



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Laurynas Paukšta

Belaidis tinklas judantiems objektams

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Činčikas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ KATEDRA

Belaidis tinklas judantiems objektams

Baigiamasis bakalauro projektas
Telekomunikacijos (612H64001)

Vadovas

Doc. dr. Gediminas Činčikas

Recenzentas

Prof. dr. Renaldas Raišutis

Projektą atliko

Laurynas Paukšta

KAUNAS, 2015

TVIRTINU:

KTU Elektros ir elektronikos fakulteto

Telekomunikacijų katedros vedėjas

Doc. Saulius Japertas

201..... ..

BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: RT-1 Grupė

1. Darbo tema:

Lietuvių kalba: Belaidis tinklas judantiems objektams

Anglų kalba: Wireless Network for Moving Objects

Patvirtinta 201__ m. _____ mėn. _____ d. dekanas potvarkiu Nr. _____

2. Darbo tikslas:

1. Išanalizuoti belaidžio ryšio technologijas.
2. Suprojektuoti bevielį tinklą judančiuose objektuose (autobusuose ir traukiniuose).

3. Reikalavimai ir sąlygos:

Nėra

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį, pateiktą Metodinių reikalavimų 14 ir 15 punktuose.

1. Darbo tikslas ir uždaviniai
2. Metodinė dalis: Belaidžio ryšio technologijų detali analizė ir palyginimas
3. Projektinė dalis: Belaidžio tinklo judantiems objektams suprojektavimas
4. Išvados

5. Ekonominė dalis. Jei reikia ekonominio pagrindimo; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

6. Grafinė dalis. Jei reikia, pateikiama schemas, algoritmai ir surinkimo brėžiniai; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

5. Ši užduotis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis

6. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas iki 2015-05-30
(data)

Užduotį gavau: Laurynas Paukšta
(studento vardas, pavardė, parašas) (data)

Vadovas: Doc. dr. Gediminas Činčikas
(pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Laurynas Paukšta

Telekomunikacijos (612H64001)

Baigiamojo projekto „Belaidis tinklas judantiems objektams“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. ____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Lauryno Paukštos** baigiamasis projektas tema „Belaidis tinklas judantiems objektams“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Paukšta, L. Belaidis tinklas judantiems objektams. *Bakalauro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Gediminas Činčikas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Telekomunikacijų katedra.

Kaunas, 2015. 37 psl.

SANTRAUKA

Šio darbo tikslas – parengti alternatyvų belaidžio ryšio prieigos projektą kelyje judantiems autobusų ir traukinių keleiviams. Darbe analizuojama projektuojamo tinklo vietovė, apskaičiuojami vartotojų poreikiai, bei aptariamos tam tinkančios technologijos.

Šiam tikslui įgyvendinti pateikti detalūs technologijų aprašymai, bei jų palyginimai. Išanalizavus visus galimus variantus, buvo priimtas sprendimas vartotojui teikti paslaugas naudojant LTE technologijas ir IEEE 802.11n, IEEE 802ac WiFi standartus

Projektinėje dalyje atliekami detalūs signalų ir vartotojų sukurtų srautų skaičiavimai bei parinkta bazinių stočių ir maršrutizatorių įranga.

Paukšta, Laurynas. Wireless Network for Moving Objects. Final project of *bachelor* / supervisor doc. dr. Gediminas Činčikas; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Telecommunications

Kaunas, 2015. 37 psl.

SUMMARY

The goal of this project is to design an alternative wireless network for passengers in buses and trains. In this work is analyzing the area of network, calculations of signals and generated signals flows by passengers. Also there is analyze of technologies for network

For this goal, there is a detailed technologies descriptions and comparison. Decided to use technologies in wireless network are: LTE technology and IEEE 802.11n, IEEE 802.11 ac WiFi standards.

In project part is calculated signals, their flows generated by passengers and chosen base stations and modems equipment.

TURINYS

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS	7
Įvadas.....	8
1. Problemos (objekto) analizės dalis	9
2. Belaidžio tinklo technologijų analizė	11
2.1. 3G technologija.....	11
2.2. Didelės spartos pakeų prieiga - HSPA.....	11
2.3. Žemynkrypčio srauto standartas - HSDPA.....	11
2.4. HSDPA įranga	11
2.5. HSDPA kanalai.....	12
2.6. Evoliucionavusi didelės spartos paketų prieiga - HSPA+	12
3. LTE (4G) technologija.....	13
3.1. LTE pranašumai.....	13
3.2. LTE – QoS	15
3.3. LTE parametrai	15
3.4. LTE tinklo architektūra.....	16
3.5. Vartotojo įranga	16
3.6. E-UTRAN Prieigos tinklas	17
3.7. Evoliucionavęs paketų branduolys - Evolved Packet Core (EPC)	18
3.8. Funkciniai skirtumai tarp E-UTRAN ir EPC.....	20
3.9. 2G/3G ir LTE technologijų palyginimas	21
4. WiFi belaidžio interneto standartai	21
4.1. IEEE 802.11	21
4.2. IEEE 802.11a	21
4.3. IEEE 802.11b.....	22
4.4. IEEE 802.11g.....	22
4.5. IEEE 802.11n.....	22
4.6. IEEE 802.11ac	23
5. Belaidžio tinklo judantiems objektams projektavimas.....	25
5.1. Tinklo loginė schema ir paslaugų pasiskirstymas.....	25
5.2. Sugeneruojamų srautų skaičiavimai	26
5.3. Įranga	28
5.4. Radijo biudžeto skaičiavimai.....	30
5.5. Planuojamos bazinių stočių vietos	32
Išvados.....	35
INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS.....	36
PRIEDAI	37
1 priedas. Motorola VML 750 LTE Modemo specifikacijos	37

SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

WiFi	Belaidžio ryšio standartas, prekinis „Wi-Fi Alliance“ ženklas
WLAN	Belaidis tinklas (angl. <i>wireless local area network</i>)
3G	Trečioji telekomunikacijų tinklo technologijų karta (angl. <i>third generation of mobile telecommunications technology</i>)
UMTS	3G sinonimas (angl. <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>)
4G	Ketvirtoji telekomunikacijų tinklo technologijų karta (angl. <i>fourth generation of mobile telecommunications technology</i>)
LTE	4G sinonimas (angl. <i>Long Term Evolution</i>)
HSPA	Didelės spartos paketų prieiga (angl. <i>High Speed Packet Access</i>)
HSPA+	Patobulinta HSPA technologija
HSDPA	Didelės spartos paketų prieiga žemynkrypčiame ryšyje (angl. <i>High Speed Downlink Packet Access</i>)
HSUPA	Didelės spartos paketų prieiga aukštynkrypčiame ryšyje (angl. <i>High Speed Uplink Packet Access</i>)
MIMO	Technologija naudojanti daug išsiųstų ir daug priimtų signalų, kad pagerintų belaidžio ryšio kokybę (angl. <i>Multiple-Input, Multiple-Output</i>)
TDD	Laikinio dalijimo duplexavimas (angl. <i>Time Division Duplex</i>)
FDD	Dažninio dalijimo duplexavimas (angl. <i>Frequency Division Duplex</i>)
QoS	Paslaugų (aptarnavimo) kokybė (angl. <i>Quality of Service</i>)
EPC	Evoliucionavęs paketų branduolys (angl. <i>Evolved Packet Core</i>)
E-UTRAN	Patobulinta UMTS technologija
WCDMA	Plačiajuosčio kodo dalijimo daugialypė prieiga (angl. <i>Wideband Code Division Multiple Access</i>)
CDMA	Kodo dalijimo daugialypė prieiga (angl. <i>Code Division Multiple Access</i>)
TDMA	Laiko dalijimo daugialypė prieiga (angl. <i>Time Division Multiple Access</i>)
GSM	Globali mobiliųjų telekomunikacijų sistema (angl. <i>Global System for Mobile Communications</i>)
BS	Bazinė stotis (angl. <i>Base station</i>)
MS	Mobilioji stotis (angl. <i>Mobile Station</i>)

Įvadas

Šie laikai neįsivaizduojami be išmaniųjų telefonų, nešiojamųjų bei planšetinių kompiuterių ir neatsiejamoms jų dalies – bevielio interneto. Žmonės nori juo naudotis visur – namuose, viešose vietose ir keliaudami. Taip pat kiekvienais metais auga ir poreikiai, jei ankščiau užteko pasitikrinti elektroninį paštą, ar panaršyti internete – tai dabar visko reikia daug daugiau. Žmonės klausosi muzikos, siunčiasi didelės apimties failus, žiūri filmus ir susirašinėja tuo pat metu. Dabar yra daug technologijų siūlančių įvairias sąlygas ir spartas, kurios gali pasiekti jus praktiškai bet kur, kur esate. Norint naudotis bevieliu WiFi internetu keliaujant autobusu - viskas ko Jums reikia, tai prietaisas palaikantis 3G/4G ryšio technologijas, bei WiFi standartą, kuris užtikrintų sklandų Jūsų naršymą internete. Šiame darbe bus aptarti visi tinkami sprendimai ir suprojektuotas bevielis tinklas, sklandžiam interneto naudojimui važiuojant tarp miestiniu autobusu ir traukiniu.

1. Problemos (objekto) analizės dalis

Keliaujant autobusu bei traukiniu reikalingas WiFi ryšys, nes žmonės labai mobilūs ir naudoja išmaniuosius telefonus ir kompiuterius visur, kur keliauja. Tam būtinas bazinių stočių tinklas, bei bevielės LTE modemas autobuse/traukinyje, kad užtikrinti sklandų interneto veikimą keliaujant.

Prieš keliolika metų pilnai užteko paprasto GSM tinklo, vien tik tam, kad būtų palaikomas stabilus ryšys šnekant telefonu, ar siunčiant trumpąsias žinutes, tačiau technologijos sparčiai tobulėja, kaip ir patys telefonai ir kompiuteriai.

