



Diana KALIBATIENĖ

**ONTOLOGIJŲ NAUDOJIMO
VERSLO TAISYKLIŲ RINKINIUI FORMUOTI
TYRIMAS**

**Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07T)**

1613-M

Vilnius  **2009**

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Diana KALIBATIENĖ

**ONTOLOGIJŲ NAUDOJIMO
VERSLO TAISYKLIŲ RINKINIUI FORMUOTI
TYRIMAS**

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07T)

Vilnius  2009

Disertacija rengta 2005–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Mokslinis vadovas

prof. dr. Olegas VASILECAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Informatikos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas

prof. dr. Dalius NAVAKAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T).

Nariai:

prof. dr. Rimantas BUTLERIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Feliksas IVANAUSKAS (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09P),

dr. Algirdas LAUKAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T),

prof. habil. dr. Šarūnas RAUDYS (Matematikos ir informatikos institutas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T).

Oponentai:

prof. habil. dr. Gintautas DZEMYDA (Matematikos ir informatikos institutas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T),

prof. dr. Lina NEMURAITĖ (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07T).

Disertacija bus ginama viešai Informatikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2009 m. gegužės 28 d. 14 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto Senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;

el. paštas doktor@adm.vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2009 m. balandžio 27 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva) ir Matematikos ir informatikos instituto bibliotekoje (Akademijos g. 4, LT-08663, Vilnius, Lietuva).

VG TU leidyklos „Technika“ 1613-M mokslo literatūros knyga.

© Diana Kalibatienė, 2009

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Diana KALIBATIENĖ

**ONTOLOGY BASED DEVELOPMENT
OF DOMAIN RULES**

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Informatics Engineering (07T)

Vilnius  2009
LEIDYKLA
TECHNIKA

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2005–2009.

Scientific Supervisor

Prof Dr Olegas VASILECAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T).

The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Informatics Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof Dr Dalius NAVAKAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T).

Members:

Prof Dr Rimantas BUTLERIS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Habil Feliksas IVANAUSKAS (Vilnius University, Physical Sciences, Informatics – 09P),

Dr Algirdas LAUKAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Habil Šarūnas RAUDYS (Institute of Mathematics and Informatics, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T),

Opponents:

Prof Dr Habil Gintautas DZEMYDA (Institute of Mathematics and Informatics, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T),

Prof Dr Lina NEMURAITĖ (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Informatics Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 2 p. m. on 28 May 2009.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;

e-mail: doktor@adm.vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 27 April 2009.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania) and at the Library of Institute of Mathematics and Informatics (Akademijos g. 4, LT-08663, Vilnius, Lithuania).

© Diana Kalibaitienė, 2009

IVADAS

Tiriamoji problema ir jos aktualumas

Pastaruoju metu žiniomis grindžiamų informacinių sistemų kūrimui pradėtos naudoti ontologijos, tinkamos dalykinės srities žinioms vaizduoti ir sistemų modeliams kurti bei jiems įgyvendinti. Toks sistemos kūrimas užtikrina vieningos konceptualizacijos išlaikymą visuose sistemos kūrimo lygmenyse.

Vienas iš svarbesnių informacinių sistemų komponentų yra taisyklės, apribojančios arba apibrėžiančios kitus sistemos komponentus. Jų svarba kuriant informacines sistemas motyvuota daugelio autorių ir OMG organizacijos. Taisyklėms modeliuoti ir įgyvendinti pasiūlyti tokie metodai ir kalbos, kaip UML (angl. *Unified Modelling Language* – *unifikuota modeliavimo kalba*) ir OCL (angl. *Object Constraint Language* – *taisyklių kalba objektams*), Demuth ir bendraautorių metodas, Rosso metodas, CDM RuleFrame ir kiti. Tačiau nė vienas iš pasiūlytų metodų arba kalbų nėra pripažintas kaip standartas verslo taisyklių rinkiniui formuoti. Taip yra todėl, kad: a) verslo taisyklės sudėtinga identifikuoti dalykinėje srityje; b) identifikuota verslo taisyklių aibė dažnai būna prieštaringa, nepilna ir / arba perteklinė, netiksli; c) neaišku, kaip įgyvendinti pasirinktų verslo taisyklių aibę dėl jų įvairumo. Kai kurios verslo taisyklės gali būti įgyvendintos keliais būdais.

Kadangi verslo taisyklės – tai tam tikros dalykinės srities žinios, o ontologijos vaizduoja dalykinės srities žinias, tai siūloma dalykinės srities ontologijas naudoti verslo taisyklėms modeliuoti ir įgyvendinti.

Dalykinės srities ontologijose verslo taisyklės vaizduojamos aksiomomis, kurių įgyvendinimas ribojamas apibrėžiant jas logika grindžiama kalba, pvz., KIF (angl. *Knowledge Interchange Format* – *žinių mainų formatas*), arba aksiomos apskritai nėra įgyvendinamos. Nors pastaruoju metu ontologijos papildomos aksiomomis, tačiau nėra metodo, kaip tas aksiomas naudoti tolesniam verslo taisyklių modeliavimui ir įgyvendinimui.

Todėl aktualu išnagrinėti verslo taisyklių modeliavimo aksiomomis būdus ir pasiūlyti dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisyklės metodą, kuris užtikrintų automatizuotą verslo taisyklių išgavimą iš dalykinės srities ontologijos.

Tyrimų objektas

Disertacijoje autorė tiria, kaip dalykinės srities ontologija gali būti naudojama verslo taisyklių rinkiniui formuoti.

Darbo tikslas

Pagrindinis darbo tikslas yra praplėsti verslo taisyklių modeliavimo būdus ir metodus, siūlant dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į

verslo taisyklės metodą, kuris užtikrintų automatizuotą verslo taisyklių išgavimą iš dalykinės srities ontologijos.

