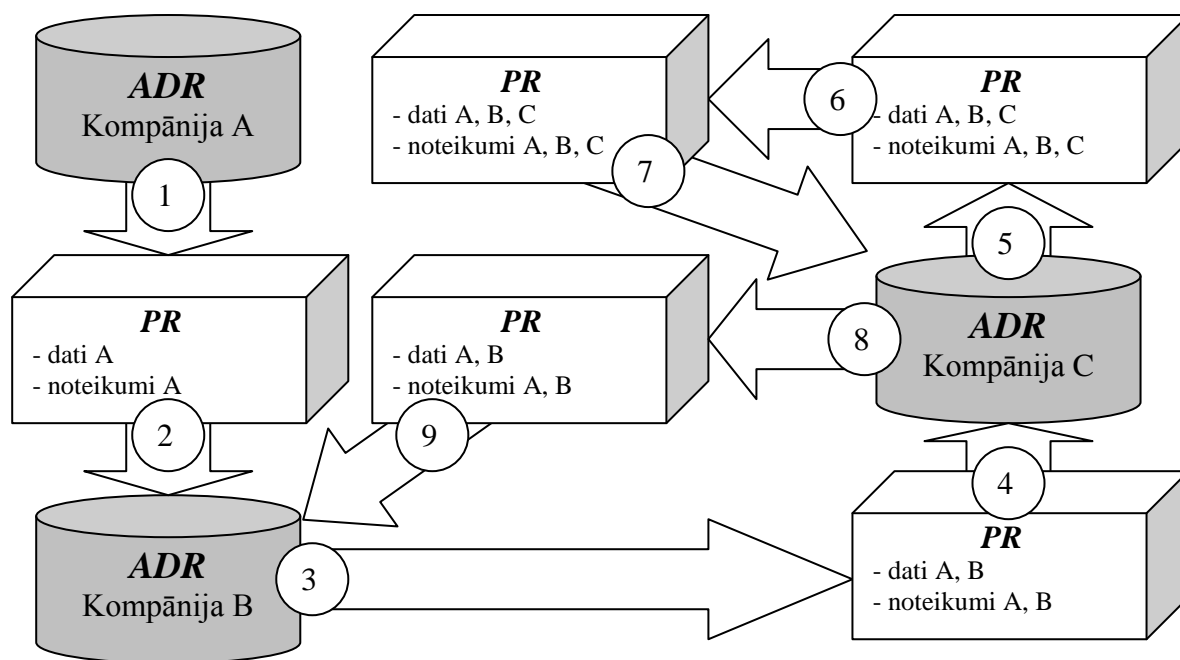
ADR nolasa visus datus un noteikumus savā atmiņā no PR un ASR, kas atrodas tā nolaišanas diapazonā. No PR saņemti atribūti. No ASR iespējams saņemt arī noteikumus. Ja ASR noteikumi nosaka, ka jāizpilda iepriekš definētas darbības, tad ADR tās izpilda. Ja ADR ir ierakstīti noteikumi, tie būs arī izpildīti. Viens ADR mijiedarbības scenārijs ir pamata risinājums citiem, kad divi vai vairāki ADR atrodas kopēja darbības zonā.

Ja eksistē divi ADR ar vienādiem vai līdzīgiem uzdevumiem, tiek paredzēts, ka viņi paši strādā paralēli un mijiedarbība starp viņiem nav paredzēta. Vienlaicīga divu ADR mijiedarbības scenārijs ir attēlota 3.2. attēlā.



3.2. attēls. Divu ADR vienlaicīgas mijiedarbības scenārijs

Decentralizēta datu vadība neparedz obligātu tiešu ADR komunikāciju. Visa komunikācija vai cita veidu mijiedarbība notiek caur resursiem (parasti PR un ASR). ADR var papildināt resursu ar datiem un noteikumiem. Līdzīgs mehānisms ir eksistē objektu orientēta pieejā. Iespējams veidot sarežģītus objektus, izmantojot saliktu objektu konstruktorus. Pēc tam, kad šie dati nav vajadzīgi, tos iespējams dzēst no resursa. Piemēram, ir konteineris, kas paredzēts loģistikas procesa kastes pārvietošanai (skat. 3.3. attēlā). Konteineram ir savi dati (atribūti un nolikumi), kuriem sākuma vērtības ir definētas no ražotāja A. Kad konteineri sāk izmantot loģistika kompānija B, viņa pievieno savu daļu no datiem (jaunus atribūtus un noteikumus). Vienu no apakš loģistikas procesiem var realizēt cita loģistikas kompānija C, kas pievieno savus datus (atribūtus un nolikumus), kuri ir vajadzīgi, lai apmainītos ar informāciju starp kompānijas C dalībniekiem. Kad kompānija C pabeidz savu daļu no darba un atgriež konteineru kompānijai B, kļūst par nevajadzīgiem kompānijas C datiem (atribūti un noteikumi) un dzēš tos no konteinerā.



3.3. attēls. Dažādu ADR secīgas mijiedarbības scenārijs

3.4. Atribūtu un noteikumu grupas

Resurss ir aprakstīts DARSIR risinājumā ar atribūtiem un noteikumiem. Vienam atribūtam vai noteikumam ir iespējamas dažādas apraksta shēmas. Viens no veidiem, kā atvieglot darbu ar resursiem, ir to klasificēšana un standartizēšana. Šīs apakšnodaļas ietvaros ir veikta atribūtu un noteikumu klasificēšana, sadalot tos grupās.

Atribūtu un noteikumu grupēšana ir organizēta pēc izmantošanas sfērām. Atribūtiem un noteikumiem ir vienādas grupas un tie pieder vienādām grupām. Pie konkrētas atribūtu grupas ir pievienoti noteikumi, kas nepieciešami šīs grupas atribūtu iedarbināšanai. Par

grupēšanas pamatu tika ņemti RFID un svītrkodu bāzes standarti un darbības principi, kā arī pētījumi par PML valodu no [Bro2001a, Bro2001b utt.], adaptējot tos objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām.

Piedāvātais grupu sadalījums ir dots 3.1. tabulā.

3.1. tabula

DARSIR koncepcijas atribūtu un noteikumu grupas

Nosaukums	Pamatojums
<i>Resursa identifikators</i>	Resursam ir unikālais identifikators, pēc kura iespējams viennozīmīgi atšķirt vienu resursu no resursu kopas. Eksistē dažādas metodes fizisko objektu identificēšanai. Dažas no šīm metodēm ir piemērotas resursu identificēšanai.
<i>Individuālās īpašības</i>	Resursam eksistē individuālas īpašības. Tipiskākās individuālās resursa īpašības ir fiziskie parametri (garums, augstums, svars utt.), materiāla īpašības (plastmasa, metāls utt.), ķīmiskais sastāvs (kalcijs, nātrijs utt.) utt. Definēts kā strādāt ar šīm īpašībām, un kā iespējams piemērot fundamentālās bāzes mērvienības, tādas kā garums, masa, temperatūra utt.
<i>Saistības</i>	Resursam ir papildu parametri, kas resursu saista ar citiem objektiem vai vietām. Parasti tie ir resursa īpašnieks (piemēram, fiziska persona, organizācija, preču zīme utt.) vai resursa atrašanās vieta (piemēram, pilsēta, rajons, pasta indekss, precīza adrese, telpu izvietojums ēkā utt.).
<i>Laiks</i>	Tas ir mērīšanas sistēmas daļa, kuru izmanto, lai definētu notikumu secību, lai salīdzinātu notikumu ilgumu un intervālu starp notikumiem. Cilvēkam vislabāk piemēroti tādi termini kā sekunde, minūte, stunda, diena, nedēļa, mēnesis, gads utt.
<i>Vēsture</i>	Fiziskā objekta dzīves cikla gaitā notiek izmaiņas. Nepieciešams mehānisms, kas nodrošina vēstures saglabāšanu. Šī grupa cieši saistīta ar laika grupu. Vēstures atribūtā ir fiksēts laiks un fiziskā objekta stāvoklis, kas bija fiksēts norādītājā laikā.
<i>Pozicionēšana</i>	Resursam iespējams definēt atrašanās vietu. Tādās nozarēs kā loģistika, šis ir viens no būtiskajiem atribūtiem. Pozicionēšanu daļa divās lielās grupās: ārējā vide un iekštelpa.
<i>Piekļuves tiesības</i>	Datu konfidencialitātei un drošības dēļ, izmantojot DARSIR

