



Lukas PAVILANSKAS

**BEVIELĖS PRIEIGOS MAC PROTOKOLO
ADAPTACIJA REALAUS LAIKO DUOMENŲ
SRAUTAMS**

**Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai,
elektros ir elektronikos inžinerija (01T)**

1394

Vilnius  **2007**

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Lukas PAVILANSKAS

**BEVIELĖS PRIEIGOS MAC PROTOKOLO
ADAPTACIJA REALAUS LAIKO DUOMENŲ
SRAUTAMS**

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai,
elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

Vilnius  LEIDYKLA
TECHNIKA 2007

Disertacija rengta 2003–2007 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),

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

doc. dr. Ričardas Visvaldas POCIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija – 01T),

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

Oponentai:

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

prof. dr. Jonas RIMAS (Kauno technologijos universitetas, fiziniai mokslai, matematika – 01P).

Disertacija bus ginama viešame Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2007 m. birželio 27 d. 10 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@adm.vgtu.lt

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2007 m. gegužės 25 d.

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

VGTU leidyklos „Technika“ 1394 mokslo literatūros knyga.

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Lukas PAVILANSKAS

**ADAPTATION OF WIRELESS ACCESS MAC
PROTOCOL FOR REAL TIME PACKET FLOWS**

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences,
Electrical Engineering and Electronics (01T)

Vilnius  2007
LEIDYKLA
TECHNIKA

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2003–2007.

Scientific Supervisor

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

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

Chairman:

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

Members:

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

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

Assoc Prof Dr Ričardas Visvaldas POCIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Electrical Engineering and Electronics – 01T),

Prof Dr Arminas RAGAUSKAS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Electrical Engineering and Electronics – 01T).

Opponents:

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

Prof Dr Jonas RIMAS (Kaunas University of Technology, Physical Sciences, Mathematics – 01P).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Electrical Engineering and Electronics in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 10 a. m. on 27 June 2007.

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@adm.vgtu.lt

The summary of the doctoral dissertation was distributed on 25 May 2007.

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).

© Lukas Pavilanskas, 2007

1. Įvadas

Mokslo problemos aktualumas. Plačiaujustės licencijuojamų dažnių bevielės technologijos, kurios paprastai skirtos vartotojams teikti komercines multimedijos ir balso paslaugas, yra per brangios vystant prieigos tinklus, kuriuose sutinkama didelė vartotojų koncentracija. Dėl to šios technologijos dažniausiai naudojamos tik komercinių balso paslaugų tiekėjų. Labiausiai tinkama alternatyva – yra IEEE 802.11 technologijos, kurių naudojimas modernių telekomunikacijų tinklų išplėtimui įvairiose tipinėse sąlygose yra pastebimai auganti telekomunikacijų rinkos dalis. Ši technologija greitai išplito ir tapo populiari verslo, namų, „paskutinės mylios“ ir kituose tinklų vystymo sprendimuose.

Modernėjant Interneto technologijoms, telekomunikacijų tinkluose įsivyrėja multimedijos požymių turintys srautai, kurių sukurtoms specifinėms sąlygoms IEEE 802.11 technologijos nėra pritaikytos. Todėl svarbu kurti naujus, ribines galimybes išnaudojančius, bet specifikacijos nekeičiančius protokolus, kurie leistų rinkoje esančią įrangą adaptuoti realaus laiko srautams.

Disertacijoje naudojama IEEE 802.11 MAC protokolo technologinių sąnaudų įtakos vertinimo metodika nebuvo taikoma. Šis vertinimo būdas leidžia įvertinti fizinio resurso užėmimo racionalumą ir numatyti IEEE 802.11 protokolo modifikavimo kryptis. Pateiktas sinchroninis vartotojų prieigos adaptacijos balso perdavimams būdas leidžia racionaliai panaudoti IEEE 802.11 protokolą balsui adaptuotose vartotojų prieigose. Todėl, galima teigti, kad disertacijoje gauti rezultatai įgalina susitelkti į dar nenagrinėtas šios technologijos savybes specifinėse sąlygose bei skatina dar labiau praplėsti IEEE 802.11 technologijos tinklų tyrimų gamą pasaulyje ir Lietuvoje.

Darbo tikslas ir uždaviniai. Disertacijos tikslai – detalai ištirti IEEE 802.11 technologijos taikymo galimybes bei technines charakteristikas specifinėse vartotojų prieigos tinklų sąlygose ir rasti būdus padidinti realų sisteminių laidumą. Uždaviniai šiems tikslams pasiekti:

1. Ištirti ir išskaidyti IEEE 802.11 MAC protokolo funkcionalumo palaikymui reikalingas technologines sąnaudas specifinėse vartotojų prieigos tinklų sąlygose.
2. Detalai ištirti duomenų perdavimo savybes specifinėse WLAN tinklų sąlygose ir įvertinti ribines galimybes.
3. Įvertinti ribinį balso kanalų kiekį WLAN tinkluose.
4. Sukurti metodiką ir modelį, kurie leistų racionaliau panaudoti IEEE 802.11 technologiją balsui adaptuotose vartotojų prieigos tinkluose.

Mokslinis naujumas. IEEE 802.11 technologijų taikymas, optimizavimas specifinėse sąlygose, naujų protokolų kūrimas, o taip pat adaptacijos galimybės nagrinėtos gana plačiai. Dalis šių tyrimų orientuota į multimedijos ir balso signalų perdavimą. Tipinis tyrimų objektas – standartizuotos gerai žinomos IEEE 802.11 tinklų Ad-Hoc ir infrastruktūros architektūros. Taip pat, daug sutinkama tyrimų, kuriuose nagrinėjami mišrūs tinklai. Dauguma tyrimų atlikti naudojant DCF režimą, pagrįstą atsitiktinių priegių būdu – CSMA/CA.

Šios disertacijos tyrimo objektas – IEEE 802.11 technologijos. Tyrimai atliekami remiantis tuo, kad:

1. IEEE 802.11 standarto technologija yra laisvai platinama, nebrangi ir plačiai paplitusi, tačiau jai būdingas ir svarbus trūkumas – ribotas kanalo laidumas.
2. IEEE 802.11 standarto technologija sukurta atsitiktinių šaltinių nedidelių duomenų masyvams perduoti.
3. Taikant IEEE 802.11 standarto technologiją vartotojų tinkluose, kai kurios technologinės funkcijos yra perteklinės ir nepilnai panaudojamos.

Analizuojant galimybes pagerinti IEEE 802.11 protokolo kanalo laidumą, pasirinktas technologinių sąnaudų analizės būdas. Technologinės sąnaudos vertinamos įvairiuose sisteminiuose lygiuose. Toks problemos sprendimo kelias leidžia išryškinti didžiausias sąnaudas ir palengvina paiešką būdų, kurie leistų pagerinti kanalo išnaudojimą. Vienas iš tokių būdų – balso bei kitų realaus laiko duomenų šaltinių sinchronizacija su WLAN. Tokia pasiūlyta koncepcija yra originali ir anksčiau nenagrinėta. Pagrindiniai disertacijos mokslinio naujumo elementai yra:

1. Analitinis technologinių sąnaudų, reikalingų IEEE 802.11 MAC protokolo funkcijoms palaikyti, vertinimo, suskaidant į atskiras dedamąsias, metodas.
2. Technologinių IEEE 802.11 MAC protokolo sąnaudų išskirtų dedamųjų bei TCP protokolo funkcinių savybių įtakos kanalo resursų išnaudojimui modeliavimo rezultatai.
3. WLAN tinklo balso kanalų ribinės talpos nustatymo būdas ir gauti rezultatai.
4. Sinchroninis balso perdavimo IEEE 802.11 technologijos vartotojų priegiose būdas.

