

Сайко В.Г.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Радзівілов Г.Д.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Комаров В.О.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Фомін М.М.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Солодовник В.І.

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

Криволапов Я.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Криволапов Г.Я.

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка

УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО ВИБОРУ АБОНЕНТСЬКИМ ТЕРМІНАЛОМ СТІЛЬНИКА МЕРЕЖІ 5G МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано для реалізації попереджувального хендоверу, як нової послуги 5G, що можна охарактеризувати як процес забезпечення надійності функціонування мережі при блокуванні передачі прямої видимості при використанні терагерцового діапазону хвиль, удосконалений алгоритм адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку. Дане інноваційне рішення при якому встановлюють з'єднання абонентського терміналу мобільного абонента з довільною базовою станцією децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яке відрізняється від відомих тим, що при надсиланні повідомлення до довільної базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку про необхідність встановлення з'єднання в мобільній мережі базових станцій, одночасно надсилається повідомлення про створення тимчасового кластеру для забезпечення функціонування при блокуванні передачі прямої видимості. Крім того, для підвищення ефективності функціонування відомого алгоритму введені допоміжні технологічні операції: після проведення вибору базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка задовольняє технічні і фінансові потреби абонента, визначають значення параметра RSRP, який оцінює потужність сигналів на основі пілотних сигналів, що надходять від поточних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку за допомогою мобільних телефонів/терміналів, у зонах обслуговування ближнього і дальнього енергетичних полях базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку, а також налаштовують процедури для сеансу зв'язку тимчасового кластеру/кемпінгу операторів шляхом встановлення індивідуальних пріоритетів допоміжних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку.

Підвищення ефективності застосування удосконаленого алгоритму адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку для терагерцового діапазону довжин хвиль, що пропонується, у порівнянні з відомими, полягає в тому, що шляхом застосування інфраструктури блокчейну, забезпечується зниження складності мережі, значне зменшення експлуатаційних витрат оператора і, відповідно, підвищення надійності та оперативності управління алгоритму адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку, що пропонується, при блокуванні прямої видимості.

Ключові слова: *способи адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку, мережі зв'язку n-ятого покоління, інфраструктура блокчейну.*

Постановка проблеми. Сьогодні у світі 72 країни вже запустили сервіси мобільного зв'язку 5G, понад 460 операторів із 137 країн інвестують у пілотні розробки та проводять тестові запуски [1]. Технологія бездротового доступу 3GPP New Radio (NR) становиться основою систем 5G, що забезпечують високі швидкості передачі даних на інтерфейсі радіодоступу. Передача даних у таких системах вестиметься у терагерцовому діапазоні довжин хвиль, особливістю якого є необхідність прямої видимості між пристроями, що беруть участь у з'єднанні. Одним із завдань у мережах, побудованих на основі терагерцових точок доступу, є завдання знаходження оптимального розташування точок доступу для забезпечення зони покриття мережі стійким зв'язком. Системи NR функціонують у терагерцовому діапазоні частот, і у перспективі дозволять досягати високих швидкостей передачі до кількох гігабіт на секунду, й водночас значно менших затримок на рівні радіоканалу у порівнянні з сучасними системами четвертого покоління. В даний час оператори мереж та постачальники телекомунікаційних послуг вже проводять випробування цієї технології в умовах, наближених до реальних, і перед дослідницькою спільнотою постає ряд нових завдань, що вимагають методів аналізу продуктивності, доцільності та можливості впровадження тих чи інших послуг у системах 5G NR. Системи 5G NR не тільки дозволяють досягти нових унікальних можливостей, але й разом з цим ставлять перед розробниками телекомунікаційних мереж безліч складних задач, серед яких можна відзначити блокування радіопромінів рухомими об'єктами, необхідність в ефективних механізмах керування променем і т.д.

