

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Булич Ігор Васильович

УДК 621.391:004

**МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ В
УМОВАХ НАДЩІЛЬНОСТІ І УЛЬТРАМАЛИХ ЗАТРИМОК**

172 – Телекомунікації та радіотехніка

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль – 2019

Роботу виконано на кафедрі радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук,
доцент кафедри радіотехнічних систем
Дунець Василь Любомирович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук,
доцент, заступник зав. кафедрою
біотехнічних систем
Хвостівський Микола Орестович
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2019 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії № 26 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Текстильна, 28, навчальний корпус №9, ауд. 9-612.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи: в основі появи концепції надщільних мереж лежить Інтернет Речей. Дійсно, відповідно до прогнозів відомого фахівця в області мереж і систем зв'язку Ж.-Б. Вальднер граничне число інтернет речей становить 30-50 трильйонів. 3GPP вже зараз радить планувати мережі зв'язку п'ятого покоління виходячи з 1 млн пристроїв на 1 кв.км. Природно, що це вимагає перегляду методів побудови мереж зв'язку при впровадженні мереж п'ятого покоління. Останнє можливе лише за умови впровадження нових технологій, однією з найефективніших з яких в умовах впровадження надщільних мереж є технології взаємодії пристрій-пристрій D2D (Device-to-Device). Технології D2D дозволяють як розвантажити ядро мережі шляхом замикання значної частки трафіку безпосередньо між пристроями, так і зменшити кругову затримку при наданні послуг мережі. В області технологій D2D існує досить велика кількість робіт, в тому числі роботи за технологією D2D з мережевою підтримкою. Однак плановане широке її поширення ставить питання не тільки про взаємодію D2D як таких, скільки проблему створення D2D мереж. В цьому напрямку наукових досліджень поки явно недостатньо, а проблеми маршрутизації в D2D мережах ще не вивчені.

Що ж стосується мереж зв'язку з ультрамалих затримками, в основі появи яких лежить концепція тактильного Інтернету, то їх вплив на методи побудови мереж зв'язку має ще більше значення. Вимога по круговій затримці в 1 мс (в сто разів менше, ніж вимоги по передачі мови) змушує задуматися про децентралізацію мережі і її ресурсів. Нові технології програмно комутованих мереж SDN (Software Defined Networks), віртуалізації мережевих функцій NFV (Network Functions Virtualization), мобільних граничних обчислень MEC (Mobile Edge Computing) допомагають в ряді випадків досягти необхідної величини. Однак проблема стоїть набагато ширше, а саме: слід вивчити неминучу кластеризацію мережі з урахуванням джерел генерації трафіку.

Мета і завдання дослідження: метою магістерської роботи є розробка і дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління 5G в умовах

надщільного структури і ультрамалих затримок.

Об'єкт дослідження: об'єктом дослідження є мережі зв'язку п'ятого покоління 5G, а предметом дослідження - методи побудови цих мереж.

Предмет дослідження: методи побудови мереж зв'язку п'ятого покоління.

Методи дослідження: методи теорії телетрафіка, теорії масового обслуговування, теорії оптимізації, імітаційного моделювання (Mathcad).

Наукова новизна: наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблена методика кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання послуг мереж з ультрамалих затримками, що призводить як до децентралізації мережі, так і створює передумови для децентралізації економіки в цілому,

- розроблена модель мережі зв'язку 2030 року, що відрізняється від відомих уявлень тим, що в основі побудови такої мережі лежать мережі зв'язку з ультрамалих затримками,

- запропонований метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів,

- запропонований метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що відрізняється тим, що додаткові маршрутизатори є широко використовуються термінали мереж зв'язку,

- розроблена методика вибору місця розташування і числа транзитних вузлів, що відрізняється від відомих тим, що застосовується модифікований алгоритм FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини відношення сигнал / шум плюс перешкоди SINR.

Практичне значення роботи: Практична значимість магістерської роботи полягає в створенні науково обгрунтованих рекомендацій з планування мереж зв'язку п'ятого покоління в умовах впровадження надщільних структур і

ультрамалих затримок.