	konceptiju, jāregulē piekļuves tiesības resursiem. Objektu orientētai pieejai tās tiek nodrošinātas ar iekapsulēšanas principu atbalstu. Resursu iespējams ietekmēt ar atvērtiem noteikumiem (metodēm) un atribūtiem. Ar šo grupu ir nodrošināta piekļuves tiesību regulēšana.
<i>Klasifikācija</i>	Resurss ir fizisks objekts ar savām unikālajām individuālajām īpašībām. Kad resursu ir daudz, tiem grūti piemērot kopējas darbības. Viens no variantiem, kā atvieglot darbu ar resursiem, ir resursu klasificēšana un kategorizēšana. Jāparedz iespēja veidot sarežģītus resursus, izmantojot saliktu resursu konstruktorus.
<i>Konfigurācija</i>	Resurss var saturēt dažāda veida citus objektus. Tipisks piemērs ir konteineris, kurā ir kastes ar precēm. Ja IS nav paredzēts visus resursus nodrošināt ar birkām, tad iespējams tās informāciju ierakstīt pamata resursā. Tad informāciju ir iespējams izmantot IS, bet ar šo grupu palīdzību.
<i>Prezentācija</i>	Iepriekš aprakstītās resursu grupas, bija nepieciešamas, lai automatizētu darbības, kas saistītas ar resursu darbu. Lietotājam arī jānodrošina informācija par resursiem, kas nav saistīta ar fiziskajām resursa īpašībām. Tie ir dažādu veidu dati (teksta, video, audio utt.), kas raksturo resursu un palīdz informēt resursa patērētāju par resursa izmantošanas īpašībām. Tipiskie piemēri, kas atbilst resursu prezentēšanai: lietotāju apmācība, garantija, reklāma (teksts, attēli, audio, video utt.) utt.

3.5. Konceptijas pārbaude definēto kritēriju atbilstībai

Pēc DARSIR konceptijas vispārīga apraksta to ir jāpārbauda uz atbilstību izvirzītajiem astoņiem OIŠS kritērijiem.

Pirmais (i) kritērijs par *skaitļošanas resursu pārvaldības sadali un decentralizāciju* ir nodrošināts, jo DARSIR konceptija ir izstrādāta uz DDVS darbības principu bāzes. Visi dati attiecas uz fiziskiem objektiem, un katrā fiziskā objektā tiek glabāti dati par pašu objektu. Šis fakts arī nodrošina (iv) kritērija par *lokālas datu piekļuves nodrošināšanu* atbalstu. Nav nepieciešamas citas vietas informācijas glabāšanai.

Viens no pamata kritērijiem, kas balstās uz mūsdienīgiem risinājumiem, ir (ii) *standartu izmantošana*. Eksistējošās tehnoloģijas un mūsdienīgi standarti, tiek apskatīti 2. nodaļā un ir izmantoti DARSIR konceptijas izstrādē. (iii) *fizisko objektu nevienādīgumu*

atbalstīšana ir nodrošināta ar datu glabāšanu mūsdienīgās datu apmaiņas formātā (piemēram, XML, JSON u.c.) modifikācijās.

DARSIR koncepcijai ir definēti *aktīvie resursi (AR)*, ar kuru palīdzību IT sistēmu ir iespējams sadalīt neatkarīgos autonomos risinājumos. Tas atbilst (v) kritērijam par *autonoma darbību*. Lielu sistēmu ir iespējams sadalīt atsevišķās daļās un ieviest IT sistēmu pakāpeniski. Tas dod tādas priekšrocības kā ieviešanas izmaksu sadale, ekonomiskā efekta iegūšana īsā laika periodā utt. Tas nodrošina (vii) kritēriju par *pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale*. Dažādu tehnoloģiju pielietošana DARSIR koncepcijai var dot priekšrocību izmantot eksistējošas tehnoloģijas. Tas kopā ar šajā rindkopā pieminētajiem faktiem nodrošina kritēriju (vi) par *nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums*.

Pēdējam kritērijam (viii) par *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana* ir nepieciešami papildu pētījumi. Šo kritēriju daļēji iespējams nodrošināt ar konkrētas tehnoloģijas īpašībām (piemēram, skat. 2.3. tabulā 8. punktā). Kritēriju atbilstību iespējams nodrošināt ar programmatūras starpniecību, šis process detalizēti apskatīts nākamajās nodaļās.

3.6. Rezultāti un secinājumi

Šajā nodaļā vispārīgā līmenī ir definēti DARSIR koncepcijas pamatelementi (*resurss, atribūts, noteikums, dokuments*), klasificēti un aprakstīti trīs resursu tipi (*PR, ASR un ADR*), izveidoti trīs resursu mijiedarbības scenāriji (*vienas ADR (skeneris) mijiedarbības, konkurentu ADR mijiedarbības un secīgas ADR mijiedarbības*), kas nepieciešami tās izveidošanai. Objektu individuālās īpašības ir iespējams saskaņot ar sistēmas izstrādi, tādējādi atrisinot jautājumu par īpašību glabāšanu pašā objektā. Tas savukārt sniedz iespēju lēmumu pieņemšanas brīdī, kas ietekmē pašu objektu, nodrošināt visu informāciju no paša objekta. Galvenie secinājumi ir šādi:

- Izstrādāta DARSIR koncepcija, kas bāzējas uz objektu orientētu pieeju un par objektu uzskata resursu, dati par kuru tiek glabāti birkā. Birka ir piesaistīta resursam vai iebūvēta tajā un ietver sensoru kopu un dokumentu, kas pārstāv datu glabāšanas formātu, t.i. nodrošina objektu īpašību (*atribūti*) un metožu (*noteikumi*) glabāšanu strukturētā veidā.
- *Atribūts* ir objekta īpašību prezentācija dokumentā. Atribūtiem eksistē daudzi paveidi, lai vienkāršotu standartizācijas procedūru, atribūtus vajag klasificēt – sadalīt tos *atribūtu grupās*. Ir izdalītas 10 atribūtu un noteikumu grupas, kas ir organizētas pēc izmantošanas sfērām.

- Resursa *noteikums* objektorientētās pieejas kontekstā ir metode, un DARSIR koncepcijā noteikums ir pārstāvēts ar *mainīgiem, funkcijām, procedūrām* un *trigieriem*. Tālākajos pētījumos jāizskata iespējas un jāizstrādā mehānismi noteikumu realizēšanai.
- DARSIR koncepcijā visus resursus var iedalīt *pasīvajos resursos*, kuros tiek glabāti dati un kuriem ir piesaistīti sensori, un *aktīvajos resursos*, kuros glabājas ne tikai dati, bet kuriem piemīt arī resursa funkcionalitāte, atbilstoši kurai aktīvie resursi vēl iedalās *aktīvajos statistiskajos resursos* un *aktīvajos dinamiskajos resursos*.
- Resursu mijiedarbība ir nodrošināta caur *aktīvajiem resursiem*. Tikai *aktīvais dinamiskais resurss* var palaist noteikumus un to var uzskatīt par skeneri. Skeneris var mijiedarboties ar citiem resursiem, ja šie resursi atrodas tā uztveršanas zonā.
- DARSIR koncepcijas galvenās priekšrocības: *lēmumu pieņemšanu var realizēt uz vietas; atbalstīta fizisko objektu daudzveidības un unikalitāte; paaugstinās datu privātuma līmenis; iespējamība atteikties no centralizētas datu glabāšanas un pārvaldības infrastruktūras nodrošinājuma.*
- Piedāvātā DARSIR koncepcija teorētiski pilnvērtīgi atbilst objektu individuālajās īpašībās izvirzītajiem kritērijiem. Ar nosacījumu, ka (viii) kritērijs par *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšanu* jāapskata detalizētāk nākamajās nodaļās.