Keičiantis žmonių poreikiams – keitėsi ir technologijos. Pradžioje tik atsiradus mobiliojo ryšio pirmosioms technologijoms, pilnai pakako GSM/UMTS bazinių stočių tinklo ir paprasto įrenginio – telefono ar kompiuterio, palaikančio jau nebenaudojamus 802.11 a/b standartus. Su metais žmonių mobilumas augo labai sparčiai, todėl buvo kuriamos vis naujos WiFi technologijos tokios kaip, IEEE 802.11n/802.11ac ir belaidžių tinklų struktūros, tokios kaip, 3G/LTE, palaikančios didžiuliais mastais augančius duomenų srautus.

Lietuvoje yra įdiegta bevielės ryšio technologijų tinklai – 3G, tačiau didėjant spartoms ir naudojimuisi yra poreikis įdiegti greitesnes ir stabilesnes technologijas, tokias kaip – LTE.

„Lietuvos Geležinkeliai“ tarp miestiniuose traukiniuose naudojama atskira tinklo struktūra – RGPRS, tačiau šie tinklai keičiami/tobulinami į LTE, dėl didėjančių vartotojų poreikių.

Esant pikinėms situacijoms, neretai tinklai nebeatlaiko didžiulių duomenų srautų, todėl juos visą laiką reikia plėsti, ir gerinti jų veikimą, kad užtikrinti vartotojams saugų ir spartų ryšį keliaujant. Tinklo plėtimas būtina sąlyga vis tobulėjančioms technologijoms, todėl statomos vis tobulesnės naujos bazinės ir mobilios stotys, kurios palaiko vis didesnes spartas ir vartotojų srautus.

Šiame projekte sprendžiama alternatyvaus tinklo problema, kuris būtų reikalingas tuo atveju, jei jau egzistuojantys tinklai dėl per didelių apkrovų ar kitų priežasčių nustotų normaliai funkcionuoti. Labai svarbu vartotojų tiek autobusuose, tiek traukiniuose sklandus ryšys keliaujant, todėl tai bus tinklas, kuriuo galės naudotis abiejų transporto priemonių keleiviai, užtikrinant pakankamą spartą ir tinkamą bazinių stočių signalo padengimą erdvėje – kad išvengti ryšio trugdžių.

Darbo tikslas: Suprojektuoti belaidį tinklą judantiems objektams.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti mobilaus ryšio technologijas: 3G ir 4G tinklus, jų struktūras, veikimo principus, dedamąsias, pagrindinius privalumus ir trūkumus
2. Palyginti mobilaus ryšio technologijas: Atlikus analizę palyginti šių technologijų spartas, realizavimo galimybes.
3. Išanalizuoti WiFi ryšio standartus: Atlikti išsamią standartų analizę, su visais parametrais, veikimo principais ir t.t.
4. Palyginti WiFi ryšio standartus: Sulyginti visus išanalizuotus standartus, ir išrinkti tinkamiausią tinklo projektavimui, atsižvelgiant į veikimo nuotolius, spartas, moduliacijas ir naudojamą papildomas technologijas.
5. Suprojektuoti belaidį tinklą judantiems objektams: Apskaičiuoti sugeneruojamus vartotojų duomenų srautus, signalo stiprumus bazinėse ir mobiliosiose stotyse, įvertinti aplinkos veiksniai, ir parinkti tinkamas vietas bazinių stočių realizavimui.

2. Belaidžio tinklo technologijų analizė

Metodinėje projekto dalyje atlikta detali belaidžio tinklo technologijų analizė, iliustruotos jų struktūros, pagrindiniai privalumai ir trūkumai, leidžiantys išrinkti tinkamiausią technologiją būsimą tinklo projektavime.

2.1. 3G technologija

Šiame skyriuje išanalizuosiu 3G technologiją, pagrindinius jos standartus ir įvertinsiu pagrindinius parametrus, jog galėčiau palyginti ir įvertinti jos pranašumus ir trūkumus

2.2. Didelės spartos paketų prieiga - HSPA

Yra didelės spartos paketų prieiga, šis standartas sukurtas siekiant palaikyti didelės spartos, tiek žemynkrypčiame tiek aukštykrypčiame sraute. HSPA yra ankščiau sukurta technologija nei HSDPA, HSUPA ir HSPA+. Visi HSPA standartai yra skirtingos UMTS išleidimo versijos. HSDPA yra UMTS R5 laida ir palaiko iki 14Mb/s spartą. HSUPA yra UMTS R6 laida, palaikanti 5.76 Mb/s žemynkrypčio spartą. HSPA+ yra R7-R9 UMTS laida. HSPA palaiko spektrinį efektyvumą iki 2.9bit/sec/Hz [8]

2.3. Žemynkrypčio srauto standartas - HSDPA

Tai didelės spartos žemynkrypčio srauto standartas, skirtas daugiausiai interneto pagrindo aplikacijoms. Kaip minėta UMTS struktūroje yra trys pagrindiniai komponentai: Vartotojo įranga (UE), radio prieigos tinklas (RAN) ir branduolio tinklas (CN). HSDPA standarte pakeitimai įtraukti i oro sąsajos pusę ir UE, bei RAN buvo modifikuoti taip, kad palaikytų aukštesnius spartos reikalavimus, palyginus su jo procesoriumi. Jokių pakeitimų branduolio tinkle nebuvo padaryta.[1]

2.4. HSDPA įranga

- Palaiko asimterinį duomenų perdavimo modelį.
- Dažnių juosta yra apie 5MHz pločio, tokia kaip WCDMA.
- Palaiko abi: balso ir duomenų aplikacijas.
- Turbo kodavimas naudojamas kaip FEC technika.
- Adaptuotas kodavimas ir moduliacijos pagrįsti kanalo sąlygomis, pasiekia didesnę duomenų perdavimo spartą esant geroms kanalo sąlygomis, dėl geresnio moduliacijos kodo.
- Naudoja didžiausia perdavimo galią taupant energiją.

- Sumažina nereikalingų paketų naudojimą duomenų perdavime iki minimumo.
- HARQ palaikymas naujiems kanalams PHY sluoksnyje.
- 12 galimų kategorijų UE komponente. [1]

2.5. HSDPA kanalai

HSDPA HS-DSHC(angl. High speed-Physical channel) yra pristatytas kaip transporto kanalas. Jis palaikomas trijų fizinio sluoksnio kanalų – HS-PDSCH (angl. High speed-Physical downlink speed channel), HS-SCCH (angl. High speed-Shared control channel) ir HS-DPCCH (angl. High speed –dedicated control channel). PDSCH perneša vartotojo informaciją/duomenis. SCCH informuoja UE, kad duomenys bus pernešti per DSCH. DPCCH perneša ACK/NACK ir CQI. [8]

2.6. Evoliucionavusi didelės spartos paketų prieiga - HSPA+

HSPA+ naudoja tą pačią 5MHz juosta naudojama WCDMA spektre ir tai yra didžiulis palengvinimas operatoriams. Toje pačioje 5MHz juostoje HSPA+ bando padidinti duomenų perdavimo spartą naudodamas MIMO ir aukštesnės tvarkos moduliacijos technikas. Apjungus šiuos metodus pasiekama 42,2Mb/s sparta ir spektro efektyvumas yra apie 8.4 bits/sec/Hz.

Didžiausias HSPA+ pasiekimas yra tai, kad vėlinimas sumažintas naudojantis konceptu, vadinamu CPC (angl. Continuous Packet Connectivity). HSPA+ palaiko DC-HSDPA kuris palaiko dvigubos celės, arba dvigubo nešiklio konceptą, kuriame nešėjo masė dviems šalia esančioms juostoms 5MHz dažnyje yra naudojama ta pati celės vieta, kad pagerinti veikimą. [1]

3. LTE (4G) technologija

Šiame skyriuje atlikta detali LTE technologijos analizė, įvertinant jos struktūrą, dedamąsias, pagrindinius privalumus ir trūkumus.

LTE projektas (angl. Long Term Evolution) buvo pradėtas 2004m. telekomunikacijų grupės žinomos, kaip 3GPP (angl. Third Generation Partnership Project). Už pagrindinio (angl. Core) GPRS/3G paketų tinklo evoliucija atsakinga SAE (angl. System Architecture Evolution) architektūra. Terminas LTE dažniausiai naudojamas apibrėžti abu – LTE ir SAE.

LTE evoliucionavo iš ankstesnios 3GPP sistemos – žinomos kaip UMTS (angl. Universal Mobile Telecommunication System), kuri savo ruožtu evoliucionavo iš pirmtakės –GSM (angl. Global System for Mobile Communications). Susijusios specifikacijos buvo formaliai žinomos, kaip evoliucionavusios E-UTRA (angl. Evolved UMTS terrestrial radio access) ir E-UTRAN (angl. Evolved UMTS terrestrial radio access network). Pirmoji LTE versija aprašyta aštuntoje 3GPP specifikacijų laidoje.

Pagrindinis LTE tikslas yra užtikrinti didelę duomenų spartą. Mažą vėlavimą ir paketų optimizavimą, palaikantį lankstų dažnių juostu dislokavimą. Tuo pat metu LTE tinklo architektūra buvo suprojektuota, su tikslu palaikyti packetinių duomenų srautą su belaidžiu mobilumu ir labai gera paslaugų kokybe.[2]

3.1. LTE pranašumai

Žemiau aprašiau pagrindinius LTE pranašumus, lyginant su ankstesnėmis technologijomis.

- LTE yra sėkminga technologija ne tik UMTS, tačiau ir CDMA 2000.
- LTE yra svarbi technologija, nes iki 50 kartų pagerina veikimą ir turi didelį spektrinį efektyvumą tinkluose.
- LTE sukurtas norint išgauti didesnes duomenų spartas – 300Mb/s žemynkrypčiame, ir iki 75Mb/s aukštynkrypčiame srautuose. 20MHz nešlyje, duomenų spartos virš 300Mb/s yra pasiekiamos tik naudojant tokį kanalo plotį su 3x3 MIMO kombinacija.
- LTE yra ideali technologija norint naudotis didelėmis spartomis paslaugoms, tokioms kaip multimedijos trancliacijoms, vaizdo konferencijoms ar netgi didelės spartos bevielams modemams.
- LTE naudoja abu – TDD (angl. Time Division Duplex) ir FDD (angl. Frequency

Division Duplex) modelius. FDD modelyje atsiuntimo ir išsiuntimo operacijose naudojami skirtingi dažniai, o TDD abi procedūros naudoja tą patį nešlį ir yra paskirstyti laike.