Публікації: Викладені в роботі результати були опубліковані у збірнику наукових матеріалів XXIV Міжнародної науково-практичної інтернет – конференції «НОВИНИ НАУКИ XXI СТОЛІТТЯ» від 23 листопада 2018 року та у збірнику наукових матеріалів XXVIII Міжнародної науково-практичної інтернет – конференції «ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ НАУКИ» 18 березня 2019 року доповідалися і обговорювалися на міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 27-28 листопада 2019 року).

Структура і обсяг роботи: Дипломна робота складається із вступу, восьми розділів, висновку, викладених на 126 сторінках, бібліографії зі 104 назв на 10 сторінках, додатків на 11 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 159 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовані мета і завдання роботи, наукова новизна, розглянуті теоретична і практична цінність дослідження, наведені відомості про опубліковані роботах і виступах на конференціях і семінарах, представлені положення, що виносяться на захист.

У першому розділі роботи проведено аналіз існуючих концепцій розвитку мереж зв'язку і нових технологій, на основі яких ці концепції можна реалізувати. Основні відмінності мереж зв'язку п'ятого покоління від існуючих полягають в тому, що вони є занадто щільні мережами з ультра малими затримками, а це вимагає розробки нових методів їх побудови. Для реалізації вимог по понад щільності і ультра малим затримок потрібно застосування нових технологій, таких як програмно-конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільні граничні обчислення MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.

Крім зміни власне методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, потрібні зміни методів ідентифікації, тестування та інших, супутніх забезпечення сталого функціонування цих мереж. У першому розділі роботи запропоновано для

ідентифікації в надщільних мережах використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA (Digital Object Architecture). Для досліджень, тестування та верифікації мереж і систем зв'язку п'ятого покоління в роботі запропонована нова структура модельної мережі, використовувана для досліджень характеристик тактильній Інтернету та Інтернету Навичок.

Другий розділ роботи присвячений мережі зв'язку п'ятого покоління як основі цифрової економіки та перспективам розвитку мереж зв'язку до 2030 року. Відзначається, що вирішальну роль в перетворенні мереж на етапі розробки і створення мереж зв'язку п'ятого покоління грають концепція тактильної Інтернету і вимоги по ультра малим затримок. Мало того, мережі зв'язку з ультра малими затримками в даний час є основою для розробки концепції мереж зв'язку 2030 року.

З кожним роком все зростає частка інформаційно-комунікаційних технологій у внутрішньому валовому продукті, тобто росте вплив мережі на розвиток суспільства. У другому десятилітті 21 століття ця тенденція набула нових рис, пов'язані з тим, що з'явилася так звана конвергенція галузей. Дійсно, саме мережу зв'язку загального користування виступає як надбудова над усіма іншими галузями, забезпечуючи необхідну інфраструктуру для створення і функціонування медичних мереж, мереж для житлово-комунального господарства, автомобільних мереж і т.п. При цьому, виходячи з економічних міркувань, на етапі розвитку мереж зв'язку наступного покоління часто приймалися рішення щодо централізації ключових елементів мережі, наприклад, IMS (IP Multimedia Subsystems). Такі рішення, природно, вступали в протиріччя, наприклад,

Тактильний Інтернет і децентралізація мережі можуть принципово змінити дану ситуацію, оскільки надання послуг тактильній Інтернету з необхідною якістю можливо в колі радіусом не більше 50 км. З огляду на, що послуги тактильній Інтернету будуть, швидше за все, визначальними для мережевих робіт, децентралізація мережі призведе не тільки до перерозподілу висококваліфікованих фахівців в галузі зв'язку, але і в області промислового

виробництва, сучасної медицини і т.д.

У третьому розділі розроблено та досліджено метод маршрутизації трафіку в надщільних мережах на основі використання технології D2D. оскільки досліджувані мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільного, проявляється істотний вплив трафіку на величину перешкод на різних ділянках мережі, що вимагає врахування цього явища і оцінки його численних характеристик.

За допомогою імітаційної моделі була досліджена залежність потужності перешкоди в точці прийому від щільності пристроїв при різній інтенсивності використання каналу (різному трафіку).

