

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

КОЛЯДЕНКО ОЛЕКСІЙ ВАДИМОВИЧ



УДК 654.16:621.391.82

**МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ПРИ
КОГНІТИВНОМУ РОЗПОДІЛІ РЕСУРСІВ В
МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ**

Спеціальність: 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2018

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Поповський Володимир Володимирович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри інфокомунікаційної інженерії

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Горобець Микола Миколайович,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
завідувач кафедри прикладної електродинаміки

кандидат технічних наук, доцент
Сокол Галина Вікторівна,
Полтавський національний технічний університет імені
Ю. Кондратюка, доцент кафедри комп'ютерної інженерії

Захист відбудеться «_____» червня 2018 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 при Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166 м. Харків, пр. Науки. 14.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Б. Ткачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З появою мереж мобільного зв'язку (ММЗ) сигнально-завадова обстановка (СЗО) в діапазонах метрових і дециметрових хвиль стала різко ускладнюватися. Все зростаюча кількість радіоелектронних засобів (РЕЗ) різного призначення призводять до утворення множинного характеру електромагнітних взаємодій між ними. Одночасно з цим ще важливішим стає дефіцит частотного ресурсу, загострюється проблема електромагнітної сумісності (ЕМС). Практично весь частотний діапазон до теперішнього часу розподілено і ліцензовано, однак при цьому, як показали дослідження Федеральної комісії зв'язку США, спектр використовується не досить ефективно. Підвищити ефективність використання спектра дозволяє механізм когнітивного розподілу ресурсів, згідно з яким вторинним користувачам (які не закріплені за даним частотним діапазоном) надається можливість використовувати діапазони первинних користувачів (закріплених за даним діапазоном) на час, поки цей діапазон не використовується первинним користувачем.

Асамблея радіозв'язку в 2012 р. прийняла Резолюцію МСЕ-R 58, що описує перелік проблемних питань, пов'язаних з впровадженням та використанням систем когнітивного радіо, для подальшого їх дослідження. 1-а Дослідницька комісія МСЕ-R схвалила Звіт МСЕ-R SM.2152, що описує системи когнітивного радіо. Розглядаються декілька підходів щодо впровадження систем когнітивного радіо, зокрема, на основі геолокаційної бази даних і на основі спектрального зондування (здатності самостійно аналізувати навколишню електромагнітну обстановку). В даному документі вказана одна з проблем впровадження когнітивного радіо - це проблема забезпечення ЕМС між РЕЗ первинних користувачів і РЕЗ вторинних користувачів спектра і проблема забезпечення внутрішньосистемної ЕМС. Таким чином, розробка методів забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в ММЗ є актуальною науковою задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дисертаційні дослідження проводились відповідно до наступних програм та нормативно-правових документів: Закон України "Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки" від 09.01.2007 р., № 537-V, Закон України "Про телекомунікації" від 18.11.2003 р., № 1280-IV, Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем і технологій», планів наукової, науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки. Матеріали дисертації було використано у звіті про науково-дослідну роботу № 308 "Нитка-3" номер держреєстрації 0116U0000662. Крім того, напрям досліджень пов'язано з планами університету та кафедри інфокомунікаційної інженерії, де виконувалась робота, а також тематикою науково-дослідних робіт цієї кафедри.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в ММЗ. Для досягнення цієї мети в роботі вирішені такі задачі дослідження:

- розроблено та досліджено алгоритми виявлення сигналів первинних користувачів;
- розроблено та досліджено методи кластеризації ресурсів в ММЗ;
- розроблено та досліджено методи забезпечення електромагнітної сумісності при розподілі просторово-часового ресурсу в ММЗ;
- розроблено та досліджено методи забезпечення електромагнітної сумісності при розподілі частотно-часового ресурсу в ММЗ.

Об'єкт дослідження. Процеси функціонування і розподілу ресурсів в ММЗ.

Предмет дослідження. Моделі і методи розподілу ресурсів в ММЗ.

Методи досліджень базуються на основних положеннях радіофізики, теорії електрозв'язку, системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії оптимізації, теорії оцінювання та управління, теорії розладнання, методах просторово-часової обробки сигналів, управління в адаптивних антенних решітках, математичному апараті нечіткої логіки, математичному апараті нейронних мереж, математичного та імітаційного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше проведено порівняльний аналіз ефективності алгоритмів виявлення сигналів: алгоритма, побудованому на математичному апараті нейронних мереж, алгоритма, побудованому на математичному апараті нечіткої логіки, алгоритма, побудованому на критерії Вальда і алгоритма виявлення, заснованому на знако-ранговому критерії Вілкоксона. В результаті проведеного аналізу дано рекомендації щодо вибору алгоритма виявлення в залежності від СЗО і ступеня апріорної невизначеності.

2. Одержав подальший розвиток метод кластеризації ресурсів, побудований на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Даний метод на відміну від методу, заснованому на теорії розладнання з подальшою нечіткою кластеризацією вимагає менших обчислювальних витрат і не поступається в ефективності його використання.

3. Вперше розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в ММЗ, який засновано на вирішенні задачі просторово-часового доступу (ПВД) абонентських станцій (АС) до базової станції (БС). Даний метод добре узгоджується з задачами просторово-часової обробки сигналів, з задачами частотно-часової, кодової і ін. обробки. Розв'язувана при цьому задача ЕМС ММЗ дозволяє економити радіочастотний ресурс, збільшити число споживачів в умовах значного частотного завантаження.

4. Вперше розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в ММЗ, який складається з алгоритму з повторним використанням частот і алгоритму, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Використання даного методу дозволяє скоротити смугу частот і забезпечить максимальну рівномірність якості зв'язку.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Порівняльний аналіз ефективності алгоритмів виявлення сигналів

дозволив дати рекомендації щодо їх практичного використання. При апріорній невизначеності щодо параметрів сигналів первинного користувача рекомендується використовувати алгоритм, побудований на нейронній мережі Кохонена або нечіткої логіки. Якщо ж параметри сигналів первинного користувача відомі і є в базі даних, а також відношення потужності сигналу до потужності шуму (ВСШ) перевищує – 3 дБ рекомендується використання алгоритму Вальда.

2. Практичне застосування методу кластеризації ресурсів, побудованому на математичному апараті нейронних мереж Кохонена скоротить обчислювальну складність, а отже і час, що витрачається на кластеризацію ресурсів мережі.

3. Практичне застосування методу забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку дозволить підвищити відношення потужності сигналу до потужності завади і шуму (ВСЗШ) на 30 ... 45 дБ, що забезпечить внутрішньосистемну ЕМС мережі. Застосування даного методу так само дозволяє формувати вузькі промені діаграми спрямованості, що дає можливість передачі сигналів АС на одній і тій же частоті, але в різному напрямку.

4. Практичне застосування методу забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку дозволяє в 2-3 рази скоротити смугу частот і забезпечити максимальну рівномірність якості в угрупованні рівнопріоритетних АС.

Наукове значення: запропоновані в дисертації методи забезпечення ЕМС в ММЗ забезпечують підвищення відношення потужності сигналу до потужності завади і шуму на вході приймача на 30 ... 45 дБ та в 2-3 рази скоротити смугу частот і забезпечити максимальну рівномірність якості в угрупованні рівнопріоритетних АС. Результати дисертаційних досліджень реалізовані в навчальному процесі кафедри інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки при вивченні дисципліни «Теорія електричного зв'язку» та у звіті НДР № 308 “Нитка-3” (ДР № 0116U0000662).

Особистий внесок здобувача в спільних публікаціях. В роботі [1] автору належить розробка методу оцінки матриці каналу систем безпроводового радіодоступу. В роботі [2] автору належить розробка математичної моделі радіоканалу для МІМО-систем. В роботі [4] автору належить розробка методу виявлення сигналів первинних користувачів в когнітивних радіомережах. В роботі [5] автору належить розробка алгоритмів виявлення сигналів при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку. В роботі [6] автору належить проведення порівняльного аналізу ефективності алгоритмів виявлення сигналів при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку. В роботі [7] автору належить розробка методу забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі частотного ресурсу в мобільних системах зв'язку. В роботі [8] автору належить оцінка пропускної здатності мережі. В роботі [9] автору належить розробка ітераційних алгоритмів демодуляції сигналів з просторово-

часовим кодуванням. В роботі [11] автору належить проведення аналізу ефективності просторово-часових кодів. В роботі [12] автору належить проведення аналізу пропускну здатності мережі при використанні просторово-часового доступу. В роботі [14] автору належить розробка алгоритму розподілу частотного ресурсу в радіомережах з забезпеченням якості зв'язку. В роботі [15] автору належить розробка когнітивного підходу при розподілі частотного ресурсу між абонентами.

Апробація результатів дисертації: Результати доповідались на наукових семінарах кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ, а також на 12-и Міжнародних конференціях [9-20]. Всі виступи за темою дисертації.

Публікації: За темою дисертації подано 8 статей [1-8], які опубліковано в спеціалізованих виданнях, з них 2 статті за кордоном [5,6] і 1 стаття в Міжнародному наукометричному науковому журналі, що індексовано в Scopus [8].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який складається з 97 найменувань. Загальний обсяг роботи 135 сторінок з них: 41 рисунок, 1 таблиця.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми досліджень, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, наведено інші необхідні характеристики дисертаційної роботи.

