



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - ГАБРОВО

Факултет “Електротехника и електроника”

Катедра “Комуникационна техника и технологии”

маг. инж. Борис Благой Арсов

**УПРАВЛЕНИЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА И КАЧЕСТВОТО НА УСЛУГИ В
ШИРОКОЛЕНТОВИ МОБИЛНИ МРЕЖИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане
на образователна и научна степен “**доктор**”

Област на висше образование: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника

по **Докторска програма: “Комуникационни мрежи и системи”**

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Станимир Михайлов Садинов

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Райчо Тодоров Иларионов
2. проф. д-р инж. Григор Йорданов Михайлов

гр. Габрово

2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за официална защита на заседание на Разширен катедрен съвет на катедра „Комуникационна техника и технологии“ към факултет „Електротехника и електроника“ на Технически университет – Габрово, проведен на 24.01.2024 г.

Дисертационният труд съдържа 171 страници. Научното съдържание е представено в увод пет глави и заключение, включва 150 фигури и 32 таблици. Цитирани са 142 литературни източника и 42 Интернет адреса. Номерацията на фигурите, таблиците и формулите в автореферата е в съответствие с тази в дисертацията.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в катедра „Комуникационна техника и технологии“ към факултет „Електротехника и електроника“ на Технически университет – Габрово и на територията на гр. Габрово.

Официалната защита на дисертационния труд ще се състои на 26.04.2024 г. от 13 ч. в зала 2215, сграда Учебен корпус 2 (Баждар) на Технически университет – Габрово.

Материалите по защитата са на разположение за интересующите се в кабинет 3209, корпус №3 на Технически университет – Габрово.

Рецензиите и становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани на сайта на университета: www.tugab.bg.

© Борис Благой Арсов – автор, 2024

e-mail: borisarsov45@gmail.com

Заглавие: Управление на ефективността и качеството на услуги в широколентови мобилни мрежи

Тираж: 5 бр. (Бълг. език)

Място на отпечатване: Университетско издателство „Васил Априлов“ при ТУ - Габрово

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема:

Съществуването и изграждането на качествена мобилна телекомуникационна инфраструктура и технологично напреднала мобилна мрежа в днешно време трябва да се притежава и надгражда от всеки мобилен оператор на електронни съобщителни мрежи, тъй като мобилната широколентова връзка изисква бързи и постоянно включени интернет връзки, които поддържат предаването на иновативно съдържание и услуги. От друга страна, в сравнение с традиционните по-бавни връзки, мобилната широколентова връзка може да бъде достъпна незабавно и могат да се прехвърлят големи количества данни, намалявайки времето за изчакване и подобрявайки ефективността за потребителите.

Настоящата докторска дисертация анализира начините за регулиране и изпълнение на основните параметри, които трябва да съобразява и да отговаря един оператор на електронна съобщителна мрежа, в посока реализиране на самата стратегия и изискванията за широколентов интернет и качествени услуги през мобилни клетъчни мрежи.

Обект на дисертационния труд се явяват управление на ефективността и качеството на услугите в широколентовите мобилни мрежи където основният акцент е върху оценката на параметрите на канала както и зависимостите между тях, определящи качеството на сигналите и ефективността на мрежата.

Цел и задачи на дисертационния труд:

Целта на дисертационния труд е да се представят и изследват процесите на клетъчно радиопокрытие чрез синтезиране на аналитични зависимости, симулационни модели и провеждане на практически експериментални резултати, които да доведат до възможности за подобряване на ефективността на управление и качеството на услугите в широколентовите мобилни мрежи.

За реализирането на формулираната цел е необходимо решаването на следните *обобщени задачи*:

1. Създаване и описание на аналитична методология при проектиране и изчисляване на параметрите на широколентова мобилна мрежа.
2. Разработване и синтезиране на симулационен модел в *Simulink* графична среда на Matlab за изследване на WCDMA (End-to-End Physical Layer) за изследване на ефективността на модел на широколентова мобилна мрежа.
3. Извършване на изследване на параметрите на широколентова мобилна мрежа и възможности за подобряване на качеството на услугите в гъстонаселен градски район и статистическа обработка на резултатите.
4. Провеждане на практически измервания на покритието и излъчването на мобилните оператори в Република С. Македония свързани с качеството на услугите и диагностика при експлоатация и настройка на клетъчна мрежа в градски и извънградски райони, като чрез резултатите да се направи независима оценка на качеството на *осигуреното радиопокрытие* и да се предложат методи и мерки за *неговото подобряване*.

Методи на изследване:

Методите за изследване са обособени основно в отделните глави, като аналитични, симулационни и практически, и обхващат зависимостите на параметрите, характеризиращи реализацията на отделните модели.

Мястото на изследване е примерно, касаещо практически изследвания на комуникационния канал в определена част от зона на покритие в безжична мрежа. За

симулационните изследвания са използвани програмните среди Matlab/Simulink, TEMS Investigation, Ariesso и др. Представени са примерни модели на радиопокрытие в широколентова мобилна мрежа, използваща безжични канали, чрез симулационни модели, демонстриращи взаимната корелация и обвързаност на параметрите в тях.

Научна новост:

Това са различните процеси на физическо ниво, свързани с канала за връзка, както и зависимостите, касаещи параметрите, определящи ефективността на предаване на информацията в специфични условия. Създадените аналитични модели, предложените изчисления касаещи пълно радиопокрытие и осигуряване на необходимото качество на обслужване. Синтезираните симулационни модели и получени и анализирани резултати в различни сценарии на комуникационния канал. Научна новост се явяват и реализираните множество практически измервания параметрите на сигналите на различните мобилни клетъчни технологии в реална среда на градски и извънградски райони, отчетените проблеми и препоръките за тяхното решаване с цел подобряване на ефективността на управление и качеството на услугите предлагани по широколентови мобилни мрежи.

Приложимост:

Приложимостта на дисертационния труд е свързана със създаване на методологии от процедури, свързани с коректни подходи при моделиране, избор и реализация на архитектура, необходимото оборудване и правилното конфигуриране, чрез мониторинг и оценка на параметрите на сигналите в широколентови мобилни мрежи. Като това би послужило при обучението и научните изследвания на студенти и докторанти, при работата на регулаторните органи чрез законовите процедури и контрола над дейностите на мобилните оператори, както и на самите оператори с цел подобряване на ефективността на комуникация, нейното управление и качеството на телекомуникационните услуги в широколентовите мобилни мрежи.

Апробация на дисертационния труд:

Основните етапи от разработване на дисертационния труд са представени в пет публикации на международни конференции и научни издания, напълно покриващи минималните изисквания относно разглеждания критерий. Два от трудовете са изнесени на Международна научна конференция „Унитех“ и два в национална конференция и „TechCo“, като и двата са самостоятелни. Публикациите са издадени в сборници с научно рецензиране от международна научна конференция „Унитех“ и национална конференция „TechCo“ в периода на обучение 2022-2023 г., като реално представят близо 2/3 от съдържанието на дисертационния труд. Една от публикациите е изнесена на международна научна конференция EEPES 2023 (Гърция) и е публикувана в Американското реферирано издателство AIP, което има Scopus ранг. В публикациите са представени голяма част от извършените изследвания и са изложени основните изводи от дисертационния труд.

Структура и обем на дисертационния труд:

Дисертационния труд включва увод, пет глави, заключение, списък на използваните съкращения, списък на публикациите по дисертационния труд и списък на използваната литература. Общият обем е от 171 страници и е разработен на база аналитичен обзор на 142 литературни източника и 42 интернет-базирани източници.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. СЪСТОЯНИЕ И РЕГУЛАЦИЯ НА УСЛУГИТЕ В ШИРОКОЛЕНТОВИТЕ МОБИЛНИ МРЕЖИ

1.1. Широколентов достъп до интернет и неговото значение

Предаването на цифрови данни има все по-голяма роля в живота на гражданите и в работата на публичните институции и предприятия. Високата достъпност и скоростта на интернет, които позволява широколентовият достъп до интернет, са от решаващо значение за компаниите в Европа, за да поддържат своята конкурентоспособност в глобалното общество.

1.2. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Балканския регион

1.2.1. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Република Сърбия

Развитието на телекомуникационната инфраструктура и широколентовия интернет са условие за развитието на концепцията за "умни градове" в Сърбия. В Сърбия се работи усилено за осъществяване на създаването на основния т.нар основна инфраструктура не само за интелигентни градове, но и за концепцията за интелигентно управление.

1.2.2. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Република Черна гора

Общоизвестно е, че широколентовият достъп до Интернет е от фундаментално значение за социалното и икономическо развитие от всякакво значение. Международни примери показват, че мрежите с широколентов достъп до Интернет имат силно влияние върху икономическия растеж и развитие на една страна. Осъзнавайки значението им, Черна гора дефинира Националните цели в тази област в Стратегията за развитие на информационното общество за периода 2012 - 2020 г.

1.2.3. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Република Хърватия

Високите скорости на широколентов достъп до интернет са предпоставка за по-слабо развитите райони да постигнат същото качество на живот като тези в повечето по-големи и градски райони. Правителството на Хърватия прие обширна национална програма за развитие на инфраструктура за широколентов достъп в райони, където няма подходящ търговски интерес за инвестиции.

1.2.4. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Република България

Към 31.12.2022 г. общият брой на абонатите на интернет услуги на дребно (фиксиран и мобилен достъп до интернет) е 9,360 млн. и бележи увеличение от 4,1%, което е близо до растежа от 4,2 %, регистриран през предходната година. Тенденцията за ръст на броя на абонатите на пакетни услуги (с включен фиксиран и/или мобилен достъп до интернет) се запазва и през 2022 г., като в последната година се отчита ръст от 5,6 % в _абсолютно изражение, достигайки до 6,648 млн. абонати на пакетни услуги.

1.2.5. Състояние на широколентовия интернет и използването на телекомуникационните мрежи в Република Северна Македония

Целите на Програмата за цифрови технологии за 2020 г. на Европейския съюз предвиждат до 2020 г. всички европейски граждани да имат възможност за достъп до интернет със скорост от 30 Mbps или по-висока, докато 50% от населението в Европа ще има достъп до интернет със скорост от 100 Mbps или повече.

1.3. Анализи и изводи към Първа глава

Мобилните клетъчни мрежи имат изключително динамично развитие, съпътствано с непрекъснато разширяване на възможностите им в полза на високоскоростни широколентови услуги, което налага съобразяване със специфичните условия на средата, броя на

потребителите и изменението на тяхното местоположение. Всичко това е от съществено значение при проектирането на мрежата и нейната експлоатация.

Тъй като радиоспектърът е с ограничен ресурс, съгласно стандартите, се налага отделните радиоканали да бъдат разпределяни между операторите и да се търси ефективно честотно планиране свързано с по-добра ефективност на управление и непрекъснато подобряване на качеството на предлаганите услуги

Изготвянето на коректен честотен план е от много голяма важност за качеството на обслужване в мрежата, защото той до голяма степен определя нивото на интерференция. При планирането на покритието основната задача е да се намери компромис между големината на обхвата на радиопокрытие на базовите станции и трафикния капацитет на мрежата. Трафикът и праговите стойности за покритие се разглеждат като глобални параметри, защото оказват влияние едновременно върху покритието, капацитета и качеството;

Височината на антената силно влияе върху границите на покритие от една клетка, а следователно и върху максималното използване на честотите (т.е. върху капацитета), както и на параметрите свързани с качеството на обслужване на абонатите.

1.4. Цел и задачи на дисертационния труд

Същността на една широколентова клетъчна комуникационна система се състои не само в това да осигурява необходимите услуги на абонатите си чрез радиоразпръскване на цифрови сигнали, но и във възможността ѝ за откриване и коригиране на проблеми възникнали в канала за връзка. За това с настоящия дисертационен труд се поставя за цел да се покаже до каква степен това е възможно чрез правилно планиране и експлоатация за подобряване управлението и качеството на обслужване и услугите предлагани от мобилните оператори.

Предвид анализирани в глава първа състояние и регулация на услугите в широколентови мобилни мрежи, **целта на дисертационния труд** е да се представят и изследват процесите на клетъчно радиопокрытие чрез синтезиране на аналитични зависимости, симулационни модели и провеждане на практически експериментални резултати, които да доведат до възможности за подобряване на ефективността на управление и качеството на услугите в широколентовите мобилни мрежи.

За реализирането на формулираната цел е необходимо решаването на следните **обобщени задачи**:

1. Създаване и описание на **аналитична методология при проектиране и изчисляване на параметрите на широколентова мобилна мрежа.**

2. Разработване и синтезиране на **симулационен модел** в *Simulink* графична среда на Matlab за изследване на WCDMA (End-to-End Physical Layer) за изследване на ефективността на модел на широколентова мобилна мрежа.

3. Извършване на изследване на **параметрите на широколентова мобилна мрежа и възможности за подобряване на качеството на услугите** в гъстонаселен градски район и статистическа обработка на резултатите.

4. Провеждане на **практически измервания на покритието и излъчването** на мобилните оператори в Република С. Македония свързани с качеството на услугите и **диагностика при експлоатация и настройка на клетъчна мрежа в градски и извънградски райони**, като чрез **резултатите** да се направи **независима оценка на качеството** на *осигуреното радиопокрытие* и да се **предложат методи и мерки за неговото подобряване.**

ГЛАВА II. АНАЛИТИЧНА МЕТОДОЛОГИЯ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ШИРОКОЛЕНТОВА МОБИЛНА МРЕЖА

2.1. Етапи при проектиране на широколентова мобилна мрежа

Необходимо е да се вземат предвид следните неща:

- Планиране на покритието, което осигурява мрежата – то е от голямо значение от гледна точка на гарантиране на достъп на абонатите до услугите, предоставяни от мрежата.
- Планиране на капацитета – необходимо е, за да се осигури необходимата трафична способност на мрежата за различните видове услуги с достатъчно ниско ниво на блокировки и закъснение.
- От съществено значение е и осигуряване на необходимото качество на обслужване, което се дава с връзка между покритието и капацитета.

Целият етап на планиране трябва да завършва с оценка на себестойността на мрежата.

