

SECTION 11. TRANSPORT AND COMMUNICATIONS, SHIPBUILDING**11.1 5G wireless method with increased reliability and energy efficiency using terahertz frequency range**

Існуючі мережі мобільного зв'язку переважно розгортаються у спектральному діапазоні нижче 3 ГГц. Але одним з перспективних напрямків розвитку мереж 5G є використання вищих частотних діапазонів, таких як діапазони міліметрових і терагерцових хвиль (від 30 до 300 ГГц) [584]. Особливістю терагерцового діапазонів хвиль є те, що вони забезпечують значно ширші спектральні смуги, даючи змогу суттєво підвищити пропускну здатність у стільнику. Іншою перевагою терагерцових хвиль є значно компактніші розміри передавальних та приймальних антен, що дає змогу використовувати більш ефективні схеми просторового мультиплексування за рахунок збільшення кількості антен, як на стороні базової станції так і на стороні абонентського пристрою. Проте, використання вищих частотних діапазонів вимагає врахування при цьому ряд проблем, які необхідно вирішити.

Необхідно розробити нові підходи до організації радіоканалів у діапазоні високих частот, які б дали змогу ефективно використовувати переваги та, водночас, усувати недоліки хвиль терагерцового діапазону. Зокрема, значні загасання потужності сигналу в діапазоні високих частот можна компенсувати більшою кількістю передавально-приймальних антен та більш складними алгоритмами просторового мультиплексування, які б дозволили підвищити енергетичну ефективність каналів зв'язку. Існуючі методи діаграмоутворення у поєднанні із алгоритмами просторового мультиплексування та компенсації інтерференції можуть підвищити енергетичну та спектральну ефективність мереж мобільного зв'язку при їх впровадженні у вищому спектральному діапазоні. Крім того, значне затухання хвиль терагерцового діапазону робить їх перспективними для використання в піко та фемто стільниках, де необхідно забезпечувати значну пропускну здатність в обмежених зонах. Це дозволить

зменшити відстань між спільноканальними стільниками і відповідно підвищити ефективність використання радіочастотних ресурсів в гетерогенних мережах.

Для ефективного впровадження мереж мобільного зв'язку у спектральному діапазоні 30-300 ГГц також, необхідно вирішити ряд проблем пов'язаних із кінцевими абонентським пристроями. Існуючі термінали мобільного зв'язку підтримують багато радіо інтерфейсів у різних частотних діапазонах. Наразі сучасні мобільні пристрої здатні ефективно функціонувати у діапазоні від 800 МГц до 2,7 ГГц, проте впровадження вищих частотних діапазонів вимагає суттєвого вдосконалення апаратної частини терміналів мобільного зв'язку. Також необхідно вдосконалити антенні системи для кінцевих абонентських пристроїв з метою забезпечення їх ефективного функціонування у будь-якому частотному діапазоні від 800 МГц до 300 ГГц.

Крім того, дослідження хвиль терагерцового діапазону показали, що через більш короткі довжини хвиль передача на вкрай високих частотах піддається блокуванню радіосигналу порівняно невеликими об'єктами. Цей ефект призводить до падіння рівня потужності на приймальній стороні і, тим самим, робить з'єднання терагерцового діапазону менш надійними. Тому представляють інтерес рішення, в яких ущільнення стільникової інфраструктури статично малими стільниками терагерцового діапазону доповнено рухомими вузлами мобільного зв'язку, що призводить до збільшення надійності встановлення з'єднання [585]. Для організації роботи мережі терагерцового діапазону з підвищеною надійністю можливе також використання одночасного підключення (multi-connectivity) абонентського терміналу (MT), коли він з'єднаний з двома і більше стільниками одночасно [586].

Важливо тільки замітити, що блокування з'єднання терагерцового діапазону є випадковою подією, яка вимагає негайної реакції з боку системи зв'язку [587], щоб уникнути розриву активної сесії. Отже, необхідно керувати одночасним підключенням абонентського терміналу до двох і більше з'єднань терагерцового діапазону для оперативного перенаправлення даної сесії на іншу точку радіодоступу при блокуванні поточного з'єднання. Таке управління є

новим функціоналом мережі доступу та відрізняється від відомих підходів, пов'язаних з вивантаженням абонентського трафіку на інші технології радіо доступу.

