

VILNIAUS UNIVERSITETAS

MINDAUGAS KURMIS

**ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ INTEGRAVIMO
KINTANČIOS TOPOLOGIJOS AUTOMOBILIŲ
KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE GALIMYBIŲ
IŠVYSTYMAS**

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI, INFORMATIKOS INŽINERIJA (07T)

Vilnius, 2016

Disertacija rengta 2011-2015 metais Vilniaus universitete Matematikos ir informatikos institute

Mokslinė vadovė – prof. dr. Dalė Dzemydienė (Vilniaus universitetas, technologijos mokslai, informatikos inžinerija – 07 T).

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju mokslinei vadovei prof. dr. Dalei Dzemydienei už vertingas mokslines konsultacijas, pagalbą ir kantrybę rengiant šią disertaciją.

Dėkoju prof. dr. Arūnui Andziuliui už pastūmėjimą doktorantūros studijoms, pasiūlytas idėjas bei patarimus, rengiant šią disertaciją bei skelbiant jos rezultatus.

Ačiū disertacijos recenzentams prof. habil. dr. Ramūnui Palšaičiui ir prof. dr. Rimantui Vaicekauskui už vertingus patarimus bei pastabas, leidusias pagerinti šio darbo kokybę.

Dėkoju Matematikos ir informatikos instituto Programų sistemų inžinerijos skyriaus darbuotojams bei kolegoms už naudingus patarimus ir draugišką pagalbą.

Dėkoju Klaipėdos universiteto Informatikos ir statistikos katedros kolektyvui už palaikymą ir visokeriopą pagalbą rengiant šį darbą.

Nuoširdžiai dėkoju žmonai Gintarei ir dukrai Augustei, artimiesiems ir draugams už jų paramą, moralinį palaikymą, kantrybę bei supratingumą.

Taip pat dėkoju visiems, kurie tiesiogiai ar netiesiogiai prisidėjo prie šio darbo rengimo.

Mindaugas Kurmis

Reziomė

Sistemų, veikiančių dinamiškuose, kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkluose, kūrimui ir vystymui reikalingos naujos kartos komunikacijos techninės priemonės bei tinkama programinė įranga. Be techninio ir programinio aprūpinimo uždavinių, informatikos inžinerijoje tenka naujai spręsti ir išaugusių informacijos srautų surinkimo, tinklo užliejimo išvengimo ir duomenų skleidimo metodų efektyvesnės integracijos problemas. Trūksta metodų ir būdų, kurie leistų tiksliau įvertinti praturtintos ir išskirstytos konteksto informacijos pateikimo vartotojui prioritetus, transporto sistemos komunikacijos tinklo konfigūravimo galimybes bei tiesiogiai jas susieti su intelektualių paslaugų kokybės gerinimo procesu. IT komunikacijos metodai, kuriais remiantis priimami tinklo konfigūravimo, duomenų paketų formavimo ir perdavimo sprendimai, leidžiantys betarpiškai adaptuoti teikiamas paslaugas dinaminio pobūdžio dalykinėje srityje yra ne mažiau aktualūs, projektuojant naujas sistemas. Jų parinkimo bei integravimo būdai yra pristatomi šiame darbe. Nauji metodai ir sisteminės platformos turi leisti panaudoti praturtintą konteksto informaciją bendrai, atsižvelgus į konkretaus vartotojo būseną ir automobilių srauto dinamiką. Tokių įvairialypių paslaugų įgyvendinimui, beribiai išaugus eismui, naujuose projektuose reikia įvertinti komunikacinio tinklo darbo perkrovos sąlygas ir panaudoti naujai kuriamus resursus.

Disertacinio darbo tikslas – sukurti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros konfigūravimo sistemos prototipą, integruojantį konteksto informacijos skleidimo metodus, grindžiamus daugiakriteriniu duomenų naudingumo vertinimu.

Tikslo įgyvendinimui išskirti 5 uždaviniai. Buvo išanalizuotos ir apibendrintos įvairialypių paslaugų teikimo sisteminės ir programinės platformos ir jose naudojami metodai. Sukurtas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros konfigūravimo prototipas, įgalinantis vykdyti konteksto duomenų surinkimo, agregavimo ir skleidimo procesus. Į šį prototipą integruoti metodai leido nustatyti ir atlikti konteksto duomenų valdymą, įvertinant praturtintų konteksto duomenų kokybę automobilių komunikavimo tinkluose. Eksperimentiškai šis prototipas buvo taikomas verifikuoti ir testuoti duomenų perdavimo parametrus įvairialypėms paslaugoms teikti, įvertinti konfigūruojamo tinklo infrastruktūros apkrovas, pagal iš aplinkos ir kooperuojančių įrenginių išgautą konteksto informaciją bei daugiakriteriškai nustatyti jos naudingumą ir skleidimo spartą tarp kitų tinklo mazgų.

Pateikiama situacijų identifikavimo automobilių kooperacijos aplinkoje sistemos architektūra, kuri leido integruoti išskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikaciniuose tinkluose posistemes. Pasiūlytas konteksto duomenų naudingumo įvertinimo metodas ir konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo sistemos veikimo algoritmas.

Skirtingai negu kituose moksliniuose tyrimuose, pasiūlytas metodas ir sukurtas jo prototipas, priklausomai nuo skirtingų sričių konteksto informacijos įvertinimo ir praturtinimo, leidžia adaptyviai valdyti duomenų perdavimo tinklą ir sumažinti belaidžio tinklo apkrovas. Eksperimentu, imituojant situacijas kelyje ir emuliuojant įvairialypių paslaugų teikimą įrodyta, kad sukurtos sistemos prototipo veikimas yra efektyvus, o pasiūlyti programinių ir sisteminių įrankių integracijos nauji sprendiniai leidžia sumažti perduodamus duomenų kiekius kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant praturtintos konteksto duomenų kokybės. Eksperimentų rezultatai parodė, kad įdiegus siūlomus tinklo valdymo metodus galima pasiekti duomenų pralaidumo padidėjimą ir išvengti tinklo perkrovų, teikiant įvairialypes, didelių duomenų apimties reikalaujančias paslaugas.

Turinys

Reziumė.....	4
Sąvokų ir santrumpų sąrašas.....	8
Paveikslėlių sąrašas	11
Lentelių sąrašas.....	13
ĮVADAS	14
1. SISTEMŲ INFRASTRUKTŪRA ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ TEIKIMUI KINTANČIOS TOPOLOGIJOS AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE.....	22
1.1. Sistemų, vystomų automobilių komunikacijos tinklų aplinkoje, galimybės ir pavyzdžiai.....	22
1.1.1. Automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros komponentai	23
1.1.2. Belaidė prieiga automobilių komunikacijos tinkluose	24
1.2. Automobilių komunikacijos tinklų pagrindinės savybės	26
1.3. Įvairialypių paslaugų apžvalga kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklams	27
1.3.1. Įvairialypių paslaugų teikimo, automobilių komunikacijos tinklais, analizė vartotojo požiūriu.....	29
1.3.1.1. Kanalo resursų valdymas, siekiant geriausio pralaidumo	30
1.3.1.2. Paslaugų prioritetų nustatymo ir valdymo metodai.....	31
1.3.1.3. Tinklo resursų paskirstymo lygiateisiškumo užtikrinimas	32
1.3.1.4. Resursų rezervavimo valdymas, grindžiamas konkuravimu	33
1.3.1.5. Tinklo resursų valdymas, garantuojant prieigą prie kanalo.....	33
1.3.1.6. Mažo užlaikymo žinučių sklaida	34
1.3.2. Įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais sisteminė analizė.....	35
1.3.2.1. Pakelės įrenginių (RSU) išdėstymo įtaka tinklo našumui	36
1.3.2.2. Pakelės įrenginiais (RSU) grindžiamos automobilių kooperacijos paslaugos.....	37
1.3.2.3. Kitos komunikacijos technologijos	38
1.3.3. Esama ITS priemonių automobiliuose padėtis bei įvairialypių paslaugų transporto komunikaciniuose tinkluose diegimo etapai	39
1.4. Specialios paskirties duomenų perdavimo kokybės reikalavimai sistemose, dirbančiose kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkluose.....	41
1 skyriaus išvados	44
2. AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO VALDYMO KONTEKSTO DUOMENYS IR APDOROJIMO METODAI	45
2.1. Automobilių transporto valdymo konteksto samprata bei atvaizdavimo priemonės.....	45

2.1.1.	Konteksto duomenų kokybės samprata	47
2.1.2.	Konteksto kokybės rodikliai ir kiekybinis vertinimas.....	47
2.1.3.	Konteksto duomenų valdymas automobilių komunikacijos tinkluose.....	48
2.1.4.	Konteksto duomenų apdorojimo metodai, programinė įranga ir modeliavimo įrankiai.....	50
2.2.	Konteksto duomenų surinkimo automobilių komunikacijos sistemose metodai.....	54
2.2.1.	Jutikliais grindžiamas duomenų surinkimas.....	55
2.2.2.	Maršrutizavimo protokolais grindžiamas duomenų surinkimas.....	56
2.3.	Konteksto duomenų agregavimo automobilių komunikacijos sistemose metodai	57
2.3.1.	Centralizuotas konteksto duomenų agregavimas	58
2.3.2.	Išskirstytas konteksto duomenų agregavimas	58
2.3.3.	Klasteriais grindžiamas konteksto duomenų agregavimas.....	58
2.4.	Konteksto duomenų skleidimo automobilių komunikacijos sistemose metodai.....	59
2.4.1.	Persiuntimu grindžiama konteksto duomenų sklaida	59
2.4.2.	Tiesioginiu transliavimu grindžiama konteksto duomenų sklaida	60
2.4.3.	Stūmimu grindžiama konteksto duomenų sklaida.....	61
2.5.	Situacijų identifikavimo metodų automobilių komunikacijos aplinkoje apžvalga.....	61
2.5.1.	Taisyklių specifikacijomis grindžiami situacijų identifikavimo metodai	61
2.5.2.	Kompiuteriniu mokymusi grindžiami situacijų identifikavimo metodai	63
2.5.3.	Masinio aptarnavimo metodais grindžiami situacijų identifikavimo būdai ..	64
	2 skyriaus išvados	65
3.	SISTEMINĖS IR PROGRAMINĖS PLATFORMOS AUTOMOBILIŲ SRAUTAMS IR TINKLO MOBILUMUI MODELIUOTI IR TIRTI.....	67
3.1.	Automobilių eismo ir tinklo mazgų mobilumo imitaciniai modeliai	67
3.2.	Kompiuterinių tinklų architektūros bei imitavimo modeliavimo įrankiai.....	68
3.3.	Integruotos automobilių komunikacijos tinklų modeliavimo priemonės.....	69
3.4.	Integruotos tinklų bei mobilumo modeliavimo ir emuliacinio aplinkos (<i>NCTUns/Estinet</i>) taikomieji pavyzdžiai	70
3.4.1.	Modeliavimo priemonės <i>NCTUns/Estinet</i> architektūra.....	72
3.4.2.	Automobilių komunikacijos tinklų standartų ir protokolų architektūra <i>NCTUns/Estinet</i> aplinkoje	74
	3 skyriaus išvados	75
4.	ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ INTEGRACINĖS SISTEMOS PROJEKTAVIMAS KINTANČIOS TOPOLOGIJOS AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE	77

4.1. Konteksto informacijos šaltiniai situacijų identifikavimui transporto priemonių aplinkoje.....	77
4.2. Situacijų identifikavimo metodų integravimas į automobilių komunikacijos tinklų sistemos architektūrą.....	79
4.3. Paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose sistemos projektavimas.....	80
4.3.1. Konteksto duomenų naudingumo įvertinimas.....	83
4.3.2. Automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo adaptyvus algoritmas.....	85
4.3.3. Duomenų apskaitos posistemės projektavimas.....	86
4 skyriaus išvados.....	87
5. AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLO TEIKIAMŲ PASLAUGŲ INFRASTRUKTŪROS VALDYMO SISTEMOS PROTOTIPO EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI.....	89
5.1. Pagrindiniai reikalavimai eksperimentiniams tyrimams atlikti.....	89
5.2. Duomenų perdavimo efektyvumo įvertinimo metrikos.....	90
5.3. Automobilių klasterių sudarymo eksperimentų gauti rezultatai.....	90
5.4. Konteksto duomenų apskaitos tarp automobilių realiu laiku, modeliavimo rezultatai.....	94
5.5. Paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose emuliacijos rezultatai.....	96
5.6. Konteksto informacijos surinkimo ir adaptyvios sklaidimo ITS tinkluose metodo efektyvumo įvertinimas.....	100
5.6.1. Duomenų perdavimo kanalo valdymo metodų eksperimentiniai tyrimai ...	100
5.6.2. Konteksto informacijos naudingumo vertinimo metodo rezultatai.....	105
5 skyriaus išvados.....	108
BENDROSIOS IŠVADOS.....	109
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	110
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	126
PRIEDAI.....	129
1 priedas. Belaidės prieigos technologijų taikymo automobilių komunikacijos tinklams palyginimas.....	129
2 priedas. Kokybinis mobilumo generavimo įrankių palyginimas.....	130
3 priedas. NCTUns/Estinet aplinkoje sudaryto modelio kodo fragmentas.....	131

Sąvokų ir santrumpų sąrašas

Ad-Hoc – belaidis komunikacijos tinklas, siejantis 1,...,n paskirties taškų ir susikuriantis pagal poreikį, skirtą konkrečiam tikslui pasiekti.

AIFS (angl. *Arbitration Inter-Frame Space*) – arbitrinė išorinio kadro erdvė. Tai prieigos klasės prioritetų nustatymo metodas.

AODV (angl. *On-Demand Distance Vector*) – pagal poreikį sukuriamas nuotolio vektorius, kuris gali veikti, kaip reaktyvusis protokolas, kuriame maršrutai sudaromi tik tada, kai reikia persiųsti duomenis.

C2C-CC (angl. *CAR 2 CAR Communication Consortium*) – automobilio su automobiliu komunikacijos (ryšio) konsorciumas.

C3 (angl. *Car-to-Car Cooperation*) – automobilio su automobiliu kooperacija.

CA (angl. *Car Agent*) – automobilio agentas.

CDMA (angl. *Code-Division Multiple Access Technology*) – kodo padalijimo daugialypės prieigos technologija.

CEPEC (angl. *Coordinated External Peer Communication*) – koordinuota išorinių tinklo mazgų kanalo prieigos komunikacija ir jos veikimą užtikrinantis protokolas.

CEPT (angl. *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) – Europos pašto ir telekomunikacijų administracijos konferencija.

CRN (angl. *Cognitive Radio Networks*) – kognityvūs radijo ryšio tinklai.

CTS (angl. *Clear-To-Send*) – patvirtinimas siųsti.

CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance*) – protokolas, numatantis kolizijų išvengimo būdą, kurio esmė yra papildomų duomenų paketų panaudojimas

DSM (angl. *Distributed Sorting Mechanism*) – išskirstytas rūšiavimo mechanizmas.

DSRC (angl. *Dedicated Short Range Communications*) – dedikuota trumpo nuotolio komunikacija.

DTRA (angl. *Dynamic Transmission Range Assignment*) – dinaminis perdavimo diapazono priskyrimas.

EDCA (angl. *Enhanced Distributed Channel Access*) – praplėsta išskirstyta kanalo prieiga.

Ethernet – kompiuterių tinklų technologija lokaliems tinklams

EvDo (angl. *Evolution Data only*) – tik evoliuciniai duomenys.

EvDv (angl. *Evolution-Data/Voice*) – evoliuciniai duomenys, balsas.

GPS (angl. *Global Positioning System*) – visuotinė padėties nustatymo sistema, arba globali pozicionavimo sistema, leidžianti nustatyti objekto koordinatas bet kurioje pasaulio vietoje.

GPSR (angl. *Greedy Perimeter Stateless Routing*) – godaus veikimo perimetro būsenos nesaugantis maršrutų paieškos algoritmas.

GSK (angl. *Group Session Key*) – grupės sesijos raktas.

HSPA+ (angl. *High Speed Packet Access*) – didelio greičio paketinė prieiga, leidžianti pasiekti 42 Mb/s gavimo ir 22 Mb/s išsiuntimo spartą mobiliojo ryšio tinkluose.

I2V (angl. *Infrastructure to Vehicle*) – infrastruktūros su automobiliu sąveika.

IEEE (angl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) – Elektros ir elektronikos inžinierių institutas yra tarptautinė profesionali organizacija, užsiimanti technologijų pažanga

IEEE 1609 – belaidės prieigos automobilių aplinkoje standartų šeima, kuriama IEEE.

IEEE 802.11 – standartų rinkinys, skirtas belaidžių vietinių tinklų diegimui 2,4, 3,6 ir 5 GHz dažnių juostose.

IEEE 802.11p – tai IEEE 802.11 standartų patobulinimas, pritaikant juos belaidei prieigai automobilių aplinkoje 5,9 GHz dažnių juostoje. Standartas remiasi aukštesnio lygmens IEEE 1609.

IEEE 802.15.4 – standartas, aprašantis fizinį ir MAC sluoksnius žemos spartos belaidžiuose personaliniuose tinkluose.

IEEE 802.16 – belaidės plačiajuostės prieigos standartų rinkinys, kitaip žinomas, kaip WiMAX.

IPTV – televizijos paslauga, skirta transliuoti ir priimti televizinius signalus paketiniu duomenų perdavimo būdu, panaudojant interneto duomenų perdavimo protokolą (IP).

ITS (angl. *Intelligent Transportation System*) – intelektuali transportavimo sistema. Pagal EU Directive 2010/40/EU (7 July 2010), ITS apibūdinamas, kaip sistemos, kuriose taikomos informacinės ir komunikacijos technologijos kelių transporte, įskaitant infrastruktūrą, automobilius, vartotojus, eismo valdymą bei sąsajas su kitomis transporto rūšimis.

LLC (angl. *Logical Link Control*) – loginis komunikacijos ryšio valdymas, nusakantis antrojo OSI modelio sluoksnio, skirto duomenų komunikavimui veikimą. Tai posluoksnis, leidžiantis nesudėtingą sąsajos (tilto) „*Bridge*“ tipo maršrutizavimą tarp belaidžių bei laidinių *Ethernet* tinklų

MAC (angl. *Medium Access Control*) – prieigos prie terpės valdymas (2 OSI modelio sluoksnis).

MANET (angl. *Mobile Ad-Hoc Network*) – mobilus *Ad-Hoc* tinklas.

Maršrutizatorius (angl. *Router*) – įrenginys, kuris perduoda ar paskirsto duomenų paketus per kompiuterių tinklus.

MCP (angl. *Maximum Coverage Problem*) – maksimalios aprėpties problema.

MIMO (angl. *Multiple Input Multiple Output*) – keleto antenų naudojimas siuntimui bei priėmimui, siekiant pagerinti įrenginio savybes.

Multimedija – daugialypė terpė, kuri apima kelių tipų informacijos (garso, vaizdo, teksto ir kt.) priemones.

NLOS (angl. *Non-Line-of-Sight*) – netiesioginis matomumas.

node-movement-scenario configuration - judėjimo scenarijaus konfigūracija

OBU (angl. *On Board Unit*) – borto įrenginys.

OFDM (angl. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) – stačiakampis dažnių tankinimo moduliacijos metodas, naudojamas kaip skaitmeninis daugialinijinis informacijos nešėjas

OSI modelis (angl. *Open Systems Interconnection Reference Model*) – abstraktus ryšio protokolų, naudojamų ryšio ir kompiuteriniuose tinkluose, aprašymas

OTRP (angl. *Overlay Token Ring Protocol*) – uždengtas žiedinio tinklo protokolas.

PER (angl. *Packet Error Rate*) – paketų klaidų kiekis.

QoS (angl. *Quality of Service*) – sąvoka, žyminti paslaugos kokybės rodiklį.

RFID (angl. *Radio Frequency Identification*) – radijo dažniais grindžiamos technologijos pagrindu veikiančių ir komunikuojančių įrenginių identifikacija.

RREQ (angl. *Route Request*) – maršruto užklauso paketas, kurį siunčia pradinis mazgas, inicijuodamas tinklą užliejančio maršruto paieškos protokolo veikimą.

RREP (angl. *Route Reply*) – maršruto atsakymo paketas, kurį siunčia paskirties mazgas pradiniam mazgui atgaliniu maršrutu.

RSU (angl. *Road Side Unit*) – pakelės įrenginys.

RTS (angl. *Request-to-Send*) – prašymas siųsti.

SA (angl. *Signal Agent*) – signalo agentas.

SE (angl. *Simulation Engine*) – imitacinio modeliavimo variklis.

SON (angl. *Self-Organizing Networks*) – savaimė susiorganizuojantys tinklai.

SRMA/PA (angl. *Soft Reservation Multiple Access With Priority Assignment*) – lengvas keleto prieigų rezervavimas su prioritetų priskyrimu.

TCP (angl. *Transmission Control Protocol*) – siuntimo valdymo protokolas, užtikrinantis patikimą duomenų perdavimą (OSI modelio 4 sluoksnyje).

UDP (angl. *User Datagram Protocol*) – vartotojo duomenų perdavimo protokolas, greitesnis nei TCP siuntimo protokolas, kadangi neužtikrinamas patikimas duomenų perdavimas ir nenumatytas klaidų taisymo mechanizmas (veikia OSI modelio 4 sluoksnyje).

UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*) – universali mobiliųjų telekomunikacijų sistema.

V2I (angl. *Vehicle to Infrastructure*) – automobilio sąveika su infrastruktūra.

V2V (angl. *Vehicle to Vehicle*) – automobilio sąveika su automobiliu.

VANET (angl. *Vehicular Ad-Hoc Network*) – automobilių *Ad-Hoc* tinklas.

Vehicle Platooning – autotraukiniai.

WAVE (angl. *Wireless Access for Vehicular Environments*) belaidė prieiga automobilių aplinkoje.

WMN (angl. *Wireless Mesh Network*) – belaidis išskirstymo organizavimo (*mesh*) tinklas.

WSN (angl. *Wireless Sensor Network*) – belaidis jutiklių tinklas.

WLAN (angl. *Wireless Local Area Network*) – belaidis vietinis tinklas.

Wi-Fi – belaidžio ryšio technologijos prekinis ženklas, priklausantis *Wi-Fi* Aljansui.

WiMAX (angl. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) – plačiajuosčio ryšio technologija, naudojama duomenų perdavimui dideliais atstumais.

ZOR (angl. *Zone of Danger*) – pavojaus zona.

Paveikslėlių sąrašas

1 pav. Automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros komponentų ir galimybių pavyzdys	22
2 pav. DSRC standartai ir komunikacijos stekas	25
3 pav. VANET paslaugų taksonomija.....	28
4 pav. Paslaugų teikimo VANET tinkluose taksonomija.....	30
5 pav. Kanalo prieiga pagal skirtingus prioritetus EDCA mechanizme	31
6 pav. Susidūrimo prevencijos sistemos taikymo pavyzdys	35
7 pav. Klasterizavimu grindžiamo duomenų perdavimo organizavimo V2I komunikacijoje pavyzdys	36
8 pav. Kooperatyvaus duomenų atsiuntimo CarTorrent modelis	38
9 pav. Įvairialypių paslaugų transporto komunikacijos tinkluose diegimo etapai ..	40
10 pav. Įvardintų duomenų tinklaveikos architektūros palyginimas su IP tinklaveikos architektūra	42
11 pav. Intereso ir duomenų paketai NDN architektūroje	42
12 pav. Transporto valdyme, dalyvaujančių duomenų konteksto apibūdinimo ir nagrinėjimo žemėlapis (Andrea, Savigni, 2001; P. J. Brown et al., 1997; de la Vara et al., 2010; A. Dey et al., 2001; A. K. Dey et al., 1998; Pascoe et al., 1998; Rodden et al., 1998; Schilit, Theimer, 1994).....	46
13 pav. Konteksto informacijos konceptų hierarchija.....	51
14 pav. Situacijų erdvės ir konteksto būsenos vizualizavimas esant skirtingam laikui.	52
15 pav. Įnašo funkcijų pavyzdžiai, nurodantys įnašo lygį duotai vertei	53
16 pav. Pirmos eilės logikos taisyklių pavyzdys.....	62
17 pav. Bajeso tinklais ir ontologijų susiejimu grindžiamas situacijų identifikavimo metodas	63
18 pav. Statinio ir dinaminio klasifikatoriaus veikimo blokinė schema	64
19 pav. VANET imitacinio modeliavimo programinės įrangos klasifikacija	67
20 pav. Sudarytas realaus miesto žemėlapis NCTUns pakete	73
21 pav. IP paketų perdavimo vieno automobilio kitam procesas.....	74
22 pav. IEEE 802.11(p)/1609 protokolo architektūra NCTUns/Estinet aplinkoje	75
23 pav. Konteksto informacijos šaltinių, transporto priemonių komunikacijos aplinkoje, pavyzdys	77
24 pav. Bendra siūlomos automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros valdymo sistemos architektūra	80
25 pav. Automobilio judėjimo automagistralėje situacijos identifikavimo pavyzdys	80
26 pav. Konteksto duomenų srautai siūlomoje duomenų surinkimo ir sklaidimo architektūroje	81
27 pav. Įvairialypių paslaugų integravimo ir duomenų surinkimo bei sklaidos procesų sąveika VANET tinkluose	82
28 pav. Konteksto informacijos surinkimo ir sklaidimo proceso pavyzdys	85
29 pav. Duomenų sklaidos proceso algoritmas	86
30 pav. Suprojektuotos signalų priėmimo iš jutiklių programos blokinė diagrama, LabVIEW aplinkoje.....	87
31 pav. Suprojektuotos, konteksto duomenų perdavimo emuliuojamiems mazgams tinklu programos blokinė diagrama, LabVIEW aplinkoje	87
32 pav. Automobilių išsidėstymo kelyje vizualizavimas	91

33 pav. Klasterizavimo požymių įvertinimas, naudojant principinių komponentų analizę	92
34 pav. Sudarytas X-Means klasterizavimo eksperimento modelis RapidMiner 6.5 priemonėje	93
35 pav. Automobilių klasterių sudarymo rezultatai skirtingais laiko momentais $t_1 - t_6$	94
36 pav. Konteksto duomenų apsikeitimo tarp automobilių realiu laiku eksperimento scenarijus	94
37 pav. Duomenų priėmimo spartos pokyčiai laike, tinkle veikiant skirtingam skaičiui Ad-Hoc mazgų	95
38 pav. Vidutinė konteksto duomenų išsiuntimo ir priėmimo sparta, esant skirtingam mazgų skaičiui tinkle	96
39 pav. Kolizijų skaičiaus siuntėjo ir gavėjo mazguose priklausomybė nuo mazgų skaičiaus tinkle	96
40 pav. 4G LTE tinklo modeliavimo scenarijus	97
41 pav. Programinių ir sisteminių priemonių, automobilių judėjimo, tinklo mobilumo tikėtinų predikatų reikšmių, konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo valdymo sistemos verifikavimui, integravimo algoritmas	98
42 pav. Duomenų perdavimo sparta LTE eNodeB išėjime su skirtingu skaičiumi klientų	99
43 pav. Duomenų perdavimo sparta LTE eNodeB įėjime su skirtingu skaičiumi klientų	99
44 pav. Duomenų perdavimo sparta 802.11a mobiliuose mazguose su skirtingu skaičiumi klientų 100	100
45 pav. Sudarytas klasifikavimo eksperimento modelis su kryžmine validacija RapidMiner 6.5 priemonėje	101
46 pav. Daugiasluoksnio perceptrono topologija kanalo kokybės įvertinimui	102
47 pav. Daugiasluoksnio perceptrono apmokymo efektyvumas, įvertinant kryžminę entropiją	102
48 pav. Daugiasluoksnio perceptrono apmokymo, validavimo ir testavimo matrica	103
49 pav. Sudarytas sprendimų medis (a) ir jo taisyklių rinkinys (b)	104
50 pav. Taisyklių išvedimo algoritmo RIPPER modelio, duomenų perdavimo kanalo kokybės įvertinimui, fragmentas	105
51 pav. Tirtų klasifikavimo metodų palyginimas pagal tikslumą bei Kappa.....	106
52 pav. Akumuliuoto nuspėjamo naudingumo, Exc, normalizuoto Z ir Ty parametrų kitimas laike	106
53 pav. Vidutinis duomenų pralaidumas iš automobilių, įdiegus ir neįdiegus sukurtą prototipą, ryšio protokolui naudojant 802.11p	107

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė.	Kokybės reikalavimai duomenų perdavimui, įvairialypių paslaugų teikimui automobilių komunikacijos tinkluose	43
2 lentelė.	Eismo bei tinklo mobilumo scenarijų rodikliai bei jų įvertinimai	48
3 lentelė.	Integruotų imitacinio modeliavimo priemonių palyginimas.....	70
4 lentelė.	Gaunamos konteksto informacijos šaltinių automobilių aplinkoje analizė	78
5 lentelė.	Konteksto informacijos apibūdinimas, atsižvelgiant į duomenų surinkimo ir sklaidos sritis.....	82
6 lentelė.	Konteksto duomenų apsikeitimo tarp automobilių eksperimento modelio parametrai	95
7 lentelė.	Išskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose modeliavimo scenarijai.....	98

ĮVADAS

Temos aktualumas

Intelektinės transporto sistemos (*ITS*) reikalauja pažangių informacinių ir ryšių technologijų (*IRT*) bei sąveikos priemonių vystymo ir taikymo transporto infrastruktūroje, grindžiamoje belaidžių komunikacinių tinklų technologiniais sprendimais. Belaidžių technologijų bei įterptinių sistemų taikymo transporto sistemose mokslinių tyrimų rezultatai leido sukurti specializuotą, sparčiai besivystančią, *ITS* sritį – automobilių komunikacijos *Ad-Hoc* tinklus. Tikimasi, kad šios technologijos leis sumažinti eismo įvykių skaičių, optimizuoti kelių apkrovas bei padidins kelionių komfortą.

Automobilių komunikacijos *Ad-Hoc* tinklai (angl. *Vehicular Ad-Hoc Networks – VANET*) gali būti realizuojami per didelio nuotolio komunikaciją (remiantis mobiliojo ryšio *3G* ar *4G* tinklais), tiek ir per trumpam nuotoliui skirtas technologijas (*Wi-Fi* ar *DSRC*). Šie komunikacijos tipai vartotojams, automobiliuose leidžia teikti įvairialypes paslaugas, grindžiamas informacijos apsiuokimu, įgalinančias išvengti eismo įvykių, palengvinančias tyrimą po įvykio ar išvengti transporto spūsčių. Kita paslaugų grupė – keleivius dominančios komforto paslaugos.

Viena plačiausiai išnagrinėtų temų automobilių komunikacinių tinklų srityje – ryšio automobilių komunikacijos ryšio užtikrinimas, naudojant skirtingas belaidės prieigos sistemas. Tokie tyrimai buvo vykdyti (Bazzi et al., 2015; Cespedes et al., 2013; Cheng et al., 2014; Kiokes et al., 2009; Li et al., 2014; Mumtaz et al., 2015; Shen et al., 2013; Sukuvaara et al., 2013). Daugumoje tyrimų koncentruojamasi į dinaminį heterogeninių ryšio užtikrinimo protokolų valdymą, šių protokolų adaptavimą automobilių komunikaciniams tinklams, tinklo mobilumo įtaką ryšio kokybei. Ne taip detalai, išnagrinėtas infrastruktūros kanalų konfigūravimas, skirtingo tipo paslaugų prioritetų nustatymas.

Kita mokslinių tyrimų sritis – *Ad-Hoc* tinklų maršrutų paieškos protokolai bei algoritmai, duomenų sklaidos valdymui automobilių komunikacijos tinkle, užliejant tinklą duomenimis. Pastarųjų metų tyrimai vykdyti (Annese et al., 2011; Bazzi, Zanella, 2015; de Oliveira Barros et al., 2013; Omar et al., 2015; Soares et al., 2014; Tian et al., 2015). Šie tyrimai išsiskiria į dvi dalis: *V2V* komunikacija bei *V2I* sąveikos aspektai. Plačiausiai tiriama komunikacijos tinklų tipai – tai topologija grindžiami proaktyvieji, reaktyvieji bei hibridiniai tinklai; pozicija grindžiami tolerantiški bei netolerantiški vėlinimui tinklai. Taip pat programinės bei sisteminės platformos, grindžiamos klasteriais bei statine ar mobilia infrastruktūra. Maršrutų parinkimo protokolų analizė plačiai pateikiama (Bitam et al., 2015; Dua et al., 2014; Plestys, Zakarevicius, 2010, 2011; Sharef et al., 2014; Tornell et al., 2015) darbuose. Daugumoje analizuotų darbų daugiausia dėmesio skiriama komunikacijos efektyvumo tarp automobilių didinimui, tačiau svarbūs specifiniai aspektai, tokie kaip atsijungimai nuo tinklo, paslaugų kokybės (*QoS*) metrikos, eismo saugumas, išplečiamumas bei įvairialypių paslaugų teikiamo ypatumai, lieka nenagrinėti.

Komunikacijos technologijų taikymas automobiliuose turi specifinius reikalavimus ir neturi griežtų energijos sunaudojimo apribojimų, todėl gali būti aprūpinti pajėgiais skaičiavimo sisteminiiais įrankiais, belaidžio ryšio siūstuvais ir įvairiais jutikliais. Vienas iš svarbiausių komunikacijos sistemų reikalavimų – sistema neturi atitraukti vairuotojo dėmesio nuo kelio ir vartotojui be įsikišimo turi būti suteikiamos reikiamos paslaugos, reikiamoje vietoje, reikiamu laiku ir reikiamu būdu adaptuotos prie vartotojo poreikių. Vienas iš būdų padidinti vartotojo-automobilio

sąsajos autonomiškumą ir efektyvumą yra suvokti situaciją, kurioje tuo metu yra vartotojas, suvokti, kokia situacija buvo praityje bei nuspėti būsimą situaciją.

Kontekstui suvokti gali būti panaudoti įvairūs automobilio, žmogaus ir aplinkos jutikliai ir informacijos šaltiniai. Automobilio jutiklių sistema, kaip informacijos šaltinis, generuoja didelius kiekius skirtingos informacijos, įskaitant fizinius automobilio ir aplinkos jutiklius: GPS, greičio, pagreičio, temperatūros, radarų, video ir kt. bei virtualius jutiklius, tarp kurių: eismo būklės informacija, pavojaus įspėjimai, sąveika su kitais automobiliais, skambučiai ir kt.

Vykdam mokslinius tyrimus intelektualių sistemų kūrimo srityje, buvo pasiūlyta keletas sprendimų, kuriant adaptyvias paslaugas teikiančias sistemas (Bielskis et al., 2012; Drungilas, Bielskis, 2012; Dzemydienė et al., 2010; Dzemydiene, Dzindzalieta, 2010; Gričius et al., 2015). Tolimesnis, intelektualias paslaugas teikiančių adaptyvių sistemų vystymas reikalauja tiesioginio supančios aplinkos atpažinimo ir duomenų perdavimo valdymo metodų integravimo.

Pastaruoju metu itin daug dėmesio sulaukė kintančios topologijos mobilių komunikacijos tinklų sritis, kur transporto priemonių vairuotojai susiduria su nuolat didėjančiais informacijos srautais, todėl svarbiu uždaviniu tampa naudingų žinių išgavimas iš įvairialypių duomenų šaltinių ir tinkamas jų pateikimas praplėstos realybės paslaugų sistemoms. Svarbiu klausimu tampa – kaip realiu laiku, pagal išgautas žinias iš konteksto, teikti ir adaptuoti (pritaikyti pagal vartotojo poreikius) įvairialypes paslaugas. Teikiant paslaugas vairuotojui per praturtintos realybės sistemas, kyla keletas klausimų:

- kokia informacija susijusi su dalykine sritimi yra svarbi arba svarbesnė (prioritetų teikimo klausimas),
- kokios paslaugos domina vartotoją (paslaugų teikimo bei adaptavimo pagal poreikius klausimas),
- kokios svarbos, saugumo paslaugos turėtų būtų pateikiamos automatiškai.

Problemos formulavimas

Kuriant paslaugas adaptuojančias sistemas dinamiškoms aplinkoms, iškyla efektyvaus aplinkos informacijos surinkimo ir skleidimo problema (Kakkasageri, Manvi, 2014a). Konteksto informacijos suvokimas ir jos tinkamas interpretavimas kompiuterinėje sistemoje reikalauja metodų, kurie leistų surinkti tinkamą informaciją, ją suprasti (ar agreguoti) ir perduoti bei tiesiogiai susieti su aukštesnio abstrakcijos lygmens žinių išskyrimu, t. y. aplinkos situacijų samprata. Pagal šias situacijas, būtų atliekamas atitinkamų paslaugų parinkimo, adaptavimo ir kokybės gerinimo proceso automatizavimas.

Vykdam duomenų surinkimo iš skirtingo tipo jutiklių, agregavimo ir skleidimo procesus, specifines problemas sukelia didelis tinklo mobilumas, lemiantis greitai kintančią topologiją ir sudėtingą, daug tinklo resursų reikalaujantį, informacijos interpretavimą. Siekiant geriau suvokti aplinką, būtina turimais duomenimis keistis su kitais tinklo mazgais, kurie šiuo atveju yra automobiliai, taip sudarant kooperuojančią sistemą. Tinklo mazgams užliejant tinklą, perduodant visus surinktus konteksto duomenis visiems aplinkiniams mazgams, neturint jokios informacijos apie tinklo topologiją, iškyla tinklo apkrovos problema, lemianti infrastruktūros, tam tikroje zonoje, sulėtėjimą ar net visišką neveiknumą. Tinklo apkrovos mažinimui galima pasitelkti duomenų filtravimo bei agregavimo metodus, tačiau šiuo atveju iškyla klausimas: kaip pasirinkti, kuriuos duomenis perduoti aplinkiniams mazgams, neprarandant konteksto duomenų kokybės ir nesumažinant bendro tinklo efektyvumo.

Šių problemų sprendimui reikalingi intelektualūs adaptyvūs metodai, leidžiantys įvertinti vidinę (lokaciją, laiką, aplinką, vartotojo būseną, automobilio dinamiką) išorinę konteksto informaciją (informaciją gaunamą iš kitų automobilių), o taip pat, tinklo mobilumo sąlygas ir apkrovą, pagal tai vykdant duomenų paketų formavimo ir perdavimo procesus.

Tyrimo objektas

Intelektualūs konteksto duomenų surinkimo, agregavimo ir skleidimo automobilių komunikacijos tinkluose metodai bei programinės ir sisteminės priemonės, leidžiančios išvystyti įvairialypių paslaugų teikimą ir adaptavimą automobilių komunikacija grindžiamose sistemose.

Darbo tikslas

Disertacinio darbo tikslas – sukurti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros konfigūravimo sistemos prototipą, integruojantį konteksto informacijos skleidimo metodus, grindžiamus daugiakriteriniu duomenų naudingumo vertinimu.

Tiksliui pasiekti keliami šie darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti ir apibendrinti įvairialypių paslaugų teikimo kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkluose metodus, įvertinant šių tinklų konfigūravimo specifiką.
2. Atlikti esamų adaptyvių įvairialypių paslaugų teikimo sisteminių ir programinių platformų, įgalinančių vykdyti konteksto duomenų surinkimo, agregavimo ir skleidimo procesus analizę ir nustatyti racionalesnius konteksto duomenų valdymo būdus bei metodus, įvertinant praturtintų konteksto duomenų kokybę ir gausą automobilių komunikacijos tinkluose.
3. Pasiūlyti sistemes ir programines platformas, leidžiančias kartu modeliuoti automobilių judėjimą ir tinklo mobilumo tikėtinas reikšmes, nustatant jų tinkamumą konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo valdymo sistemos (prototipo) projektavimui bei verifikavimui.
4. Sukurti kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipą įvairialypėms paslaugoms teikti, leidžiantį valdyti tinklo infrastruktūros apkrovą, pagal iš aplinkos bei kooperuojančių įrenginių išgautą praturtinto konteksto informaciją, daugiakriteriškai įvertinant jos naudingumą ir skleidimo spartą tarp kitų mazgų.
5. Eksperimentiškai įvertinti sukurto automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros valdymo sistemos prototipo, skirto adaptyviai sumažinti nenaudingos perduodamos konteksto informacijos kiekį tinkle, efektyvumą skirtingomis eismo bei tinklo mobilumo sąlygomis.

Tyrimo metodika

Darbe taikomi informacijos paieškos, sisteminimo, analizės, lyginamosios analizės ir apibendrinimo metodai. Tyrimo objektas ir problema konkretizuojami, analizuojant naujausią mokslinę literatūrą iš mokslinių duomenų bazių, tokiu būdu, įvertinant darbe keliamų uždavinių išsprendimo lygį. Siekiant sukurti naują metodą, realiu laiku integruojantį konteksto žinias, išgautas iš aplinkos bei kooperuojančių įrenginių, daugiakriterinį šių žinių naudingumo įvertinimą bei žinių sklaidą tarp kitų mazgų, darbe nagrinėjami konteksto duomenų surinkimo, agregavimo, skleidimo ir

transformavimo į įvairialypių paslaugų taikymo lygmenį metodai, taikomi automobilių komunikacijos tinklams.

Kuriant prototipą, taikomas tyrimo konstravimu metodas, apimantis teorinius daugiakriterinio vertinimo, mašininio mokymo metodus bei jų taikymą. Taip pat, siūlomi nauji konteksto duomenų surinkimo bei skleidimo modeliai bei konstruojama prototipinė sistema. Eksperimentiniams tyrimams atlikti, pasitelkiamos aplinkos ir platformos, kuriomis naudojantis sudaryti imitaciniai modeliai ir scenarijai:

- imitacinio modeliavimo programinė įranga NCTUns 6.0/Estinet 6.0 - 9.0;
- modeliavimo aplinka MATLAB R2015b;
- duomenų tyrybos platforma RapidMiner 6.5;
- grafinio programavimo aplinką LabVIEW 2015;
- Visual Paradigm Community Edition UML modeliavimo priemonė.
- Sukurta specifinė priemonė NCTUns 6.0/Estinet, LabVIEW bei RapidMiner modeliavimo aplinkų integravimui.

Kuriant prototipą, taikomi daugiakriterinės naudingumo teorijos bendrieji teiginiai. Naudojant skirtingus scenarijus, eksperimentai atlikti, skirtingomis eismo bei mobilumo sąlygomis. Eksperimentų rezultatai įvertinti, taikant statistinius metodus.

Gauti rezultatai:

- Sukurtas naujas tinklo infrastruktūros valdymo sistemos prototipas daugialypėms paslaugos teikti, kuriame integruoti konteksto duomenų saugojimo ir apsikeitimo modeliai ir sukurti algoritmai, leidžiantys sumažinti perduodamų duomenų kiekį ir kooperatyviai pasinaudoti tinklo kanalų resursais automobilių komunikacijos procesuose.
- Įvairių modeliavimo, emuliacinio ir analizės aplinkų (platformų) panaudojimas leido realizuoti skirtingus konteksto duomenų valdymo scenarijus ir įvertinti duomenų saugojimui lokaliais DB pajėgumus, reikalingus apsikeitimui su kitais automobiliais bei apsikeitimui su hibridiniu VANET debesimi.
- Sukurta situacijas suvokiančios, automobilių komunikavimu grindžiamos sistemos projektavimo metodika, realiu laiku įvertinanti išgautą iš aplinkos bei kooperuojančių įrenginių konteksto informaciją, integruotas daugiakriterinis šios informacijos naudingumo įvertinimo metodas bei žinių sklaidos apribojimo tarp kitų transporto priemonių mazgų būdas.
- Vertinant konteksto skleidimo duomenų kokybę, remiamasi konteksto kokybės prioriteto nustatymo metodu, kurio pagrindiniai rodikliai: duomenų tikslumas, naujumas, geografinės koordinatės, duomenų perdavimo sritis, teikiamos paslaugos sritis.
- Sukurtas naujas, adaptyvus konteksto informacijos skleidimo metodas, grindžiamas daugiakriteriniu perduodamos informacijos naudingumo vertinimu, įgalinantis ženkliai sumažinti perduodamos nenaudingos konteksto informacijos kiekį automobilių komunikacijos tinkle ir išvengti tinklo infrastruktūros perkrovos.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie informatikos inžinerijos mokslui nauji rezultatai. Darbe pasiūlyti metodai ir jų taikymo metodika praplečia įvairialypių paslaugų teikimo ir integravimo automobilių komunikacijos tinkluose sistemų kūrimo ir vystymo galimybes. Skirtingai nei šiuo metu siūlomos konteksto duomenų skleidimo sistemos, pasiūlytas metodas, priklausomai nuo skirtingų sričių konteksto, leidžia adaptuoti duomenų perdavimo srautus, tokiu būdu, sumažindamas belaidžio tinklo

apkrovą ir leisdamas efektyviai teikti paslaugas vartotojui dinaminio pobūdžio dalykinėse srityse.

Darbe pasiūlyta metodika, grindžiama daugiakriteriniu perduodamos informacijos naudingumo vertinimu skleidimo procese yra skirta išskirstytų, heterogeninių duomenų surinkimo posistemių integravimui, jų generuojamus duomenis transformuojant į itin dinamiškų intelektinių transporto sistemų konteksto suvokimo informaciją. Kiekvienas šios intelektinės transporto sistemos elementas veikia, kaip atskiras komponentas, turintis specifinius aplinkos stebėjimo ir valdymo elementus. Konteksto informacijos naudingumo vertinimas leido realizuoti metodus ir algoritmus, kurie adaptyviai sumažino belaidžio ryšio kanalo apkrovą bei perduodamų ir saugojamų duomenų apimtį, neprarandant praturtintos konteksto informacijos kokybės, kas leidžia toliau vystyti sudėtingesnes įvairialypes paslaugas. Manoma, jog gauti moksliniai rezultatai turės įtakos tolimesnėje intelektinių transporto sistemų plėtroje, ypač, vystant konteksto suvokimo ir paslaugų adaptavimo sistemas.

Sukurtas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipas, skirtas situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų sistemų projektavimui, realiu laiku įvertinantis bei praturtinantis konteksto informaciją, daugiakriterinį šios informacijos naudingumo įvertinimą bei žinių sklaidą tarp kitų mazgų, suteikia galimybes ne tik palengvinti ir pagreitinti įvairialypių paslaugų, grindžiamų konteksto suvokimu realizaciją, bet ir efektyviai naudoti belaidžio ryšio technologijas automobilių komunikacijos tinkluose bei užtikrinti šios aplinkos dalyvių tarpusavio suderinamumą ir tokių sistemų praplečiamumą.

Adaptyvioms, prie vartotojų poreikių prisitaikančioms sistemoms kurti itin dinamiškose dalykinėse srityse, pasiūlyti specialiai adaptuoti konteksto duomenų skleidimo realiu laiku metodai, kurie leido su kuo mažesnėmis laiko sąnaudomis ir kuo tiksliau įvertinti sistemos reakcijas į aplinkos pokyčius.

Praktinė darbo reikšmė

Sukurtas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipas, skirtas situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų sistemų projektavimui, realiu laiku įvertinantis bei praturtinantis konteksto informaciją. Pasiūlyti 3 konteksto duomenų saugojimo ir apsikeitimo modeliai, skirti valdyti lokaliai saugomiems, perduodamiems kitiems mazgams bei debesų kompiuterijos sistemai, duomenims. Tai leido adaptyviai sumažinti perduodamų duomenų kiekį ir kooperatyviai naudoti kanalo resursus.

Sukurta situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų sistemų projektavimo metodologija, realiu laiku įvertinanti išgautą iš aplinkos bei kooperuojančių įrenginių konteksto informaciją, daugiakriterinį šios informacijos naudingumo įvertinimą bei žinių sklaidą tarp kitų mazgų leidžia efektyviau kurti naujas situacijas suvokiančias sistemas bei išplėsti dabartines eismo srautų valdymo, vartotojų informavimo, stebėjimo ir kitas intelektinio transporto sistemas, suteikiant galimybes sistemoms kooperatyviai keistis konteksto informacija.

Šiame darbe pasiūlyti duomenų surinkimo, agregavimo bei skleidimo metodai buvo panaudoti vykdant šiuos MTEP projektus: VGTU-KU-KTU-LEI projektą „Transporto statinių, transporto priemonių ir jų srautų inovatyvių tyrimo metodų ir sprendimų kūrimas bei taikymas“, 2013-2015; „Išmaniųjų technologijų pritaikymo krovos procese Klaipėdos uosto įmonėse tyrimai, siekiant padidinti krovos ir energetinį efektyvumą“, 2014; „LLII-215 JRTC Extension in Area of Development of Distributed Real-Time Signal Processing and Control Systems“, 2012-2014; LLII-061 „Development of Joint Research and Training Centre in High Technology Area“, 2010-

2012; „Mobiliųjų ir bevielų paslaugų virtualios informacinės aplinkos sukūrimas“, 2011-2012.

Ginamieji disertacijos teiginiai

1. Adaptyvioms įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikaciniuose tinkluose sistemoms kurti siūloma taikyti konteksto informacijos naudingumo vertinimo algoritmus, įvertinančius aplinkos praturtinto konteksto informaciją daugiakriteriniu požiūriu.
2. Sudėtingomis kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo ryšio užtikrinimo sąlygomis, tikslinga projektuoti ir taikyti atskirus specializuotus konteksto duomenų įvertinimo ir valdymo algoritmus, susijusius su lokaliai saugomais duomenimis ir jų perdavimu kitiems tinklo mazgams bei duomenims nukreiptiems į debesų kompiuterijos serverius.
3. Sukurtas sistemos prototipas leidžia įvertinti kintančios topologijos tinklų pajėgumus, selektyviai perduodant įvairialypių paslaugų duomenis ir sumažinti perduodamos nenaudingos informacijos duomenų kiekius kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant konteksto duomenų kokybės.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema publikuota 10 mokslinių darbų, iš kurių: 1 straipsnis *ISI Web of Science* duomenų bazėje referuojamuose ir turinčiuose citavimo indeksą leidiniuose, 6 straipsniai recenzuojamuose moksliniuose periodiniuose leidiniuose, 3 straipsniai tarptautinių mokslinių konferencijų pranešimų medžiagoje (publikacijų sąrašas pateiktas darbo gale).

Doktorantūros laikotarpiu Informatikos inžinerijos gretutinėse srityse publikuota 8 moksliniai darbai, iš kurių: 4 straipsniai *ISI Web of Science* duomenų bazėje referuojamuose leidiniuose, 4 straipsniai recenzuojamuose moksliniuose leidiniuose.

Disertacijos tema tyrimų rezultatai buvo pristatyti 4 nacionalinėse ir 8 tarptautinėse mokslinėse konferencijose Lietuvoje bei užsienyje:

1. NOSTRADAMUS 2014. International Conference on Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems, Ostrava, Czech Republic, 2014 23rd - 25th June.
2. Jūros mokslai ir technologijos – 2014, Klaipėda, Lietuva, 2014, Balandžio 23-25d.
3. 13th International Conference on Knowledge in Telecommunication Technologies and Optics KTTO 2013, Ostrava, Czech Republic, 2013 September 4th - 6th. (Best Paper Award)
4. 2nd International Scientific Conference Baltic Applied Astroinformatics and Space Data Processing, Latvia, Ventspils, 2013 May 15 – 16.
5. International Conference Social Technologies ‘13 Development of Social Technologies in the Complex World: Special focus on e-Health, Lithuania, Vilnius, 2013 October 10-11.
6. XVI tarptautinė mokslinė kompiuterininkų konferencija Kompiuterininkų dienos – 2013, Šiauliai, Lietuva, 2013 rugsėjo 19–21 d.
7. 7-oji mokslinė – praktinė konferencija Jūros ir krantų tyrimai – 2013, Lietuva, Klaipėda, 2013 balandžio 3-5.

8. Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems. Vilnius, 2012.
9. International Scientific Conference Baltic Applied Astroinformatics and Space Data Processing, Latvia, 2012.
10. Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje VIII, Klaipėda, 2012.
11. Mokslinė konferencija Socialinės Technologijos '11, Vilnius, 2011.
12. New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation: NEET 2011: 7th International Conference, Zakopane, Poland, June 28 - July 1, 2011.

Darbo apimtis ir struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, 5 skyriai ir bendrosios išvados. Disertacijos apimtis – 127 puslapiai, 53 paveikslai ir 7 lentelės.

Įvade aprašomas mokslinio tyrimo aktualumas, analizuojama jo reikšmė, pateikiamas šiuolaikinių mokslinių tyrimų kontekstas, pateikiama problemos formuluotė, nagrinėjamos problemos aktualumas, formuluojamas tikslas ir uždaviniai, apibrėžiami ginamieji teiginiai, aprašoma darbo metodika. Pateikiami pagrindiniai mokslinio darbo rezultatai bei disertacijos gautų rezultatų praktinė vertė ir naujumas, disertacijos rezultatų publikavimo rodikliai ir aprobavimas.

1 skyriuje nagrinėjami įvairialypių paslaugų teikimo metodai. Apžvelgiama automobilių komunikacijos tinklų architektūra ir pavyzdžiai, įskaitant automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros komponentus bei belaidės prieigos automobilių komunikacijos tinkluose būdus. Įvardijamos pagrindinės specifinės automobilių komunikacijos tinklų charakteristikos. Analizuojamos paslaugos teikiamos šiuose tinkluose ir šių paslaugų kūrimo bei vystymo metodai.

2 skyriuje analizuojamas situacijų identifikavimas įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos tinkluose. Aiškinama konteksto, konteksto kokybės bei situacijos suvokimo koncepcija, analizuojami konteksto kokybės rodikliai bei konteksto valdymas automobilių komunikacijos tinkluose. Pristatoma konteksto duomenų surinkimo, agregavimo bei skleidimo metodų apžvalga, pristatomi šių metodų privalumai bei trūkumai.

3 skyriuje nagrinėjama automobilių komunikacijos tinklų ir teikiamų paslaugų modeliavimo programinė įranga. Pateikiama imitacinio modeliavimo priemonių taksonomija bei analizė. Detaliai analizuojama *NCTUns/Estinet* integruota tinklų bei mobilumo modeliavimo ir emuliacinio aplinka, bei automobilių komunikacijos tinklų standartų ir protokolų architektūra šioje aplinkoje.

4 skyriuje nagrinėjama automobilių komunikavimu grindžiamos, situaciją suvokiančios sistemų projektavimo metodika. Analizuojami duomenų perdavimo kokybės reikalavimai eismo saugumo ir įvairialypių paslaugų teikimui. Pateikiama situacijų identifikavimo automobilių kooperacijos aplinkoje sistemos architektūra bei paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose sistemos projektavimas. Analizuojamas siūlomas konteksto duomenų naudingumo įvertinimo metodas ir konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo sistemos veikimo algoritmas.

5 skyriuje pateikiami eksperimentinių tyrimų rezultatai, siekiant verifikuoti sukurtą automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipą ir informacijos perdavimo pajėgumus. Nustatyti sistemos veikimo režimai, įvertinti tinklo ir sistemos sąveikos stabilumas. Pateikiami sistemos verifikavimo ir testavimo rezultatai, siekiant įrodyti, kad sistema įgalina sumažinti perduodamos nenaudingos konteksto informacijos kiekį automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant konteksto duomenų kokybės. Eksperimentai atlikti panaudojant imitacinio modeliavimo programinę įrangą *NCTUns/Estinet* bei grafinio programavimo aplinką *LabVIEW*. Naudojant skirtingus scenarijus eksperimentai atlikti esant skirtingomis eismo bei mobilumo sąlygomis.

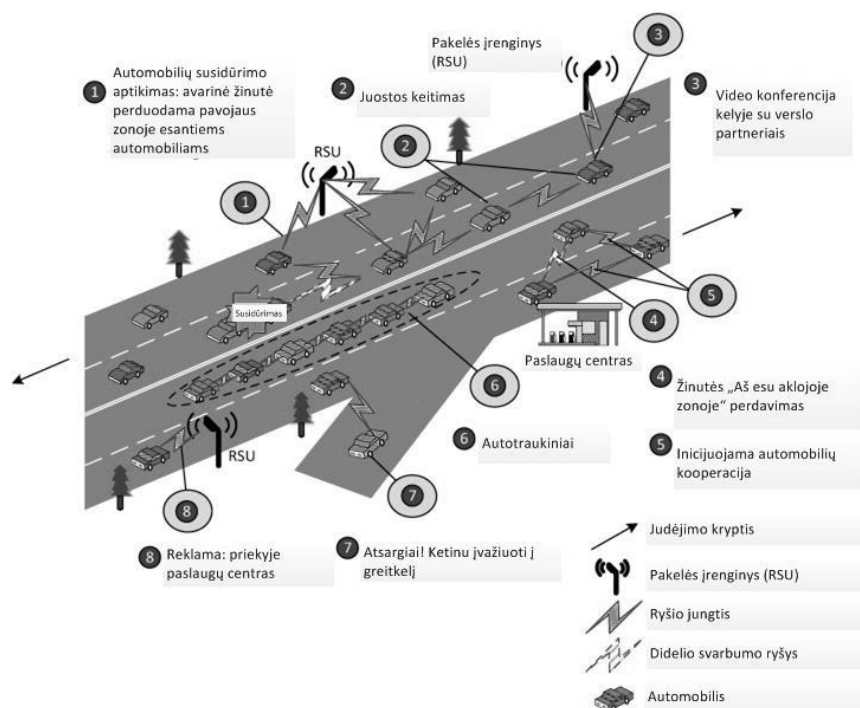
Pateikiami darbo rezultatai ir išvados, kurios pagrindžia ginamus teiginius.

1. SISTEMŲ INFRASTRUKTŪRA ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ TEIKIMUI KINTANČIOS TOPOLOGIJOS AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE

Skyriuje pateikiama belaidžių automobilių komunikacijos tinklų samprata ir nagrinėjamos šių tinklų techninės charakteristikos, būtinos užtikrinant įvairialypių paslaugų teikimą judančiose bei sąveikaujančiose transporto priemonėse. Apžvelgiami automobilių komunikacijos tinklų architektūriniai sprendimai ir taikomieji pavyzdžiai. Supažindinama su automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros komponentais, belaidės prieigos automobilių komunikacijos tinkluose realizavimo būdais bei galiojančiais standartais. Įvardijamos pagrindinės specifinės automobilių komunikacijos tinklų charakteristikos. Analizuojamos paslaugos, teikiamos šiuose tinkluose ir šių paslaugų kūrimo bei vystymo metodai.

1.1. Sistemų, vystomų automobilių komunikacijos tinklų aplinkoje, galimybės ir pavyzdžiai

Automobilių komunikacijos tinklai – technologija, kurioje mobilus kompiuterių tinklo mazgai yra judantys automobiliai, komunikuojantys tiesiogiai vienas su kitu arba per kitus automobilius (angl. *Vehicle to Vehicle* – V2V). Taip pat, automobiliai komunikuoja su šalia kelio įrengtais infrastruktūros įrenginiais (angl. *vehicle to infrastructure* – V2I). Tai nauja mobilių belaidžių tinklų klasė, kuri sparčiai vystoma, belaidžių mobiliųjų technologijų ir automobilių pramonės naujausių mokslinių pasiekimų dėka. Automobilių komunikacijos tinklai gali būti suformuojami tarp judančių transporto priemonių, kurios aprūpintos homogeninėmis arba heterogeninėmis belaidžio ryšio sąsajomis (802.11a/b/g/n/p, WiMAX, 3G, LTE ir kt.).



Šaltinis: (H. T. Cheng et al., 2011)

1 pav. Automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros komponentų ir galimybių pavyzdys

Fig. 1. Example of infrastructure components and capabilities of the vehicular communication network

Šie tinklai, dar kitaip žinomi, kaip *VANET* (angl. *Vehicular Ad-Hoc Network*), yra viena iš *MANET* (mobilių *Ad-Hoc* tinklų) taikymo sričių, leidžianti tarpusavyje komunikuoti netoliese esančioms transporto priemonėms, taip pat transporto priemonėms ir stacionariems įrenginiams. Automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros komponentų ir galimybių pavyzdys pateiktas (1 pav.).

