

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Диян Желев Динев

**МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ПОВИШАВАНЕ НА QoS
ПРИ БЕЗЖИЧНИ КОМУНИКАЦИИ ЗА IoT**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „Доктор”

по докторска програма „Компютърни системи, комплекси и мрежи“ към
професионално направление „Комуникационна и компютърна техника“

Научен ръководител: доц. д-р инж. Венета Панайотова Алексиева

Рецензенти:

- 1.
- 2.

Варна, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден на в катедра „Компютърни науки и технологии“ и насочен за защита.

Докторантът работи в катедра „Софтуерни и Интернет технологии“.

Автор: инж. Диян Желев Динев

Заглавие: Методи и средства за повишаване на QoS за безжични комуникации за IoT

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

инж. Диян Желев Динев

**МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ПОВИШАВАНЕ НА QoS
ПРИ БЕЗЖИЧНИ КОМУНИКАЦИИ ЗА IoT**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за получаване на образователна и
научна степен „ДОКТОР”**

Варна, 2020 г.

Дисертационният труд съдържа 135 страници, включително 68 фигури, 34 таблици и 6 приложения, оформени в 3 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 120 заглавия, от които 5 на кирилица и 115 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на Г. от Ч. в на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора №/..... Г.

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се в Докторантски център, стая 318 НУК.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност на проблема

Обслужването на множество устройства при мрежи, базирани на Интернет на обектите (Internet of Things – IoT) изисква осигуряване на високо качество (Quality of Service – QoS) за постигане на по-добра удовлетвореност на потребителите от използваните услуги. Това може да се осигури с адекватно управление на захранването, управление на потребителската мобилност, контрол на достъпа, управление на натоварването, управление на пакетите, приоритизиране на потребителския трафик в мрежата, като пряко свързани с QoS са последните четири.

Комуникациите при IoT се базират основно на безжични мрежи, където се търсят решения за повишаване на ефективност в условията на ниски скорости, устойчивост на откази, адаптивност, възможност за самоорганизация. Съвременните безжични мрежи обаче понякога не могат да осигурят нужната скорост на комуникация, особено в случаите, когато в мрежата са свързани много устройства.

2. Цели и задачи на изследването

Целта на дисертационния труд е изследване и разработване на методи и средства за повишаване на QoS в мрежи, базирани на безжични технологии за IoT.

В съответствие с основната цел, в дисертационния труд се поставят за разрешаване следните задачи:

- Да се дефинира система от показатели за прецизно оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в Li-Fi безжични мрежи;
- На база дефинираната система от показатели за Li-Fi безжични мрежи да се предложи приоритизационен алгоритъм за обединяване на QoS изискванията, който извършва гъвкаво разпределяне на ресурсите между различните устройства (Infrastructure, Mobile, Vehicle) и предоставя приоритетно обслужване на заявките от мобилни устройства;
- Да се дефинира система от показатели за прецизно оценяване ефективността на подход за изграждане на Li-Fi мрежи;
- На база дефинираната система от показатели за модули на Li-Fi мрежи да се предложи прототипна Li-Fi мрежа, която реализира предложения в дисертационния труд приоритизационен алгоритъм.

3. Обект и предмет на изследване

Обект на изследването са Li-Fi безжични мрежи.

Предмет на изследването са алгоритмите за приоритизиране на потребителския трафик при Li-Fi мрежи и механизмите за разпределяне на ресурси.

4. Методи на изследване

Използвани са емпирични методи като наблюдение, сравнение, експериментиране за изследване влиянието на алгоритмите за приоритизиране на потребителския трафик върху качеството на услугите при Li-Fi мрежи. На база изследваното влияние на класически алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи е формулирана необходимостта от подобряване приоритизирането на трафика. Като емпирико-теоретичен подход за изследване и оценка както на съществуващи алгоритми за приоритизиране, така и на предложените в дисертационния труд, е използвана както симулация, така и проектиране и реализация на прототипна Li-Fi мрежа.

5. Място на изследване

Изследванията са проведени в лабораториите на катедра КНТ при ТУ – Варна.

6. Научна новост на изследването

Резултатите от проведените в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд теоретични и експериментални изследвания се свеждат до следните основни **приноси**:

Предложен е алгоритъм за приоритизиране на трафика в Li-Fi мрежа, който подобрява качеството на обслужване на статични и мобилни устройства.

Дефинирана е система от показатели за оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в Li-Fi безжични мрежи;

Дефинирана е система от показатели за оценяване на симулационни продукти за Li-Fi мрежи;

Дефинирана е система от показатели за оценяване на модули за Li-Fi мрежи;

Разработена е симулационна среда за моделиране на разпределяне на ресурси и изследване качеството на обслужване (QoS) при Li-Fi мрежа в дадена клетка и при хоризонтален handover;

Разработена е прототипна Li-Fi мрежа, реализираща предложения алгоритъм за разпределяне на ресурса в дадена клетка и хоризонтален handover.

7. Практическа ценност на изследването

Предложената система от показатели може да бъде приложена както за анализ на проблемите във всеки алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи, така и за оценка на влиянието им върху качеството на обслужване. Дефинираната система от показатели за сравнение на симулатори за Li-Fi мрежи може да бъде използвана като базово средство за оценка на симулатори от този тип. Разработената система от качествени параметри и техните количествени измерители за анализ и оценка на алгоритмите за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи може да бъде използвана за комплексно оценяване функционалността на различни безжични мрежови инфраструктури.

Предложеният алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi е приложим за подобряване качеството на обслужване при тези мрежи. Извършените изследвания доказват, че предложеният алгоритъм подобрява обслужването за статични устройства, разположени по-близо до обслужващата станция и за мобилни устройства, които се движат по-бързо.

Разработеният симулационен продукт позволява изследване функционалността на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi. Разработената прототипна мрежа, реализираща предложения алгоритъм за разпределение на ресурса представя нагледно ползите от предложеният алгоритъм и реализацията на handover в Li-Fi мрежите. Тя може да се ползва в учебен процес, свързан с изучаване на безжични комуникации.

8. Апробация на изследването

Междинните резултати от теоретичните и експериментални изследвания са докладвани на една конференция в чужбина, две международни конференции в България, като и двете са реферирани в база данни „Scopus“ и две статии в списания.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. Анализ на методи и средства за повишаване на качеството на обслужване при безжични мрежи за интернет на обектите

В първа глава е представено развитието на безжичните сензорни мрежи, базирани на предаване с видима светлина. Разгледани са спецификите на безжичните технологии VLC и Li-Fi. Представен е процесът за планиране на ресурсите при Li-Fi, както и изискванията за качество на обслужване. Разгледани са най-известните класически алгоритми за приоритизиране на трафика между устройствата при Li-Fi indoor мрежа, като е представено обобщение на основните предимства и недостатъци на разглежданите алгоритми. Формулирани са основната цел и свързаните с нея задачи на дисертационния труд.

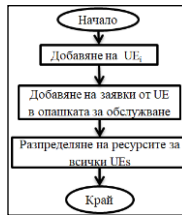
1.9. Алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи

За подобряване скоростта на предаване на данните в системата и гарантиране качеството на услугите, алгоритмите за приоритизиране на трафика и разпределяне на ресурсите имат ключова роля. Това е така, защото използваните алгоритми може както да подобрят, така и да влошат качеството на услугите. Съществуват класически алгоритми за приоритизиране на трафика, както и подобрени такива или предложени от различни автори. При част от алгоритмите за приоритизиране на трафика разпределянето на ресурсите е равномерно между всички потребители, а при други – неравномерно.

В дисертационният труд се разглеждат алгоритми за приоритизация на потребители в безжични сензорни мрежи, за които Li-Fi е подходяща технология. Реализираната и представена в 2.2.4 глава на дисертационния труд прототипна Li-Fi мрежа е подходяща именно за изграждане на безжична сензорна мрежа.