Тому одним з перспективних напрямків у бездротовій мережі з використанням терагерцового діапазону полягає в розробці інтелектуальних алгоритмів рішення естафетної передачі, щоб визначити час для виконання передачі обслуговування і забезпечення оптимального вибору технології мережі доступу серед всіх доступних мереж доступу для користувачів, які використовують багаторежимні мобільні термінали. Для забезпечення технічної реалізації даних алгоритмів автори розробили модель на основі засобів штучного інтелекту прогнозування максимальної дальності інтервалу прямої видимості терагерцового діапазону [588].

Відоме рішення з можливістю одночасного підключення було досліджене у програмного додатку до хмарних систем радіодоступу для підвищення ефективності обслуговування терміналів, розташованих на краю стільника [589].

Недоліком відомого рішення є те, в існуючих моделях хмарних обчислень все ще залишаються нерозв'язаними питання безпеки мережі та персональних даних. Не зважаючи на те, що централізовані хмарні сервіси є доволі зручними для кінцевих абонентів, така парадигма викликає критичні занепокоєння щодо конфіденційності даних абонентів, враховуючи те, що великі обсяги різних даних, які передаються у мережах мобільного зв'язку та Інтернету речей, зберігається та використовується в динамічних хмарних середовищах. Таким чином, довіряючи захист свої даних третій стороні, користувачі ризикують втратити їх конфіденційність, а також несуть супутні ризики, пов'язані із можливим використанням цих даних зловмисниками.

Також відоме рішення щодо керування системою обслуговування мобільних користувачів, яка складається з власної інфраструктури оператора мобільного зв'язку та орендованих підсистем обслуговування [590]. Автори запропонували комплекс методів для управління якістю обслуговування потоків у гетерогенному мобільному середовищі.

Недоліком відомого рішення є те, не досліджено питання спільного управління існуючими мережами для забезпечення QoS з використанням технологій терагерцового діапазону хвиль та підвищення продуктивності гетерогенної мережі.

Відомий спосіб для організації роботи мережі міліметрового діапазону хвиль з підвищеною надійністю [591] шляхом використання одночасного підключення (multi-connectivity) абонентського терміналу, тобто коли він з'єднаний з двома і більше стільниками одноразово. Дане рішення направлене на зниження часу, коли абонентський термінал залишається під'єднаним до базової станції (БС) міліметрового діапазону хвиль, з'єднання з якою заблоковано. У разі переходу з'єднання міліметрового діапазону хвиль з поточної БС у заблокований стан, обслуговування терміналу перенаправляється на іншу (резервну) БС, що має досить низьку ймовірність блокування з'єднання в поточній зоні знаходження абонента. Тим самим даний спосіб організації роботи мережі міліметрового діапазону хвиль побічно знижує ймовірність розриву сесії через недостатню якість з'єднання, викликаного його блокуванням. Для роботи цього способу на абонентському терміналі потрібна інформація про те, яка з потенційних БС міліметрового діапазону хвиль буде найменшою мірою заблокована для нього в поточній зоні обслуговування.

Недоліком відомого рішення є те, що складність його технічної реалізації на існуючій централізованій інфраструктурі мобільного зв'язку 5G призводить до додаткових затримок перемикавання 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. Крім того, автори не навели як варіанти реалізації технічних рішень, так і не оцінили обчислювальні витрати та витрати часу на прийняття рішення згідно

запропонованого способу та його модифікованих версій, що є важливим для забезпечення необхідного показника якості роботи даної мережі QoS.

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є відомий спосіб мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю в терагерцовому діапазоні частот [592], що включає процес встановлення з'єднання мобільного терміналу, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в бездротових мережах, управління розташуванням мобільних терміналів, спеціальну процедуру передачі обслуговування (хендовер), яка має три послідовні операції – збір мережевої інформації, прийняття рішення і здійснення передачі обслуговування. Новим результатом запропонованого інноваційного рішення є попереднє формування комплексної бездротової мережі з залученням додаткових ресурсів сусідніх базових станцій та допоміжної кластерної мережі на базі мобільних терміналів, які знаходяться в режимі очікування, в зоні поточної базової станції для обслуговування користувачів; після встановлення з'єднання мобільного терміналу, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в комплексній бездротовій мережі проводиться моніторинг якості її роботи на базі використання засобів штучного інтелекту; при прийнятті рішення і здійснення передачі обслуговування застосовується процедура вибору мережі та перехід до нової мережної точки приєднання при блокуванні динамічними перешкодами з'єднання каналу прямої видимості на базі розробленого алгоритму ініціалізації інтелектуального хендоверу, з врахуванням потужності сигналу в зонах покриття основної та сусідніх мереж, мережного енергозбереження, розподілення користувачів у зоні обслуговування головної базової станції, термінали яких знаходяться в режимі очікування, якості обслуговування, розподілення пропускної здатності в межах стільника.

