

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Antanas VINDAŠIUS

PASLAUGŲ KOKYBĖS HETEROGENINIUOSE BEVIELIUOSE TINKLUOSE TYRIMAI

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS INŽINERIJA (01T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2010

Disertacija rengta 2006–2010 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Algimantas KAJACKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Pirmininkas

prof. habil. dr. Romanas MARTAVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

Nariai:

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

prof. habil. dr. Kazys KAZLAUSKAS (Matematikos ir informatikos institutas, fiziniai mokslai, informatika – 09P),

prof. dr. Dalius NAVAKAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T),

prof. habil. dr. Julius SKUDUTIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

Oponentai:

doc. dr. Šarūnas PAULIKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T),

doc. dr. Jonas RIMAS (Kauno technologijos universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09P).

Disertacija bus ginama viešame Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2010 m. lapkričio 25 d. 14 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

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

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

el. paštas doktor@vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2010 m. spalio 22 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

VGTU leidyklos „Technika“ 1810-M mokslo literatūros knyga.

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Antanas VINDAŠIUS

ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (01T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2006–2010.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Algimantas KAJACKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T).

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

Chairman

Prof Dr Habil Romanas MARTAVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T).

Members:

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

Prof Dr Habil Kazys KAZLAUSKAS (Institute of Mathematics and Informatics, Physical Sciences, Informatics – 09P),

Prof Dr Dalius NAVAKAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T),

Prof Dr Habil Julius SKUDUTIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T).

Opponents:

Assoc Prof Dr Šarūnas PAULIKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T),

Assoc Prof Dr Jonas RIMAS (Kaunas University of Technology, Physical Sciences, Informatics – 09P).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Electrical and Electronic Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 2 p. m. on 25 November 2010.

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

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

e-mail: doktor@vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 22 October 2010.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Įvadas

Mokslo problemos aktualumas. Paslaugų kokybės (QoS) kontrolė paketinio perdavimo tinkluose tampa tikru iššūkiu. Kanalo išteklių valdymo prasme mobiliosios belaidės paketinio perdavimo technologijos šią užduotį dar labiau sunkina, kadangi riboti bevielio kanalo technologiniai ištekliai kinta laike ir erdvėje.

Keisdami griežtą paslaugų kokybės kontrolę kanalų komutavimo tinkluose į švelnią QoS kontrolę IP tinkluose, tinklų operatoriai pasiekia daugiau lankstumo, plėtos galimybių, efektyviau panaudoja dažnių spektro išteklius ir vartotojams pateikia įvairias paslaugas nedidelėmis sąnaudomis. Šiuolaikinės tikralaikės įvairialypės terpės ir interaktyvios paslaugos teikiamos paketinio perdavimo tinklais, o spartus greitaiegių belaidžių prieigos tinklų technologijų vystymasis leidžia šias paslaugas teikti judriai.

Šiame heterogeninių tinklų ir paslaugų įvairovės kontekste, paslaugų kokybės problema tampa vis aktualesnė.

Didėjant konkurencijai, tinklų operatoriai projektuodami duomenų perdavimo tinklus siekia kuo didesnio rentabilumo, vengia griežtų išpareigojimų vartotojams ir teikiamų paslaugų kokybę apibūdina kaip „geriausių pastangų“. Kita vertus, ateinančios kartos telekomunikacijų tinklai yra orientuoti į paslaugų ir transporto technologijų įvairovę, todėl reikalingi dinamiški ir lankstūs kokybės kontrolės mechanizmai, įskaitant gebėjimą vertinti faktiškai patiriamą paslaugos kokybę.

Todėl į paslaugas orientuoti prieigos tinklų tyrimai atlieka svarbų vaidmenį siekiant suprasti sąsajas tarp paslaugos kokybės kategorijų: vartotojo reikalaujamos paslaugos kokybės, operatoriaus siūlomos bei faktiškai pasiekiamos paslaugos kokybės ir galiausiai – vartotojo patiriamosios paslaugos kokybės. Patiriamosios paslaugos kokybės stebėsenos priemonių trūkumas lemia silpną paslaugų lygmens susitarimų užtikrinimo kontrolę, o kartu vartotojo keliama reikalavimai operatoriui ir operatoriaus išpareigojimai vartotojui tampa neapibrėžtais.

Tikralaikės vartotojo patiriamos paslaugos kokybės stebėsenos priemonės vartotojų įrenginiuose yra būtinos moderniems paslaugos kokybės valdymo mechanizms. Ateinančios kartos telekomunikacijų tinklų prieigos architektūra apibrėžiama kaip heterogeniškų, tarpusavyje sąveikaujančių belaidžių plačiajuosčių technologijų visuma, nepriklausoma nei nuo konkrečių perdavimo technologijų, nei nuo operatorių. Ši architektūra orientuota į paslaugas, todėl faktiškai pasiektos ir patirtos paslaugos kokybės stebėseną ir apskaita tampa kritiškai svarbia.

Tyrimų objektas. Tyrimų objektas – belaidės prieigos tinklų savybės, gebėjimas kontroliuoti ir užtikrinti paslaugos kokybę bei stebėti ją vartotojų įrenginiuose.

Darbo tikslas ir uždaviniai. Darbo tikslas – ištirti belaidės prieigos tinklų darbo parametrų įtaką paslaugos kokybei ir sukurti apibendrintą paslaugos kokybės stebėsenos priemonių, taikomų galutinio vartotojo įrenginyje, modelį. Šiam tikslui pasiekti, sprendžiami tokie uždaviniai:

1. Išanalizuoti esamas paslaugos kokybės vertinimo, realiai pasiektos ir suvokiamos kokybės stebėsenos bei paslaugų lygmens susitarimų užtikrinimo priemonės.
2. Išanalizuoti dabartinių belaidžių vartotojo prieigos technologijų savybes teikiant duomenų perdavimo paslaugas ir taikant griežtus bei švelnius paslaugos kokybės užtikrinimo mechanizmus.
3. Išanalizuoti belaidžių prieigos tinklų charakteristikas siekiant nustatyti faktorius, įtakojančius paslaugos kokybę belaidžiuose prieigos tinkluose.
4. Suformuluoti realiai pasiektos paslaugos kokybės vertinimo principus.
5. Sukurti apibendrintą paslaugos kokybės reikalavimų sudarymo ir stebėsenos sistemos vartotojo įrenginyje modelį.
6. Sukurti ir eksperimentiškai įvertinti paslaugos kokybės stebėsenos sistemą interneto naršymo paslaugai.

