

VILNIAUS UNIVERSITETAS

JOLANTA MILIAUSKAITĖ

NERAIŠKIAIS SAMPROTAVIMAIS GRINDŽIAMAS METODAS  
VERSLO PASLAUGŲ KOKYBEI PLANUOTI ĮMONIŲ PASLAUGŲ  
STILIAUS INFORMACINĖSE SISTEMOSE

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07 T)

Vilnius, 2015 metai

Disertacija rengta 2010–2014 metais Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

**Mokslinis vadovas**

prof. dr. Albertas Čaplinskas (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

**Disertacija ginama Vilniaus universiteto Informatikos inžinerijos mokslo krypties taryboje:**

**Pirmininkas** – prof. dr. Romas Baronas (Vilniaus universitetas, technologiniai mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

**Nariai:**

prof. dr. Wojciech Froelich (Silezijos universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T);

prof. dr. Saulius Gudas (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T);

doc. dr. Olga Kurasova (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T);

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

Disertacija bus ginama viešame Informatikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje

2015 m. rugsėjo 30 d. 13:00 val. 203 auditorijoje.

Adresas: Akademijos g. 4, LT-08663, Vilnius, Lietuva.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2015 m. rugpjūčio mėn. 28 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto bibliotekoje ir VU interneto svetainėje adresu: [www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius](http://www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius)

VILNIUS UNIVERSITY

JOLANTA MILIAUSKAITĖ

A FUZZY INFERENCE-BASED APPROACH TO PLANNING QUALITY  
OF ENTERPRISE BUSINESS SERVICES

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Informatics Engineering (07 T)

Vilnius, 2015

The dissertation was written between 2010 and 2014 at Vilnius University Institute of Mathematics and Informatics.

### **Scientific Supervisor**

Prof. Dr. Albertas Čaplinskas (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T).

The dissertation will be defended at the Council of the Scientific Field of Informatics Engineering of Vilnius University:

### **Chairman**

Prof. Dr. Romas Baronas (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 09 P).

### **Members:**

Prof. Dr. Wojciech Froelich (University of Silesia, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T);

Prof. Dr. Saulius Gudas (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T);

Assoc. Prof. Dr. Olga Kurasova (Vilnius University, Technological Sciences, Informatics Engineering – 07 T);

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

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of the Scientific Field of Informatics Engineering in the auditorium number 203 at the Institute of Mathematics and Informatics of Vilnius University, at 1 p. m. on 30<sup>th</sup> of September 2015.

Address: Akademijos st. 4, LT-08663 Vilnius, Lithuania.

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 28<sup>th</sup> of August 2015.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius University or on this website: [www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius](http://www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius)

## 1. Įvadas

### *Mokslo problemos aktualumas*

Paslaugų stiliaus architektūra (PSA) (angl. *SOA – Service-Oriented Architecture*) šiuo metu yra labai populiari informacinių sistemų ir programų sistemų inžinerijos srityje. PSA, sujungta su įmonės architektūra (angl. *Enterprise Architecture*), sudaro vadinamąją paslaugų stiliaus įmonės architektūrą (PSIA) (angl. *SoEA – Service-oriented Enterprise Architecture*). Sistemos, taikančios šią architektūrą, įvardijamos kaip paslaugomis grindžiamos įmonių sistemos (angl. *SoES – Service-Oriented Enterprise Systems*). Šios sudarytos iš įmonės verslo paslaugų (ĮVP) (angl. *Enterprise Business Service*), t. y. komponentų, realizuojančių verslo logiką, įterptą į saityno paslaugas. Įmonės verslo paslaugos traktuojamos kaip paslaugos, bet ne kaip programinis produktas. Todėl programų sistemų inžinerijai kyla naujų iššūkių, iš jų ir investicijų, reikalingų kurti naujoms įmonės verslo paslaugoms, vertinimo problema. Siekiant įvertinti reikalingas investicijas, kiekvienos įmonės verslo paslaugos kokybė turi būti bent apytikriai planuojama. Tai gan sudėtinga, mat kokybės planavimo procese dalyvauja daug suinteresuotųjų šalių (angl. *stakeholders*), skirtingai interpretuojančių paslaugos kokybės sąvoką ir kokybę planuojančių iš skirtingų, nuo vaidmens priklausančių, perspektyvų. Be to, nėra vieningos sąvokų sistemos, su kuria galima būtų aprašyti paslaugų kokybės planavimo algoritmus ir patį įmonės verslo paslaugų kokybės konceptą.

Taigi reikalavimų nesuderinamumas (konfliktas tarp jų) atsiranda ne tik dėl suinteresuotųjų šalių (paslaugos teikėjo, kompiuterių tinklo administratoriaus, infrastruktūros administratoriaus, paslaugos vartotojo ir kt.) skirtingų požiūrių į kuriamą verslo paslaugą, bet ir dėl skirtingų pačios kokybės koncepto sampratų. Reikia pateikti šių konfliktų sprendimą, priimtina visoms šalims. Įprastai tai daroma ilgomis derybomis. Tačiau jų būtų galima išvengti, jei vietoje derybų galima būtų panaudoti konfliktams spręsti skirtą programų sistemą. Vis dėlto šiuo metu turimas teorinis pagrindas nėra pakankamai išvystytas tokiai programų sistemai sukurti, tad atliktini papildomi teoriniai tyrimai.

Terminas „paslaugos kokybė“ atsirado telekomunikacijų srityje ir reiškė įvairius paslaugos teikimo našumo matus iš tinklo perspektyvos. Paskui šis terminas išplėstas ir apėmė net tokius mažai su kokybe susijusius dalykus kaip paslaugos vartotojo patenkinimas arba paslaugos kaina. Šiuo metu šis terminas reiškia kelis skirtingus dalykus: pasak (Benbernou, et al., 2010), „kokybės atributų rinkinys apibūdina ne tik paslaugą, bet ir bet kurią esybę kelyje tarp paslaugos ir jos vartotojo. Tokių esybių gali būti bet kuriame iš trijų paslaugos lygmenų – programos, paslaugos arba infrastruktūros lygmenyje“.

Taigi terminas „paslaugos kokybės“ vis dar nėra griežtai apibrėžtas. Jo apibrėžtis kinta priklausomai nuo nagrinėjamos srities, tad ta pati apibrėžtis paprastai netaikoma kitoms sritims. Be to, pati kokybės sąvoka yra negriežta ir subjektyvi, ji taip pat lig šiol nėra tiksliai apibrėžta. Todėl pirma užduotis imantis tirti įmonės verslo paslaugos kokybę ( $PK_{\text{ĮVP}}$ ) – tiksliau apibrėžti jos sąvoką. Tam reikia atlikti skirtingų paslaugos kokybės ir  $PK_{\text{ĮVP}}$  sampratų analizę, susisteminti, apibendrinti ir susieti šias sampratas. Tai reiškia, kad reikia sukurti prasmės teoriją (angl. *theory of meaning*), aprašančią ryšį tarp žodžio ir pasaulio (Dietterich, 1990). Šis ryšys gali būti aprašomas referenciniu (per nuorodas į realaus pasaulio objektus) arba aletiniu (per sakinio arba teiginio teisingumo modalumus; nuo graikų k. *aletheia* – tiesa) būdu. Aletiniai teiginiai interpretuojami Kripkės galimų pasaulių semantikos terminais.  $PK_{\text{ĮVP}}$  kontekste teiginys laikomas būtinai teisingu

tik tada, kai jis teisingas visuose galimuose pasauliuose, suprantamuose kaip faktų modelio būseną, galinti egzistuoti tam tikru laiko momentu. Teiginys laikomas įmanomu tik tada, kai jis teisingas bent viename iš galimų pasaulių. O neįmanomi teiginiai yra tie, kurie yra klaidingi visuose galimuose pasauliuose. Tačiau ir šiuo atveju kyla problema – ta pati PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> ypatybė gali turėti skirtingas teisingumo reikšmes skirtingose įmonės verslo paslaugose.

PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> prasmės teorija yra koncepcinis empirinės PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo, prognozavimo ir vertinimo teorijos, kuri turėtų pateikti modelius, metodus ir algoritmus atitinkamoms planavimo, prognozavimo ir vertinimo problemoms spręsti, pagrindas. Disertacijoje siekiama sukurti fragmentą šios empirinės teorijos, skirtos preliminariai įmonės verslo paslaugos kokybei planuoti, ir fragmentą šios kokybės prasmės teorijos, reikalingos aprašyti atitinkamiems modeliams, metodams ir algoritmams. Šis tyrimas yra labiau ieškomasis, o ne išsamus ir detalus visų minėtų aspektų tyrimas.

Disertacijoje sprendžiamą problemą galima suformuluoti taip: „Turint skirtingų suinteresuotųjų šalių suformuluotus, subjektyvius ir tarpusavyje nesuderinamus išankstinius reikalavimus, nusakančius priimtina planuojamos įmonės verslo paslaugos, turėsiančios veikti saityno paslaugomis grindžiamoje įmonės sistemoje, kokybės lygį apatiniame kokybės atributų hierarchijos lygmenyje, reikia išspręsti prieštaras ir nustatyti preliminarius reikalavimus šios verslo paslaugos kokybės atributų priimtina kokybei.“

### ***Darbo tikslas ir uždaviniai***

Darbo tikslas – sudaryti neraiškiaisiais samprotavimais grindžiamą įmonių paslaugų stiliaus verslo paslaugos kokybės planavimo metodą ir jį realizuojančią programų sistemą. Metodas ir sistema padėtų planuoti kuriamos naujos įmonių verslo paslaugos kokybę (PK<sub>I<sub>VP</sub></sub>), atsižvelgtų į skirtingų suinteresuotųjų šalių (pvz., vartotojo, projektuotojo) požiūrius ir finansinius, laiko bei kitų išteklių ribojimus ir taip leistų preliminariai įvertinti tai paslaugai sukurti reikalingų investicijų dydį. Šiam tikslui pasiekti buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. sukurti darnią sąvokų sistemą, pritaikytą atliekamo tyrimo teorinėje dalyje kuo tiksliau apibrėžti tokias sąvokas kaip paslaugų stiliaus įmonės sistema (PSIS) (angl. *SoES – Service-Oriented Enterprise System*), įmonės verslo paslauga (I<sub>VP</sub>) (angl. *EBS – Enterprise Business Service*), įmonės verslo paslaugos kokybė (PK<sub>I<sub>VP</sub></sub>), formalizuoti PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problemą ir aprašyti jai spręsti skirtus modelius, metodus ir algoritmus;
2. formalizuoti PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problemą ir pateikti metodiką jai fuzifikuoti (nuo angliško žodžio *fuzzy* – neraiškus, miglotas), t. y. transformuoti įvesties duomenis į neraiškios logikos aibes;
3. sukurti PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> modelį, tinkamą PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problemai spręsti, suprojektuoti šiai problemai spręsti skirtą metodų ansamblį ir aprašyti juos detaliais skaičiavimo algoritmais;
4. sukurti programų sistemos, skirtos paslaugų kokybės planavimo problemai spręsti ir taikančios šį tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblį, architektūrą.

### ***Tyrimo prielaidos, klausimai ir hipotezės***

Disertacijoje daromos šios prielaidos:

1. Priimtinos kokybės įmonės verslo paslaugoms planuoti labiausiai tinka neraiškiųjų aibių teorijos ir neraiškiosios logikos metodai, mat kokybę apibūdinančios sąvokos (pvz., „patikimas“, „aukštos kokybės“) yra negriežtos;
2. Įmonės verslo paslaugos (ĮVP) nagrinėjamos paslaugų stiliaus įmonės sistemos (PSIS) kontekste;
3. Kokybės reikalavimų, nurodytų skirtingų suinteresuotų šalių, konfliktai turi būti sprendžiami atsižvelgiant į kiekvienos iš suinteresuotųjų šalių svarbą;
4. Kai išsprendžiami konfliktai, gautoji kokybė apibrėžiama kaip neraiškioji aibė X. Šis rezultatas interpretuotinas lingvistinių reikšmių, aprašančių kokybės lygį (aukšta kokybė, vidutinė kokybė ir pan.), terminais, t. y. turi būti atliekamas neraiškios aibės X lingvistinis aproksimavimas taikant tam tikrą panašumo matą. Gali atsitikti taip, kad keli lingvistiniai terminai turės tą pačią aproksimuotą reikšmę. Šiuo atveju sprendimą turi priimti už jį atsakingas asmuo per specialią interaktyvią procedūrą.