4. DARSIR koncepcijas ieviešana

Pirms realizācijas ir nepieciešams savākt papildu informāciju, kas var ietekmēt realizāciju. Jādefinē risinājumam nepieciešamās tehnoloģijas izvēles metodi. Balstoties uz ietekmes kritērijiem, jādefinē vispiemērotākā tehnoloģija un jāapskata tās tipiska realizācija. Īpaša uzmanība jāpievērš drošības un konfidencialitātes jautājumu risināšanai.

4.1. Datu apmaiņas un glabāšanas formātu izvēle

Tiek apskatīti datu apmaiņas formāti, lai tos izmantotu kopā ar DARSIR koncepciju. Tika pieņemts, ka datubāzi izmantot nav efektīvi, jo mērķis ir izstrādāt decentralizētu DVS. DARSIR koncepcijai ir vajadzīgs saglabāt ne tikai datus, bet arī funkcionalitāti. Ir apskatīti šādi datu apmaiņas formāti:

- *Ar norobežotāju atdalītas vērtības* – tā ir teksta datne, kas domāta tabulāro datu (skaitļi un teksts) glabāšanai. Parasti izmantota *CSV* (ang. *Comma-Separated Values*) metode, ar komatiem atdalītas vērtības. Nav paredzēta funkcionalitātes glabāšanai;

- *Paplašināmās iezīmēšanas valoda* (ang. *eXtensible Markup Language, XML*) – viens no populārākajiem datu apmaiņas formātiem. Iespējams izmantot;
- *JavaScript objektu notācija* (ang. *JavaScript Object Notation, JSON*) – līdzīga XML valoda, iespējams paaugstināt ātrdarbību, ja salīdzina ar XML. Iespējams izmantot;
- *Protokolu buferis* (ang. *Protocol Buffers, PB*) – labs, universāls datu apmaiņas formāts, bet datu apmaiņas struktūrai jābūt iepriekš definētai. Nav elastīguma, grūti izmantot.

DARSIR koncepcijas realizēšanai ir piedāvāti un izstrādāti divi datu apmaiņas un glabāšanas formāti:

1. *Resursu fizikāla iezīmēšanas valoda* (ang. *Resource Physical Markup Language, RPML*) – tā ir XML tipa valoda, kas izveidota speciāli DARSIR koncepcijai. Pirmoreiz šīs valodas definējums un apraksts publicēts [Zur2007].
2. *JavaScript objektu notācija resursam* (ang. *JavaScript Object Notation for Resource, JSONR*) – tā ir JSON tipa valoda, kas izveidota speciāli DARSIR koncepcijai.

RPML un JSONR datu apmaiņas formātus iespējams nosaukt par DARSIR datu apmaiņas formātiem. Darbā aprakstā, ja tiek izmantots termins DARSIR dokuments, tiek pieņemts, ka tas ir RPML vai JSONR datu apmaiņas formāta fails.

4.2. Tehnoloģijas izvēle

DARSIR koncepciju ir iespējams izmantot ar dažādām tehnoloģijām. Ir nepieciešama vienkārša un ticama metode, ar kuru iespējams ātri izvēlēties optimālo tehnoloģiju, pamatojoties uz risinājuma vajadzībām. Risinājuma analīzes un izstrādes laikā var rasties jaunas prasības, taču ar šo metodi būs iespējams ātri novērtēt, kā tās ietekmē tehnoloģijas izvēli.

Ir apskatīti galvenie kritēriji, kas var ietekmēt šo izvēli. Pamatojoties uz šiem kritērijiem ir definēta tehnoloģijas izvēles aprēķinu metode. Tiek definētas visiem kritērijiem vienādas ietekmes nozīmes un tiek izvēlēta DARSIR koncepcijai pēc noklusējuma vispiemērotākā tehnoloģija.

4.2.1. Ietekmes kritēriji

Ietekmes kritēriji ir iedalīti trīs grupās:

1. *Fiziskie parametri un ārējā vide* – parametri, kas ietekmē risinājuma obligāto ieviešanu, tas ir: birkas parametri (izmērs, datu glabāšanas apjoms, pārrakstīšanas iespēja utt.), skeneru parametri (skenēšanas ātrums, attālums līdz objektam), vides apstākļi (temperatūra, mitrums utt.) utt.
2. *Izmaksas* – tās ir risinājumu kopējās palaišanas un uzturēšanas izmaksas.
3. *Drošība un konfidencialitāte* – tās ir dažādu veidu datu aizsardzības metodes vai metožu kombinācijas ieviešana.

4.2.2. Tehnoloģiju izvēles aprēķinu metode

Konkrētas tehnoloģijas izvēle notiek, izvērtējot IT risinājuma nepieciešamību. Parasti tiek atrasts kompromiss starp iespējām un izmaksām. Tiek definēti tehnoloģiju kritēriji, un katrai tehnoloģijai ir savs tehnoloģijas tipa parametrs. Katram tehnoloģijas tipa parametram tiek definēta vērtība diapazonā no 0 līdz 1, jo lielākā parametru vērtība, jo labāk parametrs piemērots DARSIR koncepcijas risinājumam. Piemēram, birkas datu glabāšanas apjoms, *lineāra svītrkodu tehnoloģija*. Tās apjoms ir 10 baitu un vērtība ir 0.1. *Divu dimensiju svītrkodiem* 100 baitu un vērtība ir 0.6. *RFID daļēji aktīvām birkām* apjoms ir 1000000 baitu un vērtība ir 0.8.

Vēl tiek definēts tehnoloģijas parametru ietekmēšanas koeficients, kuram ir pieļaujama vērtība diapazonā no 0 līdz 1. Piemēram, ja konkrētam risinājumam jau izmantota *svītrkodu tehnoloģija*, tad tehnoloģijas tipa ietekmēšanas koeficients ir 1. Gadījumos, kad būs nepieciešamība aprēķināt divu dimensiju svītrkodus, tad ietekmēšanas koeficients ir 0.5, bet RFID tehnoloģijai vajadzīgas jaunas izmaksas, tāpēc vērtība ir 0.1.

Katrai tehnoloģijai ir definēti raksturojumi un ierobežojumi. Ir gadījumi, kad būtiskie tehnoloģijas ierobežojumi neļauj izmantot konkrētu tehnoloģiju. Ja nozīmīgam tehnoloģijas tipa parametram uzstāda mazāko iespējamo vērtību, tad šie ierobežojumi tiks aprēķināti tehnoloģijas izvēles laikā. Piemēram, iepriekšējā gadījumā ar birkas datu glabāšanas apjomu. Pieņemsim, ka IT risinājumam ir nepieciešams datu apjoms 90 baitu, kas atbilst vērtībai 0.5. *Lineāriem svītrkodiem* šī vērtība ir 0.1, *divu dimensiju svītrkodiem* ir 0.6, un *RFID daļēji aktīvajiem birkām* ir 0.8. Tas nozīmē, ka visas tehnoloģijas atbilst uzdevumam, izņemot *lineāros svītrkodus*.