Darbo uždaviniai

1. Atlikti verslo taisyklių sąvokos analizę ir nustatyti, kokios pagrindinės problemos susijusios su verslo taisyklių rinkinio formavimu.
2. Išnagrinėti ontologijos sąvoką ir ontologijos panaudojimo galimybes kuriant informacines sistemas.
3. Išanalizuoti ontologijų ir verslo taisyklių formalius aprašymo būdus, tarp jų ir galimas matematinės išraiškas, bei pasiūlyti metodą, kaip būtų galima iš dalykinės srities ontologijos gauti dalykinės srities verslo taisykles.
4. Pasiūlytą dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisyklės metodą aprašyti formaliai, t. y. formalizuoti transformacijos taisykles.
5. Išanalizuoti ontologijų kūrimo priemones ir iš jų pasirinkti tinkamą pasiūlyto metodo įgyvendinamumui patikrinti.
6. Patikrinti pasiūlyto metodo įgyvendinimo galimybes, atliekant bandymą, t. y. sukurti arba pasirinkti esamą konkrečios dalykinės srities ontologijos pavyzdį ir atlikti reikalingą transformaciją, kad galima būtų įrodyti pasiūlyto metodo įgyvendinimo galimybes. Remiantis gautais bandymų rezultatais, įvertinti pasiūlyto metodo efektyvumą.

Tyrimų metodika

Analitinėje darbo dalyje, atliekant verslo taisyklėmis ir ontologija išreikštomis žiniomis grindžiamų informacinių sistemų analizę naudojami bibliotekinio tyrimo ir lyginamosios analizės metodai. Metodams apibendrinti ir ontologija grindžiamų informacinių sistemų kūrimo realizavimo teorijai sukurti naudojami loginės indukcijos, sąvokų apibendrinimo ir koncepcinio modeliavimo metodai. Darbe pasiūlytos teorijos praktinei realizacijai naudojami konstravimo ir eksperimentinės analizės metodai.

Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Šioje disertacijoje pateikiamas naujas verslo taisyklių modeliavimo būdas: pasiūlytas dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisyklės metodas.

Šiame darbe pateikti nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisyklės metodas, kurio esmė tokia:

- a) dalykinės srities aksiomos, išreikštos tam tikra kalba, tiesiogiai transformuojamos į verslo taisykles, įgyvendinamas informacinės sistemos programų vykdomosiomis taisyklėmis;
 - b) MDA karkasas pritaikomas siūlomam dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisykles metodui automatizuoti. Tam apibrėžti ontologijos ir aksiomų metamodelis, dalykinės srities (konceptinio) duomenų modelio ir taisyklių metamodelis ir metamodelių transformacijos taisyklės. Metamodeliams ir transformacijos taisyklėms apibrėžti vartojama formali Z kalba.
2. Pasiūlytas dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisykles metodas pritaikytas Protégé ontologijos aksiomoms, išreikštomis PAL (angl. *Protégé Axiom Language – Protégé aksiomų kalba*), transformuoti į SQL (angl. *Structured Query Language – struktūrinių užklausų kalba*) trigerius ir OCL ribojančias taisykles.
 3. Siūlomoms transformacijoms automatizuoti sukurti įskiepių prototipai ir atlikti bandymai. Automatinis SQL trigerių generavimas, taikant siūlomą metodą, palygintas su rankiniu SQL trigerių kūrimu. Gauti bandymų rezultatai apdoroti ir palyginti naudojant *t-test* metodą.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Tyrimo rezultatai parodė, kad disertacijoje pasiūlytas dalykinės srities ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisykles metodas gali būti įgyvendintas ir naudojamas automatizuotam žinių, vaizduojamų ontologija, transformavimui į informacinės sistemos programų komponentus.

Įskiepių prototipai, pagrįsti siūlomu metodu ontologijos aksiomoms transformuoti į verslo taisykles, padeda taisykles automatizuotai įgyvendinti aktyvių duomenų bazių valdymo sistemų (ADBVS) SQL trigeriais arba UML klasių diagramos OCL ribojančiomis taisyklėmis.

Gauti tyrimų rezultatai pritaikyti VMSF aukštųjų technologijų plėtros programos 2007–2013 m. projekte „Veiklos taisyklių sprendimai informacinių sistemų kūrimui“ (VeTIS), 2007–2009 m., plečiant *MagicDraw* priemonę, OCL ribojančių taisyklių automatinio generavimo iš ontologijos aksiomų.

Ginamieji teiginiai

Dalykinės srities žinios, vaizduojamos ontologija, gali būti naudojamos verslo taisyklių rinkiniui formuoti.

Darbo apimtis. Darbą sudaro įvadas, keturi skyriai, išvados, literatūros ir autorės publikacijų sąrašai ir trys priedai. Bendra disertacijos apimtis – 135 puslapiai, 38 paveikslai ir 20 lentelių.

1. VERSLO TAISYKLĖS SĄVOKA

Pirmajame skyriuje pateikta verslo taisyklės sąvokos analizė, nagrinėjami verslo taisyklių įgyvendinimo metodai ir kalbos. Skyriaus pabaigoje apibendrinamos pagrindinės problemos, susijusios su verslo taisyklių modeliavimu, ir formuluojamas pasiūlymas išvardytoms problemoms spręsti.

Literatūros apžvalga parodė, kad verslo taisyklių įgyvendinimas apima tokias spręstinas problemas: a) verslo taisyklių identifikavimas arba išgavimas ir b) verslo taisyklių įgyvendinimas informacinėje sistemoje.

