

Daugialypių mobiliųjų paslaugų teikimo galimybės autotransporto komunikacijos tinkluose

Dalė Dzemydienė

Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto Duomenų mokslo ir skaitmeninių technologijų institutas, vyresnioji mokslo darbuotoja, profesorė
Institute of Data Science and Digital Technologies, Faculty of Mathematics and Informatics, Vilnius University, senior scientific researcher, professor
Vilniaus Gedimino technikos universiteto Verslo vadybos fakulteto Verslo technologijų ir verslininkystės profesorė
Department of Business Technologies and Entrepreneurship, Faculty of Business Management, Vilnius Gediminas Technical University, professor
Saulėtekio av. 11, Vilnius, Lithuania
El. paštas dale.dzemydiene@mif.vu.lt

Mindaugas Kurmis

Klaipėdos universiteto Jūrų technologijų ir gamtos mokslų fakulteto Informatikos ir statistikos katedra, daktaras, docentas
Department of Informatics and Statistics, Faculty of Marine Technologies and Natural Sciences, Klaipėda University
Bijūnų str. 17, LT-91225, Klaipėda, Lithuania
El. paštas mindaugas.kurmis@ku.lt

Vilija Baikštienė

UAB „Transekspedicija“, vyriausioji specialistė
JSC „Transekspedicija“, Galinės str. 1, LT-14247, Vilnius district, Lithuania
El. paštas v.baikstiene@gmail.com

Ramūnas Dzindzalieta

Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos fakulteto Informatikos institutas, daktaras, lektorius
Institute of Computer Science, Faculty of Mathematics and Informatics, Vilnius University, dr. Lecturer
Naugarduko g. 24, Vilnius
El. paštas ramukas@gmail.com

Santrauka. Moksliniai tyrimai intelektualaus transporto nevienalyčių paslaugų teikimo srityje yra labai aktualūs sparčiai besikeičiančios infrastruktūros automobilių transporte. Ypač tokių paslaugų teikimo galimybės išaugo, pasitelkiant belaides technologijas ir ryšių komunikacines priemones. Dabartinė informacinių komunikacinių technologijų (IKT) plėtra ir intelektinių transporto platformų bei paslaugas teikiančių sistemų integracija leidžia žymiai pagerinti eismo saugą ir sumažinti avarijų kelyje tikimybę. Tačiau, norint teikti mobiliąsias-intelektualiąsias paslaugas, reikia sukurti gana sudėtingą infrastruktūrą, skirtą daugiakompozicinėms paslaugoms palaikyti. Šio mokslinio straipsnio tikslas yra išanalizuoti duomenų perdavimo galimybes, skirtas nevienalytėms, daugialypėms (heterogeninėms) paslaugoms

Received: 06/05/2019. **Accepted:** 12/09/2019.

Copyright © 2018 Dalė Dzemydienė, Mindaugas Kurmis, Vilija Baikštienė, Ramūnas Dzindzalieta. Published by Vilnius University Press
This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution Licence](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

teikti, kartu užtikrinant kelių eismo saugumą. Darbe nagrinėjami uždaviniai, kaip įvertinti tokių mobiliųjų paslaugų integracijos galimybes autotransporto priemonių infrastruktūroje. Svarbiu uždaviniu tampa duomenų pralaidumo nustatymas, įgalinant daugiakompozicines paslaugas proguose (Ad-Hoc) belaidžiuose tinkluose. Demonstruojami rezultatai iliustruoja belaidžių tinklų galimybes, atliekant tokių paslaugų imitacinį modeliavimą, transporto paslaugas generuojančioje aplinkoje. Straipsnyje parodyta, kad, norint teikti kokybiškas nevienalytes paslaugas, reikia naujų belaidžių tinklų sąveikos protokolų, tokių kaip sesijos inicializavimo protokolas (SIP), GPRS funkcinių galimybių, maršrutavimo protokolų ir prieigos prie kanalų būdų dideliame palaikomųjų paslaugų komponentų kiekiui užtikrinti. **Pagrindiniai žodžiai:** informacinės komunikacinės technologijos (IKT), intelektualizuotos daugialypės paslaugos, automobilių transportas, belaidžio ryšio tinklai, duomenų perdavimas.

Possibilities to Support Heterogeneous Mobile Services in Vehicle Communication Networks

Summary. Research on the provision of heterogeneous services in the field of intelligent transport is of great interest in the rapidly changing infrastructure of road transport. In particular, the availability of such services has increased through the use of wireless technologies and communication tools. The current development of Information Communication Technologies (ICT) and the integration of intelligent transport platforms and service systems make it possible to significantly improve road safety and reduce the likelihood of road accidents. However, the delivery of mobile-smart services requires the development of a rather sophisticated infrastructure to support multicast services. The purpose of this scientific article is to analyze the data transmission capabilities for heterogeneous services while ensuring road safety. The paper deals with the tasks of evaluating the possibilities of integrating such mobile services into the infrastructure of motor vehicles. Measuring bandwidth by enabling multicast services on the base of Ad-hoc wireless networks becomes an important task. The demonstrated results illustrate the capabilities of wireless networks by simulating these services in a transport service generating environment. The paper demonstrates that high-quality heterogeneous services require new wireless network interaction protocols, such as a session initiation protocol (SIP), GPRS functionality, routing protocols, and channel access to provide a large number of supportive service components. **Keywords:** information communication technology (ICT), intelligence heterogeneous services, autotransport, wireless vehicular communication networks, data transmission.

Ivadas

Nagrinėjama sritis yra susijusi su dirbtinio intelekto metodais grindžiamomis programinės įrangos komponentėmis ir aparatūrine įranga, skirta automobilių transporto priemonėms. Intelektualių paslaugų infrastruktūros plėtra automobilių transporte, grindžiama belaidžio ryšio tinklų plėtros infrastruktūra, tampa vis svarbesne šiais laikais mokslo sritimi. Intelektualiojo transporto plėtrai įgalinti reikia nemažai pastangų visai infrastruktūrai išplėtoti, kad galima būtų pagerinti kelionių saugos ir patogumo lygį. Šiuo metu viena iš labiausiai dėmesį patraukiančių sričių yra mobiliojo ryšio technologijų plėtra ir jų galimybių realizacija transporto priemonių belaidžio ryšio tinklų galimybėmis (Kurmis et al., 2015; Markevičius et al., 2019). Siūloma tokių automobilių potencialą kelti, kuriant ir gaminant saugesnes, patikimesnes, ekonomiškesnes ir patogesnes autotransporto priemones.

Belaidžiai kompiuteriniai tinklai įgyja vis didesnę komercinę reikšmę transporto procesų valdymo srityje. Tiek Europos Sąjungoje (ES), tiek ir Jungtinėse Amerikos Valstijose (JAV), priėmus DSRC (specialiojo trumpojo nuotolio komunikacijos ryšio) direktyvą ir tam tikrus standartus, pvz., IEEE 802.11p, užtikrinančius belaidės prieigos transporto priemonių aplinkoje (WAVE) standartus. Šie standartai ir techninės priemonės įgalino suteikti galimybių pasiekti visiškai naują paslaugų teikimo lygį autotransporto priemonėse, apimant daugybę sričių, įskaitant kelių saugumą, eismo valdymą, komforto pritaikymą.

Transporto priemonėms nėra griežtų energijos suvartojimo apribojimų, todėl jas galima lengvai aprūpinti galingais skaičiavimo prietaisais, belaidžiais siųstuvais, jutikliais, sudėtingomis sistemomis, pvz., GPS, foto- / vaizdo kameromis, vibracijos jutikliais, akustiniais, cheminiais jutikliais ir kt. (Cheng et al., 2011).

Transporto priemonių ryšių tinklo diegimo praktika, moksliniai tyrimai ir moksliniai projektai plėtojami dviem kryptimis:

- tiesioginiam bendravimui transporto priemonės su transporto priemone palaikyti, t. y. V2V ryšių tipas;
- transporto priemonių sąsajų su automobilių kelių ir IKT infrastruktūra, t. y. V2I ryšių tipas.

