

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Dmitrijus BALČIŪNAS

ENERGIJOS APSKAITOS DUOMENŲ PERDAVIMO MOBILIOJO RYŠIO TINKLUOSE TYRIMAS

DAKTARO DISERTACIJOS SANTRAUKA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS INŽINERIJA (01T)



LEIDYKLA
VILNIUS TECHNIKA 2012

Disertacija rengta 2008–2012 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. dr. Šarūnas PAULIKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

Nariai:

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

prof. dr. Romas BARONAS (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, informatika – 09P),

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

prof. dr. Liudas MAŽEIKAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T).

Oponentai:

doc. dr. Saulius JAPERTAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T),

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

Disertacija bus ginama viešame Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2013 m. sausio 15 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 2012 m. gruodžio 14 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva). VGTU leidyklos „Technika“ 2087-M mokslo literatūros knyga.

© Dmitrijus Balčiūnas, 2012

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Dmitrijus BALČIŪNAS

RESEARCH OF THE METERING DATA TRANSMISSION OVER MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

SUMMARY OF DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING (01T)



LEIDYKLA
VILNIUS TECHNIKA 2012

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2008–2012.

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

Members:

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

Prof Dr Romas BARONAS (Vilnius university, Physical Sciences, Informatics – 09P),

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

Prof Dr Liudas MAŽEIKA (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T).

Opponents:

Assoc Prof Dr Saulius JAPERTAS (Kaunas Technical University, Technological Sciences, Electrical and Electronic Engineering – 01T),

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

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 15 January 2013.

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 14 December 2012. 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).

© Dmitrijus Balčiūnas, 2012

Įvadas

Mokslo problemos aktualumas

Dėl griežtėjančios konkurencijos tarp duomenų perdavimo paslaugų tiekėjų mobiliojo ryšio operatoriams svarbu teikti aukštos kokybės mobiliojo ryšio paslaugas bei turėti galimybes tai įrodyti vartotojams. Iš kitos pusės klientai, kaip pavieniai galutiniai vartotojai, taip ir įmonės, planuojančios diegti šimtatūkstantines duomenų iš skaitiklių surinkimo sistemas, reikalauja kokybiškų paslaugų galutinių įrenginių naudojimo vietose. Tol, kol operatoriai neturės tinkamo grįžtamojo ryšio su galutinio vartotojo aplinkoje veikiančiais įrenginiais statistinių testų (ang. drive test) metu surenkama informacija ne visuomet koreliuos su gaunamų paslaugų kokybe (paslaugų prieinamumu, patikimumu ir kitais paslaugų kokybės rodikliais).

Šio tyrimo objektai ir problemos yra svarbios tiek korinio ryšio tinklų operatoriams, tiek energetinių resursų apskaitos AMI (ang. AMI – Advanced Metering Infrastructure) sistemų diegimo personalui, taip pat ir mobiliojo duomenų perdavimo įrangos gamintojams. Europos Sąjungos šalys planuoja įgyvendinti pažangios matavimo infrastruktūros apimančios energetinių resursų nuotolinį nuskaitymą į centrinės sistemas įdiegimą iki 2020 metų taip pat ir pasinaudojant esamais GSM/GPRS resursais. Lietuvoje yra sumontuota daugiau nei 4,3 milijono energetinių resursų apskaitos skaitiklių, kurie pajungti į apskaitos sistemas gali generuoti daugiau nei 412 MB duomenų srautą kas valandą ir 301,2 GB srautą kartą per mėnesį balanso suvedimui ir informacijos patikimumo patikrinimo tikslais.

Šiame darbe analizuojamais mobiliojo ryšio tinklais kartu su jautria komercine apskaitos informacija iš apskaitos taškų bus perduodama ir elektros energijos kokybę apibūdinanti informacija. Centrinei analitinei sistemai gavus šią informaciją pavėluotai arba iškreiptą, nuostoliai ypač stambiams komerciniams klientams bei baudos mobiliojo ryšio tiekėjams gali būti reikšmingos. Duomenų perdavimo per mobiliuosius tinklus charakteristikos greitai keičiasi net ir vienos bazinės stoties aprėpties zonoje, o dažniausiai tą patį plotą apima bent keletas bazinių stočių. Pavyzdžiui, signalo lygis, matuojamas kelių metrų atstumu, gali skirtis dešimtis kartų. Tinklo operatorius privalo žinoti apie problemines vietas, mokėti jas greitai lokalizuoti ir pagal galimybes pagerinti ryšio sąlygas jose. Norėdami įsitikinti, kad mobiliojo ryšio operatoriaus teikiamos paslaugos atitinka sutartas, QoS lygis turi būti nuolat stebimas. Tiksliausiai tai gali būti padaryta galutinių įrenginių lygyje. Tačiau realaus laiko vartotojo ar galutinio įrenginio patiriamos kokybės stebėjimo įrangos pritaikytos plačiam vartojimui mobiliuose tinkluose šiuo metu trūksta.

Tyrimų objektas

Beveiliai GSM/GPRS duomenų perdavimo tinklai, veikiantys AMI sistemose tarp „išmaniųjų“ (ang. Smart) skaitiklių ir serverių.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Disertacijos tikslas yra ištirti ir sukurti metodus ir priemones, skirtas duomenų perdavimo mobiliaisiais tinklais AMI sistemose kokybinių charakteristikų stebėjimui ir užtikrinimui.

Šiam tikslui pasiekti būtina išspręsti tokius disertacijos uždavinius:

1. Ištirti AMI sistemų projektinius reikalavimus, susijusius su svarbiausiomis duomenų perdavimo proceso mobiliajame tinkle charakteristikomis: duomenų kiekiu, sparta ir vėlinimu.
2. Išanalizuoti GSM/GPRS tinklų našumą sudėtingose sąlygose, esant dideliui balso ir duomenų vartotojų aktyvumui, mažam signalo stiprumui modeliuojant bei atliekant praktinius tyrimus.
3. Išanalizuoti ir pasiūlyti metodus ir priemones, skirtus duomenų perdavimo mobiliaisiais tinklais AMI sistemose charakteristikų stebėjimui.
4. Išanalizuoti AMI duomenų perdavimo kokybės mobiliaisiais tinklais užtikrinimo būdus.