1.1.1. Automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros komponentai

Komunikacija tarp automobilių ir pakeinės įrenginių (angl. *Road Side Unit – RSU*) bei infrastruktūros sudaro tris sritis: *InV* (automobilio) sritis susideda iš borto įrenginio (angl. *On Board Unit – OBU*) bei vieno ar kelių programų įrenginių (angl. *Application Unit – AU*). *Ad-Hoc* sritį sudaro automobiliai, aprūpinti *OBU* ir komunikuojantys tiesiogiai vieni su kitais, taip suformuodami *MANET* (angl. *Mobile Ad-Hoc Network*) tinklą, užtikrinantį pilnai išskirstytą, decentralizuotą komunikaciją. Infrastruktūros srityje *RSU* gali prisijungti prie infrastruktūros tinklų arba interneto, taip leisdami *OBU* pasiekti infrastruktūros objektus.

Borto įrenginys (OBU)

OBU yra *WAVE* įrenginys, paprastai, montuojamas automobilyje ir yra naudojamas informacijos apsaugai tarp *RSU* bei kitų automobilių. Jį sudaro resursų komandų procesorius (angl. *Resource Command Processor – RCP*) ir resursai, įskaitant skaitymo/rašymo atmintis, naudojama saugoti informacijai, vartotojo sąsaja bei specializuota ryšio sąsaja, skirta prisijungti prie kitų *OBU* ar tinklo įrenginių, naudojant 802.11p radijo ryšio technologiją. Gali būti naudojami papildomi įrenginiai, grindžiami kitomis radijo ryšio technologijomis, kaip *IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ad ir kt.*, *3G*, *LTE* ir kt. *OBU* prisijungia prie *RSU* ar kito *OBU* per belaidžio ryšio jungtį, naudodamas *IEEE 802.11p* radijo dažnio kanalą, kuris yra atsakingas už komunikaciją su kitais *OBU* bei *RSU*, taip pat, užtikrina ryšio paslaugas programų įrenginiui. Pagrindinės *OBU* funkcijos yra: belaidžio ryšio prieiga, *Ad-Hoc* ir geografinė pozicija grindžiamas maršrutų parinkimas, tinklo apkrovos valdymas, patikimas žinučių perdavimas, duomenų saugumas ir *IP* mobilumas (Al-Sultan et al., 2014; *CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*, 2007, “*IEEE Std 1609.1-2006*,” 2006; Olariu, Weigle, 2009).

Programų įrenginys (AU)

AU yra įrenginys, kuriuo aprūpintas automobilis. Naudojantis šiuo įrenginiu, paslaugų tiekėjas teikia paslaugas, naudodamasis *OBU* galimybėmis. *AU* gali būti specifinėms saugumo programoms dedikuotas įrenginys ar įprastas įrenginys, kaip išmanusis telefonas ar planšetinis kompiuteris, kuriuo teikiamos interneto paslaugos. *OBU* ir *AU* atskyrimas, dažnai, yra loginis (*CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*, 2007).

Pakeinės įrenginys (RSU)

RSU yra *WAVE* įrenginys, sumontuotas šalia kelio ar kitose tam specialiai skirtose vietose, pvz. sankryžose ar stovėjimo aikštelėse. Šis įrenginys aprūpintas artimo nuotolio belaidžio ryšio technologijomis, kaip *IEEE 802.11p* ar kitomis, kuriomis jis prijungiamas prie tinklo infrastruktūros. Pagal (*CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*, 2007), pagrindinės funkcijos ir procedūros susietos su *RSU* yra:

- Praplėsti *Ad-Hoc* tinklo nuotolį persiunčiant informaciją kitiems *OBU* ar *RSU*.

- Vykdyti saugumo programas, kaip avarių įspėjimai, kelio dangos informacija ir kt., naudojant *V2I* režimą, ir veikiant kaip informacijos šaltinis.
- Suteikti *OBU* interneto prieigą.

Automobilių komunikacijos sritys

Automobilio sritis (angl. *In-Vehicle domain*): šią sritį sudaro *OBU* ir vienas ar daugiau *AU*. *OBU* ir *AU* gali būti realizuoti, kaip vienas įrenginys. Automobilio srityje konteksto informacija surenkama iš sumontuotų jutiklių ir saugoma duomenų bazėje (*CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*, 2007).

V2V sritis (angl. *V2V domain*): tai *Ad-Hoc* tipo tinklas, kurį sudaro automobiliai, aprūpinti *OBU*. Automobiliai komunikuoja tarpusavyje per *OBU*, taip suformuodami *MANET*, kuris užtikrina komunikaciją visiškai paskirstytu decentralizuotu būdu. Automobiliai komunikuoja tiesiogiai vienas su kitu, jei įmanomas tiesioginis belaidis ryšys tarp jų, suformuodamas vieno šuolio automobilio su automobiliu komunikaciją (*V2V*). Jei negalima sudaryti tiesioginės komunikacijos, duomenys, kaip tarpininkams, persiunčiami kitiems automobiliams, tol kol pasiekiamas adresatas. Taip suformuojamas daugelio šuolių (angl. *multi-hop*) ryšys (Al-Sultan et al., 2014).

Infrastruktūros sritis (angl. *Infrastructural domain*): *RSU* gali prisijungti prie infrastruktūros tinklų ar prie interneto, leisdamas *OBU* pasiekti infrastruktūros tinklą. *OBU*, taip pat, gali komunikuoti su kitais mazgais, teikiant ne saugumo paslaugas, naudojant kitas mobiliojo ryšio technologijas (*GSM*, *GPRS*, *UMTS*, *HSDPA*, *WiMax*, *4G* ir kt.) (*CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto*, 2007, "IEEE Std 1609.3-2010 (Revision of IEEE Std 1609.3-," 2010).

1.1.2. Belaidė prieiga automobilių komunikacijos tinkluose

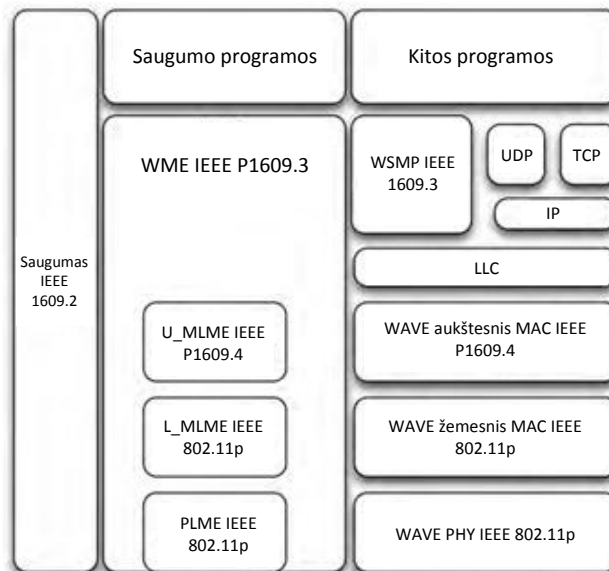
Šiuo metu yra keletas paplitusių belaidės prieigos standartų bei technologijų, skirtų užtikrinti *V2V*, *V2I* bei tiesioginei automobilių komunikacijai. Kai kurios iš jų, grindžiamos centralizuota infrastruktūra, skirta koordinuoti komunikacijai tarp mazgų, kitos – veikia *Ad-Hoc* paskirstyto koordinavimo būdu. Žemiau aptariamos plačiausiai paplitusios belaidės prieigos technologijos be laidei automobilių komunikacijai užtikrinti.

IEEE 802.11p/WAVE sistemos

Pagrindinis standartas be laidei prieigai automobilių komunikacijos tinkluose, pristatytas *IEEE* organizacijos - *IEEE 802.11p*. Šis standartas, įvertinus automobilių komunikacijos tinklų specifiką, buvo sukurtas, atlikus *IEEE 802.11* standarto patobulimus. Pagrindinis skirtumas, lyginant su pirminiu *IEEE 802.11* standartu yra tai, kad *IEEE 802.11p* standarte *MAC* (angl. *Medium Access Control*) sluoksnio mechanizmas yra grindžiamas ryšio prioritetų nustatymu ir konkurencija grindžiama *EDCA* (angl. *Enhanced Distributed Channel Access*) kanalų prieigos schema ("IEEE Std 1609.4-2010 (Revision of IEEE Std 1609.4-," 2011). Standarte naudojamas daugiakanalis *WAVE* (angl. *Wireless Access for Vehicular Environments*) sistemos mechanizmas ("IEEE Std 1609.3-2010 (Revision of IEEE Std 1609.3-," 2010), pagal kurį automobiliai valdo ryšio kanalus, periodiškai perjungdami tarp bendrojo valdymo kanalo (*CCH*), skirto pavojaus ir įspėjimų žinučių stebėjimui, bei vieno iš informacinių bei multimedija paslaugų kanalų (*SCH*), kuriais perduodama ne tokio aukšto prioriteto informacija. Skirtasis trumpo nuotolio komunikacijos ryšys *DSRC* (angl. *Dedicated Short Range Communications*) veikia 5,9 GHz dažniu ir palaiko tiek viešojo saugumo, tiek ir privataus naudojimo *I2V* ir *V2V* komunikacijos priemones (Moustafa, Zhang, 2009).

Dinaminėje transporto priemonių komunikacijos aplinkoje sudėtinga problema yra prisijungimo prie tinklo trukmės mažinimas, todėl *IEEE 802.11a* standarto įrenginių kanalų skanavimo ir saugumo užtikrinimo sprendimai buvo netinkami greitai judančio transporto priemonių saugumo užtikrinimui. Reikalingi pakeitimai buvo tiek baziniame kanalų priskyrimo, tiek ir paketų maršrutizavimo bei sprendimų priėmimo lygmenyse. Tokiu būdu, atsirado trys standartų kūrimo ir taikymo idėjos. Pirmiausia, reikėjo atlikti *IEEE 802.11* belaidžių vietinių tinklų standartų pakeitimus, kurie aprašytų *DSRC* spektrą ir juostas bei leistų greitą sąveiką, sudarančią *IEEE 802.11p* fizinį sluoksnį. Tam, kad pakeisti *IEEE 802.11* sluoksnį, reikia pasiūlyti naujas saugumo ir kanalų parinkimo paslaugas aukštesniame lygmenyje, tai bandoma įgyvendinti *IEEE 1609* standartuose – *WAVE* – belaidei prieigai automobilių aplinkoje, kurią sudaro *DSRC* standartų ir komunikacijos stekas, atvaizduojamas 2 pav. (Amadeo et al., 2012):

- Resursų valdytojas – 1609.1;
- Saugumo paslaugos ir valdymas – 1609.2;
- Tinklo paslaugos – 1609.3;
- Daugiakanalės operacijos – 1609.4.



Šaltinis: (Weil, 2009)

2 pav. *DSRC* standartai ir komunikacijos stekas

Fig. 2. *DSRC* standards and communication stack

DSRC standartai leidžia vystyti sistemas, kuriose automobiliai gali jungtis tiesiai į bendrą *DSRC* diapazono kanalą, skirtą saugumo užtikrinimui, o kiti kanalai yra prieinami mažiau svarbiam ryšiui. Aukščiausias lygmuo yra taikymo, vadinamas *SAE J2735* ir vystomas Automobilių inžinierių bendruomenės, *DSRC* techninio komiteto (angl. *Society of Automotive Engineers, DSRC Technical Committee*).

IEEE 802.11p standartas (taip pat vadinamas ir *WAVE*) įnešė *IEEE 802.11* standarto patobulinimus, be kurių būtų neįmanoma automobilių komunikacijos sistemų vystymosi pradžia. Į jį įeina duomenų apsikeitimas, tarp judančių automobilių, taip pat tarp automobilių ir *RSU* licencijuotoje 5,9 GHz dažnių juostoje iki 1000 metrų atstumu. *WAVE* apima naujas taikymo klases, susijusias su saugumu keliuose (pvz. susidūrimo išvengimas) ir avarines paslaugas (policijos, greitosios pagalbos, gaisrinės ir kt. specialiųjų tarnybų). Kai kuriais kritiniais atvejais reikia, kad bendras laikas, nuo

signalo aptikimo iki apsikeitimo keletu kadru, neviršytų 100 ms. *WAVE* operacijoms atlikti panaudoja valdymo kanalus ir keletą paslaugų kanalų. Fizinio sluoksnio praplėtimas, grindžiamas *OFDM* sistema. *OFDM* sistema *WAVE* komunikacijoms suteikia 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, ir 27 Mbps spartą 10 MHz kanaluose. Taip pat, *WAVE* turi galimybę veikti 20 MHz kanaluose, tokiu atveju, palaikoma 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 ir 54 Mbps sparta.

Stotelės, veikiančios pagal *WAVE*, turi sugebėti apsikeisti žinutėmis tarp *RSU* ir automobilių, judančių iki 140 km/h greičiu su *PER* (angl. *packet error rate*) mažesniu nei 10%, kaip *PSDU* ilgis yra 1000 baitų; kai automobilis juda iki 200 km/h greičiu – su mažesniu nei 10% *PER*, kai *PSDU* ilgis yra 64 baitai. *V2V* atveju, turi būti užtikrinamas *PER* mažesnis nei 10% tarp automobilių, judančių 283 km/h greičiu, kai *PSDU* ilgis yra 200 baitų. Šie standartų techniniai apribojimai užtikrina saugumo paslaugų palaikymą, todėl *WAVE* susilaukia didžiulio susidomėjimo iš automobilių pramonės (Weil, 2009).

Mobilusis ryšys

Nors mobiliojo ryšio tinklų panaudojimas daugiausiai taikomas telefonijos paslaugų teikimui, tačiau pastaruoju metu, tai yra pagrindinė technologija ir duomenų perdavimui mobilioje aplinkoje. Pirmiausia, siekiant padidinti *GSM* tinklų perduodamą greitaveiką (9,6 kb/s), buvo pasiūlyta *GPRS* (angl. *General Packet Radio Service*) technologija, kuri suteikė 0,47 Mb/s pralaidumą. Po jos sekė *EDGE* technologija, užtikrinanti greitaveiką iki 1,9 Mb/s. Vėliau šios technologijos vietą užleido 3 kartos mobilijam ryšiui. Buvo pasiūlyta *UMTS*, kuri yra labiausiai išvystyta 3 kartos mobiliojo ryšio technologija. *UMTS* patobulinimas *HSPA+* leidžia pasiekti 42 Mb/s gavimo ir 22 Mb/s išsiuntimo spartą (Cheng et al., 2011).

Mobiliojo ryšio tinklų taikymas automobilių sistemoms prasidėjo prieš keletą metų, kai *GSM* ir *GPRS* sistemos buvo pradėtos taikyti eismo informacijai bei pavojaus perdavimui (Masini et al., 2004). Tačiau iki 3G technologijų atėjimo, žema duomenų perdavimo sparta lėmė menką korinio ryšio naudojimą *ITS* sistemose. Mokslinėje literatūroje kai kurie autoriai gina *UMTS* naudojimą tiesioginėms *V2V* komunikacijoms, ši technologija taip pat taikoma stebėjimo sistemoms (Santa et al., 2008), tačiau jos taikymas *V2V* komunikacijai vis dar yra didžiulis iššūkis dėl didelio vėlinimo laiko. Pastaraisiais metais pradėtos plačiai diegti 4G *LTE* ryšio technologijos analizuojamos, kaip alternatyva *IEEE 802.11p* protokolui automobilių komunikacijai užtikrinti. Pagrindinis šios technologijos privalumas – 3GPP organizacijos turinio pristatymo paslaugų standartizavimas, leidžiantis efektyviai perduoti duomenų paketus dideliame skaičiui mazgų. *LTE* gerai tinka *VANET*, kadangi užtikrina santykinai aukštą duomenų išsiuntimo ir priėmimo spartą tiek didelio mobilumo, tiek mažo mobilumo eismo sąlygomis (Atat et al., 2014; Ucar et al., 2015; Vinel, 2012). Belaidės priegigos technologijų taikymo automobilių komunikacijos tinklams palyginimas pateikiamas 1 priede.

Pagrindinė priežastis, stabdanti šių technologijų naudojimą *ITS* yra papildoma kaina, kurią reikia mokėti už naudojimąsi korine operatorių infrastruktūra, taip pat, dažnai netenkinami kritinių paslaugų teikimo laiko vėlinimo reikalavimai. Nepaisant visų trūkumų, kai kurie mokslininkai mano, kad bendra *ITS* komunikacijos technologija ir mobilusis ryšys gali pasiūlyti labai plačią aprėptį ir palaikyti didelį automobilių mobilumą (Bazzi et al., 2015; Cheng et al., 2014; Deruyck et al., 2011).

1.2. Automobilių komunikacijos tinklų pagrindinės savybės

Automobilių komunikacijos tinklai turi specialias charakteristikas bei savybes, kurios juos skiria nuo kitų belaidžių tinklų tipų. Pagal (Lee, Gerla, 2010;

Moustafa, Zhang, 2009) išskirtos šios unikalios automobilio, kaip mobilaus tinklo mazgo, savybės:

- didesnis energijos rezervas,
- judėjimas pagal šablonus.

Automobiliai turi didelį energijos rezervą, lyginant su įprastu mobiliu įrenginiu. Energija gali būti gaunama iš akumuliatorių bei įkraunama benziniu, dyzeliniu ar alternatyvaus kuro varikliu. Transporto priemonėse galima įdiegti fiziškai didesnius ir sunkesnius skaičiavimo (jutiklių) komponentus (t. y. ir pajėgesnius), lyginant su tradiciniais belaidžiais klientais. Automobilių kompiuteriai gali būti didesni, greitesni bei aprūpinti itin didelės talpos atminties įrenginiais, taip pat, galingomis belaidžio ryšio sąsajomis, galinčiomis užtikrinti aukštą komunikacijos spartą. Transporto priemonės gali judėti dideliu greičiu (160 km/h ar daugiau), todėl sunku išlaikyti nuolatinę, nuoseklią V2V komunikaciją. Tačiau renkami statistiniai duomenys apie transporto judėjimą, tokį kaip, judėjimą kartu pagal tam tikrus šablonus, gali padėti išlaikyti ryši tarp mobilių automobilių grupių. Automobiliai tinkle, bet kuriuo momentu gali atsидurti už ryšio zonos (*Wi-Fi*, mobiliojo, palydovinio ir t.t.), todėl tinklo protokolai turi būti sukurti taip, kad būtų galima labai greitai vėl prisijungti prie komunikavimo tinklo, atkūrus ryšį. Ši tema plačiau išnagrinėta autoriaus publikacijose (Kurmis et al., 2011; Kurmis, Dzemydienė, et al., 2013; Kurmis, et al., 2013).

Nepaisant daugybės unikalių teigiamų savybių, automobilių tinklų vystymasis susiduria ir su specifiniais iššūkiais, kurių pagrindiniai:

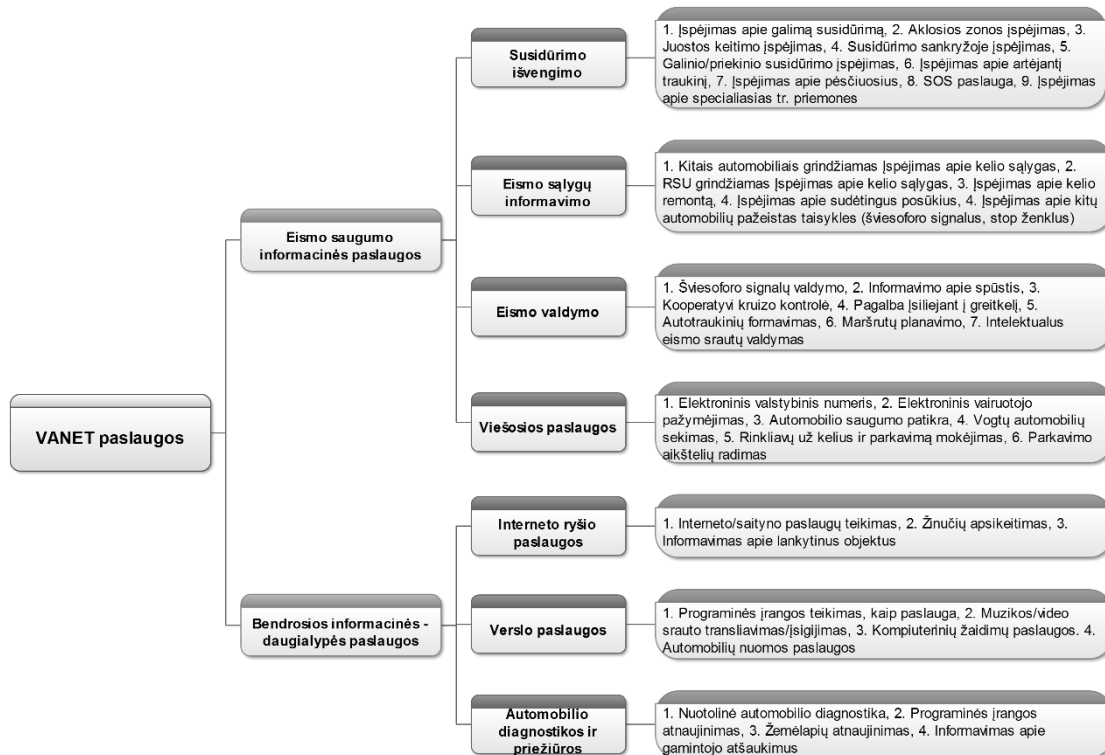
- didžiulio masto tinklai,
- aukštas mobilumo lygis,
- tinklo fragmentacija,
- kintanti topologija,
- sudėtingas kokybiško ryšio užtikrinimas.

Skirtingai nuo literatūroje aprašomų *Ad-Hoc* tinklų, kurie yra gana riboto dydžio, automobilių komunikacijos tinklai, iš picipo, gali išsiplėsti visame kelių tinkle ir apimti didžiulį kiekį tinklo įrenginių (automobilių). Aplinka, kurioje veikia automobilių tinklai yra itin dinamiška ir kai kuriais atvejais gali būti ypač skirtinga, pvz. greitkeluose greitis gali siekti iki 300 km/h, žemo apkrovimo keliuose automobilių srautas gali tesiekti vos 1-2 automobilius kilometre. Kita vertus, miestuose automobilių greitis siekia 50-60 km/h, o automobilių srautas gana didelis, ypač piko metu. Automobilių komunikacijos tinklai, dažnu atveju, gali būti fragmentuoti. Dinamiška eismo prigimtis gali nulemti didelius tarpus tarp automobilių retai apgyvendintose vietovėse, taip pat gali būti sukuriamas keletas izoliuotų tinklo mazgų klasterių. Automobilių komunikacijos tinklų scenarijai labai skiriasi nuo klasikinių *Ad-Hoc* tinklų, kadangi automobiliai juda bei keičia pozicijas nuolatos, scenarijai yra labai dinamiški. Tokiu būdu, ir tinklo topologija keičiasi labai dažnai, kadangi itin dažni prisijungimai bei atsijungimai tarp tinklo mazgų. Iš tiesų, iki kokio laipsnio tinklas yra apjungtas priklauso nuo dviejų faktorių: atstumo tarp belaidžių jungčių bei automobilių, galinčių jungtis į tinklą skaičiaus. Kitų komunikacijos technologijų taikymas judančių objektų situacijose analizuojamas publikacijoje (Jakovlev et al., 2013).

1.3. Įvairialypių paslaugų apžvalga kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklams

Automobilių komunikacijos taikymo sritys gali būti suskirstytos į dvi pagrindines kategorijas: bendrąsias informacines – daugialypes paslaugas ir eismo

saugumo informacinės paslaugas (Willke et al., 2009). Šių paslaugų taksonomija pateikiama 3 pav.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (Baiocchi, Cuomo, 2013; Campolo et al., 2015a; C.-M. Cheng, Tsao, 2015; Dias et al., 2014; Emara et al., 2015; Florin, Olariu, 2015; Golestan et al., 2015; Hussain et al., 2015; E. Lee et al., 2014)

3 pav. VANET paslaugų taksonomija

Fig. 3. Taxonomy of VANET services

Bendrųjų informacinių ir daugialypių (multimedija) paslaugų pagrindinis tikslas – vairuotojui ir keleiviams pasiūlyti paslaugas užtikrinančias patogumą ir komfortą automobilyje. Intelektualios parkavimo sistemos struktūra didelėms stovėjimo aikštelėms, suteikiančią realaus laiko aikštelės navigaciją, apsaugą nuo vagysčių, patogią stovėjimo informacijos sklaidą, buvo pasiūlyta (Lu et al., 2009). Sistema grindžiama automobilių komunikacija. Skaitmeninės skelbimų lentos, skirtos reklamai buvo pristatytos (Nandan et al., 2005) darbe, kuriame nagrinėjamos reklamos platinimo galimybės automobilių komunikacijos tinkluose. Siūloma integruota sistema *AdTorrent*, skirtą turinio vertinimui, paieškai bei pristatymui šioje architektūroje.

Pasinaudojant *V2I* komunikacijomis, grindžiamomis mobiliojo ryšio tiekėjų paslaugomis, automobilyje galima atlikti tam tikrus verslo valdymo darbus, grindžiamus mobilaus biuro idėja. Siūloma *CarTorrent P2P* architektūra, leidžia panaudoti garso bei vaizdo medžiagos perdavimą automobilių tinkluose, taip ilgas keliones padarant įdomesnėmis (Lee, Gerla, 2010). Multimedija medžiagos transliavimo *VANET* tinklais miestuose sprendimas siūlomas (Soldo et al., 2008). Šias technologijas galima panaudoti ir komerciniais garso bei video medžiagos transliavimo tikslais.

Eismo saugumo informacinės paslaugos, susijusios su saugumo sritimi, visada yra prioritinės, siekiant ženkliai sumažinti nelaimingų atsitikimų keliuose skaičių. Panaudojus automobilių tarpusavio komunikaciją, galima sukurti juostos keitimo asistavimo sistemas, adaptyvią pastovaus greičio palaikymo ir kitas sistemas,

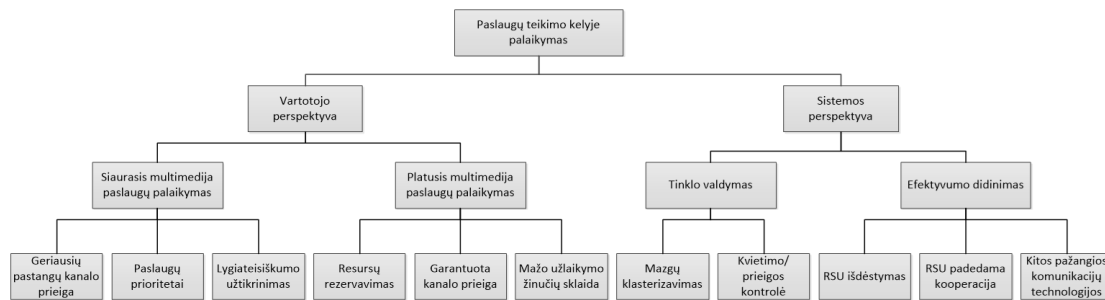
padidinančias eismo saugumą ir padedančias vairuotojams įvairiose kritinėse situacijose. Siūloma *VANET* tinklus panaudoti saugumo stebėjimo kamerų tinklo sudarymui, kuriuose stebėjimo kameros būtų sumontuotos autobusuose, taksi automobiliuose, kituose viešųjų įstaigų transporto priemonėse ir šie surinkti stebėjimų duomenys belaidės komunikacijos priemonėmis būtų perduoti į duomenų apdorojimo centrus (Sirichai et al., 2011). Tokiu būdu, būtų galima padėti užtikrinti viešąją tvarką, išaiškinti pažeidėjus, automatiškai reaguoti į nelaimės kelyje, iškviečiant specialiąsias tarnybas. Naudojantis automobilių komunikacijos tinklais, vairuotojai yra informuojami apie eismo sąlygas ir kelio apkrovimą, kas leidžia sumažinti kelionės laiką bei kuro sąnaudas (Dornbush, Joshi, 2007). Tas pačias problemas sprendžia ir (Sommer et al., 2010) panaudodami *UMTS* technologiją. Automobilių virtualių traukinių sudarymas yra dar vienas būdas, leidžiantis padidinti eismo saugumą. Nemažai autorių siūlo savo idėjas virtualių autotraukinių (angl. *vehicle platooning*) sudarymui panaudojant *VANET* komunikacijos technologijas. Sumažindama poreikį keisti eismo juostas, didinti ar mažinti judėjimo greitį ši technologija ženkliai gali padidinti eismo saugumą bei padėti padidinti kuro ekonomiją. Buvo ištirti didelio masto autotraukinių sudarymo metodai automatizuoto greitkelio sistemose (Jovanović et al., 2008). Taip pat adaptyvią pastovaus greičio palaikymo sistemą suderinus su *V2V* komunikacijomis galima išvengti daugybės nelaimių, įvykstančių, dėl žmogiškųjų faktorių.

Eismo monitoringas bei valdymas yra būtini, siekiant padidinti eismo srautų pralaidumą ir sumažinti transporto spūstis. Kai kuriais atvejais, sankryžų kirtimas yra sudėtingas bei pavojingas. Tinkamas ir efektyvus šviesoforų valdymas gali palengvinti sankryžų kirtimą. Tolygus eismo judėjimas gali ženkliai padidinti gatvės pralaidumą ir sumažinti kelionės trukmę. Buvo analizuojamas savaiminis paskirstytas eismo reguliavimas, panaudojant *VANET* komunikacijas (Gibaud et al., 2011). Autorių sukurtas įrankis leidžia modeliuoti inovatyvių eismo valdymą bei patvirtina perspektyvią *VANET* taikymo sritį. Siūloma sankryžų valdymo sistema, kurioje vairuotojai ir sankryžos yra traktuojami kaip autonominiai daugiaagentinės sistemos agentai (Dresner, 2008). Pasiūlytas naujas sankryžų valdymas panaudojant pristatytą rezervacijos sistemą. Atliktas modeliavimas patvirtino, kad ši sistema potencialiai veikia geriau už dabartinės sankryžų valdymo sistemas.

1.3.1. Įvairialypių paslaugų teikimo, automobilių komunikacijos tinklais, analizė vartotojo požiūriu

Belaidžio ryšio sistemose, yra būtina apibrėžti būdus, kuriais belaidžiai mazgai turi bendrauti tarpusavyje bei dalintis tinklo resursais. Be tinkamo *MAC* sluoksnio koordinavimo gali kilti paketų kolizijos, sumažinančios duomenų perdavimo spartą, padidinančios paketų atmetimo kiekį bei lemiančios prastą radijo resursų panaudojimo lygį. Įspėjančių žinučių nesėkmingas perdavimas avarinėse situacijose gali turėti kritines pasekmes. Nepaisant vertingų mokslinių tyrimų *MAC* protokolų vystymo srityje, dauguma iš jų yra netinkami automobilių aplinkai.

Tinkamai teikiamoms įvairialypėms paslaugoms automobilių komunikacijos tinkluose yra būtinas sisteminio lygmens resursų valdymo sukūrimas (t.y. sąveikos schemų, specialių algoritmų bei metodų). Visų pirma, turi būti sukurtos efektyvios tinklo planavimo bei efektyvios sistemos resursų padidinimo priemonės, kurios leistų pagerinti tiek daugialypės terpės (multimedija), tiek ir eismo saugumo paslaugų teikimo kokybę. Paslaugų teikimas, atsižvelgiant į jų sukūrimo tikslus, gali būti skirstomi į dvi kategorijas: efektyvų paslaugų teikimą vartotojo požiūriu bei sistemos požiūriu. Kelyje teikiamų paslaugų komunikacijos požiūrių taksonomija pateikta 4 pav.



Šaltinis: (H. T. Cheng et al., 2011)

4 pav. Paslaugų teikimo VANET tinkluose taksonomija

Fig. 4. Taxonomy of service support in VANETs

Belaidės komunikacijos sistemose *QoS* spartos metrikos gali būti suskirstytos į tris kategorijas (Jiang et al., 2006): bitų lygio *QoS*, paketų lygio *QoS* ir iškvietimo lygio *QoS*. Skirtingoms programoms, paprastai reikia skirtingo *QoS* lygio atitikimo. Realus laiko paslaugos (pvz. balso perdavimo) yra jautrios užlaikymui, kuriose paketai turi būti perduodami su mažu paketų atmetimo dažnumu, tačiau gali toleruoti aukštą bitų klaidų kiekį. Iš kitos pusės, duomenų perdavimo programos (pvz. taškas į tašką duomenų apsikeitimo) yra nejautrios užlaikymams, tačiau joms reikalingas itin auštas duomenų perdavimo tikslumas.

Vienas iš minimalių *MAC* reikalavimų multimedija paslaugų palaikymui *VANET* tinkluose yra palaikyti geriausių pastangų (angl. *best-effort*) paslaugas, tokias kaip interneto naršymas, apsikeitimas failais, reklama. Šio tipo protokolai yra skirti pigiems *VANET* su homogeninės informacijos paslaugomis. Heterogeninės informacijos paslaugoms teikti yra reikalingas paslaugų prioritetų nustatymas, pagal paslaugų pobūdį (Cheng et al., 2011).

1.3.1.1. Kanalo resursų valdymas, siekiant geriausio pralaidumo

Kanalo resursų valdymo metodų vystymas, siekiant geriausio pralaidumo skirtas maksimizuoti ryšio kanalo pralaidumą, tuo pačiu minimizuojant kolizijų skaičių. Paslaugų palaikymui plačiausiai naudojami yra *IEEE 802.11a*, *802.11b* ir *802.11g* kanalų reikalavimai. Kanalo prieigos metodai, grindžiami *CSMA* (angl. *Carrier Sense Multiple Access*) technologija (Alasmay, Zhuang, 2012). Technologijos esmė – jei yra aptinkama, kad kanalas laisvas – automobilis siunčia paketus, kitu atveju – siuntimas yra sustabdomas. *CSMA* taikymas didelio masto daugiašiuoliuose tinkluose yra problemiškas, dėl paslėptų terminalų (angl. *hidden terminals*), kas sukelia perdavimo kolizijas, bei atskleistų terminalų (angl. *exposed terminals*), kurie bereikalingai nuslopina radijo signalą, taip sukeldami sistemos spartos sumažėjimą (Alasmay, Zhuang, 2012). Šioms problemoms spręsti bei pralaidumui padidinti, gali būti panaudojamas prašymo siųsti (angl. *request-to-send (RTS)*)/ patvirtinimo siųsti *CTS* (angl. *clear-to-send*) mechanizmas. Siuntėjas pirmiausia išsiunčia *RTS* kadra gavėjui. Jei *RTS* gautas sėkmingai, gavėjas atsako *CTS* kadru. Visi aplinkiniai automobiliai, girdintys *RTS* ar *CTS* kadro perdavimą, atideda savo paketų perdavimą.

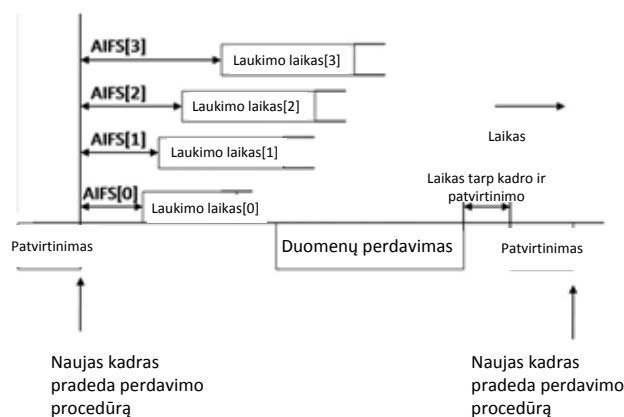
Kitas efektyvus metodas išvengti paketų kolizijų *VANET* tinkluose yra signalų fluktuacija. Naudojant šį metodą, gavėjas išsiunčia užimtumo signalą paketų priėmimo metu, kuris atlieka dvi funkcijas – siuntėjui patvirtina duomenų perdavimo galimybę, bei sustabdo paslėptų terminalų galimą siuntimą. Šis metodas nėra toks populiarus, kaip *CSMA* grindžiami metodai, kadangi sunaudoja daug elektros energijos. Kaip minėta anksčiau, energijos sunaudojimas yra svarbus tradiciniuose *MANET*, tačiau

VANET šio apribojimo neturi, todėl signalų fluktuacija paremti protokolai gali būti vertingi praktiniame *VANET* įgyvendinime (Cheng et al., 2011; Crichigno et al., 2008; Jarupan, Ekici, 2011).

Šie išnagrinėti protokolai gali būti taikomi *VANET* tinklams su nedideliu vidutiniu automobilių judėjimo greičiu, tačiau jų taikymas didelio mobilumo automobiliams yra neefektyvus. Vienas iš pagrindinių trūkumų – protokoluose nėra atsižvelgiama į paslaugų teikimo prioritetus.

1.3.1.2. Paslaugų prioritetų nustatymo ir valdymo metodai

Vienas iš būdų pasiekti paslaugų diferencijavimą, yra kanalo prieigos prioritetų nustatymas skirtingo tipo duomenų srautui. *IEEE 802.11p/WAVE* standarte naudojama patobulinta paskirstytos kanalo prieigos (angl. *Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)*) schema, kuri prioritetus suteikia, pagal statistinius duomenis. Skirtingiems duomenų srautams yra priskiriamos skirtingos prieigos kategorijos (angl. *Access Categories (AC)*). Aukštesnio prioriteto srautui yra priskiriamas mažesnis konkuravimo langas ir trumpesnis *AIFS* (angl. *Arbitration Inter-Frame Space*) (IEEE, 2010).



Šaltinis: (Amadeo et al., 2012)

5 pav. Kanalo prieiga pagal skirtingus prioritetus EDCA mechanizme

Fig. 5. Channel access in EDCA mechanism by different priorities

Supaprastinta *EDCA* mechanizmo schema pateikta 5 pav. Jei to paties tinklo mazgo, bet skirtingų eilių paketai konkuruoja dėl kanalo prieigos, sprendimų priėmimo funkcija išsprendžia konfliktą ir siuntimo galimybę suteikia aukščiausio prioriteto eilei, o paketai iš žemesnio prioriteto yra persiunčiami pakartotinai arba atmetami (Amadeo et al., 2012).

Pastaruoju metu buvo pristatyta keletas mokslinių darbų, siekiančių patobulinti *EDCA* taikymui *VANET* sistemose. Siūlomas išskirstytas rūšiavimo mechanizmas (angl. *Distributed Sorting Mechanism (DSM)*), pagerinantis komunikacijos efektyvumą tarp automobilio bei *RSU*. *DSM* mechanizme, kiekvienas automobilis gali individualiai apskaičiuoti savo komunikacijos prioritetus, todėl laikas reikalingas pasiekti kanalą gali būti sumažintas. *DSM* naudojimas supaprastina prisijungimo procedūrą ir sumažina tinklo apkrovą (Wu et al., 2012). Kiti autoriai (Cheng, 2008) siūlo nesudėtingą, resursų paskirstymo klasterio viduje algoritmą, atsižvelgiantį į galios, subnešėjų priskyrimą bei paketų eilių sudarymą. Taip pat, siūlomas panašus resursų paskirstymo algoritmas, pasiekiantis Pareto optimumą, ir įrodantis metodo efektyvumą (Cheng, 2009a). Didelio masto *VANET* tinkluose su

dideliu greičiu judančiais automobiliais kanalų priskyrimas, kur dažnių panaudojimas gali būti maksimizuojamas paskirstytu būdu, išlieka atviru tyrimų klausimu. *SMUG* – hibridinis *MAC* protokolas siūlomas (Soldo et al., 2008), suteikiantis prieigą prie transliuojamos medžiagos konkuravimu paremtu metodu automobilių komunikacijos tinkluose.

Siūloma paslaugų diferenciaciją garantuojanti schema, palaikanti multimedija paslaugų teikimą su skirtingais *QoS* reikalavimais (Alcaraz, Vales-Alonso, 2009). Paketų eilės sudarymas yra formuluojamas, kaip optimalaus valdymo problema. *QoS* diferencijavimas yra parametrinis, kuris gali būti pasiektas paprasčiausiai iteraciniu būdu išsprendžiant apribotą kvadratinį optimizacijos uždavinį. Šis sprendimas gali būti įdiegtas į *EDCA* mechanizmą *IEEE 802.11p/WAVE* standarte, siekiant užtikrinti vėlinimui jautrių duomenų perdavimą. Šio metodo trūkumas – sprendimas naudoja daug skaičiavimo resursų.

Kaip matome iš išnagrinėtų schemų, paketų prioritetų sudarymas yra būtinas, norint pasiekti paslaugų diferenciaciją *VANET* tinkluose su heterogeninės informacijos srautais. Neatsižvelgus į nešališkumą, kai kurios žemo prioriteto paslaugos gali būti užgožtos per didelio kiekio aukšto prioriteto paslaugų. Šiai problemai išspręsti, turėtų būti atsižvelgiama į teisingą prioritetų paskirstymą, kuriant kanalo prieigos protokolus.

1.3.1.3. Tinklo resursų paskirstymo lygiateisiškumo užtikrinimas

Lygiateisiškumas yra svarbus rodiklis, įvertinantis kaip teisingai tarp tinklo mazgų yra paskirstomi tinklo resursai. Yra nustatyta, kad *IEEE 802.11e (CSMA/CA)* *MAC* protokolas, kuris buvo patobulintas, negali pasiekti gerų efektyvumo rezultatų dėl binarinio eksponentinio mechanizmo, kuriame naudojamas trumpesnis konkuravimo langas (angl. *contention window (CW)*). Trumpesnis *CW* sukelia rimtų problemų daugiašiuoliuose automobilių komunikacijos tinkluose su dideliu skaičiumi automobilių aprėpties zonoje, kur yra daug paslėptų terminalų (automobilių). Taigi, tokiu atveju gali būti šimtai automobilių, interferuojančių tarpusavyje, taip sukeldami didelį kiekį kolizijų ir lemdami sumažėjusią duomenų perdavimo pralaidumą (Korkmaz et al., 2010). *CSMA/CA* paremtas *MAC* protokolas, kuriame atsižvelgiama į resursų paskirstymo lygiateisiškumą buvo pasiūlytas (Karamad, Ashtiani, 2008). Šioje scheme kiekvienam mazgui yra suderinama duomenų perdavimo tikimybė laiko atkarpoje, pagal judėjimo greitį. Tai atliekama keičiant *CW* dydį. Rezultatai rodo, kad ši schema iš dalies padeda išspręsti lygiateisiško resursų paskirstymo problemą. Ši problema taip pat plačiai išnagrinėta (Alasmay, Zhuang, 2012). Darbe atliekamas išsamus mobilumo įtakos *IEEE 802.11p MAC* protokolo efektyvumui tyrimas. Taip pat, siūlomi du dinaminių langų mechanizmai, leidžiantys sumažinti tinklo spartos kritimą, esant dideliame mobilumui. Lygiateisiškai kanalo prieigai garantuoti gali būti pasitelkta ir neraiškioji logika (angl. *fuzzy logic*). Yra pasiūlytas konkuravimu grindžiamas *MAC* protokolas, kuris remiasi neraiškiosios logikos taisyklių rinkiniu, siekiant užtikrinti teisingą resursų panaudojimą tarp automobilių mazgų (Abdelkader et al., 2009).

Geriausių pastangų kanalų prieiga yra būtina, siekiant užtikrinti pagrindines informacines-pramogines paslaugas be *QoS* reikalavimų. Norint užtikrinti daugialypės terpės paslaugų palaikymą, yra būtina paslaugų diferenciacija. Teisingam resursų paskirstymui tarp automobilių yra reikalingi kanalų prieigos algoritmai, atsižvelgiantys į lygiateisiškumą. Norint pasiekti aukštą *QoS* tikslumą multimedija paslaugų palaikymui ir garantuoti prieigą eismo saugumo programoms, yra būtini *MAC* sluoksnio resursų rezervavimo mechanizmai.

Tikimasi, kad VANET ateityje palaikys dar platesni spektrą multimedija ir eismo saugumo paslaugų, todėl šiems sritims reikalingi itin griežti *QoS* reikalavimai, tokie kaip vėlinimo laikas ir patikimumas, kas reiškia, kad egzistuojantys kanalų prieigos metodai yra nepakankami. Visais atvejais, resursų rezervavimas išlieka pagrindiniu tikslaus *QoS* vystymo uždaviniu. Siekiant didinti eismo saugumo paslaugų efektyvumą, būtini nekonkurenciniai kanalų prieigos metodai, skirti periodiniam su eismu susijusiai informacijai perduoti ir patikimi mechanizmai paketų perdavimui iš galinio taško į galinį tašką (angl. *end-to-end*) su minimaliu vėlinimu, skirti itin jautrioms vėlinimui avarinių situacijų įspėjimo žinutėms (Atallah et al., 2015; Gupta et al., 2015; Mokhtar, Azab, 2015).

1.3.1.4. Resursų rezervavimo valdymas, grindžiamas konkuravimu

Konkuravimas dėl kanalų yra dažniausiai naudojamas resursų rezervavimo realizavimo būdas (Alsabaan et al., 2011). Jei rezervacijos prašymas yra patvirtinamas, automobilis gali užsirezervuoti tam tikrą resursų kiekį (pralaidumo, kanalų) paketų perdavimui. Naudojant *SRMA/PA* (lengvą keleto prieigų rezervavimą su prioritetu priskyrimu (angl. *Soft Reservation Multiple Access with Priority Assignment*)), resursai gali būti rezervuojami tiek realus laiko srauto, tiek ir mažesnės svarbos informacijos perdavimui. Šiame protokole, aukštesnio prioriteto srautas gali užimti žemesnio prioriteto srauto rezervuotus resursus. Šio metodo taikymas parodė teigiamus ir daug žadančius rezultatus, kadangi jį naudojant yra sumažinamas atmetų paketų skaičius realiame laike. Kadangi šis protokolas yra išskirstytas, reikalingas tikslus laiko sinchronizavimas. Tam galima panaudoti pozicionavimo sistemas, kadangi šiuo metu itin plačiai paplitę ir toliau sparčiai populiarėja GPS imtuvai, leidžiantys labai tiksliai sinchronizuoti laiką (Kumar et al., 2006). Šis metodas automobilių komunikacijos tinkluose susiduria su dažnomis sąsajų atsijungimo problemomis. Jungiamumo kokybės pagerinimui yra siūlomas dinaminis perdavimo diapazono priskyrimo (angl. *Dynamic Transmission-Range-Assignment – DTRA*) algoritmas, paremtas eismo srautų teorijomis. Žinant automobilių tankumą, automobiliai perdavimo diapazoną gali suderinti taip, kad prailgintų ryšio laiką, taip pat pagerinant resursų rezervavimą (Artimy, 2007).

Resursų rezervavimas per konkuravimą yra perspektyvus metodas, užtikrinantis aukšto detalumo *QoS* palaikymą realaus laiko srautams. Šis metodas yra mažiau efektyvus, užtikrinant kritines eismo saugumo taikymo sritis. Itin jautrioms užlaikymui su eismo saugumo susijusioms žinutėms perduoti turi būti garantuota kanalo prieiga.

1.3.1.5. Tinklo resursų valdymas, garantuojant prieigą prie kanalo

Saugumui užtikrinti reikalinga prieiga prie ryšio kanalo be konkuravimo, kurioje su eismu susijusios žinutės būtų perduodamos tiesiogiai automobiliams. Su periodiniu signalinių žinučių be kolizijų perdavimu, kiekvienas automobilis galėtų atnaujinti ir stebėti kaimyninių automobilių kontekstą: poziciją, greitį, pagreitį. Šioms problemoms spręsti, literatūroje buvo pasiūlyti centralizuoti resursų rezervavimo metodai, nukreipti į eismo saugumą. Pasiūlytas valdomas interneto prieigos protokolas su *QoS* palaikymu (*CVIA-QoS*), skirtas garantuoti *QoS* reikalavimų palaikymą realaus laiko srautui ir maksimizuoti pralaidumą priskiriant laisvus resursus kitam duomenų srautui (Korkmaz et al., 2010). Kitų autorių pasiūlytas valdomas išorinių mazgų kanalo prieigos protokolas – *CEPEC* (K. Yang et al., 2007). Šis protokolas pagerina *IEEE 802.16* savybes, padidindamas duomenų perdavimo spartą, tuo pačiu užtikrindamas teisingą resursų paskirstymą tarp automobilių, suskirstytų į segmentus. *CEPEC* yra

nesudėtingas ir gali būti taikomas vėlinimui jautrioms saugumo užtikrinimo programoms.

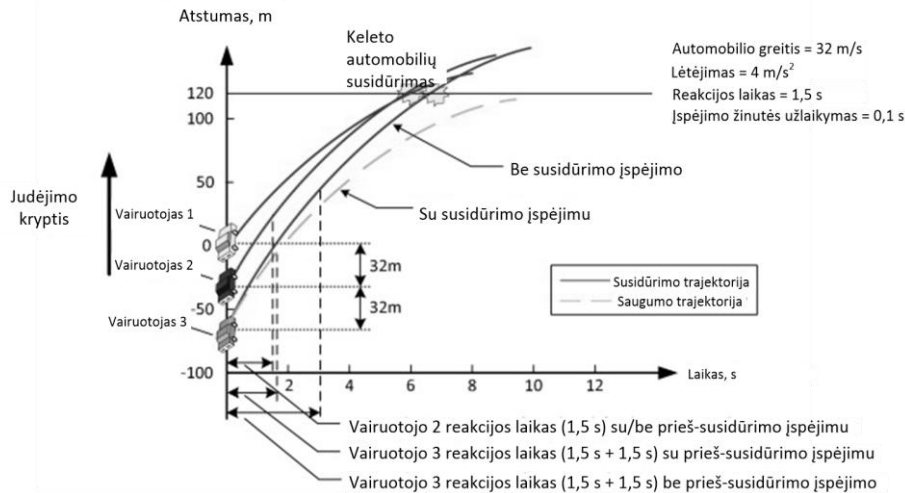
Dauguma analizuotų mokslinių tyrimų yra orientuoti į V2I komunikaciją. Siekiant užtikrinti garantuotą kanalo prieigą V2V komunikacijoje, galima pasitelkti *Token Ring* technologiją, paremtą MAC protokolu bei periodiškai be konkurencijos perduoti eismo saugumo užtikrinimo paslaugų paketus. Siūlomas *OTRP* (angl. *Overlay Token Ring Protocol*) protokolas, kuriame automobilių tinklas traktuojamas, kaip iš dalies persiklojantys žiedai, kurių kiekvienas pasiunčia užimtumo signalą žiedais, užtikrinant duomenų perdavimo teisę (Zhang, Liu, 2008). Žiedo struktūra yra dinamiškai reguliuojama, pagal automobilių judėjimą. *OTRP* turi du veikimo režimus: normalų ir avarinį. Modeliavimo rezultatai įrodė, kad šis protokolas yra tinkamas su saugumo paslaugų paketams perduoti, tačiau nagrinėjama tik vieno kanalo prieiga ir visi automobiliai vertinami, kaip vienodos svarbos.

Dėl savo patikimumo, *CDMA* paremti kanalų prieigos metodai yra tinkami aktyvioms, ryšiu grindžiamoms saugumo paslaugoms kurti. *MM-SA* (angl. *Multicarrier Multicode Spread Aloha*) sistema, paremta kodo padalijimo daugialypės prieigos technologija (angl. *Code-Division Multiple Access Technology*), leidžianti padidinti mazgų tankumą bei išspręsti paslėptų terminalų problemą. Rezultatai rodo, kad ši sistema gali užtikrinti eismo saugumo paslaugoms būtiną duomenų perdavimo spartą (Yomo et al., 2009). Nors saugumo žinutės gali būti perduotos be užlaikymo, signalų išsklaidymas, mažinantis duomenų perdavimo spartą stabdo *CDMA* technologijų panaudojimą *VANET* tinkluose. Norint šią technologiją sėkmingai pritaikyti multimedija paslaugų palaikymui, reikalingi papildomi šios srities moksliniai tyrimai. Saugumo žinučių ir kitų resursų panaudojimo dažnumas turi būti nustatomas, pagal kelio bei eismo sąlygas. Dinaminio resursų rezervavimo schema, prisitaikanti pagal situaciją pasiūlyta (Schmidt et al., 2010). Tyrimas atskleidė, kad norint išlaikyti aukštą eismo saugumo lygmenį, periodinis signalinių žinučių perdavimas turi būti adaptyvus, atsižvelgiantis į kiekvieno bei aplinkinių automobilių judėjimą. Eismo saugumo bei multimedija paslaugų efektyvumo padidinimui reikalingi papildomi erdvės-laiko resursų rezervavimo tyrimai. Vis dėlto, duomenų perdavimo užlaikymas gali atsirasti ir naudojant nekonkurencinius protokolus. Dėl didelio automobilių mobilumo, pavojaus zona (angl. *Zone of Danger (ZOR)*) gali būti pakankamai didelė. Eismo įvykio atveju, reikalingos efektyvios daugiašulės žinučių perdavimo schemos su mažu užlaikymo laiku.

1.3.1.6. Mažo užlaikymo žinučių sklaida

Nors šiuolaikiniai automobiliai yra aprūpinti daugybe aktyvaus ir pasyvaus saugumo užtikrinimo priemonių, tačiau dauguma eismo įvykių įvyksta dėl žmogaus klaidų, todėl yra reikalingi intelektualūs saugumo užtikrinimo mechanizmai. Komunikavimu grindžiamos aktyvios saugumo priemonės, gali tik iš anksto įspėti vairuotojus apie gresiantį pavojų. Kadangi šios priemonės vairuotojus turi įspėti kuo anksčiau, saugumo paslaugų duomenų paketai turi būti perduoti su kuo mažesniu užlaikymu. Efektyvus būdas to pasiekti, avarinių žinučių perdavimui panaudoti atskirą kanalą. Vienas iš tokių pavyzdžių siūlomas (Jarupan, Ekici, 2011), kur taikomas daugiakanalis *Token Ring* paremtas kanalų prieigos protokolas. Aptikus avarinę situaciją, žiedu dedikuoti kanalu perduodama avarinė žinutė visiems žiedo nariams be užlaikymo. Avarijos tikimybei sumažinti (Ye, Adams, 2008) siūloma susidūrimo įspėjimo sistema. Jei susidūrimas yra neišvengiamas, automobilis išsiunčia įspėjimo signalą aplinkiniams automobiliams, todėl netoliese esantys vairuotojai turi daugiau laiko sureaguoti bei išvengti susidūrimo. Pvz. 1 vairuotojas 0 pozicijoje supranta, kad

susidūrimas neišvengiamas ir ima staigiai stabdyti. Be susidūrimo įspėjimo sistemos, 2 ir 3 vairuotojai stabdyti pradėtų tik pamatę 1 automobilio stabdžių žibintus, kas lemtų 3 automobilių susidūrimą. Panaudojant tokią sistemą, į susidūrimą patektų tik 2 pirmieji automobiliai. Taip pat, kuo anksčiau vairuotojai būtų įspėti, tuo būtų mažesni avarijos padariniai (6 pav.).



Šaltinis: (H. T. Cheng et al., 2011)

6 pav. Susidūrimo prevencijos sistemos taikymo pavyzdys

Fig. 6. Collision warning system representation

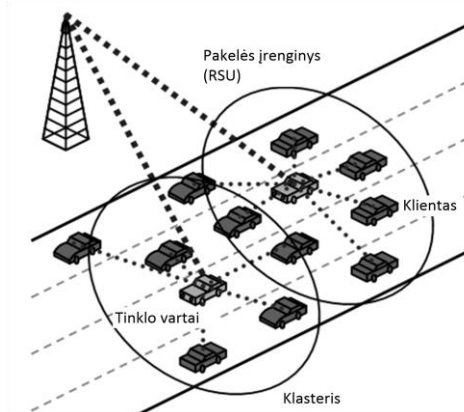
Komunikacijos aprėpčiai padidinti gali būti panaudotas galios valdymas, kuriame didesnė perdavimo galia būtų rezervuota avarinių žinučių perdavimui. Dėl maksimalios perdavimo galios ribojimų, ne visi automobiliai esantys ZOR galės būti informuoti apie pavojų. Efektyviam pavojaus zonoje esančių automobilių įspėjimui, reikalingi į vietovę atsižvelgiantys skleidimo protokolai. Buvo atlikta susidūrimo išvengimo pagalbos sistemų analizė (Santa et al., 2010), kurioje išnagrinėtos literatūroje siūlomos sistemos bei autorių siūloma nauja sistema. Įvykių laikas ir, kaip jis veikia programine įranga paremtas susidūrimo išvengimo strategijas DSRC komunikacijoje nagrinėjamas (Tang, Yip, 2010). Nustatyta, kad pagrindiniai apribojimai yra ryšio vėlinimas, aptikimo nuotolis, kelio sąlygos, vairuotojo reakcija ir lėtėjimo greitis. (Biswas, Tatchikou, 2006) siūlomas vienos krypties eismo transliacijos (angl. *broadcast*) avarinių žinučių skleidimo protokolai, kuriame prieš išsiunčiant žinutę, automobilis pirmiausiai patikrina ar priekyje važiuojantis automobilis neišsiuntė tos pačios žinutės, taip siekiant sumažinti tinklo užliejimą.

1.3.2. Įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais sisteminė analizė

Šiame skyrelyje nagrinėjami du paslaugų teikimo kelyje uždaviniai: tinklo valdymas ir efektyvumo didinimas. Paslaugų tiekėjui pagrindiniai sisteminio lygmens tikslai yra padidinti vartotojų skaičių ir pagerinti eismo saugumą. Kaštų sumažinimui ir įdiegimo paspartinimui, dažniausiai, pasirenkamas decentralizuotas valdymas, kur duomenų mainai gali būti palengvinami, klasterizuojant tinklo mazgus. Norint patenkinti vis didėjančius VANET taikymo sričių reikalavimus, reikia didinti tinklo efektyvumą, įskaitant vėlinimo mažinimą bei komunikacijos patikimumą. Sistemos efektyvumas gali būti padidintas, optimaliai išdėstant RSU, bendradarbiaujant tinklo

mazgams bei kitomis pažangiomis komunikacijos technologijomis (Bulbenkiene et al., 2011; Cheng et al., 2015; Liu et al., 2013; Silva et al., 2015).

Siekiant efektyviai valdyti didelio masto belaidžius tinklus, buvo pasiūlyta tinklo mazgus klasterizuoti. Šiuo atveju, belaidis tinklas yra padalinamas į keletą klasterių, į kuriuos įeina pagal tam tikrus parametrus atrenkami mobilūs mazgai. Įvairūs pasikeitimai yra perduodami lokaliai klasteryje. Tai sumažina perduodamų žinučių kiekį, taip padidinant tinklo stabilumą bei efektyvumą, kadangi naudojant nekonkurencinį paketų perdavimą yra efektyviai sumažinamas užlaikymas ir žinutės yra perduodamos efektyviau (Daeinabi et al., 2011). Galime pailustruoti klasterizavimu grindžiamo duomenų perdavimo V2I komunikacijoje situaciją (7 pav.).



Šaltinis: (Hossain et al., 2010)

7 pav. Klasterizavimu grindžiamo duomenų perdavimo organizavimo V2I komunikacijoje pavyzdys

Fig. 7. Cluster based information dissemination in V2I communication

Buvo atlikta klasterizavimo algoritmų analizė (Abbasi, Younis, 2007). Klasterizavimas mobiliuose *Ad-Hoc* tinkluose buvo tirtas (Zhang, 2009). Keletas naujausių tyrimų analizuoja klasterizavimą būtent *VANET* tinkluose, nors tai išlieka rimta tyrimų tema. Kitas siūlomas klasterizavimo algoritmas remiasi kaimynais, esančiais dinaminėje aprėpties zonoje, automobilių judėjimo kryptimi, entropija (Daeinabi et al., 2011).

Siūlomas duomenų skleidimo protokolas, skirtas didelio tankumo automobilių komunikacijos tinklams (Schwartz et al., 2011), leidžiantis sumažinti transliacijos užliejimo problemą, išryškėjančią, įvairialypes paslaugas teikiant tankiuose tinkluose. Šiame darbe, sukurtas pasisveikinimo žinučių mechanizmas, kuriame dalyvauja tik dalis tinklo mazgų. Kitame siūlomame klasterizavimu grindžiamame metode yra laviruojama tarp nekonkurencinio ir konkurencija paremtų *MAC* protokolų, siekiant palaikyti skirtingus saugumo ir ne saugumo žinučių reikalavimus (Rawashdeh, 2008). Siekiant nustatyti avarinių žinučių užlaikymą klasterizuotuose tinkluose yra pasitelkiamos transporto srautų teorijos, (Abboud, Zhuang, 2009).

Efektyvaus kanalų priskyrimo ir mazgų klasterizavimo algoritmai, kurie atsižvelgtų į tikslus *QoS* reikalavimus reikalauja papildomo tyrinėjimo. Didelio mobilumo aplinkoje, klasteriai gali gyvuoti labai trumpai, tuo sumažindami duomenų skleidimo efektyvumą.