Tyrimų metodika. Darbe taikomi šie tyrimo metodai:

- Statistinė analizė.
- Modeliavimas (programinėmis priemonėmis: Opnet, NCTUns, tc, Matlab).
- Aktyvūs ir pasyvūs eksperimentiniai matavimai.

Mokslinis naujumas. Rengiant disertaciją buvo gauti šie nauji rezultatai:

1. IEEE 802.11 standarto belaidžių tinklų modeliavimo rezultatai, įvertinantys kokybės valdymo mechanizmų įvedamą perteklių skaičių, taip pat aptarnaujamų balso kanalų skaičių pusiau duplexo sistemoje.
2. Modeliuojant perdavimą grandine gauti paketų vėlinimų skirstiniai.
3. Bevielų kanalo modeliai, sudaryti remiantis eksperimentinių belaidžių prieigos tinklų matavimų duomenimis.
4. Patobulintas paslaugų lygmens susitarimų sudarymo ir apibendrintas realiai pasiektos paslaugos kokybės stebėsenos modelis.
5. Pasiūlytas kokybės stebėsenos modelis interneto naršymo paslaugai.

Praktinė vertė. Tyrimų rezultatai gali būti panaudojami vystant realiai pasiekiamos ir vartotojo patiriamos paslaugų kokybės stebėsenos algoritmus ateinančių kartų belaidės prieigos tinkluose. Pateiktas apibendrintas paslaugų lygmens susitarimų užtikrinimo ir stebėsenos modelis gali būti naudojamas individualiai kokybės stebėsenai ir kontrolei ateinančios kartos tinkluose.

Pateikti eksperimentiniai bei modeliavimo rezultatai gali būti naudojami konkrečių paslaugų veikimo įvertinimui bei adaptavimui, tinklo pralaidos planavimui. Pateiktas sinchroninio belaidžio vietinės prieigos tinklo modelis leidžia pagerinti kokybinius balso perdavimo belaidžiais lokalsios prieigos tinklais (WLAN) parametrus. Perdavimo grandine modeliavimo rezultatai gali būti naudojami kaip ribiniai kokybiniai įvertinimai kuriamiems vėlinimui jautrių paslaugų taikymams transporto sistemose.

Ginamieji teiginiai

1. Paslaugų kokybės užtikrinimas belaidės prieigos tinkluose reikalauja papildomų technologinių išteklių, kurių poreikis gali būti mažinamas optimizuojant prieigos planuokles, tačiau judriuose taikymuose šie ištekliai ne visada prieinami.
2. Paslaugų kokybės valdymas ir apskaita belaidžiuose heterogeniniuose tinkluose turi apimti pasyvią paslaugų kokybės stebėseną vartotojo įrenginyje, sukuriančią grįžtamojo ryšio grandį tarp vartotojo ir operatoriaus.
3. Tikralaikė paslaugų kokybės stebėsenos sistema turi remtis faktiškai pasiekiamos kokybės ir suformuotų individualių kokybės reikalavimų skirtumu, bet ne absoliučiais paslaugų kokybės įverčiais.

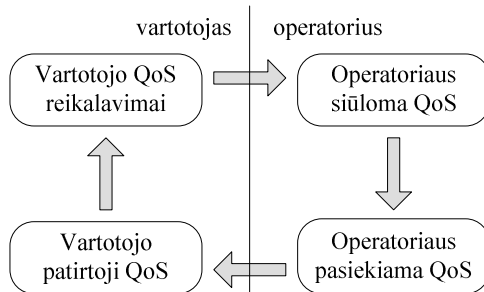
Darbo apimtis. Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir rezultatų apibendrinimas. Darbo apimtis yra 112 puslapių, tekste panaudotos 37 numeruotos formulės, 54 paveikslai ir 8 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudoti 106 literatūros šaltiniai.

1. Paslaugų kokybės vertinimo ir kontrolės metodai

Šiame skyriuje pateikiama žinomų paslaugos kokybės vertinimo ir valdymo procesų apžvalga, koncentruojantis į vartotojo perspektyvą ir galimybes įvertinti realiai pasiekiamą ir vartotojo patiriamą paslaugų kokybę. Šios analizės tikslas – nustatyti galimas metodikas subjektyvių ir objektyvių kokybės įvertinimų susiejimui, taip pat suformuoti teorinį pagrindą su kokybe susijusių prieigos tinklo charakteristikų analizei.

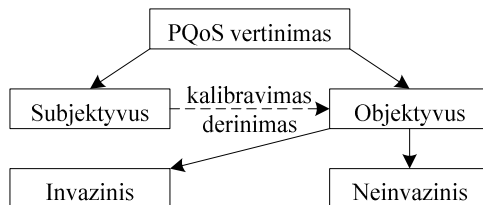
Ankstesnė paslaugos kokybės vertinimo patirtis rodo, kad vartotojo patirtoji kokybė yra nevienareikšmiškai susieta su momentine paslaugos kokybe ir gali kisti plačiose ribose.

Tarptautinės telekomunikacijų sąjungos (ITU) apibrėžtuose QoS kategorijų ryšiuose (1 pav.) kokybės vertinimo problematiką galima suprasti kaip sudėtingas ir šiuolaikiniuose tinkluose neapibrėžtas sąsajas tarp vartotojo (subjektyvaus) ir operatoriaus (techninio, objektyvaus) domenų.