Tyrimų metodika. Duomenų perdavimo savybių ir galimybių įvertinimui IEEE 802.11 standarto vartotojų priegiose panaudoti matematinio ir imitacinio modeliavimo metodai. Imitaciniams modeliams realizuoti panaudoti NS-2, OpNET, Matlab programiniai paketai. Gautų duomenų apdorojimui panaudoti Maple ir Tcl paketai.

Praktinė vertė. Disertacijos rezultatai gali būti panaudoti vystant, standartizuojant, o taip pat realizuojant balsui pritaikytas vartotojų prieigas arba kitus tinklus, kuriuose naudojama IEEE 802.11 standarto įranga. Detalūs tyrimo rezultatai gali būti panaudoti tęsiant analitinius ir praktinius bevielų tinklų tyrimus, o taip pat naujų technologijų kūrimo ir vertinimo procesuose.

Autorius gina

1. IEEE 802.11 protokolo technologinių sąnaudų specifinėse vartotojų tinklų sąlygose vertinimo metodiką ir analizės rezultatus.
2. IEEE 802.11 technologinių sąnaudų įtakos kanalo laidumui specifinėse WLAN sąlygose modeliavimo rezultatus.
3. TCP funkcinių savybių įtakos IEEE 802.11 protokolo kanalo resursų išnaudojimui modeliavimo rezultatus.
4. Ribinio balso kanalų kiekio WLAN tinkluose nustatymo būdą.
5. Sinchroninis balso perdavimo IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigose būdą.

Darbo apimtis. Disertaciją sudaro 6 skyriai ir 5 priedai. Pirmame, įvardiniame skyriuje aptariamas darbo aktualumas, disertacijos tikslai ir uždaviniai, mokslinis darbo naujumas, praktinis darbo rezultatų pritaikymas ir disertacijos apimtis. Antrame skyriuje pateikiama detali tyrimų, susijusių su disertacijos tema, analizė, kuri orientuota į IEEE 802.11 technologijos savybes specifinėse sąlygose. Taip pat pateikiama panašių tyrimų, atliktų Lietuvoje, apžvalga. Trečiame skyriuje pateiktas analitinis technologinių sąnaudų, reikalingų IEEE 802.11 protokolo funkcijoms palaikyti, vertinimo, suskaidant į atskiras dedamąsias, metodas. Naudojant šį metodą, detaliai analizuojamos technologinės sąnaudos sugretinant dvi skirtingas technologijas: perdavimus paketais ir perdavimus kanalais. Gauti rezultatai iliustruoja kaip duomenų laukai apauginami skirtingų protokolų antraščių struktūromis ir technologiniais laikais vieno paketo perdavimo kontekste. Nustatytos sąlygos kurti taikomųjų uždavinių sąlygoms adaptuotus protokolus. Ketvirtame skyriuje pateikiami technologinių IEEE 802.11 protokolo sąnaudų komponentų ir TCP protokolo savybių įtakos kanalo resursų išnaudojimui modeliavimo rezultatai. Penktame skyriuje analizė išplečiama į sujungimų lygmenį, naudojant PCF funkciją realaus laiko duomenims perduoti IEEE 802.11 vartotojų prieigų tinkluose. Technologinės sąnaudos analizuojamos panaudojant patobulintą balso kanalų talpos WLAN tinkluose vertinimo būdą. Tuo remiantis pateiktas sinchroninės, balsui adaptuotos IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigos modelis. Esminis šio modelio bruožas – ciklinių PCF procesų ir balso paketizavimo

laikotarpių sinchronizacija. Visi gauti rezultatai apibendrinami šeštame, išvadų skyriuje. Disertacijos pabaigoje pateikiamas naudotos literatūros sąrašas.

Disertaciją sudaro 110 teksto puslapių, 16 lentelių, 65 paveikslų, 136 nuorodos, 7 autoriaus publikacijos.

2. Bendrosios IEEE 802.11 technologijos savybės

IEEE 802.11 technologija greitai išplito ir tapo populiarī verslo, namų, viešųjų Interneto prieigų ir kituose mišriuose tinkluose. Remiantis atliktais rinkos tyrimais, per 2006 metus šios technologijos įrangos rinka išaugo 42 %. Pagrindinis veiksnys lemiantis tokį augimą – tai dėl mažų diegimo kainų ir pakankamo naudingumo greitai susigrąžinamos investicijos. Esminis šios technologijos trūkumas – tai žymiai mažesni sisteminiai rodikliai – kanalo talpumas, perdavimo patikimumas ir sisteminis laidumas, skirtingai nei laidiniuose tinkluose. Tai lemia:

1. CSMA/CA fizinio kanalo varžymosi prieigos mechanizmui realizuoti kiekvienas perduodamas paketas yra „apauginamas“ papildomais informacijos laukais, kurių kiekis mažina realų sisteminių laidumą.
2. Bevieliam mazgui, prieš pradėdant siųsti paketą, reikia rezervuoti kanalą – įsijungiant į sistemą. Įsijungimo laikas priklauso nuo mazgų skaičiaus.
3. Fizinė perdavimo sparta priklauso nuo riboto radijo dažnio kanalo pločio. Apsaugai nuo paketų praradimų fizinėje terpėje stotys turi patvirtinti kiekvieno paketo sėkmingą perdavimą.
4. Paketai dėl interferencijos ir kitų radijo signalo sklidimo savybių fiziniame kanale gali būti prarasti. Tai žymiai mažina aukštesnių lygmenų protokolų laidumą, pirmiausia – TCP.
5. Bevielė stotis komunikacijai naudoja bendrą radijo kanalą. Dėl to, vienu metu IEEE 802.11 standarto tinklo stotis gali tik išsiųsti arba tik priimti.

Atlikta analizė parodė, kad šias IEEE 802.11 savybes galima įvardinti kaip technologinį perteklišumą, kurį galima suskirstyti į komponentes: vieno paketo ir susijungimo lygmens technologinį perteklišumą. Remiantis dviejų skirtingų technologijų perdavimo paketais ir perdavimo kanalais analize, vieno paketo technologinės sąnaudos – tai vieno paketo perdavimui naudojami statiniai struktūriniai laukai ir laikinės technologinės sąnaudos, susijungimo sąnaudos – tai kanalo sudarymo laikinės komponentės.

Dėl technologinio perteklišumo didėjant Interneto paslaugų įvairovei (VoIP, Video per IP ir pan.) IEEE 802.11 WLAN tinklai šiuolaikinių telekomunikacijų kontekste tampa „silpna vieta“. Tai analizuota daugelyje darbų. Galima išskirti kelias esmines analizės kryptis:

1. Interferencijos įtaka sisteminiam laidumui WLAN tinkluose.

2. IEEE 802.11 technologijos MAC ir LLC savybės ir problematika.
3. Duomenų perdavimo IEEE 802.11 technologijos tinkluose specifika.