Tyrimai šioje srityje sprendžia daugelį sudėtingų ryšio palaikymo problemų, nes yra daug specifinių ryšių kokybę lemiančių veiksnių, įskaitant labai dinamiškas srauto ir ryšio sąlygas, dažną mazgų atjungimą ir prisijungimą, taip pat duomenų perdavimo jungčių nevienalytiškumą.

Straipsnyje nagrinėjami metodai ir IKT priemonės, skirti duomenų perdavimo efektyvumui mobiliojo ryšio tinkle įvertinti, kai automobilių transporto priemonės, kaip siuntėjas ir gavėjas, dideliu greičiu juda priešingomis kryptimis. Analizuojame transporto priemonių susisiekimo tinklą ir kelių topologijos infrastruktūrą, pateikiame architektūrinius sprendimus duomenų srautų perdavimui, kad būtų užtikrinti intelektualų paslaugų teikimo srautai. Straipsnyje aprašyta eksperimentinio tyrimo metodika ir imitacinio modeliavimo priemonės bei pateikiami imitacinio modelio taikymo rezultatai.

Susijusių mokslinių tyrimų, skirtų belaidžiam ryšiui tobulinti automobilių transporte, trumpa apžvalga

Daugėja mokslinių tyrimų, susijusių su duomenų perdavimo galimybėmis ir paslaugomis automobilių transporte. Kai kurie iš jų nagrinėja nevienalytes paslaugas transporto tinkluose, kiti – visos infrastruktūros ir belaidžių paslaugų teikimo sistemų plėtros priemones. Darbe (Fallah et al., 2011) buvo analizuota DSRC belaidėmis technologijomis grindžiamų automobilių tinklų (VANET) efektyvumas, teikiant transporto priemonių saugos sistemos pranešimus (CVSS). Čia apibrėžtas tinklo efektyvumo matas, kuris gali būti naudojamas kaip CVSS sekimo programos sėkmės rodiklis. Tyrimas, kuris aprašo metodiką, kaip kontroliuojami parametrai, tokie kaip pranešimų ir duomenų perdavimo greitis ir diapazonas, daro įtaką šiam sekimo programos sėkmės rodikliui, atskleidė įdomias IDR savybes. Y. Fallaho ir kitų autorių darbe (2011 m.) parodyta, kad įmanoma patikimai kontroliuoti duomenų perdavimo greitį ar diapazoną, remiantis ryšiu tarp IDR ir kanalo užimtumo VANET tinkle. Remiantis šiomis koncepcijomis, išanalizuotas ir įvertintas patikimas diapazono valdymo metodas.

Kitas informacijos sklaidos transporto priemonių Ad-hoc tinkluose veiklos įvertinimas buvo atliktas Q. Wango, J. Hu ir J. Zhango darbe 2012 m. Šie autoriai tyrinėjo paslaugoms užtikrinti duomenų paketo praradimo procentą, numatomą perdavimo atstumą ir efektyvų kelio ruožo aprėpties diapazoną. Straipsnyje (Alexander et al., 2011) pateikiami rezultatai teikiant tam tikras duomenų perdavimo sąlygas ir įvertinus vidutinius transporto priemonių

srautus Australijoje, Italijoje, Vokietijoje, Austrijoje ir JAV. Buvo surinkti kelių ruožų (35 lauko bandymų) duomenų rinkiniai, apimantys daugiau kaip 1 100 km kelio ruožų, esant daugybei įvairių fizinių sąlygų. Veiklos rezultatai rodo, kad DSRC / WAVE gali užtikrinti labai patikimą ryšį ir pakankamą vairuotojų perspėjimo laiką, kad palaikytų tikslines kelių saugumo programas. Tačiau surinktų kanalų įgarsinimo duomenų analizė rodo, kad NLOS saugos požįūriū svarbios sąlygos reikalauja atidaus fizinio sluoksnio komunikaciniuose belaidžiūose tinkluose bei imtuvo srityje apdorojimo, kad būtų užtikrinta nauda saugai.

Pranešimų sklaidos transporto priemonių Ad-hoc tinkluose, turinčiuose dvi prioritėtines srauto klases, veiklos modeliavimas pateiktas M. Khabaziano ir kt. (2011) . Rezultatai parodė, kad priimančio mazgo tikimybė patirti trikdžius didėja priklausomai nuo perdavimo diapazono ir kad šis padidėjimas yra greitesnis didesnio tankio mazgo sraute.

802.11p fizinio sluoksnio našumas buvo vertinamas pagal J. A. Fernandezą ir kt. (2012). Autoriai nustatė, kad pagrindinė problema yra ta, kad kanalo įvertinimo mechanizmai, integruoti į 802.11p standartą, leidžia įvertinti kanalą tik kiekvieno paketo pradžiūje. Kadangi paketas nėra ribojamas standarto, pradinis kanalo įvertinimas gali pasibaigti, kol paketas nebus baigtas perduoti. Jie teigia, kad kanalo sąmata turi būti atnaujinta per visą paketo ilgį. Be to, autoriai daro išvadą, kad maksimalus pralaidumas yra kompromisas tarp aukštos pridėtinės vertės per trumpą paketų ilgį ir prasto veikimo ilgesnių paketų ilgio atveju.

Nepaisant to, kad daugėja tyrimų, susijusių su duomenų perdavimo galimybėmis transporto priemonių ryšių tinkluose, nė vienas iš jų netiria ypatingo scenarijaus, kai mazgai juda priešinga kryptimi greitkelyje. Šiuo požįūriu mūsų darbas turi išskirtinumo ir naujumo bruožų.

Paslaugų teikimo galimybių automobilių komunikacijoje imitacinio modelio reikalavimai

Automobilių komunikacijoje ryšių tinklai gali būti sukurti spontaniškai tarp judančių autotransporto mazgų, turinčių vienarūšes ar nevienarūšes (t. y. heterogeniškas) belaidžio ryšio sąsajas, galinčias naudoti tokias standartizuotas priemones kaip 802.11a / b / g / n / p, „WiMax“, 3G, 4 G, LTE ir kitas paslaugų palaikymo funkcijas. Šie tinklai, dar žinomi kaip transporto priemonių proginiai, t. y. Ad-hoc, tinklai, žymimi trumpiniu (VANET – angl. Vechicle Access Area Networks). Tai yra mobiliųjų proginių Ad-hoc tinklų (MANET) programų rūšys, leidžiančios susisiekti tarp šalia esančių transporto priemonių ir transporto priemonių bei stacionarios įrangos (t. y. automobilių kelių struktūroje įrengtos telemetrinės įrangos, jutiklių, automatiškai reguliuojamų kelio užimtumo valdymo prietaisų ir pan.). Pagal pateiktus darbuose (Willke et al., 2009; Kurmis et al., 2014) rezultatus, transporto priemonių komunikacijos taikymo sritis galima suskirstyti į tris pagrindines kategorijas:

- teikiama bendroji informacija, kuri gali būti įvardijama kaip daugialypės paslaugos;
- kelių saugumo ir eismo stebėjimo paslaugos;
- valdymo paslaugos.