В реальних умовах найбільші труднощі системам 5G NR у більшості випадків привносять рухливі перешкоди, такі як люди і транспортні засоби, які є блокаторами поширення радіосигналу. У випадку якщо обладнання тимчасово потрапляє в стан блокування радіосигналу деяким об'єктом, то залежно від середовища розповсюдження сигналу та відстані між мобільним терміналом/пристроєм (MT) і базовою станцією NR BS (англ. New Radio Base Station) цей пристрій може або випасти із зони покриття базової станції (БС), або знизити свою схему модуляції та кодування таким чином, щоб ймовірність помилки на рівні каналу не перевищувала наперед визначеного цільового значення. Нещодавно консорціум 3GPP запропонував можливе вирішення проблеми виходу із зони покриття, яке полягає в механізмі «множинних з'єднань» (англ. multiconnectivity) [2].

При використанні цього принципу одночасно підтримується кілька активних каналів зв'язку пристрою з допоміжними NR BS, і у разі блокування радіосигналу з'єднання передається на одну з них. В умовах блокування для того, щоб підтримувати необхідну швидкість передачі через основну та через резервну базові станції, необхідна більша кількість фізичних ресурсів. Якщо для підтримки необхідної швидкості радіо ресурсів недостатньо, то поточна сесія скидається, або послуга продовжується надається з нижчою швидкістю з'єднання, якщо це передбачено угодою про рівень обслуговування (SLA-Service Level Agreement). Але на сьогодні механізми реалізації даного підходу [2] знаходяться в стадії розробок і дослідження. Усе це загалом і визначило мету та завдання даної роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відоме рішення під назвою «Тимчасові ефекти мобільних блокаторів у міських стільникових сценаріях міліметрового діапазону», при якому здійснюють одночасне підключенням користувача до кількох базових станцій мережевої інфраструктури в умовах їх щільного розміщення, що враховує блокування каналу прямої видимості перешкодами при передачі на вкрай високих частотах [3].

До недоліків відомого способу [3] відноситься те, що існує складність його технічної реалізації на існуючій інфраструктурі мобільного зв'язку 5G, що призводить до додаткових затримок перемикання каналів, оскільки рішення приймаються віддалено, та відповідно знижує загальну ефективність системи. Це пов'язано з тим, що існуюча централізована архітектура інфраструктури мереж мобільного зв'язку на сьогодні є вразливою з точки зору перевантаження обчислювальних ресурсів і тому вона не гарантує безперебійне надання сервісів IoT, у випадку коли у головних серверах виникають збої програмного забезпечення. Тому, зростаюча потреба в різноманітних додатках, що потребують високої пропускної здатності, таких як мобільне потокове відео та обробки великих даних, потребує зміни принципів управління радіо ресурсами в мережах мобільного зв'язку, щоб уникнути їх дефіциту ресурсів для забезпечення новітніх сервісів для абонентів.

В [4, 5, 6, 7] авторами розглядаються алгоритми оптимізації для підтримки багатоадресної передачі у високочастотній системі, що обслуговують тільки трафік багатоадресної передачі. Зокрема розглядається спільне обслуговування трафіку одноадресних і багатоадресних з'єднань,

пропонується досить проста аналітична модель обслуговування, а також зроблено висновок про досяжність балансу між показниками ефективності для одноадресних і багатоадресних сесій і числом елементів в антені, що застосовується в базовій станції. Але отримані дані малоефективні при застосуванні у терагерцовому діапазоні довжин хвиль, особливо при блокуванні передачі прямої видимості.

Відомий цикл публікацій по даній тематиці авторів даної статті [8, 9, 10].

Постановка завдання. В основу даного дослідження покладено задачу шляхом введення додаткових технологічних операцій, що передбачають визначення значення параметра RSRP, який оцінює потужність на основі щільних сигналів за допомогою мобільних терміналів абонентів, що надходять від поточних базових станцій, у зонах обслуговування ближнього і дальнього енергетичних полях базових станцій, доступного обсягу радіочастотного ресурсу терагерцового діапазону та налаштування процедур для сеансу зв'язку тимчасового кластеру (кемпінгу) базових станцій, забезпечити підвищення надійності функціонування системи адаптивного вибору абонентом оператора в режимі реального часу в децентралізованих мережах 5G мобільного зв'язку при блокуванні прямої видимості у терагерцовому діапазоні довжин хвиль.