Apibendrinant, galima teigti, kad vystantis Internet paslaugoms perduodamų duomenų srautai tampa panašūs į srautus su specifinėmis realaus laiko savybėmis. Tokioms sąlygoms IEEE 802.11 technologija, kurioje perdavimai vyksta paketinės komutacijos pagrindu, nėra gerai pritaikytos. Dėl šios priežasties atsiranda poreikis iširti galimybes – šią technologiją adaptuoti specifinėms sąlygoms – realaus laiko duomenų perdavimo paslaugoms.

3. Tipinio WLAN modelio techninės sąnaudos

WLAN ir kituose paketinės komutacijos tinkluose duomenų ir valdymo paketams perduoti naudojami įvairūs protokolai. Kiekvienas protokolas prideda prie naudingų duomenų specifinius protokolų laukus (antraštes). Tipiniu atveju TCP/IP paketą sudaro: MAC, LLC, IP ir TCP (RT atveju – UDP ir RTP) antraštės. Augant protokolų antraščių kiekiui, pagrindinė MAC duomenų struktūra, kuri sudaryta iš šių antraščių ir naudingų vartotojo duomenų, taip pat didėja. Visa MAC struktūroje pridėtina informacija, kurios paskirtis perduoti vartotojo duomenis yra MAC lygmens techninės sąnaudos. Normalizuotos techninės MAC lygmens sąnaudos gali būti išreikštos:

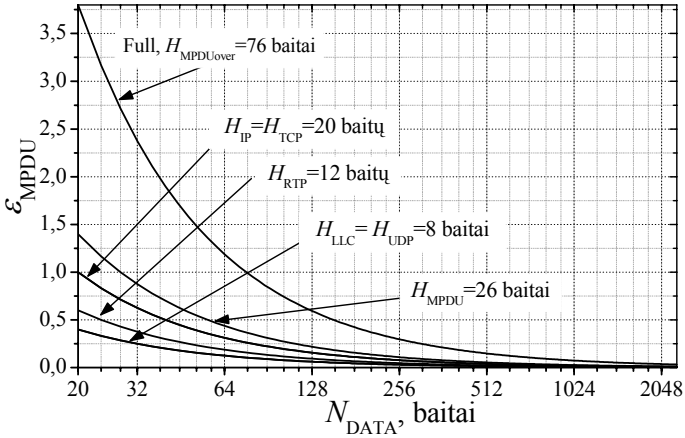
$$\varepsilon_{\text{MPDU}} = \frac{N_{\text{MPDUover}}}{N_{\text{DATA}}} = \frac{N_{\text{MPDU}} - N_{\text{DATA}}}{N_{\text{DATA}}} = \frac{N_{\text{MPDU}}}{N_{\text{DATA}}} - 1. \quad (1)$$

Atlikus IEEE 802.11 MAC protokolo funkcijoms palaikyti reikalingų technologinių sąnaudų matematinę analizę, jas išskaidant į atskiras dedamąsias, gautos šių sąnaudų įvairiuose lygmenyse priklausomybės. MAC lygmens technologinių sąnaudų indekso $\varepsilon_{\text{MPDU}}$ priklausomybė nuo duomenų paketo ilgio parodyta 1 paveiksle. Palyginimui $\varepsilon_{\text{MPDU}}$ kanalų multipleksavimo sistemose PCM – 30 yra daug mažesnis: $\varepsilon_{\text{PCM}} = 0.033$.

Technologinių sąnaudų indeksas fiziniame kanale gali būti išreikštas:

$$\varepsilon_{\text{PPDU}}(m) = \frac{T_{\text{PPDU}}(m) - \tau_{\text{DATA}}(m)}{\tau_{\text{DATA}}(m)}. \quad (2)$$

Kanalo prieigos mechanizmas – tai būdas dalinti kanalo resursus tarp stočių. Tai IEEE 802.11 MAC protokolo branduolys. Pagrindinės kanalų dalinimo mechanizmų klasės WLAN tinkluose yra TDMA, CSMA/CA ir švyturio principas. Pagrindinis IEEE 802.11 MAC protokolo uždavinys yra sukurti technologinį suderinamumą tarp vienuodų PHY naudojant CSMA/CA.



1 pav. Indekso $\varepsilon_{\text{MPDU}}$ priklausomybė nuo paketo ilgio

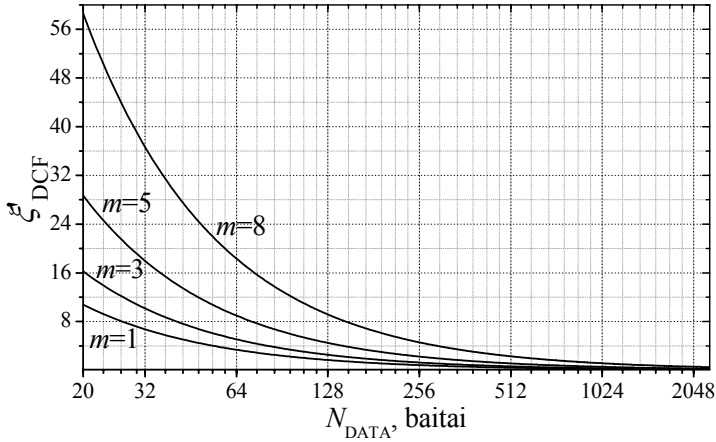
Jei IEEE 802.11 standarto bevielio tinklo stotis nustato, kad kanalas yra užimtas, ji pagal varžymosi langą laukia atsitiktinį periodą, kuriam pasibaigus stotis dar laukia DIFS – τ_{DIFS} laiką. Pasibaigus šiam laikotarpiui, siuntėjas atstato varžymosi langą tol kol pradeda siųsti kita stotis arba kai $\tau_{\text{CW}}=0$. Perteklinės technologinės DCF sąnaudos su kanalo prieiga (CSMA/CA) vieno paketo perdavimui gali būti išreikštos:

$$\xi'_{\text{DCF}}(m) = \frac{T'_{\text{DCF}}(m) - \tau_{\text{DATA}}(m)}{\tau_{\text{DATA}}(m)}. \quad (3)$$

Visų technologinių perteklinių sąnaudų priklausomybė nuo duomenų perduodamų viename pakete dydžio parodyta 2 paveiksle.

Kaip pavaizduota grafike (2 pav.), fizinio kanalo sąnaudos priklauso nuo perduodamų duomenų paketo dydžio. Jos ženkliai didėja perduodant mažus paketus. Grafikas iliustruoja DCF su išjungtu RTS/CTS. Su įjungtu RTS/CTS situacija yra blogesnė, kadangi kanalo prieigos mechanizmas, siekiant išvengti paslėpto mazgo efekto, naudoja papildomus, sąnaudas didinančius, paketus.

Apibendrinant, galima pasakyti, kad realiai pasiekiami maksimali duomenų perdavimo sparta yra žymiai mažesnė už perdavimo spartą fiziniame kanale. Technologiniai laikai prailgina fizinės kanalo prieigos laiką, dėl to, didėja technologinės sąnaudos. Šios sąnaudos yra žymiai didesnės nei TDMA atveju, kai perdavimai vyksta kaip ir PCF – nustatytos trukmės perdavimų ciklais. Tačiau, TDMA atveju pridėtos antraštės yra žymiai mažesnės, o kanalo prieigai nereikalingi papildomi technologiniai laiko intervalai ir paketai.



