

# ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

Савенка Олега Станіславовича

на дисертаційну роботу Усіка Павла Сергійовича

“Методи підвищення ефективності розподіленої 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.** Розвиток сучасних телекомунікаційних мереж відбувається стрімкими темпами. Це, зокрема, впливає на процеси міжнародної стандартизації, виробництва обладнання нового типу та безпосередньо розгортання мереж. Серед них все більшого поширення набувають стільникові мережі п’ятого покоління, в яких бездротовий широкосмуговий доступ використовується дуже широким спектром додатків – від традиційної передачі мови до сучасних мультимедійних додатків та реалізації дуже складних та нетипових прикладів використання (наприклад, V2X, M2M, Smart city тощо).

Значний інтерес представляють дослідження розподіленої обробки даних в комп’ютерних системах операторів стільникового зв’язку. Саме такі механізми обробки даних у мережах 5G дозволяють досягти вимог, висунених до даного типу мереж.

При цьому однією з головних проблем створення та розвитку сучасних безпроводових систем зв’язку є розробка методів оцінки, забезпечення та підвищення ефективності розподіленої обробки даних. Очевидно, що за допомогою існуючих комп’ютерних систем, мереж та їх компонентів задовольнити запити абонентів практично неможливо, тому виділяють основні причини необхідності удосконалення існуючих мереж: підвищення кількості підключень; розвиток мультимедійних послуг; необхідність зменшення затримки в мережі тощо.

Таким чином, актуальною на сьогодні є потреба в ефективних програмно-апаратних засобах розподіленої обробки даних, що враховували б різноманітність трафіку. Водночас, в операторів стільникового зв’язку повинні бути засоби управління потоками, що дозволяли б гарантувати певний рівень якості послуг для кожного окремого абонента, який отримує індивідуальний інформаційний



потік, а тому необхідним є дослідження існуючих та розробка нових методів та алгоритмів, які забезпечуватимуть підвищення ефективності розподіленої обробки даних. Це може надати змогу більш ефективно проводити експлуатацію сучасних безпроводових мереж зв'язку.

Задачі, які вирішувались в даній дисертаційній роботі щодо розподіленої обробки даних, обумовлюють її актуальність.

Дисертаційна робота Усіка П.С. пов'язана з актуальними науково-практичними розробками, що реалізуються у рамках «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні» і міжнародних проектів за програмою Horizon 2020, а також у науково-дослідних роботах, що проводяться в Черкаському державному технологічному університеті та інших закладах вищої освіти та наукових установах.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Дисертаційна робота Усіка П.С. є кваліфікаційною науковою працею, написаною ним власноручно.

Обсяг дисертаційної роботи, що містять вступ, чотири розділи, висновки і додатки, становить 154 сторінки.

У вступі наведені актуальність, мета та завдання дослідження, наукова новизна, практичне значення одержаних результатів, дані про впровадження, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

У першому розділі проведено аналіз розвитку стільникових мереж, зокрема розглянуті мережі 5G, запуск яких розпочав відбуватись із 2018 року. 5G – це нове покоління радіосистем і мережної архітектури, яке буде представляти з себе максимальний широкосмуговий доступ, ультра-надійність, малий час затримки підключення і масивні мережі для користувачів та Інтернету речей.

В дисертаційній роботі актуалізовано масштабність технології 5G щодо можливостей застосування набагато ширше, ніж нової вузькоспеціалізованої технології радіозв'язку. Вона буде поєднувати в собі існуючі технології радіодоступу з новими, оптимізованими для конкретних смуг частот і розгортання мережі, сценаріїв та варіантів використання. 5G також буде використовувати принципово нову мережну архітектуру, засновану на технологіях Network Function Virtualization (NFV) і Software Defined Networking (SDN). Нова мережна архітектура буде мати важливе значення для задоволення потреб в період після 2021 р., для керування складними багатошаровими та мульти-технологічними мережами, а також для досягнення вбудованої гнучкості. Ера мереж 5G буде програмованою, з керуванням програмного забезпеченням і цілісним управлінням.

Було показано, що однією із ключових технологій в цій новій архітектурі стане МЕС. Multi-Access Edge Computing (МЕС) пропонує розробникам додатків та постачальникам контентних можливостей хмарних обчислень та середовищу IT-сервісів можливість проведення високопродуктивних обчислень на межі мережі. Це середовище характеризується наднизькою затримкою та високою пропускною здатністю, а також доступом до інформації в радіомережі в реальному часі, яку можна використовувати додатками.

МЕС забезпечує нову екосистему та ланцюжок вартості. Оператори можуть відкрити свою мережу радіодоступу для уповноважених третіх сторін, що дозволяє їм гнучко та швидко розгорнати інноваційні програми та послуги для мобільних абонентів, підприємств та вертикальних сегментів. Тому, дослідження в даному науковому напрямку є дуже актуальними та перспективними.

Другий розділ присвячений розробці методу оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора.

Розглянута мережа була представлена у вигляді одностороннього графу. Потім було здійснено коректну постановку задачі оптимізації.

Для вирішення вище описаної задачі в даній роботі було запропоновано 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. Дані пропозиції використовує елітарну стратегію, зберігаючи елітарних індивідів, тобто тих, хто має найкращі цінності, наступному поколінню. 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.