Tyrimų metodika

Darbe taikomi šie tyrimo metodai:

1. Analitiniai ir tikimybiniai metodai, pritaikyti bendrojo GSM/GPRS balso ir duomenų modelio kūrimo metu.
2. Atliekama statistinė modeliavimų ir testų rezultatų analizė.
3. Modeliavimas buvo atliktas šiais programinės įrangos paketais: MATLAB, Simulink ir OPNET.

Mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie nauji rezultatai:

1. Analizės metodai, skirti Lietuvos AMI beveilio duomenų perdavimo tinklų planuojamų sujungimų ir generuojamų duomenų kiekiams nustatyti, reikšmingi sistemos planavimo ir plėtros stadijose.
2. Analitinis ir matematinis bendrojo duomenų ir balso resursų perdavimo modeliai AMI-GPRS sistemoje su patobulintais SW kanalais, reikšmingi bendros sistemos analizės ir planavimo stadijose.

3. Patobulintas kelių mobiliųjų kanalų panaudojimo algoritmas, skirtas duomenų perdavimo užtikrinimo AMI-GPRS tinkluose, reikšmingas duomenų perdavimo užtikrinimo AMI sistemos tyrimams.

Praktinė vertė

Algoritmų ir tyrimų rezultatų praktinė taikymo sritis yra duomenų perdavimui skirtos programinės ir aparatinės įrangos NTT (ang. – Network Testing Tool) kūrimas ir tobulinimas siekiant sukurti efektyvią grįžtamojo ryšio grandinę tarp galutinių mazgų ir mobiliojo ryšio operatoriaus tinklo. Pateikiamos praktinės balso ir duomenų perdavimo sistemų pagerinimo rekomendacijos, susijusios su transformuojamų kanalų kiekiu. Pateikiamos rekomendacijos AMI sistemų projektuotojams ir įdiegimo personalui dėl DLMS protokolo paraiškų kombinavimo mechanizmų panaudojimo bei koncentravimo įrangos.

Dalyvavimas moksliniuose projektuose

Dalis šio darbo rezultatų buvo pasiekta remiant Lietuvos mokslo tarybai. Mokslinio projekto pavadinimas: „Autonominė telekomunikacinių paslaugų kokybės stebėjimo sistema“.

Ginamieji teiginiai

1. AMI-GPRS sistemos modelis su stochastiškai kintančiais duomenų perdavimo kanalų parametrais atspindi sąlygas ir tinklo parametrus esant ribinėms apkrovoms.
2. Paslaugų kokybės valdymas ir apskaita AMI-GPRS tinkluose turi apimti pasyvų ir aktyvų duomenų perdavimo kokybės stebėjimą įvertinant spartos, vėlinimo ir paslaugų prieinamumo pasiskirstymus.
3. NTT testavimo įrankis tinkamas atlikti ryšio kokybės matavimus galutinių mazgų įdiegimo vietose.
4. Gretimų AMI mazgų informacijai surinkti gali būti naudojama papildomą koncentravimo įranga.

Darbo apimtis

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir rezultatų apibendrinimas. Darbo apimtis yra 100 puslapiai, tekste panaudotos 35 numeruotos formulės, 39 paveikslai ir 26 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudota 110 literatūros šaltinių.

1. Energijos apskaitos duomenų perdavimo mobiliojo ryšio tinkluose sistemų tyrimas

Šiame skyriuje pateikiama duomenų perdavimo AMI sistemose paslaugų kokybės vertinimo procesų apžvalga ir analizuojamos galimybės vertinti paslaugų kokybę galutiniuose taškuose (ang. end point).

Moksliniuose darbuose duomenų perdavimo mobiliuosiuose duomenų perdavimo tinkluose kokybės klausimai dažnai analizuojami OSI modelio tinklo lygyje ir vertinami pagal apibendrintų testų (ang. drive-test) metu surenkamą informaciją arba analizuojamos bazinės stoties matuojamos tinklo charakteristikos. Įvertinant stochastinį radijo sąsajos nestabilumą šie duomenys gali neatspindėti ryšio sąlygų galutiniuose taškuose. Šios analizės tikslas – pasiūlyti metodus, skirtus vertinti paslaugų kokybę galutiniuose taškuose. Darbe analizuojami svarbiausi mobiliųjų duomenų perdavimo parametrai (duomenų perdavimo sparta, vėlinimas, vėlinimo fluktuacijos ir kt.), įtakojantys AMI sistemos duomenų perdavimo užtikrinimą.

Darbe atkreipiamas dėmesys į AMI sistemos diegimo į mobiliuosius tinklus poveikį ir šių apkrautų tinklų veikimą didėjančių apkrovų sąlygomis. Tai svarbu, nes balso skambučiai šioje sistemoje su paskirstytais ir dalinamais resursais turi didesnę prioritetą nei duomenų srautai, o tai gali turėti lemiamos įtakos visos AMI sistemos veiklos rezultatams. Iš analizuojamų mokslinių darbų yra žinomi atvejai, kai pritrūko mobiliojo tinklo resursų didmiesčio mastais diegiamoms AMI sistemoms ir teko skubiai modernizuoti tinklų infrastruktūrą.

Svarbiausi AMI komponentų ir tinklo leidžiamų vėlinimo parametrų diapazonai pateikiami žemiau (1 lentelė).

1 lentelė. Išmaniųjų tinklų infrastruktūros (AMI) procesų reikalavimai

AMI procesas	Nustatymai		Leidžiamas vėlinimas	Komentarai
Nuotolinė apsauga	Aktyvus	Prioriteto mažėjimas →	8 ms arba 10 ms	60 Hz ir 50 Hz
Fazių matavimas	A klasės		16 ms	
PTT signalizacija	Aktyvus		100 ms	
Išmanieji skaitikliai	Pagal poreikį		200 ms	
SCADA realaus laiko	Aktyvus		200 ms	
VoIP	Aktyvus		175–200 ms	P2P ir PTT
VoIP signalizavimas	Pagal poreikį		200 ms	PTT
Fazių matavimas	B klasės		500 ms	po įvykio
SCADA apklausimai	Pagal poreikį		1 s	
Išmanieji skaitikliai	Periodinis		≥1 s	

Iš reikalavimų pateiktų 1 lentelėje matyti, kad norint užtikrinti AMI sistemos funkcionavimą ir matavimo duomenų surinkimą tinklas turi užtikrinti 200 ms vėlinimus nuskaitant skaitiklių duomenis atsitiktiniais intervalais arba 1 sekundės vėlinimus nuskaitant juos suplanuoti. Garantuotas vėlinimas ir vėlinimo užtikrinimas yra viena iš sudėtingiausių užduočių GPRS mobiliuose tinkluose. Mobilieji tinklai, pasirinkus bendravimo (angl. conversational) QoS grupę, gali palaikyti iki 80 ms vėlinimo režius, kas atitinka matavimui skirtų paslaugų reikalavimus, tačiau reikalaus didesnių tinklo resursų nei įprastai.

