

# Рецензия

от доц. д-р Бончо Христов Балабанов,  
Комуникационна и компютърна техника, НБУ  
на дисертационен труд на маг. инж.-физ. Филип Асенов

Атанасов

на тема: “**Модели за предвиждане на затихването в комуникационна LTE мрежа**”

**Професионално направление:**

4.1. Физически науки (Радиофизика и физическа електроника)”

## 1. Оценка на съдържанието на докторската работа

Дисертационният труд е в общ обем от 116 страници и в количествено отношение отговаря на изискванията за докторска работа. Състои се от 4 основни глави, Увод и Литература. Включени са 71 фигури и 15 таблици.

Представени са списък на използвана библиография и източници на информация - общо 105 литературни източника и списък на публикациите свързани с дисертацията (8 публикации).

Основните проблеми, които са засегнати в дисертационният труд са:

- Мобилни комуникации;
- LTE мрежи;
- пакетна комуникация на данни;
- ефективно използване на радиочестотния спектър;
- модели за разпространение на радио вълните в LTE радио мрежа;
- оценка на затихване на радио вълните и влияние на фединга.

## 2. Целта и задачите на дисертацията са точно формулирани:

2.1. Целта на дисертацията е:

Да се подберат и оптимизират, на базата на експериментално получени резултати за нивото на сигнала в 4G LTE мрежа в София, подходящи емпирични модели, които да позволяват правилно определяне на затихването на сигнала и съответно изчисляване радиуса на клетките в LTE мрежа за изследвания район на София.

2.2. За изпълнение на тази цел са формулирани следните задачи:

2.2.1. Да се изберат емпирични модели, които са подходящи за приложение при изследване на затихването на сигнала в 4G LTE мрежа в София, като на базата на тези модели да бъдат направени симулации за определяне на затихването в изследвания район.

2.2.2. Да се проведе експериментално измерване на нивото на сигнал в реална 4G LTE мрежа в София.

2.2. 3. Да се направи оптимизация на избраните емпирични модели на базата на получените експерименталните резултати, като оптимизираните модели да дават точна оценка за затихването в изследваната област в София. Да се изчисли радиуса на клетките и зоната на покритие в LTE мрежа.

2.2. 4. Да се направи статистическо описание на голямо мащабния и малко мащабния фединг в изследвания район, като се анализира тяхното влияние върху нивото на приетия сигнал и да се определи стойността на фединговата граница в този район.

### **3. Актуалност на дисертационният труд.**

Дисертационният труд е посветен на област с важно значение за модерните телекомуникации. 4G Long Term Evolution (LTE) мрежите, предлагат високоскоростен пренос на данни в широка честотна лента. В резултат на въведената система за пакетна комутация на данни, LTE стандартът се отличава с по-ефективно използване на радиочестотния спектър и с много по-високи скорости за пренос на данни в сравнение с GSM и UMTS мрежите. За успешната реализация и разгръщане на 4G LTE мрежи е от изключителна важност определянето на затихването на сигнала. Затихването е основен параметър при определяне енергийния бюджет на клетките и неговата точна оценка гарантира високо качество на предлаганите услуги в зоната на покритие.

Целите и задачите, които си поставя докторантът са значими и комплексни, което прави работата му актуална.

### **4. Степен на познаване на състоянието на проблема и съответствие на използваната литература.**

Направеният литературен обзор в Първа глава и историческият преглед на развитието на мобилните комуникационни мрежи показва съответствие на използваната литература. Степента на познаване на състоянието на проблема се определя от описаните основни характеристики на LTE стандарта и представените емпирични модели, които намират приложение при изследване на затихването в LTE мрежите.

Също така в тази глава е разгледано статистическо описание на приетия мобилен радиосигнал, като са представени основните статистически разпределения и тяхното приложение.

Направен е Исторически преглед на развитието на мобилните комуникационни технологии. Разгледани са основните характеристики и архитектурата на LTE мрежите.

Една от основните концепции залегнала в LTE стандарта е опростяването на мрежовата архитектура чрез преминаването от комбинираната circuit switched и packet switched архитектура при 2G и 3G към изцяло IP базирана архитектура. Това води до намаляване на латентността в мрежата, повишаване на скоростта за пренос на данни и намаляване на първоначалните инвестиции, които мобилните оператори трябва да направят при разгръщане на мрежата.

За постигане на високи скорости на пренос на данни в LTE мрежите се използват MIMO антени системи. MIMO се възползва ефективно от случайния характер на фадинга в мобилните радио мрежи.