Недоліком відомого рішення є те, що дійсно зв'язок між мобільними пристроями (D2D) підвищує пропускну здатність мережі, ефективність використання спектра та енергоефективність, одночасно підтримуючи різні територіально-орієнтовані та однорангові програми та послуги. Він грає важливу

роль у підвищенні пропускної спроможності мережі та використання ресурсів. Але незважаючи на унікальні можливості, які може уявити використання мобільних пристроїв D2D при розробці бездротового зв'язку 5G, існує багато невирішених проблем із розподілом ресурсів у інфокомунікаційних системах з використанням мобільних пристроїв D2D. І, у першу чергу, обмежена ємність акумуляторів і невелика тривалість автономної роботи є двома основними проблемами інтеграції мобільних пристроїв D2D в існуючі інфокомунікаційні інфраструктури. Тому, для досягнення очікуваної якості обслуговування QoS у мережах мобільного зв'язку з використанням хвиль терагерцового діапазону потрібний правильний розподіл ресурсів та їх оптимізація. Але при розробці даного інноваційного рішення питання розподілу ресурсів та оптимізації енергетичних і інформаційних ресурсів для бездротових мереж зв'язку з використанням принципів інтеграції мобільних пристроїв D2D та засобів бездротового живлення при збереженні очікуваних параметрів якості обслуговування (QoS) не розглядалося і не досліджувалося.

З цієї точки зору представляє інтерес відоме рішення на базі 3-х вузлової мережі кооперативного зв'язку з бездротовим живленням, що складається з джерела, приймача та ретранслятора з обмеженим споживанням енергії, в якій вузол ретрансляції збирає енергію з прийнятого сигналу для забезпечення передачі інформації в пункт призначення/приймач [593].

Недоліком відомого рішення є те, що автори розглядають тільки випадок відсутності прямого зв'язку між джерелом та приймачем і використовують протокол підсилення та прямої ретрансляції для підвищення продуктивності системи.

На відміну від [593], в [594] використовується кілька вузлів ретрансляції з селективною ретрансляцією з декодуванням та прямою передачею, та розглядається прямий зв'язок між джерелом та приймачем.

Недоліком відомого рішення є те, що їх розробка ґрунтувалася на запропонованих моделях без врахування впливу часової неточності синхронізації приймальних променів, які отриманні з прямої лінії зв'язку і за

допомогою ретрансляції, на загальну оцінку ефективності функціонування приймального пристрою і особливо на загальну пропускну спроможність. Також не досліджено питання спільного управління існуючими лініями зв'язку з використанням технологій терагерцового діапазону хвиль та підвищення продуктивності гетерогенної мережі. Крім того, не наведено пропозиції щодо формування інфраструктури окремих каналів зв'язку для ретрансляторів та алгоритм зміни режиму роботи в цілому системи при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль для забезпечення QoS.

Задачею запропонованого інноваційного рішення є підвищення енергозбереження та надійності функціонування децентралізованих мереж мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль на основі спільного використання частотно-часових та енергетичних ресурсів з використанням блокчейну і автономної слайсінгової інфраструктури на базі D2D мобільних терміналів терагерцового діапазону.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергозбереженням в терагерцовому діапазоні хвиль, що включає процес встановлення з'єднання МТ, оснащеного кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в бездротових мережах, управління розташуванням МТ, спеціальну процедуру передачі обслуговування (хендовер), яка має три послідовні операції – збір мережевої інформації, прийняття рішення і здійснення передачі обслуговування, додатково включає:

- попередню побудову віртуальної допоміжної інфраструктури ліній зв'язку між МТ абонента, МТ групи допоміжних ліній терагерцового діапазону, БС оператора обслуговування МТ абонента та встановлення відповідних з'єднань з обслуговуючою базовою станцією;
- після встановлення з'єднання МТ, оснащених кількома мережевими інтерфейсами, до кількох точок доступу в інтегрованій бездротовій мережі, функціонування мережевої інфраструктури забезпечується функціональними

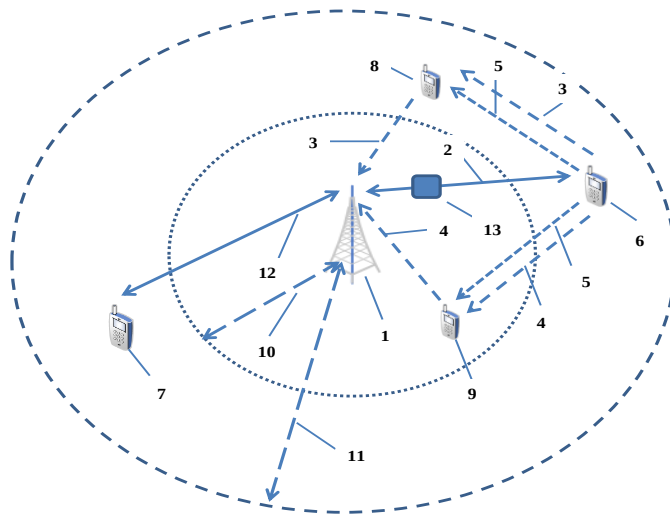
алгоритмами блоку передачі системи з протоколом збору енергії і кооперації, методу «розподілення потужності» і одночасної бездротової передачі інформації та енергії;

- при прийнятті рішення і здійснення передачі обслуговування при блокуванні динамічними перешкодами з'єднання каналу прямої видимості застосовується процедура вибору конфігурації мережі та перехід до нової мережної точки приєднання (слайсів) на базі зміни режимів роботи МТ абонента, МТ групи допоміжних ліній терагерцового діапазону, які забезпечують QoS.

На малюнку 1 зображена схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю: режим роботи --слайс 1.

На ній:

- 1 – Поточна базова станція мережі.
- 2 – Основний висхідний канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).
- 3 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 1: МТ абонента – МТ 1 -- поточна базова станція мережі.
- 4 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 2: МТ абонента – МТ 2 -- поточна базова станція мережі.
- 5 – Канал потоку енергії.
- 6 – МТ абонента.
- 7 – МТ кореспондента.
- 8 – МТ 1.
- 9 – МТ 2.
- 10 – r – радіус ближнього поля зони обслуговування поточної базової станції.
- 11 – R – радіуси дальнього поля зони обслуговування поточної базової станції.
12. Низхідний канал зв'язку з'єднання МТ кореспонденту з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).
- 13 – блокатор.



Малюнок 1. Блок-схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю (режим-слайс 1).

На малюнку 2 зображена схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю: режим роботи при блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами при передачі в терагерцовому діапазоні хвиль - слайс 2.

На ній:

14 – Поточна базова станція мережі.

15 – Основний висхідний канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).

16 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 1: МТ абонента – МТ 1 -- поточна базова станція мережі.

17 – Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 2: МТ абонента – МТ 2 -- поточна базова станція мережі.

18 - Допоміжний складовий канал зв'язку з'єднання напряму 3: МТ абонента – МТ 3 -- поточна базова станція мережі.

19 – Канал потоку енергії.

20 – МТ абонента.

21 – МТ кореспондента.

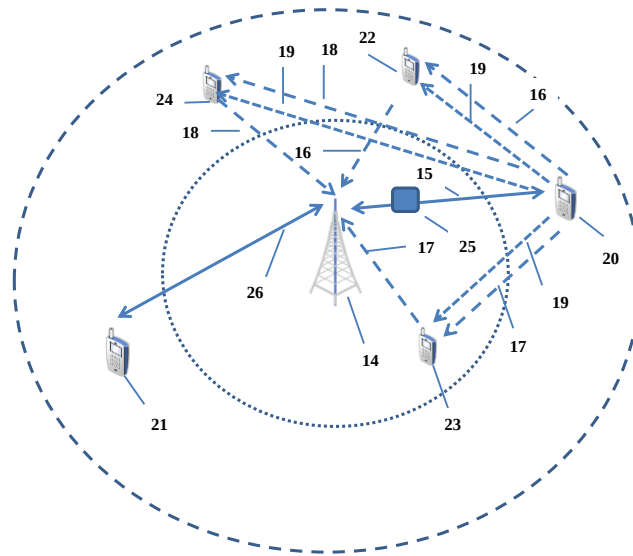
22 – МТ 1.