2 pav. Technologinių sąnaudų priklausomybė nuo paketo ilgio

4. Ribinių IEEE 802.11 technologijos galimybių įvertinimas

Interferencijos įtaka laidumui. Interferencija, paketų praradimai, vėlinimai, o taip pat didelis skirtumas tarp fizinės spartos ir duomenų spartos yra specifinės IEEE 802.11 technologijos savybės. WLAN architektūrose dėl interferencijos, atstumo ir kitų natūralių kliūčių ne visos stotys gali tiesiogiai komunicuoti. Tokie situacijoje paketų perdavimai tarp nutolusių stočių paprastai vykdomi per retransliuojančias tarpines stotis, kurios sudaro perdavimų grandines. Vartotojų prieigos tinkluose, prijungiant tokias nutolusias stotis prie laidinio stuburinio tinklo, susiduriama su kokybinių parametru mažėjimu ne tik vienoje grandyje, bet ir visoje sistemoje.

Analizuojant CSMA/CA prieigos mechanizmą IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigos tinkluose laikas – erdvė hiperplokštumos atžvilgiu galima išskirti tris užimamų erdvių tipus:

1. Perdavimo – erdvė, kurioje perduodamas paketas bus priimtas sėkmingai.
2. Signalo jautrio – erdvė, kurioje stotis gali girdėti viena kitos perdavimus, tačiau signalo kokybė per prasta, kad tuos perdavimus būtų galima suprasti.
3. Interferencijos – erdvė, kurioje stočių perdavimai tarpusavyje interferuoja ir taip sukuria paketų praradimus fiziniame kanale.

Užimtos erdvės ribas galima apibrėžti:

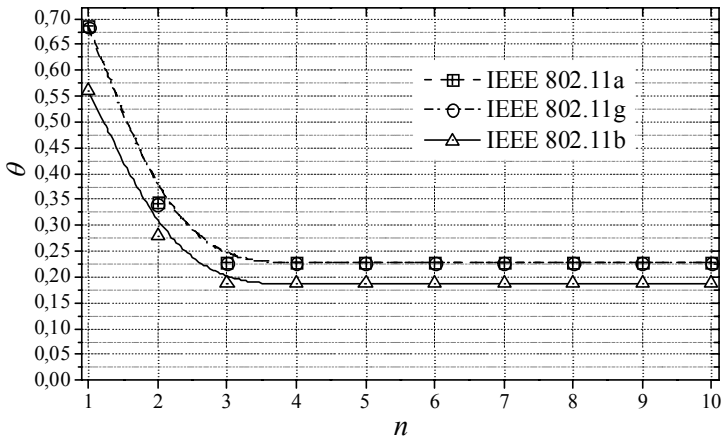
$$P_i(x_i, y_i) = P_0. \quad (4)$$

Erdvės užėmimo dydis priklauso nuo siųstuvo galios, imtuvo jautrio ir radijo bangų sklaidimo savybių. Interferencijos erdvė priklauso nuo perduodamo signalo savybių.

Vartotojų prieigų tinkluose gali susikurti tiesioginiai perdavimai grandinėmis, kuriuose vienas iš labiausiai dominančių parametrų yra agreguotas laidumas. Kai paketas yra retransliuojamas, jis užima interferencinę erdvę 2 kartus – priimant ir išsiunčiant. Todėl teorinis agreguotas laidumas dviejų grandinės grandžių sistemoje (esant vienam retransliatoriui) yra:

$$\theta_{2n \max} = \frac{1}{2} \theta_{\max} = \frac{1}{2} \frac{T_{\text{DATA}}}{T_{\text{DCF}}}. \quad (5)$$

Trijų stočių grandinėje bendras kanalo užėmimo laikas yra $3T_{\text{DCF}}$. Keturių stočių grandinėje kanalo užėmimo laikas yra $4T_{\text{DCF}}$. Vadinasi, perdavimo per daug retransliuojančių stočių IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigos tinkluose fizinio kanalo laidumas mažės $1/(n-1)$ dėsnium.



3 pav. Agreguoto laidumo priklausomybė nuo mazgų skaičiaus grandinėje

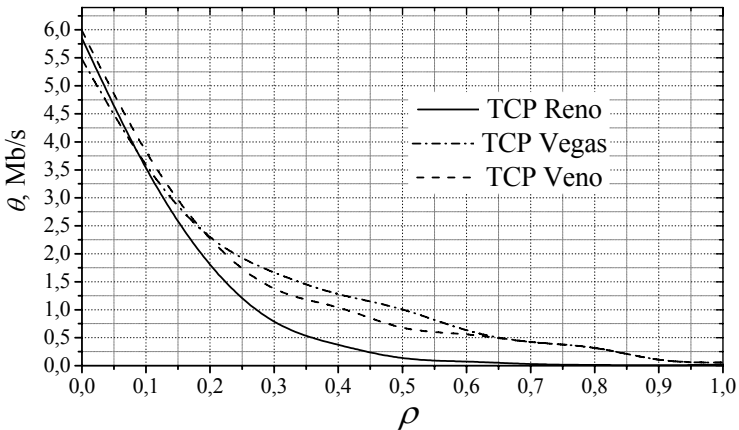
Agreguotas laidumas priklauso nuo perduodamų paketų ilgio, stočių skaičiaus grandinėje ir nuo fizinio lygmens savybių. Realizavus pakartotinį laiką – erdvę plokštumos panaudojimą, nepriklausomai nuo stočių skaičiaus grandinėje, teorinį agreguotą laidumą galima išreikšti (3 pav.):

$$\theta_{3n \max} = \frac{1}{3} \theta_{\max} = \frac{1}{3} \frac{T_{\text{DATA}}}{T_{\text{DCF}}}. \quad (6)$$

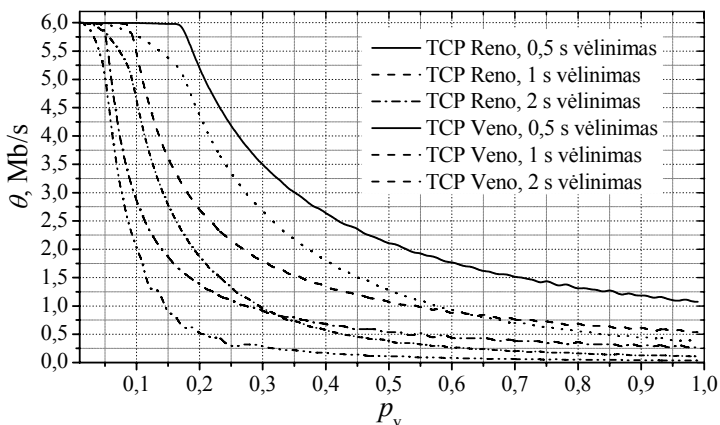
Tokia teorinė riba gali būti pasiekta realizuojant sinchronines grandis (dinaminį laikas – erdvė pasidalinimą), kuriose perdavimų laikai būtų palaikomi pagrindinio sisteminio laikrodžio. Neabejotina, kad tokie perdavimai tarp stočių būtų atliekami naudojant tipines protokolų savybes ir antraštes. Todėl agreguotas laidumas būtų mažesnis. Tinklo talpumas ir kiti rodikliai tiesiogiai priklauso nuo nustatytų erdvių tarpusavio santykio ir stočių skaičiaus erdvėje.