### **5. Коректността при цитирането на представителен брой автори е показана с описанието на различните модели за предвиждане на затихването на сигналите в LTE мрежите в Първа и Втора глава :**

**Емпиричните модели** за предвиждане на затихването на сигнала намират приложение не само в научните изследвания, но и в изграждането на безжични мобилни мрежи. Тези модели са широко използвани в планирането на клетъчните мрежи и по-специално в предпроектното проучване и определяне на енергийния баланс на клетката (link-budget), както и в процеса на първоначалното разгръщане на дадена мрежа. При емпиричните модели се ползват приближени формули за затихването на сигнала, получени след обработка на голямо количество експериментални данни, които са измерени в конкретната среда на разпространение.

**Статистическите модели** се базират на статистическо разпределение на нивото на приетия сигнал и определят неговите усреднени параметри в дадена среда - средна стойност, дисперсия, среден брой пропадания на сигнала и др. Те се базират на статически характеристики на средата на разпространение на сигнала и описват

влиятието на голямомощния и малкочестотния фединг върху нивото на приетия сигнал.

**Log-distance** е модел с широко приложение, който е базиран на формулата на Фрийз за изчисляване на затихването на сигнала. Този модел се прилага за определяне на затихването при различни характеристики и условия на средата на разпространение, като се използва както при наличие на пряка видимост (LOS), така и при липса на пряка видимост (NLOS).

**COST-231 Хата** е създаден като продължение на модела на Хата и е проектиран да се използва за честотната лента от  $1500 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$ . В COST-231 Хата модел са включени корекции за градски, крайградски и извънградски терени при високи честоти, което допринася за по-успешното приложение на този метод.

**SUI моделът** е разработен от университета в Станфорд. SUI модела се характеризира с използването на три типа терени - А, В и С. Терени от тип А описват хълмисти зони с умерена или гъста растителност, като при този тип терени затихването е най-голямо. Терените от тип В се характеризират с хълмисти зони с рядка растителност или равнинни терени с умерена или гъста гора, като тук имаме средни стойности на затихването. Терени от тип С описват равнинни или извънградски местности със слаба растителност, като при тях затихването е минимално.

**WINNER (Wireless World Initiative New Radio)** е проект, който има за цел да определи концепцията за развитието на безжичните комуникационни системи след 3G. Разработеният в този проект модел (WINNER II path loss model) за предвиждане на затихването на сигналите е подходящ за изследване на безжични комуникационни мрежи в честотния обхват до 6 GHz и широчина на честотната лента до 100 MHz .

**COST 231 - Walfisch-Ikegami модел** е комбинация от моделите на J. Walfisch и F. Ikegami. Проектът COST 231 подпомага разработването на моделът Walfisch-Ikegami, който днес е известен, като COST 231 Walfish-Ikegami модел.

**ITU 1411 модел** е разработен и предложен от ITU. Моделът е предназначен да се използва за предвиждане на затихването в застроена градска среда, където липсва пряка видимост между базовата и приемната станция (NLOS). ITU 1411 се използва за честоти в обхвата от 300 MHz до 100 GHz.

**Ericsson моделът** за предвиждане на затихването в мобилните комуникационни мрежи е създаден от компанията Ericsson за прилагане в процеса на планиране и разгръщане на мрежите. Ericsson моделът е модификация на Okumura-Hata модела, като използваните параметри се променят в зависимост от среда на разпространение на сигнала.

**Extended Sakagami модел** е базиран на модела на Sakagami, като приложимостта на този модел този модел е разширена за честоти от 800 до 8000 MHz и височината на потребителския терминал вече не е фиксирана. Този модел се прилага само в случаи, когато няма наличие на пряка видимост (NLOS).

#### **Модели за определяне на затихването в офис среда.**

С повишаване на нуждата от предоставяне на високоскоростен пренос на данни, както и предлагане на по-добро качество на услугите все по-актуален става въпросът за осигуряване на добро покритие в бизнес сградите и офисите. Затихването на сигнала в LTE мрежа в офис среда се определя чрез моделите WINNER II - indoor и COST 231 - multi walls multi floors (COST 231 MWMF).

### **6. Теоретичните модели на изследването са обосновани чрез:**

От разгледаните емпирични модели, които намират приложение при определяне на затихването в LTE мрежи са избрани тези, които отчитат характеристиките на изследваните райони и са подходящи за определяне на затихването в LTE мрежа. В тях е отчетено влиянието на височините на предавателната и приемна антени, честотната област на сигнала, средно разстояние между сградите, средна височина на сградите,

средна ширина на улиците и други фактори характеризиращи средата на разпространение. Разработените методи за измерване на радио сигналите и на методиката за обработка на получените експериментални данни за нивото на сигнала и оптимизацията на избраните емпирични модели за предвиждане на затихването на сигнала, представени в Четвърта глава, обосновават теоретичните модели на изследването.

Полученият резултат за максималното затихване се използва, за да се определи максималния радиус на клетката чрез прилагането на моделите Sakagami, WINNER II и SUI за честотните обхвати 1.8 GHz, 2.6 GHz и 3.5 GHz.