2.2. Видове услуги, предоставени от мрежата

С въвеждането на мобилните системи от ново поколение, представител на който е 5G, се появява многообразие на предоставените услуги и скорости на предаване на информацията. Предоставят се както приложения с комутация на канали, така и с комутация на пакети:

- Говорни услуги - Adaptive Multi Rate (AMR);
- Видео телефония;
- Поток от данни(видео и аудио);
- Интерактивни услуги като достъп до интернет, прехвърляне на информация във файлов формат от един абонат на друг, използване на корпоративна кореспонденция(e-mail) и т.н. Имайки предвид разнообразието от скорости и услуги в системата, е необходимо внимателно изчисляване и планиране на мрежата. На фиг. 2.1 е показана блокова схема на процеса планиране и оразмеряване на системата.



Фиг. 2.1. Етапи при планиране и оразмеряване на широколентова мрежа

2.3. Определяне на капацитета

От съществено значение при определяне на покритието е пресмятането на теоретичния радиус на една клетка. За целта трябва да се имат предвид загубите от средата на разпространение, влиянието на многолъчевото разпространение на радиовълните, както и натоварването на клетката, тоест, колко абоната ще ползват дадена услуга или различни услуги едновременно. За 5G е характерно, че радиусът на клетката намалява в зависимост от броя потребители на територията ѝ, които използват системата едновременно. Необходимо е

да се отбележи, че за различните скорости, които технологията предоставя радиусът на клетката е различен.

При планирането на покритието е необходимо да се вземат под внимание редица фактори, отчитащи намаляването или съответно увеличаването на радиуса на дадена клетка, в зависимост от това какви услуги предлага тя и броя абонати, обслужвани от нея.

2.3.1. Определяне на натоварването

Тъй като при широколентовите мобилни мрежи няма преизползване на честотите, се елиминира отчитането на този фактор. Проблемът възниква от факта, че е необходимо системата да се планира при максимално натоварване на самата мрежа или в частност на клетката. Необходимо е точно изчисляване на натоварването в една WCDMA система, както в права, така и в обратна посока.

2.3.2. Определяне на капацитета на широколентова клетъчна мрежа

За да бъде работоспособна една широколентова система, то тя не може да бъде натоварена на 100%. Затова се вземат максимално допустимите стойности:

- $Q_{MAX_UL} = 70\%$ в обратна посока
- $Q_{MAX_DL} = 76\%$ в права посока

2.4. Методология за определяне на покритието

2.4.1. Загуби в средата на разпространение

Разпространението на електромагнитните вълни в свободното пространство е свързано с множество неблагоприятни ефекти, в следствие на които голяма част от енергията на сигнала се губи по пътя до приемника. В мобилните комуникации за разглежданите честоти най-голямо влияние оказват: отражение, поглъщане, разсейване и дифракция (многолъчевото разпространение на вълната).

2.4.2. Определяне нивата на връзка

Трябва да се изчисли максималната стойност на загубите от разпространение в обратна и в права посока.

2.4.3. Определяне нива на запас

Още в началото на планирането на мрежата е необходимо да се направят предвиждания, свързани със загубите от многолъчевостта на канала за връзка. Трябва да се отчетат смущенията, образувани от наслагване на бърз фединг с бавен. Федингът е явление, което се характеризира с флукуации на амплитудата на приетия сигнал в определена точка. Тези флукуации са вследствие многолъчевото разпространение. За целта се определят нива на запас.

2.4.4. Определяне на загубите

Необходимо е отчитане на загубите и различните затихвания на сигнала. За целта се разглежда системата от генерирането на информацията в предавателя до приемането ѝ в приемника

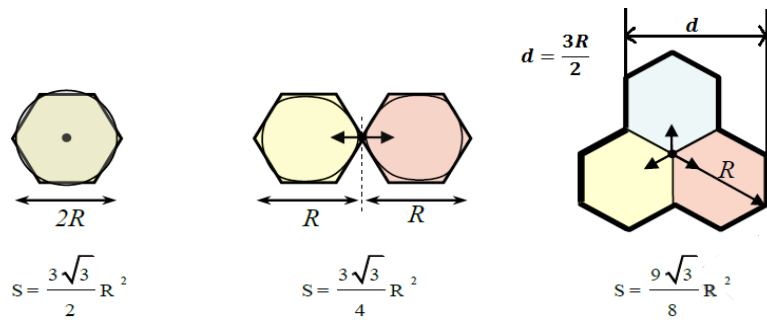
2.4.5. Усилване на антената

Усилването на базовата станция и усиливането от мобилната станция се дават с общ параметър, който представлява сума от двете усиления - G_a .

2.4.6. Определяне на зоната на покритие за една клетка

След определяне на параметрите за запас и различните видове загуби, затихвания и усиления следва да се дефинира максималната стойност на загубите от разпространение в околната среда.

Площта на покритата зона зависи от конфигурацията на сайта. На фиг. 2.5 е показано как се определя тази площ за едносекторен, двусекторен и трисекторен сайт.



Фиг. 2.5. Определяне площта на клетката в зависимост от конфигурацията на сайта.

2.4.7. Изчисления в права посока

Важен параметър в права посока е номиналната мощност на базовата станция $P_{nom.RBS}$. При определянето ѝ трябва да се отчетат загубите, които внася усилвателят към антенната система. Той е предназначен за неутрализиране на загубите във фидерите.

2.5. Прилагане на методологията за примерно планиране на покритието в градски условия

Планиране на покритието се извършва за примерен град с обща площ от около 500 квадратни километра и население около 1,5 млн. души.

Планирането на покритието е първата стъпка от планирането на мрежата за достъп, в резултат на която се получава площта, която може да покрие една клетка и следователно броят на необходимите базови станции.

Покритието, което може да осигури една клетка е тясно свързано с максимално допустимите загуби при разпространението на сигнала. Тези загуби се изчисляват поотделно за двете посоки на предаване, след което се взема предвид по-малката от двете стойности т.е. проектирането се прави за по-критичната страна, за да бъде възможно провеждане на връзка и в двете посоки на предаване.

2.5.1. Планиране на покритието за гъсто застроена градска среда

Балансът на мощностите се прави поотделно за двете посоки на предаване. В него са отразени загубите при разпространение на сигнала и съответно запасите за тяхното компенсиране.

Максимално допустимите загуби в права посока могат да се изчислят с помощта на формула:

$$\begin{aligned}
 Lp_{DL} &= Pout_{BTS} - Ldupl_{BTS} - Lf_{BTS} + Ga_{BTS} - MS_{sens} - RF_{marg} - IF_{marg} - BL - LNF_{marg(o+i)} - BPL_{mean} = \\
 &= 45 - 3.5 - 3 + 17 - (-104) - 3 - 2 - 5 - 10 - 25 = 114.5 \\
 Lp_{DL} &= 114.5 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Максимално допустимите загуби в обратна посока могат да се изчислят с помощта на формула:

$$\begin{aligned}
 Lp_{UL} &= Pout_{MS} - RF_{marg} - IF_{marg} - BL - LNF_{marg(o+i)} - BPL_{mean} + Gd_{BTS} + Ga_{BTS} - Lf_{BTS} - Ldupl_{BTS} - BTS_{sens} = \\
 &= 33 - 3 - 2 - 5 - 10 - 25 + 3.5 + 17 - 3 - 3.5 - (-111) = 113 \\
 Lp_{UL} &= 113 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

За следващите изчисления избираме по-малката от двете стойности т.е. $Lp = 113 \text{ dB}$, и продължаваме с изчисляването на диаметъра на клетката. За определяне на параметъра α използваме формула:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{Lp_{max} - 69.55 - 26.16 \lg f + 13.82 \lg h_B + a(h_M) + C}{44.9 - 6.55 \lg h_B} = \\
 &= \frac{113 - 69.55 - 26.16 \lg 900 + 13.82 \lg 30 + 0.016 + 0}{44.9 - 6.55 \lg 30} = -0.38
 \end{aligned}$$

За диаметъра на клетката получаваме:

$$R = 10^\alpha = 10^{-0.38} = 0.416 \text{ km}$$

Площта, която покрива една базова станция с три клетки може да се намери от:

$$Area = \frac{9}{8} \sqrt{3} R^2 = \frac{9}{8} \sqrt{3} (0.416)^2 = 0.34 \text{ km}^2$$

Тази част от града, която отговаря на характеристиките за гъсто застроена градска среда е около 10 km^2 (площта на терена е определена с помощта на програмата *Mapinfo*, в която е въведена цифрова карта на града). Броят на базови станции лесно може да се намери:

$$N_{BTSdense} = \frac{Area_{terr}}{Area_{BTS}} = \frac{10}{0.34} \approx 30 \text{ BTS}$$

2.5.2. Планиране на покритието за средно застроена градска среда

Планирането се извършва по аналогичен начин, като се отчетат разликите внесени от типа на средата – затихването от сградите, запасът за фединга от засенчване и коефициентът, който участва при изчисляването на диаметъра на клетката.

Изчисленията ще бъдат направени за случая, когато планираме покритие в сградите, което само по себе си гарантира покритие и извън тях.

Максимално допустимите загуби в права посока могат да се изчислят с помощта на:

$$\begin{aligned} Lp_{DL} &= Pout_{BTS} - Ldupl_{BTS} - Lf_{BTS} + Ga_{BTS} - MS_{sens} - RF_{marg} - IF_{marg} - BL - LNF_{marg(o+i)} - BPL_{mean} = \\ &= 45 - 3.5 - 3 + 17 - (-104) - 3 - 2 - 5 - 8.4 - 20 = 121.1 \\ Lp_{DL} &= 121.1 \text{ dB} \end{aligned}$$

2.5.3. Планиране на покритието за слабо застроена градска среда

Планирането се извършва по начин, еквивалентен на този за предходните два типа среда, като се отчетат разликите в затихването внесено от сградите, запасът за фединга от засенчване и коефициентът, който участва при изчисляването на диаметъра на клетката.

Изчисленията ще бъдат направени за случая, когато планираме покритие в сградите, като по този начин гарантираме покритие и извън тях.

Максимално допустимите загуби в права посока могат да се изчислят с помощта на:

$$\begin{aligned} Lp_{DL} &= Pout_{BTS} - Ldupl_{BTS} - Lf_{BTS} + Ga_{BTS} - MS_{sens} - RF_{marg} - IF_{marg} - BL - LNF_{marg(o+i)} - BPL_{mean} = \\ &= 45 - 3.5 - 3 + 17 - (-104) - 3 - 2 - 5 - 6.8 - 15 = 127.7 \\ Lp_{DL} &= 127.7 \text{ dB} \end{aligned}$$

Максимално допустимите загуби в обратна посока могат да се изчислят с помощта на:

$$\begin{aligned} Lp_{UL} &= Pout_{MS} - RF_{marg} - IF_{marg} - BL - LNF_{marg(o+i)} - BPL_{mean} + Gd_{BTS} + Ga_{BTS} - Lf_{BTS} - Ldupl_{BTS} - BTS_{sens} = \\ &= 33 - 3 - 2 - 5 - 6.8 - 15 + 3.5 + 17 - 3 - 3.5 - (-111) = 126.2 \\ Lp_{UL} &= 126.2 \text{ dB} \end{aligned}$$

За следващите изчисления избираме по-малката от двете стойности т.е. $Lp = 126.2 \text{ dB}$, и продължаваме с изчисляването на диаметъра на клетката. За определяне на параметъра α използваме:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{Lp_{max} - 69.55 - 26.16 \lg f + 13.82 \lg h_B + a(h_M) + C}{44.9 - 6.55 \lg h_B} = \\ &= \frac{126.2 - 69.55 - 26.16 \lg 900 + 13.82 \lg 30 + 0.016 + 8}{44.9 - 6.55 \lg 30} = 0.25 \end{aligned}$$

За диаметъра на клетката получаваме:

$$R = 10^\alpha = 10^{0.25} = 1.78 \text{ km}$$

Площта, която покрива една базова станция с три клетки може да се намери от:

$$Area = \frac{9}{8} \sqrt{3} R^2 = \frac{9}{8} \sqrt{3} (1.78)^2 = 6.2 \text{ km}^2$$

Площта, чиито терен отговаря на характеристиките за слабо застроена градска среда е 80 km² (площта на терена отново е определена с помощта на програмата *Mapinfo*, в която е въведена цифрова карта на града). Необходимият брой базови станции лесно може да се намери от:

$$N_{BTS\ sub} = \frac{Area_{terr}}{Area_{BTS}} = \frac{80}{6.2} \approx 13\text{ BTS}$$

Общият брой базови станции N_{BTS} , необходими за покриването на цялото населено място можем да намерим по следния начин:

$$N_{BTS} = N_{BTS\ dense} + N_{BTS\ urban} + N_{BTS\ sub} = 30 + 100 + 13 = 143\text{ BTS}$$

2.5.4. Планиране на капацитета за въздушния интерфейс

Входните данни, на базата на които ще бъдат направени изчисленията са представени в табличен вид. Информацията в табл. 2.17 се отнася за една клетка, а не за целия сайт. В нея е показан броят на заделените служебни канали, броят на каналите, резервирани за пренос на данни и свободните канали, които могат да се използват за гласови услуги. Показан е също и трафикът, който може да се обслужва от тези свободни канали при вероятност за блокировка 2 %:

$$A_{BTS\ dense} = 3.29,2 = 87,6\text{ Erl}$$

$$A_{BTS\ urban} = 3.17,5 = 52,5\text{ Erl}$$

$$A_{BTS\ sub} = 3.10,7 = 32,1\text{ Erl}$$

Таблица 2.17. Данни за клетките при различна среда на разпространение на сигналите

Среда	Брой TRX	Брой ВССН канали	Брой SDCCH канали	Брой канали за данни	Свободни канали	Трафик Erl
Гъсто застроена	6	1	3	6	38	29.2
Средно застроена	4	1	2	4	25	17.5
Слабо застроена	3	1	2	4	17	10.7

Ако примерно броят на абонатите е N_{subs} (400 000 абоната), за които се изисква капацитет, както и средният трафик на един абонат A_{subs} (25 mErl). От тези данни можем да изчислим общия трафик A_{total} , за който трябва да осигурим ресурси.

$$A_{total} = N_{subs} \cdot A_{subs} = 400000 \cdot 0,025 = 10000\text{ Erl}$$

Гъстотата на населението не е еднаква по територията на населеното място, което обуславя и различие в трафика, обслужван от базовите станции.

В табл. 2.18 е представена информация за дялът от трафика, който се пада на всяка от трите дефинирани типа среда.