Analizuodami automobilių transporto kelių infrastruktūrą, turime ją konkretizuoti ir aprašyti kompiuteriniu modeliu, įtraukiamu į visos daugialygės automobilių transporto valdymo sistemos žinių bazę (Dzemydiene, Dzindzalieta, 2010; Kurmis et al. 2014). Tokiam tikslui buvo sukurtas bendras sąveikos modelis, skirtas transporto priemonių, kaip multimodalinių transporto komunikacijos objektų, ryšių vaizdavimui (Dzemydiene, Dzindzalieta, 2010). Kelių infrastruktūros aprašymas, grindžiamas daugiaryšio transporto modeliavimo sistema, buvo padalintas į tris posistemius: „Aplinka“, „Mazgas“ ir „Grandinė“. Daugiamodalinio transportavimo sistemos komponentų taikymo struktūrinė schema išreiškia pagrindinius komponentus, kurie turi būti įvertinti imitaciniame modelyje. „Aplinka“ – tai labai kompleksinė sąvoka, nusakanti transportavimo aplinkos kontekstą, tačiau supaprastintai ją galima būtų suimituoti kaip dinaminį uždara komponentą, turintį du įeinančius kanalus su pirmuoju ir paskutiniu posistemės „Sankirta–Mazgas“ komponente. Per šiuos kanalus komponentė „Aplinka“ gauna signalus apie, pvz., tam tikrų prekių gabenimo situacijas. Posistemė „Sankirta–Mazgas“ skirta tam tikro transportavimo maršruto mazgo aprašymui ir jos dinamikos imitaciniam modeliavimui. Tai gali būti transporto srautus sujungiantys kelio mazgai, tokie kaip, pvz., uostas, miesto ar sienos perėjimo punktas. Kiekvienas mazgas iš tokios posistemės turi išeinančius kanalus su posisteme „Grandinė“, per kurią „Sankirta–Mazgas“ perduoda išeinantį signalą apie prekių gabenimą (pvz., prekių pakrovimas, sandėliavimas, muitinės procedūros).

Sprendimų priėmimas atliekamas atsižvelgiant į daugybę įvairių veiksnių: vertinant daugiaryšio transporto techninę infrastruktūrą ir organizacinius aspektus, lyginant atskaitas su realia situacija. „Aplinka“ – tai posistemis, skirtas realiai daugiarmodalinio transporto aplinkai modeliuoti. Jis turi du išvesties kanalus, turinčius pirmąjį ir paskutinį mazgo posistemio jungiamuosius mazgus, per kuriuos „Aplinka“ perduoda išėjimo signalą apie užsakymą pradėti prekių gabenimą, atitinkamai, pvz., Vakarų–Rytų ar Rytų–Vakarų kryptimis.

Maršrutą galima suskirstyti į kelių ruožus, o kelio ruožui gali būti būdinga skirtinga savybė. Rizika yra susijusi su avarių įvykių scenarijais, kuriems įtaką daro pavojingų krovinių rūšys ir aplinka. Daugybinių sudėtingų scenarijų aprašymo metodai daro įtaką jų klasifikavimui pagal rūšis ir gali būti pagrįsti šio reiškinio ontologija.

Kelio mazgų sankirtose („Sankirta–Mazgas“ posistemis) gali būti vaizduojamos sudėtingos sankryžos, skersiniai keliai, miestai, sandėliavimo vietos ir kt. Objektai reikšmingi transportavimo kelių tinkle. Srauto kryptinė linija tarp dviejų „Sankirta–Mazgas“ susikirtimų gali būti apibūdinama tam tikrais aprašomaisiais parametrais, kurie gali atspindėti skirtingus kelio ruožų skaičius, žuvusiųjų skaičiumi ar kitais pavojingumą apibūdinančiais parametrais.

Analizuodami paslaugų teikimo tankį skirtinguose kelių ruožuose (regionuose) pagal scenarijų tipus, kai buvo užmegztas ryšys tarp siuntėjo ir gavėjo, judančių priešingomis kryptimis, galime apytiksliai pateikti duomenų srauto ir paslaugų žinučių dažnio vertinimą (1 lentelė).

1 lentelė. Duomenų perdavimo kokybės reikalavimai skirtingo tipo paslaugų teikimo pavyzdžiuose automobilių komunikacijoje

Paslaugos	Duomenų perdavimo paketų preliminarus dydis (KB/s)	Paketo praradimo galimybė	Perduodamų duomenų periodiškumas	Toleruojamas reakcijos netikslumas (ms)
Kelio saugumo paslaugos				
Keičiama kelio juosta	~100 / 1	Average	Event	~100
Šviesoforo kontrolės pokyčiai	~100 / 1	Average	Periodic	~100
Perspėjimai apie pavojus	~100 / 1	High	Event	~100
Perspėjimai apie kelio sąlygas	~100 / 1	Average	Periodic	~100
Daugialypės paslaugos				
IPTV	~1300 / 500	Average	Periodic	<200
VOIP	~100 / 64	Average	Periodic	<150
Vaizdo / garso failų persiuntimas	As high as possible	High	Periodic	-
Žaidimai	As high as possible	High	Periodic	-

Šaltinis: sudaryta pagal (Somer et al., 2010), (Ramos et al., 2011)

Belaidžių technologijų plėtra teikia palankesnes sąlygas atlikti daugiakomponentes funkcijas ir pasiūlyti naujų paslaugų, kurios būtų prieinamos vartotojui bet kuriuo metu bet kurioje vietoje. Šių technologijų galimybės grindžiamos atvirųjų paslaugų mobiliems vartotojams platforma. Tos pačios kategorijos prietaisų junginys į bendrą tinklą susietą sistemą vadinamas lygiarangių prietaisų tinklu. Belaidėje aplinkoje veikiančių ir tarpusavyje nuotoliniu būdu sąveikaujančių prietaisų technologija vadinama lygiarangių prietaisų sąveikos tinklais (angl. Peer-to-Peer, arba vartojamas trumpinys – P2P).

Lygiarangių prietaisų sąveikos tinklai plėtojosi nuo kliento (serverio) paradigmos (Li, 2008). Šios paradigmos pagrindas – kad klientai gali naudotis nutolusiais serverio ištekliais. Tokios technologijos turi nemažai privalumų. Tačiau yra ir keletas kliento (serverio) architektūrinių sprendimų trūkumų, kaip antai per mažos kliento pusės plėtojimo galimybės (angl. scalability), vieno „taško“ gedimas serverio pusėje ir neišnaudojami tinklo ištekliai.

Mobiliųjų technologijų sklaidos mechanizmai įgalina belaidžiu tinklu susisiekti su išorinėmis sistemomis. Auga naujų duomenų pateikimo formų skvarbumas (angl. penetration), paslaugų išdalavimo (angl. granularity) lygis, plečiasi į individualų asmenį orientuota aplinka (Chang, 2011). Jutiklinių išorinių įrenginių integravimas į bendrą tinklą gali būti grindžiamas ir sesijos inicializavimo protokolu (SIP), smarkiai keičiančiu informacinių sistemų ir telekomunikacijų paslaugų rinką. Šios srities ekspertai prognozuoja technologijų proveržį, kurį turėtų paskatinti mažėjančios komponentų kainos ir platesnis technologijų pasiekiamumas. Jau dabar pasaulyje yra milijardai įrenginių, kurie galėtų

būti sujungti į tinklą antžeminiais arba belaidžiais telekomunikacijų tinklais. Vis daugiau sujungtų jutiklinių įrenginių ne tik teikia įvairesnes paslaugas vartotojams, bet ir keičia nemažą dalį dabartinių darbo principų.

Šiuo metu jutiklinių įrenginių technologijos plinta rinkoje. Technologijų ir mobiliųjų tinklų plėtra, duomenų perdavimo greičio augimas skatina belaidžių paslaugų plėtrą įrenginiams bendraujant vieniems su kitais. Ši technologija jau tapo prieinama ne vien verslui, bet ir privatiems vartotojams.

Mobiliojo ryšio technologijų plėtra taip pat prisideda prie naujų technologijų taikymo. Pastaraisiais metais paplitus 4G mobiliojo ryšio technologijai ir plečiantis WiMax tinklui atsiveria galimybės mobiliuoju ryšiu transliuoti vaizdą ir garsą, palaikyti nuolatinį duomenų ryšį.

Naujos galimybės vėlgi įgalina teikti naujas paslaugas galutiniam vartotojui.

Pastaraisiais metais kompiuterių lustai tampa vis mažesni. Gamintojai juos pritaikė ne tik kompiuteriams, bet ir mažiems įrenginiams, tokiems kaip mobilieji telefonai, delniniai kompiuteriai, el. užrašų knygutės, žiniatinklų telefonai ir televizijos priedėliai, sudarantys visą aibę pagalbinių įterptinių sistemų (angl. set of box).