Skyriuje analizuojamos svarbiausios duomenų perdavimo kokybės charakteristikos: paketų persiuntimo tvarka, paketo dydis, paketo formatas, sugadintų paketų kontrolės ypatumai, didžiausias leidžiamas klaidingai persiųstų bitų skaičius, paketų vėlinimas, garantuojama sparta ir vartotojo duomenų prioritetas. Darbe analizuojami Lietuvos sąlygomis veikiančių AMI-GPRS sistemų vėlinimai.

2. Duomenų šaltinio analizė

Labai svarbu įvertinti AMI sistemos generuojamų duomenų mastus (2 lentelė). Ji sudaryta remiantis duomenimis pateiktais RST, VST, vėliau LES-TO skirstomųjų tinklų, taip pat remiantis statistikos departamento duomenimis bei analitinėmis ataskaitomis.

2 lentelė. Skaitiklių ir koncentratorių kiekis

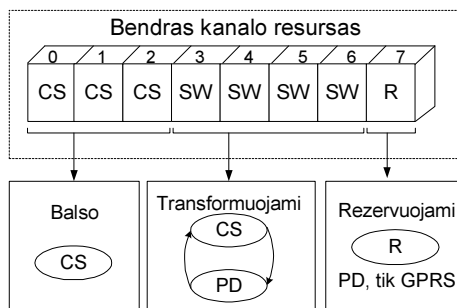
Nr.	Skaitiklio tipas	Skaitiklių kiekis, vnt.	Koncentratorių kiekis, vnt.
1	Namų ūkiuose miestuose 1–faziai	719012	3595
2	Namų ūkiuose miestuose 3–faziai	153850	769
3	Namų ūkiuose kaimuose 1–faziai	370420	7408
4	Namų ūkiuose kaimuose 3–faziai	245139	4903
5	Balansavimo skaitikliai 3–faziai	44500	Koncentratoriai nenaudojami
6	Komerčiniai vartotojai <30kW 1–faziai	26742	
7	Komerčiniai vartotojai <30kW 3–faziai	74672	
8	Šalto vandens skaitikliai miestuose	1134721	5674
9	Šalto vandens skaitikliai kaimuose	179279	3586
10	Karšto vandens skaitikliai miestuose	822055	4110
11	Dujų skaitikliai miestuose	554000	2770
12	Šilumos skaitikliai miestuose	33189	166
13	Viso:	4357579	32981

Remiantis prielaidomis, pateikiamomis analitikų ataskaitose, konferencijų ir AMI projektų aprašomąja medžiaga, sudarytas apkrovos modelis. Planuoja-

ma, kad Lietuvos AMI-GPRS sistema turės daugiau nei 4 milijonus objektų, todėl darbe yra rekomenduojama agreguoti duomenų srautus ir naudoti koncentratorius. Po vienu koncentravimo įrenginiu rekomenduojama agreguoti iki 50 skaitiklių kaimo vietovėse ir iki 200 skaitiklių miesto vietovėse. Pilno AMI infrastruktūros įrengimo atveju daugiau nei 300 GB būtų perduodama per GSM/GPRS tinklus per 24 valandas kartą per mėnesį balanso suvedimo ir duomenų vientisumo patikrinimui. Naudojant koncentravimo įrangą ir skaitant duomenis iš skaitiklių kas valandą būtų sudaroma daugiau nei 30000 sujungimų su koncentravimo įrenginiais ir daugiau nei 140000 su individualiais skaitikliais.

3. Parametrų įvertinimo ir valdymo metodų analizė sistemoje su paskirstytais ištekliais

Šioje darbo dalyje nagrinėjami AMI-GPRS sistemos bendrojo duomenų ir balso kanalo naudojimo ypatumai. Sudarytas matematinis bendro resurso paskirstymo modelis. Remiantis atlikta analize bei matematiniu resurso paskirstymo aprašymu, sudarytas programinis resurso valdymo modelis. Pristatyta bendrojo resurso modelio versija, papildyta transformuojamais kanalais. Aptartas programinio modelio veikimo principas, modeliavimo galimybės ir veikimo metu gaunami rezultatai. Taip pat aprašytos modelio tobulinimo galimybės. GSM/GPRS fizinio ryšio kanalo resursą galima pavaizduoti taip (1 pav.).



1 pav. GPRS fizinio ryšio kanalo resursas

Čia CS (angl. Circuit Switched) balsui skirti kanalai, SW (angl. Switchable) bendri kanalai, pagal poreikį transformuojami iš duomenims skirtų kanalų į balsui skirtus kanalus. Rezervuojami R (angl. Reserved) kanalai skirti tik duomenų perdavimui. GPRS duomenų perdavimui naudojami SW arba R kanalai vadinami PDCH (angl. Packet Data Traffic Channel).

Jei ateina nauja balso paraiška, o laisvų CS nėra, transformuojamas laisvas SW kanalas. Jei laisvų SW kanalų nėra, tuomet žemiausiai esantis SW kanalas transformuojamas į CS kanalą. Jei kita mobilioji stotis duomenų perdavimui naudojo tik šį kanalą, jai yra nutraukiama duomenų perdavimo sesija ir ji turės iš naujo kreiptis į BSC/PCU (angl. Base Station Controller/ Packet Control Unit) ir prašyti kitos TBF (angl. Temporary Block Flow) sesijos suteikimo. Jei vienas balso paslaugų vartotojas paliko sistemą ir atsirado vakansija SW kanalų gretose, tuomet, jei sistemoje leidžiami „vartotojų mainai“ (angl. handover), tai jie vykdomi; jei ne, sistema paliekama tokioje būsenoje, kokioje yra. Pagal nutylėjimą „vartotojų mainai“ yra leidžiami. Problema atsiranda atlaisvinant SW kanalą, nes reikia nuspręsti, ar palikti SW kanalą skirtą balso perdavimui, ar transformuoti jį į PD kanalą. Šiam klausimui išspręsti panaudojamas transformavimo rodiklis (`gprs_reconfig_thresh_idle_tch <*>`), žvaigždutės vietoje galima pasirinkti reikšmės nuo 1 iki 5. Pagal nutylėjimą nurodoma reikšmė lygi 1.