Таблица 2.18. Дялово разделение на трафика

Общ трафик $A_{total} = 10000\text{ Erl}$		
	Дял [%]	Дял [Erl]
Гъсто застроена	40	4000
Средно застроена	50	5000
Слабо застроена	10	1000

т.е. $A_{dense} = 4000$ Erl, $A_{urban} = 5000$ Erl и $A_{sub} = 1000$ Erl

Можем да определим броя на необходимите базови станции за всеки тип среда:

$$- n_{BTS_{dense}} = \frac{A_{dense}}{A_{BTS_{dense}}} = \frac{4000}{3.29,2} \approx 46 \text{ BTS} \quad \text{гъсто застроена градска среда}$$

$$- n_{BTS_{urban}} = \frac{A_{urban}}{A_{BTS_{urban}}} = \frac{5000}{3.17,5} \approx 95 \text{ BTS} \quad \text{средно застроена градска среда}$$

$$- n_{BTS_{sub}} = \frac{A_{sub}}{A_{BTS_{sub}}} = \frac{1000}{3.10,5} \approx 32 \text{ BTS} \quad \text{слабо застроена градска среда}$$

Общият брой на необходимите базови станции n_{BTS} можем да намерим с помощта на:

$$n_{BTS} = n_{BTS_{dense}} + n_{BTS_{urban}} + n_{BTS_{sub}} = 46 + 95 + 32 = 173 \text{ BTS}$$

Тъй като $n_{BTS} > N_{BTS}$ това ще бъде и финалната бройка базови станции за представения примерен град.

2.6. Изводи към втора глава

В тази глава е представена аналитична методология при проектиране и изчисляване на параметрите на широколентова мобилна мрежа. Разгледани са етапите при проектиране, видовете услуги, определяне на капацитета на мрежата, свързани с натоварването, определяне на радиопокритието и прилагане на методологията за примерно планиране на покритието в градски условия и определяне на оптимално ефективен брой базови станции. На базата на всичко това могат да се дефинират следните изводи:

1. При проектирането на широколентова мобилна мрежа е необходимо да се поставят изисквания, които да бъдат следвани с цел осигуряване качествени комуникации в даден район, независимо от ограниченията на околната среда, разпространението на радиовълните или смущенията в канала за връзка. Имайки предвид разнообразието от скорости и услуги в системата, е необходимо внимателно изчисляване и планиране на мрежата.

2. От съществено значение при определяне на покритието е пресмятането на теоретичния радиус на една клетка. За целта трябва да се имат предвид загубите от средата на разпространение, влиянието на многолъчевото разпространение на радиовълните, както и натоварването на клетката, тоест, колко абоната ще ползват дадена услуга или различни услуги едновременно.

3. Нарастването на броя потребители и широчината на използваната честотна лента води до увеличаване шума в канала за връзка, съответно до проблеми с качеството на услугите. Вижда се че предаване на информация с голяма скорост, е ограничена от броя потребители, едновременно предаващи информация, а също така и от скоростта, с която се движат абонатите.

4. При движение на мобилната станция и приближаването ѝ до границите на покритие на клетката е необходимо да се излъчва с по-голяма мощност, за да се осигури необходимото качество. Алгоритъмът за контрол на мощността има граници и при изразходване на ресурса за запас за регулиране на мощността се преминава към превключване на канала (хендовър). Излъчването с много голяма мощност води до намаляване чувствителността на системата, затова се въвежда параметърът запас за регулиране на мощността V_{PC} , чиято стойност е 0,7 при скорост на движение на абоната от 3km/h и 0 при скорост на движение на абоната от 50km/h.

5. При планиране на радиопокритието, балансът на мощностите се прави поотделно за двете посоки на предаване. В него се отразяват загубите при разпространение на сигнала и съответно запасите за тяхното компенсиране. При аналитичното планиране се използват някои параметри, които са специфични за производителя на оборудването. Тъй като

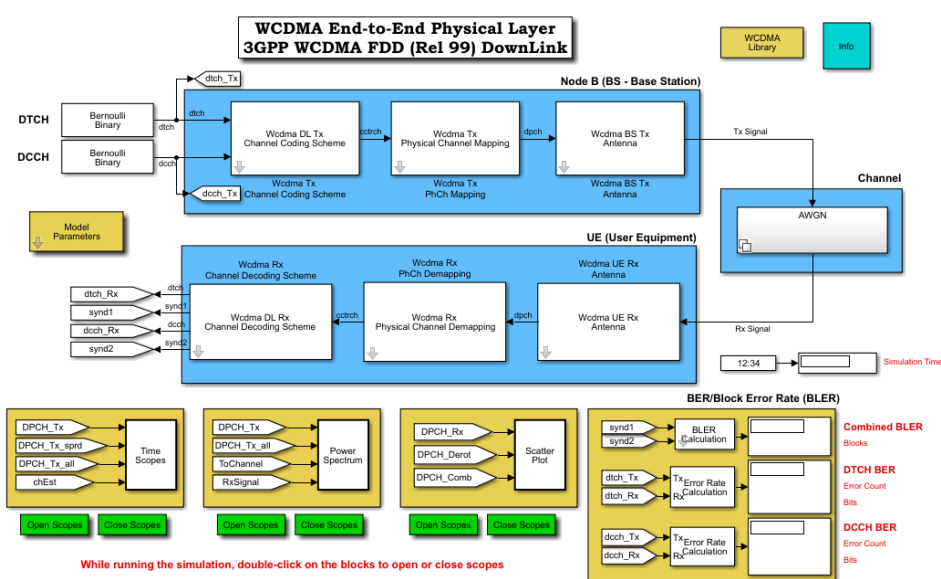
балансът на мощностите до голяма степен зависи от типа на района, за който се прави планиране, добре е да се изготвя за трите отделни типа среда, които се срещат в проектираното населено място – гъсто застроена, средно застроена и слабо застроена градска среда.

б. Основните етапи от планирането на една широколентова мобилна мрежа, започват с оразмеряване, в което се отчита за какъв трафик и каква площ се прави проектирането, както и праговете стойности за покритие. Вторият етап включва детайлно планиране, при което се определя конфигурацията на клетките и техният брой. Последната част е наблюдението и оптимизацията на функциониращите базови станции и се прави едва когато мрежата вече съществува в реално време.

ГЛАВА III. СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА МОДЕЛ НА ШИРОКОЛЕНТОВА МОБИЛНА МРЕЖА В СРЕДА НА MATLAB (SIMULINK)

3.1. Синтезиране на симулационен модел WCDMA End-to-End Physical Layer

В тази част ще бъде представена симулацията на цялостният физически слой на WCDMA, (WCDMA End-to-End Physical Layer), ролята на моделите на честотния дивизионен дуплекс (FDD) и връзката за предаване в низходяща посока, който са определени от третата генерация системи за безжична комуникация, известни като широколентови (Widband) с множествен достъп с кодово деление (W-CDMA).



Фиг. 3.1. WCDMA End-to-End Physical Layer

3.2. Параметри за настройка на модела

Параметрите в моделът могат да се променят или разгледат, като се изберат отделните модули. Например блокът обозначен както "WCDMA: Initial Settings", показва диалоговият прозорец с блоковите параметри. Енергийните [DPCH, P-PCICH, PCICH, PCPCICH, SCH] параметри се представени в децибели и се състоят от поредица вектори, съдържащи мощностите в децибели съответствайки на различните физически канали.

3.3. Резултати от симулациите – осцилограми, спектрални характеристики и диаграми на съзвездията

Получените и показани по-долу резултати са при параметри на симулационния модел, показан в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Параметри на симулационния модел

№	Изследван случай	Параметри на канала за пренос
1	Static AWGN	SNR= от -9dB до 1dB; Number of enable fingers = 1; Relative delay of Rx signals = 0s; Average Powers of Rx signals = 0dB; Speed of Terminal = 0km/h
2	Multiple Profile - Case 2	SNR= от -9dB до 1dB; Number of enable fingers = 3; Relative delay of Rx signals = 0s, 976e-9s, 20000e-9s; Average Powers of Rx signals = 0dB, 0dB, 0dB; Speed of Terminal = 3km/h
3	Multiple Profile - Case 5	SNR= от -9dB до 1dB; Number of enable fingers = 2; Relative delay of Rx signals = 0s, 976e-9s; Average Powers of Rx signals = 0dB, 10dB; Speed of Terminal = 50km/h

Следващите блокове изчисляват разнообразни грешки в симулацията:

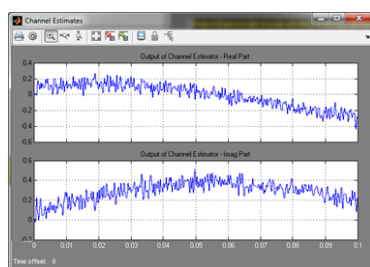
- Изчисление на BLER (коефициент на грешка на блок) показва коефициентът на грешка на комбинираните транспортни канали.
- Изчислението на BER (коефициент на грешка по бит) показва резултатите от изчисление на BER, които се свързват с всеки транспортен канал отделно.
- Следващите времеви осцилоскопи показват сигналът по разнообразни начини. За да се разглеждат осцилограмите, се кликва двойно на превключвателите когато симулацията е пусната.
- Времевите осцилоскопи показват потокът на битове преди равномерното преразпределение за изравняване на енергията, след като преразпределението и след комбиниране с различните физически канали. Те показват и реалния и имагинерния момент отделно. Те също показва двете реални и имагинерни части на изходът на каналът.

Представените по-долу резултати може да се разделят на две:

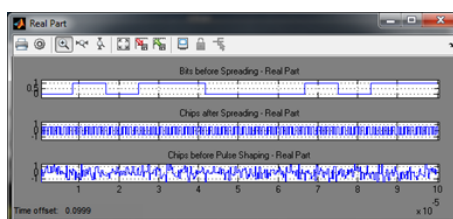
- резултати в най-лошия случай – при настройка на SNR = -9 dB;
- резултати в най-добрия случай – при настройка на SNR = 0 dB.

3.3.1. Резултати при SNR = -9 dB

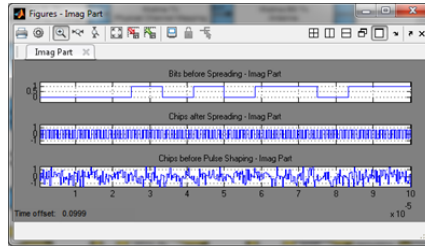
- Осцилограми на сигнала на изхода на каналния естиматор и на битовете след изравняването на енергията (реална и имагинерна част).



Фиг. 3.2 (а) Изходи от каналният естиматор – реална и имагинерна част

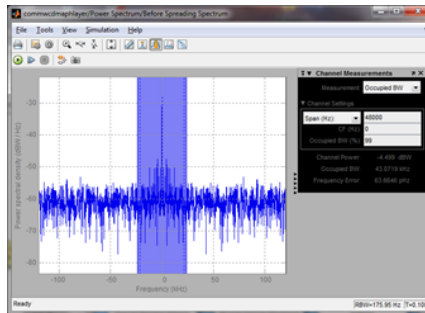


Фиг. 3.2 (б) Реална част – битовете преди изравняването на енергията, чиповете след изравняването на енергията, чиповете преди импулсното оформяне

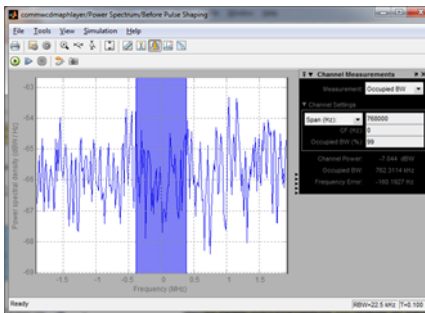


Фиг. 3.2 (в) *Имагинерна част - битовите преди изравняването на енергията, чиповите след изравняването на енергията, чиповите преди импулсното оформяне*

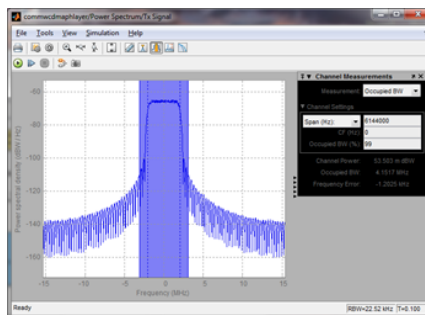
- Спектър на сигнала преди изравняването на енергията, след изравняването на енергията, след импулсното оформяне и при входът на антената на приемникът.



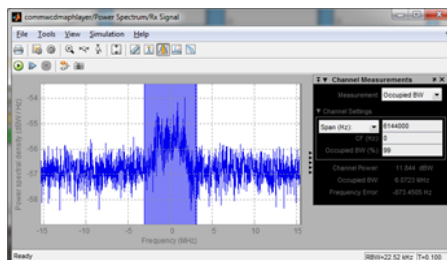
Фиг. 3.3 (а) *Спектър на сигнала преди разпространението*



Фиг. 3.3 (б) *Спектър на сигнала след разпространението*

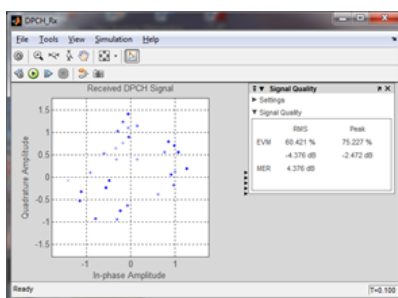


Фиг. 3.3 (в) *Спектър на сигнала след импулсното оформяне*

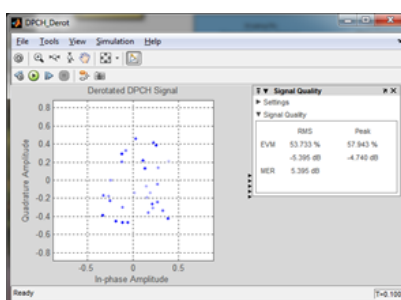


Фиг. 3.3 (г) *Спектър на сигнала на входа на приемната антена*

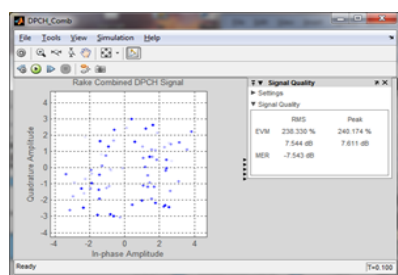
- Диаграма на съзвездието на сигнала показва състоянието на изходната информация, след деротация на фазата и амплитудната корелция.