- LTE palaiko nešlio dažnių juostas – nuo 1.4 MHz iki 20MHz, tiek FDD, tiek TDD. LTE suprojektuotas, kad nešlio plotis priklausytų nuo dažnių juostos ir laisvo spektro kiekio, kurį suteikia tinklo operatorius.
- Visi LTE prietaisai turi MIMO funkciją (angl. Multiple Input, Multiple Output), kuri leidžia bazinei stotiai transliuoti keletą duomenų srautų vienu metu, naudojant tą patį nešlį.
- Visos sąsajos tarp tinklo mazgų LTE yra pagrįstos IP, įskaitant tranzitinio tinklo jungtis su radio bazinėmis stotimis. Tai yra puikus supaprastinimas palyginus su ankstesnėmis technologijomis, kurios buvo pagrįstos E1/T1 principais, nes dauguma jų buvo brangios ir siaurajuostės.
- QoS (angl. Quality of service) mechanizmas buvo standartizuotas visose sąsajose, kad užtikrinti, jog balso skambučiai dėl pastovaus vėlavimo ir pralaidumo būtų prieinami, kai pasiekiami talpos limitai.
- Veikia su GSM/EGDE/UMTS sistemomis naudojant 2G ir 3G spektrus, bei naują spektrą. Palaiko hand-over ir tarptinklinį ryšį egzistuojantiems mobiliems tinklams.[2]
- Didelis pralaidumas: Didelės spartos gali būti pasiekiamos tiek žemynkrypčiame, tiek aukštykrypčiame srautuose. Tai lemia didelį pralaidumą.
- Mažas vėlinimas: Laikas reikalingas prisijungti prie serverio yra kelios šimtosios milisekundžių ir galios saugojimo būseną gali būti įjungta ir išjungta labai greitai.
- FDD ir TDD yra toje pačioje platformoje.
- Ypatinga galinio vartotojo patirtis: Optimizuotas signalinimas jungties sukūrimui ir kitų oro sąsajų, bei mobilumo valdymo procedūrų patobulinimui. Sumažintas vėlinimas iki 10ms, dėl geresnio vartojimo.
- Betarpiškas prisijungimas: LTE taip pat palaiko betarpišką prisijungimą prie egzistuojančių tinklų – GSM, CDMA ir WCDMA.
- Plug n Play: Vartotojui nebereikia rankiniu būdu įrašinėti tvarkyklų savo prietaisui. Vietoj to sistema automatiškai atpažysta įrenginį, paleidžia naujas tvarkykles jei to reikia ir pradeda dirbti su naujai prisijungusiu įrenginiu.
- Paprasta architektūra: Dėl naudojamos supaprastintos architektūros – OPEX.

3.2. LTE – QoS

LTE architektūra palaiko kieta QoS (angl. Hard QoS), su end-to-end paslaugų kokybe ir garantuoja bitų spartą (GBR) radio nešėjams. Ethernet ir internetas turi atskirus QoS tipus, kaip pavyzdys, skirtingi QoS lygiai gali būti pritaikomi LTE srauto skirtingoms aplikacijoms. Taip yra todėl, kad LTE MAC yra pilnai suplanuotas ir tinkamas.

EPS (angl. Evolved Packet System) nešėjai suteikia vienas į vieną (angl. One-to-one) veikimą su RLC radio nešėjais ir suteikia TFT (angl. Traffic Flow Templates) palaikymą. Yra keturi EPS nešėjų tipai:

- GBR nešėjas: išteklių nuolat skiriami priėmimo kontrolei
- Non-GBR nešėjas: jokios priėmimo kontrolės
- Dedicated GBR nešėjas: susietas su specifiniais TFT(GBR arba Non-GBR)
- Default GBR nešėjas: Ne GBR, surenkantis visus nepažymėtus srautus[2]

3.3. LTE parametrai

Žemiau pateikti (3.1 lentelė)(3.2 lentelė) LTE technologijos pagrindiniai parametrai, dažniai, moduliacijos ir t.t.

3.1 lentelė. LTE pagrindiniai parametrai

Parametrai	Aprašymas
Dažniu ruožas	UMTS FDD juostos ir TDD juostos aprašomos 36.101(v860)
Dupleksingas	FDD/TDD/ pusiau dupleksinis FDD
Kanalo kodavimas	Turbo kodas
Mobilumas	350km/h
Kanalo plotis (MHz)	1,4, 3, 5, 10, 15, 20
Perdavimų juostos pločio konfigūracija NRB: (1 resurso blokas = 180 kHz per 1mm TTI)	6, 15, 25, 50, 75, 100
	Uplink: QPSK,16QAM,64QAM, Downlink: QPSK, 16QAM,64QAM

3. 2 lentelė. Pagrindiniai LTE parametrai

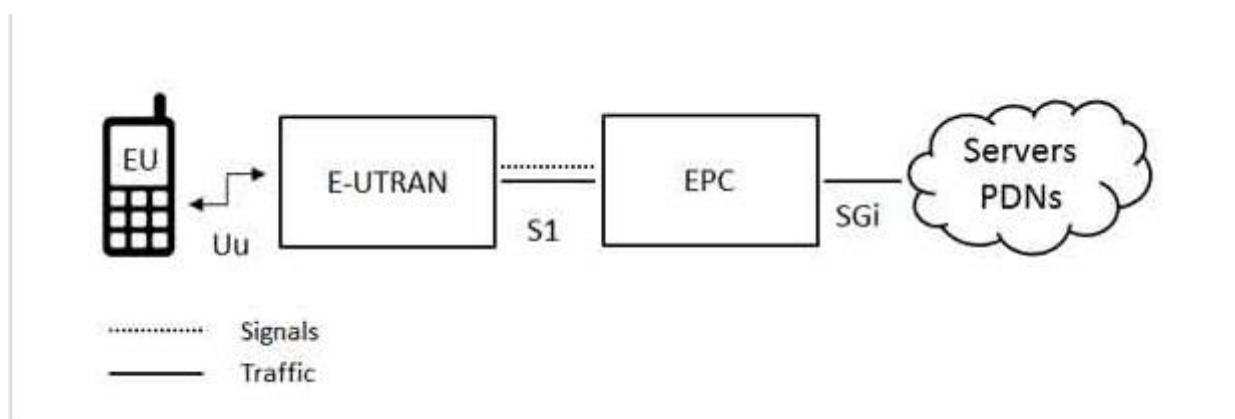
Daugialypės prieigos schema	UL:SC-FDMA palaiko 50Mb/s + 20MHz, DL:OFDM palaiko 100Mb/s+20MHz
Multi-antenos technologija	UL:daugelio vartotojų MIMO, DL:TxAA, erdvinis tankinimas,CDD, maksimaliai 4x4
Duomenų srautų spartos LTE	UL: 75Mb/s, DL: 150Mb/s (UE 4 kat. 2x2 MIMO), DL: 300Mb/s (UE 5 kat. 4x4 MIMO)
MIMO	UL:1x2, 1x4, DL: 2x2, 4x2, 4x4
Padengimas	5-100km, su maža degradacija po 30km.
QoS	E2E QoS leidžianti skirtingų paslaugų klasių prioretizavimą.
Vėlinimas	Galinio vartotojo vėlinimas <10 mS

3.4. LTE tinklo architektūra

Aukšto lygio tinklo LTE architektūra yra suskirstyta į tris pagrindinius komponentus(3.1 pav.):

- Vartotojo Įranga (UE).
- Evoliucionavusi UMTS – E-UTRAN.
- Evoliucionaves paketų branduolys (EPC).

Evoliucionaves paketų branduolys bendrauja su paketų duomenų tinklais išoriniame pasaulyje, kaip internetas, privatūs korporacijų tinklai, ar IP daugialypia posisteme. Sąsajos tarp skirtingų sistemos komponentų parodys žemiau esančiame brėžinyje[2]:



3. 1 pav. LTE tinklo architektūra

3.5. Vartotojo įranga

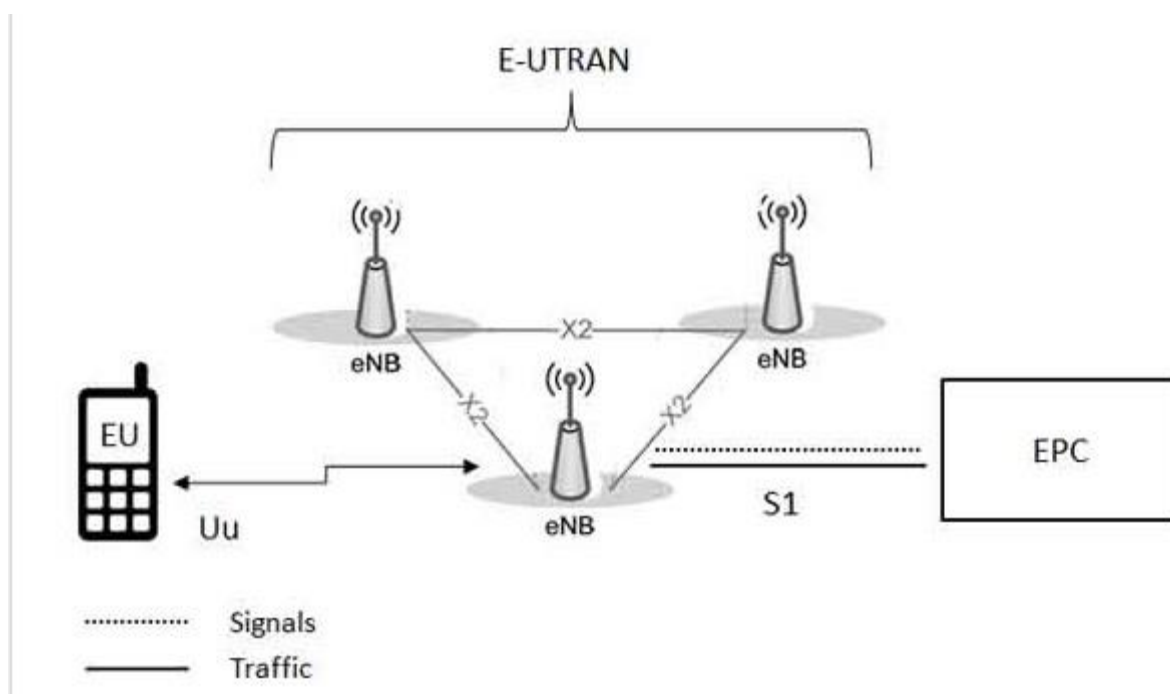
LTE naudojama vartotojo įrangos architektūra yra identiška anksčiau naudotoms