Įrenginius, pritaikytus mobiliosioms technologijoms, galima naudoti įvairiausiems tikslams. Pavyzdžiui, nešiojamaisiais ir PDA kompiuteriais, mobiliaisiais telefonais ir specialiais pranešimų gavikliais gali būti valdoma ir naudojama informacija, esanti kitame mieste, išoriniuose serveriuose, interneto svetainėse ir sistemose.

Mobilusis prietaisas gali būti transporto priemonėje integruota įterptinė sistema, tokia kaip mažas nešiojamasis įrenginys (gali būti kompiuteris, mobilusis telefonas, jutiklis ar pan.), kuriame galima saugoti, valdyti ir gauti informaciją nuotoliniu būdu, belaidėmis technologijomis. Mobilieji prietaisai gali veikti skirtingose operacinėse sistemose, pvz., *Android*, *Linux* ar supaprastintose *MS Windows* versijose, kurios skirtos būtent mobiliams prietaisams. Tokia komunikacijos technologija, kai gali bendrauti lygiarangiai (P2P, t. y. angl. Peer-to-Peer) tinklų prietaisai, yra tos pačios tinklų sąveikos kategorijos komponentai (angl. peers), tada tokie prietaisai gali atlikti kartu kliento ir serverio vaidmenį (Meyer, Portmann, 2008).

Vadinasi, dalies P2P sistemos gedimas neturės sunkių padarinių visai sistemai, nes kitos sistemos dalys „aplenks“ sugedusias dalis.

P2P sistemos skirstomos į dvi grupes: hibridines ir grynąsias. Kol jos turi kliento (serverio) komponentus, grynios P2P sistemos nepatiria jokio vieno „taško“ gedimo dėl kliento (serverio) komponentų. Yra du grynųjų P2P sistemų tipai – išskirstytieji ir lokalizuoti sistemos viduje. Nestruktūrizuoto P2P tinklo topologijoje galima „užlieti“ tinklą artimiausiems galimiems gavėjams paskleistomis žinutėmis, t. y. skleisti žinutes nuo vieno lygiarangio prietaiso iki kito. Žinutė persiunčiama kiekvienam žinomam kaimyniniam lygiarangiui prietaisui, kol ji pasiekia tikslą.

Nestruktūrizuotos P2P sistemos naudoja daug tinklo išteklių skleisti žinutes visiems žinomiems kaimyniniams lygiarangiams prietaisams. Šis faktas paskatino P2P sistemų plėtrą, jas kuriant išskirstytų maišos lentelių (DHT) pagrindu (Li, 2008).

Struktūrizuotose P2P sistemose kiekvienas mazgas, kaip ir kiekvienas išteklius, identifikuojamas identifikatoriumi, veikiančiu kaip mazgas ar išteklių identifikatorius (ID).

DHT apibrėžia artimiausią išteklių išsidėstymą tam tikruose tinklo vidaus mazguose. Struktūrinės P2P topologijos užtikrina mazgų ryšį su kitais mazgais ir jų ID.

Autotransporto kaip judančių objektų komunikacijos belaidžiuose tinkluose technologijos, taikomos heterogeninių paslaugų teikimui

Transporto srautų didėjimas ir avarijos keliuose verčia nagrinėti krovinių transportavimo problemą sisteminiu kompleksiniu požiūriu.

Judančių transporto objektą čia suprasime kaip judančią žemės paviršiumi autotransporto priemonę. Tokių transporto priemonių, vežančių pavojingus krovinius, srautai didėja, ir kiekviena iš jų tampa galimos pavojingos situacijos potencialia dalyve. Reikia nustatyti rizikos sritis ir pasiūlyti operatyvaus valdymo metodus.

Rizikos analizė rodo, kad pavojingų transporto priemonių modeliavimas yra sudėtingas procesas ir sukelia visai kitokių pavojų nei statinių objektų nagrinėjimas. Aplinkos tvarumas priklauso nuo saugaus transportavimo, ypač pavojingų krovinių saugaus gabenimo skirtingomis transporto rūšimis.

Mobiliosios technologijos – patogi ir visa apimanti platforma, skirta objekto kontekstinei informacijai, kaip antai vietovės pobūdžiui, nustatyti ir tai informacijai pateikti atitinkamoje geografinėje vietovėje gyvenantiems žmonėms, kuriems aktuali pavojingo krovinio gabenimo informacija. Tam taikomi priminimai, kuriais atitinkamais laiko momentais ir atitinkamose vietose pateikiama pavojingo transporto kontekstinė informacija.

Tam tikros fizinės aplinkos informacijos nuskaitymui naudojami jutikliai, kuriais gali būti laikomas bet koks įrenginys, kuris leidžia justi ir bendrauti su fizine aplinka. Šiuolaikinės mobiliųjų technologijų platformos aptinka ir stebi judančio transporto geografines koordinatas. Atitinkamų parametrų reikšmės gali būti fiksuojamos sensorinės įrangos jutiklių priemonėmis ir perteikiamos nuotoliniu būdu į centrinę duomenų bazę. Norint tinkamai valdyti transporto priemones, tenka ne tik nustatyti objekto buvimo vietą, bet ir susieti kontekstinę informaciją su gaunamais duomenimis, vertinti susidariusią situaciją (Valente et al., 2009), taip pat sudaryti sąlygas pasiekti transporto priemonę tam tikroms tarnyboms, sprendžiant skubios pagalbos arba tinkamo reguliavimo uždavinius.

Automobilių ar kitų žemės paviršiumi judančių objektų padėties nustatymo belaidžiais tinklais metodų apžvalga

Kiekvieno judančio objekto įrenginio vieta gali būti nustatyta naudojantis GPS (angl. Global Positioning System) imtuvu. GPS koordinatės persiunčiamos į centrinį serverį, toliau analizuojamos sistemos vartotojo ir generuojamos nustatyto tipo ataskaitos (Herrera et al., 2009).

Vartotojai, norintys pamatyti judančio objekto tam tikro laiko koordinatas ar kitus teikiamus duomenis, jungiasi prie centrinio serverio. Veikiantis GPS imtuvu naudojama gana daug elektros energijos, todėl juos ilgai naudoti neturint nuolatinio maitinimo šaltinio yra neekonomiška. GPS imtuvo įjungimas ir vietos nustatymas priklausomai nuo modelio gali

užtrukti nuo vienos iki kelių minučių, todėl įrenginyje reikia nustatyti vietos geografinės pozicijos atnaujinimo dažnį.

Šiai problemai spręsti siūlomi būdai:

- GPS imtuvas įjungiamas periodiškai, tam tikru laiko intervalu, nuskaitinėjant ir įrašant duomenis į atmintį objektui judant tam tikru greičiu v .
- Jei judantis objektas nejuda, jo greitis $v = 0$, ir geografinė pozicija nuskaitinėjama rečiau.
- GPS imtuvas išjungiamas, kol nėra poreikio atnaujinti vietos informaciją.
- GPS imtuvas išjungiamas, kai objekto judėjimo greitis yra $v > 0$, su sąlyga, kad judantis objektas aptiko prieigos tašką ir gali prisiregistruoti SIP žinute, gaudamas to prieigos taško koordinates, ir jam priskiriamos prieigos taško geografinės pozicijos koordinates.

Kur nėra tiesioginio ryšio su palydovais ir GPS imtuvai neveikia (pavyzdžiui, uždaroje patalpose, tuneliuose ir kt.), vietos nustatymui reikalingos kitos priemonės: belaidžio ryšio infrastruktūra, susidedanti iš prieigos taškų buvimo vietai nustatyti.

