ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка телекомунікаційної інфраструктури на основі стандарту DVB-T2»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



(підпис) Данило КАЛІНІЧЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Данило КАЛІНІЧЕНКО

Керівник: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Рецензент: Ганна Гринкевич

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Калініченку Данилу Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка телекомунікаційної інфраструктури на основі стандарту DVB-T2»,
керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ, PhD,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Цифрові телевізійні системи мовлення.
   2. Параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T.
   3. Ефективність застосування стандарту H.264 в при передачі відеосигналу.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Основні характеристики систем наземного цифрового телевізійного мовлення.
   2. Параметри и цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T.
   3. Технологія фізичного рівня стандарту DVB-T.
   4. Дослідження ефективності застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Основні характеристики систем наземного цифрового телевізійного мовлення	31.10.23	Викон.
3.	Параметри и цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T	15.11.23	Викон.
4.	Технологія фізичного рівня стандарту DVB-T	29.11.23	Викон.
5.	Дослідження ефективності застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу	07.12.23	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
7.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти Данило КАЛІНІЧЕНКО

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 75 стор., 28 рис., 8 табл., 29 дж.

Мета роботи – розробка телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Об'єкт дослідження - процес безпроводового телевізійного мовлення.

Предмет дослідження – методи розробки телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Короткий зміст роботи: В роботі проведено аналіз безпроводових телевізійних систем цифрового телебачення. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандартів DVB-T та DVB-T2. Проаналізовано переваги стандарту DVB-T2 порівняно з DVB-T і зроблено висновок про те, що стандарт DVB-T2 значно покращує та розширює можливості свого попередника DVB-T.

Експериментально досліджено ефективність застосування стандарту H.264 в при передачі відеосигналу. Виходячи з проведених досліджень застосування кодека H.264 при передачі ТВ-каналів дозволяє в 2 рази збільшити якість відеозображення телевізійного каналу зв'язку або збільшити в 2 рази кількість каналів, які займають смугу частот одного каналу без використання даного кодека. Розроблено телекомунікаційну інфраструктуру населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ, DVB-T2, ТЕЛЕВІЗІЙНЕ МОВЛЕННЯ, ЦИФРОВІ, СТИСКУВАННЯ, ПАРАМЕТРИ, H.264, ЯКІСТЬ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ, МАКРОБЛОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА ІНФРАСТРУКТУРА НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 74 pages, 28 pictures, 8 table, 29 sources.

The purpose of the work - development of the telecommunications infrastructure of the settlement based on the DVB-T2 standard.

Object of research – the process of wireless television broadcasting.

Subject of research – methods of development of the telecommunications infrastructure of the settlement based on the DVB-T2 standard.

Summary of the work: The paper analyzes wireless television systems of digital television. The parameters of digital terrestrial television broadcasting of DVB-T and DVB-T2 standards have been studied. The advantages of the DVB-T2 standard compared to DVB-T were analyzed and it was concluded that the DVB-T2 standard significantly improves and expands the capabilities of its predecessor DVB-T.

The effectiveness of the application of the H.264 standard in the transmission of a video signal was experimentally investigated. Based on the conducted research, the use of the H.264 codec in the transmission of TV channels allows to increase the quality of the video image of the television communication channel by 2 times or to increase by 2 times the number of channels that occupy the frequency band of one channel without using this codec. The telecommunications infrastructure of the settlement was developed based on the DVB-T2 standard.

KEYWORDS: RADIO SYSTEMS, DVB-T2, TELEVISION BROADCAST, DIGITAL, COMPRESSION, PARAMETERS, H.264, VIDEO IMAGE QUALITY, MACROBLOCK, TELECOMMUNICATION INFRASTRUCTURE OF POPULATION POINT

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Калініченко Д.О. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Розробка телекомунікаційної інфраструктури на основі стандарту DVB-T2

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Калініченко Данило Олександрович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Калініченка Данила Олександровича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій СТРЕЛЬНІКОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Калініченко Д.О.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Калініченка Данила Олександровича

на тему: «Розробка телекомунікаційної інфраструктури на основі стандарту DVB-T2»

Актуальність:

На сьогоднішній день цифровизація телевізійних мереж залишається одним з найважливіших питань різнорідної телекомунікаційної галузі. Саме системи цифрового телевізійного мовлення є найбільш перспективними за своїми параметрами для реальних умов.

Тому магістерська робота, яка присвячена дослідженню і розробці телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2, є актуальною.

Позитивні сторони:

Проведені дослідження свідчать про високий науково-технічний рівень використання інформаційних технологій в даному дослідженні.

Робота викладена науковою мовою, логічно й послідовно відбиває мету та поставлені в роботі завдання. Пояснювальна записка відповідає стандартам до її оформлення.

Недоліки:

1. В роботі не представлено стандарт мобільного телебачення DMB.
2. В роботі не показано чи використовує кодек H.264 для кодування аудіосигналів сторонні кодеки.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Калініченко Данило Олександрович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н., доцент Г. Гринкевич

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 9
ВСТУП 10
1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ 12
1.1 Цифрові системи телевізійного мовлення 12
1.1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення 12
1.1.2 Система ATSC 14
1.1.3 Система DVB 19
1.1.4 Система ISDB 21
1.2 Цифрове наземне телевізійне мовлення в Україні 23
2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T2 30
2.1 Загальна характеристика і структура системи DVB-T2 30
2.2 Дослідження захисного інтервалу системи DVB-T2 42
2.3 Конфігурація MISO системи DVB-T2 44
3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ 53
3.1 Розрахунок зони покриття системи розподілу інформації DVB-T2 53
3.2 Збільшення абонентської ємності мережі за допомогою стандарту H.264 60
ВИСНОВКИ 71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 72
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 75

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

DVB - Digital Video Broadcasting (Цифрове відеомовлення).

EBU (European Broadcasting Union - Європейський Союз Мовлення) - Керівна організація в області радіомовлення в Європі.

GHDTV - High - Definition Television. Телебачення високого розділення.

IEEE - Institute of Electrical and Electronical Engineers - інститут інженерів по електротехніці і радіоелектроніці (США).

ISO - International Organization for Standartization. Міжнародна організація по стандартизації.

ITU - International Telecommunication Union. Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ). Одна з функцій цієї організації - підготовка Рекомендацій, які фактично є міжнародними стандартами.

ITU-R - Організація - частина ITU, що відповідає за підготовку рекомендацій в областях радіозв'язку і телебачення.

ITU-T - Організація - частина ITU, що відповідає за підготовку рекомендацій в областях телефонії і цифрової передачі даних.

JPEG - Joint Photographic Experts Group - Об'єднана група експертів по фотографії. Робоча група ISO, що займається розробкою стандартів кодування і стискування нерухомих зображень, що носять таку ж назву.

Motion JPEG - Метод стискування зображень, що рухаються, в якому кожен кадр стискується методом JPEG незалежно від інших кадрів. Використовується, зокрема, в системах відеомонтажа.

