



K A U N O
T E C H N O L O G I J O S
U N I V E R S I T E T A S

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIŲ TINKLŲ KATEDRA

Aleksandr Minič

BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ KOKYBINIŲ
CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

Magistro darbas

Darbo vadovas

Prof. dr. R. Plėštys

KAUNAS, 2008



KAUNO
TECHNOLOGIJOS
UNIVERSITETAS

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS FAKULTETAS
KOMPIUTERIŲ TINKLŲ KATEDRA**

Aleksandr Minič

**BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ KOKYBINIŲ
CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS**

Magistro darbas

Recenzentas
doc. dr. A. Riškus
2008-05-23

Vadovas
prof. dr. R. Plėštys
2008-05-23

Atliko
IFN-6/1 gr. stud.
A. Minič
2008-05-23

KAUNAS, 2008

REZIUMĖ

BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ KOKYBINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

Darbe apžvelgiamas, išanalizuojamas IEEE 802.11 standartas, jo architektūra, fizinis lygmuo, kanalinis lygmuo. Aprašoma tyrime naudojama aparatinė ir programinė įranga, tyrimo vykdymo eiga, metodika. Eksperimentiškai ištirtos bevielių lokalių tinklų IEEE 802.11 standarto kokybinės charakteristikos. Pateikiamas kokybinių charakteristikų teorinis įvertinimas. Naudojantis tyrimo rezultatais ir surinkta informacija, sukuriama programinė įranga, skirta bevielių lokalių tinklų laidumo, vėlinimo laiko, aprėpties zonos nustatymui, radimui, skaičiavimui, įvertinimui. Aptariami, pateikiami programinės įrangos kūrimo etapai: reikalavimų specifikacija, architektūros projektavimas, programavimas, testavimas; apibendrinami gauti rezultatai, pateikiamos išvados.

SUMMARY

RESEARCH OF WIRELESS LOCAL NETWORK QUALITATIVE CHARACTERISTICS

The aim of project work is to research of wireless local network qualitative characteristics: throughput, maximum range, delay. The standart IEEE 802.11, its architecture, physical layer, MAC layer is analysed. Hardware and software, used in research, the methods of research are discribed. Research of qualitative characteristics of wireless local network is done. On the basis of research results the software intended for calculation, determination of value of qualitative characteristics of wireless local network, software is created. The main stages of software creation: specification, designing of architecture, programming, testing are analysed. Obtained results are discussed. Practical, experimental researches are carried out according to recommendations of IEEE 802.11, IEEE 802.3 standarts.

TURINYS

1. ĮVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ	10
2. IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ APŽVALGA.....	12
2.1 IEEE 802.11 STANDARTAS	12
2.2 IEEE 802.11 STANDARTO ARCHITEKTŪRA	13
2.3 IEEE 802.11 STANDARTO FIZINIS LYGMUO	14
2.4 IEEE 802.11 STANDARTO MAC LYGMUO.....	18
3. IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ TYRIMAI	26
3.1 EKSPERIMENTINIAI IEEE 802.11 STANDARTO TYRIMAI.....	26
3.2 TEORINIAI IEEE 802.11 STANDARTO TYRIMAI.....	44
4. PROGRAMINĖS ĮRANGOS KŪRIMAS.....	53
4.1 REIKALAVIMŲ SPECIFIKACIJA	53
4.2 PROGRAMINĖS ĮRANGOS ARCHITEKTŪRA.....	71
4.3 TESTAVIMAS.....	82
4.4 PROGRAMINĖS ĮRANGOS ĮDIEGIMAS.....	84
4.5 PROGRAMINĖS ĮRANGOS VYSTYMO PLANAS	84
5. GAUTŲ REZULTATŲ APTARIMAS.....	85
6. LITERATŪRA	87

LENTELIŲ SARAŠAS

- 1 lentelė.** IEEE 802.11b standarto moduliacijos rūšys
- 2 lentelė.** IEEE 802.11x standarto pagrindinės charakteristikos
- 3 lentelė.** Prieigos taškų techninės specifikacijos
- 4 lentelė.** Bevielių tinklo adapterių techninės specifikacijos
- 5 lentelė.** Bevielių tinklo adapterių techninės specifikacijos
- 6 lentelė.** Techninės darbo stočių charakteristikos
- 7 lentelė.** IEEE 802.11b standarto parametrai
- 8 lentelė.** IEEE 802.11b standarto teorinio įvertinimo rezultatai
- 9 lentelė.** IEEE 802.11g standarto parametrai
- 10 lentelė.** IEEE 802.11g standarto teorinio įvertinimo rezultatai
- 11 lentelė.** Veiklos padalijimas
- 12 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Ijungti naują redagavimo langą“
- 13 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Surinkti naują agregatų schema“
- 14 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Išsaugoti agregatų schema“
- 15 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Atidaryti schema“
- 16 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Redaguoti agregatų schema“
- 17 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Nurodyti pradinis duomenis skaičiavimui“
- 18 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Vykdyti skaičiavimą“
- 19 lentelė.** Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti gautus rezultatus“
- 20 lentelė.** Programinės įrangos palyginimas

PAVEIKSLŲ SARAŠAS

- 2.1 pav. IEEE 802.11 standartas ISO/OSI tinklo lygmenų modelyje
- 2.2 pav. Tinklų topologijos
- 2.3 pav. IEEE 802.11 protokolo fizinis lygmuo
- 2.4 pav. IEEE 802.11b standarto freimo struktūra
- 2.5 pav. IEEE 802.11 DSSS kanalai.
- 2.6 pav. IEEE 802.11a OFDM fizinio lygmens freimų struktūra
- 2.7 pav. IEEE 802.11b standarto fizinio lygmens freimo struktūra su trumpa preamble
- 2.8 pav. IEEE 802.11 MAC protokolo persiutimo mechanizmas
- 2.9 pav. RTS / CTS mechanizmas
- 2.10 pav. IEEE 802.11 tarpfreiminiai laikai
- 2.11 pav. IEEE 802.11 DCF veikimo principas nenaudojant RTS/CTS
- 2.12 pav. IEEE 802.11 DCF veikimo principas naudojant RTS/CTS
- 2.13 pav. IEEE 802.11 freimų struktūra
- 2.14 pav. IP inkapsuliacija į 802.11 freimą
- 2.15 pav. Kanalo dalijimas tarp DCF ir PCF funkcijų
- 2.16 pav. IEEE 802.11 standarto fragmentacijos mechanizmas
- 3.1 pav. D-Link DWL-2100AP prieigos taškas
- 3.2 pav. Cisco Aironet 350 Series prieigos taškas
- 3.3 pav. Bevielis Cardbus adapteris ASUS WL-107G
- 3.4 pav. Bevielis PCI adapteris A-Link
- 3.5 pav. Programinės įrangos *Network Stumbler* langas
- 3.6 pav. Programinės įrangos *DU Meter 4.0* langas
- 3.7 pav. Prieigos taško D-Link DWL-2100AP konfigūravimo langas
- 3.8 pav. Prieigos taško Cisco Aironet 350 Series konfigūravimo langas
- 3.9 pav. Programinės įrangos *NetIQ Qcheck* pagrindinis langas
- 3.10 pav. Schema, skirta pralaidumo gebos priklausomybės nuo dažnio tyrimui
- 3.11 pav. IEEE 802.11b standarto perdavimo spartos priklausomybė nuo radijo dažnio kanalo
- 3.12 pav. IEEE 802.11g standarto perdavimo spartos priklausomybė nuo radijo dažnio kanalo
- 3.13 pav. Schemos, skirtos pralaidumo gebos priklausomybės nuo vartotojų skaičiaus tyrimui
- 3.14 pav. „Ad-Hoc“ tinklo perdavimo spartos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus
- 3.15 pav. „Infrastructure“ tinklo perdavimo spartos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus

- 3.16 pav. Perdavimo spartos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus
- 3.17 pav. Schemos, skirtos pralaidumo gebos priklausomybės nuo tarpinių mazgų tyrimui
- 3.18 pav. Schema, skirta pralaidumo gebos priklausomybės nuo tarpinių mazgų tyrimui
- 3.19 pav. IEEE 802.11b standarto perdavimo spartos priklausomybė nuo retransliatorių skaičiaus
- 3.20 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo paketo dydžio
- 3.21 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo šifravimo technologijos
- 3.22 pav. Mazgų jungimo schema
- 3.23 pav. Spartos priklausomybė nuo kanalų dažnio skirtumo
- 3.24 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo signalo ir triukšmo santykio
- 3.25 pav. IEEE 802.11b standarto „Ad-Hoc“ tinklo aprėpties zona
- 3.26 pav. IEEE 802.11b standarto „Infrastructure“ tinklo aprėpties zona
- 3.27 pav. IEEE 802.11g standarto „Infrastructure“ tinklo aprėpties zona
- 3.28 pav. Išsiuntimo vėlinimo priklausomybė nuo perdavimo spartos
- 3.29 pav. Išsiuntimo vėlinimo priklausomybė nuo paketo dydžio
- 3.30 pav. Paketų praradimo priklausomybė nuo paketo dydžio
- 3.31 pav. Paketų praradimo priklausomybė nuo signalo ir triukšmo santykio
- 3.32 pav. Tyrimuose naudota mazgų jungimo schema
- 3.33 pav. Laiko diagrama
- 3.34 pav. IEEE 802.11b standarto kadro struktūra
- 3.35 pav. IEEE 802.11g standarto kadro struktūra
- 4.1 pav. Veiklos konteksto diagrama
- 4.2 pav. Panaudojimo atvejų diagrama
- 4.3 pav. Programinės įrangos *OPNET Modeler* pagrindinis langas
- 4.4 pav. Programos išskaidymas į paketus
- 4.5 pav. Paketo „Vartotojo sąsaja“ struktūra
- 4.6 pav. Paketo „Skaičiavimas“ struktūra
- 4.7 pav. Paketo „Vaizdavimas“ struktūra
- 4.8 pav. Sąveikos diagrama „Įjungti naują redagavimo langą“
- 4.9 pav. Sąveikos diagrama „Surinkti naują agregatų schemą“
- 4.10 pav. Sąveikos diagrama „Išsaugoti agregatų schemą“
- 4.11 pav. Sąveikos diagrama „Atidaryti agregatų schemą“
- 4.12 pav. Sąveikos diagrama „Redaguoti agregatų schemą“
- 4.13 pav. Sąveikos diagrama „Pradinių duomenų įvedimas“

4.14 pav. Sąveikos diagrama „Skaičiavimų vykdymas“

4.15 pav. Sąveikos diagrama „Peržiūrėti gautus rezultatus“

4.16 pav. Būsenų diagrama

4.17 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.18 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.19 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.20 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.21 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.22 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos testavimas

4.23 pav. Programinės įrangos skaičiavimo testavimas

1. ĮVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ

Ilgus dešimtmečius telekomunikacijų kūrimo procesai buvo nukreipti į globalių tinklų kūrimą. Niekas nesistebėjo, kad vartotojų prieigoms nebuvo skiriama dėmesio. Vartotojai prie tinklo bendrųjų resursų buvo jungiami paprastomis linijomis, dažniausia laidinėmis. Atsiradus naujoms paslaugoms, didėjant informaciniams srautams iki galinių vartotojų, pradėta daugiau dėmesio skirti vartotojų prieigoms prie tinklų.

Ryšių technologija, kuri pradėjo vystytis kartu su kompiuteriais, kompiuterių tinklais – vadinami lokalieji tinklai – LAN (angl. *Local Area Network*). Vėliau bevielieji tinklai – WLAN (angl. *Wireless Local Area Network*). Pradinė LAN bei WLAN paskirtis – perduoti duomenis tarp sujungtų kompiuterių. Šiuo metu LAN, WLAN taikymų sritys plečiasi. Jie pradedami taikyti vartotojų prieigoms prie bendrųjų telekomunikacinių tinklų kurti. Radijo, bevielio ryšio priemonės vartotojų prieigų tinkluose – alternatyva laidinio ryšio priemonėms.

Bevielieji tinklai yra lanksti duomenų perdavimo sistema, papildanti laidinį vietinės kreipties tinklą LAN arba kaip alternatyva jam. Naudodami radijo bangas WLAN tinklai perduoda duomenis eteriu ir taip mažina laidinių sujungimų poreikį. Nors santrumpa WLAN taikoma visiems beveliams lokalesiems tinklams, tačiau jis yra plačiai vartojamas ir kaip IEEE 802.11 standartu pagrįsto bevielio ryšio sinonimas.

Bevielieji LAN – WLAN tinklai gali būti naudojami verslo įmonių, privačiuose bei viešuose tinkluose. Tipinės WLAN taikymų vietos bei sąlygos:

- Vietos, kuriose sunku įrengti laidinį ryšį (istoriniai pastatai, laikini statiniai);
- Laikini tinklai (avarijų likviduotojų tinklai, laikini intarpai vietoj sugedusių stacionariųjų);
- Mobilios darbo vietos (mobilieji ofisai);
- Nuolatiniai kompiuterių tinklai, kuriuose WLAN įrengiami tam tikram komfortui sukurti;
- Ryšio taškuose, kur daug vartotojų (oro uostai, viešbučiai, parodos, konferencijų salės, universitetai) ir jie nuolat kinta – kaip bevielio interneto ryšio zonos.

Galimybė susipažinti su bevelių lokalių tinklų ypatumais ir standartais, noras išsiaiškinti bevelių lokalių tinklų veikimo principus, noras sukurti ir pasiūlyti vartotojui programinę įrangą, skirtą bevelių lokalių tinklų kokybinių charakteristikų įvertinimui ir įgyti praktinių ir teorinių žinių, tiriant bevelių lokalių tinklų standartus, kuriant programinę įrangą, paskatino imtis šios baigiamojo darbo temos.

Šiuolaikinis žmogus, o ypač žmogus, kuris nori susieti savo ateitį su informacijos technologijomis, turi ne tik išmanyti, bet ir jausti šią temą. Juk šiuolaikinis verslas, gyvenimas paprasčiausiai neįmanomas be informacijos technologijų, leidžiančių akivaizdžiai padidinti įmonių ir įstaigų pelną.

Siekiant išsiaiškinti WLAN taikymo vartotojų tinkluose galimybes, veikimo principus, buvo atliktas tyrimas, kurio tikslai buvo šie:

- Iširti pralaidumą ir jo priklausomybę nuo naudojamo radijo dažnio, nuo vartotojų skaičiaus, nuo tarpinių mazgų (retransliatorių) skaičiaus, nuo perduodamo paketo dydžio, nuo kanalų dažnio skirtumo, nuo naudojamos duomenų šifravimo technologijos, nuo signalo ir triukšmo santykio.
- Iširti vėlinimo laiką ir jo priklausomybę nuo perdavimo spartos, nuo perduodamo paketo dydžio, nuo atstumo, nuo tarpinių mazgų skaičiaus.
- Iširti aprėpties zoną.
- Iširti paketų praradimą ir jo priklausomybę nuo perduodamo paketo dydžio, nuo signalo ir triukšmo santykio.

Darbe apžvelgiamas, išanalizuojamas IEEE 802.11 standartas, jo architektūra, fizinis lygmuo, kanalinis lygmuo. Aprašoma tyrime naudojama aparatinė ir programinė įranga, tyrimo vykdymo eiga, metodika. Naudojantis tyrimo rezultatais ir surinkta informacija, sukuriama programinė įranga, skirta bevielių lokalių tinklų laidumo, vėlinimo laiko, aprėpties zonos nustatymui, radimui, skaičiavimui, įvertinimui. Aptariami, pateikiami programinės įrangos kūrimo etapai: reikalavimų specifikacija, architektūros projektavimas, programavimas, testavimas; apibendrinami gauti rezultatai, pateikiamos išvados.

Darbas skiriasi nuo kitų darbų tuo, kad pagrindinis dėmesys skiriamas:

- Eksperimentiniam ir teoriniam WLAN kokybinių charakteristikų tyrimams, gautų rezultatų paaiškinimui, palyginimui, įvertinimui, aptarimui. Visa tai labai svarbu programinės įrangos kūrimo procese.
- Programinės įrangos, skirtos WLAN kokybinių charakteristikų nustatymo kūrimo procesui, etapams.

Magistro darbo praktiniai eksperimentiniai tyrimai atlikti, laikantis IEEE 802.11x, IEEE 802.3 standartų rekomendacijų.

2. IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ APŽVALGA

Šiame baigiamojo darbo aiškinamojo rašto skyriuje apžvelgtas IEEE 802.11x standartas, aptarti, išsiaiškinti jo pagrindiniai privalumai ir ypatumai, veikimo principai.

2.1 IEEE 802.11 STANDARTAS

IEEE 802.11 standartas pradėtas kurti 1990 metais [3]. Pirmoji specifikacija išleista 1997 metais. Ji aprašė kreipties į perdavimo terpę valdymo (angl. *MAC*) - lygmenį, MAC valdymo protokolus ir paslaugas (angl. *Services*) ir tris fizinius lygmenis (angl. *PHY*):

- 2,4 GHz dažnių ruožo plėstojo spektro DSSS radijo prieiga;
- 2,4 GHz dažnių ruožo šokinėjančio dažnio FHSS radijo prieiga;
- infraraudonųjų spindulių prieiga.

Visi šie trys fiziniai lygmenys gali perdavinėti duomenis 1 Mb/s ir 2 Mb/s sparta. Šio standarto užimami lygmenys pagal ISO/OSI tinklo modelį pateikiami 2.1 pav. Pagal savo veikimą, šis standartas yra panašus į IEEE 802.3 standartą.

IEEE 802.2	LLC sublygmuo	Nekonkurencinės paslaugos		Konkurencinės paslaugos				OSI kanalinis lygmuo
		↓		↓				
IEEE 802.11	MAC lygmuo	PCF		DCF				OSI fizinis lygmuo
		↓		↓				
	Fizinis lygmuo	802.11 DSSS 1, 2 Mb/s	802.11 FHSS 1, 2 Mb/s	802.11 IR 1, 2 Mb/s	802.11a OFDM 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s	802.11b DSSS CK 1, 2, 5, 5, 11 Mb/s	802.11g OFDM 1, 2, 5, 5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mb/s	

2.1pav. IEEE 802.11 standartas ISO/OSI tinklo lygmenų modelyje

1999 metais buvo išleisti du šio standarto papildymai, aprašantys naujus fizinius lygmenis:

- IEEE 802.11a, veikiantis 5 GHz dažnių ruože, perdavimo sparta iki 54 Mb/s;
- IEEE 802.11b, veikiantis 2,4 GHz dažnių ruože, perdavimo sparta iki 11 Mb/s.

2003 metais išėjo dar vienas standarto papildymas PHY papildymas - IEEE 802.11g, skirtas 2,4 GHz radijo dažnių ruožui (perdavimo sparta iki 54 Mb/s).

Visų šių naujų standartų MAC lygmuo išlieka nepakitęs, toks pat kaip ir IEEE 802.11 standarto.

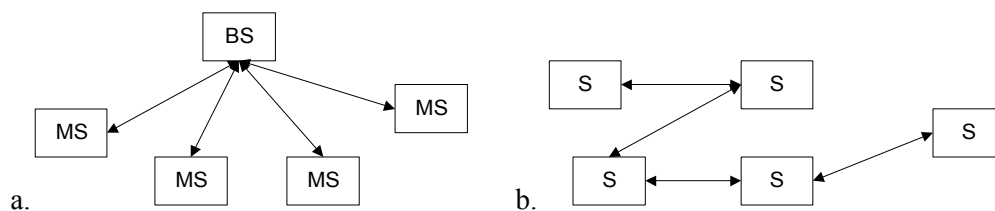
Šiuo metu ruošiami nauji IEEE 802.11 standarto papildymai, kuriuose numatyta perdavimo galios valdymas 5 GHz ruože (IEEE 802.11h), paslaugos kokybės užtikrinimas (IEEE 802.11e), papildomos saugumo garantijos (IEEE 802.11i). Formuojama nauja darbo grupė (IEEE 802.11n), kuri aprašytų standartą, o perdavimo sparta siektų iki 100 Mb/s.

2.2 IEEE 802.11 STANDARTO ARCHITEKTŪRA

Pagal architektūrą, topologiją lokalieji belaidžio ryšio tinklai gali būti centralizuotieji ir paskirstytieji (2.2 pav.).

Centralizuotieji (infrastruktūros) tinklai. Belaidžio ryšio tinklai, kurie veikia pagal mobiliojo telefono ryšio organizavimo schemą, vadinami centralizuotaisiais tinklais. Anglų kalba dažnai vadinami „*Infrastructure*” tinklais. Centralizuotojo belaidžio tinklo stotys (S) būna dviejų tipų: mobiliosios (MS) ir bazinės (BS). Tinklo ląstelės centre statoma vadinamoji bazinė stotis (2.2 pav.a). Visos MS tiesioginių ryšių gali užmegzti tik su BS. Literatūroje, skirtoje WLAN, BS funkcijos priskiriamos AP (angl. *Access Point*) – prieigos taškui. Tuo pabrėžiama, kad per šį tašką sukuriama prieiga prie bendrųjų tinklo resursų, įsijungiama į bendrąjį telefono ar interneto tinklą. Mobilioji stotis vadinama terminalu.

Centralizuotajame tinkle visi perdavimai iš vienos mobiliosios stoties kitoms mobiliosioms stotims gali vykti tik per BS. Tiesioginiai perdavimai tarp MS yra negalimi.



2.2 pav. Tinklų topologijos. a – centralizuotas - „*Infrastructure*” tinklas, b – paskirstytasis - „*Ad-Hoc*” tinklas

Perdavimai iš BS arba perdavimai žemyn (angl. *Downlink transmissions*) vykdomi bendraisiais kanalais, todėl esant reikalui juos gali girdėti visos MS. Perdavimai aukštyn (angl. *Uplink*

transmissions) – iš MS į BS – vykdomi atskirais kanalais, kurie dalijimo būdu laikinai priskiriami MS. Centralizuotųjų tinklų arbitro ir kompleksinio valdymo funkcijos perduotos BS. Kreipčių valdymas irgi ne išimtis. BS nustato, kuri stotis ir kuriuo laikotarpiu gali kreiptis į perdavimo terpę.

Paskirstytieji tinklai anglų kalba dažnai vadinami simboliniu pavadinimu „*Ad-Hoc*” tinklais. Tipiškas „*Ad-Hoc*” tinklas parodytas 2.2 pav b. „*Ad-Hoc*” tinkluose nėra bazinės stoties, nėra centrinio administratoriaus. Stotys – S viena su kita sąveikauja tiesiogiai. **Esminis „*Ad-Hoc*” tinklo stočių skirtumas** nuo centralizuotųjų tinklų stočių yra tas, kad jos ne tik siunčia savo ir priima joms skirtus duomenis, bet ir **retransliuoja** kitų stočių signalus, kai tos stotys tiesiogiai negali sąveikauti. Visos vieno „*Ad-Hoc*” tinklo stotys naudoja vieną ir tą patį radijo ruožą. Bet kuri stotis gali priimti bet kurios kitos to paties tinklo stoties signalą.

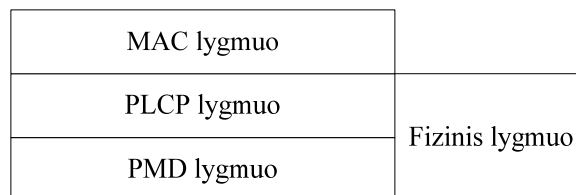
Kai stoties imtuvas ir siųstuvus veikia vienu ir tuo pačiu dažniu, labai sunku priimti kitus signalus, kai tuo metu veikia siųstuvus, nes siųstuvo spinduliuojama energija tiesiogiai patenka į imtuvą. Ši problema praktiškai sprendžiama paprastai. Siųstuvus ir imtuvus veikia laiko padalijimo režimu – pakaitomis: kai siųstuvus veikia, imtuvas užblokuotas ir signalų nepriima. Toks režimas vadinamas pusiau duplexiniu.

„*Ad-Hoc*” tinklai paplitę ryšiui palaikyti tarp grupės skrendančių lėktuvų, tarp automašinių judančioje kolonoje. Šių tinklų taikymų sritis nuolat plečiasi.

2.3 IEEE 802.11 STANDARTO FIZINIS LYGMUO

IEEE 802.11 protokolo fizinis lygmuo (2.3 pav.) yra OSI modelio apačioje. Jis jungia MAC lygmenį su radijo eteriu, kuriuo kaip bendru radijo kanalu perdavinėjami ir priiminėjami duomenys. Fizinis lygmuo atlieka tris funkcijas:

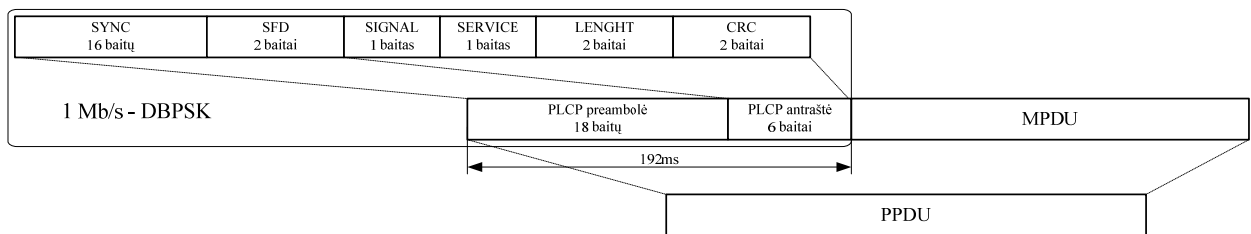
- freimų apsikeitimo tarp MAC ir PHY lygmenų naudojant fizinio lygmens konvergencijos procedūras (angl. *PLCP*);
- duomenų freimų perdavimą naudojant priklausomąjį fizinį lygmenį (angl. *PMD*);
- nešančiosios registravimą bei eterio būsenos perdavimą MAC lygmeniui.



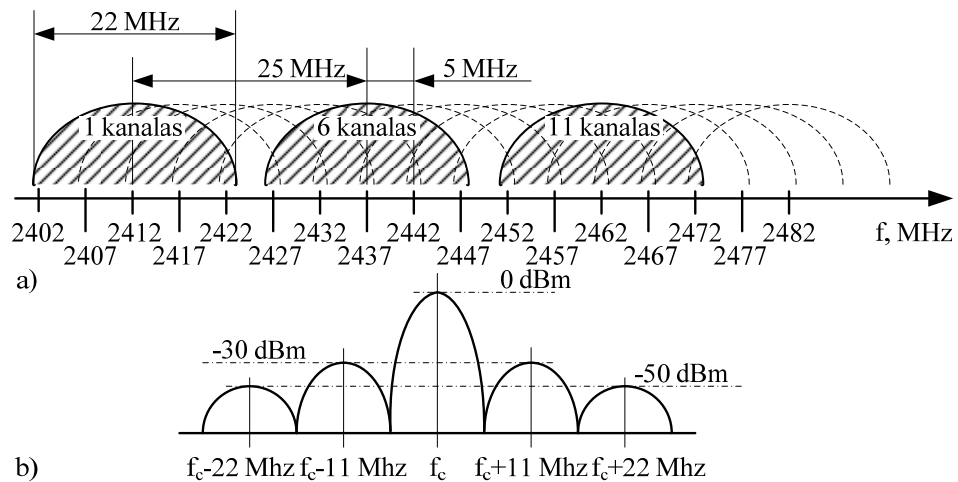
2.3 pav. IEEE 802.11 protokolo fizinis lygmuo

Visos PHY versijos turi savo individualius PLCP ir PMD lygmenis.

IEEE 802.11 DSSS. IEEE 802.11 plėstojo spektro fizinis lygmuo naudoja 2,4 GHz dažnių ruožą [1]. Šio fizinio lygmens freimo struktūra pateikiama 2.4 pav. DSSS tipo fizinis lygmuo 1 ir 2 Mb/s perdavimo spartai naudojamos dvi moduliacijų technologijos – diferencinė binarinė fazės poslinkio (angl. *DBPSK*) bei diferencinė kvadratinė fazės poslinkio (angl. *DQPSK*). Spektras skleidžiamas naudojant Barkerio kodą (BK). Kiekvienas DSSS PHY kanalas užima 22 MHz dažnių ruožą. Kanalų centriniai dažniai yra atskirti vienas nuo kito 5 MHz tarpais. Veikiant keletui nepriklausomų WLAN toje pačioje vietovėje rekomenduojama naudoti ne daugiau kaip tris (1, 6, 13) kanalus. Tokiu atveju tarp gretimų kanalų susidarys 25 MHz pločio apsauginė juosta (2.5 pav.).



