

О.А.СЕРКОВ, д-р техн. наук, зав. кафедрою, НТУ «ХПІ»;

С.О.НІКІТІН, аспірант, НТУ «ХПІ»;

Л.О.НІКІТІНА, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ МЕРЕЖ ІЕЕЕ 802.22 WRAN

Запропоновано метод підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу за рахунок прискорення процедури аналізу діапазону радіочастот та скорочення кількості стрибків за частотою.

This paper discusses questions related to development of the method for increasing the efficiency of radio spectrum using by decreasing the time for the radio spectrum sensing and the number of frequency hops.

Предложен метод повышения эффективности использования радиочастотного ресурса за счет ускорения процедуры анализа диапазона радиочастот и сокращения количества прыжков за частотой.

Сучасний попит на послуги бездротових телекомунікаційних систем широкомовного доступу не забезпечується повною мірою. Особливо це стосується приміської зони та сільської місцевості, адже постачальники таких послуг найчастіше орієнтовані на обслуговування густонаселених районів великих міст. Таким чином реалізація бездротових мережевих рішень регіонального масштабу є актуальною та перспективною. Поява та бурхливий розвиток бездротових систем, таких як системи стільникового та супутникового зв'язку, EV-DO та LTE, систем на ґрунті бездротових мережевих технологій Wi-Fi та Wi-MAX спричинили серйозну проблему, пов'язану з використанням радіочастотного діапазону. Практично весь радіочастотний діапазон до теперішнього часу розподілено та ліцензовано, але його використання не є достатньо ефективним. Впровадження та використання нових сервісів, для роботи яких необхідна наявність вільних частотних діапазонів, стає важким, а іноді й неможливим.

Перспективним підходом для забезпечення більш ефективного використання радіочастотного спектру є впровадження механізмів інтелектуального управління (когнітивне радіо), тобто адаптивних механізмів формування параметрів радіоінтерфейсу.

Принципи когнітивного радіо доцільно використовувати для побудови бездротових регіональних мереж. Першим стандартом, в основу якого закладені ці принципи, є стандарт ІЕЕЕ 802.22 WRAN, який на даний момент знаходиться в розробці. Він передбачає роботу в телевізійному частотному діапазоні, що дозволяє досягати радіуса дії до 100км без обмеження потужності.

Таким чином його доцільно використовувати для реалізації регіональних бездротових мереж. Передача даних здійснюється на каналах, не зайнятих первинними системами (телемовленням і бездротовими мікрофонами). У зв'язку з цим головним завданням розробників є захист цих систем від можливих завад, що вносяться роботою систем стандарту IEEE 802.22.

Специфікація IEEE 802.22 являє собою проект бездротових регіональних мереж, що описує дворівневу архітектуру (рівень РНУ і рівень МАС) з багаточковим (point-to-multipoint) з'єднанням. Мережа призначена як для роботи з професійними фіксованими базовими станціями, так і з портативними (або фіксованими) терміналами (модеми) користувачів. Обмін даними за стандартом проводиться на «вільних» частотах VHF/UHF телевізійного мовлення, що складає смугу від 54 до 862 МГц. За твердженням розробників, мережа в основному призначена для використання в малонаселених пунктах, а також сільській місцевості, де найімовірніше буде достатня кількість вільних каналів в робочій смузі частот стандарту.

Рівень МАС базується на застосуванні технології когнітивного радіо. Він повинен мати можливість автоматичної адаптації до змін у радіочастотному середовищі шляхом аналізу спектру частот. Рівень складається з двох структур: фрейм та суперфрейм. Суперфрейм складається з контрольного заголовку SCH, преамбули та послідовності фреймів. SCH та преамбула відправляються базовою станцією (БС) за усіма вільними для передавання каналами. Коли термінал користувача (СРЕ) починає роботу у мережі, він аналізує спектр, виявляє доступні вільні канали та отримує усю необхідну інформацію для підключення до БС.