23 – МТ 2.

24 – МТ 3.

25 – блокатор.

26. Низхідний канал зв'язку з'єднання МТ кореспонденту з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку).



Малюнок 2. Блок-схема реалізації запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю (режим-слайс 2).

На малюнку 3 зображена структурна схема загального алгоритму функціонування запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот, де

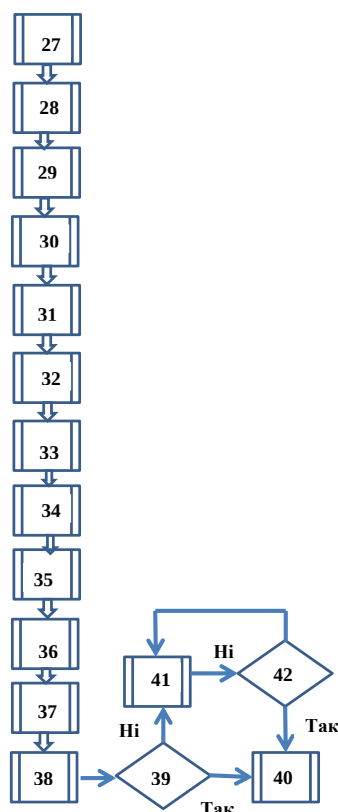
27 – МТ абонента встановлює з'єднання з довільною базовою станцією та надсилає власні вимоги.

28 - Базова станція надсилає запит сервісу абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

29. Підтвердження інформації про абонента у розподіленому реєстрі та оголошення смарт-контрактом тендеру між операторами, які є у зоні видимості абонента.
30. Оператори аналізують запит абонента та визначають наявні можливості для обслуговування абонента.
31. Кожен оператор формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.
32. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного оператора, вибирає пропозицію оператора з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію у його мережі.
33. Оголошення смарт-контрактом тендеру між мобільними терміналами D2D, які є у зонах обслуговування ближнього і дальнього полів поточної базової станції, яку вибрав абонент.
34. Кожен мобільний термінал D2D формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.
35. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного мобільного терміналу D2D, вибирає пропозицію n МТ ($n = 1-5$) з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на їх реєстрацію його у мережі.
36. Оператор підтверджує реєстрацію абонента в мережі обраної базової станції та процедури формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку терагерцового діапазону.
37. Оператор оновлюють реєстр в мережі блокчейн для запуску процесу тарифікації зв'язку для абонента.
38. Функціонування комплексної єдиної схеми збору енергії для автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та оптимальним розподілення ресурсів.
39. Оцінка стану основного висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.
40. Ситуація 1: нормальний режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G.

41. Ситуація 2: режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль.

42. Контроль стану заблокованого висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.



Малюнок 3. Структурна схема загального алгоритму функціонування запропонованого способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот

Запропонований спосіб здійснюють наступним чином. Загальний алгоритм функціонування запропонованого способу (див. малюнок 3) мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот має три етапи, де

Етап I. Вибір абонентом БС оператора бездротової мережі терагерцового діапазону та встановлення з'єднання з обслуговуючою базовою станцією.

27 – МТ встановлює з'єднання з довільною базовою станцією та надсилає власні вимоги, а також виміряні значення для усіх видимих базових станцій.

28 - Базова станція надсилає запит сервісу абонента разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

29. Підтвердження інформації про абонента у розподіленому реєстрі та оголошення смарт-контрактом тендеру між операторами, які є у зоні видимості абонента.

30. Оператори аналізують запит абонента та визначають наявні можливості для обслуговування абонента.

31. Кожен оператор формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.

32. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного оператора, вибирає пропозицію оператора з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію у його мережі.

Етап II. Побудова віртуальної допоміжної лінії зв'язку між МТ абонента, МТ групи забезпечення допоміжної лінії терагерцового діапазону, БС оператора обслуговування МТ абонента та встановлення відповідних з'єднань з обслуговуючою базовою станцією.