У першому розділі виділено основні сценарії використання систем когнітивного радіо. Показано, що системи когнітивного радіо можуть бути реалізовані з використанням безпроводного доступу на базі LTE, Wi-MAX, IEEE 802.22 або інших стандартів. Показано, що одним з перспективних є стандарт LTE-A. У розділі проведено аналіз розподілу ресурсів в LTE-A і методів забезпечення EMC систем когнітивного радіо. Показано, що розподіл фізичних ресурсів в LTE-A ґрунтується на MIMO-OFDMA. Методи забезпечення EMC систем когнітивного радіо будуються на основі геолокаційної бази даних і на основі спектрального зондування.

Обґрунтовано наукові задачі, які необхідно вирішити для забезпечення EMC при когнітивному розподілі ресурсів в ММЗ.

У другому розділі проведено порівняльний аналіз ефективності алгоритмів виявлення сигналів.

Алгоритми виявлення можна класифікувати на:

- 1) параметричні: алгоритми оптимального прийому сигналів;
- 2) непараметричні: алгоритми нейронних мереж; алгоритми нечіткої логіки; алгоритми виявлення, засновані на непараметричних критеріях (знаковий, Ван-дер-Вадена, Гаєка, Севиджа, Віллоксона).

Рівняння спостереження за спектром є значення виміряного виявленого сигналу $s(t)$ на фоні шуму $\xi(t)$:

$$z(t) = s(t) + \xi(t).$$

де $z(t)$ - сигнал, що приймається користувачем ММЗ; $s(t)$ - сигнал первинного користувача; $\xi(t)$ - адитивний білий гаусів шум.

Стратегія функціонування системи вторинного користувача полягає в тому, що при появі сигналу $s(t)$ виникає необхідність здійснити управління на зміну смуги частот. Дане завдання виявлення сигналу зводиться до перевірки статистичних гіпотез:

$H_0 : z(t) = \xi(t)$ - первинний користувач відсутній,

$H_1 : z(t) = s(t) + \xi(t)$ - первинний користувач працює зі спектром.

Через випадковий характер сигналу $s(t)$ і шуму $\xi(t)$ можливі помилки. Такі помилки бувають двох родів. Помилка першого роду - це прийняття гіпотези H_1 , в той час як варто було б прийняти H_0 (помилкова тривога). Помилка другого роду - прийняття гіпотези H_0 , в той час як варто було б прийняти H_1 (пропуск цілі).

В якості параметричного алгоритму виявлення запропоновано використання модифікованого усіченого послідовного критерію Вальда. При цьому задача виявлення передбачає наступні дії.

Крок 1. На вхід приймача надходить відлік сигналу $z(t_1)$ і формується значення логарифма відношення правдоподібності (ВП):

$$Z_1 = z_1 = \frac{1}{\sigma^2} \left(z(t_1)(m_s - m) - \frac{1}{2}(m_s^2 - m^2) \right), \quad (1)$$

де z_1 - значення вирішальної статистики для вибірки на 1-му кроці; Z_1 - накопичене значення статистики на 1-му кроці, m - математичне очікування шуму, σ^2 - дисперсія, m_s - математичне очікування адитивної суміші сигналу і шуму.

Виходячи із заданих значень ймовірностей помилок 1-го α (ймовірність помилкової тривоги) та 2-го роду β (ймовірність пропуску цілі), розраховуються пороги виявлення: Z_1^* и Z_1^1 ($Z_* = \ln \frac{\beta}{1-\alpha}$, $Z^* = \ln \frac{1-\beta}{\alpha}$).

Пороги Z_* та Z^* вибираються так, щоб ймовірність того, що $\frac{p(z|s)}{p(z|0)} > Z^*$, коли

справедлива гіпотеза H_0 дорівнювала α , а $\frac{p(z|s)}{p(z|0)} < Z_*$ ймовірність того, що

при гіпотезі H_1 величина дорівнювала β , $p(z|0)$ - умовна густина ймовірності вхідного сигналу при відсутності сигналу, $p(z|s)$ - умовна густина ймовірності вхідного сигналу при наявності сигналу. При цьому якщо виконується умова $Z_1 \geq Z_1^*$, то приймається гіпотеза H_1 . Якщо виконується умова $Z_1 \leq Z_1^1$, то приймається гіпотеза H_0 . Якщо $Z_*^1 < Z_1 < Z_1^*$, то спостереження триває і здійснюється перехід до кроку 2.

Крок 2. Надходить $z(t_1)$ $z(t_2)$ і формується значення логарифма ВП:

$$Z_2 = z_1 + z_2 = \frac{(m_s - m)}{\sigma^2} (z(t_1) + z(t_2) - (m_s + m)). \quad (2)$$

Результатом підсумовування випадкових величин $z(t_1)$ і $z(t_2)$ є випадкова величина $z(t_1 t_2) = z(t_1) + z(t_2)$, яка розподілена за гаусівським законом з математичним очікуванням $2m_s$ або $2m$ і дисперсією $2\sigma^2$. При цьому відбувається зміна форми закону розподілу спостережуваних відліків.

Значення порогів виявлення Z_2^* і Z_2^* на 2-му кроці процедури, визначаються виходячи з умови забезпечення фіксованих значень α і β . Якщо виконується умова $Z_2 \geq Z_2^*$, то приймається гіпотеза H_1 . Якщо виконується умова $Z_2 \leq Z_2^*$, то приймається гіпотеза H_0 . Якщо $Z_2^* < Z_2 < Z_2^*$, спостереження триває і здійснюється перехід до наступних ітерацій процедури.

Крок k . Надходить вибірка $z(t_1 t_2 \dots t_k) = z(t_1) + z(t_2) + \dots + z(t_k)$ і формується значення логарифма ВП:

$$Z_k = Z_{k-1} + z_k = \frac{(m_s - m)}{\sigma^2} \left(\sum_{i=1}^k z(t_i) - \frac{k}{2} (m_s + m) \right). \quad (3)$$

Випадкова величина $z(t_1 t_2 \dots t_k)$ буде розподілена за гаусівським законом з математичним очікуванням km або km_s і дисперсією $k\sigma^2$. Визначаються значення порогів виявлення Z_k^* і Z_k^* на k -му кроці процедури. Трансформація закону розподілу спостережуваної статистики в сукупності з фіксованими значеннями ймовірностей α і β , призводить до рівності (перетину) верхнього і нижнього порогів виявлення, що забезпечує неминуче прийняття гіпотези H_0 або альтернативи H_1 .

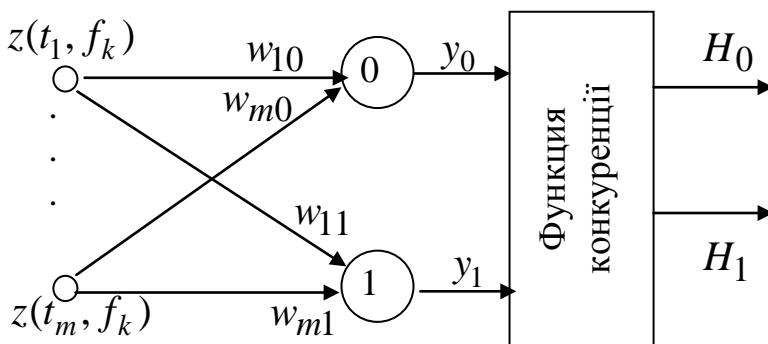


Рис.1. Структура мережі Кохонена для вирішення задачі виявлення сигналу

Розроблено алгоритм, який побудовано на математичному апараті нейронної мережі Кохонена, що працює в режимі самонавчання і складається з вхідних векторів рівнів відліків, прийнятого сигналу на відповідній частоті: $z(t_1, f_1)$ - рівень відліку в 1-й момент часу на частоті

f_1 , $z(t_2, f_1)$ - рівень відліку в 2-й момент часу на частоті f_1 і т.д. (рис. 1). Робота алгоритму полягає в наступному. Кожен нейрон мережі з'єднаний з усіма компонентами m -мірного вхідного вектора. Кількість нейронів збігається з кількістю кластерів, які має виділити мережа. Кластер H_0

відповідає гіпотезі H_0 . Кластер H_1 відповідає гіпотезі H_1 . В якості нейронів мережі застосовуються лінійні зважені суматори:

$$y_j = b_j + \sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot z_i, \quad (4)$$

де j - номер нейрона, i - номер входу, y_j - вихід адаптивного суматора, w_{ij} - вага i -го входу j -го нейрона, b_j - поріг. Кожен j -й нейрон описується вектором ваг $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jm})$. З виходів адаптивних суматорів сигнал надходить на функцію конкуренції. Функція конкуренції знаходить вихід суматора з максимальним значенням виходу $\max\{y_j\}$.

Розроблено алгоритм, який побудовано на математичному апараті нечіткої логіки. Для виявлення сигналу крім прийнятих відліків пропонується використовувати кореляційні властивості сигналів. При побудові алгоритму результат виявлення можна представити як ступінь присутності сигналу, числове значення якого слід інтерпретувати як оцінку приналежності вхідного сигналу до одного з трьох заданих станів: шум, невизначеність і присутність сигналу.