UMTS ir GSM technologijose. Mobili įranga suskirstyta į šiuos modulius:

- Mobiliaus ryšio galinis taškas – MT (angl. *Mobile Termination*): Jis palaiko visas komunikacijų funkcijas
- Galinio taško įranga – TE (angl. *Terminal Equipment*)
- Universali lustinė kortelė – UICC (angl. *Universal Integrated Circuit Card*)
- USIM laiko visus specifinius vartotojo duomenis labai panašiai, kaip 3G SIM kortelė. Ji saugo informaciją apie vartotojo telefono numerį, namų tinklo tapatybę, saugumo raktus ir pan.[2]

3.6. E-UTRAN Prieigos tinklas

Prieigos tinklo architektūra, jos dedamosios ir komponentai nurodyti žemiau esančioje schemoje(3.2 pav.):



3.2 pav. E-UTRAN prieigos tinklo architektūra

E-UTRAN palaiko radio komunikacijas tarp mobiliojo ir EPC, ir turi vienintelį komponentą: eNodeB arba eNB. Kiekvienas eNB yra bazonė stotis kuri kontroliuoja mobilųjį

viena arba daugiau celių.

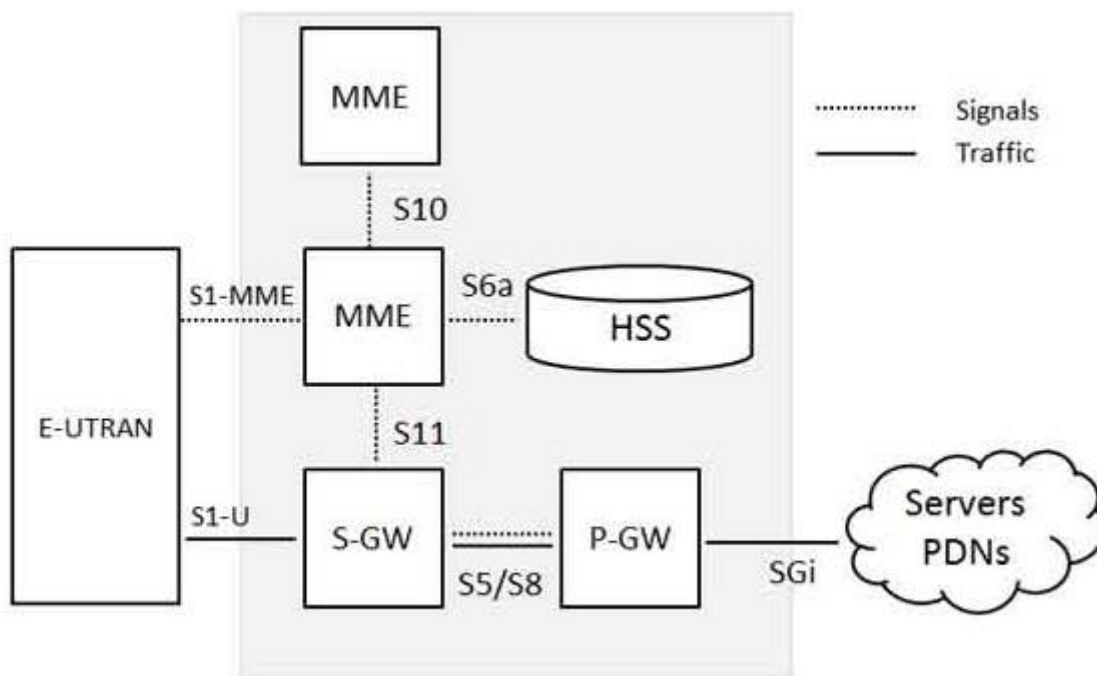
LTE Mobilusis komunikuoja su viena bazine stotimi ir viena cele vienu metu. Yra dvi pagrindinės funkcijos, kurias atlieka eNB:

- eNB siunčia ir gauna radio transliacijas visiems mobiliesiems, naudojantiems analogines ir skaitmenines signalų procesų funkcijas – LTE oro sąsaja.
- eNB kontroliuoja žemo lygio operacijas visuose savo mobiliuosiuose, siųsdama jiems signalizuojančias žinutes, tokias, kaip perdavimo komandas.

Kiekvienas eNB jungiasi su EPC per S1 sąsają, taipogi gali prisijungti prie netoliese esančios bazinės stoties, naudodama X2 sąsają, kuri pagrinde yra naudojama signalizavimui ir paketų persiuntimui vykstant jungimui. Namų eNB(HeNB) yra bazinė stotis, kuri buvo nupirktą vartotojo, kad užtikrinti mažos apimtys bazinės stoties draudimą namuose. Namų eNB priklauso uždarai abonentų grupei – CSG, ir gali būti pasiekta mobiliaisiais su USIM, kurie priklauso uždarai abonentų grupei.[2]

3.7. Evoliucionavęs paketų branduolys - Evolved Packet Core (EPC)

EPC architektūra yra pateikta žemiau esančioje iliustracijoje(3.3 Pav.). Joje yra keleta daugiau komponentų, kurie neparodyti diagramoje, kad palikti ją supaprastintą. Tai komponentai tokie kaip žemės drebėjimų ir tsunamių perspėjimo sistema (ETWS), įrangos atpažinimo registras (EIR) ir politikos kontrolės ir vadovaujančiųjų taisyklių funkcijos (PCRF).



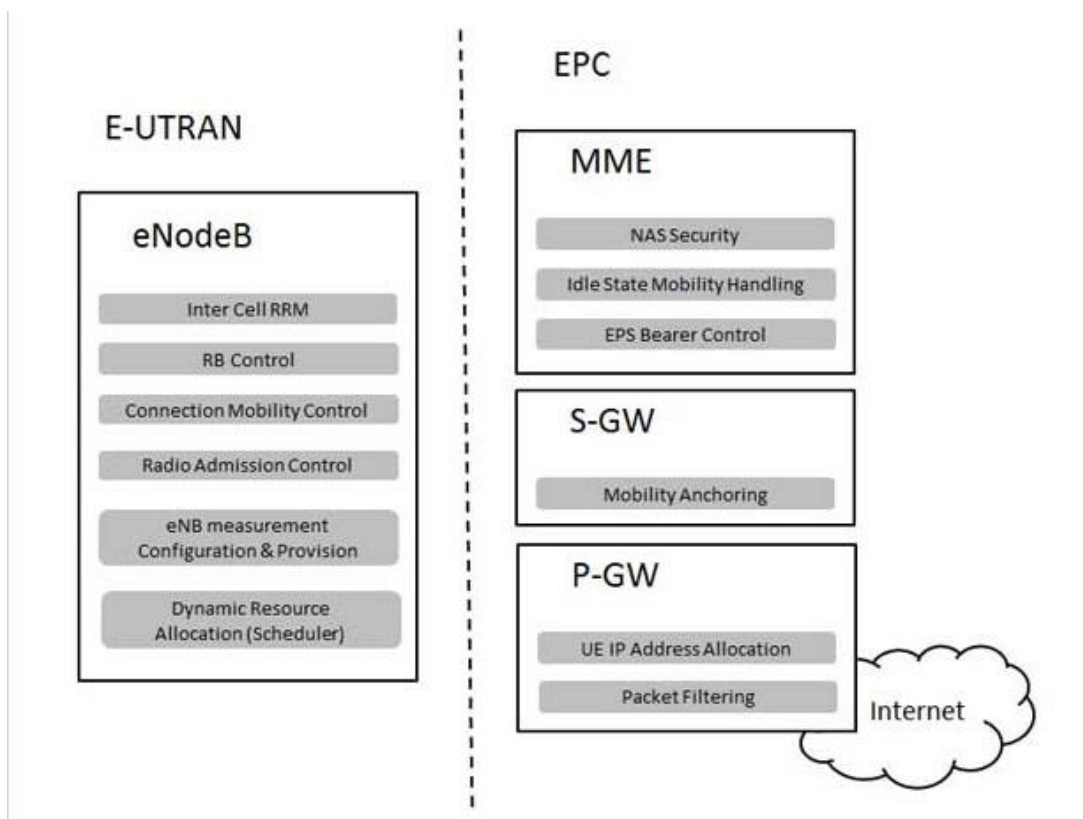
3.3 pav. Evolved Packet Core (EPC) struktūra

Žemiau yra aprašyti visi komponentai pateikti schemeje:

- Namų abonto serveris (HSS), tai komponentas kuris buvo naudojamas ir UMTS ir GSM. Tai yra centrinė duombazė, kuris saugo visą informaciją apie tinklo operatorių abonentus.
- Paketų duomenų tinklas (PDN) vartai (P-GW) komunikuoja su išoriniu pasauliu t.y. paketinių duomenų tinklas PDN, naudodamas SGi sąsają. Kiekvienas paketinių duomenų tinklas atpažystamas per prieigos taško vardą (APN). PDN vartai turi tokį patį vaidmenį kaip ir GPRS palaikymo mazgas (GGSN), ir aptarnauja GPRS palaikymo mazgą (SGSN) su UMTS ir GSM.
- Aptarnavimo vartai (S-GW) veikia kaip maršrutizatorius, ir persiunčia duomenis tarp bazinės stoties ir PDN vartų.
- Mobliojo valdymo subjektas (MME) kontroliuoja aukšto lygio operacijas mobiliajame, signalizuodama žinutes ir namų abonto serverį (HSS)
- Politikos kontrolės ir valdančiųjų taisyklių funkcijos (PCRF) yra komponentas, kuris neparodytas schemeje, bet yra atsakingas už politikos kontrolės sprendimus, taip pat kontroliuojant srauto pagrindu pagrįstomis funkcijomis PCEF, kuris yra viduje P-GW
- Sąsaja tarp aptarnaujančių ir PDN vartų yra žinomas kaip S5/S8. Tai turi du skirtingus diegimus: S5 yra kai du prietaisai yra tame pačiame tinkle, o S8, jei jie yra atskiruose tinkluose.[2]

3.8. Funkciniai skirtumai tarp E-UTRAN ir EPC

Žemiau parodyta iliustracija vaizduoja funkcinius skirtumus tarp E-UTRAN ir EPC technologijų (3.4 pav.):



3.4 pav. E-UTRAN ir EPC funkciniai skirtumai

Kaip matyti iš iliustracijos, šios dvi technologijos turi daug esminių skirtumų, tačiau abi yra vienodai svarbios ir naudojamos LTE tinklo architektūroje.