У алгоритмах з випадковим ключем випадковий алгоритм детермінованого декодера приймає хромосому індивіда та обчислює її значення. Таким чином, представлення хромосоми та алгоритму декодера відіграє важливі правила в розробленій моделі.

Оцінка розробленого метода та його порівняння із реалізаціями інших методів оптимізації, застосованих до вирішення задачі розміщення масштабованих послуг показали високу ефективність розробленого рішення.

В третьому розділі дисертаційного дослідження було проведено удосконалення методів оптимізації граничних обчислень в стільникових мережах.

Автором було показано, що ефективне використання ресурсів граничних мобільних обчислень необхідне для гарантування передбачених переваг, які тісно пов'язані з вирішенням наступних завдань:

- 1) розвантаження задач, яке полягає у визначенні серверів, на які слід розвантажувати задачі;
- 2) розподіл ресурсів додатків, який визначає обчислювальні ресурси, які повинні бути розподілені для кожної програми, розгорнутої на граничному сервері, щоб обробити всі призначені 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. Крім того, після процесу розвантаження та планування завдань вирішувалось завдання оптимізації використання обчислювальних ресурсів та енергії в стільникових мережах під час проведення граничних обчислень. Моделювання підтвердило ефективність розробленого методу.

У четвертому розділі було розглянуто управління потужністю випромінюваною потужністю радіопередавачів у стільниковій багатокористувацькій системі в умовах впливу інтерференції. В даному випадку, відмінність даної системи від вільної від завад у тому, що контроль живлення у багатокористувацькій системі в умовах впливу інтерференції головним чином розподілений через взаємодію між різними користувачами мобільних пристройів, що дуже ускладнює задачу керування потужністю. Було здійснено коректну постановку задач оптимізації, для вирішення яких автором було запропоноване використання теорії ігор.

**Достовірність і новизна отриманих результатів, наукових положень, висновків та рекомендацій.** Результати дисертаційної роботи викладені послідовно, систематично, а також відповідають поставленим задачам. Достовірність наведених результатів підтверджується збігом теоретичних розрахунків з результатами моделювання, а також коректних застосуванням математичного апарату теорії ймовірностей, математичної статистики.

Наукова новизна дисертаційної роботи Усіка П.С. наступна:

1. Вперше розроблено метод оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі стільникового оператора.
2. Удосконалено метод динамічного розвантаження та планування задач для граничних комп'ютерних систем оператора стільникового зв'язку.

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

**Практична значимість роботи.** Теоретичні результати, отримані в дисертаційному дослідженні, надали змогу запропонувати нові практичні шляхи підвищення ефективності функціонування підсистеми базових станцій стільниківих мереж під час їх впровадження в Україні та світі на основі використання нових методів розподіленої обробки даних.

**Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях.** За матеріалами дисертації опубліковано 12 робіт, які розкривають зміст дисертаційної роботи, і серед яких статті та тези доповідей на Міжнародних науково-технічних конференціях.

**Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.** Дисертаційна робота Усіка П.С. відповідає спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія.

#### **Зauważення до роботи.**

1. У першому розділі не чітко окреслені параметри, які формулюють інтегральний показник ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах мереж операторів стільникового зв'язку.

2. В методі оптимізації розміщення масштабованих послуг на розподілених обчислювальних ресурсах мережі для опису процесу обробки запиту було використано модель масового обслуговування  $M/M/1$ , проте даний вибір не було обґрунтовано. Доцільно було додати порівняльний аналіз, який би надав змогу переконатись в правильності здійсненого припущення автором роботи.

3. У другому розділі рівень порушення QoS розглядається тільки в контексті мережної затримки, проте жодним чином не розглянуті інші важливі параметри якості обслуговування, такі як, пропускна здатність, джитер. Ці параметри, також, впливають на забезпечення QoE, що є найбільш важливим для кінцевого користувача.

4. Рисунок 3.1 в цілому за змістом дублює рисунок 2.1. Доцільно було би представити його одним рисунком у другому розділі.

5. В третьому розділі описуються мережі SDN, проте недостатньо обґрунтовано, яким чином переваги даної концепції можуть бути використані для ідентифікованих в дисертаційному дослідженні задач.

6. На рисунку 3.2 представлено узагальнений алгоритм розв'язування задачі динамічного планування та розвантаження завдань. Доцільніше було би

продемонструвати більш детальний алгоритм розв'язування поставленої задачі та продемонструвати, яким чином його можна застосовувати на конкретному прикладі.

7. В роботі було проведено комп'ютерне моделювання згідно розроблених автором методів та моделей, проте більш доцільно було б розробити програмне забезпечення, яке працювало б на реальному обладнанні, що дозволило б провести експериментальні дослідження із запропонованими автором науковими результатами.

Проте, наведені недоліки не впливають на наукову значущість цієї дисертаційної роботи.

### Загальні висновки

Дисертаційна робота "Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку" є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують задачу підвищення ефективності комп'ютерних систем стільниківих мереж п'ятого покоління. Дисертація 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,  
доктор технічних наук, професор,  
декан факультету програмування та  
комп'ютерних і телекомунікаційних  
систем Хмельницького національного  
університету



Олег Савченко

Підпис офіційного опонента  
Олега Савенка засвідчує  
Проректор з наукової роботи  
Олег Синюк

