

АНОТАЦІЯ

Скрипник В.В. «Моделі та методи забезпечення якості обслуговування в мобільних мережах Інтернет речей». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 – «Телекомунікації та радіотехніка». – Державний університет телекомунікацій, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробці методики підвищення якості обслуговування абонентів в мобільних мережах Інтернет речей.

Технічні рішення, які забезпечують плавний перехід до впровадження та користування сервісів мереж 5-го покоління (5G) роблять ринок мобільних інформаційних технологій привабливим як для нових абонентів так і для користувачів мереж 3-го (3G) да 4-го (4G) поколінь. Нові технології допоможуть операторам стільникового зв'язку задовольнити швидкозростаючий попит абонентів на нові сервіси та послуги галузі інформаційних технологій.

Головною метою мобільних мереж Інтернет речей є забезпечення користувачів новими сервісами, послугами радіодоступу високої продуктивності, можливості передачі даних зі швидкостями понад 1 Гбіт/с., з організацією завадозахищеності каналу зв'язку на базі технології OFDM. Слід азначит, що разом з інформаційними технологіями розвивається і автомобільна промисловість, а це означає, що гарантовані послуги систем мобільного зв'язку повинні забезпечуватися не лише стаціонарним станціям (системам), а і при високих швидкостях пересування абонента.

Згідно з концепцією розвитку радіотехнологій провайдери та оператори стільникового зв'язку вже зараз можуть не тільки переводити свої мережі та користувачів на стандарт 4-го покоління (LTE - Long Term Evolution), але і впроваджувати нові технології 5G/IMT-2020. Сервіси та послуги на основі технології LTE будуть відправною точкою для забезпечення абонентів більшою швидкістю передачі даних, меншою затримкою та реалізацією

концепції IoT (Internet of things), що в свою чергу повністю змінить усталений формат взаємодії користувача з мультимедійним девайсом.

Основною відмінністю технологій четвертого покоління від попередніх є швидкість передачі даних, яка в низхідній лінії зв'язку (Downlink) долає відмітку у 100 Мбіт/с., завдяки чому з'явилась нова технологічна платформа радіозв'язку, яка використовуючи ширші смуги пропускання дозволяє операторам досягати вищої пікової пропускної здатності.

На сьогоднішній день для задоволення потреб користувачів в високих швидкостях взаємодії між девайсом та телекомунікаційною мережею єдиною відповідною технологією є OFDM (технологія ортогонального частотного ущільнення). У свою чергу LTE базується на технології мультиплексування за допомогою ортогональних OFDM несучих (трансляються за допомогою багатопроменевих систем MIMO (Multiple Input Multiple Output) та на еволюційній системній архітектурі мережі SAE (System Architecture Evolution).

Беручи до уваги, що максимально досяжні швидкості передачі даних також залежать і від відстані до об'єкта, дані технології можуть застосовуватися як для зв'язку з рухомими девайсами, так і зі стаціонарними терміналами зв'язку.

Для досягнення мети дисертаційної роботи, а саме розробки методики забезпечення якісних показників обслуговування мобільних мереж Інтернет речей, були вирішені наступні завдання:

Удосконалено нечітку часову модель розрахунку мобільності системи мереж Інтернету речей, яка формалізує вплив дестабілізуючих факторів на її функціонування.

Розроблено алгоритм підвищення показників надійності систем зв'язку, з використанням дубльованої системи. Проведено порівняльний аналіз підвищення показників надійності систем зв'язку технології LTE для дубльованої системи, нерезервованої системи, для навантаженого

дублювання без відновлення, а також для не навантаженого дублювання без відновлення.

Розроблено математичну модель формування сімейства кільцевих кодів типу 001011 та доведено, що за допомогою цієї моделі можна сформувати кільцевий код зазначеного типу будь-якої довжини та з будь-якою кількістю одиничних символів.

Розроблено методику оптимального прийому багатопозиційних сигналів гексагонального сузір'я за критерієм ідеального спостерігача на базі модуляції високих порядків, що має найвищу завадостійкість сигналів за двома координатами (x, y) наближену до потенційного можливої.

Дисертаційна робота має науково-практичний характер. Розглянуті в роботі задачі є новим внеском у перспективний напрямок досліджень теорії підвищення якісних показників обслуговування сучасних інфокомунікаційних мереж передачі даних.

У **вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, показано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок автора, наведено дані про апробацію та практичне впровадження, публікації та структуру роботи.

У *першому розділі* на основі опрацьованих літературних джерел визначено основні тематичні завдання, що можуть покладатися на розробку підвищення якості функціонування систем зв'язку стандарту LTE.

Розділ присвячено вирішенню основних питань щодо розвитку систем доступу на базі радіотехнології LTE та наведено визначення і основні характеристики стандарту бездротового зв'язку. Сформульовано основні вимоги до стандарту мобільних мереж четвертого покоління (4G), які задовольняють вимогам мереж Інтернету речей.

Зроблено висновок, що задля комфортної роботи з мережевими послугами IoT технологія LTE здатна забезпечувати швидкість передачі, що перевищує 100 Мбіт/с. для нізхідного і 50 Мбіт/с. для висхідного каналів.