Apibendrinant, svarbu pažymėti, kad interferencija IEEE 802.11 vartotojų tinkluose žymiai sumažina sisteminį laidumą. Tai, ypač matyti perdavimų grandinėse, kuriose retransliuojančios stotys, dėl tarpusavio perdavimo laikų nesuderinamumo, tampa „silpniausia vieta“. Sisteminis talpumas gali būti žymiai padidintas, sukuriant bėgančias paketų serijų bangas grandinėse – tai yra realizavus dinامينius laikas – erdvė poslinkius. Projektuojant tokio tipo tinklus, susijungimai turėtų būti realizuojami parenkant stočių koordinatas, siųstuvų galią ar antenas. Tokiu būdu keičiant stočių savybes būtų valdomos užimamos erdvės ir jų parametrai.

Perdavimų TCP protokolu laidumo įvertinimas. TCP yra patikimo ryšio protokolas, skirtas tinklams su mažais paketų praradimais. TCP fiksuoja, kad visos klaidos atsiranda dėl tinklo perpildymo, o ne dėl praradimų fiziniame kanale. Įvykus tinklo persipildymui TCP sumažina TCP talpos lango dydį ir persiunčia prarastą paketą. Kadangi bevieliuose kanaluose paketų praradimai dažnai atsiranda dėl mažo signalo ir triukšmo santykio, todėl lango sumažinimas ir persiuntimas sumažina ir taip jau sumažėjusį TCP sesijos laidumą. Šio efekto išvengimui bevieliuose tinkluose gali būti naudojami ryšio patikimumą didinantys protokolai, kurie fiziniame kanale praradimus paketus, vėlinimų sąskaita, persiuntinėja iki sėkmingo priėmimo.



4 pav. TCP laidumo priklausomybė nuo fizinių paketų praradimų kiekio



5 pav. TCP laidumo priklausomybė nuo atsitiktinių ilgai vėlinamų paketų kiekio

Siekiant išsiaiškinti atsitiktinių paketų praradimų ir atsitiktinių ilgų vėlinimų įtaką TCP algoritmams IEEE 802.11 tinkluose, atlikti TCP protokolo modeliavimai specifinėse WLAN sąlygose.

Apibendrinant, galima teigti, kad atsitiktiniai paketų praradimai ir atsitiktiniai ilgi paketų vėlinimai įtakoja TCP sesijos laidumą visų nagrinėtų algoritmų atvejais (4 ir 5 pav.). Tyrimo rezultatai parodė, kad esant fiziniams paketų praradimams tinkamesnis yra TCP Veno algoritmas, tuo tarpu, esant atsitiktiniams ilgiems vėlinimams – labiau tinkamas TCP Reno.

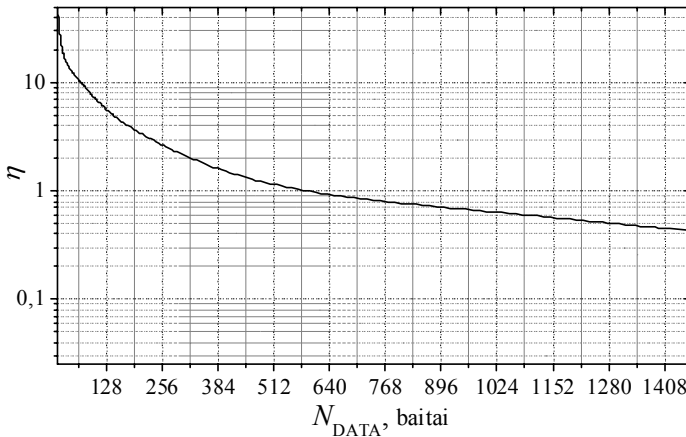
Siekiant, kad TCP, atsiradus fiziniam paketo praradimui, nesumažintų TCP persipildymo lango, reikia, kad TCP bevielėje IEEE 802.11 standarto vartotojų tinklo stotyje įvertintų paketų praradimo tipą.

Paketų agregavimo talpumo įvertinimas. Didelis skirtumas tarp fizinės spartos ir realios duomenų spartos – viena iš esminių IEEE 802.11 technologijos savybių. Šis skirtumas yra didelis – kai perduodami maži duomenų paketai. Todėl, norint efektyviai išnaudoti IEEE 802.11 technologiją, duomenys turi būti siunčiami maksimalaus dydžio paketais.

NS-2 modeliavimo rezultatai parodė, kad paketo agregavimo protokolo naudojimas gali padidinti sisteminį laidumą (6 pav.). Didžiausias sisteminio laidumo padidėjimas – apie 11 kartų – yra pastebimas kai agreguojamų paketų dydis yra mažas, o generuojamų duomenų srautas yra didžiausias.

Modeliavimo metu taip pat tyrinėti agregavimo metu sukuriama vėlinimai. Modeliavimo rezultatai patvirtino, kad realaus laiko srautui parinkus tinkamus agregavimo protokolo parametrus, vėlinimas didėja nežymiai, o nerealaus laiko srauto atveju – perdavimo ir patvirtinimo laikotarpis (RTT) sutrumpėja.

Suprantama, didėjant buferio laikui vėlinimas didės. Todėl mažiausias paketų vėlinimo laikas bus esant minimaliam agregavimo laikui.



6 pav. Tinklo laidumo išnaudojimo didėjimas, naudojant paketų agregavimą

5. Balsui pritaikyta vartotojų prieiga

DCF nėra pritaikytas perduoti vėlinimui jautrų realaus laiko srautą. Varžymosi ir eksponentinis back-off mechanizmai negali garantuoti sėkmingo balso paketų persiuntimo be papildomo perteklinio technologinio vėlinimo.

Kontroliuojama švyturiais (PCF) prieiga labiau tinkama realaus laiko perdavimams, nes sukuriama mažesnė technologinė sąnauda. Be to, yra garantuojamas stabilus technologinis vėlinimas. IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigos tinkluose, kuriuose teikiamos PSTN paslaugos, o paketų perdavimai kontroliuojami švyturiais, galima numatyti pagrindines savybes:

1. AP prijungta prie PSTN per žymiai didesnės talpos ryšio linijas.
2. Visos vartotojų tinklo stotys yra fiksuotos padėties.
3. Tokiose sistemose kokybinės paslaugų savybės turi prilygti DSL.

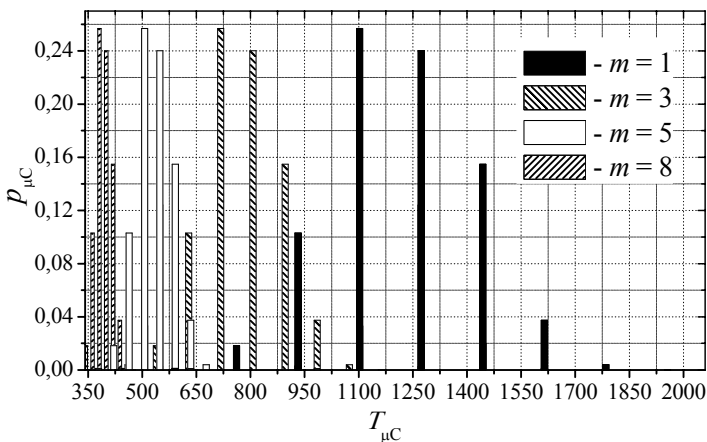
IEEE 802.11 technologijos PCF režime AP švyturių pagalba koordinuoja perdavimus BSS, taip užtikrinant prieigą be varžymosi. Perdavimas tarp AP ir n -tos stoties PCF režime yra ciklinis procesas. Po PIFS, Beacon, SIFS, AP perduoda $PPDU_{0n}$, o n -oji stotis atsako perduodama $PPDU_{n0}$. Tokie apsieitimai gali būti vadinami mikrociklais, kurių struktūra vienai stočiai gali būti užrašyta:

$$SIFS \rightarrow PPDU_{0n} \rightarrow SIFS \rightarrow PPDU_{n0}. \quad (7)$$

Šio mikrociklo kanalo užimamas laikas priklauso nuo $PPDU_{0n}$ ir $PPDU_{n0}$ trukmių, kurios priklauso nuo MPDU enkapsuliacijos ir standarto versijos.