MPEG - Moving Picture Expert Group. Група експертів по зображенням, що рухаються. Робоча група ISO, що займається розробкою стандартів кодування і стискування відео- і аудіо- даних. Назва групи є присутньою в назвах стандартів.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) - Ортогональне частотне мультиплексування. Один з видів модуляції, вживаних в системах цифрового ТБ.

ВСТУП

Проект цифрового відеомовлення (DVB Project) – це союз близько 200 компаній з усього світу [1]. Він був заснований у 1993 році для створення міжнародного стандарту цифрового мовлення. Термін DVB означає набір стандартів, які використовуються для розповсюдження цифрового телебачення. Включає цифрове супутникове телебачення (DVB-S), цифрове кабельне телебачення (DVB-C) та цифрове наземне телебачення (DVB-T). Поступовий розвиток призвів до впровадження наступного покоління DVB-S2 / C2 / T2 [1 - 2].

Стандарт DVB-T розглядав проблему виснаження радіочастотного спектру, вимоги до більшої кількості програм, якості зображення та звуку. Зростаючі вимоги призвели до розробки цифрової наземної системи другого покоління, яка називається DVB другого покоління DVB-T2. DVB-T2 є наступником стандарту DVB-T, але не є сумісним із ним.

У порівнянні з DVB-T, він є більш гнучким і має вдосконалений ланцюг передачі сигналів обробки сигналів. Однією з його переваг є збільшення ємності потоку даних більш ніж на 30% за однакових умов передачі порівняно з DVB-T. Більшу пропускну здатність можна використовувати для надання більшої кількості телевізійного контенту, а також для передачі більш якісних послуг, таких як телевізор високої чіткості (HDTV) та надвисокої чіткості (UHD) [3].

Перехід України на цифрове мовлення - надзвичайно важливий проект для держави, телеглядачів та телевізійної індустрії. Зважаючи на те, що цей проект - міжнародний, обов'язок держави - забезпечення громадян своєчасною достовірною інформацією, здійснення контролю за виконанням проекту учасниками процесу, забезпечення сталого та ефективного впровадження цифрового мовлення.

Наразі Україна здійснює повний перехід на цифрове наземне телевізійне мовлення стандарту DVB-T2. З серпня 2018 року по січень 2019 року здійснювалось відключення загальнодержавного аналогового телебачення в областях України. Остаточне відключення аналогового телебачення на всій території Україні

відбулось за планом в березні 2019 року [1].

Основними нормативними актами України з питань цифрового телемовлення є: Закони України «Про телебачення і радіомовлення», «Про Національну раду з питань телебачення і радіомовлення», «Про радіочастотний ресурс України», «Про телекомунікації»; Державна програма впровадження цифрового радіомовлення, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2008 року №1085.

Тому одним з важливих завдань в області цифрового телебачення є завдання скорочення швидкості передачі двійкових символів і, відповідно, необхідної смуги частот каналу зв'язку. Це завдання може бути вирішена шляхом стискування інформації, що передається в телевізійному сигналі. Стискування інформації забезпечує також зменшення необхідного об'єму запам'ятовуючих пристроїв, при записі телепередач або окремих зображень.

Таким чином, завдання створення системи передачі цифрового телебачення для населеного пункту з підвищеною абонентською ємністю телевізійних каналів на основі технології частотного мультиплексування з розробкою ефективного способу стискування інформації є актуальним.

Метою роботи є дослідження і проектування телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Об'єкт дослідження є процес безпроводового телевізійного мовлення.

Предмет дослідження є методи розробки телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Методи дослідження. Для проведення досліджень в рамках магістерської атестаційної роботи використовувалися методи прикладної теорії інформації, статистичної радіотехніки і математичної статистики, математичного моделювання. Перевірка отриманих теоретичних результатів проводилася імітаційним моделюванням.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

1.1 Цифрові системи телевізійного мовлення

1.1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення

Часом початку цифрового ТВ мовлення в Європі і, практично відразу, в США, слід рахувати листопад 1998 р. У Європі цифрове ТВ мовлення розвивалося відповідно до проекту DVB (Digital Video Broadcasting). Враховуючи різноманітність форм ТВ мовлення, частина проекту була присвячена розробці технічних рішень відносно супутникового телебачення, вона отримала назву DVB-S (...Satellite), частина — до кабельного (DVB-C —...Cable), а частина — до наземного або ефірного мовлення (DVB-T — ...Terrestrial).

У сучасному світі цифрові технології стрімко змінюють ландшафт телевізійного мовлення, відкриваючи нові горизонти можливостей для медіаіндустрії. Цифрове телебачення не тільки радикально покращило якість зображення та звуку, але й розширило можливості взаємодії з аудиторією. Від переходу від аналогового до цифрового мовлення до впровадження інтерактивних послуг та інтеграції з Інтернетом, цифрові системи телевізійного мовлення відіграють ключову роль у формуванні медіа простору нового покоління.

Перший і найбільш помітний внесок цифрового телебачення - це значне поліпшення якості зображення та звуку. Завдяки використанню цифрових кодувань, таких як MPEG-2 та MPEG-4, телевізійні канали тепер можуть транслювати високоякісні HD та 4K зображення, забезпечуючи глядачам деталізоване та яскраве візуальне враження. Це не просто покращує загальний досвід перегляду, але й відкриває нові можливості для творчості та інновацій у виробництві контенту.

Останніми роками в стандарті DVB-T2 почали мовлення Швеція, Іспанія, Данія і Австралія. Крім того, підготовчі роботи велися також в Сінгапурі, Новій Зеландії і Індії. Стандарт ISBD (Integrated Services Digital Broadcasting), розроблений в Японії, є в деякому розумінні модифікацією європейського стандарту ТВ мовлення. Найближчим часом ще 12 країн Європи, а також Сінгапур, Нова Зеландія і Індія планують почати трансляцію ТВ програм в стандарті DVB-T2 [2].

У США робота над стандартом цифрового ТВ мовлення почалась в 1987 р., а в 1996 р. Федеральна комісія США та зв'язку (Federal Communications Commission, FCC) затвердила розроблений стандарт як національний. Він отримав назву ATSC (Advanced Television Systems Committee). Вже в листопаді 1998 р. 26 станцій в 10 регіонах США приступили до цифрового ТВ мовлення. Одночасно в країні зберігалося і зберігається зараз мовлення в аналоговому стандарті NTSC. В той же час, згідно стратегічному плану розвитку ТВ мовлення в країні, до 2006 р. всі мовні компанії повинні повністю перейти на цифрове ТВ мовлення, і в тому випадку, якщо в 95 % населення будуть цифрові ТВ приймачі, аналогове мовлення до цього часу повинне припинитися. До цифровому мовленні в стандарті ATSC приєдналися також Канада, Північна Корея, Тайвань і Аргентина.

Таким чином, в даний час в світі працюють різні системи цифрового телебачення. При цьому, як це колись було і з аналоговим телебаченням, єдиний для всіх країн стандарт на цифрове ТВ мовлення доки відсутній. Цифрове телебачення сприяє розширенню вибору контенту та налаштувань персоналізації для користувачів. Цифрові мережі здатні транслювати значно більшу кількість каналів порівняно з аналоговими, що дозволяє глядачам обирати з ширшого спектра програм.