#### **7. Собственият принос при събирането и анализирането на емпиричните данни се доказва чрез:**

Проведените измервания и извършените симулации за определяне на затихването на радиовълните и на енергийния бюджет на клетката в LTE мрежите във Втора глава показват собствения принос при събирането и анализирането на емпиричните данни. Резултатите за затихването са получени при височина на антената на базовата станция 30 m и височина на приемната абонатна антена 6 m. При увеличаване на височината на предавателната антена с 10 m се забелязва намаляване на затихването на сигнала и при трите избрани модела. Резултатите, които се получават при SUI модела са съответно на разстояние 250 m затихването е около 97 dB, а на 3 km е около 145 dB, докато при COST 231 Neta модела на разстояние 250 m затихването е около 112 dB, а на 3 km е около 150 dB. Резултатите получени за затихването при COST 231 Walfisch-Ikegami модела са по-високи в сравнение с другите 2 модела, като на разстояние 250 m затихването определено с този модел е около 118 dB, а на 3 km е около 159 dB.

#### **8. Самостоятелната разработка на дисертационният труд се определя от:**

Анализът на разгледаните методи за измерване, тяхната оптимизация и представените резултати от измерванията в Трета глава. Изборът и използването на измервателната апаратура Narda SRM-3006, която има специален режим за измерване на LTE сигнали (code selective measurement), предоставя възможност да се измери нивото на сигнала, излъчен от конкретна базова станция. Направените прецизни измервания на нивото на референтния сигнал са използвани за определяне на затихването на сигнала в клетката, за оптимизиране на теоретичните модели за предвиждане на затихването и за определяне на фединга.

**9. Съответствието на избраната методология и на методиката на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд се определя от получените резултати от измерването на радио сигналите и от обработка на резултатите.** Тези резултати показват, че е необходимо използваните модели да се оптимизират, за да бъде адекватно тяхното приложение за предвиждане на затихването на радиовълните. На базата на измерванията е направена оптимизация на разгледаните емпирични модели. Поради факта, че всеки от моделите включват различни коефициенти, отчитащи зависимостта на затихването от разстоянието, е необходимо те да се прецизират съобразно изследвания район. Важно е да се отбележи, че тези коефициенти са определени при отчитането на основните характеристики на района, за който е разработен всеки от моделите. Сравнението между резултатите от измерванията и тези, получени от емпиричните модели, показва, че прилагането на тези модели за определяне на затихването в изследваната област, може да доведе до получаването на неточни стойности на затихването. С цел подобряване на точността на селектираните модели за предвиждане на затихването на сигнала в LTE мрежа в изследваните области, тези коефициенти са преизчислени и коригирани в процеса на

оптимизация. За да бъдат оптимизирани моделите, са използвани данните от направените измервания на нивото на сигнала. От получените експериментални данни е изчислено затихването на сигнала и са определени експонентата на затихване, както и е направена оценка за влиянието голямомасщабния и малкомасщабния фединг в изследвания район.

Прилагането на оптимизирателните модели осигурява коректни резултати за средното затихване на сигнала в изследваните райони. Анализът на получените резултати след оптимизацията на моделите показва, че средно квадратичната грешка намалява значително, като това води до повишаване на точността на тези модели при определяне на затихването в изследваната област.

## **10. Въздействия върху околната среда.**

Използването на резултатите от дисертацията ще позволи да се оптимизира мощността на предавателите на базовите станции и да се намалят вредните радио излъчвания към населението.

## **11. Описание на по-съществените приноси в дисертационния труд, редактирани от рецензента:**

11.1. На основата на емпирични модели, приложими за определяне на затихването в 4G LTE мрежи е осъществена числена симулация на затихването на сигнала при параметрите на специфична мобилна радиосреда, като са получени зависимостите на затихването от разстоянието, височината на приемната мобилна абонатна антена и предавателната антена на базовата станция и честотата (Втора глава).

11.2. Определен е максималният радиус на клетката и зоната на покритие в 4G LTE мрежа в изследван район на София, оценени са перспективите за използване на повисокочестотни обхвати за изграждане на LTE мрежи чрез прилагането на емпирични модели. Оценено е влиянието на броя на MIMO антените и различните видове модулация върху максималната скорост за пренос на данни (Втора глава).

11.3. Разработена е методика за измерване и обработка на нивото и качеството на приетия сигнал в LTE мрежа, позволяваща експериментално определяне на затихването на сигнала (Трета глава).

11.4. Създаден е оптимизиран модел за предвиждане на затихването на радиосигнала в комуникационна LTE мрежа като са обработени избрани емпирични модели и е доказана неговата приложимост чрез сравнение с измервателните резултати (Четвърта глава) - виж т.9 по-горе.