Нечіткий виявлювач видає результат за кожен такт часу на основі оцінки двох ознак: рівень потужності сигналу (вхідна змінна P) і інтервал кореляції (вхідна змінна TAU). Нижче наведено набір нечітких правил виявлювача:

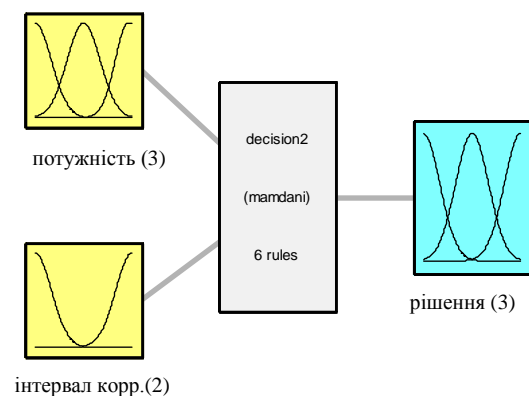
- 1) Якщо P низька і TAU близько 0, то OUT є шум;
- 2) Якщо P низька і TAU не близько 0, то OUT є невизначеність;
- 3) Якщо P середня і TAU близько 0, то OUT є невизначеність;
- 4) Якщо P середня і TAU не близько 0, то OUT є присутність сигналу;
- 5) Якщо P висока і TAU

близько 0, то OUT є присутність сигналу;

б) Якщо P висока і TAU не близько 0, то OUT є присутність сигналу.

Якщо на виході нечіткого виявлювача фіксується невизначеність, то необхідно повторити спостереження, або винести рішення про присутність сигналу. На рис. 2. надано систему нечіткого виведення для прийняття рішення, яка побудована в середовищі Matlab.

Досліджено алгоритм виявлення, заснований на знако-ранговому критерії Вілкоксона. Алгоритм полягає в наступному. Є вибірка $Z = \{z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*\}$ відліків сигналу. Вибірка



System decision2: 2 inputs, 1 outputs, 6 rules

Рис.2. Система нечіткого виведення для прийняття рішення

центрується $z_i = z_i^* - M_0$, $i = \overline{1, n}$, де M_0 - медіана розподілу шуму. Далі розташовуються абсолютні величини елементів вибірки z_i , $i = \overline{1, n}$ в порядку їх зростання $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, де $u_1 = \min(|z_i|)$, $u_n = \max(|z_i|)$, $u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_n$. Рангом R_i^+ абсолютної величини елемента z_i буде положення його в варіаційному ряді $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. Визначається змінна φ_i , $i = \overline{1, n}$:

$$\varphi_i = \begin{cases} 1, & z_i \geq 0, \\ 0, & z_i < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Далі обчислюється статистика T^+ :

$$T^+ = \sum_{i=1}^n R_i^+ \varphi_i, \quad (6)$$

яка дорівнює сумі позитивних знакових рангів. Рішення про прийняття гіпотези H_1 виноситься в тому випадку, коли

$$H_1: T^+ = \sum_{i=1}^n R_i^+ \varphi_i \geq C_{\text{нор}}, \quad (7)$$

де $C_{\text{нор}}$ – поріг, який обирається, виходячи з ймовірності помилкової тривоги.

У середовищі Matlab за допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності запропонованих алгоритмів. В якості процесу, що спостерігається сформовано адитивну суміш радіосигналу з модуляцією 16-КАМ і білого гаусівського шуму. Для всіх випадків задана ймовірність помилкової тривоги і ймовірність пропуску цілі $\alpha = \beta = 10^{-3}$. В якості критерію ефективності обрана ймовірність помилки. На рис. 3 надано графіки залежності ймовірності помилки від ВСШ. Аналіз показав, що при ВСШ вище -3 дБ кращі показники має алгоритм Вальда. При ВСШ вище -3 дБ - алгоритм Кохонена, а вище 0 дБ - нечіткої логіки.

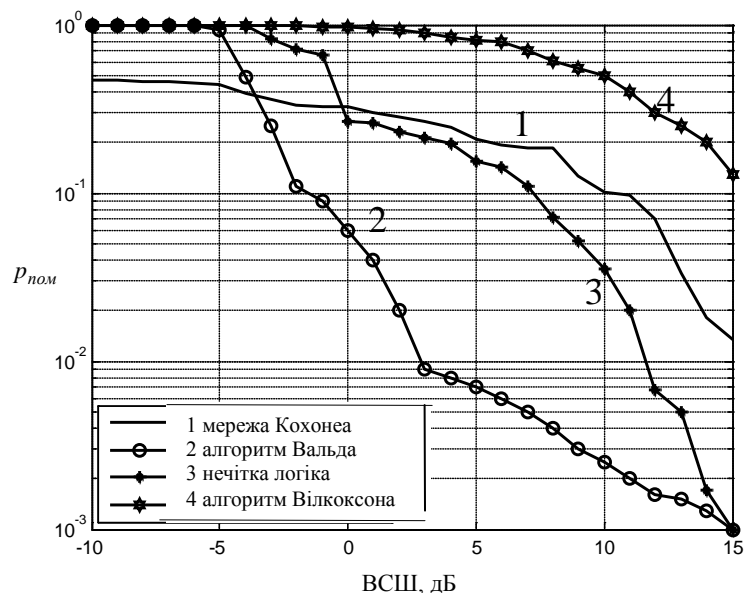


Рис.3. Графіки залежності ймовірності помилки від ВСШ

У третьому розділі розроблено метод кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена.

Показано, що після виявлення незайнятих частотних каналів необхідне проведення кластерного аналізу ресурсів для їх подальшого розподілу. Для цього в першу чергу необхідно позиціонувати АС і виявити зони аномальної зміни їх концентрації.

Кластеризацію ресурсів запропоновано здійснювати за векторами ознак \vec{x} :

1. Координати розташування АС.
2. Запрошені ресурси: (інтенсивність надходження пакетів від АС; затримка черги; ВСЗШ; швидкості передачі даних користувачів).
3. Доступні ресурси: (частотно-часові ресурси; просторово-часові ресурси).

Для кластеризації ресурсів мережа Кохонена працює в режимі самоорганізації і не має постійної структури. Алгоритм має вигляд:

1. Дані нормуються і центруються за правилом:

$$\vec{x}'_i = \frac{\vec{x}_i - M_x}{\sigma_x}, \quad (8)$$

де \vec{x}'_i - нормована і центрована ознака (наприклад, \vec{x}'_1 1-а ознака - координати розташування АС, \vec{x}'_2 2-а ознака - інтенсивність надходження пакетів від АС і т.д.), M_x - математичне очікування ознаки, σ_x - дисперсія ознаки.

2. Задається критична відстань $d_{кр}$, що відповідає максимально допустимій евклидовій відстані між входами прикладу і вагами нейрона-переможця. Початкова структура не містить нейронів. При подачі на входи мережі першого прикладу вибірки створюється перший нейрон з ваговими коефіцієнтами, які дорівнюють поданим вхідним значенням.

3. На входи мережі подається новий випадково обраний приклад (АС зі своїми характеристиками), розраховуються евклидові відстані від прикладу до центру кожного кластера за співвідношенням:

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\vec{x}_i - w_{ij})^2}, \quad (9)$$

де w_{ij} - центр (вага i -ї ознаки j -го кластера). Потім визначається нейрон-переможець з найменшим з них d_{\min} .

4. Якщо виконується умова $d_{\min} \leq d_{кр}$, проводиться корекція вагових коефіцієнтів відповідного нейрона-переможця на $t+1$ кроці за співвідношенням:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + v(\vec{x} - w_{ij}(t)), \quad (10)$$

де v - коефіцієнт швидкості навчання. В іншому випадку в структуру мережі додається новий нейрон, вагові коефіцієнти якого приймаються чисельно рівними вхідним значенням поданого прикладу.

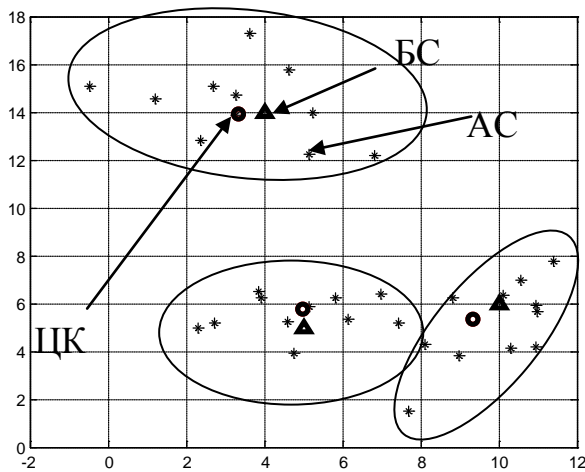


Рис.4. Результат кластеризації просторового ресурсу АС

Розглянуто і проаналізовано роботу алгоритму нечіткої кластеризації FCM (Fuzzy Classifier Means). Показано, що FCM-алгоритм вимагає апріорного знання кількості кластерів. З метою визначення кількості кластерів, рішення задачі кластеризації можна здійснити за допомогою теорії розладнання.

За допомогою імітаційного моделювання отримані результати кластеризації просторового ресурсу АС при використанні математичного апарату нейронної мережі Кохонена та методів нечіткої кластеризації.