У **другому розділі** розроблено модель опису зовнішніх дестабілізуючих факторів (ЗДФ) на параметри мережі LTE за допомогою нечітких класифікаторів. Враховуючи високу міру гетерогенності параметрів довкілля, в роботі були введені агреговані показники, що описують рівні різних типів впливу зовнішнього середовища: γ_1, γ_2, E . Значення кожного показника залежить від відповідної йому множини параметрів.

Розроблено алгоритм підвищення показників надійності систем зв'язку, з використанням дубльованої системи. Проведено порівняльний аналіз підвищення показників надійності систем зв'язку технології LTE для дубльованої системи, нерезервованої системи, для навантаженого дублювання без відновлення, а також для не навантаженого дублювання без відновлення.

В **третьому розділі** розроблено математичну модель формування сімейства кільцевих кодів типу 001011 та доведено, що за допомогою цієї моделі можна сформувати кільцевий код зазначеного типу будь-якої довжини та з будь-якою кількістю одиничних символів. Даний код запропоновано в якості різновиду циклічного коду що дозволяє використовувати його для кодування та декодування інформації при побудові ефективного каналу мережі Інтернет речей.

У **четвертому розділі** запропоновано методику оптимального прийому амплітудно-фазорізнецевої модуляції гексагональних сигнальних сузір'їв високих порядків. При цьому різниця фаз розраховується між трьома і більше послідовними посилками. При розрахунку різниці фаз між двома послідовними посилками забезпечується інваріантність стрибків фази в каналах. Таким чином проявляється інваріантність до зсуву частоти, що є необхідним для систем зв'язку 4-го покоління. Різниця фаз між трьома та більше послідовними посилками реалізується в диференційному кодери сигналів.

Методика використовує багаточастотний груповий сигнал з ортогональними несучими. Це дозволяє забезпечити системі властивість інваріантності, щодо завади типу нерівномірності АЧХ, нелінійності ФЧХ, імпульсних завад, короткочасних переривань зв'язку.

Дисертація виконувалась в Державному університеті телекомунікацій. За результатами досліджень опубліковано 7 наукових праць, з них: 4 статей у фахових науково-технічних журналах, 1 стаття у міжнародних виданнях та 1 публікація за матеріалами науково-технічної конференції.

Ключові слова: Інтернет речей, IoT, 5G, 4G, LTE, сигнальні сузір'я, надійність системи, OFDM, багатопозиційні сигнали, кільцевий код.

ANNOTATION

Skripnik V.V. "Models and methods of quality assurance in mobile networks of Internet of Things". - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 172 - "Telecommunications and radio engineering". - State University of Telecommunications, Kyiv, 2021.

The dissertation work is devoted to the development of methods for improving the quality of customer service in mobile networks of Internet of Things.

Technical solutions that ensure a smooth transition to the implementation and use of 5th generation (5G) network services make the mobile information technology market attractive for both new subscribers and users of 3rd (3G) to 4th (4G) generation networks. New technologies will help cellular operators meet the rapidly growing demand of subscribers for new services and services in the field of information technology.

The main purpose of mobile networks of the Internet of Things is to provide users with new services, high-performance radio access services, the ability to transmit data at speeds above 1 Gbps, with the organization of interference

protection of the communication channel based on OFDM technology. It should be noted that the automotive industry is developing along with information technology, which means that guaranteed services of mobile communication systems should be provided not only to fixed stations (systems), but also at high speeds of the subscriber.

According to the concept of radio technology development, providers and cellular operators can now not only transfer their networks and users to the 4th generation standard (LTE - Long Term Evolution), but also implement new 5G / IMT-2020 technologies. Services and services based on LTE technology will be the starting point for providing subscribers with higher data rates, less latency and implementation of the concept of IoT (Internet of things), which in turn will completely change the established format of user interaction with a multimedia device.

The main difference between the fourth generation technologies and the previous ones is the data transfer rate, which in the downlink (Downlink) exceeds the mark of 100 Mbit / s, thanks to which a new radio technology platform has appeared, which allows operators achieve higher peak bandwidth.

To date, to meet the needs of users in high speeds of interaction between the device and the telecommunications network, the only appropriate technology is OFDM (orthogonal frequency compression technology). In turn, LTE is based on orthogonal OFDM carrier multiplexing technology (broadcast using Multiple Input Multiple Output) and the evolutionary system architecture of the SAE (System Architecture Evolution) network.

Given that the maximum achievable data rates also depend on the distance to the object, these technologies can be used to communicate with both mobile devices and fixed communication terminals.

To achieve the goal of the dissertation, namely the development of methods for ensuring quality performance of mobile Internet of Things, the following tasks were solved:

The fuzzy time model for calculating the mobility of the Internet of Things network system has been improved, which formalizes the influence of destabilizing factors on its functioning.

An algorithm for improving the reliability of communication systems, using a duplicate system. A comparative analysis of the increase in the reliability of LTE communication systems for duplicate system, non-redundant system, for loaded duplication without recovery, as well as for non-loaded duplication without recovery.