Šis parametras nurodo minimalų laisvų CS kanalų skaičių, kuriam esant įvykdomas SW transformavimas į PD. Jei šis parametras yra 1 ir laisvų CS kanalų yra 2, tuomet laisvas SW, anksčiau naudotas kaip CS, transformuojamas į PD duomenų perdavimui skirtą kanalą. Atėjus naujai duomenų paraiškai nereikės jo transformuoti, jis jau bus paruoštas duomenų perdavimui.

Duomenų resursas R+SW priklauso nuo balso paraiškų ir jiems priskiriamų laiko tarpsnių TS (angl. Time Slot) skaičiaus. Šis resursas skiriamas visiems vienos celės ribose aptarnaujamiems abonentams. Jei balso vartotojų skaičius yra mažesnis už balsui skirtų laiko tarpsnių skaičių, vienam vartotojui duomenims skirtų laiko tarpsnių skaičių galima rasti iš išraiškos:

$$N_{TS} = \frac{C_R + C_{SW}}{N_D} . \quad (1)$$

Ji (1) teisinga, jei balso perdavimo paslaugų vartotojų skaičius mažesnis už balsui skirtų TS skaičių. Šioje formulėje: C_R – rezervuotų TS skaičius, C_{SW} – komutuojamų TS skaičius, N_D – duomenų vartotojų skaičius.

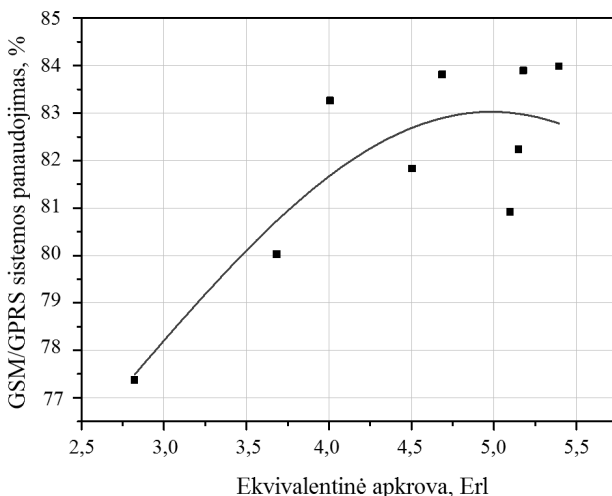
Bendras laiko intervalų skaičius yra rezervuotų, balso ir duomenų intervalų suma: $C_{\Sigma} = C_R + C_{CS} + C_{SW}$. Skambučio atėjimo tikimybė modeliavimo metu pasiskirsčiusi pagal Puasono dėsnį su vidutiniu dažniu λ_b . Duomenų sesijos TBF (angl. Temporary Block Flow) atėjimo tikimybė pasiskirsčiusi pagal Puasono dėsnį su vidutiniu dažniu λ_d . Tuomet sistemos būseną galima aprašyti

trimis kintamaisiais: i, j, k . Čia i – balso užimtų TS skaičius, j – duomenimis užimtų TS skaičius, k – duomenų (TBF) skaičius.

Tyrimo metu darome prielaidą, kad per 1 TS gali būti iki 4 TBF. $P_{i,j,k}$ žymi tikimybę, kad sistema bus būsenoje (i,j,k) . Balso skambutis bus blokuojamas, jei atėjus naujam skambučiui nebus laisvų balso kanalų, tokiu atveju balso kanalų skaičius sistemoje bus: $C_B = C_{CS} + C_{SW}$. Duomenų sesija (TBF) bus blokuojama, jei norint sukurti naują TBF jau bus užimti visi duomenų laiko tarpiniai: $C_D = C_R + C_{SW}$, ir per kiekvieną duomenų TS bus maksimaliai po keturias TBF duomenų perdavimo sesijas. Tuomet įmanomų būsenų erdvė:

$$S = \left\{ (i,j,k) \mid \begin{array}{l} 0 \leq i+j \leq C_{\Sigma}, \quad 0 \leq i \leq C_{CS} + C_{SW}, \\ 0 \leq j \leq C_R + C_{SW}, \quad 0 \leq k \leq (j \cdot 4), \quad C_{\Sigma} = C_R + C_{CS} + C_{SW} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

GSM/GPRS sistemos resurso panaudojimo priklausomybė nuo ekvivalentinės balso ir duomenų paraiškų apkrovos pavaizduota žemiau (2 pav.).



2 pav. GSM/GPRS sistemos resurso panaudojimo priklausomybė nuo balso ir duomenų (ekvivalentinės) paraiškų apkrovos

Modeliavimo metu maksimalus GSM/GPRS siųstuvų panaudojimas siekė 83 %, buvo kontroliuojama, kad balso paraiškų blokavimo tikimybė būtų nedi-

desnė kaip 1,5 % ir duomenų paraiškų blokavimo tikimybė neviršytų 10 %. Panaudojimas didėja, didėjant balso ir duomenų paraiškų apkrovai, tačiau tuomet žymiai padidėja blokuojamų skambučių ir duomenų kiekis. Realus laiko tinklo testavimo tikslams darbo eigoje buvo sukurtas NTT (Network Testing Tool) įrankis. Matuojamų parametrų ir jų naudos vartotojams matrica pavaizduota žemiau (3 pav.).