1 pav. QoS kategorijų sąsajos pagal ITU

Patiriamos QoS vertinimo metodiką galima skirstyti į dvi grupes – subjektyvią ir objektyvią (2 pav.). Subjektyvūs metodai laikomi tikslia metrika, kadangi yra standartizuoti, tačiau jie nepatogūs, brangūs ir nepritaikomi tikrąja laikui vertinimui. Nuomonių vidurkinimas subjektyviuosiuose „vidutinės nuomonės įverčio“ (MOS) metoduose sukuria neapibrėžtumus norint juos taikyti individualios kokybės įverčiams. Objektyvūs metodai įgalina kokybės vertinimus atlikti realiuose tinkluose, naudojant (invazinis) arba nenaudojant (neinvazinis) originalaus neiškraipyto signalo.



2 pav. Patirtosios paslaugų kokybės (PQoS) vertinimo metodika

Nors QoS valdymo priemonės šiuolaikiniuose telekomunikacijų tinkluose yra naudojamos ir gerai integruotos įvairiuose tinklo lygmenyse, faktiškai gauta ir patiriama kokybė yra kintama ir gali neatitikti iškeltų reikalavimų. Pagrindinės patiriamos QoS kitimo belaidės prieigos tinkluose priežastys – vartotojų judrumas ir kintama bazinių stočių apkrova. Žemos kokybės zonos paprastai susiformuoja dėl radijo signalo sklidimo, įtakoto kliūčių, slopinimo, nykimų ir interferencijos, arba dėl tinklo planavimo ypatumų ir per didelio tinklo išteklių sutankinimo. Šiuolaikiniuose judriuosiuose belaidės prieigos tinkluose galutiniai vartotojai neturi priemonių gaunamai paslaugos kokybei nustatyti. Šiuo metu nėra metodų, kaip išmatuoti patirtą paslaugos kokybę realiuose tinkluose paslaugos teikimo metu. Projektuojant paslaugos kokybės stebėsenos sistemą, pirmiausia reikia išanalizuoti belaidės prieigos tinklų charakteristikų sąryšius su teikiamos paslaugos kokybe.

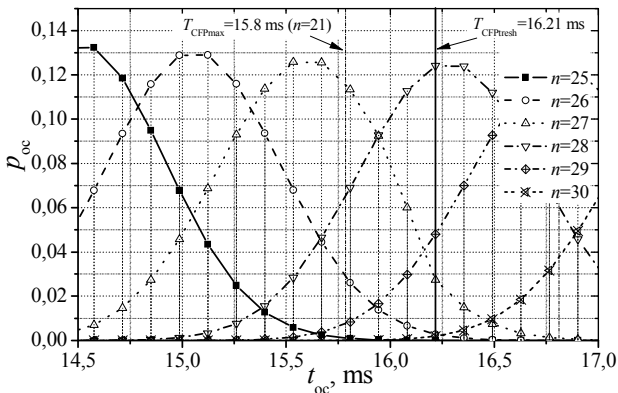
2. Su paslaugos kokybe susietų belaidės prieigos tinklų charakteristikų analizė

Šiame skyriuje pateikiama paplitusių belaidės prieigos tinklų technologijų analizė, siekiant nustatyti paslaugos kokybę įtakančius faktorius. Tiriama specialieji kokybės valdymo atvejai – balso perdavimas lokaliaisiais belaidžiais tinklais, taip pat perdavimas grandine nekoordinuoto ryšio tarp automobilių taikymui. Šie scenarijai paryškina kokybinių faktorių svarbą, kai turi būti užtikrinamos griežtos delsos ir patikimumo parametrų ribos.

Tyrimams naudojami sudaryti įvairių konfigūracijų WLAN, balso šaltinių, perdavimo grandine modeliai naudojant OpNET, NCTUns, Matlab modeliavimo priemones, taip pat atliekami eksperimentiniai matavimai WiMAX technologijos belaidės prieigos tinkle. Tyrimo metu parodoma, kad QoS užtikrinimas WLAN tinkluose reikalauja papildomų technologinių išteklių. Šie papildomi ištekliai gali būti kontroliuojami parenkant srauto planuokles ir pritaikant jas perduodamų paslaugų specifikai.

Naudojant keturių būsenų dialogo modelį kaip balso šaltinį balso perdavimo modeliavimuose, pasiekiamas didesnis modelio realistiškumas. Tai ypač aktualu pusiau duplexo sistemoms. Vienas iš kokybinių parametrų užtikrinimo būdų WLAN tinkle perduodant balso paketus – švyturio intervalų ir balso kodeko sinchronizacija, kuri taip pat leidžia padidinti sistemoje aptarnaujamų balso kanalų skaičių. Modeliavimai rodo, kad esant 11 Mb/s spartai fiziniame kanale, sistemos talpa padidinama 4 balso kanalais be paketų praradimo. 3 pav. pateikti nesivaržymo periodo (CFP) užimtumo pasiskirstymai esant skirtingam balso kanalų skaičiui, iš kurių matyti, kad toleruojant paketų praradimus galima išplėsti balso kanalų, aptarnaujamų tame pačiame belaidžiam kanale, skaičių.

Balso paketų užimamam laikui t_{oc} (3 pav.) viršijus maksimalią kadro trukmę ($T_{CFPresh}$), stebimi paketų praradimai iki 0,4 % esant 26 balso kanalams ir 5,4 % esant 27 balso kanalams.



