

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

**Радіотехнічний факультет
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»
УДК 51-74

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

 Михайло
СТЕПАНОВ

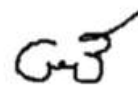
« » 2022 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
радіоелектронної техніки»**

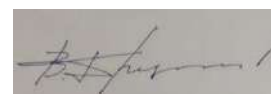
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: « Методика підвищення ефективності захисту безпроводових мереж
передавання даних від впливу взаємних радіозавад »**

Виконав
студент 2 курсу, групи РЕ-11мп
Залізняка Олександр Сергійович



Керівник:
Дружинін Володимир Анатолійович



Рецензент:
Васильєв Володимир Миколайович



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент 

Київ – 2022 року

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студента

Залізняка Олександра Сергійовича

1. Тема дисертації « Методика підвищення ефективності захисту безпроводових мереж передавання даних від впливу взаємних радіозавад »
науковий керівник дисертації _ Дружинін Володимир Анатолійович _
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р.
№4137-С
2. Термін подання студентом дисертації 11 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: процеси підвищення захисту безпроводових мереж передавання даних від впливу взаємних радіозавад.
4. Вихідні дані: підвищення ефективності захисту безпроводових мереж передавання даних від взаємних завад за рахунок використання запропонованої в роботі методики
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розробка методики, використання якої дозволяє зменшити вплив взаємних завад на бездротові мережі передання даних.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 16 таблиць, 21 рисунок.

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

9. Дата видачі завдання: 05 вересня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2022р.	
2	Розробка плану магістерської дисертації	10.09. 2022р.	
3	Початок збору інформації для дослідження	24.09.2022р.	
4	Аналіз виникнення	08.10.2022р.	
5	Розробка методики	20.10.2022р.	
6	Оцінка методики	21.11.2022р.	
7	Розробка стартап проекту	28.11.2022р.	
	Оформлення магістерської дисертації	09.12.2022р.	

Студент

Олександр ЗАЛІЗНЯК

Науковий керівник

Володимир ДРУЖИНІН

РЕФЕРАТ

Актуальність теми зумовлена збільшенням кількості радіоапаратури, що утворюють взаємні радіозавади.

Метою роботи є підвищення ефективності захисту БП МПД від взаємних завад за рахунок використання запропонованої в роботі методики

Об'єкт дослідження: процеси підвищення захисту безпроводових мереж передавання даних від впливу взаємних радіозавад

Методи дослідження: аналіз виникнення взаємних завад та їх впливу, розробка методик для зменшення взаємного впливу на бездротові системи, проведена оцінка працездатності.

Практичне значення одержаних результатів: розроблені методики для зменшення взаємних завад з варіантами їх встановлення в системи.

Робота включає в себе пояснювальну записку обсягом 57 сторінок, 21 рисунок, 16 таблиць та 10 посилань.

Ключові слова: взаємні завади, аналізатор спектру, бездротова мережа, точка бездротового доступу.

ABSTRACT

The topicality of the topic is due to the increase in the number of radio equipment that creates mutual radio interference.

The purpose of the work is to increase the efficiency of MPD power supply protection against mutual interference due to the use of the methodology proposed in the work.

Object of research: the processes of improving the protection of wireless data transmission networks against the influence of mutual radio interference

Research methods: analysis of the occurrence of mutual interference and their impact, development of methods for reducing mutual influence on wireless systems, evaluation of performance.

Practical significance of the obtained results: developed techniques for reducing mutual interference with options for their installation in systems.

The work includes an explanatory note of 57 pages, 21 figures, 16 tables and 10 references.

Key words: mutual interference, spectrum analyzer, wireless network, wireless access point.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської дисертації

на тему: « Методика підвищення ефективності захисту безпроводових мереж
передавання даних від впливу взаємних радіозавад »

Київ 2022

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
Вступ	10
1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ВЗАЄМНИХ ЗАВАД ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ	11
1.1 Основні причини виникнення взаємних завад та їх вплив на роботу РЕЗ	11
1.2 Контактні завади	14
1.3 Індустріальні завади	14
1.4 Завади природного походження	15
Висновок до першого розділу	18
2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ЇХ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ	19
2.1 Методика модифікованої прямокутної квадратурно-амплітудної модуляції для зменшення взаємного впливу безпроводових мереж.	19
2.2 Метод адаптивного підбору вільних каналів передавання даних в безпроводових мережах з використанням аналізаторів спектру	27
Висновки до другого розділу	37
3 ОЦІНКА ЗМЕНШЕННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ В РОБОТІ МЕТОДИКИ	38
3.1 Реалізація технології взаємного впливу на базі мікроконтролерів.	38
3.2 Порівняння сучасних аналізаторів спектру	41

3.3 Оцінка технології моніторингу вільних каналів передавання даних в безпроводових мережах.	43
Висновки до третього розділу.....	48
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ.....	49
Висновки до четвертого розділу.....	55
Висновки.....	56
Перелік використаної літератури.....	57

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БП — безпроводові

МПД— мережі передавання даних

РЕЗ — Радіоелектронних засобів

ЕЗ — Електронних засобів

ЕМС— Електромагнітна сумісність

ТБД— Точка бездротового доступу

ТІ — Texas Instruments

ПЗ— програмне забезпечення

Вступ

Боротьба з взаємними завадами почалася майже з виникненням радіотехніки. На етапі становища не мала самостійності, та й труднощів які потрібно було б розв'язати. Але з плином часу, коли кількість радіозасобів збільшилась, почалися ускладнення їх функціоналу та створення засобів для нових задач, тема як ніколи стала гострою.

Вирішення надзвичайно гострих проблем позбавлення взаємних завад між РЕЗ досягається не тільки шляхом проведення міжнародної координації всіх систем зв'язку, розширення діапазону використовуваного РЧС, розроблення методів частотного планування мереж радіозв'язку та радіомовлення, проведення радіомоніторингу РЧС, а й шляхом прийняття міжнародних і державних нормативних документів на параметри й характеристики засобів зв'язку та розроблення методів їх контролю [1].

1 АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ВЗАЄМНИХ ЗАВАД ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Безперервне збільшення кількості радіоелектронних засобів(РЕЗ), електронних засобів(ЕЗ) і електротехнічних засобів виявило нову властивість, що підтвердила діалектичний перехід законом кількість в якість. Нова якість чітко дала зрозуміти, що потрібно розвивати властивість спільного функціонування з іншими приладами та засобами. При відсутності даної якості, в більшості випадків, засоби не зможуть коректно знаходитись в експлуатації.

1.1 Основні причини виникнення взаємних завад та їх вплив на роботу РЕЗ

Електромагнітні випромінювання, що перешкоджають нормальній передачі та прийому радіосигналів. Вони поділяються за походженням, а саме штучним або природнім.

Джерела завад штучного походження являються собою пристрої виготовленні людьми. При виявленні джерел, використовують організаційні або технічні засоби для їх усунення та забезпечення електромагнітної сумісності.

Класифікація завад штучного походження наведена на рисунку 1.1.

Завади штучного походження поділяються на ненавмисні та організовані.

Ненавмисні завади поділяються за місцем їх походження:

- міжсистемні, що діють між РЕЗ різних радіосистем;
- системні, що діють усередині систем. Як приклад в окремих трактах чи блоках одного і того ж РЕЗ;
- індустріальні, що зобов'язані своїм походженням електричним та електронним пристроям, які не містять високочастотні тракти.

Міжсистемні завади поділяються на:

- викликані основним випромінюванням РЕЗ, призначені для передачі сигналів і на функціонування яких це РЕЗ негативно впливає;
- небажане випромінювання, що виникає в РЕЗ поза необхідною смугою частот.

Системні завади наводяться в РЕЗ різними шляхами, як приклад через оточуючий простір за допомогою електромагнітних хвиль. Це відрізняє від появи міжсистемних завад, які в свою чергу пов'язані з випромінюванням, прийманням і поширенням електромагнітних хвиль.

Системні завади поділяються на:

- паразитні наводки, що зумовлені видом електромагнітних коливань в окремих вузлах радіосистеми, даний вид є основним;
- завади які створює своїм випромінюванням РЕЗ;
- контактні завади;
- завади, які виникають в наслідок перехідних процесів в РЕЗ, та при самозбудженні окремих вузлів.

На радіозавади від джерел має прямий вплив при їх поширенні, а саме рельєф, рослини, сторонні предмети які розташовані на їх шляху.

Електромагнітні випромінювання зосереджено в основному випромінюванні робочої частоти радіопередавача так і в неосновному випромінюванні, тобто за межами цієї смуги. При використанні направлених антен, випромінювання можуть поширюватися у головній, бокових та задній пелюстці діаграми направленості. Головна пелюстка, сучасної, направленої антени має підсилення до 50 дБ, а бокові пелюстки з задньою мають достатньо високі діаграми направленості починаючи від -20 і до -40дБ. Як результат потужні радіостанції на бокових та задній пелюстках досягають потужності 1кВт.

Електромагнітні хвилі з робочою поляризацією та з поляризацією, у якої параметри різняться від робочої, вони випромінюються як в головній так і бокових пелюстках. Як результат, для виділення електромагнітних коливань в

робочому радіоканалі приймальної антени та в радіоприймальному пристрої, потрібно використовувати різні види селекцій: частотну, просторову, поляризаційну та інші.

Виходячи з цього, для покращення ЕМС при забезпеченні спільної роботи, в одному радіочастотному просторі, більшої кількості РЕЗ, потрібно покращити параметри приймання або випромінювання.



Рисунок 1.1 - Класифікація завад штучного походження

Електромагнітні коливання, які з'являються в радіосистемах за рахунок зв'язків з іншими частинами системи, та не завбаченні а ні конструкцією, а ні способом роботи – називаються паразитними наводками.

Завади, які виникають при власному випромінюванні РЕЗ, надходять до входу приймача, та в окремі частини, через оточуючий простір.

Зв'язок між передавальною антеною і приймачем завад, відрізняє їх від міжсистемних завад. Тоді як передача завади через навколишній простір і антену, відрізняє їх від паразитних завад.

1.2 Контактні завади

Являють собою результат випромінювання електромагнітного поля на струмопровідні контакти.

У більшості випадків, виникають за рахунок взаємодії електромагнітного поля з контактами які мають змінний опір, цьому сприяє їх близьке розташування до поля, на параметри завад має прямий вплив потужність та частотний спектр діючого поля.

Джерелами цих завад є пасивні елементи, що робить їх особливими.

Способи створення контактних завад є:

- зміна напруженості електромагнітного поля, яка має нелінійну залежність магнітної індукції;
- створенні поверхнями і металевими контактами, нелінійні властивості напівпровідникових переходів.

Розміщуючи РЕЗ на об'єктах, що рухаються, варто додатково враховувати контактні завади.

Перехідні процеси мають широкий спектр коливань, що призвело до появи завад у колах РЕЗ, це збільшило кількість шляхів передачі складових спектру.

Генерація електромагнітних коливань призводить до завад які характеризуються як самозбудженні, генерація відбувається електричними колами, що не мають такого наміру.

В радіоелектронних вузлах, в яких виникає паразитне збудження, відбувається порушення роботи та функціонування цих вузлів, а також можливий, негативний, вплив на інші елементи та пристрої.

1.3 Індустріальні завади

Являють собою електромагнітні явища, їх джерелами являються електронні пристрої, які виконують різні функції. Смуга радіочастот містить в собі їх спектральні складові. Мають два способи поширення, а саме

відкритий простір та дроти, самі по собі вони погіршують роботу апаратури і канали передавання радіосистем.