Disertacijoje siekiama atsakyti į šiuos klausimus:

1. Kaip apibrėžti įmonės verslo paslaugos kokybę ( $PK_{\text{ĮVP}}$ ) remiantis skirtingomis sąvokos „kokybė“ sampratomis?
2. Kuris iš esamų paslaugos kokybės modeliavimo būdų yra tinkamiausias (jei toks yra) modeliuoti  $PK_{\text{ĮVP}}$ ?
3. Kokia strategija turėtų būti taikoma, kai konstruojama tinkamiausia narystės funkcija fuzifikuojant konkrečios įmonės verslo paslaugos kokybę?
4. Koks neraiškiojo samprotavimo formalizmas ir kokie algoritmai labiausiai tinka išvedimui medžio struktūrose, kuriomis aprašoma  $PK_{\text{ĮVP}}$  atributų hierarchija?
5. Kokie metodai ir algoritmai taikytini spręsti paslaugų kokybės reikalavimų, suformuluotų skirtingų suinteresuotųjų šalių, konfliktams?
6. Koks tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis tinkamiausias paslaugos kokybės planavimo problemai spręsti?
7. Kokio tipo architektūra reikalinga programų sistemai, kurioje būtų pritaikytas šis tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis, kurti?

Norint atsakyti į suformuluotus klausimus, iškeltos šios hipotezės:

- H1. Nors tarp paslaugų ir produktų esti skirtumų, visos esamos produkto kokybės sampratos gali būti taikomos paslaugoms.
- H2. Neraiškiaisais samprotavimais grindžiamas verslo paslaugų kokybės planavimo būdas leidžia apibrėžti įmonių verslo paslaugos kokybę remiantis skirtingomis sąvokos „kokybė“ sampratomis.
- H3. Nė vienas iš esamų kokybės modeliavimo metodų nėra tinkamas taip modeliuoti įmonių verslo paslaugų kokybei, kad būtų galima suprojektuoti efektyvų metodų ansamblį, sprendžiantį skirtingų suinteresuotųjų šalių suformuluotų reikalavimų konfliktus.
- H4. Tokių paslaugų kokybės modelį galima sukurti tik neraiškiaisaisais samprotavimais grindžiamu metodu įmonių verslo paslaugų kokybei planuoti.
- H5. Konkretaus  $PK_{\text{ĮVP}}$  atributo fuzifikavimas priklauso tiek nuo šio atributo pobūdžio, tiek nuo įmonės verslo paslaugos nagrinėjimo perspektyvos. Vis dėlto įmanoma sukurti metodiką, kuria galima atlikti bet kokio  $PK_{\text{ĮVP}}$  atributo fuzifikavimą bet kokios nagrinėjimo perspektyvos atveju.

- H6. Neraiškiojo samprotavimo formalizmas, jungiantis semantinį išvedimą ir agregavimą, tinka išvedimui medžio struktūrose, aprašančiose  $PK_{IVP}$  atributų hierarchiją, nes tenkina visus funkcinis reikalavimus.
- H7. Pakanka, kad  $PK_{IVP}$  planavimo problemai išspręsti skirtas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis susidėtų iš problemos fuzifikavimo, balansavimo, neraiškiojo samprotavimo, lingvistinio aproksimavimo ir neraiškiojo agregavimo algoritmų.
- H8. Sprendžiant  $PK_{IVP}$  planavimo problemą būtina atsižvelgti ir į įmonės verslo paslaugos rezultatų, pateikiamų paslaugos gavėjui, kokybę.
- H9. Tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansambliai, skirtam spręsti konfliktus tarp skirtingų suinteresuotųjų šalių iškeltų reikalavimų ir padedančiam spręsti  $PK_{IVP}$  planavimo problemą, realizuoti pakanka objektinės programų sistemos architektūros.

### ***Tyrimų metodika***

Programų sistemų inžinerijoje paslaugų kokybės planavimo problema yra mažai tirta, tad disertacijoje atliekamas ieškomasis (Chomsky, 2012) (angl. *exploratory*) tyrimas. Ieškomaisiais tyrimais nagrinėjami objektai, apie kuriuos mažai kas žinoma. Ieškomajam tyrimui būdingas inkrementinis tyrimo būdas, tad daug kartų tikslinta ir performuluota sprendžiama problema, prielaidos ir hipotezės. Šio tyrimo dėmesys sutelktas į įmonės verslo paslaugos kokybės planavimą atsižvelgiant į skirtingų suinteresuotųjų šalių keliamus subjektyvius ir prieštarigus išankstinius reikalavimus.

Siekiant tiksliai sustruktūruoti problemą, geriau suvokti kontekstą, kuriame keliami paslaugų kokybės planavimo problema, reikia atlikti išsamią literatūros šaltinių analizę. Per šią analizę apžvelgiama mokslinė literatūra kokybės, ypač paslaugos kokybės, klausimais. Remiantis gautais rezultatais tikslintas problemos formulavimas, tyrimo prielaidos, hipotezės ir įrodytos H1, H3 ir H8 hipotezės. Paskui sukonstruota sąvokų sistema ir konstravimu įrodyta H2 hipotezė. Tada  $PK_{IVP}$  planavimo problema performuluota kaip matematinė problema ir atliktas antrasis literatūros šaltinių analizės etapas. Per jį nagrinėti narystės funkcijos konstravimo klausimai ir rinkta medžiaga apie metodikos  $PK_{IVP}$  planavimo problemai fuzifikuoti kūrimą. Parengus metodiką, konstravimu įrodyta H5 hipotezė. Toliau sukurtas  $PK_{IVP}$  modelis planavimo problemai spręsti ir konstravimu įrodyta H4 hipotezė. Remiantis gautais rezultatais, kurta bendroji  $PK_{IVP}$  planavimo problemos sprendimo strategija. Per paskui einantį trečiąjį literatūros šaltinių analizės etapą atlikta koncepcinė neraiškiojo samprotavimo formalizmų analizė, siekta parinkti formalizmą, labiausiai tinkantį išvedimui medžio struktūrose, aprašančiose  $PK_{IVP}$  atributus. Tada sukurti algoritmai ir programų sistemos architektūra, H9 hipotezė įrodyta konstravimu. Paskui parengtas eksperimentinio tyrimo planas ir metodika ir atliktas eksperimentinis tyrimas, kurio tikslas – įrodyti H6 ir H7 hipotezes. Galiausiai disertacinio tyrimo rezultatai apibendrinti ir padarytos išvados.

Disertacijos tyrimams pasirinkti mišrūs metodai (Creswell, 2003), jungiantys kiekybinius ir kokybinius tyrimo metodus. Taikant mišrius metodus renkami tiek skaitmeniniai duomenys (pvz., gauti per eksperimentus), tiek tekstinė informacija (pvz., surinkta per literatūros analizę), taigi problemai spręsti naudojama ir kiekybinė, ir kokybinė informacija.



Skirtingais literatūros šaltinių analizės etapais taikyti skirtingi metodai. Pirmuoju literatūros analizės etapu taikytas sisteminės literatūros apžvalgos (SLA) metodas (angl. *Systematic Literature Review*) ir interpretuojanti surinktų kokybinių duomenų sintezė. Sisteminė literatūros apžvalga siekiama atsakyti į tiksliai suformuluotą tyrimo klausimą (arba kelis panašius klausimus). Ji padeda surasti, kritiškai įvertinti ir apibendrinti informaciją, pateiktą konkrečius tyrimus aprašančiuose literatūros šaltiniuose. Kiekvienam tyrimo klausimui reikia parengti apžvalgos proceso protokolą, kuriame nustatomas detalus šio proceso planas, paieškos kriterijai, šaltinių atrankos ir jų reikšmingumo įvertinimo būdai, reikiamų duomenų gavimo ir apibendrinimo būdai ir pan. Suformuluoti paieškos klausimai, apžvalgos protokolai ir rezultatai pateikti 1-ame disertacijos priede.

Per sisteminę literatūros apžvalgą surinktus kokybinius duomenis (šiuo atveju tekstus) reikia sujungti, apibendrinti ir interpretuoti. Tai nėra paprasta, nes skirtingi autoriai laikosi skirtingų teorinių, metodologinių ir terminologinių tradicijų, daro skirtingas ontologines prielaidas, o teiginius kartais galima suprasti nevienareikšmiai. Esti du duomenų apibendrinimo (dar vadinamo sinteze) būdai – integravimas ir interpretavimas. Integravimas tinka kiekybiniam duomenims apibendrinti, kai nagrinėjamos sąvokos yra gerai apibrėžtos ir iširtos. Tačiau jis netinka ieškomajam tyrimui. Šiuo atveju reikalinga interpretuojanti duomenų sintezė, susijusi su sąvokų ir teorijų kūrimo ir specifikuojamo procesu. Per disertacinį tyrimą taikant šį metodą naudotos technikos: performulavimas (angl. *reciprocal translation*), kai visi integruojami teiginiai išreiškiami tomis pačiomis sąvokomis ir terminais; deskriptyvinė sintezė (angl. *descriptive synthesis*), naudojama viena kitą papildančioms sąvokoms jungti į vieną, ir prieštaravimų išryškėjimas (angl. *refutational synthesis*), naudojamas iširti ir išsiaiškinti skirtinguose literatūros šaltiniuose aprašytų tyrimų prieštaravimams.

Antruoju ir trečiuoju literatūros šaltinių analizės etapais atliktas fuzifikavimo metodų (ypač narystės funkcijos konstravimo būdų) tyrimas ir įvairių neraiškiojo samprotavimo formalizmų ir metodų tyrimas. Šiais etapais literatūros analizė jungta su tyrimo konstravimu metodu (angl. *constructive research*).

Tyrimo konstravimu metodas yra tyrimo procedūra, generuojanti naujas konstrukcijas, skirtas realaus pasaulio problemoms spręsti ir padaryti tam tikrą įnašą į nagrinėjamos disciplinos teoriją (Lukka, 2003; Crnkovic, 2010). Konstrukcijos – modeliai, diagramos, metodai, algoritmai ir daugelis kitų artefaktų. Jos yra išrastos, sukurtos, o ne atrastos. Įrodymas konstravimo būdu reiškia, kad sukuriamas arba surandamas objektas, patvirtinantis teiginio teisingumą. Šioje disertacijoje tyrimo konstravimu metodas taikomas, kai kuriama PK<sub>IVP</sub> planavimo problemos fuzifikavimo metodika; taip įrodoma H5 hipotezė. Šis tyrimo metodas pritaikytas ir kuriant PK<sub>IVP</sub> modelį planavimo problemai spręsti; taip įrodoma H4 hipotezė.

Kuriant sąvokų sistemą taikyta teorijos konstravimo metodologija (Steiner, 1988). Teorijos konstravimas – bandymas sujungti viską, kas yra žinoma iš literatūros šaltinių (teorinių, matematinių, empirinių tyrimų), į bendrą darnią žinių visumą (Wacker, 1998). Sąvokų sistema yra bet kurios teorijos komponentas, o šiuo atveju ji įtraukiama į PK<sub>IVP</sub> planavimo teoriją, kurios fragmento sukūrimas – pagrindinis iš teorinių atlikto tyrimo rezultatų.

Esti įvairių būdų konstruoti sąvokų sistemą. Šiame tyrime taikyti koncepciniai metodai, iš jų ir koncepcinė analizė. Per koncepcinę analizę nagrinėjami konceptai, terminai, kintamieji, konstrukcijos, apibrėžtys, teiginiai, hipotezės ir teorijos, tikrinamas jų aiškumas ir rišlumas, kritiškai įvertinami loginiai jų ryšiai, nustatomos prielaidos ir pasekmės

(Machado ir Silva, 2007). Konceptinės analizės tikslas – pagerinti koncepcinį nagrinėjamos srities aiškumą. Pagrindinis konceptinės analizės objektas šioje disertacijoje – paslaugų kokybės modeliavimo būdai. Konceptinė analizė leidžia atsakyti į šiuos klausimus: kiek yra išplėtota saityno paslaugomis grindžiamų sistemų kūrimo paradigma, kokie yra dominuojantys paslaugų kokybės modeliavimo būdai, kokie analizuojamų būdų koncepciniai panašumai ir skirtumai, taip pat trūkumai ir priežastys, dėl kurių jie netinka adekvačiai modeliuoti paslaugų kokybei paslaugų stiliaus architektūros įmonių sistemoje.

Eksperimentinėje tyrimo dalyje taikytas kontroliuojamo eksperimento metodas grindžiamas konkretaus atvejo analize (angl. *case study*). Nepaisant galimų paklaidų, tai vienintelis tinkamas tyrimo metodas, leidžiantis disertacijoje eksperimentiškai patvirtinti atliekamo tyrimo rezultatus, nes disertacijos tyrimas yra nedidelės apimties tiek finansiškai, tiek laiko sąnaudų prasme, mat yra per brangu ir iš esmės neįmanoma užtikrinti didelio statistinio patikimumo ir didelio kiekybinių matavimų statistinio reikšmingumo. Iš viso disertacijoje nagrinėjami trys skirtingi atvejai: lingvistinio aproksimavimo, perspektyvų integravimo ir požiūrių integravimo.