На рис.4 показана реалізація розташувань АС і результат кластеризації при використанні мережі Кохонена (визначені центри кластерів (ЦК)). На цьому ж рисунку показано БС.

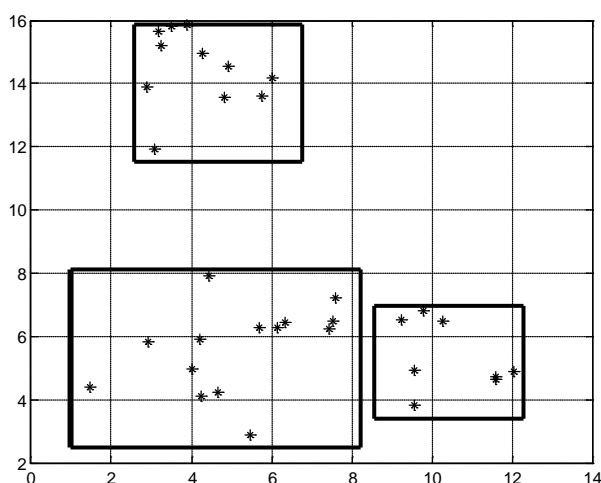


Рис.5. Реалізація розташувань АС і результат визначення меж кластерів

5. Процедура повторюється з п. 3. Якщо протягом останньої епохи навчання будь-які кластери залишилися не задіяними, відповідні нейрони виключаються зі структури мережі Кохонена.

6. Обчислення закінчуються, якщо виконується одна з умов:

- вичерпано задану граничну кількість епох навчання;

- не відбулося значної зміни вагових коефіцієнтів в межах заданої точності протягом останньої епохи навчання;

- вичерпано заданий граничний фізичний час навчання.

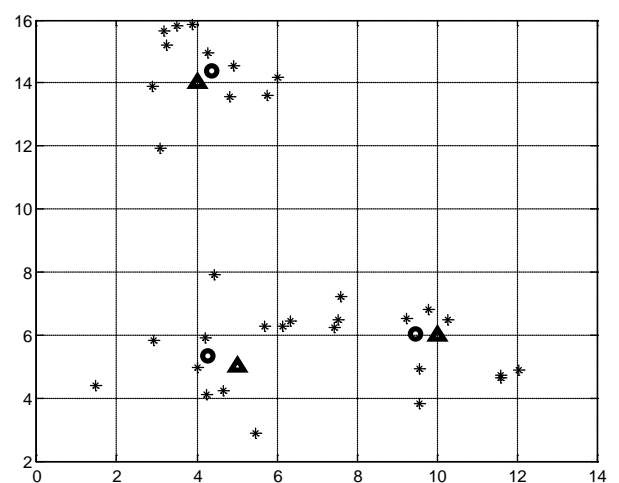


Рис.6. Результат кластеризації при використанні алгоритму нечіткої кластеризації

На рис.5 показана реалізація розташувань АС і результат визначення меж кластерів за допомогою теорії розладнання. На рис. 6 показано результат кластеризації просторового ресурсу АС при використанні алгоритму FCM. На цьому ж рисунку показані так само БС і ЦК.

Проведено аналіз ефективності запропонованих алгоритмів. Критерієм ефективності обрано середньоквадратичне відхилення (СКВ) розташувань центрів кластерів від розташування БС. Експеримент полягав у тому, що на обмеженій території були розташовані БС і випадковим чином розподілені АС в зоні дії БС. Аналіз проводився при рівномірному і гаусівському розподілі АС. На рис. 7 надано залежності СКВ від розміру досліджуваної зони при використанні мережі Кохонена. На рис. 8 надано залежності СКВ від розміру досліджуваної зони при використанні алгоритму нечіткої кластеризації. Верхня крива на цих рисунках відповідає рівномірному розподілу АС, а нижня крива - гаусівському. Як видно з даних рисунків зі збільшенням розміру досліджуваної зони СКВ збільшується. Це говорить про те, що зі збільшенням розміру досліджуваної зони точність кластеризації знижується. Порівнюючи залежності, надані рис.7 і рис.8 можна зробити висновок про те, що запропоновані алгоритми дають однаковий результат. Але необхідно відзначити, що алгоритм нечіткої кластеризації вимагає попереднього визначення меж кластерів для визначення їх кількості, що потребує більше часу на кластеризацію ресурсів, яку необхідно вирішувати в реальному масштабі часу. Таким чином, для кластеризації ресурсів АС пропонується використовувати алгоритм, побудований на математичному апараті нейронної мережі Кохонена.

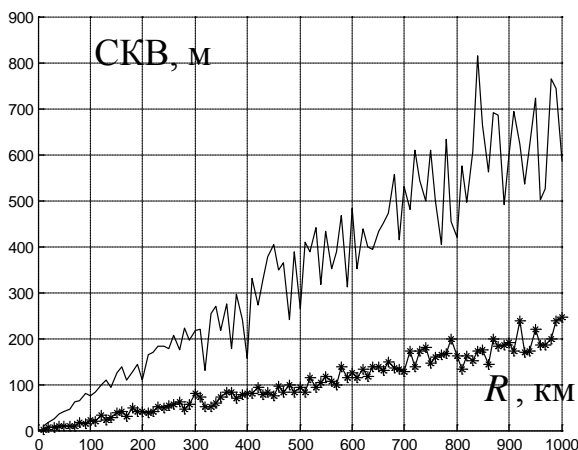


Рис.7. Залежно СКВ від розміру досліджуваної зони при використанні математичного апарату нейронної мережі Кохонена

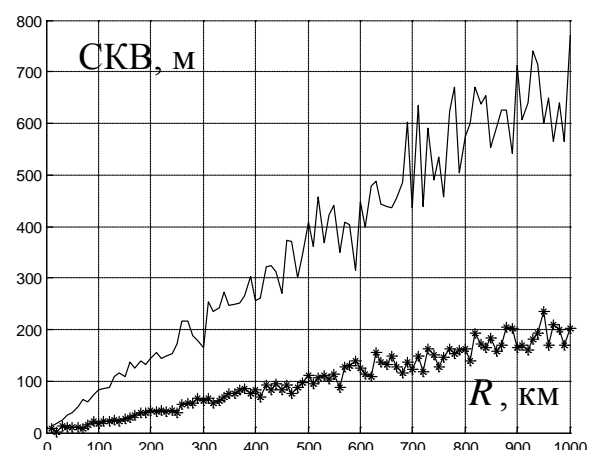


Рис.8. Залежно СКВ від розміру досліджуваної зони при використанні алгоритму нечіткої кластеризації

У четвертому розділі розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі просторово-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку.

В рамках даного розділу розроблено математичну модель радіоканалу для технології МІМО. Дана модель дозволяє враховувати конфігурацію приймальної антенної решітки, багатопроменевість і координати розташування перешкод на шляху поширення сигналу у вигляді кутів приходу за основним і відбитим променями. Розроблено метод оцінки матриці каналу, який засновано на фільтрі Калмана-Бьюсі.

Задача розподілу просторово-часового ресурсу може бути вирішена на основі просторово-часового доступу (ПЧД) та адаптивних антенних решіток (ААР), коли кожному з активних абонентів направляється вузький промінь, ширина якого може складати декілька градусів.

Організація зв'язку з ПЧД може бути здійснена в три етапи.

1-й етап. Організація заявки на зв'язок з АС. Заявку на зв'язок БС приймає по широкому променю.

2-й етап. Визначення напрямку приходу сигналу АС $\vec{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)^T$. У роботі пропонується рекурсивна процедура оцінки просторового спектру. Процедура складається з трьох складових:

- 1) виділення просторового вікна;
- 2) подавлення сигналів, що надходять з усіх невиділених напрямків;
- 3) визначення позначки відповідності амплітуди і просторової фази в виділеному вікні.

У першій фазі циклу формується просторове вікно за допомогою управляючого вектора:

$$\vec{V}(\theta) = \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}-1) \cdot d \cdot \sin \frac{\pi \cdot \theta}{180}\right), \quad (11)$$

де n - номер антенного елемента ААР, $n = \overline{1, N}$, N - кількість антенних елементів, θ - напрямок просторового вікна.

На другій фазі циклу включається процедура подавлення сигналів, що надходять за побічними пелюстками ААР:

$$\vec{W}(k+1) = \vec{W}(k) - 2\beta[\vec{z}(k)\vec{W}^T(k) - \vec{z}(k) - \vec{V}(\theta)], \quad (12)$$

де β - крокова постійна, k - дискретний час, $\vec{W}(k)$ - ВВК в момент часу k ; $\vec{z}(k)$ - вектор вхідних сигналів в момент часу k .

Далі виконується рекурсивна процедура визначення позначки відповідності амплітуди і просторової фази в виділеному вікні:

$$P(k+1, \theta) = P(k, \theta) + \vec{W}^T(\vec{z}(k) \cdot \vec{z}(k))\vec{W}. \quad (13)$$

При цьому залишається відмітка про сигнал, який потрапляє в захисне вікно.