Фиг. 3.4 (а) Диаграма на съзвездието на сигнала на изхода на информационния корелатор



Фиг. 3.4 (б) Диаграма на съзвездието на сигналът на изхода след фазовата деротация



Фиг. 3.4 (в) Диаграма на съзвездието на сигналът на изхода след амплитудната корекция

3.3.2. Резултати при SNR = 0 dB

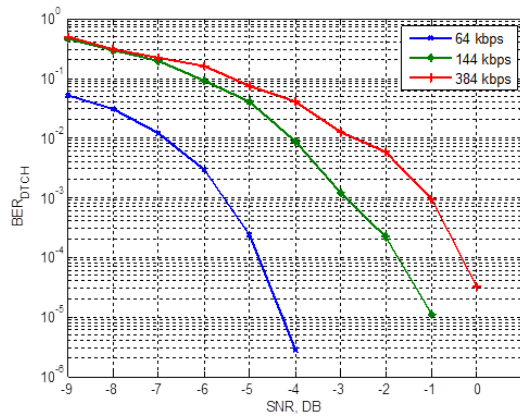
(резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

3.4. Резултати от симулациите – графични зависимости

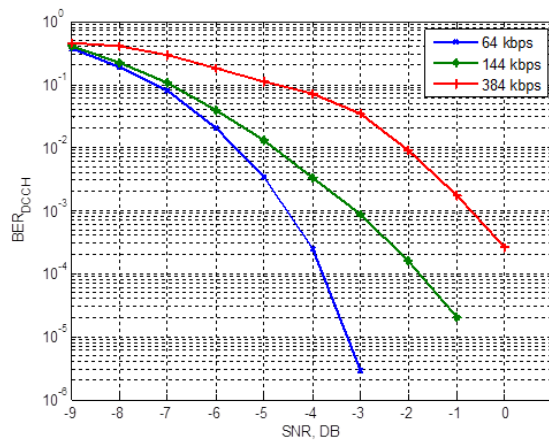
Тези измервания са базирани на изменение на основните параметри в симулацията като съотношението сигнал шум и скоростите на предаване, но както е описано по-горе в текста могат да се променят и други параметри характерни за предавателната и приемната страна както и каналните параметри. Получените резултати са представени в три различни случая:

- 1) Static AWGN – прима се в канала за пренос да въздейства само адитивния бял гаусов шум, т.е. идеален канал за пренос;
- 2) Multipath Profile - Case 2 – приема се, че в канала за пренос въздейства адитивен бял гаусов шум, има наличие на един сигнал в пряката видимост и един отразен сигнал, затихнал по амплитуда и с времезакъснение, а мобилната станция се движи със скоростта на пешеходец – 3km/h
- 3) Multipath Profile - Case 5 – приема се, че в канала за пренос въздейства адитивен бял гаусов шум, има наличие на един сигнал в пряката видимост и един отразен сигнал, затихнал по амплитуда и с с времезакъснение, а мобилната станция се движи със скоростта на автомобил в населено място – 50 km/h.

- **Първи случай: Static AWGN**

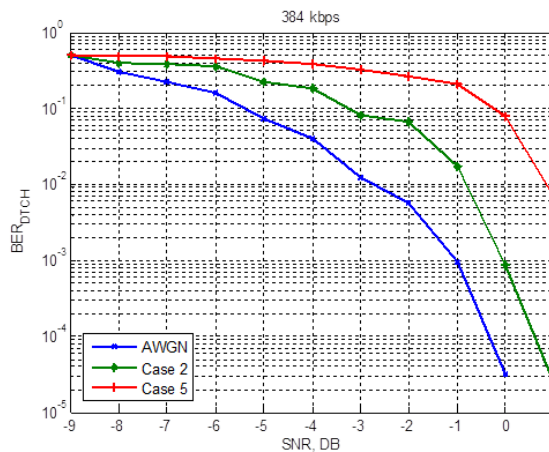


Фиг. 3.8. Логаритмична зависимост при скорост на канала 64kbps, 144kbps и 384kbps в случай AWGN

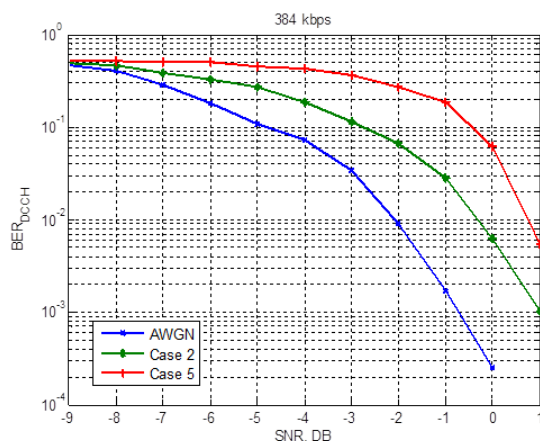


Фиг. 3.9. Логаритмична зависимост при скорост на канала 64kbps, 144kbps и 384kbps в случай AWGN

- **Втори случай: Multipath Profile - Case 2**
 - **Трети случай: Multipath Profile - Case 5**
- (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)
- **Сравнителен анализ:**



Фиг. 3.18. Логаритмична зависимост при скорост на канала 384kbps за трите случая



Фиг. 3.19. Логаритмична зависимост при скорост на канала 384kbps за трите случая

3.5. Анализ и изводи към трета глава

Симуляционното изследване на модели на мобилни клетъчни мрежи е актуална задача. Независимо от съществуващите стандарти в тази област, има редица фактори, които влияят върху качеството на сигнала, което налага вземането на специфични за дадената мобилна мрежа решения, свързани с нейната оптимизация и подобряване на качеството на обслужване.

В тази глава обстойно е представен симуляционен модел на WCDMA стандарт за широколентови мобилни клетъчни мрежи. Този модел е използван за изследване на качеството на предавания сигнал в различни случаи: при наличие само на адитивен бял гаусов шум в канала за пренос (т.е. идеален канал за пренос), при подвижна мобилна станция със скорост на пешеходец и при подвижна мобилна станция със скорост на автомобил в градска среда. Последните два случая отразяват влиянието на многолъчевото разпространение на сигналите и моделират реалната градска обстановка. Получени са множество резултати при различни нива на съотношението SNR, при различни скорости на канала и за два различни канала – трафичен канал и канал за контрол.

За реализацията на тази задача е представена симулацията на цялостният физически слой на WCDMA, (WCDMA End-to-End Physical Layer), ролята на моделите на честотния дивизионен дуплекс (FDD) и връзката за предаване в низходяща посока, които са определени от третата генерация системи за безжична комуникация, известни като широколентови (Widband) с множествен достъп с кодово деление (W-CDMA).

Основните настройки се извършват на каналът WCDMA TX Channel Coding Scheme (кодираща подсистема), подсистема за свързване WCDMA Tx PhCh Mapping и неговите съответни подсистеми в приемната страна. Получените резултати от симулациите – осцилограми, спектрални характеристики и диаграми на съзвездията, са базирани на изменение на основните параметри в симулацията като съотношението сигнал шум и скоростите на предаване, но могат да се променят и други параметри характерни за предавателната и приемната страна както и каналните параметри. Получените резултати са представени в три различни случая:

- 1) Static AWGN – приема се в канала за пренос да въздейства само адитивния бял гаусов шум, т.е. идеален канал за пренос;
- 2) Multipath Profile - Case 2 – приема се, че в канала за пренос въздейства адитивен бял гаусов шум, има наличие на един сигнал в пряката видимост и един отразен сигнал, затихнал по амплитуда и с времезакъснение, а мобилната станция се движи със скоростта на пешеходец – 3km/h;
- 3) Multipath Profile - Case 5 – приема се, че в канала за пренос въздейства адитивен бял гаусов шум, има наличие на един сигнал в пряката видимост и един отразен сигнал, затихнал по амплитуда и с времезакъснение, а мобилната станция се движи със скоростта на автомобил в населено място – 50 km/h.

В заключение може да се каже, че от експерименталните резултати могат да се направят следните изводи:

1. Ясно се вижда как BLER, BER и броят на битовите грешки драстично намаляват с увеличаване на съотношението сигнал/шум.

2. С увеличаване на скоростта на канала вероятността за получаване на грешка нараства и стойността на BER се влошава.

3. Движението на мобилната станция поражда по-тежки условия за приемане в средата на многолъчевото разпространение на сигналите. В резултат при по-високи скорости, способността за надеждно приемане се влошава, приемникът трудно може да вземе решение и стойността на BER се влошава значително дори и при по-голяма стойност на отношението SNR.

ГЛАВА IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ШИРОКОЛЕНТОВА МОБИЛНА МРЕЖА И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА УСЛУГИТЕ

4.1. Прилагане на софтуерни инструменти за тестване на радиопокритието през мобилен терминал

Подходящ начин да се извърши независим и постоянен мониторинг на качеството на покритие и на услугите в мобилните клетъчни мрежи, е с помощта на независимо разработени мобилни приложения за различни платформи мобилни устройства, които дават възможност на самите потребители да бъдат част от този процес. При наличието на много такива приложения, както и мобилни устройства, резултатите от този мониторинг позволяват оценка на ефективността и на самите устройства, а също и проверка на резултатите от планирането, проектирането и изграждането на мрежата с реални такива от експлоатацията на мрежата от отделните потребители. Чрез наличната обратна връзка в тези приложения цялата събрана от тях информация често се изпраща в централизиран сървър-колектор на данни, където чрез база от данни и допълнителна географска информация се събира подробна независима информация за всеки един мобилен оператор във всяко едно населено място или географска област, като често пъти този обем обхваща почти цялото земно кълбо.

В нашия случай, ще използваме Android базирани приложения за мониторинг на мобилно клетъчно покритие, тъй като към момента това е една от най-разпространените софтуерни платформи за мобилни устройства. Тя е с отворен код и дава възможност на много разработчици да предложат разнообразие от приложения с различна функционалност.

4.1.1. Преглед на Android-базирани приложения за мониторинг на мобилно клетъчно покритие

След извършен анализ на всяко едно от тях, имайки предвид предимствата и недостатъците им и възможността за извеждане на различни резултати, за целите на дисертационния труд се избира да се използва приложението Network Cell Info.

Описание на приложението Network Cell Info

Network Cell Info е инструмент за измервания и диагностика на 5G, 4G +, LTE, CDMA, WCDMA, GSM. Информацията за мрежовата клетка може да помогне за отстраняване на проблеми със свързаността, като същевременно ви информира за радиочестотната ситуация на клетъчния носител. Приложението също включва инструмент за тестване на скоростта и ефективността на мобилен интернет и резултати от теста за изтегляне, качване и ping.

4.1.2. Схема на опитната постановка

На фиг. 4.1. е представена схемата на опитната постановка, използвана при осъществяването на мониторинга на мобилна клетъчна мрежа.



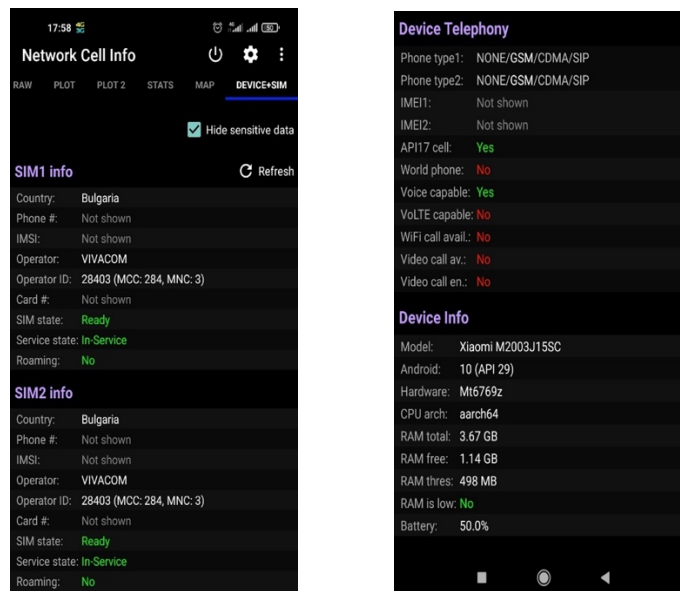
Фиг. 4.1. Схема на опитната постановка за мониторинг

В комбинация с параметрите на сигнала от текущата клетка, мобилното устройство приема сигнали и от съседни клетки, което позволява да се събере информация и за параметрите на сигналите като цяло. Извеждат се като резултати различни карти на покритие, отчитат се параметри като SNR, ниво на сигнала, оценка на различните трафични и логически канали, както и информация за съседните клетки и извършването на хендоувър. В процеса на изследване и измерване на параметрите на радиопокритието е възможно да се избира типа мрежа – 2G, 3G, 4G/LTE, 5G или комбиниран.

4.1.3. Избор на маршрут в примерна градска среда и конфигурация на използваното устройство

Изборът на маршрут за провеждането на мониторинга на мобилната клетъчна мрежа е съобразен с географските особености на примерен град с население около 100 хиляди жители. Предвид разположението на града и стареайки се да бъдат обхванати както булеварди така и по-малки улички за целите на практическите измервания бяха избрани два маршрута.

Получените резултати от изследването на мобилната мрежа на Виваком ще бъдат представени в 3 варианта за 3-те различни режима на работа на мобилния терминал: 2G - GSM only, 3G - UMTS, 4G – LTE.



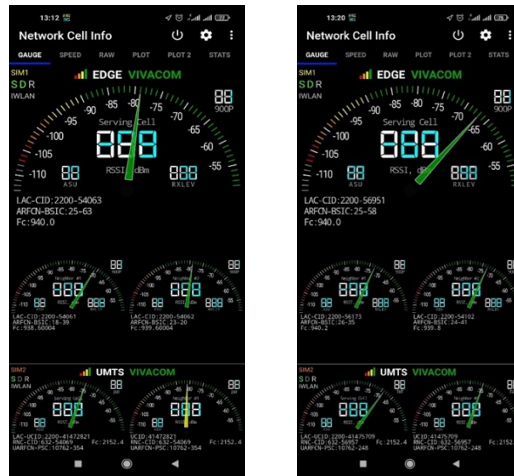
Фиг.4.5. Информация за настройки и конфигуриране на смартфона, с който ще се осъществяват практическите измервания

4.2. Експериментални изследвания на параметрите на мобилен оператор в градска среда

4.2.1. Изследване на 2G - GSM only покритие

Маршрут 1

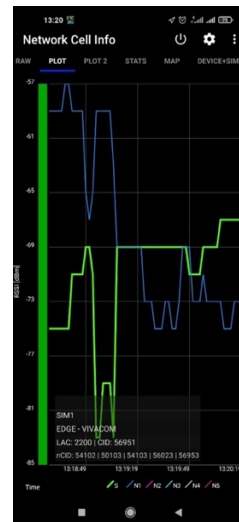
Резултатите от направените измервания като работни екрани с отчетени резултати са показани на фиг.4.6 - фиг. 4.12.