3.9. 2G/3G ir LTE technologijų palyginimas

Lentelė (3.3 lentelė) palyginimui tarp svarbių tinklo elementų ir signalizavimo protokolų naudojant 2G/3G ir LTE:

3.3 Lentelė. 2G/3G vs LTE technologijų palyginimo lentelė

2G/3G	LTE
GERAN ir UTRAN	E-UTRAN
SGSN/PDSN-FA	S-GW
GGSN/PDSN-HA	PDN-GW
HLR/AAA	HSS
VLR	MME
SS7-MAP/ANSI-41/RADIUS	Diameter
Diameter GTPc-v0 ir v1	GTPc-v2
MIP	PMIP

4. WiFi belaidžio interneto standartai

Vartotojų naudojimuisi belaidžio interneto prieiga būtinas WiFi ryšys, kurio standartai ir pranašumai aprašyti šiame skyriuje. Įvertinti ir palyginti visų jų parametrai ir pagrindinės charakteristikos.

4.1. IEEE 802.11

Šis standartas yra pagrindinis aprašantis operacijas ir sąsajas MAC ir PHY sluoksniuose, kurios būtinos duomenų tinkluose, tokiuose kaip TCP/IP. Trys PHY sluoksnio sąsajos yra apibrėžtos, jog nėra suderinamos tarpusavyje. Viena yra skirta infraraudonųjų (IR) spindulių komunikacijoms, o kitos dvi naudoja 2,4 GHz nelicenzijuotą dažnių juostą, kuri yra suderinta su visais pasaulio regionais. Viena iš sąsajų yra FHSS pagrindu, o kita naudoja DSSS. 802.11 atsirado 1997m., o patobulinta jo versija sukurta 1999m. Pirmieji substandartai, tokie kaip 802.11a ir 802.11b buvo įtraukti į IEEE,2003m. dokumentus jau 1999 metais.[3]

4.2. IEEE 802.11a

Šis technologijos praplėtimas aprašo PHY sluoksnį, kuris leidžia pasiekti 54Mb/s spartą

naudodamas nelicenzijuotą 5Ghz dažnių juostą, OFDM dalinimo pagalba. IEEE 802.11a kartais vadinamas kaip Wi-Fi5, kad pabrėžti, jog 802.11a naudojami 5 Ghz dažnių juosta, ir sumažinti painiavą tarp daugybės santrumpų.[3]

4.3. IEEE 802.11b

Šis standartas aprašo HR/DSSS perdavimo modelį, kurio procesorius gali pasiekti iki 11Mb/s spartą, naudodamas jau užimtą dažnių juostą ir kanalu schemą – DSSS (IEEE, 1999m.). Greitesnė duomenų perdavimo sparta pasiekama naudojant 8 procesorių moduliaciją – CCK.Kodo rinkinys yraplatus už Walsh kodus. Esant 11Mb/s spartai, kodo ilgis yra 8, ir simbolio trukmė taip pat 8, vietoj 11 procesorių, kaip buvo DSSS sąsajoje. Duomenų bitai koduoja simbolius su QPSK ir DQPSK technologijomis.[3]

4.4. IEEE 802.11g

Šis standartas naudoja abu standartų 802.11b (gana didelę apimtį) ir 802.11a (didesnį pralaidumą) pranašumus, taikant multi-nešlį 802.11a OFDM perdavimo schemeje, veikiant 2.4 Ghz juostoje, kuriose veikia 802.11b stotys. 802.11g standartas leidžia pasiekti iki 54Mb/s spartą oro sąsaja.Taip pat, naudojamas praplėstas PHY modelis pagrįstas DSSS vieno nešlio technologija, kuri leidžia pasiekti 33Mb/s spartą. Kadangi 802.11g ir 802.11b stotys dažniausiai veikia tuo pačiu metu daugumoje situacijų, yra įmanoma naudoti DSSS pagrindų perduodamus kadrus, su praplėstu PHY modeliu. Su šia multi-modelių operacija, 802.11g stotys gali veikti kartu su 802.11b stotimis, kurios 802.11g standartą padaro pranašesniu plečiant jau išstumto 802.11b tinklus.[3]

4.5. IEEE 802.11n

Tai vienas greičiausių dabar esančių standartų padidinantis pralaidumą nuo 20Mb/s iki 200Mb/s praktikoje, taip pat padidinti veikimo atstumą sumažinus signalo blukimą (angl. fading). Keletas antenų, arba kitaip MIMO (angl. Multiple-Input, Multiple-Output) yra šių pranašumų priežastis. Dabartinis 802.11n palaiko tokias MIMO funkcijas kaip – erdvinis tankinimas (SDM), laikinis bloko kodavimas (STBC) ir siųstuvo srauto formavimas. Beto yra papildomos funkcijos naudoti patobulintą kodavimą su LDPC (angl. low-density parity check codes), kaip ir 40MHz pločio modelį, žinomą kaip kanalų klįjavimą. Šie patobulinimai leidžia 802.11n standartui pasiekti iki 600Mb/s spartą, ir daugiau kaip 10 kartų padidinti 802.11a/g standartų spartą.

MIMO technologija naudoja daug išsiųstų ir daug priimtų signalų, kad pagerintu bevielio ryšio kokybę. Ši technologija turi daug pranašumų, kurie kyla iš sugebėjimo apdoroti skirtingus

signalus erdvėje vienu metu. Du svarbūs pranašumai yra antenų įvairovė ir erdvinis dalinimas. Naudojant daugiau kaip vieną anteną, MIMO siūlo galimybę nuosekliai surinkti informaciją iš daugiakrypčių signalų naudojant erdvinio atskyrimo priėmimo antenas. Daugiakrypčiai signalai yra atspindėti signalai atkeliaujantys šiek tiek vėliau už originalų signalą. Daugiakrypčiai signalai paprastai yra suvokiami, kaip trigdžiai, trukdantys signalų gavėjui suprasti informaciją tinkamai. MIMO suteikia galimybę erdviškai sudėlioti signalus, ir taip gavėjas gauna tinkamą informaciją.

4.6. IEEE 802.11ac

Norint mulašinti pasaulio vartotojų alkį naudoti daugybę interneto paslaugų vienu metu, tokiu kaip: aukštos raiškos (HD) filmukų, balso skambučių per IP (VoIP), interneto puslapių naršymo ir greito duomenų perdavimo, 802.11n standarto nebepakanka. Nors šis standartas pakankamai greitas, tačiau negali palaikyti didėjančio vartotojų kiekio, žaidimų ir visokių kitų paslaugų užimančiu didelius duomenų kiekius, neprarasdamas kokybės. Dėl šios priežasties Wi-Fi technologija turi nesustoti tobulėti ir ieškoti naujų išeičių, spręsti naujai iškilusioms problemoms. Nauji sprendimai turi ne tik garantuoti didesnę duomenų perdavimo greitį, tačiau turi naudoti platesnę dažnių juostą ir efektyviau išnaudoti kanalus.

Vienas iš tikslų buvo pagreitinti duomenų perdavimo spartą iki 1Gbps, kuri galėtų būti padalinta tarp prietaisų sujungtų į tinklą, kurie naudotųsi 6Ghz dažnių juosta. Viena atskira tinklo jungtis turėtų veikti iki 500 Mbps spartos.

Visi WLAN standartai priklauso nuo prieigos prie radijo spektro. IEEE 802.1b ir IEEE 802.11g dalinasi 2,4 Ghz spektru su belaidžiais telefonais, mikrobangų krosnelių triukšmu ir daug kitų neigiamų veiksnių. 802.11n gali naudoti kombinaciją tarp 2.4Ghz ir 5 Ghz dažnių juostų. Kad išvengtų interferencijų, visi IEEE 802.11 variantai, padalinę savo skirtuosias juostas į kanalus, panašiai, kaip radijo ir TV transliavimo juostos yra padalintos. Ši technologija leidžia prietaisams esantiems netoli vienas kito naudotis ta pačia juosta, būnant skirtinguose kanaluose. Beto, ši technologija leidžia 802.11 standartus pritaikyti visose šalyse, kadangi kanalo naudojimas gali būti konfiguruojamas kiekvienai valstybei atskirai.

IEEE 802.11ac sukurtas naudotis 5Ghz spektro juosta, kuri yra švaresnė ir susiduria su mažiau interferencijos nei 2.4Ghz dažnių juosta. 2.4 Ghz spektras yra užkištas Wi-Fi ir Bluetooth bevielėmis sąsajomis, augančiu namų bevieliais tinklais ir pan., beto tik vienas 40Mhz kanalas yra leidžiamas 2.4Ghz juostoje vienu metu, kaip palyginimui 5Ghz juosta leidžia iki 11 tokių kanalų vienu metu. Būtent dėl to IEEE 802.11ac grupė mato 5Ghz kaip sprendimą norint gauti didelį spartą ir plačią juostą.[7]

Standartų palyginimo lentelė (4.1 lentelė), kurioje surašyti svarbiausi standartų parametrai: veikimo dažniai, moduliacijos, perdavimo spartos ir maksimalūs atstumai.