### **Rezultatai**

Disertacijos tyrimo rezultatai yra šie:

1. Sukurta sąvokų sistema, sudaranti tolesnių teorinių tyrimų koncepcinį pagrindą ir leidžianti tiksliai ir nuosekliai aprašyti paslaugomis grindžiamą įmonių sistemą, įmonės verslo paslaugą, paslaugos kokybę, šios kokybės planavimo problemą ir modelius, metodus ir algoritmus šiai problemai spręsti.
2. Įmonės verslo paslaugos kokybės planavimo problema yra aprašyta kaip matematinė problema ir pateikta šios problemos fuzifikavimo metodika.
3. Sukurtas specializuotas paslaugos kokybės modelis, o remiantis juo sukurtas metodų ansamblis, aprašytas išsamių algoritmų forma.
4. Sukurta ir UML diagramomis aprašyta programų sistemos architektūra, kurioje realizuotas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis įmonės verslo paslaugos kokybės planavimo problemai spręsti.

### **Praktinė vertė**

Per disertacinį tyrimą parengta problemos fuzifikavimo metodika gali būti pritaikyta daugeliui pramonės projektų. O programų sistemos architektūra, kurioje pritaikytas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis įmonės verslo paslaugos kokybės planavimo problemai spręsti, gali būti bazinė (etaloninė) architektūra įvairiems projektams, kuriuose siekiama pritaikyti tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblius.

### **Mokslinis naujumas**

Disertacinis darbas yra vienas iš pirmųjų, nagrinėjančių, kaip pritaikyti neraiškiųjų aibių teoriją ir neraiškiają logiką įmonės verslo paslaugų (iš dalies ir visų paslaugų stiliaus sistemų paslaugų) kokybei planuoti. Disertacijos mokslinis įnašas į informatikos inžinerijos sritį yra trejopas: a) sukurta sąvokų sistema, leidžianti tiksliai ir nuosekliai aprašyti paslaugomis grindžiamą įmonės sistemą, įmonės verslo paslaugą, paslaugos kokybę, šios

kokybės planavimo problemą ir modelius, metodus ir algoritmus šiai problemai spręsti; b) parodyta, kad įprasti neraiškiosios logikos metodai (pavyzdžiui, Mamdani implikacija), taikomi neraiškiesiems valdikliams realizuoti ir diagnostikos uždaviniams spręsti, netinka kokybei planuoti; c) parodyta, kaip į visumą sujungti semantinio išvedimo ir agregavimo metodus realizuojant lingvistinio neraiškiųjų samprotavimų procedūras.

### ***Aprobavimas***

Pagrindiniai disertacijos rezultatai pristatyti ir aprobuoti šiose konferencijose:

1. 6-oji tarptautinė konferencija „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, [DatAMSS], 2014 m. gruodžio 4–6 d., Druskininkai, Lietuva;
2. 11-oji tarptautinė „Baltijos duomenų bazių ir informacinių sistemų“ konferencija [Baltic DB&IS 2014], 2014 m. birželio 8–11 d., Talinas, Estija;
3. 55-oji Lietuvos matematikų draugijos konferencija, 2014 m. birželio 26–27 d., Vilnius, Lietuva;
4. 2-oji tarptautinė „Verslo ir verslo sistemų konferencija“ [BSC 2013], Rygos technikos universitetas, 2013 m. lapkričio 6–7 d., Ryga, Latvija;
5. 54-oji Lietuvos matematikų draugijos konferencija, 2013 m. birželio 19–20 d., Vilnius, Lietuva;
6. 16-oji Lietuvos LIKS konferencija „Kompiuterininkų dienos – 2013“, 2013 m. rugsėjo 19–21 d., Šiauliai, Lietuva;
7. 5-oji tarptautinė konferencija „Duomenų analizės metodai programų sistemoms“, [DatAMSS], 2013 m. gruodžio 5–7 d., Druskininkai, Lietuva;
8. 10-oji tarptautinė „Baltijos duomenų bazių ir informacinių sistemų“ konferencija [Baltic DB&IS 2012], 2012 m. liepos 8–11 d., Vilnius, Lietuva;
9. 2-asis tarptautinis doktorantų seminaras „Informatikos ir informatikos inžinerijos mokymo tyrimai: metodologijos, metodai ir įgyvendinimas“, 2011 m. lapkričio 30d.–gruodžio 4 d., Druskininkai, Lietuva;
10. 15-oji mokslinė Lietuvos kompiuterininkų draugijos konferencija „Kompiuterininkų dienos – 2011“, 2011 m. rugsėjo 22–24 d., Klaipėda, Lietuva.

### ***Publikacijos***

Disertacijos tema paskelbtos šios publikacijos:

Straipsniai žurnaluose:

1. Lupeikienė, A., Miliauskaitė, J., Čaplinskas, A. (2013). A Model of View-Based Enterprise Business Service Quality Evaluation Framework. *Informatica*, Vol. 24, Iss. 4, p. 543–560.
2. Miliauskaitė, J. (2015). Some Methodological Issues Related to Preliminary QoS Planning in Enterprise Systems. *Baltic Journal of Modern Computing*, Vol. 3, No. 3, p. 149–163.
3. Miliauskaitė, J., Čaplinskas, A. (2011). Pasaulinio saityno paslaugų kompozicijų skaidymas į modulius. *Informacijos mokslai*, t. 56, p. 73–84.
4. Lupeikienė, A., Miliauskaitė, J., Čaplinskas, A. (2013). Critical analysis and elaboration of three prevailing approaches to model quality of service. *Informacijos mokslai*, t. 65, p. 111–119.

Straipsniai kituose leidiniuose:

5. Miliauskaite, J. (2014). The Membership Function Construction in View-based Framework. *Proceedings of the 11th International Baltic Conference on Database and Information Systems [Baltic DB&IS 2014]*, Tallinn: Tallinn University of Technology Press, p. 125–132.
6. Lupeikiene, A., Miliauskaite, J., Caplinskas, A. (2013). A View-based Approach to Quality of Service Modelling in Service-oriented Enterprise Systems. *Proceedings of the 2nd International Business and Systems Conference BSC 2013*, Riga: Riga Technical University, 2013. Prieiga internete: <<https://bsc2013-journals.rtu.lv/article/view/bsc.2013.2/238>>.
7. Miliauskaitė, J. (2012). Quality of Service: Concept Analysis. Čaplinskas, A., Dzemyda, G., Lupeikienė, A., Vasilecas, O. (eds) *Baltic DB&IS 2012: Local Proceedings and Doctoral Consortium of Baltic DB&IS 2012*, CEUR Workshop Proceedings, vol. 924. Prieiga internete: <http://ceur-ws.org/Vol-924/paper24.pdf>. (Spausdinta leidinio versija: Databases and Information Systems. Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems. Local Proceedings, Materials of Doctoral Consortium. A. Čaplinskas, G. Dzemyda, A. Lupeikienė, O. Vasilecas (Eds.). Vilnius: Žara, 2012), p. 235–240.

### ***Darbo apimtis***

Disertacija parašyta anglų kalba. Ją sudaro 7 skyriai (su įvadu), išvados, bibliografijos sąrašas, paskelbtų publikacijų sąrašas ir priedai. Kiekvienas skyrius pradedamas skyriaus santrauka ir baigiamas skyriaus išvadamis (išskyrus 1, 2 ir 4 skyrius).

**1 SKYRIUS** („Įvadas“) yra įvadinis. Aprašomas tyrimo kontekstas, pateikiama problemos formuluotė, aptariama tyrimo motyvacija, tikslai ir uždaviniai, apibrėžiamos prielaidos, tyrimo klausimai ir hipotezės, aprašoma tyrimo metodika, rezultatai, disertacijos mokslinis naujumas ir praktinė vertė. Skyriaus gale yra pateikiama informacija apie darbo rezultatų aprobavimą ir publikavimą.

**2 SKYRIUJE** („Dalykinis įvadas“) pateikiamas glaustas disertacijoje vartojamų sąvokų aprašas, trumpai apžvelgiami kokybės teorijos, neraiškių aibių teorijos ir neraiškiosios logikos pagrindai.

**3 SKYRIUS** („Tyrimo srities esamos būklės analizė“) yra analitinis. Šiame skyriuje pateikiama kritinė darbų apie paslaugų kokybės modeliavimą, problemos fuzifikavimą ir neraiškiojo samprotavimo metodus analizė.

**4 SKYRIUJE** („Sąvokų sistemos sukūrimas“) toliau kuriama sąvokų sistema. Nagrinėjami terminai ir sąvokos, leidžiantys formaliai aprašyti  $PK_{IVP}$  planavimo problemą ir modelius, metodus ir algoritmus šiai problemai spręsti.

**5 SKYRIUJE** („Problemos fuzifikavimo metodikos sukūrimas“) siūloma metodika, kaip atlikti problemos fuzifikavimo procesą, aprašyti proceso žingsniai ir pateiktas išsamus šios metodikos taikymo pavyzdys.

**6 SKYRIUJE** („Įmonės verslo paslaugos kokybės planavimas ir modeliavimas“) pristatomi pagrindiniai teoriniai tyrimo rezultatai. Skyriuje formalizuota  $PK_{IVP}$  planavimo problema, aprašytas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis  $PK_{IVP}$  planavimo problema spręsti, detalai aprašyti siūlomi algoritmai. Aprašyta siūloma programų sistemos architektūra ir aptarti įvairūs  $PK_{IVP}$  planavimo sistemos realizacijos klausimai.

**7 SKYRIUJE** („Eksperimentinis tyrimas“) aprašomas atliktas eksperimentinis tyrimas ir pateikiami jo rezultatai. Kad pademonstruotume neraiškiuosius samprotavimus, lingvis-

tinį aproksimavimą, perspektyvų integravimą ir požiūrių integravimą, atlikti keturi atvejo analizės tyrimai.

**Išvadose** pateikiamos darbo išvados.

**Prieduose** pateikiami atliktos sisteminės literatūros apžvalgos klausimai, apžvalgos protokolas ir rezultatai. Papildomi priedai (programos tekstai ir skaičiavimų rezultatai) dėl didelės apimties išskirti į laikmeną, kuri pridedama prie disertacijos.

## 2. Dalykinis įvadas

Šioje disertacijos dalyje trumpai apžvelgiami kokybės teorijos, neraiškiųjų aibių teorijos ir neraiškiosios logikos pagrindai bei pateikiamos pagrindinės šių tyrimų sričių sąvokos. Aptariamos tokios sąvokos, kaip produktas, produkto kokybė, paslauga, paslaugos kokybė, IHIP charakteristikos ir kitos. Remiantis Garvinu (Garvin, 1987; Garvin, 1988; Garvin, 1984) ir kitais autoriais, apibendrintos skirtingos kokybės apibrėžtys ir išskirti skirtingi požiūriai į produkto kokybę:

**1. Transcendentinis (arba metafizinis) požiūris.** „Kokybė“ yra tapatinama su „įgimtu tobulumu“. Tam tikro produkto kokybė yra santykinė, kadangi tik aproksimuoja (tam tikra dalimi) idealią kokybę.

**2. Produktu grindžiamas požiūris.** Pagal šį požiūrį kokybė yra vidinė ypatybė ir apibrėžiama kaip tikslus ir matuojamas parametras. Šis požiūris neatsižvelgia į konkretaus vartotojo pageidavimus, manoma, kad tam tikros ypatybės buvimas ar nebuvimas rodo aukštą kokybę.

**3. Vartotoju grindžiamas požiūris.** Šis požiūris grindžiamas idėja, kad kokybė yra individualus dalykas – tai, kas geriausiai tenkina vartotojų pageidavimus, priskiriama prie aukščiausios kokybės.

**4. Gamyba grindžiamas požiūris.** Kokybė yra apibrėžiama kaip produkto atitikimas reikalavimų specifikacijai, kurioje reikalavimai dažniausiai yra nurodomi techniniais terminais. Kaip ir produktu grindžiamas požiūris, šiuo požiūriu kokybė apibrėžiama objektyviomis ir matuojamomis sąvokomis, tik pagrindinis dėmesys skiriamas ne tam tikrų produkto ypatybių buvimui arba nebuvimui, o produktų, kuriuose nėra klaidų (defektų), gamybai. Vartotojo poreikiais rūpinamasi tik tuo atveju, jeigu jie yra nurodyti reikalavimų specifikacijoje.

**5. Verte grindžiamas požiūris.** Šis požiūris kokybę apibrėžia išlaidų ir kainų sąvokomis, t. y. kaip tam tikrą tobulumo dalį už priimtina kainą. Tai yra kompromisas tarp išlaidų ir kokybės, t. y. kokybės teikiama tiek, kiek vartotojas pasiruošęs už ją mokėti.