Фиг.4.6. Сила на сигнала, информация за обслужващата клетка, за съседните клетки и втората SIM карта



Фиг. 4.9. Подробна информация за безжичната връзка



Фиг.4.10. Сила на сигнала S, съседни клетки N 1, 2, 3, 4, 5



Фиг. 4.11. Изобразява качеството на сигнала във времето



Фиг. 4.12. Тест за скоростта на връзката

От проведеното изследване в режим 2G - GSM only може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

- 1) Нивото на сигнала за обходения маршрут в по-голямата му част е високо: -75dB . Само в два участъка се забелязва влошаване на нивото и спадове до $-79\text{dB}/-91\text{dB}$, които се дължат на гъсто застроена площ (което поражда значително множество отражения).
- 2) Качеството на сигнала може да се оцени като добро – отразено е с RXLEV на приложението.
- 3) При обхождането на маршрута са засечени 7 клетки като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие. Отражено е и времето на обслужване във всяка една от тях.

Маршрут 2 (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

4.2.2. Изследване на 3G - UMTS покритие

Маршрут 1

Резултатите от направените измервания са показани на фиг.4.21 - фиг.4.28.



Фиг.4.21. Сила на сигнала, информация за обслужващата клетка, за съседните клетки и втората SIM карта

Маршрут 2 (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

4.2.3. Изследване на 4G - LTE покритие

Маршрут 1

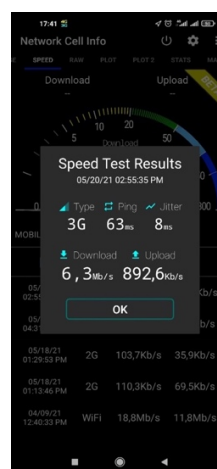
Резултатите от направените измервания са показани на фиг.4.37 - фиг. 4.44.



Фиг.4.37. Сила на сигнала, информация за обслужващата клетка, за съседните клетки и втората SIM карта



Фиг.4.26. Изобразява качеството на сигнала във времето



Фиг.4.27. Тест за скоростта на връзката



Фиг.4.42. Изобразява качеството на сигнала във времето

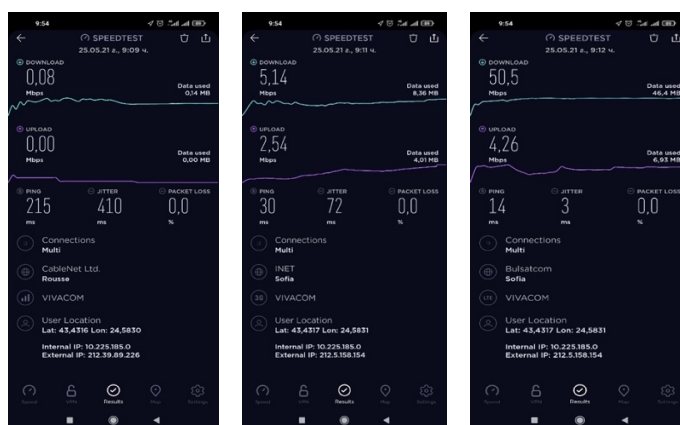


Фиг.4.43. Тест за скоростта на връзката

Маршрут 2 (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

4.3. Измерване на пропускателната способност в мрежата на Виваком

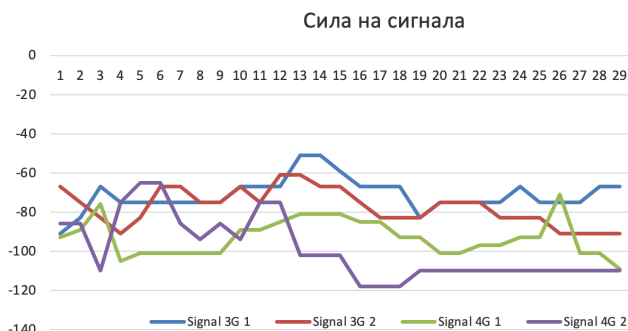
При измерване пропускателната способност на мрежата на оператора се отчитат скоростите на сваляне (Download) и на качване (Upload) при предаване на данни за 3-те режима на работа на мобилното устройство. Резултатите ще бъдат представени за шест различни точки - по три за всеки маршрут, като са изследвани началните и крайните участъци на маршрута, и средните участъци, които са по-близо до централната част на града. Измерванията са за 3-те различни режима на работа на мобилното устройство: 2G - GSM only, 3G - UMTS, 4G - LTE. Резултатите от направените измервания за маршрут 1 са показани на фиг.4.53 - фиг.4.55.



Фиг.4.53. Определяне на пропускателната способност на мрежата за маршрут 1в краен квартал за 2G – GSM, 3G – UMTS и 4G – LTE

От направените изследвания за пропускателната способност на мрежата при трафик на данни през мобилния интернет достъп, може да се обобщят следните заключения:

- 1) Ясно се вижда предимството на високоскоростния 4G достъп в сравнение с бавния 2G – разликата в пропускателната способност в права посока (даунлоуд) средно е над 400 пъти в полза на 4G, а в обратна посока (ъплоуд) – над 500 пъти.
- 2) При сравнение в пропускателните способности между 3G и 4G стойностите са следните: в права посока разликата е над 7 пъти в полза на 4G, а в обратна посока – над 11 пъти.
- 3) Забелязва се по-добра пропускателна способност отчетена в централната градска част и западната част на града в сравнение с отчетената в южната и източната част. При режим 2G скоростта е почти еднаква във всички измерени участъци, а в режим 4G варира.
- 4) Ясно изразена е асиметричността на услуга мобилен интернет – съотношението ъплоуд/даунлоуд е 1/1 при 2G режим, 1/3 при 3G режим и 1/2 при 4G режим.



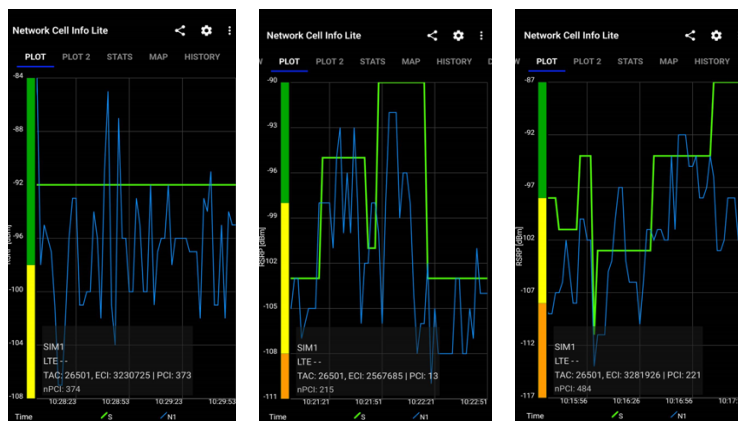
Фиг.4.59. Диаграма за силата на сигнала в режим 3G и 4G за двата маршрута

4.4. Изследване на 4G мобилното покритие на оператора А1

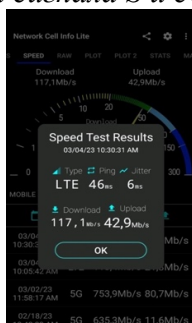
Маршрут 1 Резултатите от направените измервания са показани на фиг.4.61 - фиг. 4.67.



Фиг.4.61. Сила на сигнала, информация за обслужващата клетка, за съседните клетки и втората SIM карта



Фиг.4.65. Сила на сигнала S и съседна клетка N 1



Фиг.4.67. Тест за скоростта на връзката

От направеното изследване в режим 4G – LTE може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

- 1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-92\text{dB}/-103\text{dB}$, като най-ниските стойности се наблюдават в началото на маршрута.
- 2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -15dB изобразено с опцията RSRQ на приложението, а най-добрия показател е -14dB .
- 3) Съотношението SNR варира в големи граници – $0\text{dB}/13\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.
- 4) В 100% от времето е имало 4G сигнал.
- 5) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

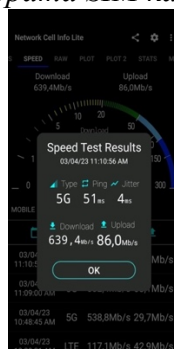
Маршрут 2 (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

4.5. Изследване на 5G мобилното покритие на А1

Маршрут 1 Резултатите от направените измервания са показани на фиг. 4.76 - фиг. 4.83.



Фиг.4.76. Сила на сигнала, информация за обслужващата клетка, за съседните клетки и втората SIM карта



Фиг.4.82. Тест за скоростта на връзката

От направеното изследване в режим 5G може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

- 1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-77\text{dB}/-99\text{dB}$, като най-ниските стойности са в централната част на града.
- 2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -12dB , а най-висока стойност е отчетена -10dB .
- 3) Съотношението SNR варира в големи граници – $-2\text{dB}/14\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.
- 4) В 97,8% от времето е отчетен 5G сигнал, а в 2,2% 4G сигнал.
- 5) При обхождането на маршрута са засечни 10 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

б) От раздел GAUGE на приложението се вижда, че полученият сигнал е 5G(NSA-Non-Standalone), което означава, че се използват базовите станции и оборудване на 4G технологията.

Маршрут 2 (резултатите са аналогични на предходните и са представени в дисертацията)

4.6. Измерване на пропускателната способност в мрежата на А1

При измерване пропускателната способност на мрежата на оператора се отчитат скоростите на сваляне (Download) и на качване (Upload) при предаване на данни за 2-та режима на работа на мобилното устройство. Резултатите ще бъдат представени за шест различни точки - по три за всеки маршрут, като са изследвани началните и крайните участъци на маршрута, и средните участъци, които са по-близо до централната част на града. Измерванията са за 2-та различни режима на работа на мобилното устройство: 4G – LTE и 5G – NSA.

От направените изследвания за пропускателната способност на мрежата при трафик на данни през мобилния интернет достъп, може да се обобщят следните заключения:

- 1) Ясно се вижда предимството на високоскоростния 5G достъп в сравнение с 4G – разликата в пропускателната способност в права посока (даунлоуд) средно е над 4 пъти в полза на 5G, а в обратна посока (ъплоуд) – над 3 пъти.
- 2) Наблюдава се увеличаване на пропускателната способност при 4G, след преоборудване на базовите станции за 5G достъп.
- 3) Забелязва се по-добра пропускателна способност отчетена в централната градска част и западната част на града в сравнение с отчетената в южната и източната част.
- 4) Ясно изразена е асиметричността на услуга мобилен интернет – съотношението ъплоуд/даунлоуд е 1/7 при 4G режим и 1/10 при 5G режим.

4.7. Анализ и изводи към четвърта глава

В тази глава е извършено експериментално изследване на параметрите на широколентова мобилна мрежа и възможности за подобряване на качеството на услугите, чрез използване на софтуерни инструменти за тестване на радиопокритието през мобилен терминал. За целта е използвано приложението Network Cell Info, инсталирано на мобилен телефон и са изследвани параметрите на мрежите на 2 примерни мобилни оператора в градска среда по 2 зададени маршрута. Направени са конфигурации и настройка на оборудването и са измерени параметрите на радиопокритието за следните технологии мобилни мрежи – 2G, 3G, 4G/LTE и 5G. След проведените експерименти се констатира следните по-важни изводи:

1. От проведеното изследване в режим 2G - GSM only може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут в по-голямата му част е високо: -75dB. Само в два участъка се забелязва влошаване на нивото и спадове до -79dB/-91dB, които се дължат на гъсто застроената площ (което поражда значително множество отражения).

2) Качеството на сигнала може да се оцени като добро – отразено е с RXLEV на приложението.

3) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие. Отражено е и времето на обслужване във всяка една от тях.

2. От проведеното изследване в режим 2G - GSM only може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 2:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут в по-голямата му част е добро: -83dB. Само в два участъка се забелязва подобряване на нивото до -69dB/-75dB.

2) Качеството на сигнала може да се оцени като добро.

3) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие. Отражено е и времето на обслужване във всяка една от тях.

3. От направеното изследване в режим 3G – UMTS може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут в по-голямата му част е добро: $-70\text{dB}/-80\text{dB}$. Само в няколко участъка се забелязва влошаване на нивото и спадове до $-87\text{dB}/-95\text{dB}$, по причини вече споменати и при анализа на 2G.

2) Качеството на сигнала може да се оцени като средно към добро, което е изобразено с опцията ASU на приложението.

3) Има добро покритие на съседни клетки.

4) При обхождането на маршрута са засечни 12 клетки. Основното пребиваване на мобилното устройство е било в 4 от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

4. От направеното изследване в режим 3G – UMTS може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 2:

1) Нивото на сигнала в началото и края на обходения маршрут е задоволително: -85dB , като в някои участъци е слабо: -107dB . В по-голямата му част, която е по – близо до централната част на града е добро: $-67\text{dB}/-80\text{dB}$.

2) Качеството на сигнала може да се оцени като добро.

3) При обхождането на маршрута са засечни 6 клетки. Основното пребиваване на мобилното устройство е било в 4 от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

5. От направеното изследване в режим 4G – LTE може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-70\text{dB}/-100\text{dB}$, като най-ниските стойности се наблюдават по целия участък.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -12dB изобразено с опцията RSRQ на приложението, а най-добрия показател е -3dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $1\text{dB}/11\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 98,2% от времето е имало 4G сигнал, а в останалото UMTS.

5) При обхождането на маршрута са засечни 15 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

6. От направеното изследване в режим 4G – LTE може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 2:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-70\text{dB}/-117\text{dB}$, като най-ниските стойности са в крайните части, които са отдалечени от централната част на града.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -12dB , а най-висока стойност е отчетена -3dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $3\text{dB}/27\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 98,1% от времето е отчетен 4G сигнал, в 0,2% - 3.5G сигнал и в 1,6% - 3G сигнал.

