



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ INŽINERIJOS KATEDRA

Darius Lukošius

**GPRS IR UMTS DUOMENŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJŲ
LYGINAMOJI ANALIZĖ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF GPRS AND UMTS DATA
TRANSMISSION TECHNOLOGIES**

Baigiamasis magistro darbas

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programa (valstybinis kodas 62101T211)

Telekomunikacijų vadybos specializacija

Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. A. Kajackas

Vilnius, 2006

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
TELEKOMUNIKACIJŲ INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

prof. habil. dr. A. Kajackas
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė)

2006 _____

Darius Lukočius

**GPRS IR UMTS DUOMENŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJŲ
LYGINAMOJI ANALIZĖ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF GPRS AND UMTS DATA
TRANSMISSION TECHNOLOGIES**

Baigiamasis magistro darbas

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programa (valstybinis kodas 62101T211)

Telekomunikacijų vadybos specializacija

Elektros ir elektronikos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. A. Kajackas
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas doc. dr. A. Kaulakienė
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas K. Motiejūnas
(Moksl. laipsnis, vardas pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2006

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Elektronikos fakultetas
Telekomunikacijų inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2006-06-13

Telekomunikacijų inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas: GPRS ir UMTS duomenų perdavimo technologijų lyginamoji analizė
Autorius: Darius Lukočius

Kalba

- lietuvių
 užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos mobilios duomenų perdavimo technologijos. Teoriškai aprašytos ir išnagrinėtos CSD, HSCSD, GPRS, EDGE ir UMTS technologijos: bendros sistemų sandaros, radijo sąsajos kanalų struktūros, kodavimo, moduliavimo schemas, išvardyti sistemų privalumai ir trūkumai. Pagrindinis dėmesys skirtas perduodamų duomenų spartai įvertinti ir palyginti, nustatyti svarbiausius ją lemiančius veiksnius. Atlikti eksperimentiniai GPRS, EDGE ir UMTS duomenų perdavimo spartos matavimai. Ištirta duomenų perdavimo aukštyn ir perdavimo žemyn sparta skirtingose sąlygose: idealiose – specialioje UAB „Omnitel“ testinės bazinės stoties laboratorijoje ir realiose – Vilniaus mieste. Taip pat ištirtos keturios pasirinktos programinės įrangos, skirtos galutiniam vartotojui tiksliam duomenų spartos, apimties įvertinimui, patogiam sujungimų valdymui, apskaitai. Pateiktas jų vertinimas, nustatyta, kad patogiausia, patikimiausia ir tiksliausiai skaičiuojanti yra „Du Meter“ programa. Darbo gale pateiktos išvados ir tolimesni šio darbo vystymo etapai.

Darbo apimtis – 57 psl. aiškinamojo rašto su priedais, 25 iliustr., 8 lent., 16 bibliografinių šaltinių.

Reikšminiai žodžiai: CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, duomenų sparta, Du Meter, OnlineEye

Vilnius Gediminas technical university
Faculty of electronics
Department of telecommunications engineering

ISBN ISSN
Copy num. 2
Date 2006-06-13

Telecommunications engineering study program master's thesis
Name: Comparative analysis of GPRS and UMTS data transmission technologies
Author: Darius Lukocius

Language
 Lithuanian
 Foreign

Annotation

In this master's thesis mobile data transmission technologies CSD, HSCSD, GPRS, EDGE and UMTS are theoretically described, analyzed and compared. System structures, radio interface organization, coding and modulation schemes are presented. Main focus is on each technology data transfer speed and facts which impacts that speed. Theoretical calculations of reliable data transfer speed in ideal and real conditions are made. Researches are made of GPRS, EDGE and UMTS technologies. Download and upload speeds in different conditions (ideal and real), used protocol impact to data transfer speed are investigated as well. Four different software for internet speed and data amounts measurement were analyzed and compared. After investigation, "DU Meter" where accepted as easiest to use, most accurate and fail-safe software. Scope of the project – 57 pages, 25 illustr., 8 tables, 16 bibliographical sources.

Keywords: CSD, HSCSD, GPRS, EDGE, UMTS, download, upload, speed, DU Meter, OnlineEye

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ	9
1. MOBILIŲJŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJŲ RAIDA	11
2. DUOMENŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJOS	13
2.1. CSD – duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija	13
2.2. HSCSD – didelės spartos duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija	13
2.3. GPRS – paketinio duomenų perdavimo technologija	14
2.3.1. GPRS radijo sąsajos valdymo loginių kanalų struktūra	16
2.3.2. GPRS kodavimo schemas	18
2.3.3. GPRS mobiliųjų telefonų klasifikavimas	20
2.3.4. Bendro radijo išteklių pasidalijimas	21
2.4. EDGE – didesnės duomenų perdavimo spartos technologija	22
2.4.1. EDGE sistemos struktūra	22
2.4.2. EDGE pranašumai prieš GPRS	23
2.5. UMTS – universalioji mobiliųjų telekomunikacijų sistema	26
2.5.1. UMTS tinklo architektūra	26
2.5.2. Fizinis lygmuo	27
2.6. Technologijų palyginimas	29
3. DUOMENŲ PERDAVIMO SPARTA	31
3.1. Duomenų perdavimo spartą labiausiai lemiantys veiksniai	31
3.2. Duomenų perdavimo spartos numatymas	32
3.2.1. Kai naudojama GPRS technologija	32
3.2.2. Kai naudojama EDGE technologija	33
3.2.3. Kai naudojama UMTS technologija	33
4. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI	34
4.1. Duomenų apskaitai skirtų programinių įrangų tyrimas	34
4.2. Duomenų spartos matavimai	39
IŠVADOS	48
SUTRUMPINIMAI	50
LITERATŪRA	53
PRIEDAI	55
1 priedas. Duomenų perdavimo žemyn matavimo (naudojant FTP) bylos pavyzdys	55
2 priedas. Duomenų perdavimo matavimo (naudojant HTTP) bylos pavyzdys	56
3 priedas. DU Meter programos gegužės mėnesio ataskaita	57

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. GSM/GPRS tinklo struktūrinė schema	15
2 pav. TACH kanalų struktūra.....	17
3 pav. GPRS kodavimo schemų CS-1, CS-2, CS-3, CS-4 priklausomybės nuo signalo lygio RxLev ir signalas-trikdys santykio C/I (vid.) [12]	19
4 pav. Realiomis sąlygomis (Vilniaus mieste) išmatuota antenos sukuriamo elektromagnetinio lauko galios priklausomybė nuo atstumo tarp bazinės ir mobilios stoties [14].....	20
5 pav. Laikinių intervalų paskyrimas [2].....	21
6 pav. EDGE tinklo struktūrinė schema	23
7 pav. GMSK ir 8PSK moduliavimas	23
8 pav. EDGE kodavimo schemų MCS-1, MCS-2 ... MCS-9 priklausomybės nuo signalo lygio RxLev ir signalas-trikdys santykio C/I (vid.) [12]	25
9 pav. UMTS tinklo struktūra [10]	26
10 pav. Dažnių FDD (a) ir laiko TDD (b) išteklių skirstymas	27
11 pav. Radijo kadro struktūra	28
12 pav. Duomenų perdavimas įvairiais tinklais.....	29
13 pav. DU Meter programos mini langas	35
14 pav. NetStat Live programos pagrindinis langas.....	35
15 pav. OnlineEye Pro programos (a) pagrindinis ir (b) mini langai	36
16 pav. ICC programos mini langas	36
17 pav. Principinė eksperimento schema	39
18 pav. Duomenų perdavimo žemyn sparta esant idealioms sąlygoms	40
19 pav. Duomenų perdavimo aukštyn sparta esant idealioms sąlygoms.....	41
20 pav. Duomenų perdavimo sparta naudojant HTTP protokolą esant idealioms sąlygoms.....	42
21 pav. Puslapio parsisiuntimo trukmė esant idealioms sąlygoms.....	43
22 pav. Duomenų perdavimo žemyn sparta esant realioms sąlygoms	43
23 pav. Duomenų perdavimo aukštyn sparta esant realioms sąlygoms	44
24 pav. Duomenų perdavimo sparta naudojant HTTP protokolą esant realioms sąlygoms.....	45
25 pav. Puslapio parsisiuntimo trukmė esant realioms sąlygoms	46

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. GPRS kodavimo schemas.....	18
2 lentelė. MS klasės.....	21
3 lentelė. EDGE kodavimo schemas.....	24
4 lentelė. Plėtimo faktorius ir duomenų sparta.....	29
5 lentelė. CSD, HSCSD, GPRS, EDGE ir UMTS palyginimas.....	30
6 lentelė. Duomenų kiekio apskaita.....	37
7 lentelė. Programų įvertinimas.....	37
8 lentelė. Vidutinė duomenų perdavimo sparta.....	46

IVADAS. UŽDUOTIES ANALIZĖ

Šiuolaikiniame pasaulyje, kuriame taip greitai plėtojamos naujos technologijos, bene didžiausias rinkos ir technikos potencialas yra komunikacijų srityje. Sparčiai kintant gyvenimo tempui, reikalavimai komunikacijos priemonėms ženkliai auga. Jei anksčiau per atstumą vienas kitą šaukdavome balsu, vėliau laidiniu telefonu, tai dabartinis bendravimas vyksta mobiliuoju telefonu. Negana to, vis daugiau žmonių pageidauja ne tik balsu bendrauti su vienu ar keliais pašnekovais, bet perduoti ir gauti įvairaus dydžio ir formos reikiamą informaciją visur, kur jie tuo momentu bebūtų: darbe, namie, bare ar automobilyje.

Prie interneto vartotojai dažnai jungiasi laidinėmis sąsajomis, pavyzdžiui, per telefono linijas, kabelinės televizijos tinklus ir pan. Populiareja ir bevielio vietinio tinklo technologijos. Tačiau šios technologijos turi vieną didelį trūkumą – jos nemobilios ir veikia tik tam tikrose vietose. Neretai vienintelis būdas prisijungti prie interneto lieka mobiliojo ryšio operatoriaus tinklas, kuris Lietuvoje yra ypač gerai išplėtotas.

GSM mobiliojo ryšio sistemoje yra net keletas technologijų, kuriomis galima perduoti duomenis. Pirmosios technologijos, kurios pasirodė netrukus po GSM atsiradimo, buvo duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija – CSD (angl. *Circuit Switched Data*) ir didelės spartos duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija – HSCSD (angl. *High Speed Circuit Switched Data*). Ilgainiui, šių technologijų suteikiama duomenų perdavimo sparta netenkino nei mobiliojo ryšio operatorių, nei vartotojų. Todėl buvo įdiegta (Lietuvoje apie 2002 m.) paketinio duomenų perdavimo technologija – GPRS (angl. *General Packet Radio Service*). Netrukus atsirado GPRS mobilaus duomenų perdavimo technologijos patobulinimas – didesnės spartos paketinio duomenų perdavimo technologija EDGE (angl. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*, arba *Enhanced GPRS*). Kitas etapas – nauja 3 kartos mobiliojo ryšio UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*) technologija, kuri vienoje šalyse jau sėkmingai veikia, kitose (tarp jų ir Lietuvoje) tik pradeda diegti.

Darbo tikslas – atlikti išsamią GPRS, EDGE ir UMTS duomenų perdavimo technologijų teorinę analizę, palyginti ir išryškinti jų privalumus ir trūkumus. Eksperimentiškai išmatuoti duomenų perdavimo aukštyn ir žemyn spartą idealiomis ir realiomis sąlygomis. Įvertinti labiausiai spartą lemiančius veiksnius. Pasiūlyti galutiniam vartotojui programinę įrangą, skirtą tiksliam duomenų spartos, apimties įvertinimui, patogiam sujungimų valdymui, apskaitai.

Užduoties analizė

Pirmajame šio darbo etape pateikiama trumpa mobiliųjų perdavimo technologijų raida. Čia apžvelgiami pagrindiniai jos žingsniai pradedant aštuntuoju dešimtmečiu – šiaurės šalių mobiliojo ryšio sistema (NMT) ir baigiant universaliaja mobilių telekomunikacijų sistema (UMTS), kuri Lietuvoje kaip tik pradedama diegti.

Antrasis etapas skirtas nuosekliai mobiliųjų duomenų perdavimo technologijų analizei. Čia aprašytos CSD, HCSD, GPRS, EDGE ir UMTS technologijos: bendros sistemų sandaros, radijo sąsajos kanalų struktūros, kodavimo schemas, moduliavimo schemas, išvardinti sistemų privalumai ir trūkumai. Skyriaus gale pateikiama apibendrinamoji informacija, palyginamos visos aprašytos technologijos.

Trečiajame etape pateikiami veiksniai, kurie labiausiai lemia mobilių technologijų duomenų perdavimo spartą. Remdamiesi šia ir kituose etapuose aprašyta informacija, numatome realią duomenų perdavimo spartą, kurią turėtume gauti eksperimentinių tyrimų metu.

Ketvirtojo, eksperimentinio etapo pirmojoje dalyje aprašytas duomenų apskaitos programinių įrangų tyrimas. Pateikiami apibendrinti komentarai ir pastebėjimai apie programų darbą, išryškinti jų privalumai ir trūkumai. Atliktas programų vertinimas, nustatyta tiksliausiai skaičiuojanti, patogiausia ir patikimiausia programa.

Antrojoje eksperimentinėje dalyje pateikti eksperimentinių matavimų rezultatai, kurie buvo atlikti specialioje UAB „Omnitel“ laboratorijoje (testinėje bazinėje stotyje) – idealiose sąlygose ir Vilniaus mieste – realiose. Duomenų spartos eksperimentiniai matavimai atlikti tiek žemynkryptėje tiek aukštynkryptėje linijose. Įvertinta naudojamo protokolo įtaka perduodamų duomenų spartai: atlikti atskiri matavimai naudojant rinkmenų perdavimo protokolą FTP (angl. *File Transfer Protocol*) ir hipertekstų perdavimo protokolą HTTP (angl. *HyperText Transfer Protocol*). Visi minėti eksperimentiniai matavimai buvo atlikti visoms trimis mobilioms duomenų perdavimo technologijoms – GPRS, EDGE ir UMTS.

Paskutiniame penktajame etape apibendrinami gauti rezultatai, pateikiamos išvados ir pasiūlymai bei tolimesni šio darbo vystymo etapai.

1. MOBILIŲJŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJŲ RAIDA

Aštuntasis dešimtmetis buvo mobiliųjų ryšių plėtros pirmasis etapas. Tuo metu dominuojanti ryšių technologija buvo analoginė. Europoje 1979 m. pradėjo veikti NMT (angl. *Nordic Mobile Telephone*) – Šiaurės šalių mobiliojo ryšio sistema. Pradžioje ji buvo įdiegta tik Švedijoje, Norvegijoje, Danijoje ir Suomijoje, vėliau paplito plačiau.

Amerikoje apie 1982 m. įdiegta AMPS (angl. *Advanced Mobile Phone Service*) – patobulinto mobiliojo ryšio tarnyba, kuri dar ir dabar naudojama atskirose visų žemynų šalyse. Speciali AMPS versija TACS (angl. *Total Access Communications System*) – visuotinės krypties ryšių sistema buvo specialiai sukurta Jungtinei Karalystei. Išplėtota šios sistemos versija yra žinoma kaip ETACS. TACS/ETACS versija paplito Azijos žemyne. Šios minėtos sistemos priskiriamos pirmajai mobiliojo ryšio kartai. Jose panaudota FDMA (angl. *Frequency Division Multiple Access*) – kolektyvioji dažninio atskyrimo kryptis.

Paplitus pirmos kartos sistemoms, tapo aišku, kad mobiliojo ryšio paslaugos vartotojams yra patrauklios, jų apimtis ir vartotojų skaičius sparčiai didėja. Siekiant pagerinti mobiliojo ryšio kokybę, padidinti teritorinę apimtį ir sistemos talpą, atsižvelgiant į naujas elektronikos ir telekomunikacijų technikos galimybes, įvairiose šalyse buvo sukurta daug skirtingų skaitmeninių mobiliojo ryšio sistemų. Todėl buvo nuspręsta kurti vieningą standartą.

1982 m. „Nordic Telecom“ ir „Olandijos PTT“ pasiūlė CEPT (angl. *Conference of European Post and Telecommunications*) – Europos pašto ir telekomunikacijų asociacijai sukurti naują skaitmeninį korinį standartą, kuris susitvarkytų su nuolat didėjančiais Europos mobiliųjų tinklų reikalavimais.

1987 m. trylika Europos operatorių sukūrė asociaciją ir pasirašė savitarpio supratimo memorandumą (angl. *Memorandum of Understanding*), kad sukurtų vieningą GSM (pranc. *Groupe Spéciale Mobile*) standartą. Originalus prancūziškas pavadinimas vėliau buvo pakeistas į anglišką – “Global System for Mobile communication”. Tarptinklinis ryšys (angl. *roaming*) buvo vienas iš pagrindinių GSM tinklo kūrimo tikslų.

1989 m. ETSI (angl. *European Telecommunications Standard Institute*) – Europos telekomunikacijų standartizavimo institutas apibrėžė GSM, kaip visuotinai priimtina skaitmeninį korinį ryšio standartą. 1992 m. Suomijoje paleistas pirmasis komerciniam naudojimui skirtas GSM tinklas, o tų pačių metų gale jau veikė net 13 GSM tinklų 7 valstybėse.

1991 m. įkuriama bendrovė „Omnitel“ (tuometinė „Lintel“) – pirmasis GSM tinklo operatorius Lietuvoje. 1995m. kovo mėnesį bendrovė pradeda teikti komercines GSM ryšio paslaugas Vilniuje.

Pirmoji GSM raidos fazė tęsėsi iki 1996m. Antrosios fazės laikotarpiu sukurta integruota GSM 900 / DCS 1800 sistema, išplėstas paslaugų sąrašas. 2+ fazės raidos laikotarpiu (1997-1999m.) GSM buvo papildyta trimis naujomis duomenų perdavimo technologijomis: HSCSD, GPRS ir EDGE. Šių technologijų sukūrimas davė didžiulį postūmį tolimesnei trečiosios kartos technologijos (3G) plėtrai.

3G užuomazgos siekia dar 1985 m. Tuomet, tarptautinė telekomunikacijų sąjunga (angl. *ITU - International Telecommunications Union*) išskėlė įdomesnių, geresnių ir sudėtingesnių telekomunikacinių paslaugų klausimą. Tuo metu buvo kalbama apie GSM – pasaulinį visuotinai priimtina skaitmeninį korinį ryšio standartą. Tačiau po stulbinančios GSM sėkmės imta kalbėti ir apie trečios kartos ryšį.

