

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ У ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОГНІТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Коляденко Ю.Ю., Дробяз М.О., Майба М.А., Шлома О.К.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського»,
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна

E-mail: yuliia.koliadenko@nure.ua,
mykhailo.drobiaz@nure.ua,
mykola.maiba@nure.ua,
oleksandr.shloma@nure.ua

Abstract

The use of modern wireless transmission technologies is determined by the licensing policy for the use of radio frequency spectrum, where national communications administrations allocate radio frequency spectrum users the right to use frequencies within the framework of current norms and rules for the allocation of bands between radio services of Ukraine. The form of permits for the use of radio frequency channels provides for frequency allocation on a long-term basis. The paper analyzes the development of networks in connection with the use of cognitive technologies.

Використання сучасних безпроводових технологій передачі визначається політикою ліцензування використання РЧС, де національні адміністрації зв'язку виділяють користувачам РЧС право на використання частот РЧС у рамках чинних норм та правил розподілу смуг між радіослужбами України. Форма дозволів на використання радіочастотних каналів передбачає частотне виділення на довгостроковій основі.

В роботі йдеться про ділянку РЧС, що ліцензується, для використання яких потрібне отримання ліцензії, та про неліцензійне ділянці РЕЗ для використання якого потрібно тільки використовувати РЕЗ з параметрами та характеристиками, які мінімізують ймовірність завад роботі РЕЗ ліцензійних користувачів РЧС. У зв'язку з різким зростанням обсягу трафіку, що передається, користувачі та оператори безпроводових мереж зв'язку зіткнулися з певним дефіцитом діапазонів частот ліцензійних ділянок РЧС для використання цивільного призначення. При цьому деякі ділянки РЧС іноді використовуються лише частково, що призводить до неефективного використання РЧС, таке використання РЧС об'єктивно створює потреби розробки нової парадигми, в рамках якої для інформаційного обміну пропонується використовувати ліцензійні та неліцензійні смуги частот.

Розглянута парадигма включає принцип динамічного розподілу та доступу до каналів передачі, насамперед всього до радіочастотних каналів. Динамічний розподіл та доступ означають, що засіб зв'язку у вигляді радіоелектронного засобу (РЕЗ) може тимчасово використовувати канали передачі для служб зв'язку, які не входять у ліцензію. Застосовуючи таке РЕЗ, спочатку не має ліцензії на використання ділянки РЧС. Істотною умовою застосування динамічного доступу до РЧС є запобігання перешкодам у роботі РЕЗ, які здійснюють використання ділянки РЧС відповідно до ліцензії та дозволу використання радіочастотних каналів. Для динамічного розподілу доступу до радіоканалів та смуг РЧС застосовуються технології когнітивного радіо які дозволяють отримати доступ до радіоканалу як первинних користувачів і вторинним користувачам [1].

Когнітивна система радіозв'язку (когнітивне радіо) – це радіосистема, у роботі якої враховуються відомості про навколишнє робоче та географічне середовище, про встановлені правила використання РЧС та внутрішньому стані системи. Під когнітивною мережею зв'язку в даній роботі розуміється сукупність взаємодійних засобів зв'язку та технологій, включаючи бази даних, системи спектрального зондування, що використовуються в існуючих службах радіозв'язку передачі даних у межах системи когнітивного радіо.

Когнітивна мережа зв'язку не є новим типом мереж зв'язку, а за аналогією до інтелектуальною

мережею зв'язку, є сукупністю засобів зв'язку та спеціалізованого обладнання, реалізують функції когнітивних систем радіозв'язку, що не підтримуються мережами та службами радіозв'язку. Відповідно, когнітивні РЕЗ є засоби зв'язку, що підтримують функції когнітивних систем радіозв'язку [2]. Когнітивне РЕЗ в динамічному режимі самостійно підлаштовує робочі параметри своєї роботи під характеристики та умови зовнішнього радіосередовища для того, щоб забезпечити прийом-передачу з необхідною якістю, не перешкоджати роботі первинних користувачів РЧС та одночасно отримувати знання за фактом використання РЧС. Таким чином, когнітивне РЕЗ адаптується не тільки в частині зміни потужності випромінювання для деякого фрагмента РЧС, але в частині автономного навчання та вживання заходів, необхідних, щоб уникнути створення перешкод іншим користувачам. Іншою ключовою властивістю є реконфігурування або самоконфігурування, коли характеристики когнітивного РЕЗ програмним чином перебудовуються для передачі та прийому інформації у широкому діапазоні частот та з використанням різних радіотехнологій.