5) При обхождането на маршрута са засечни 9 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

7. От направените изследвания за пропускателната способност на мрежата при трафик на данни през мобилния интернет достъп, може да се обобщят следните заключения:

1) Ясно се вижда предимството на високоскоростния 4G достъп в сравнение с бавния 2G – разликата в пропускателната способност в права посока (даунлоуд) средно е над 400 пъти в полза на 4G, а в обратна посока (ъплоуд) – над 500 пъти.

2) При сравнение в пропускателните способности между 3G и 4G стойностите са следните: в права посока разликата е над 7 пъти в полза на 4G, а в обратна посока – над 11 пъти.

3) Забелязва се по-добра пропускателна способност отчетена в централната градска част и западната част на града в сравнение с отчетената в южната и източната част. При режим 2G скоростта е почти еднаква във всички измерени участъци, а в режим 4G варира.

4) Ясно изразена е асиметричността на услуга мобилен интернет – съотношението ъплоуд/даунлоуд е 1/1 при 2G режим, 1/3 при 3G режим и 1/2 при 4G режим.

8. От направеното изследване в режим 4G – LTE на мобилния оператор A1, може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-92\text{dB}/-103\text{dB}$, като най-ниските стойности се наблюдават в началото на маршрута.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -15dB изобразено с опцията RSRQ на приложението, а най-добрия показател е -14dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $0\text{dB}/13\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 100% от времето е имало 4G сигнал.

5) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

9. От направеното изследване в режим 4G – LTE на мобилния оператор A1, може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 2:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-90\text{dB}/-101\text{dB}$, като по-ниските стойности са в централната и западната част на града.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -14dB , а най-висока стойност е отчетена -11dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $-6\text{dB}/5\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 100% от времето е отчетен 4G сигнал.

5) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

10. От направеното изследване в режим 5G може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 1:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-77\text{dB}/-99\text{dB}$, като най-ниските стойности са в централната част на града.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -12dB , а най-висока стойност е отчетена -10dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $-2\text{dB}/14\text{dB}$, което не е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 97,8% от времето е отчетен 5G сигнал, а в 2,2% 4G сигнал.

5) При обхождането на маршрута са засечни 10 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

6) От раздел GAUGE на приложението се вижда, че полученият сигнал е 5G(NSA-Non-Standalone), което означава, че се използват базовите станции и оборудване на 4G технологията.

11. От направеното изследване в режим 5G може да се направят следните по-важни изводи за маршрут 2:

1) Нивото на сигнала за обходения маршрут варира значително в границите: $-88\text{dB}/-102\text{dB}$, като най-ниските стойности са в южната и централната част на града.

2) Качеството на сигнала варира, като среден показател е със стойност -16dB , а най-висока стойност е отчетена -14dB .

3) Съотношението SNR варира в големи граници – $5\text{dB}/4\text{dB}$, което е предпоставка за добро качество на сигнала.

4) В 94,8% от времето е отчетен 5G сигнал, а в 5,2% - 4G.

5) При обхождането на маршрута са засечни 7 клетки. Отражено е времето на пребиваване на мобилното устройство във всяка от тях като е отчетен равномерен и плавен хендоувър между тях без да се наблюдават значителни спадове в нивото на сигнала и липса на покритие.

6) От раздел GAUGE на приложението се вижда, че полученият сигнал е 5G(NSA-Non-Standalone), което означава, че се използват базовите станции и оборудване на 4G технологията.

12. От направените изследвания за пропускателната способност на мрежата при трафик на данни през мобилния интернет достъп, може да се обобщят следните заключения:

1) Ясно се вижда предимството на високоскоростния 5G достъп в сравнение с 4G – разликата в пропускателната способност в права посока (даунлоуд) средно е над 4 пъти в полза на 5G, а в обратна посока (ъплоуд) – над 3 пъти.

2) Наблюдава се увеличаване на пропускателната способност при 4G, след преоборудване на базовите станции за 5G достъп.

3) Забелязва се по-добра пропускателна способност отчетена в централната градска част и западната част на града в сравнение с отчетената в южната и източната част.

4) Ясно изразена е асиметричността на услуга мобилен интернет – съотношението ъплоуд/даунлоуд е 1/7 при 4G режим и 1/10 при 5G режим.

ГЛАВА V. ПРАКТИЧЕСКИ ИЗМЕРВАНИЯ НА ПОКРИТИЕТО И ИЗЛЪЧВАНЕТО НА МОБИЛНИТЕ ОПЕРАТОРИ В РЕПУБЛИКА С. МАКЕДОНИЈА СВЪРЗАНИ С КАЧЕСТВОТО НА УСЛУГИТЕ

5.1. Качество на предоставяните обществени електронни съобщителни услуги чрез обществени електронни съобщителни мрежи за населеното място и обществени пътища

Регулаторният орган за телекомуникации в Македонија е задължен да измерва параметрите за качество на услугите, предоставяни от мобилните оператори. Получените резултати се сравняват със задължителните стойности. Ако някой от задължителните QoS параметри не отговаря на критериите, тогава мобилният оператор е длъжен да предприеме мерки за подобряването му в определен период от време, за да гарантира качество в съответствие с политиката на Агенцията за електронни съобщения (АЕС) като Регулаторен орган.

Измерванията бяха фокусирани върху 3 (три) проблема:

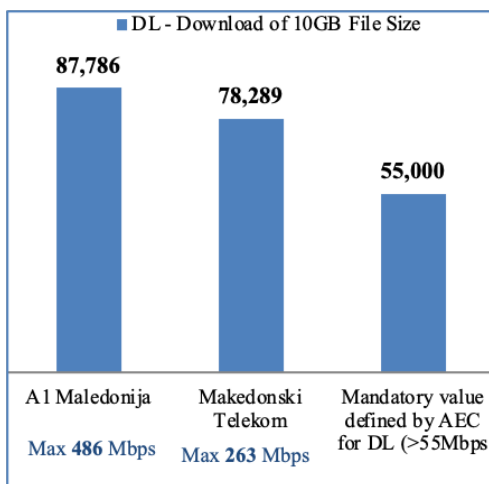
- Градове/пътища и получени различни параметри за град/пътна зона;
- Услуги за глас и данни и дефинирани параметри за всяка услуга;
- Оценка на параметрите свързани с качеството на услугите.

В заключение може да се каже че, за гласови услуги мобилният оператор А1 Македонија покрива изискванията за качеството, определено от АЕС. Мобилният оператор Македонски Телеком също предоставя гласовата услуга според качеството, определено от АЕС, с изключение на параметъра процент на неуспешни разговори. Поради това мобилният оператор Македонски Телеком ще бъде задължен да подобри този параметър според

задължителната стойност, за да бъде в пълно съответствие с дефинираното качество на услугата.

Следващият параметър свързан с качество на услугите (QoS) е скоростта на пренос на данни през радиокомуникационна мрежа, независимо от технологиите в градовете (GPRS, EDGE, UMTS и LTE).

Изчислява се чрез изтегляне на 10 GB размер на файла чрез HTTP протокол. Задължителната стойност в градовете е 55 Mbps, определена от АЕС като регулаторен орган. На Фиг. 5.7, в долната част на лентите, е показана максималната скорост на данните, измерена по време на анализите и измерванията. Стойността за мобилния оператор А1 Македония е 87,8 Mbps, а стойността за оператора Македонски Телеком е 78,3 Mbps. И така, и двата мобилни оператора предоставиха много добра скорост на пренос на данни чрез радиокомуникационна мрежа.



Фиг. 5.7. Скорост на пренос на данни през радиокомуникационна мрежа в градска среда в Mbps

Следващият параметър QoS е скоростта на трансфер на данни през радиокомуникационната мрежа, независимо от технологиите по пътищата (GPRS, EDGE, UMTS и LTE).

5.2. Примерни експериментални измервания и констатиране на проблемни зони с модул за тестово оборудване в мрежата на мобилни оператори

5.2.1. Основни цели при измерването на радио интерфейса

Измерването на радио интерфейса има за цел да покаже актуалното състояние на мрежата, както и да установи наличието на проблеми. То дава възможност и за анализ и планиране на последващи оптимизации, с цел подобряване качеството на обслужване. Най-общо можем да разделим измерванията в следните категории:

- Периодични измервания по зададен маршрут – извършват се обикновено един или няколко пъти годишно с цел проверката на качеството на обслужване, по важни пътни артерии и главните улици от градската пътна мрежа.
- Измервания, свързани с промяна на параметри на мрежата – извършват се преди и след промяната, в зоната на засегнатите съоръжения. Имат за цел да създадат база за сравнение на основните показатели и да осигурят насоки за допълнителни оптимизации, ако са необходими.
- Измервания, свързани с интегрирането на ново съоръжение в мрежата, или преместване /демонтиране на друго – осигуряват необходимата информация за последващите промени, с цел настройване на мрежата към новите условия.
- Измерване зоната на обслужване на клетка с влошени показатели – Основна задача при наблюдението на мрежата е анализ на базата данни, със ключовите показатели на

обектите в мрежата (Key Performance Indicators). Когато се установи влошаване на показателите на дадена клетка, се назначава измерване, с цел установяване на причината.

- Измервания, свързани с постъпили сигнали за влошено качество – извършват се в зони с влошено качество на услугата, за които има предварителна информация от потребители.

Важен етап е предварителната подготовка на измерването. Тя се състои в избора на подходяща екипировка и метод на измерване, определяне на маршрута, и подходящото време. На пример при измерване на клетъчна мрежа от трето поколение, на практика е задължително да се предвиди използването сканиращ модул. Той помага за откриването на незададени съседни клетки, които причиняват интерференция, както и за измерване нивата на съседни WCDMA клетки, работещи на друг канал.

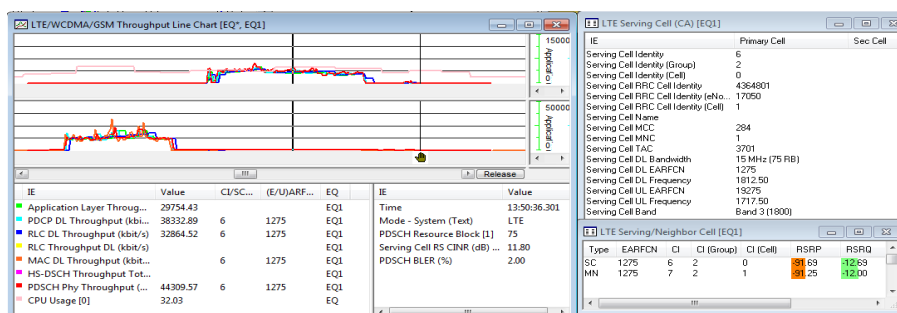
5.2.2. Генерирани измервания на новоизграден 4G сайт

Измерванията са направени с TEMS Investigation 17. Измерени са data скорости /throughput/ и глас –Voice. При това измерване се “сваля” /DL/ и “качва” /UL/ файл от сървър с точно определена големина. Засича се времето и се определя throughput-a.

При измерване на гласови услуги при режим 4G на телефона се прави voice call към друг телефон също в режим 4G. Тъй като мрежата все още не предлага използването на VoLTE /Voice over LTE/ при опит за изграждане на разговор, телефона минава в режим на 3G или на 2G за да изгради разговор. Тази процедура се нарича CSFB /Circuit Switched fallback/. Мрежата е настроена при опит за CSFB телефона да минава първо в режим 3G и ако липсва такава в режим 2G.

На фиг. 5.18 в прозорец „LTE Serving Cell” се визуализират получените от мрежата основни параметри за измерваната LTE клетка като: Serving Cell Identity, Честотната лента и съответно RB /Resurs Block/, канала на използваната честота и др.

В прозорец LTE Serving/Neighbor Cell се визуализира информация за измерените 4G съседни клетки. И в третия прозорец разположен в ляво от споменатите два се визуализира конкретното измерване.



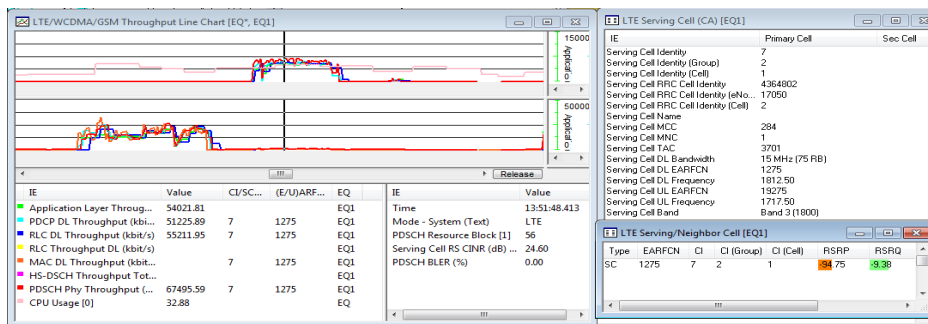
Фиг.5.18. Работен екран LTE Serving се визуализира информация за измерените 4G сигнали

Измерване на data скорости (скорости за данни)и предприети действия

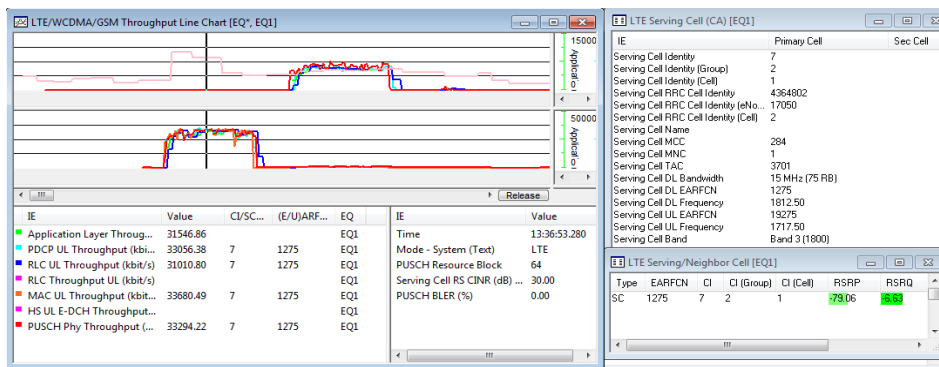
При направеното измерването в зоната на обслужване на един от секторите се констатираха сравнително ниски скорости – фиг.5.9. След направен анализ на резултатите се установиха ниски нива на съотношението сигнал-шум и, че това се дължи на силен сигнал от съседна 4G клетка.