Pasiūlyta daugybė skirtingų kokybės modelių, jie apžvelgti darbe (Santos, 2003). Visi šie modeliai grindžiami minėtais požiūriais. Skirtingų ir dažnai konkuruojančių požiūrių buvimas iškelia tokią kokybės planavimo problemą: „Kaip atsižvelgti į visus požiūrius ir išspręsti susidariusį konfliktą tarp inžinerinio, gamybos, rinkodaros ir kitų aspektų konkretaus produkto atveju?“

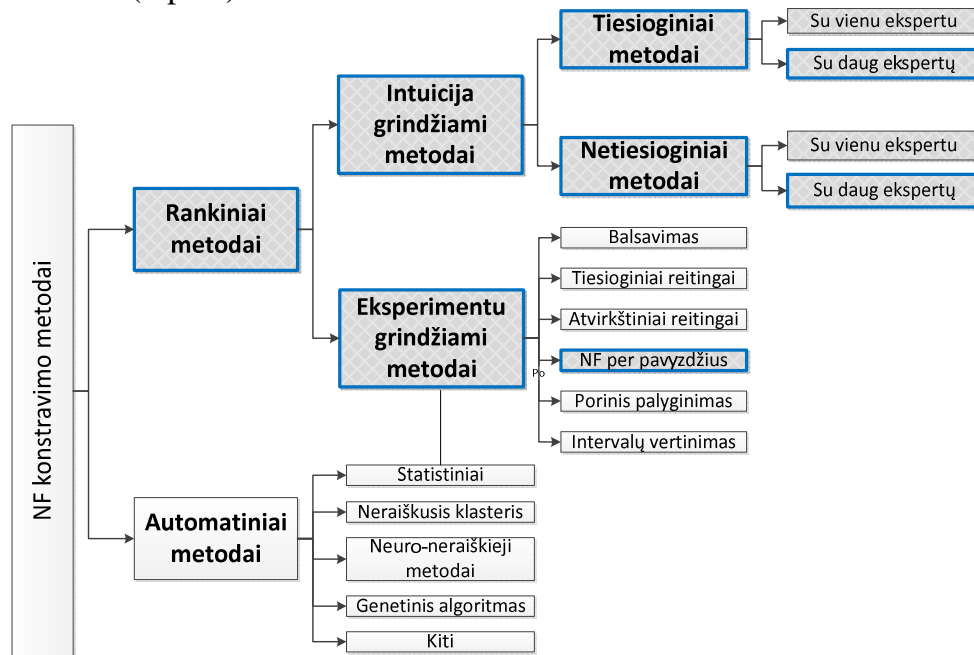
Kadangi disertacijos tyrime nuspręsta kokybei modeliuoti ir kokybės reikalavimų konfliktams spręsti taikyti neraiškiųjų aibių teoriją, pateiktos šios srities sąvokos (neraiškioji aibė, neraiškūs kintamasis, neraiškūs vektorius, fuzifikavimas, defuzifikavimas, lingvistinis aproksimavimas, neraiškūs agregavimas ir kt.).

### 3. Tyrimo srities esamos būklės analizė

Šiame skyriuje pateikiama kritinė darbų apie paslaugų kokybės modeliavimą, problemos fuzifikavimą ir neraiškiojo samprotavimo metodus analizė.

Pagrindinis pirmosios šios skyriaus dalies (paslaugų kokybės modeliavimo metodų analizės) tikslas – patvirtinti H1, H3 ir H8 hipotezes. Be to, kuriama sąvokų sistema ir pateikiamos terminų apibrėžtys, grindžiamos apžvelgtais literatūros šaltiniais.

Antrojoje skyriaus dalyje nagrinėjami literatūros apie problemos fuzifikavimo metodus šaltiniai ir renkama medžiaga PK<sub>I</sub>VP planavimo problemos fuzifikavimo metodikai parngti. Atliktos analizės pagrindu buvo susisteminti narystės funkcijos (NF) konstravimo metodai (1 pav.).



1 pav. Narystės funkcijos (NF) konstravimo metodai

Analizės metu išnagrinėjami įvairūs neraiškiųjų samprotavimų metodai, apžvelgti skirtingi šiame samprotavime naudojami neraiškiosios implikacijos operatoriai (Zadeh, Mamdani, Larsen, Łukasiewicz, Gödel, Goguen ir kt.).

Trečiojoje skyriaus dalyje pateikiama neraiškiųjų samprotavimų formalizmo analizė, siekiama pasirinkti geriausiai tinkantį išvedimui medžio struktūrose, kuriomis aprašoma PK<sub>I</sub>VP atributų hierarchija.

Pagrindinės tyrimo srities esamos būklės analizės išvados yra šios:

1. Literatūros analizė išryškino skirtumus tarp saitynu grindžiamų PSA ir PSIA ir pagrindė sprendimą atlikti tik PSIA verslo paslaugų kokybės tyrimą, nes kokybės planavimo problema PSA kontekste yra tikimybinė ir negali būti išspręsta šioje disertacijoje siūlomais metodais.
2. Per analizę nebuvo rasta jokios informacijos, kuri paneigtų H1 ir H3 hipotezes. T. y. nė viename šaltinyje neneigiama, kad visos esamos produkto kokybės samprotos gali būti taikomos paslaugoms. Taip pat nebuvo rasta šaltinių, aprašančių PK<sub>I</sub>VP modeliavimo metodą, kuris leistų suprojektuoti tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblį reikalavimų, suformuluotų skirtingų suinteresuotųjų šalių, konfliktams spręsti.

3. Atlikta analizė taip pat parėmė H8 hipotezę, kad vertinant paslaugos kokybę būtina įvertinti rezultatų, pateikiamų paslaugos vartotojui, kokybę.
4. Literatūros analizė parodė, kad PK<sub>IVP</sub> planavimo problemos fuzifikavimo metodas priklauso nuo konkrečios ĮVP. Kadangi nėra nė vieno metodo, kuris tiktų bet kokiai ĮVP, darytina išvada, kad reikalinga nuo problemos nepriklausanti metodika PK<sub>IVP</sub> planavimo problemai fuzifikuoti. Taigi analizė parėmė H5 hipotezę.
5. Neraiškiųjų samprotavimų metodų analizė parodė, kad dauguma esamų metodų taikytini tik valdikliuose ir diagnostikos uždaviniams spręsti. Juose samprotavimas naudojamas tam, kad duotoji reikšmė būtų priskirta vienam arba kitam lingvistiniam termui. Todėl darytina išvada, kad samprotavimams apie lingvistinius terminus medžio struktūrose, aprašančiose PK<sub>IVP</sub> atributų hierarchiją, būtina jungti neraiškiosios implikacijos ir semantinio išvedimo technikas. Semantiniu išvedimu vadiname skaičiavimą neraiškiaisiais skaičiais.

#### 4. Sąvokų sistemos sukūrimas

Šiame skyriuje tęsiamas sąvokų sistemos kūrimas, pradėtas ankstesniame skyriuje. Konstruktyviai apibrėžiamos šios sąvokos: kokybės atributų hierarchiją modeliuojantis neraiškūs IR medis, perspektyva, nuostata, požiūris ir ĮVP kokybė. Sąvokų semantikai aprašyti naudojama aibių teorijos grindžiama referentinė semantika. Terminai „nuostata“, „požiūris“ ir „perspektyva“ apibrėžti analogiškai, kaip tai yra daroma tikslais grindžiamoje metodologijoje (angl. *goal-oriented methodology*) (Ross ir Schoman, 1977) ir požiūrių integravimo metodologijoje (angl. *view reconciliation methodology*) (Leite, 1989). Apibrėžtyse vartojamos kokybės atributo ir lingvistinio vektoriaus sąvokos.

Kadangi PK<sub>IVP</sub> planavimo problema nagrinėjama kaip neraiškioji problema, kokybės atributams priskiriami lingvistiniai kintamieji  $X = \{\chi_1, \dots, \chi_n\}$  su lingvistinių terminų aibe  $L_{tr} = (\text{netenkinamas}, \dots, \text{tenkinamas})$ . Kiekvienai ĮVP projektuotojai gali pasirinkti skirtingus kokybės atributus, lingvistinius terminus ir lingvistines žymes. Pavyzdžiui, galima naudoti žymes „labai žema kokybė“ (atitinka lingvistinį terminą „netenkinamas“), „žema kokybė“, „vidutinė kokybė“, „aukšta kokybė“, „labai aukšta kokybė“ (atitinka lingvistinį terminą „tenkinamas“).

*Perspektyva* suprantama kaip nuo suinteresuotosios šalies vaidmens priklausantis ĮVP kokybės vertinimo požiūrio taškas. Išskirtos aštuonios perspektyvos:

- **Pavaizdavimo perspektyva  $\pi_1$**  susijusi su informacijos pateikimu paslaugos vartotojui (informacijos tikslumas, išsamumas, patogus vizualizavimas ir pan.).
- **Transportavimo perspektyva  $\pi_2$**  yra svarbi kompiuterinio tinklo administratoriams; ji susijusi su duomenų perdavimo tinklu parametrais (atsako laikas, pralaidumas, tinklo patikimumas ir kt.).
- **Infrastruktūros perspektyva  $\pi_3$**  yra svarbi PSIS platformos administratoriams; ji susijusi su platformos našumu, patikimumu, sauga ir pan.
- **Saityno paslaugų perspektyvą  $\pi_4$**  aktuali saityno paslaugų kūrėjams; ji susijusi su tokiomis saityno paslaugų ypatybėmis kaip patikimumas, sauga, pranešimų siuntimas, atsiliepiamumas ir kt.
- **Programos komponento perspektyva  $\pi_5$**  yra svarbi programinės įrangos kūrėjams. Paprastai ĮVP funkcionalumas yra realizuotas tam tikrame programinės įrangos komponente. Priklausomai nuo platformos, komponentai realizuojami skirtingai, pavyzdžiui, kompanijos „Microsoft“ produkte „Windows Communica-

tion Foundation“ jie įgyvendinti kaip paslaugų klasės. Programos komponento perspektyva nagrinėja nefunkcines programinės įrangos ypatybes.

- **Duomenų perspektyva  $\pi_6$**  yra svarbi duomenų administratoriams. Turimi omenyje duomenys, saugomi įmonės duomenų bazėse, XML dokumentuose ir pan. PSIS duomenų paslaugose (Bean, 2011) saityno paslaugos naudojamos duomenims ir operacijoms su jais inkapsuliuoti. Duomenų perspektyva susijusi su inkapsuliuotų duomenų kokybe.
- **Dalykinės srities perspektyva  $\pi_7$**  yra svarbi verslo srities ekspertams. Ji nagrinėja kokybę, priklausančią nuo konkrečios verslo srities (pavyzdžiui, internetinės bankininkystės). Vienose verslo srityse gali būti svarbesnės vienokios kokybės charakteristikos, kitose – kitokios.
- **Socioekonominė perspektyva  $\pi_8$**  yra aktuali verslo ekspertams, nagrinėjantiems verslo, ekonominius arba socialinius aspektus. Čia svarbiausios kokybės charakteristikos yra mokėjimo būdas, teisiniai ribojimai ir pan. Disertacijoje nenagrinėjamas socioekonominės perspektyvos skaidymas į kelias detalesnes perspektyvas.

Šis sąrašas yra tik iliustratyvus, nes kiekvienos konkrečios ĮVP projektuotojai gali sudaryti savo perspektyvų sąrašą.

Spręsdama, kokia turėtų būti paslaugos kokybė, kiekviena suinteresuotoji šalis atsižvelgia ne tik į savo vaidmenį, bet ir į savo turimą bendrąją kokybės sampratą. Ši samprata vadinama *nuostata* (angl. *viewpoint*). Sprendimai turi būti klasifikuojami pagal perspektyvas kiekvienai nuostatai atskirai.  $PK_{\text{ĮVP}}$  planavimo kontekste šie sprendimai turi būti vaizduojami kaip lingvistinis vektorius. Disertacijoje išskiriamos šios nuostatos:

- **metafizinė nuostata  $\omega_1$** , pagal kurią kokybė suvokiama kaip tam tikras dalinis idealas, kryptis link idealo, nors pats idealas gali būti ir nepasiekiamas,
- **kaina grindžiama nuostata  $\omega_2$** , pagal kurią kokybė reiškia tam tikrą tobulumo dalį už priimtina kainą,
- **verte grindžiama nuostata  $\omega_3$** , pagal kurią paslaugos kokybė priklauso nuo paslaugos vartotojo vertės supratimo ir pasirinkimo, kas yra geriausia,
- **pragmatinė nuostata  $\omega_4$** , pagal kurią paslaugos kokybė priklauso nuo to, ar paslauga tenkina jos vartotojo poreikius, taigi nuo paslaugos naudojimo tikslų ir siekių,
- **paslaugos teikėjo nuostata  $\omega_5$** , pagal kurią paslaugos kokybė reiškia paslaugos atitikimą reikalavimams, išreikštiems verslo arba techniniais terminais,
- **projektuotojo nuostata  $\omega_6$** , pagal kurią paslaugos kokybė aprašoma matuojamomis vidinėmis paslaugos ypatybėmis; kuo didesnė tam tikro atributo reikšmė, tuo aukštesnė paslaugos kokybė.