1.9.1. Алгоритъм Round Robin (RR)

Алгоритъмът RR е с просто циклично разпределение. Според него ресурсите се разпределят на потребителите поред (Фиг. 1.20).



Фиг. 1.20. RR алгоритъм

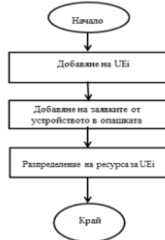
Алгоритъмът разпределя мрежовите ресурси на потребителите еднакво, независимо от условията на канала, по който предават, следователно пропускателната способност на системата е по-ниска в сравнение с други алгоритми. Този алгоритъм обаче поддържа сравнително добро разпределение на ресурсите и справедливост на разпределянето им между потребителите. Реализирането на планиране за n -тия потребител в m -тия ресурсен блок може да се изрази чрез уравнение (1.2):

$$\alpha_{n,m}^{RR} = \tau - T_n, \quad (1.2)$$

където t е текущият времеви слот, а T_n е най-новият времеви слот, когато е обслужен потребител n .

1.9.2. Алгоритъм First Come First Served (FCFS)

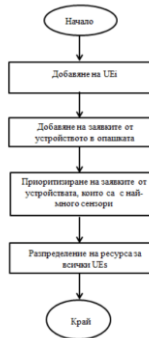
Алгоритъмът FCFS разпределя мрежовите ресурси на потребителите според реда на пристигане на заявките от устройствата (Фиг.1.21).



Фиг. 1.21 FCFS алгоритъм

1.9.3. Алгоритъм Least Number of Sensors First (LNSF)

При Knowledge based алгоритмите се използва информация за приложенията, за мрежата или и двете, за да се приоритизира трафика. Тук разпределението на ресурсите се базира на LNSF алгоритъм (Фиг. 1.22), който приоритизира заявките само въз основа на броя сензори, изискващи връзка с приложението.

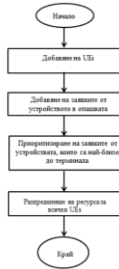


Фиг. 1.22. LNSF алгоритъм

Алгоритъмът LNSF използва разпределение, според което ресурсите се разпределят в зависимост от разстоянието на крайните устройства (сензори) до терминала (Фиг.1.22).

1.9.4. Алгоритъм Least Number of Hops First (LNHF)

Планирането на разпределението на ресурсите при Knowledge of Network алгоритмите се базира на алгоритъма LNHF (Фиг. 1.23), който приоритизира заявките въз основа на средното разстояние между координатора и сензора, получил заявка за свързване от него. Тези алгоритми са подходящи за сензорни мрежи, които поддържат един и същ тип приложения в мрежата или един и същ брой сензори и имат сходни средни разстояния до координатора.



Фиг. 1.23. LNH алгоритъм

Доказано е, че LNSF и LNHF алгоритмите са подходящи за мрежи, работещи с един клас приложения, които използват сходен брой сензори, или за безжични сензорни мрежи, поддържащи приложения със сходни средни разстояния от сензорите до терминалното устройство.

При случаи, в които сензорните мрежи поддържат различен тип приложения или сензорите са разположени на различни разстояния от координатора, се взема предвид информацията както за приложенията, така и за мрежата. Характеристиките, използвани от тези алгоритми са:

- Number Distance Product – общият брой сензори, изпратили заявка до дадено приложение и средното разстояние на тези сензори от терминала на кълъстера. Разстоянието се измерва в брой хопове (Hops) от сензорния възел до координатора;

- Farthest Number Distance Product – разстоянието от най-отдалечените сензорни възли до координатора;

- Weighted Farthest Number Distance Product – сензорните възли получават тегла според разстоянието им от координатора. Възлите, които са по-далеч, получават по-високи тегла, а близките – по-ниски. Възлите с по-ниско тегло се обслужват с по-висок приоритет от тези с по-високо тегло, защото са по-близко до координатора, което означава, че има по-малко смущения и забавяне в комуникацията.

1.9.5. Алгоритъм на Wang

Алгоритъмът на Wang за приоритизиране на трафика в Li-Fi мрежи се базира единствено на приоритизиране на устройствата според изисквания от тях клас на услугите (Фиг. 1.24). В QoS параметрите на Li-Fi мрежите са дефинирани 4 класа услуги (Таблица 1.4).

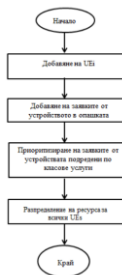
Таблица 1.4. Класове услуги в Li-Fi мрежи

Видове класове услуги	Тип на трафика
Class 1 – приоритет 1	<ul style="list-style-type: none"> • Заявки за реализиране на handover • Заявки за възстановяване на връзката; • Гласови повиквания
Class 2 – приоритет 2	<ul style="list-style-type: none"> • Видео обаждания
Class 3 – приоритет 3	<ul style="list-style-type: none"> • Интернет сърфиране • Видео • Гласове съобщения • HDTV
Class 4 – приоритет 4	<ul style="list-style-type: none"> • Службена информация за управление на трафика

От Таблица 1.4 се вижда разпределението на отделните типове услуги в обобщени класове с различни нива на приоритизация. “Class 1” е с най-висок приоритет и съдържа следните услуги – заявки за реализиране на handover, заявки за възстановяване на връзката и гласови повиквания. Вторият по приоритет е “Class 2”. Той съдържа услуги за видео обаждания. Третият е “Class 3” с

услуги за Интернет сърфиране, HDTV и гласови съобщения. Най-нисък приоритет има „Class 4”, който е предназначен единствено за служебна информация за управление на трафика.

Алгоритъмът на приоритизиране на Wang е представен на Фиг.1.24 и се състои в следното: За всяко от крайните устройства се проверява класа на изисканите услуги, за да се подредят устройствата според зададения приоритет. След това се взема броя на всички устройства и се разделя на максималния брой на ресурсните блокове за един таймслот, като се оставят свободни 5 ресурсни блока за всеки таймслот. Това се прави, за да има резерв за новопостъпили устройства, които са в режим на изчакване и получават в този момент само служебен трафик, поддържащ връзката между устройството и терминала. Главно предимство на този алгоритъм е, че се отчитат различните класове услуги, което спомага за по-бързото получаване и обработване на високо-приоритетните видове услуги, но има недостатък, че не се следи дали устройствата са подвижни или не и на какво разстояние се намират от терминала.



Фиг. 1.24. Алгоритъм на Wang

1.10. Предимства и недостатъци на разгледаните алгоритми за разпределяне на ресурса при Li-Fi технология

Таблица 1.5. Основни предимства и недостатъци на разгледаните алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи

Алгоритъм за приоритизиране на трафика от планировчика на Terminal при Li-Fi безжични мобилни мрежи	Предимства	Недостатъци
Round Robin (RR)	опростена функционалност справедливо разпределяне на ресурсите	предоставя по-ниска пропускателна способност не прилага приоритети
First Come First Served (FCFS)	опростена функционалност увеличена пропускателна способност лесна реализация	предоставя ниска пропускателна способност не прилага приоритети обслужва само 1 устройство в даден момент
Least Number of Sensors First (LNSF)	прилага приоритет; ускорява обслужването на заявки изискани от малко възли.	използва само един критерий за приоритизиране; не предоставя приоритет на спешен трафик, ако има такъв;
Least Number of Hops First (LNHF)	прилага приоритети ускорява обслужването на заявки изискани от най-близките до координатора възли	използва само един критерий за приоритизиране не взема предвид типа на трафика
Алгоритъм на Wang	прилага приоритет на база класове услуги справедливо разпределяне на ресурсите	използва само един критерий за приоритизиране не взема предвид разстояние до терминала не се проверява дали устройствата са мобилни