Беше направена оптимизация на антените на двата смущаващи се сектора. С корекция на tilt –а /вертикалния наклон/ се постигна очаквания резултат.

На фиг.5.19 и фиг.5.20 е показано новото измерване след направената оптимизация. Подобриенето на скоростите в двете посоки (DL и UL) е значително.



Фиг.5.19. Измерване на скоростта на данни за 4G –UL / DL след оптимизация



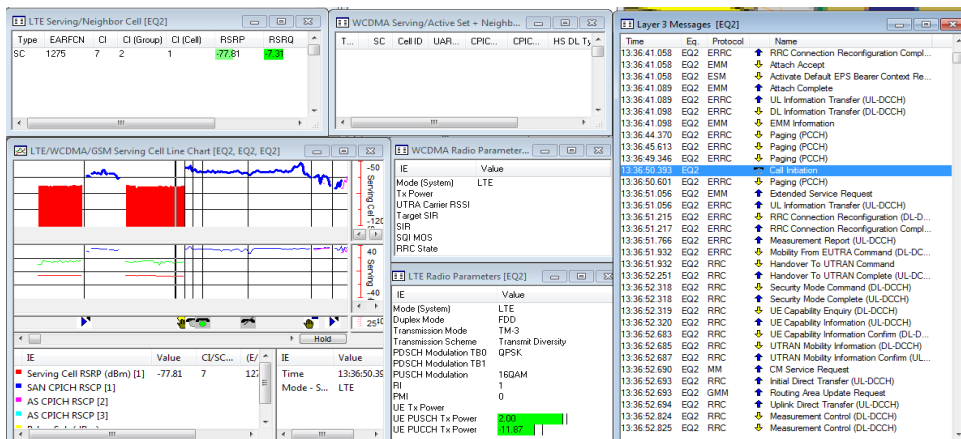
Фиг.5.20. Ново измерване на скоростта на данни за 4G –UL / DL след оптимизация

Измерване на гласова услуга (Voice) в 4G.

На фиг.5.21 се вижда успешен опит за изграждане на разговор. След набиране за разговор в сигнализицията се вижда как терминала прави превключване от 4G към 3G.

За тази процедура е визуализиран допълнителен прозорец Layer 3 Messages, на който може да се проследи цялата поредица на сигнализационни съобщения на мрежата за осъществяване на превключването.

Ако превключването е неуспешно от тези съобщения може да се установи каква е причината.



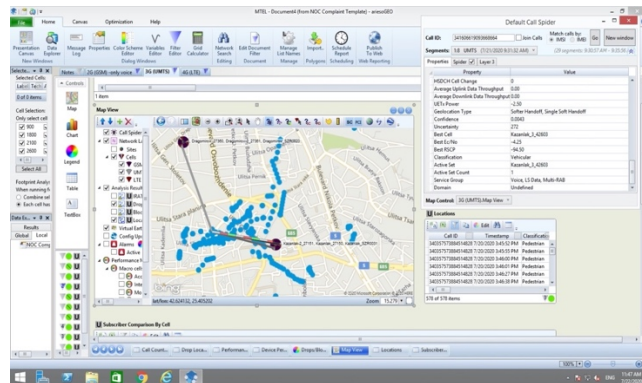
Фиг.5.21. Измерване на гласови услуги при превключване от 4G в 3G

5.2.3. Практически изследвания на проблемни зони

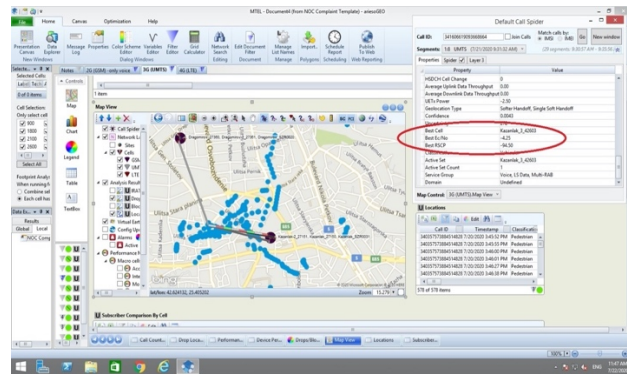
Изследваната зона засяга градска среда в трисекторна антена по UMTS технология. Използван е специализиран софтуер Ариесо чрез мобилна система за измервания и трасиране. Изследвани са три зони с проблеми, които са решени с допълнителни настройки на използваното оборудване чрез анализ на получените резултати. Отбелязаните точки са

местоположението на абоната. Съответно CID 42603 е UMTS на 2100 MHz и CID 42609 е UMTS на 900 MHz

На фиг. 5.24 се вижда че абоната е бил на UMTS 2100 MHz с RSSI -94.5dBm и Ec/No (качество) -4.25dBm

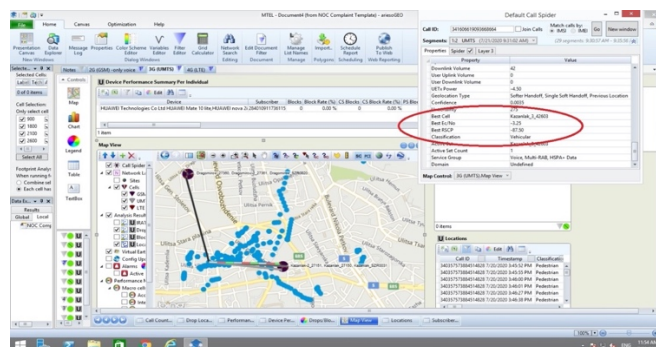


Фиг.5.24. Измерване на качеството на връзката като нива на сигнала и съотношение сигнал/шум с проблемни нива в първа зона



Фиг.5.25. Подобряване на качеството на връзката като нива на сигнала и съотношение сигнал/шум след настройка на антенното оборудване в първа зона

Оказа се че антените на 900 MHz са с много голям наклон (тилт) 10 градуса надолу, а тези на 2100 с 4 градуса. По тази причина 900 MHz е с добри нива само много близо до БС, а в по-отдалечените места се получава аномалия 2100 MHz е с по-добри нива от 900 MHz. Следкорекция на наклона на антената (тилта) на 900 MHz от 10 на 6 градуса и проблема беше отстранен.



Фиг.5.29. Подобряване на качеството на връзката като нива на сигнала и съотношение сигнал/шум след настройка на антенното оборудване в трета зона

5.3. Изследване излъчване на нейонизиращи лъчения от базовите станции на мобилните оператори

В условията на разширяване на съвременните телекомуникационни системи, базирани на безжично предаване, е необходимо да се възприемат всеобхватно биологичните ефекти на електромагнитното излъчване в радиочестотния и микровълновия честотен диапазон и да се осигурят подходящи мерки за защита за всички категории население чрез законодателство.

Бързото развитие на безжичните телекомуникационни системи и либерализацията на телекомуникационния пазар доведоха до инсталирането на голям брой станции, излъчващи електромагнитни вълни от RF и микровълновата част от радиоспектъра, като базови станции за мобилни комуникационни системи, приемо-предавателни станции за микровълнови връзки (радиорелейни връзки), излъчващи предаватели и др. Голям брой от тези станции са разположени в рамките на или близо до населени места, така че всички структури на населението са изложени на радиочестотно и микровълново лъчение.

За населението най-важна информация е енергийната плътност, с която е натоварено пространството им, а тя зависи от характеристиките на антените, тяхното положение (височина и наклон), динамиката и нивата на използване на базовите станции и позицията на пространството (което се изследва) спрямо антените.

5.3.1. Измервания на нейонизиращо лъчение на 5G базова станция на мобилния оператор Македонски Телеком АД Скопие

Настоящият анализ на някои типични и някои специални параметрични измервания на интензитета на полето, направени от професионални инструменти, на една базова станция, собственост на Македонски телеком АД Скопие като оператор за мобилни телекомуникационни услуги на клиентите.

Метеорологични условия и местоположение за измервания на 5G базова станция

Проучената 5G базова станция, собственост на компанията Македонски телеком АД Скопие, е монтирана на ръба на сградата, а измерването е направено пред сградата на Регулаторния орган Агенция за електронни комуникации, с местоположение на адрес: Кей Димитър Влахов номер 21, Скопие и приблизително 160 м от първата базова станция и приблизително 400 м от втората базова станция. Измерванията се извършват на 05.12.2022 г. и на 13.12.2022 г. в часовите интервали 13.45 – 15.20 и 10.00 – 14.10. Времето е студено и облачно със 7 градуса.

Дефинирани параметри и регулация на ЕС

Препоръките на Международната комисия за защита от нейонизиращи лъчения - ICNIRP (Международна комисия за защита от нейонизиращи лъчения) за ограничаване на излагането на различни електромагнитни полета до 300 GHz за време и препоръките, които са въведени в Европейската комисия, дадени в СЕРТ, препоръка ECC REC (02) 04 – Измерване на нейонизиращо електромагнитно излъчване (9KHz-300GHz).[

Измервателна апаратура:

По време на измерването е използвано калибрирано оборудване на производителя NARDA, а именно: широколентов измервател на електромагнитно поле NBM 550 и честотно селективен измервател на електромагнитно поле SRM 3006 с подходящи изотропни антени в зависимост от честотите на електромагнитното излъчване.

Протокол за измерване:

По време на измерването се следва методиката, описана в стандартите EN50492 EN50383, EN50400, EN50413. Тъй като разстоянието от източниците на нейонизиращо лъчение до мястото на измерване е много по-голямо от дължината на вълната на електромагнитното поле, може спокойно да се твърди, че измерванията се извършват в тъкан. зона на далечно поле. Следователно е достатъчно да се измери само силата на електрическото поле, а силата на магнитното поле и енергийната плътност могат да бъдат изчислени, тъй като тези величини са тясно свързани помежду си.

Измерването се извършва с цел определяне на максималното електромагнитно поле и облъчване на населението с нейонизиращи лъчения. Да се изследва въздействието на тестовата мрежа 5G NR върху нейонизиращото лъчение.

Доминиращи източници на електромагнитно излъчване: (описание на мястото)

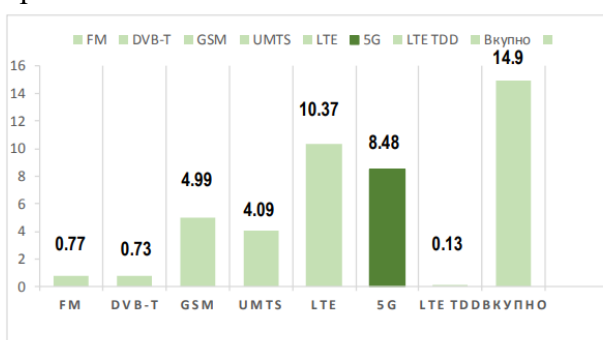
В близост до точката на измерване (пред сградата на АЕК) има доминиращи източници на електромагнитно излъчване. Най-близката базова станция за мобилна телефония е на разстояние около 160 метра (от сградата на Македонски Телеком) и около 420 метра (от сградата - ТК Център). GSM, UMTS, LTE сигнали се излъчват от базовите станции и за първи път се тества 5G NR сигнал. Честотният диапазон на 5G сигнала е 100MHz.

Резултати от измерването:

От измерванията бяха получени следните резултати:

- Общ коефициент на излагане на електромагнитно поле: 14,90% (% от максимално допустимия, Стойност на електрическото поле);
- Обща плътност на мощността: 185.46mW/m²
- Обща напрегнатост на електрическото поле: 8.36V/m

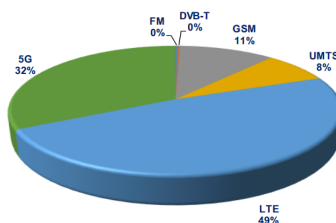
Сервис	%
FM	0.77
DVB-T	0.73
GSM	4.99
UMTS	4.09
LTE	10.37
5G	8.48
LTE TDD	0.13
Вкупно	14.90



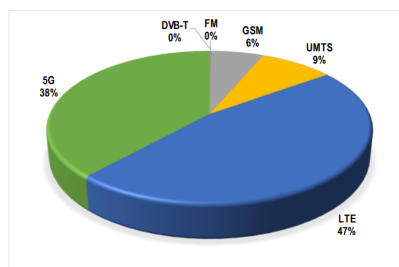
Фиг.5.33. Нива на излъчването на различните сервиси услуги в мястото на измерване

Резултатите се получават според измерената влажност, а общият резултат се получава по формулата за общ коефициент на излагане на електромагнитно поле: 14,90%:

$$14,9 = \sqrt{0,77^2 + 0,73^2 + 4,99^2 + 4,09^2 + 10,37^2 + 8,48^2 + 0,13^2}$$



Фиг.5.34. Процентно съотношение на излъчването на различните видове телекомуникационни услуги



Фиг. 5.35. Приносът на технологиите в общата електромагнитна плътност на енергия [mW/m²]

От резултатите от измерванията можем да заключим, че с новата 5G технология нейонизиращото лъчение се увеличава, но в технологиите GSM и UMTS технологиите ще

намалее. Въпреки това, резултатът и общото излъчване по време на това измерване, на разстояние 220 м от базовата мобилна станция, е под 11% от максимално допустимата гранична стойност.

Резултатите от измерванията са чрез изчислена интерполация и показват каква би била силата на електрическото поле, т.е., или каква би била енергийната плътност в точката на измерване ако измерваните базови станции работят на пълен капацитет или работят с пълна сила. Такъв случай би бил, например, ако потребителят се намира на място, където се провежда масово или голямо събиране (спортно, културно или политическо) с много потребители или където базовите мобилни станции, които биха били разположени в непосредствена близост до събитието ще работи на пълна мощност.

5.4. Отчетени проблеми и стратегии при управление на ефективността и качество на услуги в широколентови мобилни мрежи

5.4.1. Финансови проблеми

Информационните и комуникационните технологии са стратегически инструменти за бизнес сектора, които влияят върху производителността и растежа на макроикономическо ниво. Опитът показва взаимната обусловеност между промяната на работните процеси и повишаването на уменията в бизнес сектора, от една страна, и непрекъснатите и проактивни инвестиции в информационни и комуникационни технологии, от друга.