IKKATN (saīsinājums no *Ietekmes kritēriju kombinācijas aprēķins tehnoloģiju novērtējumam*) tiek aprēķināts pēc formulas:

$$IKKATN = \sum_{i=1}^n a_i h(c_i, t_i), \quad (4.1a)$$

kur n ir tehnoloģiju skaits, i ir tehnoloģijas tipa numurs, a_i ir i -tās tehnoloģijas tipa ietekmēšanas koeficients, c_i ir i -tās tehnoloģijas tipa parametrs, t_i ir i -tās tehnoloģijas tipa parametra pieļaujamo vērtību sliekšnis un h ir sliekšņa funkcija, kas saņem vērtības atbilstoši formulai:

$$h(c, t) = \begin{cases} c, & \text{ja } c \geq t \\ +\infty, & \text{ja } c < t. \end{cases} \quad (4.1b)$$

Svarīgu parametru koeficienti ir nosaukti par *ietekmes koeficientiem* (ang. *Impact Factor, IK*). DARSIR koncepcija pamatā ietekmē objektu identificēšanas tehnoloģijas (1. grupa, skat. 3. nodaļā). IK uz objektu identificēšanas tehnoloģijām ir apvienoti 4.1. – 4.3. tabulās. Tabulās ir norādīta vispārīgā informācija, kas nozīmē ka, katrai tehnoloģijai ir dažādas modifikācijas un katrai modifikācijai ir iespējams definēt savus IK.

4.1. tabula

Fizisko parametru un ārējās vides tehnoloģiju IK

(1 – birkas datu apjoms; 2 – pārrakstīšanas iespēja; 3 – birkas izmērs; 4 – birkas svars; 5 – netipiskie vides apstākļi; 6 – skenera nolasišanas ātrums; 7 – skenēšanas attālums; 8 – skenēšanas režīma tiešā redzamība; 9 – skenera daudzkārtēja birku lasīšana; 10 – tehnoloģiju atpazīšana, izplatīšana un pieejamība)

IK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tehnoloģija										
<i>Svītrkods (Code128)</i>	0.2	0.1	0.9	0.9	0.9	0.4	0.3	0.1	0.1	0.8
<i>Svītrkods (DataMatrix)</i>	0.6	0.2	0.9	0.9	0.9	0.5	0.2	0.1	0.4	0.8
<i>Svītrkods (QR Code)</i>	0.6	0.2	0.9	0.9	0.9	0.5	0.2	0.1	0.4	0.8
<i>RFID (pasīvais)</i>	0.6	0.1	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	0.8
<i>RFID (daļēji aktīvais)</i>	0.8	0.7	0.8	0.8	0.2	0.7	0.8	0.7	0.9	0.6
<i>RFID (aktīvais)</i>	0.9	0.9	0.2	0.5	0.1	0.5	0.9	0.8	0.7	0.4
<i>NFC</i>	0.6	0.5	0.9	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	0.4	0.6
<i>Bluetooth</i>	0.9	0.9	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.7	0.2	0.6
<i>IrDA</i>	0.9	0.9	0.3	0.3	0.1	0.5	0.6	0.3	0.2	0.5
<i>GSM</i>	0.8	0.6	0.3	0.3	0.1	0.3	0.8	0.7	0.7	0.8
<i>Wi-Fi</i>	0.9	0.7	0.2	0.2	0.1	0.3	0.7	0.7	0.6	0.9
<i>WiMAX</i>	0.9	0.9	0.2	0.2	0.1	0.2	0.9	0.7	0.6	0.5

Tehnoloģiju izmaksas *IK*

(1 – tehnoloģiju ieviešanas izmaksas; 2 – tehnoloģiju uzturēšanas izmaksas; 3 – skeneru izmaksas; 4 – birkas izmaksas; 5 – birkas dzīves cikls)

Tehnoloģija \ IK	1	2	3	4	5
<i>Svītrkods (Code128)</i>	0.7	0.8	0.6	0.9	0.9
<i>Svītrkods (DataMatrix)</i>	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9
<i>Svītrkods (QR Code)</i>	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9
<i>RFID (pasīvais)</i>	0.6	0.8	0.6	0.8	0.9
<i>RFID (daļēji aktīvais)</i>	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7
<i>RFID (aktīvais)</i>	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
<i>NFC</i>	0.7	0.8	0.6	0.8	0.9
<i>Bluetooth</i>	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4
<i>IrDA</i>	0.4	0.5	0.6	0.6	0.4
<i>GSM</i>	0.3	0.4	0.4	0.6	0.3
<i>Wi-Fi</i>	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3
<i>WiMAX</i>	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2

Datu drošības un konfidencialitātes *IK*

(1 – iebūvētie kļūdu detektēšanas līdzekļi; 2 – iebūvētie datu atjaunošanas līdzekļi; 3 – iebūvētie nesankcionētas datu izmantošanas līdzekļi; 4 – identificēšanas metodes; 5 – skenēšanas precizitāte)

Tehnoloģija \ IK	1	2	3	4	5
<i>Svītrkods (Code128)</i>	0.4	0.1	0.1	0.9	0.2
<i>Svītrkods (DataMatrix)</i>	0.7	0.7	0.7	0.4	0.6
<i>Svītrkods (QR Code)</i>	0.7	0.7	0.7	0.4	0.6
<i>RFID (pasīvais)</i>	0.4	0.1	0.5	0.9	0.7
<i>RFID (daļēji aktīvais)</i>	0.5	0.4	0.6	0.9	0.8
<i>RFID (aktīvais)</i>	0.6	0.6	0.7	0.9	0.8
<i>NFC</i>	0.4	0.1	0.5	0.9	0.7
<i>Bluetooth</i>	0.5	0.4	0.8	0.7	0.7
<i>IrDA</i>	0.5	0.4	0.8	0.7	0.7
<i>GSM</i>	0.5	0.3	0.7	0.6	0.8
<i>Wi-Fi</i>	0.5	0.2	0.8	0.7	0.7
<i>WiMAX</i>	0.5	0.2	0.8	0.7	0.7

Vienas tehnoloģijas robežās iespējams izmantot dažādu ražotāju ierīces, kurām savukārt iespējami savā starpā dažādi parametri (tehnoloģijas vērtības). Vienas ierīces nomaīņa ar citu arī ietekmē IKKATN. Piemēram, mums ir viens kritērijs - svītrkodu birku izmērs, otrs ir svītrkodu birku datu apjoms. Ja paaugstina prasības datu apjomam, parasti tas ietekmē svītrkodu birkas izmēru.

4.2.3. Ietekmes koeficientu vienvērtīgās nozīmes aprēķins

Tiek definētas tehnoloģiju IK, kas ietekmē objektu individuālajās īpašībās sakņotas sistēmas ar objekta identificēšanas funkcionalitāti. Tālākajos pētījumos ir jāaprēķina, kuras no piedāvātajām tehnoloģijām ir vispiemērotākās DARSIR koncepcijai.

Pieņemsim, ka šim uzdevumam ir abstrakts risinājums, kuram nav būtisku ierobežojumu, un visiem IK vienvērtīgas nozīmes. Aprēķināsim IKKATN (pēc 4.1. formulas) visus IK, kas tiek definēti 12 pamata objektu identificēšanas tehnoloģijām. IK vērtības ir ņemtas no 4.1. – 4.3. tabulām.

Pirmajā IK grupā ir apvienota informācija par fiziskajiem parametriem un ārējo vidi (skat. 4.1. tabulā). Vislielākais IKKATN ar vērtību 7.1 ir pie RFID tehnoloģijas ar pasīvām birkām. Vislielākās priekšrocības ir birkas fiziskajiem parametriem (svars un izmērs). Turklāt ir iespēja strādāt ar netipiskiem vides apstākļiem, ko pilnā apmērā nevar nodrošināt neviena cita tehnoloģija.

4.2. tabulā ir apkopoti dati par tehnoloģiju izmaksu IK grupām. Pēc IKKATN aprēķina vislielākā nozīme ir 2D svītrkodiem (vērtība 4) un NFC (vērtība 3.7) tehnoloģijām. Šis rezultāts ir saņemts pamatoties uz šīs tehnoloģijas ilgu dzīves ciklu un nelielām birkas izmaksām.