Identifikuojant verslo taisykles, būtina užtikrinti, kad tokios taisyklės egzistuoja ir jos suprantamos teisingai. Problema ta, kad tų pačių taisyklių šaltinis gali skirtis. Todėl ta pati taisyklė gali būti suprata skirtingai ir traktuojama kaip atskira taisyklė.

Pagal įgyvendinimą taisyklės skirstomos į struktūros taisykles, kurios apibrėžiamos koncepcinio duomenų modelio elementais (tai esybės, esybių apibrėžimai, faktai ir darnos ribojimai), ir dinamines taisykles, kurios išreiškiamos ECA (angl. *event-condition-action*) taisyklėmis ir apibrėžiamos pasirinkta taisyklių kalba. Jeigu pirmosios klasės taisyklių įgyvendinimas yra griežtai apibrėžtas, tai apie antrąją taisyklių klasę to pasakyti negalima. Dalykinėse srityse arba ontologijose, kurioms priklauso verslo taisyklės, jos išreikštos natūralia kalba. Tačiau, norint jas įgyvendinti informacinės sistemos informacijos apdorojimo taisyklėmis ir susijusių programų sistemų vykdomosiomis taisyklėmis, jos turi būti išreikštos ECA taisyklėmis.

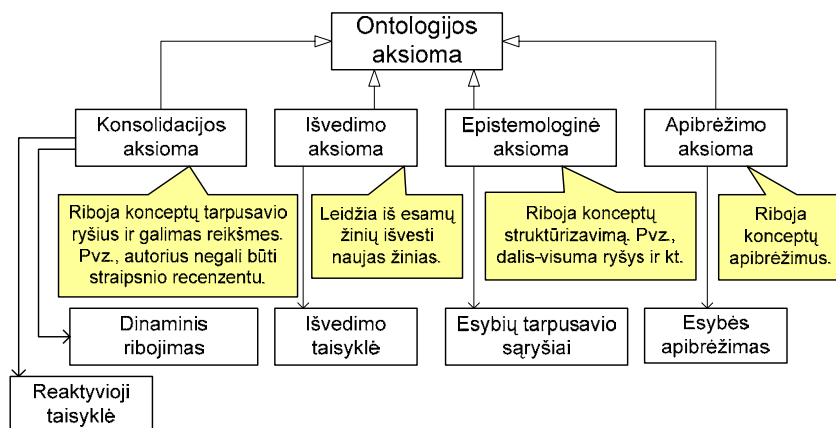
Nors šiuo metu yra pasiūlyta nemažai kalbų ir metodų verslo taisyklės modeliuoti ir įgyvendinti, tačiau nė vienas iš jų nėra pripažintas kaip standartas. Esamos kalbos ir metodai dažniausiai tinkami tik pasirinktai taisyklių klasei modeliuoti. Kai kurie iš jų nenagrinėja taisyklių automatizuoto įgyvendinimo klausimo. Daugelis metodų nenaudoja dalykinės srities žinių verslo taisyklės modeliuoti ir įgyvendinti.

2. ONTOLOGIJOS SĄVOKA INFORMACINIŲ SISTEMŲ KONTEKSTE

Antrajame skyriuje apžvelgiama dalykinės srities ontologijos sąvoka, jos vartojimo galimybės informacinių sistemų koncepciniams duomenų modeliams kurti. Pagrindinis dėmesys skiriamas ontologijos aksiomų ir verslo taisyklių palyginimui.

Literatūros apžvalga parodė, kad ontologija apibrėžia pagrindinius dalykinės srities konceptus, jų apibrėžimus, ryšius tarp konceptų, aprašant dalykinę sritį, ir aksiomas, ribojančias dalykinės srities konceptų interpretaciją. Ontologijos aksiomos skirstomos į: a) *konsolidacijos* (angl. *consolidation*) aksiomas, ribojančias konceptų tarpusavio ryšius, taip apibrėžiant jų

interpretaciją ir galimas konceptų arba konceptų savybių reikšmes; b) *epistemologines* (angl. *epistemological*) aksiomas, ribojančias konceptų struktūrą; c) *išvedimo* (angl. *derivation*) aksiomas, nurodančias, kaip iš esamos informacijos gali būti išvesta nauja informacija loginio išvedimo arba matematinio skaičiavimo būdu; d) *apibrėžimo* aksiomas, ribojančias konceptų apibrėžimus. Todėl siūloma konsolidacijos ir išvedimo aksiomas, apibrėžiamas pasirinkta kalba, atvaizduoti dinaminėmis taisyklėmis (dinaminiais ribojimais, reaktyviosiomis ir išvedimo taisyklėmis), epistemologines ir apibrėžimo aksiomas – koncepcinio modelio struktūra (1 pav.).



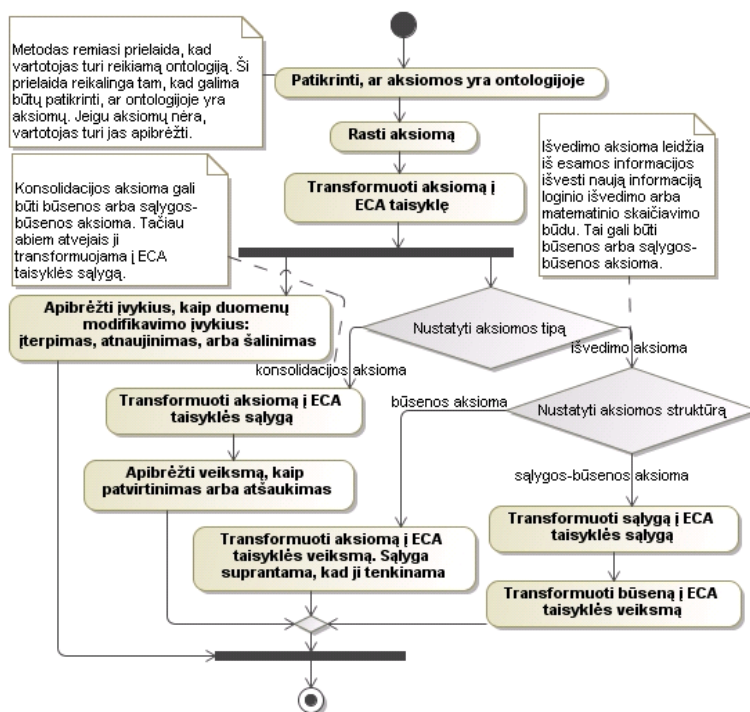
1 pav. Verslo taisyklių susiejimas su ontologijos aksiomomis