2.4 pav. IEEE 802.11b standarto freimo struktūra



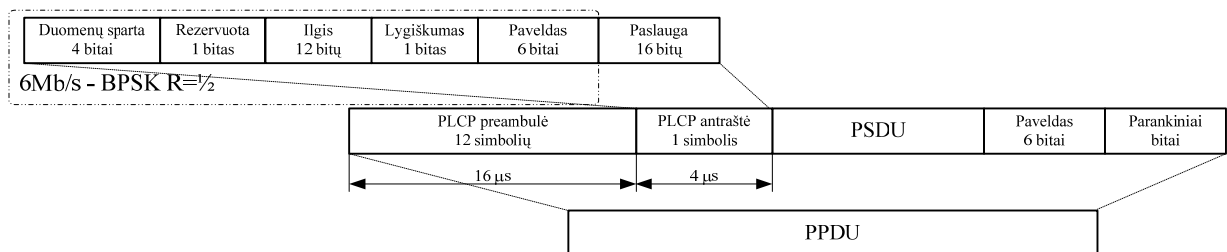
2.5 pav. IEEE 802.11 DSSS kanalai. a) – kanalų išsidėstymas, b) – vieno kanalo užimama dažnių juosta

IEEE 802.11 FHSS. Šokinėjančio dažnio fizinio lygmens versija taip pat naudoja 2,4 GHz spektro sritį. FHSS tipo fizinis lygmuo naudoja dviejų lygių Gauso dažninę moduliaciją (angl. *GFSK*) 1 Mb/s perdavimo spartai, tuo tarpu keturių lygių GFSK yra naudojama PLCP paslaugos duomenų vienetui (angl. *PSDU*) perduoti 2 Mb/s sparta. Dažnio deviacija sudaro 110 kHz, kanalai vienodai

išdėstyti 83,5 MHz dažnių ruože, kanalo plotis 1 MHz. Šiaurės Amerikoje ir daugumoje Europos šalių yra 79 kanalai, Ispanijoje ir Japonijoje yra 23 kanalai, o Prancūzijoje – 35. Standartas reikalauja atlikti mažiausiai 2,5 dažnio šuolių per sekundę, esant minimaliam 6 MHz šuolio atstumui. IEEE 802.11 standarte yra apibrėžtos 3 šuolių sekos, kurios skirtingoms geografinėms vietovėms yra skirtingos. Šuolių seka yra išrenkama diegiant FHSS BSS. Šuolių sekos yra sukurtos minimizuojant interferencinius trukdžius tarp kaimyninių mazgų.

IEEE 802.11 IR. Infraraudonųjų spindulių fizinis lygmuo skiriasi nuo DSSS ir FHSS tuo, kad informacijai perduoti naudojama šviesos, kurios bangos ilgis yra nuo 850 nm iki 950 nm, energija, perdavimo sparta 1, 2 Mb/s bei naudojama impulso pozicijos moduliacija (angl. *PPM*). Perduodamų duomenų sparta priklauso nuo moduliacijos: 1Mb/s naudojama 16 PPM, 2 Mb/s naudojama 4 PPM. IR PHY taikytinas tik patalpose, ir negali perduoti duomenų, jei nėra tiesioginio matomumo.

IEEE 802.11a. IEEE 802.11a standarto fizinis lygmuo naudoja ortogonalųjį dažnių sutankinimą (angl. *OFDM*). Šis PHY veikia 5 GHz dažnių ruože. Duomenų perdavimo sparta gali būti nuo 6 iki 54 Mb/s. PLCP preamble ir antraštė siunčiamos 6 Mb/s sparta naudojant binarinę fazės poslinkio moduliaciją (angl. *BPSK*). Šio fizinio lygmens freimų struktūra pateikiama 2.6 pav. PLCP preambleje yra 12 simbolių, iš kurių 10 trumpi ir 2 ilgi. Ilgi simboliai naudojami imtuvo stiprinimui reguliuoti ir nešančiosios dažniui bei kanalui nustatyti. Trumpieji simboliai skirti tiksliam dažnio ir kanalo nustatymui. IEEE 802.11a PHY lygmens yra 52 OFDM subnešliai, iš kurių 48 skirti duomenims perduoti, o 4 yra signaliniai subnešliai. Signalai generuojami ir apdorojami priimant pritaikant 64 bitų greitąją Furjė transformaciją.

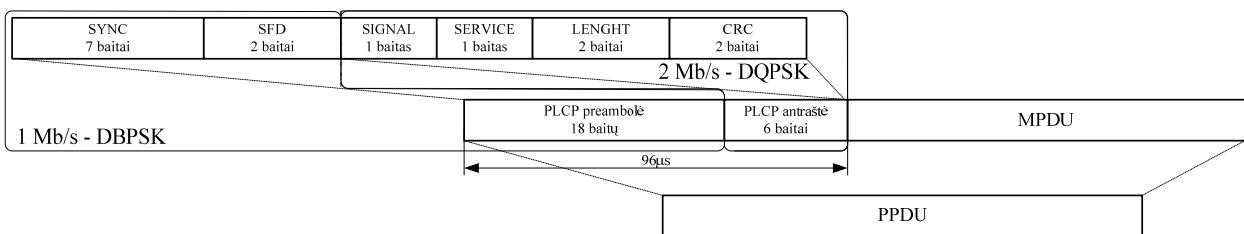


2.6 pav. IEEE 802.11a OFDM fizinio lygmens freimų struktūra

IEEE 802.11b. IEEE 802.11b fizinis lygmuo skirtas perduoti duomenis 5,5 ir 11 Mb/s sparta. Jis palaiko ir 1 bei 2 Mb/s perdavimo spartas. Tai sudaro galimybę šio standarto įrenginiams sąveikauti su IEEE 802.11 DSSS įrenginiais. Standarte numatytos dvi skirtingos PLCP preamble: ilgoji ir trumpoji.

Ilgoji PLCP preamble ir antraštė yra identiška IEEE 802.11 DSSS preamblei bei antraštei ir yra suderinta su pastaruoju standartu. Trumpoji preamble (2.7 pav.) panaudoja tik 56 bitų SYNC lauką, kuris yra perduodamas 1 Mb/s sparta naudojant DBPSK moduliaciją, o PLCP antraštė šiuo atveju yra perduodama 2 Mb/s sparta naudojant DQPSK moduliaciją. Šis režimas nėra suderintas su IEEE 802.11 standartu, be to šio režimo palaikymas nėra privalomas IEEE 802.11b įrenginiuose.

Aukštesnė duomenų perdavimo sparta pasiekama naudojant atvirkštinio kodo manipuliavimo (angl. *CCK*) moduliaciją. Papildomai įvestas dažninis judrumas tam, kad IEEE 802.11b standartas, veikiantis 11 Mb/s sparta taptų suderinamu su IEEE 802.11 FHSS standartu, veikiančiu 1 Mb/s sparta. IEEE 802.11b standarto moduliacijos tipai pateikiami 2 lentelėje.



2.7 pav. IEEE 802.11b standarto fizinio lygmens freimo struktūra su trumpa preamble

1 lentelė. IEEE 802.11b standarto moduliacijos rūšys

Duomenų sparta	Kodo ilgis	Moduliacija	Simbolių sparta	Bitai/ Simboliui
1 Mb/s	11 (BK)	DBPSK	1 Ms/s	1
2 Mb/s	11 (BK)	DQPSK	1 Ms/s	2
5,5 Mb/s	8 (CCK)	DBPSK	1,375 Ms/s	4
11 Mb/s	8 (CCK)	DQPSK	1,375 Ms/s	8

IEEE 802.11g. Šio standarto fizinis skirtas 2,4 GHz dažnių ruožui ir sudaro galimybę perduoti duomenis įvairiomis spartomis iki 54 Mb/s. Numatytos keturios moduliacijos schemas, iš jų pirmosios dvi yra privalomos, likusios – papildomos:

- DSSS/CCK moduliacija (dar vadinama ne ERP) tai tikslus IEEE 802.11b PHY lygmens atitikmuo (numatytos DSSS 1 ir 2 Mb/s bei CCK 5,5 ir 11 Mb/s duomenų perdavimo spartos). Ši standarto versija sudaro galimybę sąveikauti IEEE 802.11g standarto įrenginiams su su IEEE 802.11b standarto įrenginiais;
- ERP – OFDM - IEEE 802.11a PHY lygmens versija 2,4 GHz dažnių ruožui, leidžianti perdavinėti duomenis spartomis iki 54 Mb/s. Išplėstos perdavimo spartos paketų dvejetainio konvoliucinio kodavimo (angl. *PBCC*) moduliacija, papildomai leidžianti perdavinėti duomenis 22 ir 33 Mb/s sparta;

- CCK – OFDM - hibridinė moduliacija, naudojanti DSSS signalus preamblei bei antraštei perduoti ir OFDM duomenims perduoti. Duomenų perdavimo sparta palaikoma nuo 6 iki 54 Mb/s. Freimo formatas pateikiamas 2.4, 2.7 pav.

2.4 IEEE 802.11 STANDARTO MAC LYGMUO

Paskirstytųjų WLAN tinklų MAC protokolai remiasi signalo – nešlio stebėjimu (*angl. Carrier sensing*) ir kolizijų vengimo (*angl. Collision avoidance*) arba kolizijų tikimybės mažinimo principais. Pagrindinė operacijų seka yra tokia: stotis, kuri turi paruoštą perduoti duomenų, prieš bandydama perduoti „klauso“ kanalo būklę, matuoja iš kitų stočių gaunamų signalų galią. Jeigu kanalas tuo metu užimtas, tai stotis laukia *atsitiktinės trukmės laikotarpį* ir pakartotinai stebi kanalo būklę. Jeigu tuomet kanalas laisvas, stotis bando jį užimti. Sėkmingas kanalo užėmimas užsibaigia duomenų paketo perdavimu. Visose IEEE 802.11 specifikacijos modifikacijose naudojamas tas pat MAC protokolas.

CSMA/CA protokolas. Pagrindiniai šios kreipties principai yra: „klausyti prieš šnekant“ ir varžytinės. Tai asinchroninis pranešimų perdavimas, neorientuotas sujungimui, duodantis maksimalaus panaudojimo (*angl. Best effort*) paslauga, be jokio laidumo ar vėlinimo garantijų.

CSMA/CA prototipas yra kolektyvinė nešlio jutimo kreiptis aptinkant kolizijas (*angl. CSMA/CD*), realizuota Ethernet standarto laidinės ar optinės perdavimo terpės tinkluose. CSMA/CD kreipties įrenginiuose siuntėjo imtuvas veikia ir tuo metu, kai įjungtas siųstuvas, todėl aptinka kolizijas, nes visoje terpėje signalo stiprumas yra maždaug vienodas. Tuo tarpu bevielio ryšio atveju vienos stoties siųstuvas ir imtuvas veikia tik pakaitomis, todėl negali aptikti kolizijų.

CSMA/CA standarto įrenginiai nustato, kad kanalas laisvas, kai priimamo signalo galia yra žemiau nustatytos ribos. Kadangi WLAN įrenginiai kolizijų radijo eteryje negali aptikti, tai papildomai įvesta tam tikra valdymo priemonė - tinklo užėmimo vektorius (*angl. NAV*), kuris parodo, po kiek laiko atsilaisvins perdavimo terpė. Siunčianti stotis nustato NAV vektorių, o jį analizuodama priimanti stotis, nesiunčia duomenų NAV nurodytą laiką ir taip gali išvengti kolizijos, net jei galios matavimai rodytų, kad kanalas laisvas.

NAV dažnai vadinamas virtualiuoju nešlio jutimo mechanizmu. Taigi IEEE 802.11 MAC protokole, siekiant užtikrinti patikimą kolizijų vengimą, numatyti virtualusis ir fizinis nešlio jutimo mechanizmai.

Antra MAC funkcija - bevielės terpės valdymas. Tai atliekama dviem būdais, kurie realizuojami naudojant tam tikrus protokolus – funkcijas:

- Pagrindinė, vadinama paskirstytąja koordinavimo funkcija – DCF;

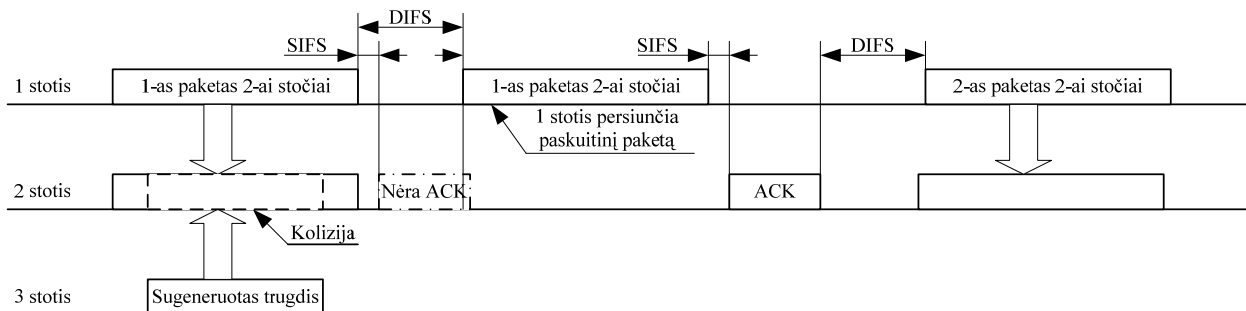
- Centralizuota arba sutelktoji koordinavimo funkcija – PCF;
- Duomenų apsauga naudojant bevielę šifravimo sistemą WEP (angl. *Wireless Equivalent Privacy*) bei duomenų freimų fragmentavimas.

Freimų apsikeitimo protokolas. Kadangi duomenų perdavimo terpė dėl triukšmo yra nepatikima, IEEE 802.11 standarte yra numatyti freimų apsikeitimo mechanizmai, leidžiantys siuntėjui nustatyti, ar gavėjas tikrai gavo išsiųstą freimą. Toks mechanizmas įveda tam tikrą perteklišumą, lyginant su kitais MAC protokolais, pvz. IEEE 802.3. Minimalus MAC freimų apsikeitimo protokolas sudarytas iš dviejų dalių:

- duomenų freimo, kurį siuntėjas išsiunčia gavėjui;
- patvirtinimo freimo, kurį siunčia gavėjas, kai priima neiškraipytą freimą.

Duomenų ir patvirtinimo freimų apsikeitimo mechanizmai yra nedalomas MAC protokolo vienetas, kitos stotys šio proceso negali pertraukti. Jei siuntėjas negauna patvirtinimo freimo, jis pakartotinai išsiųs freimą (2.8 pav.). Didėjant klaidų kiekiui, toks mechanizmas neefektyviai išnaudoja kanalo laidumą. MAC protokolas veikia „stok ir eik“ principu, t.y. jis perduoda sekantį paketą tik tuomet, kai ateina patvirtinimas, kad pasiųstas paketas pasiekė gavėją.

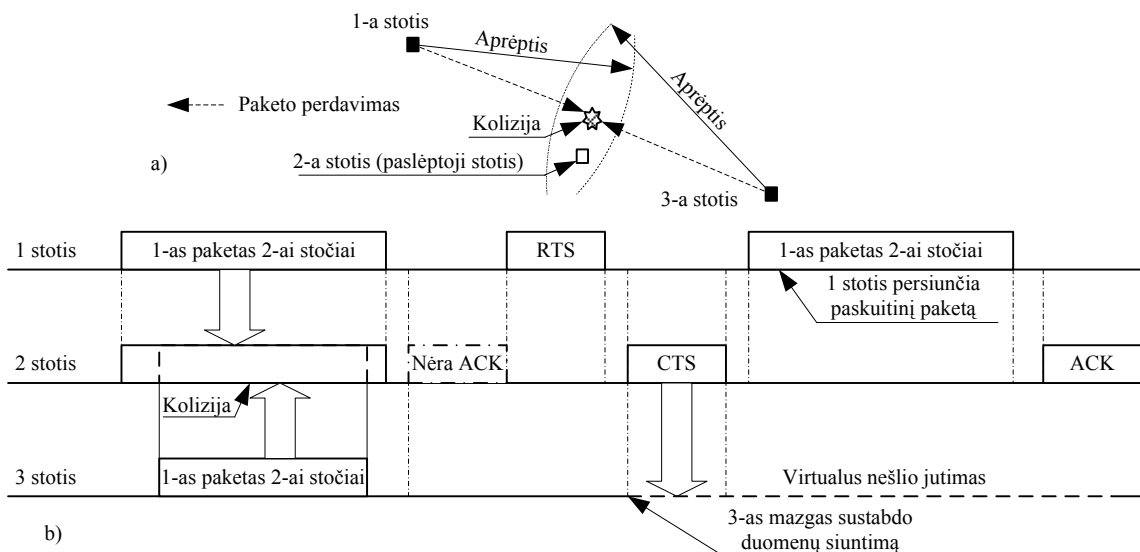
RTS/CTS – kanalo rezervavimo mechanizmas. Kai dėl per didelio nuotolio ar signalo slopinimo ne visos stotys gali išgirsti viena kitą, atsiranda paslėptų stočių problema. Viena kitos negirdinčioms stotims perduodant duomenis tuo pačiu metu, o priimančioje pusėje siunčiančiųjų stočių esant panašioms signalų galioms, susidaro kolizinė situacija ir išsiųsti paketai dingsta. Šios problemos priežastis yra pats nešlio jutimo mechanizmas, kuriame tik siuntėjas nustato, ar kanalas yra laisvas naudodamasis vėlgi tik lokalia informacija, tačiau siuntėjo ir gavėjo situacija aplinkoje tuo metu gali būti skirtinga.



2.8 pav. IEEE 802.11 MAC protokolo persiutimo mechanizmas

IEEE 802.11 standarte numatytas paslėptų stočių problemos sprendimo būdas yra ryšio kanalo rezervavimas. Šiam tikslui stotis, kuri nori perduoti duomenis, siunčia papildomą užklauso paketą RTS. Gavėjas atsako į RTS paketą patvirtinimo siūsti paketu CTS. RTS / CTS, dar vadinamu „rankų paspaudimu“ (2.9 pav.). CTS paketo gavimas rodo, kad gavėjas priėmė išsiųstą RTS paketą, taigi kanalas yra laisvas.

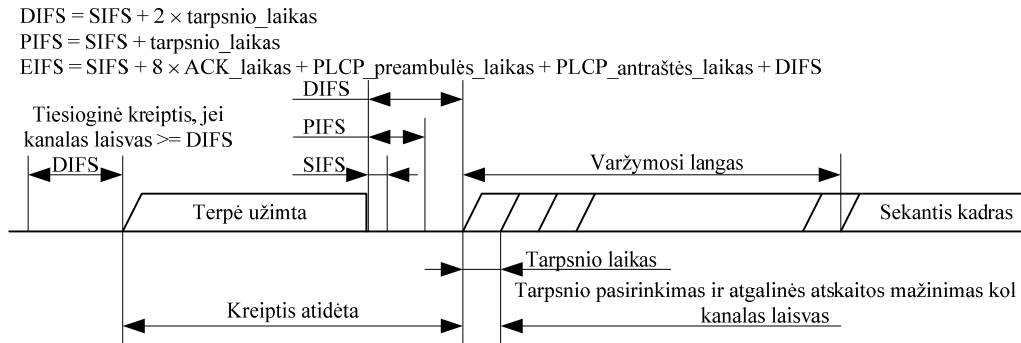
Tuo metu visos kitos stotys, „išgirdusios“ RTS ar CTS paketą, sustabdo duomenų siuntimą. Stotys, kurios „išgirdo“ CTS, netgi jei jų nešlio jutimas rodo, kad kanalas yra laisvas, ryšio kanalu duomenų neperduoda. RTS/CTS paketuose esanti informacija apie duomenų paketo dydį parodo likusioms stotims, kiek ilgai užtruks duomenų perdavimas. Tai yra kolizijos vengimo savybė - virtualusis nešlio jutimas. Jei siunčiant RTS/CTS paketus atsitinka kolizija, tai dėl mažų pastarųjų trukmių, sutrikdo perdavimus žymiai trumpesnį laikotarpį, nei kolizija perduodant duomenis. RTS/CTS paketai vis dėlto užima dalį kanalo resurso, todėl IEEE 802.11 standarte yra įvesta duomenų paketo dydžio riba, ir tik ją viršijus yra naudojamas RTS/CTS mechanizmas. Taip išvengiama spartos mažėjimo perdavinėjant mažus paketus. Keturių paketų apsikeitimo procesas yra taip pat nedalomas, ir jo nutraukti kitos stotys negali.



2.9 pav. RTS / CTS mechanizmas. a) – Kolizijos susidarymas, b) – RTS / CTS mechanizmo veikimo principas

Laiko intervalai. WLAN įrenginiuose siųstuvo ir imtuvo perjunginėjimai suskirstyti į laiko intervalus. Siuntimas gali prasidėti tik šių intervalų pradžioje. IEEE 802.11 MAC standarte yra 5 laiko intervalai. Du iš jų nusakomi fizinio lygmens: trumpas tarp freiminis tarpas SIFS ir tarpinio

laikas (*angl. Slot Time*). Trys papildomi intervalai priklauso nuo ankstesnių dviejų: paskirstytas tarpfreiminis tarpas DIFS, prioriteto tarpfreiminis tarpas PIFS, ir išplėstas tarpfreiminis laiko tarpas EIFS, kuris naudojamas NAV sinchronizavimui, kai priimtas freimas buvo sugadintas. Naudojantis šiais laiko intervalais ir yra valdomas duomenų perdavimo procesas. Pagrindinių laiko intervalų tarpusavio santykiai pateikiami 2.10 pav.

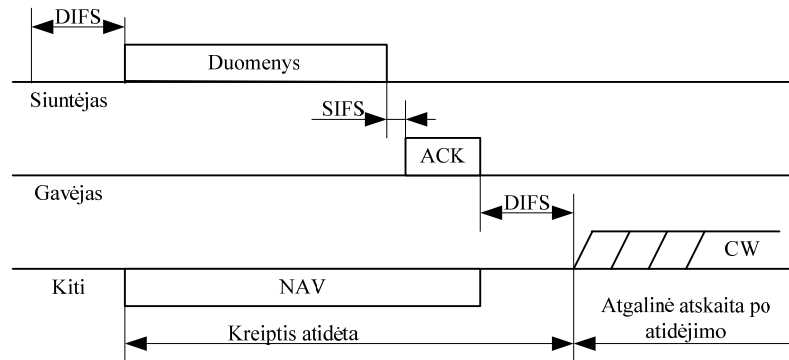


2.10 pav. IEEE 802.11 tarpfreiminiai laikai

Paskirstytoji koordinavimo funkcija. DCF yra pagrindinė CSMA/CA funkcija, kuri koordinuoja bet kokią duomenų perdavimą. Prieš išsiųsdamas duomenų freimą MAC lygmuo pirmiausia tikrina kanalo stovį naudodamas virtualų ir fizinį nešlio jutimo mechanizmus. Jei abu mechanizmai rodo, kad kanalas po DIFS (ar EIFS, jei prieš tai gautas freimas buvo klaidingas) intervalo yra laisvas, pradėdamas duomenų perdavimą. Jei bent vienas iš mechanizmų rodo, kad kanalas DIFS intervalo laikotarpiu yra naudojamas, stotis laukia siuntimo pabaigos ir tuomet pradeda varžytis dėl terpės, laukdama atsitiktinį laiko tarpą, tam tikslui naudodama eksponentinį pakartotino siuntimo algoritmą (*angl. Exponential backoff algorithm*). Pakartotino siuntimo laikmačio reikšmė sumažėja vienetu, kai fizinio ir virtualiojo nešlio jutimo mechanizmai rodo neužimtą kanalą. Stotis, pasirinkusi trumpiausią varžymosi delką, laimi ir turi teisę perduoti paketą. Kitos stotys turi laukti sekančio varžymosi laikotarpio. Varžymasis kaip procesas yra atsitiktinis, vykstantis po kiekvieno perduoto paketo, todėl kiekviena stotis turi vienodas galimybes perduoti duomenis.

Jei išsiuntus paketą, patvirtinimo freimo nebuvo gauta, stotis fiksuoja koliziją. Varžymosi langas padvigubinamas, parenkamas naujas atgalinio pakartotinio siuntimo laikas, ir procesas kartojasi, tol kol nebus išsiųstas freimas, arba kol pasibaigs šio freimo galiojimo laikas (2.9 pav., 2.10 pav.). Protokolo veikimo algoritmas pateikiamas 2.11 pav.

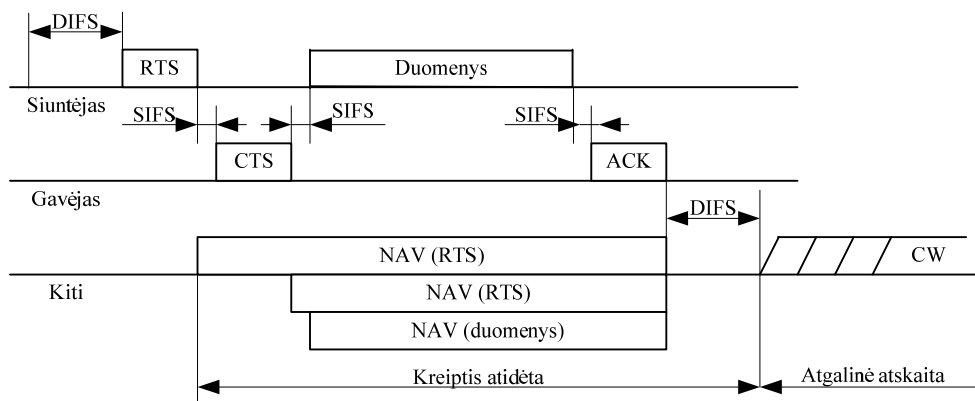
Naudojant DCF funkciją yra sukuriama „Ad-Hoc“, kitaip dar vadinamas kaip nepriklausomas bazinis paslaugos vienetas (angl. *IBSS*). Tokiu atveju mazgai tiesiogiai apsikeičinėja informacija, be jokių papildomų bazinių stočių, organizuojant pilnai asinchroninį duomenų perdavimą.



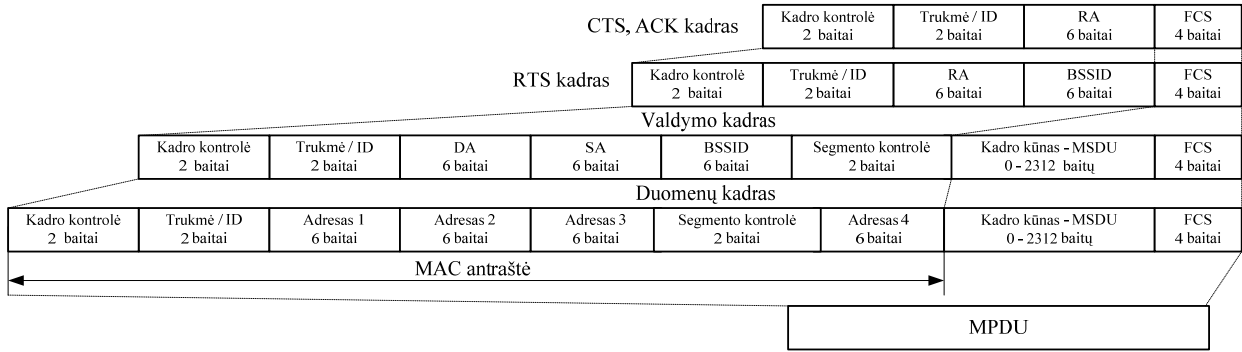
2.11 pav. IEEE 802.11 DCF veikimo principas nenaudojant RTS/CTS

Freimų struktūra. IEEE 802.11x freimų struktūra pateikiama 2.13 pav. Kaip matome paveiksle, freimas sudarytas iš MAC antraštės, freimo kūno (angl. *MSDU*) ir kontrolinės sumos. Yra penki skirtingų tipų freimai:

- Duomenų freimas skirtas perduoti duomenis iš aukštesnių lygmenų;
- Valdymo freimas skirtas švyturio perdavimui;
- WEP šifravimo mechanizmo freimas;
- Tarnybiniai freimai – RTS, CTS ir ACK.



2.12 pav. IEEE 802.11 DCF veikimo principas naudojant RTS/CTS



2.13 pav. IEEE 802.11 freimų struktūra. a – MAC antraštės, b – MPDU struktūros

Freimų trukmė T_{PPDU} IEEE 802.11b standartui skaičiuojamas pagal (1) išraišką, IEEE 802.11a ir IEEE 802.11g pagal (2) išraišką:

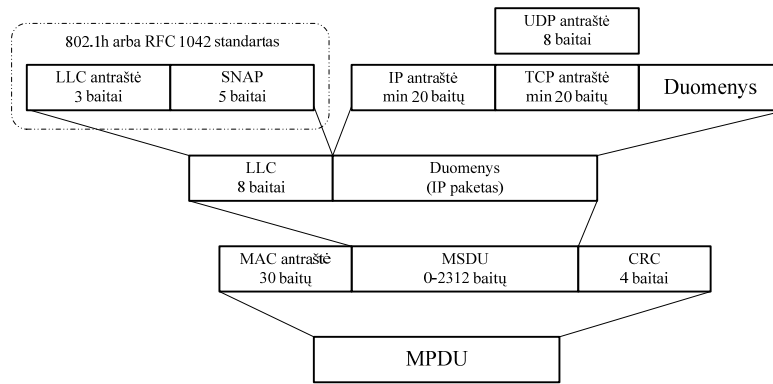
$$T_{PPDUa} = t_{PLCP_preamble} + t_{PLCP_antraštė} + \left[\frac{8 \cdot (n_{MAC_antraštė} + n_{MPDU})}{bps} \right], \quad (1)$$

$$T_{data} = t_{PLCP_preamble} + t_{PLCP_antraštė} + \left[\frac{n_{service} + n_{paveldas} + 8 \cdot (n_{MAC_antraštė} + n_{MPDU})}{bps} \right] + t_{paveldas}, \quad (2)$$

čia bps – perdavimo sparta Mb/s, n_{MPDU} duomenų paketo dydis baitais. Skaičiuojant RTS, CTS, ACK paketų trukmės $n_{MAC_antraštė}$ ilgį ji yra lygi $n_{RTS}, n_{CTS}, n_{ACK}$ atitinkamai, o n_{MPDU} yra lygus nuliui.