1.11. Изводи

- Li-Fi е сравнително нова, скъпа и все още не много широко използвана съвременна технология. Тя позволява изграждане на сигурна локална безжична мрежа;
- Продължаващото нарастване на интереса към Li-Fi технологията в световен мащаб увеличава очакванията на потребителите по отношение на QoS. Има патентовани решения, които предлагат различни алгоритми за приоритизация на трафика. Те не са базирани на класическите алгоритми за приоритизация и въпреки, че осигуряват гъвкаво обслужване, предлагат решения за подобряване на QoS само в определени аспекти. От тази гледна точка, голям практически интерес представлява създаването на нови алгоритми за приоритизиране на трафика при използване на Li-Fi технология, съобразени с нарастващите изисквания на потребителите;
- Разрастването на съвременните сензорни мрежи като част от Интернет на обектите и постепенното им навлизане в ежедневието е причина да се търси все по-добро QoS за техните потребители. Приоритизацията на трафика при съвременните мрежи от този тип е едно от евтините решения за подобро QoS, тъй като тя реализира концепцията „Virtual Sensor Network“. Това позволява обслужването на различни приложения в рамките на една и съща сензорна мрежа, която може да се реализира на база Li-Fi технология;
- Съществуващите алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi ускоряват обслужването на заявки при сензорна мрежа с еднотипни приложения, но при тях не се вземат предвид редица параметри, като: тип на изисквания трафик; спешност на данните; скорост на преместване на мобилно устройство и др. Това води до необходимостта от разработване и изследване на нови алгоритми за приоритизиране на трафика, отговарящи на изискванията на този тип мрежи.

Глава 2. Методи и средства за повишаване на качеството на услугите в безжични мрежи за IoT

Във втора глава са изложени мотивите за създаване на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Представена е структурата и функционалността на съществуващи алгоритми за приоритизация при тази технология. Предложена е система от показатели за прецизно оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в безжични мрежи. Описан е предлаганият в дисертационния труд алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Представен е предложеният в дисертационния труд симулационен продукт за Li-Fi мрежи. Описана е създадената прототипна Li-Fi мрежа, реализираща предложени алгоритъм за приоритизиране на трафика.

2.1. Методи за приоритизиране на трафика в Li-Fi безжични мрежи.

2.1.1. Критерии за оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в Li-Fi мрежи

Очакваното нарастване на безжичните Li-Fi мрежи [36] изисква разработване на нови алгоритми за приоритизиране на трафика от мобилни устройства за IoT мрежи.

Особено важно е приоритетното обслужване на приложения от сферата на здравеопазването, поради критичния характер на тази област. Li-Fi технологията може да играе важна роля в проследяването на здравния статус на пациентите в реално време чрез реализиране на handover между външните (outdoor) клетки в линейките на болничното заведение и последващ продължителен мониторинг във вътрешните (indoor) клетки в сградата на

болничното заведение. Благодарение на факта, че технологията използва спектъра на видимата светлина вместо електромагнитния спектър, няма взаимодействия с медицинска апаратура и не се появяват смущения от скенерите за електромагнитен резонанс.

На база на направения анализ в глава 1.9, в дисертационния труд се предлагат следните критерии за оценяване работата на различните алгоритми за приоритизиране на трафика в Li-Fi мрежи:

- приоритизиране на потребителските устройства на база разстояние до терминалното устройство;
- приоритизиране на потребителските устройства на база типа им – статично/мобилно UE;
- приоритизиране на потребителските устройства на база скорост на движението им в момента на прилагане на приоритизацията;
- приоритизиране на потребителските устройства на база предлагани класове услуги (Class1-Class4);
- приоритизиране на потребителските устройства на база брой RB, които са останали за обслужване за следващ времеви период;
- реализация на handover без загуба на пакети и закъснения.

Изложените критерии за извършване на комплексен сравнителен анализ на алгоритми за приоритизиране на трафика може да се приложат за такива, свързани с Li-Fi комуникации.

Съобразявайки се с тези критерии, предлаганият в дисертационния труд алгоритъм има за основна цел да подобри качеството на обслужване за устройствата, разположени по-близо до терминала и да се минимизират загубите, причинени от извършването на handover при мобилните устройства.

2.1.2. Предлаган алгоритъм за приоритизиране на трафика в терминала в Li-Fi мрежа

Предоставяне на достатъчно от гледна точка на потребителите QoS е един от ключовите проблеми при навлизането на Li-Fi мрежите в пазара за Интернет на обектите. Качеството на услугите се измерва с параметри като честотна лента, пропускателна способност, трептене, закъснение, честота на грешките, брой недоставени пакети и т.н. При традиционните безжични сензорни мрежи като количествени измерители за качество на услугите се разглеждат специфични за приложенията аспекти – точност на данните, забавяне на агрегиране, покритие и състояние на мрежата.

Алгоритмите за приоритизиране на трафика и управление на ресурсите включват възможности за управление на: пакетите (Packet Scheduling), натоварването (Load Control), контрол на достъпа (Admission Control) и реализиране на потребителска мобилност (Handover Control). Всеки един от тези алгоритми се използва за подsigуряване на максимална производителност на отделните услуги и по-добра пропускателна способност на мрежата. Целта им е да се поддържа възможно най-висока пропускателна способност на мрежата, поддържане на високоскоростна връзка и възможност за безпроблемно преминаване на UEs между отделните обслужващи клетки.

С цел да се осигури адекватно качество на услугите, което да отговаря на предизвикателствата при мрежи за Интернет на обектите, използващи Li-Fi технология, в дисертационния труд се предлага алгоритъм за приоритизиране на трафика от терминала на Li-Fi мрежата. Качеството на обслужване може да се осигури по време на обслужване на заявки от крайните устройства. За да може да се извърши това, крайното устройство трябва да бъде

свързано с терминала и той да има свободен ресурс, който да му предостави. Предлаганият в дисертационния труд алгоритъм за обслужване от терминал на потребителски устройства (UEs) (приоритизация в низходяща посока) при Li Fi мрежа се изпълнява на две стъпки – контролиране на достъпа и планиране на ресурсите.

2.1.2.1. Първи етап - контрол на достъпа

Контролът на достъпа управлява броя на UEs, от които може да се приемат заявки, в зависимост от натоварването и капацитета на мрежата по стандарт 802.15.7 [52]. Потребителите, чиито заявки са приети за обслужване, могат да се приоритизират и обслужат посредством алгоритъма за планиране на ресурсите, като по този начин се избягва претоварване на системата с твърде много UEs. Планировчикът (модулът за планиране и разпределение на заявените ресурси от свързаните UEs) разпределя ресурсните блокове по UEs според нуждите им. За да се задейства контрола на достъпа в терминала (Terminal), UE трябва да бъде свързан с него. За тази цел, когато UE е в обхвата на няколко терминала и иска да започне предаване на данни, се изпълнява следната последователност от действия:

1. UE инициира търсене на най-близкия от терминалите;
2. UE декодира системната информация, която изпраща терминала, към който UE прави опит да се свърже;
3. В случай на успешно свързване с терминала, UE започва процеса на автентизиране;
4. Ако автентизирането е успешно, UE изпраща заявка за свързване към терминала:
 - Ако UE не получи идентификатор от него, за това UE не се разпределят ресурси за предаване на потребителски данни, но то може само да следи канала за обслужване. В това състояние UE отпада;
 - Ако UE получи идентификатор от терминала, той изчислява колко ресурс (брой RB) може да му разпредели, въз основа на заложения алгоритъм за приоритизация. След това UE се синхронизира с терминала за изпращане/получаване на данни. Когато осъществи връзка с терминал, получава разпределените ресурси (изпратени/получени ресурсни блокове). Възможно е за някои времеви интервали UE да е неактивно за прехвърляне на данни. Това решение се взема от втория модул – планировчикът;
 - Ако UE получи идентификатор от терминала, но загуби синхронизация поради временна неактивност, UE може само да получава данни, но не и да изпраща.