Tikroju 3G persilaužimu laikomi 1998 m., kai susijungė Europos, Jungtinių Amerikos Valstijų, Japonijos ir Korėjos standartizavimo organizacijos ir buvo sukurtas 3G partnerystės projektas (angl. *3GPP – 3G Partnership Project*), skirtas skatinti W-CDMA (angl. *Wide Code Division Multiple Access*) – plačiajuostės kodinio dalijimo daugkartinės prieigos radijo technologiją. Projekto, skirto 3G ryšiui, vizija – universali sistema UMTS (angl. *Universal Mobile Telecommunications System*). Beveik visos pasaulyje išduotos 3G licencijos ligi šiol buvo pagrįstos W-CDMA. Pati pirmoji 3G licencija buvo išduota dar 1999 m. Suomijoje. Ji taip pat buvo pagrįsta W-CDMA technologija.

2. DUOMENŲ PERDAVIMO TECHNOLOGIJOS

Šiame skyriuje nuosekliai aptarsime CSD, HSCSD, GPRS, EDGE ir UMTS duomenų perdavimo technologijas: bendras sistemų sandaras, kanalų struktūras, kodavimo, moduliavimo schemas, išvardysime sistemų privalumus ir trūkumus. Atsižvelgdami į darbo temą ir užduotį plačiau ir išsamiau aptarsime GPRS, EDGE bei UMTS technologijas.

2.1. CSD – duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija

CSD, tai technologija, naudojama duomenų perdavimui tradiciniuose antros kartos GSM tinkluose (angl. *2G - Second Generation*). Šioje technologijoje realizuotas laikinio vieno kanalo (angl. *TS - Time Slot*) simetrinis sujungimas. Duomenų perdavimo sparta yra vienoda aukštynkryptėje (angl. *uplink*) ir žemynkryptėje (angl. *downlink*) linijoje ir siekia 9,6 kbps. GSM tinklas gerai perduoda balsą, tačiau nėra idealus duomenims perduoti. To priežastis – sujungimas, tai yra reikalingas laikas ryšiui nustatyti. Paprastai tam prireikia nuo 10 iki 45 sekundžių. CSD kanalo vėlinimas (angl. *RTT – Round Trip Time*) siekia apie 1000ms. Tačiau šios technologijos išskirtinumas yra tas, kad 9.6 kbps duomenų perdavimo sparta yra stabili per visą sesijos laiką, ko paketinėje duomenų perdavimo technologijoje nėra (aprašyta kituose poskyriuose).

Sujungtas kanalas lieka užimtas nepriklausomai nuo to, ar tuo metu juo yra perduodami duomenys, ar ne. Kanalo sujungimo ir nustatymo operacija vykdoma kiekvieną kartą kreipiantis į tinklą norint perduoti duomenis. CSD duomenų perdavimo technologija yra brangi ir neefektyviai naudojanti tinklo išteklius technologija.

2.2. HSCSD – didelės spartos duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija

HSCSD technologija žymiai padidino duomenų perdavimo spartą per GSM tinklą. Duomenų perdavimo sparta per vieną GSM laikinį intervalą padidėjo nuo 9,6 kbps iki 14,4 kbps panaudojant naują duomenų kodavimo schemą. 14,4 kbps duomenų perdavimo sparta gaunama naudojant mažiau atsparų klaidoms kodavimą.

Antra HSCSD technologijos naujovė – duomenims perduoti gali būti skirta iki keturių laikinių intervalų vienos sesijos metu, t.y. vartotojas gali turėti iki 57,6 kbps spartą.

Kitas HSCSD technologijos privalumas yra tas, kad įdiegti šią technologiją į tinklą yra gana paprasta ir nereikalauja didelių sąnaudų (kiek kitokį reiškinį pamatysime GPRS atveju). Tačiau HSCSD turi palaikyti tiek tinklas, tiek mobiliosios stotys. Šiuo metu mobiliosios stotys gali priimti duomenis 4 laikiniais intervalais, o siųsti dviem (apribojama dėl to, kad GSM nėra visiškai dvikryptė (angl. *full duplex*) sistema, t.y. nėra įmanomas priėmimas ir siuntimas tuo pačiu metu).

HSCSD siūlo tiesioginį (angl. *T – transparent*) ir netiesioginį (angl. *NT – non-transparent*) ryšį, taip panaudojant visas grandinių perjungimo galimybes. Netiesioginėms HSCSD sesijoms laiko intervalų skaičius gali būti keičiamas skambučio metu ir gali būti paskirstytas asimetriškai, taip gaunant didesnę pralaidumą žemyn negu aukštyn. Su NT HSCSD neiškyla sunkumų su persijungimais tarp narvelių ar bazinių stočių (angl. *handover*), nes laikiniai intervalai bus paskirstyti pagal pasiekiamumą. Tiesioginių HSCSD atveju laiko intervalų skaičius negali būti keičiamas skambučio metu, todėl gali įvykti sesijos nutūkimas persijungimo metu.

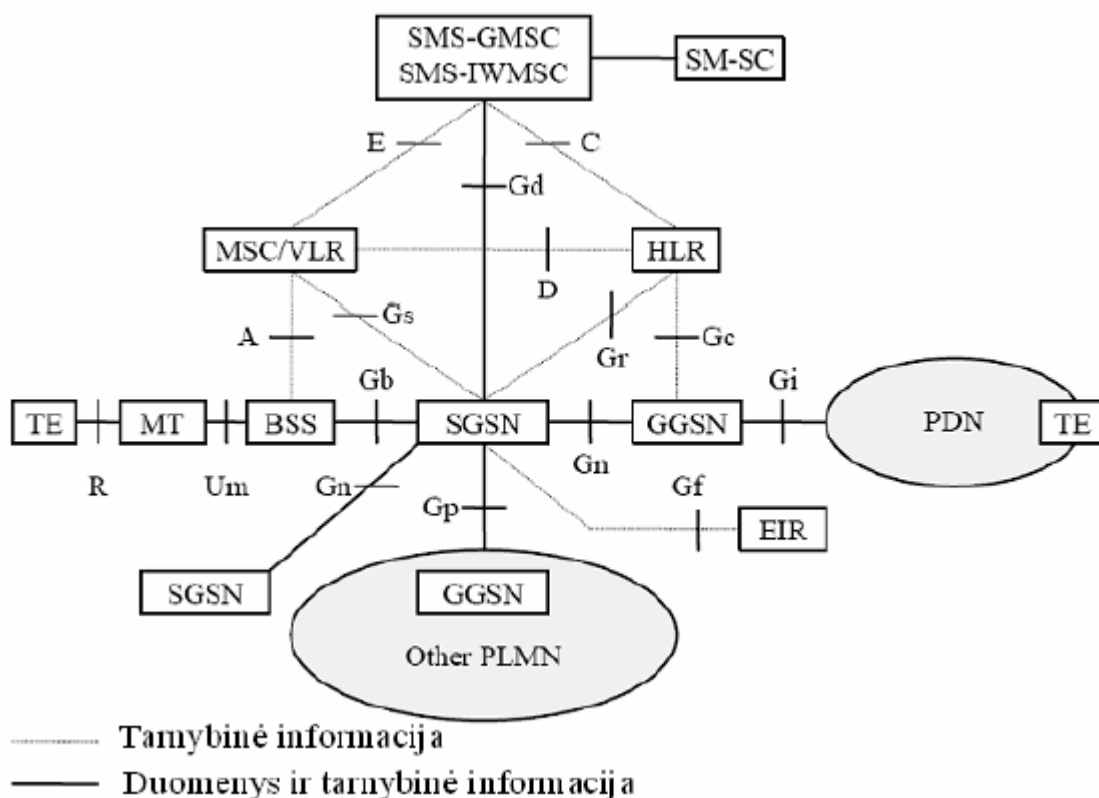
Šios technologijos trūkumas toks pat kaip ir CSD technologijos: kanalai yra rezervuojami visam sujungimo sesijos laikui, nepriklausomai ar tuo metu perduodami duomenys ar ne. Todėl ši technologija neefektyviai naudoja tinklo išteklius. Apmokėjimas už paslaugą taikomas ne už parsisųstų duomenų kiekį, bet už paslaugos naudojimo trukmę. Todėl HSCSD technologijos naudojimas yra tikslingas, kai reikia pasiekti iš anksto žinomus duomenis arba kai reikalinga tam tikra garantuota sparta per visą sujungimo laiką.

2.3. GPRS – paketinio duomenų perdavimo technologija

GPRS populiariai dar vadinama kaip 2,5G technologija. Šios technologijos sukūrimas buvo vienas svarbiausių GSM raidos etapų UMTS link.

Principinė GSM/GPRS struktūrinė schema pavaizduota 1 pav. Palyginti su GSM tinklu, GPRS schema papildyta dviem esminiais blokais: SGSN (angl. *Serving GPRS Support Node*) – GPRS paslaugų mazgu ir GGSN (angl. *Gateway GPRS Support Node*) – GPRS tinklo sietuvu.

SGSN vykdo duomenų paketų maršruto parinkimo ir perdavimo procedūros organizavimą MM (angl. *Mobility Management*), vartotojų padėties nustatymą ir vartotojų identifikavimą IMSI (angl. *International Mobile Equipment Identity*). Šie duomenys saugomi VLR (angl. *Visitor Location Register*) – lankytojų vietos registre. Taip jis atlieka duomenims skirtų ar išskiriamų perdavimo kanalų ir laiko intervalų paskirstymą ir loginių sujungimų valdymą (angl. *LLM - Logical Link Management*).



1 pav. GSM/GPRS tinklo struktūrinė schema

GGSN sujungia GPRS ir kitus duomenų perdavimo tinklus, pavyzdžiui, internetą, X.25 ir kt. Jis apdoroja paketinius duomenis: paverčia GPRS paketinius duomenis, ateinančius iš SGSN, į formatus, naudojamus TCP/IP ar X.25 tinkluose, t.y. į PDP (angl. *Proper packet Data Protocol*) – tinkamų paketų duomenų protokolą. Panašiai jis vykdo ir atbulinį PDP formatų konvertavimą į GPRS paketų formatą.

SGSN ir GGSN mazgai gali sąveikauti tarpusavyje naudodami IP maršruto parinktuvus. Duomenų paketų mainai tarp minėtųjų mazgų vykdomi naudojant tunelinį GTP (angl. *GPRS Tunnel Protocol*) protokolą, kuris užtikrina skaidrų paketų paketavimą. Paketavimas (angl. *encapsulation*) – duomenų, atitinkančių specialų tunelio formatą, formavimo procesas, kai galima perduoti paketus tarp dviejų tinklo mazgų, išlaikant nepakitusius vartotojų pranešimų arba programų formatus ir struktūrą.

Kai SGSN ir GGSN išdėstyti viename GSN mazge, jie sąveikauja per Gn sąsają (tinklo Frame Relay sąsaja). Tuo atveju, kai SGSN ir GGSN yra skirtinguose PLMN (angl. *Public Land Mobile Network*) – viešuose mobiliuose tinkluose, sąveika užtikrinama per Gp sąsają. Sąsajų Gn ir Gp skirtumai pasireiškia tuo, jog Gp ne tik atlieka visas Gn funkcijas, bet ir papildomai užtikrina padidintą saugumą, reikalingą užmezgant tarptinklinį ryšį su skirtingais PLMN.

2.3.1. GPRS radijo sąsajos valdymo loginių kanalų struktūra

GPRS, kaip ir GSM, sistemoje naudojamas kombinuotas daugartiniai dažnio dalijimo FDMA (angl. *Frequency Division Multiple Access*) ir laiko dalijimo TDMA (angl. *Time Division Multiple Access*) būdai. Moduliavimas toks pat kaip ir GSM atveju – GMSK (angl. *Gaussian Minimum Shift Keying*) – Gauso mažiausioji fazės manipuliacija.

GPRS sistemoje duomenų perdavimui naudojami tie patys dažniai, kaip ir GSM sistemoje: 890-915 MHz dažnių ruožas, skirtas aukštynkryptei linijai (angl. *up-link*) tarp mobiliojo telefono ir bazinės stoties, ir 935-960 MHz ruožas žemynkryptei linijai (angl. *down-link*) tarp bazinės stoties ir mobiliojo telefono. Išskiriami 124 kanalai po 200 kHz dažnių juostos kiekvienam. Skirtingų kryptių radijo dažnio nešlių dažnių skirtumas pastovus ir palaikomas lygus 45 MHz.

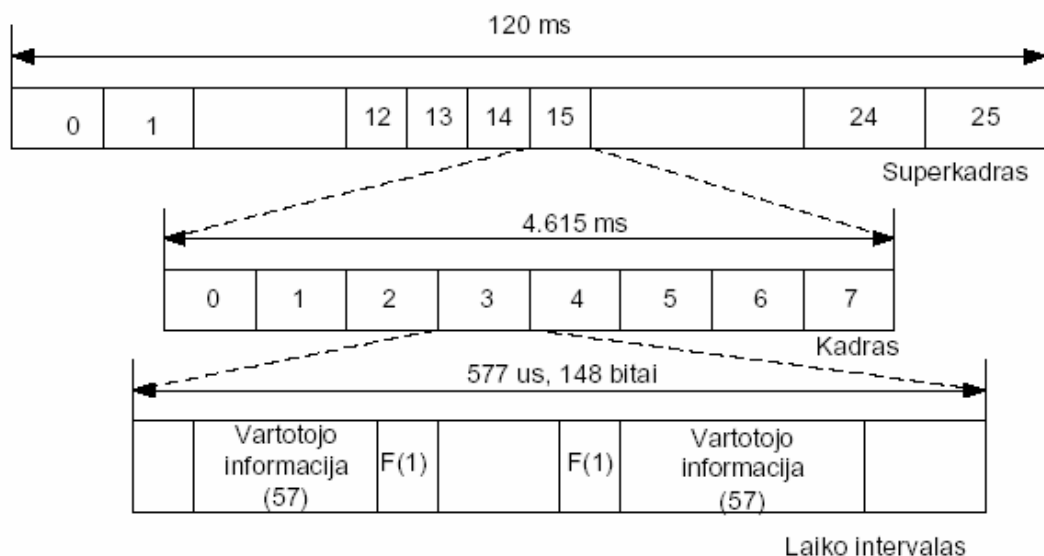
GPRS loginių kanalų struktūra primena GSM struktūrą. Kanalai gali būti padalyti į dvi kategorijas: apkrovos kanalai TCH (angl. *Traffic Channel*) ir atskirtieji valdymui skirti kanalai SDCCH (angl. *Stand-alone Dedicated Control Channel*). Lėtasis ir spartusis skirtieji valdymo kanalai SACCH ir FACCH (angl. *Slow and Fast Associated Control Channel*) susieti su kiekvienu TCH ir SDCCH kanalu. TCH ir jų SACCH bei FACH kanalų derinys vadinamas apkrovos skirtiniu valdymo kanalu TACH (angl. *Traffic Associated Control Channel*).

Kanalai, kuriais išskirtinai naudojasi tik GPRS:

- Paketinių duomenų perdavimo kanalas PDTCH (angl. *Packet Data Traffic Channel*) naudojamas duomenų paketų perdavimui.
- Paketinių duomenų transliacijos kontrolės kanalas PBCCH (angl. *Packet Broadcast Control Channel*) naudojamas vienkrypčiam, vieno taško su daugeliu taškų, ryšiui. Tai kanalas tarp bazinės stoties (BS) ir mobilaus telefono (MS). Juo BS perduoda valdymo informaciją visoms MS esančioms jos valdomoje celėje.
- Paketinių duomenų bendras kontrolės kanalas PCCCH (angl. *Packet Common Control Channel*) naudojamas dvikrypčiam vieno taško su daugeliu taškų ryšiui. Kanalu perduodama tinklo valdymo informacija.
- Paketinių duomenų atsitiktinės prieigos kanalas PRACH (angl. *Packet Random Access Channel*) naudojamas MS duomenų perdavimui išskiriant daugiau nei vieną PDTCH.
- Paketinių duomenų prieigos patvirtinimo kontrolės kanalas PAACH (angl. *Packet Access Grant Control Channel*) naudojamas patvirtinimui, išskiriant daugiau nei vieną PDTCH, skirtą MS duomenų perdavimui.

- Padėties patikrinimo kanalas PPCH (angl. *Packet Paging Channel*) naudojamas BS nustatyti esamą MS padėtį, procedūra vadinasi „paging” prieš siunčiant duomenis iš BS į MS.
- Paketinių duomenų perspėjimo kontrolės kanalas PNCH (angl. *Packet Notification Control Channel*) naudojamas MS perspėti apie siunčiamą grupinį (angl. *multicast*) pranešimą.
- Paketinių duomenų išskirtinis kontrolės kanalas PACCH (angl. *Packet Associated Control Channel*) naudojamas persiųsti valdymo informaciją konkrečiai MS, pavyzdžiui, juo siunčiama informacija apie MS siųstuvo galios nustatymus.
- Paketinių duomenų sinchronizacijos kontrolės kanalas PTCCH (angl. *Packet Timing advance Control Channel*) naudojamas adaptyviai duomenų kadru sinchronizacijai.

Kiekvieno mobiliojo tinklo bazinė stotis turi SDCCH ir TACH kanalų rinkinius. SDCCH priskiriami mobiliosioms stotims sujungimo sudarymo signalizacijai perduoti. Jie atlaisvinami, kai signalizacijos pranešimai perduoti. Kai sujungimas sėkmingas, TACH kanalas priskiriamas mobiliajai stotiai visai pokalbio trukmei. TACH kanalu perduodami vartotojo duomenys ir balsas. SACCH kanalu perduodama taip vadinama „lėtoji” signalizacija. Kai pokalbio metu būtina „sparčioji” signalizacija (pavyzdžiui, kai MS perjungama prie kitos BS), vartotojui ryšys akimirksniui sustabdomas ir TACH kanalas tuo metu veikia kaip FACCH. TACH kanalus sudaro aštuonių laiko intervalų 4,615 ms trukmės kadrai (2 pav.).



2 pav. TACH kanalų struktūra

Kiekvieno laikinio intervalo trukmė yra 577 μ s ir jame telpa 148 bitai, iš kurių 114 bitų informaciniai, 2 bitai skirti vėliavėlei, o 32 bitai panaudojami radijo dažnio perdavimo funkcijoms. Dvidešimt šeši kadrai suformuoja 120 ms trukmės „superkadra“.

