

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 73.052.04 Черкаського державного
технологічного університету
доктору технічних наук, професору
РУДНИЦЬКОМУ В.М.
18000, м. Черкаси,
бульвар Шевченка, 460

ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», доктора технічних наук, професора Кучука Георгія Анатолійовича на дисертаційну роботу Полігеня Олега Олеговича «Інформаційна технологія підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Стратегічним напрямком забезпечення населення доступними засобами отримання, передачі та поширення інформації є впровадження новітніх високоефективних стільникових мереж нового покоління. Зростаючі потреби у високошвидкісному доступі до інформаційних ресурсів стимулюють появу і розвиток нових поколінь стільникових мереж. Серед них виділяються мережі LTE, що забезпечують кращу спектральну ефективність використання частотного ресурсу ніж попередні, тобто однакова смуга частот дозволяє передавати більшу кількість даних. Підвищення ефективності функціонування цих мереж із урахуванням нових технологій визначає коло задач, які потребують першочергового розв'язання. До найважливіших задач належить оцінка та підвищення ефективності їх функціонування. Існуючі методи підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку потребують корегування та доповнень.

Для теоретичного обґрунтування і створення наукових основ побудови новітніх стільникових мереж поряд із удосконаленням існуючих необхідна розробка нових ефективних методів підвищення ефективності їх функціонування. При цьому зазначені стільникові мережі повинні забезпечити можливість надання тих сервісів, які не в змозі надати технології мобільного зв'язку

ЧДТУ
Вх. № 80-н
23. 01. 2011

четвертого покоління та бездротових локальних мереж сімейства стандартів IEEE 802.11. Слід констатувати, що ключовим елементом будь-якої стільникової мережі є підсистема базових станцій (ПБС), з якої починається передача даних. Тому дуже важливою і актуальною задачею є саме підвищення ефективності роботи підсистеми базових станцій.

З огляду на вищевказане, тема дисертаційного дослідження, яка полягає у вирішенні наукової задачі підвищення ефективності підсистеми базових станцій стільникових мереж зв'язку, є **актуальною**.

Одержані результати роботи відображені в рамках науково-дослідної роботи “Методи побудови захищених мереж мобільного урядового радіозв'язку на базі мереж 5G в Україні”, в якій основні наукові результати дисертаційної роботи використані в повному обсязі.

Ступінь новизни, обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Ознайомлення зі змістом дисертації, основними публікаціями та авторефератом дозволяє визнати, що мету дослідження досягнуто. Це знайшло відображення в основних положеннях роботи, які сформульовані автором особисто і характеризуються такою науковою новизною:

вперше розроблено метод підвищення енергетичної ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, який полягає в послідовному використанні процедур розвантаження радіоінтерфейсу базових станцій, альтернативних джерел відновлюваної енергії, адаптивного енергоспоживання, що дозволяє зменшити витрати енергії, адаптувати потужність до потреб абонентів та підвищити економічну ефективність підсистеми базових станцій;

вперше розроблено інформаційну технологію підвищення ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, яка за рахунок використання удосконаленого методу планування підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, розвантаження радіоінтерфейсу підсистеми базових станцій та методу підвищення енергетичної ефективності дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку відповідно підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність ПБС оператора стільникового зв'язку;

вдосконалено метод планування підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку з урахуванням впливу додаткових параметрів на процес розповсюдження радіохвиль, побудови функціонально-стійкої топології зв'язку між базовими станціями та порівняння варіантів побудови по вартості, що надало змогу більш точно визначати радіус зон обслуговування базових

станцій та обирати найбільш оптимальний варіант по критерію вартості та функціональної стійкості;

вдосконалено метод розвантаження радіоінтерфейсу підсистеми базових станцій за рахунок використання багатоканальної передачі даних, додаткового радіоінтерфейсу не-3GPP стандарту, протоколів MPQUIC, MPTCP та MLPPP та динамічного зваженого балансування навантаження, що надало змогу більш ефективно використовувати канали транспортної мережі, зменшувати навантаження на базові станції, підвищувати економічну ефективність використання радіоінтерфейсу, збільшувати кількість активних абонентів та одночасно використовуваних сервісів;