Згідно ГОСТ 16842 джерела завад поділяються на 11 груп:

- прилади побуту, комунального та іншого призначення, які експлуатуються в жилих будівлях або підключенні до їх енергосистем;
- електротранспорт, наземний або залізничний;
- пристрої, які містять двигуни внутрішнього згорання;
- промислові, наукові, медичні та побутові високочастотні установки;
- електричні підстанції і лінії електропередачі;
- світильники з газорозрядними лампами;
- пристрої, промислового, енергетичного, транспортного та інші, що експлуатуються за межами житлових приміщень і не підключенні до їх енергосистем;
- пристрої та об'єкти проводового зв'язку;
- телевізійні та радіомовні приймачі;
- обладнання і апаратура, що експлуатується разом з службовими радіоприймальними пристроями;
- обладнання обчислювальної техніки та інформатики.

1.4 Завади природного походження

Це електромагнітні завади, джерелами яких є природні, фізичні явища. Класифікація завад природного походження наведена на рис.1.2.

Внутрішні шуми являють собою електромагнітні коливання, їх виникання залежить від будови, якості з чистотою матеріалів, з яких виготовляють елементи плат та приладів.

Короткі, послідовні імпульси, які хаотично повторюються у великій кількості являють собою шуми. Всі елементи РЕЗ є джерелами внутрішніх шумів. Тепловий шум, причина його виникнення тепловий рух електронів.

Тепловий шум виникає в елементах, які мають активний опір, за рахунок хаотичного теплового руху вільних електронів, які знаходяться в середині цих елементів. В широкому частотному діапазоні має постійну густину шумової напруги, яка залежить від температури.

Електронні лампи та напівпровідникові прилади є джерелами дробових шумів. Це зумовлено флуктуаціями деякого середнього струму, що по ним протікає. Данні флуктуації зав'язані на дискретній природі електричного струму, а також на випадковим характері дірок. Дробовий шум має постійну спектральну густину у широкому частотному спектрі.



Рисунок 1.2 - Класифікація завад природного походження

Шуми поверхневого ефекту мають властивість проявлятися в різних електронних пристроях. При частоті наближеній до десятка Гц фліккер-шуми домінують над дробовими але при частоті більше 1 кГц, дробові шуми переважають над фліккер-шумами. В напівпровідникових приладах поверхневі шуми можна помітити на частоті 1...10 кГц. Ці шуми виникають у композиційних резисторах та вугільних мікрофонах через погану сплавку між частками матеріалів, а в перемикачах чи контакторах з реле, виникають в

наслідок з'єднань з різними матеріалами, тому їх ще називають контактними шумами.

В електронних приладах, внаслідок хаотичної зміни траєкторій електронів, виникають шуми струморозподілу.

Поява шумів вторинної емісії спровокована виходом другорядних електронів з електродів. Вони мають амплітуду, яка розділена за нормальним законом та спектральну густину, яка не залежить від частоти.

Дефекти напівпровідникових приладів та інтегральних схем, сприяють появі імпульсних шумів. Імпульсні шуми являють собою неперіодичні імпульси, тривалість яких варіюється від кількох мікросекунд до секунд, при цьому мають середню швидкість повторень від одного імпульсу в хвилину, до сотень імпульсів в секунду. Амплітуда імпульсів для конкретно обраного напівпровідникового пристрою стабільніша та сильно перевищує амплітуду теплових шумів. Густина розподілу потужності відповідає відношенню $1/f^2$, покращення технології виробництва усуває імпульсний шум.

Проблема взаємних завад стоїть як ніколи гостро і для її рішення задіяні не лише міжнародні координації, а й розробка нових методів, проведення радіомоніторингу, розширення діапазону. Також один з ключових факторів має держава, яка запроваджує нормативно-правові документи характеристик засобів зв'язку та слідкує за їх контролем.

Висновок до першого розділу

Проаналізувавши причини виникнення взаємних завад, було виявлено, що в зв'язку із зростанням кількості бездротових мереж, збільшується й їх вплив одна на одну. Виходячи з цього, щоб забезпечити спільну працездатність якомога більшу кількість РЕЗ, у одному радіочастотному просторі, потрібно покращити електромагнітну сумісність

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ЗА РАХУНОК ЗМЕНШЕННЯ ЇХ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ

Повсемісний розвиток бездротових технологій та їх поширення, як наслідок зростання кількості абонентів та пристроїв. Ця ситуація призводить до взаємних впливів однієї мережі на іншу.

Як результат маємо вплив на пропускну здатність каналів, а також це задіває їх працездатність. Не варто забувати, що збільшення пристроїв та абонентів також впливає на захищеність мереж від взаємних завад.

2.1 Методика модифікованої прямокутної квадратурно-амплітудної модуляції для зменшення взаємного впливу безпроводових мереж.

Використовуючи при кодуванні 2^k -последовностей, прямокутну квадратурно-амплітудну модуляцію, слід зазначити, що вона не є самою енергоефективною, але у зв'язку з простотою в використанні та реалізації її почали широко застосовувати, та в решті решт вона була додана до стандартів IEEE 802.11a і 802.16. Відомо про деякі варіанти зменшення впливу працюючих на одній смузі частот широкосмугових каналів, а саме: використання кодів згортки, рознесення несучих частот та мереж. Ці методи не можуть вирішити проблему з передаванням слів, а можуть тільки зменшити symbol error rate.

За для більш ефективного використання смуги частот, потрібно виконати модифікацію прямокутної квадратурно-амплітудної модуляції. Для цього потрібно використаємо прості правила та отримати найбільшої відстані між базовим та модифікованим вектором.

Службові канали використовуються для під'єднання та синхронізації приймача з передавачем. По цим каналам передається інформація про стан вектору: базовий чи модифікований.

Для використання в промисловості, потрібно кожний вид внести в стандарт і так і тільки так можна буде використовувати модифікований векторний простір.

Розглянемо можливі варіанти модифікацій базового простору комплексних векторів підканалів. Відстань між векторами (евклідова) являється основним параметром системи в векторах базового та модифікованого простору.

Вигляд заданого вектору:

$$R = Q + i \cdot I, \quad (2.2)$$

де Q – дійсна, а I – уявна координата.

Мінімальна відстань між векторами для базового векторного простору складає $r_{\text{вн}} = 2,000$ - параметр для векторних просторів, яка стандартно використовується для 2^k -QAM, а зовнішня ж складає $r_{\text{зовн}} = 0,000$. З цього випливає, що віддалення складає:

$$\Delta_{\text{ном}} = r_{\text{вн}} - r_{\text{зовн}} = 2,000, \quad (2.3)$$

виходячи з цього отримуємо, що при використанні систем з базовим векторним простором отримуємо максимальне перекриття. Системи будуть працювати стабільніше, при меншому їх віддаленню.

Для нормалізації середньої енергії до одиниці в векторному просторі, визначається коефіцієнт нормування, в деяких випадках використовується обернений запис коефіцієнта нормування. Даний коефіцієнт вказує на енергетичну оптимальність векторного простору, чим менший коефіцієнт нормування, тим оптимальніше буде використовуватися енергія сигналу. Порівнювати можна тільки ті коефіцієнти, які відносяться до одного і того ж виду модуляції.

Базовий векторний можна подати у такому вигляді $R = \{\pm(2m - 1) \pm (2m - 1)i\}$,

$m \in Z$, $m \in \overline{1, a}$, де $a = \sqrt{2^k} / 2 = 2^{\frac{k-2}{2}}$ – кількість разів, що використовується проєкція кожної амплітуди вектора на вісі, дійсну та уявну, у фізичному

вигляді являє собою половину сторони квадратного векторного простору.

Коефіцієнт нормування, для базового векторного простору становить, [2], для симетричного векторного простору уявна частина буде дорівнювати дійсній так як середня енергія дійсної та уявної проєкцій однакові:

$$\begin{aligned}
 k_s &= \sqrt{E_{\text{сеп}}[|R|^2]} = \sqrt{E_{\text{сеп}}[\text{Re}|R|^2] + E_{\text{сеп}}[\text{Im}|R|^2]} = \sqrt{2E_{\text{сеп}}[\text{Re}|R|^2]} = \\
 &= \sqrt{2 \cdot \frac{a}{n} \sum_{m=1}^a (2m-1)^2} = \sqrt{2 \cdot \frac{a}{n} \cdot \frac{1}{3} \cdot a \cdot (4a^2 - 1)} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{a^2}{n} \cdot (4a^2 - 1)} = \quad (2.4) \\
 &= \sqrt{\frac{2}{3} \cdot \frac{2^{\frac{k-2}{2}} \cdot 2}{2^{k-2}} \cdot \left(4 \cdot 2^{\frac{k-2}{2}} \cdot 2 - 1\right)} = \sqrt{\frac{2}{3} (2^k - 1)}
 \end{aligned}$$

де $n = 2^{k/4} = 2^{k-2}$ – кількість точок в кожному квадранті; таблична сума ступенів

натуральних чисел $\epsilon \sum_{m=1}^a (2m-1)^2 = \frac{1}{3} \cdot a \cdot (4a^2 - 1)$ [3]

Для двох видів модуляції отримуємо $k_s^{16\text{QAM}} = \sqrt{10} \approx 3,162$

і $k_s^{64\text{QAM}} = \sqrt{42} \approx 6,481$.

За допомогою обертання базового простору на 45° , виходить найпростіше перетворення.

Для 16-QAM на рис. 2.2а, квадратами показано базовий векторний простір, ромбами – модифікований векторний простір.

Перетворення проводиться у системі:

$$\begin{cases} Q = \sqrt{Q_0^2 + I_0^2} \cos(\alpha \pm \frac{\pi}{4}) \\ I = \sqrt{Q_0^2 + I_0^2} \sin(\alpha \pm \frac{\pi}{4}) \end{cases} \quad (2.5)$$

де (Q_0, I_0) – початкові координати вектору; $\text{tg}\alpha = Q_0/I_0$ для $\alpha \leq 2\pi$

«+» – обертання проти годинникової стрілки;

«-» – обертання за годинниковою стрілкою.

Мінімальна відстань між векторами, для данного випадку, залишається без змін:

$r_{\text{вн}} = 2.000$, мінімальна зовнішня відстань для 16-QAM:

$$r_{\text{ЗОВН}}^{64\text{QAM}} = \sqrt{2(10 - 7\sqrt{2})} \approx 0.448.$$

$$\text{Для } 64\text{-QAM: } r_{\text{ЗОВН}}^{64\text{QAM}} = \sqrt{2(58 - 21\sqrt{2})} \approx 0.186.$$

Тобто $\Delta_{\text{об}}^{16\text{QAM}} \approx 1,552$ і $\Delta_{\text{об}}^{64\text{QAM}} \approx 1,814$, це вказує на часткове перетинання.

Векторних просторів. При обертанні, коефіцієнт нормування залишається таким самим, як і у базового простору, а от поляризація векторного простору змінюється.