1.3.2.1. Pakelės įrenginių (RSU) išdėstymo įtaka tinklo našumui

Pakelės įrenginių (*RSU*) išdėstymas yra vienas iš būdų, leidžiančių padidinti *VANET* tinklo pralaidumo našumą bei sumažinti sistemos įdiegimo kaštus.

Strategiškai išdėsčius *RSU*, pagal greitkelį arba miesto gatves, galima ne tik išspręsti dažno tinklo fragmentavimo problemą, bet ir užtikrinti patikimesnę įvairialypių paslaugų sklaidą. Svarbi eismo informacija, tokia kaip kelio sąlygos, gali įspėti vairuotojus apie gresiančius pavojus: prastas kelio sąlygas, slidžių kelio dangą ar kelio remontą. Taip pat, naudojant *RSU*, vėlinimo laikas ir komunikacijos patikimumas gali būti pagerinti, dėl didesnės aprėpties zonos. *RSU* tinkamiausią išdėstymą galima nustatyti ir sprendžiant optimizacijos uždavinius. Tokius uždavinius, pasinaudojant genetiniais algoritmais sprendė (Lochert et al., 2008). Buvo įrodyta, kad optimalaus *RSU* išdėstymo uždavinys gali būti išspręstas klasikiniu aproksimacijos algoritmu (Sun et al., 2010). Sprendžiamas maksimalios aprėpties uždavinys, tuo pačiu siekiama maksimizuoti automobilių, kontaktuojančių su *RSU* skaičių (Trullols et al., 2010). Uždaviniai sprendžiami ir euristiniais algoritmais. Autoriai nustatė, kad optimalus *RSU* išdėstymas įmanomas tik žinant automobilių mobilumo charakteristikas. Kiti autoriai analizuoja mobilaus jutiklių tinklo architektūrą, kurioje itin didelis skaičius mobilių jutiklių, judančių pagal atsitiktinio žingsnio bei Gauso-Markovo mobilumo modelius, kurių informaciją surenka vienas mazgas. Buvo įrodyta, kad sistemos efektyvumas priklauso ne tik nuo mobilumo ir aprėpties, tačiau ir nuo surinkimo mazgų išdėstymo (Hu et al., 2009).

Pakelės įrenginių (*RSU*) išdėstymo įtakos tinklo našumo didinimui problemų sprendimai gana dažnai sutinkami literatūroje, tačiau jų išdėstymas, atsižvelgiant į įvairialypių paslaugų teikimą bei apsikeitimą konteksto informacija nėra plačiai išnagrinėtas. Nagrinėjamas *RSU* išdėstymas, kuriame būtų galima maksimaliai užtikrinti *QoS* palaikymą (Li et al., 2007). Siekiama minimizuoti vidutinį šuolių kiekį nuo *RSU*, taip sumažinant vėlinimo laiką ir padidinant komunikacijos efektyvumą. Nagrinėjamas optimalus persiuntimo stočių išdėstymas *802.16* tinkle, pasitelkiant greitkelio mobilumo modelius (Ge, Wen, 2009). Persiuntimo stočių parinkimas formuluojamas, kaip netiesinės optimizacijos uždavinys, kurio tikslas – rasti optimalią persiuntimo stotį, norint pasiekti maksimalų abonentinių stočių skaičių. Naudojant šį metodą, abonentinių stočių skaičių galima padidinti 49,86%. Analizuojama, kurioje moduliacijos zonoje nuo bazinės stoties reikia statyti retransliacijos stotis, norint turėti maksimalų tinklo pralaidumą (Bulbenkiene et al., 2011). Siekiant užtikrinti aukščiausios kokybės interneto ryšį buvo išanalizuotas abonentų skaičiaus poveikis tinklo pralaidumui, o taip pat, nustatytas optimalus, prijungtų prie vienos bazinės stoties retransliacijos stočių skaičius.

1.3.2.2. Pakelės įrenginiais (*RSU*) grindžiamos automobilių kooperacijos paslaugos

Tinkamas mazgų bendradarbiavimas gali padidinti sistemos efektyvumą bei padidinti perduodamų duomenų tikslumą. Nagrinėjamas bendradarbiavimu grindžiamas resursų priskyrimo modelis su *QoS* palaikymu (Cheng, 2009b). Siūlomi du nesudėtingi, bet efektyvūs metodai, paremti *Karush-Kuhn-Tucker* (H.-C. Wu, 2009) interpretacijomis ir skirti belaidžiams tankiesiems tinklams. Dėl didelio automobilių mobilumo, komunikacijos kanalai yra linkę į greitą fedingą ir tokiu atveju negali būti užtikrintas patikimas ryšys (Molisch et al., 2009). Analizuojamas bendradarbiavimo diversifikumas, paremtas Nakagami fedingu (Ilhan et al., 2009). Tiriama pastiprinimo ir persiuntimo schema, kurioje *RSU* padeda kiti automobiliai, veikiantys kaip persiuntėjai. Rezultatai rodo, kad ryšio kokybė gali būti pagerinta aukšto triukšmo lygio aplinkoje.

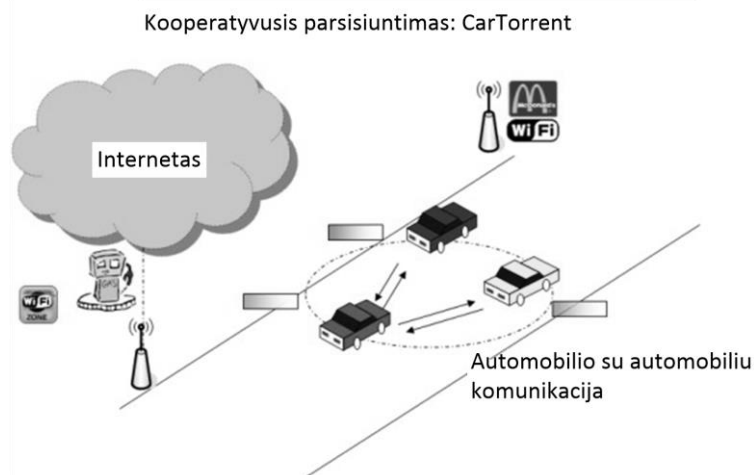
Kooperatyvus protokolas siūlomas (Li et al., 2011), kurio tikslas – sumažinti atmestų paketų kiekį ir minimizuoti perdavimų kiekį. Tam pasitelkiama dvigubos fazės

transliavimo strategija. Rezultatai rodo, kad šis metodas leidžia pasiekti beveik 100% paketų priėmimo santykį. Kitas kooperatyvus protokolai siūlomas (Zhou et al., 2008). Protokolas inicijuoja žinučių apsikeitimą su *RSU* ir pradeda mazgų kooperaciją tarp kaimyninių automobilių, siekiant padidinti tinklo efektyvumą. Nors tyrimų šia kryptimi daugėja, tačiau dar trūksta žinių apie tai, kada automobilių kooperacija yra naudinga ir kada – ne.

1.3.2.3. Kitos komunikacijos technologijos

Įvairios komunikacijos technologijos yra dažnai naudojamos belaidžiuose tinkluose, siekiant padidinti komunikacijos efektyvumą. *MIMO* (angl. *Multiple-Input–Multiple-Output*) technologija gali būti panaudota, siekiant padidinti sistemos pajėgumą) ir spartą įvairialypėms paslaugoms teikti. Autoriai įrodo, kad automobilių komunikacijoje naudojamas *MIMO* kanalų modelis ženkliai skiriasi nuo įprastų belaidžių tinklų (Abdalla et al., 2009). Siūlomas daugiakanalis *MAC* protokolas, skirtas didelio tankumo *VANET* tinklams, naudojant kryptines antenas. Rezultatai rodo, kad pasiūlyta schema užtikrina patikimą duomenų perdavimą. Kadangi automobilių judėjimas yra apribotas, yra tikimasi, kad kryptinėmis antenomis paremti komunikacijos protokolai gali būti tinkami praktiniame diegime (Xie et al., 2008).

Pastaruoju metu, nemažai dėmesio susilaukė tinklo kodavimo koncepcija. Pasitelkiant tinklo kodavimu paremtą informacijos sklaidą, gali būti padidintas sistemos efektyvumas: padidinta sparta bei sumažintas vėlinimo laikas.



8 pav. Kooperatyvus duomenų atsisiuntimo CarTorrent modelis

Fig. 8. Cooperative data download model CarTorrent

Pirmiausia buvo pasiūlytas *SPAWN* (Nandan et al., 2005) *BitTorrent* paremtas failų apsikeitimo protokolas *VANET* tinklams. Šiame protokole failas yra padalijamas į dalis ir įkeliamas į *RSU* serverį arba mobiliuosius mazgus. Kiekvienas failas turi unikalų *ID* ir kiekviena dalis turi unikalų sekos numerį. Mazgai kooperuodami apsikeičia turimomis dalimis. Panaši koncepcija, siūloma ir vystant mobiliuosius įvardintų duomenų tinklus. Išplėsdami *SPAWN*, autoriai pasiūlė *CarTorrent* protokolą (Lee et al., 2007). Šiame protokole mazgo artumas buvo pasirinktas pagrindiniu siuntimo mazgo pasirinkimo kriterijumi. *CarTorrent* naudojamas k-šuočių ribotas tikimybinis ir artimiausias-rečiausias pirmas metodai failo dalies pasirinkimui. Lee U., et al. pasiūlė *CodeTorrent* (Park et al., 2006), tinklo kodavimu paremtą turinio skleidimo protokolą, kuris rėmėsi tuo, kad tinklo kodavimas gali išspręsti retų failo

dalių problemą. Kooperatyvus duomenų atsiuntimo *CarTorrent* modelis pateiktas 8 pav.

Kognityvūs radijo tinklai (angl. *Cognitive Radio Networks - CRN*) yra plačiai tiriami, kaip galimas sprendimas, dėl spektro perkrovimo ir licencijuotų vartotojų žemo spektro panaudojimo lygio. Darbe analizuojamos efektyvaus maršrutizavimo *CRN* tinkluose problemos, atliekama išsami *CRN* maršrutizavimo apžvalga, siūlomos ateities tyrimų kryptys (Cesana et al., 2011). Pristatoma technologija, kuri leidžia skirtingiems resursų apribotiems mazgams bendradarbiauti tarpusavyje, sprendžiant sudėtingas užduotis išskirstytu būdu (Datla et al., 2012). Taip pat, analizuojami *CRN* tinklų uždaviniai, principai ir išskylančios problemos multimedija ir vėlinimui jautrios informacijos perdavime (Bicen et al., 2012). Apibrėžiami atviri realaus laiko transporto tyrimų klausimai. Siūlomas autorių sukurtas reaktyvusis maršrutizavimo protokolas *CRN* tinklams, leidžiantis pasiekti 3 tikslus: išvengti interferencijos, atlikti bendrą kelio ir kanalo parinkimą, panaudoti keletą kanalų ir taip padidinti tinklo spartą (Cacciapuoti et al., 2012). Kitų autorių yra analizuojamos *CRN Ad-Hoc* tinklų mokslinių tyrimų problemos, siūlomos naujos spektro valdymo funkcijos, nagrinėjamas paskirstytas koordinavimas (Akyildiz et al., 2009).

Sisteminio lygmens resursų valdymas *VANET* tinkluose yra svarbus palaikant įvairialypių paslaugų teikimą, todėl reikalingi papildomi moksliniai tyrimai, nustatantys sisteminio lygmens resursų valdymo metodų efektyvumą *VANET* tinkluose su dideliu greičiu judančiais automobiliais. Šią temą plačiau autorius nagrinėja (Kurmis, Dzemydienė, et al., 2012).

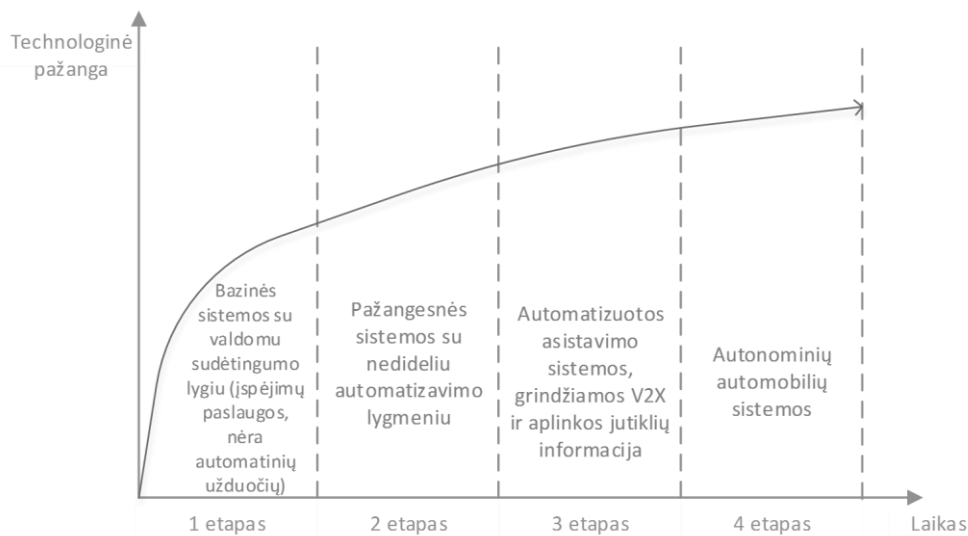
1.3.3. Esama ITS priemonių automobiliuose padėtis bei įvairialypių paslaugų transporto komunikaciniuose tinkluose diegimo etapai

Pirmieji tyrimų šioje srityje projektai buvo pradėti 1980 metais Japonijoje (Cheng et al., 2011). 1987 metais panašių ITS iniciatyvų buvo imtasi ir Europoje bei buvo pradėtas didelio masto projektas: PROMETHEUS (Williams, 1988) – didžiausias visų laikų tyrimų ir plėtros ITS projektas, orientuotas į žmogaus nevaldomų automobilių sritį. Bendra projekto vertė – 749 milijonai eurų, įgyvendinime dalyvavo automobilių gamintojai iš 6 valstybių, elektronikos pramonės įmonės, universitetai, mokslinių tyrimų institutai, eismo inžinieriai ir valdžios institucijos. Buvo sukurtos eismo saugumo koncepcijos, bei pasiekti pionieriniai autonominio vairavimo rezultatai, kai du žmogaus nevaldomi automobiliai nukeliavo daugiau nei 1000 km, pasiekdami iki 130 km/h greitį, o vėliau ir sukonstruotas autonominis Mercedes-Benz automobilis, kuris nevaldomas nukeliavo 1600 km – iš Miuncheno į Kopenhagą. Maksimalus pasiektas greitis – 175 km/h, su žmogaus įsikišimu, vidutiniškai, kas 9 minutes. Nepaisant visų pasiekimų, projektas susidūrė su iššūkiais, kadangi tuo metu dar nebuvo pigios radijo įrangos, navigacijos technologijų. Šiuo metu mobiliųjų technologijų bei pozicionavimo sistemų pasiekimai lėmė V2X tyrimų projektų atgijimą pastarajame dešimtmetyje. Pastaraisiais metais buvo inicijuota eilė EU projektų, skirtų automobilių komunikacijai tyrinėti, tarp kurių esminiai – *FleetNet – Internet on the Road*, *CarTALK 2000*, *IP PREVENT*, *Network on Wheels*, *SAFESPOT*, *PRE-DRIVE C2X*, *COMeSafety*, *AdaptIVe*, *COMPASS4D* (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2014).

Šiuo metu dalis įrangos, būtinos automobilių komunikacijos sistemoms vystyti jau prieinama automobiliuose bei eismo valdymo sistemose. Labiausiai paplitęs – *OBD* (angl. *On-board Diagnostics*) borto diagnostikos standartas. Dabartinė *OBD II* versija apima parametrų, protokolų ir techninių sąsajų aprašymus. Standartinė jungtis automobilių servisams leidžia atlikti diagnostinius patikrinimus. Kita paplitusi

technologija – *FMS* (angl. *Fleet Management Systems Interface*) standartas, skirtas sunkiasvorėms transporto priemonėms ir autobusams. Tai atvirojo kodo standartas, leidžiantis pasiekti elektroninius duomenis iš vidinio transporto priemonės *CAN* tinklo. Taip pat, sukurta nuotolinės prieigos specifikacija *rFMS*, kuri šiuo metu apriboja perduodamų duomenų rinkinį, atnaujinamą kas 15 minučių. Praplėsta automobilio koncepcija tai naujas standarto projektas *ISO 20077-20078-20080*, pradėtas 2014, kurį tikimasi užbaigti iki 2018 m. Jis skirtas standartizuoti automobilių gamintojų diegiamoms sąsajoms ir serverių platformoms, užtikrinant duomenų apsaugą, privatumą ir kibernetinį saugumą, perduodant diagnostinius duomenis. Dauguma automobilių gamintojų šiuo metu jau turi serverių platformas, naudojamas vidinei kokybei, periodinei priežiūrai ir kitoms serviso reikmėms, kurios gali būti integruotos ir išvystytos į automobilių komunikacija grindžiamų sistemų komponentus (European Commission, 2016).

JAV transporto departamentas paskelbė išankstinį pranešimą apie įstatymą (angl. *Advance Notice of Proposed Rulemaking (ANPRM)*) dėl V2V komunikacijos technologijų diegimo naujai parduodamuose automobiliuose nuo 2016 (ANRPM National Highway Traffic Safety Administration – Department of Transportation, 2014). Pagal pasirašytą memorandumą, Europos gamintojai sutarė pradėti 2015 m. nuo paprastų paslaugų, grindžiamų IEEE 802.11p standartu (Europoje dar įvardijamu, kaip ITS-G5), tačiau darbai kiek užsitęsė, dėl įstatyminės bazės trūkumų. Remiantis *CAR 2 CAR Communication Consortium* pirminis diegimo etapas bus pradėtas iki 2019 m.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, remiantis (CAR 2 CAR Communication Consortium, 2011)

9 pav. Įvairialypių paslaugų transporto komunikacijos tinkluose diegimo etapai

Fig. 9. The deployment stages of ITS applications in vehicular communication networks

Kaip išankstinis etapas, numatytas *eCall* sistemos diegimas, kuris bus privalomas naujiems lengviesiems ir lengvasvoriams komerciniams automobiliams. Sudėtingo įvykio atveju, Europos universaliuoju pagalbos numeriu 112 bus išsiųstas minimalus duomenų rinkinys (angl. *minimum set of data (MSD)*). *MSD* turinys aprašytas standarte EN 15722. *eCall* įrenginys nebus registruojamas mobiliame tinkle (siekiant išvengti sekimo), kol automatiniu ar rankiniu būdu nebus aktyvuota *eCall* sistema. Automobilio savininkas turės galimybę sudaryti sutartį su mobiliojo ryšio

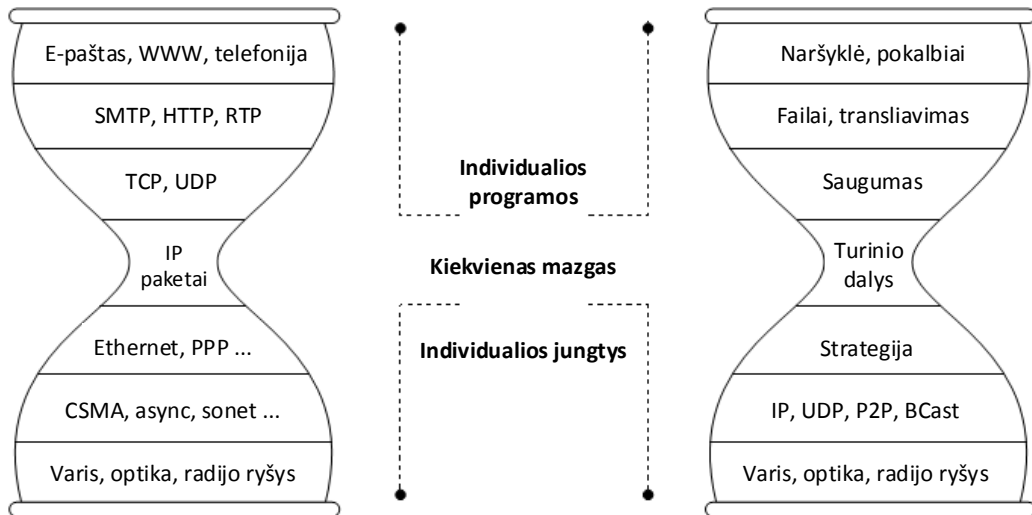
operatoriumi ir palaikyti nuolatinį ryšį. Su *eCall* bus išvystyta *InV* sistema, suteikianti pažangesnes telematikos paslaugas (European Commission, 2016).

Pirminėje sistemų diegimo fazėje pasirinktos paprastos išpėjimo paslaugos, teikiamos vieno šolio V2V bei V2I duomenų apsikeitimo metodais. Jos bus teikiamos nedidele rinkos aprėptimi intensyvaus eismo vietose. Artimiausioje ateityje tikimasi sparčios technologijų ir standartų plėtros šioje srityje bei platesnės rinkos aprėpties. Paslaugos bus išvystytos į pažangesnes saugumo išpėjimų ir kooperatyvaus dalinio ir pilno automobilių autonomiško sritis. Kitos ateities ITS paslaugos integruos automobilius, kaip daugialypius išmanios aplinkos elementus ir leis jiems komunikuoti su aplinkiniais žmonėmis bei objektais (pvz. išmaniajame mieste ar name), tokiu būdu plėtojant automobilių interneto (angl. *Internet of Vehicles (IoV)*) viziją (Campolo et al., 2015b). Apžvelgti įvairialypių paslaugų transporto komunikacijos tinkluose diegimo etapai Europoje, pagal *CAR 2 CAR Communication Consortium*, pateikti 9 pav.

1.4. Specialios paskirties duomenų perdavimo kokybės reikalavimai sistemose, dirbančiose kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkluose

Įvardintų duomenų tinklaveika (angl. *Named Data Networking - NDN*) – tai turiniu, duomenimis arba informacija grindžiami tinklai, kurie apibūdinami, kaip ateities interneto architektūra. Ši koncepcija pradėta vystyti, kaip mokslinių tyrimų projektas, finansuojant *JAV National Science Foundation* institucijos. Šios koncepcijos pagrindinė prielaida yra, kad internetas yra naudojamas, kaip informacijos paskirstymo tinklas, turėtų būti grindžiamas įvardintais duomenimis, o ne skaitiniais mazgų adresais. Tikimasi, kad ši architektūra pakeis įprastą *IP* tinklų architektūrą ir leis valdyti įvardintus turinio objektus, o ne tik galinius komunikacijos įrenginius. Įvardintų duomenų tinklaveikos architektūros palyginimas su *IP* architektūra, pateiktas 10 pav.

NDN pakeičia tinklo paslaugų semantiką iš duomenų paketų pristatymo paskirties adresui į duomenų, identifikuojamų, pagal vardą, priėmimą. Vardas *NDN* pakete gali reikšti tiek galinį tinklo įrenginį, tiek duomenų dalį knygoje ar filme, tiek ir konkrečių komandų vykdymą. Šis, konceptualus pakeitimas, leidžia spęsti platesnį spektrą uždavinių, įskaitant, galinių taškų komunikacijos, turinio paskirstymo ir tinklo valdymo (Zhang et al., 2014).

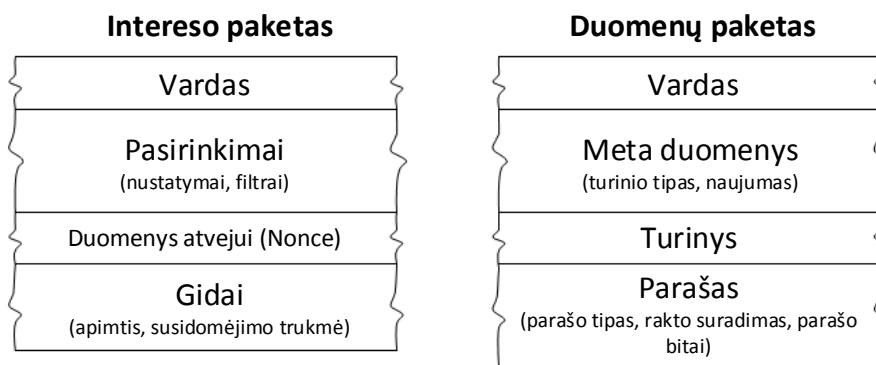


Šaltinis: (Zhang et al., 2014)

10 pav. Įvardintų duomenų tinklaveikos architektūros palyginimas su IP tinklaveikos architektūra

Fig. 10. Comparison of Named data networking architecture vs IP networking architecture

Informacijos priėmimas *NDN* yra inicijuojamas vartotojo, kuris duomenų užklausoms panaudoja intereso (angl. *Interest*) paketus. Tarpiniai mazgai persiunčia užklauso paketus per išėjimo sąsajas. Turinio tiekėjas, kuriuo gali būti tiek turinio pirminis šaltinis, tiek ir bet kuris kitas mazgas, laikinai turintis reikiamus duomenis, gavęs užklauso paketą atsako įvardintu duomenų paketu. Turinio paketas yra save identifikuojanti ir autentifikuojanti esybė, todėl įgalinamas duomenų kešavimas tinkle (Yuan et al., 2012; Kim et al., 2015.; Moiseenko et al., 2015). Intereso ir duomenų paketų struktūra *NDN* architektūroje pateikta 11 pav.



Šaltinis: (Zhang et al., 2014)

11 pav. Intereso ir duomenų paketai *NDN* architektūroje

Fig. 11. Interest and data packets in *NDN* architecture

Pagrindinės *NDN* savybės – nuo vietos nepriklausomi įvardinti duomenys, duomenų kešavimas ir nesudėtingas persiuntimas leidžia šį sprendimą taikyti *MANET* tinkluose. Nors iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad *NDN* taikymas *VANET* tinklams atneštų didelę naudą didinant duomenų perdavimo efektyvumą, tačiau kyla problemų, dėl

duomenų persiuntimo ir kešavimo algoritmų veikimo. *NDN* remiasi apriorine informacija, panašia į *IP* maršrutų lentelę, todėl aukšto tinklo mobilumo sąlygomis sudėtinga sudaryti pastovų kelių prieš perduodant duomenis. Mokslo literatūroje rasta vos keletas darbų, analizuojančių *NDN* taikymą automobilių komunikacijos tinklams, kuriuose, daugiausia, nagrinėjamos duomenų persiuntimo algoritmai ir strategijos (Amadeo et al., 2015; Bian et al., 2015; Chen et al., 2014; De Castro et al., 2015; Grassi et al., 2014). Šios koncepcijos adaptavimas ir išvystymas leistų sumažinti duomenų perkrovas automobilių komunikacijos tinkluose, integruojant ribotos konteksto informacijos struktūrizavimą ir ją įvardijant.

Kokybiškam įvairialypių paslaugų teikimui automobilių komunikacijos tinklais yra keliami tam tikri duomenų perdavimo spartos, paketų pristatymo efektyvumo bei kolizijų kiekio reikalavimai.

1 lentelė. *Kokybės reikalavimai duomenų perdavimui, įvairialypių paslaugų teikimui automobilių komunikacijos tinkluose*

Table 1. *Requirements of data transfer quality for heterogeneous service support in vehicular communication networks*

Paslauga	Paketo dydis (baitais) / reikalingas pralaidumas (KB/s)	Paketų praradimo įtaka	Perduodamų duomenų periodiškumas	Priklausymas nuo laiko	Toleruojamas vėlinimas (ms)
Eismo saugumo paslaugos					
Juostos keitimas	~100 / 1	Vidutinė	Įvykis	Taip	~100
Informacija Šviesoforų valdymo sistemai	~100 / 1	Vidutinė	Periodiškas	Taip	~100
Įspėjimas apie pavojus	~100 / 1	Aukšta	Įvykis	Taip	~100
Eismo sąlygų įspėjimai	~100 / 1	Vidutinė	Periodiškas	Taip	~100
Daugialypės terpės paslaugos					
<i>IPTV</i>	~1300 / 500	Vidutinė	Periodiškas	Taip	<200
<i>VOIP</i>	~100 / 64	Vidutinė	Periodiškas	Taip	<150
Vaizdo/garso bylų apsikeitimas	Kuo didesnė	Aukšta	Periodiškas	Ne	-
Žaidimai	Kuo didesnė	Aukšta	Periodiškas	Ne	-

Šaltinis: sudaryta, pagal (Cheng et al., 2011; Ramos et al., 2011)

Atlikus analizę, 1 lentelėje susisteminti duomenų perdavimo kokybės reikalavimai skirtingų paslaugų teikimui automobilių komunikacijos tinkluose. Skirtingi kokybės reikalavimai taikomi skirtingoms paslaugų grupėms. Eismo saugumo paslaugoms vystyti svarbiausi reikalavimai – mažas vėlinimo laikas, kadangi paslaugos yra priklausomos nuo jų teikimo vietos ir laiko konteksto. Reikalinga duomenų perdavimo sparta nėra aukšta. Daugialypės terpės paslaugoms teikti reikalinga ženkliai aukštesnė duomenų perdavimo sparta, tačiau dalis jų yra mažiau jautrios duomenų perdavimo vėlinimui, o duomenys perduodami periodiškai.

1 skyriaus išvados

1. Atlikta analizė rodo, kad automobilių komunikacijos tinklų technologijos šiuo metu išgyvena pradinių diegimų, bandymų ir testavimų etapą. Tyrimuose daugiausia dėmesio skiriama belaidžių tinklų sąveikai bei saugumo funkcijų užtikrinimui. Komunikaciją *VANET* tinkluose stengiamasi realizuoti, kaip vieno šuolio žinučių perdavimo mechanizmus arba paprastus įvykių pranešimus, perduodamus per keletą šuolių. *VANET* tinkluose, leidžiančiuose teikti eismo saugumo, informacines ir multimedija paslaugas, yra būtina eismo saugumo žinutėms priskirti aukščiausią prioritetą ir garantuoti prieigą prie resursų.

2. Mokslo šaltiniuose teigiama, kad vystant kintančios topologijos automobilių komunikacijos bevielius tinklus praturtintoms įvairialypėms paslaugoms teikti, būtina įvertinti konteksto suvokimo ir paslaugų adaptavimo bei perteikimo specifiką. Nustatyta, kad didelio masto tinkluose, eismo sąlygos bei vartotojų reikalavimai gali itin skirtis tiek laiko, tiek erdvės atžvilgiu. Konfigūruojami kanalų prieigos protokolai yra mažiau efektyvūs, situacijose, kai reikia aukšto tikslumo paslaugų kokybės palaikymo.

3. Remiantis atlikta apžvalga galima teigti, kad vystant naujas komunikavimo sistemas reikalingi nauji adaptyvūs konteksto informacijos surinkimo, apdorojimo ir apsikeitimo algoritmai, efektyviau išnaudojantys tinklo infrastruktūrą ir konfigūruojamus sisteminius resursus. Todėl naujuose konstrukciniuose tyrimuose būtina aktualizuoti adaptyvius metodus, leidžiančiais vystyti aplinką suvokiančias ir gebančias bendradarbiausi autonomines sistemas, pritaikytas specifinių charakteristikų didelio mobilumo lygio *VANET* tinklams, palaikančiais įvairialypes paslaugas, skirtingomis eismo ir tinklo mobilumo sąlygomis.

4. Manoma, kad naujos kartos įvardintų duomenų tinklų adaptavimas ir išvystymas leistų sumažinti duomenų perkrovas automobilių komunikacijos tinkluose, integruojant ribotos konteksto informacijos struktūrizavimą.

2. AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO VALDYMO KONTEKSTO DUOMENYS IR APDOROJIMO METODAI

Skyriuje analizuojami transporto sistemos valdymo ir išorinio konteksto duomenų svarbos klausimai. Supažindinama su duomenimis ir žiniomis, kurios reikalingos susidariusių situacijų suvokimui. Pristatoma situacijų suvokimo koncepcija, analizuojami konteksto kokybės rodikliai bei konteksto valdymas automobilių komunikacijos tinkluose. Pristatoma konteksto duomenų surinkimo, agregavimo bei skleidimo sisteminių ir programinių platformų apžvalga, aptariami metodų privalumai bei trūkumai. Nagrinėjamas situacijų identifikavimas įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos tinkluose.

Kad automobilis galėtų adaptuotis prie žmogaus poreikių bei suteikti reikiamas paslaugas reikiamu metu ir reikiamoje vietoje yra būtina, kad jis suvoktų supančią aplinką bei galėtų identifikuoti esamą/buvusią ir tikėtina, būsimą situaciją. Situacijos suvokimui galima panaudoti įvairių jutiklių duomenis, tačiau šie duomenys yra itin sudėtingi (skirtingo modalumo, didelės apimties, turintys sudėtingas priklausomybes tarp šaltinių), dinamiški (atsinaujina realiu laiku, kritiškai senstantys), skirtingo tikslumo (Ye et al., 2012). Sistema neturi vertinti atskiro jutiklio duomenų, o vietoje to – ši informacija turi būti transformuojama į aukštesnį dalykinės srities konceptą, vadinamą situacija, kuris gali būti panaudojamas taikomųjų programų, kaip įvestis, siekiant adaptuoti programinę įrangą prie žmogaus (Patricia Costa et al., 2006).

2.1. Automobilių transporto valdymo konteksto samprata bei atvaizdavimo priemonės

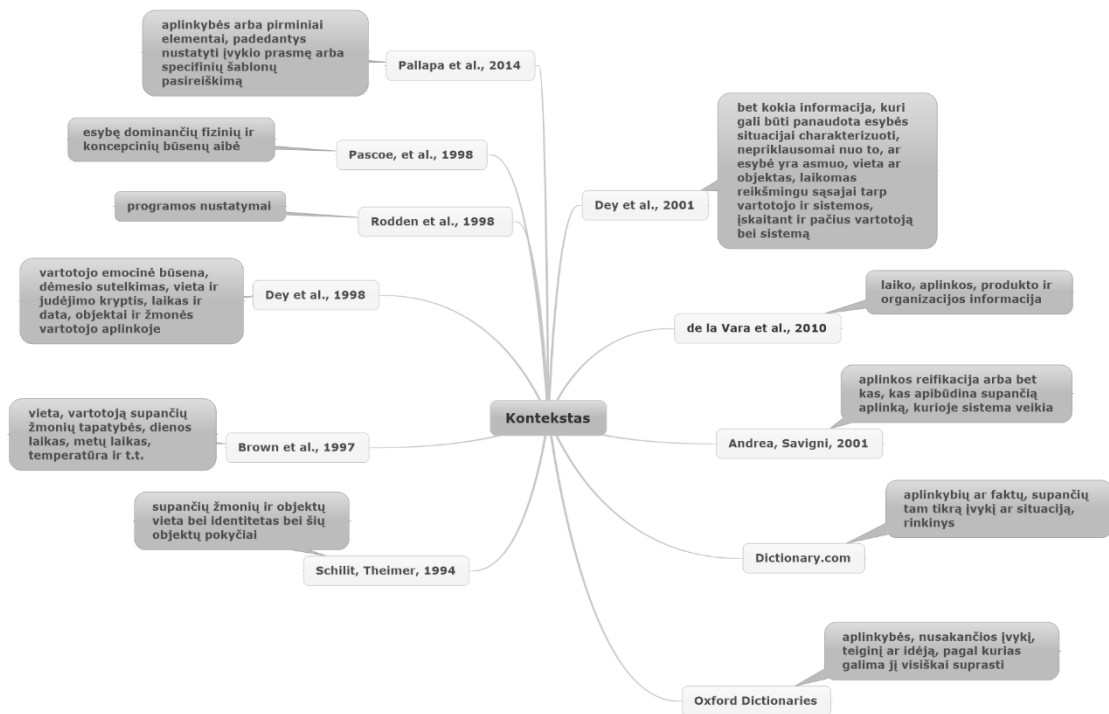
Paanalizavę visur esančio prisijungimo koncepcijos pradininko M. Weiser darbus (Weiser, 1991), galime identifikuoti tris pagrindinius šio tipo komunikacijos aspektus: kontekstą suvokianti kompiuterija, intelektualiai aplinka bei žmonių ir daiktų stebėjimas. Ši autoriaus pasiūlyta paradigma leido vystyti žmogų supančioms kompiuterinėms sistemoms, įgalinančioms nepastebimai patenkinti žmogaus poreikius. Pasak Caceres ir Friday (Caceres, Friday, 2012), konteksto suvokimas yra labai svarbus visur esančios kompiuterijos aspektas.

Konteksto nagrinėjimas pradedamas nuo konteksto apibrėžimo ir jo interpretavimo, plačiai aptariamo literatūroje. Sudarytas koncepcinis žemėlapis (angl. *Concept Map*), kuriame susisteminta informacija apie įvairių mokslininkų žinių apibūdinimą, pateikiamas 12 pav. Daugelis mokslininkų kontekstą (angl. *context*) suvokia ir apibrėžia panašiai, tačiau su tam tikra interpretacija. Tai suprantama, nes konteksto sąvokos turinys platus, apima įvairias sritis, kontekstas naudojamos įvairia paskirtimi. Pagal *Oxford Dictionaries*, kontekstas yra „aplinkybės, nusakančios įvykį, teiginį ar idėją, pagal kurias galima jį visiškai suprasti“. Panašus apibūdinimas pateikiamas ir *Dictionary.com*, kur teigiama, kad „kontekstas – tai aplinkybių ar faktų, supančių tam tikrą įvykį ar situaciją, rinkinys“. Savaime suprantama, kad šie apibrėžimai yra per platūs, nagrinėjant kontekstą suvokiančias sistemas. Pirmieji paminėję terminą „kontekstą suvokiančios sistemos“ buvo (Schilit, Theimer, 1994). Kontekstą jie apibūdino, kaip „supančių žmonių ir objektų vieta bei identitetas bei šių objektų pokyčiai“.

Panašiai kontekstą apibūdina ir kiti autoriai (Andrea, Savigni, 2001), kurie teigia, kad „kontekstas tai aplinkos reifikacija arba bet kas, kas apibūdina supančią aplinką, kurioje sistema veikia“. (Brown et al., 1997) kontekstą apibūdina, kaip vietą, vartotoją supančių žmonių tapatybės, dienos laikas, metų laikas, temperatūra ir t.t. Kaip vartotojo emocinę būseną, dėmesio sutelkimą, vietą ir judėjimo kryptį, laiką ir datą, objektus ir žmones vartotojo aplinkoje apibūdina (Dey et al., 1998).

Šie apibrėžimai, kontekstą aprašantys pavyzdžiais, yra labai sudėtingai pritaikomi, kuriant nagrinėjamas intelektualias sistemas, kadangi vertinant potencialų naują konteksto informacijos tipą, neaišku kaip nuspręsti, ar šią informaciją priskirti konteksto informacijai ar ne (Dey et al., 2001).

Kai kurie autoriai, kaip konteksto sinonimą vartoja sąvokas „aplinka“ ar „situacija“, vienu atveju, situaciją suvokiant, kaip vartotojo situacija (Brown, 1996; Franklin, Flaschbart, 1998; Talipov et al., 2015), kitu – programos situacija (Chang, 2015; Luna et al., 2015). (Pascoe et al., 1998) kontekstą apibrėžia, kaip esybę dominančių fizinių ir koncepcinių būsenų, aibę. Iš kitos pusės į kontekstą žvelgia (Rodden et al., 1998), kuris teigia, kad kontekstas yra programos nustatymai. Vienas naujesnių apibrėžimų pateikiamas (Pallapa et al., 2014). Autoriai teigia, kad kontekstas – tai aplinkybės arba pirminiai elementai, padedantys nustatyti įvykio prasmę arba specifinių šablonų pasireiškimą. Biswas et al. teigia, kad nors pastarieji apibrėžimai yra žymiai bendresni, nei pavyzdžiais grindžiami apibrėžimai, tačiau šis bendrumas turi ir trūkumų, kadangi sunku identifikuoti konteksto sudedamąsias dalis (Biswas et al., 2015).



Šaltiniai: sudarytas autoriaus, remiantis skyriuje nagrinėtais šaltiniais

12 pav. *Transporto valdyme, dalyvaujančių duomenų konteksto apibūdinimo ir nagrinėjimo žemėlapis (Andrea, Savigni, 2001; P. J. Brown et al., 1997; de la Vara et al., 2010; A. Dey et al., 2001; A. K. Dey et al., 1998; Pascoe et al., 1998; Rodden et al., 1998; Schilit, Theimer, 1994)*

Fig. 12. *Concept map of context definition*

Priklausomai, nuo kuriamos sistemos srities, kontekstu gali būti laikoma skirtinga informacija (Serral et al., 2015). Pvz., verslo procesų modeliavime (angl. *Business Process Modelling - BPM*) konteksto informacija laikoma laiko, aplinkos, produkto ir organizacijos informacija (de la Vara et al., 2010).

Nagrinėjant dalykinės srities (konteksto informacijos surinkimo, agregavimo ir skleidimo automobilių komunikacijos tinkluose) uždavinius, pasirinkta konteksto

samprata, kurią pateikė A. Dey: „kontekstas yra bet kokia informacija, kuri gali būti panaudota esybės situacijai charakterizuoti, nepriklausomai nuo to, ar esybė yra asmuo, vieta ar objektas, laikomas reikšmingu sąsajai tarp vartotojo ir sistemos, įskaitant ir pačius vartotoją bei sistemą“ (Dey et al., 2001).

2.1.1. Konteksto duomenų kokybės samprata

Kuriant adaptyvias sistemas visur esančios kompiuterijos (belaidžių tinklų) aplinkoje, susiduriama su gaunamo konteksto informacijos apribojimų ir kokybės vertinimo problema (Bu et al., 2006). Siekiant įvertinti konteksto informacijos surinkimo, agregavimo bei skleidimo metodus, būtina apibrėžti konteksto kokybės sąvoką. Kaip teigia (Buchholz et al., 2003), kontekstas turi kokybę. Du konteksto informacijos vienetai, priklausantys tai pačiai esybei, esantys to paties tipo ir priimti tuo pačiu metu gali skirtis pagal jų tikslumą, teisingumo tikimybę ir kt. Tokio tipo kokybę autorių įvardijama, kaip konteksto kokybę (angl. *Quality of Context – QoC*). Autoriai, pirmą kartą panaudoję šį terminą, konteksto kokybę apibūdina, kaip „bet kokia informacija, apibūdinanti informacijos, naudojamos, kaip konteksto informacija, kokybę“. Taip pat teigiama, kad konteksto kokybę remiasi informacija, o ne procesu ar techninės įrangos komponentu, potencialiai teikiančiu informaciją. Tolimesni kitų autorių darbai (Krause, Hochstatter, 2005) šią sąvoką plėtojo ir konteksto kokybę apibūdino, kaip „bet kokia būdinga informacija, aprašanti konteksto informaciją, kuri gali būti panaudota, nustatant informacijos vertę konkrečiam tikslui“. Vienas pastarųjų metų apibrėžimų teigia, konteksto kokybę – tai „rinkinys parametru, išreiškiančių konteksto duomenų kokybės reikalavimus ir savybes“. Konteksto kokybę nereikalauja tobulos konteksto informacijos su didžiausiu galimu tikslumu ir naujumu, tačiau reikalingas tinkamas duomenų kokybės įvertinimas (Bellavista et al., 2012).

2.1.2. Konteksto kokybės rodikliai ir kiekybinis vertinimas

Analizuojant konteksto kokybę bei šią koncepciją siekiant pritaikyti kontekstą suvokiančioms intelektualioms paslaugoms, būtina turėti rodiklius, leidžiančius išmatuoti konteksto informacijos kokybę. Pirmieji apibrėžę konteksto kokybės sąvoką pamėgino įvardinti ir rodiklius, pagal kuriuos kokybę galėtų būti apibrėžiama: tikslumas, teisingumo tikimybė, patikimumas, detalizavimo laipsnis bei naujumas (Buchholz et al., 2003).

Vienas iš pirmųjų darbų, kuriame įvardijami konteksto informacijos kokybės rodikliai pateikiamas (Gray, Salber, 2001). Autoriai rodikliais įvardija: aprėptį (potencialaus užfiksuoto konteksto dalį), detalizavimo laipsnį (mažiausias suvokiamas elementas), tikslumą, pakartojamumą (matavimo stabilumą laiko atžvilgiu), dažnumą (nuoskaitų skaičių per laiko vienetą), savalaikiškumą (matavimų diapazoną laike; klaidų diapazoną laike).

Konteksto duomenų kokybę gali būti matuojama nurodant tokius kriterijus kaip:

- tikslumas;
- naujumas;
- detalizavimo lygis;
- teisingumas;
- pasireiškimo tikimybė.

Šių kriterijų analizė pateikiama (Sheikh et al., 2008) darbe. Santykis tarp informacijos kokybės ir jos parametru svarbos aprašytas (Kim, Lee, 2006). Kartais, kaip kokybės vertinimo rodiklius, autoriai įvardija tikslumą, pilnumą, atvaizdavimo nuoseklumą, prieigos saugumą bei informacijos naujumą. Naudojantis statistiniais

metodais autoriai skaičiuoja jutiklių duomenų tikslumą protingame name. Kai kurie autoriai vietoje pasikartojimo siūlo naudoti teisingumo tikimybę (Sheikh et al., 2007).

Gana sunku nustatyti reikiamų rodiklių sistemą, kuri atspindėtų sudėtingas, realybėje vykstančias transporto situacijas. Kiekvieno pasirinkto rodiklio svarba ir prioritetiškumas skirtingose situacijose yra nevienareikšmis. Rodikliai gali būti įvertinti kiekybiškai ir/arba kokybiškai. Bendras situacijų įvertinimo sistemos reikalavimas yra, kad sistema pilnavertiškai galėtų panaudoti konteksto duomenis, juos suvokiančiose sistemose. Literatūros apžvalga parodė, kad moksliniuose tyrimuose konteksto duomenys aprašomi nevienareikšmiškai ir dar nėra pasiūlyta bendros standartizuotos rodiklių sistemos konteksto duomenų atpažinimui.

Situacijų identifikavimo sistema turi gebėti atpažinti daugybę skirtingų situacijų, suvokti jų tarpusavio santykį, jų kontekstą bei valdyti šias situacijas, kadangi kitu atveju, sistema gali veikti nekorektiškai ir netinkamai adaptuotis prie vartotojo poreikių. Sistema turi suvokti kelių situacijų vienalaikiškumą arba tai, kad jos tuo pačiu metu negali įvykti, pvz., automobilis negali tuo pačiu metu stovėti aikštelėje ir važiuoti greitkeliu. Svarbus ir situacijų išsidėstymo eiliškumas, pvz., neužvedus variklio automobilis negali pradėti važiuoti ir t.t. Atsižvelgiant į sudėtingas sistemos veikimo sąlygas, aukštą dinamiškumo lygmenį, jutiklių heterogeniškumą, jutiklių netikslumą ir kt. aplinkybes, aukšto situacijos identifikavimo tikslumo pasiekimas yra sudėtingas uždavinys.

Situacijų identifikavimui didelės įtakos turi ir tai, koks automobilio judėjimo scenarijus: ar jis važiuoja užmiestyje, mieste, didmiestyje, automagistralėje ar stovi aikštelėje. Atlikus analizę, sudaryta skirtingų scenarijų suvestinė, pateikiama 2 lentelėje.

2 lentelė. *Eismo bei tinklo mobilumo scenarijų rodikliai bei jų įvertinimai*

Table 2. *Characteristics of scenarios of traffic and network mobility*

Rodiklis / scenarijus	Užmiestis	Miestas	Didmiestis	Automagistralė
Vidutinis mazgų judėjimo greitis	Vidutinis	Mažas	Labai mažas	Labai didelis
Mazgų tankumas	Mažas	Vidutinis	Labai didelis	Vidutinis/ mažas
Interferencija	Maža	Vidutinė	Labai didelė	Maža
Kliūčių radijo ryšiu skaičius	Mažas	Vidutinis	Labai didelis	Mažas

2.1.3. Konteksto duomenų valdymas automobilių komunikacijos tinkluose

Automobilių komunikacijos tinklų aplinkoje, sistemos teikia informaciją reikalingą vartotojui. Tokią informaciją, kurią daugybė tinklo mazgų vartotojams siūlo, reikia pritaikyti (adaptuoti) taigi valdyti konteksto duomenis teikiančias paslaugas. Konkrečiu laiko momentu vartotoją dominančios paslaugos priklauso nuo konkrečios vartotoją supančios aplinkos ir šio konteksto duomenų. Konteksto duomenys gali būti labai įvairūs ir dinamiškai kintantys, tokiu būdu, vartotojo inicijuojamą paslaugų suradimą paverčiantis nepraktišku ir mažai naudingu. Dinamiškoje transporto procesus valdančioje aplinkoje vartotojas turėtų būti nuolat informuojamas apie jam svarbias paslaugas, o informavimas turi būti adaptuotas, pasirenkant sinchroninį bei

asinchroninis, t.y. trigeriuojama duomenų valdymo režimą ir organizuojamas, pagal konteksto duomenų ir jų svarbos pasikeitimus (Rasch et al., 2011).

Paslaugų kūrimui ir realizavimui taikoma paslaugų architektūra *SOA* (angl. *Service-Oriented Architecture - SOA*). Įprastai, paslaugų suradimo metoduose naudojami tradicinių *SOA* būdai, kur pagrindinis paslaugų suradimo faktorius yra vartotojo užklausa. Automobilių komunikacijos aplinkoje, vartotojo kontekstas ir pasirinkimai tampa esminiais faktoriais, lemiančiais vartotoją labiausiai dominančių paslaugų pasirinkimą, esant atitinkamai situacijai. Vartotojo kontekstas yra nuolat kintantis ir transporto procese konteksto duomenis nusako pagrindiniai apsprendžiantys parametrai:

- transporto priemonės vartotojo buvimo vieta,
- situacijos valdymo laikas,
- aplinkos informacija,
- vartotojo būseną,
- informacija iš aplinkinių automobilių,
- informacija iš stebėsenos įrenginių.

Šie nuolat kintantys aspektai iškelia naujus iššūkius, kuriant naujausius paslaugų kūrimo, teikimo, suradimo ir atrankos metodus automobilių komunikacijos aplinkoje veikiančioms sistemoms. Sistema turi surasti paslaugas, pagal pasikeitimus konteksto duomenyse, net jei vartotojas kartais neinicijuoja paslaugų paieškos mechanizmo. Galimybė reaguoti į šiuos numatomus paslaugų prašymo scenarijus leidžia ženkliai pagerinti vartotojo patirtį, naudojantis sistema (Rasch et al., 2011).

Konteksto supratimas mobilioje aplinkoje reikalauja tarpdisciplininio požiūrio, kuriame susijungia programavimo paradigmos, operacinės sistemos, įterptinės sistemos, kompiuterių tinklai, matematinė analizė ir kitos mokslo sritys. Tai sukuria didžiulį atotrūkį tarp aukšto lygio reikalavimų mobilių sistemų paslaugoms ir operacijų sudėtingumo dirbant su kontekstu gautu iš aplinkos. Taikymo reikalavimai apima įvairius aspektus, tokius kaip: gebėjimas prisitaikyti, lankstumas, sumanumas. Atsižvelgiant į įrenginių heterogeniškumą, aukštą mobilumo lygį ir kintančią topologiją, valdyti konteksto informaciją yra itin sudėtinga ir galima didelė klaidų tikimybė.

Programos susiduria su neapdorotu kontekstu ir jo suvokimo moduliuose, pvz., konteksto išankstinio apdorojimo ir samprotavimo. Programos adaptuoja savo veiksmus, pagal besikeičiantį kontekstą (Zhang et al., 2011). Konteksto valdymas greitai kintančios topologijos mobilioje aplinkoje, tokioje, kaip automobilių komunikacijos tinklai, yra sudėtingas uždavinys, dėl keleto faktorių (Wibisono et al., 2009):

- Kontekstas tampa pasenęs dėl didelio mazgų mobilumo. Konteksto informacija yra glaudžiai susieta su fizine lokacija ir tam tikroje vietoje, jis gali tapti mažiau reikšmingas arba visai nenaudingas. Dėl dažno mazgų atsijungimo nuo konteksto šaltinio, gali būti sudėtinga išlaikyti atnaujinamą informaciją apie kontekstą.
- Laikinas konteksto svarbumas, sąlygojamas dinaminų pasikeitimų. Kontekstas gali įgyti laikiną svarbumą dėl klientų ar konteksto tiekėjų mobilumo. Laikinas konteksto svarbumas gali kisti dinamiškai, priklausomai nuo automobilio situacijos. Ši problema gali iššaukti susijusias konteksto neapibrėžtumo problemas.
- Konteksto dviprasmiškumas ir pertekliškumas. Koordinavimo nebuvimas V2V aplinkoje gali lemti dviprasmiškumą ir pertekliškumą,

kadangi panašus kontekstas gali būti siūlomas keleto mazgų su skirtingomis reikšmėmis ir atributais.

- Informacijos šaltinio patikimumas. Vienas iš konteksto informacijos šaltinių yra informacija iš realaus pasaulio. Ši informacija gali būti skirtingos kokybės ir patikimumo.

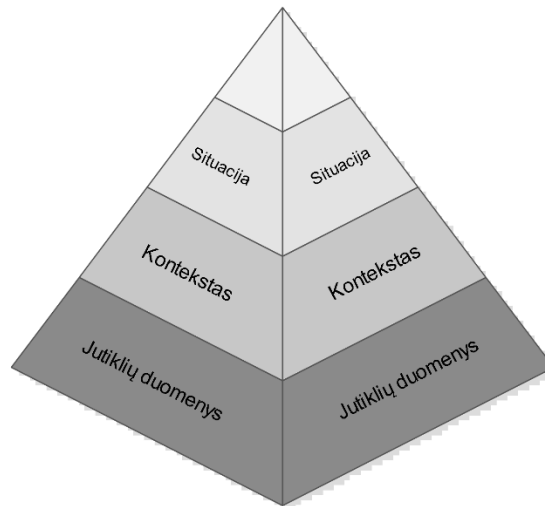
2.1.4. Konteksto duomenų apdorojimo metodai, programinė įranga ir modeliavimo įrankiai

Pastaraisiais metais, moksliniuose tyrimuose daugiausia dėmesio buvo skiriama įvairiems konteksto aspektams, tarp kurių: konteksto tarpinė programinė įranga ir įrankiai (angl. *context middleware and toolkits*) informacijos gavimui, ontologijos, suteikiančios žodynus konteksto apibūdinimui. Dėmesio centre buvo konteksto abstraktiniai ir bendrinimas, siekiant nustatyti svarbias konteksto abstrakcijas ir charakteristikas. Tačiau neapibrėžtumo klausimas, kuris yra vienas iš fundamentaliųjų jautikliais paremtoje mobilojoje aplinkoje buvo nagrinėjamas labai mažai. Taip pat, atsiranda mėginimų aptikti ir samprotauti apie duomenų nevientisumą metodais, naudojančiais ontologijas, aprašančias nuo konteksto priklausančias taikymo sritis. Šie požiūriai yra tinkami informacijos neatitikimo radimui, o samprotavimai, dažnai, taikomi su dalykinės srities specifinėmis taisyklėmis. Alternatyvūs požiūriai samprotavimo su neapibrėžtomis sąlygomis problemą bando spręsti, koncentruodamiesi į jautiklių duomenų sintezės metodus (Padovitz et al., 2006).

Konteksto erdvių modelis

Nuo konteksto priklausomos kompiuterijos paradigma gali būti aiškinama, kaip bandymas gauti informacijos su ribotomis jutimo galimybėmis, atsižvelgiant į sąlygas, naudingas taikymo sričiai. Konteksto prigimtis gali būti traktuojama, kaip apribotas sistemos turimas pasaulio vaizdas, kuris gali būti panaudojamas nedelsiant (trigieravimo veiksmams) arba reikalauti papildomo apdorojimo, įvykių situacijų nustatymui (išsamesniam samprotavimui). Taigi, fundamentaliai nubrėžiame ribą tarp įvykių aibės, atspindinčios specifinę sistemos sąlygą ir situacijos supratimo, kuris gali būti išvestas naudojant konteksto žinias.

Pagal šiuos apibūdinimus, su kontekstu susijusi filosofija gali būti išreiškiama per konteksto-situacijos piramidę, kurioje nusakoma trijų lygių koncepto abstrakcijos hierarchija. Pirmasis yra pagrindinis neapdorotų duomenų lygis. Ši informacija (galimai su tam tikru apdorojimu) yra panaudojama sukurti konteksto sąvokai, pvz. kontekstas yra informacija, panaudota modelyje, nusakyti realaus pasaulio situacijoms. Tuomet, kaip meta lygio konceptas virš konteksto, nustatome situacijų sąvoką, kuri gali būti išvedama, analizuojant konteksto informaciją (13 pav.).



Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal (Padovitz, 2006)

13 pav. Konteksto informacijos konceptų hierarchija

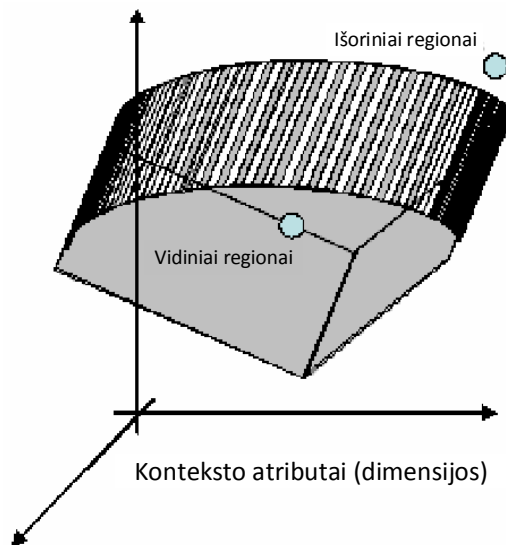
Fig. 13. Hierarchy of context information concept

Tarp sumodeliuotos informacijos ir realių situacijų gali egzistuoti daugelis-sudaugeliu sąryšiai. Buvimas tam tikroje aplinkoje tą patį transporto objektą gali paveikti, inicijuotame kontekste bei gali nurodyti keletą skirtingų situacijų (poreikį papildomam samprotavimui), o skirtingi sumodeliuotos informacijos rinkiniai gali apibūdinti specifinę situaciją.

Konteksto duomenų modeliavimo principai

Konteksto erdvės, konteksto ir situacijų aprašymui, kaip pirmos klasės modelio objektams, naudojamos geometrinės metaforos. Pradėsime nuo taikymo erdvės aprašymo – diskurso aibės, pagal turimą taikymo konteksto informaciją. Informacijos tipas yra apibrėžiamas, kaip konteksto atributas ir žymimas a_i . Jutiklio nuskaitymo reikšmė, laiko momentu t , yra konteksto atributo reikšmė, laiko momentu t , ir yra žymima a_i^t . Taikymo erdvė yra daugiadimensinė erdvė, sudaryta iš reikšmių srities (angl. *domain of values*) kiekvienam konteksto atributui, kuriame kontekstas gali būti užfiksuotas. Per jį mes suvokiame sub-erdves (galimai aprašytas per mažiau dimensijų), kurios atspindi realaus pasaulio situacijas. Šias sub-erdves vadiname situacijų erdvėmis. Situacijų erdvės yra apibūdinamos, kaip priimtinių reikšmių sritys, pasirinktose dimensijose ir atstoja verčių rinkinius, atspindinčius realaus pasaulio situacijas. Priimtina reikšmių sritis yra žymima A_i^j ir apibūdinama, kaip elementų rinkinys V , kuris tenkina predikatą $A_i^j = \{V|P(V)\}$. Situacijų erdvė yra pateikiama, kaip tų sričių sutvarkytas sąrašas ir žymimas $S_j = (A_1^j, A_2^j, \dots, A_n^j)$ (sudarytas iš n priimtinių šių atributų sričių). Faktinės jutiklių priimtos informacijos reikšmės yra apibrėžiamos konteksto būseną, pvz. dabartinių jutiklių nuoskaity rinkiniu.

Bendra šių koncepcijų iliustracija pateikta 14 paveiksle. Situacijų erdvė yra sudaryta iš trijų dimensijų konteksto atributų, tenkinančių individualius predikatus. Konteksto būseną yra nubrėžta skirtingais laikais (C_i^{t1} ir C_i^{t2}), atvaizduojanti skirtingų specifinių reikšmių rinkinį. Laiko momentu t_1 būseną atitinka (arba įeina į) situacijų erdvės aprašymą, o laiko momentu t_2 – konteksto būsenos pozicija yra už situacijos erdvės apibūdinimo.