Виклад основного матеріалу

Аналіз відомого рішення по забезпеченню адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку

Найбільш близьким технічним рішенням [11], як за суттю, так і за задачею, що вирішується є алгоритм адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку при якому:

- встановлюють з'єднання абонентського терміналу мобільного абонента з довільною базовою станцією децентралізованої мережі мобільного зв'язку,
- надсилають повідомлення до довільної базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку про необхідність установа з'єднання в мобільній мережі базових станцій,
- обробляють в довільній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку інформацію щодо необхідності установа з'єднання,
- надсилають з базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку повідомлення абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом,

- забезпечують підтвердження даних про абонента у блокчейні, що містить реєстр SLA (Service Level Agreement),

- відправляють з блокчейну за допомогою смарт-контракта повідомлення абонента усім базовим станціям децентралізованої мережі мобільного зв'язку, що знаходяться поблизу мобільного телефону/терміналу,

- отримують на базових станціях децентралізованої мережі мобільного зв'язку, що знаходяться поблизу мобільного телефону/терміналу, зазначене повідомлення,

- аналізують в кожній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку можливість виконати завдання та прийняти запит на встановлення з'єднання або відхилити запит, якщо його ресурсів виявиться недостатньо для виконання завдання,

- відправляють в зворотному напрямі до блокчейну відповідь, отримують в блокчейні відповіді, що надходять з базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку,

- надсилають з блокчейну відповіді у вигляді обраного варіанта запиту мобільного телефону/терміналу на реєстрацію у мобільній мережі базових станцій,

- отримують в мобільному телефоні/терміналі відповіді від базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку,

- проводять вибір базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка задовольняє технічні потреби і вартості відповідного сервісу абонента,

- відправляють запит на реєстрацію у вибраній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку мобільного телефону/терміналу,

- підтверджують реєстрацію мобільного телефону/терміналу в децентралізованої мережі мобільного зв'язку, а на підставі підтвердження реєстрації мобільного телефону/терміналу, оновлюють, реєстр SLA (Service Level Agreement) в мережі блокчейн.

Блокчейн в даному контексті виконує функції нотаріального засвідчення коректності даних, та прав доступу окремих абонентів чи операторів до їх зчитування або модифікації, що забезпечує технологічні передумови для автоматизованого регулювання ринку мобільного зв'язку на основі смарт-контрактів. Старт-контракт – це комп'ютерна програма, що зберігається та виконується в інфраструктурі блокчейн, із гарантією коректності виконання на основі протоколів консенсусу між валідаторами (майнерами) у мережі.

Використання смарт-контрактів дає змогу автоматизувати процес спільного використання радіочастотного ресурсу та мережної інфраструктури, шляхом продажу або обміну токенизованих активів, забезпечуючи при цьому належний рівень довіри між операторами. Крім того, використання розподіленої блокчейн інфраструктури забезпечує наскрізну автентифікацію абонентів у мережі будь-якого оператора на основі публічного ключа у мережі блокчейн. В свою чергу, оператори мають змогу обмінюватись даними, для забезпечення неперервного обслуговування абонентів при хендовері абонентів між своїми мережами. Абоненти можуть адаптивно перемикатися між мережами різних операторів в режимі реального часу, узгоджуючи угоди SLA на основі старт-контрактів.

До недоліків відомого алгоритму адаптивного вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку відноситься те, що його реалізація розрахована на обслуговування трафіку одноадресних з'єднань і тому являється малоефективним при застосуванні багатадресних з'єднань у терагерцовому діапазоні довжин хвиль.