4. 1 lentelė. Standartų palyginimo lentelė

Parametras	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Veikimo dažniai	5 GHz U-UNI juosta	2.4 GHz ISM juosta	2.4 GHz ISM juosta	2.4/5 GHz ISM juosta
Moduliacijos	OFDM	DSSS	DSSS/OFDM	OFDM ir MIMO
Perdavimo spartos Mb/s	6,9,12,18,24,36,48,54	1,2,5.5,11	1,2,5.5,11,6,9,12,18,24,36,48,54	108-600
Maksimalus atstumas	152.4m	304.8m	304.8m	607.6m

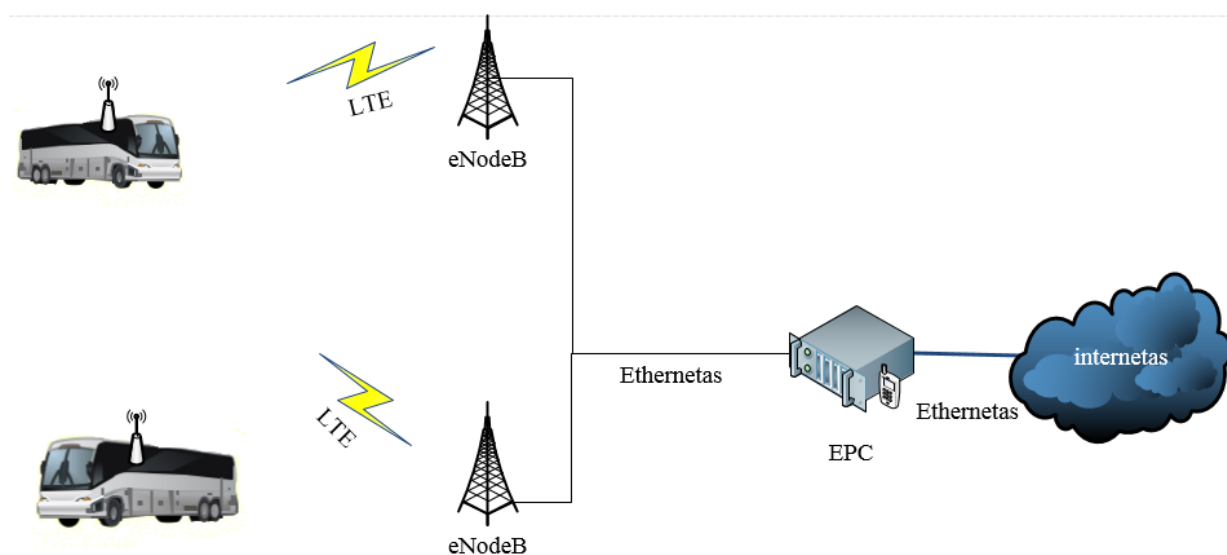
Kaip matyti iš palyginamosios lentelės, tinkamiausias standartas yra 802.11n, dėl savo didelės spartos ir didelio veikimo atstumo.

5. Belaidžio tinklo judantiems objektams projektavimas

Išanalizavus visas belaidžio tinklo technologijas ir atlikus jų lyginamąją analizę suprojektuojamas belaidis tinklas.

5.1. Tinklo loginė schema ir paslaugų pasiskirstymas

Projektavimas pradedamas nuo supaprastintos loginės schemos (5.1 pav.):



5.1 pav. LTE tarpmiestinio transporto loginė schema

Tinklas susideda iš dviejų dalių(5.1 Pav.):

- LTE tinklo: eNodeB bazinių stočių prijungtų prie šviesolaidinio etherneto infrastruktūros, EPC ir etherneto ryšio linijos prie interneto;
- WiFi prieigos tinklo autobuse, suderinamo su 802.11 b/g/n/ac standartais.

Pasirinktas maršrutas Kaunas Vilnius, kuriame kursuoja autobusai kas 15 minučių. Priimama jog autobusuose yra 36 keleiviai, iš kurių 30 naudojami internetu. Taip pat priimama, kad maršrute yra 6 traukiniai, kurie važiuoja kas 45 minutes, ir turi vidutiniškai turi po 150 keleivių, iš kurių apie 60 naudojami belaidžiu internetu. Priima prielaidą, jog vartotojai naudojami vaizdinės medžiagos peržiūra, interneto tinklapių naršymu (WWW), el. pašto ir IM paslaugomis. Nagrinėjamas tik žemynkryptis srautas, nes nėra specifinių paslaugų kurioms reikėtų didelio aukštynkrypties pralaidumo. Interneto paslaugos ir jų naudojamas pateikiamas 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. Interneto paslaugų parametrai, iš jų naudojamasis

Paslauga	Srautas, Mb/s	Naudojamasis, %
Video peržiūra	1	20
www	1	50
El. paštas	0,1	10
IM	0,06	20

5.2. Sugeneruojamų srautų skaičiavimai

Maršruto atstumas 100km, autobuso greitis 90km/h, taigi autobusai yra kas 20km viena kryptimi. Autobusai važiuoja abejomis šio maršruto kryptimis, todėl bendras autobusų skaičius kelyje yra 12. Šiame maršrute taip pat yra vidutiniškai 6 traukiniai, kurie pasiekia iki 160km/h greitį ir iš stoties išvažiuoja vidutiniškai kas 45 minutes.

Atliekami autobuse ir traukinyje sugeneruojamų srautų pagal paslaugas skaičiavimai naudojant (1) formulę, rezultatai pateikiami 5.2 ir 5.3 lentelėse.

$$I_{pas} = N_{vart} \cdot N_{paslaugos} \cdot Y_{paslaugos} \quad (1)$$

Čia, I_{pas} - viename autobuse sugeneruojamos paslaugos srautas, Mb/s; N_{vart} - interneto vartotojų kiekis autobuse; $N_{paslaugos}$ - vartotojų kiekis besinaudojančiu paslauga kiekis, %; $Y_{paslaugos}$ - vieno vartotojo sugeneruojamas paslaugos srautas, Mb/s.

I tinklą patenkantis paslaugų srautas iš autobusų ir traukinių apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$I_{sum} = I_{pas} \cdot N_{aut} \quad (2)$$

Čia, I_{sum} – suminis srautas sukuriamas autobusų/traukinių, Mb/s, I_{pas} - viename autobuse/traukinyje sugeneruojamos paslaugos srautas, Mb/s; N_{aut} – kelyje esančių autobusų/traukinių kiekis.(5.4 lentelė)

5.2 lentelė. Interneto paslaugų sugeneruojamas srautas autobusuose

Paslauga	Vieno autobuso, Mb/s	Visų autobusų, Mb/s
Video peržiūra	6	36
www	15	90
El. paštas	0,3	1,8
IM ir VoIP	0,36	2,16
Σ	21,66	129,96

5.3 lentelė. Interneto paslaugų sugeneruojamas srautas traukiniuose.

Paslauga	Vieno traukinio, Mb/s	Visų traukinių, Mb/s
Video peržiūra	12	72
www	30	180
El. paštas	0,6	3,6
IM ir VoIP	0,72	4,32
Σ	43,32	259,92

5.4 Lentelė. Suminis srautas gaunamas iš autobusų ir traukinių

Paslauga	autobusų, Mb/s	traukinių, Mb/s	Σ , Mb/s
Video peržiūra	36	72	108
www	90	180	270
El. paštas	1,8	3,6	5,4
IM ir VoIP	2,16	4,32	6,48
Σ	129,96	259,92	389,88

Vienas autobusas sugeneruoja iki 21,66 Mb/s interneto srauto. Maršrute važiuojantys autobusai sugeneruoja 129,96 Mb/s interneto srauto. Vienas traukinys sugeneruoja iki 43,32 Mb/s interneto srauto. Maršrute važiuojantys autobusai sugeneruoja 259,92 Mb/s interneto srauto. Bendrai autobusai ir traukiniai sugeneruoja 389,88 Mb/s interneto srautą. Įvertinant plėtimo galimybes ateityje pasirenkama 500 Mb/s pralaidumo interneto linija.

5.3. Įranga

LTE bazinių stočių realizavimui pasirenkamas 800MHz dažnių ruožas, kuriame naudojami 10 MHz FDD kanalai. Šis dažnių ruožas yra patrauklus dėl mažų sklidimo nuostolių, todėl naudojant šį dažnių ruožą yra lengva užtikrinti didelę tinklo aprėptį. Naudojama 2x2 MIMO antenų konfigūracija. Esant tokiai konfigūracijai tinkle užtikrinama sparta iki 73 Mb/s žemynkryptėje ir 36Mb/s aukštynkryptėje. Bazinių stočių realizacijai pasirenkama AxxceLTE™ eNodeB bazinė stotis, jos pagrindiniai parametrai pateikiami 5.5 lentelėje. Kiekviename saite statoma iki keturių 2x2 MIMO tipo 89° sektorių, kurių kiekvieno stiprinimas yra 15,9 dBi. Tačiau jei kelias atkarpoje yra tiesus yra naudojami du sektoriai nukreipti išilgai kelio, jei kelias vingiuoja ir sukasi - statoma atitinkamai daugiau nei du sektoriai, kad būtų užtikrinamas tolygus signalo padengimas maršrute.

5.5 lentelė. AxxceLTE™ eNodeB bazinės stoties pagrindiniai parametrai.