Vartotojai savo įrenginiais jungiasi belaidžiu ryšiu į bendrą tinklą per prieigos taškus PT (angl. access point). Vietovėse, kuriose būtina išlaikyti didelį ryšio kanalų pralaidumą ir fiksuoto tinklo įrengimas yra per brangus, diegiami tankieji riboto mobilumo tinklai, kurie naudojami stacionarioms belaidžio tinklo paslaugoms teikti. Tankiojo tinklo maršrutizatoriai naudoja skirtingus dažnių ruožus ir turi keletą belaidžio ryšio modulių. Tankiuosiuose tinkluose naudojami integruotų technologijų standartų įrenginiai, pavyzdžiui, IEEE 802.16 (WiMAX) (IEEE 802.16-2009). Atskiri IEEE 802.11a/b/g/n standartų tinklai sujungiami užtikrinant didelį ryšio kanalų pralaidumą.

Gali būti išskiriamos vietovės nuskaitymo ir duomenų skleidimo sistemos: padėties duomenų bazių sistemos (angl. location database systems) ir padėties informacijos skleidimo sistemos (angl. location dissemination systems). Tinklo įrenginiai gali perduoti koordinacinių atnaujinimo pranešimus į duomenų bazę (DB), esančią stacionariame serveryje. Vietos nustatymo paslaugų DB kopijuojamos, norint padidinti sėkmingo atsakymo į užklausą tikimybę. Vienas iš tokių sistemų pavyzdžių yra tinklinė vietos nustatymo paslauga *Grid Location Service* (GLS), aprašyta darbe (Plestys, Zakarevicius, 2010).

Balso identifikatoriaus ir internetinio ryšio galimybių plėtra, taikant *VoIP media* galimybes, šio posistemio įrenginiai naudoja KNX magistrale, kuri sujungia įvairias prietaisų valdymo technologijas: magistralinio kabelio, interneto, infraraudonųjų spindulių, radijo bangų. KNX technologijos leidžia perduoti duomenis internetiniu protokolu (Acker et al., 2010).

Šioje srityje naudingas ir duomenų nuskaitymas bei pristatymas vartotojui, pasinaudojant UDP protokolu, taip pat įrenginių ir vartotojo komunikacijai užtikrinti gali būti pasirinktas SIP protokolas. B. Kim 2011 metais pasiūlė sąveikos stebėsenai ir duomenų perdavimui realiuoju laiku naudoti SIP protokolą ir ZigBee tinklo integraciją. ZigBee įrenginių integracijai ir duomenų siuntimui panaudojamas GPRS ryšys. Kadangi tinkle gali būti keletas ZigBee įrenginių, teisingą duomenų pristatymą gali užtikrinti mobilaus judančio mazgo identifikatoriaus nuskaitymo technologija, pasiūlyta darbe (Jung, Lee, 2008).

Sesijos procedūros inicijavimo protokolo (SIP) taikymas P2P tinkluose

Procedūros inicijavimo protokolas SIP (angl. Session Initiation Protocol) yra dalykinės programos signalinis protokolas, sukuriantis, pakeičiantis ir užbaigiantis procedūras tarp vieno ar daugiau belaidžio tinklo dalyvių. SIP tapo pusiau standartu VoIP (angl. Voice over Internet Protocol) komunikacijoje. Pagal tarptautinės interneto paslaugų inžinerijos proveržio organizacijos IETF (angl. Internet Engineering Task Force) rekomendacijas, SIP priimtas kaip vienas pagrindinių protokolų, skirtų nutolusių vienasarangių judančių objektų procedūroms valdyti. Cituojant 3GPP (Third Generation Partnership Project) projekto realizavimo rezultatus, kuriais siekiama teikti naujos kartos infrastruktūrą mobiliojo ryšio sistemoms, galima teigti, kad SIP tampa pagrindu grindžiant kliento ir serverio infrastruktūrą, kurioje vartotojo agentai yra galiniuose terminaluose, t. y. klientai, tarpiniai serveriai, tvarkantys SIP žinučių maršrutą tarp vartotojo agentų ir REGISTER serverio saugyklos, kaupiančios klientų kontaktų informaciją.

Kliento ir serverio infrastruktūroje SIP tinklai teikia didelių administravimo galimybių (Li, 2010). Todėl, pavyzdžiui, *Skype* pradėjo integruoti to paties rango prietaisų sąveikos (angl. peer-to-peer) mechanizmus į VoIP komunikaciją (Islam, Hoque, 2011; Shan, Jiang, 2009). Taikant tokias tinklų infrastruktūroje įmontuotas komponentes ir protokolus buvo galima atsisakyti brangių, aukštos klasės serverių ir atlikti nedidelius infrastruktūros pakeitimus, tik su minimaliais konfigūracijos pakeitimais kliento pusėje.

Lietuvos mokslininkai taip pat prisideda prie SIP protokolo tyrinėjimų – taikant šį protokolą atnauja balso paslaugas ir perkelia balso ryšį į internetą (Markevičius et al., 2008; Markevičius et al., 2019; Pranevicius et al., 2010; Dzemydienė, Dzindzalieta, 2010).

SIP protokolo įvedimas inicijuojant komunikaciją leidžia naudotis ne tik centralizuotomis, bet ir decentralizuotomis tinklo infrastruktūromis.

Bendroji mobiliojo įrenginio ryšio sistemos architektūra, pagal 3GPP projektą, leidžia keletą metodų, kurie padeda integruoti P2P mechanizmus į SIP: SIP protokolo išplėtimas, P2P mechanizmo integravimas į SIP žinutės perdavimo mechanizmus arba tiesioginė P2P technikos integracija į vartotojo agentą (Campi, Callegati, 2009).

Tarptautinė grupė IETF sukūrė SIP protokolą ir aprašė jį RFC 3261 dokumentacijoje. SIP yra tekstinis protokolas, grindžiamas procedūros valdymu. Protokolas naudojamas daugialypės aplinkos procedūrų valdymui, pavyzdžiui, inicijuoti, nustatyti ir nutraukti procedūrą tarp kelių dalyvių.

Dalyviai gali būti asmenys (vaizdo konferencinis ryšys) arba automatai (balso pašto serveriai), arba aparatai, kurie gali bendrauti.

SIP RFC nurodo tam tikrus subjektus kliento ir serverio architektūroje. Vartotojo agentai (SIP-UA) siunčia ir priima SIP pranešimus, nustato, keičia ir nutraukia procedūras. Galiniai terminalai registruoja savo esamą kontaktinę informaciją (pavyzdžiui, IP adresą ir prievadą), registratoriaus serveryje naudodami REGISTER žinutę. Tada registras kaupia šiuos duomenis vietos nustatymo paslaugoje (LOC), kuri reikalinga nustatyti vartotojų esamą adresą susiejant duomenis su kontaktų duomenų baze informacijos vartotojų agentų specifinės srities viduje.

Tarpiniai serveriai kontroliuoja SIP tinklo srautą. SIP procedūrai inicijuoti galiniai terminalai siunčia INVITE žinutę, kurioje yra įrašytas galinio terminalo adresas SIP URI formatu (username@domainname). Yra keli būdai sujungti P2P mechanizmus į SIP ir atsisakyti centrinių serverių: standartinis SIP išplėtimas arba SIP įrenginio vientisumo išplėtimas galinėse taško vietose, t. y. SIP vietos paslaugos aprašytos darbe (Mahmoudi, Belkhir, 2011).

SIP išplėtimas (dSIP) taiko P2P mechanizmą, palaikomą P2P išplėtimo pagrindu ir veikiantį kaip išteklių lokalizacijos registro serveris. Protokolo išplėtimas leidžia publikuoti ir klausinėti kontakto informacijos, kuri yra reikalinga nukreipti SIP žinutes be centrinio serverio (Touceda et al., 2011).

Todėl yra svarbu įdėti SIP antraštes. dSIP yra suprojektuotas įvairiems DHT protokolams palaikyti. dSIP lygiarangiai (t. y. suderinami su dSIP) terminalai turi užtikrinti panašų į serverio infrastruktūrą palaikantį funkcionalumą, t. y. turi veikti kaip registras ir kartu kaip tarpinis serveris. P2P infrastruktūra reikalauja, kad mechanizmai laikytų ir gautų išteklių informaciją. dSIP naudoja SIP REGISTER žinutes susieti SIP išteklių vardus (pavyzdžiui, SIP URI) į tam tikras kontakto detales. Todėl kiekvienas lygiarangis išteklius turi pasaulyje unikalų identifikatorių dSIP infrastruktūroje.