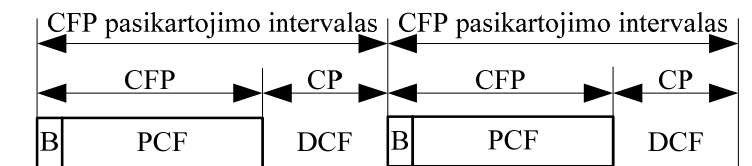
Aukštesnių lygmenų inkapsuliavimas į IEEE 802.11. Priešingai nei Ethernet, 802.11 standartas aukštesnių lygmenų protokolų perdavimui naudoja 802.2 loginio kanalo valdymo (angl. LLC) protokolą. IP paketų perdavimo IEEE 802.11 tinklu naudojant 802.2 LLC inkapsuliacijos mechanizmą pavyzdys pateikiamas 2.14 pav., iš kurio matyti, kad, prieš kiekvieną perduodamą IP paketą, yra pridėjama 8 baitų ilgio antraštė. Duomenų perdavimui IEEE 802 tinklais šiuo metu egzistuoja du skirtingi LLC inkapsuliavimo metodai: vienas iš jų yra aprašytas RFC 1042, o kitas 802.1h standarte. Abu šie protokolai labai panašūs vienas į kitą, nes yra vienodo ilgio, bei yra kilę iš tarptinklinės kreipties protokolo (angl. SNAP), tačiau dažniausia naudojamas pirmasis protokolas. Šių protokolų „tipo“ lauke yra nurodomas aukštesnio lygmens protokolo, kuriuo transportuojami duomenų paketai, numeris iš Interneto inžinierių darbo grupės (ang. IETF) nustatyto sąrašo.

Apklauso MAC protokolas. IEEE 802.11 standarte apklausa (angl. *Pooling*) naudojama PCF funkcijoje kaip kanalo kreipties mechanizmas, veikiantis kaip papildomas lygmuo virš DCF funkcijos (2.15 pav.).



2.14 pav. IP inkapsuliacija į 802.11 freimą

Šis mechanizmas yra tarpinė grandis tarp CSMA/CA ir TDMA, nes kreipties taškas visiškai kontroliuoja kanalą, tačiau freimo dydis nėra fiksuojamas. AP reguliariai siunčia specifinį apklausos freimą (angl. *Pool*), tik gavus šį freimą, stočiai leidžiama siųsti duomenis. Su šiuo paketu taip pat perduodami stočiai duomenys iš AP. Stotis, prieš siųsdama duomenis per AP, turi užsiregistruoti kreipties taške. Ši procedūra atliekama varžymosi periodo (ang. *CP*) metu, nes PCF ir DCF funkcijos gali veikti tame pačiame tinkle, kanalo dalijimosi metu. Po CP fazės AP kanalui užimti laukia PIFS laiko tarpą, kuris yra trumpesnis nei DIFS (2.11 pav.), po kurio yra išsiunčiamas švyturio (angl. *Beacon*) paketas (B), kuris signalizuoja kitiems mazgams, kad AP perjungia kanalą į nesivaržymo būseną (CFP). Švyturio pakete nurodoma CFP periodo trukmė, pagal kurią stotys nustato NAV ir tuo laikotarpiu nebando užimti kanalo.

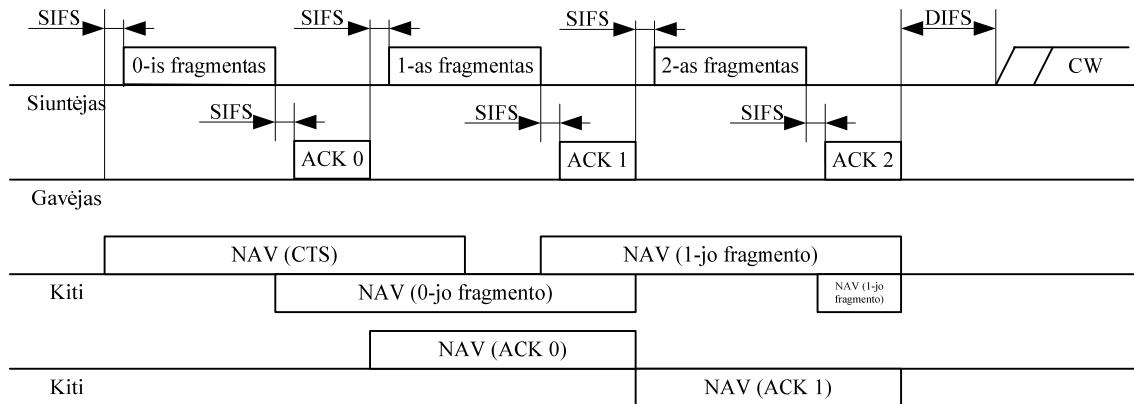


2.15 pav. Kanalo dalinimas tarp DCF ir PCF funkcijų

PCF funkcija sudaro galimybę su IEEE 802.11 standarto įrenginiais organizuoti centralizuotą bevielį tinklą. Kreipties taškas – AP ir jo aprėpties zonoje asocijuoti mazgai sudaro bazinį paslaugos vienetą (ang. *BSS*), o keletas sujungtų AP sudaro išplėstąjį paslaugos vienetą (angl. *ESS*). ESS kreipties taškai – AP sujungti bet kokia (laidine ar bevieliu) terpe vadinama WLAN tinklo kamieniu arba paskirstyta sistema (angl. *DS*). ESS tinklo visi mazgai virtualiai priklauso tam pačiam MAC tinklui. Kai iš vieno AP aprėpties zonos stotis pereina į kitą, AP perduoda vienas kitam duomenis per DS.

PCF funkcija sudaro būtinas prielaidas minimalioms teikiamų paslaugų kokybės garantijoms. Toliau vystant protokolą sukurta EDCF (*Enhanced DCF*) versija, palaikanti skirtingo (trimis bitais koduojamo) prioriteto perdavimus.

Fragmentacija. Fragmentacija naudojama tada, kai reikia išsiųsti paketą, kurio dydis viršija maksimalų perdavimo vienetą (angl. *MTU*), arba, kai dėl padidinto triukšmo lygio ar per mažo signalo lygio, perduodamą paketą tenka suskaidyti į mažesnius paketus. Mažesnių paketų iškraipymo tikimybė mažesnė, todėl, paketui dingus, pakartotinai siunčiami trumpesni paketai, tačiau toks mechanizmas įneša papildomą pertekliškumą. Fragmentacijos metu tarp gretimų perduodamų paketų iš naujo nėra varžomasi dėl kanalo, kai tik gaunamas patvirtinimas apie nusiųstą paketą ir po SIFS laiko intervalo yra siunčiamas sekantis paketo fragmentas (2.16 pav.).



2.16 pav. IEEE 802.11 standarto fragmentacijos mechanizmas

2 lentelė. IEEE 802.11x standarto pagrindinės charakteristikos

Standartas	802.11a	802.11b	802.11g
Standarto kūrėjas/būsena	IEEE / patvirtintas	IEEE / patvirtintas	IEEE / patvirtintas
Kreipties protokolas	CDMA/CA	CDMA/CA	CDMA/CA
QoS	PCF	PCF	PCF
Dažnis, GHz	5,15-5,825	2,4-2,483	2,4-2,483
Kanalo plotis, MHz	20	22	22
Nepersidengiančių kanalų skaičius	8	3	3
Skleidimas	OFDM	CCK	OFDM
Duomenų perdavimo sparta, Mb/s	54	11	54
Atstumas, m	50	100	100
Suderinamumas	-	g	b

3. IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ TYRIMAI

Šiame baigiamojo darbo aiškinamojo rašto skyriuje iširtos bevielių lokalių tinklų IEEE 802.11 standarto kokybinės charakteristikos: pralaidumo geba, aprėpties zona, perduodamų duomenų vėlinimo laikas, paketų praradimas.

3.1 EKSPERIMENTINIAI IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ TYRIMAI

3.1.1 Eksperimentų metodika ir naudota įranga

Eksperimentiniame tyrime buvo naudojamos struktūros, parodytos pav. 3.10, 3.13, 3.17, 3.18, 3.25. Eksperimentuose buvo naudojama įranga [11], [12].:

- *D-Link DWL-2100AP* prieigos taškas (pav. 3.1, 3.7)[2];
- *Cisco Aironet 350 Series* prieigos taškas (pav. 3.2, 3.8);
- *A-Link* bevielis PCI adapteris (pav. 3.4);
- *ASUS WL-107G* bevielis Cardbus adapteris (pav. 3.3);
- 4 darbo stotys.



3.1 pav. *D-Link DWL-2100AP* prieigos taškas



3.2 pav. *Cisco Aironet 350 Series* prieigos taškas

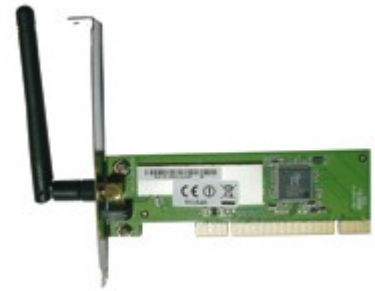
Bevielio tinklo įrangos, darbo stočių techninės specifikacijos, charakteristikos pateikiamos 3 – 6 lentelėse.

Tiriant bevielio tinklo kokybines charakteristikas buvo naudojami dirbtinai sugeneruotas ir realus duomenų srautai. Dirbtinio duomenų srauto generavimui ir pralaidumo gebai išmatuoti buvo naudojama programinė įranga *Iperf*, *Netperf* ir *NetIQ Qcheck* (pav. 3.9). Esant realiam, faktiniam duomenų perdavimui, pralaidumo gebai matuoti buvo naudojama programinė įranga *DU Meter 4.0* (pav. 3.6) ir tinklo adapterių tvarkyklių programos. Realų srautą sudarė duomenys. Duomenų perdavimas buvo vykdomas su *NETBIOS* sesijų paslaugos pagalba. Duomenys buvo perduodami tik

viena kryptimi (angl. *Half-Duplex*). Kiekvieno matavimo trukmė - 1 min., iki maksimalaus apkrovimo. Signalo ir triukšmo santykiui išmatuoti ir įvertinti buvo naudojama programinė įranga *Network Stumbler* (pav. 3.5) ir tinklo adapterių tvarkyklių programos.

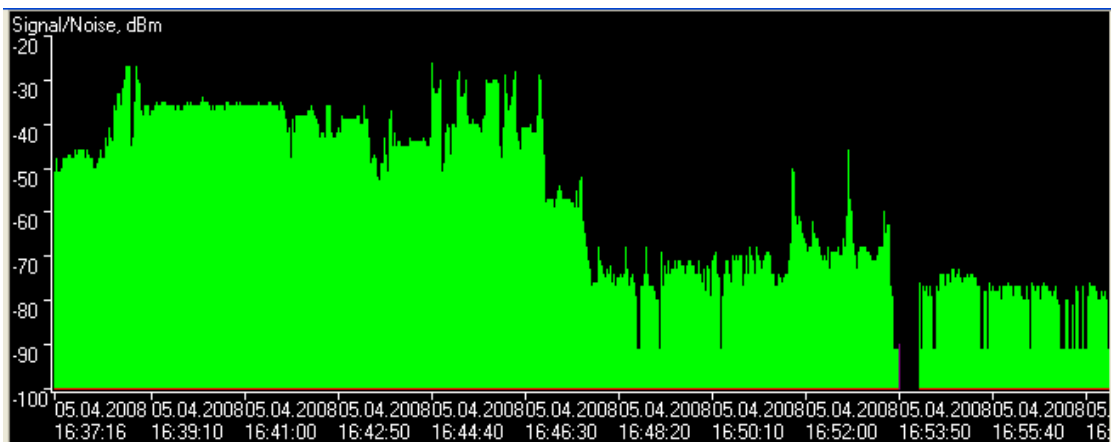


3.3 pav. ASUS WL-107G bevielis Cardbus adapteris

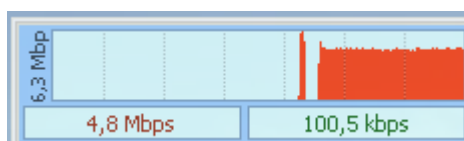


3.4 pav. A-Link bevielis PCI adapteris

Perduodamų paketų vėlinimo laikas buvo matuojamas komandos *ping* pagalba ir programinė įranga *NetIQ Qcheck*. Tokiu būdu buvo išmatuojamas apytikslis paketo (angl. *Round Trip Time, RTT*) priėmimo – perdavimo laikas. Perduodamų paketų praradimai buvo fiksuojami komanda *ping*, siunčiant ICMP Echo-request paketus. Prarasti paketai buvo fiksuojami tais atvejais, jei į išsiųstą ICMP Echo-request paketą, nebuvo gautas ICMP Echo-replay paketas. Duomenų šifravimas ir RTS/CTS mechanizmas buvo išjungti. Matavimai buvo atliekami keletą kartų, todėl pateikiamos tyrimų vidutinės kokybinių charakteristikų reikšmės.



3.5 pav. Programinės įrangos *Network Stumbler* langas



3.6 pav. Programinės įrangos *DU Meter 4.0* langas

D-Link
Building Networks for People

AirPlus Xtreme G™
High-Speed 2.4GHz Wireless Access Point

DWL-2100AP

Wizard
Wireless
LAN

Home Advanced Tools Status Help

Wireless Settings

Wireless Band: IEEE802.11g
Mode: Access Point
SSID: network
SSID Broadcast: Enable
Channel: 1 2.412 GHz Auto Channel Scan
Authentication: Open System

Key Settings

Encryption: Disable Enable
Key Type: ASCII Key Size: 152 Bits
Valid Key: First
First Key:
Second Key:
Third Key:
Fourth Key:

Radio: On
Super G Mode: Disable

3.7 pav. Prieigos taško *D-Link DWL-2100AP* konfigravimo langas

Close Window

CISCO SYSTEMS

Cisco 350 Access Point

RADIO0-802.11B STATUS DETAILED STATUS SETTINGS CARRIER BUSY TEST

Hostname AP350-556539 AP350-556539 uptime is 1 minute

Network Interfaces: Radio0-802.11B Settings

Enable Radio: Enable Disable

Current Status (Software/Hardware): Enabled ↑ Up ↑

Role in Radio Network:
(Fallback mode upon loss of Ethernet connection)

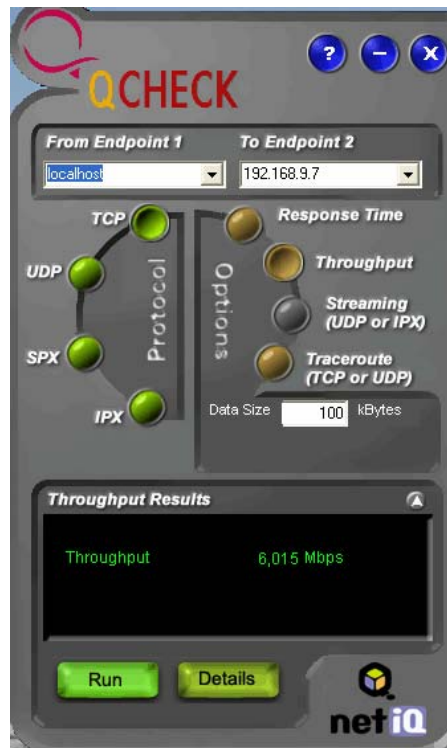
Access Point Root (Fallback to Radio Island)
 Access Point Root (Fallback to Radio Shutdown)
 Access Point Root (Fallback to Repeater)
 Repeater Non-Root

Data Rates:

Best Range Best Throughput

1.0Mb/sec Require Enable Disable
2.0Mb/sec Require Enable Disable
5.5Mb/sec Require Enable Disable
11.0Mb/sec Require Enable Disable

3.8 pav. Prieigos taško *Cisco Aironet 350 Series* konfigravimo langas



3.9 pav. Programinės įrangos *NetIQ Qcheck* pagrindinis langas

3 lentelė. Prieigos taškų techninės specifikacijos

Parametras	Reikšmė	
	D-Link DWL-2100AP	Cisco Aironet 350 Series
Palaikomi standartai	IEEE 802.11b/g; IEEE 802.3u	IEEE 802.11b; IEEE 802.3u
Prieigos metodas	CSMA/CA su ACK	CSMA/CA su ACK
Naudojamų dažnių juosta	2400 - 2483 MHz	2400 - 2483 MHz
Moduliacijos	IEEE 802.11b: DQPSK, DBPSK ir CCK IEEE 802.11g: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, OFDM	IEEE 802.11b: DQPSK, DBPSK ir CCK
Galimų kanalų skaičius	13	13
Siųstuvo nominali galia	16 dBm	20 dBm
Paketo vėlinimo laikas	-	11 Mbps: 140 ns 5.5 Mbps: 300 ns 2 Mbps: 400 ns 1 Mbps: 500 ns
Saugumas	64/128/152-bitų WEP WPA-PSK, WPA2-PSK WPA-EAP, WPA2-EAP TKIP, AES	40/64/128-bitų WEP WPA-EAP TKIP, AES MAC adresų filtracija

	MAC adresų filtracija	
Darbo režimas	Prieigos taškas; Tiltas su prieigos tašku; Tiltas; Kartotuvai; Bevielis klientas.	Prieigos taškas; Kartotuvai.

4 lentelė. Bevielių tinklo adapterių techninės specifikacijos

Parametras	Reikšmė	
	Atheros AR5005G WLAN	Broadcom Wireless b/g
Palaikomi standartai	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.11b/g
Prieigos metodas	CSMA/CA su ACK	CSMA/CA su ACK
Naudojamų dažnių juosta	2400 - 2483 MHz	2400 – 2483 MHz
Moduliacijos	DSSS, OFDM	DSSS, OFDM
Galimų kanalų skaičius	13	13
Imtuvo jautrumas	11 Mbps: -85 dBm 54 Mbps: -70 dBm	11 Mbps: -85 dBm 54 Mbps: -70 dBm
Siųstuvo galia	15 dBm	15 dBm
Saugumas	64/128-bitų WEP; WPA.	64/128-bitų WEP; WPA.

5 lentelė. Bevielių tinklo adapterių techninės specifikacijos

Parametras	Reikšmė	
	ASUS WL-107G Cardbus adapteris	A-Link PCI adapteris
Palaikomi standartai	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.11b/g
Prieigos metodas	CSMA/CA su ACK	CSMA/CA su ACK
Naudojamų dažnių juosta	2400 - 2483 MHz	2400 – 2483 MHz
Moduliacijos	DSSS, OFDM	DSSS, OFDM
Galimų kanalų skaičius	13	13
Imtuvo jautrumas	11 Mbps: -85 dBm 54 Mbps: -70 dBm	11 Mbps: -85 dBm 54 Mbps: -70 dBm
Siųstuvo galia	14 dBm ~17 dBm	15 dBm
Saugumas	64/128-bitų WEP; WPA	64/128-bitų WEP; WPA; WPA-2

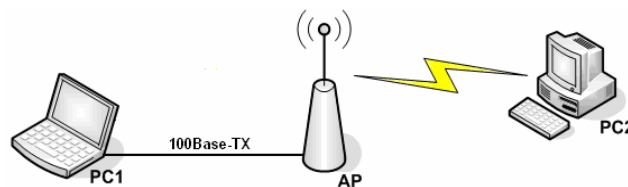
6 lentelė. Techninės darbo stočių charakteristikos

Darbo stotis	Procesorius	Taktinis dažnis, MHz	Operatyvios atminties talpa, MB	Kietojo disko talpa, GB	Tinklo adapteris
PC1	Intel Celeron M 420	1600	512	60	ASUS WL-107G Cardbus
PC2	Intel Celeron	1200	128	40	A-Link PCI
PC3	Intel Celeron Jonah 410	1500	512	60	Atheros AR5005
PC4	AMD Turion 64 X2 TL-52	1600	1024	120	Broadcom Wireless b/g

3.1.2 Pralaidumo geba

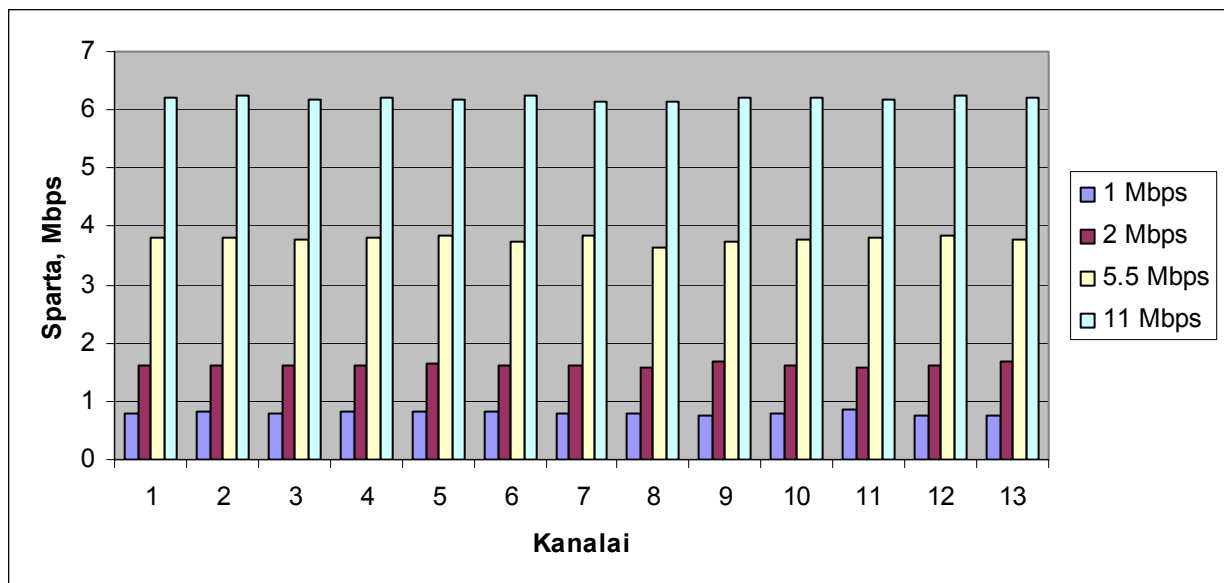
Pagrindinis dėmesys buvo skiriamas pralaidumo gebos tyrimui, kadangi pralaidumo geba – viena iš svarbiausių charakteristikų, turinčių įtakos bevielio duomenų perdavimo tinklo kokybei, našumui. Eksperimente buvo tiriama, kaip pralaidumo geba priklauso nuo radijo dažnio kanalo, nuo vartotojų skaičiaus, nuo tarpinių mazgų skaičiaus, nuo perduodamo paketo dydžio, nuo kanalų dažnio skirtumo, nuo naudojamų duomenų šifravimo technologijų, nuo signalo ir triukšmo santykio.

Tyrimui, kurio tikslas išsiaiškinti, kaip pralaidumo geba priklauso nuo dažnio, buvo naudojama struktūra, pavaizduota 3.10 pav. Tyrimo metu buvo keičiamas radijo dažnio kanalas nuo 1 iki 13 ir buvo matuojama bei fiksuojama pralaidumo geba.

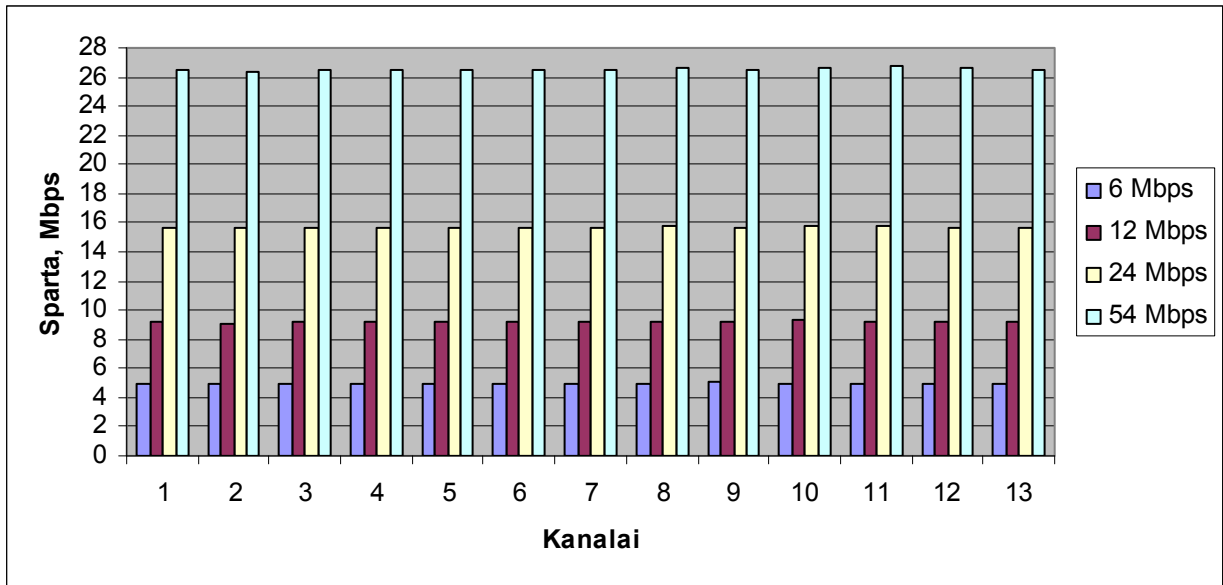


3.10 pav. Schema, skirta pralaidumo gebos priklausomybės nuo dažnio tyrimui

Tyrimo rezultatai pateikiami pav. 3.11 ir 3.12. Eksperimentas parodė, kad IEEE 802.11b/g standartų pralaidumo geba nepriklauso nuo radijo dažnio.

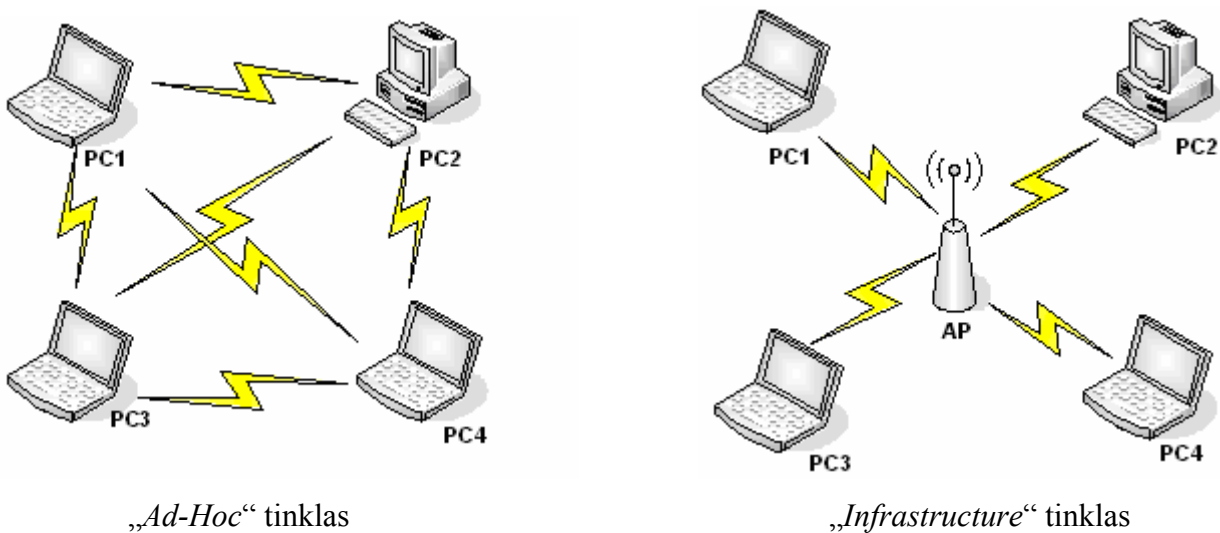


3.11 pav. IEEE 802.11b standarto pralaidumo gebos priklausomybė nuo radijo dažnio kanalo



3.12 pav. IEEE 802.11g standarto pralaidumo gebos priklausomybė nuo radijo dažnio kanalo

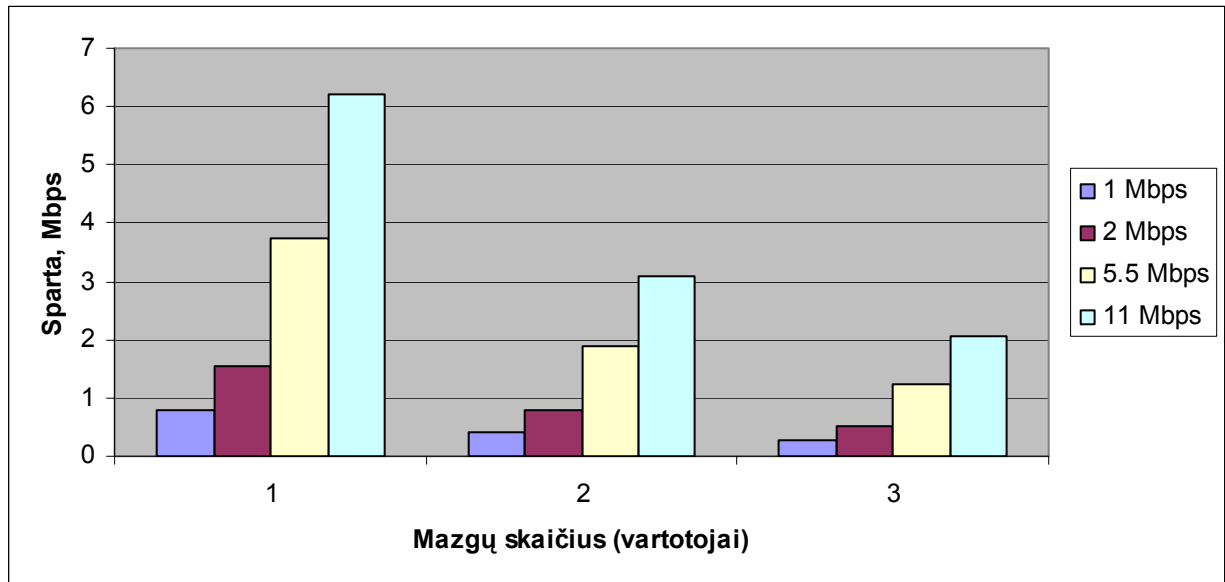
Pažiūrėkime, kaip pralaidumo geba kinta keičiantis vartotojų skaičiui. Tyrimas buvo atliktas idealiomis sąlygomis (atstumas tarp mazgų ne didesnis kaip 5 m, tiesioginis matomumas, be radijo dažnių trukdžių). Šiame eksperimente buvo naudojamos struktūros, vaizduojamos 3.13 pav. Rezultatai pateikiami 3.14, 3.15, 3.16. pav.