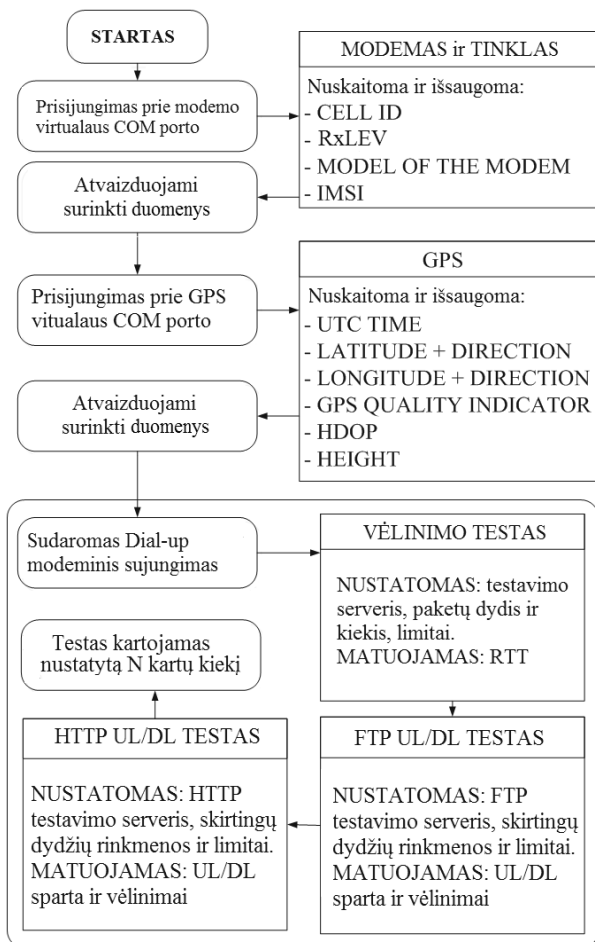
Surenkami parametrai	Nauda
<i>Pasyviuoju režimu</i> • Tinklo prieinamumas terminalui veikiant budėjimo režimu • Informacija apie celę ir signalo lygį • Pasiekiamą technologiją (GSM, UMTS, LTE) • Vartotojo pozicija (CELL_ID ir GPS koordinatės) • Terminalo modelis ir vartotojo ID	<i>Mobiliojo tinklo operatoriui</i> • Tinklo aprėptis ir kokybė kliento terminalo buvimo vietoje • Tinklo aprėptis ir kokybė „roaming“ tinkluose • Modemo kokybė, jautris ir gedimai • Paslaugų naudojimo statistika ir jų kokybė • Klientų patirtis ir lūkesčių patenkinimo lygis
<i>Aktyviuoju režimu</i> • Vidutinė duomenų perdavimo ir priėmimo sparta • Paketų vėlinimas ir praradimai • Prieigos prie paslaugos laikas • Nutrauktų duomenų sesijų kiekis • Sesijų nutraukimo priežastys	<i>Vartotojui</i> • Nuolatinis įsigytų paslaugų kokybės stebėjimas • Įrodymo, kad paslaugų kokybė yra nepriimtina paprastumas • Duomenų perdavimo paslaugų efektyvumo patikrinimo paprastumas, kliento buvimo vietoje inicijuojant aktyvų režimą

3 pav. Parametrų, surinktų su NTT nauda operatoriui ir klientui

Kaip matome (3 pav.) NTT matuojami parametrai yra naudingi visoms AMI sistemos vartotojų grupėms, pradedant operatoriais ir baigiant galutiniais

vartotojais. Profesionalūs įrankiai naudojami radijo prieigos tinklų kokybinių parametrų verčių surinkimui (Ascom TEMS, Q-voice ir t.t.) dažniausiai naudojami išvažiuojamųjų (ang. drive-test) bandymų metu. Jie netinka įdiegimui į galutinius AMI sistemos mazgus dėl savo sudėtingumo ir prietaisų brangumo, taipogi jų veikimo algoritmai yra užpatentuoti ir nėra viešai prieinami.

Darbo metu sukurto NTT įrankio veikimo algoritmas pavaizduotas žemiau (4 pav.).

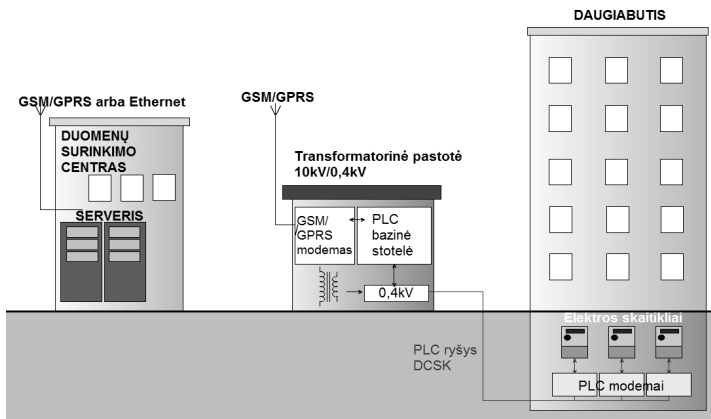


4 pav. NTT programos algoritmas

Kaip matome (4 pav.), NTT pritaikytas darbui GSM, GPRS/EDGE ir UMTS/HSPA bei LTE tinkluose, nors bet kuris kitas mobilusis tinklas gali būti analizuojamas minimaliai pakeitus programos algoritmo veikimą AT komandų apdorojimo dalyje. Taip pat svarbu pažymėti, kad pilna matavimų sistema turi susidėti iš kliento dalies (NTT) ir serverio aplikacijų. Atlikti NTT įrankio matavimų patikimumo patikrinimai parodė, kad sukurtas įrankis atitinka etaloninių įrankių matavimo tikslumą. Darbe pateikiama laisvai prieinamų tinklo charakteristikų matavimo įrankių palyginamoji analizė. Nustatyta, kad analogai nėra lanksčiai konfigūruojami arba neatitinka šio darbo uždavinių, todėl buvo būtina kurti naują įrankį.

4. Duomenų perdavimo mobiliuosiuose tinkluose užtikrinimo tyrimas

AMI sistema kas valandą arba parą, taip pat kontrolei kas mėnesį, surenka resursų valandinių profilių matavimo duomenis kartu su įvykių žurnalais ir kitais nustatytais parametrais. Šiame tyrime panaudota viena iš galimų ir labiausiai tikėtinų sistemos diegimo schemų. Pagrindinis tyrimo tikslas buvo išmatuoti vėlinimo pasiskirstymus cikliška nuskaitant skaitiklius taip pat palyginti skirtingų protokolų įtaką vėlinimo reikšmėms. Testavimo objektas paaišduotas žemiau (5 pav.).