Išskiriami šie svarbūs valdymo kanalai:

- Bendrasis valdymo kanalas CCCH (angl. *Common Control Channel*). Kiekvienas radijo dažnio nešlys mobiliojo tinklo ryšio narvelyje turi bendrąjį valdymo kanalą CCCH. Šis kanalas visuomet yra „0“ laiko intervale ir gali būti išplėstas, naudojant 2 arba 4 kanalinius laiko intervalus.
- Transliacijos valdymo kanalas BCCH (angl. *Broadcast Control Channel*) perduoda žemyn transliacijos informaciją apie tinklą.
- Sinchronizacijos kanalas SCH (angl. *Synchronization Channel*) priverčia MS veikti ryšyje su BS nustatytame kadre ir laiko intervale.
- Dažnio koregavimo kanalas FCCH (angl. *Frequency Correction Channel*) žemyn perduoda MS informaciją, kuri sinchronizuoja MS generuojamą dažnį su radijo nešlio dažniu.

2.3.2. GPRS kodavimo schemas

GPRS technologijoje duomenys perduodami priklausomai nuo ryšio sąlygų naudojant vieną iš 4 kodavimo schemų (angl. *CS – Coding Scheme*) (1 lentelė).

1 lentelė. GPRS kodavimo schemas

Kodavimo schema	Kodavimo koeficientas	Naudinga informacija, bit	Duomenų perdavimo sparta vienam laiko intervalui, kbps
CS-1	1/2	181	9,05
CS-2	2/3	268	13,4
CS-3	3/4	314	15,7
CS-4	1	428	21,4

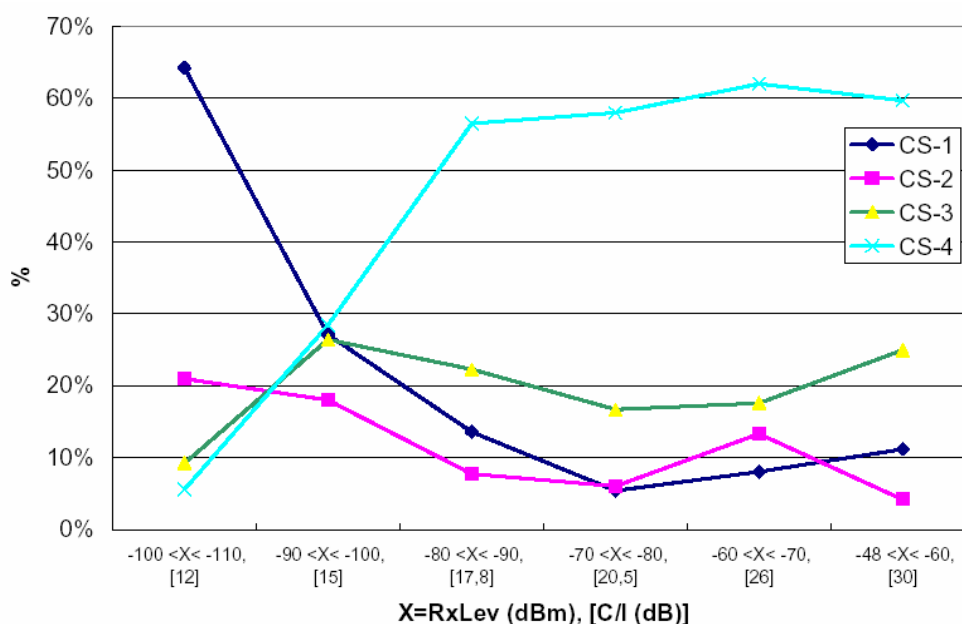
Naudojant CS-1, didžiausia teorinė duomenų perdavimo sparta yra 36,2 ($4 \times 9,05$) kbps, tačiau naudojant CS-4 kodavimo schemą, teoriškai duomenų perdavimo sparta siekia net 85,6 ($4 \times 21,4$) kbps.

Pirmoji kodavimo schema CS-1 užtikrina sujungimą esant bet kokioms sąlygoms ir labiausiai tinka perduodant signalizacijos bei trumpuosius pranešimus. Schema CS-2 tinkamiausia duomenims perduoti ir ja galima padidinti tinklo pralaidumą. Paprastai šios kodavimo schemos naudojamos esant mažesniai nei 9dB signalo/triukšmo santykiui. Kitos dvi kodavimo schemos CS-3 bei CS-4 užtikrina didžiausią duomenų perdavimo spartą esant dideliui signalo/triukšmo santykiui, tačiau jas diegiant tenka modernizuoti GSM Abis sąsają.

Kodavimo koeficiento skiltis parodo, kokią dalį visų siunčiamų duomenų sudaro vartotojui naudinga informacija. Didžiausios duomenų perdavimo spartos skiltis parodo didžiausią galimą duomenų perdavimo spartą LLC (angl. *Logical Link Control*) – loginių sujungimų kontrolės lygmenyje naudojant vieną kanalinių intervalą.

Paketinio duomenų perdavimo valdymui naudojamas specialus RLC (angl. *Radio Link Control*) – radijo kanalo valdymo protokolas, atsakingas už vienos ar kitos kodavimo schemos parinkimą, priklausantį nuo perduodamų duomenų tipo, radijo kanalo charakteristikų ir triukšmų lygio.

3 pav. pavaizduoti praktiniai kodavimų schemų pasiskirstymo matavimai, kurie buvo atlikti realiomis sąlygomis Vilniaus mieste [12]. Kaip matyti iš šio paveikslėlio, CS-4 kodavimo schema naudojama duomenims per GPRS perduoti plačiame signalų lygių diapazone. Jau nuo taško, kuriame signalo lygis yra tarp -80 – -90 dBm, arba esant signalas-triukdys santykiui 17,8 dB pradeda dominuoti CS-4 kodavimo schema.

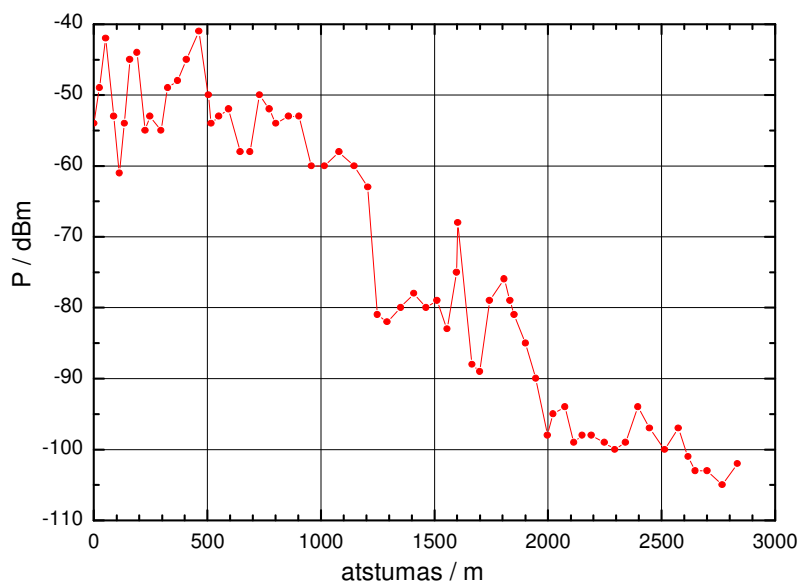


3 pav. GPRS kodavimo schemų CS-1, CS-2, CS-3, CS-4 priklausomybės nuo signalo lygio RxLev ir signalas-triukdys santykio C/I (vid.) [12]

Taigi matome, kad didžiausios duomenų perdavimo spartos kodavimo schema CS-4 naudojama nuo geriausių lygių -48 dBm iki -85 dBm, po to staigiai krenta išsaugant CS-1 kodavimo schemas panaudojimui.

Iš 3 paveikslo matyti dar vienas labai svarbus faktas – nuo -85 dBm signalo lygio augimo kryptimi pastebimas įsistotinimas, t.y. pasiekiami teorinė beveik didžiausia GPRS duomenų perdavimo sparta (o beveik todėl, kad dar šiek tiek naudojamos ir kitos kodavimo schemas) [12].

Kitame, 4 pav. pavaizduota realiomis sąlygomis (Vilniaus mieste) esančios antenos sukuriama elektromagnetinio lauko galios priklausomybė nuo atstumo [14]. Iš šių dviejų (3 ir 4) paveikslų galime teigti, kad CS-4 kodavimo schema dominuoja esant iki 2 km atstumui tarp bazinės ir mobiliosios stoties. Miesto sąlygomis, dėl didelio vartotojų, taigi ir didelio bazinių stočių skaičiaus šis atstumas viršijamas retai. Taigi, miesto sąlygomis, duomenų perdavimo spartai atstumas ne vaidina lemiamos įtakos.



4 pav. Realiomis sąlygomis (Vilniaus mieste) išmatuota antenos sukuriama elektromagnetinio lauko galios priklausomybė nuo atstumo tarp bazinės ir mobiliosios stoties [14]

2.3.3. GPRS mobiliųjų telefonų klasifikavimas

Informacijos perdavimo sparta priklauso ir nuo to, kokiai klasei priklauso naudojamas mobilusis telefonas (angl. *MS – Mobile Station*), t.y. kiek laikinių intervalų telefonas gali naudoti informacijos siuntimui ir gavimui. Ankstesni mobiliųjų telefonų modeliai dažniausiai priklausė 4-tai (multislot) klasei. Šiuolaikiniai dažniausiai priklauso 8-tai ar 10-tai klasei. Numatoma ir 12-tos klasės telefonų gamyba (žr. 2 lent.). Paskutinis lentelės stulpelis žymi didžiausią aktyvių intervalų

skaičių, kurie gali veikti vienu metu. Pavyzdžiui, 12-tos klasės telefonas vienu metu gali naudoti 5 intervalus, pvz.: 4 intervalus informacijos gavimui ir 1 siuntimui (4+1), arba 2 intervalus gavimui ir 3 siuntimui (2+3) ir pan.

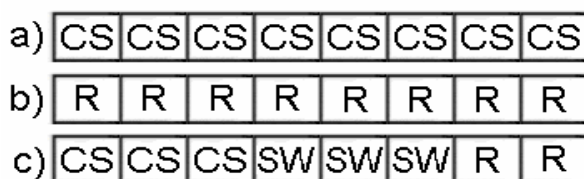
2 lentelė. MS klasės

MS klasė	Žemynkrypčių intervalų skaičius	Aukštynkrypčių intervalų skaičius	Aktyvių intervalų skaičius
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5

Mobilieji GPRS terminalai skirstomi į tris klases pagal dar vieną kriterijų: A klasės terminalai vienu metu gali naudotis ir GPRS ir GSM teikiamomis paslaugomis. B klasės terminalai vienu metu naudojami tik GPRS arba tik GSM paslaugomis ir C klasės terminalai išskirtinai gali naudotis tik GPRS paslaugomis.

2.3.4. Bendro radijo išteklių pasidalijimas

Vienas fizinis kanalas sudarytas iš 8 TS laikinių kanalų. Kiekvienas laikinis intervalas gali būti dedikuotas balsui – CS (angl. *Circuit Switched*), rezervuotas duomenims – R (angl. *Reserved*), arba dinamiškai priskiriamas – SW (angl. *Switchable*) (5 pav.). Paprastai SW TS yra naudojami duomenų perdavimui, tačiau esant dideliame balso kanalų poreikiui jie automatiškai persijungia į CS kanalus. Balso skambučių apkrovimui sumažėjus, SW grįžta į duomenų perdavimo režimą.



5 pav. Laikinių intervalų paskyrimas [2]

Priklausomai nuo GSM ir GPRS abonentų erdvinio pasiskirstymo, TS gali būti skirti tik balsui (5 pav. a) arba rezervuoti tik duomenims (5 pav. b). Tačiau dažniausiai turime mišrų duomenų ir balso srautą, todėl dalį resursų skiriame balsui, dalį rezervuojame duomenų perdavimui ir dalį paliekame bendram naudojimui (5 pav. c). SW TS yra naudingi tada, kai balso ir duomenų didžiausio naudojimo valandos nesutampa laike. Tokiu atveju esant dideliam duomenų perdavimo poreikiui turime 5 duomenų kanalus, o esant dideliam balso kanalų poreikiui turime 6 balso kanalus. Naudojant SW kanalus balsas visada turi aukštesnį prioritetą prieš duomenis. Tai reiškia, kad duomenų perdavimui skirtus resursus R+SW įtakoja balso skambučių skaičius. Tai viena iš priežasčių, kodėl GPRS tinklas skiriasi nuo kitų duomenų perdavimo tinklų [2].

Be didesnės perdavimo spartos, svarbus GPRS privalumas, palyginti su HSCSD – galimybė keletui MS bendrai naudoti vieną kanalą. MS lieka įjungtos į tinklą ir tuo metu, kai nesiunčia duomenų. Mokestis už paslaugas skaičiuojamas proporcingai perduotų duomenų kiekiui, o ne prisijungimo laikui.

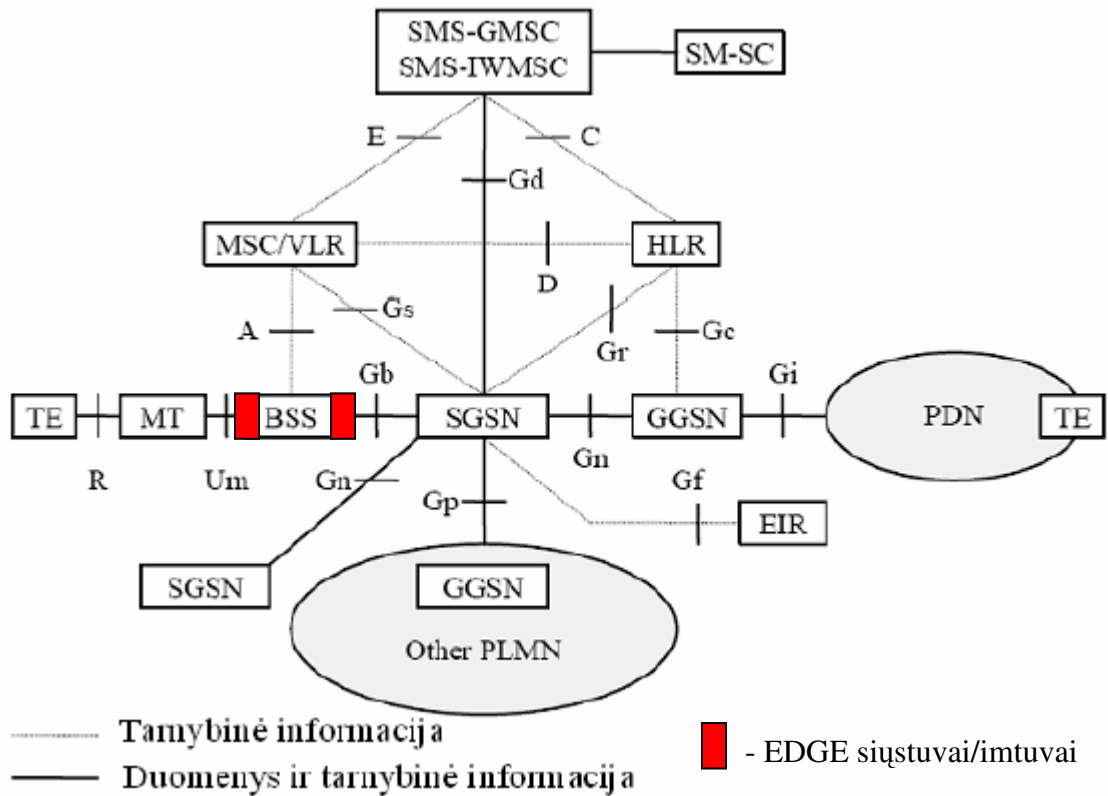
2.4. EDGE – didesnės duomenų perdavimo spartos technologija

EDGE – tai aukštesnė paketinio duomenų perdavimo GSM tinkle pakopa. Pagrindinis EDGE privalumas – itin spartus ryšys. GPRS tinklas, naudojantis EDGE technologiją, techniškai yra vadinamas EGPRS (angl. *Enhanced GPRS*) – patobulintu GPRS tinklu. GSM ir EDGE technologijų sujungimas vadinamas GERAN. EDGE yra visiškai suderinama su GPRS, taigi bet kuri GPRS technologijai sukurta taikomoji programa veiks ir su EDGE.

2.4.1. EDGE sistemos struktūra

6 paveiksle pateikta EDGE sistemos struktūra. Kaip matyti iš šio paveikslo, ji yra beveik identiška GPRS tinklo struktūrai. Yra tik vienas pakeitimas BSS (angl. *Base Station System*) – bazinės stoties kontrolerio dalyje pažymėti raudoni stačiakampiai, kurie reiškia, kad norint operatoriui įdiegti EDGE duomenų perdavimo technologiją reikalinga įdiegti siųstuvus/imtuvus, palaikančius 8-PSK moduliavimą.

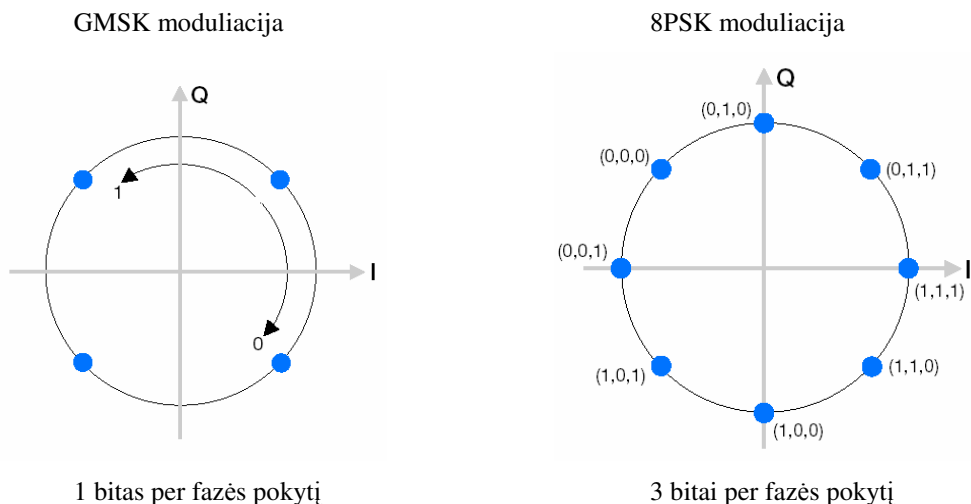
Visi kiti EDGE tinklo elementai yra tokie patys kaip ir GPRS, t.y. panaudojama GPRS infrastruktūra.