3.13 pav. Schemos, skirtos pralaidumo gebos priklausomybės nuo vartotojų skaičiaus tyrimui

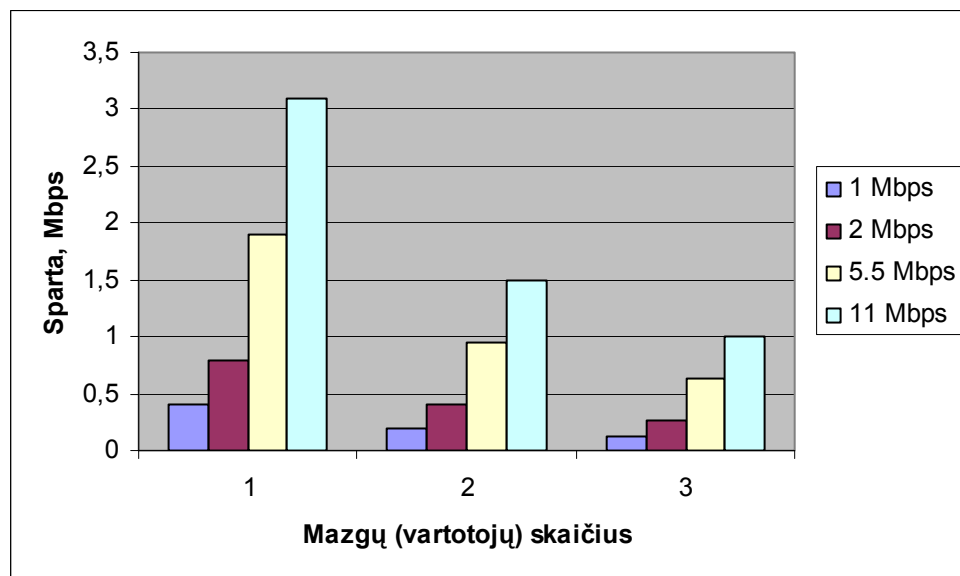
Iš 3.14 pav. matyti, kad maksimali IEEE 802.11b standarto „Ad- Hoc“ tinklo pralaidumo geba apytiksliai lygi 6,2 Mbps. Tokia pralaidumo geba pasiekama tik tuo atveju, jei duomenis

perduoda 1 vartotojas. Kai duomenis perduoda 2 vartotojai, maksimali pralaidumo geba lygi 3,1 Mbps, o kai 3 vartotojai - 2 Mbps.



3.14 pav. „Ad-Hoc“ tinklo pralaidumo gebos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus

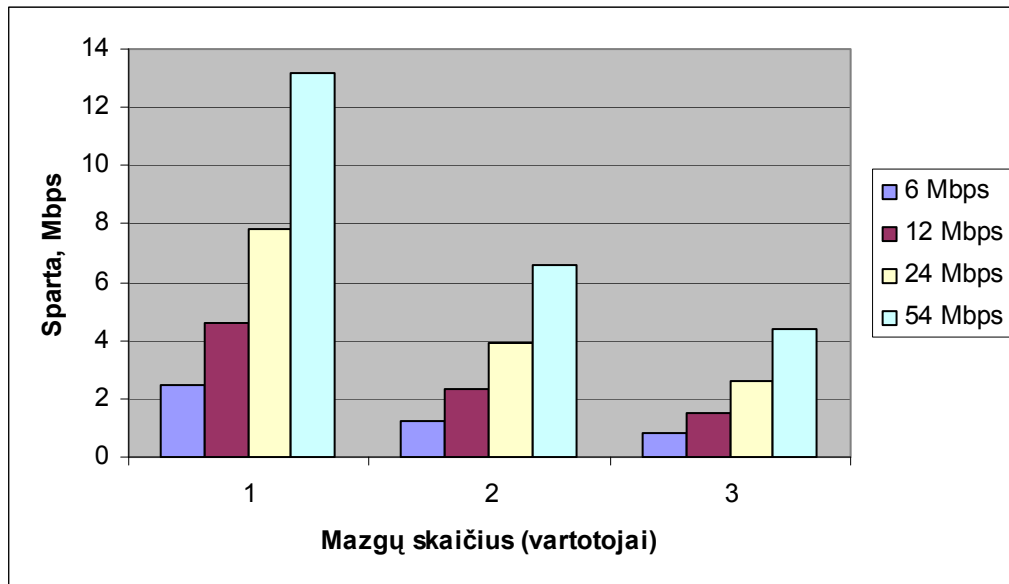
3.15 pav. matyti staigus IEEE 802.11b standarto „Infrastructure“ tinklo pralaidumo gebos sumažėjimas. Maksimali pralaidumo geba lygi 3,1 Mbps. Su kuo tai susiję, bus aptarta toliau darbe. Kai duomenis perduoda 2 vartotojai pralaidumo geba lygi apie 1,5 Mbps, o kai duomenis perduoda 3 vartotojai, pralaidumo geba lygi 1 Mbps.



3.15 pav. „Infrastructure“ tinklo pralaidumo gebos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus

3.16 pav. pateikiami IEEE 802.11g standarto „Infrastructure“ tinklo pralaidumo gebos tyrimo rezultatai. Tuo metu, kai duomenis perduoda 1 vartotojas, maksimali pralaidumo geba apytiksliai lygi 13 Mbps, kai duomenis perduoda 2 vartotojai, pralaidumo geba lygi 6,4 Mbps, o kai duomenis perduodami trys vartotojai - 4,3 Mbps.

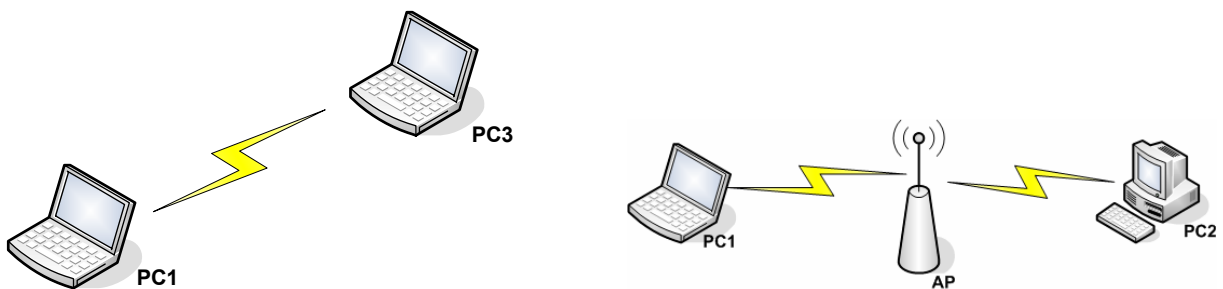
Eksperimentas parodė, kad IEEE 802.11b/g standartų pralaidumo geba mažėja, kai daugėja vartotojų skaičius.



3.16 pav. „Infrastructure“ tinklo pralaidumo gebos priklausomybė nuo vartotojų skaičiaus

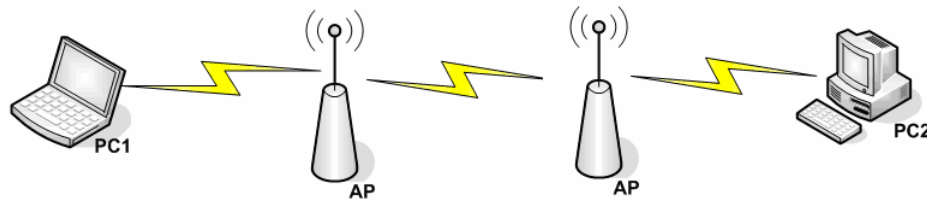
Labai dažnai susidaro situacija, kai tarp dviejų galinių vartotojų naudojamas tarpinis mazgas, kuris atlieka retransliatoriaus funkcijas. IEEE 802.11b/g standartuose „Infrastructure“ tinkle retransliatoriaus funkcijas atlieka prieigos taškas.

Todėl toliau panagrinėsime, kaip perdavimo geba priklauso nuo retransliatorių skaičiaus. Schemos, kurios buvo naudojamos eksperimente, pateikiamos 3.17 ir 3.18 pav.. Tyrimo rezultatai pateikiami 3.19 pav.

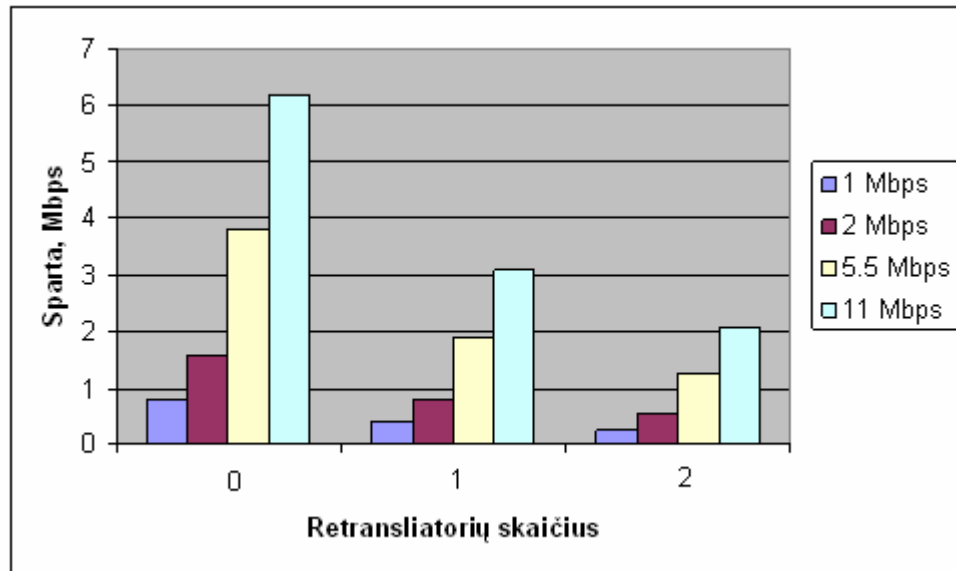


3.17 pav. Schemos, skirtos pralaidumo gebos priklausomybės nuo tarpinių mazgų (retransliatorių) tyrimui

Tuo metu, kai duomenų keitimesi nedalyvauja retransliatorius (3.17 pav.), perdavimo geba lygi 6,2 Mbps. Kai vartotojai sąveikauja retransliatoriaus pagalba (3.17 pav.), perdavimo geba mažėja dvigubai ir lygi 3,1 Mbps. Kai naudojami du retransliatoriai (3.18 pav.), pralaidumo geba mažėja tris kartus ir lygi 1 Mbps. Toks perdavimo gebos mažėjimas aiškinamas tuo, kad retransliatorius iš pradžių turi priimti duomenis ir tik po to juos perduoti. Priėmimas ir perdavimas atliekami paeiliui, todėl priėmimas ir perdavimas vyksta tuo pačiu radijo dažnio kanalu.



3.18 pav. Schema, skirta pralaidumo gebos priklausomybės nuo tarpinių mazgų (retransliatorių) tyrimui

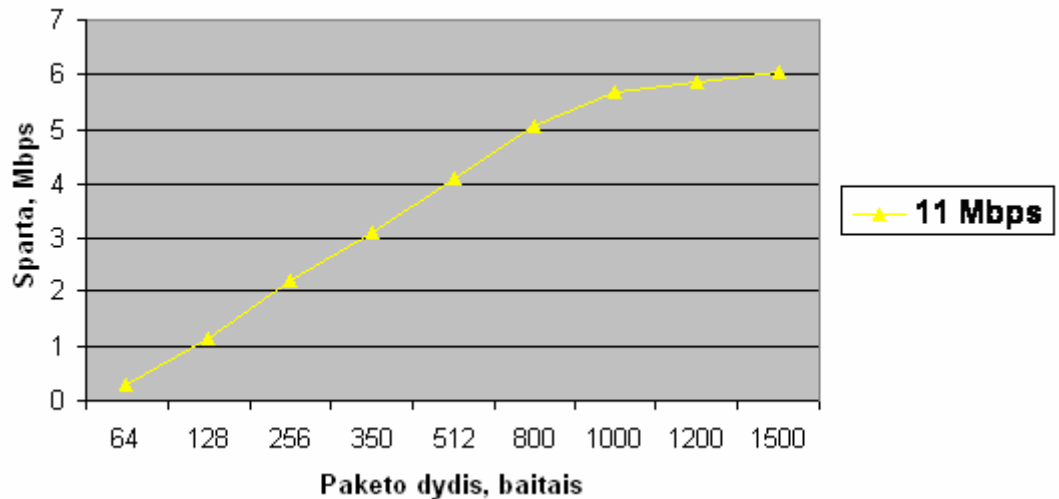


3.19 pav. IEEE 802.11b standarto pralaidumo gebos priklausomybė nuo retransliatorių skaičiaus

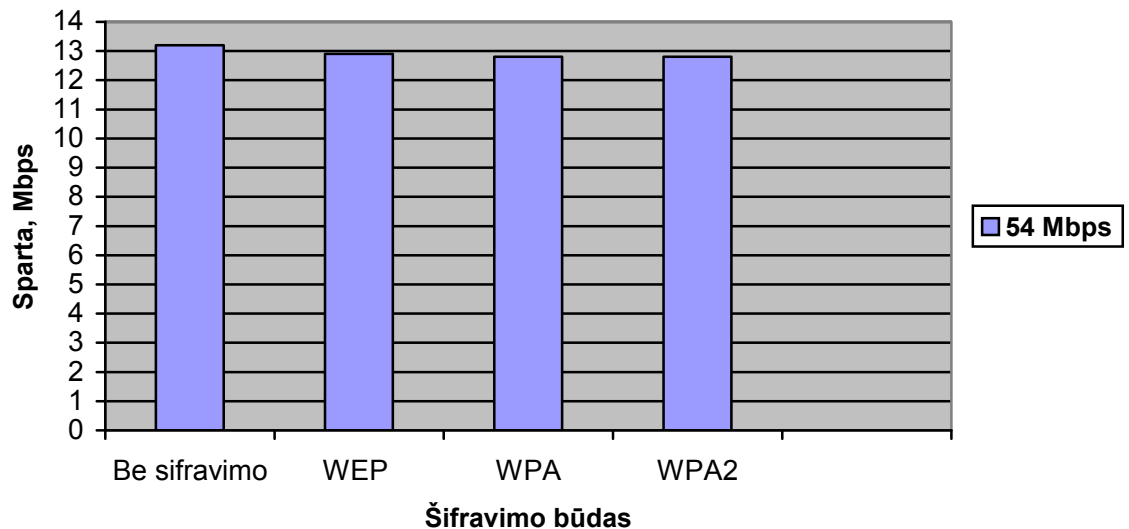
IEEE 802.11b/g standartas duomenų perdavimui rekomenduoja naudoti 1500 arba 2048 baitų dydžio paketus. Tai yra dėl to, kad pralaidumo geba priklauso nuo paketo dydžio. Buvo atliktas dar vienas eksperimentas ir įsitikinta, kad pralaidumo geba priklauso nuo paketo dydžio (3.20 pav.). Eksperimente naudojama schema, vaizduojama 3.17 pav. Iš 3.20 pav. matyti, kad, naudojant 64 baitų dydžio paketus, perdavimo geba mažesnė nei 1 Mbps. Kai paketas yra didesnis, pralaidumo geba didėja. Naudojant 1500 baitų paketus, pralaidumo geba siekia 6 Mbps. Taip yra dėl to, kad,

vykstant duomenų perdavimo procesui, prie duomenų prisideda tam tikro dydžio tarnybinės informacijos (preambulė, protokolinių lygių antraštės, kontrolinė suma, patvirtinimai) ir dalį laiko būtina skirti perduoti šiai (tarnybinei) informacijai.

Beveik visose tinkluose dažnai naudojami įvairiūs duomenų šifravimo būdai, technologijos, informacijos saugumui ir konfidencialumui užtikrinti. Todėl toliau analizuosime, kokią įtaką duomenų šifravimas turi pralaidumo gebai. Tyrimo schema pateikiama 3.17 pav., o rezultatai 3.21 pav.



3.20 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo paketo dydžio

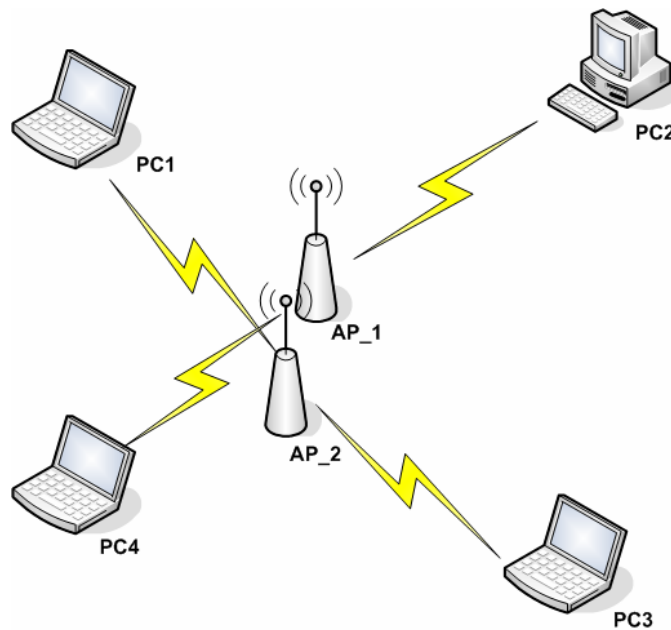


3.21 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo šifravimo technologijos

Tais atvejais, kai buvo naudojama WEP šifravimo technologija, buvo pastebėtas nežymus pralaidumo gebos sumažėjimas iki 12,9 Mbps. Naudojant WPA ir WPA2 šifravimo technologijas, pastebėtas pralaidumo gebos sumažėjimas iki 12,8 Mbps. Iš rezultatų galima daryti išvadą, kad

šifravimo technologijų naudojimas praktiškai neturi įtakos bevielio tinklo pralaidumo gebai ir gali būti naudojamos nuolat dėl saugumui užtikrinti.

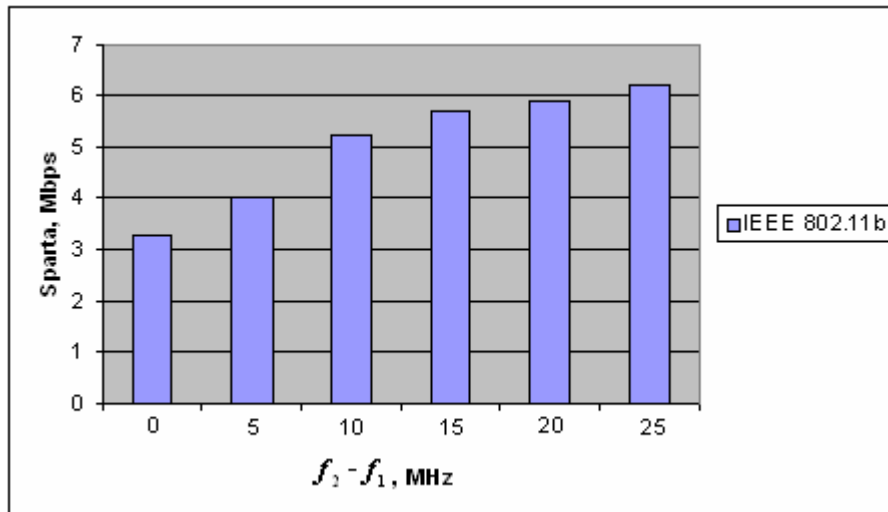
Trukdžius beveliame tinkle gali sukelti ir kiti beveliai tinklai, funkcionuojantys tuo pačiu dažnio diapazonu. Šie trukdžiai, vadinami vidaus kanalų trukdžiais (*rus. внутриканальными*) arba tarpusavio trukdžiais ir kylantys dėl pakartotinio dažnio naudojimo, dažniausiai atsiranda IEEE 802.11b/g standartų tinkluose. Tarpusavio trukdžiai gali atsirasti tarp įrenginių, funkcionuojančių persidengiančiais kanalais. Pavyzdžiui, 1 kanalas užima nuo 2,401 iki 2,423 GHz dažnių juostą, o 2 kanalas – nuo 2,406 iki 2,428 GHz dažnių juostą. Tokiu būdu jie turi bendrą 17 MHz pločio spektro ruožą. Tarpusavio trukdžių imitacijai ir tam, kad būtų iširta bevielio tinklo įrenginių, funkcionuojančių persidengiančiais kanalais, tarpusavio įtaka, buvo panaudoti 2 prieigos taškai (3.22 pav.). Vienas iš jų - pagrindinis – dirbo nuolat 1 kanalu, o antro prieigos taško (keliančio trukdžius) kanalas buvo keičiamas nuo 1 iki 6 ir buvo matuojama 1 prieigos taško kanalo pralaidumo geba. Matavimų rezultatai pateikiami 3.23 pav.



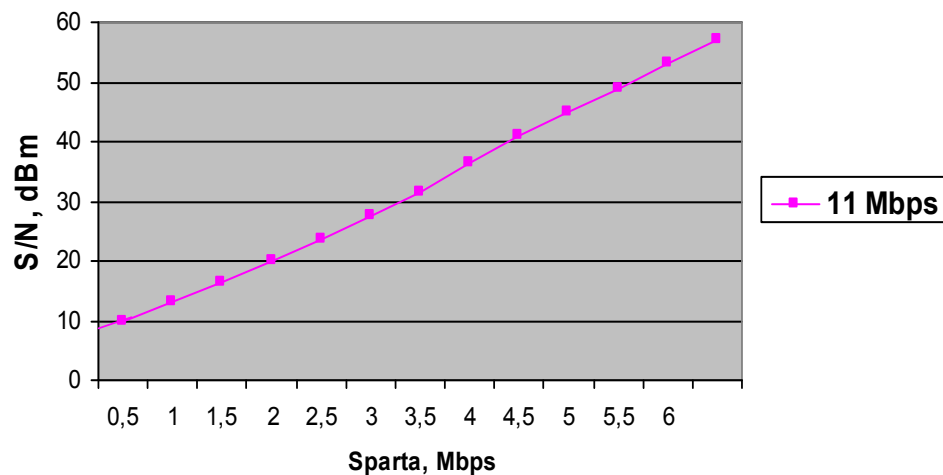
3.22 pav. Mazgų jungimo schema

Kada kanalų skirtumas buvo lygus 0 MHz, t.y. abu prieigos taškai dirbo 1 kanalu, buvo pastebėta, kad labiausiai sumažėjo 1 prieigos taško kanalo pralaidumo geba. IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba buvo lygi 3,3 Mbps. Kada kanalų skirtumas buvo lygus 5 MHz, t.y. 1 prieigos taškas dirbo 1 kanalu, o 2 prieigos taškas dirbo 2 kanalu, IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba buvo lygi 4 Mbps. Kada kanalų skirtumas buvo lygus 10 MHz, t.y. 1 prieigos taškas dirbo 1 kanalu, o 2 prieigos taškas dirbo 3 kanalu, IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba buvo lygi 5,3 Mbps.

Kada kanalų skirtumas buvo lygus 15 MHz, IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba buvo lygi 5,7 Mbps, kada kanalų skirtumas buvo lygus 20 MHz – 5,9 Mbps. Kada kanalų skirtumas siekė 25 MHz, t.y. 1 prieigos taškas dirbo 1 kanalu, o 2 taškas dirbo 6 kanalu, IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba buvo lygi 6,2 Mbps.



3.23 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo kanalų dažnio skirtumo $f_2 - f_1$



3.24 pav. Pralaidumo gebos priklausomybė nuo signalo ir triukšmo santykio

Iš eksperimento rezultatų matyti, kad įrenginių funkcionavimas persidengiančiais kanalais žymiai sumažina bevielio tinklo pralaidumo gebą. Taip yra dėl vidaus kanalų (tarpusavio) trukdžių, kolizijų, kurios atsiranda dėl pakartotinio dažnių naudojimo.

Pralaidumo gebos priklausomybės nuo signalo ir triukšmo santykio tyrimas buvo atliktas esant tiesioginiam matomumui ir patalpoje, kur signalo kelyje atsirasdavo įvairios kliūtys. Schema,

naudota eksperimente, pateikiama 3.17 pav., matavimų rezultatai pateikiami 3.24 pav. Šiame paveiksle (3.24 pav.) parodoma apytikslė pralaidumo gebos priklausomybė nuo signalo ir triukšmo santykio. Grafike matyti, kad pralaidumo geba didėja, kai didėja signalo ir triukšmo santykio reikšmė. Kada signalo ir triukšmo santykis tampa mažesnis nei 10 dBm, ryšys neįmanomas, pralaidumo geba lygi 0. Buvo pastebėta, kad signalo ir triukšmo santykis mažėja didinant atstumą tarp siųstuvo ir imtuvo. Taip pat signalo ir triukšmo santykis mažėja, kai signalo kelyje atsiranda kliūčių (gelžbetoninių, medinių ir pan.). Signalo lygis tokiais atvejais mažėja, vadinasi, mažėja ir pralaidumo geba, ryšio kokybė blogėja.

3.1.3 Aprėpties zona

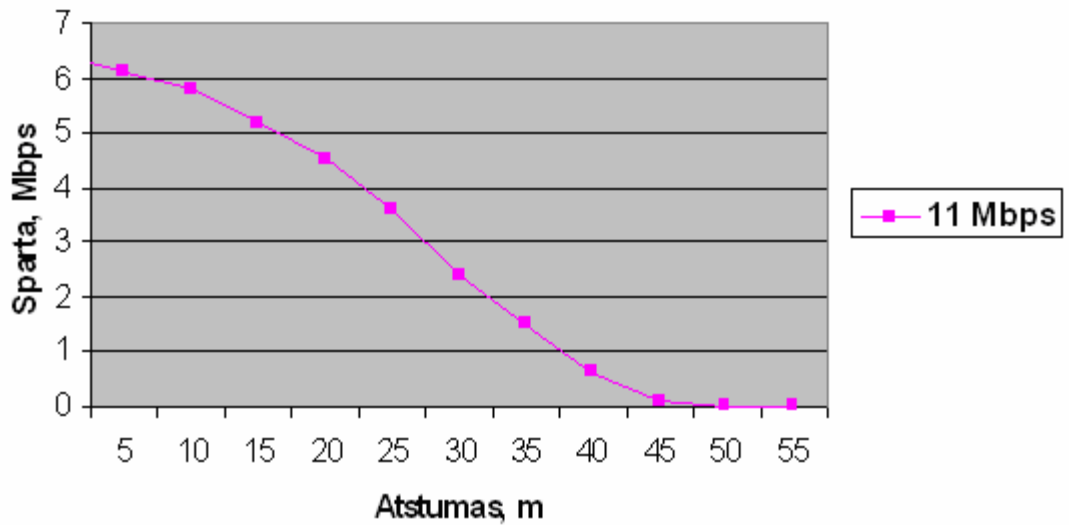
Tiriamas IEEE 802.11b/g standartų kokybinės charakteristikas, buvo atkreiptas dėmesys dar į vieną svarbią charakteristiką, t.y. bevielio tinklo aprėpties zoną. Kalbant apie bevielio tinklo aprėpties zoną, reikia atsižvelgti į keletą aplinkybių. Maksimalus atstumas tarp dviejų bevielio tinklo mazgų labiausiai priklauso nuo to, ar yra tarp jų kliūčių, ar tie mazgai yra tiesioginio matomumo zonoje. Bevielio tinklo aprėpties zona priklauso ir nuo to, koku režimu funkcionuoja bevielis tinklas – „Ad-Hoc“ arba „Infrastructure“. Ne mažiau svarbus ir siųstuvo galingumas.