Алгоритм інноваційного рішення по адаптивному вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку

Суть інноваційного рішення по адаптивному вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль **полягає в тому, що** при надсиланні повідомлення до довільної базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку про необхідність установа з'єднання в мобільній мережі базових станцій, одночасно надсилається повідомлення про створення тимчасового кластеру для забезпечення функціонування при блокуванні передачі прямої видимості, а після проведення вибору базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка задовольняє технічні потреби абонента, визначають значення параметра RSRP, який оцінює потужність на основі пілотних сигналів, що надходять від поточних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку за допомогою мобільних телефонів/терміналів, у зонах обслуговування ближнього і дальнього енергетичних полях базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку, та налаштовують процедури для сеансу зв'язку тимчасового кластеру/кемпінгу операторів шляхом встановлення індивідуальних пріоритетів допоміжних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку.

Таким чином, особливістю запропонованого рішення полягає в тому, що запит на реєстрацію у вибраній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку мобільного телефону/терміналу відправляють на підставі налаштованої процедури для сеансу зв'язку тимчасового кластеру/кемпінгу операторів

Алгоритм інноваційного рішення по адаптивному вибору абонентським терміналом стільника мережі 5G мобільного зв'язку, що пропонується, функціонує наступним чином.

На першому етапі встановлюють з'єднання абонентського терміналу мобільного абонента з довільною базовою станцією децентралізованої мережі мобільного зв'язку (далі – БС), що застосовує в своїй роботі терагерцовий діапазон довжин хвиль.

Далі надсилають повідомлення до довільної базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку про необхідність установа з'єднання в мобільній мережі базових станцій. При цьому, при надсиланні повідомлення до довільної базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку про необхідність установа з'єднання в мобільній мережі базових станцій, одночасно надсилається повідомлення про створення тимчасового кластеру для забезпечення функціонування при блокуванні передачі прямої видимості.

Даний процес пояснюється таким чином з використанням рис. 1 на якій позначено:

А – Зона обслуговування головної базової станції.

В – Зона обслуговування допоміжної базової станції № 1.

С – Зона обслуговування допоміжної базової станції № 2.

r_1, r_2, r_3 – радіуси ближнього поля зони обслуговування головної базової станції, допоміжних базових станцій № 1 і № 2 відповідно.

R_1, R_2, R_3 – радіуси дальнього поля зони обслуговування головної базової станції, допоміжних базових станцій № 1 і № 2 відповідно.

1 – блокатор.

2 – МТ без прямої видимості до головної базової станції.

3 – МТ з прямою видимістю до головної базової станції.

4 – головна базова станція.

5 – допоміжна базова станція № 1.

6 – допоміжна базова станція № 2.

Згідно з рис. 1 повідомлення, що передається, містить два основні поля: поле ідентифікації МТ і поле інформації про завдання. Поле ідентифікації

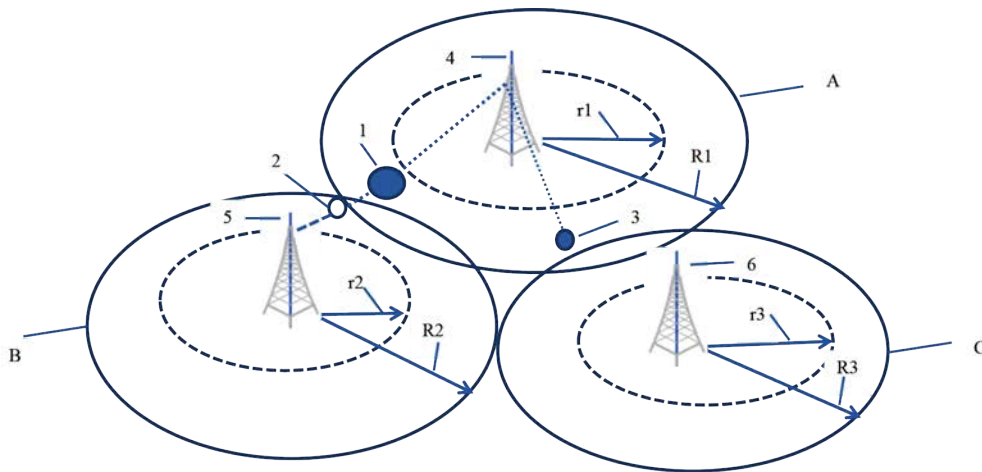


Рис. 1. Інфраструктура побудови з'єднань у кластері базових станцій при блокуванні прямої видимості у терагерцовому діапазоні довжин хвиль запропонованого рішення