У широкому значенні когнітивну мережу можна вважати інтелектуальною віртуальною мережею, яка використовує існуючі ресурси радіомереж, що використовують ліцензовані та, рідше, неліцензовані з точки зору процедур виділення та видачі дозволів, діапазони радіочастот. Узагальнена схема функціонування КСР, реалізована за принципами когнітивності та реконфігурування у загальному вигляді представлена на рис. 1. Тут СР отримує інформацію з навколишнього радіосередовища за допомогою процесів зондування, спостереження та навчання, що дозволяє приймати рішення з перенастроювання робочих характеристик відповідно до отриманої інформації та раніше отриманими знаннями.

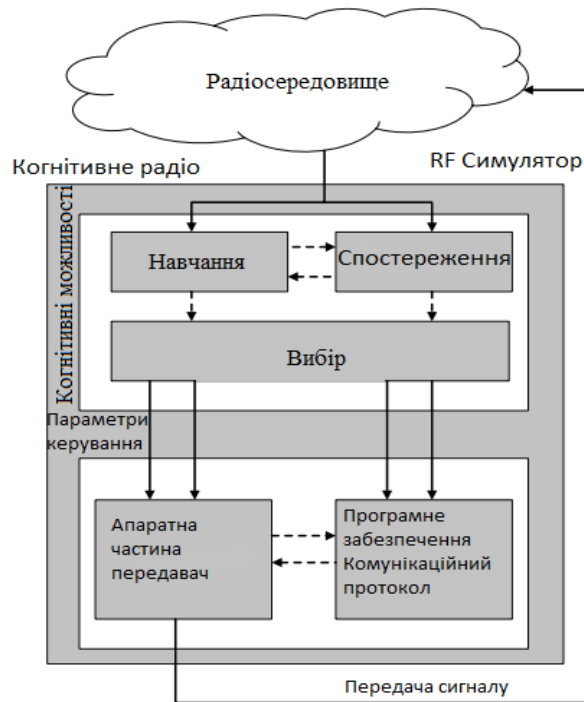


Рис. 1. Узагальнена схема функціонування КСР

На основі цих рішень КР за допомогою програмного забезпечення управління використовує нові телекомунікаційні протоколи, та застосовує відповідні апаратні засоби, наприклад, використовує широкодіапазонну антену. За властивостями когнітивні системи радіозв'язку можна розділити на КСР з пасивною та активною методологією аналізу навколишнього радіосередовища. У КСР із пасивною методологією аналізу, первинні користувачі PU самостійно надають КСР інформацію про виділення/звільнення вільних частот або інформацію про тимчасове невикористання таких частот. Обмін інформацією може включати технологічні параметри потужності передавача, геолокацію, частоту, модуляцію, частоту помилкових біт тощо.

Перевагою пасивного підходу, а також те, що ці ресурси контролюються з мережею, а також запобігання втручання з боку неавторизованих користувачів, забезпечують функціональність спеціального організованого вузла КСР – менеджера РЧС. Однак пасивний підхід збільшує обсяг

службового трафіку та трафіку управління, збільшує навантаження на трансивер, і цей підхід важко поєднувати з існуючими правилами розподілу РЧС. Цей підхід, безсумнівно, корисний у майбутній інтеграції з традиційними методами використання РЧС. Ефективний метод аналізу РЧС передбачає безперервний радіомоніторинг у вигляді зондування вторинними користувачами РЧС для отримання інформації про поточне використання РЧС та створення бази даних геолокації, що містить інформацію про використання РЧС на їх місці, при цьому потрібне постійне оновлення інформації для відстеження розташування вільних радіоканалів.

