

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

Мухіна Вадима Євгенійовича на дисертаційну роботу

Усіка Павла Сергійовича “Методи підвищення ефективності
розділеної обробки даних в комп’ютерних системах операторів
стільникового зв’язку”,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 123 «Комп’ютерна інженерія»

Актуальність теми дисертації. Одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення нових стільниковых мереж зв’язку. Вони найбільш придатні для забезпечення високошвидкісного доступу до інформаційних ресурсів, що виключно важливо для розширення ринку телекомунікаційних послуг. Необхідність забезпечення повсюдного високошвидкісного доступу до Інтернету, корпоративних та інших мереж визначає загальносвітові тенденції до збільшення на цьому ринку частки мереж широкосмугового безпроводового доступу. Поширенню таких мереж сприяють відносно невеликі часові і фінансові витрати на розгортання їх інфраструктури у порівнянні з проводовими мережами та можливість забезпечення широкосмугового доступу в тих регіонах, де застосування проводових мереж доступу є економічно недоцільним або неможливим. Тому впровадження новітніх високоефективних стільниковых мереж четвертого та п’ятого поколінь можна вважати стратегічним напрямком повсюдного забезпечення населення доступними засобами отримання, передачі та поширення інформації. Крім того впровадження новітніх стільниковых мереж відкриє можливість надавати новий розширеній перелік послуг.

Постійно зростаючі потреби у високошвидкісному доступі до інформаційних ресурсів стимулюють появу і розвиток нових стільниковых мереж. Серед них своїми широкими можливостями яскраво виділяються мережі 5G. Підвищення ефективності функціонування цих мереж визначає коло задач,

які потребують першочергового розв'язання. До найважливіших із цих задач, які визначають інноваційну новизну сучасних телекомуникаційних безпроводових систем, належить задачі підтримки ефективної розподіленої обробки інформації в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку. Існуючі методи забезпечення та підвищення ефективності цієї обробки вже значною мірою не відповідають зрослим потребам сучасності і потребують корегування та доповнень. Тому для теоретичного обґрунтування і створення наукових основ побудови новітніх стільникових мереж поряд із удосконаленням існуючих необхідна розробка нових методів підвищення ефективності розподіленої обробки для операторів стільникового зв'язку. При цьому зазначені стільникові мережі повинні забезпечити ті додаткові високошвидкісні сервіси, які не в змозі надати технології мобільного зв'язку попередніх поколінь та безпроводові локальні мережі сімейства стандартів IEEE 802.11.

Таким чином, існує важлива наукова задача удосконалення існуючих і створення нових методів забезпечення ефективного функціонування розподілених комп'ютерних систем стільникових операторів четвертого та п'ятого поколінь при збереженні необхідної надійності та зменшенні експлуатаційних витрат. Це і обумовлює **актуальність** даного дисертаційного дослідження.

Наукова робота за темою дисертації пов'язана з реалізацією положень «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» (затверджена Кабінетом Міністрів України від 15 травня 2013 року) з міжнародними програмами, зокрема, Horizon 2020. Основні наукові результати отримано в рамках науково-дослідних робіт: шифр Дельфін, тема «Дослідження можливостей розгортання мереж урядового радіозв'язку на базі концепції 5G», держбюджетної НДР МОН України «Розробка методів підвищення оперативності передачі та захисту інформації у телекомуникаційних системах» (0115U003103), НДР «Розробка методів підвищення безпеки телекомуникаційних мереж» (№ ДР 0112U006630).

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації характеризується глибоким

аналізом сучасних моделей побудови розподілених комп'ютерних систем, методів передавання інформації у широкосмугових радіосистемах стільникових мереж, методів оцінки та підвищення ефективності обробки даних в ядрі мережі та в підсистемі базових станцій, компетентним визначенням наявних науково-практичних задач та обумовлюється коректністю здійснених у дисертаційній роботі теоретичних досліджень, що базуються на фундаментальних наукових теоріях.

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків, загальним обсягом у 154 сторінки.

У вступі автором обґрунтована: актуальність проблеми; означені мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень; визначена наукова новизна та практична значимість результатів роботи, наведені дані про їх впровадження.

У першому розділі автором було проведено дослідження архітектури стільникових мереж. Було виокремлено сегмент, в якому може відбуватись розподілена обробка даних. Автором було показано, що стільникові мережі зв'язку стали одними із найбільш поширених телекомунікаційних мереж. Кожен із нас вже не зможе уявити свого життя без доступу до мережі. При цьому дані мережі продовжують розвиватись стрімкими темпами. Так, вже стандартизовано мережі 5G та вже відбувається запуск перших комерційних мереж.

Поряд із розвитком телекомунікаційних технологій збільшуються й об'єми даних, які передаються, вимоги до якості надання послуг тощо. Все це спонукає до запровадження нових прогресивних рішень.