містить ідентифікаційний номер МТ 4, а також довготу, широту поточного розташування МТ, вимірних значень потужностей прийнятих пілотних сигналів (RSRP) для усіх видимих базових станцій 5, 6. Поле інформації про завдання містить інформацію про техніко-економічні вимоги абонента, якості і вартості відповідного сервісу

Ця інформація включає мінімальну якість сервісу, з урахування показників якості при блокуванні передачі прямої видимості, яка задовольняє абонента, максимальну вартість, яку кінцевий користувач готовий сплатити за відповідний сервіс.

Далі обробляють в довільній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку інформацію щодо необхідності установа з'єднання.

Продовжують процес тим, що надсилають з базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку повідомлення абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом та забезпечують підтвердження даних про абонента у блокчейні, що містить реєстр SLA (Service Level Agreement) [12].

Після підтвердження даних про абонента у блокчейні, що містить реєстр SLA (Service Level Agreement), відправляють з блокчейну за допомогою смарт-контракта повідомлення абонента усім базовим станціям децентралізованої мережі мобільного зв'язку, що знаходяться поблизу мобільного телефону/терміналу.

Далі базові станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, що знаходяться поблизу мобільного телефону/терміналу, отримують зазначене повідомлення. Після отримання зазначеного повідомлення в кожній базовій станції децентра-

лізованої мережі 5G мобільного зв'язку аналізують можливість виконати завдання та прийняти запит на встановлення з'єднання або відхилити запит, якщо його ресурсів виявиться недостатньо для виконання завдання.

Згідно з рис. 1 механізм прийняття рішень кожної найближчої БС 4, 5, 6 визначає таке:

1. Загальний час, необхідний для виконання завдання, визначеного у повідомленні запиту абонента з урахуванням поточних доступних ресурсів.

2. Загальну якість сервісу з урахуванням поточних доступних ресурсів.

3. Загальну вартість відповідного сервісу з урахуванням поточних доступних ресурсів.

Механізм прийняття рішень кожної БС 4, 5, 6 (див. рис. 1) обчислює якість сервісу і вартість відповідного сервісу для прийняття рішення по запиту на встановлення з'єднання шляхом порівняння якості сервісу і вартості відповідного сервісу з визначеними пороговими рівнями.

Якщо ці дані менше за пороговий рівень, механізм прийняття рішень відхиляє запит на встановлення з'єднання і змінна рішення встановлюється рівною нулю. В іншому випадку БС 4, 5, 6 (див. рис. 1) приймають запит на встановлення з'єднання і відправляють повідомлення у відповідь з рішенням на МТ 3 (див. рис. 1). МТ 3 також повинен перевірити мінімальну якість сервісу, яка задовольняє абонента, максимальну вартість, яку кінцевий користувач готовий сплатити за відповідний сервіс, необхідну для QoS для позитивних відповідей.

У відповіді повідомлення БС 4, 5, 6 (див. рис. 1) містить три основні поля: поле ідентифікації, поле рішення щодо якості і вартості відповідного

сервісу та поле специфікацій виконання. Поле рішення про якість і вартість відповідного сервісу є одnobітовим полем, яке відноситься до угоди про запит на встановлення з'єднання та забезпечення функціонування тимчасового кластеру: одиниця для згоди і нуль для відхилення. Поле специфікації виконання заповнюється лише якщо поле двійкового рішення встановлено в одиницю. У цьому полі вказуються основні особливості процесу виконання показників якості і вартості відповідного сервісу, доступний обсяг радіочастотного ресурсу в терагерцовому діапазоні.