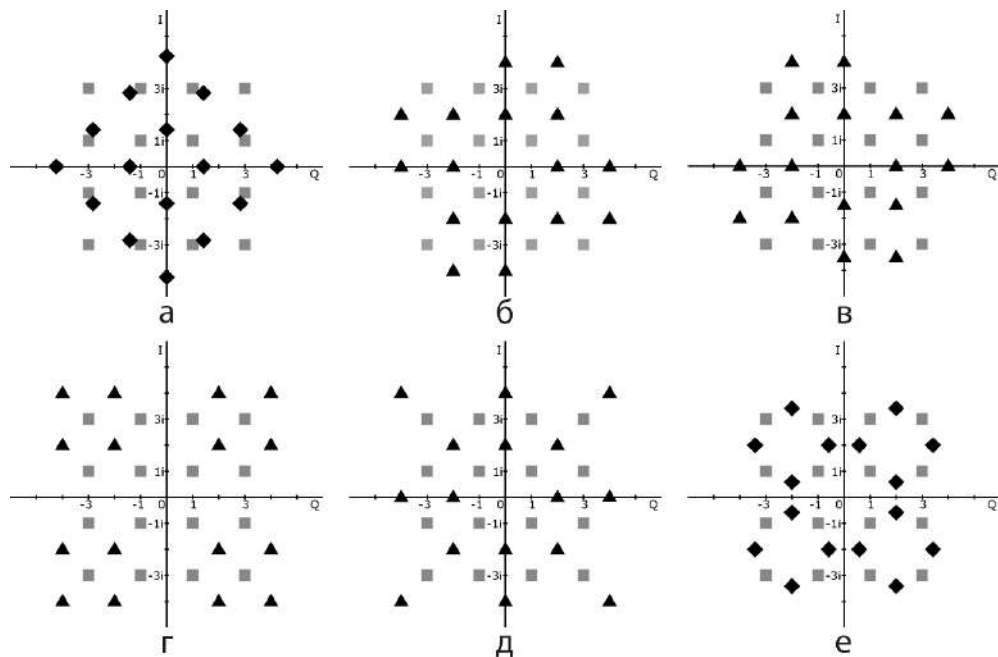


Рис. 2.2. Модифікація векторного простору для 16-QAM: обертання на 45° (а); зміщення проти (б) та за (в) годинниковою стрілкою; нормальне (г) та компактне (д) віддалення від початку координат; обертання групи на 45° (е)

У першому випадку симетрію в кожному з квадрантів було збережено, при нехтуваті симетрією можна отримати два перетворення: зміщення проти та за годинниковою стрілкою, на рис. 2.2б та 2.2в квадратами показано базовий векторний простір, ромбами – його модифікований варіант.

Сукупність виду для кожного з квадрантів, при зміщені:

$$\begin{aligned}
 \text{[I]} \quad R &= R_0 + (\mp 1 \pm i), \\
 \text{[II]} \quad R &= R_0 + (\mp 1 \pm i), \\
 \text{[III]} \quad R &= R_0 + (\pm 1 \mp i), \\
 \text{[IV]} \quad R &= R_0 + (\pm 1 \pm i).
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Перший знак вказує на зміщення проти, а другий за годинниковою стрілкою.

Щоб визначити коефіцієнта нормування приведемо координати векторів першого квадранта:

$$\begin{aligned}
 16\text{QAM: } & \{2i; 4i; 2 + 2i; 2 + 4i\}; \\
 64\text{QAM: } & \begin{cases} 2i; 4i; 6i; 8i \\ 2+2i; 2+4i; 2+6i; 2+8i \\ 4+2i; 4+4i; 4+6i; 4+8i \\ 6+2i; 6+4i; 6+6i; 6+8i \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

З (2.4) визначаємо коефіцієнти нормування:

$$k_{S_{3M}}^{16\text{QAM}} = \sqrt{\frac{1}{2^{4-2}} [2^2 + 4^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2]} = 2\sqrt{3} \approx 3.464.
 \tag{2.8}$$

$$k_{S_{3M}}^{16\text{QAM}} = \sqrt{\frac{1}{2^{6-2}} [8 \cdot 2^2 + 8 \cdot 4^2 + 8 \cdot 6^2 + 4 \cdot 8^2]} = 2\sqrt{11} \approx 6.633.$$

Заради збереження симетрії можна побудувати віддаль від початку координат користуючись правилом:

Мінімальна відстань між векторами становить:
 $r_{\text{вн}}=2,000$, а зовнішня – $r_{\text{зовн}}=\sqrt{2}\approx 1,414$. Віддаль становить
 $\Delta_{3M} \approx 0,586 > \Delta^{16\text{QAM}} > \Delta^{64\text{QAM}} > \Delta_{\text{ном}}$, краще ніж при обертання навколо початку координат.
 об об

Коефіцієнти нормування віддалення від центру визначаються згідно зміщенню проти, а також за годинниковою стрілкою. Координати векторів першого квадранта:

$$\begin{aligned}
\text{[I]} \quad R &= R_0 + (+1 + i), \\
\text{[II]} \quad R &= R_0 + (-1 + i), \\
\text{[III]} \quad R &= R_0 + (-1 - i), \\
\text{[IV]} \quad R &= R_0 + (+1 - i).
\end{aligned}
\tag{2.9}$$

Мінімальна відстань між векторами становить:
 $r_{\text{вн}}=2,000$, а зовнішня – $r_{\text{зовн}}=\sqrt{2}\approx 1,414$. Віддаль становить

$\Delta_{\text{зМ}} \approx 0,586 > \Delta_{\text{об}}^{16\text{QAM}} > \Delta_{\text{об}}^{64\text{QAM}} > \Delta_{\text{ном}}$, краще ніж при обертання навколо початку координат.

Коефіцієнти нормування віддалення від центру визначаються згідно зміщенню проти, а також за годинниковою стрілкою. Координати векторів першого квадранта: 16QAM: $\{2 + 2i; 2 + 4i; 4 + 2i; 4 + 4i\}$;

$$64\text{QAM}: \begin{cases} 2+2i; 2+4i; 2+6i; 2+8i \\ 4+2i; 4+4i; 4+6i; 4+8i \\ 6+2i; 6+4i; 6+6i; 6+8i \\ 8+2i; 8+4i; 8+6i; 8+8i \end{cases}
\tag{2.10}$$

Визначаємо коефіцієнти нормування з (2.4):

$$k_{\text{S від}}^{16\text{QAM}} = \sqrt{\frac{1}{2^{4-2}} [4 \cdot 2^2 + 4 \cdot 4^2]} = 2\sqrt{5} \approx 4.472.
\tag{2.11}$$

$$k_{\text{S від}}^{64\text{QAM}} = \sqrt{\frac{1}{2^{6-2}} [8 \cdot 2^2 + 8 \cdot 4^2 + 8 \cdot 6^2 + 8 \cdot 8^2]} = 2\sqrt{15} \approx 7.746.$$

Окрім простого зміщення, можна застосовувати компактніші модифікації зміщення, приклад відображений на рис. 2.2д, але вони складніші в реалізації. Координати векторів для першого квадранта компактної віддалі:

$$\begin{aligned}
&16\text{QAM}: \{2i; 2 + 2i; 4 + 4i\}; \\
&64\text{QAM}: \begin{cases} 2i; 4i; 6i; 8i \\ 2+2i; 2+4i; 2+6i \\ 4+2i; 4+4i; 4+6i; 4+8i \\ 6+2i; 6+4i; 6+6i \\ 8+6i; 8+8i \end{cases}
\end{aligned}
\tag{2.12}$$

Виходячи з (2.4) визначаємо коефіцієнти нормування:

$$k_{S \text{ від.комп}}^{16QAM} = \sqrt{\frac{1}{2^{4-2}} [3 \cdot 2^2 + 3 \cdot 4^2]} = \sqrt{15} \approx 3.873. \quad (2.13)$$

$$k_{S \text{ від.комп}}^{64QAM} = \sqrt{\frac{1}{2^{6-2}} [7 \cdot 2^2 + 9 \cdot 4^2 + 7 \cdot 6^2 + 5 \cdot 8^2]} = \sqrt{\frac{93}{2}} \approx 6.819.$$

Слід зазначити, що кожний попередній випадок потребує збільшенню максимальної амплітуди відокремлених векторів.

Представлена схема має меншу максимальну амплітуду:

$7\sqrt{2} - \sqrt{2}(37 + 6\sqrt{2}) \approx 0,361$., не потребує складних перетворень та залишається симетричною.

Базовий векторний простір складається з квадратних елементів, виходячи з цього кожний його елемент можна обертати на 45° окремо від інших елементів.

Рівняння перетворення:

$$\begin{cases} Q = Q_{ц} + r \cdot \cos(\alpha \pm \frac{\pi}{4}) \\ I = I_{ц} + r \cdot \sin(\alpha \pm \frac{\pi}{4}) \end{cases}. \quad (2.14)$$

де $(Q_{ц}, I_{ц})$ і (Q_0, I_0) – центри обертання та початкові координати вектору, для $\alpha \leq 2\pi$, $r = \sqrt{2}$ – радіус обертання.

Мінімальна відстань між векторами для всіх випадків:

$$r_{\text{вн}} = 2(2 - \sqrt{2}) \approx 1,172, \text{ а } r_{\text{зовн}} = \sqrt{r_{\text{вн}}} = \sqrt{2(2 - \sqrt{2})} \approx 1,082.$$

Віддалення складає $\Delta_{\text{об.гр}} \approx 0,090 > \Delta_{\text{зм}} > \Delta^{16QAM} > \Delta^{64QAM} > \Delta_{\text{ном}}$, що є ліпшим результатом у порівнянні з раніше розглянутими модифікаціями.

Координати векторів, першого квадранта обертання на 45° :

$$\begin{aligned}
 &16QAM: \{2 + (2 \pm \sqrt{2})i; (2 \pm \sqrt{2}) + 2i\}; \\
 &64QAM: \begin{cases} 2 + (2 \pm \sqrt{2})i; (2 \pm \sqrt{2}) + 2i \\ 2 + (6 \pm \sqrt{2})i; (2 \pm \sqrt{2}) + 6i \\ 6 + (2 \pm \sqrt{2})i; (6 \pm \sqrt{2}) + 2i \\ 6 + (6 \pm \sqrt{2})i; (6 \pm \sqrt{2}) + 6i \end{cases} \quad (2.15)
 \end{aligned}$$

Визначаємо коефіцієнти нормування:

$$k_{s \text{ об.гр}}^{16QAM} = \sqrt{\frac{2^2 + (2 + \sqrt{2})^2 + 2^2 + (2 - \sqrt{2})^2}{2^{4-2}}} = \sqrt{10} \approx 3.162. \quad (2.16)$$

$$k_{s \text{ об.гр}}^{64QAM} = \sqrt{\frac{8 \cdot 2^2 + 8 \cdot 6^2 + ((2 + \sqrt{2})^2 + (2 - \sqrt{2})^2 + (6 + \sqrt{2})^2 + (6 - \sqrt{2})^2)}{2^{6-2}}} = \sqrt{\frac{85}{2}} \approx 6.519.$$

Теоретичний результат при заміні на базовому векторі двох систем, двома системами на базовому та модифікованому векторах:

$$\delta = \frac{\Delta_6 - \Delta_m}{\Delta_6} \cdot 100\%, \quad (2.17)$$

де Δ_6 і Δ_m – віддалення базового та модифікованого векторних просторів.

В таблиці 2.1 наведений підсумок коефіцієнтів нормування, з таблиці виходить, що як найкраще використовується енергія спектру у віддаленні з використанням оптимізації.

За використання 64-QAM, приведений метод обертання групи відзначився невеликим погіршенням енергетичних характеристик при конкретному порівнянні з базовим векторним простором.

Таблиця 2.1 Коефіцієнти: нормування - k_s ; віддалення – Δ ; виграш – δ .

Векторний простір:	k_s^{16QAM}	k_s^{64QA}	Δ^{16QA} М	Δ^{64QA} М	δ^{16QAM} , %	δ^{64QAM} , %
Базовий	3,16 2	6,48 1	2,00 0		–	
Обертання на 45°	3,16 2	6,48 1	1,552	1,814	22,4	9,3
Зміщення	3,46 4	6,63 3	0,58 6		70 ,7	
Віддалення	4,47 2	7,74 6				
Компактне віддалення	3,87 3	6,81 9				
Обертанням групи на 45°	3,16 2	6,51 9	0,09 0		95 ,5	

При підвищенні рівню завад, також підвищується кількість помилок прийому сигналу. Як варіант для кожного вектору зменшити селективність фільтра, проте такий варіант призведе до того, що кількість помилок при такому зменшенні збільшиться на модифікованому просторі векторів. Вирішити цю проблему можна, зробити налаштування модуляції з меншим коефіцієнтом k .

Простори векторів базового 16-QAM та модифікованого 64-QAM не перетинаються, тому не потрібно налаштовувати обидві системи[4].