Trešajā IK grupā ir apvienota informācija par datu drošības un konfidencialitātes nodrošināšanu (skat. 4.3. tabulā). Vislielākais IKKATN ar vērtību ir 3.6 pie RFID tehnoloģijas ar aktīvām birkām. Tas rezultāts pamatojas uz to, ka RFID tehnoloģija ir vairāk piemērota objektu identificēšanai nekā citas.

Pēc IKKATN aprēķiniem ar vienvērtīgām IK nozīmēm ir secināts, ka DARSIR koncepcijai vispiemērotākās ir *2D svītrkodu* un *RFID* tehnoloģijas. Tomēr RFID tehnoloģijai ir iespējama lielāka funkcionalitāte, salīdzinot to ar 2D svītrkodu tehnoloģiju. Piemēram, svītrkodiem grūti realizēt datu pārrakstīšanas iespējas, jādrukā jauna birka virs vecās.

4.3. Drošības jautājumu apskats

DARSIR koncepcijas jānodrošina ar (*viii*) kritēriju par *konfidencialitāti, integritāti un pieejamību* (skat. 1.2. tabulā). Vispirms ir jāapskata tehnoloģiju drošības riski. Par pamatu tiek ņemta RFID tehnoloģija un apskatīta RFID tehnoloģijas specifiska uzbrukumu taksonomija. Tiek veikta analīze, cik aktuālas *DARSIR* koncepcijai ir RFID tehnoloģijas informācijas drošības problēmas. Rezultātā tiek saņemti aktuālie *DARSIR* koncepcijas drošības riski un tiek definēti jaunie aktuālie riski, kas ir specifiski *DARSIR* koncepcijai. Pēdējais solis ir definēt *DARSIR* koncepcijas RFID tehnoloģijas pamatrisku mazināšanas pasākumus.

4.3.1. Informācijas drošības problēmu piemērotība DARSIR koncepcijai

Ir detalizēti apskatīti galvenie uzbrukumu tipi, kas tiek veikti RFID sistēmās. Par pamatu tika ņemta informācija no pētījuma [Tho2006]. IS, kas ir bāzētas uz RFID tehnoloģiju, parasti izmanto centralizētas datu vadības principus (detalizētāk skat. [Lah2005, Hei2005, Bau2005]). Tā ir galvenā DARSIR koncepcijas risku atšķirība no riskiem, kas piemīt vienkārši RFID tehnoloģijas realizācijai. Riski, kas attiecas ārējiem datu avotiem nav aktuāli DARSIR koncepcijai. Tomēr riski, kuru mērķis ir RFID tagi (resursi) kļūst par ļoti bīstamiem.

Parastā DARSIR koncepcijas realizācija ir slēgtā sistēma, tāpēc uzbrukuma risks no Interneta vai LAN ir zemāks. Iepriekš tika izstudēta RFID tehnoloģijai specifisko uzbrukumu taksonomija. Pēc tam bija izpētīti identificētos uzbrukumus RFID tehnoloģijai un tās piemērotību DARSIR koncepcijai.

Nodaļas beigas identificēti specifiski uzbrukuma veidi, kas ir raksturīgi DARSIR koncepcijai:

- *Uzbrucējtags*. Visa informācija (atribūti un noteikumi) tiek glabāta lokāli resursā. Ja resurss nav pietiekami aizsargāts (piemēram, informācija nav šifrētā), tad pastāv iespēja pievienot uzbrucējtagu, kas ievieto uzbrukuma noteikumus informācijas sistēmā. Kad uzbrukuma noteikumi tiek izpildīti, ir iespējams paņemt dažu funkciju kontroli informācijas sistēma vai saņemt konfidenciālu informāciju.
- *Falsificēts tags*. Resursā (RFID tagā) var tikt glabāti atribūti, kas apraksta neeksistējošas resursa īpašības vai bojātas resursa īpašības. Piemēram, paliktis, kuram ir atribūti, kas apraksta paliktņa izmērus un svaru. Ja šī informācija tiek bojāta, tas var novest pie tehniskām problēmām, kad šis paliktis tiek transportēts.

4.3.2. RFID kontrole informācijas drošības risku samazināšanai

Dati, kas atrodas RFID tagos un sistēmā nav pasargāti no daudzu veidu uzbrukumiem, tāpēc ir jāveic pareizi drošības pasākumi, lai izvairītos no pārkāpumiem, kas izraisa sistēmas nestabilitāti vai iznīcināšanu. Ir jāatceras, ka neviens drošības pasākums nevar atvairīt visus iespējamus uzbrukumus – tā mērķis ir minimizēt draudu iespējamību vai minimizēt drauda iespējamus zaudējumus (ietekmi) gadījumā, ja tas notiks.

Kopuma darba piedāvāti divdesmit drošības risku samazināšanas pasākumi. Diviem riskiem, kas ir specifiski DARSIR koncepcijai (uzbrucējtags un falsificēts tags) nākamie virzieni drošības pasākumiem, lai samazinātu šos riskus ir:

- *Uzbrucējtags*. DARSIR koncepcijā resurss (RFID tags) glabā sevī noteikumus, kas var mainīt informācijas sistēmas funkcionalitāti. Jāizstrādā laba sistēma sazināšanai starp resursiem, kur tiek glabāta informācija par to, kuras funkcijas ar kuru resursu (RFID tagu) var tikt izpildītas un kuras nevar. Visiem mēģinājumiem izpildīt nelegālas funkcijas ir jābūt identificētiem un novērštiem un jāziņo par to drošības darbiniekam. Resursiem arī ir nepieciešams piedāvāt autentifikācijas iespēju informācijas sistēmā. Tas var tikt izdarīts, izmantojot iepriekš minētās metodes.

- *Falsificētais tags*. Šī problēma var tikt atrisināta izmantojot vismaz divas metodes. Pirmā metode ir datu šifrēšana, izmantojot standarta metodes. Otrā, piedāvātās informācijas pārbaude.

4.4. DARSIR koncepcijas praktiskie pētījumi

Promocijas darba ietvaros ir aprakstīti teorētiskie pētījumi, kuru rezultāts ir DARSIR koncepcijas izstrāde. Papildu bija veikti praktiskie DARSIR koncepcijas pētījumi (pirmais bija [Zur2007]). Pamatā ir pielietotas JSONR un RPML valodas realizācijas. Pirmkārt tika definēti iespējamie datu tipi un to prezentācijas formāti. Otrkārt ir parādīta atribūtu grupas un noteikumu grupas realizācija. Pamatojoties uz šo praktisko DARSIR koncepcijas realizācijas piedāvājumu tika izveidota JSONR un RPML programmēšanas valodas realizācija. Īpaša uzmanība tika pievērsta datu aizsardzības jautājumam, šo pētījuma rezultāts ir publicēts [Zur2011b] ziņojumā.

Nākamais solis bija programmatūras aprobācija reālos piemēros. Tika pētīts veids, kā izveidot palīgprogrammatūru DARSIR risinājuma izveidošanai, izmantojot *vizuālo interaktīvo simulāciju*. Kā galvenais praktiskais rezultāts, pamatoties uz šīs nodaļas teorētisko pamatojumu, ir izveidots „*DARSIR simulation tool*” simulācijas rīks. Apraksts tika veikts ar komentāriem, kas attiecas uz DARSIR koncepcijas izmantošanu uz RFID tehnoloģijas bāzes. Piedāvātās pieejas rezultāti ir atspoguļoti [Zur2011c, Zur2008c] ziņojumos.