Tyrinėjant IEEE 802.11 tinklus, kuriuose perdavimai abejomis kryptimis vyksta tame pačiame fiziniame kanale, yra netiksliai įvertinami realaus laiko perdavimų kanalo užėmimo laikai, kai naudojamas dviejų būvių (ON-OFF) modelis. Šis modelis neteisingai vertina laikotarpius, kai abu pašnekovai tuo pačiu metu kalba arba tyli. Todėl IEEE 802.11 vartotojų prieigos tinkluose tinkamesnis yra pokalbio modelis, kai du vartotojai kalba priklausomai. Šiame modelyje išryškėja du būviai: pokalbio (vienas kalba, kitas tyli) ir kalbos aktyvumo (abu kalba arba abu tyli). Toks modelis specifiкуotas ITU P.59.

IEEE 802.11 technologijos vartotojų prieigos tinkluose šio modelio būviai gali būti sutapatinti su mikrociklais. Tokiu atveju, CFP laikotarpiu vienas pokalbio dalyvis yra AP pusėje, o kitas n -tos stoties pusėje. CFP laikotarpyje gavę švyturio pranešimą, abu pokalbio dalyviai gali siųsti, tiksliai po vieną PPDU. Tokiu būdu, galima įvertinti šiuos būvius atitinkančias mikrociklų trukmes ir jų tikimybes. Mikrociklų trukmių tikimybių pasiskirstymai keturioms IEEE 802.11a technologijos vartotojų tinklo stotims (4 kalbančiųjų poroms) parodyti 7 paveiksle.



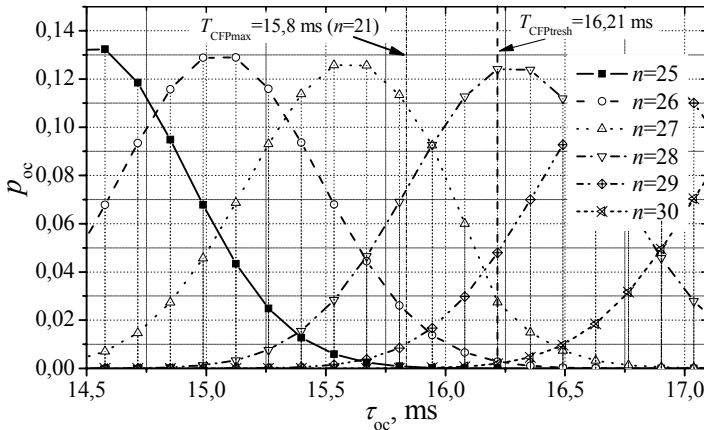
7 pav. Mikrociklų trukmių tikimybių pasiskirstymas 4 stotims (4 kalbančiųjų poros)

Balso paketus siunčiant PCF režimu vėlinimo padidėjimas yra neišvengiamas, kadangi perdavimas n -tajai stočiai yra atliekamas pagal griežtą švyturio sąrašą. Tipiniame IEEE 802.11 technologijos tinkle balso paketų paketizavimo intervalo T_{pac} ir T_{CFPrep} yra visiškai nepriklausomi dydžiai. T_{pac} priklauso nuo pasirinkto balso kodeko, o T_{CFPrep} yra laisvai pasirenkamas

parametras IEEE 802.11 standarto priegos taške. Todėl, akivaizdu, kad balso paketai bus prarasti, jei šie laikai priėmimo metu nesutaps. Norint to išvengti T_{pac} ir T_{CFPrep} parametrai vartotojų priegose turi būti susinchronizuoti:

$$T_{pac} = T_{CFPrep} \quad (8)$$

Modeliavimo metu gauti rezultatai parodė, kad susinchronizavus mikrociklų laikotarpius su balso paketizavimo laikotarpiais, galima padidinti sisteminių, IEEE 802.11 technologijos vartotojų priegų laidumą. IEEE 802.11b technologijos 11 Mb/s fizinės spartos atveju, naudojant G.711 balso kodeką ir $T_{pac}=T_{CFPrep}=20$ ms, galima pasiekti 5 kanalais didesnę talpumą (viso 26 kanalus), nei tipinėse IEEE 802.11 technologijos WLAN sąlygose. Modeliavimo metų gautų CFP laikotarpio užėmimo laikų pasiskirstymas didėjant stočių skaičiui pateiktas 8 paveiksle.



8 pav. CFP laikotarpio užėmimo pasiskirstymas didėjant stočių skaičiui, 11 Mb/s IEEE 802.11b fiziniame kanale

Apibendrinant, verta pažymėti, kad šiame darbe nustatyta IEEE 802.11 technologijos vartotojų priegos ribines galimybes iliustruojanti sistemine (reali) talpa yra didesnė už kituose skelbtuose šaltiniuose įvardintas talpas.

6. Bendrosios išvados

1. Plintant Interneto technologijoms stacionarioms vartotojų priegoms pradėti plačiai taikyti IEEE 802.11 standarto bevieliai tinklai, kurių technologinės galimybės pritaikytos atsitiktiniams duomenų paketams perduoti. Kai kurios