1.1.2 Система ATSC

Система ATSC, розроблена і упроваджена в США, як і інші системи цифрового ТВ мовлення, передбачає кодування аудіовізуальної інформації і даних, призначених для передачі, за стандартом MPEG-2, проте транспортний потік, який формується в кодуючому пристрої, не повинен перевищувати значення 80 Мбіт/с.

Я поясню принцип будівництва цифрового телебачення телерадіомовна система ATSC. Як уже згадано, надіслані повідомлення кодуються відповідно до MPEG-2, який призводить до формування транспортного потоку, який повинен бути переданий стороні отримання. Щоб передати цю інформацію глядачам через канали мовлення телебачення, система ATSC регулює спеціальний тип модуляції, яка дозволяє ефективне використання стандартного телеканалу, а також деякі заходи для кодування каналу. Доречно згадати, що це - телевізійна система мовлення, де різні «одержувачі» інформації знаходяться в різних умовах прийому. Тому турботу потрібно дотримуватися, щоб гарантувати додаткову недоторканність сигналу. Кодують методи каналу використовуються з цією метою.

Розробники системи ATSC передбачили застосування для передачі ТВ сигналу багатопозиційної амплітудної модуляції з придушенням нижньої бічною смуги, що якоюсь мірою відповідає принципам побудови існуючих аналогових систем ТВ мовлення. Такий вигляд модуляції називається VSB-AM [3].

Система VSB розроблена в декількох варіантах, в залежності від типу модуляції сигналу: 2-VSB, 4-VSB, 8-VSB, 8T-VSB, 16-VSB. Кількість рівнів сигналу модуляції варіюється від два до шістнадцять, і відповідно швидкість передачі даних, яка визначена як частота дотримання символів, помножених на логарифм кількості рівнів, змін.

Використовуючи сигнал модуляції з вісьмома положеннями (8-VSB метод модуляції), три біта потоку даних передані по єдиному інтервалу характеру. У групі на 6 МГц (американська телевізійна пропускна здатність частоти), 8-VSB

система здатна до передачі потоку даних на 32,3 Мбіт / с.

Давайте кинемо ближчий погляд на процес перетворення стандартного транспортного потоку в радіо-сигнал, переданий телеканалом. Транспортний потік, вироблений відповідно до стандарту MPEG-2, підданий обробці, яка прагне, по-перше, виконувати додаткове кодування, щоб далі виправити помилки і, по-друге, вирівняти структуру переданих даних з будівельним поняттям. Системи ATSC. Послідовність дій, вироблених з сигналом, показують на Рис. 1.1.

Згадайте структуру транспортного потоку: це складається з пакетів 188 байтів кожен, який містить передану інформацію. Коли інформація отримана в декодере пакета, 188-й байт синхронізації виключений, так як синхронізація недавно сформованого потоку даних згодом введена окремо. Тоді так звана рандомізація даних виконана, тобто, їх чергування згідно з визначеним псевдовипадковому закону, який, однак, згодом точно відтворено в пристрої отримання. Це повинно усунути будь-яку періодичність і потік даних, який може статися, наприклад, через явних статистичних властивостей сигналу зображення. Така періодичність, може втрутитися у формування однорідного спектру переданого сигналу, що створює в ньому виражені максимуми на частотах, пов'язаних з періодом. Тоді 20 дійсних байтів кодексу Тростини-Solomon додані до потоку. Після додавання байтів перевірки (тепер 187 + 20 = 207), чергування даних виконано, тобто міра, яка прагне зменшувати ефекти втручання, «перерозподіляючи» передані знаки, які слідують один за іншим. На стороні отримання, звичайно, всі ці операції повторені в зворотному порядку, який дозволяє позбуватися від так званих «пакетних» помилок, коли серія перекручених перешкод характеру йде один за іншим. Потім так зване кодування решітки, або як це іноді називають, виконано, який називають кодуванням Ґрати, яке є типом кодування згортальної коди. Таке кодування також необхідно для подальшого виправлення помилок. Сигнали синхронізації змішані в цифровий потік мультиплексуванням.

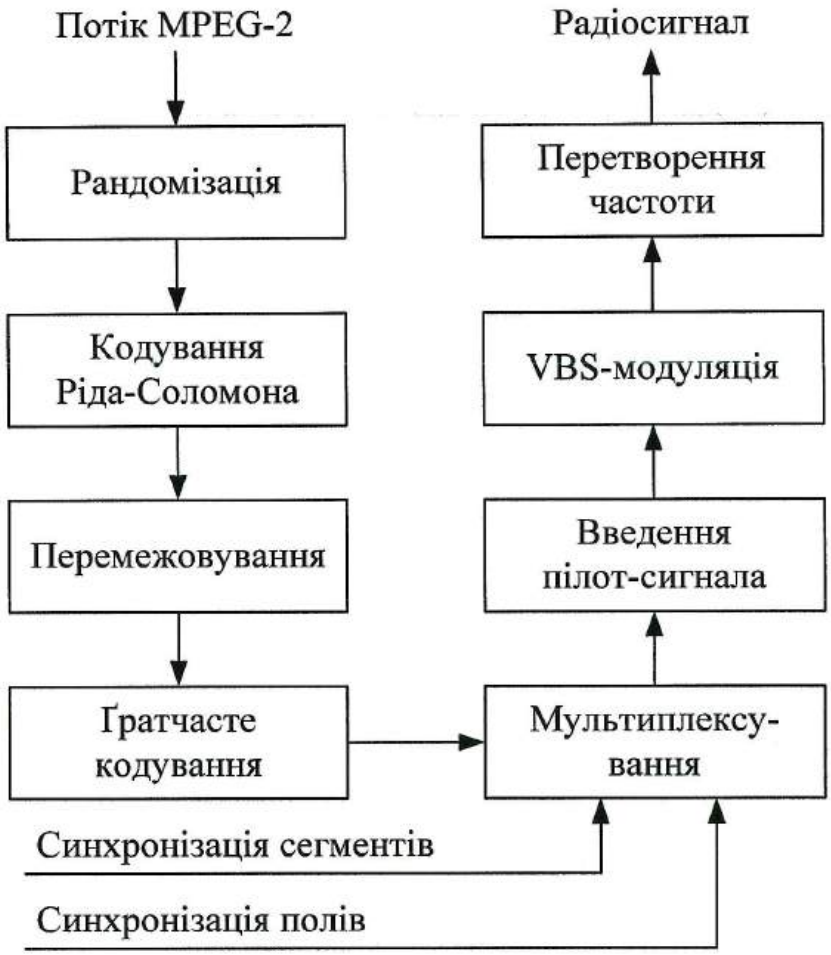


Рис. 1.1. Формування радіосигнала в системі ATSC

Експериментальний сигнал доданий так, щоб на будь-якому рівні модуляції сигналізували, що модуляція не була б просто врівноважена, тобто, не, тільки частоти боку, але також і перевізник в деякій мірі повинні бути присутніми в спектрі сигналу. Це необхідно, щоб полегшити відновлення перевізника в пристрої отримання для синхронного виявлення.