2.1.2.2. Втори етап - планиране на ресурсите

След успешно свързване на UE с терминала се стартира работата на планировчика. Разпределението на ресурсите се реализира в следните стъпки:

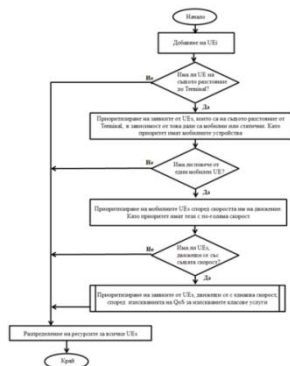
1. Определя се общият брой UEs (BR), които се обслужват от планировчика за този момент (t). Ако в предходния времеви интервал (t-1) са удовлетворени всички UEs, се използва (2.1), в противен случай (2.2).

$$BR_t = BR_{t-1} + 1 \quad (2.1)$$

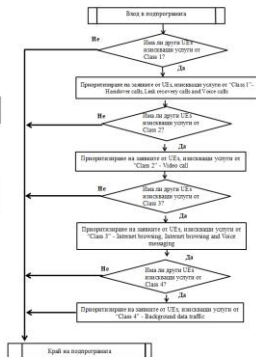
$$BR_t = BR_{t-1} - 1 \quad (2.2)$$

2. Определя се дали новия UE може да се включи за обслужване от планировчика: ако е достигнат максималния брой UE за обслужване в един таймслот, заявката от този UE се отхвърля, в противен случай UE се добавя в системата и планировчикът започва да обслужва неговите заявки.

Разпределението на ресурсите по UEs се базира на приоритети (Фиг. 2.1, Фиг.2.2).



Фиг. 2.1. Предлаган алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi



Фиг. 2.2 Блок „Приоритизиране на заявките от UE, движещи се с еднаква скорост, според изискванията на QoS за изискваните класове услуги“

Предложеният приоритизационен алгоритъм се изпълнява и работи по следния начин:

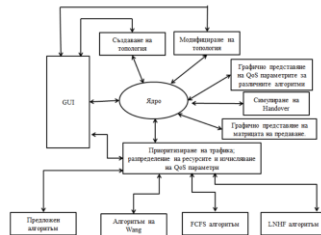
- Първоначално потребителските заявки се приоритизират според разстоянието до терминалното устройство, като по-висок приоритет получават заявките от UE, които се намират най-близо до терминала. Колкото по-отдалечен е даден потребител от терминалното устройство, толкова неговият приоритет става по-нисък, защото се намира по-близо до края на обслужващата го клетка. Ако UE е мобилно устройство, може да осъществи процедура по прехвърляне към друго терминално устройство;
- Ако множество UEs се намират на едно и също разстояние до терминала, се проверява дали устройството е мобилно или статично. Заявките от мобилните устройства се обслужват с по-висок приоритет;
- Когато мобилните потребители са много, заявките се приоритизират според скоростта на движение на UE. Заявките от потребители, които се движат с по-висока скорост се подреждат с по-висок приоритет, защото те ще преминат по-бързо през обслужващата клетка (осъществили са връзка с нейния терминал) и ще инициират прехвърляне на предаването към друга клетка (ще разпадна съществуващата връзка и ще изградят нова към следващия терминал в посоката на движението им). Ако тези заявки не се третират с приоритет, това ще доведе до влошаване качеството на услугите за тези потребители, т.к. връзката може да се разпадне и да се загубят изпратени пакети;
- Когато има множество UEs, които се движат с една и съща скорост, заявките се приоритизират според изискваните класове услуги. Използвана е класификацията по класове услуги на, описани в Таблица 1.4.

Разпределението на ресурсите след приоритизиране на потребителските заявки, получени в планировчика, е неравномерно. Повече ресурси се заделят за потребителите, които са получили по-висок приоритет на заявките според алгоритъма. Потребителските заявки, за които няма достатъчно ресурс за обслужване в текущия интервал за предаване (Transmission Time Interval – TTI) се отлагат за обслужване в следващия TTI.

2.2.2 Предлагана симулационна среда за изследване QoS при Li-Fi мрежи

За целите на дисертационния труд е разработен симулатор на Li-Fi мрежа на Visual Basic с отворен код. Софтуерът позволява моделиране както на предложението в дисертационния труд алгоритъм, така и на алгоритмите, разгледани в глава 1.9 на дисертационния труд за приоритизиране на трафика чрез разпределяне на ресурсите, както и симулиране на различен вид трафик. Чрез симулатора може да се изгражда Li-Fi мрежа, в която всяко базово устройство (терминал) включва в себе си алгоритъм за приоритизиране на трафика и разпределяне на ресурсите. Има възможност за симулиране на хоризонтален handover на мобилните устройства към друга клетка (друг терминал) и осигурява изследване на матрицата на предаване според OFDM модулация. Подробно описание на предложението продукт е представено в Приложение 2.

Обща структура на предложението симулатор е показана на Фиг.2.3.



Фиг. 2.3. Структура на разработения симулатор

Разработената симулационна среда включва в себе си основни модули за работа:

- „Graphical User Interface (GUI)” блок – Включва лесен и интуитивен интерфейс за работа, чрез който могат да се контролират основните реализирани функционалности;
- Блок „Ядро“ – Основният блок в системата, който реализира всички операции по създаване или модифициране на топологията; приоритизиране на трафика; симулиране на handover; разпределяне на ресурсите и изчисляване на QoS параметри; графични представяне на QoS параметрите;
- Блок „Създаване на топология“ – Ключов блок, използващ се за създаване на нова топология, изградена от терминални устройства и свързаните към тях UEs. Задават се параметрите за всяко едно от терминалните устройства; въвежда се на информацията за UEs, свързани към всяко едно от терминалните устройства; маркират се терминалните устройства, които са в съседство едно с друго за осъществяване на handover;
- Блок „Редактиране на топология“ – Позволява редактиране на вече въведената топология като предоставя възможност за модифициране на различните параметри на всяко едно от устройствата, въведени в топологията;
- Блок „Приоритизиране на трафика; разпределяне на ресурсите и изчисляване на QoS параметри“ – В рамките на този блок са включени три от основните функционалности на симулатора, а именно:
 - o Приоритизиране на трафика според интегрираните в симулатора алгоритми – FCFS, LNHF, алгоритъм на Wang и предложението в дисертационния труд.
 - o В зависимост от избрания приоритизационен алгоритъм, се разпределят изисканите от UEs ресурси – пресмятат се ресурсните блокове, които ще получи всяко UE за

един таймслот; пресмятат се ресурсните блокове за 10 таймслота за всеки един от UEs и броя таймслотове, необходими за цялостното предаване на изисканите ресурсни блокове;

о Изчисляват се QoS параметри за пропускателна способност (Throughput), забавяне (Delay), съотношение на доставени пакети (Packet Delivery Ratio) и съотношение на изгубени пакети (Packet Loss Ratio) съответно за избрания алгоритъм;

- Блок „Симулиране на Handover” – Чрез този блок може да се извърши симулиране на handover. Прехвърлянето на дадено UE от обхвата на една точка в обхвата на друга се извършва в зависимост от скоростта му на движение и посоката, в която се движи то. Ако терминалното устройство, към което е свързано в момента даденото UE има съседни други терминални устройства в посоката на движение на UE, след успешно напускане на обхвата на текущия терминал и навлизането в обхвата на съседния терминал, се осъществява успешно свързване към втория;

- Блок „Графично представяне на QoS параметрите за различните алгоритми“ –могат да бъдат представени графично стойностите на параметрите за Throughput, Delay, съотношение доставени пакети и съотношение изгубени пакети за всеки един от имплементираните алгоритми за приоритизиране на трафика;

- Блок „Графично представяне на матрицата на предаване“ – Представя визуална интерпретация на матрицата на предаване според OFDM модулация за 10 таймслота.