3-й етап. Надання зв'язку АС по вузькому променю, що формується відповідно до заявки. В якості алгоритмів формування пучка вузьких променів можуть бути використані алгоритми ААР, такі, наприклад, як алгоритми,

синтезовані за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення прийнятого сигналу від опорного і здійснюють подавлення всіх сигналів, що не збігаються за формою з опорним:

$$\vec{W}(k+1) = (I + F(k))\vec{W}(k) + P(k)R_{zz}(k)N_{\xi}^{-1} \left[R_{zz}(k)\vec{W}(k) - r_{zu}(k) \right], \quad (14)$$

де I - одинична матриця, $R_{zz}(t)$ - матриця просторової кореляції вхідних сигналів $\vec{z}(t)$, N_{ξ} - діагональна матриця спектральної густини потужності шумів спостереження, $r_{zu}(t)$ - вектор взаємної просторової кореляції між сигналами $\vec{z}(t)$ і $\vec{u}(t)$, $\vec{u}(t)$ - вектор сигналів, що випромінено, $P(t)$ - матриця значень апостеріорної дисперсії оцінки ВВК $\vec{W}(t)$.

При цьому сигнал на виході ААР визначається виразом:

$$y(k) = \vec{z}^T(k)\vec{W} + n(k), \quad (15)$$

де n - шуми в каналах прийому.

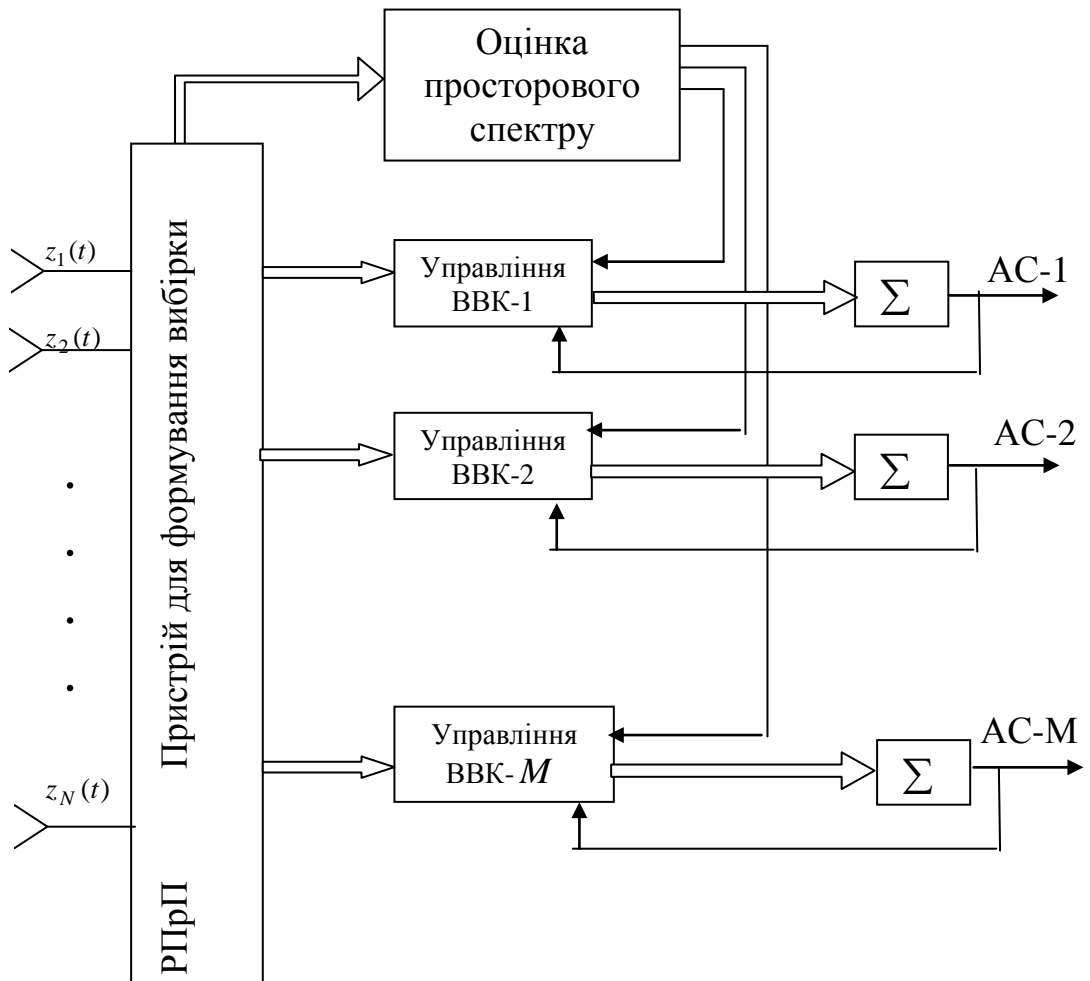


Рис.9. Структурна схема організації РЧД

Структурна схема організації ПЧД з N - елементною ААР для забезпечення зв'язку з m АС надана на рис.9.

Згідно зі схемою в пристрої управління ВВК генерується опорний сигнал $u(k)$ відповідно до апріорної інформації про напрямок приходу сигналу від абонента і формується ВВК згідно з процедурою (14). Далі зважений сигнал надходить на суматор, де реалізується процедура (15) і приймач. Таким чином, для кожного абонента формується свій вузький промінь діаграми спрямованості (ДС).

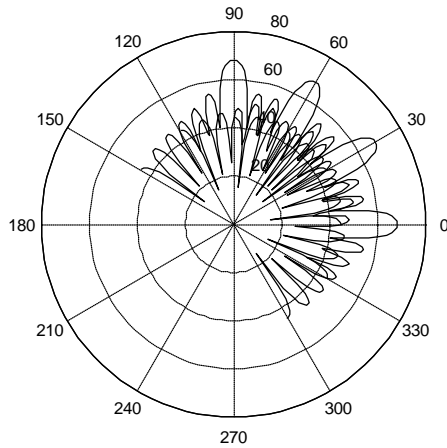


Рис.10. Діаграми спрямованості 15-ти елементної ААР з головними пелюстками в різних напрямках

залежності ВСЗШ на виході ААР від кута приходу завади. Залежності отримані при ВСЗШ на вході ААР -10 дБ, кут приходу сигналу становить 50 градусів. На рис.11 надані дані залежності при кількості антенних елементів 3 (нижня крива), 5 (середня крива) і 15 (верхня крива). Як видно з даних графіків ВСЗШ на виході ААР вдається значно підвищити на по відношенню до ВСЗШ на її вході. При цьому, коли кут приходу завади наближається до кута приходу сигналу ВСЗШ на виході ААР починає плавно зменшуватися і досягає мінімуму в -10 дБ. При збігу кута приходу сигналу і завади, спостерігається так зване «засліплення» ААР.

У п'ятому розділі розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку.

На основі розробленої математичної моделі радіоканалу в середовищі Matlab за допомогою математичного моделювання отримано ДС 15-ти елементної лінійної еквідистантної ААР (рис.10). Як видно з наведеного рисунка головні пелюстки ДС розташовані в 0, 30, 60 і 90 градусів, що дає можливість передачі сигналів 4-м АС на одній і тій же частоті, але в різному напрямку.

За допомогою імітаційного моделювання отримані графіки

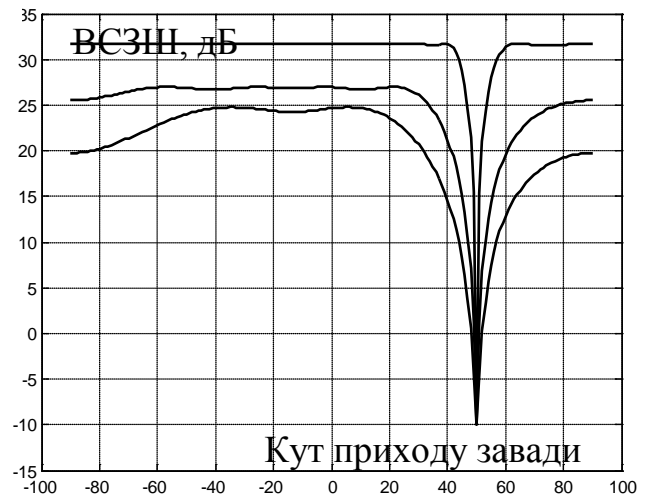


Рис.11. Залежності ВСЗШ на виході ААР від кута приходу завади

Розроблено алгоритм розподілу ресурсу з повторним використанням частот. Задача формулюється таким чином. Відомо на даний момент розташування в просторі АС у вигляді матриці взаємних відстаней $\|d_{ij}\|, i, j = 1, 2, \dots, M$. Умови спільного використання АС в зоні обслуговування БС визначаються функцією частотно-територіального розносу (ЧТР), яка являє собою монотонно спадну функцію допустимої розстройки частот АС Δf від їх взаємного видалення d :

$$\Delta f = g(d). \quad (16)$$

Кожній i -й АС потрібно присвоїти робочу частоту $f_i, i = 1, 2, \dots, M$ так, щоб при виконанні умов ЕМС займана ними смуга частот:

$$\Delta F = \max_{1 \leq i \leq M} f_i - \min_{1 \leq i \leq M} f_i \quad (17)$$

