НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 004.8

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

“___”_____20___р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

на тему: «Застосування генетичного алгоритму для удосконалення топології когнітивних радіомереж»

Виконав студент ___VI ____ курсу, групи __ДВ-72мп__
(шифр групи)

Пашков Сергій Ігорович
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник__професор, к.т.н., проф. Пілінський В. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____ _____ _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет)_____Факультет електроніки_____
(повна назва)

Кафедра _____Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації_____
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка (Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ _____
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__»_____2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студентці
Пашкова Сергія Ігоровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Застосування генетичного алгоритму для удосконалення топології когнітивних радіомереж.
   науковий керівник дисертації: Пілінський Володимир Володимирович, к.т.н., проф.

   затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018р. №4114-с
2. Строк подання студентом дисертації 10.12.2018р.
3. Об'єкт дослідження: методи вдосконалення топології когнітивних радіомереж.
4. Предмет дослідження: система когнітивного радіо

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати проблеми використання радіочастотного ресурсу; дослідити структуру і характерні особливості когнітивних радіомереж; визначити тенденції розвитку систем управління телекомунікаційними мережами; розглянути методи удосконалення топології когнітивних радіомереж, використавши застосування генетичного алгоритму; виконати практичну реалізацію когнітивної радіомережі та зробити аналіз результатів моделювання.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 22 таблиці, 11 рисунків, 1 презентація, 12 слайдів.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Пашков С. І. Проблема забезпечення частотного діапазону та когнітивне радіо / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі. – 2017. – С. 116-117. 2. Пашков С. І. Когнітивне радіо та проблема раціонального використання частотного діапазону / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі. – 2018. – С. 78-79. 3. Пашков С. І. Застосування когнітивних радіосистем спеціального призначення / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем – 2018. – С. 47-49.

8. Дата видачі завдання 10.09.2017

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Написання першого розділу	10.10.2017	
	Написання другого розділу	15.12.2017	
	Написання третього розділу	01.05.2018	
	Написання четвертого розділу	10.10.2018	
	Написання п’ятого розділу	09.11.2018	
	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	25.11.2018	
	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	30.11.2018	

Студент _____ С. І. Пашков
(підпис) (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____ В. В. Пілінський
(підпис) (ініціали, прізвище)

УДК 004.8

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 104 с., 14 рис., 15 табл., 1 дод., 50 джерел.

КОГНІТИВНА РАДІОСИСТЕМА, ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ВДОСКОНАЛЕННЯ, КРИТЕРІЙ «МІНІМУМ ЕНЕРГІЇ».

Об'єктом дослідження є методи вдосконалення топології когнітивних радіомереж.

Мета роботи – дослідження методів вдосконалення топології когнітивних радіомереж генетичним алгоритмом.

В роботі досліджено питання стосовно—переваг використання безпроводових технологій в сучасному світі, надано загальну характеристику когнітивних радіосистем, принципи проектування когнітивних радіосистем.

Результатом дослідження є змодельована когнітивна радіосистема в середовищі MATLAB з використанням генетичного алгоритму. Показано, при збільшенні радіусу когнітивної радіосистеми за сталої кількості користувачів, збільшується кількість ітерацій, яка необхідна для оптимізації когнітивної радіосистеми за критерієм «мінімум енергії». Проте точність виконаних експериментів всюди висока, тобто, генетичний алгоритм можна використовувати як алгоритм для вдосконалення топології когнітивних радіомереж.

SUMMARY

COGNITIVE RADIO, GENETIC ALGORITHM, OPTIMIZATION, IMPROVEMENT, AND CRITERION "MINIMUM OF ENERGY".

The object of the research is the method of improving the topology of cognitive radio networks.

The aim of the work to study methods of improving the topology of cognitive radio networks using a genetic algorithm.

The paper deals with the issues related to the advantages of using wireless technologies in the modern world, provides a General description of cognitive radio systems, the principles of design of cognitive radio systems.

The results of the study are the conclusions about the use of genetic algorithms in cognitive radio systems. It is shown that the greater the radius of the cognitive radio system with a constant number of users, the greater the number of iterations necessary to optimize the cognitive radio system by the criterion of "minimum energy". However, the accuracy of the performed experiments is high everywhere, which suggests that the genetic algorithm can be used as an algorithm to improve the topology of cognitive radio networks.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 8
ВСТУП 10
1 СТАН ТА РОЗВИТОК БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ 13
1.1 Види мереж зв'язку 13
1.2 Вимоги до безпроводових мереж зв'язку 20
1.3 Переваги використання безпроводових мереж в сучасному світі 22
1.4 Пріоритетні напрямки та тенденції розвитку телекомунікаційних систем та мереж 23
2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ КОГНІТИВНИХ РАДІОСИСТЕМ 27
2.1 Принципи роботи когнітивних радіосистем 27
2.2 Характеристика та застосування генетичних алгоритмів 34
2.3 Когнітивні радіосистеми спеціального призначення 46
3 РЕАЛІЗАЦІЯ КОГНІТИВНОЇ РАДІОСИСТЕМИ СТАНДАРТУ IEE802.22 .. 51
3.1 Загальні характеристики стандарту IEEE 802.22 51
3.2 Принципи проектування когнітивних радіосистем 55
3.3 Застосування генетичного алгоритму з метою удосконалення топології когнітивних радіомереж 61
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОГНІТИВНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ 70
4.1 Вхідні дані реалізації когнітивної радіомережі 70
4.2 Етапи моделювання когнітивної радіомережі 75
4.3 Аналіз практичних результатів реалізації когнітивної радіомережі 77
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ КОГНІТИВНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ 80
5.1 Можливості запуску проекту 80
5.2 Технологічний аудит 81

5.3 Розроблення ринкової стратегії проекту 82
5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту 87
ВИСНОВКИ..... 90
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... 90
ДОДАТОК А……..97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АС	–	абонентська станція
ІТ	–	інфотехнологія
КРС	–	когнітивна радіосистема
РЧР	–	радіочастотний ресурс.
ШБД	–	широкосмуговий безпроводових доступ
3GPP	–	3rd generation partnership project (проект партнерства 3-го покоління).
AWGN	–	additive white Gaussian noise (адитивний білий Гаусівський шум)
BER	–	bit error rate (частота бітової помилки)
BPSK	–	binary phase shift-keying (двійкова фазова маніпуляція)
CDMA	–	code division multiple access (множинний доступ з кодовим розділенням каналів)
IEEE	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)
FIFO	–	first input first output (перший прийшов перший пішов)
GSM	–	global system for mobile communications (глобальна система мобільного зв'язку)
LPS	–	local priority set (місцевий набір пріоритетів)
LTE	–	long-term evolution (довготривала еволюція)
PSK	–	phase-shift keying (фазова маніпуляція)
QoS	–	quality of service (якість обслуговування)
QP	–	quiet period (період тиші)

SNR	–	signal-to-noise ratio (співвідношення сигнал-шум)
UMTS	–	universal mobile telecommunications system (універсальна система мобільного зв'язку)
Wi-Fi	–	wireless fidelity (технологія безпроводової локальної мережі)
WiMAX	–	worldwide interoperability for microwave access (глобальна сумісність для мікрохвильового доступу)
WRAN	–	wireless regional area network (безпроводова регіональна мережа)
WSGA	–	wireless system genetic algorithm (генетичний алгоритм безпроводової системи)

ВСТУП

Останні кілька десятиліть потреби людей в обміні інформацією зростають високими темпами. Швидке і надійне передавання різнорідної інформації (відео, голосу, даних тощо) необхідна для розвитку економіки і суспільства в цілому[1].

Для швидкого та надійного передавання інформації необхідні мережі з пропускною здатністю не менш ніж 10 Мбіт/с і високою надійністю[2].

Когнітивні радіомережі поділяють на два типи, первинні(ліцензованих користувачів) і вторинні (не ліцензованих користувачів). Первинні користувачі мають пріоритет для використання ліцензованої смуги частот. Вторинний користувач може використовувати ліцензовану смугу частот, не впливаючи на пріоритетне використання спектру основним користувачем, що підвищує ефективність використання ліцензованого спектру[2].

У нинішній час спостерігаємо стрімкий розвиток радіосистем передавання даних. Постійно зростаючі вимоги до швидкості і об'єму переданої інформації примушують розробників таких систем до використання широкосмугових каналів зв'язку. Одночасно з цим зростає потреба більш ефективно використовувати радіочастотний спектр для забезпечення можливості доступу до інформаційних ресурсів нових користувачів [3].

Актуальність роботи. Проблема дослідження когнітивних радіомереж є актуальною в Україні, тому що ліцензовані смуги радіоспектра можуть використовувати тільки ті оператори, за якими вони закріплені. Однак смуги радіочастот, у яких здатні працювати сучасні телекомунікаційні системи, є кінцевим ресурсом[2]. Використання цього ресурсу ефективно не на всіх доступних частотах. Отже, удосконалення топології когнітивних радіомереж є актуальним напрямком.

Не менш важливим питанням є використання генетичних алгоритмів [4]. Генетичні алгоритми - досить потужний засіб. Вони можуть з успіхом

застосовувати для широкого класу прикладних задач, враховуючи ті, які важко, а іноді і зовсім неможливо розв'язати іншими методами. Хоча такі алгоритми, як і інші методи еволюційних обчислень, не гарантують виявлення глобального рішення визначено за короткий час. Генетичні алгоритми не гарантують того, що глобальне рішення буде знайдено, однак вони можуть використовувати для удосконалення топології когнітивних радіомереж за досить короткі терміни. Однією з переваг таких алгоритмів є те, що вони можуть застосовувати навіть на складних завданнях, там, де не існує ніяких інших, ефективних методів рішення. Все ж на сьогоднішній день питання дослідження генетичних алгоритмів залишається мало дослідженим, що і послужило вибором теми дослідження [4].

Метою роботи є дослідження принципів застосування генетичного алгоритму для удосконалення топології когнітивних радіомереж

Для досягнення мети роботи необхідно розв’язати такі **завдання**:

- проаналізувати проблеми використання радіочастотного ресурсу;
- дослідити структуру і характерні особливості когнітивних радіомереж;
- визначити тенденції розвитку систем управління телекомунікаційними мережами;
- розглянути методи удосконалення топології когнітивних радіомереж, використавши застосування генетичного алгоритму;
- виконати практичну реалізацію когнітивної радіомережі та зробити аналіз результатів моделювання.

Об'єкт дослідження – засоби мобільного зв’язку

Предмет дослідження – система когнітивного радіо

Наукова новизна полягає в тому, що:

- розроблено та проаналізовано модель когнітивної радіомережі з застосуванням генетичного алгоритму;
- отримала подальший розвиток модель когнітивної радіомережі;

- удосконалено модель когнітивної радіосистеми з використанням генетичних алгоритмів.

Практична цінність. Розроблену модель когнітивної радіомережі з застосуванням генетичного алгоритму можна в подальшому вдосконалити та знайти оптимальні параметри кількості користувачів та радіусу когнітивної радіомережі для досягнення найбільшої ефективності

Апробація результатів. По темі дисертації опубліковані 3 тези, в яких знайшли відображення теоретичні принципи і результати роботи.

Публікації. Оприлюднено тези доповідей:

1. *Пашков С. І. Проблема забезпечення частотного діапазону та когнітивне радіо / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі. – 2017. – С. 116-117.*
2. *Пашков С. І. Когнітивне радіо та проблема раціонального використання частотного діапазону / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі. – 2018. – С. 78-79.*
3. *Пашков С. І. Застосування когнітивних радіосистем спеціального призначення / Сергій Ігорович Пашков. // Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем – 2018. – С. 47-49.*

1 СТАН ТА РОЗВИТОК БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Види мереж зв’язку

Розвиток безпроводового зв'язку - безперервна зміна технологій, в основі яких лежать стандарти зв'язку GSM і CDMA, а також стандарти систем передавання даних IEEE 802. Історично технології безпроводового зв'язку розвивалися за двома незалежними напрямками-системи телефонного зв'язку (стільниковий зв'язок) і системи передавання даних (Wi Fi, WiMAX).

В основі стандарту 802.11 є стільникова архітектура. Мережу, як таку складено з осередків (зон обслуговування). Основні топології безпроводових мереж стандарту 802.11[1]:

- IBSS (independent basic service sets) - незалежні базові зони обслуговування;

- BSS (basic service sets) - базові зони обслуговування;

- ESS (extended service sets) - розширені зони обслуговування.

Зона обслуговування service set-це логічно об'єднані пристрої (клієнти). Згідно технології WLAN, робота мережі забезпечує трансляцію в ефір широкомовних сигналів на носивній частоті У певному діапазоні частот. Джерело сигналу – базова станція (точка доступу - access point - AP) або безпроводовий адаптер (wireless adapter) транслює в ефір модульований сигнал, попередньо отримавши доступ до середовища; напрям поширення сигналу залежить від антени джерела, яка може бути односпрямованою або всеспрямованою. Приймач відповідно приймає сигнал і декодує його [2].

IBSS - це так звані «ad-hoc» мережі, дещо еквівалентні одноранговій проводовій мережі. Також називають мережами «точка – точка». Це примітивні децентралізовані мережі, позбавлені будь-якої інфраструктури; число клієнтів обмежене пропускною здатністю мережі – від 2 до 5 клієнтів.

Розвиток стандарту 802.11 наведено на рис.1.1.

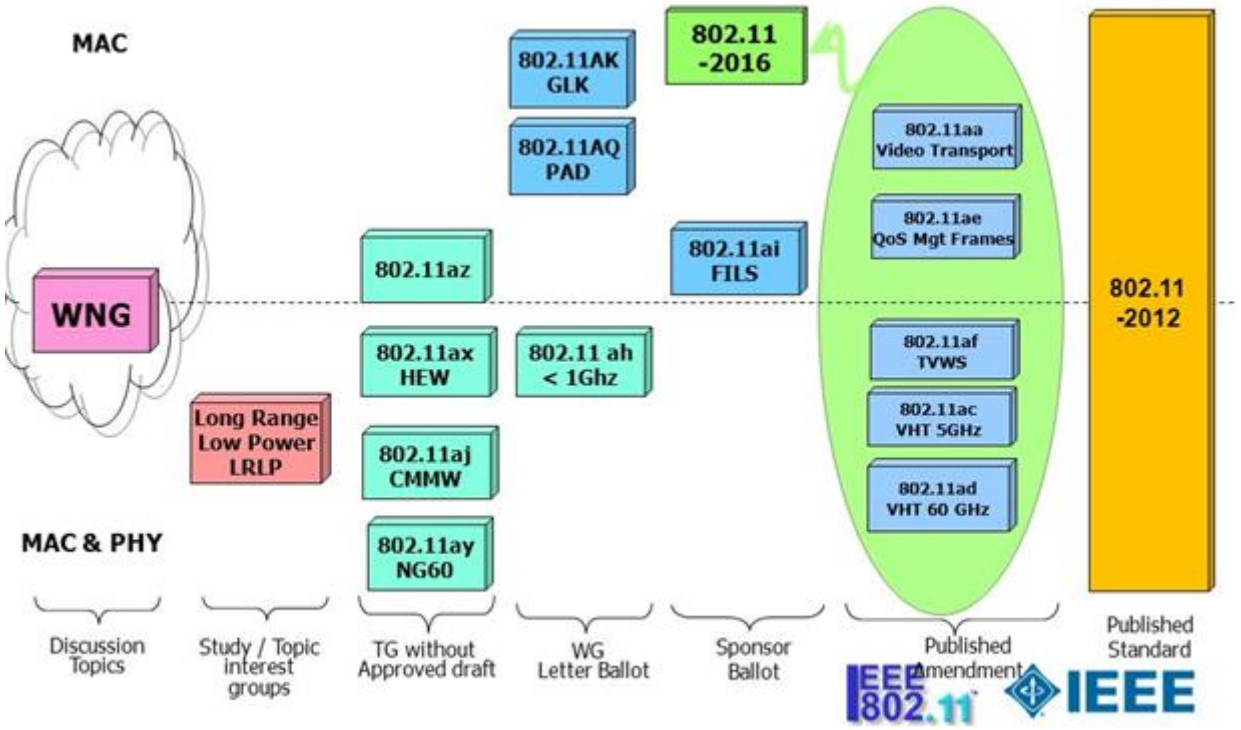

Рисунок 1.1 – Розвиток стандарту 802.11 [3]

Архітектура «Infrastructure» містить BSS і ESS. Це режими взаємодії з базовими станціями (точками доступу), що є концентраторами мережі (за аналогією з проводовими мережами). Клієнти взаємодіють один з одним не прямо, а через базові станції, розділяючи між собою доступ до середовища. BSS-найпоширеніший тип архітектури безпроводової мережі 802.11 [3].

У розширеному режимі ESS існує інфраструктура декількох мереж BSS, причому самі точки доступу взаємодіють один з одним, що дає змогу передавати трафік від одного BSS до іншого. Самі точки доступу з'єднують між собою сегментами кабельної мережі, або радіомостами.

З усіх рівнів моделі OSI (Open System Interconnect) специфікація 802.11 регламентувала два рівня мережі - фізичний (PHY) і управління доступом до середовища передавання даних (MAC, Media Access Control), тобто нижній підрівень канального рівня. На фізичному рівні визначають методи модуляції і характеристики сигналів для передавання даних. У стандарт покладено різні методи передавання в радіочастотному діапазоні хвиль, а також один в інфрачервоному[3].

Канальний рівень 802.11 має два підрівні: управління логічним зв'язком (Logical Link Control, LLC) і управління доступом до носія (Media Access Control, MAC).

802.11 використовує той же LLC і 48-бітову адресацію, що й інші мережі 802, що дає змогу легко об'єднувати безпроводовіта проводові мережі, однак MAC рівень має кардинальні відмінності.

У стандарті 802.11 його методом доступу до безпроводового середовища передавання з розподіленою базою (Distributed Foundation Wireless MAC, DFWMAC) [4].

Для доступу до середовища передавання даних в безпроводових мережах застосовують метод колективного доступу з виявленням носівної і уникненням колізій (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance, CSMA/CA). Власне, цей метод навіть за своєю назвою нагадує технологію колективного доступу, реалізованою в мережах Ethernet.

Перед тим, як послати дані в «ефір», станція X спочатку перевіряє носівну частоту на предмет її використання. Якщо носівну використовують, то станція X відкладає передавання до моменту звільнення середовища. Перевіркою рівня фізичної PHY і використанням вектора резервування мережі NAV станція X чекає своєї черги на відправку, відправляє спеціальне повідомлення, так зване RTS (Ready To Send), яке трактують як готовність даного вузла до відправки даних. Таке RTS-повідомлення містить інформацію про тривалість майбутнього передавання і про адресата і доступно всім вузлам в мережі.

Прийнявши сигнал CTS, що відноситься до станції X, інші станції оновлюють свої вектори NAV і середовище вважають зайнятим на час, вказаний в RTS. Після цього станція X посилає пакет даних, а станція Y має передати кадр ACK, що підтверджує безпомилкове приймання; якщо ACK не отримано, спроба передавання пакету даних буде повторена через деякий інтервал часу. Таким чином, реалізують технологію уникнення колізій. Приблизно така схема дає змогу мережі ефективно функціонувати в умовах

загального середовища доступу. На фізичному рівні визначені кілька широкосмугових радіочастотних методів передавання і один-в інфрачервоному діапазоні.

Технології широкосмугового сигналу, використовувані в радіочастотних методах збільшують надійність, пропускну здатність, надають змогу багатьом непов'язаним один з одним пристроїв розділяти одну смугу частот з мінімальними завадами один для одного. За використання технології розмитого спектра (spread spectrum) переданий сигнал "розмазаний" за деяким частотним діапазоном. Словосполучення "розмитий спектр" означає, що для кодування сигналу використовується більш широкий частотний діапазон, ніж той, що вимагався б за передавання тільки корисної інформації.

Протоколи фізичного рівня для 802.11 ґрунтуються на принципах розширення спектру прямою послідовністю - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) і псевдовипадковою перебудовою частоти - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Ці методи кардинально відрізняються, і несумісні один з одним. Для модуляції сигналу FHSS використовується технологія Frequency Shift Keying (FSK). За роботи на швидкості 1 Мбіт/с використовуєть FSK модуляція за Гауссом другого рівня, а за роботи на швидкості 2 Мбіт / с - четвертого рівня. Метод DSSS використовує технологію модуляції Phase Shift Keying (PSK).

Але останнім часом є–явна тенденція до злиття цих функцій. Більше того, обсяг пакетних даних в мережах зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язано з впровадженням технології HSPA [5].

У свою чергу, сучасні мережі передавання інформації обов'язково забезпечують заданий рівень якості послуг для різних видів трафіку. Реалізується підтримка пріоритетності окремих потоків інформації, причому як на мережевому/транспортному рівнях (на рівні TCP/IP), так і на MAC-рівні (стандарти IEEE 802.16).