При проведенні моніторингу можуть виникнути такі ситуації, як несвоєчасне звільнення каналу для РЕЗ PU, для чого необхідне збільшення точності вимірювань розташування та параметрів випромінювання, що у свою чергу зменшує час доступне передачі корисного трафіку РЕЗ SU. В цілому проблему з накладенням роботи РЕЗ SU на РЕЗ PU можна подолати шляхом обміну інформацією про зондування спектру між вторинними користувачами, використовуючи комбінацію активних та пасивних методологій. Як зазначалося, первинними користувачами РЧС у межах концепції когнітивного радіо, називають діючих користувачів певного ліцензованого діапазону, де PU розглядаються як авторизовані абоненти оператора зв'язку, який має ліцензію на право використання певного діапазону РЧС надання послуг електрозв'язку. Через безумовного пріоритету користувачів РЕЗ PU, пристрої РЕЗ SU не повинні створювати перешкод роботі РЕЗ PU. При цьому віртуальна когнітивна мережа з кінцевої множини взаємодіючих і розподілених за певною територією терміналів РЕЗ CR.

Кожне РЕЗ CR має можливість обмінюватися інформацією про факт початку роботи РЕЗ PU із сусідніми терміналами SU. Аналізуючи інформацію про поведінку РЕЗ PU, вторинні користувачі РЧС можуть передбачати поведінку РЕЗ PU та реалізовувати кооперативний доступ до каналів. Щоб спільно з РЕЗ PU використовувати РЧС, когнітивні РЕЗ повинні слідувати політиці доступу, визначеної контролюючими органами та національними адміністраціями зв'язку.

Когнітивні системи мають право на використання РЧС, однак когнітивні мережі та когнітивні РЕЗ повинні враховувати обмеження щодо використання РЧС, оскільки вторинні системи можуть заважати роботі первинних радіосистем та служб. Звідси випливає необхідність управління використанням РЧС вторинними користувачами, у тому числі при розподілі каналних ресурсів. При цьому для підтримки безперервності зв'язку кращим є підхід, коли когнітивні РЕЗ самостійно визначають факт початку роботи на займаному каналі РЕЗ PU, після чого за мінімальний час відключаються від робочого каналу і перемикаються на інший доступний канал для продовження сеансу зв'язку.

Завдяки когнітивності та реконфігурованості, когнітивне РЕЗ може використовувати «білі плями» або «пробіли» РЧС, схема можливих перемикань для даного випадку представлена на рис. 2. Тут також за виявленням роботи РЕЗ первинного користувача, пристрій когнітивний радіо відключається від каналу та починає здійснювати пошук іншого «білої плями», щоб уникнути перешкод та колізій під час роботи PU [3].

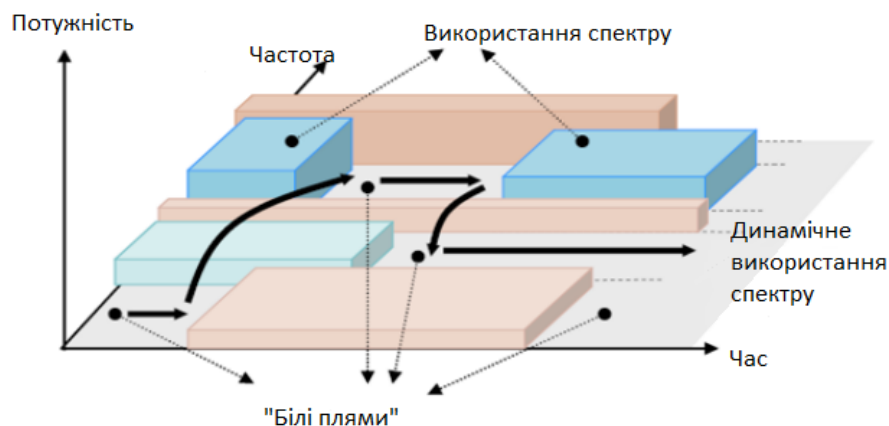


Рис. 2. «Білі плями» та динамічний доступ до РЧС

З урахуванням розвитку когнітивних мереж з метою подальшого підвищення ефективності

використання РЧС, компоненти мережевої архітектури CR представлені на рис. 3, можуть бути умовно поділені на дві групи: основна або первинна радіомережа та когнітивна мережа зв'язку.