6 pav. EDGE tinklo struktūrinė schema

2.4.2. EDGE pranašumai prieš GPRS

Kuriant EDGE buvo panaudoti trys pažangūs metodai, kurie leidžia pasiekti itin aukštą spektro efektyvumą siaurajuosčiam duomenų perdavimui. Pirmasis metodas tai naujos 8-PSK (angl. *Octonary Phase Shift Keying*) – aštuonfazės manipuliacijos moduliacijos panaudojimas, kuri per vieną fazės pokytį leidžia perduoti tris informacijos bitus (7 pav.).



7 pav. GMSK ir 8PSK moduliavimas

Tuo tarpu GPRS technologija naudoja GMSK (angl. *Gaussian Minimum Shift Keying*) moduliaciją kuri vienu radijo simboliu perduoda tik vieną informacijos bitą. Tokiu būdu EDGE duomenų perdavimo sparta teoriškai gaunama 3 kartus didesnė nei GPRS (praktikoje 2-3 kartai).

Antrasis metodas, leidžiantis pasiekti kur kas didesnę spartą nei GPRS, yra daugialypių kodavimo schemų panaudojimas, kur priklausomai nuo ryšio sąlygų, tinklas gali reguliuoti bitų skirtų klaidų kontrolei skaičių. EDGE turi penkias 8-PSK, bei keturias GMSK kodavimo schemas. Tai viso sudaro 9 skirtingas moduliavimo ir kodavimo schemas (žr. 3 lent.).

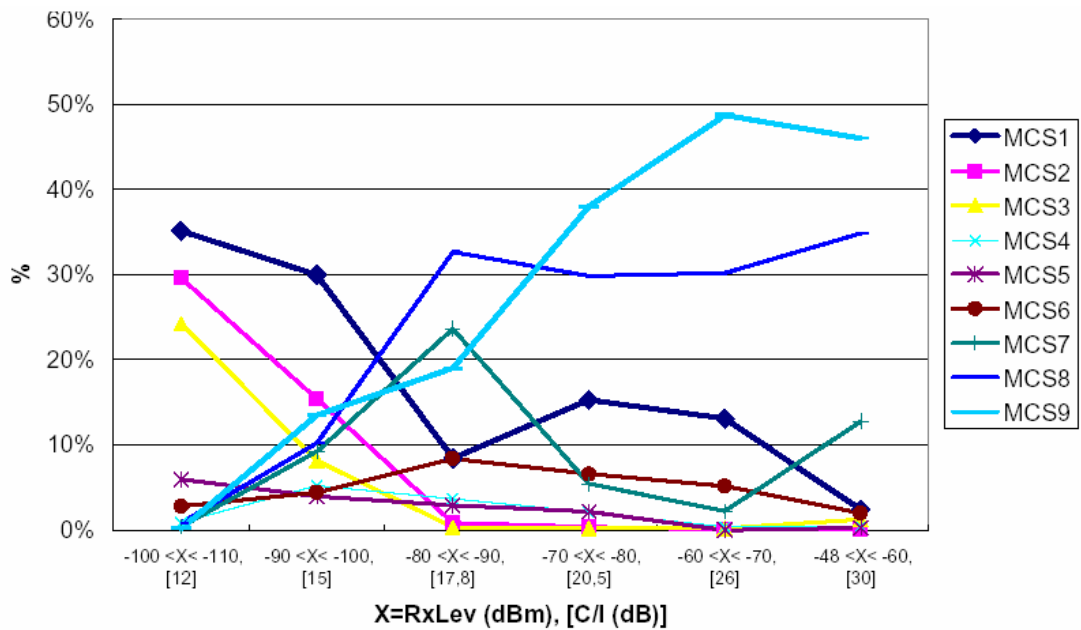
3 lentelė. EDGE kodavimo schemas

Kodavimo schema	Kodavimo koeficientas	Moduliacija	Duomenų perdavimo sparta vienam laiko intervalui, kbps
MCS-1	0,53	GMSK	8,8
MCS-2	0,66	GMSK	11,2
MCS-3	0,8	GMSK	14,8
MCS-4	1	GMSK	17,6
MCS-5	0,37	8-PSK	22,4
MCS-6	0,49	8-PSK	29,6
MCS-7	0,76	8-PSK	44,8
MCS-8	0,92	8-PSK	54,4
MCS-9	1	8-PSK	59,2

EDGE dinamiškai pasirenka optimalią moduliaciją ir kodavimo schemą priklausomai nuo tuo metu esančių ryšio sąlygų, tiksliau nuo C/I (angl. *Carrier to Interference*) – signalo/triukšmo santykio.

Kaip ir GPRS technologijai, 8 pav. pateikiame praktinius kodavimų schemų pasiskirstymo matavimus, kurie buvo atlikti realiomis sąlygomis Vilniaus mieste [12]. Aukščiausios EDGE kodavimo schemas MCS-9 įsisotinimas stebimas jau nuo -60 – -70 dBm signalų lygių, o ne nuo -80 – -90 dBm GPRS CS-4 atveju. Tai reiškia, kad efektyviai išnaudoti 8-PSK moduliaciją reikia geresnių radijo sąlygų nei GMSK (taip ir turi būti). Iš 8 paveikslėlio išryškėja dar vienas svarbus efektas: esant -95 dBm signalo lygiui pastebimas persijungimas iš GMSK moduliacijos į 8-PSK (pirmos 4 EDGE kodavimo schemas naudoja GMSK moduliaciją) [12].

Kalbant apie atstumo tarp bazinės ir judriosios stočių įtaką, pagal 4 ir 8 pav., galime teigti, kad aukščiausia EDGE kodavimo schema MCS-9 dominuoja esant iki 1,5 km atstumui tarp bazinės ir mobiliosios stoties.



8 pav. EDGE kodavimo schemų MCS-1, MCS-2 ... MCS-9 priklausomybės nuo signalo lygio RxLev ir signalas-triukdys santykio C/I (vid.) [12]

Na ir paskutinis trečiasis metodas leidžiantis padidinti EDGE duomenų perdavimo spartą veikia taip: jei duomenų blokai gaunami su klaidomis, EDGE kiekvienu kitu siuntimu išsiunčia vis didesnę klaidų taisymo bitų kiekį, taip kiekvieną siuntimą padarant labiau tikėtiną sėkmingą nei prieš tai buvusį. Šis ypatingai efektyvus trečiasis metodas užtikrina greičiausią įmanomą teisingų duomenų gavimą ir yra vadinamas didėjančiu dubliavimu (angl. *incremental redundancy*).

Naudojant EDGE, duomenų perdavimas vienu laiko intervalu kinta nuo 8,8 kbps esant nepalankioms sąlygoms iki 59,2 kbps esant labai geram signalo/triukšmo santykiui. Palyginimui, GPRS perduoda 13,4 kbps naudojant 2 kodavimo schemą ir 21,4 kbps – 4 kodavimo schemą. EDGE, teoriškai gali perduoti 59,2 kbps kiekvienu iš keturių laiko intervalų, iš viso gaunant net 236,8 kbps. Svarbu paminėti, kad ši duomenų perdavimo sparta nurodyta antrajam OSI lygmeniui (RLC/MAC), todėl reali sparta vartotojui bus šiek tiek mažesnė. Sparta taip pat priklauso ir nuo naudojamos taikomosios programos ir protokolo. Skirtingą spartą gausime duomenis siunčiant rinkmenų perdavimo protokolu (FTP), negu tos pačios apimties duomenis siunčiant hipertekstų perdavimo protokolu (HTTP).

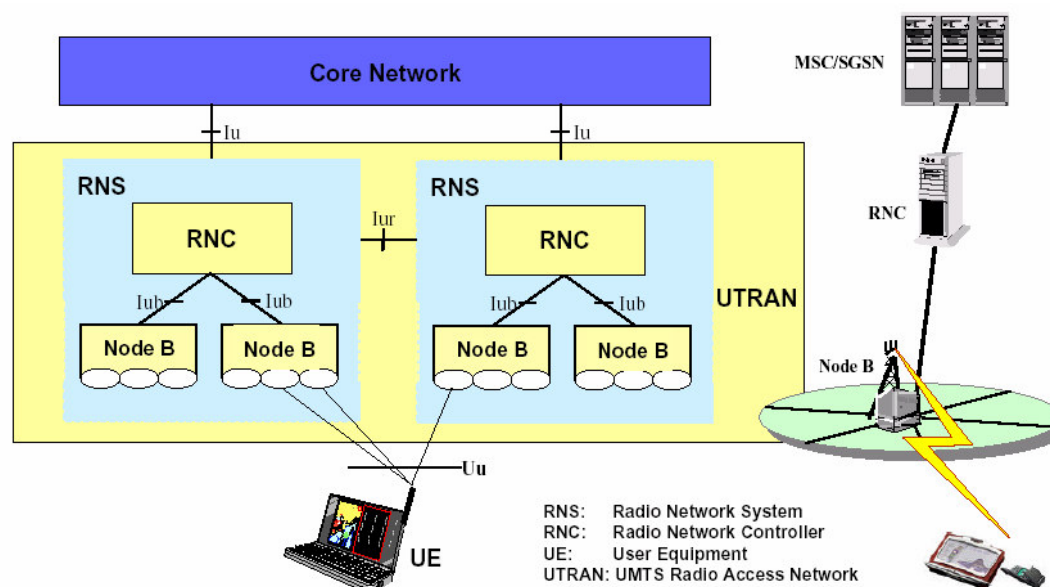
Kiekvienu laiko intervalu siunčiant daugiau duomenų, EDGE, lyginant su GPRS padidina spektro efektyvumą apytiksliai nuo 100 iki 150%.

2.5. UMTS – universalioji mobiliųjų telekomunikacijų sistema

Plėstojo spektro radijo technologijos, be abejonės ateities radijo ryšių pagrindas. Jos taikomos pradėdant nuo radijo modemu, vietinių kompiuterinių tinklų radijo prieigų iki kompleksinių projektų, tokių kaip trečiosios kartos mobilios ryšio tinklai – UMTS. Pavadinimas UMTS – universalioji mobiliųjų telekomunikacijų sistema, vartojamas Europoje. Kaip technologijos sinonimas vartojamas pavadinimas WCDMA (angl. *Wideband Code Division Multiple Access*) – plačiajuostė kodinio dalijimo daugkartinė prieiga. Tarptautiniu mastu UMTS vadinama IMT-2000. Dar paprasčiau ši technologija pristatoma kaip 3G – trečioji karta.

2.5.1. UMTS tinklo architektūra

Kuriant UMTS architektūrą remtasi nusistovėjusia antrosios kartos mobiliųjų tinklų architektūra. Supaprastinta UMTS struktūra parodyta 9 pav.



9 pav. UMTS tinklo struktūra [10]

Esminės tinklo dedamosios:

- Pagrindinis tinklas CN (angl. *Core Network*)
- Radijo prieigų tinklas RAN (angl. *Radio Access Network*)

- Sausumos radijo prieigų tinklas UTRAN (angl. *UMTS Terrestrial RAN*)
- Vartotojo įranga, apibūdinama santrumpa UE (angl. *User Equipment*)

Išsamiau skaidant bendrą struktūrą išskiriama:

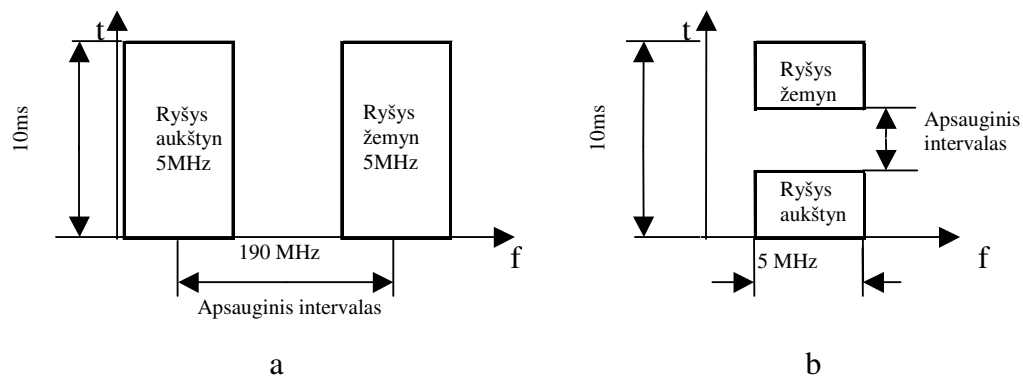
- Radijo tinklo sistema RNS (angl. *Radio Network System*)
- Radijo tinklo kontrolieris RNC (angl. *Radio Network Controller*) ir kitos dedamosios

2.5.2. Fizinis lygmuo

UMTS radijo prieigų esminę specifiką nulemia spektro plėtimo kodinio dalijimo būdas – WCDMA. Plėstojo spektro signalai užima apytikriai 5 MHz dažnių ruožą. Visi perdavimai organizuojami taip, kad suformuoti duomenų masyvai tilptų į 10 ms laiko intervalą. Bazinis dažnių – laiko ryšio kanalų resurso skirstymas parodytas 10 pav. Abipusiam radijo ryšiui sudaryti ir palaikyti UMTS numatyti du būdai:

- Dažnių dalijimo FDD (angl. *Frequency Division Duplex*)
- Laiko dalijimo TDD (angl. *Time Division Duplex*)

Kai abipusis ryšys organizuojamas dažnių dalijimo būdu (FDD), ryšys žemyn vyksta vienu dažnių ruožu, o ryšys aukštyn kitu dažnių ruožu (10 pav. a). Tarp šių ruožų numatytas 190 MHz apsauginis dažnių ruožas. Projektuojant UMTS FDD radijo tinklą turi būti rezervuoti abu dažnių ruožai.

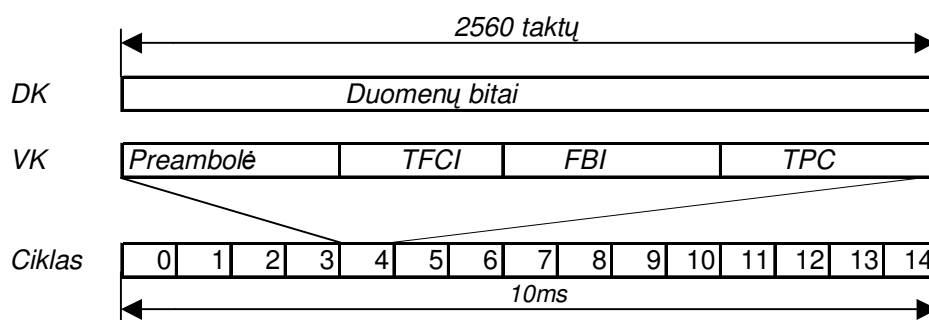


10 pav. Dažnių FDD (a) ir laiko TDD (b) išteklių skirstymas

Laiko dalijimo būdu organizuoto abipusio ryšio (TDD) kryptys naudoja tą patį dažnių ruožą, tačiau skirtingais laiko tarpais (10 pav. b). Perdavimas ir priėmimas vyksta pakaitomis (taip vadinamas *ping-pong* metodu). Bendra ciklo trukmė 10 ms. Tarp perdavimų aukštyn ir žemyn paliekamas apsauginis laiko tarpas.

Skirtingi abipusio ryšio organizavimo būdai numatyti siekiant sudaryti galimybes racionaliau panaudoti radijo spektrą bei valdomų kryptinių antenų galimybes. Pavyzdžiui, TDD versijai pakanka vieno dažnių ruožo. Racionaliau panaudojamas radijo spektras, kai perduodamų duomenų srautai aukštyn ir žemyn žymiai skiriasi (pavyzdžiui, naršant internete), patogiau valdyti bazinių stočių antenų spindulius. Aišku, TDD negali aptarnauti tokios didelės apkrovos kaip FDD.

Abiejų – FDD ir TDD versijų perdavimai organizuojami 10 ms trukmės radijo kadre. Bendras spektro plėtimo taktų – čipų (angl. *chips*) dažnis yra 3,84 MHz. Per 10 ms kadra susidaro 38400 čipų. Kiekvienas 10 ms trukmės radijo kadras dar dalijamas į 15 dalių (angl. *slots*) po 2560 taktų (11 pav.). Toks dalijimas įgalina kiekviename radijo kadre perduoti duomenų ir valdymo masyvus ir taip formuoti duomenų (DK) ir valdymo kanalus (VK). Kiekvieną DK palydi valdymo kanalu perduodamas transporto formato indikatorius TFI (angl. *Transport Format Indicator*). Keletas atskirus transporto kanalus palydinčių TFI apjungiami į vieną transporto formato kombinacijų indikatorių TFCI (angl. *Transport Format Combination Indicator*). Kartu su TFCI valdymo kanalu taip pat perduodami grįžtamoji informacija FBI (angl. *Feed Back Information*) ir perdavimo galios valdymo komandos TPC (angl. *Transmission Power Control*).



11 pav. Radijo kadro struktūra

UMTS numatyta galimybė perduoti skirtingos spartos informacijos srautus. Tuo tikslu formuojami skirtingo laidumo kanalai. Kanalo laidumą sąlygoja tam kanalui nustatytas plėtimo faktorius (PF) – dydis, išreiškiamas kiekiu čipų, priskiriamų vienam informacijos bitui. Galimi PF dydžiai išreiškiami formule 2^n , kur n gali būti 2, 3, ..., n .

FDD versijos ryšio žemyn kanaluose spektro plėtimo faktorius gali kisti nuo 4 iki 512 ir nuo 4 iki 256 – ryšio aukštyn kanaluose (4 lentelė). TDD versijos spektro plėtimo faktorius mažesnis, jis gali kisti nuo 1 iki 16. Didesnės spartos duomenų srautai, aišku, plečiami mažiau.