Модуляція частоти і перетворення формують радіо-сигнал, переданий в приймальнику.

Структуру даних, сформовану під час формування 8-VSB радіо-сигналу, показують на рис. 1.2. Це відрізняється від структури початкового транспортного потоку - дані розділені на так звані сегменти, складаючись з 832 знаків. Рівень символу становить 10,76 МГц. У 207-байтовому пакеті кожні два біти, через над-

мірність кодування решітки, перетворені в три біта, які визначають точно, який з цих восьми рівнів і отримує амплітуду сигналу під час передачі одного характеру.

Сегментальна синхронізація також додана до сигналу, тривалість сигналу якого - чотири знаки і є повторюваною структурою з +5 і-5 рівнями сигналу. Це полегшує визначати межі сегмента і відновлювати частоту прихильності символу. Вхід сигналу синхронізації не применшує ефективність інформаційної передачі, тому що це замінює байт синхронізації транспортного потоку з номером 188, який вилучений під час обробки.

Група з 312 сегментів, доданих синхронним сегментом, формує поле даних, і дві області 313 сегментів формують структуру даних.

У сигнал синхронізації полів додається додаткова інформація, наприклад про вигляд використаної модуляції, а також інша інформація для забезпечення процесу декодування.

У системі ATSC також прийняті заходи (режекторна фільтрація) для зменшення перешкод від нерівномірного спектру передавачів амплітудної системи NTSC, що працюють в тому ж каналі. Такий захід, втім, носить тимчасовий характер.

Комісія в справах зв'язку США стандартизувала 18 можливих параметрів відтворення зображення в системі цифрового ТВ мовлення (табл. 1.1) [4].

Таблиця 1.1

Параметри розгорток

Розмір кадру, число елементів	Співвідношення сторін	Частота кадрів
1920x1080	16:9	60 i, 30 p, 24 p
1280x720	16:9	60 p, 30 p, 24 p
704x480	16:9, 4:3	60 p, 60 i, 30 p, 24 p
640x480	4:3	60 p, 60 i, 30 p, 24 p
p — прогресивна розгортка; i — черезрядкова		

У цьому випадку так звані декодери AFD (Весь Формальний Декодер, AFD) в змозі розшифрувати зображення в будь-якому з форматів, перерахованих в столі. Однак є також декодери, які дозволяють Вам розшифровувати і відтворювати зображення, які передані з меншою ясністю і меншою частотою кадрів. Крім того, 18 форматів, в даний час приймаються, такі: 1280x720 і 704x480 елементи зображення з прогресивним переглядом. 704x480 елементи дозволені в переплетених форматах. Це було збережено, головним чином, для сумісності з NTSC-сумісними апаратними засобами і відео.

ТВ ATSC телерадіомовна система використовує вид модуляції і структуру переданих даних (сегмент, область), традиційний для сучасного аналогового телебачення. В цьому випадку цифровий потік, переданий через стандартний телерадіомовна телеканал, достатній, щоб передати ТВ з високою роздільною здатністю. У той же час у системи є недостатня шумова недоторканність від переданого сигналу, особливо у важких умовах поширення радіохвиль, коли умови прийому сигналу порушені відбитими сигналами. Цей дефіцит був усунутий розробниками європейського DVB Телерадіомовна Система.

1.1.3 Система DVB

Зі всіх варіантів європейської системи ТВ мовлення — для супутникового, кабельного і наземного (ефірного) ТВ мовлення — найбільші складнощі в практичній реалізації були в системі наземного ТВ мовлення DVB-T, що і затримало її впровадження в практику. Саме цю систему слід розглянути детальніше, оскільки завдяки своїм оригінальним технічним рішенням, яке дозволило забезпечити перешкодостійкий прийом сигналу в різних умовах, система DVB-T у ряді випробувань показана свої переваги в порівнянні з іншими системами цифрового ТВ мовлення.

Структурна схема обробки сигналу показана на рис. 1.2. Одна з особливостей системи DVB-T — так звана «ієрархічна» передача і прийом інформації. Це технічне рішення пов'язане із спеціальним вибором способу модуляції і дозволяє споживачеві прийняти зображення в такій якості, яке дозволяють умови прийому і якість приймача. Транспортний потік, відповідний стандарту MPEG-2, «розщеплюється» на виході мультиплексора на два незалежних потоки, що відрізняються пріоритетом. Потік вищого пріоритету кодується і передається за умови забезпечення високої перешкодозахищеності, а потік низького пріоритету — з нижчою перешкодозахищеністю, але з вищою швидкістю передачі даних. На рисунку його шлях позначено штриховою лінією. Рандомізація, а також зовнішнє і внутрішні перемежування призначені для захисту від помилок передачі. Всі ці заходи дозволяють довести частоту помилок на вході демультиплексора MPEG-2 до значення порядку $10^{-11,}$ що відповідає практично безпомилковій роботі.

Характерною особливістю системи DVB-T є прийнятий спосіб модуляції OFDM, що передбачає використання великого числа несучих частот. Це дозволяє ефективно боротися з сигналами луни, оскільки час передачі кожного символу на одній несучій може бути збільшено.

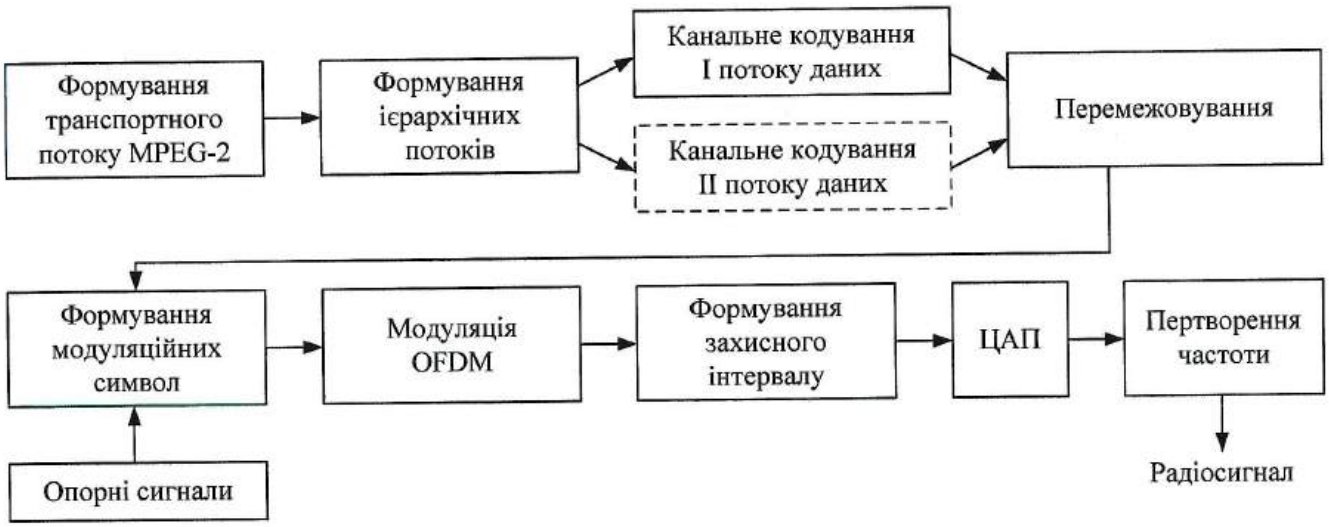


Рис. 1.2. Алгоритм формування радіосигналу в ТВ системі DVB-T

Для формування сигналів великої кількості несучих частот, використовують добре відпрацьовані алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