Koncepcijai ir piedāvāts viens tipisks risinājums "*Viedā veļas mazgātava*" [Zur2008b] – tas pilnībā atbilst DARSIR koncepcijas prasībām. Ir aprakstīts DARSIR risinājuma izveidošanas process no risinājuma prasības sastādīšanas līdz risinājumu izveidošanai mobilajā ierīcē. Papildus ir ņemts netipisks uzdevums "*Ārštata pakalpojumu pārvaldības sistēmas uzbūve*". Risinājumā ir veidota tikai programmatūra, neizmantojot fiziskus objektus. Ir veidots sfēras apskats un pētījumu virzieni. Tiek pielietots *daudzaģentu sistēmas* darbības princips koncepcijas pamatā. Realizēta simulācija ar NetLogo [Wil1999] programmatūru. Tiek sasniegti divi galvenie rezultāti. Pirmais, ka DARSIR koncepciju iespējams piemērot arī risinājumos, kuros nav izmantoti fiziskie objekti. Otrais, ka jaunu risinājumu izveidošanas pētījumi var prasīt papildus DARSIR koncepcijas atribūtu un noteikumu izveidošanu. Šo pētījumu rezultāti ir prezentēti [Zur2011a, Zur2012a, Zur2012b] ziņojumos. Papildus šim pētījumiem tika veikta DARSIR koncepcijas praktiskā pārbaude ar citiem uzdevumiem. Piemēram, [Zur2008a] pētījumā ir publicēti rezultāti no "*Ceļu satiksmes monitorings un vadīšana*" uzdevuma.

4.5. Kopsavilkums un secinājumi

Šajā nodaļā ir apskatīti aktuālie jautājumi DARSIR koncepcijas ieviešanai. Īpaša uzmanība ir vērsta (*viii*) kritēriju nodrošināšanai (skat. 1.2. tabulā), kas paredzēta *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības jautājumu nodrošināšanas*. Ir aprakstīti DARSIR koncepcijas praktiskie pētījumi ar atsaucēm uz pielikumiem un starptautiskiem zinātniskiem ziņojumiem. Galvenie secinājumi ir šādi:

- *IKKATN* (saīsinājums no *Ietekmes kritēriju kombinācijas aprēķins tehnoloģiju novērtējumam*) metodes iedarbināšanai ir aizpildītas divdesmit ietekmes kritēriju nozīmes. *IKKATN* pielietota ar vienvērtīgiem ietekmes kritērijiem, un secināts, ka vispiemērotākās ir *2D svītrkodu* un *RFID* tehnoloģijas.
- *RFID* tehnoloģija ir piemērotākā no apskatītajām tehnoloģijām. Tas secināts pēc *IKKATN* metodes pielietošanas ar nosacījumu, ka ir svarīgi nodrošināt funkciju par resursu atribūtu un noteikumu izmaiņām risinājuma darba procesā.
- Analizējot datu drošības nodrošināšanas jautājumu, ir detektēti divi jauni uzbrukumu veidi (uzbrucējtags un falsificēts tags), kuri ir specifiski *DARSIR* koncepcijai. Ir dotas rekomendācijas aizsardzības mehānismu ieviešanai, lai samazinātu risku tipiskiem un jaunatklātiem uzbrukuma veidiem.
- Viena no iespējām, lai nodrošinātu lietotājam intuitīvi un viegli veidot *IT* risinājumu, ir simulācijas rīku izmantošana. Piedāvāta pieeja *IT* risinājuma izveidošanai tieši no simulācijas (piemēram, izmantojot *vizuālu interaktīvu simulāciju*), kas dod iespēju atvieglot procesu *IT* risinājuma izveidošanai.
- Pēc netipiska uzdevuma "*Ārštata pakalpojumu pārvaldības sistēmas uzbūve*" risinājuma ir saņemti sekojoši rezultāti:
 - *DARSIR* koncepciju iespējams piemērot arī risinājumos, kuros nav izmantoti fiziskie objekti.
 - Izmantojot universālas metodes, iespējams veidot papildu funkcijas tehnoloģijām, kuras izmanto *DARSIR* koncepcijā.
 - Jaunu risinājumu izveidošanas pētījumi var prasīt papildu *DARSIR* koncepcijas atribūtu un noteikumu izveidošanu.

Šīs nodaļas galvenie jaunie teorētiskie rezultāti ir pētījums par *DARSIR* koncepcijas drošības jautājumu nodrošināšanu un sagatavotais teorētiskais materiāls *DARSIR* koncepcijas praktiskai izveidošanai. Tas ietver sevī pamata atribūtu un noteikumu grupas, *IKKATN* metode utt.

Galvenie rezultāti un secinājumi

Promocijas darbā tika izvirzīts mērķis, balstoties uz vadības sistēmas analīzi un ierobežojumu un trūkumu identificēšanu tajās, izstrādāt objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepciju un pārbaudīt tās praktiskās realizācijas iespējas.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai **tika izpildīti šādi uzdevumi:**

- Identificēti kritēriji *objektu individuālajās īpašībās sakņotām sistēmām (OIĪSS)*. Izpētītas vispazīstamākās datu vadības sistēmas koncepcijas un novērtēta to atbilstība izvirzītajiem *OIĪSS* kritērijiem. No apskatītajām datu vadības sistēmu koncepcijām ir apkopotu labās prakses principi un metodes, kas ir izturējušas laika pārbaudi. Apkopotie rezultāti ir izmantoti *OIĪSS* koncepcijas izstrādei.

- Identificētas tehnoloģijas, kuras ir iespējams izmantot OIĪSS. Pamatojoties uz OIĪSS definētajiem kritērijiem, ir izvirzīti tehnoloģiju salīdzināšanas parametri, kuri tika pielietoti piemērotākās tehnoloģijas izvēlei IS izveidošanai, balstoties uz izstrādāto koncepciju.
- Ņemot vērā izvirzītos OIĪSS kritērijus, tiek piedāvāta objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcija. Aprakstīti koncepcijas galvenie elementi un elementu mijiedarbības scenāriji un klasificētas objektu īpašības, definētas atribūtu un noteikumu grupas. Tika veikta koncepcijas pārbaude iepriekš izvirzītām OIĪSS kritērijiem.
- Veikts detalizēts atribūtu un noteikumu grupas pētījums, rezultāts tiek izmantots koncepcijas praktiskās realizācijas laikā. Ir izvirzīti būtiskākie tehnoloģijas izvēles kritēriji, kurus nepieciešams ņemt vērā IS risinājuma tehnoloģijas izvēles gadījumā. Ņemot vērā kritērijus, ir piedāvāta tehnoloģiju izvēles metode, kas ļauj izvēlēties koncepcijai piemērotākās tehnoloģijas atkarībā no IS būtiskiem darba apstākļiem.
- Veikts izstrādātās koncepcijas datu privātuma un drošības jautājumu pētījums. Identificēti tipiskie uzbrukuma veidi, detektēti koncepcijas specifiskie uzbrukuma veidi. Pamatojoties uz pētījuma rezultātiem dotas rekomendācijas izstrādās koncepcijas informācijas drošības risku samazināšanai.
- Veikti izstrādātās koncepcijas praktiskie pētījumi ar nolūku realizēt piedāvātas koncepcijas programmatūras elementu praktiskas realizācijas iespējas pārbaudi.

Pētījumu rezultātā tika identificēti šādi kritēriji objektu individuālajās īpašībās sakņotām decentralizētām datu vadības sistēmām:

- Skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija;
- Standartu izmantošana;
- Fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana;
- Lokālas datu piekļuves nodrošināšana;
- Autonoma darbība;
- Mazu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums;
- Pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale;
- Datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana.

Izstrādājot datu vadības koncepciju, kas apmierina minētos kritērijus, ir sasniegti šādi **jauni teorētiskie rezultāti**:

- Ir identificēti 8 kritēriji, kuriem jāatbilst *objektu individuālajās īpašībās sakņotai sistēmai (OIĪSS)*;
- Ir pētītas 9 monolītas un 5 decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas un novērtēta to atbilstība OIĪSS izvirzītajiem kritērijiem. Ir noskaidrots, ka neviena no apskatītajām datu vadības sistēmām neatbilst visiem izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem,

radot nepieciešamību pēc objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcijas izstrādes.