Найкращою, з розглянутих модифікацій, можна вважати обертання групи, так як в цій модифікації симетрія нікуди не дівається, а максимальна амплітуда змінюється лише трохи, проста в перетворенні, рівномірно розподіляється у просторі та має можливість, вмістити третю модифікацію базового простору. На практиці можна не змінювати параметри підсилення вхідних частин, оскільки базовий векторний простір практично не має відмінностей від обертання групи.

Для подальшої оптимізації смуги частот, можна побудувати простір векторів третього та вище порядку. Наведена схема актуальна, навіть, для 256-QAM ($k = 8$) і 1024-QAM ($k = 10$).

2.2 Метод адаптивного підбору вільних каналів передавання даних в безпроводових мережах з використанням аналізаторів спектру.

Як варіант для вирішення зазначеної проблеми, можливий підбір не зайнятих каналів передавання даних, які підстроюються.

Алгоритм автоматичного вибору вільного каналу дозволяє сканувати спектр тільки в області розміщення ТБД, при цьому він не враховує особливості розташування клієнтів. ТБД розпочинає свою роботу обираючи най вільніший канал в місці його розташування, що частково сприяє покращенню роботи всієї мережі, при цьому не робить її оптимальною, оскільки алгоритм не враховує такі параметри в мережі: поляризація, висота розташування, екранування, відбивання, переміщення користувача.

Щоб обрати оптимальний частотний канал для передачі даних, наряду з існуючими бездротовими адаптерами, область видимості яких часто обмежена лише мережами стандарту IEEE 802.11, раціонально буде застосувати аналізатори спектру.

Ця система буде складатися з ТБД, чи в інших випадках з роумінгу, клієнтів, аналізаторів спектру, вони підключаються провідним шляхом до контролерів або до клієнтів.

Таблиця 2.2 Рівні якості сигналу для ТБД

Рівень сигналу, дБмВт	Якість	Технічні характеристики
менше -90	Неприпустима	Близький до шуму обладнання та фону. Будь-яка робота малоімовірна
від -90 до -81	Погана	Мінімальний рівень сигналу для підтримки цілісності мережі. Доставка пакетів може бути ненадійним
від -80 до -71	Прийнятна	Мінімальний рівень сигналу для надійної доставки пакетів, наприклад, електронної пошти, мережі
від -70 до -67	Дуже добра	Сила сигналу для програм, що вимагають дуже надійної, своєчасної доставки пакетів даних, наприклад, потокове аудіо і відео
більше -67	Відмінна	Максимально досяжний сигнал. Клієнт знаходиться в декількох метрах від передавача. Нетипова ситуація

На рис. 2.3, показана схема в якій аналізатор спектру включений або ж виключений на стороні ТБД. Пунктирною лінією показано аналізатор спектру, при цьому він під'єднаний чи є його частиною.

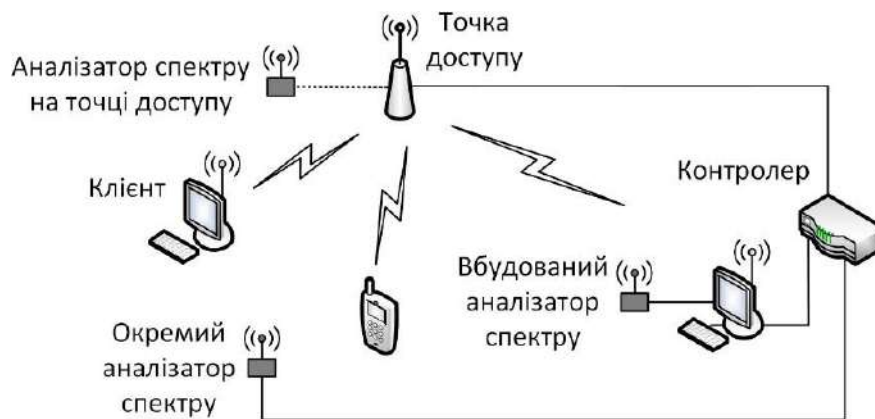


Рис. 2.3. Аналізатори спектру у схемі

Схема складається з:

- контролеру, в його обов'язок входить розподіл каналів і навантажень у мережі;
- ТБД, яких може бути декілька, дані збираються з аналізаторів спектру або з внутрішнього безпроводового інтерфейсу, опрацьовані дані надсилаються контролеру;
- клієнта, з мережі якого збираються данні та відправляються до контролеру;
- окремого аналізатора спектру, який включає в себе Ethernet-інтерфейс та передає дані безпосередньо до контролера.

Аналізатор спектру передає контролеру інформацію про список каналів з мінімальним рівнем сигналу. Також контролер отримує інформацію від мережевих карт. Кожен аналізатор спектру має свій власний ваговий коефіцієнт, який залежить від його розташування та важливості.

Контролером обирається вільний канал для окремої ТБД, та запускає передачу по новому каналу. Після цього відбувається повторний процес. На рисунку 2.4 наведеному нижче показаний алгоритм збору даних.

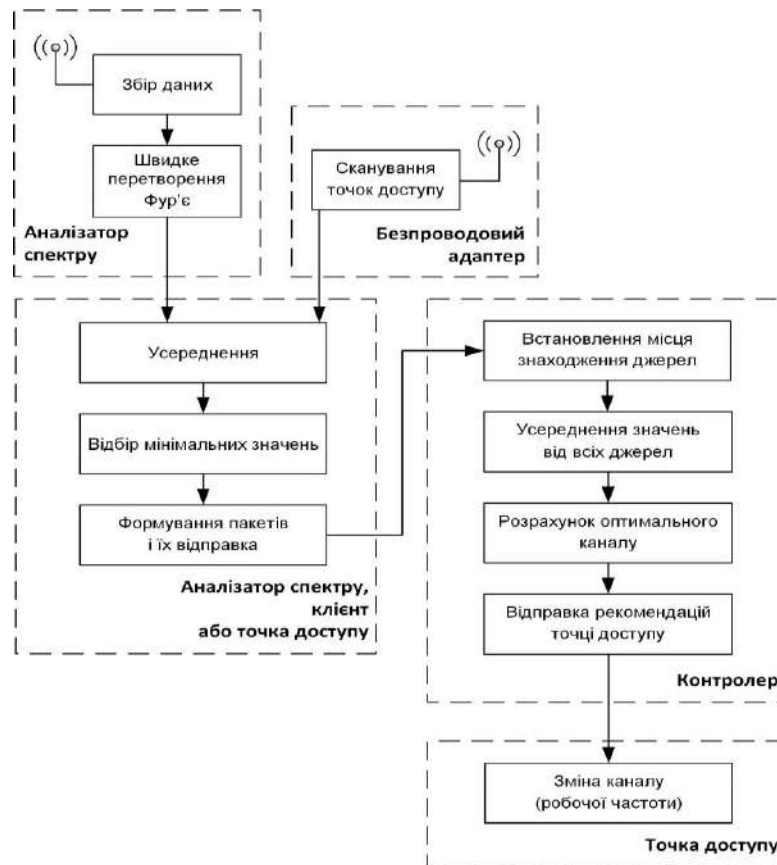


Рис. 2.4. Алгоритм динамічного розподілу каналів

Рівень сигналу, в каналі j може бути обчислений виходячи з формули:

$$L_j^{ch} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{ij}. \quad (2.18)$$

де ch – номер каналу; N – кількість точок, що належать одному каналу; L_{ij} – вимірювання в i -й точці для j -го каналу. При проходженні циклу вимірювання потрібно проводити опитування, щонайменше 100 разів, у кожній точці. Суттєвим покращенням виміру буде використання середнього значення, замість L_i .

Середній рівень сигналу розраховується за формулою:

$$L_{з\text{овн}}^{ch} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \mu_j L_j^i. \quad (2.19)$$

де M – кількість спектроаналізаторів; μ_j - важливість конкретного пристрою; L_j^{ch} – середній рівень сигналу для конкретного пристрою з (2.19).

Середній рівень сигналу від вбудованого бездротового адаптеру, що надходить через рівні каналів, визначатиметься за формулою:

$$L_{\text{ВН}}^{\text{ch}} = \frac{1}{H} \sum_{j=1}^H \mu_j \cdot \sum_{k=1}^K v_k^{\text{ch}} L_k \quad (2.20)$$

де H – кількість вбудованих бездротових адаптерів; K – кількість сканованих ТБД; v^{ch} – коефіцієнт перетину каналів через ширину каналу 20 МГц і інтервал між каналами – 5 МГц; L_k – рівні сигналу до k -ї безпроводової мережі.

Таблиця 2.3 Коефіцієнти перетину каналів

$ ch-k $	0	1	2	3	>4
v_k^{ch}	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0

Нижче наведені способи створення портативних аналізаторів спектру:

1. Приймач і блок управління, як окремо так і разом, на одному чіпі.
2. Приймач з визначеним рівнем сигналу на двох станах і блоці управління.
3. Інтегровані клієнтські бездротові карти.

Аналізатори спектру повинні приводити данні до єдиного формату, ще на етапі збору інформації. Тому що, система може містити різні типи обладнання, які в свою чергу працюють з різною швидкістю та точністю виміру. Аналізатори спектру можуть буди:

З розділеним або з вбудованим приймачем та модулем управління з USB, та третій варіант – розділений приймач с модулем управління з Ethernet.

Два перших типів аналізаторів спектру, можуть працювати як з клієнтом, чи ТБД, або навіть окремо. Третій тип аналізаторів спектру використовується тільки окремо.

На рис. 2.5 проілюстровано схему підключення модуля і живлення пристрою. Робота даного пристрою можлива з контролером, який в свою чергу отримує дані через USB - інтерфейс.

На екранах спостерігати діапазон від 2400,01 до 2503,40 МГц з інтервалом в 405,5 кГц. На етапі реалізації спектрального аналізатора, на єдиному чіпі обрав Pololu Wixel, оскільки він має 4 КБ оперативної пам'яті, що вже краще. Тому що в при виборі варіанту з 2 КБ, виявилось, що цього об'єму не достатньо для курування блоком управління.

Pololu Wixel має ненаправлену антену, та споживає майже у п'ять разів менше енергії.

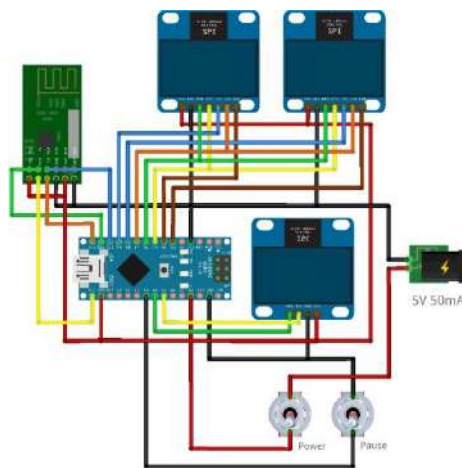


Рис. 2.5. Схема розділеного приймача і блоку управління

На рис. 2.6 і 2.7 показано схему з'єднання модуля живлення пристрою. Придивившись до екранів, можемо спостерігати діапазон 2403,47–2476,50 МГц з інтервалом в 286,4 кГц, також на екран виводиться інформація про рекомендований канал Wi-Fi і ZigBee, які в свою чергу обчислені за формулою (2.14).