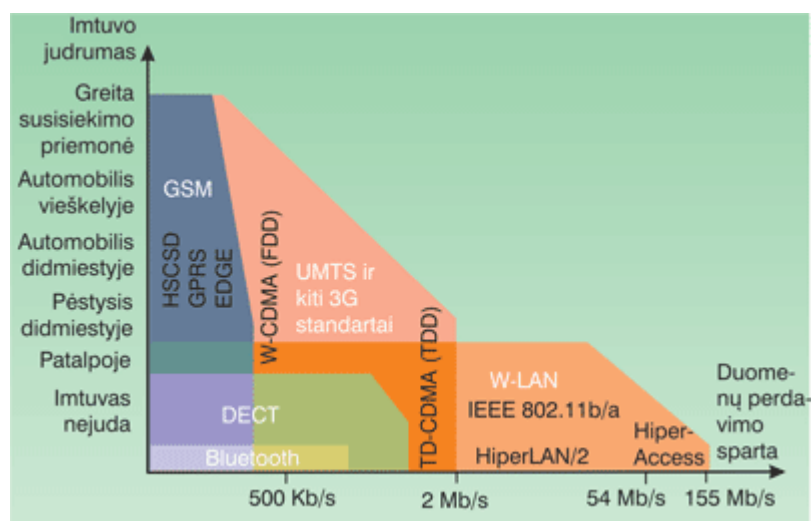
4 lentelė. Plėtimo faktorius ir duomenų sparta

PF	Simbolių sparta, kbps	Bitų sparta, kbps		Vartotojo duomenys, kbps	
		Žemyn	Aukštyn	Žemyn	Aukštyn
512	7,5	15		1...3	
256	15	30	15	6...12	7,5
128	30	60	30	20...24	15
64	60	120	60	45	30
32	120	240	120	105	60
16	240	480	240	215	120
8	480	960	480	456	240
4	960	1920	960	936	480

Radijo signalai skirtingoms perdavimo kryptims moduluojami taip pat skirtingai. Perduodant žemyn, signalai moduluojami panaudojant kvadratūrinę fazinę manipuliaciją (angl. *QPSK – Quadrature Phase Shift Keying*), o perduodant aukštyn, taikoma dvejetainė fazinė manipuliacija (angl. *BPSK – Binary Phase Shift Keying*). Todėl duomenų perdavimo žemyn sparta yra du kartus aukštesnė už perdavimo aukštyn spartą.

2.6. Technologijų palyginimas

12 pav. pavaizduotos visų aptartų technologijų užimamos nišos bendroje bevielių duomenų perdavimo technologijų skalėje. Iš jos matyti, kad nei viena kita technologija nėra tokia mobili kaip mūsų tiriamos. Tuo pačiu, mūsų tiriamos technologijos negali suteikti tokių spartų kaip pvz. WLAN (angl. *Wireless Local Area Network*) technologija.



12 pav. Duomenų perdavimas įvairiais tinklais

Taigi, dauguma technologijų viena kitos nenurungia, o tik papildo viena kitą, taip galinčios garantuoti vartotojui optimalią duomenų perdavimo spartą priklausomai nuo jo judrumo.

5 lentelėje pateikiami apibendrinti nagrinėtų technologijų duomenys palyginimui.

5 lentelė. CSD, HSCSD, GPRS, EDGE ir UMTS palyginimas

Technologija Parametras	CSD	HSCSD	GPRS	EDGE	UMTS
Didžiausia sparta, kbps	9,6	Iki 57,6	Iki 85,6	Iki 236,8	384 (HSDPA iki 1,8 Mbps)
Moduliavimas	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK, 8PSK	QPSK, BPSK
Privalumai	Pastovi duomenų perdavimo sparta, stabilus sujungimas	Viso ryšio seanso metu duomenys perduodami pastoviu greičiu	Naudoja GSM infrastruktūrą, palaiko IP, kelios MS gali naudotis vienu TS	Naudoja GSM infrastuktūrą, palaiko IP, didelė perdavimo sparta	Labai didelė perdavimo sparta, daug pritaikymo sričių
Trūkumai	Maža sparta, ilgas sujungimas, neefektyvus tinklo išteklių panaudojimas	Neefektyvus tinklo išteklių panaudojimas	Sparta labai priklauso nuo vartotojų skaičiaus	Sparta labai priklauso nuo vartotojų skaičiaus	Brangus diegimas
Tinkamiausios panaudojimo sritys	Telemetrija	Telemetrija, faksogramų perdavimas, „streaming“	Interneto naršymas, e-paštas, pastovus prisijungimas prie tinklo, WAP	Vidutinės apimties duomenų perdavimas, „VoIP“ su video	Vaizdo telefonija, TV transliacijos, didelės apimties duomenų perdavimas

3. DUOMENŲ PERDAVIMO SPARTA

Mūsų tiriamose mobiliose duomenų perdavimo sistemose, duomenų sparta paprastai matuojama kilobitais per sekundę (kbps). Duomenų kiekis – kilobitais (kB) arba megabitais (MB).

Duomenų perdavimo sparta apskaičiuojama pagal šią elementarią formulę:

$$\text{sparta [kbps]} = \text{failo dydis [kb]} / \text{persiuntimo trukmė [s]}$$

Tokiu būdu skaičiuojama sparta visada bus mažesnė už didžiausią teorinę, nes prie siunčiamo failo visada pridedama tarnybinė informacija (užklauso, paketų antraštės ir pan.), kuri padidina failo dydį, taigi ir persiuntimo trukmę. Atlikę matavimą ir skaičiuodami spartą pagal minėtą formulę, mes įvertiname tik padidėjusią trukmę, kuri automatiškai sumažina spartą.

Toliau aptarsime labiausiai duomenų perdavimo spartą lemiančius veiksnius, o skyriaus gale pabandydysime numatyti duomenų perdavimo spartą, kurią turėtume gauti eksperimentinių matavimų metu.

3.1. Duomenų perdavimo spartą labiausiai lemiantys veiksniai

Duomenų perdavimo spartą įtakoja daugybė veiksnių, tačiau pagrindiniai yra du:

1. Naudojama kodavimo schema.

Kaip jau minėta prieš tai esančiuose skyriuose, už kodavimo schemos parinkimą yra atsakingas RLC protokolas, kuris priklausomai nuo perduodamų duomenų tipo, radijo kanalo charakteristikų ir triukšmų lygio dinamiškai parenka kodavimo schemą. Didžiausią įtaką turi C/I (signal/triukšmo) santykio koeficientas. Kuo šis santykis didesnis, t.y. kuo signalo dedamoji didesnė už triukšmų dedamąją, tuo aukštesnė kodavimo schema pasirenkama. Kuo aukštesnė kodavimo schema naudojama, tuo didesnę dalį siunčiamų duomenų užima vartotojui naudinga informacija, taigi tuo didesnę spartą jis gauna.

2. Naudojamas kanalų skaičius.

Vienam vartotojui skirtų duomenų kanalų (TS) skaičius yra išreiškiamas formule:

$$N_T = \frac{T_R + T_{SW}}{N_D}, \text{ jei } N_{CS} < T_{CS}$$

Čia T_R - rezervuotų TS skaičius, T_{SW} - komutuojamų TS skaičius, N_D - duomenų vartotojų skaičius, N_{CS} - balsu vartotojų skaičius, T_{CS} - balsui skirtų TS skaičius.

Iš formulės matome, kad vienam vartotojui skirto duomenų kanalo pralaidumas priklauso ne tik nuo celės konfigūracijos, bet ir nuo balso bei duomenų vartotojų skaičiaus.

Duomenų kanalų skaičių įtakoja ir naudojamo mobilaus telefono tipas, tiksliau – jo MS klasė (1 ir 3 lentelės). Kuo aukštesnė MS klasė, tuo daugiau kanalų telefonas gali naudoti informacijai perduoti. Šiuo metu populiariausia 10 klasė su 4+1 (gaunamų + siunčiamų kanalų sk.) santykiu.

3.2. Duomenų perdavimo spartos numatymas

Atsižvelgdami į ankstesniuose skyriuose aprašytas technologijų savybes bei į išvardintus duomenų perdavimo spartą labiausiai lemiančius veiksnius, pabandydysime numatyti spartą, kurią turėtume gauti eksperimentinių matavimų metu.

GPRS technologijos tyrimams bus naudojamas mobilusis telefonas Nokia 6230, o UMTS ir EDGE tyrimams – Nokia 6680. Abu telefonai 10-tos (MS) klasės, kurių didžiausias žemynkrypčių kanalų skaičius – 4, aukštynkrypčių – 2.

3.2.1. Kai naudojama GPRS technologija

Idealiu atveju, t.y. naudojant CS-4 kodavimo schemą ir gaunant visus 4 žemynkrypčius kanalus, vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta turėtų siekti 85,6 kbps ($21,4 \times 4$), o perdavimo aukštyn – 42,8 kbps ($21,4 \times 2$). Mūsų eksperimentų metu, reali sparta tikėtina šiek tiek mažesnė dėl skaičiavimo metodikos – neįskaičiuojant tarnybinės informacijos. Panaši sparta tikėtina ir realiose sąlygose, t.y. gero ryšio vietovėse, kur vartotojų skaičius nedidelis. Pavyzdžiui, tai galėtų būti kaimo vietovė su nedideliu vartotojų skaičiumi, miesto miegamasis rajonas darbo

valandomis ar pramoninis rajonas nedarbo metu. Trumpais laiko momentais tokią spartą turėtų būti galima gauti ir praktiškai visose kitose gero ryšio vietovėse, kur vartotojų skaičius ir labai didelis. Tačiau daugelį vartotojų domina ne didžiausi momentiniai, o vidutiniai greičiai ar dar tiksliau vidutinis laikas, reikalingas perduoti reikiamą informaciją.

Taigi, esant geroms ryšio sąlygoms (naudojant CS-4), tačiau su daug vartotojų vienoje celėje, tikėtina vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta turėtų siekti apie 40 kbps, o perdavimo aukštyn – 20 kbps (kai naudojami vidutiniškai 2 kanalai informacijos gavimui ir 1 – siuntimui).

3.2.2. Kai naudojama EDGE technologija

Idealiu atveju tikėtina vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta turėtų siekti 236,8 kbps ($59,2 \times 4$), o aukštyn – 118,4 kbps ($59,2 \times 2$). Gero ryšio vietovėse, dalinantis tinklo ištekliais su kitais vartotojais – atitinkamai apie 110 kbps ir 60 kbps (kai naudojami vidutiniškai 2 kanalai informacijos gavimui ir 1 – siuntimui).

3.2.3. Kai naudojama UMTS technologija

Idealiu atveju tikėtina duomenų perdavimo žemyn sparta turėtų būti 384 kbps, aukštyn – 128 kbps. Kadangi UMTS technologija Lietuvoje tik pradedama diegti, natūralu, kad jos vartotojų kol kas nėra daug. Todėl realiomis sąlygomis gauta sparta neturėtų smarkiai skirtis nuo idealiomis sąlygomis gautos spartos. Vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta realiomis sąlygomis turėtų siekti apie 300 kbps, o aukštyn – apie 100 kbps.

4. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Pirmoje šio skyriaus dalyje pateiksime programinių įrangų, skirtų duomenų spartai ir apskaitai, tyrimą. Jas įvertinsime, nustatysime patogiausią, patikimiausią ir tiksliausiai skaičiuojančią.

Antroje dalyje pateiksime duomenų spartos matavimus, kurie buvo atlikti visoms trims technologijoms dviem skirtingomis sąlygomis: idealiomis – operatoriaus laboratorijoje ir realiomis – Vilniaus mieste.

4.1. Duomenų apskaitai skirtų programinių įrangų tyrimas

Šiam tyrimui buvo pasirinktos šios programinės įrangos:

„DU Meter“

„NetStat Live“

„OnlineEye Pro“

„Internet Connection Counter“ („ICC“)

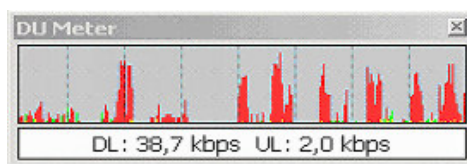
Vienos labiau žinomos, kitos mažiau, vienos sudėtingesnės, kitos paprastesnės, vienos mokamos, kitos ne, visos šios programos iš principo skirtos vienai pagrindinei funkcijai atlikti: skaičiuoti per tinklą perduodamos informacijos kiekį ir spartą.

Tyrimui buvo panaudotas Sony Ericsson T68i mobilusis telefonas, kompiuteris su Windows XP operacine sistema bei jau minėtos programos. Visos programos buvo pastoviai įjungtos (pasileisdavo kartu su operacine sistema). Internete buvo naršoma po įvairiausias svetaines, siunčiami nedidelės apimties failai (naudojami tiek HTTP tiek FTP protokolai).

Programos buvo tiriamos daugiau nei 2 mėnesius. Toliau pateikiami apibendrinti komentarai ir pastebėjimai apie programų darbą, išryškunami jų privalumai ir trūkumai.

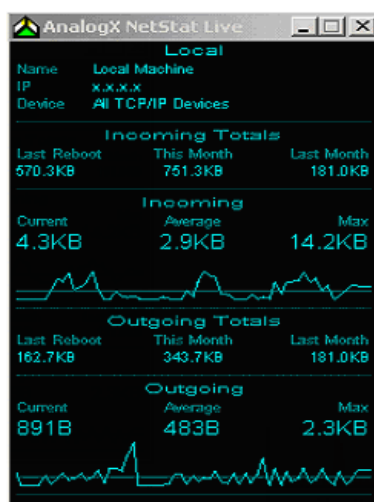
„DU Meter“ – patikimai veikianti, nesudėtingai valdoma programa. Patogios ir paprastos išsiųstų ir priimtų duomenų kiekio ataskaitos (už dieną, savaitę, mėnesį), jų eksportavimas į „Excel“ formatą. Įspėjimai apie iš anksto užduotą duomenų kiekio ar laiko viršijimą, automatinis ryšio seanso nutraukimas ir kt. Programos mini lange informacijos nedaug (21 pav.). Čia pasirinktinai gali būti rodomi momentiniai arba vidutiniai duomenų perdavimo greičiai (apatinė

eilutė) bei grafiškai laiko ašyje atvaizduojami momentiniai greičiai. Mini lange buvo pasigęsta bendrų perduotos informacijos skaitiklių, kurie atvaizduojami tik pagrindiniame programos lange.



13 pav. DU Meter programos mini langas

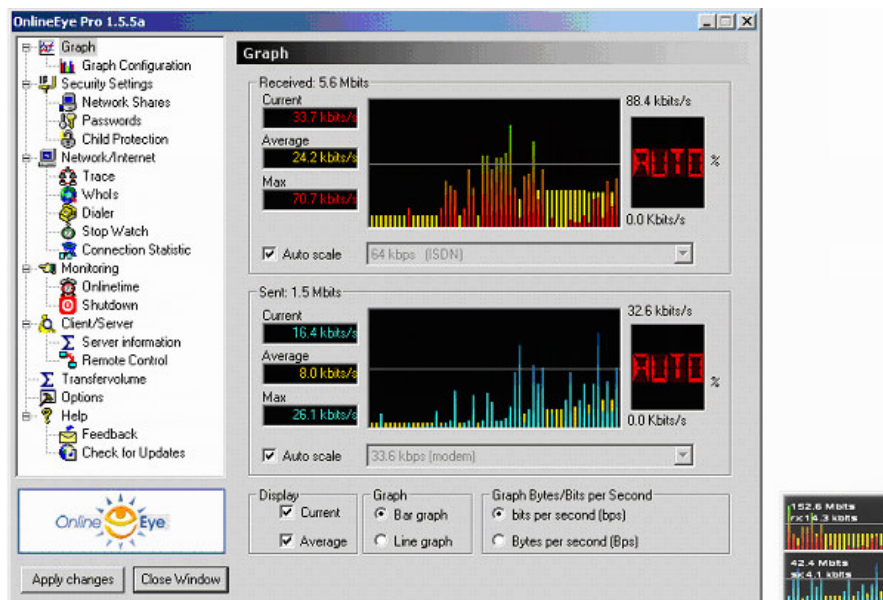
„NetStat Live“ – nemokama, paprasčiausia iš visų tirtų, nedaug vietos kompiuteryje (296 kB) užimanti programa. Praktiškai neturinti jokių papildomų galimybių (22 pav.). Momentinio greičio skaičiuoklė pakankamai tiksli (parodymai sutampa su likusiomis programomis). Tačiau, bendras apskaičiuotų duomenų kiekis absoliučiai nesutampa su likusių programų skaitiklių parodymais. Buvo pastebėta, kad duomenų kiekio skaitiklių parodymai keitėsi po kiekvieno programos perkrovimo.



14 pav. NetStat Live programos pagrindinis langas

„OnlineEye Pro“ – pakankamai paprasta naudoti, turinti gana daug galimybių: ataskaitų formavimas lentelėse ir grafikuose, eksportavimas į „Excel“ formatą, kelių lygių slaptažodžių apsauga nuo duomenų ištrynimo, programos išjungimo. Įspėjimų generavimas pagal iš anksto užduotus kriterijus: pasiektas mėnesinis ar dieninis duomenų kiekio limitas, laikas ir kt. Laisvai konfigūruojamas duomenų rinkimo žingsnelis (angl. *sampling rate*) ir duomenų spartos vidutinės reikšmės skaičiavimas. Sujungimų valdymas – į programos meniu įtraukti ryšio sujungimo (angl. *Dial*) bei atjungimo (angl. *Hangup*) mygtukai, rodoma sujungimo būseną (atjungta, sujungta, jungiama ir kt.). Kitų kompiuteryje esančių programų pririšimas, kaip pvz. automatinis antivirusinės programos paleidimas prieš prisijungiant prie tinklo ir dar daug kitų galimybių.

Pagrindiniame lange (23 pav. a) rodoma aktualiausia informacija – momentinis, vidutinis ir didžiausias greičiai gaunami ir siunčiamai informacijai, dienos gautų ir išsiųstų duomenų kiekis ir kt. Kairėje pusėje nustatymų meniu. Mini lange (23 pav. b) pasirinktinai gali būti rodomas momentinis ir vidutinis greičiai, gautų ir išsiųstų duomenų kiekiai, sesijos laikas ir kt.

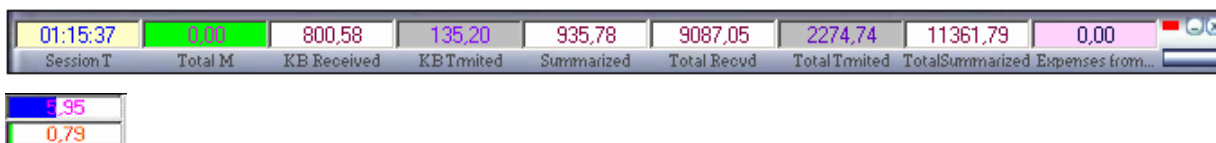


a

b

15 pav. OnlineEye Pro programos (a) pagrindinis ir (b) mini langai

„ICC“ – sudėtingiausia bei daugiausiai galimybių turinti iš visų tirtų programų. Be visų kitose programose minėtų funkcijų, čia galima skaičiuoti savo išlaidas, įvedus tarifą už 1 kB ar 1 min, kurie gali būti skirtingi darbo/nedarbo valandomis, darbo dienomis ar savaitgaliais. Tačiau, funkcijų ir nustatymų galybė daro šią programą pakankamai sudėtinga. Reikia pakankamai daug laiko norint suprasti ką kuri funkcija daro, kaip teisingai sukonfigūruoti pačią programą. Kaip matyti iš 24 pav. (viršutinė juosta), ši programa puiki duomenų kiekio apskaitai, kur rodoma šios dienos, mėnesio gautų ir priimtų duomenų skaitikliai, atitinkamos išlaidos, sesijos laikas ir kt. Tačiau spartai stebėti (apatinė eilutė), ši programa nelabai tinkama. Čia rodomos tik momentinės gaunamų ir siunčiamų duomenų spartos, kurios pastoviai kinta ir šokinėja. Nėra galimybės stebėti vidutinės spartos. Be to, buvo pastebėta, kad laiko skaičiuoklė veikia nekorektiškai.