„Ad-Hoc“ ir „Infrastructure“ tinklų aprėpties zonos tyrimai buvo atlikti idealiomis sąlygomis (be kliūčių, be radijo dažnių trukdžių) (3.17 pav.). Matavimų rezultatai pateikiami 3.25, 3.26, 3.27 pav. Eksperimento rezultatai rodo, kad IEEE 802.11b standarto „Ad-Hoc“ tinklo aprėpties zona sudaro 40 m, o „Infrastructure“ tinklo – apie 90 m. IEEE 802.11g standarto „Infrastructure“ tinklo aprėpties zona yra apie 80 m. Iš 3.25, 3.26, 3.27 pav. matyti, kad, didėjant atstumui, perdavimo geba mažėja. Tai vyksta dėl to, kad, didėjant atstumui, signalo galia mažėja.

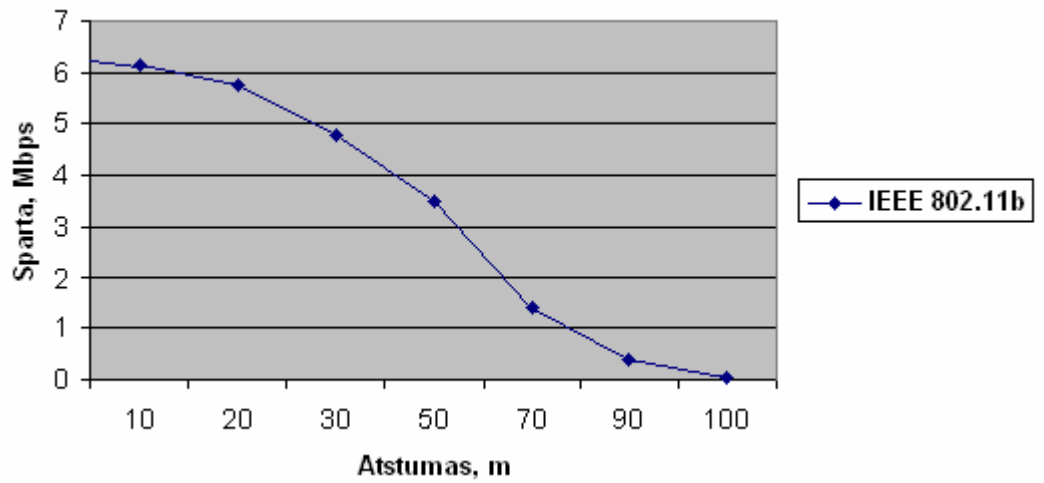
3.1.4 Perduodamų duomenų vėlinimo laikas

Nemažas dėmesys duomenų perdavimo tinkluose skiriamas perduodamų duomenų vėlinimo laikui, ypač jei šis tinklas skirtas teikti paslaugas realiu laiku. Pernelyg didelis vėlinimas greitai sumažina WEB puslapių ir interaktyvaus garso ir vaizdo paslaugų kokybę. Todėl toliau buvo nuspręsta tyrime atkreipti dėmesį į šią bevielio tinklo kokybės charakteristiką.

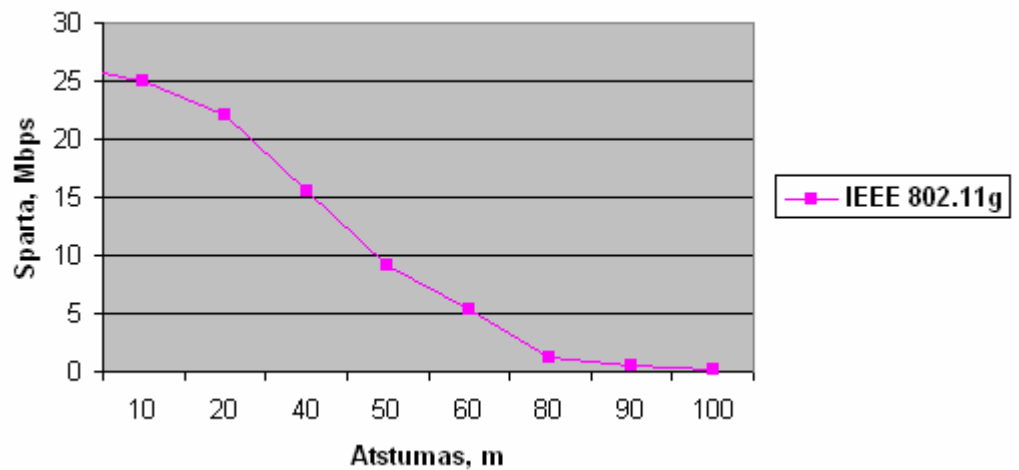
Perduodamų duomenų bendrą vėlinimą sudaro: išsiuntimo vėlinimas, sklidimo vėlinimas ir vėlinimas, atsirandantis dėl tarpinių mazgų, įrenginių. Aptarsime kiekvieną vėlinimo sudedamąją,



3.25 pav. IEEE 802.11b standarto „Ad-Hoc“ tīklo aprēpētības zona



3.26 pav. IEEE 802.11b standarto „Infrastructure“ tīklo aprēpētības zona

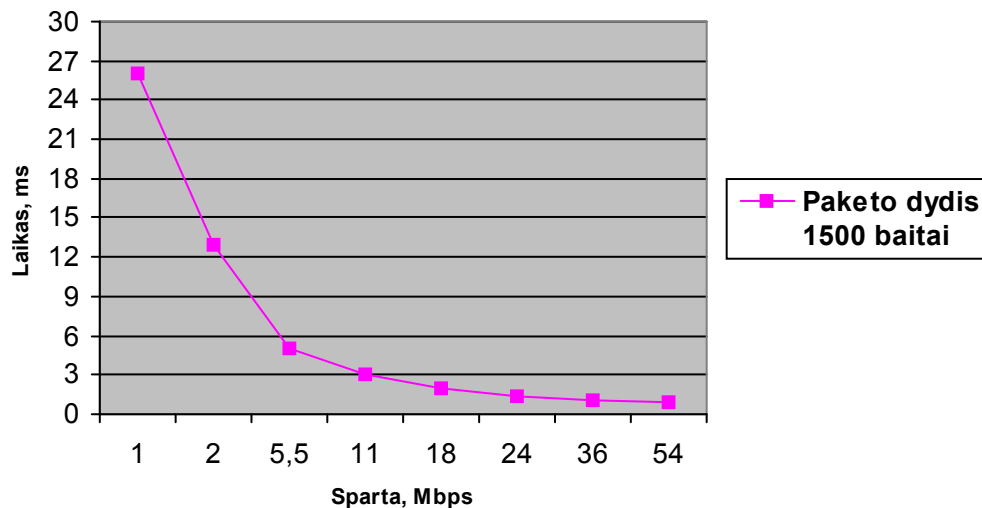


3.27 pav. IEEE 802.11g standarto „Infrastructure“ tīklo aprēpētības zona

panagrinėsime, išsiaiškinsime nuo kokių parametrų jos priklauso. Šiame eksperimente buvo naudojamos struktūros, vaizduojamos 3.17 ir 3.10 pav. Buvo matuojamas apytikris paketo priėmimo – perdavimo (angl. *Round Trip Time, RTT*) laikas.

Paketo išsiuntimo vėlinimas – laikas, reikalingas įrenginiui perduoti paketą suteiktu pralaidumo juostos pločiu, laikas, reikalingas perduoti visą duomenų paketą į tinklą. Paketo išsiuntimo vėlinimas priklauso ir nuo pralaidumo juostos pločio, ir nuo perduodamo paketo dydžio. Rezultatai pateikiami 3.28 ir 3.29 pav. Iš grafiko matyti (3.28 pav.), kad išsiuntimo vėlinimas mažėja, kai didinama duomenų perdavimo sparta. Kai paketo dydis 1500 baitų ir perdavimo sparta 1 Mbps, išsiuntimo vėlinimas yra apie 26 ms, kai perdavimo sparta 11 Mbps – apie 3 ms, kai sparta 54 Mbps – apie 1 ms.

Grafike matyti (3.29 pav.), kad išsiuntimo vėlinimas didėja, kai didėja paketo dydis. Kai paketo dydis 64 baitai, išsiuntimo vėlinimas yra apie 0,5 ms, o paketo dydis – 350 baitų apie 1 ms, kai paketo dydis 800 baitų – apie 1,5 ms, ir kai paketo dydis 1500 baitų – apie 3 ms.

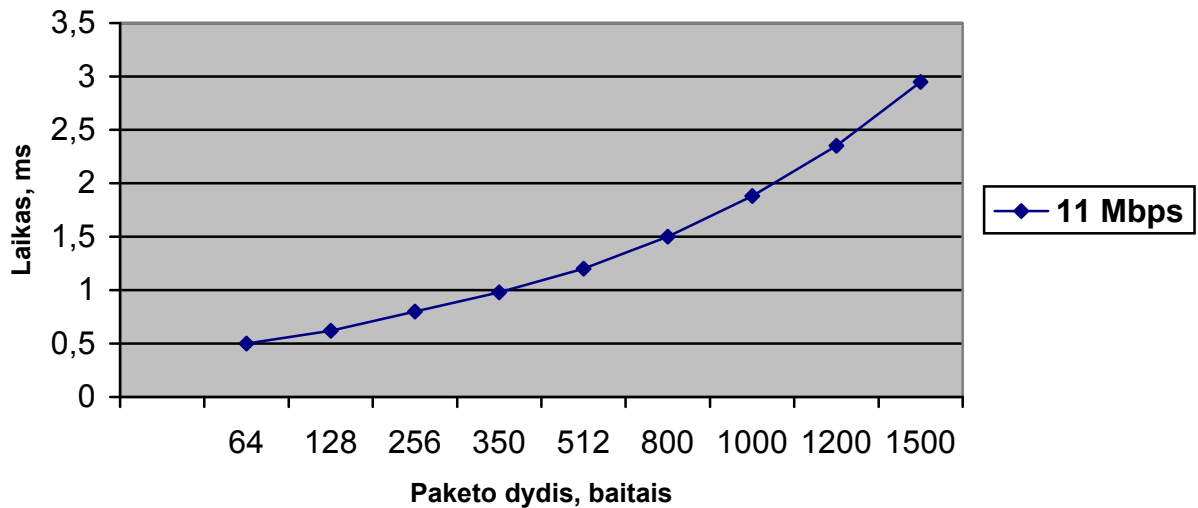


3.28 pav. Išsiuntimo vėlinimo priklausomybė nuo perdavimo spartos

Paketo sklaidimo vėlinimas – laikas, reikalingas, kad informacijos bitas pasiektų priėmimo įrenginį, laikas reikalingas perduoti pirmą paketo bitą iš siuntėjo galutiniam gavėjui. Sklidimo vėlinimas priklauso nuo atstumo ir informacijos perdavimui naudojamos terpės. Mūsų atveju perdavimo terpė – radijo eteris. Radijos bangos sklaidimo greitis lygus šviesos greičiui.

Reikia pasakyti, kad mūsų atveju paketo sklaidimo vėlinimo reikšmė labai maža ir, didėjant atstumui, ji keičiasi nežymiai. Todėl IEEE 802.11 b/g standartų bevieluose tinkluose didelės įtakos

bendram perduodamo paketo vėlinimui šita sudedamoji neturi.



3.29 pav. Išsiuntimo vėlinimo priklausomybė nuo paketo dydžio

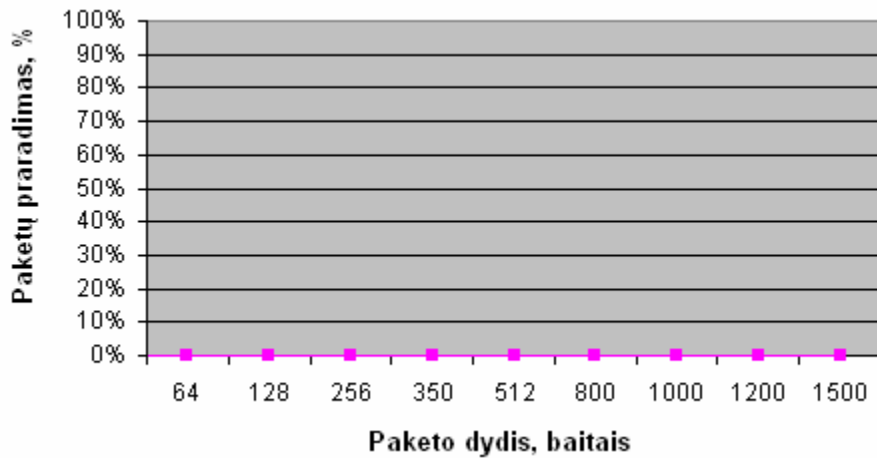
Vėlinimas, kurį sukelia papildoma tarpinė įranga – tai yra laikas, kuris reikalingas įrenginiui apdoroti paketą. Tai laikas, reikalingas įrenginiui, gavusiam paketą, pradėti perduoti jį kitam įrenginiui, mazgui. Deja, išmatuoti *Aironet 350 Series* ir *DWL-2100AP* prieigos taškų sukeliama vėlinimo laiko, nepavyko. Tačiau prieigos taškų techninėse specifikacijose šitos vėlinimo sudedamosios reikšmės nurodomos 3 lentelėje ir jos labai nežymios.

Apibendrinant galima pasakyti, jei IEEE 802.11b/g standartų bevielis tinklas neapkrautas, paketai nėra rikiuojami į eilę tarpiniuose mazguose, tokiu atveju bendras perduodamo paketo vėlinimo laikas apytiksliai lygus paketo išsiuntimo vėlinimo laikui, kuris priklauso nuo pralaidumo gebos ir paketo dydžio.

3.1.5 Paketų praradimas

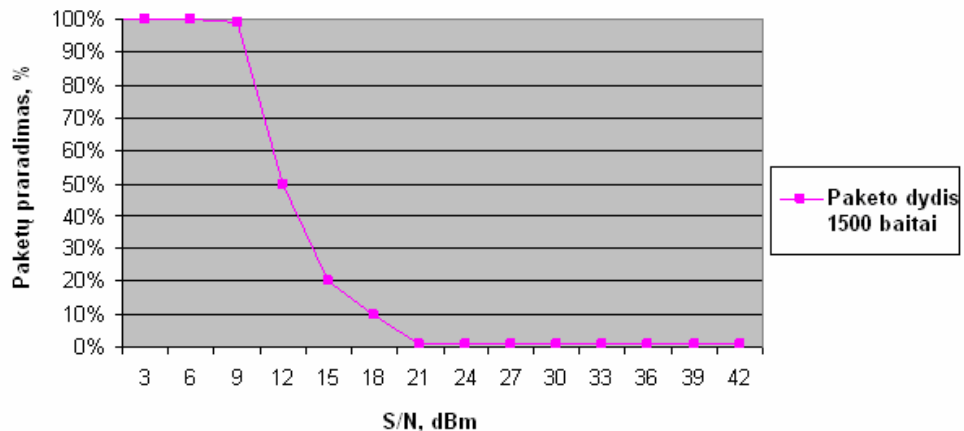
Ryšio dingimas – dažnai pasitaikantis reiškinys bevieliuose tinkluose. Ryšio dingimas vyksta dėl paketų praradimo. Todėl buvo nuspręsta ištirti, dėl kokių priežasčių gali būti prarandami paketai. Tuo tikslu buvo atlikti keli eksperimentai, kurių metu buvo tiriama, kaip paketų praradimas priklauso nuo paketų dydžio ir nuo signalo ir triukšmo santykio. Tyrimai buvo atlikti naudojant schemą (3.17 pav.), buvo keičiamas paketo dydis ir atstumas tarp siųstuvo ir imtuvo.

Iš grafiko (3.30 pav.) matyti, kad paketų praradimas nepriklauso nuo perduodamo paketo dydžio. Išsiunčiant bevielio tinklo aprėpties zonoje nuo 64 iki 1500 baitų dydžio paketus, praradimų nepastebėta.



3.30 pav. Paketų praradimo priklausomybė nuo paketo dydžio

Eksperimentas, kuriuo buvo siekiama iširti, kaip priklauso signalo ir triukšmo santykis nuo paketų praradimo, buvo atliekamas tiesioginio matavimo zonoje 20, 35 ir 45 m atstumu nuo perduodančio duomenis mazgo. Buvo nustatyta, kai signalo ir triukšmo santykis didelis, prarastų paketų procentas lygus 0. Tolstant nuo mazgo, perduodančio duomenis, pastebėtas signalo ir triukšmo santykio sumažėjimas. Buvo pastebėta, kad, mažėjant signalo ir triukšmo santykiui, daugėdavo prarastų paketų (3.31 pav.). Kai signalo ir triukšmo santykis lygus 18 dBm, pastebėta 10% prarastų paketų, kai 15 dBm – 20%, o kai 12 dBm – 50%.



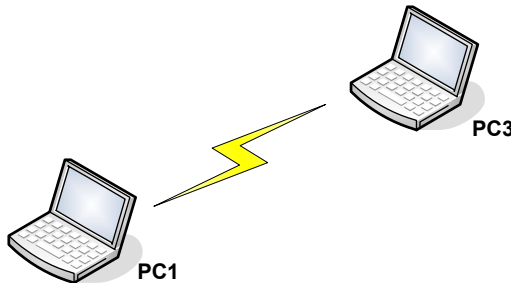
3.31 pav. Paketų praradimo priklausomybė nuo signalo ir triukšmo santykio

Kai signalo ir triukšmo santykis būdavo mažesnis nei 10 dBm, prarastų paketų procentas siekdavo 100%, ryšys dingdavo. Paketų praradimas tapdavo realia problema, kai jų procentas viršydavo tam tikrą ribą. Tokiais atvejais ryšys nutrūkdavo arba visiškai dingdavo.

3.2 TEORINIAI IEEE 802.11 STANDARTO BEVIELIŲ LOKALIŲ TINKLŲ TYRIMAI

Toliau teoriškai įvertinsime IEEE 802.11b/g standartų pralaidumo gebą, kanalo efektyvumą, perduodamų duomenų vėlinimo laiką ir palyginsime su eksperimentų rezultatais.

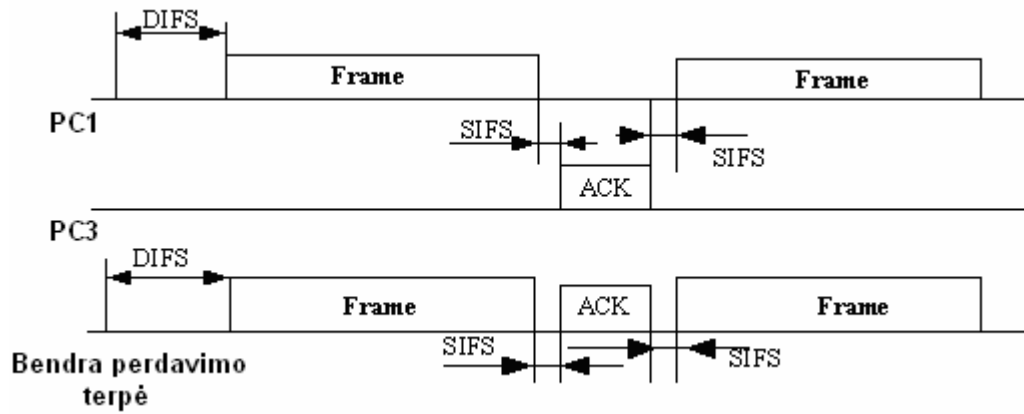
PC1 mazgas perduoda 6400 baitų dydžio bylą mazgui PC3 (3.32 pav.). Patikimam informacijos perdavimui naudojamas TCP protokolas. Duomenys perduodami su 1500 baitų dydžio paketų pagalba, naudojama ilga preambulė. Perdavimas vyksta idealiomis sąlygomis (tiesioginis, matomumas, atstumas ne didesnis nei 3 m, nėra radijo dažnių trukdžių). Apskaičiuosime pralaidumo gebą, kanalo efektyvumą ir perduodamų duomenų vėlinimo laiką. Į 1500 baitų dydžio kadro kūną MSDU (*angl. MAC Service Data Unit*), inkapsuliuojamas IP paketas ir LLC duomenų blokas (3.14 pav.). IP pakete yra IP ir TCP protokolinių lygių antraštės, kurių ilgis 40 baitų, ir duomenys. Duomenų blokas LLC sudarytas iš LLC ir SNAP antraščių, kurių ilgis – 8 baitai. Tokiu būdu 1452 baitų lieka naudingai informacijai perduoti. Informacija IEEE 802.11b/g standartuose perduodama kadru pagalba. 6400 baitų byla skaidoma į 5 duomenų blokus po 1452 baitus.



3.32 pav. Tyrimuose naudota mazgų jungimo schema

Kiekvienam duomenų blokui pridedama tarnybinė informacija. Tai IP ir TCP antraštės, LLC ir SNAP antraštės, MAC antraštė (pav.13), FCS kontrolinė suma, PLCP antraštė, PLCP preambulė.

Tam, kad teoriškai įvertinti pralaidumo gebą, kanalo efektyvumą ir perduodamų duomenų vėlinimo laiką, paanalizuokime prieigos prie perdavimo terpės laiko diagramą naudojant paskirstytąją koordinavimo funkciją, bet nenaudojant RTS/CTS mechanizmo (pav. 33) [3]. PC1 mazgas laukia laiko intervalą DIFS ir pradeda kadro perdavimą. PC3 mazgas, gavęs kadra, siunčia mazgui PC1 patvirtinimo ACK kadra, kad kadras sėkmingai gautas. Tarp visų kadru yra trumpas tarpkadrinis intervalas SIFS.

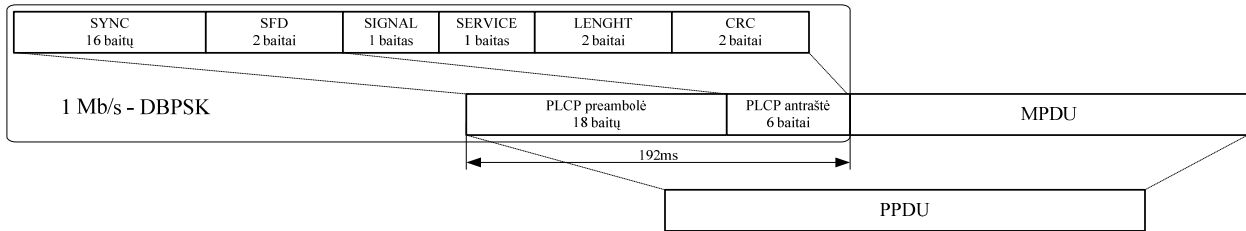


3.33 pav. Laiko diagrama

T_{SIFS}	SIFS intervalo laikas, μs ;
T_{DIFS}	DIFS intervalo laikas, μs ;
$T_{Preamble}$	preambulės išsiuntimo laikas, μs ;
$T_{PLCPheader}$	PLCP antraštės išsiuntimo laikas, μs ;
L_{ACK}	patvirtinimo ACK kadro dydis, <i>baitais</i> ;
L_{MAC}	MAC antraštės dydis, <i>baitais</i> ;
T_{ACK}	patvirtinimo ACK kadro išsiuntimo laikas, μs ;
T_{DATA}	duomenų kadro išsiuntimo laikas, μs ;
T_{Skid}	kadrų sklidimo laikas, μs ;
R_{ACK}	patvirtinimo ACK kadro perdavimo sparta, <i>Mbps</i> ;
R_{DATA}	duomenų kadro perdavimo sparta, <i>Mbps</i> ;
l	fizinės duomenų perdavimo terpės ilgis, <i>m</i> ;
v	radijo bangos sklidimo greitis, <i>m/s</i> ;
L_{DATA}	duomenų dydis, <i>baitais</i> ;
C	pralaidumo geba, <i>Mbps</i> ;
η	kanalo efektyvumas, %;
T_{EX}	paveldo laikas, μs ;
$L_{Service}$	paslaugos lauko dydis, <i>baitais</i> ;
L_{Tail}	paveldo dydis, <i>baitais</i> ;

3.2.1 IEEE 802.11b standarto pralaidumo gebos, kanalo efektyvumo ir vėlinimo laiko teorinis įvertinimas

IEEE 802.11b kadro struktūra parodyta pav. 34.



3.34 pav. IEEE 802.11b standarto kadro struktūra

Parametrai (pagal IEEE 802.11b standartą) būtini teoriniam pralaidumo gebos, kanalo efektyvumui ir perduodamų duomenų vėlinimo laiko vertinimui pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. IEEE 802.11b standarto parametrai

Parametras	Reikšmė
T_{DIFS}	50
T_{SIFS}	10
L_{ACK}	14
L_{MAC}	34
$T_{Preamble}$	144
$T_{PLCPheader}$	48
R_{ACK}	1

Patvirtinimo ACK kadro išsiuntimo laikas, duomenų kadro išsiuntimo laikas ir šių kadro sklaidimo laikas apskaičiuojami pagal formules:

$$T_{ACK} = T_{Preamble} + T_{PLCPheader} + \frac{8L_{ACK}}{R_{ACK}};$$

$$T_{DATA} = T_{Preamble} + T_{PLCPheader} + \frac{8(L_{MAC} + MSDU)}{R_{DATA}};$$

$$T_{Sklid} = \frac{l}{v};$$

Pirmiausia apskaičiuojamas laikas T , reikalingas bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 1 \text{ Mbps}$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10$$

$$T = 50 + 12464 \times 5 + 304 \times 5 + 90 + 0,1 = 63980,1 \mu s ;$$

Apskaičiuokime kanalo pralaidumo gebą C pagal formulę:

$$C = \frac{L_{DATA}}{T} ;$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,0639801} = 0,76 \text{ Mbps};$$

Kanalo η efektyvumas nustatomas, kaip realios kanalo pralaidumo gebos ir duomenų perdavimo spartos santykis.

$$\eta = \frac{C}{R_{DATA}} ;$$

$$\eta = \frac{0,76}{1} \times 100\% = 76\% ;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 1 \text{ Mbps}$, būtina $63980,1 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $0,76 \text{ Mbps}$

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 76\%$

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $12464 \mu s$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 2 \text{ Mbps}$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10$$

$$T = 50 + 6328 \times 5 + 304 \times 5 + 90 + 0,1 = 33300,1 \mu s ;$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T} ;$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,0333001} \approx 1,5 \text{ Mbps};$$

$$\eta = \frac{1,5}{2} \times 100\% = 75\% ;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 2 \text{ Mbps}$, būtina $33300,1 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $1,5 \text{ Mbps}$

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 75\%$

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $6328 \mu s$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 5,5 \text{ Mbps}$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10$$

$$T = 50 + 2423,3 \times 5 + 304 \times 5 + 90 + 0,1 = 13776,46 \mu\text{s};$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T};$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,01377646} \approx 3,6 \text{ Mbps}$$

$$\eta = \frac{3,6}{5,5} \times 100\% = 65\%$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 5,5 \text{ Mbps}$, būtina $13776,46 \mu\text{s}$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $3,6 \text{ Mbps}$

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 65\%$

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $2423,3 \mu\text{s}$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 11 \text{ Mbps}$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10$$

$$T = 50 + 1307,6 \times 5 + 304 \times 5 + 90 + 0,1 = 8198,1 \mu\text{s};$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T};$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,0081981} \approx 6 \text{ Mbps}$$

$$\eta = \frac{6}{11} \times 100\% = 55\%$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 11 \text{ Mbps}$, būtina $8198,1 \mu\text{s}$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi 6 Mbps

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 55\%$

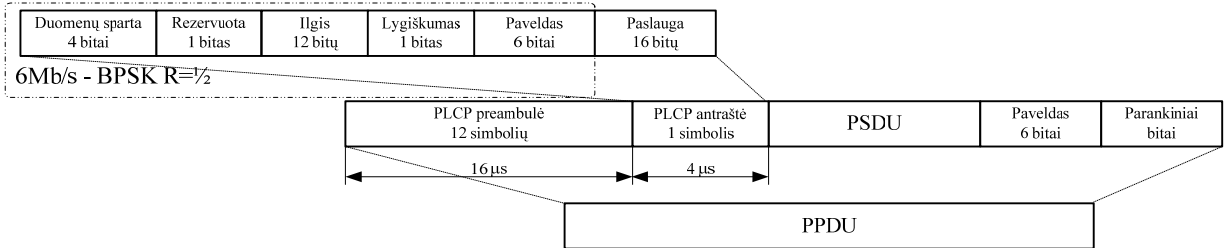
1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $1307,6 \mu\text{s}$.

8 lentelė. IEEE 802.11b standarto teorinio įvertinimo rezultatai

Perdavimo sparta, Mbps	Pralaidumo geba, Mbps	Kanalo efektyvumas, %	Vėlinimo laikas, ms
1	0,76	76	12,5
2	1,5	75	6,3
5,5	3,6	65	2,4
11	6	55	1,3

3.2.2 IEEE 802.11g standarto pralaidumo gebos, kanalo efektyvumo ir vėlinimo laiko teorinis įvertinimas

IEEE 802.11b kadro struktūra parodyta pav. 35.