Ontologijos aksiomų struktūrinė analizė parodė, kad konsolidacijos ir išvedimo aksiomos turi *būseną* arba *sąlyga-būseną* struktūrą. Būsenos aksiomos apibrėžia leistiną dalykinės srities būseną, kuri vaizduojama kaip ECA taisyklės sąlyga. Veiksmas suprantamas, kaip: 1) leidimas keisti būseną, jeigu sąlyga tenkinama; 2) draudimas keisti būseną, jeigu sąlyga netenkinama.

Sąlygos-būsenos aksiomos apibrėžia leistiną dalykinės srities būseną esant tam tikrai sąlygai. Todėl galimas dvejopas šio tipo aksiomų atvaizdavimas ECA taisyklėmis. Pirmą, aksiomos sąlyga vaizduojama kaip ECA taisyklės sąlyga, o aksiomos būseną kaip ECA taisyklės veiksmas. Antra, visa aksioma atvaizduojama ECA taisykle, kaip ir būsenos aksiomos atveju.

Aksiomos galioja dalykinėje srityje visada. Tačiau kuriant informacinę sistemą būtina apibrėžti įvykius, į kuriuos reaguos informacijos apdorojimo taisyklės ir jas įgyvendinančios vykdomosios taisyklės.

Trečiajame skyriuje detaliai aprašomas siūlomas ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisyklės metodus. Metodo schema pateikta 2 paveiksle.



Kadangi metodo esmė – automatizuota ontologijos aksiomų transformacija į verslo taisykles, tai automatizacijai įgyvendinti naudojamos OMG pasiūlytas MDA (angl. *Model Driven Architecture* – *modeliais grindžiama architektūra*) karkasas. Dalykinės srities žinios vaizduojamos ontologija ir aksiomomis, apibrėžtomis pasirinkta kalba. Šios aksiomos transformuojamos į informacijos apdorojimo taisykles (pvz., ECA taisykles), išreikštas pasirinkta taisyklių kalba. Šiai transformacijai atlikti aksiomos ir informacijos apdorojimo taisyklės susiejamos. Informacijos apdorojimo taisyklės transformuojamos į

vykdomąsias taisykles, išreikštas pasirinkta vykdomąja kalba. Šiai transformacijai atlikti informacijos apdorojimo ir vykdomosios taisyklės susiejamos.

Disertacijoje taip pat pateiktas formalus metodo aprašymas Z kalba.

4. SIŪLOMO METODO TAIKYMAS

Ketvirtajame skyriuje aprašomas atliktas siūlomo metodo įgyvendinimas.

Atlikus lyginamąją *WebODE*, *OilEd*, *Ontolingua*, *Protégé*, *Chimera*, *OntoSaurus*, *OntoEdit* ir *WebOnto* ontologijų kūrimo ir valdymo priemonių analizę pagal nustatytus rodiklius kaip tinkamiausia pasirinkta *Protégé* priemonė, kurioje aksiomos įgyvendinamos PAL aksiomomis. Jos gali būti apibrėžiamos tiesiogiai PAL arba vartojant EZPal Tab įskiepyje pateiktus šablonus.

Eksperimentui atlikti pasirinkta laikraščio ontologija ir joje esančios aksiomos, kurios transformuojamos į OCL ribojančias taisykles ir SQL trigerius. Automatinėms transformacijoms atlikti sukurti du programų sistemų prototipai.

Siūlomam metodui įvertinti atliekamas bandymas, kurį sudaro tokie etapai:

1. Aksiomos, apibrėžtos Protégé PAL aksiomos, transformuojamos į SQL trigerius pasitelkus esamą prototipą.
2. Aksiomos, aprašytos natūralia kalba, pateikiamos 15 informacinių sistemų specializacijos magistrantų, kurie rankiniu būdu jas įgyvendina SQL trigeriais.

Abiem aksiomų transformacijos atvejais fiksuojamas laikas, kurio prireikė joms įgyvendinti. Gauti rezultatai apibendrinti 1 lentelėje.

1 lentelė. Verslo taisyklių įgyvendinimo SQL trigeriais laiko sąnaudos

Laikraščio dalykinės srities taisyklės	Laiko vidurkis (HH:MM:SS) sugaištas taisyklėms įgyvendinti	
	Rankinis būdas	Naudojant siūlomą metodą
Tik skelbimai, kurių tipas yra „asmeninis“, gali turėti paveikslėlius.	00:17:49	00:06:00
Autorius negali būti to paties straipsnio redaktorius.	00:12:44	00:05:15
Visi straipsniai turi turėti daugiau negu du raktinius žodžius.	00:19:55	00:06:15
Darbuotojo atlyginimas neturi būti didesnis negu jo vadovo atlyginimas.	00:30:05	00:06:30