33. Оголошення смарт-контрактом тендеру між мобільними терміналами D2D, які є у зонах обслуговування ближнього і дальнього полів базової станції, яку вибрав абонент.

34. Кожен мобільний термінал D2D формує пропозиції для абонента, яка складається із множини показників якості та вартості сервісу.

35. Абонент розраховує значення функції корисності для кожного мобільного терміналу D2D, вибирає пропозицію МТ з найвищими значеннями показників інтегральної корисності та надсилає запит на реєстрацію його у мережі та формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку між «МТ абонента – МТ групи забезпечення допоміжної лінії терагерцового діапазону – базова станція оператора обслуговування абонента».

36. Оператор підтверджує реєстрацію абонента в мережі обраної базової станції та формування віртуальної допоміжної лінії зв'язку терагерцового діапазону.

37. Оператор оновлюють реєстр в мережі блокчейн для запуску процесу тарифікації зв'язку для абонента.

Етап III. Функціонування автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та бездротовим живленням і з підтримкою протоколу ретрансляції з декодуванням та прямою передачею.

38. Функціонування комплексної єдиної схеми збору енергії для автономної системи спільного зв'язку з використанням мобільних терміналів D2D та оптимальним розподілення ресурсів.

39. Оцінка стану основного висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір режиму роботи.

40. Ситуація 1: нормальний режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G (див. малюнок 1,2).

Вихідні дані. Усі мобільні термінали D2D оснащені конденсаторами для тимчасового зберігання зібраної енергії у прийнятого сигналу. Збір енергії здійснюється протягом усього інтервалу часу, заданого в реле часу, без обмежень мінімального рівня потужності прийнятого сигналу. Для роботи в режимі одночасної передачі інформації та енергії використовувався протокол збирання енергії та кооперації (НТС) [595].

Передбачається, що кожен мобільний терміналів D2D має одну антену, як для збору енергії, так і обробки інформації. Всі мобільні термінали D2D забезпечують протокол декодування та прямої передачі для обробки інформації та протокол збору енергії та кооперації (НТС) для збору енергії, а також вони використовують зібрану енергію для сприяння передачі інформації.

В нормальному режимі роботи (наприклад, при $n=2$ див. малюнок 1) МТ абонента передає одночасно інформацію до базової станції трьома маршрутами: перший – МТ 6 абонента, БС 1 мережі (пряма лінія зв'язку); другий – МТ 6 абонента, мобільний 8 термінал D2D, БС 1 мережі; третій – МТ 6 абонента, мобільний 9 термінал D2D, БС 1 мережі. Радіочастотний сигнал від МТ 6

абонента з обмеженою потужністю приймається мобільними 8,9 терміналами D2D за допомогою приймальних антен направленої дії, регенерується і передаються у ефір передавачем мобільних терміналів D2D на БС 1 мережі мобільного зв'язку 5G. Переданий МТ 6 сигнал терагерцового діапазону по другому маршрутному з'єднанню, приймається мобільним 8 терміналом D2D, і спочатку використовується для збору енергії, потім використовується для обробки інформації протягом інтервалу часу $T/2$. Випрямляч у приймальних антенах із вбудованим випрямлячем випрямляє прийнятий РЧ сигнал і використовує вихідний постійний струм для заряджання конденсаторів. У моделі половина часу $T/2$ використовується МТ абонента для трансляції сигналу як на мобільні термінали 8,9 D2D, так і в приймальний пристрій БС мережі. Половина, що залишилася, використовується для передачі інформації між мобільними 8,9 терміналами D2D і приймальним пристроєм БС мережі. Протягом першого інтервалу часу невелика частина розділеного прийнятого сигналу використовується для збору енергії, частина сигналу, що залишилася, використовується для обробки інформації.

41. Ситуація 2: режим роботи мережі мобільного зв'язку 5G при динамічному блокуванні з'єднання прямої видимості рухомими перешкодами під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль (див. малюнок 1).