3.35 pav. IEEE 802.11g standarto kadro struktūra

Parametrai (pagal IEEE 802.11g standartą) būtini teoriniam pralaidumo gebos, kanalo efektyvumui ir perduodamų duomenų vėlinimo laiko vertinimui pateikiami 8 lentelėje.

9 lentelė. IEEE 802.11g standarto parametrai

Parametras	Reikšmė
T_{SIFS}	10
T_{DIFS}	50
L_{ACK}	14
L_{MAC}	34
$T_{Preamble}$	16
$T_{PLCPheader}$	4
T_{EX}	6
$L_{Service}$	16
L_{Tail}	6
R_{ACK}	54

Patvirtinimo ACK kadro išsiuntimo laikas, duomenų kadro išsiuntimo laikas ir šių kadro sklaidimo laikas apskaičiuojami pagal formules:

$$T_{ACK} = T_{Preamble} + T_{PLCPheader} + \frac{8L_{ACK} + L_{Service} + L_{Tail}}{R_{ACK}} + T_{EX};$$

$$T_{DATA} = T_{Preamble} + T_{PLCPheader} + \frac{L_{Service} + L_{Tail} + 8(L_{MAC} + MSDU)}{R_{DATA}} + T_{EX};$$

$$T_{Skid} = \frac{l}{v};$$

Pirmiausia apskaičiuojamas laikas T , reikalingas bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 54 Mbps$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10$$

$$T = 50 + 253,66 \times 5 + 28,5 \times 5 + 90 + 0,1 = 1550,93 \mu s;$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T};$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,00155093} \approx 31 Mbps;$$

$$\eta = \frac{31,5}{54} \times 100\% = 58\%;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 54 Mbps$, būtina $1550,93 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $31 Mbps$.

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 58\%$.

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $253,66 \mu s$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 24 Mbps$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10;$$

$$T = 50 + 538,25 \times 5 + 31,58 \times 5 + 90 + 0,1 = 2989,25 \mu s;$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T};$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,00298925} \approx 16 Mbps;$$

$$\eta = \frac{16,3}{24} \times 100\% = 68\%;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 24 Mbps$, būtina $2989,25 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $16 Mbps$.

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 68\%$.

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $538,25 \mu s$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 12 Mbps$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10;$$

$$T = 50 + 1050,5 \times 5 + 37,16 \times 5 + 90 + 0,1 = 5578,4 \mu s ;$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T} ;$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,0055784} \approx 8,75 \text{ Mbps};$$

$$\eta = \frac{8,75}{12} \times 100\% = 73\%;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 12 \text{ Mbps}$, būtina $5578,4 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $8,75 \text{ Mbps}$.

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 73\%$.

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $1050,5 \mu s$.

Apskaičiuosime laiką T , reikalingą bylai perduoti, kai $R_{DATA} = 6 \text{ Mbps}$:

$$T = T_{DIFS} + T_{DATA} \times 5 + T_{ACK} \times 5 + T_{SIFS} \times 9 + T_{Skid} \times 10;$$

$$T = 50 + 2075 \times 5 + 48,3 \times 5 + 90 + 0,1 = 10756,6 \mu s ;$$

$$C = \frac{L_{DATA}}{T} ;$$

$$C = \frac{6400 \times 8}{0,0107566} \approx 4,5 \text{ Mbps};$$

$$\eta = \frac{4,54}{6} \times 100\% = 76\%;$$

Kad būtų perduota 6400 baitų dydžio byla, kai $R_{DATA} = 6 \text{ Mbps}$, būtina $10756,6 \mu s$.

Pralaidumo geba apytiksliai lygi $4,5 \text{ Mbps}$.

Kanalo efektyvumas lygus $\eta = 76\%$.

1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas lygus $2075 \mu s$.

10 lentelė. IEEE 802.11g standarto teorinio įvertinimo rezultatai

Perdavimo sparta, Mbps	Pralaidumo geba, Mbps	Kanalo efektyvumas, %	Vėlinimo laikas, ms
6	4,5	76	2
12	8,75	73	1
24	16	68	0,5
54	31	58	0,25

Kaip rodo teorinis tyrimas, IEEE 802.11b standarto „*Ad-Hoc*” tinklo pralaidumo geba, kai duomenų perdavimo sparta 11 Mbps, apytiksliai lygi 6 Mbps, o 1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas yra 1,3 ms. IEEE 802.11g standarto „*Ad-Hoc*” tinklo pralaidumo geba, kai duomenų perdavimo sparta 54 Mbps, apytiksliai lygi 31 Mbps, o 1 perduodamo duomenų kadro vėlinimo laikas yra 0,25 ms.

Eksperimentinio tyrimo rezultatai rodo, kad IEEE 802.11b standarto „*Ad-Hoc*” tinklo pralaidumo geba, kai duomenų perdavimo sparta 11 Mbps, lygi 6,2 Mbps, o apytikslis paketo priėmimo - perdavimo laikas yra apie 3 ms. IEEE 802.11g standarto „*Ad-Hoc*” tinklo pralaidumo geba, kai duomenų perdavimo sparta 54 Mbps, lygi 26 Mbps, o apytikslis paketo priėmimo-perdavimo laikas yra apie 1 ms.

WLAN kokybinių charakteristikų teorinių tyrimų rezultatai praktiškai nesiskiria nuo eksperimentinių tyrimų rezultatų, išskyrus IEEE 802.11g standarto pralaidumo gebos rezultatą. IEEE 802.11g standarto pralaidumo gebos teorinis įvertinimas parodė, kad, esant idealioms sąlygoms, pralaidumo geba teoriškai gali siekti iki 31 Mbps.

4. PROGRAMINĖS ĮRANGOS KŪRIMAS

Šiame baigiamojo darbo aiškinamojo rašto skyriuje pateikti, aptarti pagrindiniai programinės įrangos kūrimo etapai: reikalavimų specifikacija, architektūros projektavimas, programavimas, testavimas.

4.1 REIKALAVIMŲ SPECIFIKACIJA

Programinės įrangos paskirtis

Programinės įrangos paskirtis - bevielių lokalių tinklų pralaidumo, perduodamų duomenų vėlinimo laiko radimas, skaičiavimas, nustatymas, įvertinimas, analizė. Programa skirta WLAN tyrimui. Ji leidžia greitai ir paprastai sukurti tinklų modelius, nustatyti jų kokybines charakteristikas.

Užsakovai, pirkėjai ir kiti sistema suinteresuoti asmenys

Užsakovai

Prof. dr. R.Plėštys

Adresas:

Kauno Technologijos Universitetas

Informatikos fakultetas, Kompiuterių tinklų katedra

Studentu g. 50 - 416

LT-51368, Kaunas, Lietuva

Telefonas: +370 37 300999

El. paštas: plestys@tef.ktu.lt

Kiti sprendimus priimančys asmenys

Prof. dr. R.Plėštys

Adresas:

Kauno Technologijos Universitetas

Informatikos fakultetas, Kompiuterių tinklų katedra

Studentu g. 50 - 416

LT-51368, Kaunas, Lietuva

Telefonas: +370 37 300999

El. paštas: plestys@tef.ktu.lt

Vartotojai

Vartotojo kategorija:	Universitetai, Mokslinės grupės, Programinės įrangos projektavimo ir kūrimo įmonės
Vartotojo sprendžiami uždaviniai:	Agregatų schemas surinkimas, pradinių duomenų įvedimas, schemas redagavimas, išsaugojimas, skaičiavimų paleidimas, gautų rezultatų įvertinimas ir analizė.
Patirtis dalykinėje srityje:	Patyręs
Patirtis informacinėse technologijose:	Patyręs
Papildomos vartotojo charakteristikos:	Vartotojas turi būti susipažinęs su techninėmis galimybėmis programinės įrangos, mokėti dirbti su programine įranga.

Projekto apribojimai

Įpareigojantys apribojimai

Apribojimai sprendimui

Programa turi veikti tokius minimalius techninius reikalavimus atitinkančiuose kompiuteriuose, t.y. kompiuteriuose su Microsoft Windows operacine sistema:

- Procesorius: 233 MHz
- Operatyvioji atmintis: 64 Mb
- Laisva išorinė atmintis 2 GB

Diegimo aplinka

Programa turi būti diegiama Windows operacinės sistemos aplinkoje.

Bendradarbiaujančios sistemos

Aprašyta programa veikia su Microsoft .NET Framework 2.0 programine įranga.

Komerciniai specializuoti programų paketai

Komerciniai specializuoti programų paketai šioje programoje nebus naudojami.

Numatoma darbo vietos aplinka

Darbo vieta yra mobili. Darbo vieta gali būti bet kuri vieta, kurioje yra kompiuteris, atitinkantis 4.1 skirsnyje aprašytas charakteristikas.

Sistemos kūrimo terminai

Sistemos kūrimas, testavimas, įdiegimas ir vartotojų dokumentacijos paruošimas turi būti baigtas iki 2008 m. gegužės mėn. pabaigos.

Sistemos sukūrimo biudžetas

Sistema yra kuriama nemokamai, kaip informatikos magistro studijų baigiamasis darbas.

Terminų žodynas

- ✓ **Agregatas** - sistemos objektas.
- ✓ **Agregatų schema** – surinkti agregatai ir pavaizduoti ryšiai tarp jų.
- ✓ **Specifikacija** - sistemos funkcionalumo aprašymas formaliais metodais.

Svarbūs faktai ir prielaidos

Svarbūs faktai

Sistemos kodo be komentarų apimtis turi būti ne mažesnė kaip 5 kB.

Sistemos priėmimui reikalingas magistro darbo aiškinamasis raštas.

Prieš priėmimą sistema turi būti įvertinta magistro darbo vadovo dešimties balų sistema, be to, įvertinimas turi būti ne mažiau kaip 5 balai.

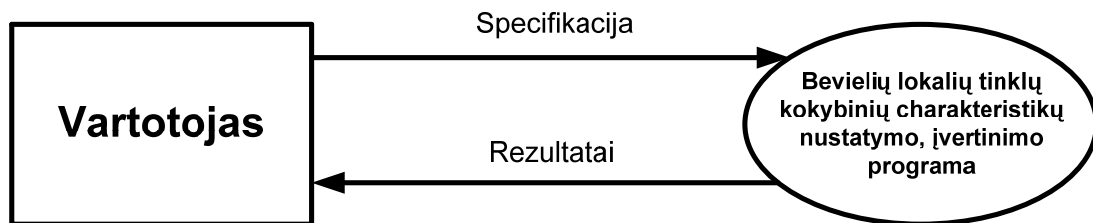
Prielaidos

Kauno Technologijos Universiteto magistro baigiamojo darbo normos ir terminai žymiai nesikeis.

FUNKCINIAI REIKALAVIMAI

VEIKLOS SFERA

Veiklos kontekstas



4.1 pav. Veiklos konteksto diagrama

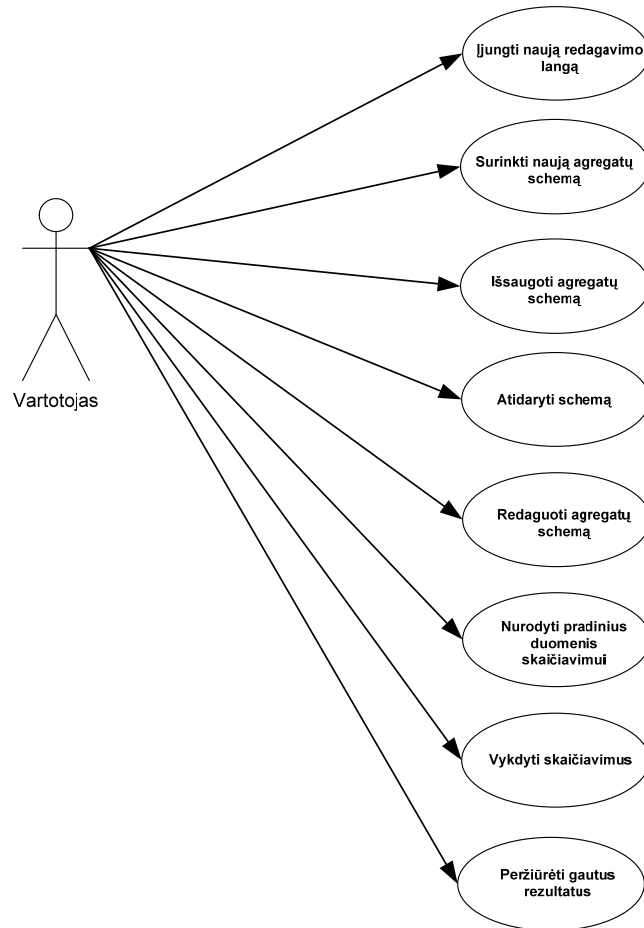
Veiklos padalinimas

11 lentelė. Veiklos padalinimas

Eil. Nr.	Įvykio pavadinimas	Išeinantys / įeinantys informacijos srautai
1.	Agregatų schemas surinkimas	Agregatinės specifikacijos duomenys (in)
2.	Pradinių duomenų įvedimas	Pradiniai duomenys (in)
3.	Skaičiavimų paleidimas	Pradiniai duomenys (in)
4.	Skaičiavimų pabaiga	Skaičiavimų rezultatai (out)
5.	Gaunamų rezultatų įvertinimas	Skaičiavimų rezultatai (out)
6.	Rezultatų išsaugojimas	Skaičiavimų rezultatai (out)

PRODUKTO VEIKLOS SFERA

Sistemos ribos



4.2 pav. Panaudojimo atvejų diagrama

Panaudojimo atvejų sąrašas

12 lentelė. Panaudojimo atvejis „Ijungti naują redagavimo langą“

Nr.	1
Pavadinimas:	Ijungti naują redagavimo langą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Ijungiamas naujas redagavimo langas.
Prieš sąlyga:	Sugalvojama, kaip bus aprašoma norima specifiuoti programa, kokie agregatai ją sudarys.
Sužadinimo sąlyga:	Vartotojas nori įjungti naują redagavimo langą.

Po sąlyga:	Ijungtas naujas redagavimo langas
------------	-----------------------------------

13 lentelė. Panaudojimo atvejis „Surinkti naują agregatų schemą“

Nr.	2
Pavadinimas:	Surinkti naują agregatų schemą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Surenkama nauja agregatinė schema, kiekvienas agregatas aprašomas, nurodomos jo savybės. Nupiešiami sujungimai tarp agregatų
Prieš sąlyga:	Ijungtas naujas redagavimo langas
Sužadinimo sąlyga:	Vartotojas nori surinkti naują schemą
Po sąlyga:	Surenkama schema susidedanti iš agregatų, ryšių tarp jų, nurodomos operacijos ir kiti specifikacijos duomenys

14 lentelė. Panaudojimo atvejis „Išsaugoti agregatų schemą“

Nr.	3
Pavadinimas:	Išsaugoti agregatų schemą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Schemas išsaugomos, kad būtų galima jas vėliau redaguoti, panaudoti
Prieš sąlyga:	Schema turi būti surinkta
Sužadinimo sąlyga:	Pasirenkama atitinkama komanda operacijai atlikti
Po sąlyga:	Schema išsaugota kompiuterio pastoviojoje atmintyje.

15 lentelė. Panaudojimo atvejis „Atidaryti schemą“

Nr.	4
Pavadinimas:	Atidaryti schemą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas

Aprašas:	Atidaromos diske ar kitoje laikmenoje išsaugotos agregatų schemos.
Prieš sąlyga:	Tokia schema turi egzistuoti, reikia nurodyti kelią iki jos ir jos pavadinimą diske
Sužadinimo sąlyga:	Nurodomas schemos pavadinimas ir kelias iki jos
Po sąlyga:	Schema atidaroma ekrane ir vartotojas gali ja peržiūrėti arba redaguoti

16 lentelė. Panaudojimo atvejis „Redaguoti agregatų schemą“

Nr.	5
Pavadinimas:	Redaguoti agregatų schemą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Galima redaguoti anskčiau išsaugotą ir dabar atidarytą schemą, ją papildyti kitais agregatais, pašalinti juos arba ryšiais (taip pat pašalinti ryšius). Galima keisti specifikacijos duomenis
Prieš sąlyga:	Schema turi būti atidaryta po išsaugojimo
Sužadinimo sąlyga:	Vartotojas nori redaguoti atidarytą schemą
Po sąlyga:	Schema pataisoma, pakeičiama

17 lentelė. Panaudojimo atvejis „Nurodyti pradinis duomenis skaičiavimui“

Nr.	6
Pavadinimas:	Nurodyti pradinis duomenis skaičiavimui
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Kokybinių charakteristikų skaičiavimui pradėti yra reikalingi pradiniai duomenys
Prieš sąlyga:	Vartotojas nori pradėti skaičiavimą, programa turi būti specifikuota agregatais
Sužadinimo sąlyga:	Vartotojas nori nurodyti pradinis duomenis skaičiavimui
Po sąlyga:	Pradedamas vykdyti skaičiavimas

18 lentelė. Panaudojimo atvejis „Vykdėti skaičiavimą“

Nr.	7
Pavadinimas:	Vykdyti skaičiavimą
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Vykdomas surinktos agregatų schemas kokybinių charakteristikų skaičiavimas
Prieš sąlyga:	Programa turi būti specifikuota agregatais
Sužadinimo sąlyga:	Paleidžiamas skaičiavimas nurodant pradines sąlygas
Po sąlyga:	Gaunami skaičiavimo rezultatai

19 lentelė. Panaudojimo atvejis „Peržiūrėti gautus rezultatus“

Nr.	8
Pavadinimas:	Peržiūrėti gautus rezultatus
Vartotojo/aktoriaus pavadinimas:	Vartotojas
Aprašas:	Po skaičiavimo pateikiami rezultatai, iš kurių galima įvertinti kokybines charakteristikas
Prieš sąlyga:	Turi būti įvykdytas skaičiavimas
Sužadinimo sąlyga:	Atitinkamos komandos sužadinimas
Po sąlyga:	Rezultatai pateikiami ekrane

FUNKCINIAI REIKALAVIMAI

Reikalavimas #:	1	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis	1
			#:	
Aprašymas:	Galimybė vartotojui sukurti naują agregatų schemą. Meniu punktas, įrankių juostos mygtukas, kuris sukuria tuščią redagavimo langą			
Pagrindimas:	Galimybė vartotojui pradėti kurti naują schemą			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima bus kurti naujas schemas			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4	

Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15		

Reikalavimas #:	2	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	2
Aprašymas:	Iš įrankių juostos išsirinkti agregato objektą ir jį įsidėti į schemą			
Pagrindimas:	Agregatas įdedamas į pelė pažymėtą jam vietą. Jam duodamas automatiškai sugeneruotas vardas			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima kūrėti agregatų schemas			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	3	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	2
Aprašymas:	Sujungti agregatus juos siejančiais ryšiais			
Pagrindimas:	Kad schemoje būtų nurodyta, kokias kanalais vaikšto duomenys tarp agregatų, reikia iš įrankių juostos pasirinkti ryšio kūrimo įrankį, pažymėti pradinį agregatą, galinį agregatą ir tokiu būdu sukuriamas ryšys			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima kurti agregatų schemas			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	4	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	3
Aprašymas:	Išsaugoti schemas diske			
Pagrindimas:	Kad schemą galima būtų naudoti vėliau, ją išsaugome kietajame diske. Meniu punktas ir įrankių juostos mygtukas leidžia išsaugoti schemas diske. Jei saugoma schema nauja, pasiūloma suteikti jai vardą.			

Šaltinis:	Vartotojas		
Tikimo kriterijus:	Galimybė saugoti schemas vėlesniam naudojimui		
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15		

Reikalavimas #:	5	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	4
Aprašymas:	Užkrauti anksčiau užsaugotą schemą iš disko.			
Pagrindimas:	Įrankių juostos mygtukas užkraunantis schemą iš disko. Jei yra atidaryta kokia schema, reikia paklausti, ar išsaugoti pakeitimus.			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima atidaryti išsaugotą schemą.			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	6	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	5
Aprašymas:	Pašalinti norimą agregatą iš schemos			
Pagrindimas:	Jei vartotojas sukūrė netinkamą agregatą, jis jį galės pašalinti, paspaudus du kartus pelės dešiniuoju klavišu ant pasirinkto agregato. Šalinant agregatą šalinami ir su juo susiję ryšiai.			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima redaguoti agregatų schemas			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	7	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	6
Aprašymas:	Nurodyti pradinius duomenis skaičiavimui.			

Pagrindimas:	Kad būtų atlikti skaičiavimai, vartotojui reikia nurodyti pradinius duomenis. Kiekvienas agregatas aprašomas konkrečiai jį specifikuojančiomis savybėmis. Vartotojas turi šias savybes įvesti, nustatyti, vėliau redaguoti. Paspaudus du kartus pelės kairiuoju klavišu ant pasirinkto agregato, atsiveria langas, kuriame šias savybes galima įvesti, nustatyti.		
Šaltinis:	Vartotojas		
Tikimo kriterijus:	Galima atlikti kokybinių charakteristikų skaičiavimą		
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15.		

Reikalavimas #:	8	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	7
Aprašymas:	Skaičiavimų vykdymas			
Pagrindimas:	Vykdomas surinktos agregatų schemos kokybinių charakteristikų skaičiavimas			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima atlikti skaičiavimus			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15.			

Reikalavimas #:	9	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	8
Aprašymas:	Gautų rezultatų peržiūra			
Pagrindimas:	Atlikus skaičiavimą, gaunami rezultatai. Čia galima peržiūrėti rezultatus, juos įvertinti, išanalizuoti			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Galima atlikti kokybinių charakteristikų skaičiavimus			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	

Papildoma medžiaga:	Nėra
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15.

NEFUNKCINIAI REIKALAVIMAI

Reikalavimai sistemos išvaizdai

Reikalavimas #:	10	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Lengvai valdoma sąsaja			
Pagrindimas:	Vartotojas neturėtų ilgai mokytis ir pratintis surinkti schemas. Jos turi būti intuityviai suvokiamos			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Lengvai suprantama ir patogi sąsaja			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	11	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Schemų surinkimo įrankių „toolbars“			
Pagrindimas:	Vartotojui turi būti šalia dažniausiai naudojami įrankiai, kad būtų galima greičiau ir patogiau jais naudotis.			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Greitas schemų surinkimas			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15.			

Reikalavimai panaudojamumui

Reikalavimas #:	12	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Programa turi neleisti vartotojui daryti klaidų surenkant schemą			
Pagrindimas:	Programoje turi veikti tam tikros schemų surinkimo taisyklės, kad nebūtų			

	galima agregatų junginėti ir surinkti ne pagal agregatinių specifikacijų taisykles	
Šaltinis:	Vartotojas	
Tikimo kriterijus:	Agregatinių specifikacijos teisingos	
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas: 5
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai: Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra	
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15	

Reikalavimas #:	13	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Programa įsisavinama be specialaus apmokymo			
Pagrindimas:	Dirbantis vartotojas su programa gali būti tik agregatinių specifikacijų žinovas, tačiau jis turi lengvai suprasti kaip surinkti agregatų schemas be apmokymo			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Programa galima dirbti be apmokymų			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	3	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	14	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Programos universalumas kalbos atžvilgiu			
Pagrindimas:	Programa gali naudotis ne tik Lietuvoje, bet ir užsienio universitetuose. Reikia, kad programos meniu ir visus pranešimus būtų galima pateikti kita kalba			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Programą gali naudoti užsienyje			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	3	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	15	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Programoje turi būti įdiegta visapusiška pagalba vartotojui			
Pagrindimas:	Jei vartotojas nežino ar neranda kažkokios informacijos apie programą, jis ją gali realiu laiku pasižiūrėti sistemos pagalbos vadove, kuris pateikiamas kartu su programa			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Pagalba vartotojui.			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	3	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimai vykdymo charakteristikoms

Reikalavimas #:	16	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Efektyvus resursų panaudojimas			
Pagrindimas:	Programa turi netrukdyti kitoms programoms, efektyviai naudoti resursus. Turi būti nustatyti tam tikri resursų naudojimo prioritetai kitų programų atžvilgiu			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Efektyviai paskirstyti resursai			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	3	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimas #:	17	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Efektyvus užduočių vykdymas			
Pagrindimas:	Programa turi atlikti užduotis kaip galima per greitesnį laiką, negali sukelti įtarimo vartotojui, kad užduotis nevykdoma			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Greitai vykdomos užduotys			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	5	

Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15		

Reikalavimas #:	18	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Išplečiamumas			
Pagrindimas:	Programa turi leisti vėliau ją papildyti naujais komponentais. Tas papildymas labai priklauso nuo komponentų, tačiau dažniausiai komponentai pridedami jau suprogramuoti programai			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Lengvai išplečiama programa			
Užsakovo tenkinimas:	2	Užsakovo netenkinimas:	2	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimai veikimo sąlygoms

Reikalavimas #:	19	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Paprastas produkto įdiegimas			
Pagrindimas:	Turi būti padaryta taip, kad vartotojui nereikėtų sudėtingai įdiegti programą savo kompiuteryje			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Lengvas programos diegimas			
Užsakovo tenkinimas:	5	Užsakovo netenkinimas:	4	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Reikalavimai programos priežiūrai

Reikalavimas #:	20	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Tikslus ir visada vykdomas dokumentavimas			
Pagrindimas:	Atliekant palaikymo darbus labai padeda sistemingi archyvai ir tikslūs aprašymai to, kad buvo daryta			

Šaltinis:	Vartotojas		
Tikimo kriterijus:	Lengvesni palaikymo darbai		
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	4
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15		

Reikalavimai saugumui

Reikalavimas #:	21	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Sistema neleis įvesti klaidingos informacijos			
Pagrindimas:	Agregatinės specifikacijos gana sudėtingas dalykas, aprašomos formaliai, todėl galima lengvai suklysti			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Agregatinių specifikacijų charakteristikų tikrinimas loginiu požiūriu			
Užsakovo tenkinimas:	4	Užsakovo netenkinimas:	4	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Kultūriniai-politiniai reikalavimai

Reikalavimas #:	22	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Programoje naudojama korektiška lietuvių kalba, nežargoniniai terminai			
Pagrindimas:	Jei programoje bus naudojami kompiuterių žargoninės kalbos terminai, tai gali atbaidyti tuos vartotojus, kurie nėra kompiuterių specialistai			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Sukurta programa atitinka lietuvių kalbos etikos normas			
Užsakovo tenkinimas:	3	Užsakovo netenkinimas:	3	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

Teisiniai reikalavimai

Reikalavimas #:	23	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
-----------------	----	--------------------	---------------------------------	-----

Aprašymas:	Teisėtas projektas		
Pagrindimas:	Kuriama programa turi būti teisėta. Tai negali būti kažkieno kopijuojamas darbas arba pasisavinamas be susitarimo		
Šaltinis:	Vartotojas		
Tikimo kriterijus:	Visos produkto teisės priklauso programos kūrėjui		
Užsakovo tenkinimas:	4	Užsakovo netenkinimas:	5
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra
Papildoma medžiaga:	Nėra		
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15		

Reikalavimas #:	24	Reikalavimo tipas:	Įvykis / panaudojimo atvejis #:	1-8
Aprašymas:	Išeities kodo atvirumas			
Pagrindimas:	Produkto išeities kodas nėra komercinis produktas, jis skirtas universiteto mokomiesiems tikslams			
Šaltinis:	Vartotojas			
Tikimo kriterijus:	Produkto išeities kodas gali būti atskleistas mokomiesiems tikslams, tačiau bet koks jo panaudojimas turi būti suderintas su kūrėjais			
Užsakovo tenkinimas:	4	Užsakovo netenkinimas:	5	
Priklausomybės	Nėra	Konfliktai:	Nėra	
Papildoma medžiaga:	Nėra			
Istorija:	Užregistruotas 2008 vasario 15			

EGZISTUOJANTYS SPRENDIMAI

Pagamintos sistemos, kurios gali būti nupirktos

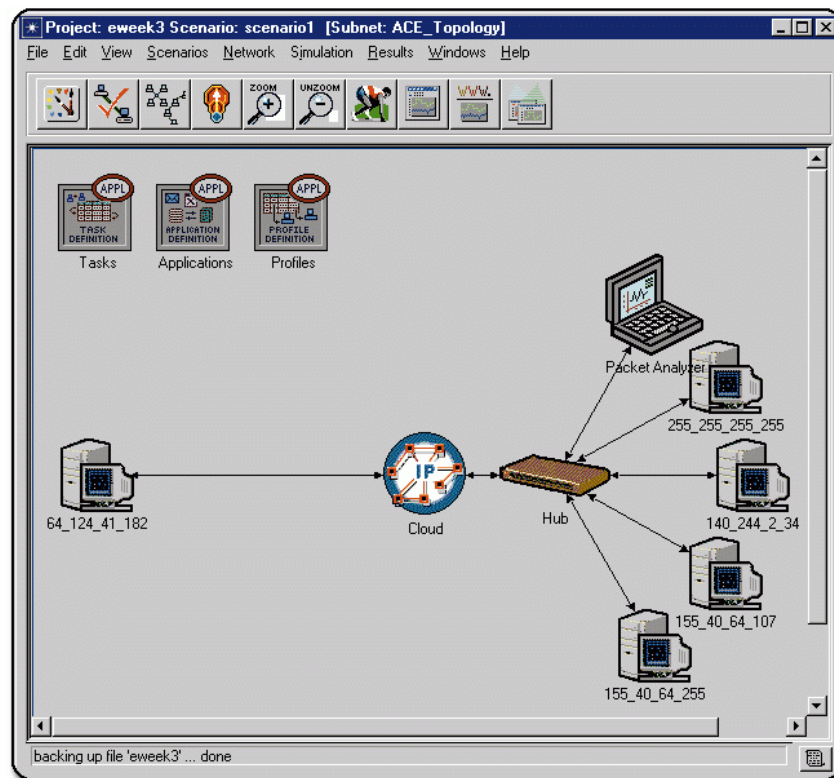
Kuriamos programinės įrangos analogai yra COMNET III, BONEs DESIGNER, OPNET Modeler, NS-2. Paminėtos programinės įrangos palyginimas pateiktas 20 lentelėje.