Потім БС 4, 5, 6 (див. рис. 1) відправляють в зворотному напрямі до блокчейну відповіді. Повідомлення, яке містить відповіді БС, при відправленні в зворотному напрямі до блокчейну, відноситься до угоди про запит на встановлення з'єднання та забезпечення функціонування тимчасового кластеру.

Далі відповіді отримують в блокчейні, що надходять з базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку, та надсилають з блокчейну відповіді у вигляді обраного варіанта запиту мобільного телефону/терміналу на реєстрацію у мобільній мережі базових станцій.

Потім отримують в мобільному телефоні/терміналі (МТ) відповіді від базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку.

Далі проводять вибір базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка задовольняє технічні потреби і вартості відповідного сервісу абонента.

Даний процес пояснюється таким чином.

Якщо поблизу знаходиться більше одної БС 5, 6 (див. рис. 1) з доступними ресурсами, що підходять для виконання завдання, та позитивною відповіддю на рішення про запит на встановлення з'єднання, МТ 3 розраховує показник якості сервісу, який задовольняє абонента, та вартість, яку кінцевий користувач готовий сплатити за відповідний сервіс з позитивною відповіддю.

Потім модуль прийняття рішень МТ 3 (див. рис. 1) обчислює рішення про встановлення з'єднання з найближчою БС 4 (головною БС) (див. рис. 1) з найменшим значенням відносно максимальної вартості, яку кінцевий користувач готовий сплатити за відповідний сервіс і найбільшим значенням відносно мінімальної якості сервісу, яка задовольняє абонента.

Після проведення вибору базової станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку, яка задовольняє технічні потреби абонента, визначають значення параметра RSRP, який оцінює

потужність на основі пілотних сигналів, що надходять від поточних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку за допомогою мобільних телефонів/терміналів, у зонах обслуговування ближнього і дальнього енергетичних полях базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку, та доступного обсягу радіочастотного ресурсу в терагерцовому діапазоні, та налаштовують процедури для сеансу зв'язку тимчасового кластеру/кемпінгу операторів шляхом встановлення індивідуальних пріоритетів допоміжних базових станцій децентралізованої мережі мобільного зв'язку.

Процедура формування тимчасового кластеру (кемпінгу) і налаштування процедур кемпінгу для забезпечення функціонування мережі при блокуванні передачі прямої видимості включає наступне.

Для обслуговування запиту користувача БС виділяє радіочастотний ресурс, розмір якого в загальному випадку є випадковою величиною і визначається місцем розташування МТ. Згідно з [13], згасання радіосигналу в просторі LdB визначається такими рівняннями:

$$L_{dB} = \begin{cases} 32,4 + 21 \log(x) + 20 \log f_c, & \text{при прямій видимості,} \\ 47,4 + 21 \log(x) + 20 \log f_c, & \text{без прямої видимості,} \end{cases} \quad (1)$$

де f_c – робоча частота, що вимірюється в ГГц, x – відстань між БС та МТ.

З цих рівнянь можна обчислити відстані, при яких з'єднання все ще може бути встановлено в умовах прямої видимості (LoS) та в умовах без прямої видимості ($nLoS$) відповідно. Для цього достатньо задати граничне значення LdB як мінімальне допустиме значення співвідношень сигнал-шум (англ. Signal-to-Noise Ratio, SNR), необхідне для успішного встановлення з'єднання.

Модуль прийняття рішень МТ 3 (див. рис. 1) обчислює відстані згідно рівнянь (1) та координат БС, які дали позитивну відповідь на рішення про запит на створення кластеру для забезпечення функціонування при блокуванні передачі прямої видимості, при яких з'єднання все ще може бути встановлено в умовах прямої видимості (LoS) та в умовах без прямої видимості ($nLoS$) для кластеру А, В, С БС 4, 5, 6, які знаходяться приблизно на дальності 1-2 км одна від одної. На основі цих даних назначаються пріоритети тимчасового кластеру при блокуванні передачі прямої видимості.