СРЕ виконує два типи аналізу спектру: внутрішньосмуговий та позасмуговий. Внутрішньосмугове вимірювання полягає у аналізі поточного каналу, що використовується для зв'язку з БС. Позасмугове вимірювання полягає у аналізі усіх інших каналів. Рівень МАС виконує два типи аналізу для внутрішньосмугових та позасмугових вимірювань: швидкий та точний. Швидкий аналіз має швидкість зондування 1мс на канал. Цей тип аналізу здійснюється і СРЕ, і БС. БС збирає інформацію від усіх СРЕ та приймає рішення щодо необхідності подальшого зондування. Точний аналіз вимагає значно більшого часу (25 мс та більше на кожний канал) та використовується на основі інформації, отриманої при швидкому зондуванні.

Ці механізми використовуються для визначення того, чи є у наявності сторонні передачі, втручання до яких необхідно уникнути.

Ширина одного каналу мережі IEEE 802.22 WRAN складає 6 МГц. За умови використання діапазону 54-862 МГц кількість можливих каналів становить 134. При використанні наведеного механізму, кожне швидке вимірювання триває до 134 мс та вимагає радіомовчання від усіх передавачів чарунки, що при періоді вимірювань у 1 с знижує пропускну здатність мережі до 13,5 %.

Окрім аналізу спектру, важливим завданням є розподіл вільних каналів між користувачами. Оскільки канал використовується лише за умови відсут-

ності сторонніх передач та повинен бути звільненим при їх появі, переходи між каналами займають досить багато часу та можуть вплинути на якість обслуговування користувачів. За стандартом IEEE 802.22 при виникненні колізії перехід здійснюється до першого вільного каналу без урахування ймовірності виникнення нової колізії.

З огляду на це, доцільною буде розробка методів, які повинні забезпечити більшу пропускну здатність системи - методу аналізу діапазону, який матиме меншу порівняно з існуючим тривалість, та методу планування розподілу каналів між користувачами з урахуванням ймовірності колізій.

Оскільки технологія IEEE 802.22 знаходиться на стадії стандартизації і не є достатньо випробуваною на практиці, проводити оцінку продуктивності мережі при тому чи іншому методі аналізу та розподілення діапазону здійснити досить складно. Для цього на даному етапі доцільно застосовувати імітаційне моделювання, розробивши модель користувача для даної мережі з усіма необхідними вхідними початковими параметрами.

Для оцінки підвищення ефективності використання радіочастотного спектру слід зробити оцінку ефективності використання радіоспектру в конкретному регіоні при реалізації мережі стандарту IEEE 802.22 з урахуванням існуючих систем телебачення, радіомовлення та інших користувачів діапазону.

Мета роботи є розробка методу аналізу радіочастотного спектру та розподілення каналів для мережі IEEE 802.22 WRAN, які здатні підвищити продуктивність мереж, із подальшою оцінкою ефективності використання спектрального діапазону даною мережею.

Для досягнення поставленої мети слід обґрунтувати застосування принципів когнітивного радіо для побудови безпроводних регіональних мереж, здійснити аналіз підходів до зондування радіочастотного діапазону та розподілення каналів та розробити метод зондування радіочастотного діапазону та розподілення каналів.

Стандартом IEEE 802.22 передбачено включення інтервалу радіомовчання до кожного суперфрейму для внутрішньоканального аналізу. Тривалість такого інтервалу складає 1мс на кожні 160мс. У разі виявлення колізії БС виконує точний аналіз тривалістю від 25мс для каналу. За результатом точного аналізу БС приймає рішення щодо зміни каналу зв'язку з СРЕ. Крім цього БС та СРЕ періодично сканують весь діапазон методом швидкого аналізу для виявлення резервних каналів. У разі виникнення колізії та підтвердження сторонньої передачі, БС переводить СРЕ на перший вільний резервний канал. Наведена схема є ефективною за умови інформованості системи щодо постійно діючих сторонніх користувачів радіочастотного ресурсу та невеликої кількості сторонніх користувачів, що діють без певної системи. Але пропускну здатність системи знижується за рахунок відсутності врахування ймовірності появи колізій у каналах, на які переводяться СРЕ. Крім цього, схема не враховує співіснування з сусідніми чарунками WRAN на період

швидкого сканування діапазону.