Це дає змогу використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передавання мультимедійної інформації тощо .У зв'язку з цим поняття мереж наступного, четвертого, покоління (4G) нерозривно пов'язане (якщо не синонімічне) зі створенням універсальних мереж передавання інформації.

В кінці 1990-их з метою розвитку специфікацій для технологій GSM утворено 3GPP (3rd Generation Partner ship Project) – організація, відповідальна за розробку, підтримку і розвиток сімейства стандартів GSM. GSM (від назви групи Groupe Spécial Mobile, пізніше перейменований в Global System for Mobile Communications) — глобальний цифровий стандарт для мобільного зв'язку, з поділом частотного каналу за принципом TDMA і середнім ступенем безпеки. Розроблено під егідою Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI) в кінці 80-х років.

З того часу всі стандарти, що пов’язані з технологією GSM розробляють і обслуговують 3GPP [6].

3GPP, як означає його назва, складена з ряду партнерів. Ці партнери представляють організації зі стандартизації, розташовані по всьому світу і відповідають за: схвалення і обслуговування меж дії 3GPP, виділення ресурсів, роботу в якості апеляційного органу з процедурних питань.

Спочатку, GSM розробляли як мережі з комутацією каналів, яка відмінно підходить для передавання голосу, але зовсім не підходить для передавання даних. Все змінилося з прийняттям General Packet Radio Service (GPRS) стандарту, тепер обслуговується 3GPP, як і всі інші стандарти GSM. GPRS надав спосіб пересилання пакетів по мережі GSM, і його часто описують, як 2,5 G стандарт.

Можливості передавання даних по мережах GSM просунули ще далі з прийняттям стандарту Enhanced Data Ratesfor GSM Evolution, також відомого як EDGE. Представлена в 2003 технологія EDGE забезпечує втричі більш високу продуктивність у порівнянні з GPRS і сама по собі є 3G технологією, заснованою на ITU специфікаціях для 3G.

Можливості передавання даних ще поліпшені з випуском чергового стандарту 3G від 3GPP під назвою High Speed Packet Access (HSPA). Мережі EDGE в теорії забезпечували швидкість передавання даних (down link data rate) до 1 МБ/с, тоді як HSPA мережі теоретично могли забезпечувати низхідне передавання даних до 14 МБ/с. Тому HSPA мережі повинні забезпечувати значний приріст спадної швидкості передавання даних, проте на практиці це не підтвердилося.

Як приклад, на початку 2009 року компанія Vodafone провела тест HSPA+ мережі, обіцяла спадну швидкість обміну даними до 16 МБ/с, проте вони визнали, що більшість користувачів отримає швидкість завантаження, що не перевищує 4 МБ/с.

HSPA+, також відома під назвою Evolved HSPA, є розширенням базового стандарту HSPA і забезпечує теоретично можливу швидкість завантаження даних до 56 МБ/с. Додатковим аспектом технології HSPA+ стала необов'язкова архітектура all-IP. Архітектура all-IP є основною інновацією в галузі безпроводових телекомунікацій, а також необхідним елементом для LTE [7].

HSPA+ також використовує антенну технологію під назвою Multiple Input/Multiple Output (MIMO). Як і All-IP Архітектура, MIMO є технологією, яку також використовують в LTE.

Отже, технології GSM починали, як мережа з комутацією каналів, призначена для ефективних голосових додатків високої мобільності, і де їх знаходять сьогодні з EDGE, HSPA і HSPA+, стає ясно, що 3GPP прогресивно розвивало GSM стандарт, щоб зробити його стандартом обміну даними високої мобільності (до цих даних голос теж відноситься).

Поряд з постійним і значним збільшенням швидкості обміну даними, 3GPP також реалізувала значні зміни архітектури, необхідні для здійснення їх завдання по досягненню максимальних можливостей GSM в третьому поколінні і переході до четвертого покоління [8].

На даний момент за пріоритетне право мати назву зв'язком 4G борються: технологія Wimax (заснована на стандарті IEEE 802.16 e) і мобільний протокол передавання даних 3GPP Long Term Evolution (LTE)

Основна технологія 4G – OFDM (ортогональне частотне ущільнення).

Існує багато різних думок про майбутнє мереж 4-го покоління: вибір стоїть між мобільним WiMAX і LTE, хоча останнім часом все більше компаній мобільного сектору віддають перевагу саме останньому.

Long Term Evolution (LTE) також являє 3G-стандарт безпроводового широкосмугового доступу, LTE – останній стандарт групи GSM, розвинений на основі GSM на базі архітектур від комутації каналів до All-IP. Після стандарту General Packet Radio Service (GPRS), включаючи стандарти Enhanced Data Ratesfor GSM Evolution (EDGE) і High Speed Packet Access (HSPA), стандарти GSM поступово, але переходять до архітектури All-IP [8].

3GPP Long Term Evolution (LTE) — назва технології мобільного передавання даних. Проект 3GPP є стандартом щодо вдосконалення технологій CDMA, UMTS для задоволення майбутніх потреб у швидкості передавання даних.

Стандарт 3GPP LTE, формально, не є стандартом безпроводового зв'язку 4G, однак стандарт LTE-Advanced затверджений Міжнародним Союзом Електрозв'язку як стандарт безпроводових мереж, відповідає всім вимогам безпроводового зв'язку четвертого покоління, і включений в IMT-Advanced.

Стандарти і відповідні технології безпроводових мереж наведені у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Стандарти і технології безпроводових мереж

Стандарт	Технології
0G	PTT • MTS • IMTS • AMTS • Mobitex • Autotel/PALM • ARP
1G	NMT • AMPS • Hicap
2G	GSM • iDEN • D-AMPS • IS-95 • PDC • CSD • GPRS • HSCSD • WiDEN
2.75G	EDGE/EGPRS • CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA • FOMA) • CDMA2000 (1xEV-DO/IS-856) • TD-SCDMA • WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA • HSDPA • HSUPA) • CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+) • CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX • LTE

Спочатку 3GPP LTE не відносили до 4G - четвертого покоління безпроводового зв'язку, оскільки він не задовольняв всім вимогам Міжнародного Союзу Електрозв'язку щодо 4G, проте пізніше дозволено використання цього позначення, і стандарт 3GPP LTE почали відносити до pre-4G, тобто попередньої версії стандартів 4-го покоління.

1.2 Вимоги до безпроводових мереж зв’язку

Безпроводові мережі повинні задовольняти деяким вимогам, типовим для всіх мереж, в тому числі, мати високу пропускну здатність, можливість охоплення невеликих відстаней, зв'язаність підключених станцій і можливість широкомовлення.

Крім того, існує набір вимог, характерних тільки для безпроводових локальних мереж. Перерахуємо найважливіші з них [9].

1. Продуктивність.

Протокол керування доступом до середовища повинен максимально ефективно використовувати безпроводове середовище для максимізації пропускної здатності.

2. Число вузлів.

Від безпроводових локальних мереж може вимагатися підтримка сотень вузлів з безліччю осередків.

3. З'єднання з магістральною локальною мережею.

Цю вимога задовольняють використанням модулів управління, що приєднують до локальних мереж.

4. Площа.

Типова сфера охоплення безпроводової локальної мережі має діаметр 100-300 м.

5. Електроживлення від батарей

Мобільні співробітники використовують робочі станції з електроживленням від батарей, споживання якої не має бути більшим за використання безпроводових адаптерів. Це забезпечить безперервне стеження за точками доступу.

6. Стійкість передавання та безпека

Структура безпроводової локальної мережі має забезпечувати надійне передавання навіть в умовах шуму, а так само певний рівень захисту від прослуховування.

7. Спільна робота в мережі

Робота декількох користувачів мережі без завад один одному.

8.Робота без ліцензії.

9. Робота на неліцензованій смузі частот.

10. Динамічна конфігурація.

Мережеве управління має покликати динамічне і автоматичне додавання, видалення і перемикання кінцевих систем, не завдаючи незручностей іншим користувачам.

У безпроводових локальних мережах використовують дві технології: передавання в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні і радіопередача в СВЧ-діапазоні.

Передавання в ІЧ діапазоні має декілька переваг:

- спектр для ІЧ передавання необмежений, що дає можливість отримувати вельми високі швидкості передавання;

- для ІЧ діапазону не існує стандартів;

- ІЧ - випромінювання не проникає крізь стіни чи інші непрозорі об'єкти, що полегшує захист від ;

- відносна простота і дешевизна устаткування.

1.3 Переваги використання безпроводових мереж в сучасному світі

Перелічимо основні переваги використання безпроводових мережу сучасному світі .

1. Легкість створення і реструктуризації мережі-це найбільший плюс безпроводової мережі, так як це дає змогу докласти мінімум зусиль, а найголовніше, мінімум витрат для створення працездатної і досить швидкої мережі.

2. Мобільність. Основним показником універсальності є мобільність, що дає змогу людині займатися своєю справою, де б вона не знаходилася, в будь-яких умовах. Мобільні телефони, персональні асистенти, комунікатори, переносні комп'ютери – представники сучасної технології.

З появою безпроводових мереж і відповідних комп'ютерних технологій мобільність набула більш широке значення і дає змогу з'єднати між собою будь-які здатні на зв'язок пристрої, якими так багате життя.

Маючи таке устаткування, можна спокійно пересуватися і бути впевненим, що завжди залишишся на зв'язку і зможеш отримати саму останню інформацію.

3. Підключення до іншого типу мережі. Перевага безпроводової мережі - можливість в будь-який час підключити її до провідної мережі.

Робиться це дуже просто – використовують сумісний порт на точці доступу або радіомосту. У процесі цього виходить доступ до ресурсів мережі без жодних обмежень.

Саме цей факт актуальний, коли до загальної мережі потрібно приєднати віддалені будівлі і точки, до яких прокласти провідну мережу неможливо або занадто дорого.

4. Висока швидкість доступу до Інтернету. Важливо те, що, маючи точку доступу з підключенням до Інтернету, можна дати доступ до нього всім, хто знаходиться в мережі.

При цьому швидкість доступу буде набагато вище тієї, яку можуть надати звичайні навіть xDSL-модеми. Це досить серйозна альтернатива такому дорогому рішенню, як оптоволоконний канал, прокладку якого не можуть дозволити собі навіть деякі великі компанії, чого не скажеш про придбання точки доступу або радіоадаптера, який може купити собі навіть домашній користувач.

5. Легка взаємозамінність обладнання. Під час виходу з ладу або просто модернізації мережі можна легко встановити більш сучасне обладнання. Не порушуючи топології мережі, в будь-який момент можна збільшити її продуктивність.

1.4 Пріоритетні напрямки та тенденції розвитку телекомунікаційних систем та мереж

З огляду на неоднорідність, як мережевих інформаційних ресурсів, так і аудиторії, якій ця інформація адресована, в телекомунікаційних мережах повинен функціонувати досить великий набір інфокомунікаційних сервісів, що забезпечують ефективну роботу користувача з різнорідною інформацією.

Тому є очевидним, що під час експлуатації телекомунікаційних мереж повинен бути використаний досить широкий спектр сучасних технологій моніторингу та аналізу. У процесі виборі цих технологій і відповідних математичних рішень необхідно, в першу чергу, враховувати особливості комунікаційного середовища, доступного кожній з цільових груп користувачів [10].

Загальна інтернет-аудиторія на всій території України року становила 61.6%, що складає 21,8 млн користувачів дорослого населення України (рис.1.2).

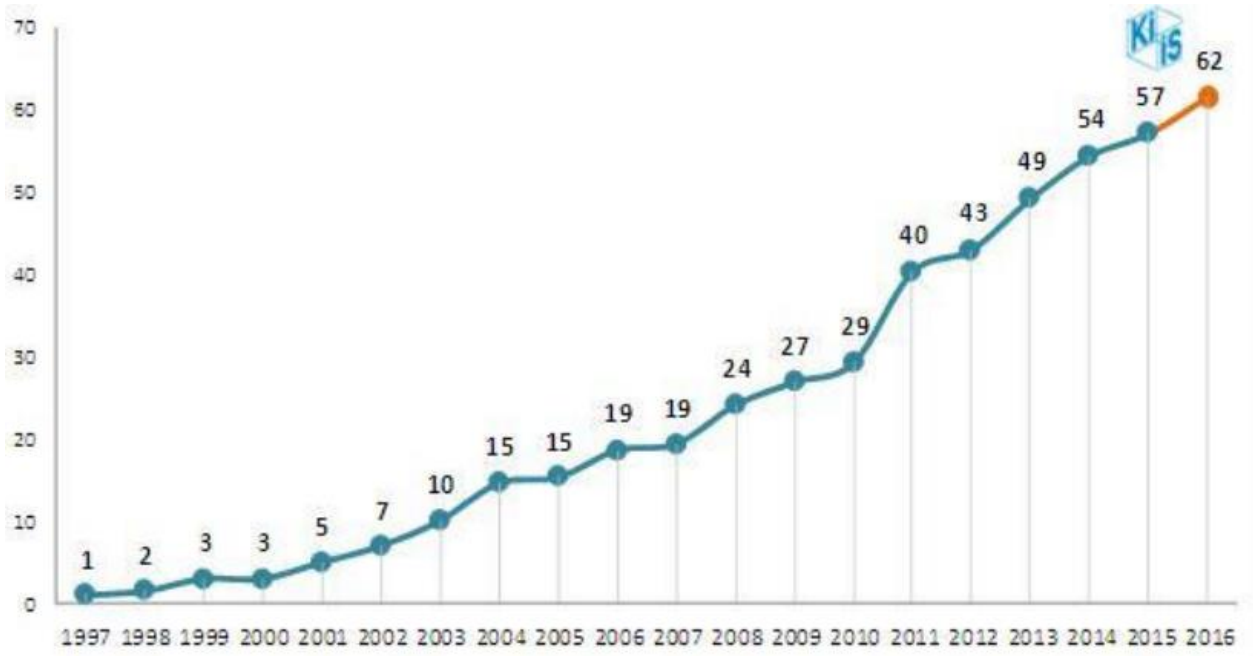

Рисунок 1.2. Темпи зростання Інтернет аудиторії. Джерело [6]

Таким чином, характерною особливістю сучасного суспільства є постійне збільшення кількості інформації, якою змушена оперувати людина. Когнітивні технології мають значний вплив на розвиток телекомунікацій [11].

Когнітивне радіо дає змогу збільшити ефективність використання спектра за рахунок передавання на незайнятих в даний момент частотах. У процесі не створюється завад пріоритетним користувачам. Згідно з офіційним визначенням ITU-R WP1B, когнітивна радіосистема – це

радіосистема, в роботі якої враховуються відомості про навколишнє робоче і географічне середовища.

Можна виділити такі напрямки ефективного використання когнітивності в телекомунікаціях:

- безпроводові когнітивні мережі, засновані на принципах когнітивного радіо, ефективному використанні спектру і управлінні частотними ресурсами;

- реалізація так званого «дружнього інтерфейсу» між користувачем і мережею;

-організація ефективної і гнучкої системи технічної експлуатації, що володіє функціями прогнозування поведінки мережі в різних ситуаціях;

– підтримка нових видів послуг, що забезпечують вирішення важливих завдань для індивідуального користувача телекомунікаційної мережі та суспільства в цілому, наприклад ,організація роботи на дому для ряду категорій офісних працівників.

Одне з перших розгорнутих визначень поняття «когнітивні мережі» з точки зору розробників інфокомунікаційних технологій дано Раяном Томасом (Ryan W. Thomas) в доповіді на конференції IEEE DySPAN в 2005 році і приведено в його дисертації « Когнітивна мережа являє собою мережу з пізнавальним процесом, який може сприймати поточні умови роботи мережі, а потім планувати і здійснювати прийняті рішення в цих умовах. Мережа може навчатися і використовувати накопичені дані для прийняття таких рішень з урахуванням "end-to-end "маршрутизації" [12].

Висновки до розділу

1. Безпроводові мережі - це мережі, які є хорошою альтернативою дротових мереж. В даний час безпеки безпроводовим мережам приділяють велику увагу, так як відомо безліч різних випадків, коли зловмисники

перехоплювали різну інформацію і атакували мережу, перебуваючи на безпечній відстані.

2. Технології широкосмугового сигналу, які використовують в радіочастотних методах, збільшують надійність, пропускну здатність, надають змогу багатьом непов'язаним один з одним пристроїв розділяти одну смугу частот з мінімальними завадами один для одного.

3. Впровадження та використання нових сервісів, для роботи яких необхідна наявність вільних частотних діапазонів, стає складним, а в деяких випадках зовсім неможливим. Одним з можливих шляхів вирішення зазначеної проблеми є перехід до нової технології, названої когнітивне радіо.

4. Технологія когнітивного радіо призначена для вторинного використання радіочастоти спектру, коли пристрої в мережі автоматично перенастроюються на вільні частоти. Пристрої КР змінюють свої параметри на основі отримання інформації про електромагнітну та географічну обстановку, розпізнають образи сигналів всіх первинних радіоелектронних засобів і використовують частоти, коли первинні засоби не працюють. Вони автоматично пере налаштовуються на вільні діапазони, підтримуючи стійке з'єднання. Таким чином, когнітивні радіосистеми є актуальним напрямком розвитку телекомунікаційних систем та мереж.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ КОГНІТИВНИХ РАДІОСИСТЕМ

2.1 Принципи роботи когнітивних радіосистем

Термін «когнітивний» походить від латинського слова cognitio - пізнання. Когнітивним називають те, що має відношення до процесу пізнання, дослідження і мислення. Когнітивне управління - це вид управління, заснований на проблемних знаннях, тобто інформації, необхідної для виявлення і вирішення проблем. Ця інформація знижує ризик прийняття неточних і невірних рішень. Когнітивне управління являє собою «наскрізну» модель роботи з проблемами, починаючи з передбачення і виявлення, і закінчуючи оцінкою результатів рішення [13,14].

Системи когнітивного радіо (CRS - Cognitive Radio Systems) на перший погляд здаються досить молодими, але їх історія почалася вже в кінці 90-х, коли Джозеф Мітола (Joseph Mitola) винайшов нову концепцію в безпроводового зв'язку, представивши когнітивне радіо в якості «універсального і високоінтелектуального персонального цифрового помічника, який спочатку працює на прикладному рівні ».

Провівши аналіз використання радіочастотного спектру, регуляторні органи в ряді країн, зокрема в США і Великобританії, прийшли до висновку, що більша частина спектра використовують неефективно. Наприклад, смуги для рухомого зв'язку перевантажені, а смуги для приймання радіопередач - немає. Тобто використання спектра залежить від місця і часу, і, крім цього, ліцензійні смуги частот не можуть використовувати не ліцензовані користувачі.

Використання спектра, наприклад, безпроводовими технологіями, пристроями малого радіусу дії дозволено за умови, що вони не створюють завади і не вимагають захисту від пристроїв, що працюють на первинній основі.

Спочатку було передбачено, що когнітивне радіо буде продовженням програмованого радіо (SDR - Software-Defined Radio).

Відзначимо, що SDR - система радіозв'язку, в якій компоненти, зазвичай реалізовані апаратно (наприклад, конвертери, фільтри, підсилювачі, модулятори / демодулятор, детектори), реалізують частково або повністю програмно на персональному комп'ютері або вбудованому комп'ютерному пристрої. Звичайна система SDR може складатися з ПК з пристроями введення-виведення (АЦП і ЦАП), перед якими включені деякі РЧ-пристрої.

Істотну частину обробки сигналів виконують на процесорі загального призначення, а не на спеціальному апаратному забезпеченні. Така схема дає змогу реалізовувати радіопристрої, які можуть приймати і передавати різні радіо протоколи програмним забезпеченням.

Програмоване радіо має істотне застосування для військових цілей і для служб стільникової телефонії, так як в цих випадках потрібно обслуговувати безліч радіопротоколов, мінливих в реальному часі. Термін SDR був введений в 1991 році тим же «батьком когнітивного радіо» (як його називають в світі) Джозефом Мітолой, який опублікував першу роботу по цій темі в 1992 році [15].

Технологія SDR має коріння в оборонній галузі з кінця 1970-х як в США, так і в Європі. Однією з перших ініціатив з SDR був військовий проект США, названий Speak Easy. Головною метою проекту є використання програмованої обробки для емуляції більше десяти існуючих військових систем радіо, що працюють в діапазоні від 2 до 2000 МГц. Іншою метою є створення можливості швидкої реалізації нових стандартів кодування і модуляції в майбутньому.

CRS і SDR, в рамках МСЕ спочатку вирішено розробити уніфіковані визначення CRS і SDR, максимально відповідні до всіх служб електрозв'язку.

Так, в даний момент розроблено таке робоче визначення когнітивного радіо. Це радіосистема, що використовує технологію, яка дає змогу системі отримувати знання про свій експлуатаційний або географічний навколишній простір, встановлених регуляторними нормами і своєму внутрішньому стані; динамічно і автономно налаштовувати свої експлуатаційні параметри і

протоколи відповідно до отриманими знаннями для досягнення встановлених цілей; навчатися на основі отриманих результатів.