Laikraščio dalykinės srities taisyklės	Laiko vidurkis (HH:MM:SS) sugaištas taisyklėms įgyvendinti	
	Rankinis būdas	Naudojant siūlomą metodą
Darbuotojo atlyginimas turi būti didesnis arba lygus minimaliam užimamų pareigų atlyginimui.	00:14:33	---
Straipsnių, priklausančių tam pačiam skyriui ir kurių publikavimo data yra vienoda, bendras ilgis neturi viršyti skyriaus didžiausio ilgio.	00:19:11	---
Laikraštyje neturi būti spausdinami skelbimai, kurių galiojimo data yra ankstesnė už laikraščio išleidimo datą.	00:19:27	00:06:30
Darbuotojo pareigų pabaigos data turi būti vėlesnė už pradžios datą.	00:09:38	00:05:30
Straipsnių pavadinimai turi būti unikalūs.	00:11:27	00:05:15
Tik baigti straipsniai gali būti įtraukti į laikraštį.	00:13:11	00:05:30
Tas pats darbuotojas negali būti straipsnio redaktoriumi ir skelbimų redaktoriumi.	00:24:00	00:11:00

3. Siūlomo ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisykles metodo efektyvumui įvertinti naudojamas *t-test* metodas, skirtas statistiniams duomenims apdoroti ir palyginti.

BENDROSIOS IŠVADOS

- Atlikus ontologijos ir verslo taisyklių analizę nustatyta, kad dalykinės srities ontologijoje verslo taisyklės vaizduojamos aksiomomis ir ryšių tarp konceptų apribojimais.
- Iš ontologijos ir verslo taisyklių matematinių išraiškų analizės paaiškėjo, kad konsolidacijos ir išvedimo aksiomos, apibrėžiamos pasirinkta kalba, sutapatinamos su dinaminėmis taisyklėmis, o epistemologinės ir apibrėžimo aksiomos – su koncepcinio duomenų modelio struktūra.
 - Ontologijos aksiomų struktūrinė analizė parodė, kad konsolidacijos ir išvedimo aksiomos turi *būsenos* arba *sąlygos-būsenos* struktūrą. Būsenos aksiomos apibrėžia leistiną dalykinės srities būseną, kurią siūloma transformuoti į ECA taisyklės sąlygą. ECA taisyklės veiksmo dalis suprantama, kaip (i) leidimas keisti būseną, jeigu sąlyga tenkinama, arba (ii) draudimas keisti būseną, jeigu sąlyga netenkinama. Sąlygos-būsenos aksiomos apibrėžia leistiną dalykinės srities būseną esant tam tikrai sąlygai. Todėl galimas dvejetainis šio tipo aksiomų transformavimas į ECA taisykles. Pirma, aksiomos

sąlyga transformuojama į ECA taisyklės sąlygą, o aksiomos būseną transformuojama į ECA taisyklės veiksmą. Antra, visa aksioma transformuojama į ECA taisyklės sąlygą, o veiksmo dalis suprantama kaip aprašyta būsenos aksiomos atveju.

- 2.2. Aksiomos galioja dalykinėje srityje visada. Tačiau kuriant informacinę sistemą būtina apibrėžti įvykius, į kuriuos reaguos informacijos apdorojimo taisyklės ir jas įgyvendinančios vykdomosios taisyklės. Įvykių analizė ontologijos, informacinių ir programų sistemų lygmenyse parodė, kad transformacijos metu trūkstami įvykiai gali būti apibrėžiami kaip duomenų modifikavimo (įterpimo, trynimo, atnaujinimo ir išgavimo) įvykiai. Tačiau patartina dalykinės srities ontologiją praplėsti dalykinės srities įvykius aprašant šios ontologijos konceptais.
3. Atlikus kalbų, skirtų formaliam metodų aprašymui, apžvalgą nustatyta, kad formaliam metodo aprašymui tinka Z kalba, skirta formaliam sistemų apibrėžimui, nepriklausoma nuo įgyvendinimo ir priimta kaip ISO standartas 2002 (ISO/IEC 13568:2002). Metodui automatizuoti pritaikomas OMG pasiūlytas MDA karkasas.
4. Sukūrus iškiepių prototipus, grindžiamus siūlomu metodu ontologijos aksiomoms transformuoti į verslo taisykles, ir atlikus PAL aksiomų transformaciją į OCL ribojančias taisykles ir SQL trigerius, nustatyta, kad siūlomas metodas įgyvendinamas.
5. Ontologijos aksiomų transformacijos į verslo taisykles metodo efektyvumo vertinimo analizė parodė, kad siūlomas metodas sumažina klaidų kiekį ir dvigubai pagreitina taisyklių įgyvendinimo trukmę.

AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose

1. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2007. Applying the Meta-Model Based Approach to the Transformation of Ontology Axioms into Rule Model, *Information Technology and Control* 36(1A): 122–125 (Thomson ISI Web of Science). ISSN 1392-124X.
2. Vasilecas, O.; Būgaitė, D. 2007. Correctness of the Transformation: Transformation of Ontology Axioms into Formal Rules, *Lietuvos matematikos rinkinys* 47(spec. nr.): 208–214 (MatSciNet). ISSN 0132-2818.
3. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2007. Analysis of model transformation approaches, *Informacinės technologijos 2007* 1: 212–216. ISSN 1822-6337.

4. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. Ontology-based Information Systems Development: the Problem of Automation of Information Processing Rules, in *Neuhold, E.; Yakhno, T. (Eds.). Proc. of the Fourth International Conference Advances in Information Systems (ADVIS'2006), Izmir, Turkey, 2006*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS, vol. 4243, 187–196 (Thomson ISI Web of Science). ISSN 0302-9743.
5. Vasilecas, O.; Bugaite, D.; Trinkunas, J. 2006. Formal Transformation of Domain Ontology into Conceptual Model, *Izvestia of the Belarusian Engineering Academy* 1(21)/2: 112–117. UDC 681.3.
6. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2005. Events modelling in the process of business rules based information systems development, *Lietuvos matematikos rinkinys* 45(spec. nr.): 167–173 (SpringerLink). ISSN 0132-2818.
7. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2005. Framework on Business Rules Elicitation from Ontology, *Izvestia of the Belarusian Engineering Academy* 1(19)/2: 149–154. UDC 681.3.
8. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2005. The method for ontology components transformation into the set of business rules, *Informacijos mokslai* 34: 183–188. ISSN 1392-0561.