Šaltinis: (Padovitz, 2006)

14 pav. *Situacijų erdvės ir konteksto būsenos vizualizavimas esant skirtingam laikui*

Fig. 14. *Visualization of situation space and context state at different time*

Samprotavimas grindžiamas daugelio kriterijų nustatymo teorija (MAUT)

Kad samprotauti apie kontekstą ir situacijas, atvaizduojamas per konteksto erdves su neapibrėžtumu, galime taikyti skirtingus samprotavimo metodus. Pirmiausia, siūlomas naujas samprotavimas, remiantis daugiakriterine naudingumo teorija (angl. *Multi-attribute Utility Theory (MAUT)*) (Dyer, 2005). Tuomet, parodomas kitų samprotavimo metodų pritaikomumas su *Dempster-Shafer*.

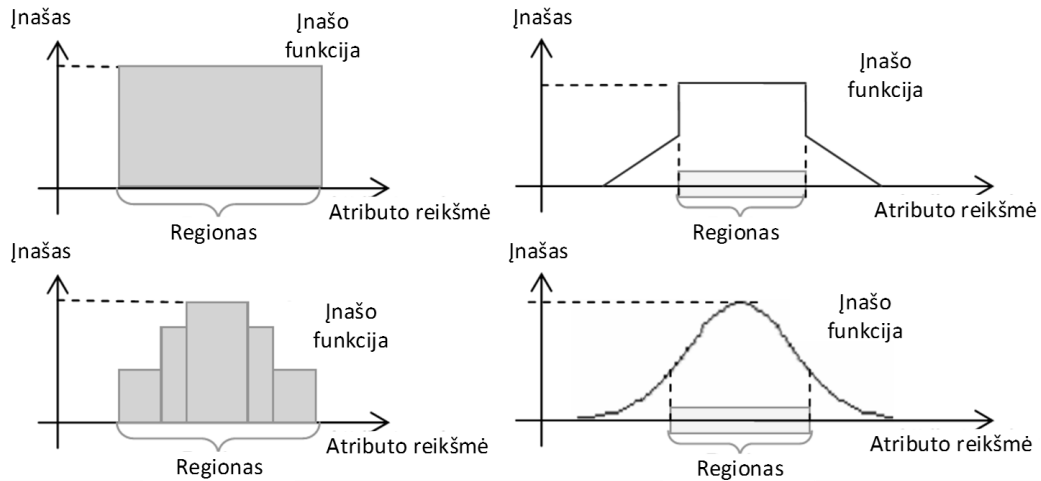
Efektyviam samprotavimui apie kontekstą, naudojamos skirtingos euristicos. Dirbtiniame intelekto, euristicos atvaizduoja taisykles, daugiausia paremtas eksperto patirtimi ar sveika nuovoka ir yra naudojamos, kaip gairės problemos sprendimui. Siūloma naudoti *MAUT*, kaip būdą integruoti tokią euristicą į pasiklojimo matavimą, atspindintį pasiklojimo laipsnį situacijos pasireiškimu.

Reikšmingumo funkcija. Daugeliu atvejų, kai kurie informacijos tipai yra reikšmingesni nei kiti, nusakant situaciją, pvz., aukšta kūno temperatūra gali būti stiprus rodiklis bendram asmens negalavimui nusakyti, kai kiti atributai šioje specifinėje situacijoje yra ne tokie svarbūs. Kad sumodeliuoti šiuos konteksto atributų reikšmingumo skirtumus tam tikrai situacijai, apibrėžiama reikšmingumo funkcija, kuri priskiria svorius w_1, w_2, \dots, w_n , ($w_i \in [0,1], \sum_{i=1}^n w_i = 1$) konteksto atributams. Svoriai atspindi, kiek svarbus yra kiekvienas atributas (lyginant su kitais atributais), nusakant situaciją.

Įnašo (naudingumo reikšmės) funkcija. Reikšmingumo funkcijoje modeliuojama santykinė svarba, tarp situacijų erdvės atributų, o įnašo funkcijoje modeliuojamas individualus elementų iš specifinės srities įnašas, nusakantis situaciją. Vietoje to, kad vien tik žinoti, ar vertė yra srityje ar ne, įvertiname ir pačią reikšmę. Tai, kad vertė yra srityje, yra situacijos orientyras, o jei vertė yra tam tikrame diapazone (srities) – kiek (nustatant vertę $c \in [0,1]$ tam elementui) yra tai, ką atvaizduoja įnašo funkcija.

Konteksto atributo reikšmės įnašas gali būti paveiktas jutiklių nuoskaidų tikslumo. Faktai iš netikslaus jutiklio gali būti inkorporuoti į įnašo funkciją, kuri gali

užtikrinti žemus paramos lygius reikšmėms, kurios yra panašios, bet nepatenka į tam tikrą sritį. Tai panašu į narystės funkcijas neraiškiuosiuose rinkiniuose, kur funkcijos apskaičiuoja narystės laipsnį tarp vertės ir žinomo rinkinio. Įnašo funkcija leidžia modeliuoti neapibrėžtumą apie jutiklių nuoskaitas ir inkorporuoti jas, kaip samprotavimo proceso dalį. Tai iliustruojama 15 pav. Viršutinė ir apatinė kairė diagramos dalis rodo įnašo lygį, priskirtą reikšmėms srityje; viršutinė ir apatinė dešinė diagramos dalis rodo įnašo funkcijas, kurios įvertina galimus netikslumus gautoje konteksto atributų reikšmėje ir priskiria žemas palaikymo vertes, nuskaitytai informacijai už srities ribų.



Šaltinis: (Padovitz et al., 2006)

15 pav. Įnašo funkcijų pavyzdžiai, nurodantys įnašo lygį duotai vertei

Fig. 15. Examples of contribution functions showing contribution level for the given value

Pritaikant ankstesnius konteksto duomenų kokybės apibrėžimus ir remiantis sumodeliuoto konteksto informacija, sistemoje galime naudoti duomenis su neapibrėžtumu arba žemu tikslumu, nustatant atitinkamų situacijų pasireiškimą. Taigi, situacijos pasireiškimui indikatoriai (arba įrodymų palaikymas) yra išreiškiami vertėmis, kurias teikia konteksto atributai, nagrinėjamoje konteksto duomenų būsenoje, pagal tai kurios svarbos jie yra priimtinos situacijų erdvės srityse. Ši vertė turi savo režius ir konkrečios situacijos analizėje ji nurodo, kokią vietą kiekvienas atributas užima pagal tai, ar atributo reikšmė patenka į tam tikrą diapazoną. Tai, kad kai kurios konteksto atributų reikšmės yra už jo srities situacijų erdvėje, silpnina tos situacijos tikėtumą.

Tokią požiūrį taikant praktikoje, naudojama daugelio kriterijų nustatymo teorija *MAUT*, kuria naudojantis modelio paimama informacija (pvz. konteksto būsenos padėtis, kuri išreiškiama per situacijų erdvės aprašymą) ir suskaičiuojamas pasitikėjimo laipsnis tos situacijos pasireiškimui. Apskaičiuotas pasitikėjimas yra palyginamas su pasitikėjimo slenksčiu, taip palengvindamas situacijos pasireiškimą sprendimą (lyginamas apskaičiuotas pasitikėjimas su individualiu konkrečios situacijos slenksčiu, kas leidžia palyginti rezultatus, apskaičiuotus skirtingoms situacijoms).

MAUT suteikia patogų būdą apjungti iš pirmo žvilgsnio skirtingus įnašus į vieną matavimą, išreiškiant rezultata, kaip naudingumą. Šiuo atveju, naudingumas (arba indėlis į tikslą – situacijos pasireiškimą nustatymą) yra, kaip įrodymų parama, pateikta situacijos pasireiškimui hipotezei, kai konteksto atributų reikšmė yra

atitinkamoje srityje. Kuo daugiau turime indikatorių, rodančių, kad konteksto būseną atitinka aprašymą situacijų erdvėje, tuo didesnis naudingumas yra pasiekiamas.

MAUT yra laikoma įvertinimo schema, kuri suteikia bendrą įvertinimo funkciją $v(x)$ objektui x , kad nurodyti bendrą objekto naudingumą. Įvertinimo funkcija, tradiciškai, nusakoma, kaip svertinė vertinamų objektų dimensijų, kurios atspindi skirtingus indėlius, aktualius objektui, suma. Skaičiavimo rezultatas viename skaitiniame matavime svyruoja tarp 0 ir 1. Funkcija, apskaičiuojanti situacijos pasireiškimo pasiklovimą, atsižvelgus į aptartas idėjas, ir kurios rezultatas yra tarp 0 ir 1 yra:

$$Confidence = \sum_{i=1}^n w_i c_i$$

Kur w_i reiškia svorį, priskirtą įnašo funkcijos regionui i situacijų erdvėje, o c_i nurodo konteksto atributo i reikšmės indėlio lygį situacijų erdvės aprašyme.

Kai susiduriama su jutiklių netikslumais, samprotavimo procedūra išplečiama, į pasiklovimą matavimus įtraukiant euristinius metodus, kurie leidžia integruoti papildomas žinias apie jutiklių netikslumą, kaip samprotavimo proceso dalį, vykdymo metu. Šis euristinis metodas, grindžiamas samprotavimu, kad kuo didesnis tikėtumas, kad konteksto atributas priklausys sričiai, tuo didesnis indėlis turėtų būti įvertintas tam konteksto atributui toliau dalyvaujant priimant sprendimą, ir atvirkščiai. Šis euristinis metodas suteikia galimybių ir nurodo būdą, kaip apskaičiuoti jutiklio parodymo įnašo lygį, paslaugos vykdymo metu, vietoj to, kad jis būtų modeliuojamas kūrimo metu. Pvz., aptiktos pritemdytos šviesos kambaryje, gali būti stipriu indikatoriumi, kad vyksta prezentacija. Tačiau, jei šviesos jutiklis yra netikslus, tuomet, aptiktų pritemdytų šviesų įnašas, reiškiantis prezentaciją, turi būti sumažintas. Šis euristinis metodas leidžia tiksliau atskirti turimą informaciją samprotavimui, esant neapibrėžtoms sąlygoms.

Pasiklovimą matavimas, naudojant šį euristinį metodą išreiškiamas kaip:

$\mu(S) = \sum_{i=1}^n w_i \times \Pr(\hat{a}_i^t \in A_i)$, kur terminas $\Pr(\hat{a}_i^t \in A_i)$ atvaizduoja teisingos vertės nuskaitymo pasiklovimą, atitinkamoje priimtinių verčių srityje.

Konteksto atributų charakteristikos. Du konteksto atributų tipai yra atskiriami, atsižvelgiant į situacijų erdvės apibrėžimą, kuris turi skirtingus poveikius samprotavimo rezultatams:

- Simetrinis indėlis. Konteksto atributas, kuris didina pasiklovimą situacijoje, pasireiškiančioje, jei jos vertės patenka į atitinkamą sritį; ir sumažina pasiklovimą, jei jos nepatenka į šią sritį.
- Asimetrinis indėlis. Konteksto atributai, kurie didina pasiklovimą situacijoje, pasireiškiančioje, jei jos vertė patenka į atitinkamą sritį, bet jutiklių vertės yra už priimtinos srities – nesumažina apskaičiuoto pasiklovimą.

Kad pritaikyti šią euristiką samprotavimui, yra įvertinimas asimetrinių atributų suvaržymas atitinkamoje priimtinoje reikšmių srityje. Jei kai kurie asimetriniai atributai yra ne jų atitinkamose srityse, tuomet jie yra ignoruojami ir likusių konteksto atributų svoriai (simetrinių) yra perskaičiuojami, kad išlaikyti jų santykinę svarbą.

2.2. Konteksto duomenų surinkimo automobilių komunikacijos sistemose metodai

Siekiant tinkamai pateikti informaciją vairuotojams ir keleiviams, vienas iš svarbiausių procesų yra informacijos surinkimas. Efektyvus informacijos surinkimo mechanizmas turi turėti šias charakteristikas (Kakkasageri, Manvi, 2014a):

- Netrukdyti vairuotojui bei keleiviams. Procesas turi veikti autonomiškai ir neprašyti vartotojų įvesti tam tikrų duomenų ar inicializuoti proceso.
- Turi būti atsižvelgiama į skirtingus mobilumo scenarijus.
- Duomenys surenkami ir perduodami itin dinamiškoje kintančios topologijos aplinkoje.
- Saugumo žinutės nėra skirtos konkrečiam gavėjui.
- Duomenys iš aplinkos turi būti surenkami tiksliai ir laiku.
- Po tam tikro laiko bei atstumo, dalis surinktų duomenų tampa nereikšmingi.
- Duomenų surinkimo ir skleidimo algoritmai turi būti atsparūs triktims.
- Turi būti užtikrinamas duomenų surinkimas ir sklaida, net atsijungus kai kuriems mazgams.
- Turi būti atsižvelgiama į tai, kad ne visi automobiliai bus aprūpinti ryšio įranga.

Analizuosime gana svarbius kontekstinės informacijos surinkimo ir sklaidos klausimus automobilių komunikacijos sistemose. Kai kurie šios sistemos vystymo klausimai aptarti (Kurmis, Dzemydienė, 2014; Kurmis et al., 2015)

2.2.1. Jutikliais grindžiamas duomenų surinkimas

Korektiškam eismo saugumo programų veikimui automobilių komunikavimo aplinkoje, reikalingas tikslus transporto objekto geografinės vietos (pozicijos) nustatymas. Plačiausiai, dabartiniu metu, taikoma objekto vietos lokalizavimo technologija automobiliams yra globali pozicijų nustatymo sistema (*GPS*). Automobilių *GPS* duomenų rinkimui eismo monitoringo tikslais, naudojamos eismo duomenų rinkimo platformos. Tokiose platformose kiekvienas automobilis yra aprūpintas *GPS* moduliais ir belaidžio tinklo adapteriais, kuriais naudojantis *GPS* duomenys yra perduodami į serverį. Šiose sistemose problemų kyla, kai didelis skaičius automobilių bando perduoti savo *GPS* duomenis serveriui tuo pačiu metu, kadangi belaidis tinklas negali užtikrinti pakankamai resursų, tokiam skaičiui lygiagrečių susijungimų.

Dėl aukštų pastatų, miesto sąlygomis, ši sistema negali užtikrinti aukšto pozicijos nustatymo tikslumo. Radijo dažnio identifikavimo sistemos pagalba sudaroma *DGPS* (angl. *Differential Global Positioning System*) sistema, kuri iš dalies išsprendžia šias problemas. *RFID* praturtintose pozicionavimo sistemose automobilis gauna dviejų tipų informaciją – *GPS* koordinatę iš *GPS* imtuvo bei fizinę koordinatę per *RFID* komunikaciją. *RFID* technologija autoriaus plačiau nagrinėjama (Andziulis et al., 2012). Tuomet apskaičiuojama *GPS* paklaida, kuri pasidalijama su aplinkiniais automobiliais, kad šie galėtų pakoreguoti netikslias *GPS* koordinatas (Lee et al., 2012).

Tokio tipo duomenų apsikeitimas, kai kiekvienas automobilis praneša savo koordinatas ir jos paklaidą, sugeneruoja didelį srautą duomenų. Šią problemą sprendžia Hung ir Peng (Hung, Peng, 2010), kurie siūlo karkasą, pavadintą *Model-based Data Collection (MDC)*, leidžiantį sumažinti perduodamų *GPS* duomenų kiekį. Programa vykdoma išskirstytai tiek serveryje, tiek ir kiekviename automobilyje. Automobilio pusėje, gavus seriją *GPS* taškų, modelio funkcijos atvaizduoja *GPS* taškus. Kiekvienas automobilis praneša tam tikrus koeficientus, kurie aprašo judėjimą, o ne visą pozicijos informaciją. Automobilio judėjimui nusakyti autoriai naudoja tiesinės regresijos ir branduolio regresijos (angl. *Kernel Regression*) algoritmus.

Kita svarbi jutikliais grindžiamo duomenų surinkimo sritis – adaptyvios pastovaus greičio palaikymo ir automobilių grupavimo (angl. *platooning*) sistemos. Viena tokių sistemų pristatoma Milanės V., ir S. E. Shladover (Milanės, Shladover, 2014). Autoriai naudoja automobiliuose sumontuotą adaptyvią pastovaus greičio palaikymo sistemą. Naudojantis sistemos jutiklių informacija yra bandoma išvesti dinامينius modelius, skirtus prognozuoti automobilių dinamiką. Testuojamas autorių siūlomas valdiklis, atliekant skirtingų scenarijų eksperimentus. Rezultatai parodė, kad valdiklis gerai veikia, sekant kitą automobilį, tačiau turi nepakankamą reakcijos laiką ir prastą stabilumą, jei eismas yra dinamiškesnis. Šią problemą iš dalies pavyko išspręsti sistemoje integruojant duomenų apsikeitimą tarp automobilių.

Kita tokio tipo sistema, siūloma krovinėms transporto priemonėms, grindžiama *GPS* bei radarų renkama informacija, nagrinėjama Allam A. et al (Alam et al., 2015). Autoriai tiria variklio valdymo galimybes, panaudojant greičio, dinamikos bei bėgių keitimo informaciją iš priekyje esančių grupės narių. Tyrimas atliktas skaitiniais metodais, atliktas imitacinis modeliavimas ir realios sistemos bandymai. Rezultatai parodė, kad sistema veikia pakankamai tiksliai, nors tam tikrais kritiniais atvejais pasireiškia vėlinimas. Efektyvesniam sistemos veikimui reikalingi tikslesni variklio modeliai, leidžiantys efektyviau nustatyti valdymo signalus variklio valdymo kompiuteriui, atsižvelgiant į iš kitų automobilių gaunamą informaciją.

Įdomų kooperatyvaus automobilių pozicionavimo sprendimą, grindžiamą optiniu kameros komunikavimu siūlo M. S. Iftekhar, et al (Iftekhar et al., 2015). Naudojantis šiuo metodu, automobiliai kooperuoja tarpusavyje, apsikeisdami pozicijos informacija optiniu belaidžiu ryšiu. Ši informacija, panaudojant kompiuterinės regos ir dirbtinių neuroninių tinklų (*DNT*) metodus yra apdorojama ir pagal ją nustatoma sekamo automobilio pozicija. Imitacinio modeliavimo rezultatai parodė, kad *DNT* metodas pasiekė didesnę tikslumą nei kompiuterinės regos metodai. Autorių siūlomas modelis nėra itin tikslus, kadangi priimamos prielaidos, kad kelias yra lygus ir be nuokalnių, o galinių *LED* padėtis yra gerai žinoma. Esant kitoms sąlygoms, tikėtina, didelė sistemos paklaida.

2.2.2. Maršrutizavimo protokolais grindžiamas duomenų surinkimas

Kelio informacija grindžiamas maršrutizavimo protokolas (angl. *Road-Based Using Vehicular Traffic (RBVT)*) siūlomas J. Nzouonta et al (Nzouonta et al., 2009). Protokole realaus laiko automobilių eismo informacija, panaudojama keliu grindžiamiems tinklo maršrutams sudaryti. Tinklo maršrutai sudaromi, pagal didžiausią sėkmingos komunikacijos tikimybę turinčias sankryžas. Duomenų paketams perduoti naudojami geografinio persiuntimo metodai, sumažinantys maršruto jautrumą individualaus mazgo judėjimui. Modeliavimo rezultatai parodė, kad miesto sąlygomis *RBVT* veikia iki 40% geriau, pagal vidutinį pristatytų duomenų santykį, lyginant su kitais maršrutizavimo protokolais: *AODV*, *OLSR*, *GPSR* ir *GSR*.

Hibridinis maršrutizavimo protokolas *HyBR* nagrinėjamas (Bitam et al., 2013). Skirtingo tankumo *VANET* tinklams valdyti naudojamos dvi procedūros: kai tinklo tankumas yra mažas – naudojamas geografinis maršrutizavimo metodas, kitu atveju – topologija grindžiamas maršrutizavimo metodas. Esant būtinybei, gali būti panaudoti abu metodai vienu metu. Protokole tinklas padalijamas į dalis. Rezultatai parodė, kad šis protokolas lenkia žinomus protokolus *AODV* (nuo 5% iki 61% pagal vidutinį vėlinimo laiką) bei *GPSR* (nuo 69% iki 112%), pagal vidutinį vėlinimo laiką) bei *GPSR* (pagal paketų pristatymo santykį nuo 58% iki 92%).

Vienas įdomesnių – neraiškiai apribotas Q-mokymusi grindžiamas (angl. *Fuzzy Constraint Q-Learning*) sprendimas (Wu et al., 2013). Šiame maršrutizavimo

protokole, sistema išmoksta maršrutizavimo kelią, naudodama *Fuzzy Constraint Q-Learning* algoritmą, grindžiamą *AODV* maršrutų parinkimu. Protokole naudojama miglotoji logika, kad nustatyti ar ryšio kokybė yra gera, pagal prieinamą duomenų pralaidumą, ryšio lygį bei santykinį automobilio judėjimą. Pagal įvertintą ryšio kokybę, protokolas išmoksta kelią, naudodamas kelio užklauso *RREQ* ir *hello* žinutes. Protokolas gali išvesti automobilio judėjimo trajektoriją, pagal kaimynų turimą informaciją, jei pozicijos informacija yra neprieinama. *PFQ-AODV* yra nepriklausomas nuo žemesniųjų *OSI* sluoksnių. Autoriai parodo, kad protokolas yra efektyvesnis už kitus plačiai paplitusius protokolus tiek imitacinio modeliavimo priemonėmis, tiek realiais eksperimentais.

Intelektualus geografinis maršrutizavimo protokolas, nenaudojantis signalinių paketų, analizuojamas K. Z. Ghafoor et al (Ghafoor et al., 2013). Protokolas veikia dviem režimais: sankryžos ir tarp sankryžų. Abu režimai priklauso nuo išskirstyto sekančio mazgo išrinkimo, grindžiamo modifikuotais 802.11 *RTS/CTS* kadrais. Siūlomas protokolas duomenų paketus perduoda atsižvelgdamas į realų eismą. Rezultatai rodo didesnę efektyvumą, vertinant sėkmingai pristatytų paketų santykį ir vidutinį vėlinimo laiką, lyginant su *GPSR* ir *CBF* (angl. *Contention Based Forwarding*) protokolais.

2.3. Konteksto duomenų agregavimo automobilių komunikacijos sistemose metodai

Automobiliai savo surinktą bei iš aplinkinių tinklo mazgų gautą konteksto informaciją turi perduoti kitiems kaimyniniams tinklo mazgams, esantiems aprėpties zonoje arba į centrinį duomenų surinkimo serverį. Toks duomenų perdavimas padidina perduodamų paketų skaičių, jei perduodami paketai talpina panašią ar vienodą informaciją. Šioms neefektyvaus duomenų perdavimo problemoms spręsti taikomi duomenų apjungimo (agregavimo) metodai. Šių metodų esmė – perduodamų duomenų apimties sumažinimas, apjungiant susijusią informaciją į agreguotą duomenų klasterį. Tai leidžia automobiliams apjungti, atnaujinti ar ištrinti tam tikrą informaciją, kadangi ji gali būti pasikartojanti, panaši ar pasenusi. Pvz., dvi duomenų imtys apie du automobilius gali būti pakeistos viena imtimi su nedidele paklaida, jei automobiliai yra šalia vienas kito ir juda panašiu greičiu (Chaqfeh et al., 2014; Dietzel et al., 2014; Kakkasageri, Manvi, 2014a; Kumar, Dave, 2014).

Aggregavimo mechanizmų trūkumas – konteksto informacijos kokybės sumažėjimas. Agregavimo metodai, tam tikru būdu, optimizuoja duomenų srauto/saugyklos poreikius, integruojant skirtingą informaciją iš skirtingų automobilių. Dėl aptartų specifinių automobilinei komunikacijos tinklų reikalavimų, tokių metodų sukūrimas yra itin sudėtingas uždavinys.

Pagrindinės charakteristikos, į kurias būtina atsižvelgti kuriant agregavimo metodus automobilių komunikacijos tinklams, pagal (Dietzel, Kargl, et al., 2010; Dietzel, Schoch, et al., 2010; Dietzel, 2011):

- Agregavimo procesas neturi būti reiklus skaičiavimo bei komunikacijos resursams.
- Konteksto kokybės praradimas, dėl agregavimo turi būti minimalus.
- Agreguota informacija turi neturėti pasikartojančios ar perteklinės informacijos.
- Agregavimo procesas turi integruoti konteksto informaciją, pagal automobilio lokaciją ir informacijos priėmimo laiką.
- Turi būti galimybė agreguota informacija apsikeisti su kitais mazgais.

2.3.1. Centralizuotas konteksto duomenų agregavimas

Centralizuotame agregavime, vienas mazgas centralizuotai agreguoja duomenis. Tai lemia išaugusius tarnybinės informacijos kiekius (Koubek et al., 2010). Vienas naujausių darbų šioje srityje siūlomas (Zhu et al., 2015). Autoriai siūlo metodą, pavadinta *aTree*, kuris duomenų agregavimą atlieka, remiantis trumpiausiu medžio keliu, tuomet naudojant dinaminio programavimo metodus priskiria kiekvienam mazgui laukimo laiką. Atlikus palyginimą, naudojant taksi maršrutų informaciją, nustatyta, kad naudojant šį metodą sukuriama mažiau tarnybinės perteklinės informacijos, lyginant su kitais sprendimais. Vienas žinomiausių centralizuotų agregavimo metodų – *VESPA* (Defude et al., 2008; Delot et al., 2010). Metodas skirtas apdoroti ir perduoti bet kokio tipo, įvykiais grindžiamą informaciją, tokią kaip eismo įvykiai, avarinis stabdymas, laisvos stovėjimo vietos ir kt. Metodas grindžiamas susidūrimo tikimybės (angl. *Encounter Probability*) koncepcija, apsikeičiant duomenimis tarp automobilių ir sugeneruojant žinias, kurias vėliau galės panaudoti vairuotojai. Kai duomenys tampa nebeaktualūs, jie naikinami.

Šio tipo algoritmuose trūksta sprendimų, kaip nepadidinti saugumo paslaugoms reikalingų konteksto duomenų apsikeitimo vėlinimo, taip pat, kaip nesumažinti konteksto duomenų kokybės, vykdant agregavimo procesą.

2.3.2. Išskirstytas konteksto duomenų agregavimas

Išskirstytuose agregavimo metoduose, kiekvienas automobilis duomenų agregavimą atlieka lokaliai. Šie metodai labai patikimi, tačiau reikalauja didelių belaidės komunikacijos resursų ir generuoja didelį tarnybinės informacijos duomenų srautą, didėjant tinklo mazgų skaičiui. Vienas tokių sprendimų siūlomas (Freschi et al., 2014). Metodas skirtas duomenų dydžio sumažinimui, stebint kelio dangos pažeidimus. Duomenys surenkami išmaniaisiais telefonais, vėliau jie agreguojami, atrenkant charakteringas nuoskaitas, pagal erdvės/laiko charakteristikas. Kitas metodas siūlomas (Yu et al., 2012). Tai adaptyvus persiuntimo užlaikymo valdymo metodas, pavadintas *Catch-Up*. Jame dinamiškai keičiamas persiuntimo greitis, tokiu būdu sudarant didesnę tikimybę duomenis priimti kartu bei juos agreguoti. Šis metodas grindžiamas paskirstytu mokymosi algoritmu (angl. *Distributed Learning Algorithm*). Kiekvienas automobilis apsimoko, naudodamas lokalias žinias ir pasirenka optimalų užlaikymo laiką.

Nagrinėtose sistemose bei metoduose pasigesta sprendimų, kaip išvengti duomenų pasikartojimo ir dubliavimo. Įvykiais grindžiamų žinučių perdavime ši problema ypač išryškėja, didėjant tinklo tankumui, tokiu būdu didelis skaičius mazgų perduoda tą pačią informaciją. Reikalingi intelektualūs adaptyvūs šių problemų sprendimai, leidžiantys išfiltruoti pasikartojančius duomenis, taip leidžiant pasiekti efektyvų tinklo plečiamumą.

2.3.3. Klasteriais grindžiamas konteksto duomenų agregavimas

Klasteriais grindžiamame agregavime, mazgai duomenis agreguoja grupėmis. Tarnybinės informacijos kiekis sumažinamas, kadangi duomenys agreguojami lygiagrečiai. Tokio tipo metodai padidina sistemos efektyvumą, kadangi sumažina *VANET* topologijos dinamiškumą. Šio tipo algoritmą *VeSCA* siūlo (Seyhan Ucar et al., 2014). Algoritme, mobilūs mazgai klasterizuojami, remiantis santykinu mobilumu, siekiant minimizuoti tarnybinės informacijos kiekį. Klasterio nariai, prieš perduodami duomenis pagrindiniam klasterio mazgui, pritaiko duomenų agregavimą. Pagal duomenų agregavimo santykį, vėlinimo laiką ir duomenų pristatymo santykį, siūlomas metodas lenkia kitus ankstesnius klasteriais grindžiamo agregavimo metodus.

Semantinio duomenų agregavimo sprendimas siūlomas (Koyamparambil Mammu et al., 2015). Metode kelias padalijamas į segmentus, grindžiamus klasterio ID. Duomenys saugomi duomenų struktūroje, sudarytoje iš super klasterio, klasterio ir klasterio nario mazgų. Šiame metode taikomas algoritmas, priimančias sprendimus, kokie duomenys turi būti panaudoti agregavimui, o jo lygis nustatomas pagal automobilių tankumą ir kanalo užimtumo santykį. Šias problemas plačiai nagrinėja (M S Kakkasageri, Manvi, 2011; M.S. Kakkasageri, Manvi, 2014a, 2014b; Mahabaleshwar S. Kakkasageri, Manvi, 2013). Autorių siūlomi agregavimo sprendimai, grindžiami daugiaagentinėmis sistemomis, atsižvelgiančiomis į automobilio greitį, kryptį, mobilumą bei ryšio kokybę, pagal kuriuos išvedamas tinklo stabilumo rodiklis. Daugiaagentės sistemos autoriaus plačiau nagrinėjamos (Gricius et al., 2015).

Dauguma iš apžvelgtų klasteriais grindžiamo agregavimo metodų yra adaptuoti iš *MANET* tinkluose taikomų metodų, tačiau juose nėra atsižvelgiama į svarbius automobilių komunikacijos tinklų aspektus, kaip itin dinamiška aplinka, specialūs mobilumo modeliai bei automobilių judėjimo scenarijai.

2.4. Konteksto duomenų skleidimo automobilių komunikacijos sistemose metodai

Informacijos sklaida, gali būti apibūdinama, kaip informacijos apie save ir apie žinomus automobilius transliavimas. Kiekvieną kartą, kai automobilis gauna informacijos iš kito automobilio, atitinkamai atnaujina savo turimą DB. *VANET* programoms reikia, kad tam tikri duomenys būtų apsikeičiami tik tam tikroje geografinėje vietoje, kadangi informacijos aktualumas mažėja su atstumu iki tam tikros lokacijos (Krishnamurthy, 2008). Patikimos ir efektyvios informacijos skleidimo strategijos *VANET* kūrimas yra sudėtingas uždavinys, dėl šių charakteristikų (Mahabaleshwar S. Kakkasageri, Manvi, 2013):

- Informacija turi būti nuolat atnaujinta.
- Informacijos apsikeitimo mechanizmas turi veikti efektyviai tiek tankiuose, tiek retuose *VANET*.
- Informacijos skleidimo strategija turi būti atspari perduodamo signalo lygio fluktuacijoms.
- Informacijos skleidimo procesas turi būti intelektualus, kad galėtų identifikuoti paskirties skleidimo sritį, pvz. automobilių judėjimą ta pačia kryptimi, skirtingomis kryptimis ar abiem kryptimis.

Dauguma skleidimo protokolų, skirtų *VANET* yra grindžiami šiais metodais: užliejimo (angl. *flooding*), transliavimo (angl. *broadcasting*), kaimynų žinių apsikeitimo bei klasterizavimo (Kakkasageri, Manvi, 2014a). Autorius konteksto skleidimo problemą detaliau nagrinėja (Kurmis et al., 2014).

2.4.1. Persiuntimu grindžiama konteksto duomenų sklaida

Didelio mazgų tankio tinkluose iškyla tinklo duomenų perkrovos ir tinklo užliejimo per daug dideliais stebimos informacijos kiekiais problemos.

Lietuvoje persiuntimu grindžiamos informacijos sklaidos problemoms spręsti skirti KTU mokslininkų R. Plėščio ir R. Zakarevičiaus (Plestys, Zakarevicius, 2010, 2011) darbai. Autoriai sprendžia tinklo užliejimo maršrutizavimo paketais problemą, persiuntimu grindžiamoje maršrutų paieškoje. Problema sprendžiama pasitelkiant užklauso ir atsako zonas, nustatant sekantį maršrutizavimo paketo persiuntimo adresatą. Rezultatai parodė, kad naudojant tinklo mazgų vietos ir radijo signalo lygių duomenis, kiekviename maršruto paieškos žingsnyje generuojamų paketų skaičius kinta aritmetine progresija arba gali būti pastovus. Pasiūlyti metodai ir priemonės

leidžia gerokai sumažinti generuojamų maršrutų paieškos paketų skaičių, o mažo mazgų tankio tinkluose vietos informacija ir signalo lygis naudojami ne taip efektyviai.

Tinklo užliejimą mažinti siūlo (Sanguesa et al., 2015) darbe taikant metodą, įvertinantį automobilių tankumą tinkle, pagal kurį parenkamas atitinkamas informacijos persiuntimo algoritmas (angl. *Most Suitable Broadcast Selection Algorithm*). Autoriai įrodo, kad jų metodas užtikrina geresnes duomenų perdavimo charakteristikas, vertinant informuotų automobilių procentinį skaičių bei kiekvieno automobilio gautų žinučių skaičių, lyginant su statiniais duomenų skleidimo metodais bei žinomomis *UV-CAST* (Viriyasitavat et al., 2011), *FDPD* (Costa et al., 2006) bei *DV-CAST* (Tonguz et al., 2010) sistemomis.

Vienas įdomesnių sprendimų – apsimokanti, automatais grindžiama oportunistinio duomenų agregavimo ir persiuntimo (angl. *Learning Automata-based Opportunistic Data Aggregation and Forwarding (LAODAF)*) schema, įspėjimų persiuntimui *VANET* tinkluose (N. Kumar et al., 2014). Artimiausiam *RSU* įdiegtas apsimokantis automatas (*Learning Automata - LA*), renkantis ir persiunčiantis duomenis iš atitinkamo regiono. Gavęs duomenis *LA*, remdamasis autorių siūloma agregavimo ir persiuntimo funkcija, parenka tinkamiausius adresatus informacijos persiuntimui. *LA* bando nuspėti automobilio mobilumą ir adaptyviai parenka kelių duomenų persiuntimui. Parodoma, kad naudojantis šiuo metu galima sumažinti tinklo apkrovą.

2.4.2. Tiesioginiu transliavimu grindžiama konteksto duomenų sklaida

Tiesioginiu transliavimu grindžiama duomenų sklaida (angl. *Broadcasting Based Dissemination*) yra vienas iš dažniausiai pasitaikančių informacijos skleidimo metodų mobiliuose *Ad-Hoc* tinkluose, kur tinklo mazgai bendrauja išskirstytu būdu. Šis metodas plačiai taikomas, kaip skleidimo mechanizmas maršrutizavimo protokoluose. Paprasčiausias jo taikymo pavyzdys – mobilaus *Ad-Hoc* tinklo užtvindymas, tačiau šis metodas itin neefektyvus, dėl didelio skaičiaus kolizijų ir didelės tinklo perkrovos, veikiant dideliame skaičiui mazgų.

Šią problemą sprendžia (Reina et al., 2015), kiekvienam persiunčiamam paketui suteikdami persiuntimo tikimybinę vertę. Autoriai naudoja ryšį tarp persiuntimo tikimybės ir tinklo perkrovos. Rezultatai parodė, kad sudėtinga surasti balansą tarp tinklo apkrovos ir persiunčiamų žinučių skaičiaus, todėl planuojama tyrimą išplėsti įvedant papildomas lokalias žinias iš aplinkinių tinklo mazgų.

Transliavimu grindžiamos skleidimo efektyvumui padidinti, siūlomas dinamiškai formuojamo daugiašiuolio atraminio tinklo sprendimas (Cuomo et al., 2014). Siūlomas protokolas duomenų sklaidai iš *RSU* tiesiame kelyje, sudarant *VANET* struktūrą, autorių įvardijamas, kaip atraminis automobilių tinklas (angl. *Vehicular Backbone Network (VBN)*). *VBN* grindžiamas atraminių persiuntimo mazgų išrinkimu iš tinkle veikiančių automobilių aibės, kurie sukonfigūruojami optimaliai išnaudoti kanalo resursus. Rezultatai rodo pranašumą prieš panašaus pobūdžio sistemas, įskaitant duomenų sklaidą paketas-po-paketo metodu bei mazgų išrinkimo metodu. Tyrime nenagrinėjama, kaip efektyviai pasirinkti persiuntimo mazgus, kuriuos galėtų sudaryti tiek automobiliai, tiek ir *RSU*.

Informacijos skleidimo modelis miesto scenarijams analizuojamas (Giordano et al., 2010). Autoriai siūlo sistemą *CORNER*, kurioje įgyvendintas sklaidimo modelis, suteikiantis gerą santykį tarp skaičiavimų sudėtingumo ir modelio tikrovės. Modeliui reikia tik informacijos apie kelių topologiją. *CORNER* sudaroma kelio nuostolių (angl. *path loss*) funkcija, kaip santykinė pozicija tarp dviejų mazgų.

Nagrinėjami trys atvejai: tiesioginio matomumo, netiesioginio matomumo su vienu posūkiu ir netiesioginio matomumo su dviem posūkiiais. Naudojant šį modelį gaunami tikslesni modeliavimo rezultatai, nei naudojant plokščiuosius sklaidimo modelius.

2.4.3. Stūmimu grindžiama konteksto duomenų sklaida

Vieni iš pirmųjų, stūmimu grindžiamą informacijos sklaidą (angl. *Push Based Dissemination*) automobilių komunikacijos tinkluose, nagrinėjo (Nadeem et al., 2006). Pristatomas formalus duomenų sklaidimo modelis *VANET* tinklams ir tiriama, kokią įtaką duomenų perdavimo efektyvumui turi *VANET* charakteristikos (ypač dviejų priešpriešinių krypčių mobilumas). Analizuojama autorių sukurta sistema *TrafficView*, skirta informacijos sklaidai apie automobilius kelyje. Duomenys gali būti perduodami automobiliams judantiems ta pačia kryptimi, priešingomis kryptimis arba abejomis kryptimis.

2.5. Situacijų identifikavimo metodų automobilių komunikacijos aplinkoje apžvalga

Situacija – tai subjektyvus konceptas, kurio apibrėžimas priklauso nuo jutiklių, suteikiančių galimybę apibūdinti sistemos veikimo aplinką ir programų sistemų reikalavimų, apibrėžiančių jas dominančias būsenas. Tie patys jutiklio duomenys gali būti interpretuoti skirtingai, skirtingose situacijose. Situaciją nuo veiklos ir situacijos identifikavimą nuo veiklos identifikavimo skiria laikinų ir kitų struktūrinių aspektų įtraukimas, pvz., dienos laikas, trukmė, dažnumas ir kt. Pagrindinės neišspręstos situacijų identifikavimo problemos, pagal (Bettini et al., 2010), (Clear et al., 2010), (Ye et al., 2012):

- Kaip aprašyti logines konstrukcijas, naudojamas loginiam situacijos specififikavimui?
- Kaip aprašyti situacijas, pagal ekspertinius arba apmokymo duomenis?
- Kaip išvesti situacijas iš didelio kiekio duomenų?
- Kaip samprotauti apie situacijų tarpusavio ryšį?
- Kaip išlaikyti žinių apie situacijas vientisumą ir integralumą?

2.5.1. Taisyklių specififikacijomis grindžiami situacijų identifikavimo metodai

Situacijų identifikavimo visur esančio prisijungimo tyrimų pradžioje buvo analizuojamos nesudėtingos sistemos, kuriose buvo vos keli jutikliai ir labai paprasti jų sąryšiai su situacijomis. Tuo metu, buvo išplėtoti specififikacijomis grindžiami situacijų identifikavimo metodai, kurie rėmėsi ekspertinėmis žiniomis ir loginėmis taisyklėmis. Vienas iš pirmųjų darbų šioje srityje, rėmėsi pirmos eilės logika, nusakant samprotavimo taisykles protingo būsto aplinkoje (Gu, Pung, 2004). Taisyklių aprašymo pvz. pateiktas 16 pav.

Application	Rule
Healthcare	If (John's blood pressure exceeds the threshold) \vee (John's heartbeat is abnormal) \vee (socam:temperature(John, greaterThan(101F)) Then alert hospital emergency department
Memory aid	If socam:status(E-prescription, VALID) \wedge (socam:time(Local, XX:YY) matches the time indicated in the E-prescription) Then prompt to take medicines
Energy saving	If (\neg socam:locatedIn(John, Room) \wedge socam:hasLightinglevel(Room, HIGH)) Then turn off the light

Šaltinis: (Gu, Pung, 2004)

16 pav. Pirmos eilės logikos taisyklių pavyzdys

Fig. 16. Example of first order logic rules

Šiai problemai spręsti, plačiai naudojamos ontologijos, suteikiančios standartinių konceptų žodyną dalykinei sričiai ir semantiniams sąryšiams aprašyti. Bazinių situacijos suvokimo ontologijos komponentų formalizavimas siūlomas (Kokar et al., 2009). Autoriai, naudodamiesi *OWL* (angl. *Web Ontology Language*), bando unifikuoti situacijų suvokimo ontologijas, tačiau, ši siūloma sistema negali aprėpti visų specifinių dalykinių sričių. Vienas iš pirmųjų ontologijų taikymo intelektinių transporto sistemų srityje pavyzdžių, pateikiamas (de Oliveira et al., 2013), kur siūloma nauja ontologija personalizuotoms vartotojo sąsajoms kurti interaktyviose transporto sistemose. Kaip bebūtų, ontologijomis paremtas situacijų išvedimas neužtikrina aukšto tikslumo, ypač kai tenka susidurti su informacijos nevientisumu ir neapibrėžtumu realaus pasaulio sąlygomis. Vienas iš darbų (Liu et al., 2012) siūlo būdą, kaip sutvarkyti nevientisą ontologijas ir atkurti vientisumą. Siūlomas nestandartinis samprotavimo metodas, leidžiantis nustatyti labiausiai tikėtiną teisingą atsakymą.

Siūloma specifikacijomis grindžiamam situacijų identifikavimui suteikti adaptyvumo (Cimino et al., 2012). Autoriai panaudoja semantinių tinklų samprotavimo (angl. *Semantic Web Reasoning*), miglotosios logikos modeliavimą ir genetinių algoritmų metodus tam, kad užtikrinti sistemos veikimą, esant neapibrėžtumo sąlygoms. Adaptyvumui pasiekti, sistema remiasi istoriniais duomenimis.

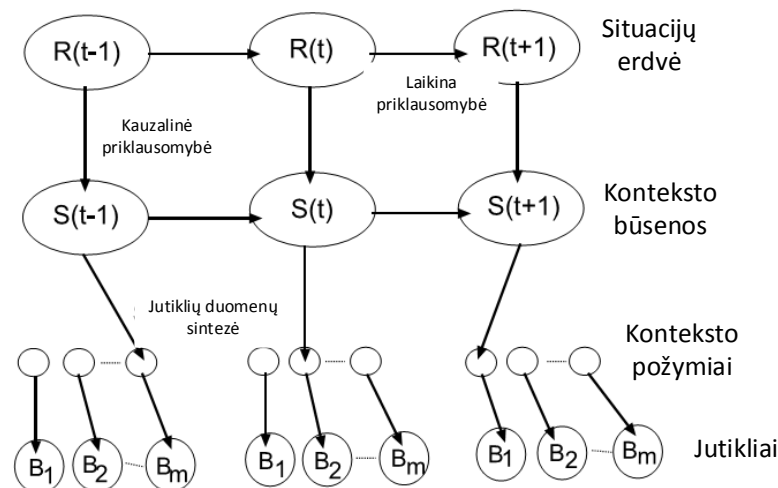
Miglotosios logikos metodai, siekiant identifikuoti situacijas, naudojami ir plačiau. Pvz., Siūlomas miglotasis konteksto modelis ir konteksto išvedimas bei klasifikavimas, inkorporuojant semantinius aspektus (Anagnostopoulos, Hadjiefthymiades, 2010). Kontekstas modeliuojamas per *FST* (angl. *Fuzzy Set Theory*) ir yra hierarchiškai atvaizduojamas per situacijų ontologiją. Kitas siūlomas sprendimas naudojamas sveikatos priežiūrai. Siūlomas miglotąja logika grindžiamas samprotavimo karkasas, kuriame taisyklių rinkiniai yra struktūrizuoti ir sudaryti hierarchiškai. Metodas integruotas autorių siūlomoje *CARA* sistemoje (Yuan, Herbert, 2012).

Dar viena plačiai naudojama, specifikacijomis grindžiamo situacijų identifikavimo metodų grupė, naudoja įrodymų teoriją (angl. *Dempster-Shafer Theory* (*DST*)). Tai matematinė įrodymų teorija, kuri apjungdama įrodymus iš įvairių šaltinių prieina, prie tam tikro, tikėjimo laipsnio. Šis metodas taikomas ir situacijų identifikavimui automobilių kooperacijos aplinkoje. Siūlomas metodas, kuris remiasi konteksto erdvėmis ir šis modelis yra integruojamas su *DST* taisyklėmis (Wibisono et al., 2009). Metodas naudojamas autorių siūlomame tarpinės programinės įrangos karkase. Kitas sprendimas siūlomas (Nienhuser et al., 2009). Šiuo atveju, siūlomas *DST*, grindžiamas metodas, kuris naudojamas greičio apribojimo situacijų identifikavimui automobilių kooperacijos aplinkoje. Sistema, naudodama informacijos

sintezę, padeda nustatyti greičio apribojimus sudėtingomis sąlygomis, pvz., nakties metu, prastu oru ir pan. Jutiklių duomenims, pagal nustatytą situacijos kontekstą, priskiriamas tam tikras patikimumas. Ši sistema gali nustatyti teisingą greičio apribojimą, net neveikiant vienam iš jutiklių, taip pat, sumažinamas konfliktų tarp duomenų šaltinių skaičius.

2.5.2. Kompiuteriniu mokymusi grindžiami situacijų identifikavimo metodai

Nėra efektyvu naudoti tik ekspertines žinias situacijų identifikavimui, turint didelę imtį iš jutiklių surinktų duomenų su triukšmu. Siekiant nustatyti sąryšius tarp jutiklių duomenų ir situacijų, tikslinga pritaikyti mašininio mokymo ir duomenų gavybos metodus. Vienas iš populiariausių metodų – Bajeso tinklai (angl. *Bayesian Networks*), plačiai taikomi įvairiems su situacijų identifikavimu susijusiems uždaviniams spręsti visur esančio prisijungimo aplinkoje (Song, Cho, 2013). Bajeso tinklai, naudojami adaptyviai įrenginių valdymo sąsajai: parinkti funkcijas, kurios sudaro vartotojo sąsajas skirtingose situacijose (Song, Cho, 2013). Autoriai įrodo, kad metodas efektyviai nuspėja vartotojo pageidavimus. Adaptuotas metodas galėtų būti panaudotas adaptyvių automobilio vartotojo sąsajų sudarymui.



Šaltinis: (Roy et al., 2010)

17 pav. Bajeso tinklais ir ontologijų susiejimu grindžiamas situacijų identifikavimo metodas

Fig. 17. Situation identification method based on Bayes networks and ontology association

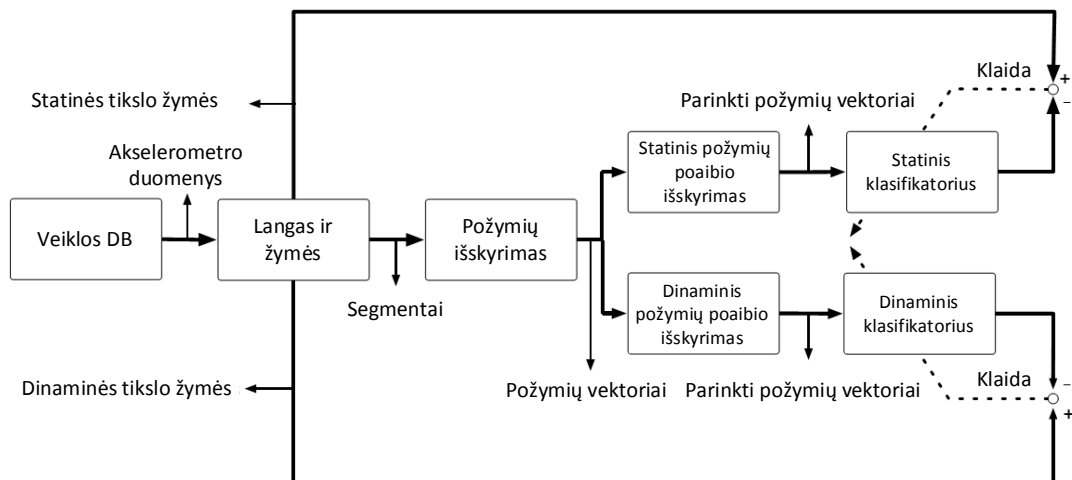
Kitas Bajeso tinklais grindžiamas situacijų identifikavimo metodas siūlomas (Roy et al., 2010). Autoriai naudoja dinaminčius Bajeso tinklus ir ontologijas, kad susietų kontekstą su semantine informacija. Sintezės rezultatas yra sudaromas į ontologijomis grindžiamą semantinį tinklą, kartu su susietomis ontologijomis (17 pav.). Dar vienas iš sprendimų – susieti laikiną pirmos eilės logiką su Bajeso tinklais visur esančio prisijungimo sistemoms modeliuoti (Katsiri, Mycroft, 2011). Čia Bajeso tinklas naudojamas apskaičiuojant tikėtinas predikatų reikšmes bei patikimumo lygį.

Kita metodų grupė remiasi paslėptais Markovo modeliais (angl. *Hidden Markov Models (HMM)*). Vienas iš šių modelių panaudojimo automobilių aplinkoje pavyzdžių, numato vairuotojo elgsenos situacijas intelektinėse pagalbos vairuotojams sistemose, pagal kojų gestų analizę (Tran et al., 2012). Šis metodas leidžia numatyti

pedalo paspaudimą, prieš jam įvykstant. Apmokius HMM ir atlikus eksperimentus, rezultatai rodo labai aukštą tikslumą (~94%), todėl tai labai perspektyvus metodas. Kitas sprendimas siūlomas (Duong et al., 2005). Autoriai analizuoja situacijas kasdieniame žmogaus gyvenime. Pristatomas perjungimo paslėptas pusiau Markovo modelis (angl. *Switching Hidden Semi-Markov Model (S-HSMM)*). Šiame *S-HSMM* veiklos modeliujamos taip: apatiniame sluoksnyje atvaizduojamos atominės veiklos ir jų trukmės, o aukšto lygio veiklos išvedamos, kaip atomarinių veiklų seka.

2.5.3. Masinio aptarnavimo metodais grindžiami situacijų identifikavimo būdai

Viena iš situacijas identifikuojančių metodų grupė, remiasi masinio aptarnavimo teorija ir paslėptais Markovo modeliais (angl. *Hidden Markov Models (HMM)*). Vienas iš šių modelių panaudojimo automobilių aplinkoje pavyzdžių, numato vairuotojo elgsenos situacijas intelektinės pagalbos vairuotojams sistemose, pagal kojų gestų analizę (Tran et al., 2012). Šis metodas leidžia numatyti pedalo paspaudimą, prieš jam įvykstant. Apmokius HMM ir atlikus eksperimentus, rezultatai rodo labai aukštą tikslumą (~94%), todėl tai labai perspektyvus metodas. Kitas sprendimas siūlomas (Duong et al., 2005). Autoriai analizuoja situacijas kasdieniame žmogaus gyvenime. Pristatomas perjungimo paslėptas pusiau Markovo modelis (angl. *Switching Hidden Semi-Markov Model (S-HSMM)*). Šiame *S-HSMM* veiklos modeliujamos taip: apatiniame sluoksnyje atvaizduojamos atominės veiklos ir jų trukmės, o aukšto lygio veiklos išvedamos, kaip atomarinių veiklų seka.



Šaltinis: (Yang et al., 2008)

18 pav. Statinio ir dinaminio klasifikatoriaus veikimo blokinė schema

Fig. 18. Block diagram of static/dynamic classifier

Kita situacijų atpažinimo metodų grupė, naudoja gana paplitusį neuroninių tinklų modelį. Modelis „pasiskolintas“ iš gamtos – biologinių neuroninių tinklų. Toks modelis gali išmokti sudėtingus ir netiesinius situacijų priskyrimus. Vienas iš pavyzdžių, taikomų automobilių komunikacijos aplinkoje pristatomas (Yang et al., 2008). Autoriai naudoja neuroninius tinklus veiklų klasifikavimui, naudojant trijų ašių akselerometrą. Metodas atskiria dinamiškas veiklas nuo statinių ir jas analizuoja atskirai (18 pav.).

Be čia aptartų metodų, situacijų atpažinimui visur esančio prisijungimo kompiuterijoje ir kooperatyvioje automobilių komunikacija grindžiamoje aplinkoje, dar naudojami ir kiti mašininio mokymo ir duomenų gavyba grindžiami metodai, tarp kurių: sprendimų medžiai, atraminių vektorių mašinos, duomenų gavyba iš žiniatinklio (angl. *web mining*) ir kt.

2 skyriaus išvados

Tiriant siūlomas, adaptyvių įvairialypių paslaugų teikimo sistemes ir programines platformas, kooperatyviems automobilių komunikacijos tinklams, deklaruojančias gebėjimą vykdyti adaptyvų konteksto duomenų surinkimo, agregavimo ir skleidimo procesus, nustatyta, kad būtina išsiaiškinti, kaip turi būti atliekamas konteksto duomenų surinkimas. Reikia nustatyti, kokios galimybės atlikti duomenų apimties mažinimą, taikant konteksto duomenų agregavimo metodus bei, kaip galima padidinti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo efektyvumą, taikant intelektualius konteksto informacijos skleidimo automobilių komunikacijos tinkluose metodus.

1. Atlikus literatūros analizę, nustatyti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipo reikalavimai, kurių pagrindiniai būtų:

- atsižvelgiama į eismo intensyvumo ir skirtingus tinklo mobilumo scenarijus,
- duomenys surenkami ir perduodami itin dinamiškoje kintančios topologijos aplinkoje,
- saugumo žinutės nėra skirtos konkrečiam gavėjui,
- duomenys iš aplinkos turi būti surenkami tiksliai ir laiku, po tam tikro laiko bei atstumo dalis surinktų duomenų tampa nereikšmingi,
- duomenų surinkimo ir skleidimo algoritmai turi būti atsparūs trikdžiams, turi būti užtikrinamas duomenų surinkimas ir sklaida, net atsijungus kai kuriems mazgams,
- atsižvelgiama į tai, kad ne visi automobiliai bus aprūpinti ryšio įranga.
- konteksto duomenų sistema netrukdyti vairuotojui bei keleiviams.

2. Išanalizavus pagrindinius duomenų surinkimo metodus, jie suklasifikuoti į atitinkamas sritis:

- jutikliais grindžiamas duomenų surinkimas,
- maršrutizavimo protokolais grindžiamas duomenų surinkimas,
- traukimu grindžiamas duomenų surinkimas ir perdavimas,
- kiti metodai.

3. Išanalizuoti konteksto duomenų apjungimo (agregavimo) automobilių komunikacijos sistemose metodai. jie suklasifikuoti į atitinkamas sritis:

- centralizuotas konteksto duomenų agregavimas,
- išskirstytas konteksto duomenų agregavimas,
- klasteriais grindžiamas konteksto duomenų agregavimas.

4. Apžvelgti pagrindiniai konteksto duomenų skleidimo automobilių komunikacijos sistemose metodai, jie suklasifikuoti į atitinkamas sritis:

- persiuntimu grindžiama sklaida,
- transliavimu grindžiama sklaida,
- stūmimu grindžiama sklaida,
- maršrutizavimo protokolais grindžiama sklaida,

5. Nustatytos pagrindinės būtinos duomenų skleidimo charakteristikos:

- informacija turi būti nuolat atnaujinta,

- informacijos apsikeitimo mechanizmas turi veikti efektyviai tiek tankiuose, tiek retuose VANET,
- informacijos skleidimo strategija turi būti atspari perduodamo signalo lygio fluktuacijoms,
- informacijos skleidimo procesas turi būti intelektualus, kad galėtų identifikuoti paskirties skleidimo sritį, pvz. automobilių judėjimą ta pačia kryptimi, skirtingomis kryptimis ar abiem kryptimis.

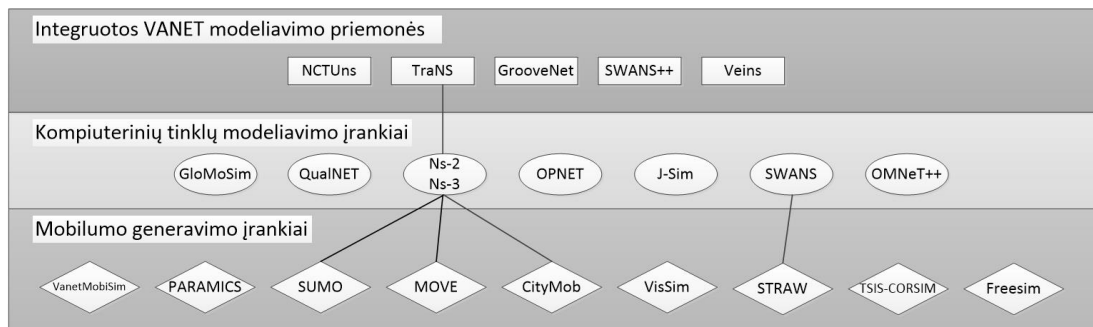
6. Nustatyta, kad pasirinktam tyrimui konstravimo būdu tik iš dalies tinka konteksto erdvių modelis ir daugiakriterinės naudingumo teorijos bendrieji teiginiai, todėl šio uždavinio naujuose sprendimuose yra tikslinga taikyti konteksto informacijos apsikeitimo tarp mazgų naujus adaptyvius algoritmus, ir šią informaciją integruoti su iš aplinkos gauta praturtinta konteksto informacija.

3. SISTEMINĖS IR PROGRAMINĖS PLATFORMOS AUTOMOBILIŲ SRAUTAMS IR TINKLO MOBILUMUI MODELIUOTI IR TIRTI

Skyriuje nagrinėjamos sisteminės ir programinės platformos, skirtos automobilių srautams ir tinklo mobilumui modeliuoti. Pateikiama imitacinio modeliavimo priemonių taksonomija bei analizė. Detaliai analizuojama *NCTUns/Estinet* integruota tinklų bei mobilumo modeliavimo ir emuliacinio aplinka, bei automobilių komunikacijos tinklų standartų ir protokolų architektūra šioje aplinkoje.

Siūlomas gana didelis automobilių komunikacijos imitacinio modeliavimo programinės įrangos spektras, leidžiantis tirti bei įvertinti įvairius priegros, maršrutizavimo bei išspėjimų perdavimo protokolus, pasirinkimas. Automobilių komunikacijos modeliavimas, fundamentaliai, skiriasi nuo *MANET* modeliavimo, kadangi automobilių aplinka sukelia naujų problemų bei reikalavimų, tokių kaip: apribota kelių topologija, pakelės kliūtys, eismo srauto modeliai, kintantis automobilių greitis ir mobilumas, šviesoforų signalai, eismo spūstys, vairuotojų elgesys ir t.t. Automobilių komunikacijos tinklų kūrimas ir testavimas sunaudoja daug laiko bei piniginių resursų, todėl dažnu atveju sistemas tirti tikslinga panaudojant imitacinį modeliavimą.

Atlikus analizę, automobilių komunikacijos tinklų modeliavimo bei imitacinio modeliavimo programinė įranga buvo suskirstyta į 3 skirtingas kategorijas: (a) automobilių mobilumo generatoriai, (b) tinklų imitacinio modeliavimo programinė įranga ir (c) automobilių komunikacijos tinklų imitacinio modeliavimo programinė įranga. 19 pav. pateikta šios programinės įrangos klasifikacija.