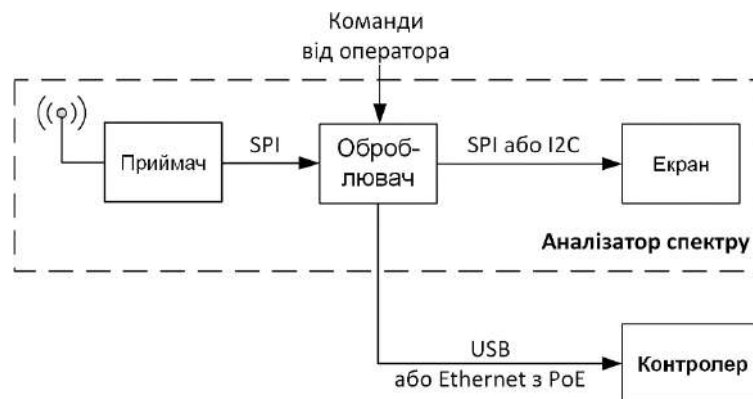


Рис. 2.6. Схема розділеного приймача і блоку управління

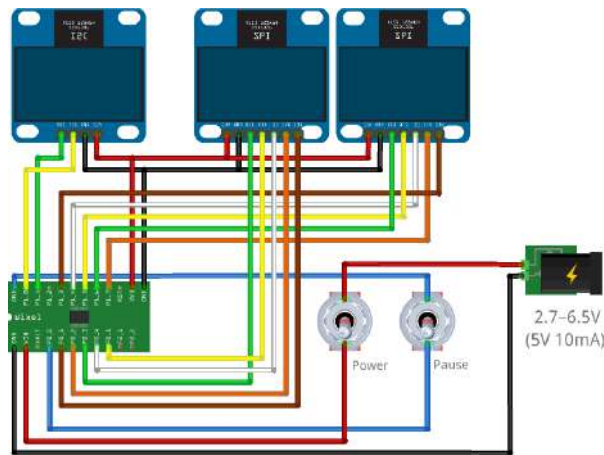


Рис. 2.7. Схема приймача і блоку управління на одному чіпі

Також його можна використовувати проводячи оцінки сигналу та модуля, сам рівень сигналу визначається за допомогою оцінки непрямих методів.

Планується на nRF24L01 та використовувати основи Raspbian для вбудованих систем на платформі Raspberry Pi. Обраний прототип аналізатору спектру, пристосований до Broadcom BCM2837 SoC ядро з прапорами `-march = armv8-a + crc -mtune = cortex-a53 -mfpu = neon-fp-armv8`. Для запуску пристрою використовуємо програмне забезпечення з бібліотеки RF24.

Мікроконтролер nRF24L01, приймає данні маюче лише один прапор, в свою чергу це означає, що рівень сигналу який приймається вище або нижче – 64 дБмВт.

Для вимірювання 128 точок, сканування проводиться кожні 976,5625 кГц, потрапляючи в діапазон 2,400–2,525 ГГц.

На екрані відображаються результати реалізації розрахунку точок вимірювання. У командному рядку можемо спостерігати масив з 128 значень, оскільки ми мали 128 точок для виміру.

Аналізатори спектру, що використовуються в бездротових мережах з системою адаптивного підбору вільних каналів, можуть містити декілька сегментів, при чому вони розділенні фізично або каналами.

Нам ж це дає можливість масштабувати систему, використовуючи роумінг але це накладає свої обмеження:

1. Розташування стаціонарних сегментних систем поряд з користувачами.
2. ДС антени повинна наблизитися до сферичної.
3. Для передачі результатів повинні використовуватися безпроводові або проводові канали зв'язку, які виходять за межі об'єкту сканування частотного діапазону.
4. Потрібне для автономної роботи мінімальне енергоспоживання.

Реалізував підсистему аналізу даних, використовуючи схеми та алгоритми, для бездротових систем, стандарту IEEE 802.11. Наведено на рис.

2.8.

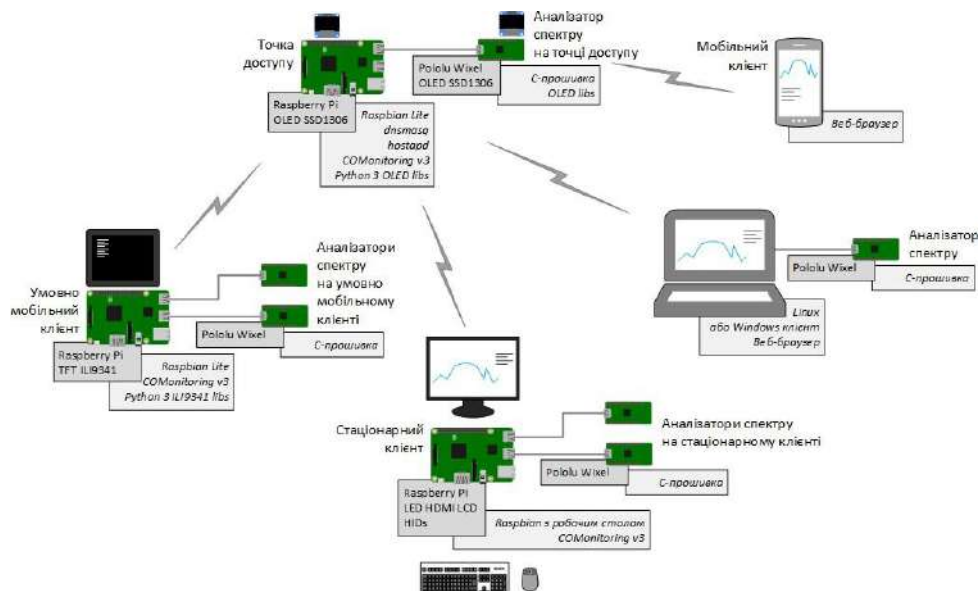


Рис. 2.8. Підсистеми, системи моніторингу
Бездротова система може перебувати в трьох становищах:

- режим регулярної роботи;
- критичний режим;
- відмова обслуговування.

При введенні в бездротову систему, ймовірність критичного режиму зменшується, тому що з перенавантажених ТБД, абонента перенаправляють на сусідні, менш, завантажені. Це відбувається не при настанні максимального рівню сигналу, побудова подібного алгоритму для роботи з навантаженням, можуть виявитися значно складнішими. [7].

Формула ефективності для безпроводової системи:

$$K = E / C, \quad (2.21)$$

де E – ефективність, а C – вартість.

Формула для розрахунку вартості звичайної системи:

$$C = P_{\text{інф}} + P_{\text{обсл}}, \quad (2.22)$$

де $P_{\text{інф}}$ – вартість інфраструктури; $P_{\text{обсл}}$ – вартість обслуговування.

Вартість системи з включенням мініатюрних аналізаторів спектру, при урахуванні 2.22:

$$C_{sa} = P_{\text{інф}} + P_{\text{обсл}} + P_{AC} = C + P_{AC}, \quad (2.23)$$

де P_{AC} – вартість підсистеми з аналізаторами спектру.

Вартість обслуговування залишається незмінною, то що вона формується з постійної зарплатні.

Поділимо абонентів на три категорії:

- рухомі – телефони, планшети;
- умовно рухомі – ноутбуки або інші схожі за функціоналом пристрої;
- нерухомі – персональні, стаціонарні машини(комп'ютери).

Зазначимо кількість рухомих як $N_{\text{рух}}$, умовно рухомих – $N_{\text{умов}}$ і нерухомих – $N_{\text{нерух}}$. Загальна кількість рухомих приблизно дорівнює загальній кількості умовно рухомих та нерухомих.

Оскільки більшість працівників має мобільний термінал:

$$N_{\text{рух}} \approx N_{\text{умов}} + N_{\text{нерух}}. \quad (2.24)$$

Розрахунок вартості підсистеми з аналізаторами спектру:

$$P_{AC} = (N_{умов} + N_{нерух})P_{AC}^* + P_{конт}, \quad (2.25)$$

де P_{AC}^* – вартість одного аналізатора спектру, $P_{конт}$ – вартість контролера, даний контролер аналізує дані з всіх аналізаторів спектру, збирає їх та відправляє рекомендації основному контролеру. Рухомі абоненти не рахуємо/

Кількість абонентів впливає на вартість інфраструктури:

$$P_{інф} \sim N_{рух} + N_{умов} + N_{нерух} + N_{гост}, \quad (2.26)$$

де $N_{гост}$ – кількість гостьових абонентів.

σ - показник відкритості безпроводової системи:

$$N_{гост} = \sigma N_{рух}. \quad (2.27)$$

Тоді з 2.24, 2.26 і 2.27 отримуємо повну кількість абонентів:

$$N \approx (2 + \sigma)(N_{умов} + N_{нерух}). \quad (2.28)$$

Ефективність звичайної безпроводової мережі залежить від доступу абонента до ТБД:

$$E \sim T_a^{\min} = \frac{\Delta T}{N^{\max}}, \quad (2.29)$$

де ΔT – розмір часового вікна передавання, N^{\max} – максимально можлива кількість абонентів до однієї точки доступу.

Ефективність безпроводової мережі з використанням аналізаторами спектру:

$$E \sim \frac{N_{ТБД}}{N} \Delta T, \quad (2.30)$$

де $N_{ТБД}$ – кількість ТБД.

Розрахунок якості роботи використовуючи коефіцієнти ефективності [10]:

$$\frac{K}{K_{AC}} = \frac{E \cdot C_{AC}}{E_{AC} \cdot C} = \frac{N}{N_{ТБД}} \cdot \frac{1}{N^{\max}} \cdot \left(1 + \frac{P_{AC}}{P_{інф} + P_{обсл}} \right). \quad (2.31)$$

Висновки до другого розділу

Для зменшення взаємних завад у бездротових мережах, була розроблена модифікація прямокутної квадратурної амплітуди. Модифікація області амплітудно-фазового сузір'я дала змогу покращити їх електромагнітну сумісність бездротового доступу до абонента. Різниця між існуючими варіантами стало, підвищення теоретичної розв'язки сузір'я, які знаходяться поруч, на 4.5%

Сформовано методику для підбору вільних каналів, що передають данні в бездротових мережах. Використання аналізаторів спектру, дало змогу зробити метод адаптивним, так як аналізатори спектру, додані в існуючі мережі, отримували та аналізували інформацію про стан ефіру. Це дозволило в реальному часі відстежувати завади та інший вплив на систему, тим самим дозволило забезпечити стійкість бездротових систем до даного впливу.

3 ОЦІНКА ЗМЕНШЕННЯ ВЗАЄМНОГО ВПЛИВУ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ В РОБОТІ МЕТОДИКИ

Для підтвердження працездатності в бездротових мережах передавання даних модифікованого методу адаптивного підбору вільних каналів, проведемо оцінку/експеримент, в ході якої отримали б підтвердження працездатності. В самому початку обираємо доступні аналізатори спектру, зупинимось на аналізаторах які представляють компанії Texas Instruments (TI), та Cypress.

Розглянемо деякі апаратні реалізації аналізаторів спектру основані на базі:

мікроконтролера з USB-інтерфейсом CC2500; модуля CC2500 (USB); модуля CYWUSB6935 (LPT); модуля CYWUSB6935 (USB).

3.1 Реалізація технології взаємного впливу на базі мікроконтролерів.

Використаємо апаратний аналізатор спектру, щоб провести аналіз цілісності передавання даних. Його сконструйовано на радіочастотному трансивері - Chipcon CC2500. Схему пристрою показано на рис. 3.1.

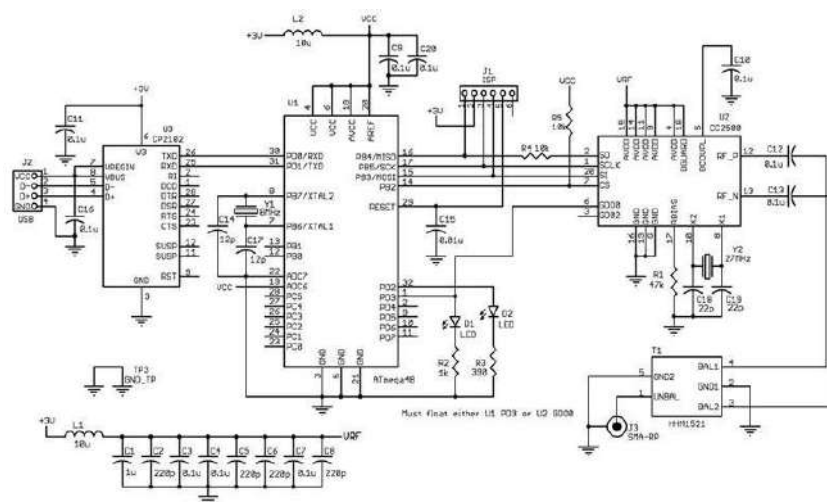


Рисунок 3.1 Схему пристрою

Результат роботи аналізатора спектру представлені на рис. 3.2.