- Ir identificēti datu vadības sistēmu trūkumi, ierobežojumi un priekšrocības no datu glabāšanas un pārvaldības viedokļa, kas tiek ņemts vērā jaunās koncepcijas uzbūvē.
- Ir identificētas 16 tehnoloģijas un tehnoloģiju modifikācijas, kas parasti tiek izmantotas OIĪSS risinājumos, un piedāvātas trīs tehnoloģiju grupas, kas klasificē tehnoloģijas pēc OIĪSS izmantošanas nolūkiem. Ir izvirzīti 8 tehnoloģiju salīdzinājuma parametri, kuri ietekmē OIĪSS risinājuma tehnoloģijas izvēli;
- Ir izstrādāta objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētas datu vadības sistēmas koncepcija DARSIR, kas atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem. Ir klasificēti piedāvātās koncepcijas 3 objektu pamattipi: *pasīvie resursi*, *aktīvie statistiskie resursi* un *aktīvie dinamiskie resursi*. Ir piedāvāti trīs DARSIR koncepcijas resursu mijiedarbības scenāriji un aprakstīti vienas *ADR (skeneris) mijiedarbības*, *paralēlas ADR mijiedarbības* un *secīgas ADR mijiedarbības scenāriji*. Ir izdalītas 10 atribūtu un noteikumu grupas, grupēšana ir organizēta pēc izmantošanas sfērām. Rezultāts ir izmantots DARSIR koncepcijas praktisko realizāciju īstenošanai. Piedāvātajai koncepcijai ir šādas priekšrocības: lēmumu pieņemšana ir realizēta uz vietas fiziskajā objektā; tiek atbalstīta fizisko objektu daudzveidība un unikalitāte; ir paaugstināts datu privātuma līmenis; ir izdarīta atteikšanās no centralizētas datu glabāšanas un pārvaldības infrastruktūras nodrošinājuma.
- Ir piedāvātas trīs galvenās ietekmes kritēriju grupas un klasificēti 20 tehnoloģiju ietekmējošie kritēriji, kuru pamatā ir izveidota *IKKATN (saīsinājums no Ietekmes Kritēriju Kombinācijas Aprēķins Tehnoloģiju Novērtējumam)* metode. *IKKATN* metode tika izmantota, lai izvēlētos konkrētam risinājumam piemērotāko tehnoloģiju. Ir veikta *IKKATN* metodes pielietošana 12 tehnoloģijām no objektu identificēšanas tehnoloģiju grupas. Ar ietekmes koeficientu vienvērtīgas nozīmes aprēķinu ir identificēts, ka DARSIR koncepcijai piemērotas ir *RFID* un *svītrkodu* tehnoloģijas.
- Ir konstatēts, ka neviena no apskatītajām tehnoloģijām neizpilda kritēriju par *datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšanu* – šo kritēriju ir nepieciešams izpildīt programmatūras līmenī. Ir veikti papildu pētījumi, kuru rezultāts ir:
 - Noteikti 8 uzbrukuma veidi, kas ir aktuāli DARSIR koncepcijas pielietošanai uz *RFID* tehnoloģijas bāzes, un divi papildu uzbrukuma veidi (*uzbrucējtags* un *falsificēts tags*), kuri ir aktuāli DARSIR koncepcijai, bet *RFID* tehnoloģijas tipisks izmantošanas scenārijs būtiski neietekmē risinājumu.
 - Piedāvātas 10 rekomendācijas DARSIR koncepcijas ar *RFID* tehnoloģiju informācijas drošības risku samazināšanai.
- Ir piedāvāti divi jauni formāti – *RPML* (balstīts uz *XML* valodu) un *JSONR* (balstīts uz *JSON* valodu), kas ir izmantoti DARSIR koncepcijas praktiskajā realizācijā.

Iegūtie teorētiskie rezultāti praktiski ir realizēti programmatūras kompleksā, un darbā ir aprakstīti divi eksperimenti:

- Konceptijas tipiskais uzdevums – objektu individuālajās īpašībās sakņotais DDVS risinājums „*Viedā veļas mazgāšanas mašīna*”. Ir dots standarta ceļvedis jaunu risinājumu izveidošanai;
- Konceptijas netipiskais uzdevums – tiek realizēts programmatūras risinājums „*Uz daudzāģentu sistēmu principiem balstītas ārstata pakalpojumu pārvaldības sistēmas*”. Ir izveidotas divas jaunas atribūtu grupas, kas nepieciešamas pētījumu praktiskai realizēšanai. Tika dots ceļvedis programmatūras risinājumu izveidošanas gadījumā, kuriem izstrādātā koncepcija sākotnēji nebija paredzēta, bet ir veiksmīgi pielietojama, paplašinot ar to risināmo uzdevumu klāstu.

Programmatūras kompleksa izstrāde un eksperimentālās pārbaudes **rezultāti ļauj izdarīt šādus secinājumus:**

- *Objektu individuālajās īpašības sakņotām sistēmām (OIĪSS) ir identificēti šādi kritēriji: skaitļošanas resursu pārvaldības sadale un decentralizācija; standartu izmantošana; fizisko objektu daudzveidības atbalstīšana; lokālas datu piekļuves nodrošināšana; autonoma darbība; nelielu risinājumu ieviešanas ekonomiskais izdevīgums; pakāpeniskas ieviešanas iespēja un ieviešanas izmaksu sadale; datu konfidencialitātes, integritātes un pieejamības nodrošināšana.*
- Klasiskas datu vadības sistēmas atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem tikai daļēji. Radās nepieciešamība pēc objektu individuālajās īpašībās sakņotas decentralizētās datu vadības sistēmas koncepcijas izstrādes, kas apmierinātu izvirzītos OIĪSS kritērijus.
- Piedāvātā DARSIR koncepcija pilnvērtīgi atbilst izvirzītajiem OIĪSS kritērijiem.
- Pēc *IKKATN* (saīsinājums no *Ietekmes Kritēriju Kombinācijas Aprēķins Tehnoloģiju Novērtējumam*) metodes pielietošanas ir identificēts, ka no OIĪSS identificētām tehnoloģijām un tehnoloģiju modifikācijām, vispiemērotākās ir:
 - *RFID* tehnoloģija, ja resursa iekšējo informācijas izmaiņas jānodrošina jebkura IS laikā posmā;
 - *2D svītrkodu* tehnoloģija, ja resursā informācija ir statiska, un izmaiņas veikti reti IS dzīves ciklā.
- DARSIR koncepcijas pamata priekšrocības: *lēmumu pieņemšana ir realizēta uz vietas; atbalstīta fizisko objektu daudzveidība un unikalitāte; paaugstinās datu privātuma līmenis; atteikšanās no centralizētas datu glabāšanas un pārvaldības infrastruktūras nodrošinājuma.*

Turpmāko pētījumu iespējamie virzieni:

1. Dažādu veidu risinājumu izveidošana, balstoties uz promocijas darbā piedāvāto koncepciju, kā arī, balstoties uz jaunajiem risinājumiem, piedāvāt koncepcijai jaunas atribūtu un noteikumu grupas un iebūvētas funkcijas.
2. Izpētīt praktisko risinājumu izveidošanas ceļus, pamatojoties uz piedāvāto koncepciju.