5.4.2. Инвестиции и планиране в градска и извънградска среда

Ползите от широколентовия достъп са особено важни за отдалечените и селските райони, тъй като подобрените комуникационни системи могат да преодолеят много от проблемите, които налага отдалечеността. Широколентовият достъп позволява на хората да комуникират и обменят информация, независимо от тяхното физическо местоположение. Подобрената интерактивност позволява по-активно участие в социалните и демократични потоци на живота. Широколентовият достъп подобрява стандарта им на живот чрез преодоляване на разстоянието, подобряване на здравето, образованието и достъпа до обществени услуги.

5.4.3. Регламент и регулаторни закони

Агенцията за електронни съобщения следва да наложи задължения на оператори със значителна пазарна мощ на пазарите за физически достъп на едро до мрежова инфраструктура (включително разделен или напълно необвързан достъп) на фиксирано място за осигуряване на физически достъп до техните канали, изградени строителни работи и друга пасивна мрежа елементи, които са необходими за създаване на конкурентна оптична инфраструктура.

5.4.4. Осигуряване на условия за прозрачност

Операторите със значителна пазарна мощ трябва да подадат Типова оферта за достъп до физическа инфраструктура, която също ще съдържа информация, свързана с местоположения, капацитет на канали и други пасивни елементи, информация за точки за достъп (топография на мрежата, възможни връзки в улични шкафове, местоположения на концентрация на точки за достъп, списъци на вече свързани сгради и др.), които следва да бъдат одобрени от агенцията. Агенцията трябва предварително да определи формата и степента на детайлност на информацията в референтните оферти.

5.4.5. Политики и регулация на цени и услуги

Цените за достъп до съществуваща физическа инфраструктура следва да се основават на разходите, направени от оператор със значителна пазарна мощ. Агенцията трябва да създаде подходяща методология за контрол на цените в съответствие с препоръките на Европейската комисия. Цените за достъп до нови канали, строителни работи и други пасивни елементи трябва да се основават на предварително установена методология за ценови контрол, установена от АЕК и съобразена с препоръките на Европейската комисия. Цените могат да включват т.нар специфични за проекта „рискови премии“, които представляват

инвестиционния риск, на който операторът е изложен при изграждането на инфраструктурата.

5.4.6. Гарантиране на принципа на недискриминация

Агенцията за електронни съобщения трябва да гарантира пълно спазване на принципа на недискриминация, т.е. операторът със значителна пазарна мощ да предоставя достъп до пасивната инфраструктура при същите условия, както за своите бизнес звена или партньори, така и за трети партии.

5.4.7. Развитие на ширококоловия интернет в общините

Изграждането на електронни съобщителни мрежи, особено на оптични мрежи, изисква много големи инвестиции в изграждането на инфраструктура. Като бариера могат да се появят и сложни административни процедури, липса на достатъчно информация за получаване на разрешителни, неактуална местна администрация и др., което много често възпира инвеститорите, особено в сферата на телекомуникациите, тъй като секторът изисква бързи и динамични операции и следване на нуждите на пазара.

5.4.8. Ползите от ширококоловия достъп до интернет в случаи на пандемия и извънредно положение

Ползите от качествения ширококолов достъп/интернет в случай на пандемия и извънредни ситуации, пандемия, която в момента съществува по света, са огромни. Съществуването на тази пандемия, наречена корона вирус (COVID -19), промени живота на целия свят. Необходимостта от бърз обмен на информация, гладка двупосочна комуникация между хората, където и да се намират по земното кълбо, прави възможен ширококоловия интернет.

5.5. Анализ и изводи към глава пета

1. Проведени са практически изследвания от регулаторния орган за република С. Македония - Агенцията за електронни съобщения (АЕС). Извършена е статистика, обработка и анализ на практическите резултати за гласови услуги и трансфер на данни на по-важните оператори за страната. Измерванията са направени за няколко маршрута в градска и извън градска среда.

2. Резултатите показват наличие на добро мрежово покритие и може да се каже че, за гласови услуги мобилният оператор А1 Македония покрива изискванията за качеството, определено от АЕС. Мобилният оператор Македонски Телеком също предоставя гласовата услуга според качеството, определено от АЕС, с изключение на параметъра процент на неуспешни разговори. Поради това мобилният оператор Македонски Телеком ще бъде задължен да подобри този параметър според задължителната стойност, за да бъде в пълно съответствие с дефинираното качество на услугата. При въвеждането на новите технологии 5G DSS и LTE, които са в непрекъснато развитие и подобрене, може да се твърди че скоростта на данните на този етап е много по-висока в градска среда, а времезакъсненията по-ниски, в сравнение с извън градските маршрути.

3. Представени са примерни експериментални измервания, свързани с мониторинг на примерна част от мрежа и констатиране на проблемни зони на покритие с използването на специализирано оборудване и софтуер с TEMS Investigation. След направен анализ на резултатите се установиха ниски нива на съотношението сигнал-шум, като това се дължи на силен сигнал от съседна 4G клетка. Предложена е оптимизация на антените на двата смуцаващи се сектора, като с корекция на tilt-a /вертикалния наклон/ се постигна очаквания резултат.

4. Извършено е практическо изследване на проблемни зони и в по-слабонаселени места с помощта на специализиран софтуер Ариесо и чрез мобилна система за измервания и трасиране. Установено е, че антените на 900 MHz са с много голям наклон (тилт) 10 градуса надолу, а тези на 2100 с 4 градуса. По тази причина 900 MHz е с добри нива само много близо до БС, а в по-отдалечените места се получава аномалия 2100 MHz е с по- добри нива от 900 MHz. След предложена корекция на наклона на антената (тилта) на 900 MHz от 10 на 6 градуса и проблема беше отстранен.

5. Направени са изследвания свързани с излъчването на нейонизиращи лъчения от базовите станции на мобилните оператори свързани с въвеждането в експлоатация на новата технология 5G. Получените резултати показват, че общото излъчване по време на това измерване на разстояние 220 м от базовата мобилна станция е под 11% от максимално допустимата гранична стойност. Резултатите от измерванията са, чрез изчислена интерполация и реално показват каква би била силата на електрическото поле, т.е., или каква би била енергийната плътност в точката на измерване ако измерваните базови станции работят на пълен капацитет или работят с пълна сила.

6. Отчетени проблеми и стратегии при управление на ефективността и качество на услуги в широколентови мобилни мрежи, като са анализирани финансовите проблеми, свързани с инвестиции и планиране, регулаторните закони и проектите за развитие на широколентовия интернет в общините на Република С. Македония

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широколентовият интернет дава възможност за създаване на нови и иновативни услуги, приложения и съдържание, насърчава развитието на нови услуги и подобрява качеството на доставката им до потребителите. Той дава възможност за реорганизация на работните и производствените процеси и представлява основата за развитието на информационните и комуникационни технологии, които са основните двигатели на производителността и икономическия растеж в страната.

През последните 2-3 години Македония постигна значителен напредък в развитието на широколентовия интернет. Това се дължи както на създаването и прилагането на ефективни политики, насърчаващи либерализацията и конкуренцията, така и на ефективното прилагане на законодателството от Агенцията за електронни съобщения.

Развитието на икономиката в Македония през последните няколко години има положителен ефект върху увеличаването на проникването на широколентовия интернет, но широколентовите интернет услуги също значително влияят върху развитието във всички икономически и неикономически сектори в страната. Очаква се положителната тенденция в развитието на широколентовия интернет да продължи със същите темпове и в бъдеще.

За да контролира работата на операторите, АЕК, като независим регулаторен орган за телекомуникациите, постоянно извършва измервания на качеството на услугите, предоставяни от двата мрежови оператора, на цялата територия на Македония и публикува резултатите от тези измервания на уебсайт на АЕК: www.komuniciraj.mk.

В резултат на изследването в рамките на дисертационния труд са постигнати следните **научно-приложни и приложни приноси** със значимост и полезност в планирането, настройката и експлоатацията на мобилни клетъчни мрежи и засягащи управление на ефективността и качеството на услугите в тях:

Научно-приложни приноси

❖ Представена е аналитична методология за проектиране и изчисляване на параметрите на широколентова мобилна мрежа.

❖ Изведени са математически зависимости свързани с коефициенти на натоварване на мрежите в права и обратна посока, с определяне на радиопокритието, загубите при радиоразпространение, усиляването на антените;

❖ Синтезиран е симулационен модел на физическия слой WCDMA End-to-End Physical Layer, на базата на който са направени изследвания и са изведени графични резултати за три различни случая на средата и движението на потребителя в нея. На базата на това могат да се определят ефективните стойности BER в зависимост от SNR, свързани с осигуряване качеството на услугите при различните условия.

Приложни приноси

❖ Констатирано е, че Алгоритъмът за контрол на мощността има граници и при изразходване на ресурса за запас за регулиране на мощността се преминава към превключване на канала (хендовър). Излъчването с много голяма мощност води до намаляване чувствителността на системата, затова се въвежда параметърът запас за регулиране на мощността ВРС , чиято стойност е 0,7 при скорост на движение на абоната от 3km/h и 0 при скорост на движение на абоната от 50km/h;

❖ Представени са експериментални резултати на параметрите на широколентовата мобилна мрежа в градски условия, чрез използване на специализирани софтуерни приложения инсталирани на мобилна станция. Изследвани са сигналите от 2 оператора в градска среда в 2/3/4 и 5G режими на работа по определени маршрути, чрез промяна на скоростта на движение на мобилната измервателна станция. От статистиката и анализа на получените резултати са констатирани 12 конкретни извода, свързани с подобряване на ефективността на управление и осигуряване на по добро качество на услугите в градска среда;

❖ Предложената е опитна постановка и са проведени практически изследвания от регулаторния орган за република С. Македония - Агенцията за електронни съобщения (АЕС). Извършена е статистика, обработка и анализ на практическите резултати за гласови услуги и трансфер на данни на по-важните оператори за страната Македония. Разработен е процес, който включва наблюдение на мрежата, измервания на ключовите параметри за работа и оптимизация на клетките с цел подобряване ефективността и качеството на обслужване;

❖ Направени са реални измервания, свързани с излъчването на нейонизиращи лъчения от базовите станции на мобилните оператори свързани с въвеждането в експлоатация на новата технология 5G. Извършена е диагностика и оценка на експлоатационните характеристики, свързани с осигуряване на качеството на обслужване в градски райони, локализиращи са проблемните участъци и са дефинирани основни технически и технологични решения за неговото подобряване.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[A.1] **Arsov B.**, Arsova E., Sadinov S., Measurements of the non-ionizing radiation of 5G base station of Mobile operator Makedonski Telekom AD Skopje and electricity supply with Photovoltaic plant, International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023) which will be held on 21st-23rd June, 2023 in Kavala, Greece. (Indexing and Publishing AIP Conference Proceedings is indexing in: Scopus, CPCI (part of Web of Science), Inspec index, **SJR 0.19**) (in Print)

<https://pubs.aip.org/aip/acp>

[A.2] **Арсов Б.**, Измерване на нейонизиращи лъчения на 5G мобилна базова станция на А1 оператор, VII-ма Национална научна конференция с международно участие – TechCo 2023, 30 Юни 2023 Ловеч, ISSN 2535-079X, стр. 89-94.

https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa_TechCo-2023_n.pdf

[A.3] **Арсов Б.**, Качество на обслужването на 5G трафика и внедряване на 5G в Северна Македония, VII-ма Национална научна конференция с международно участие – TechCo 2023, 30 Юни 2023 Ловеч, ISSN 2535-079X, стр. 95-100.

https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa_TechCo-2023_n.pdf

[A.4] Sadinov S., M. Tomov, **B. Arsov**, A. Ahmed, Distributed GSM Signal Quality Improvement Across the Entire 890-960 MHz Band, International Scientific Conference – Unitech 2023, 17-18 November 2023, Gabrovo, ISSN 1313-230X, pp. I-217-222.

<https://unitech.tugab.bg/docs/doc100.pdf>

[A.5] Sadinov S., **B. Arsov**, A. Ahmed, E. Ozdikililer, Comparative Analysis Of Software Tools For Testing Radio Coverage Through A Mobile Terminal, International Scientific Conference – Unitech 2023, 17-18 November 2023, Gabrovo, ISSN 1313-230X, pp. I-223-227.

<https://unitech.tugab.bg/docs/doc100.pdf>

TITLE: „MANAGEMENT OF THE PERFORMANCE AND QUALITY OF SERVICE IN MOBILE BROADBAND NETWORKS“

Author: eng. Boris Blagoj Arsov, MSc

ABSTRACT:

The dissertation presents an analytical methodology for designing and calculating the parameters of a broadband mobile network. Mathematical dependencies related to network load factors in the forward and reverse direction, with determination of radio coverage, radio propagation losses, antenna gain are derived. A simulation model of the WCDMA End-to-End Physical Layer was synthesized, based on which research was done and graphical results were displayed for three different cases of the environment and the user's movement in it. It can be used to determine the effective BER values depending on the SNR, related to ensuring the quality of services under different conditions. Experimental results of the parameters of a broadband mobile network in urban conditions are presented, by using specialized software applications installed on a mobile station. The signals from 2 operators in an urban environment in 2/3/4 and 5G modes of operation along certain routes were investigated by changing the speed of movement of the mobile measuring station. From the statistics and the analysis of the obtained results, specific conclusions have been established, related to improving the efficiency of management and ensuring a better quality of services in an urban environment. Experimental setups were proposed and practical studies were carried out by the Regulatory body for the Republic of N. Macedonia - the Agency of Electronic Communications (AEC). Statistics, processing and analysis of the practical results for voice services and data transfer of the most important operators for the country N. Macedonia have been carried out. A process has been developed that includes network monitoring, measurements of key performance parameters and cell optimization to improve efficiency and quality of service. Real measurements were made related to the emission of non-ionizing radiation from the base stations of the mobile operators related to the commissioning of the new 5G technology. Diagnostics and evaluation of the operating characteristics related to ensuring the quality of service in urban areas have been carried out, problem areas have been localized and basic technical and technological solutions for its improvement have been defined.

Keywords: Mobile (Cellular) communication, Mobile broadband network, GSM(2G), UMTS(3G), LTE (4G) 5G, BER, SNR, BCH, QoS, Simulation Matlab, CDMA (WCDMA).