Šaltinis: sudaryta pagal (Kaiser et al., 2012; Martinez et al., 2011; Spaho et al., 2011; Tan et al., 2011; S.-Y. Wang et al., 2011)

19 pav. VANET imitacinio modeliavimo programinės įrangos klasifikacija

Fig. 19. Classification of VANET simulation software

3.1. Automobilių eismo ir tinklo mazgų mobilumo imitaciniai modeliai

Automobilių eismo modeliavimas yra plačiai žinoma sritis civilinėje inžinerijoje ir yra esminis, norint tinkamai sumodeliuoti automobilių eismą projektuojant naujus kelius, sankryžas ar kitą transporto infrastruktūrą. Transporto ir eismo moksluose yra išskiriami 3 eismo modeliai, atsižvelgiant į modelių detalumą pagal kurį eismo srautai yra analizuojami: makroskopinis, mezoskopinis ir mikroskopinis (Martinez et al., 2011).

Makroskopiniuose modeliuose eismas yra modeliuojamas dideliu masteliu, eismą laikant skysčiu, kuriam taikomi hidrodinaminiai judėjimo dėsniai. Modeliavimas vyksta nuo atkarpos iki atkarpos, nenagrinėjant atskirų automobilių. Šio tipo modeliavimas, sunaudoja kur kas mažiau skaičiavimo resursų negu mikroskopiniai

modeliai, tačiau neužtikrina galimybių analizuoti transporto patobulinimų dideliu detalumu (Silva et al., 2015).

Mezoskopiniuose modeliuose (angl. *Continuous Traffic Assignment Model (CONTRAM)*) yra apjungiamos tiek makroskopinių, tiek ir mikroskopinių modelių savybės. Kaip ir mikroskopiniuose modeliuose, eismo srauto vienetas yra vienas automobilis. Vis dėlto, automobilių judėjimas remiasi makroskopiniu modeliu ir yra lemiamas vidutinio greičio bei nėra atsižvelgiama į individualaus automobilio dinaminį greitį bei tarpusavio ryšius (Ros et al., 2014).

Kadangi automobilių komunikacijos tinklų modeliavimas remiasi tiksliai radijo bangų perdavimu tarp mazgų, yra būtinos tikslios šių mazgų pozicijos. Tiek makroskopiniai, tiek mezoskopiniai modeliai negali užtikrinti tokio detalumo lygio, todėl automobilių komunikacijos tinklų modeliavimui labiausiai tinka mikroskopiniai modeliai, kurie aprašo atskirų automobilių elgesį bei jų tarpusavio sąveiką. Transporto ir eismo mokslininkų buvo sukurta daug specialių modelių, iš kurių kiekvienas pritaikytas tam tikram atvejui. Mokslinės bendruomenės plačiausiai naudojami „*Cellular Automaton*“ (CA), „*Stefan Krauss*“ (SK) ir „*Intelligent Driving Model*“ (IDM) modeliai. Mikroskopinių modelių imitacinis modeliavimas užima daug laiko ir reikalauja daug darbinės atminties, todėl tai riboja modeliuojamo tinklo dydį (Martinez et al., 2011; Stanica et al., 2011).

Automobilių komunikacijos tinklų modeliavimo priemonėse būtina integruoti automobilių mobilumo generavimo įrankius. Jie generuoja realistiškus automobilių judėjimo kelius, kurie vėliau naudojami, kaip įėjimas tinklų modeliavimo priemonėms. Kaip įėjimai, gali būti panaudojami kelių modeliai, scenarijų parametrai (automobilio greitis, atvykimo ir išvykimo laikai ir kt. Šiame skyriuje aptariami skirtingi automobilių eismo modeliai, egzistuojantys mobilumo generatoriai. Pagrindiniai automobilių komunikacijos tinklų tyrimuose naudojami mobilumo generavimo įrankiai: *TSIS-CORSIM*, *VisSim*, *PARAMICS*, *VanetMobiSim*, *SUMO*, *MOVE*, *STRAW*, *FreeSim*, *CityMob*. Kokybinis mobilumo generavimo įrankių palyginimas pateikiamas 2 priede.

3.2. Kompiuterinių tinklų architektūros bei imitavimo modeliavimo įrankiai

Tinklų modeliavimo įrankiai mokslininkams leidžia tyrinėti, kaip tinklas elgsis, esant skirtingoms sąlygoms. Palyginus resursus, reikalingus realiam tinklui įrengti bei jame atlikti bandymus, tinklų imitacinis modeliavimas yra pigus ir greitas sprendimas, atliekant mokslinius tyrimus, ypač tokiomis aplinkybėmis, kai sudėtinga ar itin brangu tai atlikti naudojantis technine įranga, kas itin aktualu automobilių komunikacijos tyrimuose. Vienas iš plačiausiai tyrimuose šiuo metu naudojamų tinklų bei teikiamų paslaugų imitacinio modeliavimo įrankių yra *ns-2*. Tai atvirojo kodo diskretinė įvykių imitacinio modeliavimo priemonė, sukurta *VINT* projekto tyrimų grupės *Berkeley* universitete ir skirtas tiek laidinių, tiek belaidžių tinklų modeliavimui. Įrankis buvo praplėstas *Monarch* tyrimų grupės, kuri įtraukė: mazgų mobilumą, realistinį fizinį sluoksnį su radijo sklaidimo moduliu, radijo tinklų sąsajas ir *IEEE 802.11 MAC* protokolą naudojant paskirstytą koordinacinių funkcijų (angl. *distributed coordination function (DCF)*) (Font et al., 2011). Kita priemonė – *GloMoSim*, kuri yra belaidžių bei laidinių kompiuterinių tinklų modeliavimo įrankis, specialiai sukurtas *MANET* tyrimams, apimantis daugybę maršrutizavimo protokolų ir keletą fizinio sluoksnio realizacijų. Kadangi tai integruotas imitacinio modeliavimo įrankis, jis suteikia galimybes sugeneruoti žymes ir pagal kai kuriuos mobilumo modelius: *Random Waypoint*, *Random Drunken*, taip pat importuoti sugeneruotus kitais įrankiais (Martinez et al., 2011). Kaip komercinė *GloMoSim* versija išleistas *QualNET* paketas, kuris yra itin galingas bei detalus tinklų modeliavimo paketas, palaikantis didelį rinkinį

belaidžių fizinių ir MAC sluoksnių modelių bei mobilumo modelių, mokslininkams leidžiantis sukurti bei lengvai modeliuoti įvairius tinklų protokolus. Paketas veikia *Windows* ir *Unix/Linux* platformose. *QualNET* užtikrina didelio tikslumo tinklo įrenginių, transmiterių, antenų, žemės paviršiaus, žmonių judėjimo modeliavimą realiu laiku, nepriklausomai nuo to, ar modeliuojama 50 ar 5000 tinklo mazgų. (Tan et al., 2011). Kiti mažiau paplitę kompiuterinių tinklų architektūros bei imitavimo modeliavimo įrankiai: *OPNET*, *J-Sim*, *OMNeT++* (Pana, Put, 2014; Sobeih et al., 2005; Virdis et al., 2014).

3.3. Integruotos automobilių komunikacijos tinklų modeliavimo priemonės

Automobilių komunikacijos tinklų imitaciniame modeliavime neužtenka modeliuoti tik belaidę komunikaciją tarp automobilių, tačiau reikia modeliuoti ir jų judėjimą. Deja, tačiau *VANET* imitaciniame modeliavime šie du aspektai dažnai yra atskirti. Pagrindinė problema yra šių dviejų tipų priemonių apjungimas. Paprasčiausias sprendimo būdas – į tinklų komponentą integruoti mobilumo modelius, tačiau tokiu atveju, tinklo duomenys nėra perduodami atgal mobilumo modeliui, todėl galima tik vienakryptė komunikacija (iš mobilumo modelio į tinklą). Šio tipo modeliavimo įrankiai leidžia modeliuoti informacines automobilių komunikacijos tinklų aplikacijas (interneto ryšys, multimedija, taškas į tašką programos), kur komunikavimas nedaro įtakos automobilio judėjimui.

Integruotos *VANET* modeliavimo priemonės, užtikrinančios dvikryptę komunikaciją, paprastai, susideda iš dviejų įrankių – tinklo ir mobilumo, kurie gali komunicuoti vienas su kitu. Šios priemonės labiau tinkamos su saugumu susijusioms ir eismo informacijos paslaugoms, kurios gavusios atsaką iš tinklo, koreguoja automobilių judėjimą. Šio tipo aplikacijose, eismo modulis tinklo moduliui perduoda tam tikrą informaciją (poziciją, greitį, pagreitį, kryptį ir t.t.). Automobilių komunikacijos tinklų programa, veikianti viršutiniame tinklų lygmenyje, šią informaciją apjungia su aplinkinių automobilių pateikiama informacija, taip perspėdama vartotojus apie netoliese esančias spūstis ar galimus susidūrimus. Remiantis šia informacija, vairuotojas gali atlikti tam tikrus veiksmus – gali pakeisti eismo juostą, pasirinkti kitą kelią. Šie galimi sprendimai turi būti perduoti atgal mobilumo moduliui, kuris atitinkamai koreguoja automobilių judėjimą (Martinez et al., 2011). Toliau pateikti pagrindiniai automobilių komunikacijos tinklų modeliavimui naudojami integruoti modeliavimo įrankiai: *GrooveNeT* yra integruotas tinklų bei mobilumo įrankis, leidžiantis komunicuoti realiems ir modeliuojamiems automobiliams. Įrankyje galima naudoti realius gatvių žemėlapius iš *TIGER/Line* duomenų bazės, modeliuoti automobilių judėjimą realiose gatvėse, įskaitant fiksuotą mobilumą, greitį gatvėse, pastovų greitį, automobilių sekimo modelius. (Mangharam et al., 2006; Mota et al., 2014). *TraNS* (angl. *Traffic and Network Simulation Environment*) gali būti vadinamas pirmuoju *VANET* modeliavimo įrankiu, kadangi jame pirmą kartą buvo apjungtas tinklų modeliavimas *ns-2* su automobilių eismo modeliavimu *SUMO* bei buvo sukurtas grįžtamasis ryšys iš tinklo modeliavimo priemonės į mobilumo (Al-Sultan et al., 2014). *Veins* (angl. *Vehicles in Network Simulation*) yra dar vienas įrankis, integruojantis mobilumo bei tinklo priemones į vieną: *SUMO* yra apjungiamas su *OMNeT++* per *TCP* ryšį. *Veins* yra valdymo modulis, kuris atsakingas už dviejų priemonių sinchronizavimą. Reguliariais laiko tarpais, valdymo modulis įvykdo vieną mobilumo modulio laiko žingsnį, priima rezultatą (mobilumo žymę) ir įvykdo pozicijos atnaujinimus visiems moduliams. Kaip ir *TraNS*, *Veins* turi dvi atskiras įvykių eiles (Riebl et al., 2015). Autorius specifinėse srityse modeliuojamą eismą nagrinėja (Černekytė et al., 2013).

Specialiai sukurtos modeliavimo priemonės. Atlikus literatūros analizę, paaiškėjo, kad dalis duomenų skleidimo tyrimų atlikti naudojant specialiai autorių sukurtas modeliavimo priemones, kurių pagalba vertinamas specifinis tinklo aspektas. Tokių modeliavimo priemonių naudojimas turi rimtų trūkumų, dėl eksperimentų pakartojimo, kadangi kai kurios modelių detalės lieka menkai apibrėžtos arba visai neatskleidžiamos.

Atlikus integruotų automobilių komunikacijos tinklų modeliavimo priemonių analizę, buvo sudarytas kokybinis palyginimas (3 lentelė)

3 lentelė. *Integruotų imitacinio modeliavimo priemonių palyginimas*

Table 3. *Comparison of integrated simulation software tools*

Atributas	Swans++	GrooveNeT	TraNS	Veins	NCTuns/ Estinet
Mobilumo funkcijos					
Vartotojo grafikai	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>
Atsitiktiniai grafikai	<i>Random waypoint</i>	<i>Voronoi grafikai</i>	<i>Tinkleliu paremti</i>	<i>Random waypoint</i>	<i>Figūrų failai</i>
Žemėlapiams paremti grafikai	<i>Tiger duomenų bazė</i>	<i>GDF</i>	<i>Tiger duomenų bazė</i>	<i>OpenStreet Map DB</i>	<i>Figūrų failai</i>
Keletas eismo juostų	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>
Pradžios/pabaigos pozicija	<i>Atsitiktinis</i>	<i>AP, atsitiktinis</i>	<i>AP, atsitiktinis</i>	<i>Atsitiktinis</i>	<i>Atsitiktinis</i>
Kelias	<i>Atsitiktinio kelio</i>	<i>Atsitiktinio kelio, Dijkstra</i>	<i>Atsitiktinio kelio, Dijkstra</i>	<i>Atsitiktinio kelio</i>	<i>Atsitiktinio kelio</i>
Greitis	<i>Pastovus</i>	<i>Priklausantis nuo sąlygų, pastovus</i>	<i>Priklausantis nuo sąlygų, pastovus</i>	<i>Pastovus</i>	<i>Priklausantis nuo sąlygų, pastovus</i>
Sankryžų valdymas	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Šviesoforai, ženklai</i>	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Šviesoforai</i>
Juostų keitimas	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Palaikomas</i>	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Palaikomas</i>
Radijo kliūtys	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Palaikomas</i>	<i>Nepalaikomas</i>	<i>Palaikomas</i>	<i>Palaikomas</i>
Kitos funkcijos					
Grafinė vartotojo sąsaja	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Nepalaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>	<i>Palaikoma</i>

Įvertinus modeliavimo programinės įrangos analizės rezultatus buvo nustatyta, kad įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinkluose tyrimams geriausiai tinka glaudžiai integruotas modeliavimo paketas *NCTUns/Estinet*, ypač dėl naudojamų realių *TCP/UDP/IP* protokolų.

3.4. Integruotos tinklų bei mobilumo modeliavimo ir emuliacijos aplinkos (*NCTUns/Estinet*) taikomieji pavyzdžiai

NCTUns (angl. *National Chiao Tung University Network Simulator*) yra aukšto tikslumo, praplečiamas integruotas tinklų bei mobilumo imitacinio modeliavimo įrankis ir emuliacijos aplinka, leidžiantis modeliuoti daugybę įvairių protokolų,

naudojamų tiek laidiniuose, tiek belaidžiuose tinkluose. Jis remiasi moderniu pakartotinio kreipimosi į branduolį (angl. *kernel re-entering*) metodu, kuris *NCTUns* suteikia daugybę unikalių privalumų, kurių neturi plačiai paplitusios priemonės, pvz. *ns-2* ar *OPNET*. Naudojama intuityvi vartotojo sąsaja, kuri panaikina sudėtingo skriptų rašymo būtinybę (Wang, Huang, 2012), (Vindašius, 2010). 2012 metais buvo pristatyta komercinė *NCTUns* versija, pavadinta *Estinet*. Kadangi abu paketai yra itin giminingi, vystomi tų pačių kūrėjų bei naudoja tą pačią architektūrą, dalijasi tais pačiais modeliavimo principais, tekste kaip sinonimai naudojami abu pavadinimai.

Pagrindiniai *NCTUns/Estinet* privalumai (Wang, Chou, 2009):

Gali būti naudojamas kaip emuliatorius. Išorinis realaus pasaulio tinklo įrenginys gali apsieikti paketais (pvz. užmegzti *TCP* ryšį) su mazgais (kompiuteriais, maršrutizatoriais, mobiliosiomis stotelėmis) *NCTUns* modeliuojamame tinkle. Taip pat, galimas ir keletas realių tinklo įrenginių ryšys per *NCTUns* modeliuojamą tinklą. Ši savybė yra labai naudinga, kadangi realūs įrenginiai gali būti išbandomi įvairiomis sąlygomis. Aplinka palaiko paskirstytą didelio tinklo emuliaciją keliuose kompiuteriuose. Kai emuliuojamame tinkle yra daug mazgų, kuriuose turi veikti daugybė realaus pasaulio programų, arba yra labai didelis apsikeičiamų paketų kiekis, vienam kompiuteriui dažnai nepakanka procesoriaus skaičiavimo resursų bei operatyviosios atminties tam, kad emuliaciją vykdyt realiu laiku. Tokiu atveju, *NCTUns* gali išdalinti emuliuojamą tinklą į keletą mažesnių dalių ir kiekvienos dalies emuliaciją vykdyti kitame kompiuteryje. Paskirstyto emuliacijos naudojimas yra visiškai automatinis, nereikalaujantis vartotojo įsikišimo.

Priemonės išskirtinumas – tiesiogiai naudojamas realus *Linux TCP/IP* protokolo stekas, naudojantis modernų pakartotinio kreipimosi į branduolį metodą, leidžiantis gauti aukšto tikslumo rezultatus. Kita svarbi savybė, kad galima naudoti bet kokią realią *UNIX* taikomąją programą modeliuojamame mazge, be jokių papildomų modifikacijų. Bet kokia reali programa (*P2P BitTorrent*, *Java* ir kt. programos) gali būti naudojama modeliuojamame kompiuteryje, maršrutizatoriuje, mobiliame mazge tam, kad sugeneruoti realistišką tinklo duomenų srautą. Ši galimybė leidžia tyrėjams įvertinti išskirtytos programos ar sistemos funkcionalumą ir efektyvumą, esant įvairioms sąlygoms. Taip pat yra galimybė naudoti bet kokius realius *Unix* tinklų konfigūravimo ir stebėjimo įrankius. Pvz. *UNIX route*, *ifconfig*, *netstat*, *tcpdump*, *traceroute* ir kt. komandos gali būti panaudotos, sukonfigūruoti ar stebėti modeliuojamą tinklą.

Tarp palaikomų tinklų: *Ethernet* fiksuoti tinklai, *IEEE 802.11(b) wireless LAN*, mobilūs *Ad-Hoc* (jutiklių) tinklai, *GPRS*, optiniai, *IEEE 802.11(b) dual-radio wireless mesh* tinklai, *IEEE 802.11(e) QoS wireless LAN*, *Tactical* ir *active* mobilūs *Ad-Hoc* tinklai, *IEEE 802.16 WiMAX* tinklai, *DVB-RCS* palydoviniai, *IEEE 802.11(p)/1609 WAVE* belaidžiai automobilių tinklai (*V2V* ir *V2I*) ir kt. Palaikomi įvairūs tinklo protokolai. Pvz. *IEEE 802.3 CSMA/CD MAC*, *IEEE 802.11 (b) CSMA/CA MAC*, *IEEE 802.11(e) QoS MAC*, *IEEE 802.11(b) wireless mesh* tinklų maršrutizavimo, *IEEE 802.16(d)(e)(j) WiMAX MAC* ir *PHY*, *DVB-RCS satellite MAC* ir *PHY*, *IP*, *Mobile IP*, *Diffserv (QoS)*, *RIP*, *OSPF*, *UDP*, *TCP*, *RTP/RTCP/SDP*, *HTTP*, *FTP*, *Telnet*, *BitTorrent*, ir kt.

Vienas svarbiausių faktorių – sugeneruojami pakartotini modeliavimo rezultatai. Rezultatai gali būti pakartojami vykdant imitacinį modeliavimą keletą kartų. Rezultatams įtakos neturi kitos kompiuterio atliekamos veiklos ir jo apkrovimas. Paketas turi patogią vartotojo sąsają, leidžiančią greitai ir paprastai: sudaryti tinklų topologijas, sukonfigūruoti mazgo naudojamus protokolų modulius, nurodyti mobilių mazgų judėjimo trajektorijas, braižyti efektyvumo grafikus, peržiūrėti paketų

perdavimo animacijas. Naudojant modulių *API* rinkinius gali būti kuriami ir integruojami protokolai. Yra galimybė tyrėjams išbandyti naujus, nenumatytus įrenginius bei konfigūracijas įvykdyti apeinant grafinę vartotojo sąsają.

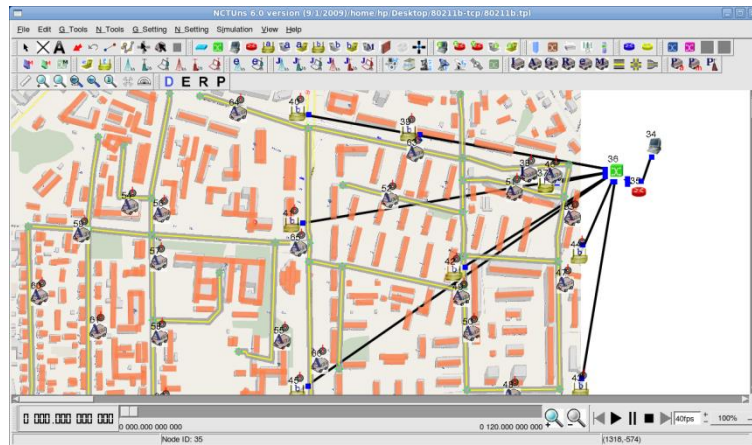
NCTUns ypač daug dėmesio susilaukė iš *ITS* tyrinėtojų, kai 2007 metais sukūrė *ITS* automobilių tinklų palaikymą *NCTUns 4.0* versijoje. *NCTUns* palaiko: pagrindinius vairuotojo elgesio modelius, bazinę kelių tinklo konstrukciją, *RSU (road side unit)* modeliavimą, *OBU (on-board unit)* įrenginių, kurie gali būti aprūpinti belaidėmis *IEEE 802.11(b)* infrastruktūros režimo, *Ad-Hoc* režimo, *GPRS*, *802.16(e) mobile WiMAX* ryšio technologijomis, *DVB-RCST* palydovinio ryšio, arba visų galimų belaidės prieigos metodų modeliavimą. Kadangi ši modeliavimo aplinka yra glaudžiai integruota, ja gali būti tiriamos sudėtingos *ITS* situacijos, kuriose reikalingi automobilio vairavimo elgsenos pasikeitimai, gavus tam tikras žinutes iš tinklo. *NCTUns 5.0* versijoje buvo įdiegti svarbūs *VANET* tinklų modeliavimo patobulinimai: efektyvus mazgų mobilumo valdymas, itin didelės apimties automobilių komunikacijos tinkluose, automatinis kelių tinklo konstravimas iš *SHAPE* formato žemėlapių failų ir svarbiausia, pilnas *IEEE 802.11(p)/1609* standartų, skirtų automobilių komunikacijos tinklų, palaikymui.

3.4.1. Modeliavimo priemonės *NCTUns/Estinet* architektūra

Grafinė vartotojo sąsaja (*GUI*) suteikia 5 pagrindines funkcijas, kurias vartotojams padeda lengvai sugeneruoti konfigūracijos failus reikalingus įvykdyti modeliavimui. Imitacinio modeliavimo pradžioje šie failai yra nuskaitomi kitų programos komponentų. Kelių tinklo konstravimas įrankiai suteikia aplinką, kurioje vartotojas lengvai gali konstruoti pasirinktą kelių tinklą. Palaikomi skirtingi kelių tipai: vienos eismo juostos keliai, keleto juostų keliai, sankryžos, T-formos keliai, juostas sujungiantys keliai. 20 pav. pateiktas sudarytas Klaipėdos miesto žemėlapių fragmentas su kelių tinklu bei pastatais.

Sudarytuose kelių tinkluose, galima nurodyti matomumo/radijo kliūtis, kurios gali blokuoti vairuotojo matomumą, ir/arba gali blokuoti arba sumažinti galią belaidžio ryšio signalams (Wang, Huang, 2012).

Automobilio profilio nustatymai. Norint nustatyti skirtingas judėjimo charakteristikas skirtingiems automobiliams, vartotojo sąsaja leidžia vartotojams sudaryti automobilių profilius. Profilyje galima nurodyti automobilio maksimalų greitį, maksimalų pagreitį, maksimalų pagreičio mažėjimą. Galima nustatyti procentinę tam tikro profilio automobilių kiekį ir automatiškai priskirti profilius automobiliams.



20 pav. Sudarytas realaus miesto žemėlapis NCTUns pakete

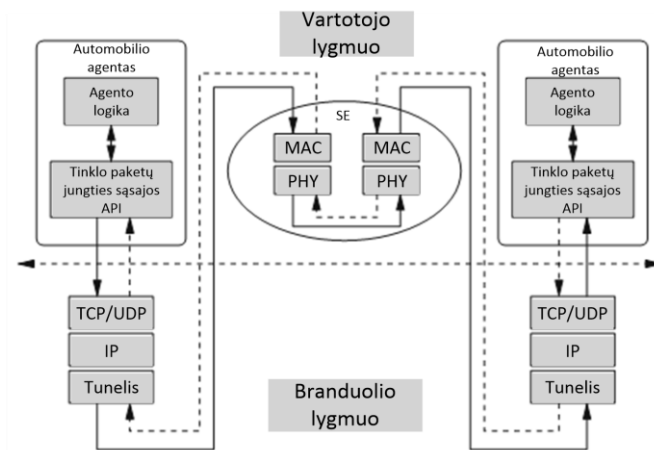
Fig. 20. Developed real city map in NCTUns package

Automobilio judėjimo nustatymai. *NCTUns* palaiko du automobilių judėjimo valdymo metodus: pirmasis – iš anksto nustatytas; antrasis – autopiloto. Naudojantis pirmuoju metodu, vartotojas naudodamasis grafine vartotojo sąsaja, nurodo automobiliu judėjimo trajektorijas ir jų greitį prieš prasidedant imitaciniam modeliavimui. Grafinė vartotojo sąsaja šią informaciją įrašo į mazgo judėjimo scenarijaus konfigūracijos failą. Modeliavimo metu automobiliai juda, pagal nustatytą trajektoriją kelių tinkle. Naudojantis autopiloto metodu, vartotojui nereikia nurodyti kiekvieno automobilio konkrečių trajektorijų ir greičio, tačiau reikia nustatyti kiekvieno automobilio profilį. Modeliavimo metu, automobilio agentas, automatiškai valdo judėjimo elgseną. Kiekvienas automobilis dinamiškai gali keisti judėjimo kryptį ir greitį. Agentai yra priskiriami automatiškai.

Tinklo protokolų nustatymas. *NCTUns* programoje skirtingų tipų belaidžio ryšio prieiga yra realizuota, modeliuojant skirtingus tinklo protokolų stekus. Automobilis su radijo ryšio prieiga yra susietas su atitinkamu tinklo protokolu. Kiekvieno protokolo stekas yra įgyvendintas, kaip protokolų modulis. Į protokolų steką gali būti žiūrima, kaip į seriją tarpusavyje sujungtų protokolų modulių. Vartotojo sąsaja leidžia vartotojams lengvai pasirinkti/pakeisti protokolų modulius, tokius kaip mobilių *Ad-Hoc* maršrutizavimo protokolų modulius bei nustatyti su kiekvienu modulių susijusius parametrus. Informacija apie naudojamus protokolų stekus ir modulių parametrus yra įrašoma į protokolų modulių specifikacijos konfigūracijos failą. Taip pat, grafinėje vartotojo sąsajoje galima peržiūrėti animuotus paketų perdavimus bei automobilių judėjimą tiek modeliavimo metu, tiek ir po modeliavimo. Šis modeliavimo rezultatų vizualizavimas leidžia greitai ir lengvai patikrinti ir ištaisyti tinklo protokolų klaidas bei automobilių judėjimo elgseną (Wang, Huang, 2012), (Wang, Chou, 2009).

Imitacinio modeliavimo variklis. Paleidus programą, *SE* (angl. *Simulation Engine*) atlieka nukreipimą į *CA* (angl. *Car Agent*) arba *SA* (angl. *Signal Agent*), priklausomai nuo parinktos taikomosios programos. Kaip ir kitos *SE* paleistos programos, *CA* arba *SA* procesai gali būti paleisti ir nutraukti bet kuriuo modeliavimo metu. *SE* sukuria *TCP* paremtą komandų serverį (kuris yra periodiškai iškviečiama *SE* proceso funkcija) skirtą priimti komandas iš *CA* arba *SA*. Pagal komandos tipą, komandų serveris gali išsaugoti/išrinkti duomenis iš/į signalų duomenų bazę arba automobilių informacijos duomenų bazę.

Į tinklo protokolo steką, *NCTUns* įeina *Linux* branduolio protokolo stekas, įskaitant *TCP/IP* ir *UDP/IP*, vartotojo lygio *SE* protokolo stekas, įskaitant *MAC* ir *PHY* sluoksnio protokolus (21 pav.).



Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal (S. Wang, Huang, 2012)

21 pav. IP paketų perdavimo vieno automobilio kitam procesas

Fig. 21. Process of the exchange of data packets between vehicles

Turėdamas galimybę panaudoti realius *Linux* branduolio *TCP/UDP/IP* protokolų stekus, *NCTUns* generuoja realistiškus *TCP/UDP/IP* protokolų modeliavimo rezultatus.

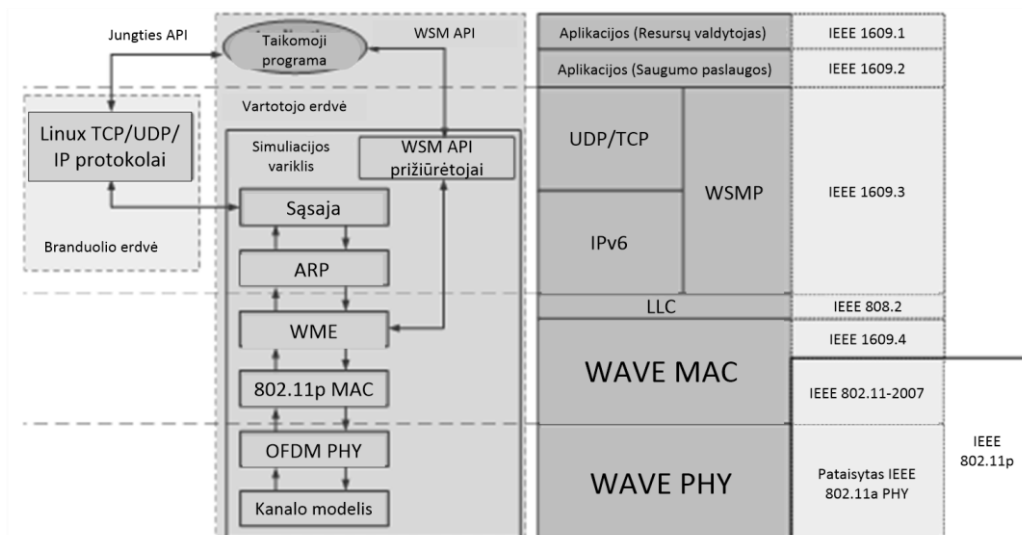
CA – automobilio agentas. CA yra SE modeliuojamo ir su juo asocijuoto automobilio valdiklis. Agento logika, esanti CA yra sprendimų priėmėjas, kuris nustato kada reikia imtis tam tikrų veiksmų. Vykstant modeliavimui, agento logika periodiškai atnaujina automobilio ir signalų informacijos duomenų bazes per jungties sąsajos API. Komandų serveris suteikia ne tik atnaujinimą ar prieigą prie paslaugų, tačiau atlieka ir duomenų analizę, pvz. šviesoforų ženklų nustatymo atveju.

Taip pat, yra įdiegtos papildomos agento funkcijos, skirtos surinkti visapusiškai informacijai, pagal kurią priimami vairuotojo sprendimai. Pvz., agentas gali nustatyti priešais esančio kelio eismo kryptį ir pagal tai pasirinkti tinkamą judėjimo kryptį. Kitas pvz. – agentas gauna informaciją iš gretimų eismo juostų, pagal kurią keičia eismo juostas arba lenkia kitus automobilius. Vartotojas gali papildyti standartinį autopiloto agento intelektą savo sukurtu.

SA – signalo agentas. Jis yra atsakingas už visų šviesoforų ženklų pasikeitimą. Grupės identifikatorių naudojant kaip indeksą, SA agento logika panaudoja signalo informacijos jungties sąsajos API specifinio tipo eismo signalų informacijai gauti, pvz. pradinę signalo būseną. Komandų serveris gauna reikiamą informaciją iš signalų informacijos duomenų bazės ir išsiunčia ją atgal agentui.

3.4.2. Automobilių komunikacijos tinklų standartų ir protokolų architektūra *NCTUns/Estinet* aplinkoje

NCTUns/Estinet palaiko dviejų tipų *IEEE 802.11(p)/1609* protokolo mazgus: *802.11(p) RSU* ir *802.11(p) OBU*. Abu mazgai naudoja tą pačią protokolo steko konfigūraciją, kuri pateikta 22 pav.



Šaltinis: sudaryta autoriaus, pagal (S.-Y. Wang, Lin, 2008)

22 pav. IEEE 802.11(p)/1609 protokolo architektūra NCTUns/Estinet aplinkoje

Fig. 22. Architecture of IEEE 802.11(p)/1609 protocol in NCTUns/Estinet environment

IEEE 802.11(p)/1609 protokolo architektūros NCTUns/Estinet programoje paaiškinimai (S.-Y. Wang, Lin, 2008):

Taikomoji programa (angl. *Application Program*) NCTUns tiesiogiai vykdo vartotojo lygmens taikomuosius procesus, kad realizuotų taikymo funkcijas, reikalingas IEEE 802.11(p)/1609 protokolo mazgui. Tokia programa gali perduoti arba priimti: 1) IP paketus per standartinę lizdo sąsają, 2) WAVE trumpąsias žinutes per specialią WSMP taikomojo programavimo sąsają (API).

Skirtingai, nei TCP/UDP/IP protokolų rinkinys, kuris buvo standartizuotas prieš daug metų ir įdiegtas Linux branduolyje, WSMP yra naujas tinklo lygio protokolas, kuris nėra palaikomas Linux operacinės sistemos. NCTUns programinėje įrangoje WSMP yra integruotas imitacinio modeliavimo variklyje, kaip protokolo modulis. Jei ateityje WSMP bus integruotas į Linux operacinę sistemą, bet kuri vartotojo lygio programa galės tiesiogiai naudotis pastarąja.

MAC ir fizinio sluoksnių moduliai yra įgyvendinti, kaip modeliavimo protokolų moduliai. WME funkcionalumas, aprašytas IEEE 1609.3 yra įgyvendintas WME modulyje, o WAVE režimo MAC sluoksnio funkcijos, tokios kaip kanalų perjungimas ir 802.11(e) kanalų prioritetų nustatymas yra įgyvendinti 802.11(p) MAC modulyje. OFDM kanalų charakteristikos modeliuojamos OFDM modulio.

3 skyriaus išvados

1. Nustačius, kad siekiant išvystyti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipą, būtina sukurti specialius automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos algoritmus, paaiškėjo, kad jų projektavimas ir verifikavimas būtų daug žmogiškųjų ir finansinių resursų reikalaujantis uždavinys. Šiaip problemai spręsti, pasirinkta panaudoti imitacinio modeliavimo platformas.

2. Išanalizavus sistemines ir programines platformas, leidžiančias kartu modeliuoti automobilių judėjimą bei tinklo mobilumą, nustatyta, kad nėra vienos, visus prototipo kūrimo ir verifikavimo etapus apimančios platformos, todėl duomenų surinkimo ir skleidimo valdymo sistemos (prototipo) projektavimui bei verifikavimui, nagrinėjamoje aprėptyje, tinkamiausios priemonės yra:

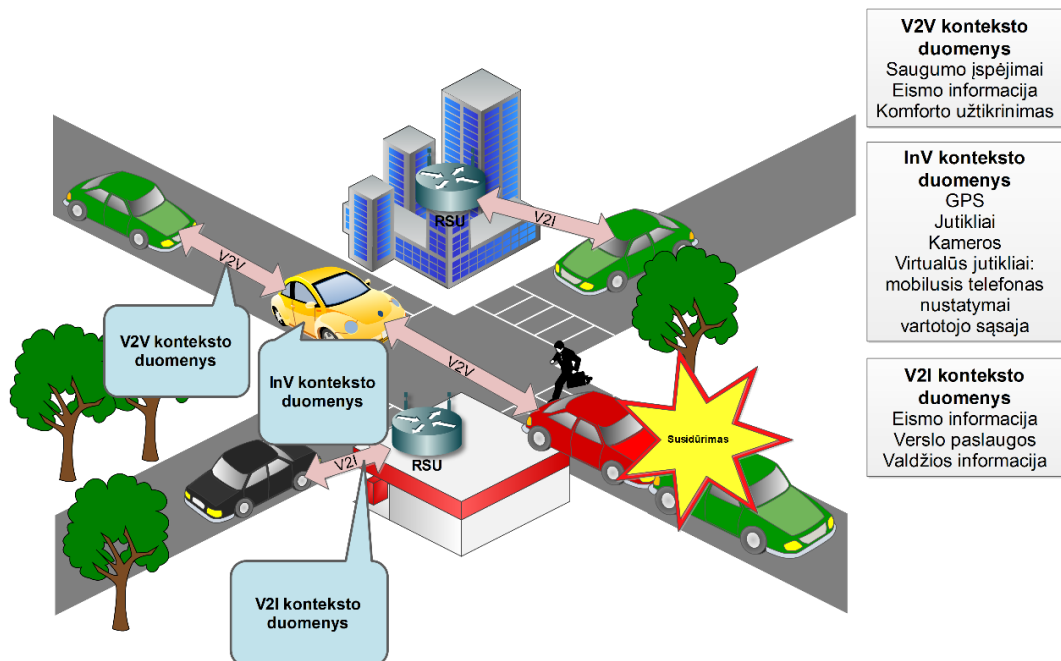
- 2.1. paketas – *NCTUns/ESTINET*, leidžiantis atlikti baigtinių transporto srautų mikro modeliavimą, panaudojant realius Linux operacinės sistemos *TCP/UDP/IP* protokolus, užtikrinantis gautų rezultatų patikimumą bei realistiškumą.
 - 2.2. sistemos valdymo prototipo projektavimui tinkamiausios National Instruments *LabVIEW* programinė ir *CompactRIO* sisteminė platformos.
 - 2.3. adaptyvaus kanalo kokybės valdymo projektavimui, tyrimui ir verifikavimui bei duomenų srauto mažinimui, sudarant automobilių klasterius pasirinkta *RapidMiner 6.5* priemonė.
3. Nustatyta, kad būtina sukurti algoritmą šių programinių ir sisteminių priemonių integravimui.

4. ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ INTEGRACINĖS SISTEMOS PROJEKTAVIMAS KINTANČIOS TOPOLOGIJOS AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE

Skyriuje nagrinėjamas automobilių komunikavimu grindžiamo, situacijas suvokiančios sistemos prototipo projektavimas. Išpildomi duomenų perdavimo kokybės reikalavimai eismo saugumo ir įvairialypių paslaugų teikimui. Pateikiama situacijų identifikavimo automobilių kooperacijos aplinkoje sistemos architektūra bei paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikavimo tinkluose sistemos projektavimas. Analizuojamas siūlomas konteksto duomenų naudingumo įvertinimo metodas ir konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo sistemos veikimo algoritmas. Atlikus analizę, suformuluotas tikslas – sukurti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros konfigūravimo sistemos prototipą, integruojantį konteksto informacijos skleidimo metodus, grindžiamus daugiakriteriniu duomenų naudingumo vertinimu ir pateikti jos architektūrinius sprendimus.

4.1. Konteksto informacijos šaltiniai situacijų identifikavimui transporto priemonių aplinkoje

Situacijos identifikavimui transporto priemonių aplinkoje, galima pasitelkti įvairius jutiklius bei kitus informacijos šaltinius. Pirminius neapdorotus duomenis galima gauti iš fizinių automobilyje sumontuotų jutiklių (vaizdo kameros, GPS sistemos, mikrofoniai, judėjimo dinamikos jutiklių, automobilio darbo parametrų ir kt.), bei iš virtualių jutiklių – vartotojo nustatymų, išmaniojo telefono/planšetinio kompiuterio gautų duomenų (kalendoriaus įrašų, priminimų, socialinių tinklų ir kt.), iš kitų automobilių gaunamų duomenų (pavojaus informacija, eismo informacija ir kt.). Iš visų šių jutiklių surinkti duomenys sudaro konteksto duomenų aibę (23 pav.).



23 pav. Konteksto informacijos šaltinių, transporto priemonių komunikacijos aplinkoje, pavyzdys

Fig. 23. Example of context data provider's capabilities in VANETs

Esybės kontekstas yra išmatuotų ir išvestų žinių rinkinys, kuris aprašo būseną ir aplinką, kurioje ši esybė egzistuoja ar egzistavo (Latré et al., 2013). Šis apibrėžimas

apima du žinių tipus: faktus, kurie gali būti išmatuoti tam tikrų jutiklių (fizinį ar virtualių) bei išvestus duomenis, naudojantis mašininio mokymo, samprotavimo ar kitais dirbtinio intelekto metodais bei juos pritaikant esamam arba buvusiam kontekstui.

Dėl aptartų specifinių automobilių ir jų tinklų sudarymo savybių jutikliai, naudojami automobilių komunikacijos tinklų aplinkoje apima daug platesnį spektrą, nei naudojami įprastinėje visur esančio prisijungimo aplinkoje. Dėl negriežtų energijos apribojimų, vienu metu galima panaudoti daugiau skirtingų jutiklių, bei tokiu būdu, surinkti ir išanalizuoti daugiau duomenų, kuriais remiantis dirbtinio intelekto metodai gali tiksliau identifikuoti situacijas bei nuspėti įvykius. Konteksto informacijos šaltinių automobilių aplinkoje analizė pateikiama 4 lentelėje, kurioje parodyti naudotini jutikliai, jų tipai, jutiklių generuojamas duomenų srautas, duomenų atnaujinimo dažnumas, informacijos šaltinis, koks naudojamas duomenų apskaitimas, kuris suskirstytas į keturias klases – automobilyje (*inV*), automobilio su infrastruktūra (*V2I*), automobilio su mobilių įrenginiu (*V2M*) bei automobilio su automobiliu (*V2V*). Skirtingi jutikliai išduoda skirtingo tipo duomenis: binarinius, skaitinius ir parametrines reikšmes.

4 lentelė. Gaunamos konteksto informacijos šaltinių automobilių aplinkoje analizė

Table 4. Analysis of context information sources in vehicular environment

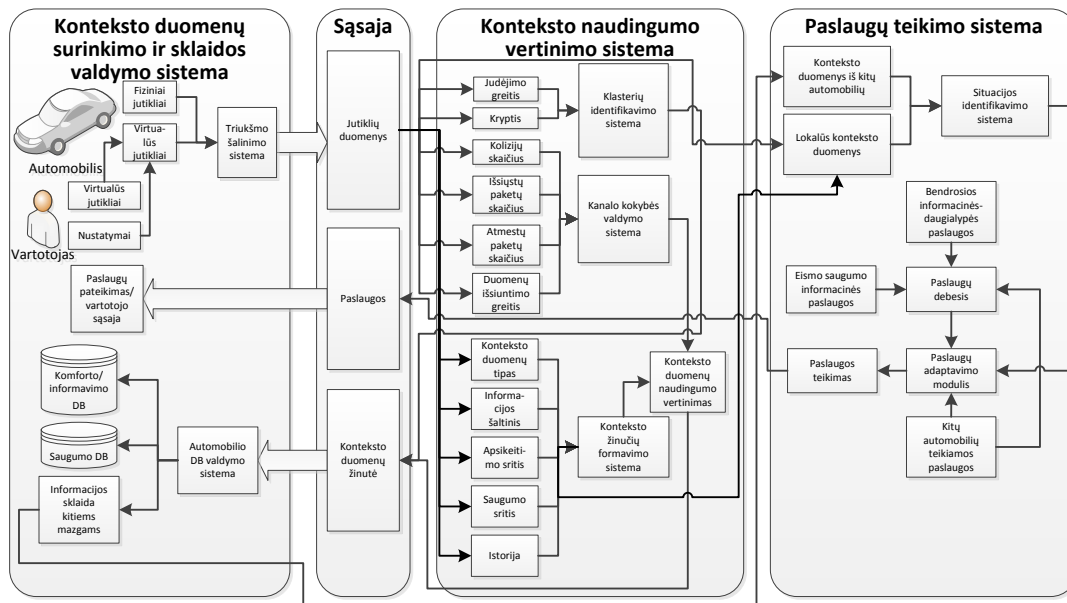
Jutiklis	Tipas	Duomenų srautas	Atnaujinimo dažnumas	Informacijos šaltinis	Duomenų apskaitimas	Duomenų tipas
GPS (lokacijos nustatymas)	Fizinis	Žemas	Aukštas	Automobilis	inV	Skaitinis
Spidometro	Fizinis	Žemas	Aukštas	Automobilis	inV	Skaitinis
Akselerometro	Fizinis	Žemas	Aukštas	Automobilis	inV	Skaitinis
Aplinkos temperatūros	Fizinis	Žemas	Žemas	Automobilis	inV	Skaitinis
Kuro kiekio	Fizinis	Žemas	Žemas	Automobilis	inV	Skaitinis
Keleivių skaičiaus	Fizinis	Žemas	Žemas	Automobilis	inV	Skaitinis
Vaizdo stebėjimo	Fizinis	Aukštas	Aukštas	Automobilis	inV	
Garso įrašymo	Fizinis	Vidutinis	Vidutinis	Automobilis	inV	
Radaro (<i>Millimetre wave radar system (MWRs)</i>)	Fizinis	Aukštas	Aukštas	Automobilis	inV	Skaitinis, binarinis
Istoriniai duomenys	Virtualus	Aukštas	Aukštas	Automobilis	inV	Visi
Nustatymai	Virtualus	Žemas	Žemas	Automobilis	inV	Skaitinis
Belaidžių jutiklių tinklai (WSN)	Fizinis	Vidutinis	Vidutinis	Aplinka	V2I	Visi
Belaidžio ryšio sąsajos informacijos (tipas, ryšio stiprumas, sparta)	Fizinis	Žemas	Žemas	Belaidžio ryšio įranga	inV	Skaitinis

Skambučiai	Virtualus	Žemas	Žemas	Mobilusis telefonas	V2M	Skaitinis
Kalendorius	Virtualus	Žemas	Žemas	Mobilusis telefonas	V2M	Skaitinis
Priminimai	Virtualus	Žemas	Žemas	Mobilusis telefonas	V2M	Skaitinis
Vartotojo nustatymai	Virtualus	Žemas	Žemas	Mobilusis telefonas	V2M	Skaitinis
Eismo informacija	Virtualus	Vidutinis	Aukštas	Kiti automobiliai, spec. tarnybos, aplinka	V2I, V2V, V2M	Visi
Pavojaus informacija	Virtualus	Vidutinis	Aukštas	Kiti automobiliai, spec. tarnybos, aplinka	V2I, V2V, V2M	Visi
Sąveika su kitais objektais	Virtualus	Vidutinis	Vidutinis	Aplinka	V2I, V2V, V2M	Visi

4.2. Situacijų identifikavimo metodų integravimas į automobilių komunikacijos tinklų sistemos architektūrą

Bendra siūlomos automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros valdymo sistemos architektūra pateikta 24 pav. Ši sistema išveda situacijas ir susieja jas su kitais informacijos tipais sistemoje. Sistema, realiu laiku, renka informaciją iš prieinamų šaltinių (fizinį ir virtualių jutiklių), atlieka pirminę informacijos apdorojimą ir pašalina triukšmą. Apdoroti duomenys, per sąsają, perduodami konteksto naudingumo vertinimo sistemai, kurioje veikiančios kanalo kokybės valdymo ir klasterių identifikavimo sistemos yra pagrindas, adaptyviai valdyti komunikacijos tinklo resursus, per konteksto žinučių formavimo sistemą, kuri remiasi konteksto duomenų naudingumo vertinimu. Įvertinus žinutės naudingumą, nusprendžiama, kaip bus panaudota suformuota konteksto duomenų žinutė: per sąsają ji gali būti perduoda automobilio DB valdymo sistemai, kuri atitinkamai žinutę patalpina lokaliuose komforto/informavimo DB arba saugumo DB bei ši informacija gali būti perduodama kitiems komunikacijos tinklo mazgams.

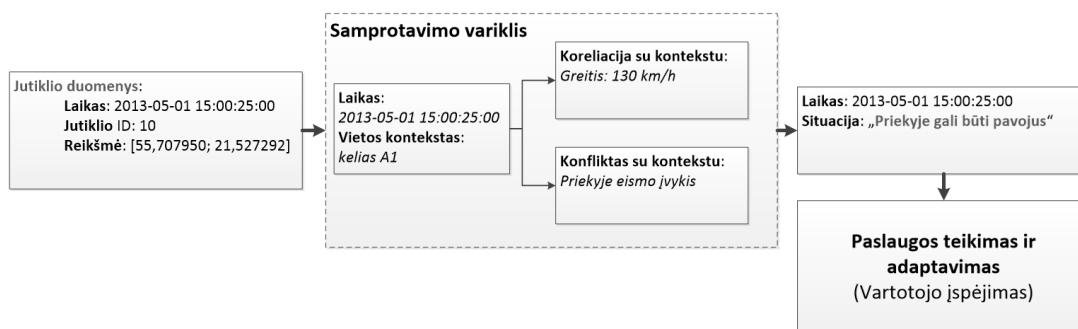
Lokalūs ir iš kitų automobilių gauti konteksto duomenys, perduodami paslaugų teikimo sistemai, kuri naudodama turimas žinias identifikuoja vartotojo/automobilio situaciją. Pagal nustatytą situaciją, yra parenkamos reikiamos paslaugos, teikiamos per paslaugų debesies platformą arba tiesiogiai kitų automobilių bei adaptuojamos, pagal vartotojo poreikius paslaugų adaptavimo modulyje. Per paslaugų teikimo sistemos sąsają paslaugos suteikiamos vartotojui.



24 pav. Bendra siūlomos automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros valdymo sistemos architektūra

Fig. 24. Common architecture of proposed system for control of vehicular communication network

Naudodami paprastą scenarijų – automobilio judėjimas automagistralėje pateikiame situacijos identifikavimo pavyzdį (25 pav.), kur jutiklių duomenys yra konvertuojami į srities konceptus, t.y. kontekstą. Konteksto informacija yra perduodama samprotavimo varikliui, kuris suranda vietos konteksto (kelias A1) koreliaciją su automobilio dinamikos kontekstu (judėjimo greitis – 130 km/h) bei suranda konfliktą su iš kito automobilio gautu kontekstu (priekyje eismo įvykis). Šiuo atveju, samprotavimo variklis nustato situaciją, kad priekyje gali būti pavojus. Tokiu būdu, gauta semantinė interpretacija – situacija perduodama paslaugų teikimo ir adaptavimo posistemai, kuri vartotoją išpėja apie susidariusią situaciją bei rekomenduoja pasirinkti saugų greitį bei sutelkti dėmesį.



25 pav. Automobilio judėjimo automagistralėje situacijos identifikavimo pavyzdys

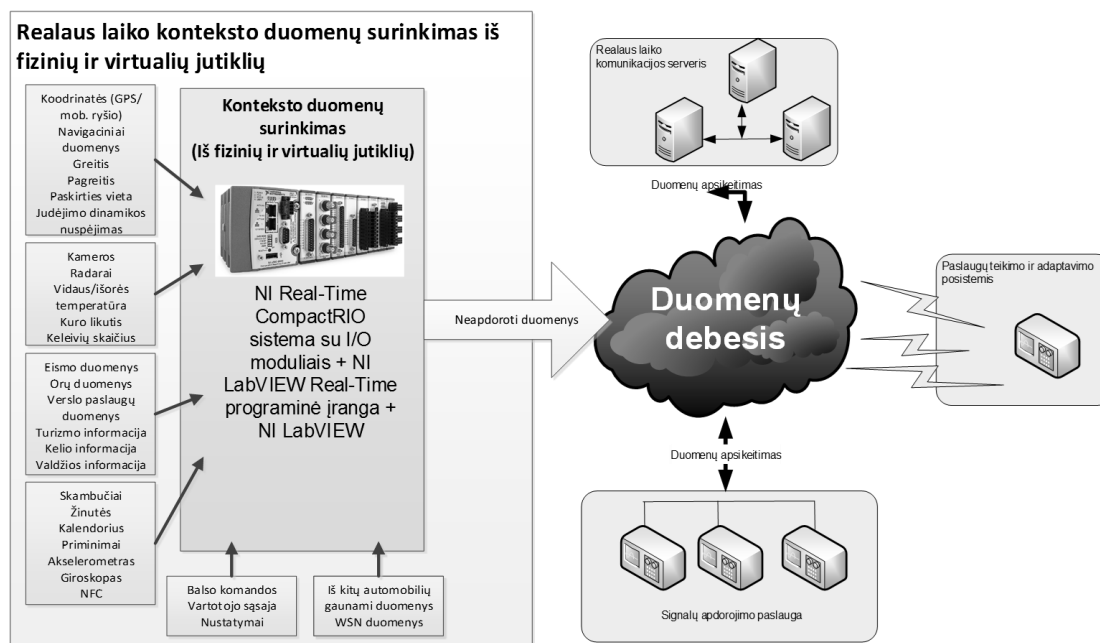
Fig. 25. Example of situation of vehicle movement in motorway

4.3. Paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose sistemos projektavimas

Automobilių aplinkoje, fiziniai ir virtualūs jutikliai sugeneruoja didžiulius kiekius skaitmenizuotų duomenų. Iškyla pagrindinė problema, kaip efektyviai šiuos duomenis saugoti ir suteikti prie jų prieigą. Pastarųjų metų visur esančio prisijungimo

technologijų plėtra lėmė tai, kad mobilieji telefonai ir planšetiniai kompiuteriai tapo pagrindine skaičiavimo ir prieigos prie e-paslaugų priemone. Sprendimas gali būti rastas debesų kompiuterijos paradigmoje, kur intensyvių skaičiavimų reikalaujantys uždaviniai gali būti siūdomi, kaip paslaugos. Egzistuojančios debesų kompiuterijos sistemos turi būti praplėstos, kad galėtų palaikyti paskirstytus algoritmus, skirtus jutiklių duomenims apdoroti realiu laiku, atsižvelgiant į skirtingų duomenų srautų sinchronizavimą, duomenų saugumą, duomenų vientisumą ir sistemos praplečiamumą.

Debesų kompiuterijos architektūrai, taikomai paskirstytam konteksto duomenų saugojimui ir prieigai, taikomi specifiniai reikalavimai, kadangi ją sudaro unikali techninės ir programinės įrangos kombinacija, kuri vartotojams turi būti pateikiama kaip paslauga. Siūlomame modelyje (26 pav.) *IaaS* sluoksnyje užtikrinama nuotolinė prieiga prie sisteminių resursų, t. y. duomenų pirminio apdorojimo ir signalų saugojimo *NI RF Record and Playback* sistemoje paslauga. *PaaS* suteikiama automobilio duomenų bazių valdymo platforma, nukreipianti saugojamų duomenų srautus į atitinkamas išskirstytas DB, pagal praturtintus konteksto informacijos duomenis, šiuo atveju – saugojimas komforto/informavimo DB, saugumo DB bei informacijos sklaidimo kitiems mazgams mazgams DB (naudojant paskirstytą duomenų bazę *Citadel*). Kadangi *SaaS* sluoksnyje užtikrinamas duomenų apsikeitimas su signalų apdorojimo paslauga, didelių skaičiavimo resursų reikalaujantys skaičiavimai gali būti perkeli iš automobilių komunikacijos tinklo mobilių vartotojų.

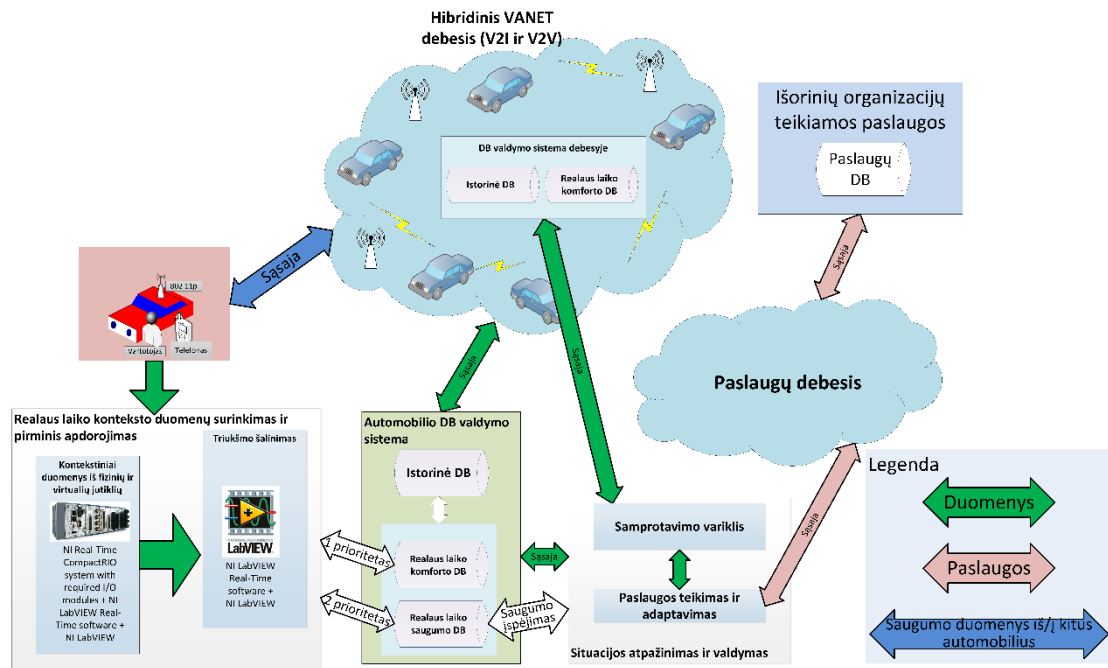


26 pav. Konteksto duomenų srautai siūlomoje duomenų surinkimo ir sklaidimo architektūroje

Fig. 26. Data flows of the context in the proposed context data acquisition and dissemination architecture

Šioje architektūroje, sistema susideda iš automobilių, komunikuojančių tiesiogiai per saugumo žinutes ir sudarančių hibridinį *VANET* debesį. Per sistemą yra apsikeičiama ir su komfortu/informavimu susijusiais konteksto duomenimis. Konkretus automobilis, saugo gautus duomenis lokaliuose DB (duomenų bazėse) – saugumo DB ir komforto/informavimo DB. Naudodamas duomenis iš lokalių DB bei iš hibridinio *VANET* debesies, automobilio samprotavimo variklis išveda dabartinę, praeitę ir tikėtiną ateities situacijas bei parenka reikiamas paslaugas iš paslaugų

debesies sistemos. Paslaugos yra adaptuojamos, pagal vartotojo poreikius ir suteikiamos vartotojui.



27 pav. Įvairialypių paslaugų integravimo ir duomenų surinkimo bei sklaidos procesų sąveika VANET tinkluose

Fig. 27. Representation of heterogeneous services support and data acquisition and dissemination process integration

Konteksto duomenų surinkimo ir sklaidimo architektūros atvaizdavimas pateikiamas 27 pav. Ši architektūra detaliau analizuojama publikacijose (Kurmis et al., 2014, 2015).

5 lentelė. Konteksto informacijos apibūdinimas, atsižvelgiant į duomenų surinkimo ir sklaidos sritis

Table 5. Context data description based on data acquisition and dissemination domains

	Jutiklis	Nuoskai- tų dažnis (S/s)	Kanalų skai- čius	Įren- ginių skaičius	Duomenų pralaidumas (KB/s)	Informacijos šaltinis	Apsikei- timo sritis	Duom enų istoriš- kumas	Saugumo (Sf) ar informacinė sritis (E)?
1	GPS koordin atė	100	1	1	0,1	Automobilis	inV	+	Sf, E
2	Greitis	10	1	1	0,01	Automobilis	inV	+	Sf, E
3	Primini mai	1	1	1	0,001	Telefonas	V2M	-	E
4	Nuostat os	1	1	1	0,001	Telefonas	V2M	+	E
5	Eismo informa cija	10	3	1	0,03	Kiti automobiliai institucijos, aplinka	V2I, V2V, V2M	+	Sf
6	Įspėjim ai	1000 įvykiais grindžia- mas	3	1	3	Kiti automobiliai institucijos, aplinka	V2I, V2V, V2M	-	Sf

7	Sąveika su kitais automobiliais	1000 įvykiais grindžiamas	12	1	12	Aplinka	V2I, V2V, V2M	+	Sf, E
---	---------------------------------	---------------------------	----	---	----	---------	---------------	---	-------

Dėl negriežtų energijos suvartojimo apribojimų, siūlomoje sistemoje gali būti panaudota daugiau sudėtingų jutiklių (fizinių ir virtualių), kurie sugeneruoja didelius kiekius konteksto duomenų. Duomenys turi būti priimami realiu laiku ir efektyviai saugomi atitinkamose duomenų bazėse. Tam reikalingi inovatyvūs dirbtinio intelekto metodai, gebantys modeliuoti transporto sistemos dinamiką ir su saugumu siejamas situacijas realiu laiku, o multimedija – beveik realiu laiku. Skirtingų jutiklių (fizinių ir virtualių), skirtų konteksto duomenų surinkimui pavyzdys pateiktas 5 lentelėje.