І більшості таких алгоритмів розмір масиву, що піддається перетворенню, кратний цілій ступені числа 2. Тому використовується розмір масиву, рівний 8192 = 8k - або 2048 = 2k: (тут $k = 2^{10} = 1024$). На практиці число несучих виявляється менше, частина несучих не використовується, оскільки між частотними областями, займаними сусідніми каналами, має бути залишений деякий зазор. У двох режимах, що існують в даний час, використовується 6817 і що 1705 несучих, проте за розміром масиву ШПФ системи модуляції називаються відповідно 8k OFDM і 2k OFDM.

Сигнал, що отримується в системі ТВ мовлення при такому способі модуляції, складається з великого числа модульованих несучих. Кількість інформації, що переноситься однією несучою за час передачі одного символу OFDM, залежить від способу модуляції — це 2 біта для квадратурної фазової маніпуляції. 4 біта для квадратурної амплітудної модуляції 16-QAM і 6 бітів для модуляції виду 64-QAM [5].

Сигнал, що передається складається з кадрів, кожен з яких містить 68 символів OFDM. Чотири кадри утворюють суперкадр, що містить ціле число пакетів завдовжки 204 байти (рандомомізованих транспортних пакетів MPEG-2, забезпечених для захисту від помилок перевірочними байтами коди Ріда-Соломона).

1.1.4 Система ISDB

Система цифрового наземного ТВ мовлення ISDB-T розроблена в трьох варіантах стосовно існуючих стандартних каналів наземного ТВ мовлення з номінальною смугою частот 6, 7 або 8 МГц.

У системі ISDB-T застосовується модифікована схема багаточастотної модуляції з ортогональним частотним розподілом мультиплексуванням (OFDM), що допускає передачу цифрового потоку в декількох смугах частот (OFDM сегментах) і називається BST-OFDM (частотно-сегментована передача за схемою OFDM). Як методи модуляції можливі DQPSK, QPSK, 16-QAM і 64-QAM. У системі закладено два режими прийому: повномірних широкосмуговий (декілька базових сегментів використовуються переважно для мовлення ТВ програм і великого об'єму даних) і частковий вузькосмуговий (один базовий сегмент для мовлення звукових програм і адекватних потоків даних) [6].

Частковий прийом в системі ISDB-T є її оригінальною властивістю, що відрізняє від інших систем ЦНТБ. Він передбачає використання спрощеного вузькосмугового приймача, розрахованого на прийом в смузі лише одного сегменту OFDM. Такий приймач може використовуватися в ношеному варіанті для прийому звукових програм *і* телематичної інформації. Варто відмітити, що при частковому прийомі абонент отримує частину загального транспортного потоку, розподіленого по повному числу сегментів. Таким чином, вузькосмуговий приймач може приймати ряд служб з окремо передаваного сегменту або з центрального

сегменту групи, а широкосмуговий приймач може приймати всі служби з сегментів, що входять в допустиму смугу системи.

Залежно від необхідних умов прийому система може працювати в наступних трьох режимах:

1 — для прийому сигналів рухливими приймачами;

2 — для прийому сигналів як рухливими, так і стаціонарними приймачами;

3 — для фіксованих служб, що використовують одночастотні мережі.

Деякі пристрої в системі ISDB-T аналогічні по структурі і параметрам відповідним пристроям в системі DVB-T, що сприяє певній гармонізації обох систем, особливо приймачів-декодерів. До таких пристроїв належать зовнішній кодер Ріда-Соломона, скремблери, перемежовувачі і внутрішні згортальні кодери.

У системі ISDB-T транспортні потоки, що підлягають передачі, сформовані відповідно до вимог стандарту MPEG-2, спочатку піддаються ремультиплексуванню — перетворяться в групи даних, що називаються сегментами даних. Кожен з них кодується коректуючим кодом, після чого перетвориться в модульований OFDM-сегмент, до якого додаються пілот-сигнал та службові сигнали про схему мультиплексування і модуляції і для правильної демодуляції і управління конфігурацією декодування. Параметри коригуючого коду, глибина часового перемежування, тип первинної модуляції несучої і довжина захисного інтервалу вибираються для кожного сегменту. Для передачі якої-небудь служби з великим об'ємом даних відводиться необхідне число сегментів. Така компоновка спектру і параметрів передачі дозволяє легко адаптувати систему до різних каналів і видів обслуговування. У системі передбачається три рівні ієрархічного прийому. Все це разом узяте допускає відвести частину смуги, наприклад, для прийому ТВ програм на стаціонарні приймачі, а частину смуги, що залишилася, — для прийому звукових сигналів і даних на мобільні і ношені приймачі.

Для отримання режиму передачі за схемою BST-OFDM з різними ієрархічними рівнями визначається кадр мультиплексу. У нім транспортний потік це без-

перервний потік транспортних пакетів, що мають загальну довжину 204 байти, з яких 16 байтів є перевірочними байтами коди Ріда-Соломона, або нульовими байтами. Тривалість кадру мультиплексу підстроюється під тривалість кадру OFDM шляхом підрахунку числа пакетів з використанням тактової частоти в 4 рази вищою, ніж частота відліків ШПФ. Конкретне число транспортних пакетів в одному кадрі OFDM залежить від виду модуляції і швидкості згортального коду, тобто числа значущих позицій в просторі сигналу, що і приведено в таблиці 1.2.

Особливість цієї підсистеми — три окремі тракти рандомізації і внутрішнього кодування, що забезпечують необхідну обробку даних для кожного з трьох ієрархічних режимів передачі. Транспортні пакети з виходу зовнішнього кодера комутуються на вхід того, або іншого тракту в залежності від встановленого пріоритету. Блоки корекції затримки необхідні для вирівнювання різних часів затримки, обумовлених процесами перемежування в трактах з різними пріоритетами (видами модуляції і кодовими швидкостями).

1.2 Цифрове наземне телевізійне мовлення в Україні

Наразі Україна здійснює повний перехід на цифрове наземне телевізійне віщання стандарту DTV-T2.

1 червня 2018 року розпочалось відключення загальнодержавного аналогового телебачення. З серпня 2018 року по січень 2019 року здійснювалось відключення загальнодержавного аналогового телебачення в областях України [1]. Остаточне відключення аналогового телебачення на всій території Україні відбулось за планом в березні 2019 року. Винятки становлять:

- національний канал “UA: Перший”;
- канали місцевого мовлення;

- аналогові канали в місцях проведення Операції Об'єднаних сил із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі та стримування збройної агресії Російської Федерації на території Донецької та Луганської областей.