Kai reikia nusiųsti žinutę, procedūrai sukurti lygiarangiai įrenginiai pirmiausia turi atrasti išteklių vietą. dSIP tam naudoja REGISTER žinutes, kurios nenaudoja kontakto lauko, todėl lygiarangiai įrenginiai turi apskaičiuoti gavėjo išteklių ID pagrindu šaltiniui SIP URI, paremtą DHT algoritmais.

Pavyzdys, kaip dSIP apibrėžia šaltinio URI identifikuodamas išteklius (pavyzdžiui, SIP URI):

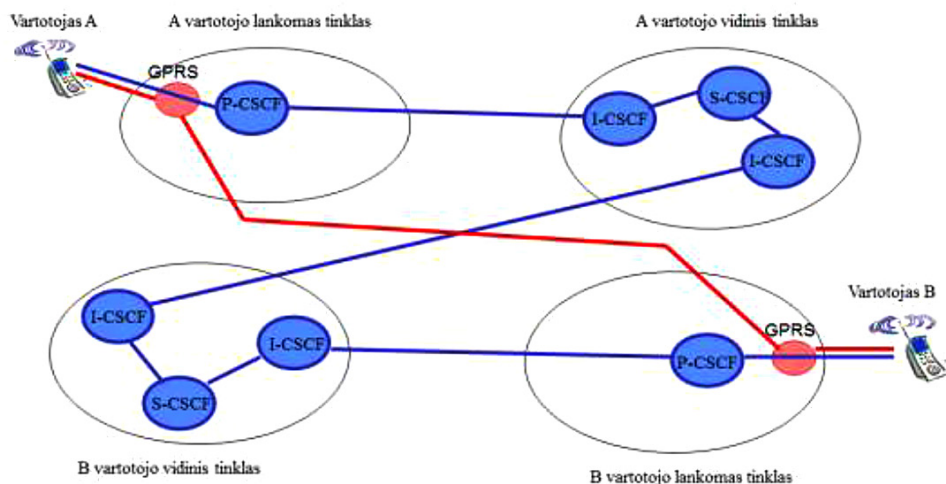
sip:bob@xyz.org; resource-ID=1257ebd371 (išteklių ID vaizduoja SIP URI maišos vertę).

Lygiarangis įrenginys kreipiasi į dinaminę maišos lentelę (DHT), kurioje yra lygiarangių įrenginių duomenys, ir pasirenka artimiausius žinomus įrenginius atsižvelgdamas į išteklių šaltinio ID; tada registracijos žinutė nusiunčiama visiems artimiausiems žinomiems lygiarangiams įrenginiams (Feng, Christanto, 2011).

Duomenų perdavimo per GPRS tinklą paslaugų teikimui naudojama sąsaja, pavaizduota raudona linija (1 pav.). Mėlyna linija vaizduoja SIP ir SDP komunikacijos galimybes (1 pav.).

Bendrojo paketinio radijo ryšio paslauga (angl. General Packet Radio Service, GPRS) – tai tarpinė grandis tarp GSM ir 3G ar 4G korinių tinklų. GPRS įgalina spartesnį duomenų perdavimą (nuo 9,6 iki 115 kilobitų) per GSM tinklą. Ja naudodamiesi vartotojai gali skambinti ir perduoti duomenis tuo pačiu metu. Pavyzdžiui, GPRS mobiliuoju telefonu galima kartu skambinti ir gauti el. laiškus. Pagrindinis GPRS privalumas – radijo tinklo ištekliai rezervuojami tik tada, kai perduodami duomenys.

IMS CSCF (angl. Call Session Control Server – skambinimo procedūrą kontroliuojantis serveris) yra dalis architektūros, suteikianti galinių įrenginių registraciją. CSCF naudojama apdoroti SIP signaliniams paketams IMS architektūroje ir numato SIP žinutės maršrutizavimą. IMS CSCF gali būti suskirstytas šitaip:



1 pav. Galima mobiliųjų vartotojų komunikacijos užtikrinimo struktūra, sujungianti GPRS funkciją ir vidinius bei išorinius tinklų komunikacijos komponentus tarp lygiarangių P2P vartotojų

Šaltinis: komunikacinė struktūra sudaryta pagal (Chu et al., 2012)

- P-CSCF yra dalis, kur įrenginiai patenka į IMS architektūrą, ir pirminis kontakto taškas vartotojo įrenginiui persiunčiant SIP žinutes į S-CSCF. Taip pat suteikia tarptinklinį įrenginio valdymo saugumą. P-CSCF yra vartotojas, nukreipiantis į tinklą. Šiuo atžvilgiu visa SIP signalizacija pereina per P-CSCF vidiniame namų tinkle ar kitos šalies tinkle. Kai tik vartotojas registruojasi IMS tinkle, registracijos signalizacija pereina per P-CSCF.
- S-CSCF (server-CSCF) – bendros IMS SCSF architektūros elementas, teikiantis procedūros valdymą galiniams įrenginiams ir išlaikantis procedūros būseną.
- I-CSCF (angl. Interrogating (apklausiantysis) CSCF) – procedūros valdymo subjektas galiniams įrenginiams, kurie palaiko procedūros būsenas. I-CSCF naudojamas perduodant pradinę SIP užklausą į S-CSCF, kai iniciatorius nežino, kuris S-CSCF turi ją gauti. Pagrindinis uždavinys – rasti S-CSCF registracijos metu.
- HSS (angl. Home Subscriber Server) – svarbus IMS architektūros elementas, kuriame laikomi abonentų duomenys. Kai abonentai registruojasi IMS tinkle, abonentų duomenys gaunami iš HSS per S-CSCF, kurie buvo priskirti abonentui. P-CSCF, I-CSCF ir S-CSCF egzistuoja atskirai kiekvienam vartotojui ir yra nustatyti registracijos metu.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai

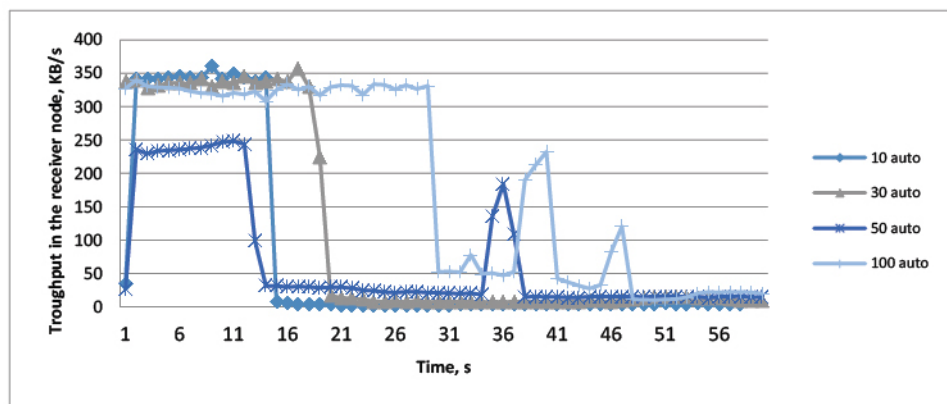
Eksperimentiniams tyrimams atlikti sudarytas imitacinis modelis. Eksperimentai buvo atliekami modeliavimo aplinkoje NCTUns 6.0 (Wang, Chou, 2009), kuri buvo įdiegta į *Fedora 12 Linux* operacinę sistemą. Tokio tipo aplinka buvo pasirinkta, nes ji naudoja:

- „Linux TCP / UDP / IP“ protokolus, teikia aukšto tikslumo rezultatus;
- aplinką galima naudoti su bet kuria realia „Unix“ programa imituotame mazge be papildomų modifikacijų;
- gali būti palaikomas per 802.11a / b / p, 802.16e ryšių tinklus ir transporto priemonių mobilumo modeliavimą, aplinka turi patogią vartotojo sąsają ir gali pakartoti modeliavimo rezultatus.