була мінімальною, а її мінімальне значення відповідало б заданій частоті f_{\min} :

$$f_{\min} = 2f_{cp} - \max_{1 \leq i \leq M} f_i. \quad (18)$$

За відомою матрицею взаємних відстаней $\|d_{ij}\|$ і заданій функції ЧТР (16) умови ЕМС АС можна записати у вигляді матриці допустимих частотних розстроювань між АС $\|\Delta f_{ij}\|$, елементи якої обмежують вибір робочих частот за допомогою співвідношень:

$$|f_i - f_j| \geq \Delta f_{ij}, (\Delta f_{ij} = g(d_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, M, i \neq j). \quad (19)$$

Тоді математичне формулювання даної задачі можна надати таким чином. В області, яка визначається обмеженнями (18) і (19), необхідно знайти такі значення змінних f_i , при яких цільова функція (17) приймає найменше значення. Алгоритм розроблено на основі використання методу локальної оптимізації, умовою якої є те, що робоча частота, яка присвоюється черговій АС повинна бути найближчою до присвоєної на попередньому кроці частоті за умови співвідношень (19). Суть алгоритму полягає в наступному. Нехай в результаті виконання k кроків ($1 \leq k \leq M - 1$) маємо такий розподіл частот $0 = f_{v_1} \leq f_{v_2} \leq \dots \leq f_{v_k}$, де v_i - номери АС, яким присвоєно частоти f_{v_i} ($i = 1, \dots, k$). Номер v_{k+1} чергової АС на $k+1$ кроці визначається зі співвідношення:

$$v_{k+1} = \arg \min_{\substack{1 \leq i \leq M \\ i \neq v_1, \dots, v_k}} \max_{1 \leq l \leq k} (\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l}), \quad (20)$$

де Δf_{iv_l} - розстройка частот між i -ю АС (станція, якій не присвоєна частота) і v_l АС (станція, якій присвоєна частота), f_k - частота присвоєна на k -му кроці, f_{v_l} - частота присвоєна v_l -й станції.

Таким чином, визначаються максимальні елементи в кожному стовпці матриці частотних розстроювань $(\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l})$ між АС з вже присвоєною частотою і не присвоєною і потім знаходиться мінімальний елемент. Він і

визначає номер v_{k+1} чергової АС. Положення на частотній осі визначається з виразу:

$$f_{v_{k+1}} = f_{v_k} + \min_{\substack{1 \leq i \leq M \\ i \neq v_1, \dots, v_k}} \max_{1 \leq l \leq k} (\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l}). \quad (21)$$

Для виконання умови (18) задачі оптимізації смуги частот необхідно всі отримані частоти збільшити на f_{\min} , що не порушить виконання співвідношень (19).

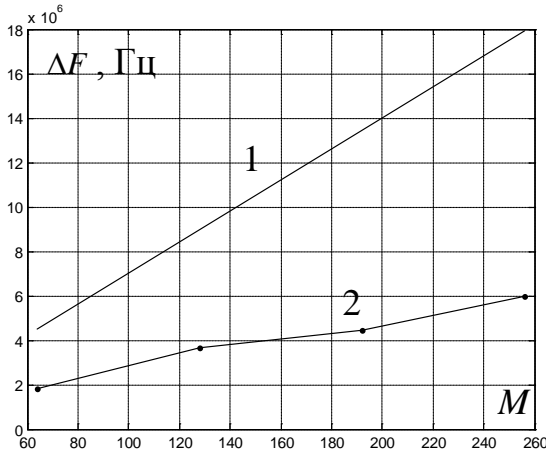


Рис.12. Залежність ширини смуги частот від кількості абонентських станцій мережі LTE

За допомогою імітаційного моделювання проведено аналіз ефективності запропонованого алгоритму при його використанні в мережі LTE. На рис. 12. надана залежність ширини смуги частот ΔF від кількості обслуговуваних АС M . Крива 1 відповідає випадку розподілу частотного ресурсу без використання запропонованого методу, а крива 2 з використанням методу повторного використання частот. Аналіз показав, що використання даного алгоритму дозволяє в 2-3 рази скоротити смугу частот.

Запропоновано алгоритм розподілу частотного ресурсу в ММЗ із забезпеченням якості зв'язку. Для цієї задачі прийнято критерій:

$$f^n = \max_m \min_n Q_{36}^{(mn)} \left(P_{np}^{(mn)} \geq P_{np}^{\min} \right), n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \quad (22)$$

де $f^n = \{f_1, \dots, f_M\}$ - вектор розподілу ресурсу між M АС, $Q_{36}^{(mn)}$ - якість зв'язку в каналі зв'язку (КЗ), яка утворена m -ю АС на n -й частоті, P_{np} і P_{np}^{\min} - ймовірність правильного прийому сигналу і мінімально допустима ймовірність правильного прийому сигналу.

Завдання полягає в наступному. Нехай на мережу, що складається з M АС, виділено N КЗ. При призначенні n -ї частоти m -й АС в утвореному КЗ забезпечується ймовірність правильного прийому $P_{np}^{(mn)}$. Потрібно знайти такий варіант призначення частот, при якому буде забезпечуватися максимальна $P_{np}^{(mn)}(f_{mn})$ в КЗ з АС, яка має найгірший стан з точки зору ЕМС. Позначимо через F матрицю розподілу частот, елементи якої f_{mn} приймають значення 0 або 1 і визначаються умовою:

$$f_{mn} = \begin{cases} 1, & n - a \text{ частота, яка закріплена за } m - \text{ю АС;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (23)$$

Тоді з множини $\{F\}$ потрібно знайти таку матрицю присвоєння частот $F^* = |f_{mn}|$ при якій досягається $F^* = \max_{\{F\}} \min_m P_{np}^{(mn)}(f_{mn})$ оптимальний варіант присвоєння частот.

Для вирішення цієї задачі розраховують значення ймовірності правильного прийому, що подаються у вигляді матриці:

$$P_{np}^{(mn)} = \begin{pmatrix} P_{np}^{11} & P_{np}^{12} & \dots & P_{np}^{1N} \\ P_{np}^{21} & P_{np}^{22} & \dots & P_{np}^{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{np}^{M1} & P_{np}^{M2} & \dots & P_{np}^{MN} \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Алгоритм розподілу частотного ресурсу:

1. З елементів матриці будується варіаційний ряд:

$$P_{ij}^{(1)} > P_{ke}^{(2)} > \dots > P_{pq}^{(\gamma)} > \dots > P_{rd}^{(v)}, \quad r = \overline{1, M}; d = \overline{1, N}. \quad (25)$$

2. На першому етапі приймається $\gamma = M$.

3. Складається матриця $F_{ij}^{(\gamma)}$, вважаючи

$$F_{ij}^{(\gamma)} = \begin{cases} 1, & P_{ij} - P_{ij}^{(\gamma)} \geq 0; \\ 0, & P_{ij} - P_{ij}^{(\gamma)} < 0. \end{cases} \quad (26)$$

4. Визначається число M^* незалежних одиничних елементів матриці $F_{ij}^{(\gamma)}$, тобто таких, що ніякі два із зазначених елементів не лежать в одному і тому ж рядку і в одному і тому ж стовпці цієї матриці: якщо $M^* < M$, то $\gamma = \gamma + (M - M^*)$ перейти до п. 3; якщо $M^* = M$, то перейти до п. 5.

5. Складається матриця призначень сформованих КЗ при призначенні частот.

За допомогою імітаційного моделювання проведено порівняльний аналіз ефективності застосування даного максимінної алгоритму і алгоритму при децентралізованому розподілі частотного ресурсу. В якості критерію ефективності обрано середнє значення ймовірності правильного прийому m_p і його середньоквадратичне відхилення σ_p (СКВ). Експеримент полягав в наступному. Формувалася матриця $P_{np}^{(mn)}$, що складається з випадкових величин, розподілених рівномірно на інтервалі від 0,85 до 1. З цієї матриці здійснювалося присвоєння частот за максимінним алгоритмом і за алгоритмом при децентралізованому розподілі. За мінімально допустиме значення ймовірності правильного прийому обрано $P_{np}^{\min} = 0,99$.

На рис.13 надано графіки залежностей середнього значення ймовірності правильного прийому m_p від $K = \frac{M}{N} \cdot 100\%$ - відсотка необхідних КЗ. Крива 1 відображає залежність при розподілі частот за максимінним алгоритмом, крива 2 - залежність при децентралізованому розподілі частот. Як видно з даних

залежностей, при розподілі частот за максимінним алгоритмом m_p залишається практично незмінним і не виходить за межі $P_{np}^{\min} = 0,99$. При децентралізованому розподілі частотного ресурсу m_p різко знижується з ростом K і при досягненні $K = 50\%$ m_p виявляється нижче допустимого.