При блокуванні під час передачі у терагерцовому діапазоні довжин хвиль з'єднання МТ 6 абонента прямої видимості до базової 1 станції рухомими 12 перешкодами мобільний 6 термінал D2D прямої лінії зв'язку та мобільні термінали 8,9 допоміжних складових каналів зв'язку з'єднань напрямів 1 та 2 переводиться в режим забезпечення надійності та енергозбереження і проводиться відповідні зміни їх модуляцій, потужностей передавачів та кодування сигналів. Радіочастотний сигнал від МТ 6 абонента з обмеженою потужністю приймається мобільними 8,9 терміналами D2D за допомогою приймальних антен направленої дії, регенеруються і передаються у ефір передавачами мобільних терміналів D2D на БС 1 мережі мобільного зв'язку 5G по допоміжним складовим каналів зв'язку з'єднань напрямів 1 та 2.

42. Контроль стану заблокованого висхідного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією і вибір подальшого режиму роботи.

Для практичної реалізації способу мобільного зв'язку 5G з підвищеною надійністю та енергоефективністю при використанні терагерцового діапазону частот запропоновано використання технології блокчейн і відповідний поділ архітектури віртуалізації частотно-часових та енергетичних ресурсів на окремі слайси (мережеві шари) для їх спільного використання кількома віртуальними лініями мобільного зв'язку оператора віртуальних бездротових мережевих шарів (MVMO). З технічного погляду блокчейн є децентралізована, постійна та прозора база даних. Концепція блокчейн заснована на архітектурі однорангової мережі, в якій інформація про транзакції контролюється всіма учасниками мережі, а не одним централізованим вузлом. Кожна транзакція блокчейн містить інформацію про зміну розподілу смуги пропускання між D2D терміналами; структури схеми блоку енергії та кооперації (НТС) та способу «розподілення потужності» і одночасної бездротової передачі інформації та енергії; потужності передавання в каналах та швидкість передавання даних, яку гарантує MVMO під час обслуговування своїх абонентів. Усі транзакції верифікуються та реєструються у блокчейн для забезпечення ефективного прозорого управління частотно-часовими та енергетичними ресурсами. Таким чином, розподілена схема на основі ланцюжка блоків надійно створює нові MVNO, не розкриваючи їх приватну інформацію широкому загалу.

Блокчейн використаний для створення надійних наскрізних мережевих слайсів, що дозволить їх провайдером керувати своїми ресурсами. Кожен слайс складається з основного канал зв'язку з'єднання МТ абонента з поточною базовою станцією (пряма лінія зв'язку) та декількох n ($n = 1, 2, 3, \dots$) допоміжних складових каналів зв'язку з'єднання напрямів n : МТ абонента – МТ $1 \dots n$ -- поточна базова станція мережі. Для гарантування безпечних транзакцій між віртуальним провайдером мережевих шарів та постачальником ресурсів для послуг 5G блокчейн використовується для створення механізму посередництва у мережевій секції. Блокчейн підтримує мікропроцеси конфігурації ресурсу з

використанням брокера шарів мережі 5G у промисловій автоматизації та в інтелектуальних мережах. Виробниче обладнання бездротової мережі самостійно орендує мережевий сегмент, необхідний для операцій на вимогу, затверджує угоду про рівень обслуговування (SLA) та сплачує плату за обслуговування на основі фактичного використання.

Один мобільний термінал одночасно може використовувати до N ($N=1-k$, де k – загальна кількість мережевих шарів) таких мережевих шарів. Особливістю тут є те, що модуль управління доступом і мобільністю AMF повинен бути єдиним (загальним) для всіх мережевих шарів, що обслуговують мобільних терміналів. Кожен мережевий шар характеризується інформацією S-NSSAI (Single Network Slice Selection Assistance Information), а інформація декількох мережевих шарів S-NSSAI групуються у зведену інформацію про мережеві шари NSSAI – сукупність інформації мережевих шарів S-NSSAI мережі мобільного зв'язку з заданим ідентифікатором.

Для здійснення запропонованого рішення можуть бути використані стандартні та авторські розробки вузлів і компонентів приймально-передавальних систем (модулів) діапазону терагерцового діапазону частот [596,597], які побудовані з використанням технологій фотоніки та мікрохвильової електроніки, що дає також можливість запропонувати нові схемно-технологічні рішення створення в терагерцовому діапазоні. Крім того, для моніторингу просторово-енергетичних даних структури кластера мережі можна застосувати програмний додаток розроблений у програмному середовищі Matlab [598] з використанням пакету 5G Toolbox (програмний приклад «NR Positioning Using PRS»).