3GPP suderinimas	9 leidimas su galimybe atnaujinti į 10 leidimą
Dupleksavimas	TDD arba FDD
Kanalų pločiai, MHz	1,4, 3, 5, 10, 15, 20
Kanalų talpa	Iki dviejų 20 MHz kanalų
Dažnių ruožai	650-150 MHz arba 1750-3800 MHz
Siųstuvo galia	20 W modelis: 2x10W
MIMO galimybės	2x2 arba 4x4 (SU-MIMO ir MU-MIMO galimybės)
Maksimali duomenų perdavimo sparta	2x2 MIMO: žemynkryptėje – 150 Mb/s, aukštynkryptėje – 75 Mb/s 4x4 MIMO žemynkryptėje – 300 Mb/s, aukštynkryptėje – 150 Mb/s
Jungtys	4 x RF N tipo ; 3 x CPRI V4.1; 2 x GbE (SFP); GbE / PoE PSE; 1PPS-SyncIn; 1PPS-SyncOut; GPS antenos; RET / AISG V2; maitinimo jungtis

EPC infrastruktūros realizacijai pasirinkta to paties kaip ir bazinės stoties gamintojo siūlomas sprendimas. AxxceLTE™ μEPC yra pilnavertis EPC, kuris apima visas EPC funkcijas viename įrenginyje. Pagrindiniai jo parametrai pateikiami 5.6 lentelėje.[6]

5.6 lentelė. AxxceLTE™ μ EPC specifikacija

Talpa	10 000 UE
Mobilumo palaikymas	S1 ir X2 perkeltys
IP	4 ir 6 versijos
OS	Atvirojo kodo Linux
Etherneto prievadai	10x 1Gb/s

Vartotojo įrangai pasirinktas Motorola gamintojo VML750 LTE automobilinis modemas su WiFi technologija. Modemas turi GPS imtuvą, kurio pagalba galima sekti autobuso judėjimą maršrute. Prie modemo prijungiama išorinė visakryptė 2x2 MIMO 3,5 dBi stiprinimo antena. Modemo specifikacijos pateikiamos 5.7 lentelėje.[5]

5.7 lentelė. VML750 LTE modemo specifikacija

LTE	
Leidimo versija	9GPP 9 leidimas
Dažnių juostos	710-1755 ir 2120-2155 MHz, 700 MHz, 800 MHz
Siųstuvo galia	19 dBm
Kanalo plotis	5 MHz, 10 MHz
Moduliacijos	QPSK, 16QAM, 64QAM
WiFi	
Suderamumas su WIFI standartais	b/g/n
WiFi klientų kiekis	Iki 32
Jungtys	
Kabelinės jungtys	1x10/100 RJ-45, 1xUSB 2.0
Anteninės jungtys	3x SMA (LTE, EVDA, GPs), 1x(LTE ir EVDA atskyrimui, WiFi)

5.4. Radijo biudžeto skaičiavimai

Pirmiausiai atliekamas radijo biudžeto skaičiavimas; taip galima įvertinti kokie galimi maksimalūs sklidimo nuostoliai. Radijo biudžete skaičiavimui naudojamos įrangos parametrai, tokie kaip siųstuvo galios, antenų stiprinimai, nuostoliai sujungimuose, imtuvų jautriai (5.8 lentelė).[9]

5.8 lentelė. Radijo biudžeto pradiniai duomenys

	BS	MS
Siųstuvo galia, dBm	40	16
Nuostoliai sujungimuose ir jungiamajame kabelyje, dB	1	1
Antenos stiprinimas, dBi	15,9	3,5
Imtuvo jautris, dBm	-110	-100
Antenos pakėlimo aukštis	40	3

Tinklo aprėpties planavimui pasirenkamas Okumura-Hata modelis mažiems miestams (3 formulė).[10]

$$L_U = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_B - C_H + [44.9 - 6.55 \log h_B] \log d \quad (3)$$

Mažiems ir nedideliems miestams(4 formulė):

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log f - 0.7)h_M - 1.56 \log f \quad (4)$$

čia, - energetiniai nuostoliai miestų zonose (dB); - bazinės stoties antenos aukštis (m); - mobilios stoties antenos aukštis (m); f - signalo dažnis(MHz) ; - antenos aukščio korekcijos faktorius

atviro tipo vietovėms Lro(5 formulė):

$$L_{ro} = L_u - 4.78 * (\log(f))^2 + 18.33 * \log(f) - 40.94, \text{ dB} \quad (5)$$

Pirmiausiai apskaičiuojamas antenos korekcijos koeficientas mažiems ir nedideliems miestams (6 formulė).

$$CH = 3,753,$$

$$P_s = P + G_{tx} + G_{rx} - L - N_{rx} - N_{tx}, \quad (6)$$

čia, P_s – priimtas signalas imtuve, dBm; G_{tx} – siųstuvo antenos stiprinimas, dBi; G_{rx} – imtuvo antenos stiprinimas, dBi; L – sklidimo nuostoliai, dB; N_{rx} – sujungimų ir jungiamajo

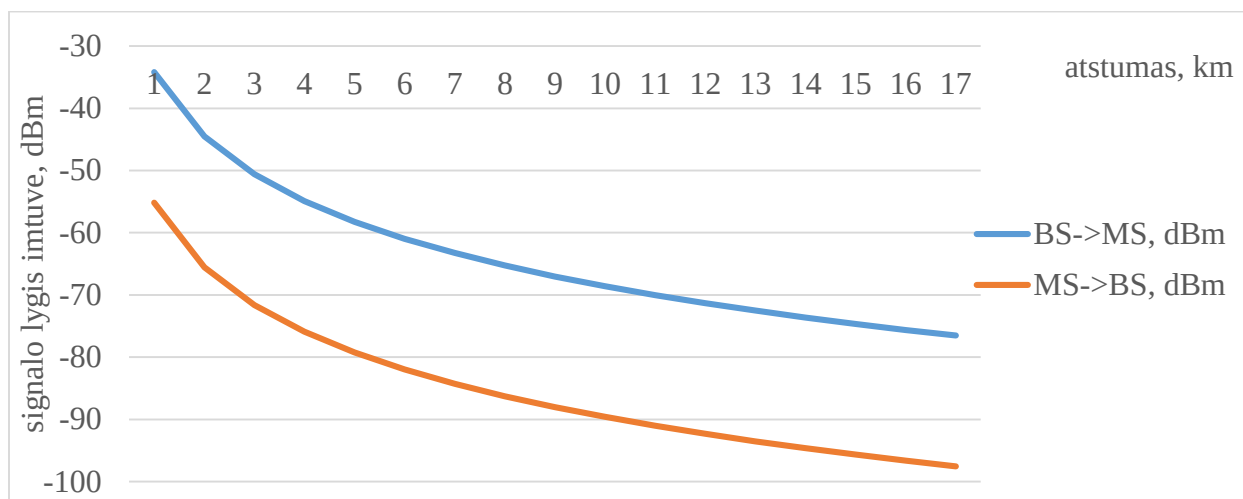
kabelio nuostoliai siųstuve, dB; Ntx - sujungimų ir jungiamąjo kabelio nuostoliai imtuve, dB.

Suskaičiuojami radijo sklaidimo nuostoliai. Vėliau atliekami skaičiavimai pagal (3) formulę dvejomis kryptimis, t.y. ryšiui iš bazinės stoties siųstuvo į mobilios stoties imtuvą (BS->MS) ir atvirkščiai – iš mobilios stoties siųstuvo į bazinės stoties imtuvą (MS->BS)(5.9 lentelė). Norint užtikrinti kokybišką ryšį priimto signalo lygis turi būti didesnis už imtuvo jautrį. Taip pat svarbu įvertinti, jog nuolatinio ryšio užtikrinimui turi būti bazinių stočių sektorių persidengimas, tam kad būtų užtikrintas sklandus mobilios stoties persijungimas prie kitos bazinės stoties.

5.9 lentelė. Radijo biudžeto skaičiavimo rezultatai.

atstumas, km	Lu, dB	Lo, dB	BS->MS, dBm	MS->BS, dBm
1	119,603	91,5911	-34,191	-55,191
2	129,96	101,949	-44,549	-65,549
3	136,019	108,007	-50,607	-71,607
4	140,318	112,306	-54,906	-75,906
5	143,652	115,64	-58,24	-79,24
6	146,376	118,365	-60,965	-81,965
7	148,68	120,668	-63,268	-84,268
8	150,675	122,663	-65,263	-86,263
9	152,435	124,423	-67,023	-88,023
10	154,009	125,998	-68,598	-89,598
11	155,434	127,422	-70,022	-91,022
12	156,734	128,722	-71,322	-92,322
13	157,93	129,918	-72,518	-93,518
14	159,037	131,025	-73,625	-94,625
15	160,068	132,056	-74,656	-95,656
16	161,033	133,021	-75,621	-96,621
17	161,938	133,927	-76,527	-97,527

Atlikus skaičiavimus brėžiama priimto signalo priklausomybė nuo atstumo abiejomis kryptimis(5.2 pav.):