Перехід на цифрове наземне телевізійне віщання стандарту DTV-T2 є одним з важливих етапів становлення і розвитку української телевізійної сфери. Завдяки цьому в Україні з'явилось телебачення сучасного рівня, яке базується на стандартах і технологіях останнього покоління, що робить якість послуг з телевізійного віщання такою, яка відповідає найсучаснішим світовим рішенням. Для пересічного споживача це відобразилось в поліпшенні якості переданих зображень і звуку, та можливості отримати доступ до розширених функціональних можливостей. Окрім трансляції каналів у високій якості цифрове наземне телевізійне віщання стандарту DTV-T2 дозволяє використовувати також і такі функції, як перегляд програми в будь-який зручний час, пауза під час телеефіру, запис програми та інші.

Для розуміння напрямів та динаміки розвитку технологій сучасного цифрового телерадіомовлення доцільно порівняти стандарти цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2, фактично впровадженого в України, та цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T, який планувалось застосовувати відповідно до регіонального плану цифрової наземної радіомовної служби у смугах частот 174 – 230 МГц і 470 – 862 МГц ("Женева-2006"), затвердженого угодою країн - членів Міжнародного союзу електрозв'язку, на який Україна повинна була перейти з аналогового на цифрове телерадіомовлення до 2015 року, що згідно Постанови Кабінету Міністрів України від 26 листопада 2008 р. №1085 "Про затвердження Державної програми впровадження цифрового телерадіомовлення" повинно було відбуватись шляхом впровадження у смугах частот 174 – 230 МГц (третій телевізійний діапазон) і 470 – 862 МГц (четвертий і п'ятий телевізійний діапазон) радіотехнології цифрового телерадіомовлення стандарту DVB-T2, а також створенням відповідно до регіонального плану цифрової наземної радіомовної служби ("Женева-2006") 81 синхронної зони телерадіомовлення з

використанням стандарту MPEG-4, що надає змогу передавати в одному частотному каналі до 10 телевізійних каналів.

DVB-T2 є найбільш широко адаптованим і розгорнутим стандартом для цифрового наземного телебачення (DTT), який був опублікований в березні 1997 року. Система цифрового телерадіомовлення стандарту DVB-T2 є найбільш поширеною в світі, вона поєднує технології модуляції і кодування, які дають можливість ефективно використовувати цінний наземний діапазон для передачі аудіо, відео послуг і послуг передачі даних для фіксованих, портативних і мобільних пристроїв. Послуги мовлення існують в даний час в більш ніж 35 країнах світу.

У стандарті DVB-T2, в якості базової, використовується OFDM модуляція, завдяки якій і досягаються унікальні властивості в частині можливості побудови одночастотних мереж (SFN - Single Frequency Network), забезпечення необхідного низького рівня співвідношення несуча/шум (C/N), високого ступеню захисту від багатопроміннності і низької чутливості до ефекту Допплера (при прийомі в русі). Крім основних видів модуляції (QPSK, 16 QAM і 64 QAM) в стандарті DVB-T2 використовується також і ієрархічна модуляція, яка дозволяє в потоці з високим пріоритетом передавати менше число програм і навіть з більш гіршою якістю, але зі значним збільшенням зони покриття, надаючи тим самим можливість вести прийом на кімнатні антени в зоні покриття. Необхідність збільшення пропускної здатності при використанні додаткових послуг висуває серйозні вимоги до збільшення ефективності використовуваних методів передачі. Саме це мотивувало розвиток технологій і, після 10 років сумлінної праці, призвело до появи оновленого стандарту.

Технічні умови DVB-T2 були схвалені Керуючим Радою DVB в кінці червня 2008 року. Перше видання було випущено у вигляді рекомендацій DVB і відправлено в ETSI (Європейський Інститут телевізійні Стандартів) для публікації у вигляді формального стандарту. На цей час (2019 р.) стандарт DVB-T2 є ідеальним рішенням, що надає високий рівень стійкості сигналу, він забезпечує необхідне збільшення пропускної здатності, при збереженні існуючої інфраструктури антен [7].

Як і його попередник, DVB-T2 використовує OFDM (ортогональне частотне мультиплексування) модуляцію, з великим числом піднесучих. Також як і DVB-T2, новий стандарт пропонує діапазон різних режимів, які роблять його дуже гнучким (табл. 1.2). В області усунення помилок, DVB-T2 використовує те ж саме кодування, що було використано в DVB-S2. LDPC кодування (Low Density Parity Check, код з малою щільністю перевірок на парність) об'єднане з BCH кодуванням (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem, "БЧХ"), незважаючи на високі шумові рівні і взаємовплив, забезпечує гарні експлуатаційні показники, що створюють необхідні умови для високоякісного приймання радіосигналів цифрового наземного телебачення стандарту DVB-T2. LDPC-коди описуються перевірочною матрицею з малою щільністю, що містить в основному нулі і відносно малу кількість одиниць. Останнє спрощує декодування інформаційних сигналів на приймальній стороні каналу зв'язку.

Таблиця 1.2

Порівняння наявних режимів передачі в DVB - T і в DVB - T2

Показник	DVB - T	DVB - T2
Кодування з виправленням помилок (FEC)	Конволюційне ("згорткове") кодування + кодування Ріда-Соломона 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Режими	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Захисний інтервал	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT розмір	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Розсіяні пілот-сигнали	8% від загальної кількості	1%, 2%, 4%, 8% від загальної кількості
Безперервні пілот-сигнали	2,6% від загальної кількості	0,35% від загальної кількості

Кілька різних варіацій параметрів сигналу, таких як число піднесучих, розмір захисного інтервалу і кількість пілот-сигналів комбінуються таким чином, що втрати можуть бути мінімізовані для будь-яких параметрів, таких як зона обслуговування, потужність передавача та інші. Нова технологія забезпечує додаткову надійність в зашумлених каналах. Механізм передачі влаштований так, що є можливість окремо налаштувати модуляцію кожної переданої послуги в межах каналу, щоб забезпечити необхідні умови прийому. Цей же механізм дозволяє передавати потік даних таким чином, щоб приймач міг оптимізувати декодування окремої програми більшою мірою, ніж цілого пакета програм.

DVB-T2 також точно визначає метод побудови сигналу передавача, відомий як кодування Alamouti, який покращує перекриття (покриття) діапазону частот в одночастотних мережах невеликого розміру. Нарешті, стандартом DVB-T2 визначені можливості, за допомогою яких його може бути розширено в майбутньому та він буде зворотньосумісним, шляхом використання майбутніх, розширених за обсягом переданої інформації, кадрів.

На рис. 1.3 представлений теоретичний спектр сигналу DVB-T2 для різних режимів передачі. Звернемо увагу, що для розширеного режиму 32К використовується збільшена смуга частот в межах 8 МГц каналу.