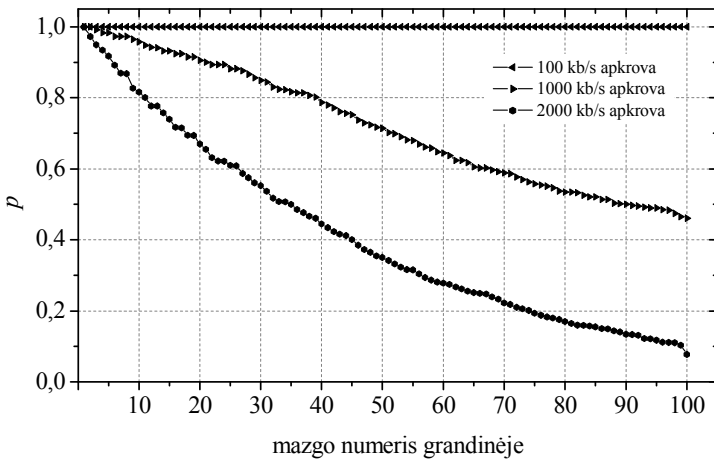
3 pav. Užimtos CFP trukmės t_{oc} pasiskirstymas esant skirtingam balso kanalų skaičiui belaidės lokalsios prieigos tinklo kanale

WLAN modeliavimo su QoS išplėtimu rezultatai rodo, kad naudojant srautų agregaciją, patvirtinimo žinučių integravimą ir modifikuojant standartinės planuoklės, 11 Mb/s fizinio kanalo atveju balso kanalų skaičius gali būti padvigubintas (1 lentelė).

1 lentelė. Aptaunjamų balso kanalų skaičius IEEE 802.11b/e kanale

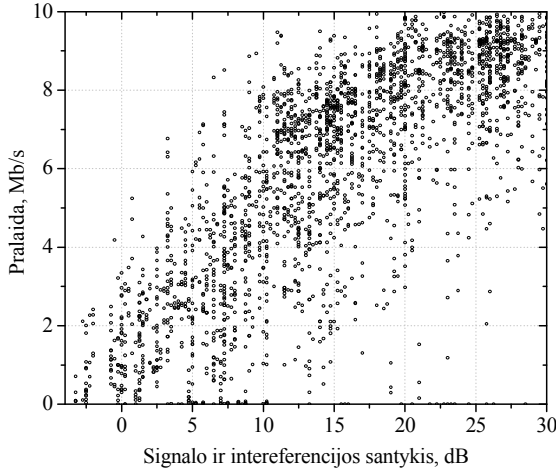
Prieigos QoS valdymo metodas	Balso kanalų	Paketų praradimas
IEEE 802.11e HCCA	11	0 %
IEEE 802.11e HCCA, srautų agregavimas ir patvirtinimo žinučių integravimas	16	0 %
IEEE 802.11e HCCA, modifikuotas planuoklės algoritmas	16	0,45 % paskutinis kanalas, 0 % kiti
IEEE 802.11e HCCA, srautų agregavimas ir patvirtinimo žinučių integravimas, modifikuotas planuoklės algoritmas	21	0,87 % paskutinis kanalas, 0 % kiti
Standartinis IEEE 802.11 PCF (be 11e išplėtimo)	26	0,4 % paskutinis kanalas, 0 % kiti

Necentralizuotuose tinkluose avarinių žinučių siuntimo tarp automobilių taikymams svarbu parinkti efektyvius transliavimo protokolus, kurie būtų tuo pat metu ir patikimi, ir optimaliai panaudotų belaidžio kanalo išteklius. Žinučių perdavimo grandine modeliavimo rezultatai ribinėmis sąlygomis rodo, kad tinkamai valdant kanalo išteklius žinutė gali užtrukti vos 0,2 s siunčiant per 100 grandinės mazgų, ir siekti 0,35 ir 0,6 s atitinkamai panaudojant 1/3 ir 2/3 kanalo išteklių. Mažėjant laisviems kanalo ištekliams, paketo perdavimo tikimybė taip pat mažėja dėl padidėjusios kolizijos tikimybės (4 pav.). Paketų perdavimas transliuojant negali naudoti standartinio patvirtinimo mechanizmo, todėl patikimu perdavimu turi pasirūpinti žinučių perdavimo algoritmai, siekdami optimaliai paskirstyti kanalo išteklius tuo pat metu užtikrinant ir perdavimo patikimumą, ir perdavimo spartą.



4 pav. Paketo perdavimo tikimybė p per grandinės mazgus esant skirtingai belaidžio kanalo apkrovai

Judriosios belaidės prieigos tinklo plačioje teritorijoje analizė rodo nenusipėjamas pralaidos fluktuacijas, kurias lemia besikeičianti radijo sklaidimo aplinka, perjungtys ir skirtingas turimų kanalo išteklių kiekis bazinėse stotyse. Eksperimentiniai matavimai WiMAX tinkle rodo, kad faktiškai pasiekama paslaugos kokybė negali būti tiesiogiai siejama su fiziniais parametrais (signalo lygiu, signalo ir triukšmo santykiu), išmatuojamais vartotojo įrenginyje (5 pav.).



5 pav. Pralaidos ir signalo bei interferencijos santykio sąsaja

3. Apibendrintas kokybės stebėsenos modelis

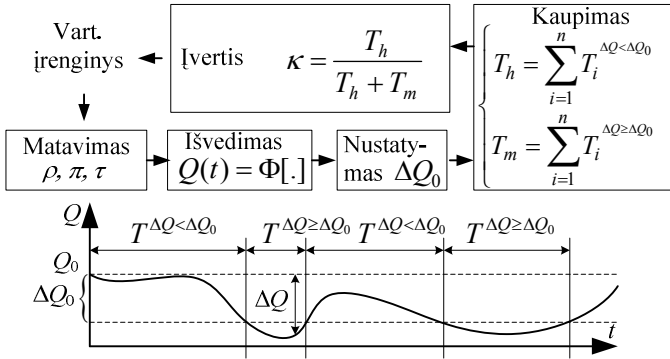
Šiame skyriuje pateikiama galimybių sukurti tikrąją pasiektos ir patirtos paslaugos kokybės stebėsenos sistemą, formuluojami reikalavimai ir pasiūlomas apibendrintas sistemos prototipas.