Наукові положення, які виносяться на захист, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам до даного виду досліджень. Достатній рівень обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, що сформульовані у дисертаційній роботі, їх вірогідність забезпечені коректною постановкою наукового завдання та обраних методів його вирішення; урахуванням найбільш значущих факторів, які впливають на ефективності роботи ПБС операторів стільникового зв'язку, виходячи з їх призначення; ретельним аналізом існуючих методів розв'язання схожих завдань, використанням широкої наукової бази літературних джерел; відповідністю змісту дисертаційної роботи методиці вирішення наукового завдання; натурними експериментальними дослідженнями оцінювання якості отриманих методів; значною кількістю напрямів апробації отриманих результатів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які наведені в дисертаційній роботі, обґрунтована використанням загальновідомих та широко апробованих на практиці методів та співпаданням теоретичних та практичних результатів.

Практичне значення наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. В роботі розроблені та доведені до практичної реалізації запропоновані методи та інформаційна технологія. Зокрема,

удосконалено методику оцінки радіусу зон покриття базових станцій;

розроблено алгоритм розвантаження радіоінтерфейсу мереж п'ятого покоління із використанням мереж стандартів не-3GPP;

розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення для адаптивного налаштування положення сонячних панелей з метою більш ефективного живлення базових станцій;

розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для планування ПБС стільникових операторів;

удосконалено методику захисту програмного забезпечення мобільного оператора та розроблене відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях. Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковано у 4 статтях у фахових виданнях, які включені до переліку МОН, 2 статтях у закордонних періодичних фахових виданнях та 8 тезах доповідей на конференціях, з яких 2 індексуються у наукометричній системі Scopus.

Кількість, обсяг та зміст друкованих праць відповідають вимогам щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук.

Аналіз представлених рукопису та автореферату дисертації дає підстави констатувати ідентичність автореферату та основних положень дисертаційної роботи. Наведені в авторефераті наукові положення, висновки і рекомендації в повному обсязі розкриті й обґрунтовані в тексті дисертації.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення. Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Дисертація написана грамотною науковою мовою, оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані з використанням комп'ютерної техніки.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми виконаної роботи, визначено мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, вказано дані про апробацію основних положень дисертації.

У *першому розділі* проаналізовано архітектуру сучасних стільникових мереж, а саме 4G та 5G та їх технологічні проблеми. Основними з цих проблем можна вважати наступні: відносно низька швидкість передачі даних, відсутність загальноприйнятої технології передачі голосу, недостатня спектральна ефективність і абонентська ємність LTE, проблеми IP мультимедійної підсистеми (IMS) та інші техніко-економічні проблеми, що не дають повною мірою реалізувати весь закладений потенціал 4G. Також розглянуті проблеми, які пов'язані з недостатньою функціональною стійкістю та здійснено постановку завдань дисертаційного дослідження, які полягають в розробці нових та удосконаленні існуючих методів моделей та технологій підвищення ефективності ПБС операторів стільникового зв'язку.

У *другому розділі* дисертації вдосконалено метод планування ПБС оператора стільникового зв'язку. В процесі створення і вдосконалення мережі стільникового зв'язку вирішуються дві нерозривно пов'язані задачі: планування мережі (попереднє і детальне) та оптимізація мережі (перепланування за результатами експлуатації). При вирішенні цих завдань виконуються аналогічні операції і обчислення. Крім того, процеси планування і оптимізації мереж різних стандартів також подібні. Сформульована постановка задачі синтезу ПБС та знаходження її оптимальної структури. Задача синтезу оптимальної структури ПБС зводиться до мінімізації витрат на її побудову при забезпеченні мінімально допустимих обмежень по якості обслуговування абонентів. Для вибору оптимального рішення для множини можливих технічних рішень проводиться інтегральна багатокритеріальна оцінка. Запропонована схема вирішення проблеми синтезу оптимальної структури ПБС із забезпеченням функціональної стійкості. Для цього проведено вибір і обґрунтування математичної моделі ПБС. Визначено елементи підсистеми, що впливають на функціональну стійкість. Для вирішення сформульованої задачі запропоновано алгоритм покоординатної оптимізації..