В країнах, де широко поширені послуги за стандартом DVB-T2, здійснюється планомірна відмова від аналогового мовлення, і в процесі переходу на цифрове наземне телевізійне мовлення вивільняються УВЧ і УКХ діапазони, які використовують для інших цілей. Одним із стимулів переходу на цифрове мовлення, є введення нових послуг, передбачених в стандарті DVB-T2. Це надає поле для різних перспектив, наприклад, списку з нових загальнонаціональних об'єднань каналів, що пропонують HDTV, мультикастові і інноваційні datacasting послуги. Як і DVB-T2, новий стандарт націлений на прийом не тільки за допомогою roof-top і set-top антен, але і комп'ютерів, ноутбуків, автомобільних приймачів і ряду інших приймальних пристроїв.

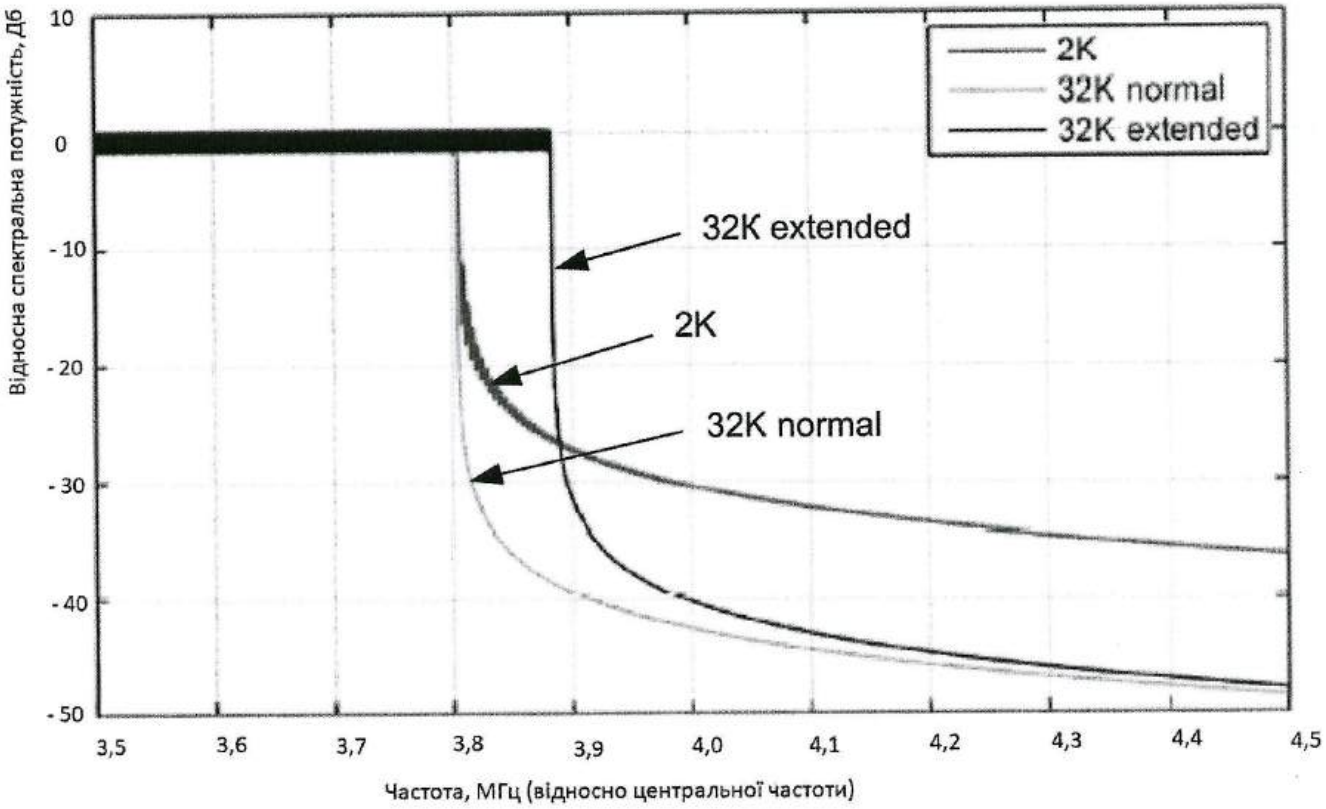


Рис. 1.3. Частина теоретичного спектра DVB-T2 для відносної тривалості захисного інтервалу 1/8 (для каналу 8 МГц)

Таблиця 1.4

Деякі загальнодоступних в Україні каналів цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DTV-T2

Назва	Холдинг / Власник	Логотип	Запуск	Формат мовлення	EPG	Юридична особа	Офіційний вебсайт	Попередній мовник
Новий канал	Starlight Media		15.07.1998	SD 576i 16:9	✓	ТОВ «Новий канал»	novy.tv	MTV Україна Zoom
ТЕТ	1+1 Media		24.01.1992			ПрАТ «Телекомпанія „ТЕТ"»		
2+2			01.07.2006			ТОВ «Реал Істейт-ТВ»	2plus2.ua	СТБ
М1	Starlight Media		27.12.2001			ТОВ «Телеодин»	m1.tv	ТЕТ НЛО TV
НТН	Inter Media Group	НТН	01.11.2004			ТОВ «Телестудія „Служба інформації"»	ntn.ua	К2
Мега			29.03.2010			ТОВ «Телеканал „Мега"»	megatv.ua	Новий канал
ПлюсПлюс	1+1 Media		04.08.2012			ТОВ «УНІАН ТБ»	plus-plus.tv	М1
1+1 Україна	1+1 Media	1+1 УКРАЇНА	24.12.2022			ТОВ «ТРК „Студія 1+1"»	1plus1.ua	
ICTV2	Starlight Media	ICTV	17.12.2022			ТОВ «Міжнародна комерційна телерадіокомпанія»	ictv.ua/ictv2/	
ОЦЕ ТБ			01.09.2017		✗	ТОВ «Хмарочос Медіа»	oce-tv.tv	

Продовження таблиці 1.4

Перелік загальнодоступних в Україні каналів цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DTV-T2

Назва	Холдинг / Власник	Логотип	Запуск	Формат мовлення	EPG	Юридична особа	Офіційний вебсайт	Попередній мовник
Перший	Суспільне		01.02.1939	SD 576i 16:9	✓	АТ «Національна суспільна телерадіокомпанія України»	tv.suspilne.media	Інтер
Рада	ДТВРУ		24.11.1998	HD 1080i 16:9	✗	ДП «Парламентський телеканал „РАДА"»	tv.rada.gov.ua	Україна
1+1	1+1 Media		03.09.1995	SD 576i 16:9	✓	ТОВ «ТРК „Студія 1+1»»	1plus1.ua	
Суспільне Культура	Суспільне		01.01.2002	HD 1080i 16:9	✗	АТ «Національна суспільна телерадіокомпанія України»	suspilne.media/culture	НТН Україна
ICTV	Starlight Media		15.06.1992	SD 576i 16:9	✓	ТОВ «Міжнародна комерційна телерадіокомпанія»	ictv.ua	К1
СТБ			02.06.1997			ТОВ «Телеканал СТБ»	stb.ua	Перший
Інтер	Inter Media Group		20.10.1996			ПрАТ «Телеканал „Інтер"»	inter.ua	ICTV
УНІАН ТБ	1+1 Media		28.07.2010			ТОВ «Дідживан»	unian.tv	Enter-фільм
Бігуді			13.01.2014			ТОВ «РЄАЛ ІСТЕЙТ-ТВ»	bigudi.tv	
Армія ТБ	Міністерство оборони України		21.04.2023		✗	Центральна ТРС Міністерства оборони України	armyfm.com.ua	