20 lentelė. Programinės įrangos palyginimas

Gamintojas ir PĮ pavadinimas	Kaina, \$	Operatyvio s atminties talpa, MB	Kietojo disko talpa, MB	Operacinė sistema	Modeliavimas
Caci Products Co. COMNET III	35.000	nuo 32	nuo 100	Windows 98/NT/2000/XP SunOS, Solaris	LANs, WLANs, IP, X.25, ATM

Cadence Inc. BONeS DESIGNER	20.000	nuo 32	nuo 80	SunOS, Solaris	LANs, WLANs, IP, X.25, ATM, FR
MIL3, Inc. OPNET MODELER	40.000	nuo 32	nuo 150	Windows 98/NT/2000/XP SunOS, Solaris	LANs, WLANs, IP, X.25, ATM, FR
VINT Project NS-2	-	nuo 16	nuo 250	SunOS, Solaris, Linux, FreeBSD	LANs, WLANs, IP, X.25, ATM

Visi paminėti programų produktai turi dideles galimybes (LAN, WLAN, WAN tinklų analizė ir tyrimas), lengvai valdomą, patogią ir suprantamą vartotojo sąsają. Vartotojas turi galimybę aprašyti tinklo struktūrą, topologiją, įrenginius, srautų šaltinius ir jų charakteristikas. Todėl matomas nustatomas tinklo pralaidumas, vėlinimo laikas, tinklo apkarautumas ir kitos charakteristikos. Paminėti programų produktai skiriasi tuo, kad *BONeS DESIGNER*, *OPNET Modeler* ir *NS-2* sukurti su C++ programavimo kalbos pagalba, o *COMNET III* su SIMSCRIPT programavimo kalba. Pats populiariausias, brangiausias ir sudėtingiausias iš paminėtų programų produktų - *OPNET Modeler* [13]. Didžioji paminėtų programų paketų dalis turi dideles galimybes, tačiau ir kainos labai didelės, todėl jie nedidelėms įmonėms yra neprieinami.



4.3 pav. Programinės įrangos *OPNET Modeler* pagrindinis langas

Pagaminti komponentai, kurie gali būti panaudoti

Tokių komponentų nėra.

Galimas pakartotinas panaudojimas

Pakartotinai panaudoti kitas sistemas nėra skirta lėšų, nes tam reiktų gauti išėties kodus, analizuoti padarytas sistemas.

Naujos problemos

Kadangi ši programa yra visiškai naujas produktas, ji nesukelia pereinamumo problemų.

Reikalingas duomenų transformavimas perkeliant į naują sistemą

Duomenų transformavimas į naują programą nebus atliekamas. Tačiau jei kažkada prireiks tai atlikti, tai bus daroma kitu etapu.

Rizikos

Šio projekto nesėkmės rizika yra labai maža, nes sistemos kūrėjas yra ne mažiau suinteresuotas projekto sėkminga pabaiga nei sistemos užsakovas. Galimų projektavimo ir planavimo klaidų rizikos tikimybę mažina projekto vadovas, kuris periodiškai tikrina sistemos kūrimo progresą ir koreguoja tolimesnius veiksmus.

Kaina

Programa yra kuriama nemokamai – kaip informatikos magistro studiju programos dalis ir baigiamasis darbas.

4.2 PROGRAMINĖS ĮRANGOS ARCHITEKTŪRA

4.2.1 Architektūros pateikimas

Kuriamos programinės įrangos architektūra pateikiama keliais aspektais [4], [5]:

- ✓ Panaudojimo atvejų vaizdu;
- ✓ Statiniu vaizdu;
- ✓ Dinaminiu vaizdu;

4.2.2 Architektūros tikslai ir apribojimai

- Kuriamą programinę įrangą yra nekomercinė, ji bus pateikta mokymo tikslams kaip atviro kodo programinė įrangą.
- Programa kuriamą mokymo tikslams, todėl jos architektūra turi būti lengvai suprantama kitiems ir lengvai panaudojama kitiems panašių sričių projektams.
- Programos architektūra turi būti parenkama taip, kad ją galima būtų lengva išplėsti ar prijungti naujus komponentus.
- Programinė įrangą bus kuriamą Microsoft Visual Basic 2005 pagalba.

4.2.3 Programinės įrangos panaudojimo atvejų vaizdas

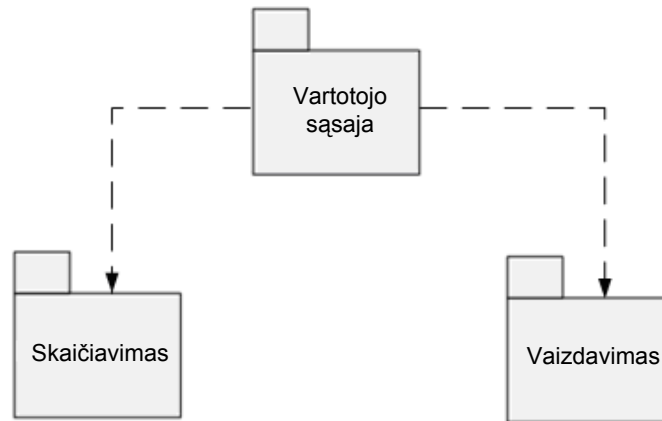
Programinės įrangos panaudojimo atvejų diagrama ir panaudojimo atvejai pateikti 4.1 poskyryje.

4.2.4 Programinės įrangos statinis vaizdas

Toliau aprašoma programinės įrangos loginė struktūra, pateikiamas programinės įrangos išskaidymas į paketus ir juos sudarančias klases.

Programą sudaro 3 paketai: „Vartotojo sąsaja“, „Skaičiavimas“, „Vaizdavimas“. Programą sudarantys paketai pavaizduoti 4.4 paveikslėlyje. Paketas „Skaičiavimas“ skirtas – skaičiavimams atlikti, paketas „Vaizdavimas“ – skaičiavimo rezultatams vaizduoti ir analizuoti. Šie paketai prieinami per paketą „Vartotojo sąsaja“.

Paketas „Vartotojo sąsaja“ leidžia vartotojui surinkti agregatų schemą, redaguoti agregatų schemą, išsaugoti schemą diske, o vėliau ją užkrauti tolesniam redagavimui, paleisti skaičiavimus. Paketo „Vartotojo sąsaja“ struktūra pateikiama 4.5 paveikslėlyje. Paketas turi „VartSąsaja“ klasę.



4.4 pav. Programos išskaidymas į paketus

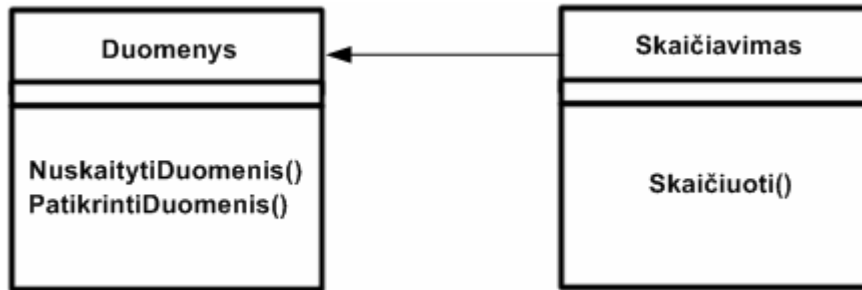
Klasę sudaro tokie metodai: įvestiDuomenys(), redaguotiDuomenis(), paleistiSkaičiavimus(), atidaryti(), išsaugoti().



4.5 pav. Paketo „Vartotojo sąsaja“ struktūra

Paketas „Skaičiavimas“ atlieka visus pagrindinius programos skaičiavimus, kokybinių charakteristikų skaičiavimus. Prieš tai duomenys yra patikrinami ir po to pradedami visi skaičiavimai. Pabaigus skaičiavimus yra vykdomas rezultatų atvaizdavimas. Paketo „Skaičiavimas“ struktūra pateikiama 4.6 paveikslėlyje. Paketas turi „Duomenys“ ir „Skaičiavimas“ klases. Klasę „Duomenys“ sudaro tokie metodai: nuskaitytiDuomenis(), patikrintiDuomenis(). Klasę „Skaičiavimas“ sudaro tokie metodai: skaičiuoti().

Paketas „Vaizdavimas“ atitinka programos dalį, vaizduojančią rezultatus ekrane. Paketo „Vaizdavimas“ struktūra pateikiama 4.7 paveikslėlyje. Paketas turi „RezVaizdavimas“ klasę. Klasę sudaro tokie metodai: atvaizduotiRezultatus().



4.6 pav. Paketo „Skaičiavimas“ struktūra

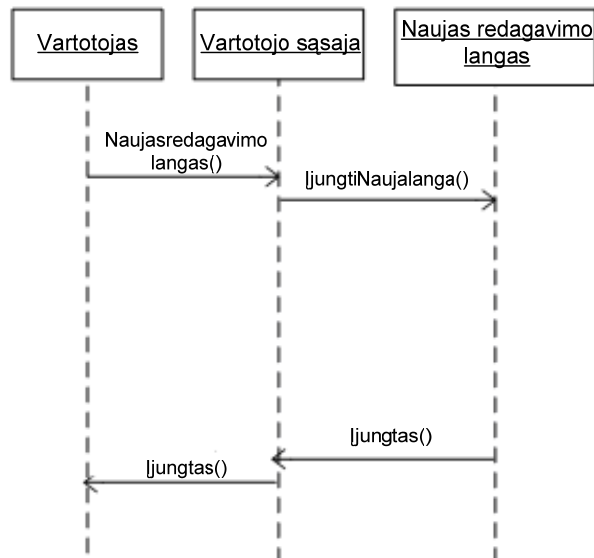


4.7 pav. Paketo „Vaizdavimas“ struktūra

4.2.5 Programinės įrangos dinaminis vaizdas

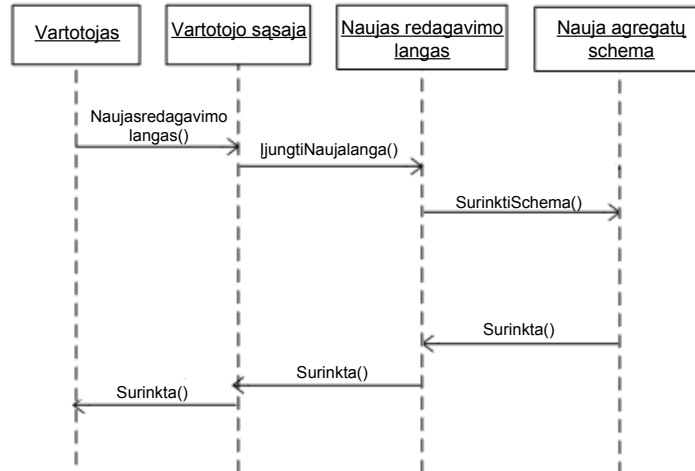
Kuriamos programinės įrangos dinaminiam vaizdams nusakyti naudojamos sąveikos diagramos ir būsenų diagrama.

4.2.5.1 Sąveikos diagramos



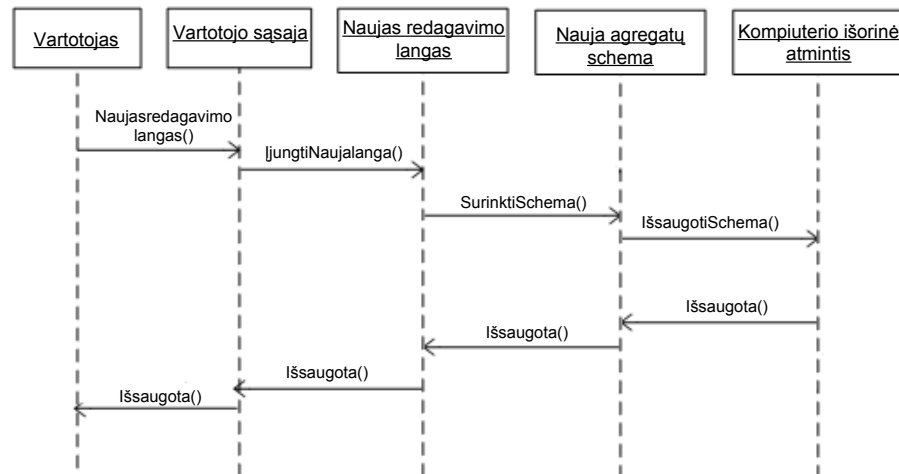
4.8 pav. Sąveikos diagrama „Ijungti naują redagavimo langą“

Paaiškinimas: Tam kad pradėtų darbą su programine įranga, vartotojas turi įjungti naują redagavimo langą.



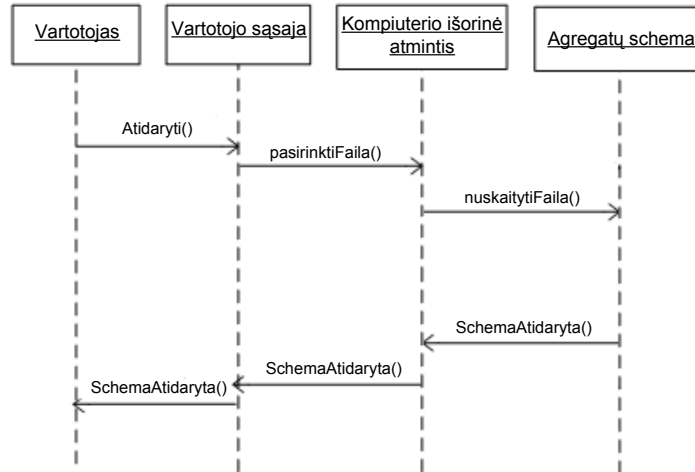
4.9 pav. Sąveikos diagrama „Surinkti naują agregatų schema“

Paaiškinimas: Įjungęs naują redagavimo langą, vartotojas gali pradėti surinkti naują agregatinę schemą, nupiešiami sujungimai tarp agregatų.



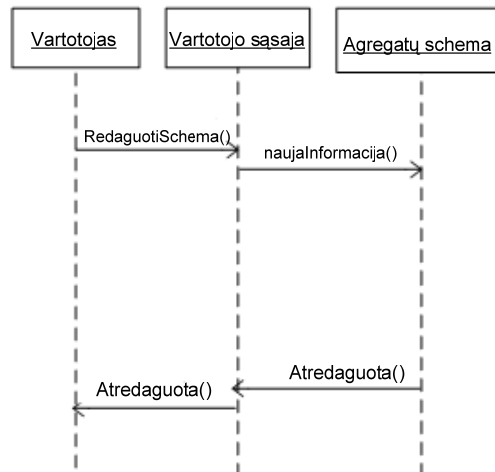
4.10 pav. Sąveikos diagrama „Išsaugoti agregatų schema“

Paaiškinimas: Surinkęs schemą, vartotojas turi galimybę ją išsaugoti kompiuterio kietajame diske, kad galima būtų ją vėliau naudoti, redaguoti.



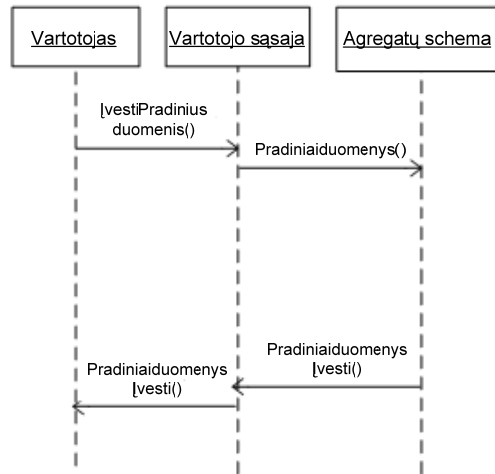
4.11 pav. Sąveikos diagrama „Atidaryti agregatų schema“

Paaiškinimas: Vartotojas turi galimybę įkrauti, atidaryti anksčiau išsaugotą schemą iš disko. Schema atidaroma ir vartotojas gali ją peržiūrėti arba redaguoti.



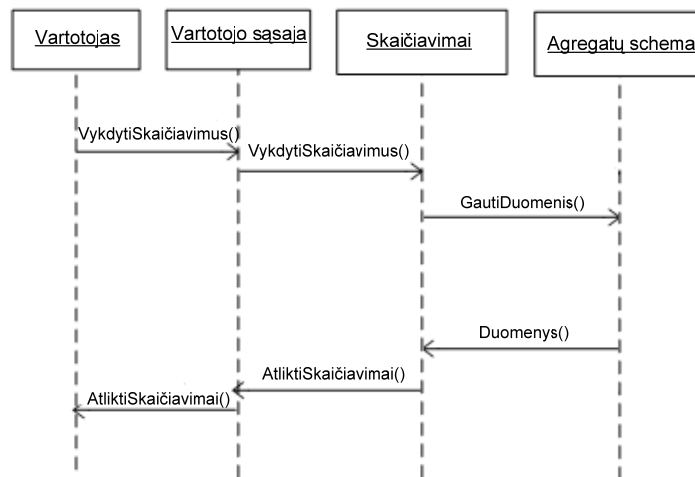
4.12 pav. Sąveikos diagrama „Redaguoti agregatų schema“

Paaiškinimas: Vartotojas gali redaguoti anksčiau išsaugotą ir atidarytą schemą, ją papildyti kitais agregatais, pašalinti juos.



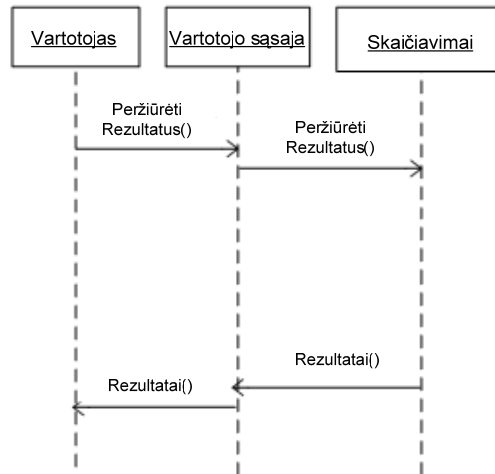
4.13 pav. Sąveikos diagrama „Pradinių duomenų įvedimas“

Paaiškinimas: Tam, kad pradėtų kokybinių charakteristikų skaičiavimus, vartotojas turi įvesti pradinius duomenis.



4.14 pav. Sąveikos diagrama „Skaičiavimų vykdymas“

Paaiškinimas: Vartotojas paleidžia skaičiavimą, nuroydamas pradinius duomenis, ir vykdomas surinktos agregatų schema kokybinių charakteristikų skaičiavimas, nustatymas.



4.15 pav. Sąveikos diagrama „Peržiūrėti gautus rezultatus“

Paiškinimas: Po skaičiavimo pateikiami rezultatai, vartotojas gali peržiūrėti gautus rezultatus, remiantis kuriomis galima įvertinti kokybines charakteristikas.

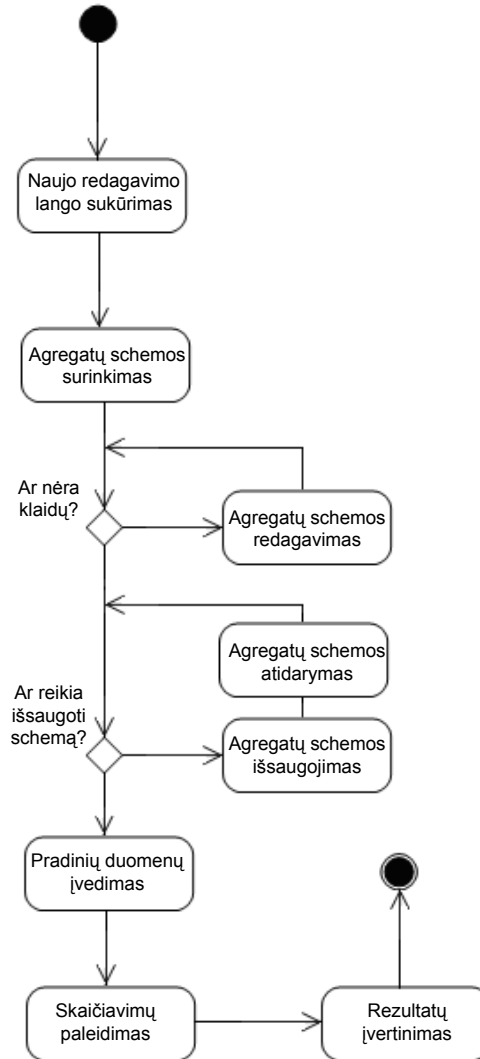
4.2.5.2 Būsenų diagrama

Paiškinimas: Paleidęs programą, vartotojas sukuria naują, tuščią redagavimo langą ir turi galimybę surinkti naują agregatų schemą, susidedančią iš agregatų ir ryšių tarp jų. Vartotojas turi galimybę redaguoti agregatų schemą. Jei vartotojas sukūrė netinkamą agregatą ar nereikalingą ryšį tarp agregatų, jis juos galės pašalinti. Kad surinktą agregatų schemą galima būtų naudoti vėliau, vartotojas gali ją išsaugoti kompiuterio kietajame diske. Vartotojas turi galimybę atidaryti, įkrauti anksčiau išsaugotą schemą iš kompiuterio disko. Kad atliktų skaičiavimus, vartotojas turi nurodyti, įvesti pradinis duomenis ir paleisti skaičiavimus. Atlikus skaičiavimus, gaunami rezultatai. Vartotojas gali peržiūrėti rezultatus, juos įvertinti, išanalizuoti.

4.2.6 Realizacija

Programinės įrangos grafines vartotojo sąsajos vaizdas pateiktas 4.17 paveikslėlyje. Sukurta programinė įranga turi lengvai valdomą grafinę vartotojo sąsają [6]. Grafinė vartotojo sąsaja susideda iš įrankių juostos ir redagavimo lango. Naujam projektui sukurti, projektui atverti iš

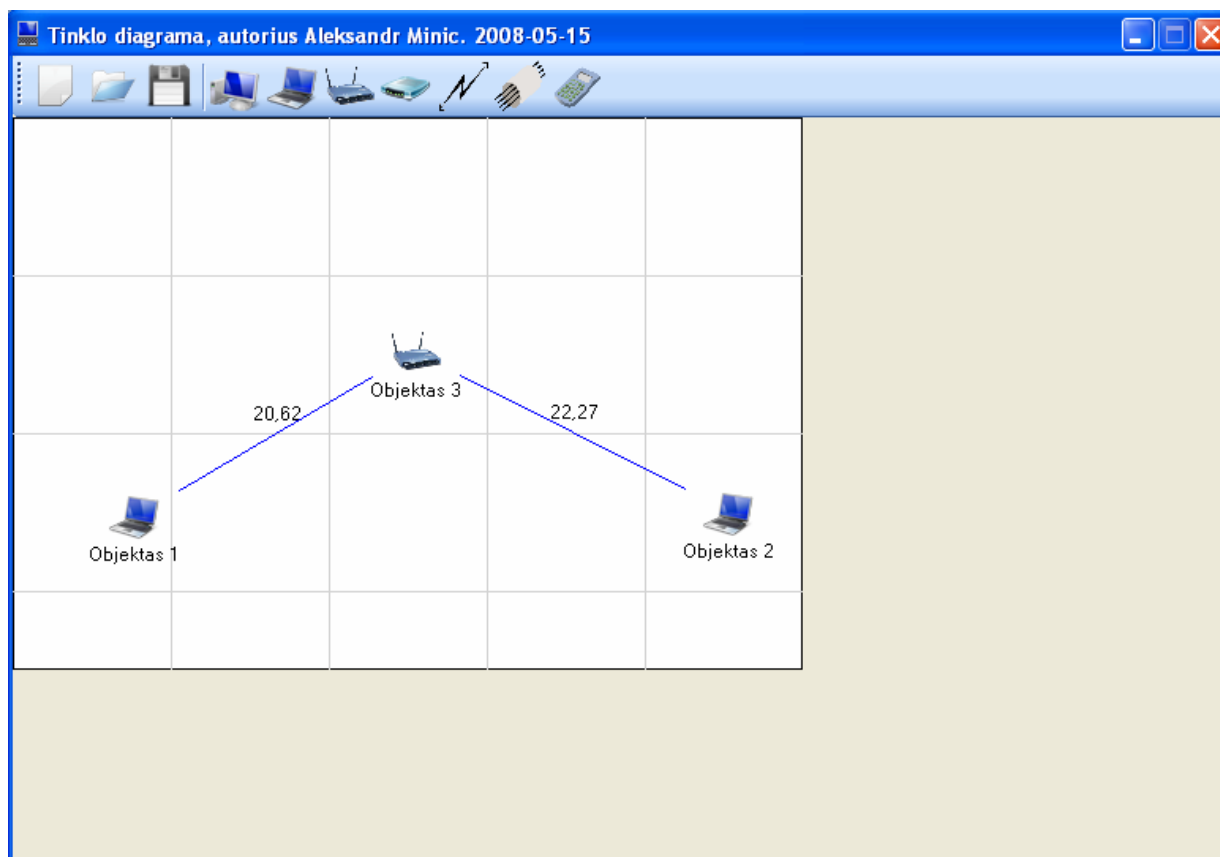
kompiuterio kietojo disko, projektui išsaugoti kompiuterio kietajame diske skirti įrankių juostos mygtukai: „Naujas Projektas“, „Atidaryti Projektą“, „Išsaugoti Projektą“.



4.16 pav. Būsenų diagrama

Schemai surinkti ir redaguoti skirti 7 įrankių juostos mygtukai: „Stacionarus kompiuteris“, „Nešiojamasis kompiuteris“, „Prieigos taškas“, „Komutatorius“, „Wi-Fi sujungimas“, „Ethernet sujungimas“, „Skaičiavimas“. Paleidęs programą, vartotojas įrankių juostos mygtuku „Naujas Projektas“ sukuria, įjungia naują, tuščią redagavimo langą. Paspaudus mygtuką, programa paprašo įvesti naujo, tuščio redagavimo lango matmenis: plotį ir aukštį (4.18 pav.). Lango matmenys nurodami metrais. Tokiu būdu sukuriamas naujas, tuščias redagavimo langas ir vartotojas turi galimybę surinkti naują agregatų schemą (4.19 pav.). Toliau vartotojas turi surinkti schemą, susidedančią iš agregatų ir ryšių tarp jų (4.17 pav.). Tam iš įrankių juostos vartotojas turi išsirinkti norimą agregato objektą, paspausti vieną kartą pelės kairiuoju klavišu ant jo ir jį įsidėti į tuščią

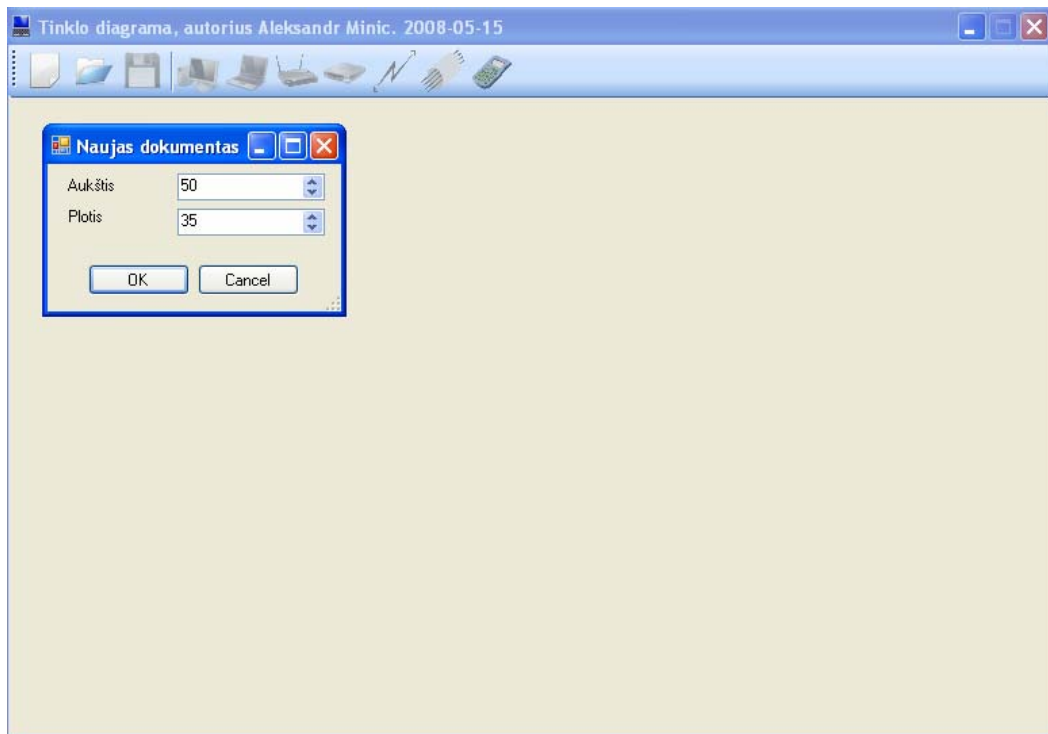
redagavimo langą. Agregatas įdedamas į jam pele pažymėtą vietą tuščiaame redagavimo lange. Kad agregatai būtų sujungti į schemą ir būtų nurodyta, kokiais kanalais vaikšto duomenys tarp agregatų, reikia iš įrankių juostos pasirinkti ryšio kūrimo įrankį, pažymėti pradinį agregatą, galinį agregatą ir tokiu būdu yra sukuriamas ryšys. Programa iš karto nurodo atstumą tarp agregatų objektų. Vartotojas turi galimybę redaguoti agregatų schemą.