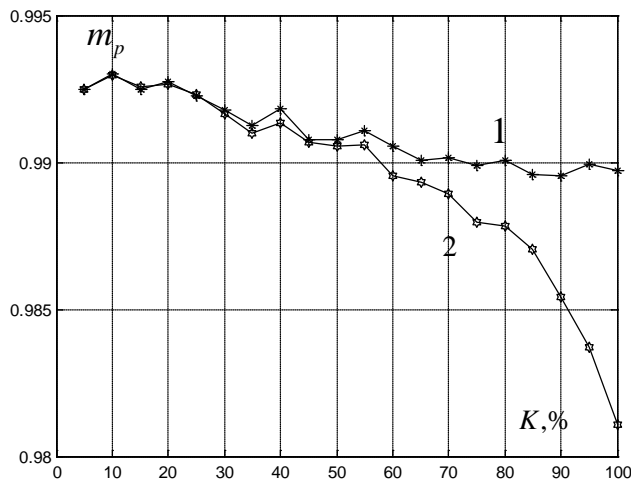


Рис.13. Залежності середнього значення ймовірності правильного прийому від кількості необхідних КЗ

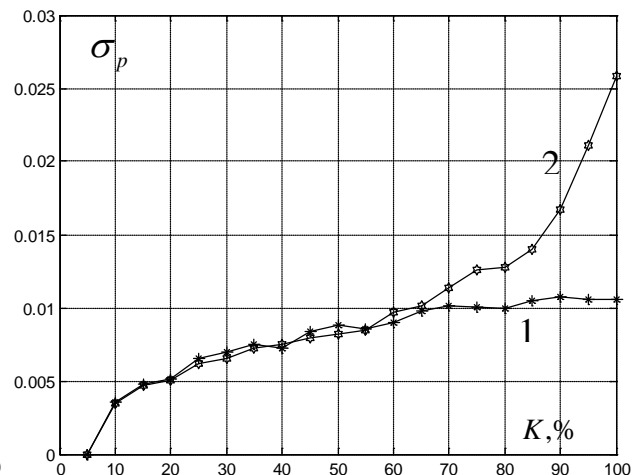


Рис.14. Залежності СКВ ймовірності правильного прийому від кількості необхідних КЗ

На рис.14 надано графіки залежностей СКВ ймовірності правильного прийому σ_p від K . СКВ ймовірності правильного прийому за максимінним алгоритмом (крива 1) залишається незмінним в діапазоні $K = 25...100\%$. При децентралізованому розподілі частотного ресурсу (крива 2) спостерігається експоненціальне зростання σ_p , що свідчить про те, що одні АС забезпечені максимальним значенням якості зв'язку, а інші отримують ресурс з низькою якістю.

Таким чином, застосування даного алгоритму дозволяє забезпечити найкращі показники якості послуг в сенсі максимуму середнього значення ймовірності правильного прийому сигналів з його мінімальним СКВ.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Когнітивний розподіл ресурсів в ММЗ передбачає інтелектуальне використання частотного спектра на вторинній основі з урахуванням забезпечення ЕМС як внутрішньосистемної (між РЕЗ ММЗ), так і міжсистемної (між РЕЗ ММЗ і РЕЗ первинних користувачів спектра). Для забезпечення ЕМС при когнітивному розподілі ресурсів в ММЗ необхідне рішення ряду наукових задач:

- 1) розробка та дослідження алгоритмів виявлення сигналів первинних користувачів;
- 2) розробка методів кластеризації ресурсів в мережі мобільного зв'язку;
- 3) розробка та дослідження алгоритмів розподілу просторово-часового ресурсу між АС ММЗ;

4) розробка і дослідження алгоритмів розподілу частотного ресурсу між АС ММЗ.

2. Розроблено алгоритми виявлення сигналів первинних користувачів: алгоритм, побудований на математичному апараті нейронних мереж і алгоритм, побудований на математичному апараті нечіткої логіки. Знайшов подальший розвиток алгоритм, побудований на критерії Вальда.

3. Проведено аналіз ефективності параметричного алгоритма, побудованому на критерії Вальда; непараметричного алгоритма, побудованому на математичному апараті нейронних мереж; непараметричного алгоритма, побудованому на математичному апараті нечіткої логіки і непараметричного алгоритма, побудованому на знакоранговому критерії Вілкоксона. В якості критерію ефективності обрана ймовірність помилки. Отримано графіки залежності ймовірності помилки від відношення потужності сигналу до потужності шуму (ВСШ). В результаті проведеного аналізу дані рекомендації. При апріорній невизначеності щодо параметрів сигналів первинного користувача рекомендується використовувати алгоритм, побудований на нейронній мережі Кохонена або нечіткої логіки. Якщо ж параметри сигналів первинного користувача відомі і є в базі даних, а також ВСШ перевищує - 3 дБ рекомендується використання алгоритма Вальда.

4. Кластеризацію ресурсів запропоновано здійснювати за векторами ознак: 1) координати розташування АС; 2) запитувані ресурси (інтенсивність надходження пакетів від АС, затримка черги, ВСЗШ); швидкості передачі даних користувачів; 3) доступні ресурси (частотно-часові ресурси, просторово-часові ресурси).

5. Розроблено алгоритм кластеризації, побудований на математичному апараті нейронних мереж Кохонена. Проведено порівняльний аналіз алгоритма кластеризації ресурсів, який побудовано на математичному апараті нейронних мереж Кохонена та алгоритма нечіткої кластеризації на основі FCM. Аналіз показав, що алгоритм, побудований на математичному апараті нейронної мережі Кохонена, і алгоритм нечіткої кластеризації на основі FCM дають однаковий результат. Але алгоритм на основі FCM вимагає попереднього визначення меж кластерів для визначення їх кількості. Отже, при використанні алгоритма на основі FCM буде потрібно більше часу на кластеризацію ресурсів, що в даному випадку небажано, так як дані процедури необхідно вирішувати в реальному масштабі часу. Таким чином, для кластеризації ресурсів АС пропонується використовувати алгоритм, побудований на математичному апараті нейронної мережі Кохонена.

6. Розроблено метод забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі просторово-часового ресурсу в мережах мобільних зв'язку. Метод складається з вибору алгоритма адаптивної антенної решітки та розробки просторово-часового доступу.

7. В якості алгоритма адаптивної антенної решітки запропоновано алгоритм, синтезований для динамічної СЗО. Розроблено просторово-часовий доступ на основі модифікованої технології МІМО. Організація зв'язку з ПЧД

може бути здійснена в три етапи. Першим етапом є організація заявки на зв'язок з АС. Другим етапом є визначення напрямку приходу сигналу абонента. Третім етапом є надання зв'язку абоненту по вузькому променю, що формується відповідно до заявки багатопроменевої антени.

8. На основі розробленої математичної моделі радіоканала проведено аналіз ефективності розробленого ПЧД. Аналіз показав, що ВСЗШ на виході ААР, яка входить в схему організації ПЧД вдається підвищити на 30 ... 45 дБ по відношенню до ВСЗШ на її вході, що забезпечить внутрішньосистемну ЕМС АС. Аналіз також показав можливість формування вузьких променів діаграми спрямованості, що дає можливість передачі сигналів АС на одній і тій же частоті, але в різному напрямку.

9. Розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку, який складається з алгоритма розподілу частотного ресурсу з повторним використанням частот і алгоритма розподілу частотного ресурсу, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Проведено аналіз ефективності даних алгоритмів. Аналіз показав, що використання алгоритма розподілу частотного ресурсу з повторним використанням частот дозволяє в 2-3 рази скоротити смугу частот. А алгоритм, заснований на критерії гарантованої якості зв'язку забезпечить максимальну рівномірність якості в угрупованні рівнопріоритетних АС.

СПИСОК ОПУБЛІКЛВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Коляденко Ю.Ю. Метод оценки матрицы канала систем беспроводного радиодоступа WIMAX / Ю.Ю. Коляденко, А.В. Коляденко, А.Д. Муслим // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2010. – №163. – С. 108–111.

2. Коляденко Ю.Ю. Математическая модель радиоканала для ММО-систем [Електронний ресурс] / Ю.Ю. Коляденко, А.В. Коляденко // Проблеми телекомунікацій. – 2012. – №.2 (7). – С. 91–109. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/2/1/122_kolyadenko_mimo.pdf

3. Коляденко А.В. Метод обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении пространственно-временного ресурса в сетях мобильных связи / А. В. Коляденко // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2017. – №188. – С. 136–140.

4. Поповский В.В. Метод обнаружения сигналов первичных пользователей в когнитивных радиосетях / В.В. Поповский, А.В. Коляденко // Радиоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – №2. – С. 7–15. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-2-1.

5. Поповский В. В. Алгоритмы обнаружения сигналов при когнитивном распределении ресурсов в сетях мобильной связи / В.В. Поповский, А.В. Коляденко // Вестник связи. – Москва. – 2017. – №5. – С. 48–53.

6. Поповский В.В. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов обнаружения сигналов при когнитивном распределении ресурсов в сетях мобильной связи / В.В. Поповский, А.В. Коляденко // Вестник ЮУрГУ. Серия

«Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 33 – 41. DOI: 10.14529/ctcr170203.

7. Поповский В.В. Метод обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении частотного ресурса в мобильных системах связи / В.В. Поповский, А.В. Коляденко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Серія "Радиоелектроніка та телекомунікації". – 2017. – №874. – С. 25 – 30.

8. Development of the model for a backhaul network based on the Long Term Evolushion technology / [L.Tokar, E. Belousova, A. Kolyadenko et al.] // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №2/9 (86). – PP. 38 – 44.

9. Итерационные алгоритмы демодуляции сигналов с пространственно-временным кодированием для систем WIMAX / [Ю.Ю. Коляденко, А.Д. Муслим, А.В. Коляденко и др.] // VI-я Международная научно-практическая конференция «Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии», Харьков, 24-25 мая 2011. – С. 373 – 374.