В рамках МСЕ-Р зараз розроблено і робоче визначення програмованого радіо. Це радіопередавач і / або приймач, що використовує технологію, яка передбачає, що радіочастотні експлуатаційні параметри, що включають, але не обмежуються діапазоном частот, типом модуляції або вихідною потужністю, встановлюються або змінюються програмним забезпеченням, за винятком зміни експлуатаційних параметрів, які встановлюються під час стандартної установки і заздалегідь заданій роботи радіо відповідно до системної специфікації або стандартам.

Слід розрізняти поняття когнітивна мережа і когнітивне радіо. Основні відмінності пов'язані з масштабами поставлених цілей.

У когнітивної мережі головною метою є забезпечення якості обслуговування «від краю до краю». Когнітивне ж радіо в більшій мірі пов'язане з роботою радіосистем.

Більшість досліджень в області когнітивного радіо пов'язані з роботою мереж на фізичному рівні, а точніше з визначенням можливостей впливу когнітивних процесів на якість роботи радіосистеми і доступні ресурси.

Таким чином, наявність у мережі вузлів, що реалізують принципи когнітивного радіо, недостатньо, щоб цю мережу назвати когнітивної.

Когнітивне радіо базують на принципах програмно визначається радіо, а когнітивні мережі використовують принципи керованих мереж. Ще однією істотною відмінністю когнітивних мереж від когнітивного радіо є те, що когнітивна мережа може бути гетерогенною, як провідною, так і бездротовою (в загальному випадку навіть змішаною).

Розвиток радіомовлення, цифрового телебачення, безпроводових систем зв'язку відбувається так стрімко, що все гостріше постає питання про ефективність використання частотного спектра [16].

Основним механізмом розподілу спектрального ресурсу на сьогодні є так зване ліцензування – це закріплення того чи іншого частотного діапазону

за тим чи іншим оператором, що надає послуги кінцевому користувачеві, на конкурсній основі.

Відповідно, ліцензований спектр може використовувати тільки той оператор, за яким він закріплений.

Істотний вплив на стабільність з'єднання між вузлами бездротової мережі надає радіо обстановці в місці розгортання мережі позначається на поширенні радіохвиль внаслідок особливостей місцевого рельєфу, погодних умов і деяких інших параметрів. Тому досить важко підібрати такі універсальні характеристики для пристроїв зв'язку, щоб вони штатно працювали за будь-яких умов.

Більш того, розгортання тимчасових мереж в умовах перевантаженого міського спектра важко виконати, оскільки де-юре вільних частот занадто мало, а де-факто використовується нераціонально.

З одного боку, як показують дослідження, використання частотного ресурсу неоднаково ефективно у всій смузі частотного спектра і залежить від частоти, простору і часу.

Проте, з іншого боку, електромагнітний спектр, придатний для сучасних мобільних телекомунікацій, є кінцевим ресурсом.

Дані обставини дають змогу вважати неефективність існуючого механізму розподілу спектрального ресурсу, який на сьогодні є статичним практично у всіх доступних смугах частот.

Одним з підходів до вирішення проблеми неефективного використання спектрального ресурсу є запропонована в роботах Мітоли [6] концепція когнітивного радіо.

Отже, підсумовуючи, когнітивне радіо - це інтелектуальна безпроводова система зв'язку, здатна аналізувати навколишнє оточення і пристосовуватися до неї навчанням, реагуючи на зміни в оточенні зміною своїх власних параметрів (наприклад, несучої частоти, потужності, способу модуляції) в реальному часі з метою збільшення ефективності використання спектрального ресурсу [17].

Зміну параметрів інтелектуальної мережі зв'язку ґрунтують на активному відстеженні декількох факторів у зовнішньому і внутрішньому радіо оточенні, таких як спектр радіочастоти, поведінка користувача і стан мережі.

У системах когнітивного радіо прийнято розрізняти первинних і вторинних користувачів.

Первинний користувач володіє ексклюзивними правами на використання деякої ліцензованої смуги частот.

Вторинний користувач має право використання ліцензованої смуги частот тільки тоді, коли вона не зайнята первинним користувачем.

Передача прав на використання спектра від первинних користувачів вторинним з подальшим динамічним розподілом спектра між ними дає змогу значно збільшити ефективність використання спектрального ресурсу.

До теперішнього часу склалася ситуація, коли для опису технологій розподілу спектра між первинними і вторинними користувачами в когнітивних радіомережах використовують велику кількість різноманітних технічних термінів. Деякі з них протиставляють один одному: динамічний доступ спектра проти динамічного розподілу спектра, право власності на спектральний діапазон проти вільного використання спектра, гнучкий доступ до спектру проти об'єднання спектра, spectrum overlay проти spectrum underlay.

Досі можна зустріти використання терміна когнітивне радіо як синонім динамічного розподілу спектра.

В рамках моделі пропонують розглянути два підходи: право власності на спектр і динамічний призначення спектра[18].

У першому підході допускають можливість для ліцензованого користувача перепродувати частину своїх частот, а також надають свободу у виборі використовуваних технологій. Другий підхід (динамічне призначення спектра) для поліпшення ефективності використання спектрального ресурсу передбачає прив'язувати розподіл спектра в конкретному місці і в

конкретний час до строго певним службам (сервісів), використовуючи статистичні дані про трафік.

Модель ексклюзивного використання не може усунути прогалини в спектрі в результаті імпульсного характеру безпроводового трафіку. Модель вільного розподілу (Open Sharing Model) заснована на вільному доступі тимчасових користувачів до спектрального діапазону.

Послідовники цієї моделі в якості позитивного прикладу громадського регулювання та розподілу спектра призводять успішний розвиток безпроводових систем, що працюють в неліцензованих спектральних діапазонах - індустріальні, наукові та медичні системи (ISM).

На рис.2.1. показані методи рішення задач динамічного розподілу спектру.

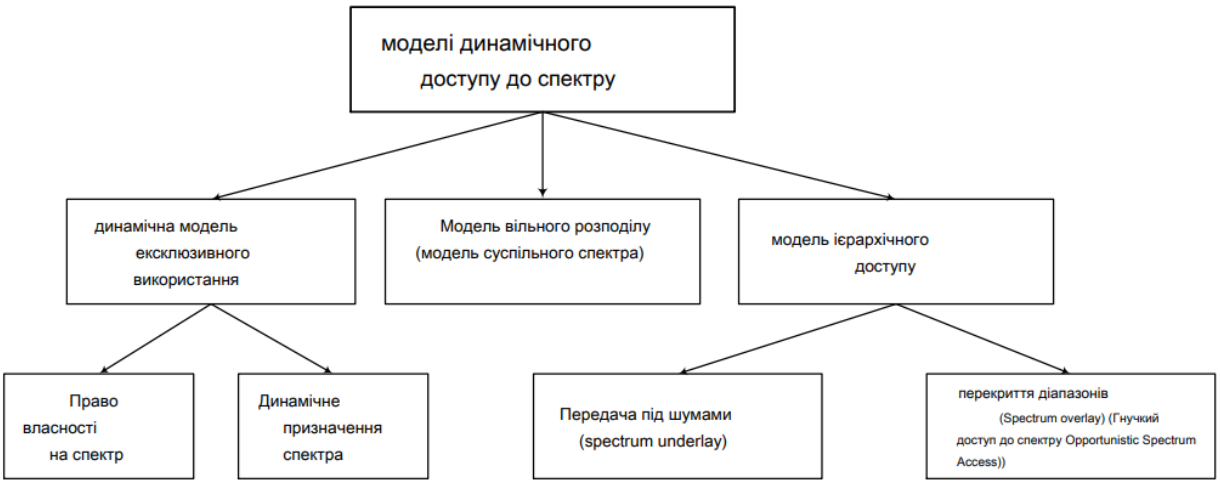

Рисунок 2.1. Класифікація моделей динамічного доступу до спектру

На даний момент радіозв'язок розвивають таким чином, що з кожним днем пропонують все більше послуг, які використовують різні технології і радіоінтерфейси. У такому складному радіопросторі когнітивна здатність терміналу є ключовою і може забезпечити оптимізацію використання радіо ресурсів.

З огляду на інформацію про радіопросторі, когнітивне радіо зможе перемикатися на найбільш підходящу технологію і частоту для надання необхідної послуги. Поточні дослідження зосереджені на концепції використання контрольного каналу CPC, зокрема проект європейського

консорціуму найбільших операторів зв'язку E2R [19]. Суть в тому, що доставку необхідної інформації здійснюють з застосуванням свого роду загального контрольного каналу, який дає змогу терміналу знати про статус зайнятості радіоканалу.

В роботі терміналу за взаємодії з контрольним каналом пропонують розрізняти дві основні фази, так звані фази «запуску» і «продовження»:

1. Фаза «запуску»: після включення термінал визначає своє географічне розташування, використовуючи систему позиціонування, і пізніше він виявляє СРС. Після визначення і синхронізації з СРС, термінал здійснює пошук інформації, переданої в контрольному каналі, що стосується зони його розташування, що і завершує фазу запуску.

2. Фаза «продовження»: коли термінал приєднався до мережі, може бути виконана корисна періодична перевірка інформації, спрямованої від СРС, для швидкого виявлення змін в навколишньому середовищі у зв'язку або зі зміною положення, або реконфігурацією мережі. Під час роботи терміналу в фазі «продовження» здійснюється не тільки прослуховування контрольного каналу системи когнітивного радіо, але і контрольного каналу конкретної системи радіо доступу [20].

Систему когнітивного радіо можна організувати таким чином:

- з використанням бази даних, що містить інформацію про навколишній радіо простір (наприклад, про технології радіодоступу);

- з використанням контрольного каналу (Cognitive Pilot Channel, CPC).

Концепцію використання бази даних можна застосовувати для роботи в «білих плямах» (незайнятих або частково зайнятих смугах частот). Значну увагу цій концепції приділяється в США. Так, Федеральна комісія зв'язку (FCC) почала тестування і запропонувала в якості бажаної для когнітивного радіо частини частотних смуг (з 2-го до 69-й ТБ-канали) і УВЧ в зв'язку з їх не дуже інтенсивним використанням.

Ширина каналів 6 МГц, і вони розміщені в діапазонах частот 54-72, 76-88, 174-216 і 470-806 МГц. База даних має містити інформацію про всіх

ліцензованих користувачів ТВ-смуг радіочастот. Для передавання пристрій, що працює у «білій плями», має встановити зв'язок з базою даних і повідомити інформацію про своє місцезнаходження (наприклад, отриману через GPS) і отримати список доступних каналів: смуги частот, які можуть бути використані без створення завад пристроїв, що працюють на первинній основі [21].

На рис. 2.2 показані основні фази взаємодії терміналу з контрольним каналом.

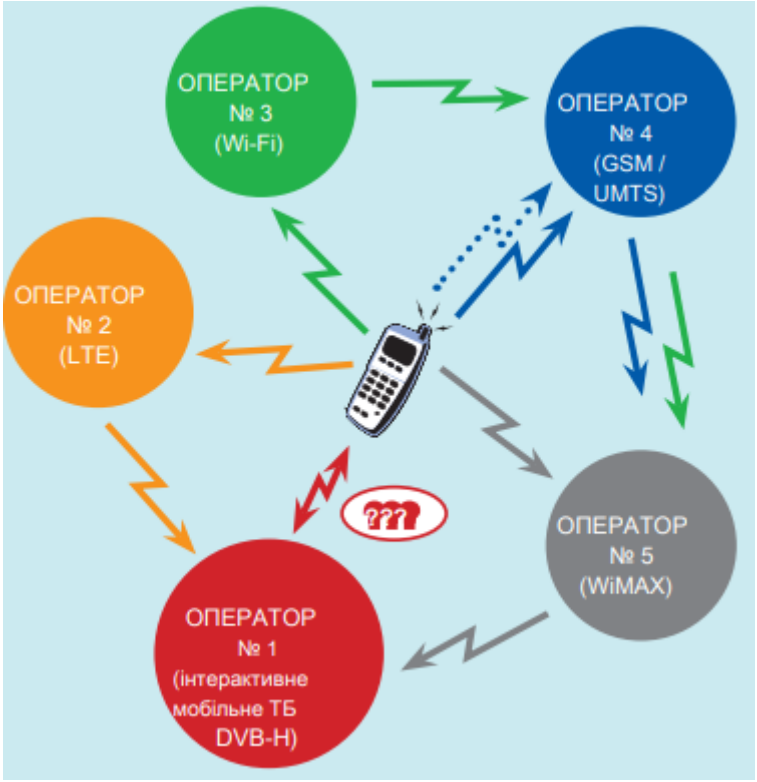

Рисунок 2.2. Основні фази взаємодії терміналу з контрольним каналом

2.2 Характеристика та застосування генетичних алгоритмів

Генетичні алгоритми в даний час представляють собою перспективний напрямок інтелектуальної обробки даних, пов'язаний з вирішенням завдань пошуку та оптимізації.

Область застосування генетичних алгоритмів досить широка. Їх успішно використовують для вирішення низки великих і економічно значущих завдань у бізнесі та інженерних розробках. З їх використанням

розроблені промислові проектні рішення, що дають змогу заощадити багатомільйонні суми. Фінансові компанії широко використовують ці кошти для прогнозування розвитку фінансових ринків в процесі управління пакетами цінних паперів. Поряд з іншими методами еволюційних обчислень генетичні алгоритми зазвичай використовуються для оцінки значень безперервних параметрів моделей великої розмірності, для вирішення комбінаторних завдань, для оптимізації моделей, що містять одночасно безперервні і дискретні параметри [22].

Інша область застосування - використання в системах добування нових знань з великих баз даних, створення і навчання стохастичних мереж.

Генетичні алгоритми мають на меті знаходження кращого в порівнянні з наявним, а не оптимальним рішенням задачі. Це пов'язано з тим, що для складної системи часто потрібно знайти будь яке прийнятне рішення, а проблема досягнення оптимуму відходить на другий план. Інші методи, орієнтовані на пошук саме оптимального рішення, внаслідок надзвичайної складності завдання взагалі не відповідають дійсності. У цьому є причина появи, розвитку і зростання популярності генетичних алгоритмів.

Переваги генетичних алгоритмів стають ще більш прозорими, якщо розглянути основні їх відмінності від традиційних методів. Основних відмінностей чотири [23]:

- 1. Генетичні алгоритми працюють з кодами, в яких наведений набір параметрів, що прямо залежать від аргументів цільової функції. Причому інтерпретація цих кодів діє тільки перед початком роботи алгоритму і після завершення його роботи для отримання результату. В процесі роботи маніпуляції з кодами діють абсолютно незалежно від їх інтерпретації, код розглядають просто як бітовий рядок.

- 2. Для пошуку генетичний алгоритм використовує кілька точок пошукового простору одночасно, а не переходить від точки до точки, як це є в традиційних методах. Це дає змогу подолати один з їхніх недоліків - небезпека потрапляння в локальний екстремум цільової функції, якщо вона

не є унімодальною, тобто має кілька таких екстремумів. Використання декількох точок одночасно значно знижує таку можливість.

- 3. Генетичні алгоритми в процесі роботи не використовують додаткової інформації, що підвищує швидкість роботи. Єдиною використовуваною інформацією може бути область допустимих значень параметрів і цільової функції в довільній точці.

- 4. Генетичний алгоритм використовує як розподіл усіх правил для створення нових точок аналізу, так і детерміновані правила для переходу від одних точок до інших.

Генетичний алгоритм працює з кодами безвідносно їх інтерпретації. Тому сам код і його структуру описують поняттям генотип, а його інтерпретація, з точки зору розв'язуваної задачі, поняттям - фенотип. Кожен код представляє, по суті, точку простору пошуку. З метою максимально наблизитися до біологічних термінів, екземпляр коду називають хромосомою, особиною або індивідуумом. Далі для позначення рядка коду ми будемо в основному використовувати термін "особина". На кожному кроці роботи генетичний алгоритм використовує кілька точок пошуку одночасно. Сукупність цих точок є набором особин, який називають популяцією. Кількість особин в популяції називають розміром популяції.

На кожному кроці роботи генетичний алгоритм оновлює популяцію шляхом створення нових особин і усунення непотрібних. Щоб відрізняти популяції на кожному з кроків і самі ці кроки, їх називають поколіннями і зазвичай ідентифікують за номером. Наприклад, популяція, отримана з вихідної популяції після першого кроку роботи алгоритму, буде першим поколінням, після наступного кроку – другим [24].

У процесі роботи алгоритму генерація нових особин відбувається на основі моделювання процесу розмноження. Природно, породжувачів особини називають батьками, а породжених - нащадками. Батьківська пара, як правило, породжує пару нащадків. Безпосередня генерація нових кодових рядків з двох обраних відбувається внаслідок роботи оператора схрещування,

який також називають кросинговером (від англ, crossover). Під час породження нової популяції оператор схрещування може застосовуватися не до всіх пар батьків. Частина цих пар може переходити в популяцію наступного покоління безпосередньо. Наскільки часто виникатиме така ситуація, залежить від значення ймовірності застосування оператора схрещування, яка є одним з параметрів генетичного алгоритму.

Моделювання процесу мутації нових особин здійснюється внаслідок роботи оператора мутації. Основним параметром оператора мутації також є ймовірність мутації.

Оскільки розмір популяції фіксований, то породження нащадків має супроводжувати усунення інших особин. Вибір пар батьків з популяції для породження нащадків виробляє оператор відбору, а вибір особин для знищення - оператор редукції. Основним параметром їх роботи є, як правило, якість особини, яке визначають значенням цільової функції в точці простору пошуку, описуваної цією особиною.

Таким чином, можна перерахувати основні поняття і терміни, використовувані в області генетичних алгоритмів [25]:

- генотип і фенотип;
- особина і якість особини;
- популяція і розмір популяції;
- покоління;
- батьки і нащадки.

До характеристик генетичного алгоритму відносять:

- розмір популяції;
- оператор схрещування і ймовірність його використання;
- оператор мутації і ймовірність мутації;
- оператор відбору;
- оператор редукції;
- критерій зупинки.

Оператори відбору, схрещування, мутації і редукції називають ще генетичними операторами.

Критерієм зупинки роботи генетичного алгоритму може бути одна з трьох подій [26]:

- Сформовано заданий користувачем число поколінь.
- Популяція досягла заданого користувачем якості (наприклад, значення якості всіх особин перевищує передбачений поріг).
- - Досягнутий певний рівень збіжності. Тобто особи в популяції стали настільки подібними, що подальше їх поліпшення відбувається занадто повільно.

Характеристики генетичного алгоритму вибирають таким чином, щоб забезпечити малий час роботи, з одного боку, і пошук якомога кращого вирішення, з іншого.

Послідовність роботи генетичного алгоритму

Дослідимо тепер безпосередньо роботу генетичного алгоритму. Загальний алгоритм його роботи виглядає таким чином:

1. Створення вихідної популяції

2. Вибір батьків для процесу розмноження (працює оператор відбору)

3. Створення нащадків обраних пар батьків (працює оператор схрещування)

4. Мутація нових особин (працює оператор мутації)

5. Розширення популяції внаслідок додавання нових, щойно породжених, особин

6. Скорочення розширеної популяції до вихідного розміру (працює оператор редукції)

7. Критерій зупинки роботи алгоритму виконано?

8. Пошук кращої досягнутої особини в кінцевій популяції - результату роботи алгоритму

Вихідну популяцію формують, як правило, з використанням будь-якого випадкового закону, на основі якого вибирають потрібну кількість точок

пошукового простору. Вихідна популяція може також бути результатом роботи якого-небудь іншого алгоритму оптимізації. Все тут залежить від розробника конкретного генетичного алгоритму.

В основі оператора відбору, який служить для вибору батьківських пар і усунення особин, лежить принцип "виживає найсильніший". Зазвичай метою вибору є знаходження максимуму цільової функції. Очевидно, що одна особина може бути задіяна в кількох батьківських парах.

Аналогічно може бути вирішене питання усунення особин. Тільки ймовірність знищення, відповідно, повинна бути обернено пропорційна якості особин. Однак зазвичай відбувається просто усунення особин з найгіршим якістю. Таким чином, з вибором для розмноження найбільш якісні особини і знищенні найбільш слабких, генетичний алгоритм постійно покращує популяцію, приводячи до формування кращих рішень [27].

Оператор схрещування має моделювати природний процес успадкування, тобто забезпечувати передачу властивостей батьків нащадкам.

З’ясуємо найпростіший оператор схрещування. його виконують у два етапи. Нехай особина представляє собою рядок з m елементів. На першому етапі вибирають натуральне число k від 1 до m-1. Це число має назву точка розбиття. Відповідно до нього обидва вихідні рядки розбивають на два підрядка. На другому етапі рядка обмінюють інформацію зі своїх підрядків, що лежать після точки розбиття, тобто елементами з k + 1-го до m-й. Так виходять дві нові рядки, які успадковували частково властивості обох батьків.