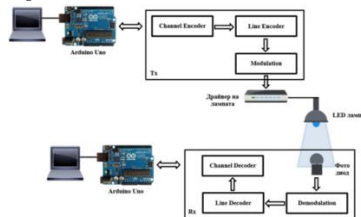
2.2.4. Предложена прототипна Li-Fi мрежа

Съществуващите модули за Li-Fi мрежи притежават един главен недостатък, а именно високата цена. Това налага търсенето на нови по-достъпни решения за реализирането на Li-Fi комуникационни мрежи.

На база на направения анализ, е дефинирана система от показатели, на които трябва да отговарят модулите за Li-Fi мрежа, а именно:

- **Разстояние, при което се предават данни между предавателя и приемника;**
- **Скорост на пренос на данните;**
- **Максимален брой свързани устройства;**
- **Възможност да се използва в закрити помещения;**
- **Възможност за използване в открити пространства;**
- **Цена;**
- **Еднопосочна (Simplex) или двупосочна (Duplex) комуникация;**
- **Лесна инсталация.**

На база на направения анализ на предлагани решения и на така дефинираната система от показатели, за целите на дисертационния труд е разработена прототипна Li-Fi мрежа, която се състои от 3 предавателя и 3 приемника. На Фиг. 2.14 е представена реализираната прототипна Li-Fi мрежа за топология реер-to-реер.



Фиг. 2.14. Блок- схема на прототипна Li-Fi мрежа

- Предложен е алгоритъм за приоритизиране на трафика в Li-Fi безжична мрежа, при който се постига подобро качество на обслужване на потребителите;
- Разработена е симулационна среда за симулиране на Li-Fi мрежа, която реализира както съществуващи приоритизационни алгоритми, така и предложения в дисертационния труд алгоритъм за приоритизация;
- Разработена е прототипна Li-Fi мрежа, реализираща предложени приоритизационен алгоритъм и позволяваща провеждане на експериментални изследвания в реална среда.

Глава 3. Експериментални изследвания и резултати

В тази глава са изследвани описаните в Глава 1 класически алгоритми и предложеният от автора в Глава 2 алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Симулирани са различни ситуации и са представени получените резултати за изследване качеството на обслужване. Разгледани са ситуации при статични (infrastructure) и мобилни (mobile, vehicle) устройства и как различните алгоритми влияят на обслужването на потребителите. Извършен е комплексен сравнителен анализ на тези алгоритми за приоритизация при Li-Fi мрежи. Проведени са експериментални изследвания с представената в Глава 2 прототипна Li-Fi мрежа. Представени са получените резултати от изследванията.

3.1. Качествени и количествени параметри за анализ на качеството на услугите при Li-Fi мрежи

Поради очевидната разнотипност на показателите за оценка на алгоритми за приоритизация на трафика, извеждане на конкретна функция за качеството на различни алгоритми е невъзможна. В такива случаи се използват усреднени комплексни показатели. Методът с усреднени комплексни оценки може да се използва по подобен начин и за реализиране на сравнителен анализ между симулационни продукти за изследване на качеството на услугите при Li-Fi мрежи.

Комплексният анализ се избира да се основава на средна аритметична и средна геометрична оценка, които се оценяват съответно по формулите (3.1) и (3.2).

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n b_i d_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (3.1)$$

$$R_g = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{b_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i}} \quad (3.2)$$

Реализирането на комплексен сравнителен анализ позволява да се избегне субективността на автора при оценяване обекта на сравнение. Изборът на геометрична и аритметична математическа зависимост се определя като оптимален от гледна точка на състоятелност, нормираност и сравнимост. Грешките в оценките на единичните показатели при използване на геометрична и аритметична зависимост осигуряват компромисно изпълнение на условията за максимална чувствителност при влошаване на единичните показатели за качество и минимална чувствителност към грешките при определянето им.

3.2. Резултати от изследвания на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi технология

С цел изследване качеството на услугите при Li-Fi мрежи, са направени експериментални изследвания за сравнение на предложени алгоритми с описаните в Глава 1.9. алгоритми за приоритизиране на трафика от терминалното устройство. Чрез разработения за целите на дисертационния труд симулатор (Приложение 2) се отчитат стойностите за пропускателна

способност (Throughput), забавяне (Delay), съотношение на доставени пакети (Packet Delivery Ratio) и съотношение на изгубени пакети (Packet Loss Ratio) за всеки един от алгоритмите – както за предложения в дисертационния труд, така и за представените в Глава 1.9. класически алгоритми.

Таблица 3.2. Изследване на пропускателна способност за статични устройства

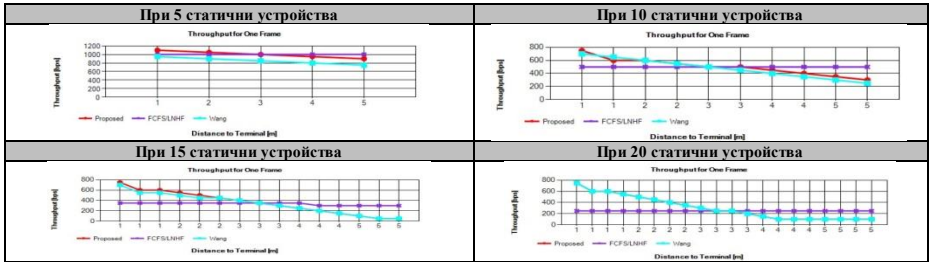
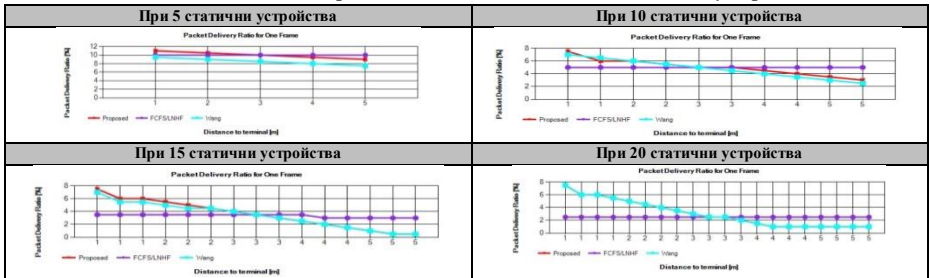


Таблица 3.3. Изследване брой на доставени пакети за статични устройства



При 10 и 15 UE общо броят на получените пакети при предложени алгоритъм е повече от тези при алгоритмите на Wang, FCFS и LNHF. При 15 устройства за предложени алгоритъм се наблюдава намаляване на броя на получените пакети за по-ниско приоритетните устройства, като по този начин се приближава до резултатите от алгоритъма на Wang за съответното устройство. При FCFS и LNHF стойностите за доставени пакети са равномерни за всички устройства.