Kituose leidiniuose

1. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2009. Events Propagation from the Business System Level into the Information System Level, in *Barry, C. et al. (Eds.). Proc. of the 16th International Conference on Information Systems Development (ISD2007), Galway, Ireland, 2007*. US: Springer-Verlag, vol. 2, 1105–1116 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 978-0-387-78577-6.
2. Bugaite, D.; Vasilecas, O.; Sosunovas, S. 2008. Template-based approach for rules transformation into SQL triggers, in *Haav, H. M.; Kalja, A. (Eds.). Proc. of 8th International IEEE Baltic Conference on Databases and Information Systems (BalticDB&IS 2008), Tallinn, Estonia 2008*. Tallin: Tallinn University of Technology Press, 253–263 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 978-9985-59-789-7.
3. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2008. Events linking with rules – business system, information system and software system, in *Targamadze, A. et al. (Eds.). Proc. of the 14th Conference on Information and Software Technologies (IT 2008), Kaunas, Lithuania, 2008*. Kaunas: Technologija, 324–333 (Thomson ISI Proceedings). ISSN 2029-0063.
4. Vasilecas, O.; Kalibatiene, D. 2008. Formal Transformation of Ontology Axioms to application Domain Rules, in *Stoilov, T.; Rachev, B. (Eds.). Proc. of the International Conference on Computer Systems and*

- Technologies "CompSysTech'08", Gabrovo, Bulgaria, 2008, V.1-1–V.1-8. ISBN 978-954-9641-52-3.*
5. Dubauskaitė, R.; Būgaitė, D.; Vasilecas, O. 2008. Verslo taisyklių išgavimo proceso aspektai ir požūriai, *Mikulen G. (Ed.). XIII-os tarpuniversitetinės magistrantų ir doktorantų mokslinės konferencijos "Informacinės technologijos" pranešimų rinkinys, Kaunas, Lietuva, 2008. Kaunas: Technologija, 58–61. ISBN 978-9955-25-480-5.*
 6. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2007. Automation of the Ontology Axioms Transformation into Information Processing Rules Model, in *Magyar, G. et al. (Eds.). Proc. of the Fifteenth International Conference on Information Systems Development (ISD'2006), Budapest, Hungary, 2006. New York: Springer, 493–500 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 978-0-387-70760-0.*
 7. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2007. Case Study on Using Ontology in e-Learning: Facilitating Learning Process, in *Gungor, A. et al. (Eds.). Proc. of e-Learning conference'07, Computer Science Education, Istanbul, Turkey, 2007, 139–143. ISBN 978-975-6437-75-9.*
 8. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2007. An Algorithm for the Automatic Transformation of Ontology Axioms into a Rule Model, in *Rachev, B. et al. (Eds.). Proc. of the International Conference on Computer Systems and Technologies "CompSysTech'07", Rousse, Bulgaria, 2007, II.2-1–II.2-6. ISBN 978-954-9641-50-9.*
 9. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. On Approach of Events Modelling in the Process of Business Rules-Based Information Systems Development, in *Vasilecas, O.; Caplinskas, A.; Eder, J. (Eds.). Proc. of Databases and Information Systems. Communications. Materials of Doctoral Consortium (Baltic DB&IS 2006), Vilnius, Lithuania, 2006. Vilnius: Technika, 15–25 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 9955-28-013-1.*
 10. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. Business Rules Elicitation in the Process of Enterprise Information System Development, in *Manolopoulos, Y. et al. (Eds.). Proc. of the 8th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2006), Paphos, Cyprus, 2006, 218–223 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 972-8865-43-0.*
 11. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. Ontology-Based Elicitation of Business Rules, in *Nilsson, A. G. et al. (Eds.). Proc. of the Fourteenth International Conference on Information Systems Development (ISD'2005), Karlstad, Sweden, 2005. New York: Springer, 795–806 (Thomson ISI Proceedings). ISBN 978-0387-30834-0.*
 12. Vasilecas, O.; Bugaite, D.; Trinkunas, J. 2006. On Approach for Enterprise Ontology Transformation into Conceptual Model, in *Rachev, B.; Smirkarov, A. (Eds.). Proc. of the International Conference on Computer Systems*

and Technologies "CompSysTech'06", Varna, Bulgaria, 2006, IIIA.23-1–IIIA.23-6. ISBN 978-954-9641-46-2.

13. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. On Approach of the Automation of the Ontology Axioms Transformation into ECA Rules, in *Romansky, R. (Ed.). Proc. of the 20th International Conference on Systems for Automation of Engineering and Research (SAER-2006), Varna, Bulgaria, 2006*, 24–29. ISBN 978-954-438-575-0.
14. Vasilecas, O.; Bugaite, D. 2006. Ontology in Enterprise Modelling, in *Proc. of „Information Technology 2006“, Kaunas, Lithuania, 2006*. Kaunas: Technologija, 175–182. ISBN 9955-09-993-3.
15. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2005. Framework on application domain ontology transformation into set of business rules, in *Rachev, B.; Smirkarov, A. (Eds.). Proc. of the International Conference on Computer Systems and Technologies "CompSysTech'05", Varna, Bulgaria, 2005*, IIIB.8-1–IIIB.8-6 (INSPEC). ISBN 954-9641-42-2.
16. Bugaite, D.; Vasilecas, O. 2005. Ontology Driven Approach for Elicitation of Business Rules, in *Simutis, R. (Ed.). Proc. of International Conference on Information Technologies for Business 2005, Kaunas, Lithuania, 2005*. Kaunas: Technologija, 21–26. ISBN 9955-09-871-6.