Sąsajos tarp kokybės pokyčio $\Delta Q(t_i)$ ir tinklo parametrų ρ (pralaidos), π (paketų praradimo) ir τ (paketų delsos) yra sudėtingos ir sunkiai išreiškiamos. Siekiant rasti kokybės kitimo (pablogėjimo) periodus, kokybės pokytis nuo reikalaujamos kokybės $\Delta Q(t_i) = Q_0 - Q(t_i)$ gali būti apytiksliai išreiškiamas polinomu:

$$\Delta Q(t_i) \approx \frac{\delta}{\delta \rho} \Phi(\rho, \pi, \tau) \cdot \Delta \rho + \frac{\delta}{\delta \pi} \Phi(\rho, \pi, \tau) \cdot \Delta \pi + \frac{\delta}{\delta \tau} \Phi(\rho, \pi, \tau) \cdot \Delta \tau, \quad (1)$$

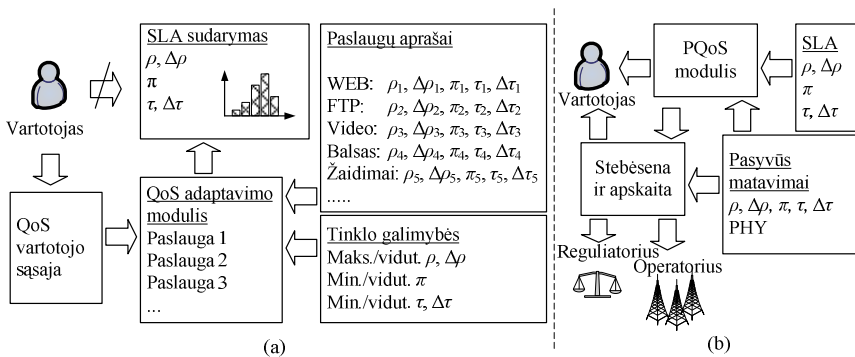
čia $\delta/\delta x \Phi(\cdot)$ yra x išvestinė; $\Delta \rho$, $\Delta \pi$, ir $\Delta \tau$ – atitinkamai parametrų ρ , π , ir τ kitimas. Toks modelis, kur QoS pokytis išreiškiamas kaip tiesinė pokyčių sukeliančių veiksnių suma, atitinka ITU-T E-modelį. Bendras paslaugos kokybės kitimas vertinamas agreguojant trumpalaikius pastebimus pokyčius (pablogėjimus). Šiam tikslui galima taikyti įvairius metodus, išskyrus vidurkinimu pagrįstus algoritmus, kurie gali „paslėpti“ vartotojui pastebimus, tačiau trumpalaikius kokybės pablogėjimus. Paprastai kokybės pablogėjimo indikacijai taikytini klasifikavimo metodai, žymintys tenkinančios kokybės

periodus (T_h) ir periodus, kai kokybė yra žemesnė už leistiną ΔQ_0 (T_m). 6 pav. pateikta funkcinė tokios sistemos struktūra, kai vartotojui pateikiamas įvertis κ formuojamas kaip sukaupytų tenkinančios ir prastos kokybės periodų santykis.



6 pav. Funkcinė patirtos paslaugos kokybės stebėsenos sistemos struktūra

Tradicinis paslaugos lygio susitarimo (SLA) sudarymo procesas nėra patogus galutiniam vartotojui, kadangi neturi realių paslaugos charakteristikų indikacijų, o nustatomi techniniai tinklo parametrai. Šiame skyriuje pasiūlyta SLA sudarymo sistema, kurioje vartotojas savo reikalavimus pateikia netiesiogiai – per QoS adaptavimo modulį, turintį sąsają su vartotoju ir tinklo parametrais. Pasiūlyta SLA užtikrinimo sistema atlieka tikrąsias stebėsenos tyrimų platformos vaidmenį ir indikuoja realiai gautos kokybės lygį pasyviai rinkdama informaciją apie tinklo charakteristikas vartotojo įrenginyje (7 pav.).



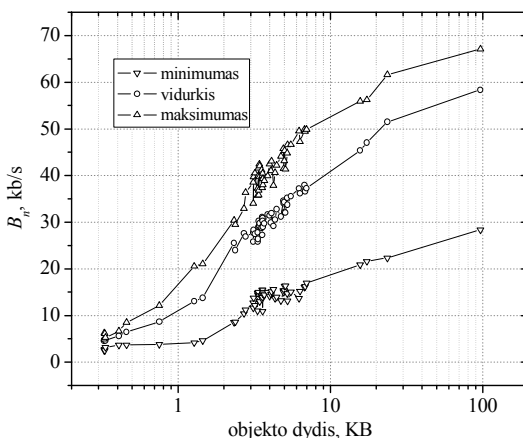
7 pav. Siūloma paslaugos lygmens susitarimo (a) ir jo užtikrinimo (b) sistemos struktūra

Vartotojas formuoja reikalavimus per atgalinio ryšio grandį kaip reakciją į pateikiamus skirtingo paslaugos lygio pavyzdžius, suformuotus naudojant skirtingus kanalo charakteristikų rinkinius. Šie rinkiniai sudaromi remiantis technologinėmis prieigos tinko galimybėmis ir teikiamų paslaugų reikalavimais, taip pat gali būti grįsti sukaupta informacija apie statistinius vidutinių vartotojų poreikius. Naudojantis kanalo charakteristikų rinkiniais sudaromas kanalo modelis, atspindintis realistinį paslaugos veikimą. Kanalo modelis kuriamas programinėmis priemonėmis.