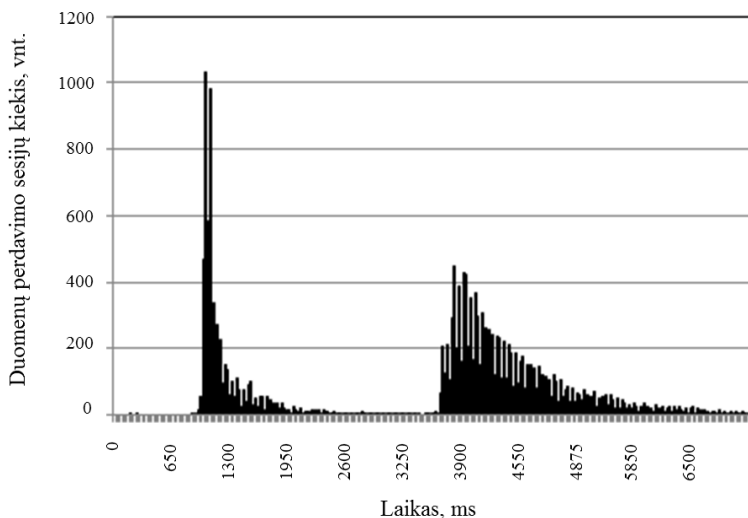
5 pav. Testavimo objektas

Šiame bandymų objekte buvo panaudota PLC technologija, prijungianti skaitiklius prie vienos bazinės stotelės ir toliau per GPRS kanalą skaitiklius

duomenis perduodanti į serverį. Testavimo vietoje buvo sujungti 25 elektros skaitikliai su PLC modemais. Dešimt iš jų dirbo su 1142 protokolu, likę – su DLMS (ang. Device Language Message Specification). DLMS – šiuolaikinis lankstus ir universalus, bet kaip ir visi universalūs dalykai, perteklinis protokolas. Skirtingų gamintojų įrangos suderinamumo tikslais jis planuojamas naudoti Europos AMI sistemose, todėl būtina išnagrinėti jo ypatumus. Darbo metu buvo atlikta išsami DLMS protokolo panaudojimo analizė. Šie tyrimai parodė būtinumą naudoti optimizuotą ir kombinuotą protokolo struktūrą tam, kad būtų taupomi riboto GSM/GPRS kanalo ištekliai.

Darbo metu atlikti DLMS protokolo tyrimai parodė, kad naudojant paprasčiau realizuojamą, bet neoptimizuotą protokolo struktūrą, prireiks 3,7 karto daugiau laiko ir bus sugeneruotas 1,38 karto didesnis duomenų masyvas. Primygtinai rekomenduojama naudoti optimizuotą protokolo struktūrą tam, kad būtų taupomi riboto GSM/GPRS kanalo ištekliai.

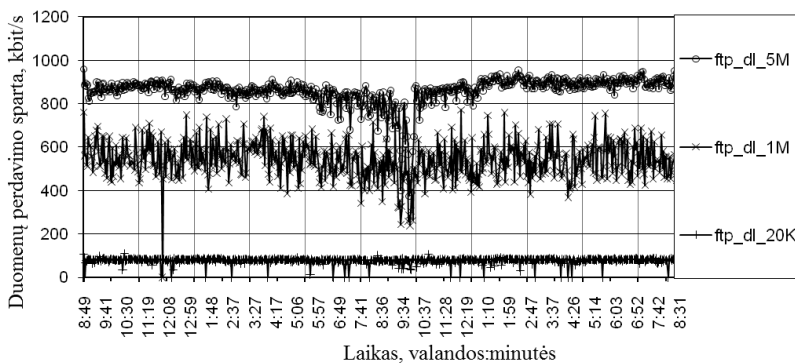
Atliekant bandymus testavimo objekte buvo paleistas ciklinės apklausos procesas, užklauskiant sumines energijos reikšmes iš skaitiklio atminties. Testas tęsėsi parą ir buvo surinkta daugiau nei 50000 ryšio sesijų statistika. Duomenų iš skaitiklių nuskaitymo laikų pasiskirstymai pateikiami žemiau (6 pav.).



6 pav. Duomenų perdavimo sesijų vėlinimo laikų pasiskirstymas

Pavaizduotą laiko pasiskirstymo diagramą (6 pav.) galima suskirstyti į kelias sritis. Viena sritis yra iki 650 ms, dauguma ryšio sesijų dar nebuvo užbaigtos. Antroje srityje vidutinė 1142 protokolo ryšio sesija truko apie 1,2 sekundės, tai paaiškinama šio protokolo mažų paketų struktūra. Trečioje srityje vidutinė DLMS sesijos trukmė yra apie 4,4 sekundės. Tai neviršijo kritinės DLMS ir skaitiklyje nustatytos (ang. DLMS Idle Time-out) 20 sekundžių reikšmės, todėl daroma prielaida, kad AMI-GPRS sistema galės funkcionuoti. Tai patvirtina prielaidą, kad svarbu suderinti nustatomas maksimalaus atsakymo vėlinimo reikšmės su išmatuojamais GPRS tinkle, įvertinant norimą pasiekti patikimumo lygį.

Toliau iš koncentratoriaus į serverį persiunčiamos skirtingų dydžių apkrovos profilių rinkmenos. Buvo pasirinkti trys galimi rinkmenų dydžiai: 20KB, 1MB ir 5MB. Jų persiuntimo spartos buvo matuojamos 24 valandų intervale. Rezultatai pateikiami žemiau (7 pav.).



7 pav. Duomenų perdavimo spartos priklausomybė nuo rinkmenų dydžio

Kaip matome iš pateikiamų spartos reikšmių pasiskirstymų, šių tyrimų metu bazinė stotis nebuvo reikšmingai apkrauta kitų vartotojų paraiškų aptarnavimu, išskyrus laiko tarpą tarp 9 ir 11 valandos ryto. Spartos reikšmės priklauso nuo rinkmenos dydžio ir šiuo atveju paros bėgyje yra tolygiai pasiskirsčiusios. Akivaizdu, kad didinant perduodamas rinkmenas duomenų perdavimo sparta didėja iki maksimalių kanalo pralaidumo verčių laipsniškai. Tai priklauso ne tik nuo TCP lėto starto, bet ir nuo tinklo nustatymų. Todėl siekiant optimalia sparta perduoti duomenis į serverį, reikia pasirinkti tinkamą rinkmenos dydį ne mažesnę kaip 1 MB ir atsižvelgti į tinklo nustatymus ir paros laiką, pavyzdžiui, didžiausius duomenų kiekius perduoti nakties metu, kai balso ir kitų duomenų vartotojų aktyvumas mažiausias.