У *третьому розділі* розглянуті питання удосконалення методів розвантаження радіоінтерфейсів сучасних стільникових мереж. Для вирішення завдання зниження перевантаженості мережі, рішенням якої є її розвантаження, тобто переклад частини трафіку в інші мережі з меншим розміром стільників, пропонується використання мереж Wi-Fi. з використанням запропонованого алгоритму. Також розроблені процедури багатоканальної передачі даних для запропонованої удосконаленої архітектури. Для оцінки доцільності використання тих чи інших напрямків було розроблено модель, яка включає економічну складову, зокрема змінними будуть капітальні та операційні витрати на забезпечення енергією ПБС.

Четвертий розділ присвячений розробці інформаційної технології підвищення ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, що ґрунтується на моделях та методах синтезу структури ПБС. Виділено чотири основних етапи для оптимальної архітектури з урахуванням функціональної стійкості та підвищення її ефективності. На основі розробленої інформаційної технології розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для побудови оптимальної структури ПБС, яке дозволяє спочатку оцінювати зони радіопокриття, а потім здійснювати планування архітектури мережі із урахуванням функціональної стійкості. Для забезпечення підвищеного рівня захисту розробленого програмного продукту на основі використання сучасної техніки обфускації удосконалено методіку захисту програмного забезпечення.

У *висновках* викладені найбільш важливі наукові і практичні результати, які були отримані в дисертаційному дослідженні.

Зауваження до дисертаційної роботи. В процесі ознайомлення з роботою позитивне враження справила практична спрямованість досліджень. Але при цьому виникли такі зауваження та недоліки:

1. У першому розділі дисертаційного дослідження було проведено аналіз проблемних ситуацій, які можуть виникати під час роботи підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, проте відсутній детальний аналіз, яким чином ці проблемні ситуації сприяють деградації якості обслуговування абонентів стільникових мереж. Крім того, доцільніше було би підсумувати результати проведеного аналізу у вигляді більш репрезентативних графіків та таблиць.

2. У другому розділі було здійснено постановку проблеми синтезу підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, проте залишається незрозумілим, яким чином було сформульовано перелік функціональних завдань кожного вузла комутації, що входить до складу радіопідмережі операторів стільникового зв'язку.

3. З тексту дисертації та відповідно автореферату не до кінця зрозуміло, які допустимі обмеження по якості обслуговування абонентів були використані під час оптимізації підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку.

4. Доцільно було би надати рекомендації по використанню різних моделей розповсюдження радіохвиль для різних частотних діапазонів, які можуть бути використані в мережах LTE та перспективних мережах 5G.

5. У роботі не в повній мірі обґрунтованим є використання механізму зваженого циклічного планування (WRR) для розвантаження радіоінтерфейсу стільникових мереж LTE.

6. В узагальненій структурі розробленої інформаційної технології присутній блок «Обмеження від оператора стільникового зв'язку», проте відсутній детальний опис даного функціонального блоку.

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки. Зазначені недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи **випадків порушення академічної доброчесності** виявлено не було.

На підставі детального ознайомлення з дисертацією, авторефератом та основними публікаціями вважаю, що кваліфікаційна наукова праця “Інформаційна технологія підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора”, є оригінальним завершеним дослідженням, яке за змістом та оформленням відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12, 13 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженому постановою КМУ № 567 від 24.07.2013 зі змінами, а її автор, Полігенько Олег Олегович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології.

Професор кафедри
обчислювальної техніки та програмування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор

“ 19 ” січня 2021 р.