Šis sąrašas taip pat yra tik iliustratyvus, nes kiekvienos konkrečios ĮVP projektuotojai gali sudaryti savo nuostatų sąrašą.

Kaip ir perspektyvų atveju, nuostatomis grindžiami sprendimai dėl ĮVP kokybės turi būti vaizduojami lingvistiniais vektoriais. Kiekvienai nuostatai jos vektorius agreguoja perspektyvų, susijusių su šia nuostata, vektorius.

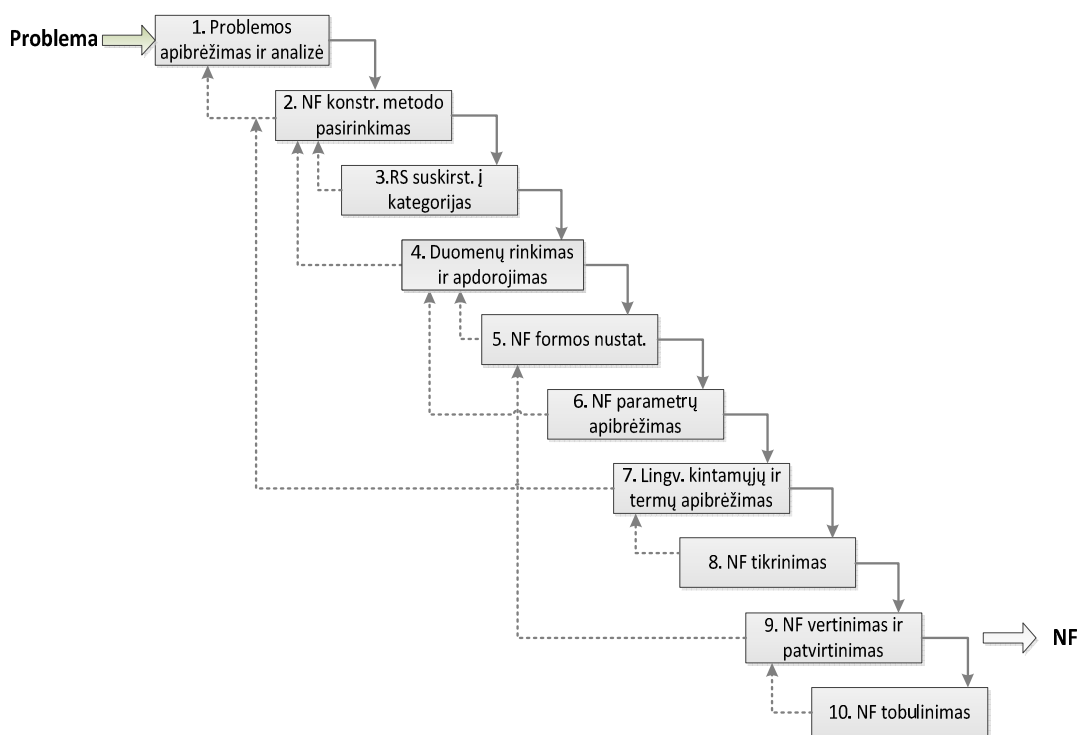
*Požiūris* (angl. *view*) apibrėžiamas kaip nepriklausomas nuo nuostatų ir perspektyvų sprendimas apie tai, kokia ĮVP kokybė yra priimtina. Šis sprendimas vaizduojamas lingvistiniu vektoriumi, kuris gaunamas agreguojant nuostatų lingvistinius vektorius.

*Įmonės verslo paslaugos kokybė*  $PK_{\text{ĮVP}}$  apibrėžiama kaip lingvistinis vektorius, gautas iš požiūrio lygmens sprendimo apie ĮVP priimtina kokybę.



## 5. Problemos fuzifikavimo metodikos sukūrimas

Šiame skyriuje siūloma metodika, kaip atlikti problemos fuzifikavimą. Problemos fuzifikavimas suprantamas kaip narystės funkcijos (NF) konstravimas atsižvelgiant į leistiną subjektyvumo laipsnį, įvesties duomenų šaltinius, duomenų rinkimo metodus ir kt. Nepriklausantis nuo problemos narystės funkcijos konstravimas (2 pav.) yra grindžiamas idėjomis, aprašytomis (Anonymous, 2010; Ragin, 2000). Konstravimo procesą sudaro 10 žingsnių. Metodika numato grįžimus prie ankstesnių žingsnių gautiems rezultatams patikslinti. Pagal siūlomą metodiką, pirmiausia reikia nuspręsti, kuris nagrinėjamo objekto kokybės atributas bus modeliuojamas ir koks bus NF konstravimo metodas (1 pav.). Paskui reikia išskirti šio kokybės atributo reikšmių srities (RS) kategorijas pagal nustatytus kriterijus. Tuomet renkami ir apdorojami duomenys, pagal juos nustatoma NF forma, apibrėžiami NF parametrai, lingvistiniai kintamieji ir lingvistiniai termai. Paskui konstruojama NF, tikrinama, ar ji tenkina reikalavimų specifikaciją, ir vertinama, ar ji adekvačiai aprašo lingvistinių termų prasmę. 10-as žingsnis (NF tobulinimas) reikalingas tik tais atvejais, kai NF konstruojamos automatiniais metodais. Tam naudojami genetiniai algoritmai, dirbtiniai neuroniniai tinklai ir jų automatinio apmokymo metodai.



2 pav. Narystės funkcijos (NF) konstravimas

Šiame skyriuje pateiktas išsamus narystės funkcijų, skirtų paslaugos kokybės charakteristikoms modeliuoti, konstravimo pavyzdys. Pavyzdyje nagrinėjamas sąskaitų pateikimo paslaugos kūrimas. Apsiribojama kokybės ypatybės „našumas“ atributo „vykdymo laikas“ narystės funkcijos konstravimu.

Problemos fuzifikavimo metodikos sukūrimas įrodo H5 hipotezę, o pateiktas pavyzdys pademonstruoja, kad siūlomą metodiką iš tikrųjų galima sėkmingai pritaikyti. Pavyzdys taip pat parodo, kad neįmanoma visiškai objektyvizuoti fuzifikavimo proceso. Žmogiškasis faktorius vaidina reikšmingą vaidmenį, tad daug kas priklauso nuo pasirinktų eksperimentų.

## 6. Įmonės verslo paslaugos kokybės planavimas ir modeliavimas

Šiame skyriuje pristatomi pagrindiniai teoriniai tyrimo rezultatai. Skyriuje formalizuota PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problema, aprašytas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problemai spręsti, detaliam aprašyti siūlomi algoritmai. Aprašyta siūloma programų sistemos architektūra ir aptarti įvairūs PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo sistemos realizacijos klausimai.

Problema formalizuojama taip. Tegu:

- $X = \{\chi_1, \dots, \chi_n\}$  yra kokybės atributų aibė, modeliuojanti aukšto abstrakcijos lygmens IVP kokybės reikalavimus (pvz., „paslauga turi būti labai patikima“), o  $X_1 \subseteq X$  yra viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributų aibė;
- $\Omega = \{\omega_i \mid 1 \leq i \leq 6\}$  yra nuostatų aibė, o  $\vec{\Omega} = \{\vec{\omega}_i \mid 1 \leq i \leq 6\}$  yra lingvistinių vektorių su svoriais, susietų su šiomis nuostatomis, aibė;
- $\Pi = \{\pi_i \mid 1 \leq i \leq 8\}$  yra perspektyvų aibė, o  $\vec{\Pi} = \{\vec{\pi}_i \mid 1 \leq i \leq 8\}$  yra lingvistinių vektorių su svoriais, susietų su šiomis perspektyvomis, aibė;
- $Q = \{Q_1, \dots, Q_m\}$  yra lingvistinių kintamųjų, susietų su viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributais, aibė, o  $Q' = \{Q'_1, \dots, Q'_p\}$  apatinio hierarchijos lygmens kokybės atributų aibė;
- $\rho_{eqib}^{Q'}$  yra žymėtasis neraiškūs pusiausvyros ryšys (angl. *labelled equilibrium fuzzy relation*)  $Q'$  aibėje (žr. 5-ą formulę);
- $\rho^\Psi$  yra neraiškūs ryšys, siejantis nuostatas, perspektyvas ir lingvistinius kintamuosius, susijusius su viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributais (žr. 2-ą formulę);
- $\rho^{\Psi_k}, 1 \leq k \leq 6$  yra ryšių šeima, gauta projekcijos iš  $\rho^\Psi$  į  $\Pi \times X_1$  būdu (žr. 3-ią formulę);
- $\Phi = \left\{ \tilde{T}_{and}^{\tilde{\psi}_{i,j}^k} \mid 1 \leq k \leq 6, 1 \leq i \leq 8, 1 \leq j \leq n, n \leq N_\Gamma \right\}$ , yra neraiškiųjų IVP kokybės atributų IR medžių šeima, kurioje kiekvienas medis aprašo viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributą  $\chi \in X_1$ , įvertintą iš perspektyvos  $\pi_j \in \Pi$  ir matomą iš nuostatos  $\omega_k \in \Omega$ .

Tuomet PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> planavimo problema formaliai yra aprašoma kortežu

$$\langle \Omega, \vec{\Omega}, \Pi, \vec{\Pi}, X, X_1, Q, \rho^\Psi, X_2, Q', \rho_{eqib}^{Q'}, \Phi, \mathbf{Input}, \mathbf{Output} \rangle, \quad (1)$$

kur

- **Input** yra pradinių kintamųjų iš  $Q$  lingvistinių reikšmių aibė, kitaip tariant, lingvistiniai termai, priskirti IVP apatinio hierarchijos lygmens kokybės atributams, kai vertinami jų priimtinos kokybės lygmenys kiekvienai perspektyvai iš kiekvienos nuostatos;
- **Output** yra galutinis lingvistinis vektorius, aprašantis PK<sub>I<sub>VP</sub></sub>.

Ši problema apibrėžiama PK<sub>I<sub>VP</sub></sub> kokybės modelyje, kurį dabar taip pat apibrėšime.

Pirmiausia apibrėžkime ryšį

$$\rho^\Psi = \{(\psi, \mu_\psi) \mid \mu_\psi : \Psi \rightarrow [0,1], \psi \in \Psi, \Psi \subseteq \Omega \times \Pi \times Q\} \quad (2)$$

kuris sieja nuostatas, perspektyvas ir lingvistinius kintamuosius, susijusius su viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributais. Kiekvienai nuostatai  $\omega_k \in \Omega, 1 \leq k \leq 6$  projekcija iš  $\rho^\Psi$  į  $\Pi \times Q$  sukuria ryšių šeimą

$$\rho^{\Psi_k} = \left\{ \left( \psi_{i,j}^k, \mu_{\Psi_k}(\psi_{i,j}^k) \right) \mid \mu_{\Psi_k}: \Psi_k \rightarrow [0,1], \psi_{i,j}^k = (\pi_i, Q_j), \pi_i \in \Pi, \right. \\ \left. Q_j \in Q, 1 \leq k \leq 6, 1 \leq i \leq 8, 1 \leq j \leq m, m \leq N_Q \right\} \quad (3)$$

kuris sieja perspektyvas, stebimas iš nuostatos  $\omega_k$  ir lingvistinius kintamuosius, susijusius su viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributais, kuriuos nagrinėja ši nuostata. Kitaip tariant, kiekvienai nuostatai turime lingvistinių kintamųjų matricą

$$\Psi_k = \begin{pmatrix} \psi_{1,1}^k & \cdots & \psi_{1,n}^k \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \psi_{8,1}^k & \cdots & \psi_{8,n}^k \end{pmatrix} \quad (4)$$

Dabar apibrėžkime žymėtąjį neraiškųjį pusiausvyros ryšį  $\rho_{eqlb}^{Q'}$  aibėje  $Q'$ :

$$\rho_{eqlb}^{Q'} = \left\{ \left( (Q'_1, Q'_2), \mu_{\rho_{eqlb}^{Q'}}(Q'_1, Q'_2), label \right) \mid \mu_{\rho_{eqlb}^{Q'}}: Q' \rightarrow [0,1], \right. \\ \left. (Q'_1, Q'_2) \in Q' \times Q', value(Q'_1) + value(Q'_2) \leq C_{eqlb}^{(Q'_1, Q'_2)} \leq \right. \\ \left. 1, label \in \{ \ll, \gg, \sim, \ll \sim, \sim \gg \} \right\}, \quad (5)$$

kur  $value(x)$  yra normalizuotas neraiškūs skaičius, kuris reiškia duotąją lingvistinio kintamojo  $x$  lingvistinę reikšmę. Normalizavimas reiškia, kad neraiškieji skaičiai atvaizduojami į intervalą  $[0,1]$ .  $C_{eqlb}^{(x_1, x_2)}$  yra pusiausvyros konstanta, kuri reiškia, kad pointervalių  $\mu_{\Gamma}(x_1)$  ir  $\mu_{\Gamma}(x_2)$  ilgių suma negali viršyti šia konstanta nusakyto ilgio, kuri, savo ruožtu, negali viršyti intervalo  $[0,1]$  ilgio.