Таблица 3.4. Изследване броя на изгубени пакети за статични устройства

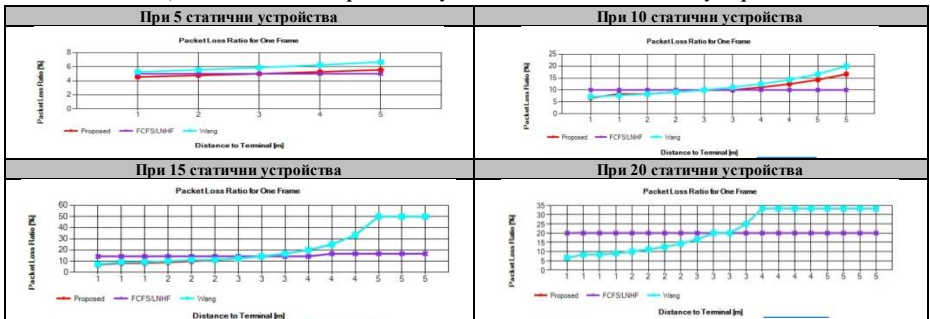
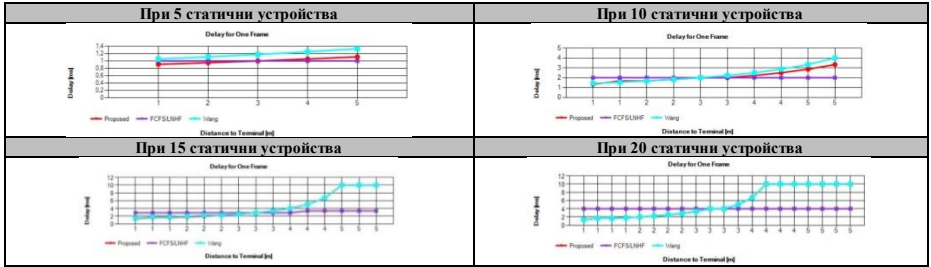
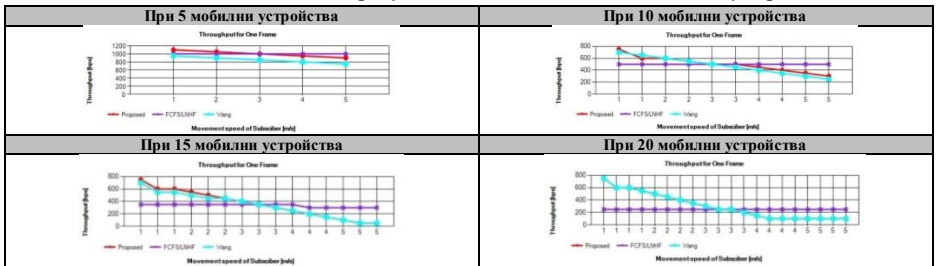


Таблица 3.5. Изследване на закъснение за статични устройства



При алгоритъма на Wang се получават сходни стойности, почти прекриващи се с тези на предложенния алгоритъм. Разликата се получава при по-отдалечените устройства, където при алгоритъма на Wang се забелязва по-голямо забавяне. Отново се наблюдава равномерност при закъснението за FCFS и LNHF алгоритмите.

Таблица 3.7. Изследване на пропускателна способност за мобилни устройства



При 5, 10 и 15 мобилни UEs предложеният алгоритъм дава много добри стойности за пропускателната способност на тези устройства, които се движат с по-ниска скорост. С увеличаване на скоростта на UEs пропускателната способност намалява. При алгоритъма на Wang също се получават стойности близки до тези на предложеният алгоритъм, но с малко по-ниски стойности. При 20 мобилни UEs предложеният алгоритъм и този на Wang достигат еднакви стойности за пропускателна способност, като се забелязва драстично намаляване на пропускателната способност на по-бързо движещите се устройства за сметка на тези, които са с по-ниска скорост на движение.

Таблица 3.8. Изследване брой на доставени пакети за мобилни устройства

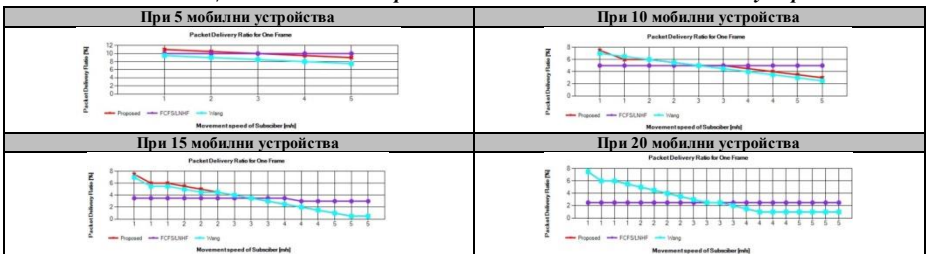
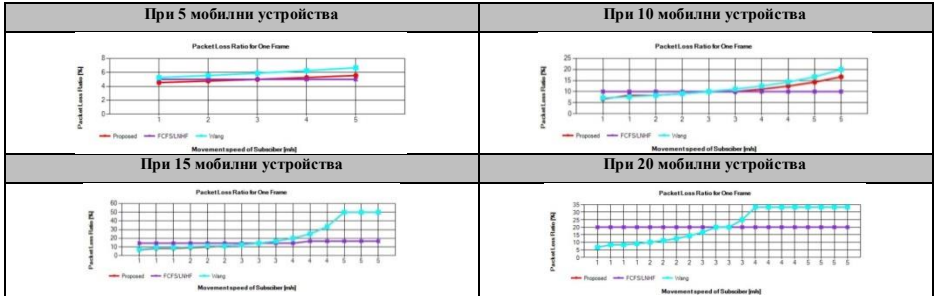
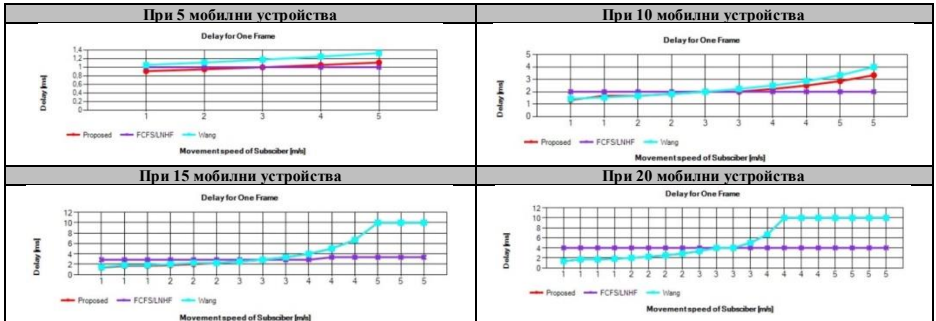


Таблица 3.9. Изследване съотношение на изгубени пакети за мобилни устройства



При мрежа с 5 мобилни UEs се забелязва, че предложеният алгоритъм осигурява по-малко на брой изгубени пакети сравнено с предложението на Wang. Най-малка загуба като брой пакети получават по-бавните UEs. FCFS и LNH алгоритмите от своя страна поддържат еднакъв брой доставени пакети, както за по-бавните, така и за по-бързите UEs. Най-голямо количество пакети се губят при алгоритъма на Wang. При над 15 мобилни UEs се наблюдава препокриване на стойностите от предложението алгоритъм и този на Wang, като с увеличаване на броя свързани устройства все повече от ниско приоритетните UEs – по-бързите, губят все по-голям брой пакети.

Таблица 3.10. Изследване на закъснение за мобилни устройства



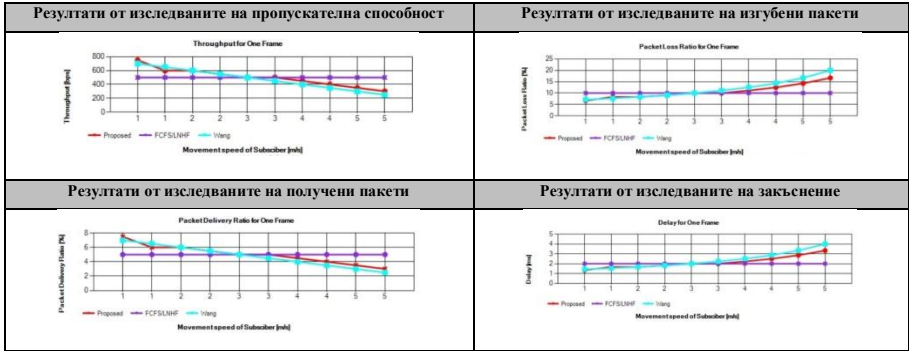
Резултатите от проведените експериментални изследвания дават основание да се приеме, че предложеният в дисертационния труд алгоритъм за приоритизация при Li-Fi дава по-добри резултати спрямо класическите алгоритми по отношение на: „Начин на разпределяне на ресурсите по UEs“ и „Предоставя приоритетно обслужване на заявки от UEs, които се движат с ниски скорости“. По отношение на останалите показатели предложеният алгоритъм постига съизмерими резултати с класическите алгоритми.