16 pav. ICC programos mini langas

Siekiant įvertinti perduotų (gautų ir išsiųstų) duomenų skaitiklių tikslumą, pasibaigus mėnesiui buvo surinkti visų programų ir telefono skaitiklių viso praėjusio mėnesio rodmenys ir gauta sąskaita iš operatoriaus su jo apskaičiuotu apmokestinamu perduotų duomenų kiekiu (6 lentelė).

6 lentelė. Duomenų kiekio apskaita

Duomenys Skaitiklis	Gautieji, MB (Downloaded)	Išsiųstieji, MB (Uploaded)	Bendri, MB (Total)
DU Meter	29,0	7,5	36,5
NetStat Live	0,3	0,3	0,6
OnlineEye Pro	28,5	7,7	36,2
ICC	13,1	3,4	16,5
Sony Ericsson T68i	28,8	7,8	36,6
Operatoriaus	-	-	36,4

Kaip matyti, tiksliausiai (operatoriaus skaitiklį laikant atskaitos tašku) apskaičiavo „DU Meter“ programos skaitiklis (viso 36,5 MB). Jis priskaičiavo vos 0,1 MB daugiau nei operatoriaus skaitiklis (36,4 MB). Panašiu tikslumu (0,2 MB daugiau) apskaičiavo ir naudojamo Sony Ericsson T68i telefono skaitiklis (36,6 MB). 0,2 MB mažiau nei operatoriaus apskaičiavo „OnlineEye Pro“ programos skaitiklis (36,2 MB). Likusių programų skaitikliai („ICC“ ir „NetStat Live“) gana smarkiai skyrėsi nuo operatoriaus skaitiklio – buvo priskaičiuota daug mažiau perduotų duomenų.

Apibendrinimui buvo sudaryta lentelė, kurioje pliusiukų (+) skaičiumi buvo įvertintos visos programos pagal tam tikrus parametrus (aukščiausias vieno parametro vertinimas – 5 pliusiukai) (7 lent.).

7 lentelė. Programų įvertinimas

Programa Parametras	DU Meter	NetStat Live	OnlineEye Pro	ICC
Naudojimo patogumas	+++++	+++	+++++	++
Galimybės	+++	+	++++	+++++
Patikimumas	+++++	++++	+++	++++
Tikslumas	+++++	+	++++	+
Bendras įvertinimas (pliusiukų skaičius)	18	9	16	12

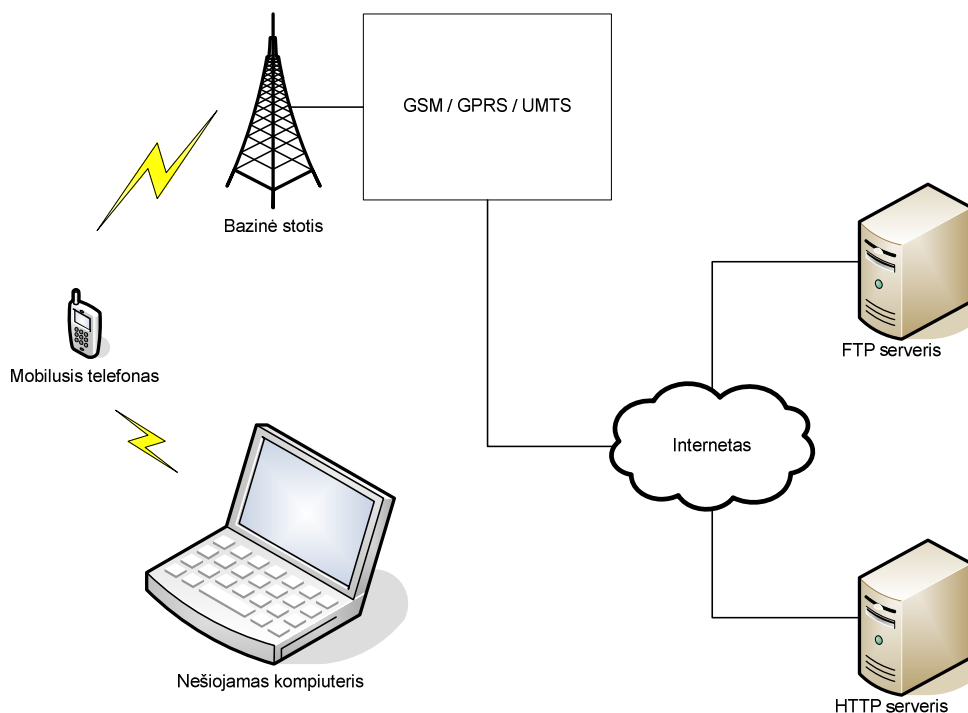
Kaip matyti iš 7 lentelės, geriausiai buvo įvertinta „DU Meter“ programa (18 pliusiukų), kuri buvo tikrai patogi naudotis, puikiai atliekanti visas pagrindines funkcijas, veikianti stabiliai ir svarbiausia – tiksliausiai skaičiuojanti. Vartotojas, mokantis fiksuotą mokestį už ribotą duomenų kiekį, iš visų tirtų programų gali labiausiai pasitikėti šia programa ir bet kada pasitikrinti kiek duomenų jis išnaudojo ir kiek liko. Taip jis gali nuolat pakankamai tiksliai kontroliuoti savo perduotų duomenų kiekį, neviršijant operatoriaus nustatyto ir nemokant už papildomus (beje, dažniausiai pakankamai brangius) megabaitus. Antroji vieta atiteko „OnlineEye“ programai, kuri taip pat buvo patogi naudotis, turinti daug galimybių, pakankami tiksliai skaičiuojanti. Tačiau pagrindinis jos trūkumas – patikimumas. Tiriamuoju laikotarpiu ji ne kartą buvo sustojusi („pakibusi“), o tai nesuteikia pasitikėjimo. Trečioji vieta – „ICC“ programai, kuri įvertinta kaip daugiausiai galimybių turinti, tačiau visiškai netiksliai skaičiuojanti. Paskutinioji vieta – „NetStat Live“ programėlei, kuri iš principo gali būti naudojama tik momentinei duomenų spartai atvaizduoti, bet visiškai netinkama jų kiekiui skaičiuoti.

Visos programos, išskyrus „NetStat Live“ yra mokamos. Turbūt net nekeista, tačiau atliktas programų vertinimas beveik sutampa su kainų lygiu. Brangiausia, t.y. 19,95 \$ kainuojanti yra „Du Meter“ programa, 18,75 \$ kainuoja „ICC“ ir 15,95 \$ - „OnlineEye Pro“ programa.

4.2. Duomenų spartos matavimai

Perduodamų duomenų spartos matavimams buvo naudojamas nešiojamas kompiuteris ir šie mobilieji telefonai: Nokia 6680 ir Nokia 6230.

Su Nokia 6680 mobiliuoju telefonu matavome UMTS ir EDGE technologijomis perduodamų duomenų spartą. GPRS spartai matuoti buvo reikalingas kitas telefonas, kuris nepalaikytų EDGE duomenų perdavimo, nes Vilniaus mieste praktiškai visos bazinės stotys palaiko EDGE, kuris visada turi didesnę prioritetą nei GPRS. Tam buvo pasirinktas 10 klasės Nokia 6230 telefonas. 17 pav. pavaizduota principinė eksperimento schema.



17 pav. Principinė eksperimento schema

Duomenų, perduodamų žemyn (angl. *downlink*) spartai įvertinti, iš FTP serverio siuntėmės žinomo dydžio rinkmeną (1,23 MB). Duomenų, perduodamų aukštyn (angl. *uplink*) spartai įvertinti, iš kompiuterio į tą patį serverį siuntėme 512 kB dydžio rinkmeną. Naudojamas FTP serveris buvo specialiai sukurtas testavimo tikslams: užtikrintas geras ryšys su internetu ir minimalus jo apkrovimas. Naudojamos rinkmenos – tekstinio tipo (.txt).

Norėdami įvertinti naudojamo protokolo įtaką, be FTP, ištyrėme ir HTTP protokolu perduodamų duomenų spartą. Tam buvo pasirinktas populiarus tinklapis (www.delfi.lt) ir išmatuotas jo parsisiuntimo laikas, dydis ir apskaičiuota perduodamų duomenų sparta.

Visiems matavimams buvo panaudotas nesudėtingas scenarijus (angl. *script*), kuris jungdavosi prie serverio, perduodavo minėtas rinkmenas ir surinkdavo gautus rezultatus txt tipo

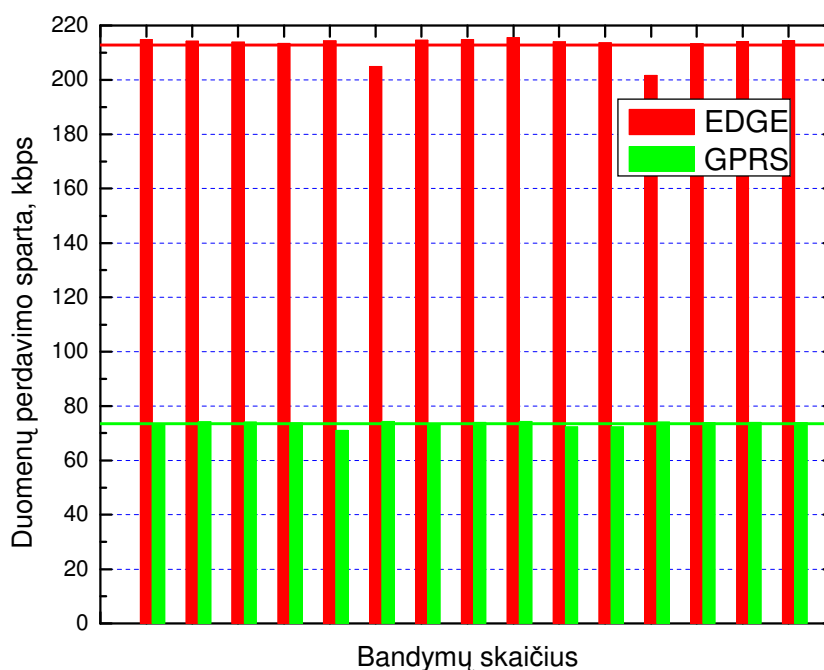
byloje: išsiųsto/gauto failo dydis, laikas per kurį jis buvo perduotas, apskaičiuota duomenų perdavimo sparta ir kita pagalbinė informacija (1 ir 2 prieduose pateikti scenarijaus bylų pavyzdžiai).

Siekiant kuo tiksliau įvertinti perduodamų duomenų spartą, matavimai buvo kartojami ne mažiau kaip po 15 kartų kiekvienam protokolui abejomis kryptimis (FTP), dviem skirtingomis sąlygomis (idealiomis ir realiomis), visoms 3 technologijoms atskirai. Viso buvo atlikta daugiau nei 270 matavimų.

Svarbu paminėti, kad duomenų perdavimo sparta buvo skaičiuojama tik perduodamos naudingos informacijos apimties atžvilgiu, t.y. nebuvo atsižvelgiama į tarnybinės informacijos (paketų antraštės ir kt.) dydį ir jiems perduoti reikalingą laiką. Toks skaičiavimo metodas pasirinktas dėl objektyvumo galutinių vartotojų atžvilgiu.

Pirmiausia buvo atlikti GPRS ir EDGE matavimai idealiomis sąlygomis, t.y. specialioje operatoriaus testinėje bazinėje stotyje, kurioje užtikrintas geras signalo lygis (apie 50 dBm), C/I santykis (apie 30 dB) ir svarbiausia – nėra kitų vartotojų, su kuriais reikėtų dalintis tinklo ištekliais. Deja, tačiau UMTS technologijos matavimams to nebuvo galimybės užtikrinti, taigi matavimai idealiomis sąlygomis nebuvo atlikti.

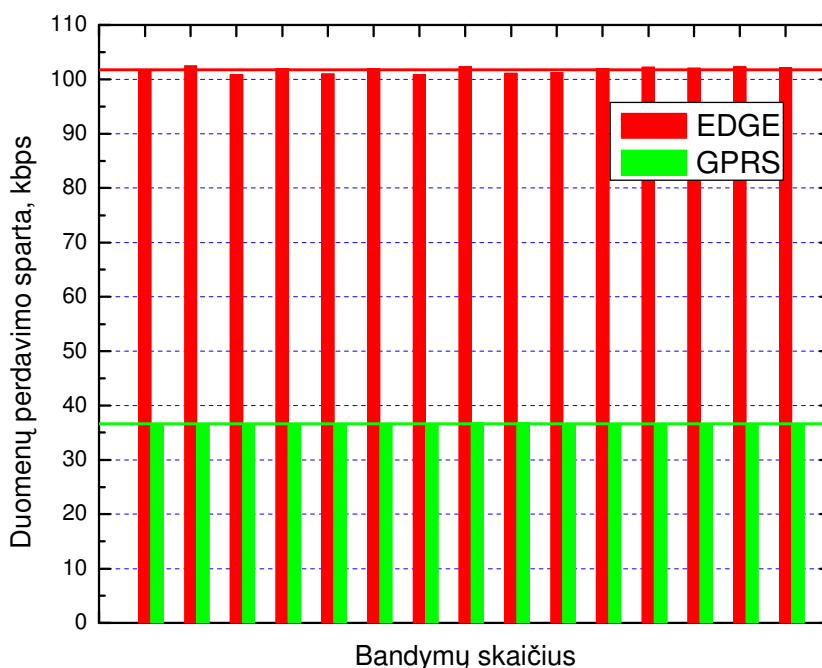
Duomenų perdavimo žemyn sparta naudojant GPRS ir EDGE atvaizduota 18 pav. Kaip matyti iš šio paveikslėlio, vidutinė duomenų sparta (atitinkamos spalvos horizontali tiesė vaizduoja vidutinę spartą) naudojant EDGE buvo gauta 212 kbps, o GPRS – 73 kbps.



18 pav. Duomenų perdavimo žemyn sparta esant idealioms sąlygoms

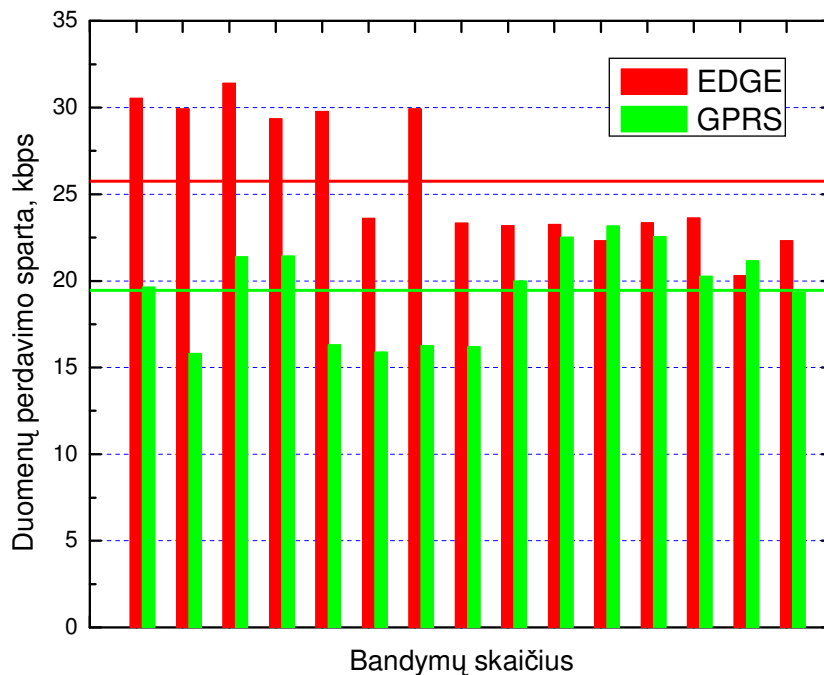
Priklausomai nuo matavimo, rezultatai išsibarstę minimaliai. Tai tik įrodo, kad matavimo metu sąlygos buvo vienodos, o gautos vertės – kad sąlygos buvo praktiškai idealios.