- iš tų galimybių vartotojų tinkluose tampa perteklinėmis. Be to vartotojų tinkluose perduodama gana daug realaus laiko požymių turinčių srautų, kuriems IEEE 802.11 standarto bevielieji tinklai nepritaikyti. Todėl svarbu iširti galimybes racionaliau pritaikyti IEEE 802.11 standarto bevelių tinklų įrangą specifinėms vartotojų priegų sąlygoms.
2. Siekiant įvardintų tikslų pasiūlytas IEEE 802.11 standarto technologinių sąnaudų analizės ir skaidymo metodas, kurį taikant nustatomos kiekvienam protokolui palaikyti reikalingos fizinio kanalo sąnaudos.
 3. Atlikta IEEE 802.11 MAC protokolo funkcijoms palaikyti reikalingų technologinių sąnaudų analizė išryškina galimybes pritaikyti IEEE 802.11 standarto įrangą konkreitiems taikymams ir taip pagerinti fizinio kanalo išnaudojimą.
 4. Modeliavimo būdu įrodyta, kad perduodant duomenis per retransliuojančias tinklo stotis IEEE 802.11 technologijos fizinis laidumas, kuris tipiniu atveju mažėja didėjant mazgų skaičiui pagal dėsnį $1/(n-1)$, gali būti padidintas iki $1/3$ bendro fizinio kanalo laidumo, sukuriant bėgančios paketų bangos režimą ir realizuojant dinamiškus laikas – erdvė poslinkius. Projektuojant tokio tipo tinklus, sujungimai turėtų būti realizuojami parenkant stočių koordinatas, siųstuvų galias bei antenas.
 5. TCP protokolo funkcinių savybių įtakos IEEE 802.11 kanalo resursų išnaudojimui modeliavimo rezultatai parodė, kad vyraujant fiziniams paketų praradimams yra tinkamesnis TCP Veno algoritmas, tuo tarpu vyraujant atsitiktiniams ilgiems vėlinimams tinkamesnis TCP Reno. Taip pat modeliavimo rezultatai parodė, kad TCP (nepriklausomai nuo pasirinkto algoritmo) nekorektiškai įvertina paketų praradimus fiziniame kanale. Norint to išvengti tikslinga adaptuoti bevielėje stotyje TCP taip, kad galėtų nustatyti, kokios prigimties yra praradimas. Jei paketas prarandamas fiziniame kanale, TCP turi nekeisti persipildymo lango dydžio.
 6. Parodyta, kad taikant paplitusį dviejų būvių (ON-OFF) balso šaltinio modelį IEEE 802.11 technologijos tinklams analizuoti nekorektiškai įvertinami kanalo užėmimo laikai. Nagrinėjant telefono ryšio specifiką ir analizuojant IEEE 802.11 technologijos fizinio kanalo sąnaudas reikia taikyti keturių būvių susijusių balso šaltinių modelius. Taikant šiuos balso šaltinių modelius tiksliau įvertinami kanalo užėmimo laikai.
 7. Parodyta, kad sinchronizuojant skaitmeninius balso šaltinius su IEEE 802.11 tinklo įranga vartotojų priegose racionaliau panaudojamas fizinis kanalas ir padidinama sisteminė talpa. Analitiniu būdu ir modeliuojant parodyta, kad IEEE 802.11b standarto technologijos 5,5 ir 11 Mb/s fizinės spartos kanalais naudojant G.711 kodeką galima perduoti atitinkamai 17 ir 26 balso pokalbių, kai prarandamų paketų kiekis neviršija 1 %.

Publikacijos disertacijos tema

1. KAJACKAS, A.; PAVILANSKAS, L. Analysis of the Connection Level Technological Expenditures of Common WLAN Models. *Electronics and Electrical Engineering*, 2007, No 2(74), p. 63–68. ISSN 1392–1215 (ISI Master Journal List).
2. PAVILANSKAS, L. Analysis of TCP Algorithms in the Reliable IEEE 802.11b Link. In *Proceedings 12th International Conference ASMTA*, 2005, p. 25–30. ISBN 1–84233–112–4 (ISI Proceedings)
3. KAJACKAS, A.; PAVILANSKAS, L. Analysis of the Technological Expenditures of Common WLAN Models. *Electronics and Electrical Engineering*, 2006, No 8(72), p. 19–24. ISSN 1392–1215 (Inspec).
4. PAVILANSKAS, L. TCP protokolo modeliavimas bevieliam tinkle. *Elektronika ir elektrotechnika*, 2005, Nr. 5(61), p. 78–83. ISSN 1392–1215 (Inspec).
5. ŠALTIS, A.; PAVILANSKAS, L. Paketinio radijo ryšio 2,4 GHz dažnių ruože eksperimentiniai tyrimai. *Elektronika ir elektrotechnika*, 2003, Nr. 4(46), p. 48–56. ISSN 1392–1215 (Inspec).
6. KAJACKAS, A.; PAVILANSKAS, L.; ŠALTIS, A. One Radio Channel Packet Implementation Interference Analysis. In *17th International Wrocław Symposium on EMC*, Wrocław, 2004, p. 208–213. ISBN 84–933971–7–2
7. KAJACKAS, A.; ANSKAITIS, A.; GURŠNYS, D.; PAVILANSKAS, L. Estimation of QoS Dynamics in the Wireless Networks. In *Cost 290 4nd Meeting*, 2005, TD(05)050, [žiūrėta 2007–05–03]. Prieiga per internetą: <<http://www.cost290.org/td2005/tds/td05050.pdf>>

Trumpos žinios apie autorių

Lukas Pavilanskas gimė 1979 m. liepos 25 d. Tauragėje. 2001 m. įgijo elektros ir elektronikos inžinerijos bakalauro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Elektronikos fakultete. 2003 m. įgijo elektronikos inžinerijos mokslo Telekomunikacijų pakraipos magistro laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Elektronikos fakultete Telekomunikacijų inžinerijos katedroje. 2003–2007 m. – Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantas. Šiuo metu dirba asistentu Vilniaus Gedimino technikos universiteto Telekomunikacijų inžinerijos katedroje.

ADAPTATION OF WIRELESS ACCESS MAC PROTOCOL FOR REAL TIME PACKET FLOWS

Topicality of the problem. Wireless WAN technologies which can provide multimedia services to customer in most cases are implemented by the commercial providers of voice services. Thus technologies are expensive in development of the Hot-Spots, where volatile expanded concentration of customers may be observed. For such purposes the main alternative technologies are the IEEE 802.11.

In modern telecommunications industry the expansion of the IEEE 802.11 networks is one of the fastest growing segment of the telecommunications market. This technology has quickly found a significant place and popularity to provide the typical services of Internet in business, home networking, and etc.

Growing evolution of Internet technologies determines transmitted data flows to take a shape of specific real time multimedia flows features. For such conditions the IEEE 802.11 general technology was not adapted. It is important to develop the new operation methods based on IEEE 802.11 without changing main standard specification. This method lets to adopt an existing in market equipment of IEEE 802.11 for multimedia or voice flows.

The methodology of IEEE 802.11 technological expenditures influence estimation, presented in dissertation, has not been used before. This estimation method allows to evaluate rationality of physical resource utilization and to predict protocol modification directions. Also, method of synchronous voice communication in customer access is proposed. This solution allows rational adopt the IEEE 802.11 in the voice applied customer access network. However, obtained results in dissertation let to focus on problematic of the IEEE 802.11 technology in WLAN on particular conditions, which has not been investigated very well in global as well as in Lithuania.

Aim and tasks of the work. The objective of the dissertation is to analyze in detail the features and possibilities of application IEEE 802.11 technologies in the particular conditions of WLAN, and to find the possibilities to increase the real system capacity. The tasks of achieving this objective:

1. to investigate and to allot the technological expenditures required for supporting of IEEE 802.11 protocol functionality in the customer access on particular conditions;
2. to investigate in detail the performance of data transmission in the WLAN on particular conditions, and to evaluate boundary possibilities;
3. to estimate boundary amount of voice channels in the WLAN;

4. to create the methodology and the model for rational application IEEE 802.11 in the voice applied customer access network.

Scientific novelty. There are lots of references intended to investigate the IEEE 802.11 technologies, to analyze the applications, the optimization in specific conditions, and the development of the new protocols as well as adaptation possibilities. The main part of these investigations points to multimedia and voice signal transmission. The typical object is the standardized well known architectures of IEEE 802.11 networks: Ad-Hoc and Infrastructure. Recently the analysis of hybrid networking can be frequently found. Major part of researches performs analysis of DCF based on CSMA/CA.

The research object of dissertation is IEEE 802.11 technologies. The investigations are performed by considering that:

1. IEEE 802.11 technology is cheap, open distribute, and wide in use. However, it has appropriate drawback – limited channel capacity.
2. IEEE 802.11 technology were developed for small data blocks transmission of casual source.
3. Some of the technological functions of IEEE 802.11 are redundant and not fully used while applying for the customer access.