Trumpos žinios apie autorių

Diana Kalibatienė gimė 1981 m. liepos 25 d. Vilniuje. Studijas Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fundamentinių mokslų fakultete ji pradėjo 1999 m. 2003 m. apgynė informatikos bakalauro baigiamąjį darbą tema „Agentinių technologijų panaudojimas projekto valdymui realizuoti“. Diana Kalibatienė įstojo į magistrantūrą 2003 m. ir 2005 m. apgynė informatikos mokslo magistro baigiamąjį darbą tema „Ontologijų ir verslo taisyklių panaudojimas informacinėms sistemoms kurti“. 2005–2009 m. ji studijavo informatikos inžinerijos mokslo krypties doktorantūroje Vilniaus Gedimino technikos universiteto informacinių sistemų katedroje.

Padėka

Dėkoju darbo vadovui, Vilniaus Gedimino technikos universiteto Fundamentinių mokslų fakulteto Informacinių sistemų katedros prof. dr. Olegui Vasilecui, už idėjas ir paskatinimą rašant šį darbą. Nuoširdžiai esu dėkinga prof. dr. Albertui Čaplinskui (Informatikos ir matematikos institutas, Lietuva) ir dr. Giancarlo Guizzardi (Espirito Santo Federalinis universitetas, Brazilija) už vertingas pastabas ir dr. Audronei Lupeikienei (Informatikos ir matematikos institutas, Lietuva) už kruopščią darbo peržiūrą ir vertingas pastabas.

Taip pat dėkoju savo artimiesiems už kantrybę ir supratimą.

ONTOLOGY BASED DEVELOPMENT OF DOMAIN RULES

An overview of the problem

Application domain rules make an important and integral part of each domain by expressing constraints on concepts, their interpretation, and / or relationships of a domain. However, the complexity of rules acquisition, development and implementation determine that there is no standard technology for their modelling yet. Therefore, the author emphasises on knowledge-based acquisition and automatic implementation of rules. The dissertation describes how domain knowledge, represented by domain ontology, is used for the modelling of application domain rules.

The object of the research

The object of the research is ontology-based modelling of domain rules. I. e. the author of the dissertation investigates how domain ontology can be used for the modelling and implementing of domain rules.

The aim of the research

The dissertation focuses on ontology-based domain rules development in the context of information systems conceptual data modelling. For this reason, the author takes aim to investigate modelling and implementing of domain rules using a domain ontology and to propose a method of the ontology-based modelling of domain rules.

The objectives of the research

1. To investigate the concept of a domain rule and to formulate the main problems of rules acquisition from the domain.
2. To investigate the concept of an ontology and its usefulness in IS development.
3. To investigate formal foundations of ontology and domain rules and to propose a method of transforming ontology axioms to domain rules.
4. To define a set of formal transformation rules for the transforming ontology axioms to domain rules.
5. To investigate ontology development and management tools and choose the appropriate one to support the statement of the author that rules can be acquired from a domain ontology.
6. To evaluate the proposed method by carrying out an experiment of the transforming ontology axioms to domain rules.

Methodology of research

The information research, systematisation, analysis and comparative methods have been used to collect and present the knowledge from the field of ontology and domain rules based IS development. The logical induction, notions generalisation and conceptual modelling methods have been used to summarise the existing methods and to propose a method of the transforming ontology axioms to domain rules. The conceptual modelling, construction and experiment methods have been used to implement and evaluate efficiency and viability of the proposed method.

Scientific novelty

The interest in usage of ontology for the development of information systems has risen up in the last decade. However, during all this period, it was not enough attention paid to the usage of ontology axioms for the modelling of domain rules.

The following new results are presented in the dissertation:

1. Syntactic expressions of ontology and a conceptual data model were analysed. The obtained results show that domain rules are captured in ontology by axioms and defined by ontology concepts. Consolidation and derivation axioms, expressed in a particular language, maps to dynamic rules. Epistemological and definitional axioms – to the structure of a conceptual data model.
 - 1.1. According to the structure, consolidation and derivation axioms are *state* or *condition-state* axioms. A state axiom clearly defines a state in which a domain should be and which can be transformed to the condition of an ECA rule. An action can be understood in two ways: (i) if a condition is satisfied, then the transition from one state of the system to another is admissible; (ii) if a condition is not satisfied, then the transition is forbidden. A condition-state axiom defines an admissible state of a domain under some condition. In the sense of the ECA structure, the condition-state axiom can be transformed to an ECA rule in two ways: (i) a condition of an axiom is transformed to the condition of an ECA rule, a state of an axiom is transformed to the action of an ECA rule; (ii) a condition-state axiom is transformed to an ECA rule as a state axiom.
 - 1.2. Axioms hold in an application domain in all cases. However, computer systems should have information when they apply rules. The results of analysis of events implementation show

that missing events can be defined as an event of data modification (insert, update or delete).

2. According to the results obtained, the method of the transforming ontology axioms to application domain rules is proposed. The method allows to transform ontology axioms, expressed in a particular language, to domain rules, implemented by information processing rules and corresponding executable rules. The Z language is used to define the proposed method in a formal way. And the MDA framework is applied to automate it.
3. In order to illustrate the presented method, the transformation rules obtained and defined using Z, were applied to transform the Protégé ontology axioms, expressed by PAL constraints, to OCL constraints and to SQL triggers.
4. The results of the experiment obtained show that the proposed method allows to decrease the time used for the implementation of rules twice and reallocate it to other activities.

The dissertation is prepared according to the newest information sources, the IS development methods and techniques.