Literatūra

- [Alt1980] Alter S., "Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenges," Reading, Mas.: Addison-Wesley, 1980.
- [AOS2011] Autonomous Decision-Making Software, "Jack Documentation" / Internets. – <http://www.agent-software.com.au/products/jack/>
- [Atk1990] Atkinson M., "The Object-Oriented Database System Manifesto," Proceedings of 1st International Conference on Deductive and Object-Oriented Databases," USA, New York, Elsevier Science, 1990.
- [Bau2005] M. Baudin and A. Rao, "RFID applications in manufacturing," USA, Palo Alto: MMTI, 2005, pp. 1-12.
- [Bay2010] Bayer T., "Protocol Buffers, Etch, Hadoop and Thrift Comparison", predic8 GmbH, Germany, Bonn, 2010.
- [Ber1992] Berners-Lee T., "The Hypertext Transfer Protocol," World Wide Web Consortium, 1992.
- [Boo1991] Booch G. "Object-Oriented Design with Applications" // The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, California, 1991.
- [Bro2001a] Brock D. L., The Electronic Product Code (EPC) A Naming Scheme for Physical Objects, Massachusetts Institute of Technology, USA: Cambridge, 2001.
- [Bro2001b] Brock D. L., The Physical Markup Language, Massachusetts Institute of Technology, USA: Cambridge, 2001.
- [Cag2000] Cagle K., Gibbons D., Hunter D., Ozu N., Pinnock J. and Spencer P., "Beginning XML," WROX, 2000.
- [Cel1995] Celko J., "SQL for Smarties: Advanced SQL Programming," USA: San Francisco, Morgan Kaufmann, 1995.
- [Cod1980] Codd E.F., "Data Models in Databases Management," Proceedings of Workshop on Data Abstraction, Database and Conceptual Modelling, Pingree Park, Colo, 1980.
- [Dat1997] Date C.J. and Darwen H., "A Guide to the SQL Standard (4th edition)," Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1997.
- [Dat2000a] Date C.J., Darwen H., "Foundation for Object/Relational Databases: The Third Manifesto (2th edition)," Reading, Mass.: Addison-Wesley, 2000.

- [Dat2004] Date C. J., "An Introduction to Database Systems (8th Edition)", Addison Wesley, USA, 2004, p. 1327.
- [Eck2003] Eckel B. "Thinking in Java. Third Edition." // President, MindView, Inc., U.S., 2003.
- [EPC2006] Eiropadomes prezidentūras secinājumu 30. punkts, 2006. gada 14.–15. decembris.
- [Gre2007] Greenwald R., Stackowiak R. and Stern J., " Oracle Essentials: Oracle Database 11g . Fourth Edition edition ," O'Reilly Media, 2007, p. 416.
- [Hei2005] Heinrich C. RFID and Beyond: Growing Your Business Through Real World Awareness – Chichester, England: Wiley, 2005.
- [ISO1999] "International Organization for Standardization (ISO): Information technology - Database Languages - SQL, Document ISO/IEC 9075:1999.
- [Jek2010] Jekabsons G., Zuravlyov V. Refining Wi-Fi based indoor positioning // Proceedings of the international scientific conference Applied Information and Communication Technologies, Latvia, Jelgava, 22.-23. April, 2010. - pp 87-95.
- [KOM2004a] "ESAO Informācijas tehnoloģijas perspektīva, 2004. gads".
- [KOM2004b] "Komisijas paziņojums padomei, Eiropas parlamentam, Eiropas ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai. Izaicinājumi Eiropas informācijas sabiedrībai pēc 2005. gada," KOM(2004) 757, Brisele.
- [KOM2005] Komisija iesniegusi Padomei priekšlikumu attiecībā uz Padomes Pamatlēmumu par personas datu, ko apstrādā, sadarbojoties policijas un tiesu iestādēm krimināllietās, aizsardzību (COM (2005) 0475, galīgā redakcija).
- 7] "Komisijas paziņojums padomei, Eiropas parlamentam, Eiropas ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai. Radiofrekvenču identifikācija (RFID) Eiropā: ceļā uz politikas īstenošanas pasākumiem," SEC(2007) 312, Brisele, 2007.
- [Lah2005] Lahiri S. RFID sourcebook. – London, England: Upper Saddle River, 2005.
- [Lai2011] Joseph H.K. Lai, "Comparative evaluation of facility management services for housing estates", Habitat International, Volume 35, Issue 2, 2011, p. 391-397.
- [Mon2007] Simon Moncrieff, Svetha Venkatesh, Geoff West, Stewart Greenhill, "Multi-modal emotive computing in a smart house environment," Pervasive and Mobile Computing, Volume 3, Issue 2, 2007, p. 74-94.
- [Pic2010] Pichler R., Agile Product Management with Scrum: Creating Products that Customers Love, Addison-Wesley, ISBN: 978-0321605788, 2010, p. 160.
- [Row1987] Rowe L.A. and Stonebraker M.R., "The Postgres Data Model," Proceedings of 13th International Conference on Very Large Data Bases, UK, Brighton, 1987.
- [Sar2010] Sarac A., Absi N. A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. Integrating the Global Supply Chain, vol. 128, issue 1, 2010, pp. 77-95.

- [Sim1995] Simon A.R., "Strategic Database Technology: Management for The Year 2000," Morgan Kaufmann Publishers Inc., USA, San Francisco, 1995, p. 479.
- [Suh2005] Suh N, "Complexity in Engineering," Annals of the CIRP, 2005, p. 581-598.
- [Tel2011] Telecom Italia SpA, Java Agent DEvelopment Framework / Internets. – <http://jade.tilab.com/>
- [Ten2000] Tennenhouse, D. Proactive computing. Communications of the ACM (CACM), Vol. 43, (no. 5), Japan, 2000, pp. 43–50.
- [Tho2006] Thornton F., Haines B. RFID Security. – USA: Syngress, 2006.
- [Wid1996] Widom J., and Ceri S., "Active Database Systems: Triggers and Rules for Advanced Database Processing," USA, San Francisco, Morgan Kaufmann, 1996.
- [Wil1999] Wilensky U., "NetLogo", CLL, 1999 / Internets. – <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [Woo2001] Wooldridge M., "An introduction to MultiAgent Systems," John Wiley & Sons Ltd., ISBN 0-471-49691-X.,2001.
- [Zur2007] Zuravlyov V. Main Principles of a New Concept of Designing Data Management Systems // Scientific Journal of RTU. 5. series., Datorzinātne. - 30. vol. (2007), pp 38-46.
- [Zur2008a] Zuravlyov V., Latisheva E. Various Aspects of RFID Technology and Their Use in Monitoring and Management of Traffic // Scientific Journal of RTU. 5. series., Datorzinātne. – 34. vol., Latvia, Riga, 2008, pp. 238–245.
- [Zur2008b] Zuravlyov V. Various Aspects of 'Smart Laundry' Task Implementation, Using 'RFID' Technology // Proceedings of papers 'Informatics in the scientific knowledge 2008', Varna, Bulgaria, 26–28 June, 2008, pp. 150–156.
- [Zur2008c] Latisheva E., Zuravlyov V. Various Aspects of Simulation's Usage for Creation of Real Solutions with „DARSIR” Conception as Example // Proceedings of Conference 'Modeling of business, industrial and transport systems 2008; MBITS 2008', ISBN 978-9984-818-04-7, Latvia, RIGA, 7.-10. May, 2008. - pp 132-135.
- [Zur2011a] Zuravlyov V., Matrosov A. Multi-agent system built using RFID technology // Proceedings of the 6th international conference on electrical and control technologies, ISSN 1822-5934, Lithuania, Kaunas, 5–6 May, 2011. – pp. 15–20.
- [Zur2011b] Zuravlyov V., Kryukov D., Kairish V. Security problems related to RFID-based concept usage and methods to counter them // Proceedings of the 6th internal conference on electrical and control technologies, ISSN 1822-5934, Lithuania, Kaunas, 5.-6. May, 2011. – pp. 76-81.
- [Zur2011c] Zuravlyov V., Latisheva E., Karish V. The Theoretical Basis and Practical Usage of the Simulation for Creating IT solutions for Data Management Systems // Proceedings of the international conference on Applied Computer Systems, ISSN 1407-7493, Latvia, Riga, 2011., pp. 138-144.

- [Zur2012a] Zuravlyov V., Matrosov A., Rutko D., Behavior Pattern Simulation of Freelance Marketplace, Workshop on Agents and Multi-agent systems for Enterprise Integration, ZOCO 2012, Salamanca, Espana, March, 2012.
- [Zur2012b] Zuravlyov V., Matrosov A., Rutko D., Freelance resource management system optimization, The 2nd International Conference on Computer and Management, CAMAN 2012, Wuhan, China, March, 2012.