3.3. Изследване на алгоритми за приоритизиране на трафика при извършване на хоризонтален handover при Li-Fi технология

В Таблица 3.12, са представени резултатите за изследваните параметри преди извършването на handover както според предложението в дисертационния труд алгоритъм, представен в глава 2,

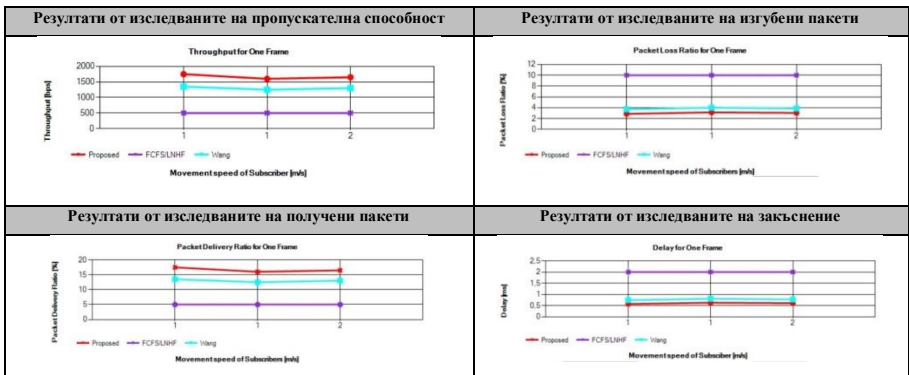
така и с класическите алгоритми за приоритизиране на трафика за терминалното устройство, описани в глава 1.9. на дисертационния труд и реализирани в симулатора.

Таблица 3.12. Резултати от изследваните параметри преди извършването на handover.



В таблица 3.13 са представени резултатите от изследваните параметри за терминално устройство 1 след извършването на handover.

Таблица 3.13. Резултати от изследваните параметри след извършването на handover.



За цялостна оценка се прилага метода описан в точка 3.1, като се използват критериите, предложени в Глава 2 на дисертационния труд за оценяване на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи.

Според резултатите, получени за комплексните оценки, може да се твърди, че предложеният в дисертационния труд приоритизационен алгоритъм се явява по-добър от останалите, т.к. и средно-аритметичната и средно-геометричната оценка за него са по-големи от всички останали, а при избраната скала на преобразуване в относителни стойности по-високите стойности за всеки от критериите са по-добри. Предложеният алгоритъм има няколко предимства: спазва напълно 802.15.7 стандарта; предлага приоритизиране на заявките за по-близко стоящите до терминала UEs; предлага приоритизиране на заявките от мобилните UEs, което намалява

загубите, причинени от handover процедура. На база на това се постига подобряване на качеството на услугите за крайните потребители.

Таблица 3.15. Средна аритметична и средна геометрична комплексна оценка на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи

Комплексна оценка	Предложен алгоритъм	RR	Wang	FCFS	LNHF
Ra	0.250	0.164	0.210	0.160	0.190
Rg	0.248	0.156	0.220	0.155	0.185

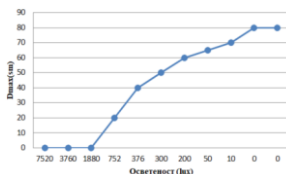
Според представените резултати от изследването поради широкия набор от разглеждани критерии най-подходящи за изследване на Li-Fi мрежите се явяват MATLAB, OptSim и NS-3. При изследване на критериите поотделно, обаче, се вижда, че предложеният симулатор предоставя по-добри стойности за показателите: „Лесна инсталация“, „Използвана памет“ и „Лиценз за ползване“, които са от изключителна важност по отношение на използването на симулатор при обучение.

Таблица 3.17. Комплексни оценки за сравнение на симулационни продукти за Li-Fi мрежи

Комплексен показател	Изследвани симулатори					
	OptSim	VEINS VLC	NS-2	NS-3	MATBAL	Предложен
R _e	0.364	0.326	0.360	0.369	0.399	0.342
R _c	0.236	0.232	0.251	0.328	0.328	0.233

3.6. Изследване на предложената прототипна Li-Fi мрежа

Извършени са експериментални изследвания за влиянието на различни видове смущения в комуникационната среда. Част от направените експерименти са направени в стая с южно изложение на дневна светлина между 13 и 17 часа следобед, при наличието на директна слънчева светлина, влизаща през прозорците.



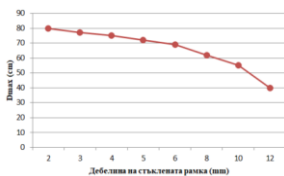
Фиг. 3.3. Влияние на слънчевата светлина на разстоянието на предаване

Направени са експерименти за въздействието на водата като преносна среда между предавателя и приемника.

Таблица 3.18. Успешно осъществяване на Li-Fi комуникация през вода.

Разстояние в cm	Прясна вода	Солен разтвор 10%	Солен разтвор 20%
25	Да	Да	Да
50	Да	Да	Не
60	Да	Да	Не

Друга част от направените опити изследват влиянието на „прозрачно бяло стъкло“ като преносна среда между предавателя и приемника.

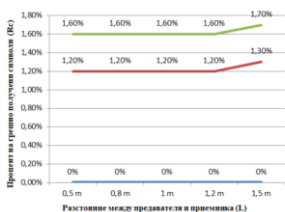


Фиг. 3.6. Въздействие на стъклената рамка на разстоянието за успешна комуникация

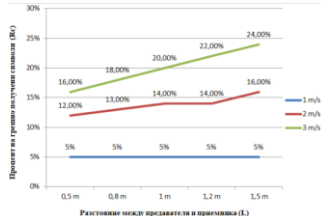
Направени са изследвания на разработената прототипна Li-Fi мрежа при наличието на различни дебелини стъкла.

Таблица 3.19. Резултати от изследване на работа в преносна среда „прозрачно бяло стъкло“ между приемник и предавател.

„Прозрачно бяло стъкло“ в mm	Разстояние между приемника и предавателя, на което се приема без грешки в cm
2 mm	80 cm
3 mm	77 cm
4 mm	75 cm
5 mm	72 cm
6 mm	69 cm
8 mm	62 cm
10 mm	55 cm
12 mm	40 cm



Фиг. 3.5. Процент неправилно получени символи за изпратени 10 000 символа



Фиг. 3.6. Процент неправилно получени символи за изпратени 100 000 символа

3.8. Изводи

- Резултатите от проведените експериментални изследвания дават основание да се приеме, че предложеният в дисертационния труд алгоритъм за приоритизация при Li-Fi дава по-добри резултати спрямо класическите алгоритми по отношение на: „Начин на разпределяне на ресурсите по UEs“ и „Предоставя приоритетно обслужване на заявки от UEs, които се движат с ниски скорости“. По отношение на останалите показатели предложеният алгоритъм постига съизмерими резултати с класическите алгоритми.
- Комплексната аритметична и геометрична оценка на предложението в дисертационния труд алгоритъм за приоритизация при Li-Fi показват, че той според формулираните в дисертационния труд критерии се явява по-добър от останалите.