Eksperimento scenarijuje judantis Mazgas (4) siunčia duomenis į kitą judantį mazgą. Ryšys užtikrinamas per standartinę 801.11b sąsają ir naudojamas daugialypės apimties duomenų perdavimo būdas, įgalinantis siųsti atsiliepimą; gauti transportavimo istoriją; išsaugoti aplinkos parametrus ir pan.

Eksperimentų metu buvo įvertintas duomenų perdavimo efektyvumas – išeinantis pralaidumas, atsisieniavimo pralaidumas, paketų kritimas ir susidūrimai su skirtingu transporto priemonių skaičiumi tinkle. Duomenys buvo perduoti naudojant UDP protokolą, o paketo dydis įvertintas kaip 1 000 baitų. Buvo padaryta prielaida, kad ryšio tarp siuntėjo ir gavėjo laikas yra tiesiogiai proporcingas automobilių skaičiui tinkle. Be to, didėjant mazgų skaičiui, tikimasi, kad padidės susidūrimo ir atmetų paketų skaičius.

Tyrimų metu surinktų duomenų analizė parodė atsisieniavimo greičio priklausomybę nuo laiko, esant skirtingam mazgo skaičiui tinkle (2 pav.). Diagrama rodo, kad ilgiausias ryšio laikas pasiekiamas eksploatuojant didžiausią transporto priemonių tinklą – 100. Turint maksimalų transporto priemonių skaičių padidėja tinklo aprėptis, todėl duomenis galima perduoti ilgesniam laikotarpiui. Turint 100 transporto priemonių ir apie 330 KB/s duomenų perdavimo spartą, mums pavyko palaikyti ryšį 30 sekundžių. Greitis nuo 31 s sumažėjo iki 50 Kb/s, tačiau nuo 37 s iki 41 s greitis padidėjo iki 230 Kb/s, o nuo 46 s iki 48 s – iki 130 KB/s.



2 pav. Gauti eksperimentinio tyrimo rezultatai, iliustruojantys duomenų atsisieniavimo greičio priklausomybę nuo laiko, esant skirtingam transporto priemonių skaičiui tinkle, galimybes

Kai transporto priemonės pravažiavo viena kitą, ryšys buvo sustabdytas. Mažiausiai duomenų perdavimo spartą pasiekė 50 transporto priemonių eksploatuojantis tinklas. Be to, tokiu atveju pasiekiamas trumpiausias bendravimo laikas. Dėl nedidelio transporto priemonių skaičiaus (10–30) išlaikomas palyginti aukštas duomenų perdavimo greitis, tačiau, sąlygoms sudėtingėjant, kito ir eksperimentinio tyrimo modelio struktūra, taigi eksperimentiniai tyrimai turės būti tęsiami.

Išvados

Straipsnyje aprašyti tinklų komunikacijos būdai ir apžvelgiamos vienos naujausių šiuo metu komunikacijai taikomo sesijos inicijavimo protokolo (SIP) integracijos šiuose tinkluose galimybės. Tai tam tikros procedūros, kurios taikomos 3G ir 4G funkcijas užtikrinančiuose ir aukštesnės kartos tinkluose.

Pateikiama technologinių sprendimų, įdomių sąveikos įrenginio su judančiu įrenginiu komunikavimo tyrimų rezultatų belaidžių tinklų aplinkoje apžvalga, aprašant teikiamas lygiarangių įrenginių komunikavimo paslaugas (P2P). P2P pagrindu kuriami technologiniai sprendimai taikomi teikiant automobilių transportavimo paslaugas.

Pateikti rezultatai kai kurių atliktų eksperimentų, kurių metu buvo sudarytas imitacinis modelis ir tiriamos ryšio ir duomenų perdavimo galimybės tarp greitaeigių judančių siuntėjo ir gavėjo mazgų priešingomis kryptimis mobiliųjų daugialypės terpės paslaugų komunikaciniame tinkle. Buvo įvertintas heterogeninių paslaugų transporto komunikacijos tinkluose duomenų paketų perdavimo efektyvumas ir ryšio kokybė. Buvo nustatyta, kad ilgiausias ryšys gali būti palaikomas esant maksimaliam transporto priemonių skaičiui, tačiau komunikacijos kokybė yra atvirkščiai proporcinga transporto priemonių skaičiui, nes, didėjant transporto priemonių skaičiui, didėjantys duomenų paketų mainai sukelia tinklo užtvindymą, kuris lemia atsirandančius tinklo pralaidumo nesklandumus.

Svarbi yra tokių protokolų kaip SIP funkcinė galimybių integracija ir jos funkcionavimas IMS architektūroje. Aptariami belaidžių technologijų pagrindu kuriami lygiarangių prietaisų sąveikos P2P tinklų ypatumai ir siūlomi sprendimų būdai, kurių realizacinius sprendimus panaudoja transporto paslaugų teikėjai.

Literatūra

ACKER, Robin; BRANDT, Steffen; BUCHMANN, Nicolas; FUGMANN, Thorsten; MASSOTH, Michael (2010). Ubiquitous Home Control Based on SIP and Presence Service. *Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. ACM, p. 759–762. <https://doi.org/10.1145/1967486.1967608>

ALEXANDER, Paul; HALEY, David; GRANT, Alex (2011). Cooperative Intelligent Transport Systems: 5.9-GHz Field Trials. *Proceedings of the IEEE*, vol. 99-7, p. 1213–1235. <https://doi.org/10.1109/jproc.2011.2105230>

CAMPI, Aldo; CALLEGATI, Franco (2009). Calling Procedures in Hybrid SIP Network. *Proceedings of AP2PS'09. First International Conference on Advances in P2P Systems*. IEEE, p. 203–208. <https://doi.org/10.1109/ap2ps.2009.40>

CHANG, Peng Kee; CHONG, H. L. (2011). Customer Satisfaction and Loyalty on Service Provided by Malaysian Telecommunication Companies. *Proceedings of International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI*, Bandung, Indonesia, 17-19 July, 2011, p. 17–19. <https://doi.org/10.1109/iceei.2011.6021730>

CHENG, Ho T.; SHAN, Hangguan; ZHUANG, Weihua (2011). Infotainment and Road Safety Service Support in Vehicular Networking: From a Communication Perspective. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 25-6, p. 2020–2038. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.11.009>

CHU, Yuning; YU, Qiyue; ZHAO, Ying; MENG, Weixiao; TAN, Xuezhi (2012). IMS-based Smart Grid System. *Proc. 12th International Conference on Computer and Information Technology (CIT)*. IEEE, p. 936–942. <https://doi.org/10.1109/cit.2012.193>

DZEMYDIENĖ, Dalė; DZINDZALIETA, Ramūnas (2010). Development of Architecture of Embedded Decision Support Systems for Risk Evaluation of Transportation of Dangerous Goods. *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 6(4), p. 654–671. <https://doi.org/10.3846/tede.2010.40>

FALLAH, Yaser P.; HUANG, Ching-Ling; SENGUPTA, Raja; KRISHNAN, Hariharan (2011). Analysis of Information Dissemination in Vehicular Ad-Hoc Networks With Application to Cooperative Vehicle Safety Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60-1, p. 233–247. <https://doi.org/10.1109/tvt.2010.2085022>

FERNANDEZ, Joseph A.; BORRIES, Kevin; CHENG, Lin; KUMAR, B. V. K. Vijaya; STANCIL, Daniel D.; BAI, Fan (2012). Performance of the 802.11p Physical Layer in Vehicle-to-Vehicle Environments. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61-1, p. 3–14. <https://doi.org/10.1109/tvt.2011.2164428>

FERNG, Huei-Wen; CHRISTANTO, Iwan A. (2011). Globally Overlaid Hierarchical P2P-SIP Architecture with Route Optimization. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 22, no. 11, p. 1826–1833. <https://doi.org/10.1109/tpds.2011.81>

HERRERA, Juan Carlos; WORK, Daniel B.; HERRING, Ryan; BAN, Xuegang Jeff; JACOBSON, Quinn; BAYEN, Alexandre M. (2009). *Evaluation of Traffic Data Obtained Via GPS-enabled Mobile Phones: The Mobile Century field experiment*. DOI:10.1016/j.trc.2009.10.006. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2009.10.006>

ISLAM, Md Safiqul; HOQUE, Rezaul (2011). SIP over Peer-to-Peer – Implications and existing approaches. *2011 IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*, IEEE, p. 261–266. <https://doi.org/10.1109/isci.2011.5958924>

JABER, Aws Naser; TAN, Chen-Wei; MANICKAM, Selvakumar; KHUDHER, Ali Abdulrazzaq (2012). Session Initiation Protocol Security: A Brief Review. *Journal of Computer Science*, vol. 8 (3), p. 348–357.