4.3.1. Konteksto duomenų naudingumo įvertinimas

Kuriant automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipą, įgalinantį sumažinti perduodamos nenaudingos konteksto informacijos kiekį automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant konteksto duomenų kokybės, tinklo apkrovos mažinimui galima pasitelkti duomenų filtravimo bei agregavimo metodus, tačiau šiuo atveju iškyla klausimas: kaip pasirinkti, kuriuos duomenis perduoti aplinkiniams mazgams, neprarandant duomenų kokybės ir nesumažinant eismo saugumo/įvairialypių paslaugų sistemos efektyvumo? Šių problemos sprendimui galima pasiūlyti intelektualų adaptyvų metodą, kuris įgalintų panaudoti aplinkos konteksto informaciją, įskaitant lokaciją, laiką, aplinką, vartotojo būseną, automobilio dinamiką, informaciją gaunamą iš kitų automobilių, įvertinant tinklo sąlygas, turimus resursus, pagal kuriuos bus priimami duomenų paketų formavimo ir perdavimo sprendimai. Atsižvelgiant į įvardintus aplinkos parametrus, siūloma sudaryti konteksto vertinimo programų sistemos posistemį, kuriame būtų įvertinamas kiekvienos formuojamos, skirtos lokaliai saugojimui, perdavimui kitiems mazgams bei perdavimui į serverį konteksto žinutės naudingumas.

Norint įvertinti kiekvienos duomenų žinutės naudingumą, siūloma lokalaus konteksto naudingumo reikšmę saugoti matricoje (M_L) m duomenų žinučių iš jutiklių (s) (1).

$$M_L = \begin{pmatrix} d_{L_{11}} & d_{L_{12}} & \dots & d_{L_{1n}} \\ d_{L_{21}} & d_{L_{22}} & \dots & d_{L_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{L_{l1}} & d_{L_{l2}} & \dots & d_{L_{ln}} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Nuspėjamas konteksto duomenų žinutės naudingumas pasveriamas funkcijos, kuri priskiria vertę kiekvienai jutiklio (s_n) duomenų žinutei (m_l). Ši vertė apskaičiuojama pagal sekančią formulę (2):

$$d_{L_{ij}} = (Ty_j + H_j + Ex_j) m_i cr_i Pr_i, i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

kur Ty yra konteksto duomenų tipas intervale [1, 2, 3] (1 – komforto, 2 – komforto ir saugumo, 3 – saugumo). H yra parametras intervale [0, 1], rodantis ar žinutė turėtų būti saugoma ilgesniam laikui, kaip istorinė (1) ar ne (0). Ex yra parametras intervale [1-4], rodantis duomenų apsikeitimo sritį (1 – V2M, 2 – InV, 3 – V2I, 4 – V2V), cr yra duomenų žinutės sugeneravimo koordinatės. Žinutės prioritetas Pr yra apskaičiuojamas pagal $Pr_j = 1 + \frac{I_j}{A_j}$ ir normalizuotas į nustatytą intervalą [1, 2,

3], kur 3 reiškia, kad žinutės prioritetas yra kritinis ir ji privalo būti išsiųsta nedelsiant bei išsaugota atitinkamoje DB, 2 reiškia, kad žinutė turi vidutinį prioritetą, o 1 reiškia,

kad žinutė nėra svarbi ir galėtų būti atmetama. I_j yra žinutės svarba nustatytaime intervale $[0, 1]$ kur 1 yra su saugumu susijusi žinutė, o 0 su komfortu/informavimu. A_j yra žinutės amžiaus funkcija su normalizuotomis reikšmėmis nustatytaime intervale $[1, 2, 3]$, kuri apskaičiuojama, pagal (3), kur T_M yra skirtumas tarp dabartinio ir žinutės sukūrimo laiko.

$$A = \begin{cases} 1, & \text{if } T_M > 5s \\ 2, & \text{if } 1 < T_M < 5s \\ 3 & \text{if } T_M < 1s \end{cases} \quad (3)$$

Kad sumažinti perduodamų duomenų kiekį kitiems automobiliams ir pasiekti geresnį efektyvumą, siūloma konteksto naudingumo reikšmę saugoti matricoje (M_O), l duomenų žinučių (m), skirtų n automobilių (v) (4).

$$M_O = \begin{pmatrix} d_{o_{11}} & d_{o_{12}} & \dots & d_{o_{1n}} \\ d_{o_{21}} & d_{o_{22}} & \dots & d_{o_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{o_{l1}} & d_{o_{l2}} & \dots & d_{o_{ln}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Nuspėjamas konteksto duomenų žinutės naudingumas pasveriamas funkcijos, kuri priskiria vertę kiekvienai žinutei m_l , kurią norima perduoti automobiliui v_n . Ši reikšmė apskaičiuojama pagal formulę (5):

$$d_{o_{ij}} = (Ty_j + Exc_j + Z_j) m_i c_r Pr_i n_i, i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

kur Exc yra specialaus nekonfidencialių duomenų rinkinio parametras intervale $[1-4]$, rodantis duomenų apsikeitimo sritį (1 – $V2M$, 2 – InV , 3 – $V2I$, 4 – $V2V$), n nurodo kooperuojančių automobilių skaičių klasteryje, Z – komunikacijos kanalo kokybės nuspėjimo rodiklis, apskaičiuojamas pagal:

$$Z_t = \frac{1 + \left(\frac{C_t + D_t}{2} \right)}{Tr} \quad (6)$$

kur C yra kolizijų parametras, apskaičiuojamas pagal $C = 1 - \left(\frac{1}{1 + c_{t-1}} \right)$, D yra paketų atmetimo parametras, apskaičiuojamas, pagal $D = 1 - \left(\frac{1}{1 + d_{t-1}} \right)$, o Tr yra pralaidumo parametras, apskaičiuojamas pagal $Tr = 1 + \left(\frac{tr_{t-1}}{100} \right)$.

Konteksto duomenys apsikeitimui su hibridiniu VANET debesimi konteksto naudingumo reikšmės yra saugomi matricoje (M_C) l duomenų žinučių (m), skirtų gavėjo esybėms (r) (7):

$$M_C = \begin{pmatrix} d_{c_{11}} & d_{c_{12}} & \dots & d_{c_{1n}} \\ d_{c_{21}} & d_{c_{22}} & \dots & d_{c_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{c_{l1}} & d_{c_{l2}} & \dots & d_{c_{ln}} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Nuspėjamas konteksto duomenų žinutės naudingumas, pasveriamas funkcijos, kuri priskiria vertę kiekvienai žinutei m_l , kurią norima perduoti gavėjo esybei r_n . Vertė apskaičiuojama pagal formulę (8):

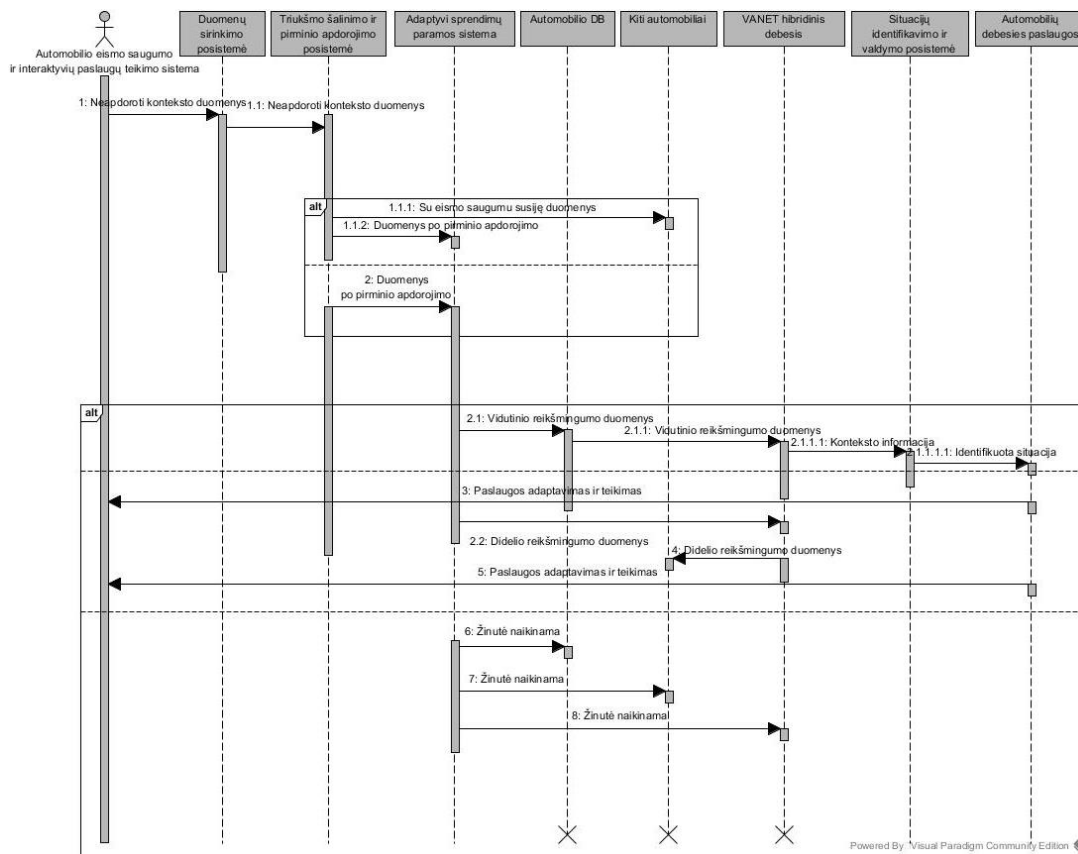
$$d_{c_{ij}} = (Ty_j + Hx_j + Exc_j + Z_j) m_i c_r Pr_i, i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, n \quad (8)$$

kur T_{ye} yra sumažintas parametras T_y intervale $[1, 2]$ (1 – komforto, 2 – komforto ir saugumo), H_x specialaus nekonfidencialių duomenų rinkinio parametras intervale $[0, 1]$, parodantis ar duomenys turi būti saugomi istoriškai.

Siūlomo metodo įvertinimas buvo atliktas vykdant imitacinį modeliavimą bei skaitiniais metodais. Modeliavimas buvo atliekamas paketu *NCTUns*. 1 scenarijuje sudaromas tinklo modelis, kuriame duomenys iš automobilio perduodami į hibridinio VANET debesies DB serverį. Tinklas sudarytas iš DB serverio, 802.11p RSU bei nuo 1 iki 10 802.11p OBU. 2 scenarijuje duomenys perduodami dviem kryptimis: iš automobilių į DB serverį ir iš DB serverio į automobilius. Duomenų perdavimas vykdomas 60s. Naudojama duomenų perdavimo sparta – 27 Mb/s, paketų dydis – 1000 B.

4.3.2. Automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo adaptyvus algoritmas

Gauti ir apdoroti duomenys patikrinami ar susiję su saugumo paslaugomis, jei taip – jie nedelsiant perduodami kitiems automobiliams. Jei ne – duomenys perduodami adaptyviai sprendimų priėmimo sistemai (*DSS*), kur apskaičiuojamas duomenų naudingumas. Jei sprendimų priėmimo sistema nustato, kad duomenys nėra reikšmingi, jie yra ištrinami.

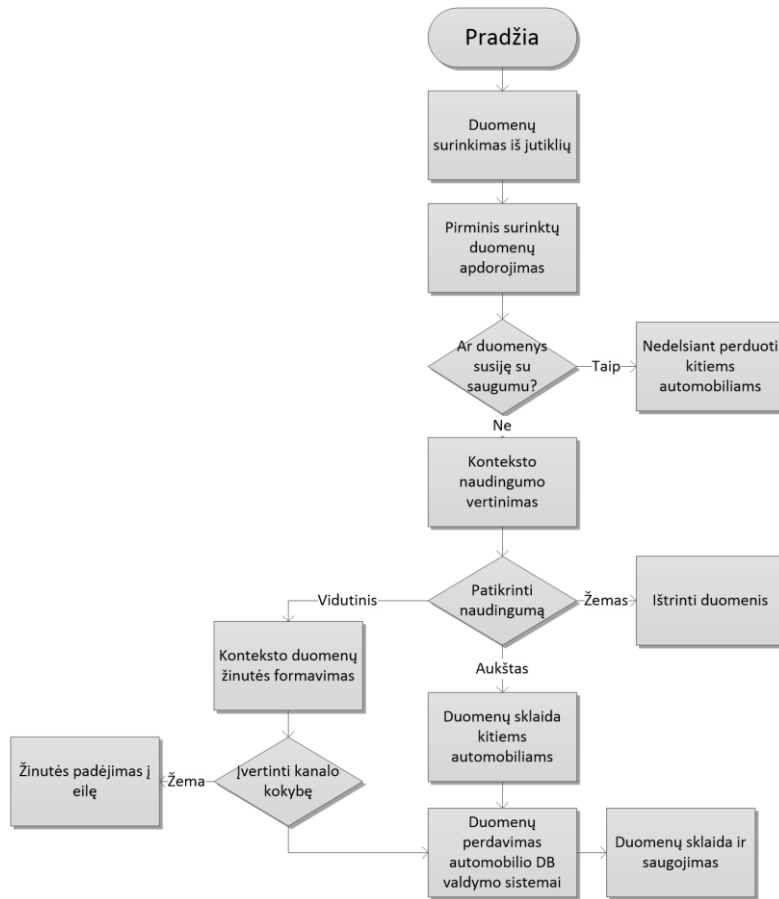


28 pav. Konteksto informacijos surinkimo ir sklaidimo proceso pavyzdys

Fig. 28. Example of context information acquisition and dissemination

Jei duomenys vidutinio reikšmingumo – jie išsaugomi automobilio DB, tuomet patikrinama belaidžio ryšio kanalo apkrova. Jei kanalas apkrautas, žinutė dedama į eilę ir tuo metu neperduodama kitiems vartotojams. Jei kanalas nėra apkrautas – žinutės perduodamos į debesies DB. *DSS* nustatė, kad konteksto duomenys yra

ypač svarbūs, suformuojama žinutė, kuri perduodama į debesies DB, kur ji saugoma, apdorojama ir perduodama kitiems VANET debesies nariams. Konteksto informacijos surinkimo ir sklaidimo proceso pavyzdys pateiktas 28 pav. Iš diagramos matome, kaip apsikeičiama duomenimis tarp sistemos architektūrinių komponentų, bei kaip priimami atitinkami automobilių komunikacijos tinklo valdymo sprendimai: duomenų paketų formavimas, perdavimas ir atmetimas. Platesnis adaptyvių algoritimų ir sistemų kūrimo spektras pateikiamas autoriaus publikacijose (Gricius et al., 2015; Kurmis et al., 2014; Venskus et al., 2015, 2013). Duomenų sklaidimo proceso seka pateikta 29 pav.

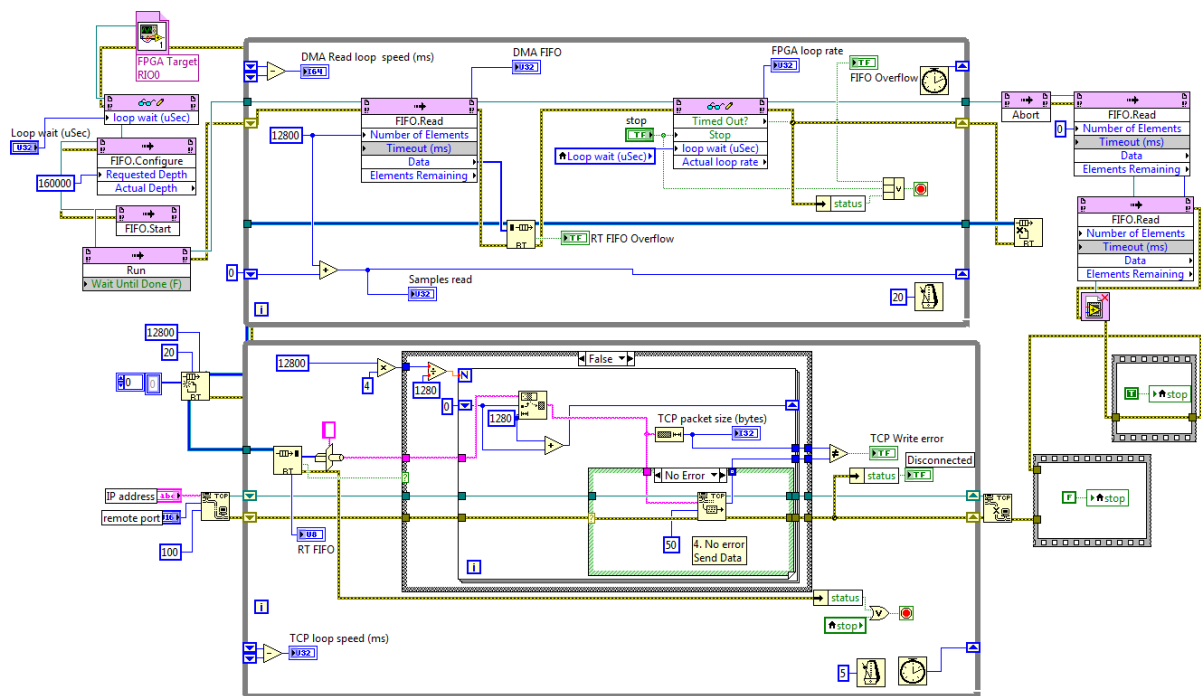


29 pav. Duomenų sklaidos proceso algoritmas

Fig. 29. Dataflow of data dissemination process algorithm

4.3.3. Duomenų apsikeitimo posistemės projektavimas

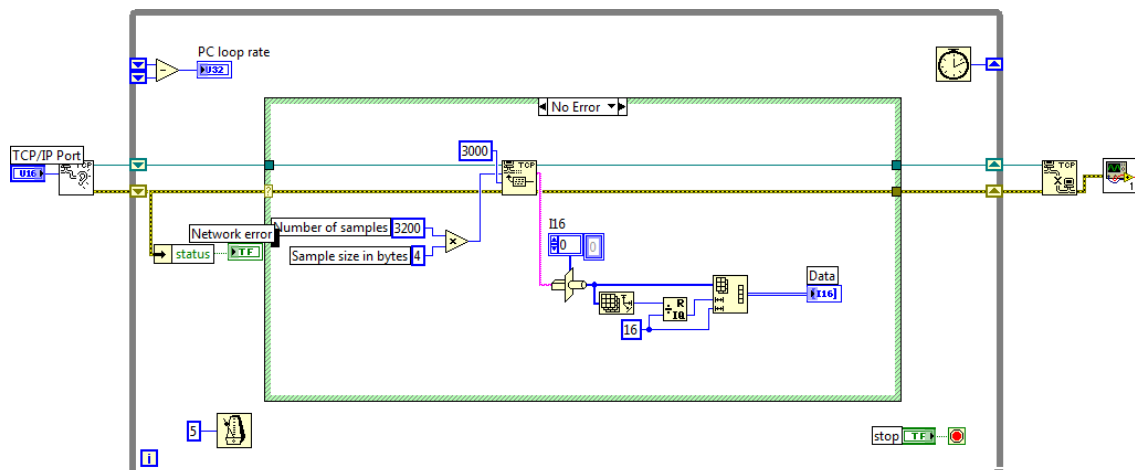
Naudojantis *LabVIEW* grafine programavimo platforma (platesnės šios platformos panaudojimo galimybės pateikiamos autorių publikacijoje (Stankus et al., 2012)), sukurtam metodui patikrinti buvo sudarytas programos prototipas (30 pav.). Duomenys iš skirtingų jutiklių surenkami, naudojantis *cRIO Real-Time* valdikliu. Buvo panaudoti 4 įvesties moduliai, kuriais priimami 16 kanalų konteksto duomenų, 40kS/s vienam kanalui dažniu. Buvo panaudotas *DMA FIFO*, kad perduoti duomenis į realaus laiko valdiklį, kurie tuomet per *RT FIFO* perdavė duomenis į *TCP/IP* steką ir perdavė duomenis tinklu į paskirties kompiuterį.



30 pav. Suprojektuotos signalų priėmimo iš jautiklių programos blokinė diagrama, LabVIEW aplinkoje

Fig. 30. Block diagram of program for signal acquisition from sensors in LabVIEW environment

Konteksto duomenų perdavimui tinklu į pagrindinį PC, buvo sudaryta programa (31 pav.). Buvo atliktas pirminis apdorojimas ir perduotas samprotavimo varikliui, iš kurio apdoroti konteksto duomenys buvo perduoti modeliuojamiems tinklo mazgams (automobiliams) ESTINET modeliavimo aplinkoje. Buvo tiriamos konteksto duomenų perdavimo galimybės mobiliame tinkle.



31 pav. Suprojektuotos, konteksto duomenų perdavimo emuliuojamiems mazgams tinklu programos blokinė diagrama, LabVIEW aplinkoje

Fig. 31. Block diagram of program for context data transfer through network for modelled nodes

4 skyriaus išvados

1. Siekiant išvystyti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipą, integruojant informacijos skleidimo metodus,

grindžiamus daugiakriteriniu informacijos naudingumo vertinimu, buvo sukurta situacijas suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų sistemų projektavimo metodika, realiu laiku įvertinanti išgautą iš aplinkos bei kooperuojančių įrenginių konteksto informaciją, daugiakriterinį šios informacijos naudingumo įvertinimą bei žinių sklaidą tarp kitų mazgų. Sukurta tinklo konfigūravimo metodika, leidžia efektyviau kurti naujas situacijas suvokiančias sistemas, įgalinant efektyviau keistis konteksto informacija.

2. Remiantis sukurta metodika, sukurtas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipas, skirtas situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų adaptyvių sistemų projektavimui, realiu laiku įvertinantis bei praturtinantis konteksto informaciją.

3. Automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipui sukurta bendra automobilių komunikacijos tinklo infrastruktūros valdymo sistemos architektūra.

4. Kuriant kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipą nustatyta, kad tikslinga projektuoti atskirus tris konteksto duomenų valdymo algoritmus: lokaliai saugomiems, perduodamiems kitiems mazgams bei duomenims nukreiptiems į debesų kompiuteriją, todėl pasiūlyti 3 konteksto duomenų saugojimo ir apsikeitimo modeliai, skirti valdyti:

- lokaliai saugomiems duomenims,
- kitiems mazgams perduodamiems duomenims,
- debesų kompiuterijos sistemai perduodamiems duomenims.

5. Sukurti algoritmai leido adaptyviai sumažinti perduodamų nenaudingų duomenų kiekį ir kooperatyviai naudoti kanalo resursus.

5. AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLO TEIKIAMŲ PASLAUGŲ INFRASTRUKTŪROS VALDYMO SISTEMOS PROTOTIPO EKSPERIMENTINIŲ TYRIMŲ REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikiami eksperimentiniai tyrimai, siekiant eksperimentiškai patvirtinti sukurtos automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipo, skirto teikti įvairialypes paslaugas vairuotojams, efektyvumą. Pateikiami sistemos verifikavimo ir testavimo rezultatai, siekiant įrodyti, kad sistema įgalina ženkliai sumažinti perduodamos nenaudingos konteksto informacijos kiekį automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant konteksto duomenų kokybės.

5.1. Pagrindiniai reikalavimai eksperimentiniams tyrimams atlikti

Eksperimentinių tyrimų tikslas – realizuoti automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros konfigūravimo, įvairialypių paslaugų teikimui, sistemos prototipą, integruojantį konteksto informacijos skleidimo metodus, grindžiamus daugiakriteriniu duomenų naudingumo vertinimu ir atlikti eksperimentinius bandymus, įrodančius pasiūlytų priemonių efektyvumą.

Eksperimentiniams suprojektuoto sistemos prototipo veikimo tyrimams atlikti, pasitelkiamos aplinkos ir platformos:

- imitacinio modeliavimo programinė įranga *NCTUns 6.0/Estinet 6.0 - 9.0*;
- modeliavimo aplinka *MATLAB R2015b*;
- duomenų tyrybos platforma *RapidMiner 6.5*;
- grafinio programavimo aplinką *LabVIEW 2015*;
- *Visual Paradigm Community Edition UML* modeliavimo priemonė.

Naudojant skirtingus scenarijus, eksperimentai atlikti, skirtingomis eismo bei mobilumo sąlygomis.

Eksperimentiniai tyrimai atliekami, remiantis 1 skyriuje atlikta belaidžių automobilių komunikacijos tinklų ir įvairialypių paslaugų teikimo metodų taikymo apžvalga, 2 skyriuje išanalizuotais situacijų identifikavimo metodais įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos tinkluose, 3 skyriuje įvertintomis imitaciniams modeliams kurti naudojamomis automobilių komunikacijos tinklų ir teikiamų paslaugų modeliavimo programinėmis priemonėmis bei 4 skyriuje, pateikiama, sukurta automobilių komunikavimu grindžiamų, situaciją suvokiančių sistemų projektavimo metodika.

Eksperimentinių tyrimų eiga

Eksperimentiniai tyrimai suskirstyti į 4 etapus:

Pirmajame etape vykdomi automobilių klasterių sudarymo eksperimentai, kurių metu siekiama eksperimentiškai nustatyti informacijos agregavimui būtinų klasterių sudarymo būdus ir priemones, nustatyti kokius duomenų požymius tikslinga naudoti klasterių sudarymo procese.

Antrajame etape, vykdomi imitacinio modeliavimo eksperimentai, siekiant nustatyti konteksto duomenų apsikeitimo tarp automobilių realiu laiku efektyvumą, kuris yra būtina sąlyga, siekiant teikti įvairialypes paslaugas kintančios topologijos komunikacijos tinkle.

Trečiajame etape, vykdomi paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose eksperimentai bei vertinamas konteksto duomenų perdavimas tarp serverio bei kliento mazgų, naudojant skirtingus duomenų perdavimo protokolus bei analizuojant skirtingus automobilių mobilumo modelius.

Ketvirtajame etape vykdomi sukurto adaptyvaus konteksto informacijos surinkimo ir skleidimo ITS tinkluose metodo efektyvumo įvertinimo eksperimentai, kurių metu tiriamas duomenų perdavimo kanalo kokybės įvertinimas, naudojant daugiasluksnį perceptroną, sprendimų medį, taisyklių išvedimą, naivųjį Bajeso ir kvadratinę diskriminantinę analizę. Pateikiamas šių metodų palyginimas. Vykdomi eksperimentai, siekiant nustatyti konteksto informacijos naudingumo vertinimo metodo efektyvumą.

5.2. Duomenų perdavimo efektyvumo įvertinimo metrikos

Išanalizavus srities literatūrą bei siūlomus sprendimus, tinklo gebėjimui perduoti reikiamo duomenų srauto intensyvumo duomenis ir metodų efektyvumo įvertinimui buvo pasirinktos šios metrikos:

Įvertinamos programinių paketų vykdymo galimos kolizijos. Galimos programinių paketų kolizijos lemia bendrą tinklo spartos sumažėjimą bei gali lemti paketų integralumo praradimą. Dviem ar daugiau mazgų bandant siųsti paketus tuo pačiu metu, gali įvykti kolizija. Žemas kolizijų skaičius lemia gerą tinklo darbo efektyvumą, kuris automobilių komunikacijos tinkluose itin svarbus tiek eismo saugumo, tiek ir multimedija paslaugų teikimui.

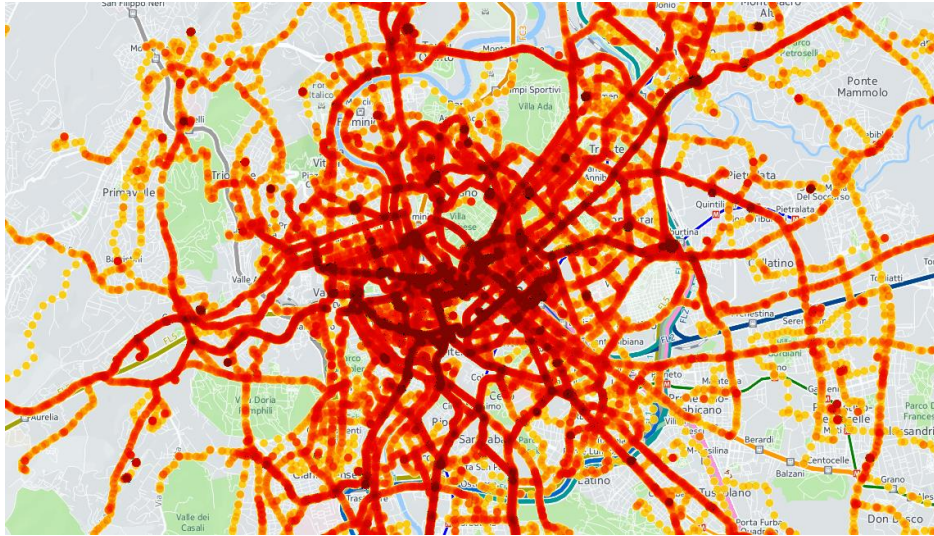
Įvertinamas programinių paketų atmetimo skaičius. Tai paketų kiekis, kurie negali būti sėkmingai perduodami siuntėjo gavėjui ir viename iš mazgų yra atmetami ir sunaikinami. Eismo saugumo paslaugų užtikrinime tai gali turėti reikšmingas pasekmes, kadangi gali būti nepristatytos avarinės žinutės.

Įvertinamas tinklo pralaidumas. Pralaidumas nurodo tinklo efektyvumą, perduodant duomenų paketus. Multimedija paslaugų teikimui, tinklo sparta yra itin svarbi, ypač, perduodant didelio pralaidumo reikalaujančius duomenis: vaizdo, garso medžiagą, IP telefonijai ir kt.

5.3. Automobilių klasterių sudarymo eksperimentų gauti rezultatai

Kadangi klasteriais grindžiamame agregavime, mazgai duomenis agreguoja grupėmis, todėl galima ženkliai sumažinti tarnybinės informacijos kiekius bei padidinti visos sistemos efektyvumą, kadangi yra sumažinamas *VANET* topologijos dinamiškumas. Pagrindinis efektyvaus klasterizavimo rodiklis – santykinai stabili klasterio struktūra, kadangi dažni klasterių pasikeitimai sudaro papildomą komunikacijos kanalų apkrovą, kas sumažina perduodamų duomenų pralaidumą. Efektyvus klasterio dydis susijęs su radijo ryšio nuotoliu bei automobilių tankumu, kuris varijuoja laike. Klasterio struktūra nustatoma, pagal erdvinę priklausomybę, kurią aprašo mobilumo panašumas tarp skirtingų mazgų.

Automobilių klasterių sudarymo eksperimentams vykdyti buvo pasitelktas Romos taksi duomenų rinkinys (Bracciale et al., 2014), kuriame užfiksuotos Romos centre judančių taksi automobilių geografinės koordinatės bei laikas. Duomenys fiksuoti kas 7 s. Naudojant *Android OS Android LocationManager* objektų funkcija *getAccuracy* išfiltruoti duomenys turintys mažesnę nei 20 m tikslumą. Erdvinis automobilių išsidėstymas vizualizuotas pasitelkus priemonę *CartoDB*, pateiktas 32 pav.



32 pav. Automobilių išsidėstymo kelyje vizualizavimas

Fig. 32. Visualization of spatial distribution of vehicles

Atlikus pirminę duomenų analizę nustatytas automobilių judėjimo greitis ir kryptis. Judėjimo greičiui nustatyti, reikia apskaičiuoti atstumą tarp dviejų geografinių koordinatų, išreikštų, kaip ilguma ir platumas. Tam gali būti panaudota plačiai navigacijoje taikoma *Haversine* formulė, leidžianti apskaičiuoti geografinį atstumą tarp dviejų sferinio paviršiaus taškų (9 formulė).

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right) \quad (9)$$

kur ϕ yra ilguma, λ – platumas, r – Žemės spindulys (vidut. = 6371 km).

Kaip parodė eksperimentai, šiems skaičiavimams atlikti sunaudojama sąlyginai daug skaičiavimo resursų ir laiko, todėl nuspręsta naudoti aproksimuotą išraišką, kurioje sferinė Žemė projektuojama į plokštumą (10 formulė). Tokio tipo aproksimacija, šiuo atveju, tik nežymiai sumažina tikslumą, kadangi nagrinėjamas atstumas yra mažas ir sferiškumas neturi didelės įtakos.

$$D = R \sqrt{(\phi)^2 + (\cos(\phi_m) \Delta \lambda)^2}, \quad (10)$$

kur ϕ yra ilguma, λ – platumas, r – Žemės spindulys (vidut. = 6371 km).

Judėjimo kryptčiai nustatyti naudoja sekanti formulė (11):

$$\theta = \text{atan2}(\sin(\Delta \lambda) \cdot \cos \phi_2, \cos \phi_1 \cdot \sin \phi_2 \cdot \cos(\Delta \lambda)) \quad (11)$$

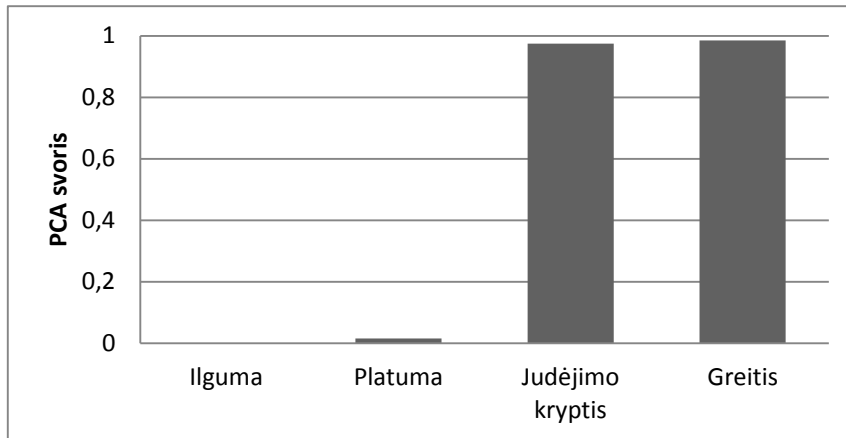
Funkcija grąžina kampą radianais nuo $-\pi$ iki $+\pi$, todėl ši vertė konvertuojama į laipsnius nuo 0 iki 360, pagal sekančią formulę (12):

$$\theta_l = \left(\theta \cdot \frac{180}{\pi} + 360 \right) \% 360 \quad (12)$$

Gautos reikšmės aproksimuojamos į aibę $k = \{1, \dots, 8\}$.

Sekančiame žingsnyje, atliekamas automobilių klasterizavimas, pagal nustatytus požymius. Dėl sistemos greitaveikos, klasterizavime apsiribojama 4 požymiais. Siekiant dar padidinti sistemos greitaveiką, siekiama dar sumažinti požymių skaičių, juo atrenkant, taikant principinių komponentų analizę (angl. *Principal Component Analysis - PCA*). *PCA* yra daugiamatis metodas, skirtas suprojektuoti duomenims į sumažintą erdvę, aprašomą ortogonaliais principiniais komponentais, kurie originalių kintamųjų tiesinės kombinacijos. Tokiu būdu, gali būti

sumažinamas duomenų dimensiškumas bei triukšmas. Tai vienas iš dažniausiai taikomų neprižiūrimos duomenų analizės metodų (Ballabio, 2015).

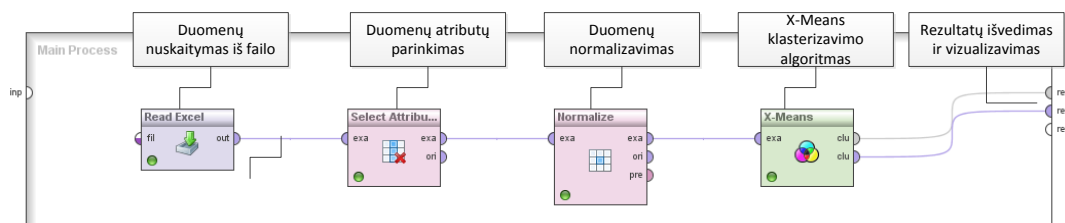


33 pav. Klasterizavimo požymių įvertinimas, naudojant principinių komponentų analizę

Fig. 33. Clusterization attributes weighting using principal component analysis

Pritaikius šį metodą turimiems normalizuotiems eksperimentų duomenims, nustatyta, kad automobilių klasterizavimui tikslinga naudoti tik judėjimo krypties ir greičio požymius (33 pav.). Automobilio judėjimo kryptis bei greitis apskaičiuojami, remiantis kiekvieno automobilio ilguma ir platuma bei jų pokyčiais laike, todėl šie kintamieji koreliuoja. Tą patvirtina ir gautieji rezultatai, todėl galutinis klasterizavimas, šio eksperimento rėmuose, atliekamas remiantis tik judėjimo krypties ir greičio informacija. Neatmetama, kad klasterizavimui, pagal kitus požymius automobilio geografinės koordinatės turėtų kitokią įtaką. Bet kuriuo atveju, automobilius klasterizuoti pagal geografinę padėtį nėra tikslinga, kadangi tiek RSU, tiek kiekvienas P2P tinklo mazgas, turėdamas savo koordinatę bei žinodamas efektyvią duomenų perdavimo aprėptį gali išfiltruoti savo klasterio atitinkamus mazgus, kuriems tikslinga perduoti informaciją.

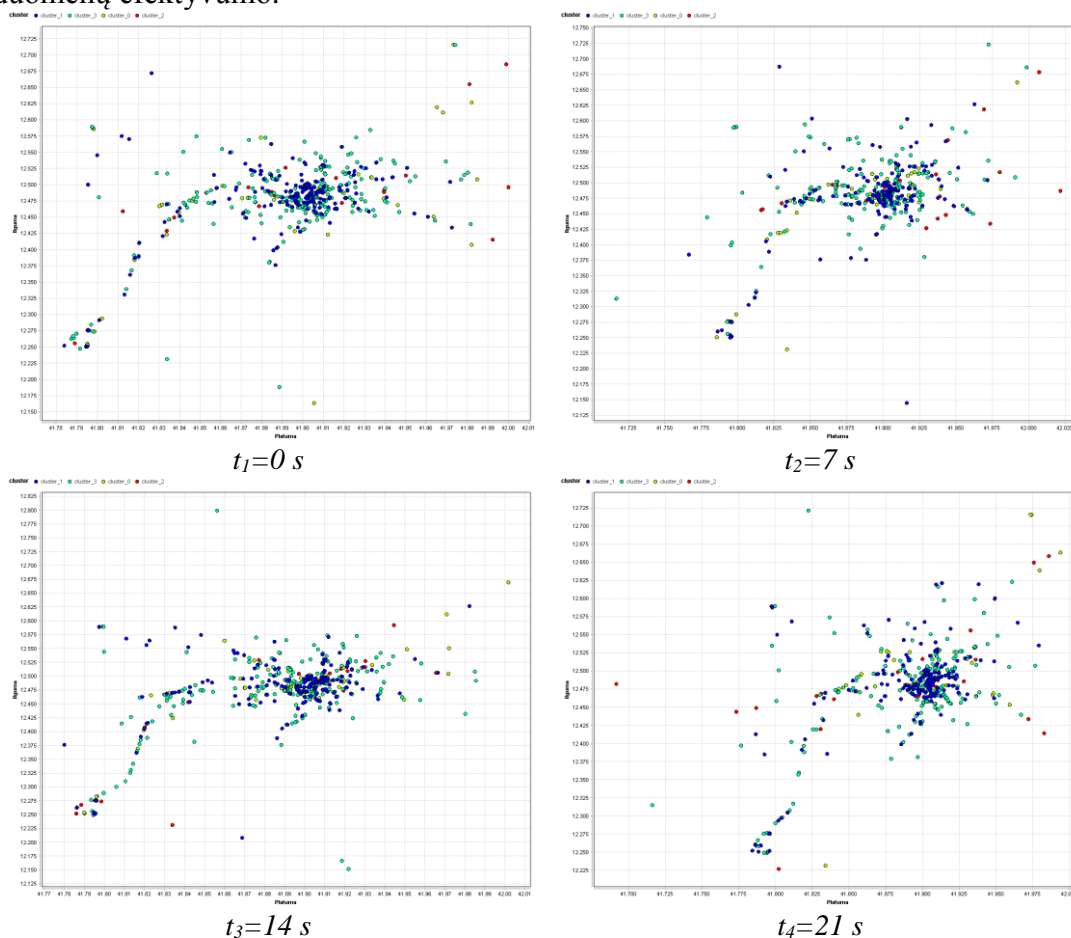
Atlikus eilę eksperimentų, automobilių klasterizavimui pasirinktas X-Means klasterizavimo algoritmas. Šis algoritmas – tai patobulinta gerai žinomo klasterizavimo algoritmo k-means versija, leidžianti iš anksto nenurodyti klasterių skaičiaus. Nustačius klasterizavimo atributus, sudaromas X-Means klasterizavimo eksperimento modelis RapidMiner 6.5 priemonėje (34 pav.). Pagrindiniai nustatyti X-Means klasterizavimo algoritmo parametrai: minimalus klasterių skaičius ($k_{min}=2$), maksimalus klasterių skaičius ($k_{max}=60$), matavimo tipas – skaitiniai matavimai, skaitinio matavimo metodas – Euklido atstumas, maksimalus vykdymo skaičius – 10, maksimalus optimizavimo žingsnių skaičius – 100.

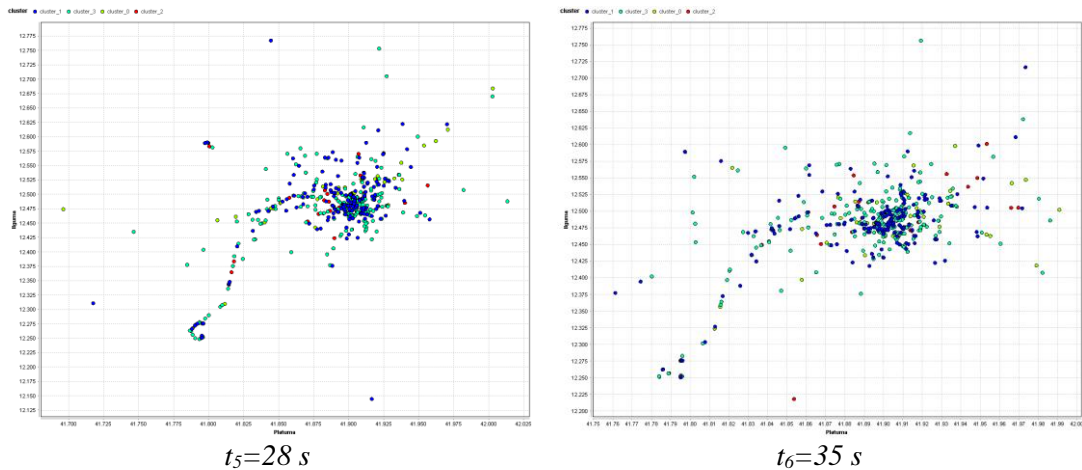


34 pav. Sudarytas X-Means klasterizavimo eksperimento modelis RapidMiner 6.5 priemonėje

Fig. 34. Developed model of clustering experiment using RapidMiner 6.5

Automobilių klasterių sudarymo rezultatai pateikti 35 pav. Skirtingiems klasteriams priskirti mazgai, pavaizduoti skirtingomis spalvomis. Mazgų erdvinis išsidėstymas, atvaizduojamas, pagal GPS koordinatas. Grafikuose atvaizduojamas klasterių kitimas laiko atžvilgiu. 35 pav. grafikuose $a - f$ klasteriai vaizduojami 7 s intervalu. Vykdam algoritmą buvo nustatyti 4 klasteriai. Iš grafikų galima matyti, kad klasterių struktūra santykinai stabili, nevyksta dažni klasterių pasikeitimai, kas leidžia išvengti papildomos komunikacijos kanalų apkrovos, bei nesumažina perduodamų duomenų efektyvumo.





35 pav. Automobilių klasterių sudarymo rezultatai skirtingais laiko momentais $t_1 - t_6$

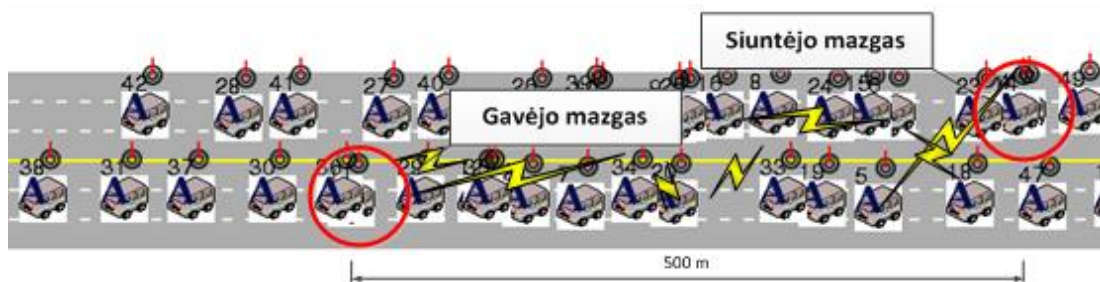
Fig. 35. Results of vehicle clusters formation at time moments $t_1 - t_6$

5.4. Konteksto duomenų apskaitimo tarp automobilių realiu laiku, modeliavimo rezultatai

Tam, kad nustatyti, kokią įtaką ryšio pajėgumams turi automobilių skaičius, buvo atlikta eilė eksperimentų, kurių tikslas buvo nustatyti duomenų perdavimo efektyvumą, teikiant daugialypės terpės paslaugas automobilių komunikacijos tinkle, siuntėjo ir gavėjo mazgams judant dideliu greičiu priešingomis kryptimis.

Modeliavimas buvo atliktas *ESTINET 8.0* (S. Wang, Huang, 2012) aplinkoje. Ši aplinka buvo pasirinkta, kadangi ji naudoja realų *Fedora Linux TCP/UDP/IP* protokolų steką, užtikrina auštą rezultatų patikimumą, gali būti naudojama su bet kuria *Unix* programa modeliuojamame mazge be jokių modifikacijų, palaiko *802.11 a/b/p* komunikacijos tinklų ir automobilių mobilumo modeliavimą, turi vartotojui draugišką grafinę aplinką ir užtikrina pakartotinius modeliavimo rezultatus.

Konteksto duomenų apskaitimo tarp automobilių eksperimento modelio parametrai pateikti 6 lentelėje. Pagal šiuos parametrus sudarytame eksperimento scenarijuje (36 pav.), mazgas (4) siunčia duomenis mazgui (11). Komunikacija užtikrinama *802.11b* standartu, naudojant daugiašulį duomenų perdavimo metodą.



36 pav. Konteksto duomenų apskaitimo tarp automobilių realiu laiku eksperimento scenarijus

Fig. 36. Experimental scenario of context data exchange in real time

Eksperimentai buvo atliekami, mazgų skaičiui tinkle kintant nuo 10 iki 100, tokiu būdu, modeliuojamas skirtingas eismo intensyvumas ir kokią įtaką jis turi duomenų perdavimo efektyvumui. Siuntėjo ir gavėjo mazgai juda dideliu greičiu (130 km/h) priešingomis kryptimis. Kiti automobiliai juda skirtingu greičiu varijuojančiu nuo 90 km/h iki 150 km/h, o jų greitis ir trajektorijos pasiskirsčiusios tolygiai. Šie

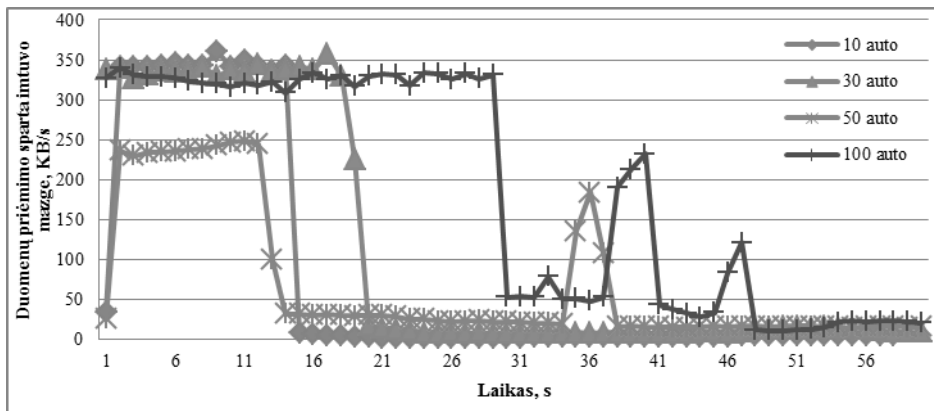
parametrai pasirinkti, siekiant modeliuoti realistišką automobilių judėjimą greitkelio sąlygomis. NCTUns/Estinet aplinkoje sudaryto modelio kodo fragmentas pateiktas 3 priede.

6 lentelė. Konteksto duomenų apsikeitimo tarp automobilių eksperimento modelio parametrai

Table 6. Parameters of experimental model for context data exchange between vehicles

Parametras	Reikšmė
Modelio veikimo trukmė	60 s
Fizinio sluoksnio protokolas	802.11b
Mazgų skaičius	nuo 10 iki 100
Mazgų mobilumo modelis	Atsitiktinio judėjimo, greitkelio
Kanalo dažnis	2,4 GHz
Maršrutų parinkimo protokolas	AODV

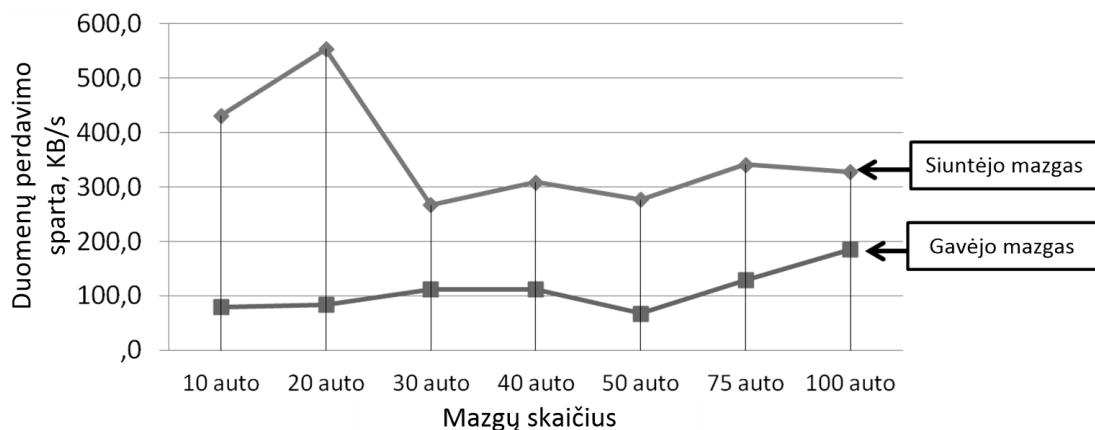
Eksperimentų metu surinktų duomenų analizė parodė duomenų priėmimo spartos kitimą laike, esant skirtingam mazgų skaičiui (37 pav.). Iš grafiko matome, kad ilgiausia komunikacija buvo užtikrinama, esant didžiausiam mazgų skaičiui – 100. Esant maksimaliam mazgų skaičiui, tinklo aprėptis padidėja, todėl duomenys gali būti perduodami ilgesnį laiko tarpą. Su 100 automobilių ir apie 330 KB/s duomenų perdavimo sparta, komunikacija buvo išlaikoma 30 s. Nuo 31 s duomenų perdavimo sparta sumažėjo iki 50 KB/s, tačiau nuo 37 s iki 41 s – pakyla iki 230 KB/s, o nuo 46 s iki 48 s – iki 130 KB/s. automobiliams pravažiavus vienas kitą ryšys prarandamas. Minimali duomenų perdavimo sparta pasiekama, tinkle veikiant 50 automobilių. Taip pat, šiuo atveju, užtikrinamas trumpiausias komunikacijos laikas. Esant nedideliam mazgų skaičiui (10-30), užtikrinama aukšta duomenų perdavimo sparta, dėl mažo kolizijų skaičiaus.



37 pav. Duomenų priėmimo spartos pokyčiai laike, tinkle veikiant skirtingam skaičiui Ad-Hoc mazgų

Fig. 37. Variation of throughput in time with different number of network nodes

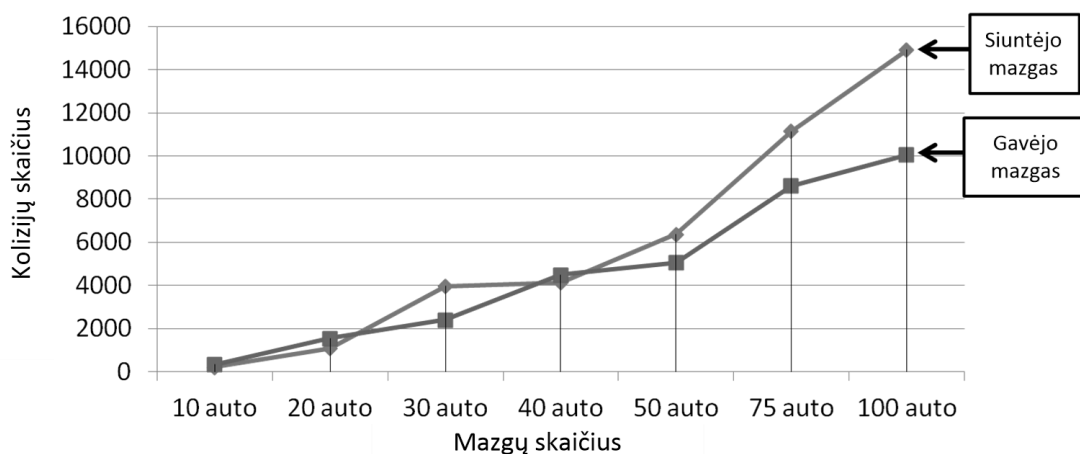
Eksperimentų metu buvo nustatytos vidutinės duomenų priėmimo ir išsiuntimo spartos (38 pav.). Šiuo atveju didžiausia vidutinė duomenų perdavimo sparta buvo pasiekta tinkle komunikuojant 20 automobilių, mažiausia – 30. Maksimali vidutinė duomenų priėmimo sparta – komunikuojant 100 automobilių; mažiausia – 50 automobilių.



38 pav. Vidutinė konteksto duomenų išsiuntimo ir priėmimo sparta, esant skirtingam mazgų skaičiui tinkle

Fig. 38. Average context data incoming and outgoing throughput using different number of network nodes

Buvo tiriama kolizijų skaičiaus priklausomybė siuntėjo ir gavėjo mazguose, nuo skirtingo mazgų skaičiaus (39 pav.). Nustatyta, kad kolizijos tiesiogiai priklauso nuo komunikuojančių automobilių skaičiaus. Iki 40 automobilių kolizijų skaičius siuntėjo ir gavėjo mazguose yra apylygis, tačiau nuo 50 automobilių – kolizijų daugiau siuntėjo mazge, dėl galimai, netinkamai veikiančių kanalo prieigos mechanizmų. Platesnė informacija publikacijoje (Kurmis et al., 2011; Kurmis, Dzemydiene, et al., 2012; Kurmis, Dzemydienė, et al., 2013).



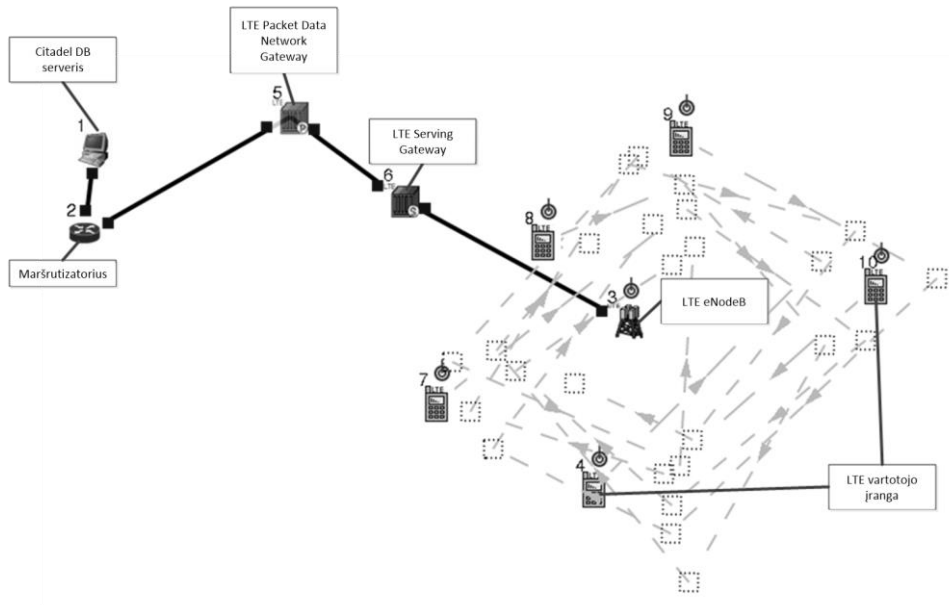
39 pav. Kolizijų skaičiaus siuntėjo ir gavėjo mazguose priklausomybė nuo mazgų skaičiaus tinkle

Fig. 39. Collisions dependence from different number of nodes in sending and receiving nodes

5.5. Paskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose emuliacijos rezultatai

Bandymai buvo atlikti sukurtame sistemos prototipe, susidedančiame iš modeliavimo aplinkos *ESTINET 8.0* (S. Wang, Huang, 2012), Citadel duomenų bazės bei *LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC)* modulio. Pastarasis modulis yra *LabVIEW* programavimo aplinkos plėtinys, leidžiantis kurti įrangos

automatikos ir kontrolės sistemos (SCADA) bei didelio kanalų skaičiaus duomenų surinkimo programos.

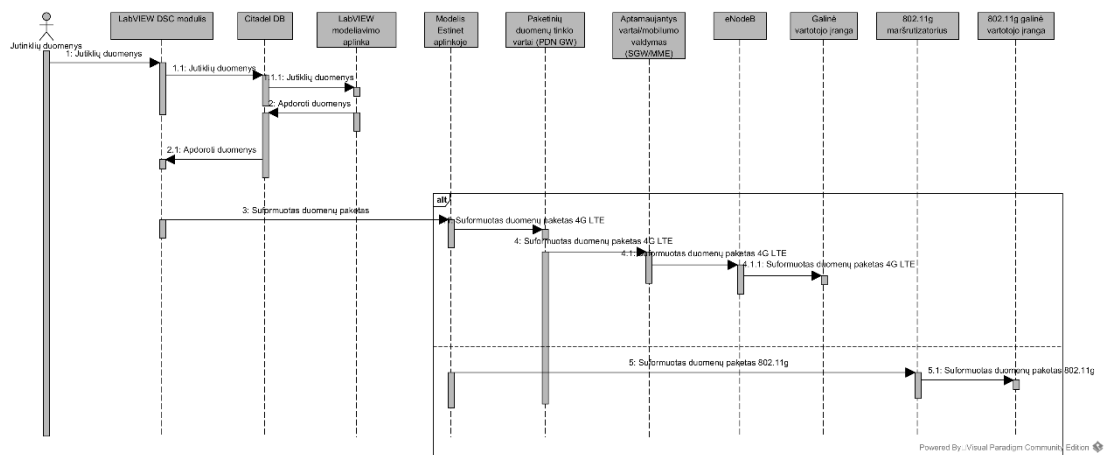


40 pav. 4G LTE tinklo modeliavimo scenarijus

Fig. 40. Modelling scenario of 4G LTE network

Pateikiami įrankiai komunikacijai su programuojamais loginiais valdikliais bei duomenų saugojimo duomenų bazėse valdymo sistema. Naudojantis šiuo moduliu, surinkti duomenys perduodami į *Citadel* duomenų bazę, kur yra istorinė duomenų bazė, leidžianti kurti, valdyti bei vizualizuoti įvesties/išvesties duomenis, gautus iš *LabVIEW Datalogging and Supervisory Control (DSC)* modulio.