Вибір маршруту з максимальною пропускною спроможністю за критерієм максимуму мінімального її значення для всіх ділянок маршруту еквівалентний вибору маршруту за критерієм максимуму мінімального значення SINR для всіх ділянок маршруту. Тоді як критерій вибору будемо використовувати наступний:

$$SINR_{ij} = \max \left\{ SINR_{ij}, \min \left(SINR_{ik}, SINR_{kj} \right) \right\}.$$

Для дослідження маршрутів була побудована імітаційна модель, що описує маршрутизацію в мережі, розміщеної в двовимірному просторі в зоні обслуговування, що представляє квадрат зі стороною 200 м. У зоні обслуговування вузли мережі розміщені випадковим чином, тобто координати x і y вузлів мережі являють собою незалежні випадкові числа з рівномірним законом розподілу. Вважаємо, що кожен з вузлів мережі може бути пов'язаний з кожним вузлом.

Аналіз результатів імітаційного моделювання показав, що в порівнянні з маршрутом, обраним за критерієм відстані (найкоротшим в сенсі відстані), в середньому збільшується кількість транзитів (стрибків). Це пояснюється вибором ділянок з максимальним відношенням SINR, величина якого обернено пропорційна відстані між передавальними і приймальними вузлами. Збільшення кількості транзитів, в загальному, є фактором, що негативно впливає на якість маршруту, тому його доцільно враховувати при пошуку рішення. Розглянемо комплексний критерій вибору маршруту по максимуму пропускної здатності і

мінімуму кількості транзитів.

У четвертому розділі розроблений метод побудови мережі зв'язку п'ятого покоління з використанням технологій D2D і додаткових маршрутизаторів.

У задачі будемо враховувати такі фактори як відстані між вузлами d_{ij} , потужності переданих сигналів P_i , загасання сигналу A_{ij} , вироблений трафік a_i . Будемо вважати, що передаючи сигнали, вузли створюють перешкоди іншим вузлам мережі, які впливають на якість прийому, що характеризується відношенням сигнал / (шум плюс перешкода) SINR. Якщо потужність перешкоди на вході приймача більше деякої величини, то канал можна вважати зайнятим, в іншому випадку, перешкода впливає на якість каналу через величину SINR, що виражається в зменшенні швидкості передачі даних.

Вибір місця розташування транзитного вузла можна розглядати як задачу вибору безлічі вузлів (для яких він буде транзитним) за деяким критерієм. Якщо ефективність введення транзитних вузлів представляти такими параметрами як відношення сигнал / (шум + перешкода) при обліку внутрішньоканальних перешкод, а також величиною пропускної здатності, то можна стверджувати, що запропонований метод має істотно більшу ефективність у порівнянні з подібними методами, що не враховують внутрішньоканальних перешкод.

Порівняльною оцінкою ефективності може бути величина SINR при рівній кількості транзитних вузлів. Для порівняння ефективності даного методу розглянемо модель з рівномірним розподілом вузлів в зоні обслуговування і оцінимо залежність середньої величини SINR для різної кількості транзитних вузлів, обраних з урахуванням і без урахування інтерференції.

З отриманих залежностей, ефективність запропонованого методу вище, ніж при кластеризації без урахування перешкод, причому більший вигаш має місце при відносно малій кількості транзитних вузлів. З ростом кількості транзитних вузлів вигаш знижується, але при реальних значеннях кількості вузлів він має істотне значення.

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» описано метрологічне забезпечення наукових досліджень та проведено обґрунтування вибору пакету

MatchCad як програмного забезпечення для розв'язання наукової задачі.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 35676,39 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,33 від максимального числа 1.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій. Особливості розслідування та обліку нещасних випадків невиробничого характеру. Встановлено порядок дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто питання впливу електромагнітного забруднення на навколишнє середовище і людину, вплив мереж зв'язку п'ятого покоління на довкілля та людину.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі отримано такі основні результати:

1. За результатами аналізу концепцій Інтернету Речей, тактильні Інтернету та Інтернету Навичок встановлено, що мережі зв'язку п'ятого покоління є надщільного мережами з ультра малими затримками, що вимагає розробки нових методів їх побудови.