Analogiškai duomenų perdavimo žemyn spartai, buvo išmatuotos ir duomenų perdavimo aukštyn sparta. 19 pav. pavaizduotos idealiose sąlygose gauti rezultatai. Naudojant EDGE, vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta – 102 kbps ir beveik 3 kartus mažesnė – GPRS – 37 kbps. Čia rezultatų išsibarstymas dar mažesnis. EDGE skirtumas tarp didžiausios ir mažiausios spartos vos 1,6 kbps, o GPRS – 0,4 kbps



19 pav. Duomenų perdavimo aukštyn sparta esant idealioms sąlygoms

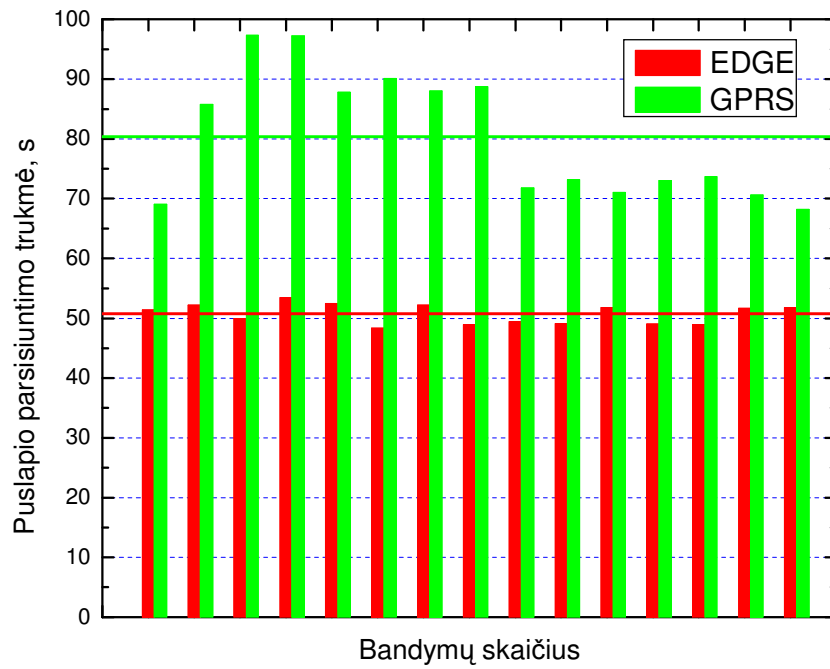
Tirdami HTTP protokolu perduodamų duomenų spartą iškart pastebėjome, kad duomenų sparta čia kur kas mažesnė (20 pav.). Naudojant EDGE technologiją, ji nesiekė 26 kbps, o GPRS – vos 20 kbps. Tokią mažą spartą lemia jau ne sąsaja tarp BTS ir MS, o kiti faktoriai: visų pirma, tai pats HTTP protokolas. Antra, puslapio dydis yra pakankamai mažas (apie 160 kB), ir galima sakyti, kad duomenų perdavimo technologijos nespėja išibėgėti. Trečia, puslapis susideda iš įvairių skirtingų nedidelių dokumentų (tyrimo metu jų buvo 63), kuriuose daug pridėtinės informacijos (jų tipai, antraštės), o tai prideda daug papildomos informacijos, kuri neiškaičiuojama į puslapio dydį, taigi ir į perdavimo spartą. Įtakos turi ir kompiuterio nustatymai.



20 pav. Duomenų perdavimo sparta naudojant HTTP protokolą esant idealioms sąlygoms

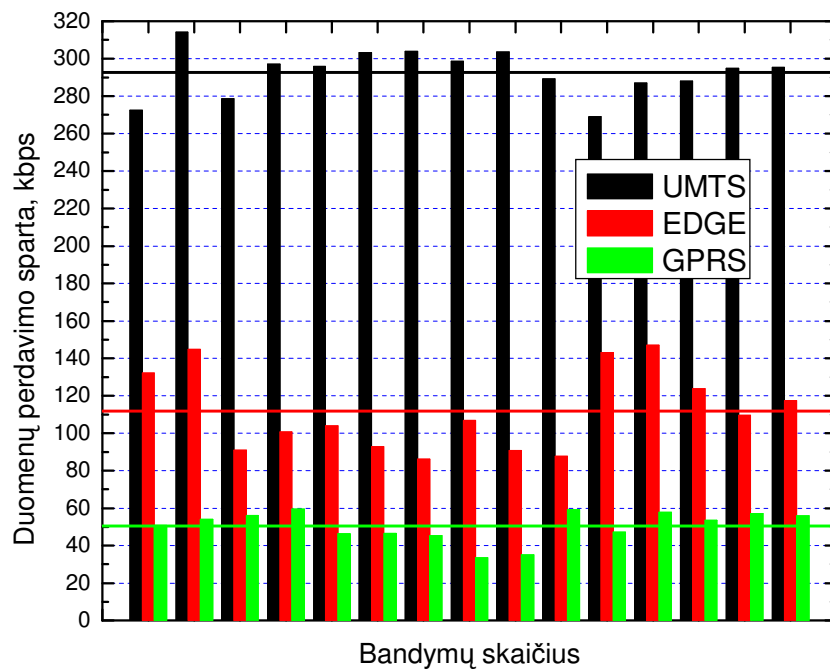
Skirtingai nei FTP, čia pastebimas ir gana didelis rezultatų išsibarstymas. Naudojant EDGE technologiją, sparta kito nuo 20 iki 31 kbps, o GPRS – nuo 16 iki 23 kbps. Tam įtakos galėjo turėti serverio, kuriame puslapis patalpintas, apkrovimas, kurio (skirtingai nei FTP) negalėjome kontroliuoti. Tačiau didžiausią įtaką darė puslapio dydis, kuris tyrimo metu kito nuo 121 iki 207 kB. Kuo šis dydis buvo mažesnis, tuo mažesnė buvo ir sparta.

Tačiau, skaičiuojant puslapio parsisiuntimo trukmę (kas vartotojui yra aktualiausia), pastebima kiek kita tendencija (21 pav.). Kai naudojamos EDGE technologija, trukmė, reikalinga parsisiųsti puslapį, kinta pakankamai nežymiai – nuo 48 iki 53 sek. Naudojant GPRS technologiją, ši trukmė kinta kur kas platesniame intervale – nuo 68 iki 97 sek. Išanalizavus tyrimo rezultatus, buvo pastebėta, kad tiriant GPRS technologiją, vidutinis puslapio dydis buvo 20 KB didesnis. Tai atitinkamai galėjo nulemti didesnę spartą, tačiau ilgesnę parsisiuntimo trukmę.



21 pav. Puslapio parsisiuntimo trukmė esant idealioms sąlygoms

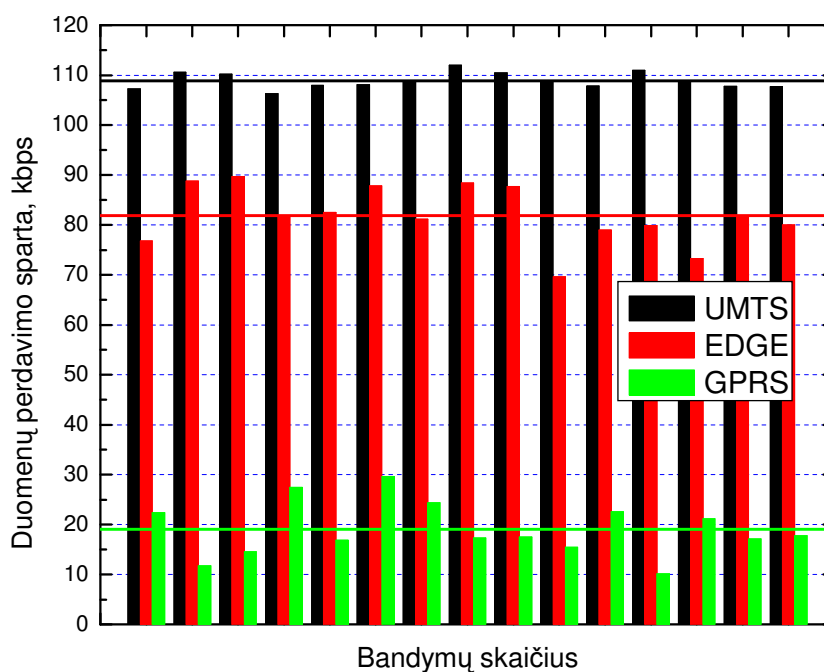
Panašiai idealiomis sąlygomis atliktiems matavimams, buvo atlikti matavimai ir realiomis sąlygomis.



22 pav. Duomenų perdavimo žemyn sparta esant realioms sąlygoms

Atstumas tarp bazinės ir mobilios stoties buvo apie 300m, tyrimo laikas – 18-20 val, tyrimo vieta – Naujamiestis (Vilnius). Čia buvo iširtos visos trys technologijos – GPRS, EDGE ir UMTS. Signalo lygis tiriant GPRS ir EDGE buvo apie 60 dBm, o UMTS – apie 80 dBm. Vidutinė duomenų perdavimo žemyn sparta naudojant UMTS, buvo gauta 293 kbps (22 pav.), o tai praktiškai atitinka mūsų numatyta (300 kbps). Nors realiomis sąlygomis tiriant GPRS ir EDGE technologijas signalo lygis buvo taip pat pakankamai aukštas (apie 60 dBm), vidutinė duomenų perdavimo sparta naudojant EDGE buvo tik 112 kbps, o GPRS – 51 kbps. EDGE atveju tai yra net du kartus mažiau už idealiomis sąlygomis gautą, GPRS – 30% mažiau.

Tiriant duomenų perdavimo aukštyr spartą esant realioms sąlygomis, UMTS vidutinė sparta gauta 109 kbps (23 pav.). Nedaug atsiliko ir EDGE – 82 kbps. GPRS atsiliko labiausiai – daugiau nei 4 kartus lėčiau už EDGE – tik 19 kbps.

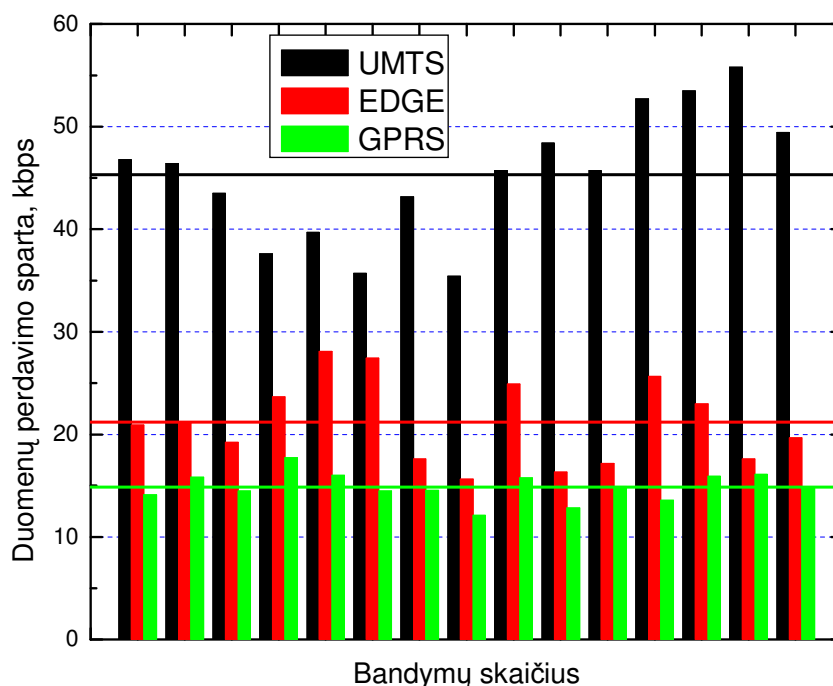


23 pav. Duomenų perdavimo aukštyr sparta esant realioms sąlygomis

Remiantis gautais EDGE duomenų perdavimo aukštyr rezultatais, galime paaiškinti santykinai mažą EDGE duomenų perdavimo žemyn spartą. Didelė perdavimo aukštyr sparta, parodo, kad buvo naudojami abu laikiniai intervalai ir aukšta kodavimo schema, taigi, ryšio sąlygos buvo geros. Vadinasi mažą duomenų perdavimo žemyn spartą nulėmė didelis tinklo apkrovimas, arba kitaip sakant, mažas naudojamų laikinių intervalų skaičius (vietoj 4 galimų vidutiniškai buvo naudojami 2-3).

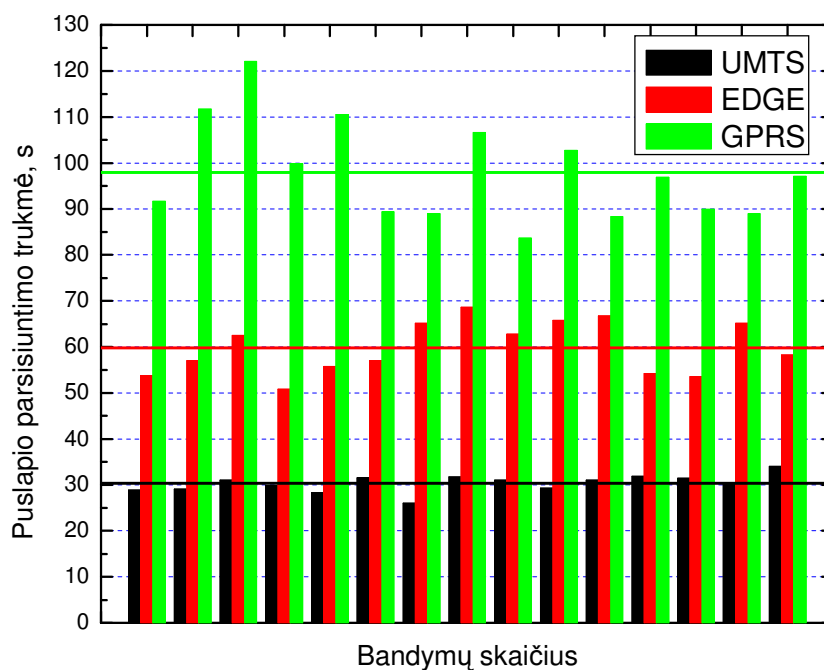
Mažesnę spartos rezultatų išsibarstymą (spartos kitimo diapazoną kiekvienai technologijai atskirai) nulėmė tas pats laikinių intervalų skaičius, kuris duomenų perdavimui aukštyje yra daugiausiai 2. Tikimybė, kad 2 laikiniai intervalai bus neužimti yra didesnė už tikimybę, kad bus neužimti 4 laikiniai intervalai.

Duomenų perdavimo sparta naudojant HTTP (24 pav.) ir esant realioms sąlygoms gauta labai panaši į idealiomis sąlygomis gautą spartą. Naudojant UMTS vidutinė sparta 45 kbps, EDGE – 21 kbps ir GPRS – 15 kbps.



24 pav. Duomenų perdavimo sparta naudojant HTTP protokolą esant realioms sąlygoms

Apskaičiavus puslapio parsisiuntimo trukmę ir palyginus ją su trukme gauta idealiomis sąlygomis, EDGE išaugo 9 sek (viso 60 sek.), o GPRS išaugo 18 sek. (viso 98 sek.) (25pav.). Naudojant UMTS, vidutinė puslapio parsisiuntimo trukmė – kiek daugiau nei 30 sek., o tai net 2 kartus greičiau už EDGE.



25 pav. Puslapio parsisiuntimo trukmė esant realioms sąlygoms

Reziumuojant visus eksperimento metu gautus rezultatus, 8 lentelėje pateikiamos visų atliktų matavimų vidutinės vertės.

8 lentelė. Vidutinė duomenų perdavimo sparta

Technologija	UMTS		EDGE		GPRS	
Sąlygos Kryptis ir protokolas	Idealios	Realios	Idealios	Realios	Idealios	Realios
	DL FTP, kbps	-	293	213	112	73
UL FTP, kbps	-	109	102	82	37	19
DL HTTP, kbps	-	45	26	21	19	15

Didesnių spartų, nei idealiomis sąlygomis mūsų eksperimento metu gautų, vartotojai neturėtų tikėtis. Tačiau realiomis sąlygomis gautos spartos labai lengvai galėtų būti tiek viršijamos tiek nepasiektos. Realiomis sąlygomis gauti rezultatai labiau parodo rezultatų

pasiskirstymą, kuris gaunamas naudojant vieną ar kitą technologiją, duomenų perdavimo kryptį ar protokolą.

Vartotojai, kuriems reikalinga didelė sparta perduodant informaciją iš/i FTP (ar panašiu) serverių, kurie naudojami video skambučiais, vienareikšmiškai turėtų rinktis UMTS technologiją. Neturintiems galimybių ar nenorintiems pasirinkti UMTS, puiki alternatyva – EDGE. Esant nedideliam vartotojų skaičiui, perdavimo sparta pakankamai aukšta ir nedaug nusileidžianti UMTS spartai. Nesant galimybių pasirinkti ir EDGE, lieka GPRS, kuri esant vienodoms sąlygoms ir naudojant FTP, bus vidutiniškai 3 kartus lėtesnė nei EDGE. Tačiau naudojant HTTP protokolą, tokio didelio skirtumo nepastebėsite.

IŠVADOS

Šiame darbe aprašytos ir išanalizuotos šios mobilios duomenų perdavimo technologijos: CSD, HSCSD, GPRS ir UMTS. Pagrindinis dėmesys skirtas perduodamų duomenų spartai įvertinti ir palyginti, nustatyti svarbiausius ją lemiančius veiksnius.

Atlikę programinių įrangų, skirtų galutiniam vartotojui tiksliam duomenų spartos, apimties įvertinimui, patogiam sujungimų valdymui ir apskaitai tyrimą, nustatėme, kad tiksliausia, patogiausia ir patikimiausia yra „DU Meter“ programa. Jos apskaičiuotų perduotų duomenų kiekis, nuo operatoriaus suskaičiuotų skyrėsi vos 0,1 MB. Vartotojams, norintiems turėti sudėtingesnę, daugiau galimybių turinčią, detalesnes ataskaitas formuojančią ir sujungimus valdančią, rekomenduotume „OnlineEye Pro“ programą.

Idealiomis sąlygomis atlikę matavimus nustatėme, kad naudojant EDGE, duomenų perdavimo žemyn sparta yra beveik 3 kartus didesnė nei GPRS ir siekia 212 kbps, lyginant su 73 kbps GPRS, o tai patvirtina teoriją. Iki didžiausios teorinės spartos (atitinkamai 238,8 kbps ir 85,6 kbps), EDGE pritrūko nepilnai 27 kbps, o GPRS – 13 kbps. Šiek tiek arčiau priartėti prie didžiausios teorinės spartos būtų galima panaudojant kitą protokolą (pvz. UDP), tačiau gauta vertė, praktiškai yra ribinė vartotojui naudingos informacijos perdavimo spartai. Likusią dalį užima įvairi tarnybinė informacija (užklaustos, paketų antraštės ir pan.). Vidutinė duomenų perdavimo aukštyn sparta naudojant EDGE, buvo 102 kbps, o tai taip pat beveik 3 kartus daugiau nei GPRS – 37 kbps.

Atlikę duomenų perdavimo spartos tyrimus realiomis sąlygomis, nustatėme, kad vidutinė perdavimo žemyn sparta naudojant UMTS yra 290 kbps. Tai šiek tiek mažiau nei buvome numatę (300 kbps), tačiau 2,5 karto daugiau nei EDGE (112 kbps) ir 5,5 karto daugiau nei GPRS (51 kbps). Tai dalinai patvirtina teoriją, kad UMTS technologija viename narvelyje gali aptarnauti daugiau vartotojų nei GPRS ar EDGE. Dalinai dėl to, kad kaip bebūtų, UMTS Lietuvoje tik pradėdama diegti, taigi vartotojų skaičius tyrimo metu tikrai nebuvo didelis. Kiek kitokie rezultatai gauti tiriant duomenų perdavimo spartą aukštyn. Čia, realiomis sąlygomis, skirtumas tarp EDGE (82 kbps) ir UMTS (109 kbps) tėra vos 27 kbps, t.y., naudojant UMTS, sparta padidėjo tik 25% lyginant su EDGE. Naudojant GPRS, sparta nesiekė net 20 kbps.