1 eksperimento scenarijuje (40 pav.), sudarytas tinklo modelis, kuriame sukurtas programinių ir sisteminių priemonių, integravimo algoritmas (41 pav.), skirtas automobilių judėjimo, tinklo mobilumo tikėtinių predikatų reikšmių, užtikrina konteksto duomenų iš serverių su veikiančia paskirstyta *Citadel* duomenų bazė, per *LabVIEW DSC* modulį perdavimą į 4G LTE tinklo mobiliuosius mazgus. Modeliuojamas 4G LTE tinklas susideda iš 4 tipų mazgų: paketinių duomenų tinkle vartų (angl. *Packet Data Network gateway (PDN GW)*); aptarnaujančių vartų/mobilumo valdymo (angl. *serving gateway/Mobility Management Entity (SGW/MME)*); *eNodeB* bei vartotojo galinės įrangos. Antrame eksperimento scenarijuje, kur tie patys duomenys perduodami mobiliesiems mazgams, komunikacija užtikrinama 802.11g protokolu.



41 pav. Programinių ir sisteminių priemonių, automobilių judėjimo, tinklo mobilumo tikėtinių predikatų reikšmių, konteksto duomenų surinkimo ir sklaidimo valdymo sistemos verifikavimui, integravimo algoritmas

Fig. 41. Algorithm of integration of program and system tools for vehicle movement and probable network mobility predicates for context data acquisition and dissemination control system verification

Sudarant eksperimento modelį, buvo išanalizuoti modeliui reikalingi parametrai (7 lentelė). Eksperimentai buvo atliekami, tinkle mazgų skaičiui, svyruojant tarp 10 ir 30, modeliuojant skirtingą tinklo apkrovą. Gavėjo mazgai juda vidutiniu 10 m/s greičiu, naudojant atsitiktinio kelio (angl. *Random Waypoint*) mobilumo modelį. Kelio nuostolio modeliu (angl. *Path Loss Model*) pasirinktas *Two Ray Ground* modelis.

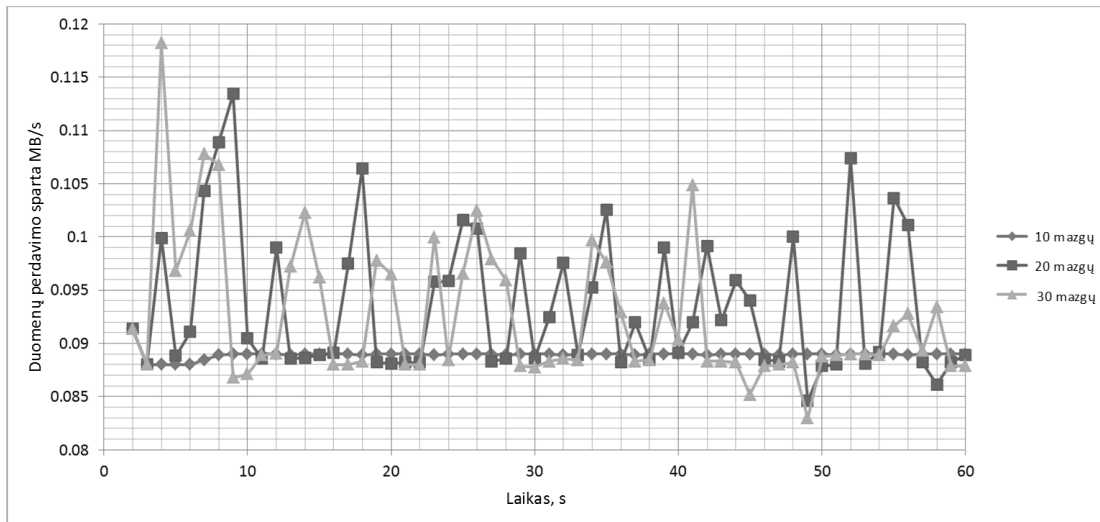
7 lentelė. Išskirstyto konteksto duomenų saugojimo ir prieigos mobiliuose komunikacijos tinkluose modeliavimo scenarijai

Table 7. Scenarios of modelling distributed context data storing and access in mobile communication networks

Parametras		Reikšmė
Modelio veikimo trukmė		60
Mobilumo modelis		Atsitiktinio kelio
Kelio nuostolio modelis (angl. Path Loss Model)		Two Ray Ground
Vidutinis mazgų greitis (m/s)		10
LTE eNodeB (1 scenarijus)	Dažnis (MHz)	2300
	Perdavimo galia (dbm)	43
	Dažnių juostos plotis (MHz)	10
	Imtuvo jautrumas (dbm)	-96
	Antenos aukštis (m)	50
Ricean Factor K (db)		10,0
802.11a (2 scenarijus)	Kanalo numeris	36
	Dažnis (MHz)	5180
	Perdavimo galia (dbm)	16,02
	Imtuvo jautrumas (dbm)	-82,0
Antenos aukštis (m)		1,5

Sukūrus modelius, buvo atlikti eksperimentai, kurių metu fiksuotas duomenų perdavimo efektyvumas (įeinantis ir išeinantis duomenų srautas į/iš *LTE eNodeB*), paketų pametimas ir kolizijos, tinkle veikiant skirtingam skaičiui vartotojų įrenginių. Duomenys buvo perduodami, naudojant *TCP* protokolą su 1000 baitų dydžio paketais. Modelis veikė 60 s. Išanalizuoti rezultatai rodo duomenų pralaidumą *LTE eNodeB* mazge su skirtingu skaičiumi vartotojų (42 pav.). Esant 10 vartotojų mazgų, duomenų

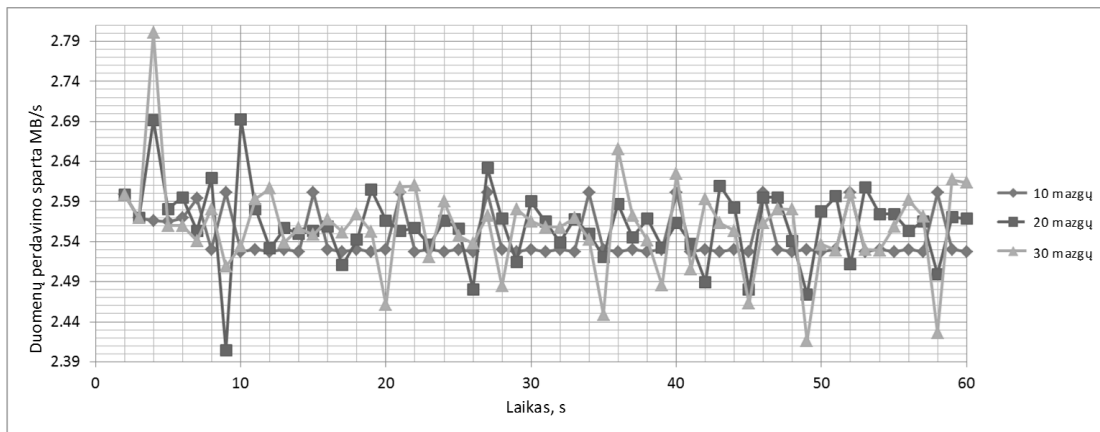
srautas buvo stabilus, vidutiniškai 0,089 MB/s. Tinkle veikiant 20 ir 30 mazgų, duomenų perdavimo sparta, atitinkamai, svyravo apie 0,094 ir 0,092 MB/s.



42 pav. Duomenų perdavimo sparta LTE eNodeB išėjime su skirtingu skaičiumi klientų

Fig. 42. Throughput of data transfer in LTE eNodeB output using different number of clients

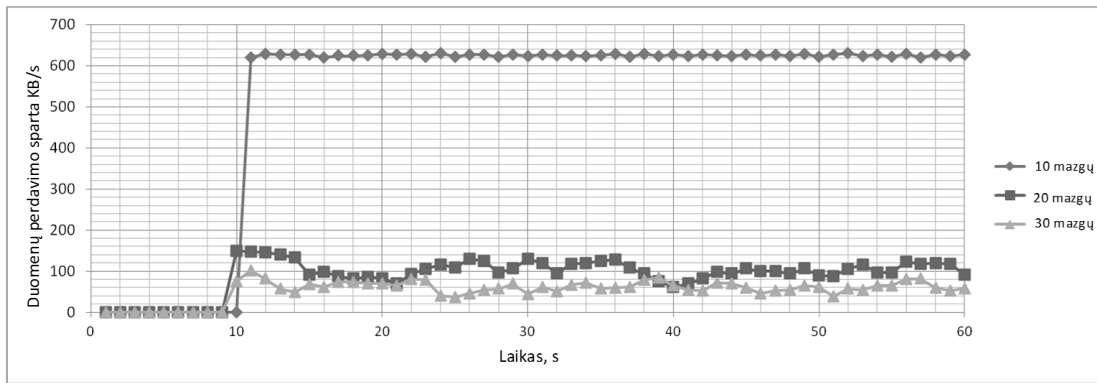
Panaši analizė buvo atliekama ir vertinant duomenų pralaidumą LTE eNodeB įėjime (43 pav.). Rezultatai panašūs į išvesties duomenų perdavimo spartą. Veikiant 10 mazgų vidutinė duomenų perdavimo sparta buvo 2,544 MB/s, 20 mazgų – 2,56 MB/s, o 30 mazgų – 2,56 MB/s. Galima matyti, kad nedidelis skaičius vartotojo mazgų neturi ženklios įtakos duomenų perdavimo spartai.



43 pav. Duomenų perdavimo sparta LTE eNodeB įėjime su skirtingu skaičiumi klientų

Fig. 43. Throughput of data transfer in LTE eNodeB input using different number of clients

Kiti eksperimentai buvo atliekami, komunikacijai naudojant 802.11a protokolą. Šiuo atveju, matoma didžiulė mazgų skaičiaus įtaka duomenų perdavimo spartai. Didžiausia duomenų perdavimo sparta pasiekama su 10 mazgų. Mazgų skaičiui didėjant – tinklo pralaidumas krenta (44 pav.).



44 pav. Duomenų perdavimo sparta 802.11a mobiliuose mazguose su skirtingu skaičiumi klientų

Fig. 44. Data throughput in 802.11a mobile nodes with different number of nodes

Sukurtas, debesų kompiuterija grindžiamas sprendimas, paskirstytam jutiklių duomenų saugojimui bei prieigai mobiliuose komunikacijos tinkluose, leidžia pasiekti konteksto informaciją reikiamoje vietoje, reikiamu laiku. Sukurtoje sistemoje, naudojama sluoksniuota debesų kompiuterijos architektūra, kur *IaaS* sluoksnyje užtikrinama nuotolinė prieiga prie sisteminių resursų, suteikiant didelės greitaveikos duomenų surinkimo paslaugą, duomenų pirminį apdorojimą ir signalų saugojimą. Naudojantis *PaaS* sluoksniu, suteikiama automobilio duomenų bazių valdymo platforma, nukreipianti saugojamų duomenų srautus į atitinkamas išskirstytas DB, pagal praturtintus konteksto informacijos duomenis, šiuo atveju – saugojimas komforto/informavimo DB, saugumo DB bei informacijos skleidimo kitiems mazgams DB. *SaaS* sluoksniu aprūpina signalų apdorojimo programomis, suteikiamomis, kaip paslauga. Modeliavimo rezultatai parodė, kad sprendimas užtikrina pakankamą efektyvumą, kad būtų įdiegtas į konteksto duomenų apdorojimo sistemą. Išsamiau, kitu aspektu, šių rezultatų analizė pateikiama autoriaus darbe (M. Kurmis et al., 2013).

5.6. Konteksto informacijos surinkimo ir adaptyvios skleidimo ITS tinkluose metodo efektyvumo įvertinimas

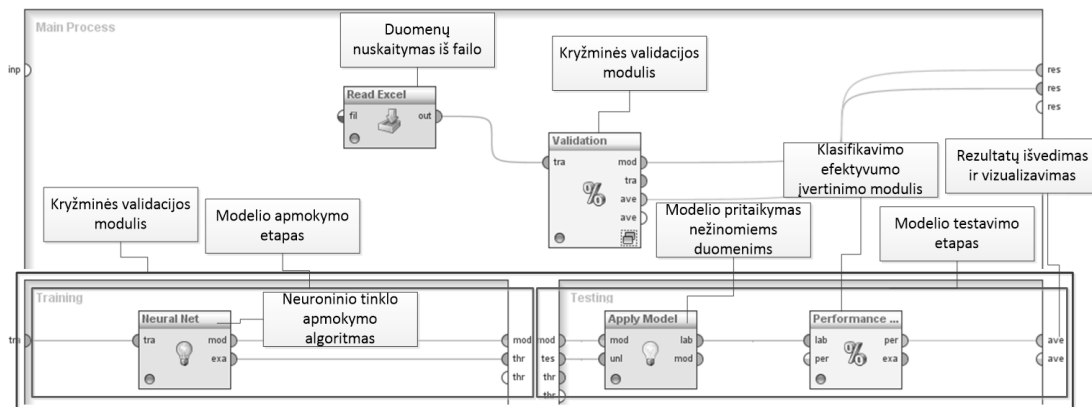
Siekiant padidinti informacijos naudingumo įvertinimo greitaveiką, išvengiant perteklinių skaičiavimų, nuspręsta kanalo kokybės valdymą ir vertinimą atlikti, sprendžiant klasifikavimo uždavinį. Pagal sudarytas kanalo metrikas, įvertinančias duomenų išsiuntimo greitį, kolizijų skaičių, išsiųstų paketų skaičių per laiko vienetą bei atmestų paketų skaičių siuntėjo mazge yra sudaroma apmokymo ir testavimo duomenų imtys. Klasifikavimui naudojami 4 požymiai. Požymiai nustatyti, vykdant eksperimentus *Estinet* imitacinio modeliavimo aplinkoje, esant skirtingam komunikuojančių automobilių skaičiui, judančių pagal skirtingus mobilumo šablonus.

5.6.1. Duomenų perdavimo kanalo valdymo metodų eksperimentiniai tyrimai

Siekiant sukurti efektyvų kanalo valdymo metodą, leidžiantį padidinti kanalo kokybę, buvo sprendžiamas klasifikavimo uždavinys bei atliekami eksperimentai. Buvo vertinami skirtingi klasifikavimo algoritmai, tarp kurių: dirbtiniai neuroniniai tinklai su skirtingu skaičiumi paslėptų neuronų sluoksnių, naivusis Bajeso klasifikatorius, sprendimų medžiai, taisyklių išvedimo metodas bei kvadratinė diskriminantinė analizė. Eksperimentų metu, vertinamas klasifikavimo tikslumas bei Kappa statistika. Vertinant klasifikavimo tikslumą, dažnai, vertinama klaidos kaina, tačiau naudojant vien nepataikytų spėjimų procentines išraiškas galima netiksliai

įvertinti klasifikavimo efektyvumą. Kappa klasifikavimo statistika laikoma patikimesnė, nei įprastas procentinis įvertinimas, kadangi joje atsižvelgiama į teisingą atsitiktinio pasireišimo prognozę (Bendavid, 2008; J. Cohen, 1960; Warrens, 2013).

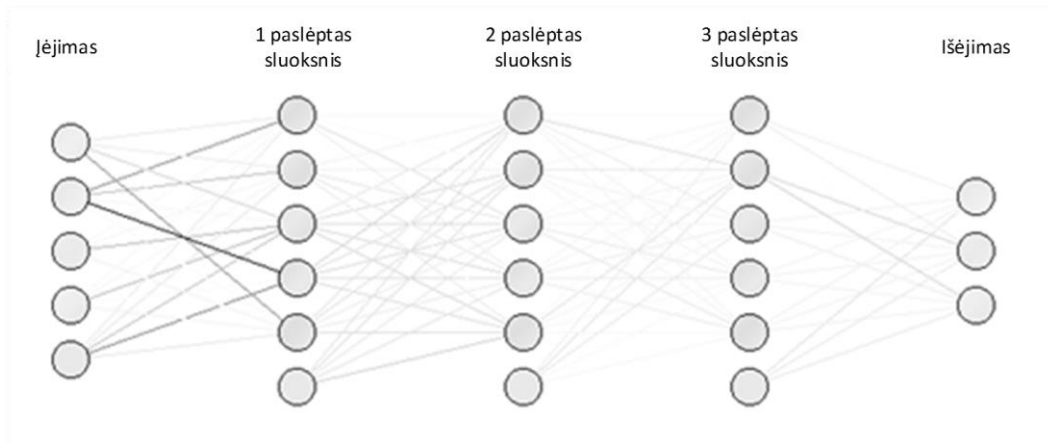
RapidMiner 6.5 priemonėje sudarytas klasifikavimo eksperimento modelis su 10 kartų vykdoma kryžmine klasifikavimo validacija, skirta nustatyti, kaip efektyviai modelis atlieka klasifikavimą su nežinomais duomenimis, pateiktas 45 pav. Paveiksle pavaizduotas sudarytas modelis, kuriame kaip klasifikavimo algoritmas naudojamas dirbtinių neuroninių tinklų metodas. Analogiškai sudaryti ir kiti eksperimentų modeliai, kuriuose naudojami naiviojo Bajeso klasifikatorius, sprendimų medis, taisyklių išvedimo metodas bei kvadratinė diskriminantinė analizė.



45 pav. Sudarytas klasifikavimo eksperimento modelis su kryžmine validacija *RapidMiner 6.5* priemonėje

Fig. 45. Developed model of classification experiment using the cross validation in *RapidMiner 6.5*

Pirmuoju atveju, duomenų perdavimo parametrų klasifikavimui į kanalo kokybės erdvę, naudojamas daugiasluksnis perceptronas. Įėjimo sluoksnį sudaro 4 neuronai. Įėjimus atitinka duomenų išsiuntimo greičio, kolizijų skaičiaus, išsiųstų paketų skaičiaus per laiko vienetą bei atmestų paketų skaičių siuntėjo mazge požymiai. Požymių duomenų imtis gauta vykdant konteksto duomenų apsikaitimo tarp automobilių realiu laiku, modeliavimą (5.3 skyrelis), naudojant 6 lentelėje – „Konteksto duomenų apsikaitimo tarp automobilių eksperimento modelio parametrai“ pateiktus modelio parametrus. Šie duomenys modeliui pateikiami iš sudaryto Excel formato failo. DNT išėjimo sluoksnyje yra 3 neuronai, atitinkantys 3 diskrečias kanalo kokybės vertes, kurios išreikštos lingvistine forma: „gera kanalo kokybė“, „vidutinė kanalo kokybė“, „bloga kanalo kokybė“. Efektyviausias paslėptų sluoksnių skaičius tinkle nustatomas eksperimentiškai, o juose esančių neuronų skaičius nustatomas pagal formulę (požymių skaičius + klasių skaičius) / 2 + 1. Sudaryto daugiasluksnio perceptrono topologija, su trimis paslėptais neuronų sluoksniais, skirta kanalo kokybės įvertinimui, pateikta 46 pav.

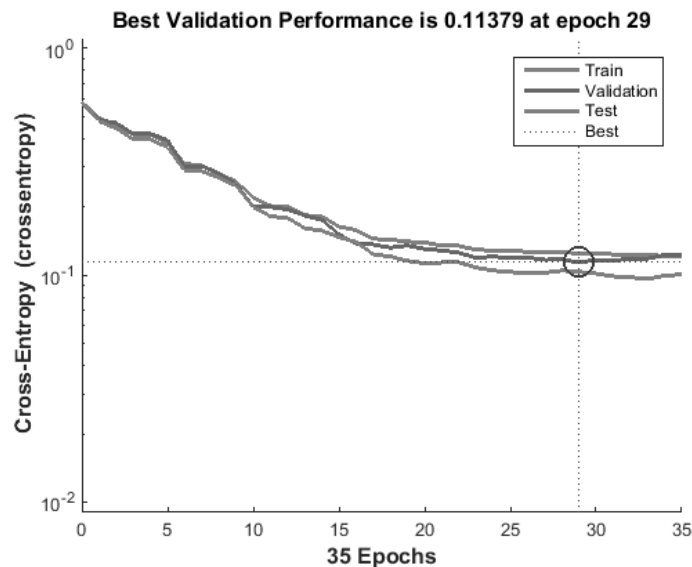


46 pav. *Daugiasluoksnio perceptrono topologija kanalo kokybės įvertinimui*

Fig. 46. *Topology of multilayer perceptron for evaluation of channel quality*

Daugiasluoksnis perceptronas (angl. *Multilayer perceptron (MLP)*) yra tiesioginio sklaidimo dirbtinio neuroninio tinklo modelis, priskiriantis įėjimo duomenų imtį tinkamam išėjimui. Daugiasluoksnį perceptroną sudaro keletu lygių išdėstyti kryptinio grafo mazgai, kur kiekvienas sluoksnis sujungtas su sekančiu sluoksniu. Kiekvienas mazgas yra neuronas (išskyrus įvesties) su netiesine aktyvavimo funkcija. Tinklo apmokymui naudojamas atgalinio sklaidimo algoritmas. Eksperimentų metu, kaip aktyvavimo funkcija naudota sigmoidinė funkcija. Tinklui apmokyti naudota 700 mokymo ciklų, mokymo koeficientas (angl. *Learning rate*) – 0,3. Impulso vertė (angl. *momentum*), leidžianti išvengti lokalių maksimumų, pridedanti dalį prie ankstesnio svorių atnaujinimo – 0,2.

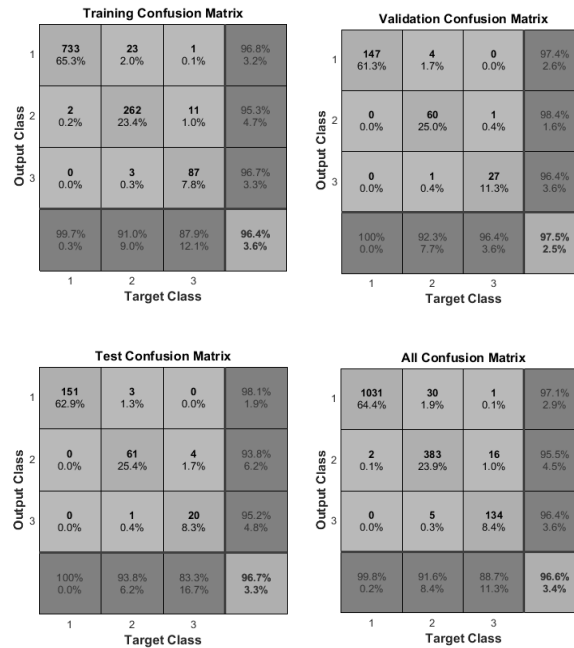
Daugiasluoksnio perceptrono apmokymo efektyvumas, įvertinant kryžminę entropiją pateiktas 47 pav. Iš grafiko matome, kad geriausias validavimo efektyvumas pasiekiamas 29 mokymo epochoje, kurio kryžminės entropijos vertė – 0,11379.



47 pav. *Daugiasluoksnio perceptrono apmokymo efektyvumas, įvertinant kryžminę entropiją*

Fig. 47. *Efficiency of training of the multilayer perceptron by evaluating cross-entropy*

48 pav. pateikta daugiasluksnio perceptrono apmokymo, validavimo ir testavimo matrica, kurioje matomas modelio efektyvumas, naudojant apmokymo, validavimo ir testavimo duomenų imtis.



48 pav. Daugiasluksnio perceptrono apmokymo, validavimo ir testavimo matrica

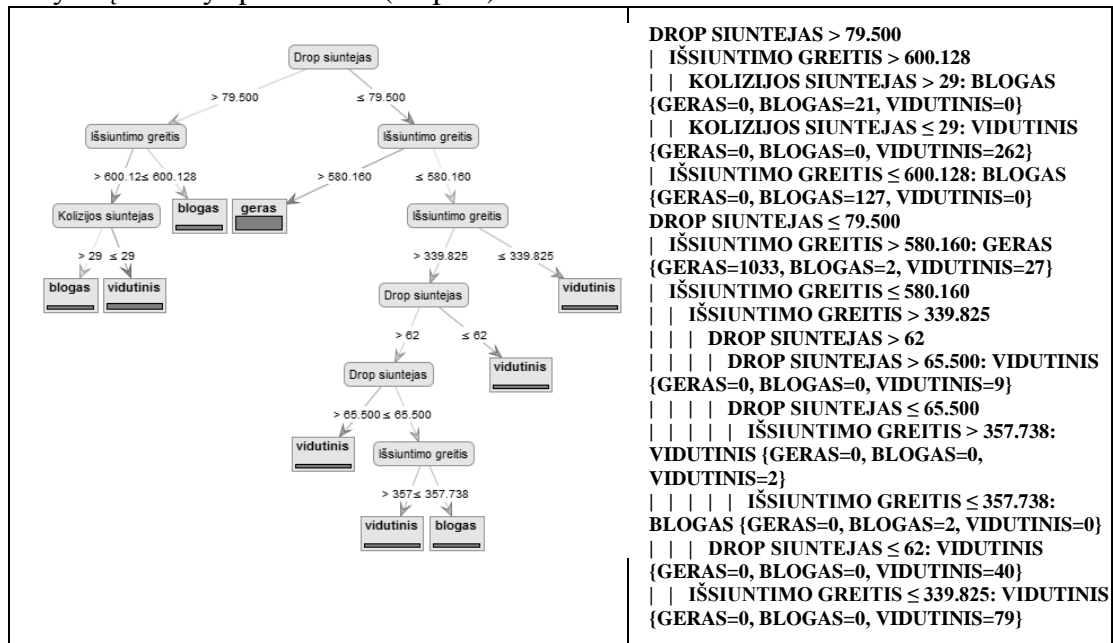
Fig. 48. Confusion matrix of training, validation and testing of the multilayer perceptron

Atgalinio sklaidimo algoritmas – tai prižiūravimo mokymosi metodas, kuris gali būti padalintas į du etapus: sklaidimo ir svorių atnaujinimo. Šie etapai kartojami, kol pasiekiamas pakankamas tinklo efektyvumas, t. y. gradientiniu optimizavimo metodu minimizuojama nuostolių funkcija. Tokiu būdu algoritmas koreguoja kiekvienos jungties svorius, kartodamas procesą pakankamą skaičių mokymo ciklų.

Sekantys eksperimentai, siekiant įvertinti duomenų perdavimo kanalo kokybę, buvo atlikti, naudojant sprendimų medžio, taisyklių išvedimo ir kvadratinės diskriminantinės analizės klasifikavimo metodus. Naudojantis *RapidMiner 6.5* duomenų tyrybos priemone, sudarytas klasifikavimo eksperimento modelis, naudojant tuos pačius duomenis, kaip ir daugiasluksnio perceptrono atveju. Sprendimo medžiu, siekiama padalinti uždavinį į smulkesnius uždavinius su mažesne dimensijų gausa. Tolimesnių šakų uždaviniai turi mažiau kriterijų, tarp kurių galima rinktis. Dalijimas šakomis vyksta tol, kol bus galima vienareikšmiškai nustatyti klasę, arba pasiektas minimalus dalinamų elementų kiekis ir dauguma jų priklauso konkrečiai klasei. Požymio atranka kiekvieno mazgo sąlygai sudaryti, remiasi informacijos naudingumu matu. Naudingumo matas apibrėžia, kiek sumažės entropija, padalinus nagrinėjamą mazgą atitinkančią imtį. Pagrindinis metodo trūkumas yra tas, kad aukštas detalizavimas per daug prisiderina prie mokymo imties ir praranda objektyvumą, klasifikuojant naujus egzempliorius.

Eksperimentų metu, sprendimų medžio įėjimą sudaro 4 požymiai, atitinkantys duomenų išsiuntimo greitį, kolizijų skaičių, išsiūtų paketų skaičių per laiko vienetą bei atmetų paketų skaičių siuntėjo mazge požymius, kurie klasifikuojami į 3 diskrečias, lingvistiškai išreikštas kanalo kokybės vertes. Pagrindinis algoritmo vykdymo parametras – maksimalus medžio gylis lygus 20. Atlikus eksperimentus,

sudarytas duomenų perdavimo kanalo kokybės įvertinimo sprendimų medis ir jo taisyklių rinkinys pateikiami (49 pav.).



a)

b)

49 pav. Sudarytas sprendimų medis (a) ir jo taisyklių rinkinys (b)

Fig. 49. Developed decision tree (a) and set of rules (b)

Taisyklių išvedimo metodas veikia panašiai, kaip ir teiginių taisyklių metodas, pavadintas „*Repeated Incremental Pruning to Produce Error Reduction*“ (W. W. Cohen, 1995). Pradėdamas nuo mažiau paplitusių klasių, algoritmas iteratyviai mažina taisyklių, kol nelieka teigiamų egzempliorių arba klaidų procentas tampa didesnis nei 50%. Augimo fazėje, prie taisyklių pridedamos sąlygos, kol taisyklė tampa 100% tiksli. Procedūra išmėgina kiekvieną galimą kiekvieno atributo vertę ir parenka sąlygas su didžiausia informacijos nauda. Šis metodas, dažnai, lyginamas su sprendimų medžio metodais. Taisyklių išvedimo algoritmų pagrindiniai privalumai yra tai, kad juos lengviau suprasti, jie atvaizduojami pirmos eilės logikos pagalba (todėl juos lengviau įgyvendinti kalbose, kaip *Prolog*) bei juose, lengvai, gali būti pridedamos ankstesnės žinios. Pagrindiniai trūkumai: algoritmas neefektyviai išplečiamas pagal mokymo aibę bei neefektyviai dirba su duomenimis su triukšmu.

Naudojant taisyklių išvedimo algoritmą *RIPPER*, buvo atliekami klasifikavimo eksperimentai. Jiems atlikti sudarytas modelis pateikiamas 50 pav.


```

RULEMODEL
IF DROP SIUNTEJAS ≤ 63.500 THEN GERAS (947 /
3 / 106)
IF IŠSIUNTIMO GREITIS > 600.128 AND DROP
SIUNTEJAS > 79.500 THEN VIDUTINIS (0 / 21 /
262)
IF DROP SIUNTEJAS > 79.500 THEN BLOGAS (0 /
127 / 0)
IF IŠSIUNTIMO GREITIS > 544.191 THEN GERAS
(86 / 0 / 1)
ELSE VIDUTINIS (0 / 0 / 45)

```

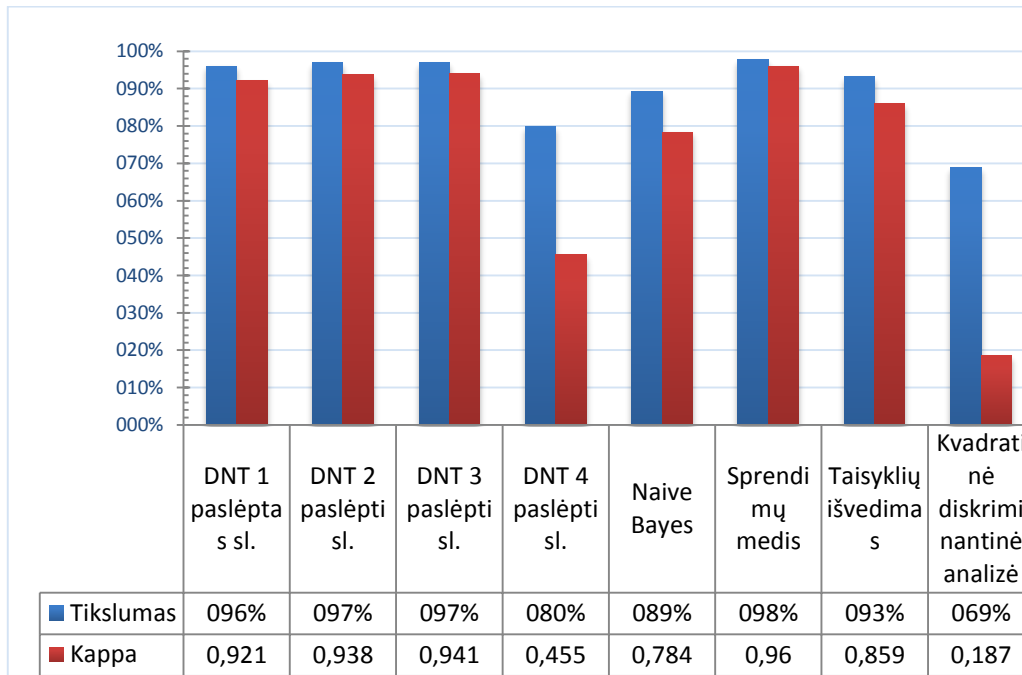
50 pav. *Taisyklių išvedimo algoritmo RIPPER modelio, duomenų perdavimo kanalo kokybės įvertinimui, fragmentas*

Fig. 50. *Fragment of developed model of the rules induction algorithm RIPPER for evaluation of data transfer channel quality*

5.6.2. Konteksto informacijos naudingumo vertinimo metodo rezultatai

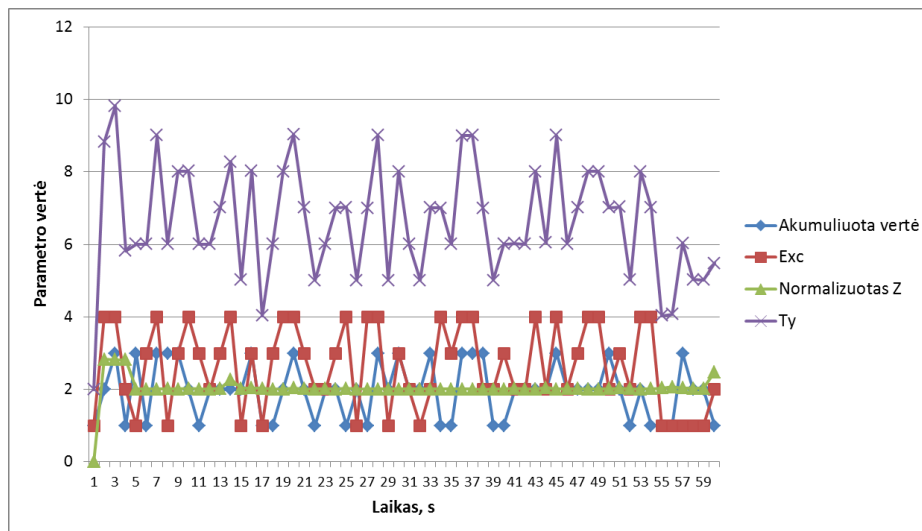
Atlikus eilę eksperimentų, vertinant duomenų perdavimo kanalo valdymo metodus, naudojant skirtingus duomenų klasifikavimo metodus bei skirtingus jų darbo parametrus, buvo susisteminti rezultatai, kurie pateikiami 51 pav.

Eksperimentų metu, buvo vertinamas skirtingų metodų užtikrinamas klasifikavimo tikslumas bei Kappa statistika. Didžiausią efektyvumą parodė sprendimų medžio algoritmas, pademonstravęs (97,88±1,19)% tikslumą ir 0,960±0,024 Kappa vertę. Nuo šio metodo nedaug atsiliko daugiasluoksnio perceptrono metodas, kurio tikslumas kito, priklausomai nuo skirtingo paslėptų sluoksnių skaičiaus: nuo (79,97±15,60)% ir 0,455±0,456 Kappa, naudojant 4 paslėptus sluoksnius, iki (97,07±1,39)% ir 0,941±0,028 Kappa, naudojant 3 paslėptus neuronų sluoksnius. Prasčiausius rezultatus, šiuo atveju, pasirodė kvadratinės diskriminantinės analizės metodas, parodęs (68,95±1,18)% klasifikavimo tikslumą ir tik 0,187±0,038 Kappa.



51 pav. Tirtų klasifikavimo metodų palyginimas pagal tikslumą bei Kappa
Fig. 51. Comparison of investigated classification methods by accuracy and Kappa

Kita serija eksperimentų buvo atlikta, siekiant nustatyti sukurtų duomenų agregavimo metodų efektyvumą. 52 pav. pateiktas akumuliuoto nuspėjamo naudingumo, *Exc*, normalizuoto *Z* ir *Ty* parametru kitimas laike. Rezultatai rodo, kad akumuliuota naudingumo vertė laike kinta, atitinkamai, pagal valdomus kanalo kokybės parametrus, įskaitant kanalo pralaidumą, kolizijų ir atmetų paketų skaičių bei perduodamų duomenų svarbą. Gauti rezultatai patvirtina sukurto modelio gebėjimą adaptuotis prie aplinkos pokyčių, kas rodo siūlomo metodo lankstumą.

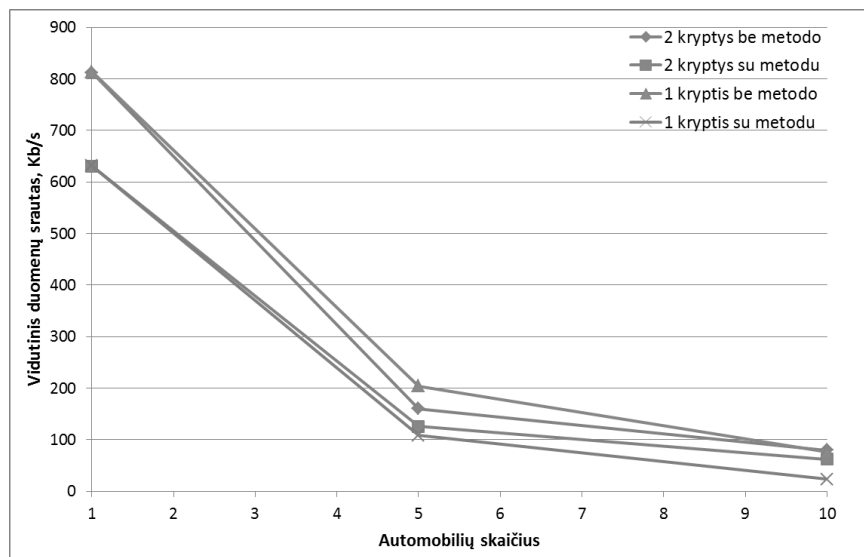


52 pav. Akumuliuoto nuspėjamo naudingumo, *Exc*, normalizuoto *Z* ir *Ty* parametru kitimas laike

Fig. 52. Accumulated prediction utility, *Exc*, normalized *Z* and *Ty* parameters variation in time

53 pav. pateiktas duomenų pralaidumo efektyvumas, naudojant siūlomą metodą ir jo nenaudojant. Taip pat, matomas skirtingo mazgų skaičiaus tinkle poveikis.

Rezultatai rodo, kad naudojant dviejų kryptių konteksto duomenų perdavimą su 1 – 10 automobilių, naudojant siūlomą metodą, gaunamas apie 23% reikalingo duomenų srauto sutaupymas. Naudojant vienos krypties perdavimą su 1 automobiliu, gauname 22% sutaupymą, naudojant 5 automobilius – 47% ir naudojant 10 automobilių – 69% sutaupymą. Šie rezultatai detaliau aptariami autoriaus publikacijose (Kurmis, Dzemydienė, 2014; Kurmis et al., 2014, 2015; Kurmis, Andziulis, et al., 2013).



53 pav. Vidutinis duomenų pralaidumas iš automobilių, įdiegus ir neįdiegus sukurtą prototipą, ryšio protokolui naudojant 802.11p

Fig. 53. Average data throughput from vehicles with installed method and without for the communication using 802.11p

5 skyriaus išvados

1. Išanalizavus specifinę, sudėtingą konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo automobilių komunikacijos tinkluose problemą, jai spręsti pasiūlytas mobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemos prototipas, integruojantis konteksto duomenų saugojimo ir apsikeitimo modelius, mašininio mokymo klasterizavimo bei klasifikavimo metodus, leidžiantis sumažinant perduodamų duomenų kiekį ir kooperatyviai naudoti kanalo resursus: saugojimo lokaliuose DB, apsikeitimo su kitais automobiliais bei apsikeitimo su hibridiniu *VANET* debesimi.

2. Sukūrus kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo valdymo prototipą, skirtą situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų adaptyvių sistemų projektavimui, realiu laiku įvertinančių bei praturtinančių konteksto informaciją, nustatyta, kad būtina eksperimentu įrodyti, sukurto sistemos prototipo veikimo efektyvumą konkreitiems transporto srautams.

3. Eksperimentu, konstravimo būdu imituojant situacijas kelyje ir emuliuojant įvairialypių paslaugų teikimą, įrodyta, kad sukurto sistemos prototipo veikimas yra efektyvus, o pasiūlyti programinių ir sisteminių įrankių integracijos nauji sprendiniai leidžia sumažti perduodamus duomenų kiekius kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkle, neprarandant praturtintos konteksto duomenų kokybės.

4. Eksperimentų rezultatai parodė, kad įdiegus siūlomus tinklo valdymo metodus, galima pasiekti efektyvų duomenų pralaidumo padidėjimą nuo 22–69%. Rezultatai parodė, kad efektyviausiai, valdant duomenų perdavimo kanalą, veikia sprendimų medžio algoritmas, pademonstravęs (97,88+-1,19)% kanalo kokybės įvertinimo tikslumą.

5. Remiantis gautais sukurto prototipo verifikavimo ir įvertinimo rezultatais, galima teigti, kad jis yra veiksmingas ir tinkamas plėtoti, vystant automobilių komunikacijos tinklų infrastruktūros valdymo sistemas, integruojant informacijos skleidimo metodus, grindžiamus daugiakriteriniu informacijos naudingumo vertinimu, teikiant įvairialypes paslaugas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkluose.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Išanalizavus įvairialypių paslaugų teikimo belaidžiuose automobilių komunikacijos tinkluose mokslinių tyrimų medžiagą, standartus ir naujai siūlomus tinklo protokolus, skatinančius vystyti įvairialypes praturtintas paslaugas, pastebėta, kad paslaugų teikimas turi tapti adaptyvus, nes dėl augančių informacijos srautų ir greitai kintančios mobilaus tinklo topologijos, yra neišspręstos tolygios apkrovos problemos, t.y. problematiška išvengti tinklo perkrovos, skirtingomis eismo bei tinklo mobilumo sąlygomis.

2. Tiriant siūlomas adaptyvių įvairialypių paslaugų teikimo sistemes ir programines platformas kooperatyviems automobilių komunikacijos tinklams, deklaruojančias gebėjimą vykdyti konteksto duomenų surinkimo, agregavimo ir skleidimo procesus, nustatyta, kad pasirinktam tyrimui konstravimo būdu tik iš dalies tinka konteksto erdvių modelis ir daugiakriterinės naudingumo teorijos bendrieji teiginiai, todėl šio uždavinio naujuose sprendimuose yra tikslinga taikyti konteksto informacijos apsikeitimo tarp mazgų naujus algoritmus, ir šią informaciją integruoti su iš aplinkos gauta praturtinta konteksto informacija.

3. Išanalizavus sistemes ir programines platformas, leidžiančias kartu modeliuoti automobilių judėjimą bei tinklo mobilumą, konteksto duomenų surinkimo ir skleidimo valdymo sistemos (prototipo) projektavimui bei verifikavimui, nagrinėjamoje aprėptyje, siūlomos naudoti priemonės:

- Paketas– *NCTUns/ESTINET*, panaudotas atlikti baigtinių transporto srautų mikro modeliavimą bei tinklo veikimo, taikant skirtingus darbo režimus ir protokolus modeliavimą.
- National Instruments *LabVIEW* programinė ir *CompactRIO* sisteminė platformos, panaudotos sistemos valdymo prototipo projektavimui ir programinių komponentų realizavimui.
- *RapidMiner 6.5* duomenų tyrybos priemonė, panaudota adaptyvaus kanalo kokybės valdymo projektavimui, tyrimui ir verifikavimui bei duomenų srauto mažinimui, sudarant automobilių klasterius.

Siūlomų naudoti priemonių integravimui sukurtas algoritmas, įgalinantis šias priemones pritaikyti vykdomo tyrimo uždaviniams spręsti.

4. Sukurtas kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinklo konfigūravimo prototipas, skirtas situaciją suvokiančių, automobilių komunikavimu grindžiamų adaptyvių sistemų projektavimui, realiu laiku įvertinantis bei praturtinantis konteksto informaciją. Sukurta metodika leidžia efektyviau kurti naujas situacijas suvokiančias sistemas, įgalinant efektyviau keistis konteksto informacija. Pasiūlyti 3 specializuoti konteksto duomenų saugojimo ir apsikeitimo modeliai, skirti valdyti duomenų apsikeitimui sudėtingomis ryšio užtikrinimo sąlygomis, atsižvelgiantys į konteksto duomenų paskirtį: lokaliai saugomiems, perduodamiems kitiems mazgams bei debesų kompiuterijos sistemai, duomenims.

5. Eksperimentu, konstravimo būdu, imituojant situacijas kelyje ir įvairialypių paslaugų teikimą, įrodyta, kad sukurto sistemos prototipo veikimas yra efektyvus, prie modeliujamų eismo intensyvumo sąlygų, o pasiūlyti programinių ir sisteminių įrankių integracijos sprendiniai leidžia sumažinti perduodamus nenaudingų duomenų kiekius kintančios topologijos automobilių komunikacijos tinkle. Eksperimentų rezultatai parodė, kad įdiegus siūlomus tinklo valdymo metodus galima pasiekti efektyvų duomenų pralaidumo padidėjimą nuo 22–69%.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Abbasi, A. A., & Younis, M. (2007). A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks. *Computer Communications*, 30(14-15), 2826–2841. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2007.05.024>
- Abboud, K., & Zhuang, W. (2009). Modeling and Analysis for Emergency Messaging Delay in Vehicular Ad Hoc Networks. In *GLOBECOM 2009 - 2009 IEEE Global Telecommunications Conference* (pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/GLOCOM.2009.5425839>
- Abdalla, G. M. T., Abu-Rgheff, M. a., & Senouci, S.-M. (2009). An Adaptive Channel Model for VBLAST in Vehicular Networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009, 1–8. <http://doi.org/10.1155/2009/328706>
- Abdelkader, T., Naik, K., Nayak, A., & Karray, F. (2009). Adaptive Backoff Scheme for Contention-based Vehicular Networks. In *Fuzzy Systems, 2009. FUZZ-IEEE 2009. IEEE International Conference on* (pp. 1621–1626).
- Akyildiz, I. F., Lee, W.-Y., & Chowdhury, K. R. (2009). CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 7(5), 810–836. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.01.001>
- Alam, A., Mårtensson, J., & Johansson, K. H. (2015). Experimental evaluation of decentralized cooperative cruise control for heavy-duty vehicle platooning. *Control Engineering Practice*, 38, 11–25. <http://doi.org/10.1016/j.conengprac.2014.12.009>
- Alasmay, W., & Zhuang, W. (2012). Mobility impact in IEEE 802.11p infrastructureless vehicular networks. *Ad Hoc Networks*, 10(2), 222–230. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.06.006>
- Alcaraz, J., & Vales-Alonso, J. (2009). Control-based scheduling with QoS support for vehicle to infrastructure communications. *Communications, IEEE*. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5361176
- Alsabaan, M., Zhuang, W., & Wang, P. (2011). Link layer solutions for supporting real-time traffic over CDMA wireless mesh networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 11(5), 644–653. <http://doi.org/10.1002/wcm.794>
- Al-Sultan, S., Al-Doori, M. M., Al-Bayatti, A. H., & Zedan, H. (2014). A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, 37, 380–392. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.036>
- Amadeo, M., Campolo, C., & Molinaro, A. (2012). Enhancing IEEE 802.11p/WAVE to provide infotainment applications in VANETs. *Ad Hoc Networks*, 10(2), 253–269. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.09.013>
- Amadeo, M., Campolo, C., & Molinaro, A. (2015). Forwarding strategies in named data wireless ad hoc networks: Design and evaluation. *Journal of Network and Computer Applications*, 50, 148–158. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2014.06.007>
- Anagnostopoulos, C., & Hadjiefthymiades, S. (2010). Advanced fuzzy inference engines in situation aware computing. *Fuzzy Sets and Systems*, 161(4), 498–521. <http://doi.org/10.1016/j.fss.2009.09.022>
- Andrea, A. F., & Savigni, A. (2001). A Framework for Requirements Engineering for Context-Aware Services. In *In Proc. of 1 st International Workshop From Software Requirements to Architectures (STRAW 01)* (pp. 200–201).
- Andziulis, A., Plėštys, R., Jakovlev, S., Adomaitis, D., Gerasimov, K., Kurmis, M., & Pareigis, V. (2012). Priority based tag authentication and routing algorithm for intermodal containers RFID sensor network. *Transport*, 27(4), 373–382. <http://doi.org/10.3846/16484142.2012.750622>
- Annese, S., Casetti, C., Chiasserini, C., Di Maio, N., Ghittino, A., & Reineri, M. (2011). Seamless Connectivity and Routing in Vehicular Networks with Infrastructure. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*. <http://doi.org/10.1109/JSAC.2011.110302>
- Artimy, M. (2007). Local density estimation and dynamic transmission-range assignment in vehicular ad hoc networks. *Intelligent Transportation Systems, IEEE*, 8(3), 400–412. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4298893

- Atallah, R. F., Khabbaz, M. J., & Assi, C. M. (2015). Vehicular networking: A survey on spectrum access technologies and persisting challenges. *Vehicular Communications*, 2(3), 125–149. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.03.005>
- Atat, R., Yaacoub, E., Alouini, M.-S., Filali, F., & Abu-Dayya, A. (2014). Delay-sensitive content distribution via peer-to-peer collaboration in public safety vehicular ad-hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 16, 182–196. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2013.12.007>
- Baiocchi, A., & Cuomo, F. (2013). Infotainment services based on push-mode dissemination in an integrated VANET and 3G architecture. *Communications and Networks, Journal of*. <http://doi.org/10.1109/JCN.2013.000031>
- Ballabio, D. (2015). A MATLAB toolbox for Principal Component Analysis and unsupervised exploration of data structure. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 149, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.chemolab.2015.10.003>
- Bazzi, A., Masini, B. M., Zanella, A., & Pasolini, G. (2015). IEEE 802.11p for cellular offloading in vehicular sensor networks. *Computer Communications*, 60, 97–108. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.01.012>
- Bazzi, A., & Zanella, A. (2015). Position based routing in crowd sensing vehicular networks. *Ad Hoc Networks*. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2015.06.005>
- Bellavista, P., Corradi, A., Fanelli, M., & Foschini, L. (2012). A survey of context data distribution for mobile ubiquitous systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4), 1–45. <http://doi.org/10.1145/2333112.2333119>
- Bendavid, A. (2008). Comparison of classification accuracy using Cohen’s Weighted Kappa. *Expert Systems with Applications*, 34(2), 825–832. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.10.022>
- Bettini, C., Brdiczka, O., Henricksen, K., Indulska, J., Nicklas, D., Ranganathan, A., & Riboni, D. (2010). A survey of context modelling and reasoning techniques. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(2), 161–180. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.06.002>
- Bian, C., Zhao, T., Li, X., & Yan, W. (2015). Boosting named data networking for data dissemination in urban VANET scenarios. *Vehicular Communications*, 2(4), 195–207. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.08.001>
- Bicen, a. O., Gungor, V. C., & Akan, O. B. (2012). Delay-sensitive and multimedia communication in cognitive radio sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 10(5), 816–830. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2011.01.021>
- Bielskis, A. A., Guseinoviene, E., Dzemydiene, D., Drungilas, D., & Gričius, G. (2012). Ambient Lighting Controller Based on Reinforcement Learning Components of Multi-Agents. *Electronics and Electrical Engineering*, 121(5), 79–84. <http://doi.org/10.5755/j01.eee.121.5.1656>
- Biswas, P. K., Moon, S., Qi, H., & Dey, A. K. (2015). Computational frameworks for context-aware hybrid sensor fusion. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1–20. <http://doi.org/10.1080/19479832.2015.1086825>
- Biswas, S., & Tatchikou, R. (2006). Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety. *Communications Magazine*, (January), 74–82. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1580935
- Bitam, S., Mellouk, A., & Zeadally, S. (2013). HyBR: A Hybrid Bio-inspired Bee swarm Routing protocol for safety applications in Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANETs). *Journal of Systems Architecture*, 59(10), 953–967. <http://doi.org/10.1016/j.sysarc.2013.04.004>
- Bitam, S., Mellouk, A., & Zeadally, S. (2015). Bio-Inspired Routing Algorithms Survey for Vehicular Ad Hoc Networks. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/COMST.2014.2371828>
- Bracciale, L., Bonola, M., Loreti, P., Bianchi, G., Amici, R., & Rabuffi, A. (2014, July 17). CRAWDAD dataset roma/taxi (v. 2014-07-17). <http://doi.org/10.15783/C7QC7M>
- Brown, P. (1996). The Stick-e Document: a Framework for Creating Context-aware Applications. In A. Brown, A. Brüggemann-Klein, & A. Feng (Eds.), *Special Issue: Proceedings of the Sixth International Conference on Electronic Publishing, Document*

- Manipulation and Typography, Palo Alto* (Vol. 8, pp. 259–272). John Wiley and Sons. Retrieved from citeulike-article-id:1403383
- Brown, P. J., Bovey, J. D., & Chen, X. (1997). Context-aware applications: from the laboratory to the marketplace. *Personal Communications, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/98.626984>
- Bu, Y., Gu, T., Tao, X., Li, J., Chen, S., & Lu, J. (2006). Managing Quality of Context in Pervasive Computing. *Quality Software, 2006. QSIC 2006. Sixth International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/QSIC.2006.38>
- Buchholz, T., Küpper, A., & Schiffers, M. (2003). Quality of Context: What It Is And Why We Need It. *Proceedings of the Workshop of the HP OpenView University Association*, 1–14. <http://doi.org/10.1.1.147.565>
- Bulbenkiene, V., Pareigis, V., Andziulis, A., Kurmis, M., & Jakovlev, S. (2011). Simulation of IEEE 802.16j Mobile WiMAX Relay Network to Determine the Most Efficient Zone to Deploy Relay Station. *Electronics and Electrical Engineering*, 6(6), 81–84.
- Cacciapuoti, A. S., Caleffi, M., & Paura, L. (2012). Reactive routing for mobile cognitive radio ad hoc networks. *Ad Hoc Networks*, 10(5), 803–815. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2011.04.004>
- Caceres, R., & Friday, A. (2012). Ubicomp Systems at 20: Progress, Opportunities, and Challenges. *Pervasive Computing, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MPRV.2011.85>
- Campolo, C., Molinaro, A., & Scopigno, R. (2015a). From today's VANETs to tomorrow's planning and the bets for the day after. *Vehicular Communications*, 2(3), 158–171. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.06.002>
- Campolo, C., Molinaro, A., & Scopigno, R. (2015b). From today's VANETs to tomorrow's planning and the bets for the day after. *Vehicular Communications*, 2(3), 158–171. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.06.002>
- CAR 2 CAR Communication Consortium. (2011). *Memorandum of Understanding for OEMs within the CAR 2 CAR Communication Consortium on Deployment Strategy for cooperative ITS in Europe*. Retrieved from <https://www.car-2-car.org/index.php?id=231>
- CAR 2 CAR Communication Consortium. (2014). CAR 2 CAR Related Projects. Retrieved from <https://www.car-2-car.org/index.php?id=6>
- CAR 2 CAR Communication Consortium Manifesto. (2007). Retrieved from <https://www.car-2-car.org/index.php?id=31>
- Cesana, M., Cuomo, F., & Ekici, E. (2011). Routing in cognitive radio networks: Challenges and solutions. *Ad Hoc Networks*, 9(3), 228–248. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.06.009>
- Cespedes, S., Lu, N., & Shen, X. (2013). VIP-WAVE: On the Feasibility of IP Communications in 802.11p Vehicular Networks. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TITS.2012.2206387>
- Chang, C.-C. (2015). Exploring mobile application customer loyalty: The moderating effect of use contexts. *Telecommunications Policy*, 39(8), 678–690. <http://doi.org/10.1016/j.telpol.2015.07.008>
- Chaqfeh, M., Lakas, A., & Jawhar, I. (2014). A survey on data dissemination in vehicular ad hoc networks. *Vehicular Communications*, 1(4), 214–225. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.09.001>
- Chen, M., Ong Mau, D., Zhang, Y., Taleb, T., & Leung, V. C. M. (2014). VENDNET: Vehicular Named Data NETWORK. *Vehicular Communications*, 1(4), 208–213. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.09.002>
- Cheng, C.-M., & Tsao, S.-L. (2015). Adaptive Lookup Protocol for Two-Tier VANET/P2P Information Retrieval Services. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TVT.2014.2329015>
- Cheng, H. (2008). Joint power-frequency-time resource allocation in clustered wireless mesh networks. *Network, IEEE*, (February), 45–51. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4435902
- Cheng, H. (2009a). Pareto optimal resource management for wireless mesh networks with QoS assurance: joint node clustering and subcarrier allocation. *Wireless Communications*,

- IEEE*, 8(3), 1573–1583. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4801509
- Cheng, H. (2009b). QoS-driven MAC-layer resource allocation for wireless mesh networks with non-altruistic node cooperation and service differentiation. *Wireless Communications, IEEE*, 1–15. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5351727
- Cheng, H., Fei, X., Boukerche, A., & Almulla, M. (2015). GeoCover: An efficient sparse coverage protocol for RSU deployment over urban VANETs. *Ad Hoc Networks*, 24, 85–102. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2014.07.022>
- Cheng, H. T., Shan, H., & Zhuang, W. (2011). Infotainment and road safety service support in vehicular networking: From a communication perspective. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 25(6), 2020–2038. <http://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.11.009>
- Cheng, N., Lu, N., Zhang, N., Shen, X. (Sherman), & Mark, J. W. (2014). Vehicular WiFi offloading: Challenges and solutions. *Vehicular Communications*, 1(1), 13–21. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2013.11.002>
- Cimino, M. G. C. a., Lazzerini, B., Marcelloni, F., & Ciaramella, A. (2012). An adaptive rule-based approach for managing situation-awareness. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10796–10811. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.03.014>
- Clear, A. K., Holland, T., Dobson, S., Quigley, A., Shannon, R., & Nixon, P. (2010). Situvis: A sensor data analysis and abstraction tool for pervasive computing systems. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(5), 575–589. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2010.04.002>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <http://doi.org/doi:10.1177/001316446002000104>
- Cohen, W. W. (1995). Fast Effective Rule Induction. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning* (pp. 115–123). Morgan Kaufmann. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.50.8204>
- Commision, E. (2016). *ITS Platform: Final Report*.
- Costa, P., Frey, D., Migliavacca, M., & Mottola, L. (2006). Towards lightweight information dissemination in inter-vehicular networks. In *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks - VANET '06* (p. 20). New York, New York, USA: ACM Press. <http://doi.org/10.1145/1161064.1161069>
- Costa, P., Guizzardi, G., A. Almeida, J., Pires, L., & Sinderen, M. (2006). Situations in Conceptual Modeling of Context. In *2006 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW'06)* (pp. 6–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/EDOCW.2006.62>
- Crichigno, J., Wu, M.-Y., & Shu, W. (2008). Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 6(7), 1051–1077. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2007.10.002>
- Cuomo, F., Rubin, I., Baiocchi, A., & Salvo, P. (2014). Enhanced VANET broadcast throughput capacity via a dynamic backbone architecture. *Ad Hoc Networks*, 21, 42–59. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2014.04.008>
- Černeckytē, M., Kurmis, M., Andziulis, A., & Gaigals, G. (2013). Wireless Inter-Crane Communication Method for Multi-Crane Scheduling in Maritime Container Terminals. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 50(5), 81–93. <http://doi.org/10.2478/lpts-2013-0029>
- Daeinabi, A., Pour Rahbar, A. G., & Khademzadeh, A. (2011). VWCA: An efficient clustering algorithm in vehicular ad hoc networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(1), 207–222. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2010.07.016>
- Datla, D., Volos, H. I., Hasan, S. M., Reed, J. H., & Bose, T. (2012). Wireless distributed computing in cognitive radio networks. *Ad Hoc Networks*, 10(5), 845–857. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2011.04.002>
- De Castro, C., Raffaelli, C., & Andrisano, O. (2015). A dynamic hierarchical VANET architecture for Named Data Networking applications. *Communications (ICC), 2015*