The research performed enables extending and improving the theoretical background of ontology and domain rule based IS development. The implementation of the theoretical results supports their correctness and efficiency.

The obtained results can be used for the specification of domain rules by ontology axioms and their transformation to the consequent information processing and executable rules.

Practical value

The results obtained are implemented in the High Technology Development Program Project “Business Rules Solutions for Information Systems Development (VeTIS)”, supported by Lithuanian State Science and Studies Foundation.

The results were applied for extending the *MagicDraw* by the possibility of generating OCL constraints from ontology axioms.

Defended propositions

The defended proposition of the dissertation is:

A domain knowledge, presented by an ontology, can be used for the modelling and implementing of domain rules.

This proposition is concerned with the possibility of the transforming domain knowledge, presented by an ontology, to domain rules. Moreover, the proposition involves the propositions as follows:

Using of domain ontology in the modelling and implementing of domain rules allows:

1. *to transform (a part of) an ontology to domain rules;*
2. *to automate the transforming of (a part of) an ontology to domain rules;*
3. *to reuse knowledge of a domain acquired during the analysis of this domain.*

The most attention is placed on the first and the second propositions.

Scope of the work

The dissertation consists of six chapters including the conclusions.

The introduction overviews the main problem analysed in the dissertation and its importance. The aim and consequent objectives, scientific novelty and practical value of the research, methodology of the research, hypothesis of the research, scientific approval, contribution of the results and structure of the dissertation are formulated and presented in this chapter.

The first and the second chapters cover analysis of existing publications related with the problem of the dissertation. Therefore, the concept of the domain rule and the main problems of their modelling and implementing are analysed in the first chapter. The second chapter presents the analysis on the possibilities of using domain ontology for the modelling of domain rules.

The third chapter describes the proposed method of transforming ontology axioms to domain rules.

In the fourth chapter the Protégé ontology development and management tool is chosen and the proposed method of transforming ontology axioms to domain rules is applied for the development of information processing rules, expressed by OCL (Object Constraint Language) constraints, and executable rules, expressed by SQL (Structured Query Language) triggers. The developed plug-ins for the automatic transformation of OCL constraints and SQL triggers are presented also. At the end of the chapter the evaluation of the proposed method is described.

General conclusions are presented at the end of the dissertation.

General conclusions

1. The analysis of the related works in the field of knowledge-based information systems development using the domain ontology shows that the rules used in domain are part of knowledge represented by ontologies. The rules in the ontology are represented by axioms and defined using ontology concepts.
2. Syntactic expressions of an ontology and a conceptual data model were analysed and it was concluded that consolidation and derivation axioms,

expressed in a particular language, can be mapped to dynamic rules, epistemological and definitional axioms – to the structure of a conceptual data model.

- 2.1. The structural analysis of ontology axioms shows that consolidation and derivation axioms are state or condition-state axioms. A state axiom clearly defines a state in which a domain should be and which can be transformed to the condition of ECA rules. An action can be understood in two ways: (i) if a condition is satisfied, then the transition from one state of the system to another is admissible; (ii) if a condition is not satisfied, then the transition from one state of the system to another is forbidden. A condition-state axiom defines an admissible state of a domain under a defined condition. In the sense of the ECA structure, a condition-state axiom can be transformed to ECA rule in two ways: (i) a condition of an axiom is transformed to the condition of an ECA rule, a state of an axiom is transformed to the action of an ECA rule; (ii) a condition-state axiom is transformed to the ECA rule as a condition axiom.
- 2.2. Axioms hold in a domain in all cases. However, computer systems should have information when they apply rules. The analysis of events at an ontology, information and software systems shows that during the transformation of ontology axioms to domain rules the missing event can be defined as an event of data modification (insert, update or delete).
3. The analysis of the related works on defining systems shows that the Z notation is suitable to formalise the proposed method, since it is (i) intended for the formal specification of computer-based systems, (ii) independent of the particular implementation, and (iii) accepted as ISO standard at 2002 (ISO/IEC 13568:2002). The MDA framework is used to automate the proposed method.
4. The experiment of transforming Protégé ontology axioms, expressed by PAL constraints, to information processing rules, expressed by OCL constraints, and to executable rules, expressed by SQL triggers, showed the advantages of the proposed method with the comparison of manual implementation of domain rules. Modelling and implementation of domain rules using the proposed method decrease the time up to half, allowing us to reallocate it to other activities.

The next step of the research is extending the developed prototype. Firstly, it is necessary to extend the prototype for the transformation of all types of axioms; secondly, the proposed schemas of Z should be extended and refined according to the results of new observations.

About the author

Diana Kalibatiene was born in Vilnius, on 25th July 1981. Diana Kalibatiene started studying in the Faculty of Fundamental Sciences of Vilnius Gediminas Technical University in 1999. In 2003 she defended bachelor's thesis "Usage of Agents for Managing Projects" in Informatics. In 2005 Diana Kalibatiene finished master's studies and defended thesis "Ontology and Business Rules in Information Systems Development" in Informatics. She started doctoral studies in 2005 in the Information Systems Department.

Diana Kalibatiene was participating in the seminars held in Information Sciences Laboratory during the course of doctoral studies. She presented the results of research in the seminars and publications.

Diana Kalibatiene was PhD student of Vilnius Gediminas Technical University in 2005–2009.

Diana Kalibaitienė

ONTOLOGIJŲ NAUDOJIMO VERSLO TAISYKLIŲ RINKINIUI
FORMUOTI TYRIMAS

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07T)

ONTOLOGY BASED DEVELOPMENT OF DOMAIN RULES

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Informatics Engineering (07T)

2009 04 17. 1,5 sp. l. Tiražas 100 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Biznio mašinų kompanija“,
J. Jasinskio g. 16A, 01112 Vilnius