Можливість використання оператора схрещування зазвичай вибирається досить великою, в межах від 0,9 до 1, щоб забезпечити постійну появу нових особин, які розширюють простір пошуку. У процесі значенні ймовірності менше 1 часто використовують елітизм.

Елітизм - це особлива стратегія, яка передбачає перехід в популяцію наступного покоління еліти, тобто кращих особин поточної популяції, без будь-яких змін. Застосування елітизму сприяє збереженню загальної якості

популяції на високому рівні. Елітні особини беруть участь ще й в процесі відбору батьків для подальшого схрещування.

У разі використання елітизму всі вибрані батьківські пари піддаються схрещуванню, незважаючи на те, що ймовірність застосування оператора схрещування менше . Це дає змогу зберігати розмір популяції постійним.

Оператор мутації служить для моделювання природного процесу мутації. Його застосування в генетичних алгоритмах обумовлено такими міркуваннями. Вихідна популяція, якою б великою вона не була, охоплює обмежену область простору пошуку. Оператор схрещування, безумовно, розширює цю область, але все ж до певної міри, оскільки використовує обмежений набір значень, заданий вихідною популяцією. Внесення випадкових змін в особини дає змогу подолати це обмеження і іноді значно скоротити час пошуку і поліпшити якість результату.

Як правило, ймовірність мутації, на відміну від ймовірності схрещування, вибирають досить малою. Сам процес мутації полягає в заміні одного з елементів рядка на інше значення. Це може бути перестановка двох елементів в рядку, заміна елемента рядка значенням елемента з іншого рядка, в разі бітового рядка може застосовуватися інверсія одного з бітів [28].

У процесі роботи алгоритму всі зазначені вище оператори застосовуються багаторазово і ведуть до поступової зміни вихідної популяції. Оскільки оператори відбору, схрещування, мутації і редукції за своєю суттю спрямовані на поліпшення кожної окремої особини, то результатом їх роботи є поступове поліпшення популяції в цілому. В цьому і полягає основний сенс роботи генетичного алгоритму - поліпшити популяцію рішень.

Після завершення роботи генетичного алгоритму з кінцевої популяції вибирається та особина, яка дає екстремальне (максимальне або мінімальне) значення цільової функції і є, таким чином, результатом роботи генетичного алгоритму. За рахунок того, що кінцева популяція краще вихідної, отриманий результат є покращеним рішенням.

Ефективність генетичного алгоритму в процесі вирішенні конкретної задачі залежить від багатьох факторів, і зокрема від таких, як генетичні оператори і вибір відповідних значень параметрів, а також способу представлення завдання на хромосомі. Оптимізація цих чинників призводить до підвищення швидкості і стійкості пошуку, що істотно для застосування генетичних алгоритмів.

Швидкість генетичного алгоритму оцінюють за часом, необхідним для виконання заданого користувачем числа ітерацій. Якщо критерієм закінчення є якість популяції або її збіжність, то швидкість оцінюється часом досягнення генетичним алгоритмом одного з цих подій.

Стійкість пошуку оцінюють ступенем стійкості алгоритму до потрапляння в точки локальних екстремумів і здатністю постійно збільшувати якість популяції від покоління до покоління.

Два ці фактори - швидкість і стійкість - і визначають ефективність генетичного алгоритму для вирішення кожного конкретного завдання.

Основним способом підвищення швидкості роботи генетичних алгоритмів є розпаралелювання. Причому цей процес можна досліджувати з двох позицій. Розпаралелювання може здійснюватися на рівні організації роботи генетичного алгоритму і на рівні його безпосередньої реалізації на обчислювальній машині.

У другому випадку використовують особливість генетичних алгоритмів. У процесі роботи багато разів доводиться обчислювати значення цільової функції для кожної особини, здійснювати перетворення оператора схрещування і мутації для кількох пар батьків. Всі ці процеси можуть бути реалізовані одночасно на кількох паралельних системах або процесорах, що пропорційно підвищить швидкість роботи алгоритму.

У першому ж випадку застосовують структурування популяції рішень на основі одного з двох підходів:

- Популяцію розділяють на кілька різних підпопуляцій (демос), які згодом розвиваються паралельно і незалежно. Тобто схрещування

відбувається тільки між членами одного демосу. На якомусь етапі роботи відбувається обмін частиною особин між підпопуляціями на основі випадкової вибірки. І так може тривати до завершення роботи алгоритму. Даний підхід отримав назву концепції островів.

- Для кожної особини встановлюється її просторове положення в популяції. Схрещування в процесі роботи відбувається між найближчими особинами. Такий підхід отримав назву концепції схрещування в локальній області.

Обидва підходи, очевидно, також можна ефективно реалізовувати на паралельних обчислювальних машинах. Крім того, практика показала, що структурування популяції призводить до підвищення ефективності генетичного алгоритму навіть за використання традиційних обчислювальних засобів.

Ще одним засобом підвищення швидкості роботи є кластеризація. Суть її полягає, як правило, в двоетапній роботі генетичного алгоритму. На першому етапі генетичний алгоритм працює традиційним чином з метою отримання популяції більш "хороших" рішень. Після завершення роботи алгоритму з підсумкової популяції вибирають групи найбільш близьких рішень[29].

Ці групи в якості єдиного цілого утворюють вихідну популяцію для роботи генетичного алгоритму на другому етапі. Розмір такої популяції буде, природно, значно менше, і, відповідно, алгоритм буде далі здійснювати пошук значно швидше. Звуження простору пошуку в даному випадку не відбувається, оскільки застосовується виключення з розгляду тільки ряду дуже схожих особин, що істотно не впливають на отримання нових видів рішень.

Стійкість або здатність генетичного алгоритму ефективно формувати кращі рішення залежить в основному від принципів роботи генетичних операторів (операторів відбору, схрещування, мутації і редукції). Розглянемо механізм цього впливу докладніше.

Як правило, діапазон впливу можна оцінити, розглядаючи вироджені випадки генетичних операторів.

Виродженими формами операторів схрещування є, з одного боку, точне копіювання нащадками своїх батьків, а з іншого, породження нащадків, в найбільшою мірою відрізняються від них.

Перевагою першого варіанту є якнайшвидше знаходження кращого рішення, а недоліком, в свою чергу, той факт, що алгоритм не зможе знайти рішення краще, ніж вже міститься в вихідної популяції, оскільки в даному випадку алгоритм не породжує принципово нових особин, а лише копіює вже наявні. Щоб все-таки використовувати переваги цієї граничної форми операторів схрещування в реальних генетичних алгоритмах, застосовують елітизм, мова про який йшла вище.

У другому випадку алгоритм виконує роботу над найбільшою кількістю різних особин, розширюючи область пошуку, що, природно, призводить до отримання більш якісного результату. Недоліком в даному випадку є значне уповільнення пошуку. Однією з причин цього, зокрема, є те, що нащадки, які значно не відрізняються від батьків, не успадкують їх корисних властивостей.

В якості реальних операторів схрещування використовують проміжні варіанти. Зокрема, батьківське відтворення з мутацією і батьківське відтворення з рекомбінацією і мутацією. Батьківське відтворення означає копіювання рядків батьківських особин в рядки нащадків. У першому випадку після цього нащадки піддаються впливу мутації. У другому випадку після копіювання особини-нащадки обмінюються підрядками.

Після рекомбінації нащадки також піддаються впливу мутації. Останній підхід набув найбільшого поширення в області генетичних алгоритмів.

Основним параметром оператора мутації є ймовірність його впливу. Зазвичай її вибирають досить малою, щоб, з одного боку, забезпечувати розширення області пошуку, а з іншого, не привести до надто серйозних змін

нащадків, що порушує успадкування корисних параметрів батьків. Сама ж суть впливу мутації зазвичай визначається фенотипом і на ефективність алгоритму особливого впливу не робить.

Існує також додаткова стратегія розширення пошукового простору, звана стратегією різноманітності. Якщо генетичний алгоритм використовує дану стратегію, то кожен породжений нащадок піддається незначному випадковому зміни. Відмінність різноманітності і мутації в тому, що оператор мутації вносить в хромосому досить значні зміни, а оператор різноманітності - навпаки. У цьому полягає основна причина стовідсоткової ймовірності застосування різноманітності. Адже якщо часто вносити в хромосоми нащадків незначні зміни, то вони можуть бути корисні з точки зору як розширення простору пошуку, так і успадкування корисних властивостей. Відзначимо, що стратегію різноманітності застосовують далеко не у всіх генетичних алгоритмах, оскільки є лише засобом підвищення ефективності.

Ще одним дуже важливим фактором, що впливає на ефективність генетичного алгоритму, є оператор відбору. Сліпе слідування принципу "виживає найсильніший" може привести до звуження області пошуку і попаданню знайденого рішення в область локального екстремуму цільової функції. З іншого боку, занадто слабкий оператор відбору може привести до уповільнення зростання якості популяції, а значить, і до уповільнення пошуку. Крім того, популяція може не тільки не поліпшуватися, але і погіршуватися [30].

Оскільки процедури відбору батьків і редукції рознесені за дією в часі і мають різне значення, зараз ведуться активні дослідження з метою з'ясування, як впливає узгодженість цих процедур на ефективність генетичного алгоритму.

Одним з параметрів, який також впливає на стійкість і швидкість пошуку, є розмір популяції, з якою працює алгоритм. Класичні генетичні алгоритми припускають, що розмір популяції повинен бути фіксованим. Такі

алгоритми називають алгоритмами стаціонарного стану. У цьому випадку оптимальним вважають розмір $2\log_2(n)$, де n - кількість всіх можливих рішень задачі.

Однак практика показала, що іноді буває корисно варіювати розмір популяції в певних межах. Подібні алгоритми отримали назву поколінь. В даному випадку після чергового породження нащадків усічення популяції не відбувається. Таким чином, протягом декількох ітерацій розмір популяції може рости, поки не досягне певного порогу. Після чого популяцію усікають до свого початкового розміру. Такий підхід сприяє розширенню області пошуку, але разом з тим не веде до значного зниження швидкості, оскільки усічення популяції, хоча і рідше, але все ж відбувається.

Практична діяльність людини ставить перед наукою все нові дослідницькі завдання. Область застосування генетичних алгоритмів постійно розширюється, що вимагає їх вдосконалення та дослідження.

Перерахуємо кілька нових завдань, які можна вирішувати з використанням генетичних алгоритмів, і пов'язані з ними напряму дослідження в цій області:

- розробка нових методів тестування генетичних алгоритмів;

- розробка адаптивних генетичних алгоритмів;

- розширення кола розв'язуваних з використанням генетичних алгоритмів задач;

- максимальне наближення генетичних алгоритмів до природного еволюційного процесу.

До недавнього часу в якості критерію якості більшості конкретних генетичних алгоритмів використовувалася ефективність вирішення завдання отримання бітового вектора з максимальним числом одиничних розрядів.

Чим швидше алгоритм знаходив найкраще рішення, тим він вважався ефективніше.

Зараз це завдання вже не є об'єктивним засобом тестування алгоритмів, що свідчить про їх бурхливий розвиток не тільки з точки зору застосування

до тих чи інших класів задач, але і з точки зору їх внутрішньої побудови та принципів роботи.

В області «досліджень, спрямованих на підвищення ефективності генетичних алгоритмів, велике значення придбали ідеї створення адаптивних генетичних алгоритмів, які можуть змінювати свої параметри в процесі роботи. Вони стали продовженням розвитку ідеї поколінь алгоритмів, які в процесі роботи змінюють розмір популяції.

Адаптивні алгоритми здатні змінювати не тільки цей параметр, але і суть генетичних операторів, ймовірність мутації і навіть генотип алгоритму.

Як правило, дані зміни відбуваються шляхом вибору параметрів з декількох варіантів, визначених перед початком роботи алгоритму.

2.3 Когнітивні радіосистеми спеціального призначення

В рамках Євросоюзу визначено, що когнітивні радіосистеми мають підтримувати декілька технологій радіодоступу та мати здатність динамічного вибору вільного радіочастотного ресурсу [31].

Враховуючи, що раціонально спроектована система завжди є в процесі модернізації безперервно на інтервалі життєвого циклу, а також загальносвітові тенденції розвитку засобів цифрового радіозв’язку, сформульовано основні вимоги до систем зв’язку спеціального призначення:

– широкодіапазонність;

– прихованість функціонування і завадостійкість системи зв’язку, яку забезпечують застосуванням спеціальних сигналів і методів їх оброблення;

– можливість адаптації до завадової обстановці;

– можливість використання різних протоколів управління мережею (в тому числі і децентралізованого управління);

– багатофункціональність (мультимедійність);

– можливість модернізації радіостанції внаслідок впровадження на програмному рівні нових видів модуляції (наприклад, Orthogonal Frequency

Division Multiplexing - OFDM або Orthogonal Code-Division Multiplexing – OCDM) і протоколів передавання інформації без зміни конструкції і схемотехнічних рішень;

– можливість роботи з радіостанціями „старого парку”; – можливість ретрансляції та квітування коротких цифробуквених повідомлень або інформаційних пакетів;

– наявність вбудованої системи криптографічного захисту;

– наявність вбудованої навігаційної системи, що дає змогу синхронізувати мережі зв’язку та відображати розташування радіостанцій на цифровій карті;

– ергономічний інтерфейс користувача;

– високий ступінь уніфікації і модульність конструкції радіостанції та програмного забезпечення.

Сучасні радіозасоби, призначені для забезпечення радіозв’язком підрозділів за ведення бойових операцій і в ході антитерористичних заходів, повинні мати можливість скритої передавання інформації (мови і даних) у радіоканалах в умовах впливу комплексу електромагнітних завад, а також внаслідок багатопроменевого поширення радіохвиль.

Прихованість передавання за заданої дальності зв’язку може бути досягнута:

– застосування направленої передавання і просторової селекції прийнятих сигналів;
– істотного зменшення часу випромінювання сигналів;
– зниження спектральної щільності за використання складних сигналів з розширеним спектром.

Під час роботи повнозв’язної мережі застосування направленої передавання практично виключається, а необхідність передавання мови не дає змогу суттєво зменшити час випромінювання радіосигналів.

Таким чином, застосування сигналів з розширеним спектром є найбільш доцільним. Основними видами сигналів з розширеним спектром є

широкосмугові шумоподібні сигнали (ШШС) і сигнали з псевдовипадковою перебудовою робочої частоти (ППРЧ).

Слід зазначити, що сигнали з ППРЧ, на відміну від ШШС, забезпечують істотно меншу енергетичну прихованість функціонування радіосистем передавання інформації, оскільки їх рівень має бути вищим рівня шуму.

Через сигнали з ППРЧ промені не розділяють за часом приходу і, як наслідок, вони схильні до впливу інтерференційних завад. У той же час, ШШС можуть передаватися істотно нижче рівня шуму, оскільки існує можливість їх когерентного накопичення навіть в умовах багатопроменевого поширення сигналів.

В роботах [32-34] показано, що за формування ефективних радіоелектронних завад для кожного з даних сигналів, забезпечено необхідну завадозахищеність, але прихованість функціонування систем радіозв’язку з ШШС зменшує вірогідність притлумлення радіоканалу. Відомо, що за стаціонарних завад з рівномірною спектральною щільністю, завадостійкість прийому не залежить від форми (виду) сигналів і повністю визначена відношенням енергії сигналу до спектральної щільності шуму, а також взаємокореляційними властивостями ансамблю сигналів.

Однак це твердження слушне за умови ідеальної синхронізації, що за використання складних сигналів з великою базою є непростим завданням.

Для реальних каналів радіозв'язку характерним є наявність зосереджених за часом і спектром завад, а також інтерференційних завад (завмирань), обумовлених багатопроменевістю поширення радіохвиль, що ще більше ускладнює завдання побудови ефективної системи синхронізації. Для вирішення поставленого завдання необхідно застосування процедур синхронізації інваріантних до статистичних характеристиках завад.

Особливу увагу слід приділяти можливості одночасного функціонування на обмеженій території декількох незалежних (не синхронізованих) мереж радіозв’язку та підтриманню синхронізму після

встановлення з’єднання. Додатковим обмеженням на побудову системи синхронізації є вимога на максимально допустимий час входження в синхронізм, який за організації роботи в мережі в напівдуплексному режимі передавання не повинен перевищувати 0,2 ... 0,3 секунди.

Для систем зв’язку з ППРЧ характерна наявність фази початкової синхронізації, яка, як правило, є досить тривалою, а для підтримки синхронізму необхідно використовувати або опорні генератори з дуже високою стабільністю, або окремий канал синхронізації, що істотно знижує завадозахищеність системи зв’язку.

В той же час, для систем зв’язку з ШШС можлива швидка початкова синхронізація та її подальше підтримання за використання робочих сигналів, що не мають ознак синхронізуючої послідовності.

Застосування складних сигналів забезпечує завадозахищеність функціонування системи зв'язку тільки у разі відсутності у імовірного супротивника апріорних відомостей про форми кодових послідовностей що використовуються і закону зміни робочої частоти.

Тому є можливість застосування ансамблю сигналів з відповідними взаємокореляційними властивостями, розмірність якого практично виключає можливість використання алгоритмів перебору їх демодуляції. Для передавання інформації необхідно мати можливість оперативної зміни алгоритму обробки прийнятих сигналів в залежності від форм кодових послідовностей що завантажують з ансамблю, що потребує використання програмованих цифрових узгоджених фільтрів для демодуляції сигналів з великою базою.

Висновки до розділу

1. Вибір тієї чи іншої технології розподілу спектру тісно пов'язаний з характеристиками детектування і заданими характеристиками якості обслуговування користувачів в мережі. Але в рамках когнітивного підходу в

телекомунікаційних мережах, вирішується більш широкий спектр завдань ніж динамічний розподіл спектра, що є безумовно однією з найважливіших областей застосування когнітивного радіо.

2. Нові технології, такі як програмоване радіо і когнітивне радіо, є у відносно складному початку свого шляху. Але робота триває у всьому світі, і отримані нові результати поступово наближають нас до моменту активного впровадження і використання в рамках ефективного і раціонального використання такого ресурсу, як радіочастотний спектр.

3. Дослідження і розробки методів і алгоритмів прийняття рішень для технології "когнітивного радіо" є актуальним. Одним із сучасних підходів до реалізації функцій штучного інтелекту в когнітивних радіосистемах є застосування методу міркування на основі прецедентів і генетичних алгоритмів.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ КОГНІТИВНОЇ РАДІОСИСТЕМИ СТАНДАРТУ IEE802.22

3.1 Загальні характеристики стандарту IEEE 802.22

Робоча група IEEE 802.22 Working Group, основне завдання якої проектування стандарту, заявляє, що специфікація IEEE 802.22 являє собою проект безпроводових регіональних мереж, що описуєдворівневу архітектуру (рівень PHY і рівень MAC) з багатоточковим (point-to-multipoint) з'єднанням [34].

Мережа призначена як для роботи з професійними фіксованими базовими станціями, так і з портативними (або фіксованими) призначеними для користувача терміналами (модемами). Обмін даними за стандартом проводять на "вільних" частотах ОВЧ / УВЧ(VHF / UHF) телевізійного мовлення, що становить смугу від 54 МГц 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 у робочій смузі частот стандарту[35].

У стандарті IEEE 802.22 WRAN використана технологія Cognitive Radio, яка забезпечує налаштування параметрів приймальних пристроїв мережі так, щоб спектр сигналу, який сформовано під час передавання, не мав перекриття діапазони "ліцензованих частот". Для цього система постійно аналізує спектр радіосигналу, що оточують фонові сигнали, а також поведінку користувачів мережі.

Базова станція після того, як отримала всю інформацію про частотний діапазон і інформацію про своє місцезнаходження (по GPS), визначає, які частоти може бути застосовано для встановлення зв'язку з користувачами мережі. За вже встановленого зв'язку система періодично сканує частотний діапазон для визначення появи нових сигналів і під час виявлення таких має місце перебудова на інші частоти. Слід зазначити, що сканування частотного діапазону відбувається на стороні абонента, що дає змогу мати актуальну

інформацію про обстановку в зоні покриття. Розробники відзначають, що специфікація IEEE 802.22 WRAN є однією з перших, в якій технології Cognitive Radio повною мірою застосовують в радіозв'язку. Таким чином, стандарт дає змогу ефективно використовувати наявний спектр робочих частот без отримання ліцензій [36].

Під час створення стандарту основною метою розробників є те, щоб рівень продуктивності системи був не гіршим, ніж у цифровій абонентській лінії – DSL. Для цього необхідно забезпечити швидкість вхідного (downlink) з'єднання (в межах дії базової станції) близько 1.5 Мбіт/с, а швидкість вихідного (uplink) – 384 кбіт/с для 12 одночасно працюючих в мережі користувачів.