Основните стъпки, които включва процеса на оптимизация на моделите са:

а) Определяне на експонентата на затихване (зависимостта на затихването от разстоянието).

б) Изчисляване на затихването на сигнала за фиксирано разстояние .

След процеса на оптимизация коефициентите отчитащи влиянието на средата на разпространение при моделите се променят.

Следните модели са оптимизирани:

- Log-distance модел ;
- COST-231-Nata модел ;
- Ericsson модел.

Тези приноси са обосновани чрез достоверен експериментален материал и теоретичен анализ на моделите на разпространение на сигнала с използване на статистически функции.

11.5. Определено е влиянието на малкомасщабния фединг върху на сигнала, като са определени K-фактора на разпределението на Ричи за обвивката на приетия сигнал и

е определена локалната и осреднена фадингва граница, необходими за изчисляване на енергийния бюджет на клетките (Четвърта глава).

## 12. Компетентност на докторанта.

Дисертационният труд съдържа теоретични обобщения и решения на научноприложни проблеми, които представляват оригинален принос в науката и инженерната практика и показва, че докторантът притежава задълбочени теоретични знания по съответната специалност и способности за самостоятелни научни изследвания. Проведените измервания и математически анализи определят личното участие на дисертанта в приносите.

## 13. Публикации и авторство

Авторът на докторската работа има 8 броя публикации свързани с дисертационния труд. Те включват статии в специализирани научни списания с импакт фактор, реферирани научни списания и доклади на научни конференции. Тези материали отразяват основни моменти на изследванията свързани с представената докторска работа и са част от нея.

Забелязани са две независими цитирания от чужди автори, които показват значимостта на изследванията.

## 14. Забележки към дисертационния труд

1. Предавателни и приемни антени имат базовите станции и абонатните устройства. В текста не е уточнено за кои предавателна и приемна антени става въпрос. Предполага се, че под предавателна антена се разбира антената на базовата станция, а под приемна антена антената на подвижното абонатно устройство.

2. Забелязани стилни и правописни грешки:

2.1. стр.3- "4. Да се направи статистическо описание на голямомощния и малкочастотния фадинг в изследвания район, като се анализира **неговото** влияние върху нивото...."

Трябва да е: "4.... като се анализира **тяхното** влияние....."

2.2. стр.14- "Една от основните концепции залегнала в LTE стандарта е опростяването на мрежовата **архитектурата**...."

трябва да е: "Една от основните концепции залегнала в LTE стандарта е опростяването на мрежовата **архитектура**...."

2.3. стр.19- ".....случайния характер на фадинга в мобилните **радио**.... "

трябва да е: "....случайния характер на фадинга в мобилните радио мрежи.... "

2.4. стр.28- " ....Уравнението за **определя** на затихването е следното..."

трябва да е: " ....Уравнението за **определяне** на затихването е следното..."

2.5. стр.46 - " 2.1 **Определя** на енергийния бюджет на клетката в 4G LTE мрежите".

Трябва да е: " 2.1 **Определяне** на....."

2.6. стр.47 - "където  $P_{tx}$  е максималната **излъчена** мощност в (dBm)"

Трябва да е: "където  $P_{tx}$  е максималната мощност **на изхода на предавателя** в (dBm)"

2.7. стр.58 - "Получените **резултатите** за радиуса на клетката с трите модела са близки по стойност."

Трябва да е: "Получените **резултати** за радиуса на клетката с трите модела са близки по стойност."

2.8. стр. 107- " 2. Определен е максималният радиус **а** на клетката **а**-и зоната на покритие в 4G LTE мрежа.... "

2.9. стр. 107- "6. Определено е влиянието на малкочастотния фадинг върху на сигнала...."

Трябва да е: "б. *Определено е влиянието на малкомащабния фединг върху нивото на сигнала....*"

#### **15. Имам следните въпроси към докторанта:**

1. Има ли ограничения за използване на оптимизирания модел за придвиждане затихването на LTE сигнала в райони, различни от изследвания район, и какви са тези ограничения?

2. Как ще се използва методиката за изчисления в практиката и какви данни са необходими за практически изчисления?

#### **16. Заключение**

Представеният дисертационен труд отговаря на изискванията, определени в ЗРАСРБ и правилника на Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ за присъждане на образователната и научна степен „Доктор“.

Представеният автореферат отговаря в съкратен вид на съдържанието на дисертацията.

**Предлагам на уважаемото научно жури да присъди образователната и научна степен „Доктор“ на маг. инж.-физ. Филип Асенов Атанасов по научна специалност:**

**4.1. Физически науки (Радиофизика и физическа електроника).**

2.10.2017г.

Рецензент:

/доц. д-р Б. Балабанов/