Šio ryšio ženklas ( $\ll, \gg, \sim, \ll \sim, \sim \gg$ ) parodo, kaip esant reikalui pakeisti pointervalių  $\mu_{\Gamma}(x_1)$  ir  $\mu_{\Gamma}(x_2)$  ilgius, kad būtų išlaikyta pusiausvyra, apibrėžta per  $C_{eqlb}$ .

Galutinis modelis – tai koordinatėms  $\Omega, \Pi, Q$  aprašoma trimatė diskretinė struktūra, kurios taškuose yra neraiškieji IR medžiai, modeliuojantys kokybės atributų hierarchiją, siejamą su atitinkamu lingvistiniu kintamuoju aprašytu viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributu. Kiekvienoje perspektyvoje viduje apatinio hierarchijos lygmens kokybės atributai gali būti susiejami  $\rho_{eqlb}^{Q'}$  ryšiu, modeliuojančiu skirtingų suinteresuotųjų šalių pateiktų kokybės reikalavimų konfliktus.

Remiantis aprašytu  $PK_{IVP}$  kokybės modeliu, pasiūlytas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis  $PK_{IVP}$  planavimo problemai spręsti, jį sudaro problemos fuzifikavimo, balansavimo, neraiškiojo samprotavimo, lingvistinio aproksimavimo ir neraiškiojo agregavimo algoritmai.

**Neraiškiųjų samprotavimų algoritmo** idėja nusakoma šiuo aprašu:

Kiekvienai nuostatai ir kiekvienai perspektyvai toje nuostatoje ir kiekvienam kokybės atributų medžiui toje perspektyvoje:

1. Paimti lingvistinį termą, atitinkantį neraiškųjį skaičių, priskirtą medžio apatine kairiąja viršūne vaizduojamam kokybės atributui.
2. Su Larseno implikacija, paskaičiuoti aukštesnio lygmens atributo vektoriaus komponento, atitinkančio 1-ame žingsnyje minimą viršūnę, reikšmę (neraiškųjį skaičių).
3. Analogiškai paskaičiuoti kitus šio vektoriaus komponentus.

4. Agreguoti visus paskaičiuotus vektoriaus komponentus panaudojant neraiškiųjų skaičių aritmetinio vidurkio formulę ir gautąją reikšmę priskirti su tuo vektoriumi susietam kokybės atributui.
5. Taikant medžio apėjimo iš kairės į viršų algoritmą, paskaičiuoti visų kitų su tuo medžiu susietų kokybės atributų reikšmes.

Kai apeinami visi vienai perspektyvai priklausantys kokybės atributų medžiai, iš gautų viršutinio hierarchijos lygmens reikšmių suformuojamas šios perspektyvos lingvistinis vektorius. Atlikus samprotavimus su visomis perspektyvomis, jų vektoriams pritaikoma svorinio vidurkio skaičiavimo formulė ir gaunami nuostatų vektoriai.

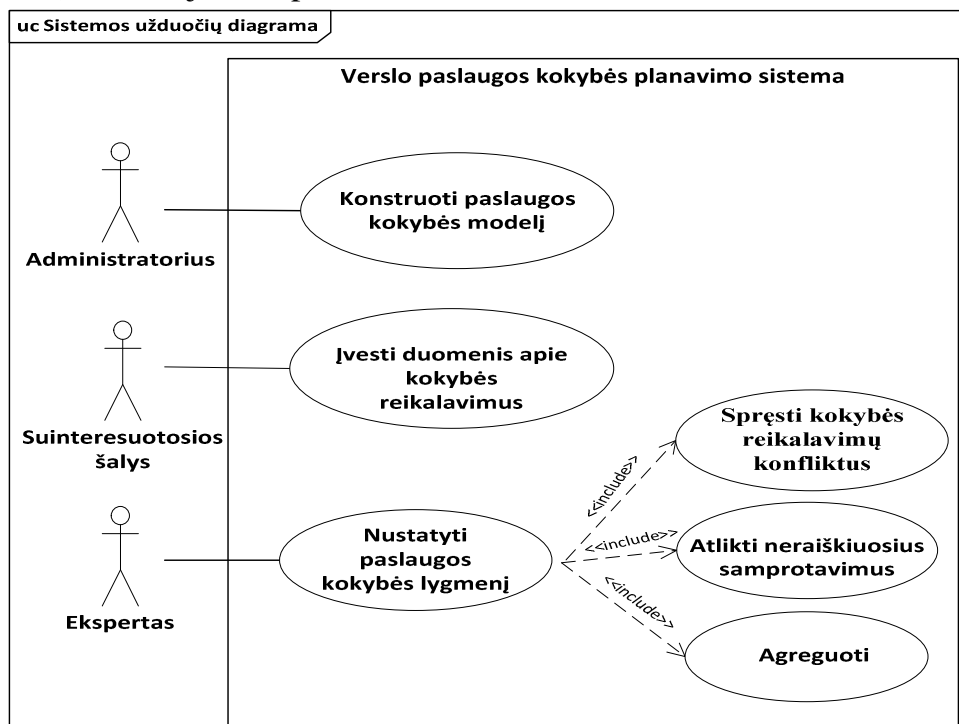
**Lingvistinio aproksimavimo algoritmo** idėja nusakoma šiuo aprašu:

1. Paimti duotąjį neraiškųjį skaičių ir duotojo lingvistinio kintamojo terminus.
2. Nustatyti, tarp kurių neraiškiųjų skaičių, atitinkančių duotojo lingvistinio kintamojo terminų reikšmes, patenka šis skaičius.
3. Apskaičiuoti Euklido atstumus tarp skaičiaus, minimo 1-ame žingsnyje, ir kaimyninių skaičių, gautų 2-uoju žingsniu.
4. Nustatyti, kuris iš gautų atstumų yra mažesnis. Jei šie atstumai yra vienodi, iškviešti interaktyviąją procedūrą ir paprašyti eksperto pasirinkti vieną iš jų.
5. Nustatyti, kokį lingvistinį terminą atitinka neraiškusis skaičius, iki kurio yra mažesnis atstumas.
6. Šį terminą laikyti lingvistiniu terminu, aproksimuojančiu 1-ame žingsnyje minimą neraiškųjį skaičių.

**Perspektyvų ir nuostatų agregavimo algoritmo** idėja nusakoma šiuo aprašu:

1. Transformuoti lingvistinių vektorių komponentus į neraiškiuosius skaičius.
2. Taikant svorinio vidurkio skaičiavimo formulę, paskaičiuoti agreguojančio vektoriaus komponentų reikšmes.

Kokybės planavimo sistema aprašyta UML diagramomis. Užduočių diagrama (angl. *use case diagram*) vaizduojama 3 pav.



3 pav. Užduočių diagrama

Sistema turi vykdyti tris užduotis:

1. konstruoti  $PK_{IVP}$  modelį;
2. įvesti duomenis apie kokybės reikalavimus į sistemos duomenų bazę;
3. nustatyti paslaugos kokybės lygmenį.

Pirmosios dvi užduotys pagalbinės, o trečioji – pagrindinė. Užduotis „Nustatyti paslaugos kokybės lygį“ apima tris užduotis – „Spręsti kokybės reikalavimų kompleksus“, „Atlikti neraiškiuosius samprotavimus“, „Agreguoti“.

Sistemoje išskiriami šie posistemiai minėtoms užduotims spręsti:

- sistemos administratoriaus sąsajos posistemis, per ją sistemai pateikiami duomenys, reikalingi modeliui konstruoti (paslaugos kokybės atributų sąrašas, perspektyvų sąrašas, nuostatų sąrašas, narystės funkcijos ir kt.);
- vartotojo sąsajos posistemis pradiniais duomenimis įvesti, per ją suinteresuotosios šalys pateikia lingvistines reikšmes, apibūdinančias reikalavimus, kuriuos turi tenkinti apatinio hierarchijos lygmens kokybės atributai;
- kokybę planuojančio eksperto sąsajos posistemis, per ją sistemai pateikiamos užduotys ir ekspertui grąžinami gautieji rezultatai;
- modelio konstravimo posistemis, jis iš per administratoriaus sąsają gautų duomenų sukonstruoja  $PK_{IVP}$  modelį;
- sistemos duomenų bazės formavimo posistemis, jis suinteresuotųjų šalių pateiktus duomenis įrašo į duomenų bazę;
- interaktyvus konfliktų sprendimo posistemis, jis išsprendžia visus  $\rho_{eqib}^{Q'}$  ryšiu modeliuojamus konfliktus;
- neraiškiųjų samprotavimų posistemis, jis kiekvienam  $PK_{IVP}$  modelio IR medžiui iš neraiškiųjų skaičių, aprašančių sprendžiant konfliktus gautas subalansuotas lingvistines reikšmes, išveda neraiškiuosius skaičius, apibūdinančius viršutinio hierarchijos lygmens kokybės atributų reikšmes;
- lingvistinio aproksimavimo posistemis, jis šitaip gautus neraiškiuosius skaičius aproksimuoja atitinkamomis lingvistinėmis reikšmėmis, ir visoms perspektyvoms suformuoja su jomis siejamus lingvistinius vektorius;
- perspektyvų agregavimo posistemis, jis kiekvienai nuostatai agreguodamas su ja siejamų perspektyvų lingvistinius vektorius, suformuoja tos nuostatos lingvistinį vektorius;
- nuostatų agregavimo posistemis, jis agreguodamas visų nuostatų lingvistinius vektorius suformuoja lingvistinį vektorius, aprašantį priimtina kuriamos paslaugos kokybės lygmenį.

1 lentelėje pavaizduota, kokie posistemiai dalyvauja sprendžiant skirtingas užduotis, nurodytas užduočių diagramoje.

1 lentelė. Užduočių ir posistemių atitikimas

Užduotys	Konstruoti paslaugos kokybės modelį	Įvesti duomenis apie kokybės reikalavimus	Nustatyti paslaugos kokybės lygmenį		
			Spręsti kokybės reikalavimų konfliktus	Atlikti neraiškiuosius samprotavimus	Agreguoti
<b>Posistemiai</b>					
Sistemos administratoriaus sąsajos posistemis	+				
Vartotojo sąsajos posistemis pradiniam duomenim įvesti		+			
Kokybę planuojančio eksperto sąsajos posistemis			+	+	+
Sistemos duomenų bazės formavimo posistemis		+			
Interaktyvus konfliktų sprendimo posistemis			+		
Neraiškiųjų samprotavimų posistemis				+	
Lingvistinio aproksimavimo posistemis				+	+
Perspektyvų agregavimo posistemis					+
Nuostatų agregavimo posistemis					+

Pagrindinės skyriaus išvados yra šios:

1. Sukurtos sąvokų sistemos sąvokos, siejamos su neraiškiaisiais medžiais, leido formalizuoti PK<sub>IVP</sub> planavimo problemą ir sukurti PK<sub>IVP</sub> kokybės modelį, tinkamą PK<sub>IVP</sub> planavimo problemai spręsti. Taigi konstravimu įrodyta hipotezė H4.
2. Sukurtas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis apima problemos fuzifikavimo, interaktyvaus neraiškiojo balansavimo, neraiškiojo samprotavimo, lingvistinio aproksimavimo ir neraiškiojo agregavimo algoritmus. Tai reiškia, kad įrodyta H7 hipotezė.

## 7. Eksperimentinis tyrimas

Šiame disertacijos skyriuje aprašyti keturi kontroliuojami eksperimentai, vykdomi su keturių konkrečių atvejų (anlg. *case study*) duomenimis. Jų tikslas – pademonstruoti pasiūlytų neraiškiųjų samprotavimų, lingvistinio aproksimavimo, perspektyvų agregavimo, ir nuostatų agregavimo algoritmų tinkamumą sukurti PK<sub>IVP</sub> modelio planavimo problemai spręsti.

Eksperimentuojant su lingvistinio aproksimavimo algoritmu, buvo generuojama paslaugos kokybės atributams priskiriamų neraiškiųjų skaičių aibė  $X$ . Šie skaičiai buvo aproksimuojami duotojo lingvistinio kintamojo *Kokybė* termiais. Imtos dvi nepriklausomųjų kintamųjų traktuotės: 1) aproksimuojantį termą galima parinkti vienareikšmiai; 2) tenka rinktis iš dviejų galimų lingvistinių termų.

Eksperimentuojant su perspektyvų agregavimo algoritmu, buvo siekiama patikrinti neraiškiųjų skaičių svorinio vidurkio formulės prasmingumą skirtingų perspektyvų lingvistiniams vektoriams agreguoti. Kontroliuojamais kintamaisiais pasirinkti svoriai, nusakantys perspektyvos svarbą kuriamos  $PK_{IVP}$  kontekste.