- IEEE International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICC.2015.7248893>
- de la Vara, J., Ali, R., Dalpiaz, F., Sánchez, J., & Giorgini, P. (2010). Business Processes Contextualisation via Context Analysis. In J. Parsons, M. Saeki, P. Shoval, C. Woo, & Y. Wand (Eds.), *Conceptual Modeling – ER 2010 SE - 37* (Vol. 6412, pp. 471–476). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-16373-9_37
- de Oliveira Barros, A., de Moraes, G., & da Costa, B. F. (2013). A Top-down Multi-layer Routing Architecture for Vehicular Ad-Hoc Networks. *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)*. <http://doi.org/10.1109/TLA.2013.6710382>
- de Oliveira, K. M., Bacha, F., Mnasser, H., & Abed, M. (2013). Transportation ontology definition and application for the content personalization of user interfaces. *Expert Systems with Applications*, 40(8), 3145–3159. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.028>
- Defude, B., Delot, T., Ilarri, S., Zechinelli, J.-L., & Cenerario, N. (2008). Data Aggregation in VANETs: The VESPA Approach. In *Proceedings of the 5th Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking, and Services* (pp. 13:1–13:6). ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering). <http://doi.org/10.4108/ICST.MOBIQUITOUS2008.3897>
- Dey, A., Abowd, G., & Salber, D. (2001). A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications. *Human-Computer Interaction*, 16(2), 97–166. http://doi.org/10.1207/S15327051HCI16234_02
- Dey, A. K., Abowd, G. D., & Wood, A. (1998). CyberDesk: a framework for providing self-integrating context-aware services. *Knowledge-Based Systems*, 11(1), 3–13. [http://doi.org/10.1016/S0950-7051\(98\)00053-7](http://doi.org/10.1016/S0950-7051(98)00053-7)
- Delot, T., Cenerario, N., & Ilarri, S. (2010). Vehicular event sharing with a mobile peer-to-peer architecture. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(4), 584–598. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2009.12.003>
- Deruyck, M., Tanghe, E., Joseph, W., & Martens, L. (2011). Modelling and optimization of power consumption in wireless access networks. *Computer Communications*, 34(17), 2036–2046. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2011.03.008>
- Dias, J. A. F. F., Rodrigues, J. J. P. C., & Zhou, L. (2014). Cooperation advances on vehicular communications: A survey. *Vehicular Communications*, 1(1), 22–32. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2013.11.003>
- Dyer, J. (2005). Maut — Multiattribute Utility Theory. In *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys SE - 7* (Vol. 78, pp. 265–292). Springer New York. http://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_7
- Dietzel, S. (2011). Privacy implications of in-network aggregation mechanisms for VANETs. *Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS), 2011 Eighth International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/WONS.2011.5720205>
- Dietzel, S., Kargl, F., Heijenk, G., & Schaub, F. (2010). On the potential of generic modeling for VANET data aggregation protocols. *Vehicular Networking Conference (VNC), 2010 IEEE*. <http://doi.org/10.1109/VNC.2010.5698256>
- Dietzel, S., Petit, J., Kargl, F., & Scheuermann, B. (2014). In-Network Aggregation for Vehicular *Ad Hoc* Networks. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/COMST.2014.2320091>
- Dietzel, S., Schoch, E., Konings, B., Weber, M., & Kargl, F. (2010). Resilient secure aggregation for vehicular networks. *Network, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MNET.2010.5395780>
- Dornbush, S., & Joshi, A. (2007). StreetSmart Traffic: Discovering and Disseminating Automobile Congestion Using VANET's. In *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007-Spring* (pp. 11–15). IEEE. <http://doi.org/10.1109/VETECS.2007.15>
- Dresner, K. (2008). A multiagent approach to autonomous intersection management. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 31, 591–656. Retrieved from <http://www.aaai.org/Papers/JAIR/Vol31/JAIR-3117.pdf>

- Drungilas, D., & Bielskis, A. A. (2012). Cloud Interconnected Affect Reward based Automation Ambient Comfort Controller. *Electronics and Electrical Engineering*, 18(10), 49–52. <http://doi.org/10.5755/j01.eee.18.10.3060>
- Dua, A., Kumar, N., & Bawa, S. (2014). A systematic review on routing protocols for Vehicular Ad Hoc Networks. *Vehicular Communications*, 1(1), 33–52. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.01.001>
- Duong, T. V., Bui, H. H., Phung, D. Q., & Venkatesh, S. (2005). Activity Recognition and Abnormality Detection with the Switching Hidden Semi-Markov Model. In *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)* (Vol. 1, pp. 838–845). IEEE. <http://doi.org/10.1109/CVPR.2005.61>
- Dzemydienė, D., Bielskis, A. A., Andziulis, A., Drungilas, D., & Gričius, G. (2010). Recognition of Human Emotions in Reasoning Algorithms of Wheelchair Type Robots. *Informatica*, 21(4), 521–532. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1923922.1923926>
- Dzemydiene, D., & Dzindzalieta, R. (2010). Development of architecture of embedded decision support systems for risk evaluation of transportation of dangerous goods. *Ukio Technologinis Ir Ekonominis Vystymas*, 16(4), 654–671. <http://doi.org/10.3846/tede.2010.40>
- Emara, K., Woerndl, W., & Schlichter, J. (2015). On evaluation of location privacy preserving schemes for VANET safety applications. *Computer Communications*, 63, 11–23. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.03.002>
- Florin, R., & Olariu, S. (2015). A survey of vehicular communications for traffic signal optimization. *Vehicular Communications*, 2(2), 70–79. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.03.002>
- Font, J. L., Iñigo, P., Domínguez, M., Sevillano, J. L., & Amaya, C. (2011). Analysis of source code metrics from ns-2 and ns-3 network simulators. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(5), 1330–1346. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.01.009>
- Franklin, D., & Flaschbart, J. (1998). All gadget and no representation makes jack a dull environment. *Proceedings of the AAAI 1998 Spring Symposium on Intelligent Environment*, 155–150. Retrieved from <http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/1998/SS-98-02/SS98-02-025.pdf>
- Freschi, V., Delpriori, S., Klopfenstein, L. C., Lattanzi, E., Luchetti, G., & Bogliolo, A. (2014). Geospatial data aggregation and reduction in vehicular sensing applications: The case of road surface monitoring. *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2014 International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297643>
- Ge, Y., & Wen, S. (2009). Analysis of optimal relay selection in IEEE 802.16 multihop relay networks. *Conference, 2009. WCNC 2009. IEEE*, 0–5. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4917594
- Gerla, M., & Kleinrock, L. (2011). Vehicular networks and the future of the mobile internet. *Computer Networks*, 55(2), 457–469. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.10.015>
- Ghafoor, K., Abu Bakar, K., Lloret, J., Khokhar, R., & Lee, K. (2013). Intelligent beaconless geographical forwarding for urban vehicular environments. *Wireless Networks*, 19(3), 345–362. <http://doi.org/10.1007/s11276-012-0470-z>
- Gibaud, A., Thomin, P., & Sallez, Y. (2011). Foresee, a fully distributed self-organized approach for improving traffic flows. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(4), 1096–1117. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2011.01.003>
- Giordano, E., Frank, R., Pau, G., & Gerla, M. (2010). CORNER: a realistic urban propagation model for VANET. *Wireless On-Demand Network Systems and Services (WONS), 2010 Seventh International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/WONS.2010.5437133>
- Golestan, K., Sattar, F., Karray, F., Kamel, M., & Seifzadeh, S. (2015). Localization in vehicular ad hoc networks using data fusion and V2V communication. *Computer Communications*, 71, 61–72. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.07.020>
- Gray, P., & Salber, D. (2001). Modelling and Using Sensed Context Information in the Design of Interactive Applications. In M. Little & L. Nigay (Eds.), *Engineering for Human-*

- Computer Interaction SE* - 26 (Vol. 2254, pp. 317–335). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/3-540-45348-2_26
- Grassi, G., Pesavento, D., Pau, G., Vuyyuru, R., Wakikawa, R., & Zhang, L. (2014). VANET via Named Data Networking. *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), 2014 IEEE Conference on*. <http://doi.org/10.1109/INFCOMW.2014.6849267>
- Gricius, G., Drungilas, D., Andziulis, A., Dzemydiene, D., Voznak, M., Kurmis, M., & Jakovlev, S. (2015). Advanced Approach of Multiagent Based Buoy Communication. *The Scientific World Journal*, 2015, 1–6. <http://doi.org/10.1155/2015/569841>
- Gu, T., & Pung, H. K. (2004). Toward an OSGi-Based Infrastructure for Context-Aware Applications. *IEEE Pervasive Computing*, 3(4), 66–74. <http://doi.org/10.1109/MPRV.2004.19>
- Gupta, N., Prakash, A., & Tripathi, R. (2015). Medium access control protocols for safety applications in vehicular Ad-Hoc Network: A classification and comprehensive survey. *Vehicular Communications*. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2015.10.001>
- Hossain, E., Chow, G., Leung, V. C. M., McLeod, R. D., Mišić, J., Wong, V. W. S., & Yang, O. (2010). Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: A survey. *Computer Communications*, 33(7), 775–793. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2009.12.010>
- Hu, Y., Xue, Y., Li, Q., Liu, F., Keung, G. Y., & Li, B. (2009). The Sink Node Placement and Performance Implication in Mobile Sensor Networks. *Mobile Networks and Applications*, 14(2), 230–240. <http://doi.org/10.1007/s11036-009-0158-5>
- Hung, C.-C., & Peng, W.-C. (2010). Model-Driven Traffic Data Acquisition in Vehicular Sensor Networks. In *2010 39th International Conference on Parallel Processing* (pp. 424–432). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICPP.2010.50>
- Hussain, R., Rezaeifar, Z., Lee, Y.-H., & Oh, H. (2015). Secure and privacy-aware traffic information as a service in VANET-based clouds. *Pervasive and Mobile Computing*, 24, 194–209. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2015.07.007>
- Yang, J.-Y., Wang, J.-S., & Chen, Y.-P. (2008). Using acceleration measurements for activity recognition: An effective learning algorithm for constructing neural classifiers. *Pattern Recognition Letters*, 29(16), 2213–2220. <http://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.08.002>
- Yang, K., Ou, S., & Chen, H. (2007). A multihop peer-communication protocol with fairness guarantee for IEEE 802.16-based vehicular networks. *Vehicular Technology, IEEE*, 56(6), 3358–3370. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4357364
- Ye, F., & Adams, M. (2008). V2V wireless communication protocol for rear-end collision avoidance on highways. *Communications Workshops, 2008.*, 375–379. <http://doi.org/10.1109/ICCW.2008.77>
- Ye, J., Dobson, S., & McKeever, S. (2012). Situation identification techniques in pervasive computing: A review. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1), 36–66. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.01.004>
- IEEE. (2010). 802.11p-2010 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 51.
- IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services - Redline. (2010).
- IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)--Multi-channel Operation. (2011). <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.5712769>
- Ifthekhar, M. S., Saha, N., & Jang, Y. M. (2015). Stereo-vision-based cooperative-vehicle positioning using OCC and neural networks. *Optics Communications*, 352, 166–180. <http://doi.org/10.1016/j.optcom.2015.04.067>
- Ilhan, H., Uysal, M., & Altunbas, I. (2009). Cooperative Diversity for Intervehicular Communication: Performance Analysis and Optimization. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(7), 3301–3310. <http://doi.org/10.1109/TVT.2009.2014685>

- Yomo, H., Shagdar, O., & Ohyama, T. (2009). Development of a CDMA intervehicle communications system for driving safety support. *Communications*, (December), 24–31. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5361175
- Yu, B., Xu, C.-Z., & Guo, M. (2012). Adaptive Forwarding Delay Control for VANET Data Aggregation. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TPDS.2011.102>
- Yuan, B., & Herbert, J. (2012). Fuzzy CARA - A Fuzzy-Based Context Reasoning System For Pervasive Healthcare. *Procedia Computer Science*, 10, 357–365. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2012.06.047>
- Yuan, H., Song, T., & Crowley, P. (2012). Scalable NDN Forwarding: Concepts, Issues and Principles. *Computer Communications and Networks (ICCCN), 2012 21st International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICCCN.2012.6289305>
- Jakovlev, S., Voznak, M., Andziulis, A., & Kurmis, M. (2013). Communication Technologies for the Improvement of Marine Transportation Operations. In *12th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems, IFAC HMS 2013* (pp. 469–474). Las Vegas, Nevada, USA: International Federation of Automatic Control. <http://doi.org/10.3182/20130811-5-US-2037.00020>
- Jarupan, B., & Ekici, E. (2011). A survey of cross-layer design for VANETs. *Ad Hoc Networks*, 9(5), 966–983. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.11.007>
- Jiang, H., Zhuang, W., & Shen, X. (2006). Quality-of-service provisioning and efficient resource utilization in CDMA cellular communications. *Areas in Communications*, 24(1), 4–15. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1564266
- Jovanović, M. R., Fowler, J. M., Bamieh, B., & D'Andrea, R. (2008). On the peaking phenomenon in the control of vehicular platoons. *Systems & Control Letters*, 57(7), 528–537. <http://doi.org/10.1016/j.sysconle.2007.12.004>
- Kaisser, F., Gransart, C., & Berbineau, M. (2012). Simulations of VANET Scenarios with OPNET and SUMO. In A. Vinel, R. Mehmood, M. Berbineau, C. Garcia, C.-M. Huang, & N. Chilamkurti (Eds.), *Communication Technologies for Vehicles SE - 9* (Vol. 7266, pp. 103–112). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/978-3-642-29667-3_9
- Kakkasageri, M. S., & Manvi, S. S. (2011). Safety information aggregation in VANETs using vehicle beliefs. *Advanced Networks and Telecommunication Systems (ANTS), 2011 IEEE 5th International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ANTS.2011.6163641>
- Kakkasageri, M. S., & Manvi, S. S. (2013). *Roadside Networks for Vehicular Communications*. (R. Daher & A. Vinel, Eds.). IGI Global. <http://doi.org/10.4018/978-1-4666-2223-4>
- Kakkasageri, M. S., & Manvi, S. S. (2014a). Information management in vehicular ad hoc networks: A review. *Journal of Network and Computer Applications*, 39, 334–350. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.05.015>
- Kakkasageri, M. S., & Manvi, S. S. (2014b). Regression based critical information aggregation and dissemination in VANETs: A cognitive agent approach. *Vehicular Communications*, 1(4), 168–180. <http://doi.org/10.1016/j.vehcom.2014.07.001>
- Karamad, E., & Ashtiani, F. (2008). A modified 802.11-based MAC scheme to assure fair access for vehicle-to-roadside communications. *Computer Communications*, 31(12), 2898–2906. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2008.01.030>
- Katsiri, E., & Mycroft, A. (2011). Linking temporal first-order logic with Bayesian networks for the simulation of pervasive computing systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(1), 161–180. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.06.002>
- Kim, Y., Kim, Y., Bi, J., & Yeom, I. (2015). Differentiated forwarding and caching in named-data networking. *Journal of Network and Computer Applications*, *In press*. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2015.09.011>
- Kim, Y., & Lee, K. (2006). A Quality Measurement Method of Context Information in Ubiquitous Environments. *Hybrid Information Technology, 2006. ICHIT '06. International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICHIT.2006.253664>
- Kiokes, G., Amditis, A., & Uzunoglu, N. K. (2009). Simulation-based performance analysis

- and improvement of orthogonal frequency division multiplexing - 802.11p system for vehicular communications. *Intelligent Transport Systems, IET*. <http://doi.org/10.1049/iet-its.2008.0070>
- Koyamparambil Mammu, A. S., Jiru, J., & Hernandez Jayo, U. (2015). Cluster Based Semantic Data Aggregation in VANETs. *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2015 IEEE 29th International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/AINA.2015.263>
- Kokar, M. M., Matheus, C. J., & Baclawski, K. (2009). Ontology-based situation awareness. *Information Fusion, 10*(1), 83–98. <http://doi.org/10.1016/j.inffus.2007.01.004>
- Korkmaz, G., Ekici, E., & Özgüner, F. (2010). Supporting real-time traffic in multihop vehicle-to-infrastructure networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 18*(3), 376–392. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2009.05.001>
- Koubek, M., Rea, S., & Pesch, D. (2010). Event Suppression for Safety Message Dissemination in VANETs. *Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 2010 IEEE 71st*. <http://doi.org/10.1109/VETECS.2010.5494204>
- Krause, M., & Hochstatter, I. (2005). Challenges in Modelling and Using Quality of Context (QoC). In T. Magedanz, A. Karmouch, S. Pierre, & I. Venieris (Eds.), *Mobility Aware Technologies and Applications SE - 31* (Vol. 3744, pp. 324–333). Springer Berlin Heidelberg. http://doi.org/10.1007/11569510_31
- Krishnamurthy, P. (2008, February 28). Information Dissemination and Information Assurance in Vehicular Networks: A Survey. Retrieved from <https://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/15099>
- Kumar, N., Chilamkurti, N., & Rodrigues, J. J. P. C. (2014). Learning Automata-based Opportunistic Data Aggregation and Forwarding scheme for alert generation in Vehicular Ad Hoc Networks. *Computer Communications, 39*, 22–32. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2013.09.005>
- Kumar, R., & Dave, M. (2014). Mobility Models and their Affect on Data Aggregation and Dissemination in Vehicular Networks. *Wireless Personal Communications, 79*(3), 2237–2269. <http://doi.org/10.1007/s11277-014-1983-9>
- Kumar, S., Raghavan, V. S., & Deng, J. (2006). Medium Access Control protocols for ad hoc wireless networks: A survey. *Ad Hoc Networks, 4*(3), 326–358. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2004.10.001>
- Kurmis, M., Andziulis, A., Dzemydiene, D., Jakovlev, S., Voznak, M., & Drungilas, D. (2013). Development of the Real Time Situation Identification Model for Adaptive Service Support in Vehicular Communication Networks Domain. *Advances in Electrical and Electronic Engineering, 11*(5), 342–348. <http://doi.org/10.15598/aeec.v11i5.882>
- Kurmis, M., Andziulis, A., Dzemydiene, D., Jakovlev, S., Voznak, M., & Gričius, G. (2015). Cooperative Context Data Acquisition and Dissemination for Situation Identification in Vehicular Communication Networks. *Wireless Personal Communications, 85*(1), 49–62. <http://doi.org/10.1007/s11277-015-2727-1>
- Kurmis, M., Andziulis, A., Vaupsas, J., Jakovlev, S., & Pareigis, V. (2013). Trust based authentication scheme for latency reduction in vehicular ad-hoc networks (VANETs). *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 89*(3), 294–296.
- Kurmis, M., & Dzemydienė, D. (2014). Adaptyvus kontekstinių žinių surinkimas ir sklaida intelektinių transporto sistemų tinkluose. *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje, 9*, 118–123.
- Kurmis, M., Dzemydiene, D., & Andziulis, A. (2012). Investigation of Data Transfer Capabilities for Heterogeneous Service Support in Critical Mobile Objects Communication Situations. In A. Caplinskas, G. Dzemyda, A. Lupeikiene, & O. Vasilecas (Eds.), *Local Proceedings and Materials of Doctoral Consortium of the Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems, Vilnius, Lithuania, July 8-11, 2012* (Vol. 924, pp. 154–161). CEUR-WS.org. Retrieved from <http://ceur-ws.org/Vol-924/paper15.pdf>
- Kurmis, M., Dzemydienė, D., & Andziulis, A. (2011). Daugialypių paslaugų duomenų

- perdavimo galimybių tyrimas kritinėse mobilių objektų komunikacijos situacijose. *Social Technologies*, 1(2), 427–438.
- Kurmis, M., Dzemydienė, D., & Andziulis, A. (2012). Įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais analizė iš sistemos perspektyvos. *Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje*, 8, 231–235.
- Kurmis, M., Dzemydienė, D., & Andziulis, A. (2013). Situacijų identifikavimas įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos tinkluose. In *XVI kompiuterininkų konferencijos mokslo darbai : Šiauliai, 2013 m. rugsėjo 19-21 d* (pp. 48–58). Žara.
- Kurmis, M., Dzemydiene, D., Andziulis, A., Voznak, M., Jakovlev, S., Lukosius, Z., & Gričius, G. (2014). Prediction Based Context Data Dissemination and Storage Model for Cooperative Vehicular Networks. In I. Zelinka, P. N. Suganthan, G. Chen, V. Snasel, A. Abraham, & O. RöSSLer (Eds.), *Nostradamus 2014: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems SE - 3* (Vol. 289, pp. 21–30). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-319-07401-6_3
- Kurmis, M., Dzemydiene, D., Didziokas, R., & Trokss, J. (2013). Modeling and Simulation of Cloud Computing Solution for Distributed Space Data Storage and Access In Mobile Communication Networks. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 50(5), 20–29. <http://doi.org/10.2478/lpts-2013-0030>
- Latré, S., Famaey, J., Strassner, J., & De Turck, F. (2013). Automated context dissemination for autonomic collaborative networks through semantic subscription filter generation. *Journal of Network and Computer Applications*. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.01.011>
- Lee, E., Lee, E.-K., Gerla, M., & Oh, S. Y. (2014). Vehicular cloud networking: architecture and design principles. *Communications Magazine, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736756>
- Lee, E.-K., Oh, S. Y., & Gerla, M. (2012). RFID assisted vehicle positioning in VANETs. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(2), 167–179. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.06.001>
- Lee, K., Lee, S., Cheung, R., Lee, U., & Gerla, M. (2007). First Experience with CarTorrent in a Real Vehicular Ad Hoc Network Testbed. *2007 Mobile Networking for Vehicular Environments*, 109–114. <http://doi.org/10.1109/MOVE.2007.4300814>
- Lee, U., & Gerla, M. (2010). A survey of urban vehicular sensing platforms. *Computer Networks*, 54(4), 527–544. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2009.07.011>
- Li, Y., Qian, M., Jin, D., Hui, P., Wang, Z., & Chen, S. (2014). Multiple Mobile Data Offloading Through Disruption Tolerant Networks. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TMC.2013.61>
- Li, M., Zeng, K., & Lou, W. (2011). Opportunistic broadcast of event-driven warning messages in Vehicular Ad Hoc Networks with lossy links. *Computer Networks*, 55(10), 2443–2464. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2011.04.005>
- Li, P., Huang, X., & Fang, Y. (2007). Optimal placement of gateways in vehicular networks. *Vehicular Technology, IEEE*, 56(6), 3421–3430. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4357426
- Liu, B., Li, J., & Zhao, Y. (2012). Repairing and reasoning with inconsistent and uncertain ontologies. *Advances in Engineering Software*, 45(1), 380–390. <http://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.10.015>
- Liu, Y., Niu, J., Ma, J., & Wang, W. (2013). File downloading oriented Roadside Units deployment for vehicular networks. *Journal of Systems Architecture*, 59(10), 938–946. <http://doi.org/10.1016/j.sysarc.2013.04.007>
- Lochert, C., Scheuermann, B., & Wewetzer, C. (2008). Data aggregation and roadside unit placement for a vanet traffic information system. *Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-NETworking*. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1410054>
- Lu, R., Lin, X., Zhu, H., & Shen, X. (2009). SPARK: A New VANET-Based Smart Parking

- Scheme for Large Parking Lots. *IEEE INFOCOM 2009 - The 28th Conference on Computer Communications*, 1413–1421. <http://doi.org/10.1109/INFCOM.2009.5062057>
- Luna, V., Quintero, R., Torres, M., Moreno-Ibarra, M., Guzmán, G., & Escamilla, I. (2015). An ontology-based approach for representing the interaction process between user profile and its context for collaborative learning environments. *Computers in Human Behavior*, *51*, 1387–1394. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.004>
- M. Silva, C., L.L. Aquino, A., & Meira, W. (2015). Deployment of roadside units based on partial mobility information. *Computer Communications*, *60*, 28–39. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.01.021>
- Mangharam, R., Weller, D., Rajkumar, R., Mudalige, P., & Bai, F. (2006). GrooveNet: A Hybrid Simulator for Vehicle-to-Vehicle Networks. *Mobile and Ubiquitous Systems - Workshops, 2006. 3rd Annual International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/MOBIQW.2006.361773>
- Martinez, F. J., Toh, C. K., Cano, J.-C., Calafate, C. T., & Manzoni, P. (2011). A survey and comparative study of simulators for vehicular ad hoc networks (VANETs). *Wireless Communications and Mobile Computing*, *11*(7), 813–828. <http://doi.org/10.1002/wcm.859>
- Masini, B. M., Fontana, C., & Verdone, R. (2004). Provision of an emergency warning service through GPRS: performance evaluation. In *Proceedings. The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE Cat. No.04TH8749)* (pp. 1098–1102). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ITSC.2004.1399060>
- Milanés, V., & Shladover, S. E. (2014). Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *48*, 285–300. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2014.09.001>
- Moiseenko, I., Wang, L., & Zhang, L. (2015). Consumer / Producer Communication with Application Level Framing in Named Data Networking. In *Proceedings of the 2Nd International Conference on Information-Centric Networking* (pp. 99–108). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2810156.2810160>
- Mokhtar, B., & Azab, M. (2015). Survey on Security Issues in Vehicular Ad Hoc Networks. *Alexandria Engineering Journal*. <http://doi.org/10.1016/j.aej.2015.07.011>
- Molisch, A., Tufvesson, F., Karedal, J., & Mecklenbrauker, C. (2009). A survey on vehicle-to-vehicle propagation channels. *IEEE Wireless Communications*, *16*(6), 12–22. <http://doi.org/10.1109/MWC.2009.5361174>
- Mota, V. F. S., Cunha, F. D., Macedo, D. F., Nogueira, J. M. S., & Loureiro, A. A. F. (2014). Protocols, mobility models and tools in opportunistic networks: A survey. *Computer Communications*, *48*, 5–19. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.03.019>
- Moustafa, H., & Zhang, Y. (2009). *Vehicular networks: techniques, standards, and applications*. Boca Raton: CRC Press.
- Mumtaz, S., Saidul Huq, K. M., Ashraf, M. I., Rodriguez, J., Monteiro, V., & Politis, C. (2015). Cognitive vehicular communication for 5G. *Communications Magazine, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MCOM.2015.7158273>
- Nadeem, T., Shankar, P., & Iftode, L. (2006). A Comparative Study of Data Dissemination Models for VANETs. *Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, 2006 Third Annual International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/MOBIQ.2006.340402>
- Nandan, A., Das, S., Pau, G., Gerla, M., & Sanadidi, M. Y. (2005). Co-operative Downloading in Vehicular Ad-Hoc Wireless Networks. In *Second Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services* (pp. 32–41). IEEE. <http://doi.org/10.1109/WONS.2005.7>
- Nandan, A., Das, S., Zhou, B., & Pau, G. (2005). AdTorrent: digital billboards for vehicular networks. *Proc. of IEEE/ACM*, 1–20. Retrieved from <http://netlab.cs.ucla.edu/wiki/files/nandan2005v2vcom.pdf>
- Nienhuser, D., Gumpp, T., & Zollner, J. M. (2009). A Situation context aware Dempster-Shafer fusion of digital maps and a road sign recognition system. In *2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 1401–1406). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IVS.2009.5164490>

- Nzouonta, J., Rajgure, N., Wang, G., & Borcea, C. (2009). VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TVT.2009.2014455>
- Of, A. N. H. T. S. A. – D., & Transportation. (2014). *Federal Motor Vehicle Safety Standards: Vehicle-to-Vehicle (V2V) communications* (Vol. 79).
- Olariu, S., & Weigle, M. C. (2009). Vehicular Networks: From Theory to Practice. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1530872>
- Omar, M., Hedjaz, S., Rebouh, S., Aouchar, K., Abbache, B., & Tari, A. (2015). On-demand source routing with reduced packets protocol in mobile ad-hoc networks. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 69(10), 1429–1436. <http://doi.org/10.1016/j.aeue.2015.06.009>
- Padovitz, A. (2006). *Context Management and Reasoning about Situations in Pervasive Computing*. Retrieved from https://books.google.lt/books/about/Context_Management_and_Reasoning_about_S.html?id=iIdiPAAACAAJ&pgis=1
- Padovitz, A., Zaslavsky, A., & Loke, S. W. (2006). A unifying model for representing and reasoning about context under uncertainty. In *11th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU)*. Paris. Retrieved from <http://www.math.s.chiba-u.ac.jp/~yasuda/open2all/Paris06/IPMU2006/HTML/FINALPAPERS/P175.PDF>
- Pallapa, G., Das, S. K., Di Francesco, M., & Aura, T. (2014). Adaptive and context-aware privacy preservation exploiting user interactions in smart environments. *Pervasive and Mobile Computing*, 12, 232–243. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2013.12.004>
- Pana, F., & Put, F. (2014). Performance evaluation of RSVP using OPNET Modeler. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 85–97. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.08.005>
- Park, J., Yeh, J., & Pau, G. (2006). CodeTorrent: Content Distribution using Network Coding in VANETs. *Proc. of MobiShare*. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:CodeTorrent:+Content+Distribution+using+Network+Coding+in+VANET#0>
- Pascoe, J., Ryan, N. S., & Morse, D. R. (1998). Human Computer Giraffe Interaction: HCI in the Field. *Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices*. Retrieved from http://kar.kent.ac.uk/21665/1/Human_Computer_Giraffe_Interaction_HCI_in_the_Field.doc
- Plestys, R., & Zakarevicius, R. (2010). Request and response zone control for routing in MANET. *Electronics Conference (BEC), 2010 12th Biennial Baltic*. <http://doi.org/10.1109/BEC.2010.5631590>
- Plestys, R., & Zakarevicius, R. (2011). The distribution of route search packet flows in Ad Hoc networks. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 9(9), 33–36. <http://doi.org/10.5755/j01.eee.115.9.744>
- Ramos, F. M. V., Crowcroft, J., Gibbens, R. J., Rodriguez, P., & White, I. H. (2011). Reducing channel change delay in IPTV by predictive pre-joining of TV channels. *Signal Processing: Image Communication*, 26(7), 400–412. <http://doi.org/10.1016/j.image.2011.03.005>
- Rasch, K., Li, F., Sehic, S., Ayani, R., & Dustdar, S. (2011). Context-driven personalized service discovery in pervasive environments. *World Wide Web*, 14(4), 295–319. <http://doi.org/10.1007/s11280-011-0112-x>
- Rawashdeh, Z. (2008). Media access technique for cluster-based vehicular ad hoc networks. *Vehicular Technology*, 1–5. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4657280
- Reina, D. G., Toral, S. L., Asimakopoulou, E., Barrero, F., & Bessis, N. (2015). The role of congestion in probabilistic broadcasting for ubiquitous wireless multi-hop networks through mediation analysis. *Pervasive and Mobile Computing*.

- <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2015.06.014>
- Riebl, R., Gunther, H.-J., Facchi, C., & Wolf, L. (2015). Artery: Extending Veins for VANET applications. *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 2015 International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/MTITS.2015.7223293>
- Rodden, T., Chervest, K., Davies, N., & Dix, A. (1998). Exploiting Context in HCI Design for Mobile Systems. In *in Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices*. Retrieved from citeulike-article-id:3466581
- Roy, N., Gu, T., & Das, S. K. (2010). Supporting pervasive computing applications with active context fusion and semantic context delivery. *Pervasive and Mobile Computing*, 6(1), 21–42. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2009.10.002>
- Ros, F. J., Martinez, J. A., & Ruiz, P. M. (2014). A survey on modeling and simulation of vehicular networks: Communications, mobility, and tools. *Computer Communications*, 43, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.01.010>
- Sanguesa, J. A., Fogue, M., Garrido, P., Martinez, F. J., Cano, J.-C., Calafate, C. T., & Manzoni, P. (2015). RTAD: A real-time adaptive dissemination system for VANETs. *Computer Communications*, 60, 53–70. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.01.017>
- Santa, J., Gómez-Skarmeta, A. F., & Sánchez-Artigas, M. (2008). Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks. *Computer Communications*, 31(12), 2850–2861. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2007.12.008>
- Santa, J., Toledo-Moreo, R., Zamora-Izquierdo, M. a., Ubeda, B., & Gómez-Skarmeta, A. F. (2010). An analysis of communication and navigation issues in collision avoidance support systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(3), 351–366. <http://doi.org/10.1016/j.trc.2009.05.007>
- Schilit, B. N., & Theimer, M. M. (1994). Disseminating active map information to mobile hosts. *Network, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/65.313011>
- Schmidt, R., Leinmuller, T., Schoch, E., & Kargl, F. (2010). Exploration of adaptive beaconing for efficient intervehicle safety communication. *IEEE Network*, (February), 14–19. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5395778
- Schwartz, R. S., R. Barbosa, R. R., Meratnia, N., Heijenk, G., & Scholten, H. (2011). A directional data dissemination protocol for vehicular environments. *Computer Communications*, 34(17), 2057–2071. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2011.03.007>
- Serral, E., De Smedt, J., Snoeck, M., & Vanthienen, J. (2015). Context-adaptive Petri nets: Supporting adaptation for the execution context. *Expert Systems with Applications*, 42(23), 9307–9317. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.08.004>
- Sharef, B. T., Alsaqour, R. A., & Ismail, M. (2014). Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 40, 363–396. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.09.008>
- Sheikh, K., Wegdam, D. M., & Sinderen, D. ir. M. van. (2008). Quality-of-Context and its use for Protecting Privacy in Context Aware Systems. *Journal of Software*, 3(3), 83–93. Retrieved from <http://www.academpublisher.com/jsw/vol03/no03/jsw03038393.html>
- Sheikh, K., Wegdam, M., & van Sinderen, M. (2007). Middleware Support for Quality of Context in Pervasive Context-Aware Systems. *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007. PerCom Workshops '07. Fifth Annual IEEE International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/PERCOMW.2007.81>
- Shen, X., Cheng, X., Zhang, R., Jiao, B., & Yang, Y. (2013). Distributed Congestion Control Approaches for the IEEE 802.11p Vehicular Networks. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MITS.2013.2279176>
- Silva, F. A., Boukerche, A., Silva, T. R. M. B., Ruiz, L. B., & Loureiro, A. A. F. (2015). A novel macroscopic mobility model for vehicular networks. *Computer Networks*, 79, 188–202. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.01.003>
- Sirichai, P., Kaviya, S., Fujii, Y., & Yupapin, P. P. (2011). Smart Car with Security Camera for Road Accident Monitoring. *Procedia Engineering*, 8, 308–312. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.057>
- Soares, V. N. G. J., Rodrigues, J. J. P. C., & Farahmand, F. (2014). GeoSpray: A geographic

- routing protocol for vehicular delay-tolerant networks. *Information Fusion*, 15, 102–113. <http://doi.org/10.1016/j.inffus.2011.11.003>
- Sobeih, A., Chen, W.-P., Hou, J. C., Kung, L.-C., Li, N., Lim, H., ... Zhang, H. (2005). J-Sim: a simulation environment for wireless sensor networks. *Simulation Symposium, 2005. Proceedings. 38th Annual*. <http://doi.org/10.1109/ANSS.2005.27>
- Soldo, F., Casetti, C., Chiasserini, C.-F., & Chaparro, P. (2008). Streaming Media Distribution in VANETs. In *IEEE GLOBECOM 2008 - 2008 IEEE Global Telecommunications Conference* (pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/GLOCOM.2008.ECP.126>
- Sommer, C., Schmidt, A., Chen, Y., German, R., Koch, W., & Dressler, F. (2010). On the feasibility of UMTS-based Traffic Information Systems. *Ad Hoc Networks*, 8(5), 506–517. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.12.003>
- Song, I.-J., & Cho, S.-B. (2013). Bayesian and behavior networks for context-adaptive user interface in a ubiquitous home environment. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1827–1838. <http://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.019>
- Spaho, E., Barolli, L., Mino, G., Xhafa, F., & Kolici, V. (2011). VANET Simulators: A Survey on Mobility and Routing Protocols. *Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2011 International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/BWCCA.2011.11>
- Stanica, R., Chaput, E., & Beylot, A.-L. (2011). Simulation of vehicular ad-hoc networks: Challenges, review of tools and recommendations. *Computer Networks*, 55(14), 3179–3188. <http://doi.org/10.1016/j.comnet.2011.05.007>
- Stankus, A., Lukosius, Z., Aponkus, D., Andziulis, A., Stankus, V., Kurmis, M., & Locans, U. (2012). Comparison of Point-to-Point and Multipoint Human Artery Pulse Wave Transit Time Measurement Algorithms. *Electronics and Electrical Engineering*, 123(7), 95–98. <http://doi.org/10.5755/j01.eee.123.7.2384>
- Sukuvaara, T., Ylitalo, R., & Katz, M. (2013). IEEE 802.11p Based Vehicular Networking Operational Pilot Field Measurement. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*. <http://doi.org/10.1109/JSAC.2013.SUP.0513037>
- Sun, Y., Lin, X., Lu, R., Shen, X., & Su, J. (2010). Roadside Units Deployment for Efficient Short-Time Certificate Updating in VANETs. In *2010 IEEE International Conference on Communications* (pp. 1–5). IEEE. <http://doi.org/10.1109/ICC.2010.5502183>
- Talipov, E., Chon, Y., & Cha, H. (2015). User context-based data delivery in opportunistic smartphone networks. *Pervasive and Mobile Computing*, 17, 122–138. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.06.001>
- Tan, K., Wu, D., Chan, A. (Jack), & Mohapatra, P. (2011). Comparing simulation tools and experimental testbeds for wireless mesh networks. *Pervasive and Mobile Computing*, 7(4), 434–448. <http://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.04.004>
- Tang, A., & Yip, A. (2010). Collision avoidance timing analysis of DSRC-based vehicles. *Accident; Analysis and Prevention*, 42(1), 182–95. <http://doi.org/10.1016/j.aap.2009.07.019>
- Tian, D., Zhou, J., Wang, Y., Zhang, G., & Xia, H. (2015). An adaptive vehicular epidemic routing method based on attractor selection model. *Ad Hoc Networks*. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2015.05.018>
- Tonguz, O. K., Wisitpongphan, N., & Bai, F. (2010). DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. *Wireless Communications, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MWC.2010.5450660>
- Tornell, S. M., Calafate, C. T., Cano, J.-C., & Manzoni, P. (2015). DTN Protocols for Vehicular Networks: An Application Oriented Overview. *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/COMST.2014.2375340>
- Tran, C., Doshi, A., & Trivedi, M. M. (2012). Modeling and prediction of driver behavior by foot gesture analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, 116(3), 435–445. <http://doi.org/10.1016/j.cviu.2011.09.008>
- Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager. (2006). <http://doi.org/10.1109/IEEESTD.2006.246485>

- Trullols, O., Fiore, M., Casetti, C., Chiasserini, C. F., & Barcelo Ordinas, J. M. (2010). Planning roadside infrastructure for information dissemination in intelligent transportation systems. *Computer Communications*, 33(4), 432–442. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2009.11.021>
- Ucar, S., Coleri Ergen, S., & Ozkasap, O. (2015). Multi-Hop Cluster based IEEE 802.11p and LTE Hybrid Architecture for VANET Safety Message Dissemination. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TVT.2015.2421277>
- Ucar, S., Ergen, S. C., & Ozkasap, O. (2014). VeSCA: Vehicular stable cluster-based data aggregation. *Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2014 International Conference on*. <http://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297517>
- Venskus, J., Kurmis, M., Andziulis, A., Lukosius, Z., Voznak, M., & Bykovas, D. (2015). Self-learning adaptive algorithm for maritime traffic abnormal movement detection based on virtual pheromone method. In *Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2015 International Symposium on* (pp. 1–6). Chicago, USA: IEEE. <http://doi.org/10.1109/SPECTS.2015.7285281>
- Venskus, J., Kurmis, M., Dzemydienė, D., Andziulis, A., & Limba, T. (2013). Adaptyvaus galimų incidentų prevencijos apsimokančio algoritmo kūrimas jūrų transporto eismo uoste stebėjimo sistemai. In *Jūros ir krantų tyrimai - 2013 : 7-oji nacionalinė jūros mokslų ir technologijų konferencija, Klaipėda, 2013 balandžio 3-5 : konferencijos medžiaga* (pp. 303–312). Klaipėdos universitetas.
- Vindašius, a. (2010). Tinklų modeliavimas ir emuliacija NCTUns aplinkoje. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, 2(1), 73–76. <http://doi.org/10.3846/mla.2010.016>
- Vinel, A. (2012). 3GPP LTE Versus IEEE 802.11p/WAVE: Which Technology is Able to Support Cooperative Vehicular Safety Applications? *Wireless Communications Letters, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/WCL.2012.022012.120073>
- Virdis, A., Stea, G., & Nardini, G. (2014). SimuLTE - A modular system-level simulator for LTE/LTE-A networks based on OMNeT++. *Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH), 2014 International Conference on*.
- Viriyasitavat, W., Tonguz, O. K., & Bai, F. (2011). UV-CAST: an urban vehicular broadcast protocol. *Communications Magazine, IEEE*. <http://doi.org/10.1109/MCOM.2011.6069718>
- Wang, S., & Huang, Y. (2012). NCTUns distributed network emulator. *Internet Journal*, 4(2), 61–94.
- Wang, S. Y., & Chou, C. L. (2009). NCTUns tool for wireless vehicular communication network researches. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17(7), 1211–1226. <http://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.04.008>
- Wang, S.-Y., & Lin, C.-C. (2008). NCTUns 5.0: A Network Simulator for IEEE 802.11(p) and 1609 Wireless Vehicular Network Researches. *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*. <http://doi.org/10.1109/VETEFCF.2008.464>
- Wang, S.-Y., Wang, P.-F., Li, Y.-W., & Lau, L.-C. (2011). Design and implementation of a more realistic radio propagation model for wireless Vehicular Networks over the NCTUns network simulator. *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE*. <http://doi.org/10.1109/WCNC.2011.5779455>
- Warrens, M. J. (2013). Conditional inequalities between Cohen's kappa and weighted kappas. *Statistical Methodology*, 10(1), 14–22. <http://doi.org/10.1016/j.stamet.2012.05.004>
- Weil, T. (2009). Service Management for ITS Using WAVE (1609.3) Networking. In *2009 IEEE IEEE Globecom Workshops* (pp. 1–6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2009.5360714>
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 66–75. Retrieved from citeulike-article-id:960996
- Wibisono, W., Zaslavsky, A., & Ling, S. (2009). Improving situation awareness for intelligent on-board vehicle management system using context middleware. In *2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 1109–1114). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IVS.2009.5164437>

- Williams, M. (1988). PROMETHEUS-The European research programme for optimising the road transport system in Europe. *Driver Information, IEE Colloquium on*.
- Willke, T., Tientrakool, P., & Maxemchuk, N. (2009). A survey of inter-vehicle communication protocols and their applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 11*(2), 3–20. <http://doi.org/10.1109/SURV.2009.090202>
- Wu, C., Ohzahata, S., & Kato, T. (2013). Flexible, Portable, and Practicable Solution for Routing in VANETs: A Fuzzy Constraint Q-Learning Approach. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TVT.2013.2273945>
- Wu, H.-C. (2009). The Karush–Kuhn–Tucker optimality conditions in multiobjective programming problems with interval-valued objective functions. *European Journal of Operational Research, 196*(1), 49–60. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.03.012>
- Wu, T.-Y., Guizani, S., Lee, W.-T., & Liao, K.-H. (2012). Improving RSU service time by Distributed Sorting Mechanism. *Ad Hoc Networks, 10*(2), 212–221. <http://doi.org/10.1016/j.adhoc.2010.07.008>
- Xie, X., Wang, F., Wang, H., & Li, K. (2008). Adaptive Multi-channel MAC Protocol for Dense VANET Using Directional Antennas. *2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking, 398–401*. <http://doi.org/10.1109/FGCN.2008.70>
- Zhang, D., Huang, H., Lai, C.-F., Liang, X., Zou, Q., & Guo, M. (2011). Survey on context-awareness in ubiquitous media. *Multimedia Tools and Applications, 33*. <http://doi.org/10.1007/s11042-011-0940-9>
- Zhang, Y., & Ng, J. (2009). A distributed group mobility adaptive clustering algorithm for mobile ad hoc networks. *Computer Communications, 32*(1), 189–202. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2008.10.002>
- Zhang, J., & Liu, K. (2008). A novel overlay token ring protocol for inter-vehicle communication. *Communications, 2008. ICC'08.*, 1–6. Retrieved from http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4533955
- Zhang, L., Afanasyev, A., Burke, J., Jacobson, V., claffy, kc, Crowley, P., ... Zhang, B. (2014). Named Data Networking. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, *44*(3), 66–73. <http://doi.org/10.1145/2656877.2656887>
- Zhou, L., Zheng, B., Geller, B., Wei, A., Xu, S., & Li, Y. (2008). Cross-layer rate control, medium access control and routing design in cooperative VANET. *Computer Communications, 31*(12), 2870–2882. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2007.12.006>
- Zhu, Y., Zhao, Q., & Zhang, Q. (2015). Delay-Constrained Data Aggregation in VANETs. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*. <http://doi.org/10.1109/TVT.2014.2335232>

AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Mokslo žurnaluose, referuojamuose Mokslinės informacijos instituto (ISI) duomenų bazėse

1. M. Kurmis, A. Andziulis, D. Dzemydiene, S. Jakovlev, M. Voznak, G. Gričius. (2015) Cooperative Context Data Acquisition and Dissemination for Situation Identification in Vehicular Communication Networks, Springer Wireless Personal Communications, vol. 85(1), p. 49-62, ISSN 0929-6212, DOI 10.1007/s11277-015-2727-1, Impact Factor: 0,653.

Indėlis: kooperatyvių VANET tinklų duomenų surinkimo ir apskaitos sistemos modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas ir gautų rezultatų apibendrinimas.

Kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose paskelbti straipsniai

2. M. Kurmis, D. Dzemydiene, A. Andziulis, M. Voznak, S. Jakovlev, Z. Lukosius, G. Gričius. (2014) Prediction Based Context Data Dissemination and Storage Model for Cooperative Vehicular Networks, 2014, Computational Intelligence and Complexity, Nostradamus 2014: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems, Vol. 289, p. 21-30, Springer International Publishing Switzerland, ISSN 2194-5357, DOI 10.1007/978-3-319-07401-6_3.

Indėlis: konteksto duomenų surinkimo ir sklaidos modelių sudarymas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė.

3. M. Kurmis, D. Dzemydienė. (2014) Adaptyvus kontekstinių žinių surinkimas ir sklaida intelektinių transporto sistemų tinkluose. Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje IX, 2014, Vol. 9, p. 118-123, ISSN 1822-4652.

Indėlis: idėjos iškėlimas, literatūros analizė, eksperimentų metodikos sudarymas, eksperimentinių modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė, išvadų rengimas, publikacijos rengimas.

4. Kurmis M., Andziulis A., Dzemydiene D., Jakovlev S., Voznak M., Drungilas D. (2013) Development of the Real Time Situation Identification Model for Adaptive Service Support in Vehicular Communication Networks Domain. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 11(5), p. 342-348, ISSN 1336-1376, DOI: 10.15598/aeer.v11i5.882, Scopus database, best paper award.

Indėlis: eksperimentų metodikos sudarymas, eksperimentinių modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė, išvadų rengimas, publikacijos rengimas.

5. Kurmis M., Dzemydiene D., Didziokas R., Trokss J. (2013) Modeling and Simulation of Cloud Computing Solution for Distributed Space Data Storage and Access in Mobile Communication Networks. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 50(5), p. 20-28, ISSN 0868-8257.

Indėlis: debesų kompiuterija grindžiamos sistemos projektavimas ir realizavimas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė, išvadų rengimas, publikacijos rengimas.

6. Kurmis, M., Andziulis, A., Vaupsas, J., Jakovlev, S., & Pareigis, V. (2013) Trust based authentication scheme for latency reduction in vehicular ad-hoc networks (VANETs). Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 89(3), p. 294–296, ISSN 0033-2097.

Indėlis: kooperatyvaus autentifikavimo valdymo sistemos VANET tinklams projektavimas ir tyrimai.

7. Kurmis M., Dzemydienė D., Andziulis A. (2013) Situacijų identifikavimas įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos

tinkluose. XVI kompiuterininkų konferencijos mokslo darbai, p. 48-57, ISBN 978-9986-34-293-9.

Indėlis: situacijų identifikavimo įvairialypių paslaugų teikimui kooperatyviuose automobilių komunikacijos tinkluose literatūros analizės rengimas.

8. Kurmis M., Dzemydienė D., Andziulis A. (2012) Investigation of Data Transfer Capabilities for Heterogeneous Service Support in Critical Mobile Objects Communication Situations. Databases and Information Systems. Tenth International Baltic Conference on Databases and Information Systems. Local Proceedings, p. 154-161, ISBN 978-9986-34-274-8.

Indėlis: literatūros analizė, eksperimentų metodikos sudarymas, eksperimentinių modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė, išvadų rengimas, publikacijos rengimas.

9. Kurmis M., Dzemydienė D., Andziulis A. (2012) Įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais analizė iš sistemos perspektyvos. Technologijos mokslo darbai Vakarų Lietuvoje VIII, p. 231-235, ISSN 1822-4652.

Indėlis: įvairialypių paslaugų teikimo automobilių komunikacijos tinklais analizės ir apibendrinimo rengimas.

10. Dzemydienė D., Kurmis M., Andziulis A. (2011) Daugialypių paslaugų duomenų perdavimo galimybių tyrimas kritinėse mobilių objektų komunikacijos situacijose. Social Technologies, 1(2), p. 427–438, ISSN 2029-7564.

Indėlis: literatūros analizė, eksperimentų metodikos sudarymas, eksperimentinių modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė, išvadų rengimas, publikacijos rengimas.

Doktorantūros laikotarpiu Informatikos inžinerijos gretutinėse srityse publikuota 8 moksliniai darbai, iš kurių: 4 straipsniai ISI Web of Science duomenų bazėje:

1. G. Gričius, D. Drungilas, A. Andziulis, D. Dzemydiene, M. Kurmis, S. Jakovlev, M. Voznak. Advanced Approach of Multi-Agent Based Buoy Communication, The Scientific World Journal, Hindawi, 2015(2015), p. 1-6, ISSN: 2356-6140, Impact Factor: 1,219.

Indėlis: dalyvavimas eksperimentų metodikos sudaryme, eksperimentinių modelių sudarymas, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė.

2. Stankus A., Lukosius Z., Aponkus A., Andziulis A., Stankus V., Kurmis M., Locans U. (2012) Comparison of Point-to-Point and Multipoint Human Artery Pulse Wave Transit Time Measurement Algorithms, Electronics and Electrical Engineering, No. 7(123): 95-98. Impact Factor: 0,411.

Indėlis: dalyvavimas eksperimentinių modelių sudaryme ir programavime, eksperimentų vykdymas.

3. Andziulis A., Plestys R., Jakovlev S., Adomaitis D., Gerasimov K., Kurmis M., Pareigis V. (2012) Priority Based Tag Authentication and Routing Algorithm for Intermodal Containers RFID Sensor Network. Transport, 27(4), p. 373–382, ISSN 1648-4142, DOI:10.3846/16484142.2012.750622, Impact Factor: 0,553.

Indėlis: dalyvavimas eksperimentų modelių sudaryme, programavimas, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė.

4. Bulbenkiene V., Pareigis V., Andziulis A., Kurmis M., Jakovlev S. (2011) Simulation of IEEE 802.16j Mobile WiMAX Relay Network to Determine the Most Efficient Modulation Zone to Deploy Relay Station. Electronics & Electrical Engineering, 112(6), p. 81-84, ISSN 1392-1215, Impact Factor: 0,561.

Indėlis: dalyvavimas eksperimentinių modelių sudaryme NCTUns aplinkoje, eksperimentų vykdymas, duomenų analizė.

Kituose referuojamuose moksliniuose leidiniuose publikuoti 4 straipsniai.

PRIEDAI

1 priedas. Belaidės priegigos technologijų taikymo automobilių komunikacijos tinklams palyginimas

Technologija	Nuotolis	Ryšio tipas	Sparta (Mbps)	Dažnių juosta	IEEE standartas	Tinkamumas automobilių tinklams		
						V2V	V2I	I2V
Bluetooth	100 m	1 su n	1	2,4 Ghz	IEEE 802.15.1	+	-	-
WLAN	200 m	1 su l 1 su n	10-150	2,4; 5 Ghz	IEEE 802.11 a/b/g/n	++	+	+
802.11p	1 km	1 su l	50	5,9 Ghz	IEEE 802.11p	++	++	++
WiMAX	10 km	1 su n	~20	2,4; 5 Ghz	IEEE 802.16e	-	++	++
GPRS	10 km	1 su n	~0,2	700-2600 Mhz	-	-	++	++
GSM	10 km	1 su n	0,02	900, 1800 Mhz	-	-	++	++
3G	10 km	1 su n	Iki 56	įvairus	-	-	++	++
LTE	10 km	1 su n	Iki 1000	728-3600 Mhz	-	-	++	++
Palydovinis	>10000k m	1 su n	0,3	950-1450 Mhz	-	-	+	++

2 priedas. Kokybinis mobilumo generavimo įrankių palyginimas

	VanetMobiSim	SUMO	MOVE	STRAW	FreeSim	TSIS	VISSIM	SmartAHS
Programinės įrangos charakteristikos								
Nemokama	+	+	+	+	+	-	-	+
Atviras kodas	+	+	+	+	+	-	-	+
Konsolė	-	+	+			+	-	+
Grafinė vartotojo sąsaja	+	+	+	+	+	+	+	-
Tęsimas vystymas	-	+	-	-	-	+	+	-
Diegimo sudėtingumas	vidutinis	vidutinis	lengvas	vidutinis	lengvas	lengvas	lengvas	sudėt.
Naudojimo sudėtingumas	vidutinis	sudėt.	vidutinis	vidutinis	lengvas	sudėt.	vidutinis	sudėt.
Zemėlapių tipas								
Realūs	+	+	+	+	+	+	+	-
Sukurti vartotojo	+	+	+	-	-	+	+	-
Atsitiktiniai	+	+	+	-	-	-	+	+
Palaikomi mobilumo modeliai								
Atsitiktinio judėjimo	+	+	+	-	-	+	+	+
Manhattan	-	+	+	-	-	-	-	-
Naudojami eismo modeliai								
Makroskopiniai	-	-	-	-	+	+	+	-
Mikroskopiniai	+	+	+	+	+	-	-	+
Kelios eismo juostos	+	+	+	+	-	+	+	-
Juostų keitimas	+	+	+	+	-	+	+	-
Atskirų krypčių srautai	+	+	+	+	-	+	+	-
Greičio apribojimai	+	+	+	+	+	+	-	-
Šviesoforai	+	+	+	+	-	+	+	+
Dideli kelių tinklai	-	+	+	+	-	+	-	-
Judėjimas be susidūrimų	-	+	+	-	-	-	-	-
Skirtingi automobilių tipai	-	+	+	-	-	+	+	-
Hierarchinės sankryžos	-	+	+	-	-	+	-	-
Palaikomi žymių užrašymo formatai								
ns-2	+	-	+	-	-	-	-	-
GloMoSim	+	-	+	-	-	-	-	-
QualNet	+	-	+	-	-	-	-	-
XML parentas	+	-		-	-	+	-	-
OS suderinamumas								
Windows	-	-	-	-	-	-	+	-
Unix	+	+	+	+		+	-	+

3 priedas. NCTUns/Estinet aplinkoje sudaryto modelio kodo fragmentas

```

</Application>
<Application>
  <BeginTime>0</BeginTime>
  <EndTime>120</EndTime>
  <Command>stg -u 1000 120 1.0.1.1 -p
8000</Command>
  <File></File>
  <SrcPort>0</SrcPort>
  <DstPort>0</DstPort>
  <ProtocolType>0</ProtocolType>
  <DirectionType>0</DirectionType>
  <TrafficStreamID>0</TrafficStreamID>
  <TrafficType></TrafficType>
  <Mean_Data_Rate>0</Mean_Data_Rate>
</Nominal_Packet_Size></Nominal_Packet_Size>
  <DelayBound>0</DelayBound>
</Maximum_Service_Interval></Maximum_Service_Interval>
</Application>
</ApplicationList>
  <Host_conf>
  <m_RO>0</m_RO>
  <m_port></m_port>
</System_Routing_Table_Mode>3</System_Routing_Table_Mode>
</System_Routing_Deamon></System_Routing_Deamon>
  </Host_conf>
  <MInterfaceList Number="1" >
  <MInterface InterfaceID="1" Type="0" ID="1"
>
  <Pos>
  <X>905</X>
  <Y>150</Y>
  <Z>0</Z>
  <CX>910</CX>
  <CY>155</CY>
  <CZ>0</CZ>
  <Left>905</Left>
  <Right>915</Right>
  <Top>150</Top>
  <Bottom>160</Bottom>
  </Pos>
  <Size>
  <Width>10</Width>
  <Height>10</Height>
  </Size>
  <Visible>True</Visible>
  <VisibleID>True</VisibleID>
  <DownTime Number="0" />
  <Antenna>
  <AngularSpeed>0.000000</AngularSpeed>
  <BeamWidth>6.283185</BeamWidth>
  <PointDirection>1.570796</PointDirection>
  </Antenna>
  </MInterface>
  </MInterfaceList>
  <VisibleInteface>True</VisibleInteface>
  <DefaultGateway>1.0.1.254</DefaultGateway>
  <Show>
  <ShowMobility>False</ShowMobility>
</ShowReceiveThreshold>False</ShowReceiveThreshold>
</ShowCSThreshold>False</ShowCSThreshold>
  </Show>
  <Mobility>
</KeepMovingSpeed>True</KeepMovingSpeed>
  <MoveSpeed>10</MoveSpeed>
  <PauseTime>0</PauseTime>
  </Mobility>
</MobileIP>
<UseMobileIP>False</UseMobileIP>
<HA></HA>
<MN></MN>
</MobileIP>
<car_info>
  <road_type>0</road_type>
  <road_ID>0</road_ID>
  <group_ID>0</group_ID>
  <large_scale>0</large_scale>
  <change_road>0</change_road>
  <leader_id>0</leader_id>
</car_info>
<TrafficUnit>
  <isroadsideunit>0</isroadsideunit>
  <iscontroller>0</iscontroller>
</TrafficUnit>
</Node>
<Node Type="ID_NODE_CAR_ADHOC"
ID="42" >
  <Pos>
  <X>266</X>
  <Y>166</Y>
  <Z>0</Z>
  <CX>282</CX>
  <CY>182</CY>
  <CZ>0</CZ>
  <Left>266</Left>
  <Right>298</Right>
  <Top>166</Top>
  <Bottom>198</Bottom>
  </Pos>
  <Size>
  <Width>32</Width>
  <Height>32</Height>
  </Size>
  <Visible>True</Visible>
  <VisibleID>True</VisibleID>
  <DownTime Number="0" />
  <IDAccumulator>2</IDAccumulator>
  <InterfaceList Number="0" />
  <ApplicationList Number="1" >
  <Application>
  <BeginTime>0</BeginTime>
  <EndTime>120</EndTime>
  <Command>CarAgent</Command>
  <File></File>
  <SrcPort>0</SrcPort>
  <DstPort>0</DstPort>
  <ProtocolType>0</ProtocolType>
  <DirectionType>0</DirectionType>
  <TrafficStreamID>0</TrafficStreamID>
  <TrafficType></TrafficType>
  <Mean_Data_Rate>0</Mean_Data_Rate>
  </Nominal_Packet_Size></Nominal_Packet_Size>
  <DelayBound>0</DelayBound>
</Maximum_Service_Interval></Maximum_Service_Interval>
</Application>
</ApplicationList>
  <Host_conf>
  <m_RO>0</m_RO>
  <m_port></m_port>
</System_Routing_Table_Mode>3</System_Routing_Table_Mode>
</System_Routing_Deamon></System_Routing_Deamon>
  </Host_conf>
  <MInterfaceList Number="1" >
  <MInterface InterfaceID="1" Type="0" ID="1"
>
  <Pos>
  <X>905</X>
  <Y>150</Y>
  <Z>0</Z>
  <CX>910</CX>
  <CY>155</CY>
  <CZ>0</CZ>
  <Left>905</Left>
  <Right>915</Right>
  <Top>150</Top>
  <Bottom>160</Bottom>
  </Pos>
  <Size>
  <Width>10</Width>
  <Height>10</Height>
  </Size>
  <Visible>True</Visible>
  <VisibleID>True</VisibleID>
  <DownTime Number="0" />
  <Antenna>
  <AngularSpeed>0.000000</AngularSpeed>
  <BeamWidth>6.283185</BeamWidth>
  <PointDirection>1.570796</PointDirection>
  </Antenna>
  </MInterface>
  </MInterfaceList>
  <VisibleInteface>True</VisibleInteface>
  <DefaultGateway>1.0.1.254</DefaultGateway>
  <Show>
  <ShowMobility>False</ShowMobility>
</ShowReceiveThreshold>False</ShowReceiveThreshold>
</ShowCSThreshold>False</ShowCSThreshold>
  </Show>
  <Mobility>
</KeepMovingSpeed>True</KeepMovingSpeed>
  <MoveSpeed>10</MoveSpeed>
  <PauseTime>0</PauseTime>
  </Mobility>

```

Mindaugas Kurmis

ĮVAIRIALYPIŲ PASLAUGŲ INTEGRAVIMO KINTANČIOS TOPOLOGIJOS
AUTOMOBILIŲ KOMUNIKACIJOS TINKLUOSE GALIMYBIŲ IŠVYSTYMAS

Daktaro disertacija
Technologijų mokslai,
Informatikos inžinerija (07T)

Redaktorė Sonata Kurmienė