Pasiūlyta pasiektos ir patirtosios kokybės stebėsenos struktūra apima tris pagrindines dalis – kokybės testavimo įrankius, kokybės analizės priemones ir kokybės stebėjimo sistemą. Patirtosios kokybės įvertis gali remtis pagrindiniais tinklo parametrais, išmatuojamais vartotojo įrenginyje – pasiekiamą pralaidą ir jos kitimu, paketų praradimu, paketų delsa ir jos kitimu. Nors paketų vienpusė delsa vartotojo įrenginyje sunkiai išmatuojama, galima remtis netiesioginėmis jos išraiškomis – kelio pirmyn ir atgal delsa, kaip iliustruota interneto naršymo kokybės įverčio pavyzdyje.

4. Patirtosios paslaugų kokybės stebėsenos taikymas interneto naršymui

Šiame skyriuje aprašomas pasyvaus programinio agento, skirto interneto tinklalapių naršymo paslaugos kokybei vertinti vartotojo įrenginyje, vystymas ir testavimas. Eksperimentiniai tyrimai su interneto tinklalapiais rodo, kad pasiekiamą parsisiuntimo sparta yra kintanti ir priklauso nuo tinklalapio objekto dydžio (8 pav.).

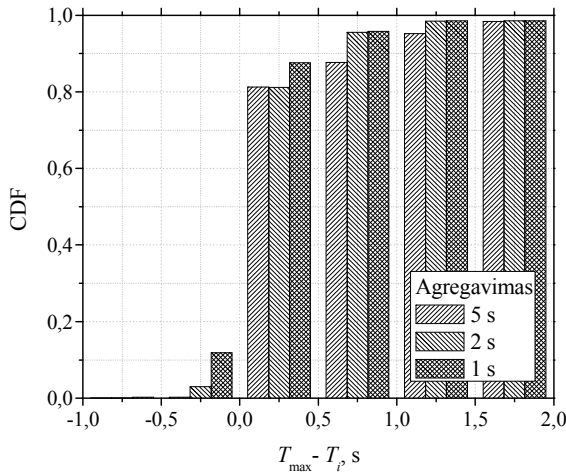


8 pav. Pasiekiamos tinklalapio atvertimo spartos B_n priklausomybė nuo tinklalapių objektų dydžio GPRS tinkle

Vertinimas vien pagal šį parametą lemtų įverčio priklausomybę ne tik nuo kanalo techninių savybių, bet ir nuo paties tinklalapio struktūros – kiek ir kokių objektų tinklalapyje panaudota. Tinklalapio parsisiuntimo trukmę apibrėžiant kaip objektų pasisiuntimo laikų sumą, vertinimui galima naudoti objektų siuntimo laikus, taip išvengiant įverčio priklausomybės nuo tinklalapio struktūros ir įvertį formuojant mažesniais intervalais nei viso tinklalapio parsisiuntimas. Remiantis reikalavimais, suformuluotais 3 skyriuje, sukurtas programinis agentas, matuodamas tinklo charakteristikas, stebi ir agreguoja kokybės pokyčius. Kadangi naršymo paslaugoje patiriamos kokybės matmuo yra atsako laikas, agreguojami objektų atsako laikai. Kiekvieno tinklalapio objekto laikas priklauso nuo kanalo charakteristikų (spartos ρ ir delsos τ) bei objekto dydžio (S):

$$t_i(\rho_i, \tau_i, S_i) = t_{GET}(\tau_i) + \frac{S_i}{\rho_i}. \quad (2)$$

Tokia pat forma aprašant paslaugos lygmens susitarimą, galima nuolat stebėti ir pranešti vartotojui apie kokybės nukrypimus nuo reikalaujamos. Svarbu pastebėti, kad įverčiui turi įtakos agregavimo periodas (9 pav.), kurio didinimas ilgainiui sukelia vidurkinimo efektą, integruojantį trumpalaikius kokybės pablogėjimus.



9 pav. Akumuoliuota tinklalapio objektų parsisiuntimo laiko T_i skirtumo nuo reikalaujamo $T_{\max}$ histograma

Ekspperimentai su interneto puslapiais rodo, kad kaupiamasis tinklalapių objektų parsisiuntimo laikas gali būti naudojamas kaip patiriamos interneto naršymo paslaugos kokybės indikatorius. Tinklalapio parsisiuntimo laikas nėra tam tinkamas, kadangi nėra normuotas pagal puslapio dydį, taip pat įtaką daro tinklalapio struktūra. Naudojant tinklalapio objektų dydžius kaip kintamuosius, pagal kuriuos normuojami jų atsisiuntimo laikai, įverčiai atsiejami nuo tinklalapio savybių, struktūros, vyraujančių objektų dydžių ir susitelkiama į objektyvius tinklo pasiekiamos kokybės įverčius.

Pasiūlytas programinis agentas, matuojantis pasiekiamą kanalo pralaidą ir trukmę tarp HTTP GET ir ACK žinučių, gali būti panaudotas kaip interneto naršymo kokybės indikatorius.

Efektyvi ir vartotojui patogi patiriamos kokybės stebėsenos sistema įgyvendinama naudojant neinvazinį programinį agentą vartotojo įrengioje. Pasyvus patiriamos kokybės stebėsenos įrankis indukuoja santykinę kokybės lygį, atsižvelgiant į vartotojo iškeltus reikalavimus, todėl paslaugos kokybės stebėseną yra individuali.