На основі проведених досліджень було запропоновано нову схему зваженого аналізу діапазону та планування розподілу каналів. Ця схема спрямована на подолання недоліків стандартних схем аналізу та розподілення діапазону шляхом розрахунку ймовірностей виникнення колізій на каналах з урахуванням часового параметру та координації дій сусідніх БС.

Головна ідея запропонованого методу полягає в побудові карти ймовірностей виникнення колізій на каналах, побудові оцінних функцій та сортуванні переліку доступних вільних каналів у порядку збільшення значення функції. Приклад діаграми використання каналів наведено на рис. 1.

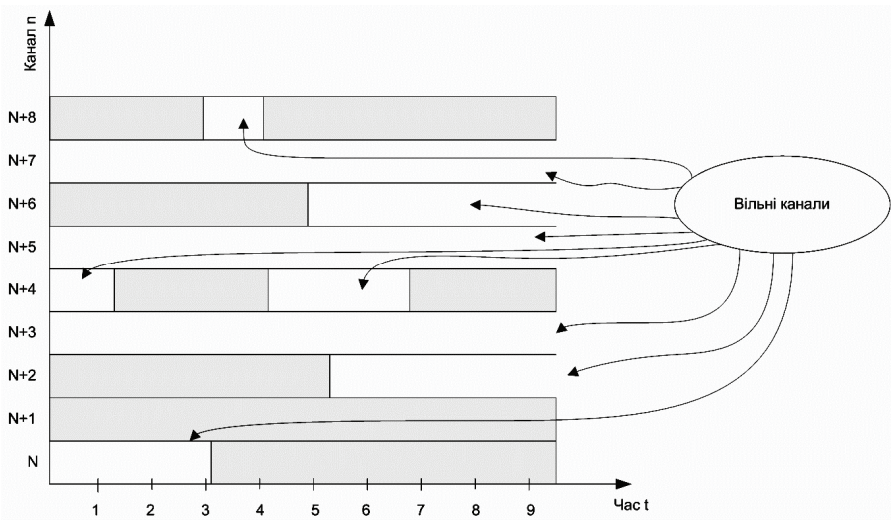


Рисунок 1 – Приклад діаграми зайнятості каналів в залежності від часу

Інформація щодо виникнення колізій накопичується у базі даних на БС. Накопичені дані оброблюються з метою виявлення залежності використання каналу ліцензованими користувачами від часового параметру. Обробка статистичних даних виконується з урахуванням пошуку періодичності використання каналу. Результатом такої обробки є функції вигляду (1)

$$\begin{aligned} \eta_n &= F(t, n); \\ t_{zn} &= F_{zn}(t, n), \end{aligned} \quad (1)$$

де η_n – імовірність зайнятості каналу, t_{zn} – час, протягом якого канал імовірно залишиться вільним, t – час проведення розрахунку, а n – номер каналу. Вигляд функцій змінюється для каналу n кожен раз, коли у ньому виникає колізія, адже змінюється масив накопичених даних.

У разі виникнення колізії програмне забезпечення БС розраховує t_{zn} для

кожного з вільних каналів, після чого для кожного каналу розраховується оцінна функція:

$$\xi_n = \frac{N}{\sum_k t_{zk}}, \quad (2)$$

де ξ_n – оцінна функція для каналу n , N – кількість сусідніх каналів, що потрібно використати, k – номер каналу, який відповідає наступній умові:

$$n - \frac{N}{2} \leq k \leq n + \frac{N}{2}, \quad (3)$$

Наступним кроком є вибір каналу з найменшим значенням ξ_n для продовження роботи з СРЕ.