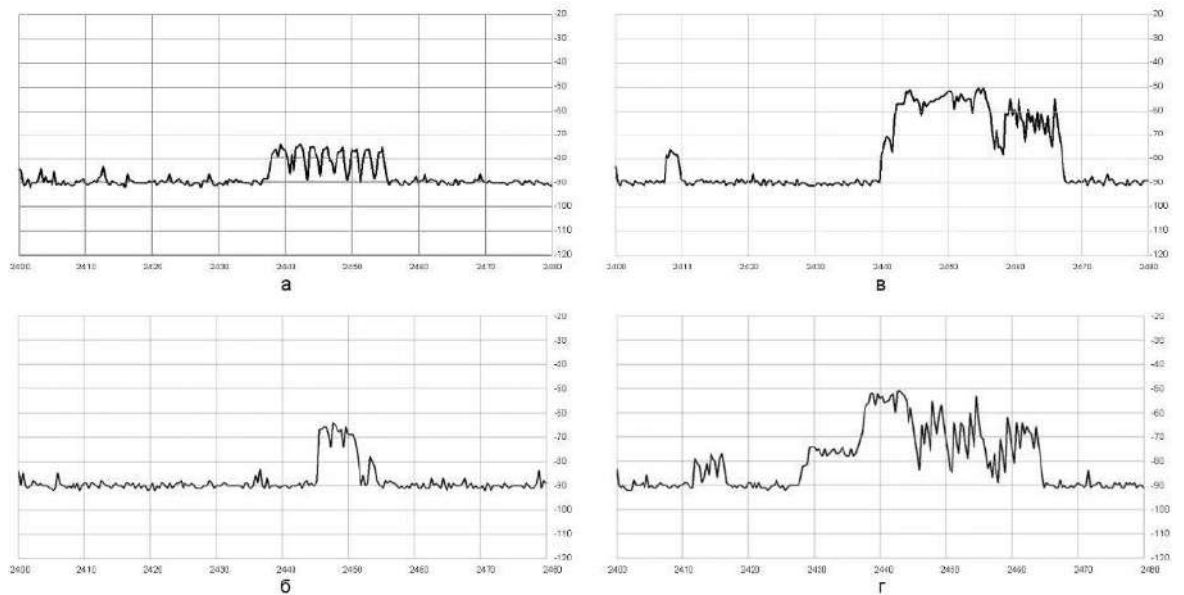


Рис. 3.2. Аналіз спектру, отриманого від Chirson CC2500: а – без використання антени і екрану; б – з використанням екрану, але без антени; в – з використанням антени, але без екрану; г – з використанням антени і екрану.

Використаємо мікросбірку CYWUSB6935, щоб реалізувати аналізатор спектру на основі супергетеродинного принципу [6]. На рис. 3.3 показано принципову схему.

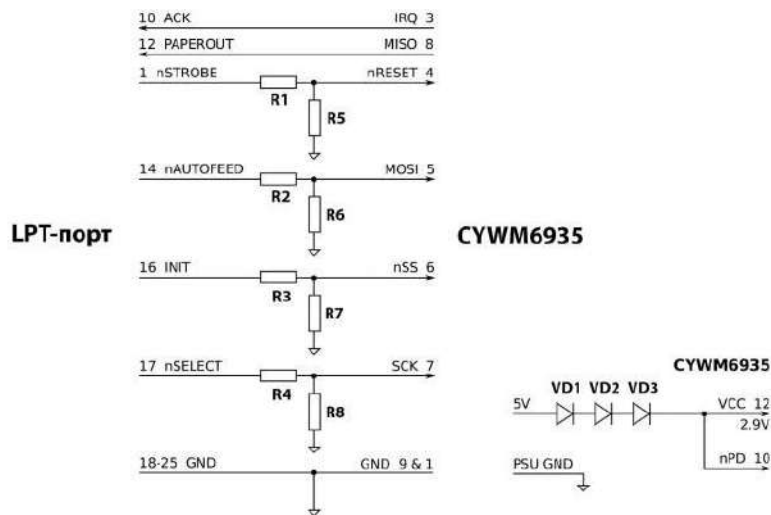


Рис. 3.3. Схема електрично принципова, під'єднання CYWUSB6935

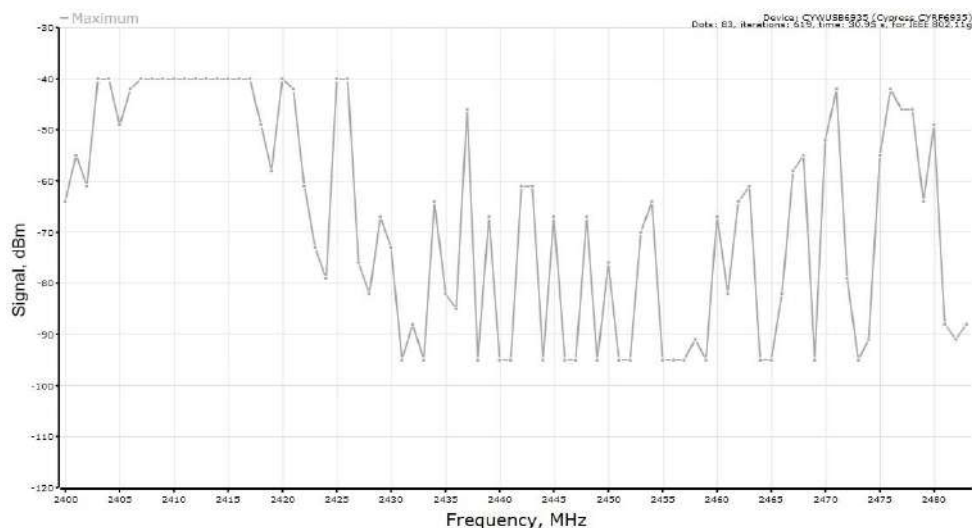


Рис. 3.4. Результат обробки даних, отриманих від аналізатора спектру, на модулі CYWUSB6935

Даний варіант має конкретні недоліки, а саме потреба в додатковому живленні. Живлення подавалось через USB порт.

На рис. 3.5 представлена схема електрична принципова аналізатору спектру. Мікроконтролер оснащений стабілізатором напруги, буфером пам'яті і приймачем, нам лише залишається під'єднати до його виходів 15 та 16 USB кабель. Також є потреба в підключенні на 14 вихід конденсатора, для фільтрації напруги 3,3 В.

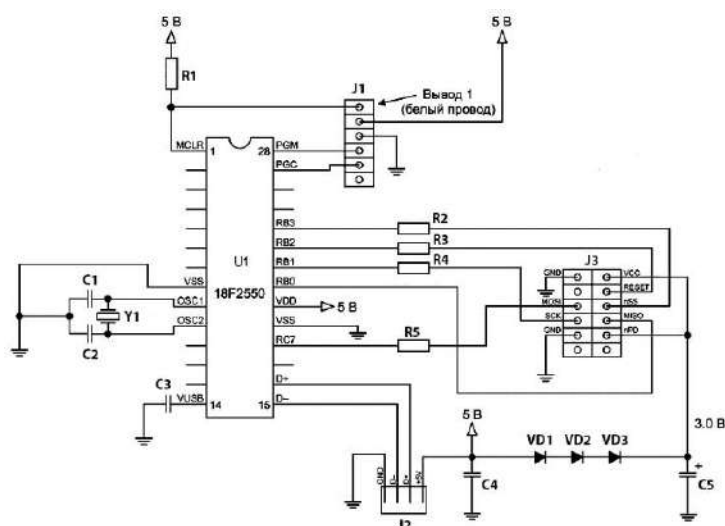


Рис. 3.5. Схема електрично принципова на модулі керування CYWUSB6935

Кварцовий резонатор з частотою 20 МГц та підключеними навантажувальними конденсаторами з ємністю 15 пФ, здійснюють тактування мікроконтролера. Щоб отримати потрібну робочу частоту для фазового автопідлаштувача, дільник який знаходиться в мікроконтролері, ділить тактову частоту на 5, для того щоб отримати результат в 4 МГц. На цій частоті працюють USB інтерфейс і ядро.

Оскільки схема потребує незначних показників струму, живлення подається через USB інтерфейс. Щоб жити радіомодуль потрібна напруга 2,7 – 3,6 В. Напругу отримуємо за допомогою послідовних діодів IN4001, так як на них буде падати приблизно 0,7. Маємо дешевий, простий та надійний результат.

3.2 Порівняння сучасних аналізаторів спектру.

Low-Cost Spectrum Analyzer (LCSA), використаємо цю програму для аналізаторів спектру. В першу чергу, перед початком роботи ПЗ, встановимо драйвер для мікросхеми. Потім підключаємо аналізатор спектру, відбудеться встановлення драйверів та запуск самої програми. Опрацювавши ці пункти ПЗ почне, після збору даних, показувати діапазон спектра на частоті 2,4 ГГц.

ПЗ показане на рис. 3.6.

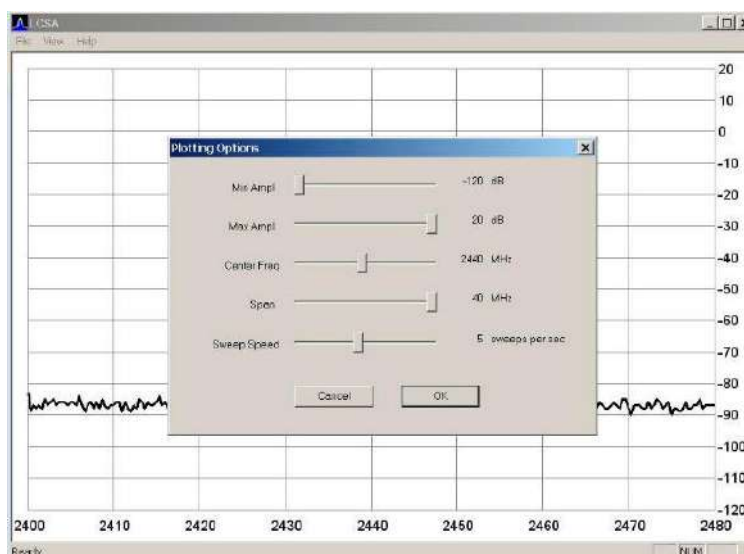


Рис. 3.6. Головні функції ПЗ LCSA

Після підключення сканера, у вікні програми спостерігаємо спектр сигналу у діапазоні 2,4 ГГц. Спектр відображає фоновий шум з шумом самого CYWUSB6935, при умові, що поряд не буде бездротових пристроїв з ISM-діапазоном.

Не відкалібрований рівень сигналу показує радіомодуль. Показаний на рис. 3.7 спектр сигналу, показує роботу точки доступу маршрутизатора, який налаштований на канал з частотою 2,447 ГГц, та розташовується на відстані до 10 метрів.