Додаткові функціональні можливості, необхідні для користувачів когнітивних РЕЗ передбачають, наприклад, розгортання когнітивних мереж, наприклад, як однорангові мережі peer-to-peer. В одноранговій мережі повністю відсутній центральний елемент мережі та всі учасники є рівноправними. На відміну від архітектури з центральним мережевим елементом, така організація забезпечує підвищену надійність та живучість, але при обмеженій кількості пристроїв CR.

В одноранговій когнітивній мережі, користувач SU може обмінюватися інформацією з іншими учасниками мережі за допомогою ad-hoc з'єднання ліцензійних та неліцензійних діапазонів РЧС.

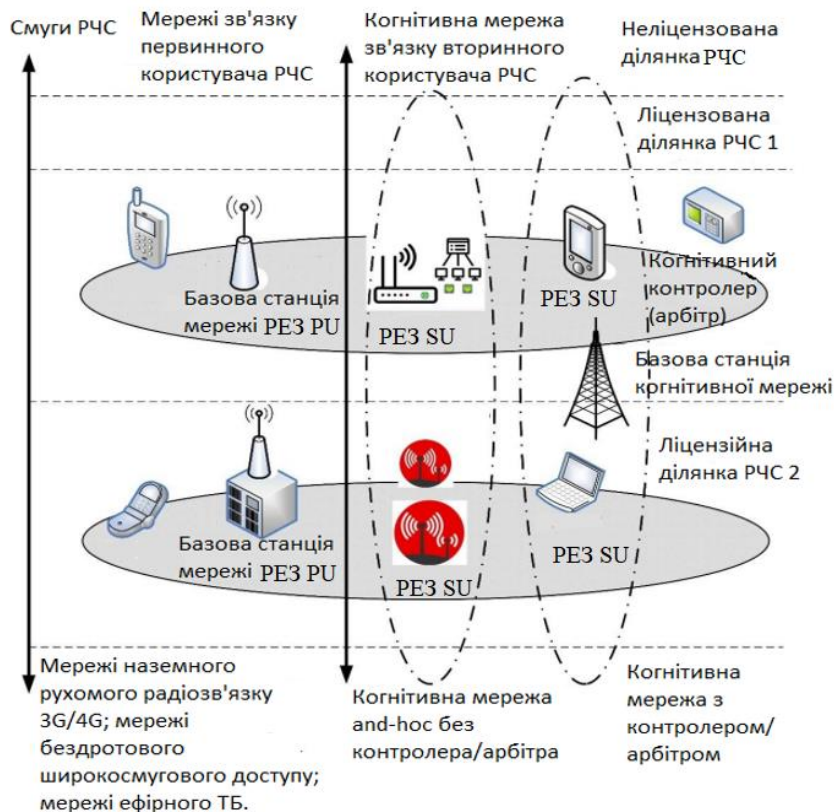


Рис. 3. Архітектура когнітивної радіомережі

Крім того, до когнітивних мереж можуть включатися вузли-арбітри, які грають роль об'єктивізації розподілу ресурсів РЧС між різними користувачами CR. Інфраструктура когнітивних мереж може бути ієрархічною та оснащуватися центральним елементом мережі – базовою станцією чи когнітивним контролером, який забезпечує з'єднання, наприклад, з одним переприйомом через центральний вузол для користувачів CR у своїй зоні дії. Оскільки когнітивні мережі є вторинними, у сенсі використання каналних ресурсів щодо «традиційних» радіомереж, це породжує проблеми та нові обмеження, наприклад, необхідність швидкого звільнення радіоканалу на початку роботи на такому каналі первинного користувача.

Одночасно для пристроїв CR набагато складніше забезпечувати якість послуг зв'язку QoS, оскільки об'єктивно існує конфлікт за мережеві ресурси з РЕЗ PU; когнітивні мережі свого мережевого ресурсу не мають, оскільки є самостійною службою радіозв'язку. Інший проблемою співіснування когнітивної мережі зв'язку та традиційних радіомереж, що використовують ліцензійну ділянку РЧС, є запобігання перешкод та забезпечення електромагнітної сумісності.