Забезпечення такої швидкості для користувачів вимагає, щоб пропускна здатність каналу для вхідного з'єднання становила 1.5*12 = 18 Мбіт/с. Тому, для ширини смуги телевізійного каналу в 6 МГц – для США, великий частини Центральної і Південної Америки і Японії (в іншому світі смуга, в основному-8 МГц) необхідна спектральна ефективність становить С = 18/6 = 3 біт/с/Гц).

На основі цих принципів сформовано-стандарт IEEE 802.22.

Мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів (OFDM) вибрано для того, щоб забезпечити стійку роботу системи в умовах багатопроменевого поширення і селективного завмирання радіосигналу, а також для забезпечення високої пропускної здатності та ефективного використання смуги пропускання.

Залежно від умов стандарт дає змогу використовувати різні види модуляції: QPSK, 16-QAM або 64-QAM. Причому в рамках стандарту не виключають адаптивну динамічну конфігурація параметрів модуляції для конкретного користувача. Для забезпечення необхідної продуктивності у стандарті введена система канального з'єднання ("Channel Bonding"), яка дає змогу використовувати для передавання одночасно більш одного телевізійного каналу, щоб забезпечити необхідну пропускну здатність.

Це можливо у зв'язку з тим, що часто у різних країнах між мовними каналами залишають 2, а то і більш вільних каналів, щоб позбутися перехресних завад. На практиці ж передбачено обмежитися трьома вільними каналами.

Вимоги розробників до гнучкості архітектури стандарту «створили» ряд нових проблем на MAC-рівні [37].

В першу чергу виникли проблеми з ініціалізацією і входом в мережу. Проблема пов'язана з тим, що в мережі відсутній фіксований канал, а також немає можливості відіслати пілот-сигнал для пошуку мережі (каналу). Тож спочатку необхідно сканувати весь частотний діапазон для відстеження доступних вільних каналів, а потім у вже знайденому відфільтрованому частотному діапазоні проводити сканування пілот-сигналом базових станцій і тільки після цього підключатися до мережі.

Специфіка стандарту вимагає і певної організації обміну інформацією. Для забезпечення передавання даних між користувачем і базовою станцією використовується дуплексний зв'язок з тимчасовим поділом каналів (TDD).

Необхідний всього 1 канал для обміну, що простіше для контролю, ніж під час зв'язку з частотним поділом – FDD. Це дає змогу динамічно змінювати пропускну здатність вхідного і вихідного потоків. Для забезпечення такого режиму роботи використовують особливу фреймову структуру даних. В рамках стандарту введені фрейми(Frames) і супер-фрейми (Super frames):

- тривалість супер-фрейму 160 мс;
- тривалість фрейму 10 мс;
- кожен супер-фрейм складають фрейми;
- супер-фрейми забезпечують повну синхронізацію роботи всієї мережі, зокрема, вони забезпечують ініціалізацію доступу до мережі і вхід в мережу.

На початку кожного суперфрейма є преамбула і керуючий заголовок супер-фрейму (SuperframeControl Header або коротко – SCH). Заголовок і преамбула містять інформацію, необхідну для всіх нових абонентів, які

бажають підключитися до базової станції. Кожен фрейм ділять на два підфрейма: вхідний (downlink sub-frame – DL) і вихідний (uplink sub-frame – UL). Межа між двома підфреймами може змінюватися залежно від необхідної пропускної спроможності. Кожен фрейм містить CBP-пакет (Co-existence Beacon Protocol), який включає технічну інформацію про мережу, наприклад, місце розташування, інформацію про вільні канали, команди від базової станції клієнтам та ін.

Стандарт розроблений таким чином, щоб у процесі передавання інформації запобігти конфліктам з існуючими каналами телемовлення, а також іншими системами радіопередач у даному частотному діапазоні.

Таким чином, система зв'язку є адаптивною внаслідок використання технології Cognitive Radio, що також дає змогу знизити вплив різних факторів і змін умов поширення радіохвиль, які періодично виникають на практиці.

У 2020-і роки слід очікувати інтенсивного поширення цієї технології зв'язку в багатьох країнах, бо її застосування надасть змогу вирішити проблему широкосмугового зв'язку в сільській місцевості на великих територіях за мінімальних витрат на будівництво базових станцій. Абонентський пристрій для зв'язку в мережі стандарту IEEE 802.22 наведено на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Абонентський пристрій

На рисунку 3.2 надано принцип роботи системи, заснованій на стандарті IEE802.22.

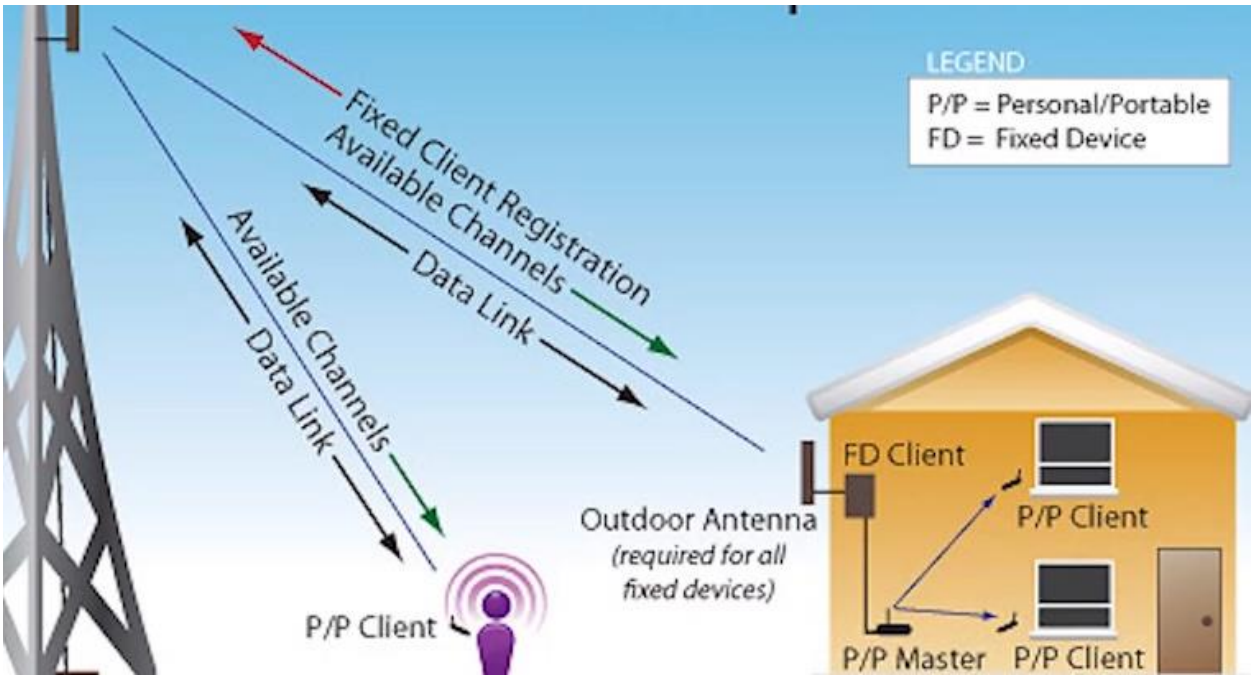

Рисунок 3.2 – Принцип роботи системи, заснованої на стандарті IEEE 802.22 [37].

3.2 Принципи проектування когнітивних радіосистем

Безпроводові пристрої та технології в Україні та за її межами отримали широке поширення, що істотно збільшило попит на використання частотного спектра. Необхідність у використанні вільних смуг частот зростає з кожним днем. Отже, це призвело до нестачі частотного ресурсу. Технологія когнітивного радіо дає можливість використовувати спектр вторинно, що надає можливість підвищити ефективність його використання. Перший прототип когнітивного радіо працює в діапазоні від 100 МГц до 7.5 ГГц, включаючи частоти для телебачення, Wi-Fi і частоти для GSM [38, 39].

Пристрій визначає незайняті частоти і здійснює перемикання між ними за 50 мікросекунд, а в окремих випадках і за 1 мікросекунду. Вторинним користувачам надають можливість використовувати діапазони первинних користувачів в той час, коли ці діапазони ними не зайняті.

Під час вільного каналу основного користувача, діапазон може бути використаний іншим абонентом. Для цього вторинному абоненту потрібно аналізувати стан частотного спектра на наявність у ньому інших абонентів, а також рівень наявних завад. Процеси аналізу стану і вибору діапазону є складними, які вимагають застосування інтелектуальних алгоритмів. Їх реалізують технології програмного радіо. Такі радіосистеми швидко і точно визначають наявність чинників, що заважають організації каналу зв'язку. Також існує можливість переконфігурувати приймально-передавальний тракт на роботу в іншому радіочастотному каналі і зменшити вплив завад завдяки застосуванню динамічно-змінюваних алгоритмів цифрового оброблення сигналів [40].

Такий розвиток безпроводового зв'язку викликає утворення нової проблеми – електромагнітних завад. Для успішної роботи всіх електронних пристроїв без впливу один на одного, потрібно використовувати весь радіодіапазон і «навчити» їх властивостям аналізу, вибору відповідного способу і протоколу зв'язку [51].

Радіоелектронними засобами когнітивної радіосистеми для виконання цих функцій необхідно мати у своєму складі елементи, які забезпечують та ЗДІЙСНЮЮТЬ: формування/оброблення радіосигналів; спостереження за радіочастотним спектром (моніторинг спектру); аналіз результатів спостережень і навчання системи (когнітивний або інтелектуальний модуль); нормативну керованість системи і елемент, який накопичує знання та отримані відомості (база даних). Функціональна схема радіоелектронних засобів КР, яка виконує визначені функції, наведена на рисунку 3.3.

Рисунок 3.3 – Функціональна схема радіоелектронних засобів когнітивної радіосистеми

З метою логічного опису принципів функціонування системи КР використовують поняття циклів дослідження. Такий цикл може бути наведено як кібернетичну модель OODA (Observe - спостереження, Orient - орієнтування, Decision - вирішення, Action – виконання) [41].

Зазначена модель виконує багаторазове повторення циклів дій, яке сформовано чотирма послідовними взаємодіючими процесами: спостереженням, орієнтацією, рішенням, керувальним впливом (рисунок 3.4.). Фактично має місце розвиток ситуації за спіраллю і на кожному етапі цієї спіралі існує взаємодія з експлуатаційним середовищем [51].

Рисунок 3.4 – Графічне зображення циклу Бойда

Спостереження (observation) - це процес збирання інформації, необхідної для прийняття рішення у кожному конкретному випадку. Необхідна інформація може бути отримана як від зовнішніх, так і від внутрішніх джерел. Під внутрішніми джерелами інформації розуміють елементи зворотного зв'язку петлі. У якості зовнішніх джерел використовують давачі КР (сенсори) та інші канали отримання інформації.

Орієнтація (orientation) - найбільш відповідальний і найбільш складний етап з «когнітивного представлення» у всьому циклі OODA. Етап орієнтації складено з двох підетапів: руйнування (destruction) і створення (creation). Руйнування (аналіз) допускає розподіл ситуації на дрібні елементарні частини, які більш легкі для оброблення. Пристрої, що здійснюють аналіз, проводять декомпозицію задачі до такого рівня, за яким новоутворені складові завдання стають близькими до стандартних ситуацій, для яких в системі є план рішення. Ознайомлення з цими елементарними завданнями відбувається шляхом навчання та накопичення досвіду. Таке ознайомлення можливо тільки на основі заздалегідь розроблених правил управління спектром, а також планів використання спектра. Когнітивний модуль ідентифікує поточну ситуацію з тими ситуаціями, з якими він вже працював, і застосовує заздалегідь під заготовлений план дій для поточної ситуації. Далі ці елементарні плани об'єднують у загальний план дій, який і відповідає етапу «створення» (синтез). Вироблений план зберігають з метою можливого подальшого використання. Якщо немає планів, з числа яких може бути обрано рішення, то процес залишають на етапі орієнтації і здійснюють подальшу декомпозицію задачі [51].

Прийняття рішення (decision) - третій етап циклу OODA. Якщо до цього етапу пристрій сформував тільки один план, то приймають рішення - виконувати цей план, чи ні. Якщо ж сформовано кілька альтернативних варіантів дій, то пристрій на даному етапі здійснює вибір найкращого з них для подальшої реалізації. Вибір найкращого плану може здійснюватися, наприклад, за критерієм ефективність - вартість.

Керувальний вплив (action) - заключний етап циклу, який «відповідає» за практичну реалізацію прийнятого рішення та управління системою з метою поліпшення результатів спостереження у наступному циклі.

Класифікацію когнітивних радіосистем можна провести за критеріями, що наведено на рисунку 3.5 [29].

Рисунок 3.5 – Критерії класифікації когнітивних радіосистем

За методами дослідження експлуатаційного середовища системи КР поділяють на дві категорії:

1) системи КР з пасивним дослідженням експлуатаційного середовища;

2) системи КР з активним дослідженням експлуатаційного середовища.

Пасивне дослідження. У системах на основі обміну інформацією між користувачами радіочастотного ресурсу - радіосистеми первинних користувачів надають системам вторинних користувачів інформацію про виділені частоти та заплановані для виділення. Наприклад, станція існуючої (первинної) системи зв'язку передає повідомлення, у якому інформує про наявність ліцензованого спектру для вторинного використання. Первинна система може надати дозвіл на доступ до спектру або відмовити у доступі. Обмін інформацією може мати технічні параметри (потужність передавача, його місцезнаходження, частоту, модуляцію), фінансові параметри (ціни, варіанти оплати тощо.) чи параметри якості обслуговування (наприклад, відношення сигнал-шум) [51].

Перевагою пасивних методів є те, що вони можуть забезпечити зв'язок без завад для первинної системи, оскільки для неї використано спектр визначений апріорі. Вторинна система використовує тільки ті частоти, котрі надані первинною системою або повноважним органом. Однак, метод пасивного дослідження збільшує кількість інформації необхідної для управління системою. Значний обсяг інформаційного ресурсу системи, у цьому випадку, може бути відведений для розповсюдження інформації про частоти. Крім того, пасивні підходи не сумісні з існуючими системами ліцензування. Вони можуть бути дуже корисні в майбутньому. Відзначимо також, що пасивні методи дослідження можуть бути об'єднані з методами використання спектра [51].

Активне дослідження є способом отримання інформації про поточне використання спектра в експлуатаційному середовищі. В основу методу активного дослідження покладено моніторинг спектру з метою виявлення смуг частот, що використано іншими системами. Метод вимагає постійного моніторингу експлуатаційного середовища для того, щоб нові первинні користувачі та можливі вакантні канали своєчасно виявлені.

За проведення моніторингу радіочастотного спектра можуть виникнути ситуації, коли існує завада від вторинної системи абонентського терміналу основної системи (проблема прихованого терміналу). У такій ситуації вторинний користувач може впливати на первинний приймач, бо сам не завжди може виявити сигнал передавача основної системи. Щоб подолати цю проблему, необхідно збільшувати період зондування для підвищення точності вимірювань, що, в свою чергу, скорочує час, який доступний для передавання інформаційних повідомлень [51].

Ще одним способом подолання проблеми прихованого терміналу є обмін інформацією про результати зондування між вторинними користувачами. У даному випадку використовують комбінацію методів активного і пасивного дослідження.

Залежно від набору функціональних параметрів, які враховано в момент прийняття рішення, можливо виділити такі типи КР:

- когнітивне радіо, у якому всі можливі для спостереження параметри РЕЗ або безпроводової мережі прийняті до уваги («повне» когнітивне радіо);

- когнітивне радіо на основі зондування спектра, в якому досліджують лише один параметр - зайнятість радіочастотного спектра [51].

Під час використання неповного набору параметрів для спостереження когнітивна радіосистема займатиме проміжне місце між двома цими типами.

За типом основних каналів управління (обміну службовою інформацією) класифікують:

- КРС з виділеним каналом керування;
- КРС з розподіленим каналом управління.

У даний час деякі дослідники відносять КР до систем із штучним інтелектом, а частина виділяє їх в окремий клас систем і класифікує їх між системами програмно-реконфігурованих радіо [42]:

- якщо дані, отримані в результаті реалізації циклу дослідження в наступних циклах системою використовують тільки для аналізу, то КРС відносять до класу «неінтелектуальних»;

- якщо КРС функціонує з урахуванням раніше отриманих знань і використовує їх для прогнозування ситуації, то її відносять до класу «інтелектуальних».

3.3 Застосування генетичного алгоритму з метою удосконалення топології когнітивних радіомереж

У когнітивних радіосистемах процес оптимізації доповнює метод міркування на основі прецедентів. Замість того щоб покладатися на тільки оптимізацію, він керує процесом оптимізації з накопиченим досвідом.

Процес оптимізації дає змогу навчання у реальному часі для накопичення знань.

Для аналізу показників ефективності, когнітивна радіосистема використовує результати процесу оптимізації та аналізує, наскільки тісно ці результати відповідають фактичному виконанню роботи радіосистемою. Процес оптимізації дає змогу поліпшити якість сигналу на основі набору математичних моделей у форматі цільових функцій. Результатами цільових функцій є розраховані показники ефективності сигналу. Після використання сигналу на практиці результуюче виконання може відрізнятися від розрахункового виконання. Ця різниця пов'язана з корисністю сигналу[43].

Під час експлуатації, КР можна дослідити динамічні середовища, ситуації, а також оновлення технології в результаті розвитку технології. Ці та багато інших причин призводять до збільшення пошукового простору. Згідно теорії прийняття рішень, задача прийняття рішення має бути спрямована на визначення найкращого (оптимального) способу дій для досягнення поставлених цілей (тобто ідеальне уявлення бажаного результату) [51].

Серед тих алгоритмів, які можна використати для рішення задач оптимізації, виділяють еволюційний, а саме генетичний алгоритм (ГА). Існують дві головні переваги ГА перед класичними оптимізаційними методиками: ГА не має значних математичних вимог до видів цільових функцій і обмежень. Дослідник не повинен спрощувати модель об'єкта, втрачаючи її адекватність, і штучно домагаючись можливості застосування доступних математичних методів. Можуть використовуватися найрізноманітніші цільові функції і види – певна кількість обмежень (лінійні і нелінійні), визначені на дискретних, безперервних і змішаних універсальних множинах.

Опис ймовірностей фіналів: вхідні дані (завдання) алгоритму зіставляють з прецедентами через функцію подібності.

Функція подібності (3.1) визначає близькість входять завдань шляхом порівняння їх з даними надходять із баз даних.

$$s(q,p)=\begin{cases}0,\ if\ \ w_i(p)=w_i(q)=0\\ w_i(q),\ if\ \ w_i(p)\neq 0, w_i(q)=0, q\in P,\\ 1-\sum_{i=1}^{N_w}\dfrac{|w_i(q)-w_i(p)|}{w_i(p)},\end{cases} \tag{3.1}$$

де, N_w - це зважені значення цільових функцій. Кожна *i*-а цільова функція в *q*-му прецеденті має вагу $w_i\ (q)$, а нова постановка задачі *p* має вагу $w_i\ (p)$ для кожної цільової функції.

Відбір прецеденту зводять до пошуку в БЗ, схожого на поставлені у минулому завданні, що показали позитивні результати [51].

Подання різниці між розрахунковими значеннями цільових функцій та фактичними значеннями цільових функцій обчислюють із застосуванням функції постійної еластичності заміщення через її легку гнучкість до визначення відносин між величинами, використовуваних в розрахунку: сума різниці між розрахунковими цілями нових завдань і збережених прецедентів (фактичними цілями) у кожному конкретному випадку.

$$u(q)=(\sum_{i=1}^{N_0}(|f_i(q)-f_i(m)|)^{-p})^{-1/p}\ \ q\in P, \tag{3.2}$$

де, N_0 - певні цільові функції, $f_i\ (q)$ - розрахункове значення і-ї цільової функції для *q*-го прецеденту, $f_i\ (m)$ - це нове значення і-ї цільової функції. Величина ρ = (1 - σ) / σ, де σ - еластичність заміщення між елементами системи.

Абсолютну величину використовують в даному розрахунку в якості «покарання» (тобто сигнал має триматися у встановлених нормативних межах) як в кращому, так і в гіршому випадках функціонування.

Адаптацію рішення обчислють за формулою:

$$U\ (a) = s\ (p,\ q)\ (r),\ \text{де}\ (q,\ a,\ r) \in M. \tag{3.3}$$

Таблиця 3.1 – Приклад даних в БЗ

Постановка задачі	Радіо-середовище	Список параметрів сигналу передавання
	Радіо-платформа	Робочий діапазон протоколу/ модему/радіочастоти
Рішення	Характеристика сигналу	Налаштування сигналу
	Характеристика радіо	Налаштування протоколу/ модему/радіочастоти
Метрика	Подібність	Кореляція задачі-проблеми
	Корисність	Параметри робочих характеристик
	Точність	Розбіжність значень

Ступінь подібності (точність), між заданим прецедентом в БЗ і новим прецедентом для всіх метрик, $m = 1,..., n$ визначають як Евклідова відстань:

$$s = \sqrt{(u_1 - u_{1new})^2 + (u_2 - u_{2new})^2 + ... + (u_n - u_{n\,new})^2} \quad . \tag{3.4}$$

Найближчий прецедент між новим прецедентом X_{new} і прецедентами БЗ X_r, з n-ими прецедентами знаходять за формулою:

$$\left\| X_r - X_{new} \right\| = \min_{i=1,2,...,n} \left\| X_i - X_{new} \right\|. \tag{3.5}$$

Для усунення (або часового «знищення») не використаних прецедентів, запропоновано метод часового «забування». Його реалізовано як диспетчеризацію з дисципліною обслуговування *FIFO* (First Input First Output). Кожен новий прецедент стає в кінець черги, а найстаріший прецедент знищують. Саме цей принцип може бути застосовано для когнітивної радіосистеми [51].