2. Оскільки попередні покоління мереж не мали зазначеними в п.1. висновків властивостями, для реалізації вимог по понад щільності і ультра малим затримок потрібне застосування нових технологій, таких як програмно конфігуровані мережі SDN, віртуалізація мережевих функцій NFV, мобільні граничні обчислення MEC, взаємодії пристрій-пристрій D2D.

3. Крім зміни власне методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління, потрібні зміни методів ідентифікації, тестування та інших, супутніх забезпечення

сталого функціонування мереж зв'язку п'ятого покоління технологій. У роботі запропоновано для ідентифікації в надщільних мережах використовувати технологію ідентифікації на основі архітектури цифрових об'єктів DOA. Для досліджень, тестування та верифікації мереж зв'язку п'ятого покоління в роботі запропонована нова структура модельної мережі, використовувана для досліджень характеристик тактильні Інтернету та Інтернету Навичок.

4. Розроблено методику кластеризації мережі зв'язку, що відрізняється тим, що кластеризація здійснюється в умовах надання послуг мереж з ультра малими затримками, що призводить як до децентралізації мережі, так і створює передумови для децентралізації економіки в цілому.

5. Розроблено модель мережі зв'язку 2030 року, що відрізняється від відомих уявлень тим, що в основі побудови такої мережі лежать мережі зв'язку з ультра малими затримками. Занадто щільні мережі при створенні мереж зв'язку 2030 поповняться елементами наносвіту, а мережі зв'язку з ультра малими затримками дозволять реалізувати телеприсутність як в формі роботів аватарів, що належать користувачам і виконують їх команди з максимальним відповідністю тактильним відчуттям конкретного користувача, так і вигляді голографічного телеприсутності, наприклад, на спортивних заходах.

6. Встановлено, що D2D-технології в умовах низької щільності користувачів і пристроїв мають навіть більшу ефективність за рахунок низького рівня перешкод, і як наслідок, поліпшення QoS і досяжною дальності зв'язку. Потенційні можливості D2D технологій дозволяють об'єднати в мережу значна кількість пристроїв, якщо останні мають функціональні можливості маршрутизації трафіку. Існуюча абонентська щільність терміналів дозволяє побудувати мережу з високою ймовірністю зв'язності, що дає потенційну можливість доставки даних, використовуючи тільки ресурси кінцевих пристроїв.

7. Визначено невідома раніше залежність потужності перешкод від щільності розміщення вузлів мережі і величини трафіку і отримана емпірична формула для такої залежності.

8. Запропоновано метод маршрутизації трафіку в мережах зв'язку п'ятого

покоління і алгоритм його реалізації при використанні технологій D2D, що відрізняється від відомих тим, що вибір маршруту здійснюється на основі комплексного критерію максимуму пропускної здатності і мінімуму числа транзитів.

9. Запропоновано метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що відрізняється тим, що додаткові маршрутизатори є широко використовуються термінали мереж зв'язку.

10. Розроблено метод побудови мережі D2D з використанням додаткових маршрутизаторів, що представляють собою широко використовуються термінали мереж зв'язку, і методика вибору місця розташування і числа транзитних вузлів на основі модифікованого алгоритму FOREL, для якого в якості метрики використовується значення величини відношення сигнал / шум плюс інтерференція SINR, що дозволяє збільшити пропускну здатність мережі D2D як мінімум на 10-20%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Булич І. В. ПРОБЛЕМАТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ 5G В СВІТІ ТА УКРАЇНІ [Електронний ресурс] / І. В. Булич. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2018/12/%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B013.pdf>.
2. Булич І. В. КОНЦЕПЦІЯ 5G В ГЛОБАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ [Електронний ресурс] / І. В. Булич, В. Л. Дунець. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2019/03/4-%D0%A7%D0%90%D0%A1%D0%A2%D0%98%D0%9D%D0%90.pdf>.
3. Дунець В. Л. Дослідження методів побудови мереж зв'язку п'ятого покоління/ В. Л. Дунець, І. В. Булич // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 27-28 листопада 2019 року. — Т. : ТНТУ, 2019. — Том 1. — С. 48.