Автор провів аналіз рушійних сил розвитку мереж 5G. Стало очевидним, що 5G буде використовувати принципово нову мережеву архітектуру, засновану на технологіях Network Function Virtualization (NFV) і Software Defined Networking (SDN). При цьому, слід відзначити, що програмованість матиме ключове значення для досягнення високого рівня гнучкості, так як стільниковим операторам потрібно буде підтримувати нові сервіси зв'язку, що висуватимуться до них з широкого кола користувачів, пристройів, компаній з різних галузей промисловості та інших організацій. Мережі 5G повинні бути програмованими, програмно забезпеченими і управлятися цілісно, щоб забезпечити різноманітний

програмно забезпеченими і управлятися цілісно, щоб забезпечити різноманітний і вигідний спектр послуг. Таким чином, виникли принципово нові вимоги до стільникових мереж, які мають бути забезпечені за допомогою нових технічних рішень.

Тому у першому розділі було детально проаналізовано існуючі технології для забезпечення цих вимог. Особливу увагу було приділено концепції Multi-Access Edge Computing (MEC). Було показано, що МЕС – це природний розвиток в еволюції мобільних базових станцій та конвергенції ІТ та телекомуникаційних мереж. Проте, даній концепції також є притаманним ряд недоліків, які необхідно усувати. Ці недоліки також було детально проаналізовані.

Таким чином, за результатами вищепередованого аналізу у кінці розділу коректно здійснена постановка задачі дослідження, що спрямована на розробку методів забезпечення та підвищення ефективності розподіленої обробки даних комп’ютерних систем операторів стільникового зв’язку на базі використання концепції МЕС.

У другому розділі розглянуто задачу по розміщенню релевантних сервісів, яка стосується рішення в яке ж місце помістити декілька додатків згідно їх вимогам до якості надання послуг QoS, це з одного боку, та обчислювальної доступності ресурсу, з іншого боку. В цьому контексті досліджується розподіл навантаження та розміщення масштабованих сервісів IoT, щоб мінімізувати потенційне порушення вимог до їх якості обслуговування QoS через обмеження обчислювальних ресурсів. Зокрема, було сформовано задачу, яку було вирішено із використанням ціличисельного нелінійного програмування. Було запропоновано два підходи, один через методи лінеаризації і інший на основі генетичного алгоритму.

Спочатку була проведена розробка системної моделі, в якій декілька моделей додатків можуть бути розміщені на різних вузлах, а запити на ці додатки будуть розподілятись між моделями.

Потім відбулося формульовання проблеми оптимізації рішення послуг у вигляді проблеми нелінійного програмування зі зміщеним цільовим числом з

врахуванням, як призначення вузла (тобто місця розгортання додатку), так і розподілення навантаження для мінімізації можливого виникнення порушень QoS.

В кінці була проведена розробка підходів до вирішення поставленої задачі оптимізації. В даній роботі пропонується евристичне рішення, засноване на генетичних алгоритмах. Запропонований генетичний алгоритм використовує упереджені хромосоми з випадковими ключами, що є масивом випадково генерованих реальних чисел у інтервалі $[0,1]$. Це представлення хромосом використовується не для створення нездійснених рішень, які можуть погіршити продуктивність генетичного алгоритму. Дано пропозиція використовує елітарну стратегію, зберігаючи елітарних індивідів. Він також додає нові випадкові покоління індивідів, амутантів, у наступному поколінні. Крім того, для поповнення популяції породження створюється параметризований рівномірний кросовер між елітарними та неелітарними особами.

Третій розділ присвячений удосконаленню методів використання ресурсів граничних мобільних обчислень для гарантування передбачених переваг, які тісно пов'язані з вирішенням наступних завдань:

1. Проблема розвантаження задач, яка полягає у визначені серверів, на які слід розвантажувати задачі.
2. Проблема розподілу ресурсів додатків, яка визначає обчислювальні ресурси, які повинні бути розподілені для кожної програми, розгорнутої на граничному сервері, щоб обробити всі призначенні їм завдання в межах їхніх вимог затримки.
3. Планування завдань, що визначає порядок, в якому кожне завдання має бути оброблене в спільній програмі, дотримуючись вимог до часу обробки.

Саме ці завдання вирішувались в даному розділі дисертаційної роботи.

Зокрема, в даному розділі були досліджені завдання вивантаження завдання, розподілу ресурсів додатків та планування завдань в мережі МЕС. Враховуючи складність вирішення проблеми динамічного планування та розвантаження завдань, було представлено нову стратегію декомпозиції, що реалізує методику розкладу Бендерса. Розроблений метод розбиває задачу на основну, яка вирішує

2. Розроблено метод динамічного розвантаження та планування задач для граничних комп'ютерних систем оператора стільникового зв'язку.

3. Розроблено метод керування випромінюваною потужністю мобільних пристройів під час розвантаження завдань в розподіленій комп'ютерній системі граничних обчислень оператора стільникового зв'язку.

Практична цінність роботи. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що основні результати роботи можуть використовуватися під час виявлення нових практичних шляхів забезпечення та підвищення ефективності комп'ютерних систем стільниковых операторів під час їх впровадження та удосконалення в Україні на основі використання нових розроблених методів.