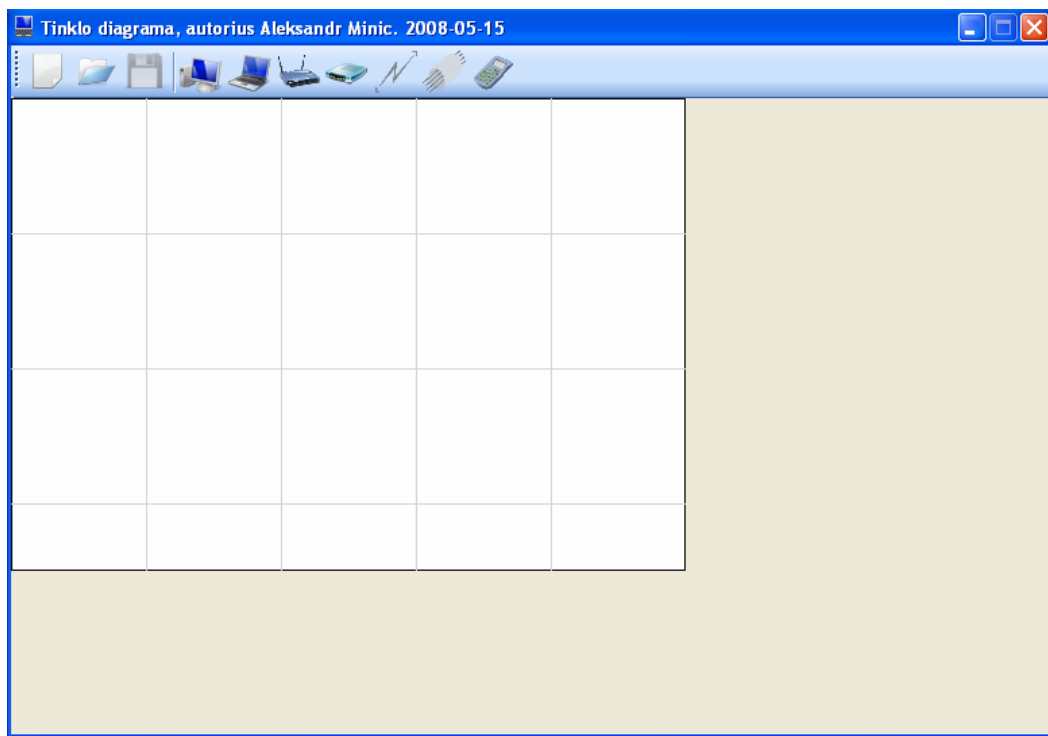
4.17 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

Jei vartotojas sukūrė netinkamą agregatą ar nereikalingą ryšį tarp agregatų, jis juos galės pašalinti, paspaudus du kartus pelės dešiniuoju klavišu ant pasirinkto agregato. Šalinant agregatą, šalinami ir su juo susiję ryšiai. Kad surinktą agregatų schemą galima būtų naudoti vėliau, vartotojas gali ją išsaugoti kompiuterio kietajame diske. Tai daroma įrankių juostos mygtuku „Išsaugoti Projektą“, leidžiančiu išsaugoti schemą diske. Jei saugoma schema nauja, pasiūloma suteikti jai vardą. Vartotojas turi galimybę atidaryti, įkrauti anksčiau išsaugotą schemą iš kompiuterio disko. Įrankių juostos mygtukas „Atidaryti Projektą“ leidžia įkrauti, atidaryti agregatų schemą iš disko. Kiekvienas agregatas aprašomas konkrečiai jį specifikuojančiomis savybėmis. Kad atliktų skaičiavimus vartotojas turi šias savybes nurodyti, įvesti. Paspaudus du kartus pelės kairiuoju klavišu ant pasirinkto agregato, atsidaro langas, kuriame šias savybes galima įvesti, nurodyti (4.20

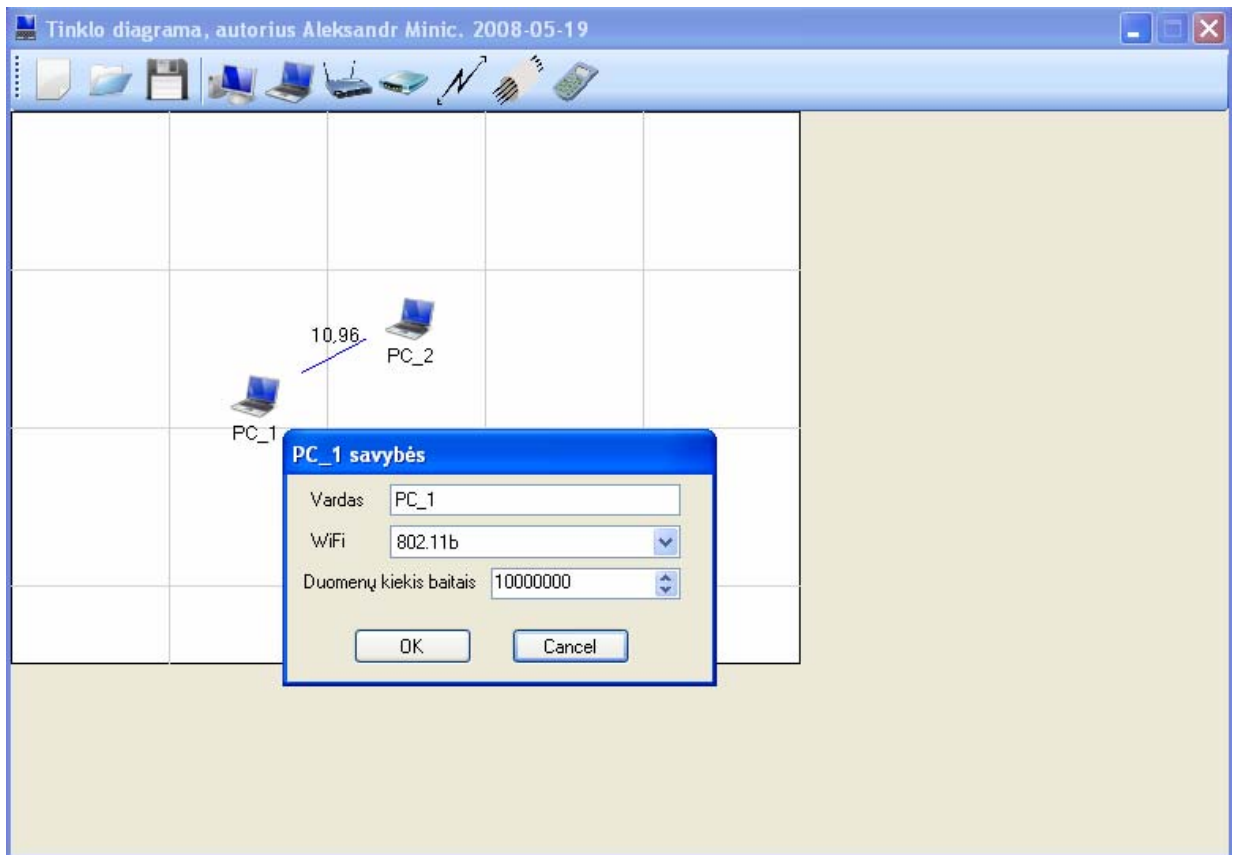
pav.). Po to įrankių juostos mygtuku „Skaičiavimas“ paleidžiami skaičiavimai. Atlikus skaičiavimus, gaunami rezultatai. Vartotojas gali peržiūrėti rezultatus, juos įvertinti, išanalizuoti (4.21 pav.).



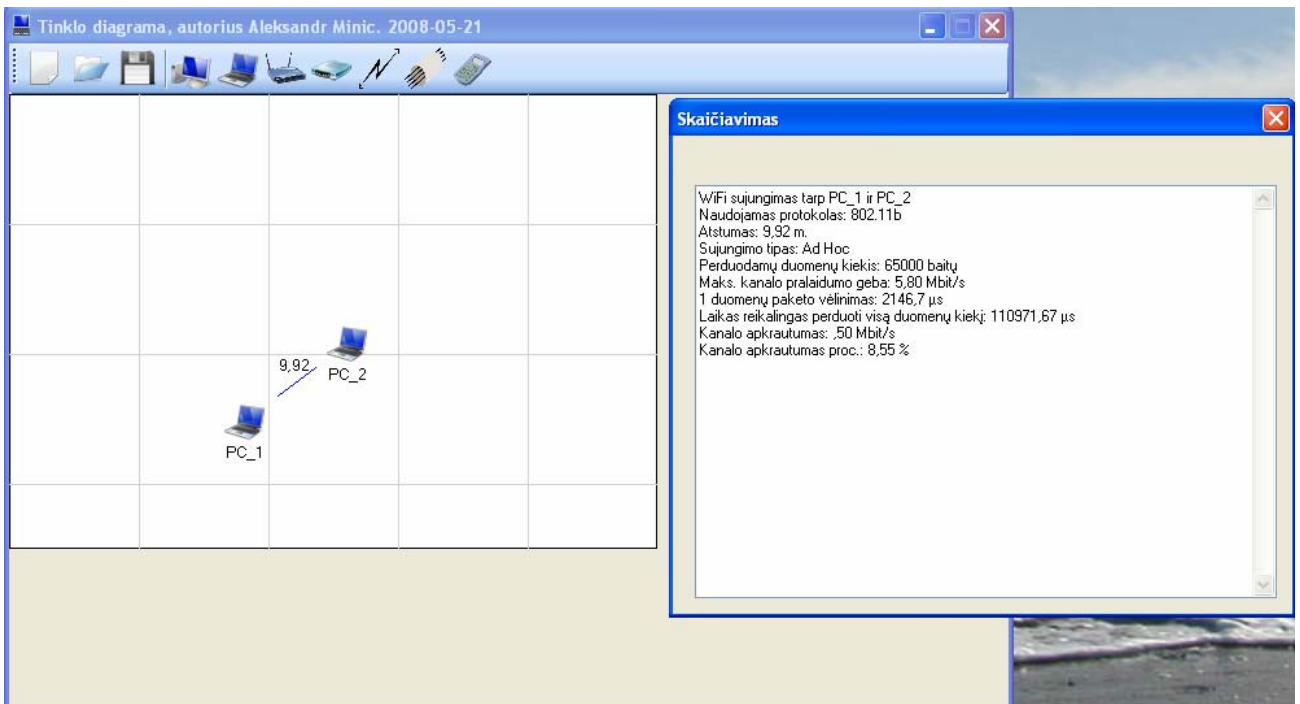
4.18 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas



4.19 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas



4.20 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas



4.21 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos vaizdas

4.3 TESTAVIMAS

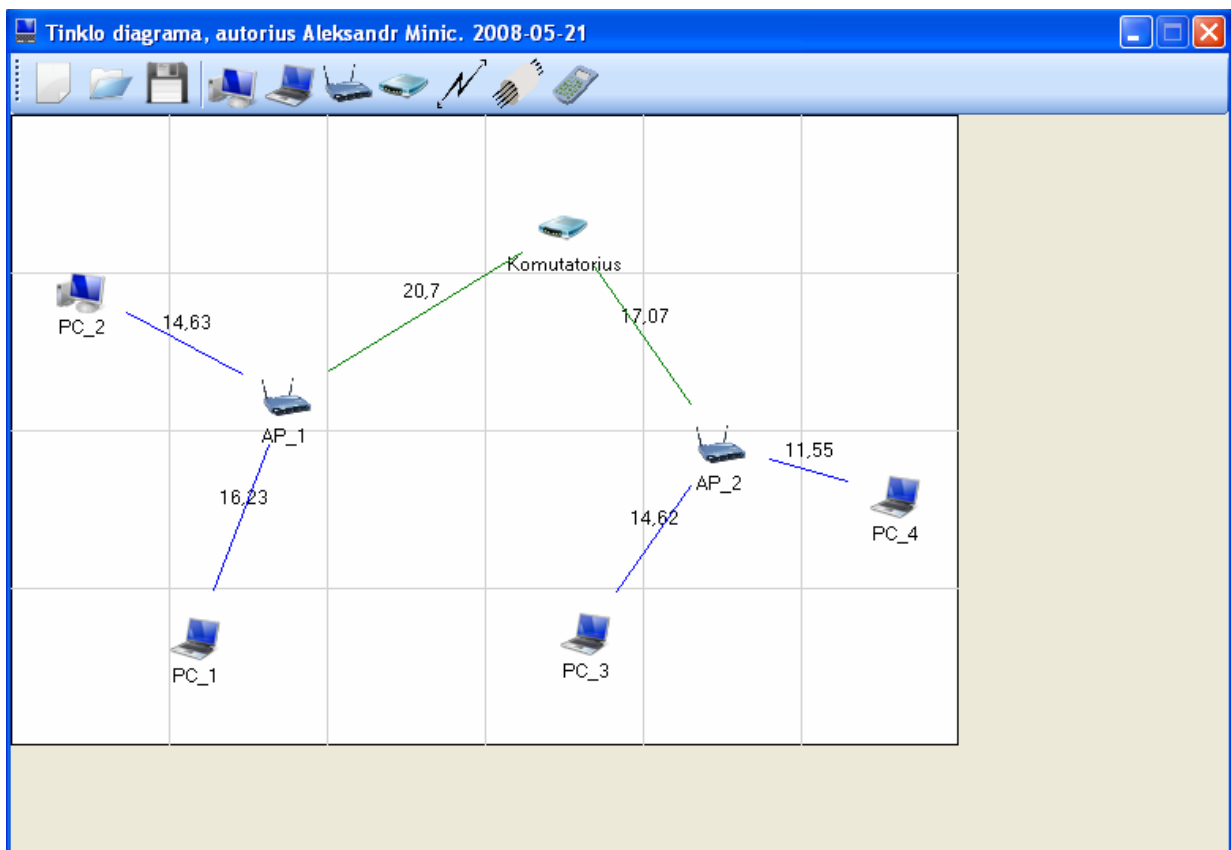
Testavimas - viena svarbiausių sistemos realizacijos dalių. Tai vienas iš svarbesnių programinės įrangos inžinerijos etapų, užtikrinantis programinės įrangos kokybę, stabilumą bei užsakovo ir tiesioginio vartotojo pateikinimą. Testavimas yra galinis programinės įrangos kurimo etapas, jis turi būti kuo labiau tobulesnis, būti be klaidų, testavimo procesas turi būti tiksliai suplanuotas, jo procedūros, vykdymo eiga ir laukiami rezultatai turi būti aiškiai ir nedviprasmiškiai apibrėžti ir aprašyti.

Programinės įrangos testavimas buvo atliekamas visomis sistemos realizavimo stadijomis. Eksperimentai bei testavimas išsamiai aprašomi testavimo plane ir eigoje. Testavimo procedūros apima funkcinį testavimą, sąsajos testavimą, kritinių atvejų testavimą bei klaidų taisymą.

Testavimas skirstomas į 2 testavimo tipus:

- Vartotojo sąsajos bei funkcionalumo testavimas;
- Kokybinių charakteristikų reikšmių skaičiavimo testavimas.

4.3.1 Vartotojo sąsajos bei funkcionalumo testavimas

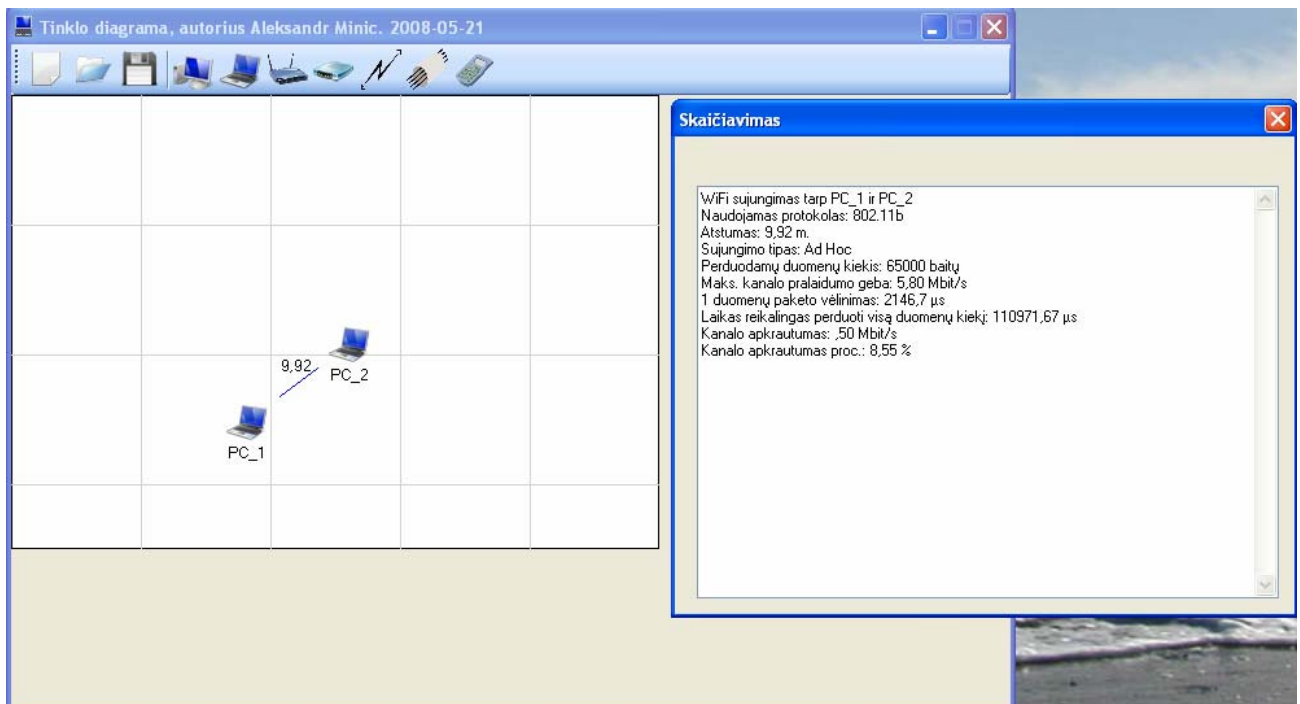


4.22 pav. Programinės įrangos grafinės vartotojo sąsajos testavimas

Testuojant vartotojo sąsają bei funkcionalumą, tikrinama ar sistema leidžia atlikti visus jai numatytus veiksmus. Buvo testuota vartotojo sąsaja nuosekliai einant per visus komponentus. Testavimo metu buvo sukurtas naujas tuščias redagavimo langas, redagavimo lange buvo surinkta bevielio lokalaus tinklo schema. Surinkta bevielio lokalaus tinklo schema buvo išsaugota kompiuterio kietajame diske. Išsaugota schema buvo įkrauta iš disko, nurodžius kelią iki jos ir jos pavadinimą. Skaičiavimui atlikti buvo įvesti pradiniai duomenys. Buvo paleidžiamas kokybinių charakteristikų skaičiavimas ir buvo pateikti skaičiavimų rezultatai. Vartotojų sąsajos bei funkcionalumo testavimo metu klaidų nepastebėta.

4.3.2 Kokybinių charakteristikų skaičiavimo testavimas

Kokybinių charakteristikų skaičiavimo testavimo metu buvo tikrinama, ar teisingai veikia kokybinių charakteristikų radimo algoritmas, ar rezultatai yra teisingi. Testavimui atlikti buvo naudojama bevielio lokalaus tinklo schema, kurios kokybinių charakteristikų reikšmių rezultatai buvo iš anksto žinomi. Patikrinus gautų rezultatų duomenis buvo įsitikinta, kad bevielių lokalių tinklų kokybinių charakteristikų radimas, skaičiavimas atliekamas teisingai. Papildomai buvo atliekami testiniai matavimai, patikrinant, ar programos rezultatai atitinka realybę. Kokybinių charakteristikų skaičiavimo testavimo metu klaidų nepastebėta.



4.23 pav. Programinės įrangos kokybinių charakteristikų skaičiavimo testavimas

4.4 PROGRAMINĖS ĮRANGOS ĮDIEGIMAS

- Reikalavimai sistemai:

Procesorius:	233 MHz;
Operatyvioji atmintis:	64 MB;
Laisva išorinė atmintis	2 GB;
Opracinė sistema:	Microsoft Windows;
	Microsoft .NET Framework 2.0;
- Nukopijuoti paleidžiamąsias sistemos bylas į vartotojo sukurtą katalogą. Sukurti šaukinį pagrindinei paleidžiamajai bylai.

4.5 PROGRAMINĖS ĮRANGOS VYSTYMO PLANAS

Natūralu, kad, esant vartotojų poreikiui, programa toliau bus kuriama, tobulinama. Šiuo metu numatomas toks programinės įrangos vystymo planas:

- Praplėsti programos vartotojo sąsajos galimybes.
- Įdiegti platesnį pritaikomumą, t.y. padaryti programą pritaikomą ne tik WLAN kokybinių charakteristikų nustatymo uždaviniams spręsti, bet ir LAN, WAN tinklų kokybinių charakteristikų nustatymo uždaviniams spręsti.
- Papildyti programos funkcionalumą.
- Tobulinti vartotojo sąsają gavus papildomą informaciją iš vartotojų.

5. GAUTŲ REZULTATŲ APTARIMAS

1. Atlikus eksperimentinius ir teorinius IEEE 802.11b/g standartų bevielio lokalaus tinklo tyrimus, galima suformuluoti tokius teiginius:
 - Pralaidumo geba nepriklauso nuo radijo dažnio. IEEE 802.11b standarto pralaidumo geba lygi apie 6 Mbps, kai perdavimo sparta 11 Mbps, o IEEE 802.11g standarto – 26 Mbps, kai perdavimo sparta lygi 54 Mbps.
 - Pralaidumo geba mažėja, kai daugėja vartotojų.
 - Didėjant tarpinių mazgų (retransliatorių) skaičiui, pralaidumo geba mažėja priklausomai nuo tarpinių mazgų (retransliatorių) skaičiaus.
 - Pralaidumo geba didėja, didėjant paketo dydžiui.
 - Šifravimo technologijų naudojimas praktiškai neturi įtakos pralaidumo gebai.
 - Siekiant išvengti tarpusavio trukdžių, atsirandančių dėl pakartotinio dažnių panaudojimo, skirtumas tarp dviejų įrenginių, prieigos taškų kanalų dažnių turi būti ne mažesnis nei 25 MHz.
 - Pralaidumo geba mažėja, kai mažėja signalo ir triukšmo santykio reikšmė.
 - Didėjant atstumui, perdavimo geba mažėja. IEEE 802.11b standarto „Ad-Hoc“ tinklo aprėpties zona sudaro 40 m, o „Infrastructure“ tinklo – apie 90 m. IEEE 802.11g standarto „Infrastructure“ tinklo aprėpties zona yra apie 80 m.
 - Vėlinimo laikas priklauso nuo perdavimo spartos ir paketo dydžio. Didėjant perdavimo spartai, mažėja vėlinimo laikas, o didėjant paketo dydžiui, vėlinimo laikas didėja.
 - Paketų praradimas nepriklauso nuo paketo dydžio. Jis priklauso tik nuo signalo ir triukšmo santykio. Mažėjant signalo ir triukšmo santykiui, paketų praradimas didėja. Kai signalo ir triukšmo santykis mažesnis nei 10 dBm, ryšys negalimas.
2. Atlikus programinės įrangos analizę, buvo nustatyti kuriamai programinei įrangai keliami reikalavimai.
3. Pateikta kuriamos programinės įrangos architektūra.
4. Naudojantis bevielių lokalių tinklų tyrimo rezultatais ir surinkta informacija, buvo sukurta programinė įranga, skirta bevielių lokalių tinklų kokybinėms charakteristikoms nustatyti, rasti, skaičiuoti, įvertinti.
5. Atliktas sukurtos programinės įrangos testavimas.
6. Pateiktas programinės įrangos vystymo planas.

Panašų IEEE 802.11b standarto bevielių lokalių tinklų eksperimentinį tyrimą, darbą, kurio pavadinimas „Paketingo radijo ryšio 2,4 GHz dažnių ruože eksperimentiniai tyrimai“ 2003 metais atliko Vilniaus Gedimino technikos universiteto, telekomunikacijų inžinerijos katedros darbuotojai – A.Šaltis, L. Pavilanskas [7]. Jie ištyrė tik IEEE 802.11b standarto pralaidumo gebos priklausomybę nuo radijo dažnių kanalų, nuo tarpinių mazgų skaičiaus bei tarpusavio mazgų trukdžių ir paketų praradimo priklausomybę nuo paketo dydžio bei signalo ir triukšmo santykio. VGTU darbuotojų tyrimo rezultatai praktiškai nesiskiria nuo mūsų gautų rezultatų ir irgi parodė, kad:

- Pralaidumo geba nepriklauso nuo radijo dažnio ir lygi apie 5,2 Mbps, kai perdavimo sparta 11 Mbps.
- Didėjant tarpinių mazgų skaičiui, pralaidumo geba mažėja pagal dėsnį, artimą $1/(n-1)$, kur n - mazgų skaičius.
- Esant mažiems atstumams potinkliai pradeda kurti pastebimus tarpusavio trukdžius, kai naudojamų dažnių skirtumas sumažėja iki 15 MHz.
- Paketų praradimo dažnis priklauso tik nuo signalo ir triukšmo santykio. Kai signalo ir triukšmo santykis mažesnis nei 10 dBm, dėl labai didelio paketų praradimo ryšys beveik negalimas.

Apibendrinant galima pasakyti, kad darbas pavyko, ir buvo sukurta gerai funkcionuojanti programinė įranga su visomis numatytomis funkcijomis. Šį darbą vertėtų tęsti ir plėsti jo galimybes. Esant poreikiui, galima plėsti sukurtos programinės įrangos funkcijas, yra galimybių pritaikyti vis naujesnius technologinius sprendimus, naujas idėjas.

6. LITERATŪRA

- [1] П. Рошан, Д. Лиери. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом „Вильямс“, 2004.- 304 с.
- [2] А. Ватаманюк. Беспроводная сеть своими руками.- Спб.: Питер, 2006.- 192 с.
- [3] Kajackas, Algimantas. Telekomunikacijų teorija: vadovėlis / Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 2005. 254 p.
- [4] R.Šeinauskas. Programinės įrangos inžinerija: paskaitų medžiaga ir įrašai 2007/2008 metams / Kauno technologijos universitetas. Kaunas
- [5] K. Motiejunas. Programų sistemų architektūros analizė: paskaitų medžiaga ir įrašai/ Kauno technologijos universitetas. Kaunas
- [6] Д.А. Шевякова, А.М. Степанов, Р.Г. Карпов. Самоучитель Visual Basic 2005 / Под общ. ред. А. Ф. Тихонова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 – 576 с.
- [7] A. Šaltis, L. Pavilanskas. Paketinio radijo ryšio 2,4 GHz dažnių ruože eksperimentiniai tyrimai // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 4(46). –P. 48-52.
- [8] <http://www.ieee802.org/11>
- [9] <http://www.wi-fi.org>
- [10] http://dlink.ru/products/wireless_.php
- [11] <http://dlink.ru/products/prodview.php?type=17&id=243>
- [12] http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao350ap/prodlit/carto_in.pdf
- [13] http://www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/index.html
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11

SANTRUMPŲ IR TERMINŲ ŽODYNAS

- WLAN** – (angl. Wireless Local Network)
- LAN** – (angl. Local Area Network)
- WAN** – (angl. Wide Area Network)
- IP** – (angl. Internet Protocol)
- TCP** – (angl. Transmission Control Protocol)
- PLCP** – (angl. Physical Layer Convergence Protocol)
- ACK** – (angl. Acknowledgement)
- DIFS** – (angl. DCF Interframe Space)
- SIFS** – (angl. Short Interframe Space)
- LLC** – (angl. Logical Link Control)
- MAC** – (angl. Media Access Control)
- WPA** – (angl. Wi-Fi Protected Access)
- WEP** – (angl. Wired Equivalent Privacy)
- IEEE** – (angl. Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- DSSS** – (angl. Direct-Sequence Spread Spectrum)
- FHSS** – (angl. Frequency-Hopping Spread Spectrum)
- ISO** – (angl. International Organization for Standardization)
- OSI** – (angl. Open Systems Interconnection Reference Model)