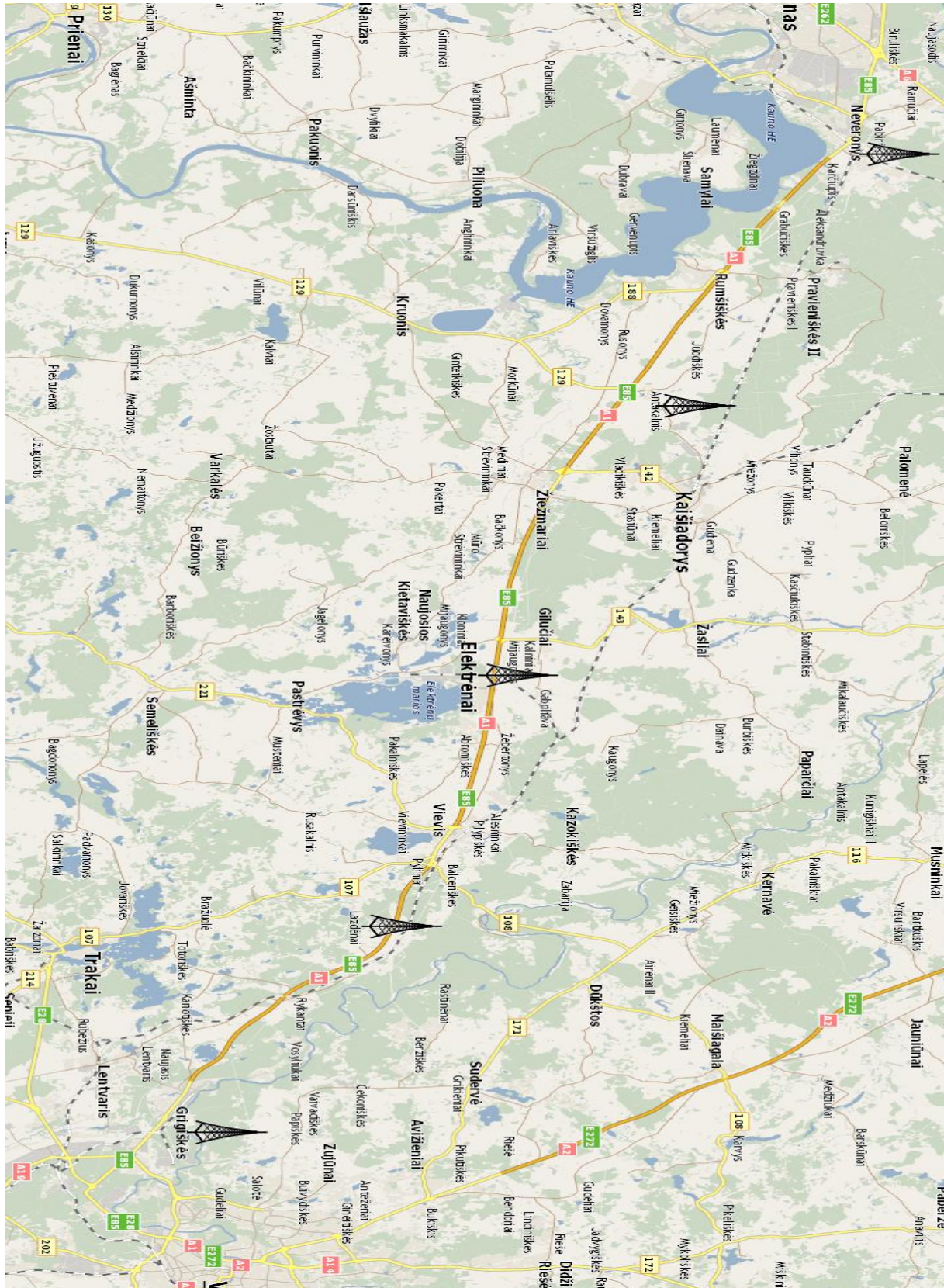


5.2 pav. Priimto signalo galios priklausomybė nuo atstumo

5.5. Planuojamos bazinių stočių vietos

Kaip matyti iš radijo biudžeto skaičiavimų (5.2 pav.), priimtas signalo lygis mobiliojoje stotyje yra žymiai didesnis lyginant su priimtu signalu bazinėje LTE stotyje. Taip yra todėl, jog bazinės stoties galia yra žymiai didesnė už mobilios stoties, tačiau tai yra kompensuojama, nes bazinės stoties imtuvo jautris yra geresnis. Pagal gautus rezultatus optimaliam tinklo padengimui numatoma bazinės stoties statyti kas 20km, nes vieno bazinės stoties sektoriaus padengimas numatomas apie 10 km. (5.3 pav.)

5.3 pav. Planuojamos bazinių stočių vietos



Žinant jog autobusai kursuoja maršrutu į vieną pusę kas 15 minučių ir važiuoja 90 km/h greičiu, tarpai tarp autobusų bus apie 20 km. Taip pat maršrute yra 6 judantys traukiniai. Todėl galima priimti prielaidą jog vidutiniškai viena bazinė stotimi naudosis dviejų autobusų ir vieno traukinio keleiviai, įvertinant jog autobusai ir traukiniai važiuoja abiejomis kryptimis. Taigi į bazinę stotį patenkantis srautas yra ~65 Mb/s. Bazinė stoties sektorius suteikia iki 73Mb/s pralaidumą, todėl lieka 8 Mb/s neišnaudotos talpos sektoriui, kuri galės būti panaudota pikineje situacijoje. Jeigu neužtektu bazinės stoties talpos reikėtų statyti papildomą sektorių arba papildomą bazinę stotį.

Išvados

1. Išanalizuoti IEEE 802.11 (WiFi) standartai, juose naudojamos technologijos, spartos, dažniai, bei moduliacijos, ir jie visi palyginti. Pagal šiuos kriterijus išrinkta 802.n tinkamiausiu standartu, dėl didelės spartos (iki 600 Mb/s), kuris ir bus naudojamas tinklo projektavime.

2. Išnagrinėtos 3G bei 4G technologijos, ir palygintos jų specifikacijos, spartos ir eksploatavimo galimybės. Išrinkta 4G LTE technologija, kaip pagrindinė, dėl didelės spartos, kuria remtasi šiame darbe.

4. Įvertinti autobusų ir traukinių vidutiniai greičiai – atitinkamai 90Km/h ir 160Km/h., ir jų važiavimo intervalai. Apskaičiuoti viename autobuse/traukinyje sugeneruojamų paslaugų srautai. Tinkle sugeneruojamas: 389,88 Mb/s interneto srautas, todėl pasirinktos LTE ir IEEE 802.11n technologijos, šiam srautui palaikyti.

5. Tinklo aprepties planavimui pasirinktas Okumura-Hata modelis atviroms vietovėms, bei panaudotos formulės tinkančios mažiems ir nedideliems miestams. Apskaičiuoti signalo stiprumai, pagal radijo sklidimo modelius ir antenos korekcijos koeficientai. Įvertinus priimtus signalus mobiliojoje bei bazinėje stotyse nustatyta, kad tikslinga pastatyti bazines stotis kas 20km ir numatytos 5 bazinės stotis minėtame maršrute.

6. Pasirinktas 800MHz dažnių ruožas LTE bazinių stočių realizavimui dėl mažų sklidimo nuostolių ir didelės aprepties.

7. Bazinėms stotims pasirinkta penkios AxxceLTE eNodeB bazinės stotys. Vartotojo įrangai pasirinkta Motorola gamintojo VML750 LTE viešajam transportui skirtas modemas su WiFi funkcija dėl didelio vartotojų palaikymo vienu metu – iki 30 vartotojų.

INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/HSPA-tutorial.html>
2. http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_quick_guide.htm
3. Knyga: IEEE-802 Wireless Systems - B. Walke, S. Mangold, L. Berlemann (Wiley, 2006)
4. Knyga: Comparison analysis between IEEE 802.11a/b/g/n., Puja Sharma, R.K.Chaurasiya, Anuj Saxena, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 5, May-2013 988
5. http://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/products/public_safety_lte/vml750/_documents/_static_files/vml750_spec_sheet.pdf
6. http://www.axxcelera.com/product_item_detail.php?id=3071
7. http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3600-series/white_paper_c11-713103.html
8. Knyga: Fundamentals of Telecommunications 2nd ed - R. Freeman (Wiley, 2005) WW
9. Knyga: John.Wiley.and.Sons.Communication.Systems.for.the.Mobile.Information.Society.Sep.2006
10. Knyga: Wiley Encyclopedia of Telecommunications [Vol III] - J. Proakis (Wiley, 2003) WW

PRIEDAI

1 priedas. Motorola VML 750 LTE Modemo specifikacijos

PRODUCT SPEC SHEET VML750 LTE VEHICLE MODEM

SPECIFICATIONS

4G LTE

Release	3GPP Release 9
Band	1710-1755 & 2120-2155 Band 4 700 MHz Band 14 700 MHz Band 13 800 MHz Band 20
Output Power	19 dBm effective radiated power (ERP)
Bandwidth	5 MHz, 10 MHz
Modulation	QPSK, 16QAM uplink QPSK, 16QAM and 64QAM downlink

3G EVDO

Band Support	EVDO Rev. A Band 0, Band 1
Band 0 ERP	23 dBm
Band 1 ERP	23 dBm
Total Radiated Power (TRP)	20 dBm
Modulation	1xRTT: QPSK EVDO Rev 0: QPSK, 16QAM EVDO Rev A: QPSK, 16QAM

CONNECTIVITY

Wi-Fi Connectivity	802.11b/g/n 2.4 GHz Device can act as access point or client Up to 32 Wi-Fi devices 164 ft (50 m) line-of-sight
Wired Connectivity	1 Ethernet port (10/100 Mbps, RJ-45) 1 USB 2.0 port
GPS	SIRFstarIV™-based Autonomous GPS 1 external antenna Supports NMEA, TAIP

ANTENNA CONFIGURATION

Main Antenna Housing	Single sheath contains 3 external antennas: • LTE main • EVDO main • GPS
Diversity Antenna	Second antenna provides the following functions: • LTE diversity • EVDO diversity • Wi-Fi
Maximum Antenna Height	17 in (43 cm), measured from mounting surface

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Dimensions	8.1 x 7.9 x 1.8 in (205 x 200 x 45 mm)
Weight	5.5 lbs (2.5 kg)
Operating Temperature	-22°F to 140°F (-30°C to 60°C)

MANAGEMENT AND SUPPORT

Remote Configuration and Management	OMA-DM compliant. Field-upgradable via OTAP (over-the-air programming)
Operating System Compatibility	Configuring, controlling, and operating the modem requires software running on one of the following operating systems: Microsoft® Windows® 7 Microsoft Windows XP Additional client devices running many operating systems can be connected to the VML750 modem over Ethernet or Wi-Fi.
Security	Optional CRYPTR FIPS-140-2 compliant security storage module VPN IPSEC Tunneling
Environmental and Regulatory	FCC 47 Part 27, 15, 90 Safety EN60950-1 RoHS Directive 2002/95/EC
Carrier Certifications	Verizon Wireless
Power	11.0 - 13.8 VDC
Durability	IP66 (protected against tight dust and powerful water jets)
MIL-STD 810G	Salt 509.5 Proc. I Mechanical SHOCK 516.6 Proc. 1 Functional Vibration 514.6 Proc. 1, Category 4 Random Solar Radiation 505.5 Proc. I Low Pressure (Altitude) Operation 500.5 Proc. I, II
Warranty and Service	One year limited warranty Available Service from the Start support program • Covers defects and normal wear and tear • Delivers technical support response within 4 hours • Reduced repair turnaround time • Available in 2-, 3- and 5-year increments