On purpose to find the possibilities to improve the real throughput of the channel, the technological expenditures of IEEE 802.11 protocol and features of effective channel utilization are estimated in the various system levels. This approach allows to highlight the main parts of expenditures and to facilitate to look for the methods to improve channel utilization. One of such techniques is synchronization of voice and other real time data sources with WLAN. This concept of the network is original and essentially is not investigated yet. The main novelty elements in the dissertation are:

1. The analytical technique for allotting technological expenditures to separate components required for IEEE 802.11 functionality support.
2. The modeling results of influence of IEEE 802.11 standard technological expenditures as well as impact of TCP features on channel utilization.
3. An improved method of voice channel amount estimation in WLAN.
4. Synchronous voice applied customer access based on IEEE 802.11.

Methodology of research. In order to user data transmission features and possibilities estimation in customer access based on IEEE 802.11 technology the mathematical and simulation methods were used. To realize models and to make simulations NS-2, and OpNET, and Matlab software packages were chosen. For results processing the Maple, Tcl were used.

Practical value. The results of dissertation can be used for development, standardization, as well as implementation of voice applied customer access or other wireless networks where the main equipment is compatible with IEEE 802.11 standards. The detailed investigation results of technological expenditures can be used in analysis of any conditional wireless system based on IEEE 802.11 technology, as well as proposed four state voice transmission estimation methods.

The author defends

1. The technique and investigation results for estimation of IEEE 802.11 technological expenditures in the customers access on particular conditions.
2. Modeling results of IEEE 802.11 technological expenditures influence on channel capacity in WLAN on particular conditions.
3. Modeling results of TCP functional features influence on the rational IEEE 802.11 channel resources utilization.
4. Method of voice channels boundary amount estimation in the WLAN.
5. Synchronous voice transmission method in the customer access based on IEEE 802.11 technologies.

The scope of the scientific work. The dissertation includes 6 chapters and 5 appendixes. In the first introduction chapter relevance, the objective, the main tasks of the work as well as scientific novelty, practical use of dissertation results, defended statements and structure of the dissertation are presented. In second chapter the detailed analysis of the related works with dissertation is presented. The particularities of application IEEE 802.11 are defined. The overview of related works in Lithuania is included also. In third chapter the analytical technique for allotting technological expenditures to separate components required for supporting of functionality of IEEE 802.11 protocol is presented. By applying this method the influence of the technological expenditures and features of effective channel utilization in IEEE 802.11 based WLAN are estimated in the various system levels. The analysis is done by comparison of two modern technologies: the packets switching and the channels switching. The main circumstances for the adaptive protocols development are stated. In fourth chapter the modeling results of influence of IEEE 802.11 standard technological expenditures as well as impact of TCP features on channel utilization are presented. There are analysis of Interference particularities influence to aggregated throughput, TCP performance over reliable IEEE 802.11 link, as well as modeling results of packet aggregation algorithm are proposed. It is showed the main features of IEEE 802.11 technology in particular WLAN conditions. In fifth chapter the analysis is

expanded on the connection level, by applying infrastructure mode (PCF) for transmission of the real time via the customer access of IEEE 802.11 standard. The technological expenditures are analyzed by applying the proposed method of estimating the WLAN voice capacity. According to this synchronous voice applied customer access based on IEEE 802.11 technology is offered. The main rule of this method is synchronization of cyclic packet transmission process of PCF with rate of voice coding. All investigation results are summarized in the sixth conclusive chapter.

Dissertation includes 110 pages of text, 16 tables, 65 figures, 136 references, and 7 publications of the author. In dissertation appendix CD (Annex D) also included.

General Conclusions

1. Growing evolution of Internet technologies determines IEEE 802.11 standard wireless networks, which technological capabilities are adapted for casual data transmission, to be applied for stationary customer access. Some of those capabilities in customer networks become redundant. Furthermore, customer access networks contain many flows with real time features, where the IEEE 802.11 general technology was not adapted well. Because of that, it is important to research the opportunities to adapt the IEEE 802.11 standard equipment more rationally to specific conditions of customer access.
2. To pursue the mentioned objectives, method of analysis and separation of technological expenditures is proposed, which enables to evaluate required physical channel expenditures to support different protocols.
3. Accomplished analysis of technological expenditures required for supporting of IEEE 802.11 MAC protocol functionality highlights opportunities to adapt IEEE 802.11 equipment for particular applications and thus improve channel utilization.
4. It is proven by modeling results that in Multi-Hop chain of retransmitting network nodes, IEEE 802.11 network capacity, which typically decreases by law $1/(n-1)$ while increasing number of nodes, may be increased to $1/3$ of total physical channel capacity by organizing the transmissions of the packets by creating mode of running packet wave and implementing the dynamic shift of space/time. While developing such networks, the links should be implemented selecting node locations, transmit power and antennas.
5. Modeling results of TCP functional features influence on the rational IEEE 802.11 channel resources utilization show that the random packet loss as

well as random long delay affects the throughput when TCP is used for not real time packet flows. If random packet losses are very frequent, the TCP Veno algorithm should be used and if random long delay becomes are very frequent, the TCP Reno should be used. Also modeling results show that drawback of TCP (independently on type of algorithm) is incorrect interpretation of losses in physical link. To reduce the influence of this drawback, TCP stack of wireless node must to detect that loss is link loss and do not must make any changes of contention window.

6. It is shown that using common two-state (ON-OFF) voice source model for IEEE 802.11 technology network analysis, the durations of channel occupation are evaluated incorrectly. While analyzing particularities of phone communications and physical channel expenditures of IEEE 802.11 technology, four-state model, when two users are talking dependently, must be used. This model allows evaluating channel occupation durations more precisely.
7. It is shown that synchronizing digital voice sources with IEEE 802.11 standard equipment in the customer access allows utilizing physical channel more rational and increasing system capacity. The analytical analysis and modeling shows that using G.711 voice codec IEEE 802.11b technology physical channels of 5.5 and 11 Mb/s the channel is capable of transmitting 17 and 26 voice channels respectively, keeping packet loss rate below 1 %.

About the author

Lukas Pavilanskas was born in Taurage, on 25 July 1979.

First degree in Electrical Engineering and Electronics, Faculty of Electronics, Vilnius Gediminas Technical University, 2001. Master of Science in Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Electronics, Vilnius Gediminas Technical University, 2003. In 2003–2007 – PhD student of Vilnius Gediminas Technical University. At present – Assistant in Telecommunication Engineering Department of Vilnius Gediminas Technical University.

Lukas Pavilanskas

**BEVIELĖS PRIEIGOS MAC PROTOKOLO ADAPTACIJA REALAUS
LAIKO DUOMENŲ SRAUTAMS**

Daktaro disertacijos santrauka

Technologijos mokslai, elektros ir elektronikos inžinerija (01T)

Lukas Pavilanskas

**ADAPTATION OF WIRELESS ACCESS MAC PROTOCOL FOR REAL
TIME PACKET FLOWS**

Summary of Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Electrical Engineering and Electronics (01T)

2007 05 21. 1,5 sp. l. Tiražas 100 egz.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto

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

Spausdino UAB „Biznio mašinų kompanija“,

J. Jasinskio g. 16A, LT–01112 Vilnius