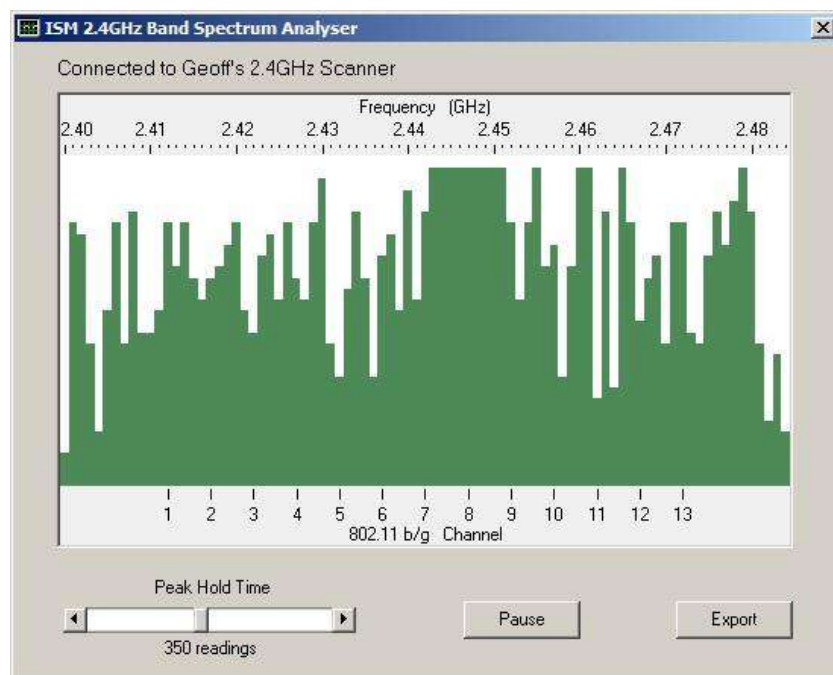


Рис. 3.7. Спектр сигналу бездротового маршрутизатора

Результат роботи аналізатора спектру, який розташований у ближній зоні, для передавання даних показаний на рисунку 3.8.

Спостерігаємо, що варіант з суцільної збірки має найкращий результат роботи.

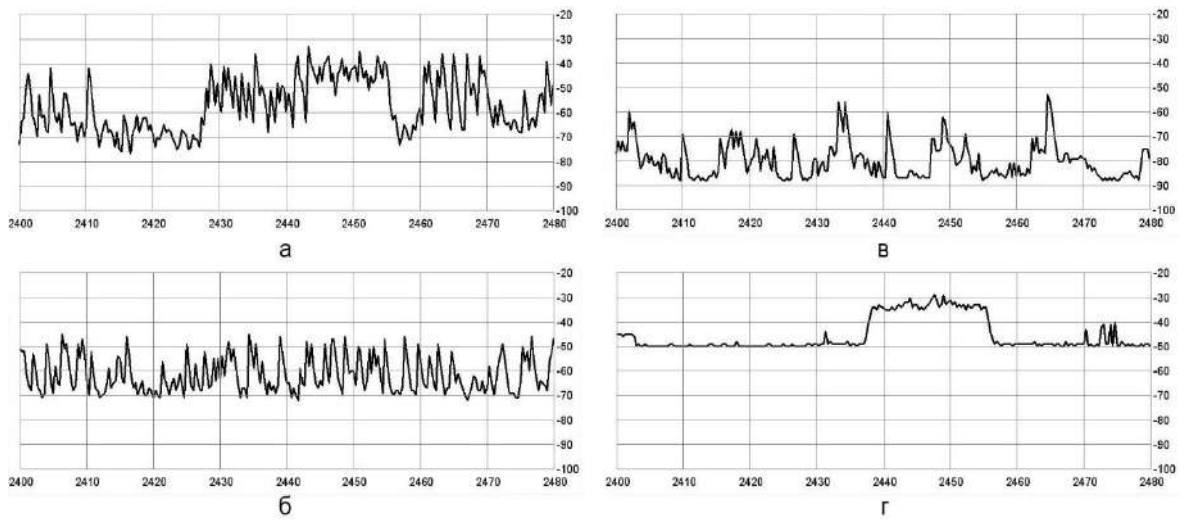


Рис. 3.8. Приклади спектрів для різних збірок:

а – Bluetooth для модульної; б – Bluetooth для суцільної; в – Wi-Fi для модульної; г – Wi-Fi для суцільної

3.3 Оцінка технології моніторингу вільних каналів передавання даних в безпроводових мережах.

Критерії надійності систем моніторингу:

- кількість помилок на протязі 10 годин безперервної роботи;
- кількість невдалих відключень модулів за 30 спроб;
- кількість невдалих підключень модулів за 30 спроб.

Система моніторингу за своїми принципами схожа на сенсорні бездротові мережі. Системи подібного типу повинні працювати на протязі великої кількості часу. Виходячи з цього, системи потребують надійності на довгому відрізку часу.

Нам вистачить і 10 годин безперервної, активної роботи. В результаті обидві системи працювали без помилок. Помилки зв'язаних з процесами роботи не було виявлено.

Система моніторингу першого виду, добре впоралась з іншими тестами.

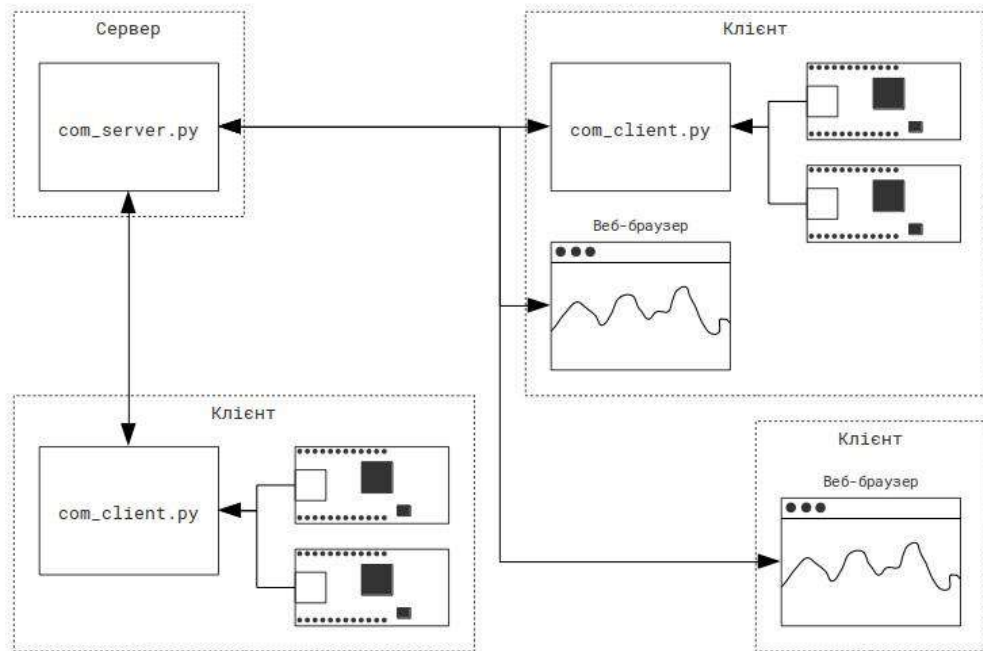


Рис. 3.9. Перший варіант системи моніторингу

Також було проведено, одночасно, від'єднання та під'єднання модуля у системі, за допомогою включеного в систему моніторингу. Для операцій не було отримано помилок, це добре.

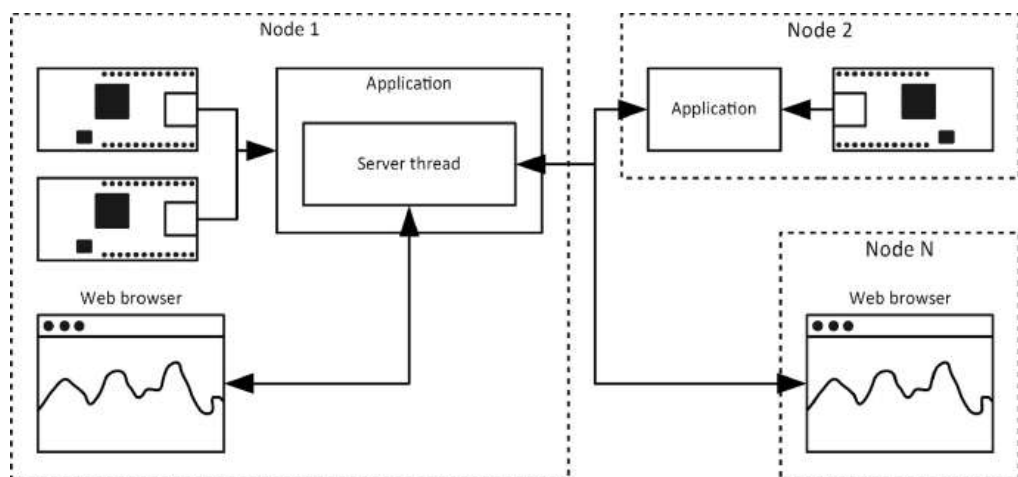


Рис. 3.10. Веб-інтерфейс першої версії системи моніторингу

В більшості випадків від'єднання модуля під час роботи призводило до появи критичних помилок та повної зупинки роботи. А ось з під'єднанням ситуація інша, приблизно в 4 випадках з 10 виникали критичні помилки. Але такі результати не підходять для реалізації надійної системи моніторингу.

Друга версія, як і перша, непогано себе показала при тестуванні. Це обумовлено використанням потоків, кожен модуль виконував свою роботу окремо, тому помилки які виникали або могли з'явитися, не мали вплив на працездатність на всієї системи. В ході тестування з під'єднанням та від'єднанням модулів до системи, помилок не було виявлено.

Також проводимо тест другої версії системи моніторингу. Оскільки данна варіація також відповідає всім параметрам, потрібно провести тестування. Задача тесту, перевірити коректність відключення вузла від системи, та перевірити наявність помилок. В результаті система впоралась майже бездогано, час затрачений на реагування 1-4 секунди.

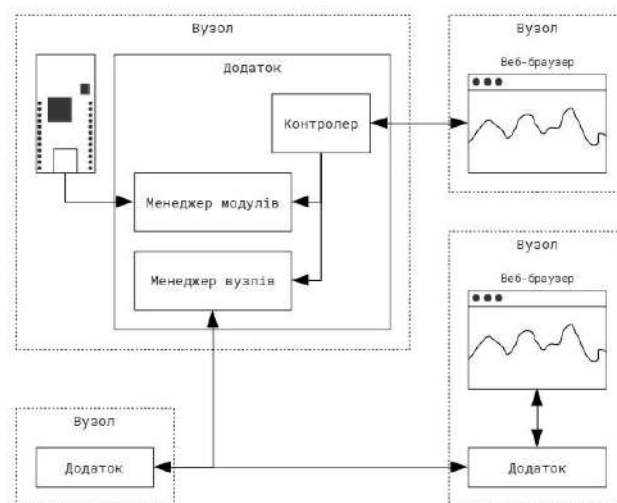


Рис. 3.11. Схема другої системи

Виходячи з результатів перевірки перша система впоралась добре, не зважаючи на існуючі проблеми та просту логіку. Друга версія відзначилась довгою та стабільною роботою без під'єднання та від'єднання модулів, а також краще за першу впоралась із роботою при навантаженні та збоями. Система

стала стабільнішою. Проста архітектура, підвищила надійність і безвідмовність.

Під час виконання своєї роботи, система має обробляти велику кількість вузлів та їх модулів. Для різних ситуацій моніторингу, система може мати різну інфраструктуру. Тому одним з головних параметрів є гнучкість системи, так як для різних систем можуть знадобитися різні рішення. Апаратний ресурс з навантаженням також є важливими.