Bendrosios išvados

1. Heterogeniniuose belaidės prieigos tinkluose vartotojo kanalo ištekliai nenuspėjamai kinta plačiose ribose dėl nestacionarios radijo sklaidimo aplinkos ir bazinių stočių apkrovos. Atlikti eksperimentiniai matavimai rodo, kad fizinio lygmens parametrai, išmatuoti vartotojo įrenginyje, tiesiogiai neatspindi faktiškai gaunamos paslaugos kokybės.
2. Paslaugos kokybės užtikrinimas belaidės prieigos tinkluose reikalauja papildomų techninių išteklių, kurie gali būti valdomi parenkant efektyvius srauto planuoklių algoritmus. Balso perdavimo bevieliose lokalsios belaidės prieigos tinkluose modeliavimo rezultatai rodo, kad taikant papildomas technines priemones – srautų agregavimą, patvirtinimo žinučių integravimą ir modifikuojant planuokles – galima aptarnaujamų balso kanalų skaičių padidinti 90 %, tačiau balso kanalų skaičius lieka 24 % mažesnis nei analogiškoje sistemoje be kokybės kontrolės.
3. Necentralizuotuose belaidžiuose tinkluose perduodant duomenis grandine, pranešimų delsos charakteristikos užtikrinamos optimaliai paskirstant kanalo išteklius tarp patikimo ir spartaus perdavimo mechanizmų. Modeliavimo rezultatai rodo, kad pasiekus ne didesnę nei 2/3 kanalo išteklių panaudojimą, delsa per 100 IEEE 802.11 standarto grandinės mazgų aprėpties zonoje neviršija 0,6 s.

4. Kiekybinės tinklo charakteristikos kompleksiskai įtakoja vartotojo patirtąją paslaugos kokybę. Šiuo metu trūkstama grįžtamojo ryšio grandis tarp vartotojo ir operatoriaus turi būti nustatyta sudarant individualios paslaugos kokybės vertinimo sistemą, galinčią nustatyti defektus paslaugos teikimo metu.
5. Sukurtos pasyvios stebėsenos sistemos eksperimentinis taikymas interneto naršymo paslaugos kokybei vertinti rodo, kad programinės priemonės, vartotojo įrenginyje stebinčios kanalo laidumą ir delną tarp HTTP GET ir ACK žinučių, gali būti naudojami gautos interneto naršymo kokybei vertinti.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas recenzuojamuose mokslo žurnaluose

1. Vindašius, A. 2006. Security State of Wireless Networks, *Electronics and Electrical Engineering* 7(71): 19–22. ISSN 1392-1215 (Thomson ISI Web of Science).
2. Kajackas, A.; Pavilanskas, L.; Vindašius, A. 2007. Synchronous Voice Applied Customer Access based on IEEE 802.11, *Electronics and Electrical Engineering* 8(80): 23–28. ISSN 1392-1215 (Thomson ISI Web of Science).
3. Kajackas, A.; Vindašius, A. 2009. Applying IEEE 802.11e for Real-Time Services, *Electronics and Electrical Engineering* 1(89): 73–78. ISSN 1392-1215 (Thomson ISI Web of Science).
4. Kajackas, A.; Vindašius, A.; Stanaitis, Š. 2009. Inter-Vehicle Communication: Emergency Message Delay Distributions, *Electronics and Electrical Engineering* 8(96): 33–38. ISSN 1392-1215 (Thomson ISI Web of Science).
5. Kajackas, A.; Šaltis, A.; Vindašius, A. 2010. User Access Impact on Web Browsing Quality, *Electronics and Electrical Engineering* 4(100): 59–64. ISSN 1392-1215 (Thomson ISI Web of Science).
6. Vindašius, A. 2010. Tinklų modeliavimas ir emuliacija NCTUns aplinkoje, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 2(1): 73–76. ISSN 2029-2341 (Index Copernicus).

Kituose leidiniuose

7. Kajackas, A.; Vindašius, A. 2010. Analysis and Monitoring of End-user Perceived QoS in Mobile Networks, iš *14th International*

Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium straipsnių rinkinio. Varšuva, 25–28. ISBN 978-1-4244-6703-7.

8. Vindašius, A.; Stanaitis, Š. 2010. Analysis of Emergency Message Transmission Delays in Vehicular Wireless Mesh Network, iš *Third International Conference on Advances in Mesh Networks* straipsnių rinkinio. Venecija, 35–40. ISBN 978-0-7695-4092-4.

Trumpos žinios apie autorių

Antanas Vindašius gimė 1982 m. birželio 6 d. Skuode. 2004 m. įgijo elektronikos inžinerijos bakalauro laipsnį Kauno technologijos universiteto telekomunikacijų ir elektronikos fakultete. 2006 m. įgijo elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto elektronikos fakultete. 2006–2010 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantas. Nuo 2005 m. dirba Lietuvos radijo ir televizijos centre, taip pat asistentu Vilniaus Gedimino technikos universiteto telekomunikacijų inžinerijos katedroje nuo 2007 m.

ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

Topicality of the problem. Quality of Service (QoS) management in packet delivery networks have been a challenge in terms of rethinking resource management policies. Packet delivery in mobile wireless communications adds even more complexity to this task, because available channel resources are variable both in time and space.

The migration from hard QoS in circuit switching to soft QoS techniques in connectionless IP networks adds flexibility, scalability and saves network resources for operators, resulting in low cost and diversity of services for users. Real-time multimedia and interactive services have migrated to packet delivery networks and high capacity wireless technologies have allowed them to be served in mobile environment. In this context of heterogeneous networks delivering diversity of services, quality issue is becoming more and more relevant. Operators seek for competitiveness and plan their networks to be as cost effective as possible, avoiding any commitment to user and offering best-effort service. On other hand, emerging next generation wireless networks are service-driven in nature and require dynamic, robust and flexible quality management, including service perception awareness.

Therefore, service-oriented access network researches play important role in understanding relations between QoS categories: QoS required by user, offered and achieved by operator and finally – QoS perceived by user.

The lack of actual perceived QoS tracking and accounting tools leads to poor Service Level Agreement (SLA) enforcement, causing difficulties in clarifying the demands of the user to operator and operator's accountability to the user.

Development of real-time user experienced QoS tracking tools for end-user devices is essential to modern QoS control mechanisms, accounting actual quality of service. Considering next generation networks as heterogeneous, interconnected wireless technologies, both transport and provider independent and service driven, monitoring and accounting of actual received QoS will be critical.