На рисунку 3.6 наведена блок-схема генетичного алгоритму.

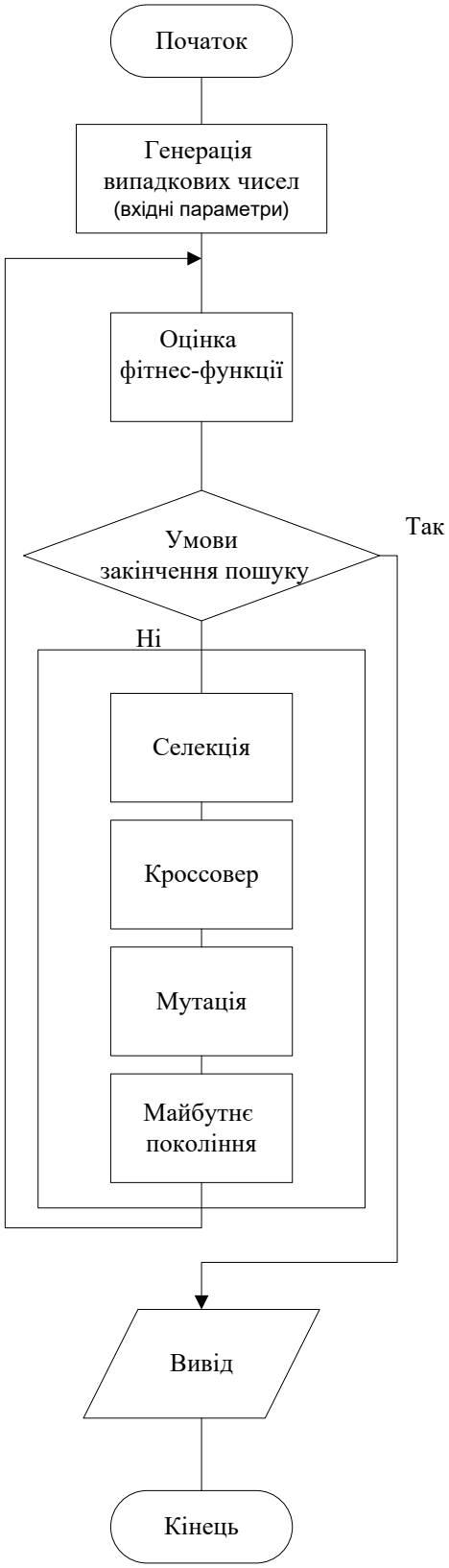

Рисунок 3.6 – Блок-схема генетичного алгоритму

Завдання прийняття рішення має бути спрямоване на визначення оптимального способу дій для досягнення поставлених цілей. Для вирішення такого завдання, запропоновано використовувати генетичний алгоритм для

безпроводової системи Wireless System Genetic Algorithm (WSGA).[44] Алгоритм WSGA (рис. 3.6) дає змогу моделювати систему неначе біологічний організм, і застосовують для оптимізації робочих характеристик, з використанням генетичних та еволюційних процесів. Для цього, гени хромосоми інтерпретують як набір параметрів безпроводової системи [51].

Структуру хромосоми (рис. 3.7) для WSGA відрізняють від більшості традиційних структур GA через змінне число бітів, необхідних для представлення будь-якого гена. Велика частина WSGA використовує один тип даних або кількість бітів на ген. Основним результатом цієї структури є незалежність WSGA від радіосистеми, яку оптимізують. Початкову популяція хромосом генерують випадковим чином для формування можливого розв'язку оптимізаційної задачі [51].

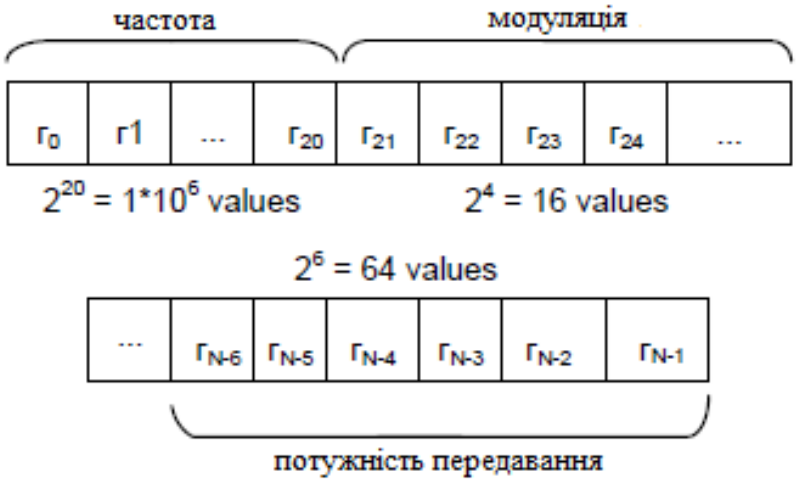

Рисунок 3.7 – Змінне зображення біта хромосом

Оцінка кожної хромосоми, що бере участь в генетичних процесах визначають, як функцію пристосованості. Отриману оцінку використовують для виключення або додавання хромосом у наступне покоління. Далі, WSGA алгоритм виконує функцію відбору, кросовер і мутації. У багатьох задачах оптимізації, коли не існує глобальних критеріїв (мети) для параметрів, часто цілі агрегують у скалярній (узагальненій) функції.

Формування функцій радіо-платформи для методів когнітивної радіосистеми вимагає визначення конкретного переліку параметрів

радіопередавання, параметрів радіосередовища та цільових функцій, які є вхідними даними для функцію пристосованості [51].

Таблиця 3.2 – Приклад вхідних параметрів радіосистеми

Параметри радіо передавання		Параметри радіосередовища	
Найменування	Символ	Найменування	Символ
Потужність передавання	P	Втрати в тракті передавання	PL
Тип модуляції	M	Рівень шуму	P_n
Індекс модуляції	m	Термін служби батареї	B_i
Ширина смуги пропускання	B	Споживча потужність	P_c
Частота канального кодування	R_{cc}	Інформація про спектр	I_s
Розмір кадру	L		
Дуплексний розподіл часу	TDD		
Символьна швидкість	R_s		

Тоді рішення x багатоцільової функції пристосованості набору параметрів може бути визначено за такою зваженою сумою для N цілей:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N} w_i f_i(x) \tag{3.6}$$

Де ваги, w_i,..., w_n відповідають таким обмеженням:

$$1 \geq w_i \geq 0 \text{ для всіх } i = 1, 2, ..., m;\ w_1 + w_2 + ... + w_n = 1 \quad . \tag{3.7}$$

У системах безпроводового зв'язку є тисячі функцій, які можливо визначити. У табл. 3.3 наведено приклад функцій радіосистеми і відповідні їм вхідні параметри. Наведемо на прикладі параметра BER принципи цих функцій:

- параметр BER визначають відношенням енергії на біт до спектральної щільності рівні шуму (N_0), де енергія на біт буде:

$$E_b = \frac{S}{R_s \cdot m} (W/b), \tag{3.8}$$

– сумарний рівень шуму спектральної щільності представляє собою шум на герц та розраховують системою рівнянь Больцмана:

$$\begin{aligned} N_0 &= k_b \cdot T \\ N &= N_0 \cdot B \rightarrow \\ N &= k_b \cdot T \cdot B \end{aligned}, \tag{3.9}$$

де, k_b – стала Больцмана, T – температура, N – сумарний рівень шуму.

Тоді, $\frac{E_b}{N_0} = \gamma = 10\log_{10}\left[\frac{S}{R_s \cdot m \cdot N_0}\right] = 10\log_{10}\left[\frac{S \cdot B}{R_s \cdot m \cdot N}\right]$.

Такі рівняння визначають BER (Bit Error Rate) для PSK (Phase-Shift Keying), BPSK (Binary Phase Shift-Keying), DBPSK (Differential Binary Phase Shift-Keying) каналом з адаптивним білим шумом:

– PSK, $P_{be} = \frac{2}{\log_2(m)} Q(\sqrt{2\log_2(m) \cdot \gamma} \cdot \sin\frac{\pi}{m})$; (3.10)

– BPSK, $P_{be} = Q(\sqrt{\gamma})$; (3.11)

– DBPSK, $P_{be} = \exp(-\gamma)$. (3.12)

Таблиця 3.3 – Цільові функції когнітивної радіосистеми

Найменування цільової функції	Символ	Вхідні параметри
Мінімізація частоти помилкових бітів	min_BER	SE, P_C, PL, N, I
Максималізація смуги пропускання	max_P_T	BER, PL, R_C, TDD
Мінімізація спожитої енергії	min_P_C	P_T, SE
Мінімізація інтерференції	min_I_S	P_T, B, TDD
Максималізація спектральної ефективності	max_SE	M, R_S, B

Метою є перетворення функції пристосованості так, щоб отримати результат у діапазоні від 0 до 1. Для цього використовуємо можливо найгірше і найкраще значення 0.5 і 10^{-6} відповідно, нормалізуємо BER:

$$f_{\min_ber} = 1 - \frac{\log_{10} 0.5 - \log_{10} P_{be}}{\log_{10} 0.5 - \log_{10} 10^{-6}}\ , \tag{3.13}$$

де, P_{be} - ймовірність виникнення помилки за бітом BER для даної модуляції і даного типу каналу. Для отримання узагальненого критерію зважена сума виходить шляхом об'єднання і множенням на вагові коефіцієнти w_i. Скалярне значення критерію для заданого набору параметрів визначають такою формулою [51]:

$$f = w_1 \cdot (f_{min_ber}) + w_2 \cdot (f_{max_Pr}) + w_3 \cdot (f_{min_Pc}) + w_4 \cdot (f_{min_Is}) + + w_5 \cdot (f_{max_SE}) \quad (3.14)$$

де, w_1, w_2, w_3, w_4, i w_5 - вагові коефіцієнти, що визначають відносну важливість цільових функцій. Аналогічно обчислюють і нормують всі інші функції.

Висновки до розділу

1. З метою структурно-логічного опису принципів функціонування системи когнітивного радіо використано поняття циклів дослідження, а саме модель OODA (Observe - спостереження, Orient - орієнтування, Decision - вирішення, Action - виконання).

2. Запропоновано для розв’язку задачі багатокритеріальної оптимізації використовувати генетичний алгоритм, що дає змогу генерувати оптимальне рішення, враховуючи набір вхідних параметрів і вимоги якості обслуговування особи, яка приймає рішення.

3. Алгоритми динамічного управління спектром досить складні технічно, і їх можна застосовувати тільки в так званих інтелектуальних радіосистемах. Є здатність отримувати і аналізувати інформацію з навколишнього радіо простору, передбачати зміни каналу зв'язку і оптимальним чином налаштовувати внутрішні параметри стану, адаптуючись до змін радіосередовища.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОГНІТИВНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ

4.1 Вхідні дані для реалізації когнітивної радіомережі

Удосконалення топології когнітивних радіомереж генетичним алгоритмом.

Отже, опишемо розроблену модель. Необхідно змоделювати когнітивну радіосистему, в склад якої входить тисяча випадкових користувачів, розміщених в радіусі 1 км.

Максимальну потужність пристроїв приймемо 2 дБм, чутливість приймемо 120 дБм. Частоту обрано 800 МГц, для моделювання окремих радіоліній використовуємо модель Окумура Хати.

Обрали середовище для розробки MATLAB.

Сучасна комп'ютерна математика пропонує набір інтегрованих програмних систем і пакетів програм для автоматизації математичних розрахунків: MATLAB, Eureka, Gauss, TK Solver !, Derive, Mathcad, Mathematica, Maple V і ін. Серед них, MATLAB займає одне з лідируючих місць.

MATLAB - одна з найстаріших, ретельно опрацьованих і перевірених часом систем автоматизації математичних розрахунків, побудована на розширеному поданні та застосуванні матричних операцій [45,46].

MATLAB являє собою основу всього сімейства продуктів MathWorks і є головним інструментом для вирішення широкого спектра наукових і прикладних задач, в таких областях як:

1) Математичні розрахунки;

2) Розробка алгоритмів;

3) Моделювання;

4) Аналіз даних і візуалізація;

5) Наукова та інженерна графіка;

6) Розробка додатків, включаючи графічний інтерфейс користувача.

Основу територіального планування становить енергетичний розрахунок, в процесі якого визначається архітектура мережі і її просторові координати з урахуванням якості обслуговування і інформаційного навантаження. Задана якість прийнятого сигналу визначається чутливістю приймача. У загальному вигляді рівняння передавання може виглядати так[47]:

$$P_{ПРС} = \frac{P_{ПРД}\eta_{ФПРД}G_{АПРД}\xi_{П}G_{АПРС}\eta_{ФПРС}\xi_{С}}{V_{\Sigma}}, \qquad (4.1)$$

де $P_{ПРС}$ - потужність радіосигналу на вході приймача;

$P_{ПРД}$ - потужність передавача;

$\eta_{ФПРД}$, $\eta ф_{ПРС}$ - ККД передавального і приймального фідерів;

$G_{АПРД}$, $G_{АПРС}$ - коефіцієнти посилення передавальної і приймальні антен;

$\xi_{П}$, $\xi_{С}$ - коефіцієнти узгодження антен за поляризацією;

V_{Σ} - сумарне загасання радіохвиль на трасі.

Значення потужності радіосигналу на вході приймача зручно висловлювати в децибелах. Рівняння (4.1) приймає вигляд

$$\begin{aligned} P_{ПРС}(дБ/Вт) = P_{ПРД}(дБ/Вт) + \eta_{ФПРД}(дБ) + G_{АПРД}(дБ) + \xi_{П}(дБ) + \\ + G_{АПРС}(дБ) + \eta_{ФПРС}(дБ) + \xi_{С}(дБ) - V_{\Sigma}(дБ) \end{aligned}. \qquad (4.2)$$

У разі, якщо на трасі поширення радіохвиль відсутні об'єкти, які поглинають або відбивають радіохвилі, тобто для вільного простору, потужність радіосигналу на вході приймача, потужність передавача і відстань R між кореспондентами пов'язані формулою

$$P_{ПРС} = P_{ПРД}G_{АПРД}G_{АПРС}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^{2}. \qquad (4.3)$$

Однак, наявність різних нерівностей землі і завад на шляху поширення сигналу роблять розрахунок втрат в процесі поширення набагато складніше. На поширення радіохвиль істотно впливає стан антени. Крім цього, прийнято

визначати типи поверхні землі відповідно до класифікації, так як величина загасання сигналу змінюється в залежності від виду об'єктів, що знаходяться на шляху поширення радіохвиль [48].

При цьому, ділянки з дуже малим числом завад, таких як дерева або будови прийнято вважати відкритою місцевістю. Ділянки з одноповерховими будинками, невеликими будівлями, паркові зони прийнято вважати приміською зоною. Ділянки, щільно забудовані багатоповерховими будинками і висотними будівлями, прийнято вважати міськими районами.

Очевидно, що рівень сигналу помітно флуктує через зміну висоти будинків, ширини вулиць, характеру місцевості, тому існує досить велика кількість статистичних моделей передбачення втрат в процесі поширення сигналів для різних типів місцевості. В роботі використана модель втрат Окумура і Хата, яка наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Модель Окумура і Хата

Тип місцевості	Значення
Сільська (відкрита) місцевість	$V_{\text{відкрита}} = V_{\text{міська}} - 4{,}78(lg\int_C)^2 + 18{,}33lg\int_C - 40{,}49, \text{дБ}$
Приміські зони	$V_{\text{приміська}} = V_{\text{міська}} - 2(lg\int_C * 128)^2 - 5{,}4, \text{дБ}$
Міські райони	$V_{\text{міська}} = 69{,}55 - 6{,}16lg\int_C + 13{,}82lgh_{\text{БС}} + a(h_{\text{МС}}) - (44{,}9 - 6{,}55lgh_{\text{БС}})lgR^b, \text{дБ},$ где $a(h_{\text{МС}}) = \left(1{,}1\ lg\int_C - 0{,}7\right)h_{\text{МС}} - \left(1{,}56\ lg\int_C - 0{,}8\right);$ $\text{b} = 1$ для $\text{R} \leq 20$км $b = 1 + \left(0{,}14 + 1{,}87 * 10^{-4}\int_C + 1{,}07 * 10^{-3}h_{\text{БС}}\right)\left({}^{lgR}/_{20}\right)^{0{,}8}$ для 20 км $< R \leq 100$ км

$V_{\text{відкрита}}$ - втрати поширення для відкритої місцевості, дБ;

$V_{\text{приміська}}$ - втрати поширення для рівної місцевості, дБ;

$V_{\text{міська}}$ - втрати поширення для міської місцевості, дБ;

R - відстань між МС і БС, км;

f_c - частота зв'язку, МГц;

$h_{МС,}\, h_{БС,}$ - ефективна висота антен МС і БС.

Реалізуємо модель Окумура-Хата у середовищі MATLAB.

```
% Okumura/Hata Model 3
clc;
close all;
clear all;
d = 1:0.01:20;
hm = 5;
hb1 = 30;
hb2 = 100;
hb3 = 200;
fc = 1000;
% a. For Large Cities
% fc  >= 400MHz
ahm = 3.2*(log10(11.75*hm)).^2 - 4.97;
% A. Typical Urban
L50urban1 = 69.55 + 26.16*log10(fc) + (44.9 - 6.55*log10(hb1))*log10(d) - 13.82*log10(hb1) - ahm;
L50urban2 = 69.55 + 26.16*log10(fc) + (44.9 - 6.55*log10(hb2))*log10(d) - 13.82*log10(hb2) - ahm;
L50urban3 = 69.55 + 26.16*log10(fc) + (44.9 - 6.55*log10(hb3))*log10(d) - 13.82*log10(hb3) - ahm;
% B. Typical Suburban

L50suburban1 = L50urban1 - 2*(log10(fc/28)).^2 - 5.4;
L50suburban2 = L50urban2 - 2*(log10(fc/28)).^2 - 5.4;
```

```
L50suburban3 = L50urban3 - 2*(log10(fc/28)).^2 - 5.4;
% C. Typical Rural
L50rural1 = L50urban1 - 4.78*(log10(fc)).^2 + 18.33*log10(fc) - 40.94;
L50rural2 = L50urban2 - 4.78*(log10(fc)).^2 + 18.33*log10(fc) - 40.94;
L50rural3 = L50urban3 - 4.78*(log10(fc)).^2 + 18.33*log10(fc) - 40.94;
figure(1);
plot(d, L50urban1, 'r', d, L50urban2, '--r', d, L50urban3,':r');
hold on;
plot(d, L50suburban1, 'b', d, L50suburban2, '--b', d, L50suburban3, ':b');
hold on;
plot(d, L50rural1, 'g', d, L50rural2, '--g', d, L50rural3, ':g');
hold on;
legend('large urban hb=30', 'large urban hb=100', 'large urban hb=200', 'suburban hb=30', 'suburban hb=100', 'suburban hb=200', 'rural hb=30', 'rural hb=100','rural hb=200');
grid on;
xlabel('d [km]');
ylabel('L [dB]');
title('Hata Model for different base station ant. ht. in different environments');
```

Отриманий графік наведений на рисунку 4.1.