По закінченню зазначеного вище процесу, відправляють запит на реєстрацію у вибраній базовій станції та у мережах обраних операторів вибраного кластера децентралізованої мережі мобільного зв'язку мобільного телефону/терміналу.

Потім БС 4, 5, 6 (див. рис. 1) підтверджують реєстрацію МТ абонента в мережах обраних БС вибраного кластера і далі виконується налаштування процедур профіль-орієнтованого кемпінгу і установка індивідуальних пріоритетів вибору стільників, установлення багатоадресного віртуального з'єднання операторів вибраного кластера.

Запит на реєстрацію у вибраній базовій станції децентралізованої мережі мобільного зв'язку мобільного телефону/терміналу відправляють одночасно з запитом на реєстрацію у мережах обраних операторів вибраного кластера,

Після отримання запиту підтверджують реєстрацію мобільного телефону/терміналу на вибраній базовій станції та у мережах обраних операторів вибраного кластера децентралізованої мережі мобільного зв'язку, а на підставі підтвердження реєстрації мобільного телефону/терміналу, оновлюють, реєстр угоди про рівень обслуговування (SLA) в мережі блокчейн.

Результати моделювання показали, що запропоноване рішення дозволяє знизити ймовірність скидання користувацької сесії від двох і більше разів у порівнянні з базовим алгоритмом без включення.

Висновки

1. Підвищення ефективності застосування алгоритму адаптивного вибору/перевибору абонентським терміналом стільника мережі мобіль-

ного зв'язку при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль для реалізації нової послуги в мережах 5G під назвою «попереджувальний хендовер», що пропонується, у порівнянні з відомими, полягає в тому, що шляхом застосування інфраструктури блокчейну, забезпечується зниження складності мережі, значне зменшення експлуатаційних витрат оператора і, відповідно, підвищення надійності та оперативності управління способом адаптивного вибору/перевибору абонентським терміналом стільника мережі мобільного зв'язку при застосуванні терагерцового діапазону довжин хвиль, що заявляється, при блокуванні прямої видимості.

2. Шляхом введення додаткових технологічних операцій, що передбачають визначення значення параметра RSRP, який оцінює потужність на основі пілотних сигналів за допомогою мобільних терміналів абонентів, що надходять від поточних базових станцій, у зонах обслуговування ближнього і дальнього енергетичних полях базових станцій, доступного обсягу радіочастотного ресурсу терагерцового діапазону та налаштування процедур, забезпечується підвищення надійності функціонування системи адаптивного вибору/перевибору абонентом оператора в режимі реального часу в децентралізованих мережах мобільного зв'язку при блокуванні прямої видимості у терагерцовому діапазоні довжин хвиль.

Список літератури:

1. Сайко В.Г., Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Наритник Т.М., Наконечний В.С., Домрачев В.М., Толюпа С.В., Заблоцький В.Ю., Баховський П.Ф. Мережі мобільного зв'язку нового покоління 4G/5G/6G: монографія. Київ: ТОВ «Про формат», 2021. 200 с.
2. 3GPP TS 37.340 V15.2.0: NR: Multi-connectivity; Overall description, Rel. 15 – 2018. URL: https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/37_series/37.340/ (accessed 31.07.2019). (дата звернення 10.06.2023)
3. Gareyenko M., Samuylov A., Gerasimenko M., Moltchanov D., Singh S.A., Riza M., Aryafar E., Himayat N., Andreev S., Koucheryavy Ye. On the Temporal Effects of Mobile Blockers in Urban Millimeter-Wave Cellular Scenarios. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2017. Vol. 66, no. 11. Pp. 10124–10138.
4. Feng W., Li Y., Niu Y., Su L., and Jin D. Multicast spatial reuse scheduling over millimeter-wave networks. *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*. 2017. Pp. 317–322.
5. Kim W., Song T., Pack S. Rate adaptation for directional multicast in IEEE 802.11 Ad Networks in Consumer Electronics. *IEEE International Conference*. 2012. Pp. 364–365.
6. Park H., Park S., Song T., and Pack S. An incremental multicast grouping scheme for mmWave networks with directional antennas. *IEEE Communication Letters*. 2013. Vol. 17, no. 3. Pp. 616–619.
7. Biazon A. and Zorzi. M. Multicast via Point to Multipoint Transmissions in Directional 5G mmWave Communications. *IEEE Communications Magazine*. 2019. Vol. 57, no. 2. Pp. 88–94.
8. Сайко, В., & Наритник, Т. Модель побудови бездротової терагерцової мережі з підвищеною надійністю зв'язку. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 2023. 2(2). С. 166–181. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230202.16> (дата звернення 10.12.2023).
9. Сайко В.Г., Наритник Т.М., Баховський П.Ф. Модель підвищення показників якості обслуговування гетерогенної мережної інфраструктури терагерцового діапазону. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. серія: технічні науки*. 2023. том 34 (73) № 1. С. 51–55.
10. Сайко В.Г., Наритник Т.М. Застосування блокчейн системи для безпечного обміну повідомлень в гетерогенних мобільних мережах терагерцового діапазону. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. серія: технічні науки*. 2023. том 34 (73) № 2 частина 1. С. 92–97.