При цьому отримані результати дозволяють: проводити оптимізацію параметрів мережі стільникового оператора; проводити ефективне керування мережею; запроваджувати нові сервіси.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в такому:

- розроблено методику розвантаження завдань в мережі стільникового оператора за допомогою концепції граничних обчислень;
- розроблені комп'ютерні моделі проведення розподілених обчислень в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку;
- розроблено відповідне алгоритмічне забезпечення для планування та розвантаження завдань в граничних комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку.

Матеріали дисертаційної роботи упроваджено в ТОВ «ІСП Імперіал» та у навчальний процес Центральноукраїнського національного технічного університету.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Дисертація Усіка П.С. за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності , за якою вона представлена до захисту.

Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях. За матеріалами дисертації опубліковано 12 друкованих робіт, що відображають положення дисертації, з них 3 статті у фахових виданнях, які включені до переліку МОН, 1 розділ колективної монографії, 1 стаття у

періодичних виданнях, які включені до науково-метричної бази Scopus, матеріали доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях – 5.

Зауваження до роботи.

1. У дисертаційні роботі значну увагу приділену обробці завдань, які надходять від додатків Інтернету речей, проте самим же автором було продемонстровано ряд інших перспективних випадків використання стільникових мереж 5G. Для цих випадків використання будуть сформовані свої параметри QoS, що очевидно будуть відрізнятись від додатків Інтернету речей. Тому доцільно було би також врахувати можливість обробки інших типів завдань.

2. У другому розділі дисертаційного дослідження під час розробки моделі мережі не було враховано пропускну здатність каналів, через які відбувається підключення вузлів мережі. В разі її недостатності вона може бути обмежуючим фактором під час обробки завдань від додатків. Тому варто би було її розглянути та навести відповідні обмеження.

3. Вибір генетичного алгоритму для вирішення задачі оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі є не до кінця обґрунтованим. Доцільно було би навести порівняльну таблицю із оцінкою переваг та недоліків інших можливих методів вирішення даної задачі, а тоді вже приймати остаточне рішення.

4. Алгоритм контролю потужності для розвантаження завдань в системі з граничними обчисленнями в своєму складі містить блок «Розрахунок інтерференції у кожному часовому слоті», проте сам цей процес детально не описаний.

5. Результати комп’ютерного моделювання доцільніше було би не винести у окремий розділ, а розташувати одразу після розроблених методів, що би полегшило читання дисертації.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Усіка П.С. є завершеною працею, що виконана автором самостійно на високому науковому рівні. В роботі отримані науково

завдання з завантаженням та розподілом ресурсів програми, і декілька вторинних підзадач, кожна з яких звертається до планування завдань в одному використовуваному додатку. Розроблений метод є доволі точним і надає можливість бути припиненим при будь-якій ітерації, таким чином, реалізуючи компроміс між якістю та часом проведення обчислень.

Крім цього, в даному розділі було запропоновано метод контролю потужності, що базується на теорії ігор, для багатокористувальських систем із забезпеченням граничної обробки даних, та під впливом дії завад, що враховує як інтерференцію, так і багатокористувальський сценарій.

Для алгоритму заснованого на теорії ігор, найголовніші властивості це існування та унікальність рівноваги Неша. Ці дві властивості відповідають ефективності та дієвості алгоритму. Тому в даному розділі було доведено існування рівноваги Неша в такого типу грі, крім того вона є унікальною.

У четвертому розділі розглянуті можливості практичної реалізації результатів дисертаційної роботи та їх перевірки. Для цього, були наведені результати проведеного комп’ютерного моделювання та відповідно проведено аналіз основних результатів.

Результати моделювання надали змогу впевнитись у високій ефективності розроблених автором рішень в порівнянні із аналогами.

Недоліком є відсутність експериментальних досліджень на реальних об’єктах.

Достовірність і новизна отриманих результатів, наукових положень, висновків та рекомендацій. Висновки та результати дисертації викладені змістово, в логічній послідовності, у відповідності зі структурою задач, поставлених і вирішених у дисертаційній роботі. Достовірність отриманих результатів, наукових положень підтверджена результатами комп’ютерного моделювання, коректністю теоретичних і математичних викладок.

Наукова новизна дисертаційної роботи Усіка П.С. полягає в наступному:

1. Розроблено метод оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора.

обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є суттєвими для розвитку теорії та практики експлуатації комп'ютерних систем операторів стільникового зв'язку п'ятої покоління.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю та практичною значимістю отриманих результатів дисертаційна робота Усіка П.С., яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії відповідає вимогам Постанови КМУ №167 від 06.03.2019 р. «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії зі змінами згідно з Постановою КМУ №979 від 21.10.2020 р., а її автор Усік Павло Сергійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент,

професор кафедри математичних методів системного аналізу
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
доктор технічних наук, професор

В.Є Мухін

Підпис професора кафедри математичних методів системного аналізу
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
д. т.н., проф. Мухіна В.Є. засвідчую:

Вчений секретар

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"



В.В. Холявко