JUNG, Jy; LEE, Jw. (2008). ZigBee Device Access Control and Reliable Data Transmission in ZigBee Based Health Monitoring System. *Proceedings of ICACT 2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*. IEEE, p. 795–797. <https://doi.org/10.1109/icact.2008.4493875>

KARAGIANNIS, Georgios; ALTINTAS, Onur; EKICI, Eytem; HEIJENK, Geert; JARUPAN, Boangoat; LIN, Kenneth; WEIL, Timothy (2011). Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13-4, p. 584–616. <https://doi.org/10.1109/surv.2011.061411.00019>

KHABAZIAN, Mehdi; AISSA, Sonia; MEHMET-ALI, Mustafa (2011). Performance Modeling of Message Dissemination in Vehicular Ad Hoc Networks with Priority. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 29-1, p. 61–71. <https://doi.org/10.1109/jsac.2011.110107>

KURMIS, Mindaugas; ANDZIULIS, Arūnas; DZEMYDIENĖ, Dalė; JAKOVLEV, Sergej; VOZNAK, Miroslav; GRICIUS, Gediminas (2015). Cooperative Context Data Acquisition and Dissemination for Situation Identification in Vehicular Communication Networks. *Wireless Personal Communications*. [New York]: Springer LLC, vol. 85, iss. 1, p. 49–62. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2727-1>

KURMIS, Mindaugas; DZEMYDIENE, Dale; ANDZIULIS, Arūnas; VOZNAK, Miroslav; JAKOVLEV, Sergej; LUKOSIUS, Zydrunas; GRICIUS, Gediminas (2014). Prediction Based Context Data Dissemination and Storage Model for Cooperative Vehicular Networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing, vol. 289, p. 21–30. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07401-6_3

LEE, Uichin; GERLA, Mario (2010). A Survey of Urban Vehicular Sensing Platforms. *Computer Networks*, vol. 54-4, p. 527–544. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2009.07.011>

LI, Jin (2008). On Peer-to-peer (P2P) Content Delivery. *Peer-to-Peer Networking and Applications*. March 2008, vol. 1, iss. 1, p. 45–63. <https://doi.org/10.1007/s12083-007-0003-1>

MAHMOUDI, Othmane; BELKHIR, Abdelkader (2011). Extension of SIP Protocol for Managing Home Networks. Proceedings of ISPS'2011 10th International Symposium on Programming and Systems. IEEE, p. 80–86. <https://doi.org/10.1109/isps.2011.5898876>.

MARKEVIČIUS, Vytautas; NAVIKAS Dangirutis; IDZKOWSKI, Adam; ANDRIUKAITIS, Darius (2019). An Effective Method of Vehicle Speed Evaluation in Systems Using Anisotropic Magneto-Resistive Sensors. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 99, p. 1–17. <https://doi.org/10.1109/mits.2018.2889693>.

MARKEVIČIUS, Vytautas; NAVIKAS, Dangirutis; JONYNAS, V., DUBAUSKIENĖ, N. (2008). Risk Analysis of SIP Monitoring and Control System User Interface. *Electronics and Electrical Engineering*. Kaunas: Technologija, vol. 7, p. 85–88.

MEYER, Benjamin; PORTMANN, Marius (2008). Practical Performance Evaluation of Peer-to-Peer Internet Telephony Using SIP. *CITWORKSHOPS '08 Proceedings of the 2008 IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology Workshops*, p. 204–209. <https://doi.org/10.1109/cit.2008.workshops.44>

MOUSTAFA, Hassnaa; ZHANG, Yan (2009). *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*. CRC Press, Boca Raton.

PLESTYS, Rimantas; ZAKAREVICIUS, Rokas (2010). Request and Response Zone Control for Routing in MANET. *12th Biennial Baltic Electronics Conference*, p. 219–222. <https://doi.org/10.1109/bec.2010.5631590>

PRANEVICIUS, Henrikas; PAULAUŠKAITE-TARASEVICIENE, Agne; JARUTIS, Alfonsas (2010). Simulation of Protocol for Initiation of Communication Sessions Using dynPLA Model. *Electronics and Electrical Engineering*. Kaunas: Technologija, vol. 5, p. 35–38. <https://doi.org/10.1016/j.image.2011.03.005>

RAMOS, Fernando M. V.; CROWCROFT, Jon; GIBBENS, Richard J.; RODRIGUEZ, Pablo; WHITE, Ian H. (2011). Reducing Channel Change Delay in IPTV by Predictive Pre-joining of TV Channels. *Signal Processing: Image Communication*, vol. 26-7, p. 400–412. <https://doi.org/10.1016/j.image.2011.03.005>

SHAN, Liancheng; JIANG, Ning (2009). Research on Security Mechanisms of SIP-based VoIP System. *Proc. of HIS'09- Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*. IEEE, 2, art. no. 5254494, p. 408–410. <https://doi.org/10.1109/his.2009.196>

SOMMER, Christoph; SCHMIDT, Armin; CHEN, Yi; GERMAN, Reinhard; KOCH, Wolfgang; DRESSLER, Falko (2010). On the Feasibility of UMTS-based Traffic Information Systems. *Ad Hoc Networks*, vol. 8-5, p. 506–517. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2009.12.003>

TOUCEDA, Diego Suarez; CÁMARA, José Sierra; VILLALBA, Luis Javier García; MÁRQUEZ, Jose T. (2011). Advantages of Identity Certificate Segregation in P2PSIP Systems. *IET Communications*, vol. 5.6, p. 879–889. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2010.0442>

VALENTE, Fabio; ZACHEO, Giammarco; LOSITO, Pierfrancesco; CAMARDA, Pietro (2009). A Telecommunications Framework for Real-Time Monitoring of Dangerous Goods Transport. *IEEE*, p. 13–18. <https://doi.org/10.1109/itst.2009.5399390>

VALENTE, Fredy J.; NETO, Alfredo C. (2017). Intelligent Steel Inventory Tracking with IoT / RFID. *Proceedings of IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA)*. <https://doi.org/10.1109/rfid-ta.2017.8098639>.

WANG, Qing; HU, J.; ZHANG, Yan (2012). Performance Evaluation of Information Propagation in Vehicular ad hoc Network. *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 6-2, p. 187–196. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2010.0131>.

WANG, Shie Yuan; CHOU, C. L. (2009). NCTUns Tool for Wireless Vehicular Communication Network Researches. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 17-7, p. 1211–1226. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.04.008>

WILLKE, Theodore; TIENTRAKOOL, Patcharinee; MAXEMCHUK, Nicholas (2009). A Survey of Inter-vehicle Communication Protocols and Their Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 11-2, p. 3–20. <https://doi.org/10.1109/surv.2009.090202>

ZHENYU, Liu; LIN, Pu; KONGLIN, Zhu; LIN, Zhang (2015). Design and Evaluation of V2X Communication System for Vehicle and Pedestrian Safety. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, vol. 22, iss. 6, p. 18–26. [https://doi.org/10.1016/s1005-8885\(15\)60689-6](https://doi.org/10.1016/s1005-8885(15)60689-6)