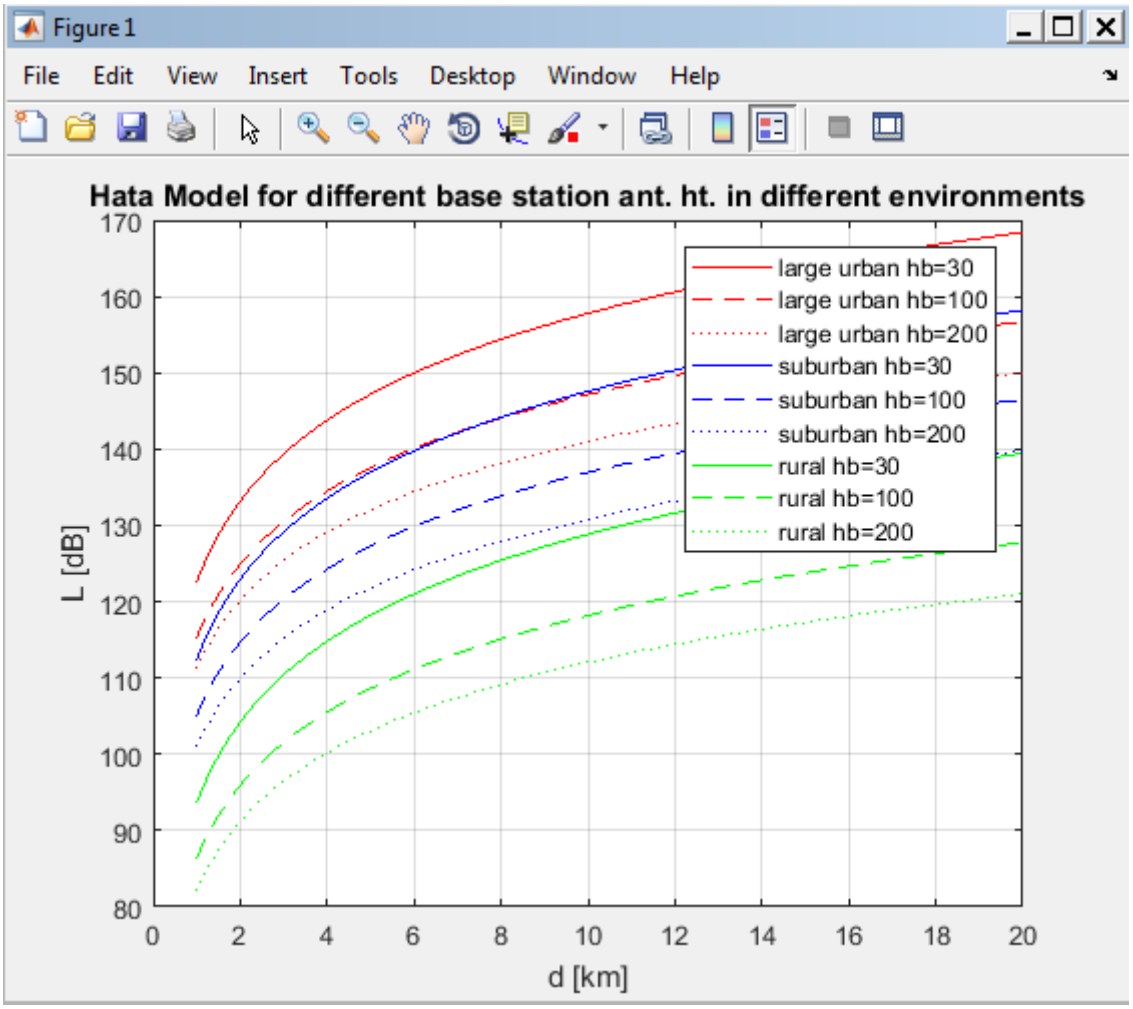

Рисунок 4.1 – Модель Окумура-Хата

В результаті отримали наочний графік залежності для різного типу місцевості. За даним графіком в залежності від висоти антени і типу місцевості можна знайти невідому чутливість чи навпаки.

4.2 Етапи моделювання когнітивної радіомережі

Отже, першим етапом моделювання в середовищі MATLABє задання деякої кількості випадкових користувачів когнітивної радіосистеми. Як вже зазначалося, покладемо N=1000. Радіус кола, в якому виконали дослідження – 1 км (1000 м).

Безпосередньо перейдемо до етапів використання генетичного алгоритму.

Кроки генетичного алгоритму і безпосередньо опції генетичного алгоритму для середовища MATLAB приведені нижче.

Формування - Рівномірний, імовірнісний [49].

Цільова функція - Пропорційний, верхній (усічення), лінійний зсув;

Селекція - Рулетка, стохастичний рівномірний вибір, турнір, залишок; Схрещування - Арифметичний, евристичний, проміжний, розкид, за однією точкою, за двох точок;

Мутація - Адаптивний, гауссовий, рівномірний.

Графіка - Оптимальне значення цільової функції, кращі індивідууми, відстань між індивідуумами, максимальне обмеження, діапазон, обраний індекс, умови зупинки.

Global Optimization Toolbox дає змогу встановлювати:

- розмір популяції;
- кількість елітних нащадків;
- міграцію серед субпопуляції (використовуючи кільцеву топологію);
- лінійні, нелінійні і обмеження на змінні.

Можна налаштувати ці параметри, забезпечуючи призначені для користувача функції і задаючи змінні в різних форматах даних, наприклад, визначивши цілі, змішані числа, категоріальні або комплексні.

Управління часом роботи алгоритму, обмеження на цільову функцію або кількість поколінь відбувається за критеріями зупинки. Можливість векторизації функції пристосованості дає змогу підвищити швидкість роботи алгоритму. Друга можливість збільшити швидкість роботи - виконати алгоритм в паралельному режимі (Parallel Computing Toolbox).

Багатоцільова оптимізація пов'язана з мінімізацією декількох цільових функцій, які мають набір обмежень. Вирішувач багатоцільового генетичного алгоритму використовується для вирішення задач багатокритеріальної оптимізації шляхом ідентифікації кордону Парето - безлічі рівномірно розподілених недомінуючих оптимальних рішень.

Можна використовувати цей вирішувач для задач гладкою або нерівною оптимізації. Багатоцільовий генетичний алгоритм не вимагає диференційованої або безперервності функції.

Отже, задана кількість користувачів приведена на рисунку 4.2.

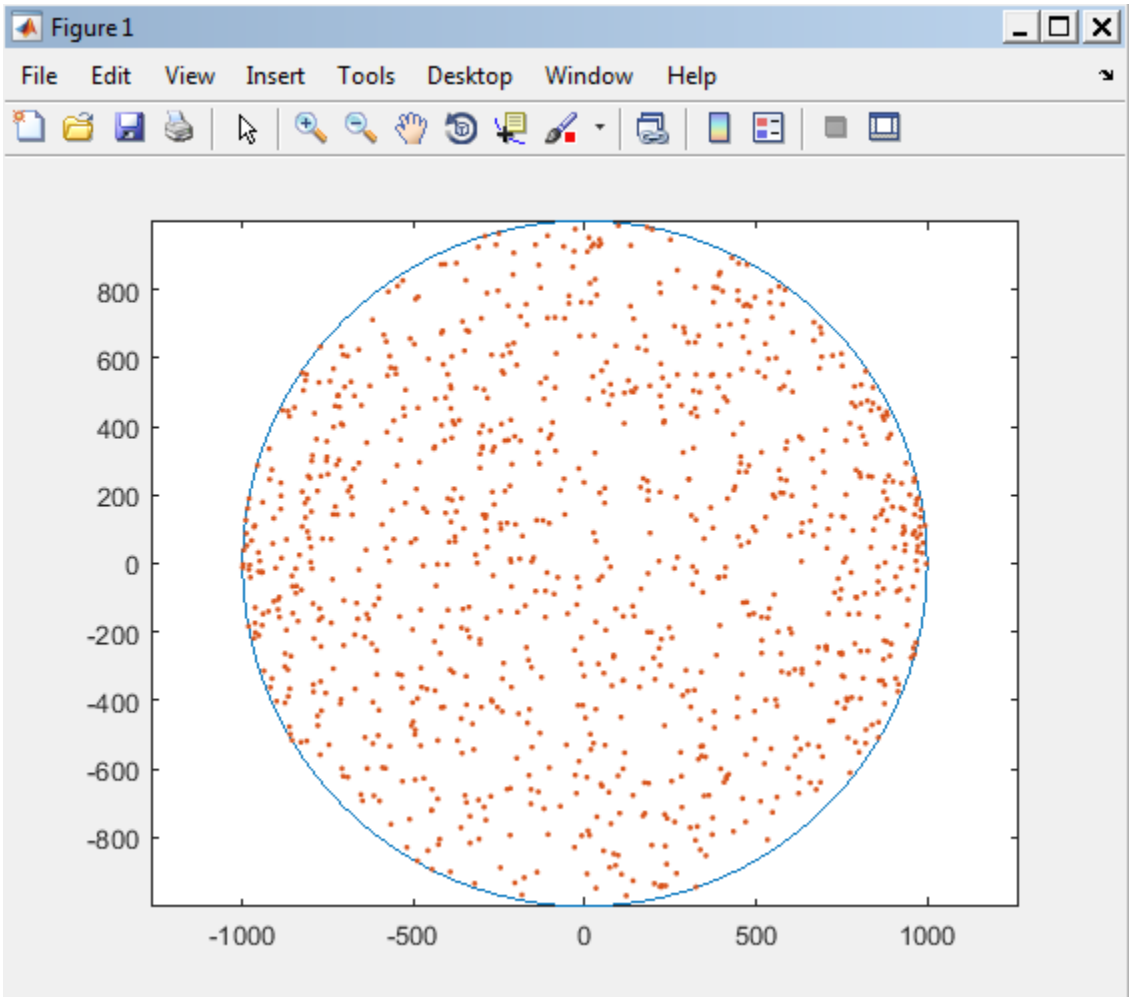

Рисунок 4.2 – Задана кількість користувачів (N=1000)

4.3 Аналіз практичних результатів реалізації когнітивної радіомережі

Далі виконуємо наступне: з використанням генетичного алгоритму необхідно реалізувати найкращу конфігурацію користувачів за критерієм «мінімум енергії».

Вікно оптимізації генетичним алгоритмом показане на рисунку 4.3.

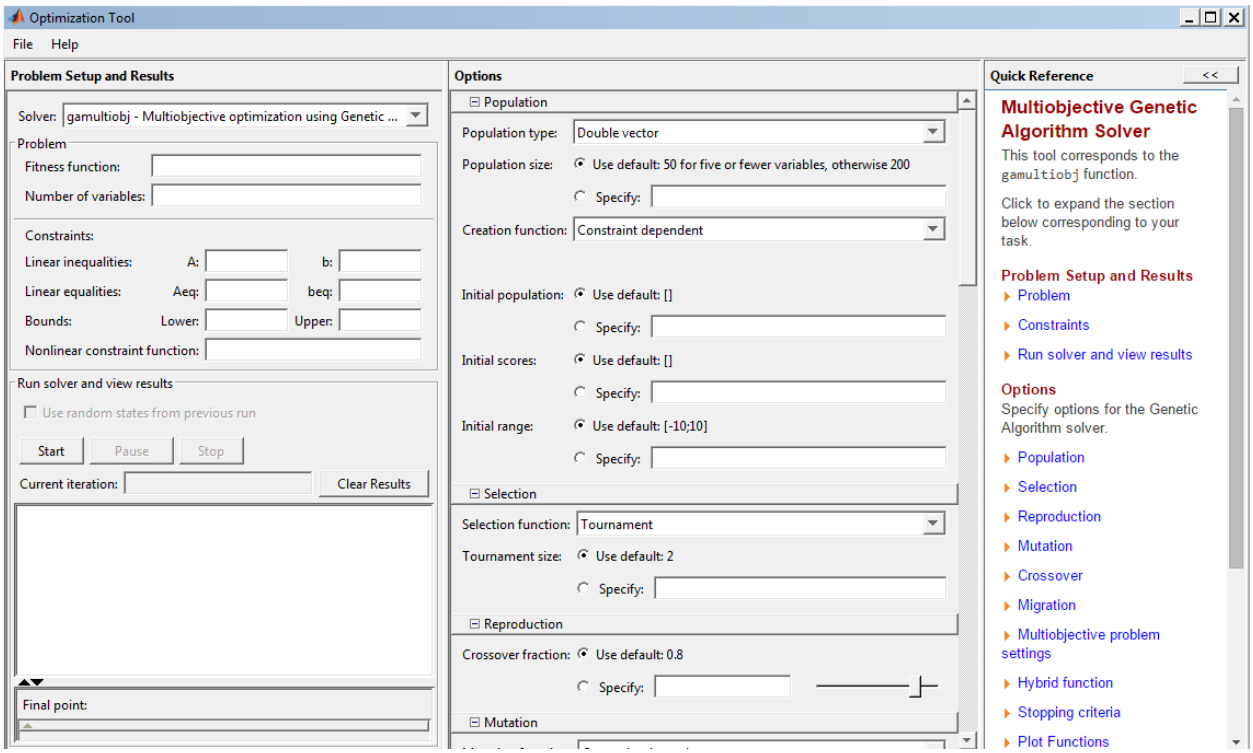

Рисунок 4.3 – Вікно оптимізації генетичного алгоритму

Результати роботи програми за критерієм «мінімум енергії» наведений на рисунку 4.4.

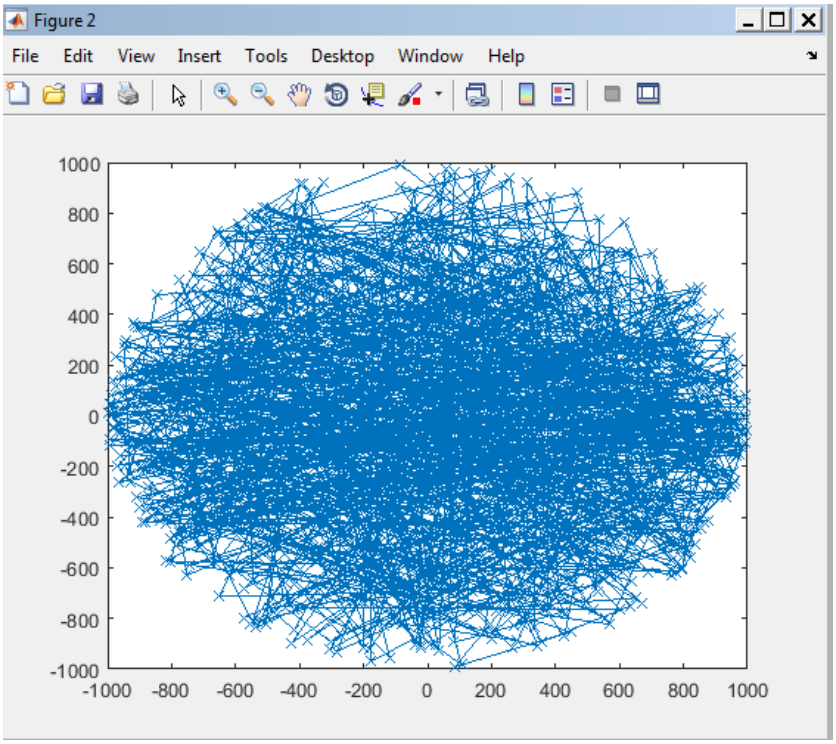

Рисунок 4.4 – Результати роботи програми за критерієм «мінімум енергії»

Таким чином, з завданням цільової функції, всі користувачі когнітивної радіосистеми, обрані випадковим чином, з’єднані між собою відрізками.

Саме отримані результати показують, що з використанням генетичного алгоритму ми знайшли найкращу конфігурацію користувачів в когнітивній радіосистемі.

Всі результати моделювання зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати моделювання

Алгоритм / Характеристика	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Кількість ітерацій	102	161	192
Точність	$160 \cdot 10^{-4}$	$180 \cdot 10^{-4}$	$410 \cdot 10^{-4}$
Кількість користувачів	1000	1000	1000
Радіус системи, м	1000	2000	3000

Висновки до розділу

1. В нашому випадку отримані результати свідчать про таке: чим більший радіус когнітивної радіосистеми за сталої кількості користувачів, тим більша кількість ітерацій необхідна для оптимізації когнітивної радіосистеми за критерієм «мінімум енергії».

2. Чим більший радіус, тим менша точність. Проте точність виконаних експериментів всюди висока, що свідчить на те, що генетичний алгоритм можна використовувати як алгоритм для вдосконалення топології когнітивних радіомереж.

3. Для досягнення ще більшої точності потрібно в подальшому вивчати залежності точності від кількості користувачів або від радіусу когнітивної радіосистеми.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Можливості проекту

Розробка стартап-проекту заснована на побудові когнітивної радіосистемі в м.Київ (радіус когнітивної радіосистеми – 1000 м, кількість користувачів – 1000).

Проаналізовано та подано у вигляді таблиць [50]:

– зміст ідеї;

– можливі напрямки застосування;

– основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);

– чим відрізняють від існуючих аналогів та замінників.

В таблиці 5.1 наведений опис ідеї стартап-проекту

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги
Побудова когнітивної радіомережі на 1000 користувачів з радіусом 1000 м	1. Використання технології когнітивного радіо	Ефективність
	2. Реконфігурація з'єднань між терміналами та декількома радіосистемами	Гнучкість
	3. Широкі можливості	Можливість застосування

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів передбачає:

– визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;

– визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проведення збору інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів.

В даний момент конкурентів в м.Київ немає.

5.2 Технологічний аудит

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, з якою можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.2):

– за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту;

– чи існують такі технології чи їх потрібно розробити/допрацювати;

– чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Побудова когнітивної радіомережі	Програмні засоби для планування мережі	Наявні	Доступно
		Спеціальне програмне забезпечення та устаткування	Потребує розробки	Частково доступно

5.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть завадити реалізації проекту, дає змогу спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів- конкурентів. Спочатку проводять аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	2
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	8000000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6.	Середня норма рентабельності в галузі або за ринком,%	100%

Середня норма рентабельності в галузі (або за ринком) порівнюють із банківським відсотком на вкладення. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Надалі визначають потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формують орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.4).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведений аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому заважають.

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Забезпечення ефективності і високого рівня сигналу	Різного роду телекомунікацій ні підприємства	Поведінку клієнта формують потреби; особливостей купівлі та експлуатації товару немає	Високий рівень сигналу та висока ефективність

Таблиця 5.5– Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Наявність кваліфікованих кадрів	Потрібні люди з високим досвідом роботи в розробці когнітивних радіосистем	Пошук кваліфікованого персоналу
2.	Потреба в ресурсах	Необхідні високі умови для технічної реалізації	Укладання договорів з комерційними

Таблиця 5.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Олігополія	На ринку присутня невелика кількість фірм, які будують телекомунікаційні мережі	Підвищувати якість товару за рахунок використання передових технологій

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Місцезнаходження фірм не обмежується територіально; офіси розміщено у різних містах	Створювати веб-сайт компанії
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Економічна боротьба між різними товаровиробниками, які діють в одній галузі економіки, виробляють і реалізують однакові товари та технології, що задовольняють одну й ту саму потребу.	Слідкувати за новітніми технологіями, та розробками конкурентів

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 5.7, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару визначено та обґрунтовано перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено у вигляді таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	Необхідно надати високоефективну систему
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	Швидкодія та стабільність
3	Наявність наукових ресурсів	Необхідна наявність наукових кадрів з високим досвідом роботи
4	Економічний	Середня ціна продукту

Надалі проведений аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8)

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводять аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ступінь задоволення потреб користувача	20							+
2.	Якість розробки з точки зору оптимальності показників надійності	20							+
3.	Наявність наукових ресурсів	20							+
4.	Економічний	20							+

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Інтернет провайдери	Готові	Високий	Низька	Середня
2.	Мобільні оператори	Готові	Високий	Середня	Середня

Для роботи в обраних сегментах ринку сформовано базову стратегію розвитку (таблиця 5.10).

Таблиця 5.10 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	За рахунок великих можливостей по об’ємах збуту товарів	Витрати на виробництво	Стратегія лідерства на витратах
2.	Надання товару важливих з точки зору споживача відмітних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів.	Формування попиту якісним покриттям та швидкістю доступу до мережі	Стратегія диференціації

В результаті аналізу обираємо стратегію диференціації. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (таблиця 5.11).

Таблиця 5.11 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Так	Так	Ні	Стратегія лідер

Визначаємо стратегію позиціювання (таблиця 5.12)

Таблиця 5.12 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Технологія когнітивних радіосистем має забечувати ефективне функціонування	Диференціації	Середня ціна, висока якість, доступність	Наукоємність, співпраця, ефективність

5.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару наведене в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує технологія	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити
1.	Перехід до мереж 5-го покоління (5G)	Використання технології когнітивного радіо	Підвищення ефективності

Надалі розроблять трирівневу маркетингову модель товару: уточнюють ідею продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 5.14).

Таблиця 5.14 – Опис трьох рівнів моделі товару

<table>
<tr><td>Рівні товару</td><td colspan="2">Сутність та складові</td></tr>
<tr><td>I. Товар за задумом</td><td colspan="2">Когнітивна радіомережа в м.Київ</td></tr>
<tr><td rowspan="5">II. Товар у реальному виконанні</td><td>Властивості/характеристики</td><td>+/-</td></tr>
<tr><td>1. Низька ціна у порівнянні з конкурентами
2. Висока надійність
3. Ефективність</td><td>+
+
+</td></tr>
<tr><td colspan="2">Якість: стабільна робота та надійне покриття</td></tr>
<tr><td colspan="2">Пакування: -</td></tr>
<tr><td colspan="2">Марка: «Софткогнітив»</td></tr>
<tr><td rowspan="2">III. Товар із підкріпленням</td><td colspan="2">До продажу гарантія</td></tr>
<tr><td colspan="2">Після продажу обслуговування, налаштування.</td></tr>
<tr><td colspan="3">За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності</td></tr>
</table>

Захист розробленого продукту буде регламентуватися як захист інтелектуальної власності товару.