A mathematical model for the formation of a family of ring codes of type 001011 has been developed and it has been proved that with the help of this model it is possible to form a ring code of the specified type of any length and with any number of unit symbols.

A technique for optimal reception of multiposition signals of a hexagonal constellation by the criterion of an ideal observer based on high-order modulation, which has the highest noise immunity of signals at two coordinates (x, y) close to the potential possible, has been developed.

The dissertation has a scientific and practical nature. The tasks considered in the work are a new contribution to the perspective direction of research of the theory of increase of qualitative indicators of service of modern infocommunication data transmission networks.

The introduction gives a general description of the work, substantiates the relevance of the research topic, formulates the purpose and objectives of research, shows the scientific novelty and practical value of the results, notes the personal contribution of the author, provides data on approbation and practical implementation, publication and publication.

In the first section, based on the developed literature sources, the main thematic tasks are identified, which can be entrusted to the development of improving the quality of communication systems of the LTE standard.

The section deals with the main issues related to the development of access systems based on LTE radio technology and provides definitions and main characteristics of the wireless communication standard. The basic requirements to the standard of mobile networks of the fourth generation (4G) which satisfy requirements of Internet of things are formulated.

It is concluded that for comfortable work with IoT network services, LTE technology is able to provide transmission speeds in excess of 100 Mbps. for descending and 50 Mbps. for ascending channels.

In the second section the model of the description of external destabilizing factors (ZDF) on parameters of the LTE network by means of fuzzy classifiers is developed. Given the high degree of heterogeneity of environmental parameters, the paper introduced aggregate indicators describing the levels of different types of environmental influences: The value of each indicator depends on the corresponding set of parameters.

An algorithm for improving the reliability of communication systems, using a duplicate system. A comparative analysis of the increase in the reliability of LTE communication systems for duplicate system, non-redundant system, for loaded duplication without recovery, as well as for non-loaded duplication without recovery.

In the third section the mathematical model of formation of family of ring codes of type 001011 is developed and it is proved that by means of this model it is possible to form a ring code of the specified type of any length and with any number of unit symbols. This code is proposed as a kind of cyclic code that allows you to use it to encode and decode information when building an effective Internet of Things channel.

In the fourth section, the method of optimal reception of amplitude-phase difference modulation of high-order hexagonal signal constellations is proposed. The phase difference is calculated between three or more parcels. When calculating the phase difference between two parcels, the invariance of the phase

jumps in the channels is ensured. Thus, invariance to the frequency shift is manifested, which is necessary for 4th generation communication systems. The phase difference between three or more parcels is realized in the differential signal encoder.

The technique uses a multifrequency group signal with orthogonal carriers. This allows the system to provide the property of invariance, with respect to interference such as frequency response non-uniformity, PFC nonlinearity, impulse interference, short-term interruptions.

The dissertation was performed at the State University of Telecommunications. According to the results of research, 7 scientific papers were published, including: 4 articles in professional scientific and technical journals, 1 article in international publications and 1 publication based on the materials of scientific and technical conferences.

Keywords: Internet of Things, IoT, 5G, 4G, LTE, signal constellations, system reliability, OFDM, multi-position signals, ring code.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого
ДАК України*

1. Скрипнік В. В. Методика підвищення надійності мереж майбутнього з використанням алгоритму визначення оптимального числа об'єктів резервування // Отрох С. І., Кравченко В. І., Загряжська М. В., Голубенко О. І., Скрипнік В. В. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2017. - №4. Стр. 24-29.

2. Скрипнік В. В. Шляхи підвищення надійності відновлюваних систем мереж майбутнього (future networks) // Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипнік В. В. // Телекомунікаційні та інформаційні технології - 2017. - №4 (57). Стр. 71-79.

3. Скрипник В. В. Особливості формування сімейства кільцевих кодів типу 001011: математична модель // Отрох С.І., Мельник В.Ю., Дубровський В.В., Скрипник В.В., Дударева Г.О. // Зв'язок №1 – 2018. Ст. 42-46.

4. Скрипник В. В. Методи розрахунку надійності телекомунікаційних мереж майбутнього // Кравченко В.І., Грищенко О.О., Скрипник В.В., Кирильчук І.О. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - №2. Стр. 56-63.

5. Скрипник В. В. Визначення середнього часу обслуговування пакету у мережі Інтернет речей // Кравченко В.І., Скрипник В.В., Голубенко О.І. // Зв'язок №3 – 2020.

6. Скрипник В. В. Аналіз продуктивності бездротових мереж при довільній довжині пакетів даних // Кравченко В.І., Скрипник В.В., Голубенко О.І. // Зв'язок №4 – 2020.

*Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до
Організації економічного співробітництва та розвитку*

7. Viktoriia Skrypnik «Investigation of the dependence of the structure of shift indexes vectors on the properties of ring codes in the mobile networks of the internet of things» // Vladislav Kravchenko, Olena Hryshchenko, Viktoriia Skrypnik, Hanna Dudarieva // IAPGOŚ - 1/2021, pp. 62-64