Bendrosios išvados

1. Lietuvoje yra įdiegta virš 4,3 milijonų energetinių resursų skaitiklių. Per vieną apskaitos periodą, dažniausiai valandą, jie gali sugeneruoti apie 400 MB matavimų duomenų masyvą. Liberalizuojant energijos rinką atsiranda poreikis tuos duomenis surinkti dažniau. Įvedant valandinius tarifus, priklausančius nuo apkrovų ir paskirstytos generacijos apimčių, surinkimo intervalas sieks valandą, tuo tikslu kuriamos ir sujungiamos su ryšių tinklais naujos AMI sistemos.
2. Darbo metu atlikta AMI projektų aprašymų ir energetinių tinklų ekspertų ataskaitų analizė patvirtina LESTO planus Lietuvoje naudoti ribotų ir paskirstytų resursų GSM/GPRS tinklų išteklius energijos apskaitos duomenų surinkimui.
3. Nustatyta, kad pagrindinius sistemos diegėjų poreikius atitinkantis AMI-GPRS modelis yra duomenų perdavimo sistema su stochastiškai kintančiomis kanalų charakteristikomis. Kanalų charakteristikos turi būti tikslinamos vykdant periodinius matavimus, pavyzdžiui, naudojant NTT įrankį.
4. AMI-GPRS modelis leidžia prognozuoti bei analizuoti tinklo utilizavimą ir blokuojamų paraiškų kiekius keičiant apkrovos lygius. Modeliavimo metu nustatytas rekomenduojamas GSM/GPRS transformuojamų (SW) kanalų kiekis rezervuojamas balso perdavimui, kai visi balso kanalai užimti, ir jis lygus 1, tuomet blokavimo tikimybė balso paraiškoms yra lygi 0,7 %, duomenų paraiškoms – lygi 0,8 %.
5. Sukurto ir išbandyto NTT įrankio dėka galima operatyviai rinkti duomenis galutinių matavimo taškų įrengimo vietose, nustatyti duomenų perdavimo spartas ir vėlinimus bei jų pasiskirstymus.
6. Rekomenduojama belaidžius AMI įrenginius ir mobiliojo tinklo valdymo sistemas papildyti NTT programinės įrangos funkcijomis, leidžiančiomis išmatuoti tinklo paslaugų kokybės reikšmes galutinės įrangos aplinkoje ir sukurti efektyvią grįžtamojo ryšio grandinę tarp įrangos ir operatoriaus.
7. DLMS protokolo tyrimai parodo, kad naudojant paprasčiau realizuojamą, bet neoptimizuotą protokolo struktūrą, 3,7 karto padidėja persiuntimo laikas ir generuojamas 1,38 karto didesnis duomenų masyvus. Primygtinai rekomenduojama naudoti optimizuotą protokolo struktūrą tam, kad būtų taupomi riboto GSM/GPRS kanalo ištekliai.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas recenzuojamuose mokslo žurnaluose

1. Batkauskas, V.; Balčiūnas, D. 2006. Optimization of Common Voice and Data Channel Resources in the GSM/GPRS Network. *Electronics and Electrical Engineering*, Technologija – Nr. 5(69), p. 67–72.
2. Balčiūnas, D. 2010. Mobiliaus duomenų perdavimo sistemų paslaugų pasiekiamumo užtikrinimo tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*. ISSN 2029-2341(print)/ISSN 2029-2252(online) 2009, 1 tomas, Nr. 7, p. 81–84.
3. Balčiūnas, D. 2011a. Analysis of the Algorithm for the Evaluation of the Quality Parameters of the Mobile Data Transmitting. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, ISSN 2029-2341(print)/ISSN 2029-2252(online) Volume 3, p. 78–81.
4. Balčiūnas, D.; Batkauskas, V. 2011b. Development of the Tool for Evaluation of Quality of Mobile Data Services. *Electronics and Electrical Engineering*, Kaunas: Technologija, – No. 7(113), p. 97–100, IF=0,913.

Kituose leidiniuose

1. Balčiūnas, D. 2004. Bendro duomenų ir balso kanalo modeliavimas GSM/GPRS tinkluose. *Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities*, Technika, ISBN 9986-05-803-1 (1083), p. 62–73.
2. Balčiūnas, D.; Kajackas, A. 2011. Transmission Issues of the Billing and Dynamic Power Quality Measures from the Domestic Sector. *IEEE Xplore Digital Library*, Lisbon: EPQU'11 Congress Proceedings (INSPEC). ISSN: 2150-6647. Print ISBN: 978-1-4673-0379-8, p. 1–6.

Trumpos žinios apie autorių

Dmitrijus Balčiūnas gimė 1982 m. lapkričio 13 d. Jekaterinburge. 2004 m. įgijo elektronikos inžinerijos bakalauro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Elektronikos fakulteto telekomunikacijų inžinerijos katedroje. 2006 m. įgijo telekomunikacijų vadybos magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Elektronikos fakulteto telekomunikacijų inžinerijos katedroje. 2008–2012 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktoran-

tas. Nuo 2005 m. iki 2008 m. dirbo UAB „Teltonika“, nuo 2008 m. UAB „Elgama-Elektronika“ eina projektų vadovo pareigas, taip pat nuo 2011 m. dirba asistentu Vilniaus Gedimino technikos universiteto telekomunikacijų inžinerijos katedroje.

RESEARCH OF THE METERING DATA TRANSMISSION OVER MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

Topicality of the problem

Mobile operators are interested to deliver excellent quality mobile services in order to differentiate themselves from the other service providers. Therefore monitoring of the subscribers well-being (accessibility, reliability and quality of the services) is extremely important. While mobile operators do not have direct technical feedback on the network services quality presented to the subscribers, the customer perception does not always correlate with statistics, obtained by network performance counters or drive tests. Objects of this research are important not only for the mobile network operators but also for the integrators of the AMI systems, as well as mobile data transfer equipment manufacturers mainly due to the plans of EU countries to implement Advanced Metering Infrastructure (AMI) by the year 2020. More than 4 million of the resource meters are installed in Lithuania, which means they will generate great amount of the data connections and amounts of the data to be transmitted daily and in some cases hourly.

Sensitive commercial and power quality describing information, from the metering points will be transferred via mobile networks is analyzed in this work. If there will be interruption or delay while transferring information about the power supply or generation quality for the big, especially industrial customers and no actions will be taken in order to improve phase balance or over-voltage situation there may be significant negative impact on the sensitive equipment at customer side, as a result losses for the both sides and penalties for operator may be applied.