- Направените комплексни оценки на разработения за целите на дисертационния труд симулатор за приоритизиране на трафика при Li-Fi показват, че той има съизмерими с разглежданите симулатори характеристики, което дава повод за твърдение, че е подходящ за целите на обучението.
- На база резултатите от проведените експериментални изследвания може да се приеме, че разработената за целите на дисертационния труд прототипна Li-Fi мрежа е напълно работоспособна и реализира хоризонтален handover без разпадане на връзката.
- Предложеният в Глава 2 алгоритъм за приоритизиране на трафика е практически реализиран и показва своята функционалност в реални условия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

IoT е явление, способно да преустрои икономическите и обществени процеси така, че да изключи необходимостта от участие на човека в част от действията и операциите по управлението на обектите.

В съответствие с основната цел, в дисертационния труд е направен анализ на съществуващи решения за алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Представени са техните предимства и недостатъци при тяхната реализация.

В дисертационния труд е обоснована необходимостта от оптимизиране качеството на обслужване и създаване на алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи.

Предложен е алгоритъм за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Със симулация на експериментална мрежа е доказана ефективността на предложения алгоритъм за Li-Fi мрежа, постигащ подобро качество на обслужване за: UEs, намиращи се на разстояние до 3 m от координатора (терминала); мобилните UEs, които се движат със скорост под 3 m/s; UEs, които се движат по-бързо преди и след извършване на handover.

Дефинирана е система от индикатори за оценка на функционалността на симулатори на Li-Fi мрежи. На базата на тази система е извършен сравнителен анализ, въз основа на което е създаден симулатор, отговарящ на критериите, по които не са достатъчно подходящи съществуващите.

В дисертационния труд е предложена система от показатели за оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в безжични мрежи. На нейна основа е извършено експериментално изследване и сравнителен анализ на предложения със съществуващи алгоритми за приоритизиране на трафика при Li-Fi мрежи. Резултатите от направените изследвания доказват по-високата ефективност на предложения в дисертационния труд алгоритъм при обслужване на по-близки до обслужващото устройство статични и по-бързо движещите се мобилни устройства.

Създадена е прототипна Li-Fi мрежа, реализираща предлагания в дисертационния труд приоритизационен алгоритъм. Резултатите от направените изследвания доказват високата ефективност на предложената в дисертационния труд прототипна Li-Fi мрежа при реализация на хоризонтален handover и възможност за използване при експериментални изследвания и учебни цели.

Приноси на дисертационния труд

Приноси с научен характер:

- Предложен е алгоритъм за приоритизиране на трафика в Li-Fi мрежа, който подобрява качеството на обслужване на статични и мобилни устройства.

Приноси с научно-приложен характер:

- Дефинирана е система от показатели за оценяване ефективността на алгоритми за приоритизиране на трафика в Li-Fi безжични мрежи;
- Дефинирана е система от показатели за оценяване на симулационни продукти за Li-Fi мрежи;
- Дефинирана е система от показатели за оценяване на модули за Li-Fi мрежи;

Приноси с приложен характер:

- Разработена е симулационна среда за моделиране на разпределяне на ресурси и изследване качеството на обслужване (QoS) при Li-Fi мрежа в дадена клетка и при хоризонтален handover;
- Разработена е прототипна Li-Fi мрежа, реализираща предложения алгоритъм за разпределяне на ресурса в дадена клетка и хоризонтален handover.

Публикации по темата на дисертационния труд

1. Динев, Д. Технология Li-Fi – перспективи, //Компютърни науки и технологии, ТУ-Варна, 2017, бр. 1, с. 59-63, ISSN: 1312-3335
2. Dinev D. Model for Research of Li-Fi Communication //Proceedings of the 1st International Conference “Applied Computer Technologies” ACT 2018. Ohrid, Macedonia, 21-23 June 2018, pp: 131 – 134. ISBN: 978-608-66225-0-3
3. Динев, Д. Изследване на физически прототип за LI-FI комуникация, //Компютърни науки и технологии, ТУ-Варна, 2018, бр. 2, с.54-58, ISSN: 1312-3335
4. Dinev, D., Aleksieva, V., Valchanov, H. “Comparative Analysis of Prototypes Based on Li-Fi Technology”. // Proceedings, 2019 16-th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), 6-8 June 2019, Varna, Bulgaria, pp: 531-534, ISBN: 978-1-7281-1412-5. (индексирана в Scopus)
5. D. Dinev. ”Simulation framework for realization of horizontal handover in Li-Fi indoor network,” 2019 28th International Scientific Conference Electronics, ET 2019 - Proceedings, 12 September 2019, Sozopol, Bulgaria, ISBN: 978-172812574-9 (индексирана в Scopus)

Научно-изследователска работа по други договорни теми и задачи:

- НП5/2018 „Интегриране на машинно обучение и виртуализационни технологии за реализация и управление на облачни услуги“ с ръководител доц. Х. Вълчанов;
- НП6/2018 "Платформа за интердисциплинарни научни изследвания" с ръководител доц. М. Стоева;
- Член на организационен комитет на пета научна конференция с международно участие „Компютърни науки и технологии“, 28-29 септември, 2018г., Варна, България;
- НП 10/2019 "Иновативни софтуерни приложения", с ръководител доц. М. Стоева;
- НП5/2019 „Изследване на качеството на услугите при безжични комуникации за Internet of Things“, с ръководител доц. В. Алексиева;
- ПД6/2019 „Изследване на QoS в мрежи, базирани на LiFi за IoT“, с ръководител доц. В. Алексиева.
- Участие в Национална програма „Млади учени и постдокторанти“ 2019г. – Етап 1
- Участие в Национална програма „Млади учени и постдокторанти“ 2020г. – Етап 2
- НП5/2020 „Изследване на възможностите за интегриране на машинно обучение и Blockchain технологии за Internet of Things“ с ръководител доц. Ж. Жейнов

Специални благодарности на:

доц. д-р инж. Венета Алексиева, доц. д-р инж. Христо Вълчанов, моето семейство и на всички, които са били съпричастни към моята дисертационна работа.

ABSTRACT

Dissertation Title: Methods and Means for Enhancing QoS in Wireless Communications Based on IoT

of the Requirement for the Degree Doctor of Philosophy

by MSc Diyan Zhelev Dinev

The aim of the presented PhD is to investigate the impact of traffic prioritization algorithms on the quality of service in wireless networks based on Li-Fi technology.

The first chapter presents the development of wireless networks based on visible light transmission. The specifics of VLC and Li-Fi wireless technologies are considered. The process of resource planning in Li-Fi is presented, as well as the requirements for quality of service. The most famous classical algorithms for prioritizing the traffic between the devices in Li-Fi indoor network are considered, and a summary of the main advantages and disadvantages of those algorithms are presented. The main goals and tasks of the PhD are formulated.

Chapter Two presents the motives for creating algorithms for prioritizing traffic on Li-Fi networks. The structure and functionality of existing algorithms for prioritization of this technology are presented. A system of indicators for precise evaluation of the efficiency of algorithms for prioritizing traffic in wireless networks is proposed. The algorithm for traffic prioritization in Li-Fi networks proposed in the dissertation is described. The simulation product for Li-Fi networks proposed in the dissertation is presented. The created prototype Li-Fi network is described, implementing the proposed algorithm for traffic prioritization.

Chapter three examines the classical algorithms described in Chapter 1 and the algorithm proposed by the author in Chapter 2 for prioritizing traffic on Li-Fi networks. Different situations are simulated and the results obtained for the study of the quality of service are presented. Situations in static (infrastructure) and mobile (mobile, vehicle) devices and how different algorithms affect customer service are considered. A complex comparative analysis of these prioritization algorithms in Li-Fi networks has been performed. Experimental studies were performed with the prototype Li-Fi network presented in Chapter Two. The results of the research are presented.