Когнітивне радіо передбачає використання тимчасово невикористовуваних діапазонів РЧС на основі технологій отримання знань про навколишнє радіо-середовище, із застосуванням програмного налаштування робочих параметрів. При цьому визначається межа/рівень втручання у роботу існуючих РЕЗ, щоб визначити обмеження на доступ до РЧС, який використовується що знаходяться поруч РЕЗ. Межі перешкод, також відомі як рівні перешкод, використовуються для ієрархічного розподілу доступу до мережевих радіоресурсів. Цей підхід вимагає знання можливостей кожного РЕЗ

і залежить від багатьох параметрів, включаючи розташування, модуляцію, кодування сигналу та обслуговування [4].

Отже, для ефективного використання РЕЗ в ресурсів РЧС та підтримки сучасних послуг зв'язку, засоби зв'язку повинні володіти такими властивостями:

- моніторинг використання РЧС шляхом оперативного виявлення та можливість зрозуміти параметри та характеристики радіосередовища;
- адаптація режиму роботи до зовнішніх умов та конкретної РАТ згідно з отриманими знаннями та на основі певних критеріїв та динамічна зміна програмно-апаратної конфігурації або експлуатаційних параметрів для ефективного використання РЧС;
- самостійно або під контролем мережі зовнішньої системи керування визначати та ідентифікувати свій поточний стан, автономно приймати рішення у відповідь на фактично сформовану мережеву ситуацію для більш ефективного використання ресурсів РЧС.

Для реалізації зазначених властивостей у КСР знайшли широке застосування пристрої SDR, що відносяться до системи радіозв'язку з програмованими параметрами і радіотермінал, використовує технології, що дозволяють за допомогою програмного забезпечення встановлювати або змінювати робочі радіочастотні параметри, включаючи діапазон частот, тип модуляції або вихідну потужність. Виняток тут становлять зміни робочих параметрів, які використовуються в ході попередньо визначеної роботи радіопристрою, згідно специфікації або стандарту системи.

На практиці пристрій SDR є РЕЗ, в якій компоненти, реалізовані в апаратній формі, реалізуються переважно програмно-апаратними засобами на базі вбудованих обчислювальних пристроїв або програмованих логічних інтегральних схем. Фундаментальною властивістю SDR є те, що за допомогою програмного забезпечення можна визначити радіосигнал, модулювати та демодулювати його. Це можна порівняти з можливостями більшості радіостанцій, в яких обробка виконується або аналоговою схемою, або аналоговою схемою із цифровими мікросхемами. Пристрої SDR дозволяють реалізувати функції, які створюють нові можливості для користувачів, оскільки ці пристрої володіють значною більш гнучкими програмними налаштуваннями, які надають операторам зв'язку широкі можливості для створення та використання додаткових функцій, які, звичайні радіосистеми що неспроможні виконати зі своїх апаратних обмежень.

При розподілі каналного ресурсу слід враховувати, що в безпроводових мереж склад доступних каналів на кожному вузлу доступу, постійний, тоді як у когнітивних мережах зв'язку доступність каналів є змінною параметром. Тому протоколи MAC-рівня в багатоканальних безпроводових мережах не можуть безпосередньо застосовуватися для мереж когнітивного радіо, що вимагає детального дослідження можливостей MAC-рівня у когнітивних мережах.

Література

1. Бузов, Ф.Л. Управління радіочастотним спектром та електромагнітна сумісність радіосистем. Навчальний посібник. ЕКОТРЕНДЗ, 2006 – 432с.
2. Галкін В.О. Основи програмно-конфігурованого радіо. МІЕТ, 2010 – 224 с.
3. Гур'янов, І.О. Когнітивне радіо: нові підходи до забезпечення радіочастотним ресурсом перспективних радіотехнологій. Електров'язок. – 2012 №8 – 8с.
4. Дмитрієв, А.С. Теорія та методи обробки сигналів: Надширококутний безпроводовий зв'язок та сенсорні мережі. Радіотехніка та електроніка, 2018. - №10 – 1289с.