The object of research. The object of presented research is wireless access network performance, ability to control and enforce quality of service and track it at user device.

Aim and tasks of the work. The objective of presented research is to investigate wireless access network performance parameter impact on quality of service and develop reference model of QoS monitor, applied for end-user device. In order to reach the objective, the following tasks have to be solved:

1. To analyze existing measures of QoS evaluation, actual achieved, perceived QoS monitoring and SLA enforcement.
2. To analyze performance properties of contemporary wireless user access network technologies in order to determine their capabilities providing data services and employing soft and hard QoS mechanisms.
3. To analyze network performance characteristics in order to determine factors, influencing quality of service in wireless access networks.
4. To design principles of evaluation of actually achieved quality of service.
5. To develop a reference model of QoS requirement composition and monitoring system.
6. To develop and experimentally test QoS monitor for web browsing service.

Methodology of research

To investigate the object, following methodologies are applied:

- Statistical analysis and analytical approach.

- Modelling and simulations (Opnet, NCTUns, linux tc, Matlab).
- Active and passive experimental measurements.

Scientific novelty. Theoretical and experimental investigation resulted in following new achievements:

1. Modelling results of IEEE 802.11 based Wireless Local Area Network (WLAN) capacity evaluation including QoS enforcement overhead analysis; voice channel capacity analysis in half-duplex systems.
2. Modelling results of emergency message delay distributions in multihop topology.
3. Wireless channel models, based on experimental data from wireless network performance analysis.
4. Improved SLA definition and actual QoS tracking model.
5. Reference model for QoS monitor for web browsing service.

Practical value. The achieved results can be used for development of achieved and perceived quality monitoring in next generation wireless access networks. Presented reference model of new SLA enforcement system can be applied for individual QoS management in service-oriented next generation networks.

Presented experimental and simulation results may be used for specific service performance evaluation and adaptation, network capacity planning. Presented model of synchronous WLAN allows improving qualitative parameters of voice transmission over wireless local access networks. Simulation results of multihop networking provides base for developing delay-critical automotive applications.

Defended propositions

1. Quality of service enforcement in wireless access networks requires additional technological resources; even though resource expenditures can be reduced by optimizing access schedulers, additional resources may not be always designated in mobile applications.
2. Control and accounting of quality of service in heterogeneous wireless networks must include passive quality monitoring at user device, creating the feedback between user and operator.
3. Real-time quality monitoring system must rely on difference of actually achieved quality and settled individual quality requirement, but not on absolute quality of service evaluation.

The scope of the scientific work. Dissertation consists of introduction, four chapters and conclusions. Dissertation includes 112 pages of text, 37 equations, 8 tables, 54 figures and 106 references. 8 scientific articles have been published by the author on the topic of the dissertation.

First chapter of the dissertation reviews QoS definitions, categories, existing methods of QoS evaluation and formulates the problem of QoS and service level agreement enforcement measures. The guidelines of achieved and perceived QoS monitoring are formulated in this chapter. The development of QoS monitoring concept requires deep analysis of wireless access network performance factors, service behaviour and their impact to user's perception.

Second chapter presents analysis of various access networks applicable to data and voice services. The analysis is focused on available bit rate, referred to capacity of the access network, capabilities to sustain real time and data services. This chapter presents modelling and experimental results for wireless user access networks.

Third chapter introduces the design of perceived QoS monitoring system, including monitoring software agents residing at user device, tools for composing SLA and measures for tracking QoS impairments. The concept of QoS monitoring tool is proposed. The concept relies on defining the link between primary network performance factors and perceived quality for individual services.

The last chapter is dedicated to presenting reference design of individual quality evaluation algorithm and application to web browsing services backed up with experimental results.

General conclusions

1. Heterogeneous wireless networks show highly variable unpredictable fluctuations of wireless channel resources. Fluctuations are caused by changing radio environment and base station utilization. Experiments show, that physical parameters measured at user device do not directly reflect actual received quality of service.
2. Quality of service enforcement in wireless access networks requires additional technological resources, which can be managed by selecting efficient access scheduling. Simulations of voice over wireless local access networks show that number of serviced voice channels can be increased by 90 % by applying additional technological measures – aggregation, acknowledge piggybacking and modified admission control. However, the number of serviced voice channels is still 24 % smaller than in legacy WLAN case.

3. Using multihop transmission in ah-hoc wireless networks, packet delay characteristics are controlled by optimizing wireless channel resource assignment to reliability and throughput of the transmission. Simulation results show, that keeping channel utilization under $2/3$, packet transmission delay over 100 IEEE 802.11 nodes is as low as 0.6 s.
4. Quantitative network performance characteristics have complex impact on perception of quality of service. Currently missing link between user and operator has to be defined by designing individual quality of service evaluation system, capable of detecting impairments during service delivery.
5. Experimental research of developed passive monitoring system application to quality evaluation of web browsing service shows, that software agents in user device can be used for evaluation of perceived quality of web browsing service by obtaining channel available bit-rate and delay between HTTP GET and ACK messages.

About the author

Antanas Vindašius was born on June 6, 1982 in Skuodas, Lithuania. He obtained Bachelor of Sciences degree in electronics engineering at Kaunas University of Technology in 2004 and Master's degree in electronics engineering at Vilnius Gediminas Technical University in 2006. Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2006–2010. He has been working in Lithuanian Radio and Television Centre since 2005 and Telecommunications Engineering department of Vilnius Gediminas Technical University since 2007.

Antanas VINDAŠIUS

PASLAUGŲ KOKYBĖS HETEROGENINIUOSE
BEVIELIUOSE TINKLUOSE TYRIMAI

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

Antanas VINDAŠIUS

ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE
IN HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORKS

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering (01T)

2010 10 12 1,5 sp. I. Tiražas 70 egz.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto

leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

<http://leidykla.vgtu.lt>

Spausdino UAB Ciklonas,

J. Jasinskio g. 15, Vilnius