Запропонована оцінна функція дозволяє зменшити імовірність повторної колізії для СРЕ, а як наслідок – зменшити кількість перестроювань частоти та збільшити за рахунок цього ефективність використання діапазону.

Пришвидшити процес аналізу усього діапазону можна за рахунок попереднього розрахунку значень η_n для усіх каналів, сортування переліку каналів за значенням η_n та послідовного аналізу каналів за створеним переліком. Однак слід аналізувати не всі канали, а лише їх необхідну кількість. Наприклад, якщо у поточний момент з БС працює M станцій СРЕ, то достатньо мати M резервних каналів.

Використання прогностичної імовірнісної моделі дозволить зменшити вплив системи на ліцензованих користувачів діапазону. Цього можна досягти, якщо виділяти канал для СРЕ не безстроково, а лише на період t_{zn} з моменту виділення, після чого примусово переводити СРЕ на інший вільний канал, навіть якщо у каналі не виникло колізії.

Розглянемо випадок з двома БС (рис. 2).

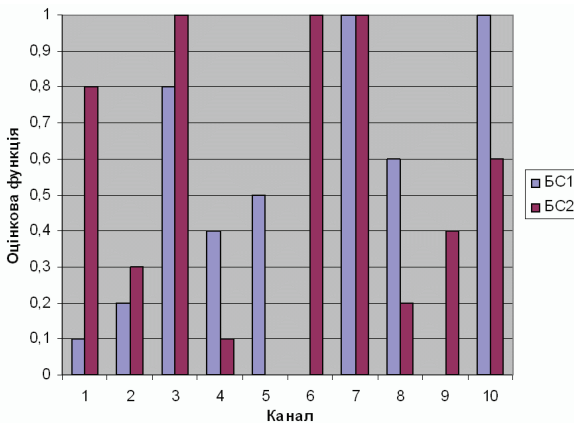


Рисунок 2 – Імовірність зайнятості каналів для сусідніх БС

Кожна БС має свій перелік ймовірностей зайнятості каналів. Рекомендована процедура сканування така. Перед скануванням БС обмінюються таблицями ймовірностей. Процес сканування починається одночасно. Якщо діапазони каналів кожної з БС з найнижчою ймовірністю зайнятості не перетинаються, кожна з БС сканує свій. Якщо ж канал є спірним, він віддається тій БС, для зони покриття якої ймовірність його зайнятості ліцензованими користувачами менша.

В подальшому доцільно розробити метод побудови оцінних функцій, імітаційну модель для оцінки пропускну здатності мережі стандарту IEEE 802.22 із використанням розробленого методу та запропонувати методику оцінки ефективності використання спектру мережами стандарту IEEE 802.22 на заданій місцевості.

Висновки. Таким чином обґрунтовано доцільність побудови бездротових регіональних мереж на принципах когнітивного радіо відповідно до стандарту IEEE 802.22, запропоновано метод зваженого аналізу діапазону та планування розподілу каналів для підвищення ефективності використання радіочастотного діапазону.

Список літератури: 1. *Carlos Cordeiro, Kiran Challapali, Monisha Ghosh* Cognitive PHY and MAC Layers for Dynamic Spectrum Access and Sharing of TV Bands. – Philips Research North America. 2. *Cordeiro C. et al.*, «A PHY/MAC Proposal for IEEE 802.22 WRAN Systems.» IEEE 802.22 doc. no. 22-06-0005-05-0000, March 2006. 3. *Wendong Hu, Daniel Willkomm* Dynamic Frequency Hopping Communities for Efficient IEEE 802.22 Operation. – STMicroelectronics Inc., Technical University Berlin, University of California, Los Angeles. 4. *Raed Al-Zubi, Mohammad Z. Stam* Coexistence Problem in IEEE 802.22 Wireless Regional Area Networks. – Department of Electrical and Computer Engineering University of Arizona.

Надійшла до редколегії 27.10.2011.