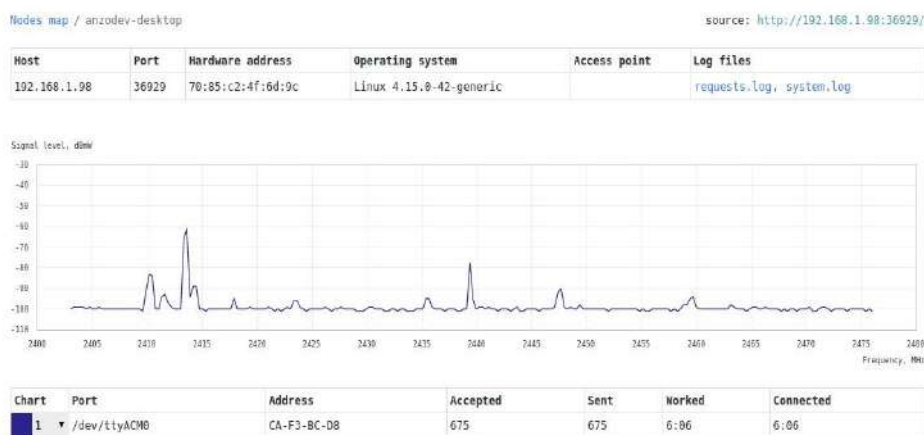


Рис. 3.12. Веб-інтерфейс другої версії системи моніторингу.

Перша версія при тестуванні мала одночасно опрацьовувати приблизно 5 абонентів з 5 модулями на них. Оскільки вона мала проблеми з архітектурою та логікою, при 10 тестах підключення абонентських додатків, система майже в 8 випадках закінчувала роботу з критичними помилками. Виходить, що ми можемо під'єднати до системи більше 5 модулів, але який в цьому сенс, якщо система не працює коректно.

Навантаження тестувалося на процесорі Intel Core i5 3317U. Даний процесор побудований за технологією 22 нанометри та має тактову частоту 1,7 ГГц. В результаті ми мали навантаження понад 80%, воно виникало в наслідок не ефективного зчитування даних.

Показники використання пам'яті в системі моніторингу на прийнятному рівні. Навантаження створене системою не є прийнятним для використання на такій апаратній і програмній частині. Виходячи з проведених тестів, система

маючи значне навантаження не зможе працювати на мікрокомп'ютерах, також систему не можна масштабувати.

Тестування другої версії відбувалося уже з використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Інфраструктура в цей раз змогла витримувати одночасну роботу більше ніж 5 вузлів. Остаточне масштабування повністю залежить від точки доступу з мережевим обладнанням. Так як система може бездоганно працювати з великою кількістю вузлів. Використавши інший метод збору даних, зменшили навантаження процесора приблизно до 3%. При використанні стаціонарних, потужних, комп'ютерів даний показник не перевищував 1,5%. Кількість підключень до вузла, не змінює навантаження. Система відміно використовує ресурси та не має негативного впливу на надійність.

Як результат, друга версія має найефективніші показники. Вона чудово реагує на масштабування, тобто вона є надійною та захищеною. І навіть з такими результатами систему можна покращити.

Висновки до третього розділу

В даному розділі було проведено тестування методик розроблених в попередньому розділі. Для перевірки їх роботи було проведено тестування двох збірок з використанням стороннього ПЗ.

Як результат маємо те що розроблені методики можуть бути інтегровані, так як системи з низькобюджетними аналізаторами спектру, показали себе досить надійними і захищеними. Вони відміно масштабуються та мають чудові показники навантаження 2%.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
підвищення ефективності захисту БП МПД від взаємних завад за рахунок використання запропонованої в роботі методики	Забезпечення підвищення захищеності від завад	Відповідне апаратне забезпечення

Таблиця 4.2 . Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції Конкурентів			W(слабка сторона)	N(нейтральна сторона)	S(сильна сторона)
	НАШ проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
Впровадження в існуючі мережі	Цінні папери 5%	\$3,400,000 for 30% equity	20% в компанії	Користувачу необхідне обладнання	Різні мережі для встановлення	Дешевизна та надійність

Таблиця 4.3 . Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
підвищення ефективності захисту безпроводових мереж передавання даних від впливу взаємних радіозавад	Реалізовано в системах з аналізаторами спектру	Технологія частково наявна. Дану технологію можна доробити.	Доступна автору проекту.

Таблиця 4.4 . Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика.
Кількість головних гравців, од	4
Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	<100 000\$ в місяць.
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Більш швидкі конкуренти.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	PCI DSS
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50%

На ринку присутні конкуренти, які можуть почати розробляти щось схоже на наш продукт, але в них не буде нашої технології – тому ми зможемо швидше і з меншими зусиллями вийти на ринок та захопити його.

Таблиця 4.5 . Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Стійкість до завад	Розробники апаратури	Продаж технології зменшення завад	Надійність

Наші цільові клієнти як і ринок, потребують мій продукт, оскільки радіопристроїв все більше та більше, а отже вільний простір без взаємних завад закінчується.

Таблиця 4.6. Бізнес модель.

Споживчий сегмент.	Ціннісна пропозиції:	Канали збуту
<p>Проблему вирішуємо: задоволення певних фізичних, інтелектуальних, соціальних і культурних потреб.</p> <p>Обслуговуємо: Компанії що розробляють радіоапаратуру</p> <p>Масовий ринок, багатобічні платформи.</p>	<p>Перевага яку ми пропонуємо покупцю: Дешевий та надійний варіант подолання взаємних завад.</p>	<p>Через прямий договір з потенційними клієнтами або свого роду маркетплейс.</p>
Відносини з клієнтами.	Потоки надходження доходу.	Ключові ресурси.
<p>Дружні, партнерські.</p>	<p>Продаж та підтримка уже виготовлених систем.</p> <p>А також модифікація.</p>	<p>Людські та матеріальні активи (техніка для реалізації продукту). Інтелектуальна власність продукції.</p>
Ключові види діяльності.	Ключові партнери.	Структура витрат.
<p>розробка та модифікація, для покращення та актуалізації.</p>	<p>Стратегічне співробітництво між неконкуруючими</p>	<p>З переважною увагою до витрат;</p>
<p>старих (у грі). Комунікація з партнерами.</p>	<p>Крупні компанії.</p>	<p>Змінні витрати. (150т.грн)</p>

Таблиця 4.7 . Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Устаріння (Застаріння з плином часом)	Неактуальність даної методики.	Модернізація проекту, змінення вектору розвитку. Доведення проекту до його актуальності
Фінансові проблеми (з інвесторами)	Непередбачені втрати інвесторів.	Пошук нових інвесторів
Привласнення інтелектуальної власності	Конкуренти візьмуть готовий продукт і будуть працювати з ним.(Головна ідея і інше)	Покращення вже існуючого продукту. Покращення захисту інтелектуальної власності всіма можливими способами.
Не прийняття технології	Не актуальність технології на даний час.	Реалізація іншого продукту на базі цього.

Як видно з таблиці, нашому проекту можуть завадити конкуренти, люди які не готові до такого продукту і час, з його плином ми можемо втратити актуальність.

Таблиця 4.8 . Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Поширення на інтернет площадках	Більша розповсюдженість продукт, як фактор більше потенційних клієнтів.	Нарощування медійної сили, та покращення продукту
Контракт та партнерство	Фінансування та покриття витрат.	Сумлінна співпраця над продуктом з партнерами, його покращення за допомогою технологій партнера.

На даний момент є різні компанії, які допомагають початковим проектам, беручи їх під своє крило. З цього впливає допомога в розробці, фінансова підтримка та маркетинг.

Таблиця 4.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Доступність по всьому світу. Розміщення проектів від інших розробників. Різноманітність контенту. Не велика ціна продукту. Мала кількість конкурентів у сегменті ринку з легким входом</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Користувачу необхідне обладнання. Велика початкова сума інвестицій. Неповна команда.</p>
<p>Можливості:</p> <p><u>Поширення на інтернет площадках:</u> Більша розповсюдженість продукт, як фактор більше потенційних клієнтів. <u>Контракт та партнерство з EPICGAME STORE</u> Фінансування та покриття витрат. Можливість співпраці з іншими проектами в одному приміщенні.</p>	<p>Загрози:</p> <p>Устаріння продукту (Застаріння з плином часом) - Неактуальність даного продукту. Не прийняття технології - Не актуальність технології на даний час. Привласнення інтелектуальної власності – конкуренти вкрадуть проект.(мала вірогідність)</p>

Проаналізувавши дані можна зробити висновки! SWOT- аналіз показує цілісну картину майбутнього проекту. Важливими пунктами є – надійність та захищеність. Вони дозволять нам нарощувати клієнтську базу.

Таблиця 4.10. Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Крупні представники ринку з своїми системами	Висока готовність	Високий попит	Низька конкуренція	Висока простота входу

Виходячи з даних таблиці, можна сміло сказати, що ми маємо високу вірогідність завоювати споживачів.

Таблиця 4.11. Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару від цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, що мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Доступна ціна, Простота використання, Надійність та захищеність.	Стратегія диференціації	Широкий спектр включення в різні системи	Унікальність, Простота, Доступність.

Обрана стратегія зможе принести багато грошей, а отже вибрана правильно

Таблиця 4.12. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
ЦА доведеться не тільки впевнити у корисності методики, а ще й запевнити у тому що вона потрібна саме їм.	Організація сервісу та організація системи товароруху.	Дистрибуція через Інтернет Перша група	Збут відбувається на торговельних площадках партнерів

Як видно з таблиці проблем із збутом не передбачається.

Таблиця 4.13. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Широкий спектр запитів	Зворотній зв'язок через відгуки або службу підтримки (gmail і не тільки)	Надійність, захищеність,	Впевнити в різноманітності і доступності.	Показ різноманіття контенту та легкість його використання.

Висновки до четвертого розділу

Виходячи з даного розділу є можливість ринкової комерціалізації проекту, що пов'язано з доступністю і невеликою ціною та надійністю.

Є перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження присутні, але не є проблемою, стан прямих конкуренції поганий, що полегшить наш вхід на ринок, висока конкурентоспроможність проекту та подальша імплементація проекту є доцільною з огляду на прогнозовані прибутки та обсяг користувачів.

Висновки

У магістерській роботі вирішено задачу, що полягає в підвищенні ефективності захисту БП МПД від взаємних завад за рахунок використання запропонованої в роботі методики. Результати роботи є такі:

1. Проведено аналіз причин виникнення взаємних завад та способи їх впливу на радіоапаратуру.
2. Розроблено методики підвищення захисти від взаємних завад на базі модифікованої прямокутної квадратурно-амплітудної модуляції та методика адаптивного підбору вільних каналів за допомогою аналізаторів спектру.
3. Виконано оцінку методик та перевірено їх на працездатність
4. Розроблений стартап проект з висвітлюванням плюсів та мінусів продукту.

Перелік використаної літератури

1. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Д58 Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ "Видавництво "Аспект-Поліграф", 2008. - 588 С.: іл. ISBN 978-966-340-295-6
2. Sankar K. Scaling Factor in QAM. 2007. URL: <http://www.dsplog.com/2007/09/23/scaling-factor-in-qam/>
3. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 4-е изд. Москва, 1963. 1100 с.
4. Armitage S. Low-Cost 2.4-GHz Spectrum Analyzer. Circuit Cellar. 2006. Iss. 189., P. 18–22.
5. Bogachuk I., Sokolov V. Yu., Buriachok V. Monitoring Subsystem for Wireless Systems based on Miniature Spectrum Analyzers. Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2018) : in V Int. Sc. and Pract. Conf., 9–12 Oct. 2018. Kharkiv : IEEE, 2018. P. 581–585. DOI: 10.1109/infocommst.2018.8632151.
6. Buryachok V. L., Sokolov V. Yu. Low-Cost Spectrum Analyzers for Channel Allocation in Wireless Networks 2.4 GHz Range. World Science. 2018. No. 3 (31). Vol. 1. P. 9–16. DOI: 10.5281/zenodo.2528801. arXiv: 1902.08434.
7. Зайка В. А., Абрамцев А. С. Технологии беспроводных локальных сетей (Wi-Fi). Физический уровень. Электроника инфо. 2006. №7 (31). С. 50–54.
8. Graham G. 2.4 GHz WiFi & ISM Band Scanner. 2007 URL: http://geoffg.net/ISM_Scanner.html
9. Cypress Perform CYRF6935 : Datasheet / Cypress Semiconductor. 2010. 36 р
10. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с