10. Муслим А.Д. Сравнительная эффективность методов пространственно-временного кодирования, применяемых в системах WIMAX / А.Д. Муслим, А.В. Коляденко // Материалы XV Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 18-20 апреля 2011. – С. 58 – 59.

11. Муслим А.Д. Усовершенствование пространственно-временных кодов для систем WIMAX / А.Д. Муслим, А.В. Коляденко // Материалы XV Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 18-20 апреля 2011. – С. 60 – 61.

12. Коляденко А.В. Анализ характеристик сети беспроводного доступа WIMAX при использовании пространственно-временного доступа до базового ретранслятора/ А.В. Коляденко, Х.М. Иляс // Материалы XVI Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 17-19 апреля 2012. – С. 62 – 63.

13. Коляденко А.В. Оптимизация распределения частотного ресурса в когнитивных радиосетях / А.В. Коляденко // Материалы XVII Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 22-24 апреля 2013. – С. 103 – 104.

14. Коляденко Ю.Ю. Алгоритм распределения частотного ресурса в радиосетях с обеспечением качества связи / Ю.Ю. Коляденко, А.В. Коляденко // Первая Международная научно-практическая конференция «Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии», Харьков, Украина, 9-11 октября 2013. – С. 188 – 190.

15. Kolyadenko Y. Promising radio networks frequency resource allocation cognitive approach / Y. Kolyadenko, A. Kolyadenko // 5 d International Radio Electronic Forum (IREF'2014) PROCEEDINGS Volume II INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE «PROBLEMS OF INFOCOMMUNICATIONS. SCIENCE AND TECHNOLOGY» (PICS&T -2014), Kharkov, Ukraine, October 14-17 2014. – P. 132 – 134.

16. Коляденко А.В. Решение задачи кластеризации в когнитивных радиосетях / А.В. Коляденко // Материалы XVIII Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 14-16 апреля 2014. – С. 59 – 60.

17. Коляденко А.В. Когнитивный подход при распределении частотного ресурса между абонентами в перспективных радиосетях / А.В. Коляденко // Материалы XIX Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 20-22 апреля 2015. – С. 51 – 52.

18. Коляденко А.В. Повышение пропускной способности когнитивных радиосетей на основе MIMO технологии / А.В. Коляденко // Материалы XX Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 19-21 апреля 2016. – С. 43 – 44.

19. Коляденко А.В. Кластеризация абонентских станций в сетях операторов мобильной связи при когнитивном распределении ресурсов / А.В. Коляденко // Материалы XXI Международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», Харьков, 25-27 апреля 2017. – С. 43 – 44.

20. Коляденко А.В. Алгоритм обеспечения электромагнитной совместимости и качества связи в сетях мобильной связи при когнитивном распределении частотного ресурса / А.В. Коляденко // Третья Международная научно-техническая конференция «Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи ЭМС-2017», Харьков, 23-24 мая 2017. – С. 17 – 20.

Анотації

Коляденко А.В. Методы обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении ресурсов в сетях мобильной связи. – Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. Харьковский национальный университет радиоэлектроники. Харьков. 2018.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении ресурсов в сетях мобильной связи.

Разработаны алгоритмы обнаружения сигналов первичных пользователей: алгоритм, построенный на математическом аппарате нейронных сетей и алгоритм, построенный на математическом аппарате нечеткой логики. Нашел дальнейшее развитие алгоритм, построенный на критерии Вальда. Проведен анализ эффективности параметрического алгоритма, построенного на критерии Вальда; непараметрического алгоритма, построенного на математическом аппарате нейронных сетей; непараметрического алгоритма, построенного на математическом аппарате нечеткой логики и непараметрического алгоритма, построенного на знако-ранговом критерии Вилкоксона. В результате проведенного анализа даны рекомендации по их применению.

Рассмотрены и проанализированы алгоритмы кластеризации ресурсов: 1) алгоритм кластеризации, построенный на математическом аппарате нейронных сетей Кохонена, 2) алгоритм нечеткой кластеризации на основе FCM. Кластеризацию ресурсов предложено осуществлять по векторам признаков: 1) координаты расположения АС; 2) запрашиваемые ресурсы (интенсивность поступления пакетов от АС, задержка очереди, ОСПШ); скорости передачи данных пользователей; 3) доступные ресурсы (частотно-временные ресурсы, пространственно-временные ресурсы).

Разработан метод обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении пространственно-временного ресурса в сетях мобильных связи. Метод состоит из выбора алгоритма адаптивной антенной решетки и разработки пространственно-временного доступа.

Разработан метод обеспечения ЭМС при распределении частотно-временного ресурса в сети мобильной связи, который состоит из алгоритма распределения частотного ресурса с повторным использованием частот и алгоритма распределения частотного ресурса, основанном по критерию гарантированного качества связи. Проведен анализ эффективности данных алгоритмов.

Ключевые слова: сеть мобильной связи, алгоритмы обнаружения сигналов, когнитивное распределение ресурсов, кластеризация ресурсов, пространственно-временной доступ.

Коляденко О.В. Методи забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. Харківський національний університет радіоелектроніки. Харків. 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) при когнітивному розподілі ресурсів в мережах мобільного зв'язку.

Розроблено алгоритми виявлення сигналів первинних користувачів: алгоритм, побудований на математичному апараті нейронних мереж і алгоритм, побудований на математичному апараті нечіткої логіки. Знайшов подальший розвиток алгоритм, побудований на критерії Вальда. Проведено аналіз ефективності параметричного алгоритму, побудованому на критерії Вальда; непараметричного алгоритму, побудованому на математичному апараті нейронних мереж; непараметричного алгоритму, побудованому на математичному апараті нечіткої логіки і непараметричного алгоритму, побудованому на знако-ранговому критерії Вілкоксона. В результаті проведеного аналізу дані рекомендації щодо їх застосування.

Розглянуто і проаналізовано алгоритми кластеризації ресурсів: 1) алгоритм кластеризації, побудований на математичному апараті нейронних мереж Кохонена, 2) алгоритм нечіткої кластеризації на основі FCM. Кластеризацію ресурсів запропоновано здійснювати за векторами ознак: 1) координати розташування АС; 2) запитувані ресурси (інтенсивність

надходження пакетів від АС, затримка черги, відношення сигнал/завада+шум; швидкості передачі даних користувачів; 3) доступні ресурси (частотно-часові ресурси, просторово-часові ресурси).

Розроблено метод забезпечення електромагнітної сумісності при когнітивному розподілі просторово-часового ресурсу в мережах мобільного зв'язку. Метод складається з вибору алгоритму адаптивної антенної решітки та розробки просторово-часового доступу.

Розроблено метод забезпечення ЕМС при розподілі частотно-часового ресурсу в мережі мобільного зв'язку, який складається з алгоритму розподілу частотного ресурсу з повторним використанням частот і алгоритму розподілу частотного ресурсу, заснованому за критерії гарантованої якості зв'язку. Проведено аналіз ефективності даних алгоритмів.

Ключові слова: мережа мобільного зв'язку, алгоритми виявлення сигналів, когнітивний розподіл ресурсів, кластеризація ресурсів, просторово-часовий доступ.

Kolyadenko A.V. Methods for ensuring electromagnetic compatibility in the cognitive resources distribution for mobile communication networks. – The manuscript. Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.12.02 – Telecommunication Systems and Networks. Kharkov National University of Radio Electronics. Kharkiv. 2018.

The thesis is devoted to the solution of current scientific problem of ensuring electromagnetic compatibility (EMC) in the cognitive resources distribution in mobile communication networks.

Primary users signals detection algorithms were developed: an algorithm built on a neural networks mathematical apparatus and an algorithm built on a mathematical apparatus of fuzzy logic. The algorithm based on Wald's criterion was further developed. The parametric algorithm efficiency analysis is based on the Wald's criterion is carried out; a nonparametric algorithm based on the neural networks mathematical apparatus; a nonparametric algorithm based on the fuzzy logic and a nonparametric algorithm based on the Wilcoxon sign-rank criterion. Recommendations for their application are given as a result of the analysis.

The resource clustering algorithms are considered and analyzed: 1) the clustering algorithm built on the Self-organizing map (Kohonen neural network mathematical apparatus), 2) the fuzzy clustering algorithm based on FCM. Resources clustering is suggested to be carried out according to the vectors of characteristics: 1) subscriber stations (SS) location coordinates; 2) Requested resources (the packets arrival intensity from the SS, queue delay, signal-to-noise ratio + noise, user data rates, and 3) available resources (time-frequency resources, space-time resources).

The method has been developed to ensure electromagnetic compatibility in the cognitive distribution of space-time resources in mobile communication networks. The method consists of the adaptive antenna array selection algorithm and the space-time access development.

A method for providing EMC in the allocation of a frequency-time resource in a mobile communication network has developed, which consists of an algorithm for allocating a frequency resource with repeated use of frequencies and an algorithm for determining the frequency resource based on the criterion of guaranteed quality of communication. The efficiency of these algorithms has analyzed.

Keywords: mobile communication network, signal detection algorithms, cognitive resource allocation, resource clustering, space-time access.

Підп. до друку 16.04.18
Умов. друк. арк. 1,6.
Зам. № 2-385.

Формат 60×84 1/16.
Облік. вид. арк. 1,4.
Ціна договірна.

Спосіб друку – ризографія.
Тираж 100 прим.

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Науки, 14

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Науки, 14