Визначення меж встановлення ціни показане у вигляді таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	–	15млн…35млн дол	120млн дол. і вище	3,0млн – 3,8млн дол..

Так як налаштування обладнання у кінцевого користувача потребує певних професійних навиків від персоналу і обладнання налаштовують під кожного клієнта індивідуально, то збут доцільно проводити власними силами без застосування посередників [50].

Висновки до розділу

1. Розроблено стартап-проект щодо побудови когнітивної радіомережі в м.Київ. Напрямками застосування проекту є використання технології когнітивного радіо, ефективність, швидкодія.

2. Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів. Визначено, що технологія когнітивного радіо переважає найближчих конкурентів в економічних та технологічних характеристиках.

4. Досліджено ринкові загрози та ринкові можливості, які складають на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Розроблено ринкову стратегію проекту та маркетингову програму стартап-проекту.

В результаті аналізу визначено, що верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу - 84 млн – 106,4 млн грн.

ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз використання радіочастотного спектру, встановлено, що більшу частину спектра використовують неефективно. Наприклад, смуги для рухомого зв'язку перевантажені, а смуги для приймання радіопередач - немає. Тобто використання спектра залежить від місця і часу, крім цього, ліцензійні смуги частот не можуть використовувати не ліцензовані користувачі. Використання спектра, наприклад, безпроводовими технологіями, пристроями малого радіусу дії дозволено за умови, що вони не створюють завади і не вимагають захисту від пристроїв, що працюють на первинній основі.

2. Досліджено характерні особливості когнітивних радіомереж. Встановлено, що когнітивна радіомережа здатна аналізувати навколишнє оточення і пристосовуватися до неї шляхом навчання, реагуючи на зміни в оточенні зміною своїх власних параметрів (наприклад, носійної частоти, потужності, способу модуляції тощо) в реальному часі з метою збільшення ефективності використання спектрального ресурсу.

3. Визначено тенденції розвитку систем управління телекомунікаційними мережами. Зокрема, характерною особливістю сучасного суспільства є постійне збільшення кількості інформації, якою змушена оперувати людина. Тому когнітивні технології матимуть значний вплив на розвиток телекомунікацій, оскільки когнітивне радіо дає змогу збільшити ефективність використання спектра за рахунок передавання на незайнятих в даний момент частотах.

4. За результатами дослідження методів удосконалення топології когнітивних радіомереж запропоновано для розв’язку задачі багатокритеріальної оптимізації використовувати генетичний алгоритм, що дає змогу генерувати оптимальне рішення, враховуючи набір вхідних параметрів і вимоги якості обслуговування особи, яка приймає рішення.

5. Виконано моделювання когнітивної радіомережі. Отримані результати свідчать про те, що чим більший радіус когнітивної радіосистеми за сталої кількості користувачів, тим більша кількість ітерацій необхідна для оптимізації когнітивної радіосистеми за критерієм «мінімум енергії». Чим більший радіус, тим менша точність. Проте точність виконаних експериментів всюди висока, що свідчить про те, що генетичний алгоритм можна використовувати як алгоритм для вдосконалення топології когнітивних радіомереж. Для досягнення ще більшої точності потрібно в подальшому вивчати залежності точності від кількості користувачів або від радіусу когнітивної радіосистеми.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Китчер Э. Развитие беспроводных телекоммуникационных систем на основе технологии когнитивного радио // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии «ФРЭМЭ’2012»: Материалы 10-й международной научно-технической конференции. – г. Владимир - Суздаль. 2013. – С. 213 – 216.

2. H.V. Kharchenko. Two-Criterial DSSS Synchronization Method Efficiency Research / H.V. Kharchenko, I.O.Tkalich, Y.I.Vdovychenko // Proceedings of 7-th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTS’09). - 1Kharkov-Moscow: KNURE, 2008.– p.165 – 174.

3. Д.В. Авдонин, А.Г. Рындык (НГТУ, г. Нижний Новгород). Интеллектуальные радиосистемы: когнитивное радио. – ВС/NW №1 (8): 6.1, 2006 г.

4. Комашинский В. И. Когнитивные системы и телекоммуникационные сети / В. И. Комашинский, Н. А. Соколов // Вестник связи. 2011. № 10. С. 4–8.

5. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью.//В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, Н.П. Мухин, Г.С. Нахмансон; Под ред. В.И. Борисова.– М.: Радиоисвязь, 2003. – 640 с.

6. Gonzalez, Rafael C; Woods, Richard E. Digital Image Processing, 2nd ed. – published by Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall., 2002. – 793 p.

7. Романюк В.А. Еволюція тактичних радіомереж: Тези доповідей та виступів учасників VI науково-практичного семінару [„Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”], (Київ, 20 жовтня 2011р.) / Романюк В.А. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2011. – С. 45 – 52.

8. J. Mitola III. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio. – Doctor of Technology Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden, May 2000.

9. Cognitive Networks / Ryan W. Thomas [et al.] // First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. P. 352–360. DOI: 10.1109/DYSPAN.2005.1542652

10. Китчер Э. Генетический алгоритм для задач многокритериальной оптимизации // Дни науки студентов и аспирантов ВлГУ 2012. Материалы вычислительной техники. г. Владимир. 2012. – Режим доступа http://sntk.vlsu.ru/index.php/sektsii-dokladov/.

11. Харченко Е.В. Рассеяние радиосигнала на метеорном следе. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія "Радіофізика та електроніка". №966, випуск 18, 2011. с. 90 – 96.

12. J. MitolaIIIandG. Q. Maguire, Jr. Cognitive radio: making software radios more personal – IEEE Wireless Communications, Vol. 6, No. 4, pp. 13-18, 1999.

13. Ryan W. Thomas Cognitive Networks / PhD thesis // Virginia Polytechnic Institute and State University. 2007. Blacksburg, Virginia.

14. Кирій О.О. Когнітивне радіо як засіб забезпечення ЕМС Міжвузівська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Сучасний стан та тенденції розвитку телекомунікацій " – 2014.

15. Пілінський В.В. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів. Курс лекцій – К. НТУУ „КПІ", 2008. – 374 с. Електронна версія 2010, 17,5 МБ.

16. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.

17. Gonzalez, Rafael C; Woods, Richard E. Digital Image Processing, 2nd ed. – published by Pearson Education, Inc. publishing as Prentice Hall., 2002. – 793 p.

18. I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, et al. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey. – Computer Networks, Vol. 50, No. 13, pp. 2127-2159, 2006.

19. Daniel H. Friend Cognitive Networks: Foundations to Applications / PhD thesis // Virginia Polytechnic Institute and State University. 2009. Blacksburg, Virginia.

20. Китчер Э. Обработка сигналов на SDR-платформе «GNU Radio» // Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2013. г. Н. Новгород. 2013. – С. 123 - 125.

21. Резолюция 805 – «Повестка дня Всемирной конференции радиосвязи 2011 года», РР, МСЭ, Женева, 2011 г.

22. Cabric D. Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios / D. Cabric, S. Mishra, R. Brodersen // Proceedings of Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers. 2004. V. 1. P. 772–776.

23. Rekomendacija MSJe-R R.1546-4. Metod prognozirovanija dlja trass svjazi «punkta s zonoj» dlja nazemnyh sluzhb v diapazone chastot ot 30 MGc do 3000 MGc. – Zheneva: ITU, 2010

24. RekomendacijaMSJe-RR.530-13. Dannyeorasprostraneniiradiovolnimetodyprognozirovanija, trebujushhiesjadljaproektirovanijanazemnyhsistemprjamojvidimosti. – Zheneva: ITU, 2010.

25. Игнатов В. А. Теория информации и передачи сигналов: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1991. – 280с.

26. Marinho J. Cognitive Radio: Technology Survey and Future Research Directions / J. Marinho, E. Monteiro // 4 Congresso do Comite Portugues da URSI, Lisboa. 2010.

27. Харченко В.Н. Метод построения системы синхронизации сложных составных сигналов / Харченко В.Н., Лаврут А.А., Лаврут Т.В. // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2006. - №5 (17). – С. 193 – 197.

28. Рабочие материалы координатора по пункту 1.19 повестки дня ВКР-11. – РСС, Документ РГ2011/12-РГ2, Приложение 1.19, 14 октября 2008 г.

29. Auction-based spectrum sharing / Huang J. [et al.] // Mobile Networks and Applications. 2006. V. 11. P. 405–418.

30. Bany Salameh H. A. Throughput-oriented channel assignment for opportunistic spectrum access networks // Mathematical and Computer Modeling. 2011. V. 53. № 11–12. P. 2108–2118.

31. Chastotno-territorial'noe planirovanie sistem podvizhnoj radiosvjazi organov vnutrennih del novogo pokolenija: metodicheskie rekomendacii / pod red. Bokovoj O.I. – Voronezh, Voronezhskij institut MVD Rossii, 2013. – 39 s.

32. Metodika rascheta trass cifrovyh RRL prjamoj vidimosti v diapazone chastot 2 – 20 GGc; Moskva, 1998 g.

33. MIL-STD-188-141B. Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems. DOD interface standard. 1 March 1999 / DoD USA. 1999.

34. ВишняковскийВ.М., ЛяховА.И., ПортнойС.Л., ШахновичИ.В. Широкополосныебеспроводныесетипередачиинформации. М.: Техносфера, 2005.

35. C. Clancy, J. Hecker, E. Stuntebeck, and T. O'Shea, "Applications of machine learning to cognitive radio networks," IEEE Wireless Communications, vol. 14, no. 4, pp. 47%52, 2007.

36. Wu X., Tian Z., Davidson T.N., Giannakis G.B. "Optimal Waveform Design for UWB Radios". IEEE Trans. On Signal Processing, vol. 54, pp. 2009-2021, June. 2006.

37. Arslan H., Sahin M. UWB-Based Cognitive Radio Networks, In: Cognitive Wireless Communication Networks, Hossain, E. & Bhargava, VK, (Ed.), 213-230, Springer US, ISBN 978-0-387 -68830-5, New York, 2007.

38. Mohammed Al-Husseini, Karim Y. Kabalan, Ali El-Hajj1 and Christos G. Christodoulou Cognitive Radio: UWB Integration and Related Antenna Design

/ New Trends in Technologies: Control, Management, Computational Intelligence and Network Systems. Edited by Meng Joo Er.Sciyo, 2010. Pp. 395-412.

39. Вишневский В. М. Теоретические основы проектированиякомпьютерных сетей // М.: Техносфера. 2003. 512 с.- 125.

40. Zadeh L. Optimality and non-scalar-valued performance criteria // IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 8. С. 59 - 60. 1993. № 11.

41. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств –М. : Радио и связь, 1984. –336 с.

42. Бутенко В. В., и др. Техническая политика в области радиосвязи и вещания // «Электросвязь», С. 13- 15. 2009. № 7.

43. Лоуренс Лессиг. Частотний спектр: Визначення «Commons» - 2003рік.

44.Jongtae Song, Mi Young Chang, and Soon Seok Lee. Overview of ITU-T NGN QoS Control // IEEE Communications Magazine. С. 116 - 123. 2007. № 5.

45. Гарбарчук В. Кибернетический подход к проектированию систем защиты информации - Киев, 2003, 659 с.

46. А.А. Ивлев. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализ ации. / М., 2008.

47. Сопронюк И.И. Метод мониторинга спектра в когнитивных радиосетях на основе БПФ – Харьков, 2011.

48. Defined Radio. // Forum Technical Conference, Phoenix, AZ. С. 3 - 8. 2004. № 12.

49. Gray. D. Comparing Mobile WiMAX with HSPA+, LTE, and Meeting the Goals of IMT-Advanced // WiMAX Forum. 2009. С. 1 - 21.

50. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

51. Ткачук, О.І. Забезпечення раціонального використання радіочастотного ресурсу на основі когнітивного радіо. Магістерська дисертація – Київ: НТУУ «КПІ», 2017 – 129 с.

Додаток А

Abstract

In the last few decades, the needs of people in the exchange of information are growing at a fast pace. Rapid and reliable transmission of heterogeneous information (video, voice, data, etc.) is essential for the development of the economy and society as a whole [1].

For fast and reliable transmission of information, networks with a bandwidth of at least 10 Mbps and high reliability [2] are required.

Cognitive radio networks are divided into two types, primary (licensed users) and secondary (non-licensed users). Primary users have the priority to use the licensed band. A secondary user can use a licensed band without affecting the priority use of the spectrum by the main user, which increases the efficiency of the use of the licensed spectrum [2].

At present, we are witnessing the rapid development of radio data transmission systems. Constantly increasing requirements for the speed and volume of transmitted information compel developers of such systems to use broadband communication channels. At the same time, there is an increasing need to use the radio frequency spectrum more efficiently to provide access to the information resources of new users [3].

Urgency of work. The problem of researching cognitive radios is relevant in Ukraine, because licensed bands of the radio spectrum can be used only by the operators on which they are assigned. However, the band of radio frequencies in which modern telecommunication systems can operate are the ultimate resource [2]. Use of this resource is not effective at all available frequencies. Thus, the improvement of the cognitive radio network topology is an important direction.

No less important is the use of genetic algorithms [4]. Genetic algorithms are a powerful tool. They can be applied successfully for a wide class of applied tasks, taking into account those that are difficult, and sometimes completely impossible to solve by other methods. Although such algorithms, like other methods of evolutionary computing, do not guarantee the detection of a global solution defined in a short time. Genetic algorithms do not guarantee that a global solution will be found, but they can be used to improve the topology of cognitive radio networks in a fairly short time. One of the advantages of such algorithms is that they can be applied even to complex tasks, where there are no other, effective solving methods.

Yet today the issue of research genetic algorithms remains little investigated, which was the choice of the topic of research [4].

The development of wireless communication is a continuous change of technologies based on the standards of GSM and CDMA communication, as well as the standards of data transmission systems IEEE 802. Historically, wireless communication technologies have evolved over two independent directions-the telephone system (cellular communication) and data transmission systems (Wi-Fi, WiMAX).

The 802.11 standard is a cellular architecture. The network, as such, is composed of cells (service areas). Basic topologies of 802.11 wireless networks [1]:

- IBSS (independent basic service sets) - independent base service areas;

- BSS (basic service units) - basic service areas;

- ESS (extended service sets) - Extended service areas.

The service set service area is logically connected devices (clients). According to WLAN technology, the network's network provides broadcasts to broadcasted broadcast frequencies at a certain frequency range. The source of the signal - the base station (access point - access point - AP) or the wireless adapter (wireless adapter) broadcasts the broadcast modulated signal, previously obtained access to the environment; The direction of propagation of the signal depends on the antenna of the source, which can be unidirectional or omnidirectional. The receiver respectively receives the signal and decodes it [2].

IBSS is the so-called "ad-hoc" network, somewhat equivalent to a peer-to-peer network. Also referred to as "point-to-point" networks. These are primitive decentralized networks, lacking in any infrastructure; The number of clients is limited by the bandwidth of the network - from 2 to 5 clients.

These are the modes of interaction with the base stations (access points), which are network hubs (similar to wired networks). Customers interact with each other not directly, but through the base stations, sharing access to the environment among themselves. BSS is the most common type of architecture for a wireless network 802.11 [3].

In the extended ESS mode, there is the infrastructure of several BSS networks, with the access points themselves interacting with each other, which allows the transmission of traffic from one BSS to another. The access points themselves are connected by segments of a cable network, or by radios.

From all levels of the OSI (Open System Interconnect) model, the 802.11 specification regulates two levels of physical network (PHY) and MAC, Media Access Control, that is, the bottom level of the link layer. At the physical level, modulation methods and signal characteristics for data transfer are determined. The standard imposes different methods of transmitting in the radio frequency wavelengths, as well as one in infrared [3].

The purpose of the work is to study the principles of application of the genetic algorithm for improving the topology of cognitive radio networks

To achieve the goal of work, the following tasks must be solved:

- analyze the problems of using the radio frequency resource;

- to investigate the structure and characteristic features of cognitive radio networks;

- to determine trends in the development of telecommunication network management systems;

- to consider methods of improving the topology of cognitive radio networks, using the application of the genetic algorithm;

- perform the practical realization of the cognitive radio network and make an analysis of the simulation results.

Object of research - means of mobile communication

The subject of research is the cognitive radio system

The scientific novelty is that:

- the model of the cognitive radio network with the use of the genetic algorithm was developed and analyzed;

- received the further development of the cognitive radio network model;

- The model of the cognitive radio system using genetic algorithms has been improved.

Practical value. The developed model of the cognitive radio network with the use of the genetic algorithm can be further improved and find the optimal parameters of the number of users and the radius of the cognitive radio network to achieve maximum efficiency.

Wireless networks are networks that are a good alternative to wired networks. Currently, security is a major concern for wireless networks, as there are many

different cases where intruders intercepted different information and attacked the network at a safe distance.

Broadband signal technologies used in radio frequency methods increase reliability, bandwidth, enable many unrelated devices to share one band with minimal interference to each other.

The introduction and use of new services, which require the availability of free frequency bands, becomes difficult, and in some cases completely impossible. One of the possible solutions to this problem is the transition to a new technology called cognitive radio.

The technology of cognitive radio is intended for the secondary use of spectrum, when devices in the network are automatically reconfigured to free frequencies. KP devices change their parameters on the basis of obtaining information about the electromagnetic and geographical environment, recognize the images of signals of all primary radio-electronic means and use frequencies when the primary means do not work. They automatically re-tune into free ranges, supporting a consistent connection. Thus, cognitive radio systems are an important direction in the development of telecommunication systems and networks.

The choice of this or that spectrum distribution technology is closely related to the detection characteristics and the specified characteristics of the quality of service users on the network. But within the framework of the cognitive approach in telecommunication networks, a broader range of tasks is solved than the dynamic distribution of the spectrum, which is undoubtedly one of the most important areas of the use of cognitive radio.

New technologies, such as programmable radio and cognitive radio, are relatively difficult to start with. But work continues throughout the world, and the new results are gradually bringing us closer to the moment of active introduction and use within the framework of effective and rational use of such a resource as the radio frequency spectrum.

Research and development of methods and algorithms for making decisions for the technology of "cognitive radio" is relevant. One of the modern approaches to the realization of functions of artificial intelligence in cognitive radio systems is the application of the method of reasoning on the basis of precedents and genetic algorithms.

For the purpose of structurally-logical description of the principles of functioning of the cognitive radio system, the concept of research cycles is used, namely the

OODA model (Observe - Observation, Orient - Orientation, Decision - Decision, Action - Execution).

It is suggested to use a genetic algorithm to solve the problem of multicriteria optimization, which enables to generate the optimal solution, taking into account the set of input parameters and quality requirements of the decision maker.

The algorithms of dynamic spectrum management are quite technical and can be used only in so-called intelligent radio systems. There is the ability to receive and analyze information from the surrounding radio space, provide for changes in the communication channel and optimally adjust the internal parameters of the state, adapting to changes in the radio environment.

In our case, the results indicate that: the larger the radius of a cognitive radio system for a constant number of users, the greater the number of iterations necessary to optimize the cognitive radio system by the criterion of "minimum energy".

The larger the radius, the less precision. However, the accuracy of the performed experiments is high everywhere, which suggests that the genetic algorithm can be used as an algorithm for improving the topology of cognitive radio networks.

To achieve even greater accuracy, it is necessary to further study dependency dependencies on the number of users or on the radius of the cognitive radio system.

A startup project was developed to build a cognitive radio network in Kiev. Directions of application of the project are the use of cognitive radio technology, efficiency, speed.

The analysis of potential technical and economic advantages compared with the proposals of competitors. It has been determined that cognitive radio technology dominates the closest competitors in economic and technological characteristics.

The market threats and market opportunities, which are made on the basis of analysis of factors of threats and factors of possibilities of marketing environment are investigated. The market strategy of the project and the marketing program of the startup project are developed.

As a result of the analysis, it was determined that the upper and lower limits of the price of goods / services were 84 million UAH - 106.4 million UAH.

Problems of using radio frequency resource are analyzed;

The structure and characteristic features of cognitive radio networks are investigated;

The tendencies of development of control systems of telecommunication networks are determined;

Methods of improving the topology of cognitive radio networks, using the genetic algorithm;

Realization of the cognitive radio network and realization of the simulation results is realized.

It is suggested to use a genetic algorithm for solving the multicriteria optimization problem, which enables to generate the optimal solution, taking into account the set of input parameters and quality requirements of the decision-maker.

The results obtained in the MATLAB software environment indicate that the larger the radius of a cognitive radio system for a steady number of users, the greater the number of iterations is needed to optimize the cognitive radio system by the criterion of "minimum energy". The larger the radius, the less precision. However, the accuracy of the performed experiments is high everywhere, which suggests that the genetic algorithm can be used as an algorithm for improving the topology of cognitive radio networks.

The project start-up project on building a cognitive radio network in Kyiv is analyzed.