Tirdami HTTP protokolu perduodamų duomenų spartą nustatėme, kad ji yra vidutiniškai 4-8 kartus mažesnė (priklausomai nuo technologijos) nei naudojant FTP protokolą. Tai parodo, kad naudojamas protokolas turi didelę reikšmę perduodamų duomenų spartai. Konkrečiu atveju, spartą riboja pats HTTP protokolas, serverių apkrovimai, juos jungiančios sąsajos, kompiuterio nustatymai. Matavimų rezultatai gauti idealiomis ir realiomis sąlygomis – praktiškai vienodi. Tai

tik patvirtina, kad spartą labiau riboja jau ne esančios ryšio sąlygos, o naudojamas protokolas ir pati technologija.

Analizuodami duomenų perdavimo spartos priklausomybę nuo atstumo tarp bazinės ir mobilios stoties, pastebėjome, kad miesto sąlygomis atstumas neįtako lemiamos įtakos. GPRS aukščiausia kodavimo schema CS-4 dominuoja esant net 2 km atstumui tarp stočių, o EDGE – MSC-9 – iki 1,5 km. Miesto sąlygomis, dėl didelio vartotojų skaičiaus, taigi ir didelio bazinių stočių skaičiaus šis atstumas viršijamas retai. Kur kas didesnę įtaką turi pati vietovė: aukšti pastatai, medžiai, įvairūs išoriniai ar vidiniai triukšmai. Visi šie veiksniai nulemia C/I santykį, nuo kurio priklauso naudojama kodavimo schema, taigi ir duomenų perdavimo sparta. Tačiau labiausiai duomenų perdavimo spartą lemia vartotojų skaičius. Kiekvienas papildomas vartotojas, esantis tame pačiame narvelyje, naudojami tais pačiais tinklo resursais, taigi dalinasi ir ta pačia sparta.

Duomenų perdavimo spartos ir mobilumo poreikis auga, taigi mobilios duomenų perdavimo technologijos yra toliau sparčiai vystomos. Netruks pasirodyti išplėstas naujos kartos mobiliojo interneto 3G ryšys, papildytas didelės spartos informacijos perdavimo žemyn technologija – HSDPA (angl. *High Speed Downlink Packet Access*). Kuria, beje, UAB „Omnitel“ jau pristatė ir š.m. vasarą planuoja įdiegti Palangoje. Vidutinis duomenų perdavimo žemyn greitis – 1,8 Mbps, o tai yra kiek mažiau nei 10 kartų greičiau palyginti su vidutiniu duomenų perdavimo greičiu naudojantis 3G ryšiu ir daugiau nei 10 kartų greičiau nei EDGE tinkle. Sekantis žingsnis – didelės spartos informacijos perdavimo aukštyt technologija – HSUPA (angl. *High Speed Uplink Packet Access*). Dar toliau – 4 kartos technologija, kurios sėkmingi bandymai jau atliekami Japonijoje. Šių technologijų analizė, lyginimas ir būtų tolimesni šio darbo vystymo etapai.

SUTRUMPINIMAI

3G – Third Generation – trečioji karta

3GPP – 3G Partnership Project – 3G partnerystės projektas

8-PSK – Octonary Phase Shift Keying – aštuonfazė manipuliacija

AMPS – Advanced Mobile Phone Service – patobulinto mobiliojo ryšio tarnyba

BCCH – Broadcast Control Channel – transliacijos valdymo kanalas

BPSK – Binary Phase Shift Keying – dvejetainė fazinė manipuliacija

BSC – Base Station Controller – bazinės stoties kontrolieris

BSS – Base Station System – bazinės stoties sistema

BTS – Base Transceiver Station – bazinė stotis

C/I – Carrier to Interference – signalo/triukšmo santykis

CCCH – Common Control Channel – bendrasis valdymo kanalas

CCH – Control Channel – valdymo kanalas

CDMA – Code Division Multiple Access – kodinio dalijimo daugkartinė prieiga

CN – Core Network – pagrindinis tinklas

CS – Coding Scheme – kodavimo schema

CSD – Circuit Switched Data – duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija

DSL – Digital Subscriber Line – skaitmeninė abonento linija

EDGE – Enhanced Data rates for GSM Evolution – didesnės duomenų perdavimo spartos technologija

EGPRS – Enhanced GPRS – patobulintas GPRS

ETSI – European Telecommunications Standard Institute – Europos telekomunikacijų standartizavimo institutas

FACCH – Fast Associated Control Channel – spartusis skirtasis valdymo kanalas

FBI – Feed Back Information – grįžtamoji informacija

FCCH – Frequency Correction Channel – dažnio koregavimo kanalas

FDD – Frequency Division Duplex – dažnių abipusis dalijimas

FDMA – Frequency Division Multiple Access – daugkartinis dažnio dalijimas (kolektyvioji dažninio atskyrimo kreiptis)

FTP – File Transfer Protocol – rinkmenų perdavimo protokolas

GERAN – GSM/EDGE Radio Access Network – GSM/EDGE radijo tinklas

GGSN – Gateway GPRS Support Node – GPRS tinklo sietuvas

GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying – Gauso mažiausioji fazės manipuliacija

GPRS – General Packet Radio Service – paketinio duomenų perdavimo technologija

GSM – Groupe Spéciale Mobile – Global System for Mobile communication – visuotinė mobili sistema

GTP – GPRS Tunnel Protocol – GPRS tuneliavimo protokolas

HSCSD – High Speed Circuit Switched Data – didelės spartos duomenų perdavimo perjungiamais kanalais technologija

HSDPA – High Speed Downlink Packet Access – didelės spartos duomenų perdavimo žemyn paketinės prieigos technologija

HSUPA – High Speed Uplink Packet Access - didelės spartos duomenų perdavimo aukštyn paketinės prieigos technologija

HTTP – Hypertext Transfer Protocol – hipertekstų perdavimo protokolas

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers – elektros ir elektronikos inžinierių institutas

IMSI – Internal Mobile Equipment Identity – vidinių mobilių įrenginių identifikavimas

IP – Internet Protocol – interneto protokolas

ISDN – Integrated Services Digital network – integruotų paslaugų skaitmeninis tinklas

LAN – Local Area Network – vietinis tinklas

LLC – Logical Link Control – loginių sujungimų kontrolė

LLM – Logical Link Management – loginių sujungimų valdymas

MM – Mobility Management – mobilumo valdymas

MS – Mobile Station – mobili stotis

MSC – Mobile Switching Center – mobilus perjungimo centras

NMT – Nordic Mobile Telephone – šiaurės šalių mobiliojo ryšio sistema

PAACH – Packet Access Grant Control Channel – paketinių duomenų prieigos patvirtinimo kontrolės kanalas

PACCH – Packet Associated Control Channel – paketinių duomenų išskirtinis kontrolės kanalas

PBCCH – Packet Broadcast Control Channel – paketinių duomenų transliacijos kontrolės kanalas

PCCCH – Packet Common Control Channel – paketinių duomenų bendras kontrolės kanalas

PDP – Proper packet Data Protocol – tinkamo paketo duomenų protokolas

PDTCH – Packet Data Traffic Channel – paketinių duomenų perdavimo kanalas

PLMN – Public Land Mobile network – viešasis mobilus tinklas

PNCH – Packet Notification Control Channel – paketinių duomenų perspėjimo kontrolės kanalas

PPCH – Packet Paging Channel – padėties patikrinimo kanalas

PRACH – Packet Random Access Channel – paketinių duomenų atsitiktinės prieigos kanalas

PTCCH – Packet Timing advance Control Channel – paketinių duomenų sinchronizacijos kontrolės kanalas

QPSK – Quad Phase Shift Keying – kvadratūrinė fazinė manipuliacija

RAN – Radio Access Network – radijo prieigų tinklas

RLC – Radio Link Control – radijo kanalo valdymas

RNC – Radio Network Controller – radijo tinklo kontrolieris

RNS – Radio Network System – radijo tinklo sistema

RTT – Round Trip Time – kanalo vėlinimas

SACCH – Slow Associated Control Channel – lėtasis skirtasis valdymo kanalas

SCH – Synchronization Channel – sinchronizacijos kanalas

SDCCH – Stand-alone Dedicated Control Channel – atskirtasis valdymui skirtas kanalas

SGSN – Serving GPRS Support Node – GPRS paslaugų mazgas

SIM – Subscriber Identity Module – vartotojo identifikavimo modulis

TACH – Traffic Associated Control Channel – apkrovos skirtasis valdymo kanalas

TACS – Total access Communications System – visuotinės kreipties ryšių sistema

TCH – Traffic Channel – apkrovos kanalas

TCP – Transport Control Protocol – transporto lygmens protokolas

TDD – Time Division Duplex – laiko abipusis dalijimas

TDMA – Time Division Multiple Access – daugkartinis laiko dalijimas (laikinis kanalų sutankinimas)

TFCI – Transport Format Combination Indicator – transporto formato kombinacijų indikatorius

TFI – Transport Format Indicator – transporto formato indikatorius

TPC – Transmission Power Control – perdavimo galios valdymas

TS – Time Slot – laikinis kanalas

UDP – User Datagram Protocol – vartotojo datagramų protokolas

UE – User Equipment – vartotojo įranga

UMTS – Universal Mobile Telecommunications System – universali mobilių telekomunikacijų sistema

UTRAN – UMTS Terrestrial RAN – UMTS sausumos radijo prieigų tinklas

VLR – Visitor Location Register – lankytojų vietos registras

WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access – plačiajuostė kodinio dalijimo daugkartinė prieiga

WLAN – Wireless Local Area Network – bevielis vietinis tinklas

LITERATŪRA

1. *3G/UMTS Towards mobile broadband and personal Internet*. [interaktyvus]. A white paper from the UMTS forum 2005 [žiūrėta 2006 02]. Prieiga per internetą: <http://www.umts-forum.org/servlet/dycon/ztumts/umts/Live/en/umts/>
2. Batkauskas V. *GPRS duomenų kanalo ypatumų analizė* // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003.
3. Baubinas T. *Mobilus duomenų perdavimo (GPRS) ir vietinių belaidžių tinklų (WLAN) integracijos ir sąveikos tyrimas*: magistro studijų programos baigiamasis darbas / Tomas Baubinas: Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. Vilnius, 2005. 114p.
4. Buddendick H., Weber A., Tangemann M. *Comparison of data throughput performance in GPRS, EGPRS, AND UMTS*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2006 03]. Prieiga per internetą: <http://www.awe-communications.com/Docs/>
5. Dimitris Katsianis, Ilari Welling, Maria Ylönen. *The economic perspective of the mobile networks in Europe*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2006 03]. Prieiga per internetą: <http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/>
6. *EDGE. Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks*. [interaktyvus]. Ericsson white paper [žiūrėta 2006 03]. Prieiga per internetą: <http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/>
7. ETSI TS 101 344 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); *General Packet Radio Service (GPRS)*, Service description; Stage 2; 3GPP TS 03.60 version 7.9.0 Release 1998. 111p.
8. Halonen T., Romero J., Melero J. *GSM, GPRS and EDGE Performance. Evolution towards 3G/UMTS*. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2002, 585p.
9. *Introduction to Digital Cellular: TED GSM Systems Division Network Solutions Sector*: Motorola LTD, 1998.
10. Kajackas A. *UMTS konspektas*
11. Kriščiūnienė A., Batkauskas V. *Mobiliojo duomenų perdavimo (GPRS) įvertinimas ir apmokestinimas* // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 2(58). – P. 26–29.
12. Kvederas A. *GSM/DCS judriojo ryšio sistemos radijo sąsajos įtaka duomenų perdavimui*: magistro studijų programos baigiamasis darbas / Arnas Kvederas: Vilniaus Universitetas. Vilnius, 2005. 47p.

13. Lukočius D. *GSM judriojo ryšio bazinių ir judriųjų stočių spinduliuojamų ir priimamų signalų galių nuostolių balanso analizė*: bakalauro programos baigiamasis darbas / Darius Lukočius: Vilniaus Universitetas. Vilnius, 2004. 30p.
14. Lukočius D. *GSM judriojo ryšio bazinių stočių sukuriamų elektromagnetinių laukų stiprumo priklausomybės nuo vietovės aukščio tyrimas*: praktikos ataskaita / Darius Lukočius: Vilniaus Universitetas. Vilnius, 2003. 21p.
15. Peter Rysavy. *Data capabilities for GSM evolution to UMTS*. [interaktyvus]. White paper, 2002 [žiūrėta 2005 11]. Prieiga per internetą: <http://www.rysavy.com/Articles/>
16. Selian, Audrey. ITU. *3G Mobile Licensing Policy: From GSM to IMT-2000 – a comparative analysis*. [interaktyvus]. [žiūrėta 2006 04]. Prieiga per internetą: <http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/casestudies/>

PRIEDAI

1 priedas

Duomenų perdavimo žemyn matavimo (naudojant FTP) bylos pavyzdys

```
=====
10:33
ftp> Connected to 212.47.99.41.
open 212.47.99.41
220-TwoFTPd server ready.
220 Authenticate first.
ftp> user test
331 Send PASS.
230 Ready to transfer files.
ftp> ftp>
bin
200 Transfer mode changed to BINARY.
ftp> get 2MB.txt
200 OK.
150 Opened data connection.
226 File sent successfully (1289372 bytes sent).
ftp: 1289372 bytes received in 55,13Seconds 23,39Kbytes/sec.
ftp> bye
221 Bye.
ftp> Connected to 212.47.99.41.
open 212.47.99.41
220-TwoFTPd server ready.
220 Authenticate first.
ftp> user test
331 Send PASS.
230 Ready to transfer files.
ftp> ftp>
bin
200 Transfer mode changed to BINARY.
ftp> get 2MB.txt
200 OK.
150 Opened data connection.
226 File sent successfully (1289372 bytes sent).
ftp: 1289372 bytes received in 48,57Seconds 26,55Kbytes/sec.
ftp> bye
221 Bye.
10:37
ftp> Connected to 212.47.99.41.
open 212.47.99.41
220-TwoFTPd server ready.
220 Authenticate first.
ftp> user test
331 Send PASS.
230 Ready to transfer files.
ftp> ftp>
bin
200 Transfer mode changed to BINARY.
ftp> get 2MB.txt
200 OK.
150 Opened data connection.
226 File sent successfully (1289372 bytes sent).
ftp: 1289372 bytes received in 47,80Seconds 26,97Kbytes/sec.
ftp> bye
221 Bye.
=====
```

Duomenų perdavimo matavimo (naudojant HTTP) bylos pavyzdys

=====

2006.05.23

10:59

Welcome to the W3C mini Robot version 5.3.1 - started on Tue, 23 May 2006 10:59:44

Accessed 63 documents in 30.59 seconds (2.06 requests pr sec)

Did a GET on 63 document(s) and downloaded 207K bytes of document bodies (6925.6 bytes/sec)

Did a HEAD on 0 document(s) with a total of 0K bytes

Robot terminated Tue, 23 May 2006 11:00:15

2006.05.23

11:02

Welcome to the W3C mini Robot version 5.3.1 - started on Tue, 23 May 2006 11:02:14

Accessed 63 documents in 30.27 seconds (2.08 requests pr sec)

Did a GET on 63 document(s) and downloaded 207K bytes of document bodies (6998.8 bytes/sec)

Did a HEAD on 0 document(s) with a total of 0K bytes

Robot terminated Tue, 23 May 2006 11:02:45

2006.05.23

11:04

Welcome to the W3C mini Robot version 5.3.1 - started on Tue, 23 May 2006 11:04:48

Accessed 63 documents in 26.98 seconds (2.34 requests pr sec)

Did a GET on 63 document(s) and downloaded 121K bytes of document bodies (4598.4 bytes/sec)

Did a HEAD on 0 document(s) with a total of 0K bytes

Robot terminated Tue, 23 May 2006 11:05:15

2006.05.23

11:07

Welcome to the W3C mini Robot version 5.3.1 - started on Tue, 23 May 2006 11:07:13

Accessed 63 documents in 26.53 seconds (2.37 requests pr sec)

Did a GET on 63 document(s) and downloaded 121K bytes of document bodies (4676.6 bytes/sec)

Did a HEAD on 0 document(s) with a total of 0K bytes

Robot terminated Tue, 23 May 2006 11:07:40

2006.05.23

11:09

Welcome to the W3C mini Robot version 5.3.1 - started on Tue, 23 May 2006 11:09:38

Accessed 63 documents in 32.96 seconds (1.91 requests pr sec)

Did a GET on 63 document(s) and downloaded 121K bytes of document bodies (3764.3 bytes/sec)

Did a HEAD on 0 document(s) with a total of 0K bytes

Robot terminated Tue, 23 May 2006 11:10:11

=====

DU Meter programos gegužės mėnesio ataskaita

<i>DU Meter Daily Report</i>				
Period (Date)	Download	Upload	Both Directions	Dial-Up Time
2006.05.01	5.222 KB	819 KB	6.041 KB	5.353 sec
2006.05.02	1.448 KB	1.228 KB	2.676 KB	2.640 sec
2006.05.03	2.230 KB	363 KB	2.593 KB	2.392 sec
2006.05.04	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.05	727 KB	144 KB	871 KB	476 sec
2006.05.06	735 KB	124 KB	859 KB	317 sec
2006.05.08	2.539 KB	460 KB	2.999 KB	3.330 sec
2006.05.09	2.352 KB	828 KB	3.180 KB	3.796 sec
2006.05.10	2.799 KB	773 KB	3.571 KB	10.227 sec
2006.05.11	2.286 KB	502 KB	2.789 KB	2.558 sec
2006.05.12	2.195 KB	379 KB	2.574 KB	2.242 sec
2006.05.13	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.14	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.15	2.333 KB	789 KB	3.123 KB	8.959 sec
2006.05.16	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.17	1.317 KB	425 KB	1.743 KB	3.875 sec
2006.05.18	2.200 KB	253 KB	2.453 KB	3.142 sec
2006.05.19	1.085 KB	270 KB	1.355 KB	2.303 sec
2006.05.20	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.21	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.22	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.23	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.24	194 KB	377 KB	571 KB	787 sec
2006.05.26	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.27	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.28	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.29	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
2006.05.30	0 KB	0 KB	0 KB	11 sec
2006.05.31	0 KB	0 KB	0 KB	0 sec
TOTALS	29.663 KB	7.735 KB	37.398 KB	52.408 sec
	29,0 MB	7,5 MB	36,5 MB	14h 33min