Analogiškai buvo eksperimentuojama ir su nuostatų lingvistinių vektorių agregavimo algoritmu.

Eksperimentų rezultatai buvo laikomi tenkinančiais eksperimentinių tyrimų lūkesčius, jeigu parodyti tų rezultatų empirinis pagrindumas, teorinis rezultatų pagrindumas ir apibendrinamumas. Nagrinėtos šios eksperimentinių rezultatų pagrindumo grėsmės:

- Empiriniam pagrindumui: gauti rezultatai neatitinka teorinių lūkesčių, t.y. algoritmai neduoda tokio rezultato, kokio tikimasi.
- Teoriniam pagrindumui: a) nepriklausomieji kintamieji ir rezultatai yra siejami koku nors kitu (pvz., koreliacijos), bet ne priežastiniu ryšiu; b) eksperimento rezultatai yra neteisingai interpretuojami.
- Rezultatų apibendrinamumui: nagrinėti priežastiniai ryšiai galioja tik tiems konkretiems atvejams, su kurių duomenimis eksperimentuota, ir dėl to eksperimentų rezultatų negalima apibendrinti (t.y., su kitais duomenimis galima gauti kitokių rezultatų).

Pagrindinės skyriaus išvados yra šios:

1. Nė viename iš atliktų eksperimentų nerasta empirinio pagrindumo grėsmės apraiškų, t. y. visų eksperimentų rezultatai atitiko teorinius lūkesčius.
2. Visuose eksperimentuose nepriklausomieji kintamieji ir rezultatai susieti ne koku nors kitu, bet priežastiniu ryšiu.
3. Neaptikta jokios eksperimentams naudotų duomenų specifikos, galinčios pažeisti gautų rezultatų apibendrinamumą.
4. Suprojektuotas tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblis gali spręsti įmonės verslo paslaugų kokybės planavimo problemą. Taip patvirtinama hipotezė  $H7$ .
5. Bandant neraiškiųjų samprotavimų algoritmą, patvirtinta  $H6$  hipotezė, kad neraiškiųjų samprotavimų formalizmas, jungiantis semantinę išvedimą ir agregavimą, tinka išvedimui medžio struktūrose, aprašančiose  $PK_{IVP}$  atributų hierarchiją, nes tenkina visus suformuluotus funkcinius reikalavimus.

## Išvados

Pagrindinės disertacijos išvados yra šios:

1. Neraiškiaisais samprotavimais grindžiamas įmonės verslo paslaugų kokybės planavimo metodas leidžia sukurti sąvokų sistemą, tinkančią  $PK_{IVP}$  apibrėžti atsižvelgiant į skirtingas sąvokos „kokybė“ sampratą, leidžia formaliai aprašyti  $PK_{IVP}$  planavimo problemą,  $PK_{IVP}$  kokybės modelį bei šio modelio pagrindu sukurti algoritmus  $PK_{IVP}$  planuoti.

2. Samprotavimams apie lingvistinius terminus medžio struktūrose, kuriomis aprašoma  $PK_{\text{IVP}}$  atributų hierarchija, labiausiai tinka formalizmas, jungiantis neraiškųjį semantinį išvedimą ir neraiškiojo agregavimo technikas. Semantiniu išvedimu vadiname Larseno implikacijos interpretaciją semantiniame lingvistinės logikos modelyje, apibrėžtame neraiškiųjų skaičių aibėje.
3. Neįmanoma fuzifikuoti  $PK_{\text{IVP}}$  planavimo problemos visoms IVP vienodai. Todėl reikalinga metodika, kaip atlikti fuzifikavimą bet kokios IVP atveju. Disertacijoje parodyta, kad tokią metodiką galima sukurti.
4.  $PK_{\text{IVP}}$  planavimo problemai išspręsti pakanka tarpusavyje bendradarbiaujančių algoritmų ansamblio, kurį sudaro interaktyvus balansavimo, neraiškiojo samprotavimo, lingvistinio aproksimavimo ir neraiškiojo agregavimo algoritmai.
5. Šiam algoritmų ansamblui realizuoti pakanka objektinės programų sistemos architektūros.

### **Bibliografinių šaltinių, naudotų disertacijos santraukoje, sąrašas**

- Anonymous. (2010). A Short Fuzzy Logic Tutorial. p. 1-6.
- Bean, J. (2011). Data Services: Resolving the Integration Challenge with SOA. White Paper, April 1 2011. Dataversity, Webshire Conferences.
- Benbernou, S., Brandic, I., Cappiello, C., Carro, M., Comuzzi, M., Kertesz, A., Kritikos, K., Parkin, M., Pernici, B., Pleban, P.I. (2010). Modeling and Negotiating Service Quality. *Service Research Challenges and Solutions for the Future Internet: S-Cube - Towards Engineering, Managing and Adapting Service-Based Systems. LNCS 6500*. s.l. : Springer, 2010, p. 157-209.
- Chomsky, N. (2012). The Science of Language: Interviews with James McGilvary. Cambridge : Cambridge University Press, 2012.
- Creswell, J.W. (2003). Research Design:Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 2nd. Edition. Sage publications.
- Crnkovic, G.D. (2010). Constructive Research and Info-Computational Knowledge Generation. Model-based reasoning in science and technology, *Studies in Computational Intelligence*, 314/2010, p. 359-380.
- Dietterich, T.G. (1990). Editorial: Exploratory Research in Machine Learning. 1, *Machine Learning*, 5, p. 5-9.
- Garvin, D.A. (1987). Competing on the eight dimensions of quality. *Harvard Business Review*, 65(6), p. 101–109.
- Garvin, D.A. (1988). *Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge*. Simon&Schuster.
- Garvin, D.A. (1984). What Does 'Product Quality' Really Mean? 1, *Sloan Management Review*, 26(1), p. 25-43.
- Leite, J.C.S.P. (1989). Viewpoint Analysis: A Case Study. IWSSD '89 Proceedings of the 5th international workshop on Software specification and design. p. 111-119.
- Lukka, K. (2003). The constructive research approach. In Ojala, L. and Hilmola, O-P. (Eds.). *Case study research in logistics*. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B 1: 2003, p. 83-101.
- Machado, A. ir Silva, F.J. (2007). Toward a Richer View of the Scientific Method: The Role of Conceptual Analysis. *American Psychologist*, 62(7), p. 671–681.
- Ragin, C.C. (2000). *Fuzzy-Set Social Science*. Chicago : University of Chicago Press.
- Ross, D.T.; Schoman, K.E. (1977). Structured Analysis for Requirements Definition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1(3), p. 363-386 .
- Santos, J. (2003). E-service quality: a model of virtual service quality dimensions. *Managing Service Quality*, 13(3), p. 233-246.



Steiner, E. (1988). *Methodology of Theory Building*. Sydney : Educology Research Associates.  
Wacker, J.G. (1998). A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. 4, *Journal of Operations Management*, 16(4), p. 361–385.

### **Trumpos žinios apie autorių**

Jolanta Miliauskaitė gimė 1976 m. sausio 13 d. Vilniuje. 1994 m. baigė Vilniaus 16-ąją vidurinę mokyklą (dabartinė Užupio gimnazija). 1998 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete įgijo Mechanikos inžinerijos bakalauro kvalifikacinį laipsnį. 2001 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete įgijo mechanikos inžinerijos magistro kvalifikacinį laipsnį. 2009 m. Vilniaus pedagoginiame universitete įgijo informatikos bakalauro laipsnį. 2010–2014 m. doktorantė Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos institute.

## A FUZZY INFERENCE-BASED APPROACH TO PLANNING QUALITY OF ENTERPRISE BUSINESS

### *Research Context and Challenges*

The symbiosis between Enterprise Architecture (EA) and Service-Oriented Architecture (SOA) results in the so-called Service-Oriented Enterprise Architecture (SoEA) and brings up new problems for Service-Oriented Enterprise Systems (SoES) engineering. In the context of SoES, a number of different stakeholders exist. They have different, often conflicting understandings of a SoES business service quality and different opinions on how such a service should be defined, specified, and evaluated. Thus, despite a large number of existing QoS models and ontologies, the question “What does QoS mean?” still has no final answer, at least, in the context of SoES. This concept is still not well-defined even for the traditional SOA service.

Originally, the term QoS was introduced in telecommunication where it was focused on the service performance measures from the network perspective. Later on, it was extended including even hardly related to quality characteristics such as a service requestor’s satisfaction or service cost. Currently the term QoS refers to several different things.

Thus, to answer the question, what is the meaning of the term “Quality of Service”, is far from being a simple task. This concept still remains murky. Its definition strongly depends on the topic of discourse and is usually not adaptable to other discourses. Moreover, even the quality itself is a vague and highly subjective concept and, up to date, no commonly agreed understanding of this concept has existed.

This situation raises a number of research questions related to the nature of QoS as well as to the planning, prediction, and evaluation of a particular SOA service. From the practical point of view, it is especially important to answer these questions in the context of SoES.

The first thing that should be done to achieve this aim is to investigate the nature of the quality of enterprise business service ( $QoS_{EBS}$ ) and to define this concept more precisely. In turn, to do that, it is necessary to make analysis of different understandings of QoS and  $QoS_{EBS}$ , to systematize and to generalize these understandings and to relate them each to other. It means that a theory of meaning should be developed for the  $QoS_{EBS}$ . As pointed out by James McGilvray, a theory of meaning is understood by most as a theory that focuses on word-world relationship whether it is referential or alethic. The term alethic (Greek *aletheia* ‘truth’) is defined as follows: “Of or pertaining to the various modalities of truth, such as the possibility or impossibility of something being true.” So an alethic theory of meaning is a theory which deals with the truth and correctness of sentences or perhaps propositions. In the referential theory of meaning, a term denotes objects, facts are relations between objects, expressions capture the relations of objects, and a true statement corresponds to facts.

Despite the fact that the referential theory of the meaning of  $QoS_{EBS}$  in many aspects is considerably simpler than the natural language meaning theory, sometimes it is still rather complicated to define a regular word-world relationship. For example, the same  $QoS_{EBS}$  property, reliability can mean different things for different EBS.

In the alethic meaning theory, constraints impose necessities that cannot, even in principle, be violated typically because of some physical or logical law. Alethic propositions are interpreted in terms of Kripke’s possible world semantics. In the SoES context, a

proposition is necessarily true, if and only if it is true in all possible worlds. With respect to EBS static constraint, declared by the service level agreement (SLA) for a given EBS, a possible world corresponds to the state of the fact model that might exist at some point of time. A proposition is possible, if and only if it is true in at least one possible world. Impossible propositions are true in none of the possible worlds (i.e. false in all possible worlds). However, problems with the alethic theories of meaning also arise because the truth values of the same  $QoS_{EBS}$  property may differ for different EBS.

The theory of  $QoS_{EBS}$  meaning is a conceptual basis for an empiric  $QoS_{EBS}$  planning, prediction, and evaluation theory that should provide models, methods, and algorithms to solve the related planning, prediction and evaluation problems. The dissertation seeks to contribute to this field by developing a fragment of such an empiric theory aimed at the preliminary planning of  $QoS_{EBS}$  for particular EBS and a fragment of the  $QoS_{EBS}$  meaning theory, required to describe the related models, methods, and algorithms. The research is rather exploratory research and does not pretend to an exhaustive investigation of all mentioned issues in detail.

### ***Problem Statement***

In an informal way, the problem investigated in the dissertation is formulated as follows: “Giving role-dependent, subjective and conflicting preliminary requirements defining acceptable quality level of bottom level quality sub characteristics for planned to be implemented in a particular web-based SoES an enterprise business service, specified by a number of different stakeholders, to resolve conflicts and to define preliminary requirements for the acceptable quality level of EBS quality characteristics”.

### ***Motivation***

When developing a new EBS, its  $QoS_{EBS}$  should be planned, at least roughly, taking into account the conflicting quality requirements, stated by different stakeholders, as well as constraints of financial, time and other resources. Conflicts between the requirements arise not only due to the role-dependent perspectives (service owner, computer network administrator, infrastructure administrator, service user, etc.), from which different stakeholders see this new service, but also due to the different understanding of the quality concept itself or, in other words, due to the different viewpoints to the quality. Although the preliminary quality requirements are necessary only to approximately estimate the investments, required for the development of this EBS, can be defined only roughly, the conflicts should be resolved in some way and a solution acceptable for all parties should be found. Usually it is done in during a long-lasting and time-consuming negotiation process. So, it is very desirable to replace this process by an appropriate software system. The existing theoretical basis is not mature enough for the development of such software and, consequently, some theoretical research should be performed for its improvement.