The object of research

The main object is the AMI wireless access network channels located between “smart” meters and servers.

Aim and tasks of the work

Objective of the research presented is analysis and creation of the methods and tools in order to control and enforce quality of the AMI system services in wireless access networks. The tasks that should be accomplished in order to reach the goals of this work are these:

1. To investigate AMI system requirements related to the most important characteristics of the mobile data transfer process, such as data amounts, transfer rates and delays.
2. To analyze performance of the GSM/GPRS networks in marginal high load and low signal level conditions by modeling and performing field tests.
3. To research and suggest methodologies and tools that could be used in order to measure QoS parameters of the wireless access data transfer networks in AMI environment.
4. To analyze and suggest methods of the AMI data transfer quality assurance in mobile networks.

Methodology of research

Following research methods are presented in this work:

1. Analytical and probabilistic methods were applied during creation of the shared voice and data models of the GSM/GPRS networks.
2. Statistical analysis of the results received from the modeling and field tests were performed.
3. Modeling was performed with following software packages: Matlab and Opnet.

Scientific novelty

Theoretical and experimental investigations have brought the following new achievements:

1. Analysis methods of the data amounts and loads for the wireless data transfer channels of the Lithuanian AMI system, significant for the planning stages of the scientific experiments.
2. Analytical and mathematical algorithms for the modeling of common voice and data transmitting in AMI-GPRS networks improved with SW channels, significant for the system analysis tasks.
3. Improved algorithm for the utilization of several mobile channels for the data transfer quality assurance in wireless AMI-GPRS channels, significant for the AMI system researchers.

Practical value

The research area covered in this work and the results presented are significant for the mobile network operators and their clients. Research is important for the developers of the mobile data transmitting equipment as well. There are practical guidance for the tuning common voice and data GSM/GPRS system operators. Recommendations for the quantity of the switchable and fixed time slots are presented. Recommendations for the additional concentration devices in AMI system in certain conditions of the high loads and high number of the metering points under single GPRS access points are presented. Data transmitting quality issues in mobile networks are often being analyzed in related works, but most of those works cover only the network characteristic measurements at the network layer of the OSI model during drive tests or analyze base station registers. Because of the stochastic instability of the radio interface those stationary acquired and statistically processed data samples do not reflect end point performance. At this work importance of the individually perceived mobile data transfer characteristics is emphasized. Also the structure for the global evaluation of the mobile transfer situation based on the perceived characteristics at the end point is presented.

Participation in scientific projects

This work was partially supported by the Research Council of Lithuania. Project was called: “Autonominė telekomunikacinių paslaugų kokybės stebėjimo sistema” [Standalone quality of the telecommunication services monitoring system].

Defended propositions

1. AMI-GPRS system model with stochastically changing data transfer channel parameters is applicable to reflect actual conditions and parameters of this network in normal and marginal load conditions.
2. Control and evaluation of the quality of service in AMI-GPRS networks should cover both passive and active monitoring of the data transfer parameters by evaluating rate, delay and availability of service distributions.
3. NTT is a tool suitable to perform measurements of the communication quality parameters in AMI end device installation areas.
4. For the adjacent AMI node data collection additional aggregation devices could be applied.

The scope of the scientific work

This work consists of the introduction, 4 chapters, conclusions, list of literature, list of publications and addendum. Introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis and the object of research. There are also described the purposes and the tasks of the paper, research methodology, scientific novelty, the practical significance of results examined as well as defended statements.

In the first chapter revision of the related scientific researches as well as introduction to the mobile data transmitting characteristics are provided.

In the second chapter analysis of the AMI metering points as a data source are presented.

In the third chapter the algorithms for the software tool to be created in order to evaluate the mobile networks are analyzed and presented.

In the forth chapter investigations on the methodology and algorithms for the assurance of the mobile data transmitting in AMI systems and field test results are presented.

Total scope of the dissertation – 100 pages without addendums, 35 formulas, 39 pictures, 26 tables and 110 literature sources were used.

General conclusions

1. There are more than 4.3 million of the metering points already installed in Lithuania. During the single period of measuring they could generate more than 400 MB massive of the metering data. Liberalization of the energy markets and introducing the flexible hourly tariffs (depending on the loads and distributed generation amounts) predispose that the remote data collecting intervals from the metering points could reach hours. In order to satisfy growing needs the new AMI systems are being developed and integrated with communication networks.
2. Analysis of the undergoing AMI projects and expert works confirms the plan to broadly employ GSM/GPRS networks with their limited and shared resources for the metering data collection.
3. It was identified that the model of the AMI-GPRS system created with stochastically changing parameters of the data transfer channels is suitable for the metering network analysis purposes. Characteristics of the data transfer channels must be periodically monitored, for example with the tool created (NTT).
4. AMI-GPRS model allows predicting and analyzing network behavior with the different load levels. The recommended SW channel

transformation index, describing number of the SW channels reserved for the voice, was discovered during the modeling and it is equal to 1. In this case the probability of voice blocking remains acceptable and equals to 0.7 % and the probability of blocking data remains in acceptable 0.8 %.

5. NTT software application created for the purposes of this work was analyzed and approved as a suitable tool to collect data in measurement point installation places for the monitoring data transfer rates, delays as well as their distributions.
6. It is recommended to supplement the AMI wireless modem equipment by implementation of the passive and active quality monitoring functions of the NTT software applications creating an effective feedback link between the equipment and the operator.
7. Research of the different DLMS protocol implementation possibilities presents that using the simple, but easier to implement, and not optimized structure of the protocol will take 3.7 times longer and 1.38 times bigger amounts of the same metering data to be read. It is strongly recommended to use optimized and combined request structures in order to save limited GSM/GPRS communication resources.

About the author

Dmitrijus Balčiūnas was born on November 13, 1982 in Yekaterinburg, Russia. He obtained Bachelor of Sciences degree in electronics engineering at Vilnius Gediminas Technical University in 2004 and Master's degree in Telecommunication management at Vilnius Gediminas Technical University in 2006. Doctoral dissertation was being prepared at Vilnius Gediminas Technical University during 2008–2012. He has been working as a Project Manager in JSC “Teltonika” since 2005 till 2008, later in JSC “Elgama-Elektronika” since 2008. Since 2011 he also works in Telecommunications Engineering department of Vilnius Gediminas Technical University as assistant.