11. T. Maksymyuk J. Gazda, M. Volosin, G. Bugar, D. Horvath, M. Klymash, M. Dohler. Blockchain-empowered framework for decentralized network management in 6G. *IEEE Communications Magazine*, 2020. vol. 58, no. 9, pp. 86–92.
12. Кравченко П. Блокчейн і децентралізовані системи: частина 3. Харків: ПРОМАРТ, 2022. 380 с.
13. Сайко В.Г., Наритник Т.М. Беспроводові системи зв'язку терагерцового діапазону: монографія. 2019. Німеччина: Видавництво "LAP LAMBERT Academic Publishing RU". 68 с.

Saiko V.G., Radzivilov G.D., Komarov V.O., Fomin M.M., Solodovnyk V.I., Kryvolapov Ya.V., Kryvolapov H.Ya. IMPROVED ALGORITHM FOR ADAPTIVE SELECTION BY THE SUBSCRIBER TERMINAL OF THE 5G MOBILE NETWORK

An improved algorithm for the adaptive selection of a 5G mobile network cell by a subscriber terminal is proposed for the implementation of a warning handover as a new 5G service, which can be characterized as a process of ensuring the reliability of the network operation when blocking the line-of-sight transmission when using the terahertz wave range. This is an innovative solution in which a connection is established between a subscriber terminal of a mobile subscriber and an arbitrary base station of a decentralized mobile communication network, which differs from the known ones in that when sending a message to an arbitrary base station of a decentralized mobile communication network about the need to establish a connection in the mobile network of base stations, a message is simultaneously sent about the creation of a temporary cluster to ensure functioning when line-of-sight transmission is blocked. In addition, to increase the efficiency of the well-known algorithm, auxiliary technological operations are introduced: after selecting a base station of a decentralized mobile communication network that meets the technical and financial needs of the subscriber, the value of the RSRP parameter is determined, which estimates the signal strength based on incoming pilot signals from the current base stations of the decentralized mobile communication network using mobile phones/terminals, in the service areas of the near and far energy fields of the base stations of the decentralized mobile communication network, and also configure the procedures for the communication session of the temporary cluster/camping of operators by setting individual priorities of auxiliary base stations of the decentralized mobile network. The improvement of the efficiency of the application of the improved algorithm of adaptive selection by the subscriber terminal of the cell of the 5G mobile communication network for the terahertz range of wavelengths, which is proposed, in comparison with the known ones, consists in the fact that by applying the blockchain infrastructure, a reduction in the complexity of the network is ensured, a significant reduction in the operating costs of the operator and, accordingly, increasing the reliability and efficiency of the control of the algorithm of adaptive selection by the subscriber terminal of the cell of the proposed 5G mobile communication network, when blocking the direct line of sight.

Key words: *methods of adaptive selection by the subscriber terminal of a cell of the 5G mobile communication network, the fifth generation communication network, blockchain infrastructure.*