### ***Aims and Objectives of the Research***

The overall aim of this research is to develop a fuzzy inference-based  $QoS_{EBS}$  planning approach and supporting software system, such that, taking into account financial, time, and other resource constraints of a project, we could solve this problem and thus help the

enterprise to roughly plan the investments required to develop planned EBS. In order to achieve this aim, the following research objectives were set up:

1. to develop a system of related concepts (a conceptual framework), which provides a conceptual basis for a theoretical part of our research enabling us to describe in a precise and consistent way the SoES, EBS,  $QoS_{EBS}$ , the  $QoS_{EBS}$  planning problem, and models, methods and algorithms for solving this problem;
2. to formalise the  $QoS_{EBS}$  planning problem and to propose a methodology to guide the fuzzification process of this problem;
3. to build  $QoS_{EBS}$  model suited to solve the  $QoS_{EBS}$  planning problem and to design an ensemble of collaborative methods, inspired by this model and expressed in the form of detailed computational algorithms;
4. to develop software architecture that implements an ensemble of collaborative algorithms for solving the  $QoS_{EBS}$  planning problem.

### ***Assumptions***

The applicability of research findings is limited by the following a priori stated assumptions:

1. Fuzzy set theory and fuzzy logic methods are most appropriate for a preliminarily planning enterprise business service of the acceptable quality level.
2. Enterprise business service is intended to be used in the SoES environment.
3. The conflicts among the quality requirements, stated by stakeholders, should be resolved taking into account the importance of each role.
4. The conflict resolution procedure defines the resulting quality as a fuzzy set  $X$ . This result must be interpreted in terms of linguistic labels that describe possibly acceptable quality levels (high quality, moderate quality, etc.) for considered EBS. In other words, the linguistic approximation of  $X$  should be performed. The linguistic approximation procedure approximates  $X$  by a fuzzy set  $Y_i$ , representing some linguistic term  $T_i$  of a linguistic variable  $L$  (further denoted by  $L.T_i$ ). To this end, it uses a similarity measure  $m(X, Y_i)$ . It may happen that for several linguistic terms this measure has the same value. In such cases, the decision should be made by a decision maker using an interactive procedure.

### ***Research Questions and Hypotheses***

The dissertation aims to answer the following research questions:

1. How to define  $QoS_{EBS}$ , taking into account different understandings of the concept “quality”?
2. Which one of the current approaches to service quality modelling (if any) is likely to be most suitable for modelling  $QoS_{EBS}$ ?
3. What strategy should be used to construct the most suitable membership functions (MF) in order to fuzzify the concept of  $QoS_{EBS}$  for particular EBS?
4. What kind of fuzzy reasoning formalism is best suited for inferences in the tree structures, that describe hierarchy of  $QoS_{EBS}$  properties, and which algorithms are most suitable to implement such inferences?
5. Which methods and algorithms should be used to resolve conflicts among  $QoS_{EBS}$  requirements, stated by different stakeholders?

6. What kind of ensemble of collaborative algorithms is most suitable to solve the  $QoS_{EBS}$  planning problem?
7. What type of architecture is needed for the software system that implements this ensemble of collaborative algorithms?

The following hypotheses have been justified in the dissertation too:

- H1. Despite the differences between the nature of services and products, all currently identified understandings of a product quality are also applicable to a service.
- H2. A fuzzy inference-based approach to the planning quality of enterprise business services enables us to define  $QoS_{EBS}$ , taking into account different understandings of the concept “quality”.
- H3. Not a single of current approaches to service quality modelling is suitable to model  $QoS_{EBS}$  in a suited to design an effective ensemble of collaborative methods to resolve conflicts among requirements, stated by different stakeholders.
- H4. Such  $QoS_{EBS}$  model can be built only using a fuzzy inference-based approach to the planning quality of enterprise business services.
- H5. The fuzzification of a particular  $QoS_{EBS}$  property depends on both a nature of this property and on the EBS consideration perspective. However, it is possible to develop a methodology that guides the fuzzification procedure for any  $QoS_{EBS}$  property and any EBS consideration perspective.
- H6. In the context of  $QoS_{EBS}$  planning problem, a fuzzy reasoning formalism that combines semantic derivation and aggregation techniques is acceptable for inferences in tree structures, which describe the hierarchy of  $QoS_{EBS}$  properties, because it meets all functional requirements.
- H7. In order to solve the  $QoS_{EBS}$  planning problem, it is sufficient that an ensemble of collaborative algorithms combine problem fuzzification, balancing, fuzzy reasoning, linguistic approximation, and fuzzy aggregation algorithms.
- H8. Solving the  $QoS_{EBS}$  planning problem, the quality of results, delivered by EBS (i.e. product presented for a service requestor), should also be taken into account.
- H9. Object-oriented software system architecture is sufficient to implement an ensemble of collaborative algorithms, which resolves conflicts among quality requirements, stated by different stakeholders, and solves the  $QoS_{EBS}$  planning problem.

### ***Research Design and Research Methods***

In the dissertation, an exploratory research was carried out. The research focuses on the question “How?” or, to be more exact, on the question “How to plan  $QoS_{EBS}$  taking into account role-dependent, subjective and conflicting preliminary requirements, stated by different stakeholders?” A mixed methods approach that combines quantitative and qualitative research methods was chosen for the research. Different methods of the bibliographic research were used: Systematic Literature Review (SLR) method, and interpretative data synthesis of the collected qualitative data. The literature review was combined with the constructive research. In line with the constructive research, a proof by construction was used. A theory building methodology, conceptual methods, including conceptual analysis, was used. Finally, a case-based controlled experiment methodology was used in experimental part of the dissertation research.

## ***Summary of Research Results***

The results of the dissertation can be summarized as follows:

- a conceptual framework, which forms a conceptual basis for further theoretical research and enables to define in a precise and consistent way SoES, EBS, QoS<sub>EBS</sub>, QoS<sub>EBS</sub> planning problem and models, methods and algorithms for solving this problem;
- a formulation the QoS<sub>EBS</sub> planning problem as a mathematical problem and a methodology to guide this problem fuzzification process;
- a problem-oriented QoS<sub>EBS</sub> model and an ensemble of collaborating methods inspired by this model and expressed in a form of detailed computational algorithms;
- a software architecture that implements the ensemble collaborating algorithms to solve the QoS<sub>EBS</sub> planning problem (described by a set of UML diagrams).

## ***Scientific Contributions of the Dissertation***

The conducted research is one of the first that investigates how to apply fuzzy set theory and fuzzy logic for the formalisation and planning of QoS<sub>EBS</sub> (partly, also of QoS<sub>SOA</sub>). Its scientific contribution to the field of informatics engineering constitutes is threefold: a) a conceptual framework enabling us to describe in a precise and consistent way the SoES, EBS, QoS<sub>EBS</sub>, the QoS<sub>EBS</sub> planning problem, and models, methods and algorithms for solving this problem is developed; b) research shows that well-known fuzzy logic methods (e.g. Mamdani implication), which are used to implement fuzzy controllers and to solve various diagnostic problems, are not suitable for quality planning problems; c) the research demonstrated how to combine semantic derivation and aggregation methods in the implementation of linguistic fuzzy reasoning procedures.

## ***Approbation***

1. 6<sup>th</sup> International Workshop of Data analysis methods for software systems [DatAMSS], December 4-6, 2014, Druskininkai, Lithuania;
2. 11<sup>th</sup> International Baltic Conference on Database and Information Systems [Baltic DB&IS 2014], June 8-11, Tallinn, Estonia;
3. 55<sup>th</sup> Conference of Lithuanian Mathematicians Society, Juni 26–27, 2014, Vilnius, Lithuania;
4. 2nd International Business and Systems Conference BSC 2013, Riga Technical University, November 6-7, 2013, Riga, Latvia;
5. 54<sup>th</sup> Conference of Lithuanian Mathematicians Society, Juni 19–20, 2013, Vilnius, Lithuania;
6. 16<sup>th</sup> Conference of Lithuanian Computer Society “Computer Days – 2011”, September 19–21, 2013, Šiauliai, Lithuania;
7. 5<sup>th</sup> International Workshop Data Analysis Methods for Software Systems, December 5–7, 2013, Druskininkai, Lithuania;
8. Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems (Baltic DB&IS'2012), July 8-11, 2012, Vilnius, Lithuania;
9. The 2nd International Doctoral Consortium Informatics and Informatics Engineering Education Research: Methodologies, Methods, and Practice, November 30–December 4, 2011, Druskininkai, Lithuania;

### *Outline of the Dissertation*

The dissertation is written in English. The text of the thesis consists of 7 main chapters, conclusions, list of references, list of publications, and appendixes. Main chapters are provided with summary and with conclusions (except Chapter 1, Chapter 2, and Chapter 4).

**Chapter 1** (“Introduction“) describes research context and challenges, presents the problem statement, discusses motivation, aims and objectives of the research, states research questions and hypotheses, describes research design and methods, presents research results, contributions of the thesis, and approbation of obtained results.

**Chapter 2** (“Preliminaries“) offers a short introduction to define details about the terminology and concepts, used in the dissertation, introduces the basics of QoS related quality theory and the basics of fuzzy set theory and fuzzy logic.

**Chapter 3** (“State of the Art“) presents the critical analysis of the related works on the QoS modelling, problem fuzzification and fuzzy reasoning approaches.

**Chapter 4** (“Development of the Conceptual Framework“) continues the development of conceptual basis of the research. It focusses on the terms and concepts, which enable to describe in a formal way  $QoS_{EBS}$  planning problem and models, methods and algorithms for solving this problem. develops and discusses main theoretical results of the research.

**Chapter 5** (“Development of Problem Fuzzification Methodology“) proposes a methodology to guide problem fuzzification process, presents detailed description of the methodology steps, and demonstrates the applicability of the problem fuzzification methodology in context of  $QoS_{EBS}$ .

**Chapter 6** (“Modelling and Planning of Enterprise Business Service Quality“) presents main theoretical results of the research. This chapter formalises of the  $QoS_{EBS}$  planning problem, builds problem-oriented  $QoS_{EBS}$  model, designs an ensemble of collaborating algorithms to solve the  $QoS_{EBS}$  planning problem, describes the proposed algorithms, describes the architecture and other implementation issues of the proposed  $QoS_{EBS}$  planning system.

**Chapter 7** (“Experimental Research“) presents results of the experimental research. This chapter provides three case studies which have been performed to demonstrate the linguistic approximation, perspective integration, and viewpoint integration.

**Conclusions** present the main result and conclusions of the dissertation.

**Appendixes** present the issues of systematic literature review, review protocol, and results. Additional appendixes are storage in the compact disc.

### *Conclusions of the Dissertation*

The main conclusions of the dissertation are as follows:

1. A fuzzy inference-based approach to the planning quality of enterprise business services enables us to develop a conceptual framework suitable to define  $QoS_{EBS}$ , taking into account different understandings of the concept “quality”, to describe  $QoS_{EBS}$  planning problem in a formal way as well as to describe  $QoS_{EBS}$  quality model and planning algorithms inspired by this model.

2. In order to reason about linguistic terms in tree structures, which describe the hierarchies of  $QoS_{EBS}$  quality attributes, the most suitable is the formalism, which combines semantic fuzzy derivation and fuzzy aggregation techniques. By semantic derivation we mean Larsen implication interpretation in the semantic model<sup>1</sup> defined in fuzzy number domain.
3. It is impossible to fuzzify the  $QoS_{EBS}$  planning problem in this same way for any Enterprise Business Service. For this end, a methodology that guides the fuzzification process for any EBS is required. The dissertation shows the possibility to develop such methodology.
4. The designed ensemble of collaborating interactive fuzzy balancing, fuzzy reasoning, linguistic approximation, and fuzzy aggregation algorithms is sufficient to the  $QoS_{EBS}$  planning problem.
5. The object-oriented software system architecture is sufficient to implement this ensemble of collaborative algorithms.

### ***About the Author***

Jolanta Miliauskaitė was born in Lithuania in Vilnius on 13 January 1976. In 1994, she finished Vilnius 16<sup>th</sup> secondary school (now Užupio Gymnasium). She graduated from Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Mechanics in 1998 acquiring Bachelor's Degree in Mechanical Engineering. She gained her Master's Degree in Mechanical Engineering at Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Mechanics in 2001. She also gained her Bachelor's Degree in Informatics in 2009. From 2010 to 2014 she has been a doctorate at Vilnius University Institute of Mathematics and Informatics.

---

<sup>1</sup> The term *model* here means model of linguistic logic.



Jolanta Miliauskaitė

NERAIŠKIAIS SAMPROTAVIMAIS GRINDŽIAMAS METODAS ĮMONIŲ  
STILIAUS VERSLO PASLAUGŲ KOKYBEI PLANUOTI

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, informatikos inžinerija (07T)

Redaktorė Jorūnė Rimeisytė

Jolanta Miliauskaitė

A FUZZY INFERENCE-BASED APPROACH TO PLANNING QUALITY  
OF ENTERPRISE BUSINESS SERVICES

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Informatics Engineering (07T)

Editor Zuzana Šiušaitė