2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T2

2.1 Загальна характеристика і структура системи DVB-T2

Система DVB-T2 була стандартизована в 2009 році. Стандарт ETSI EN 302 755 V1.1.1 описує базову систему передачі другого покоління для цифрового ефірного телевізійного мовлення. Перше регулярне мовлення DVB-T2 було розпочате у Великобританії в 2010 р. Вимоги до DVB-T2 включають використання існуючих домашніх антен DVB-T та мереж передачі, збільшення пропускної здатності щонайменше на 30%, розширення діапазону одночастотних мереж (SFN), підтримка для портативних приймачів і введення декількох потоків вхідних даних [5].

Для стандарту DVB-T2 для стиснення використовується стандарт високоефективного відеокодування (HEVC / H.265). Порівняно з попереднім стандартом MPEG-4 AVC / H.264, він дозволяє передавати аудіо та відео з однаковою якістю приблизно на половину швидкості передачі даних [6]. Спрощена блок-схема DVB-T2 показана на рис. 2.2.

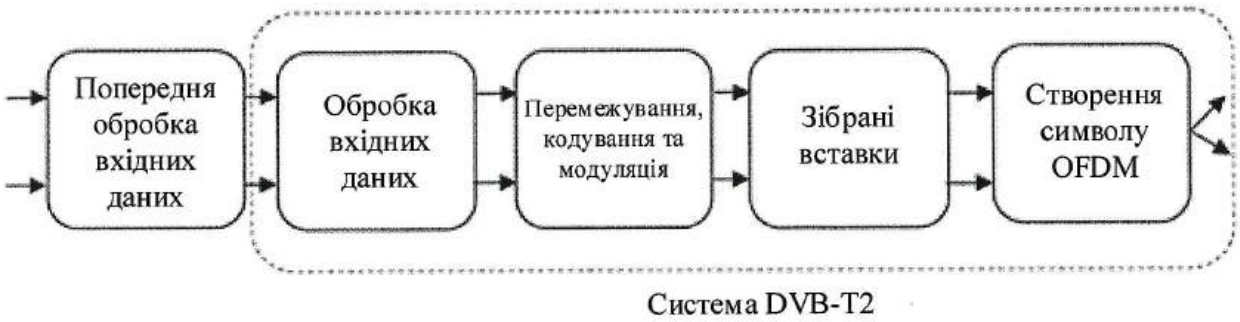


Рис. 2.2. Спрощена блок-схема стандарту DVB-T2

Блок попередньої обробки вхідних даних (не є безпосередньо частиною системи DVB-T2) призначений для відображення транспортних потоків (TS) та одного або декількох загальних потоків (GS), які не мають фіксованого розміру па-

кета як пакета TS у базові вхідні потоки даних. системні потоки. Вони називаються трубами фізичного шару (PLP).

Кількість PLP може теоретично сягати до 256 шарів, які можуть передаватися одночасно та незалежно за допомогою системи DVB-T2. Кожен окремий рівень може нести різні типи даних з різним кодуванням, модульовані різним методом і передані з різною швидкістю передачі даних. Система DVB-T2 розділена на два основних режими за кількістю вхідних PLP:

• Режим введення "A": Для введення TS використовується лише один PLP.

• Режим введення "B": Вхідний TS розділений на кілька PLP відповідно до типу переданих даних [5].

Блокова структура вхідної обробки одного потоку PLP ділиться на дві основні частини: адаптація режиму та адаптація потоку даних. У частині адаптації режиму вхідні потоки даних обробляються і поділяються на так звані BB-кадри (Frame-Band), до яких він додає заголовок. У другій частині створюються повні кадри BB з постійною довжиною, і нарешті, це рандомізується [7]. Більш детальний опис структури обробки вхідних даних одного потоку PLP можна знайти в [5].

Бітове чергування, кодування та модуляція

Далі буде описаний більш докладно блок "Бітове перемежоване кодування та модуляція (BICM).

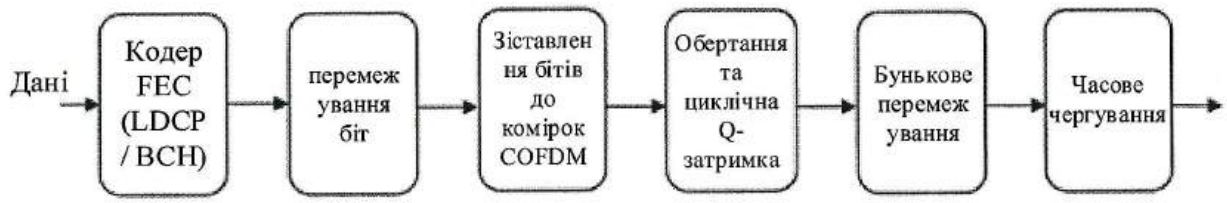


Рис. 2.2. Структурна схема модуля BICM

Кодер FEC

Формулювання помилок вперед (Forward Error Correction - FEC) має на меті захист даних від помилок, які можуть виникнути під час передачі. У DVB-T2, па-

рності з низькою щільністю (LDPC) буде використовуватися для внутрішнього кодування і Бозе-Чоудхурі-Хоквенгема (BCH) буде застосовуватися для зовнішнього кодування [5]. Біти паритету безпеки BCH та LDPC додаються після кадру BB для формування остаточного кадру FEC [7]. Більш детальний опис можна знайти в [5].

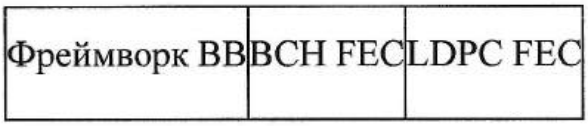


Рис. 2.3. Фреймворк FEC DVB-T2

Відповідно до методу кодування, кадр FEC ділиться на два варіанти. Довгий кадр має розмір 64 800 біт, а короткий (використовуваний для DVB-T2-Lite [12]) - 16 200 біт. Розмір даних залежить від обраної швидкості коду LDPC . Для довгого кадру застосовуються співвідношення 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 та 5/6. 1/4, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6 будуть використовуватися для короткого кадру. Більш детальний опис кодера FEC можна знайти в [5].

Бітове чергування

Бітове чергування повинно виконуватися на виході кодера LDPC. Бітперемеження складаються з двох незалежних переплетень. Перше – це чергування з паритетом , за яким слідує бітове чергування всього кадру FEC , принцип показаний на рис 2.4. Контроль парності перемеження буде визначена співвідношенням [8]:

$$u_{k_{ldpc}} + 360t + s = \lambda_{k_{ldpc}} + Q_{ldpc} \cdot s + t$$
$$0 \le s \le 360; 0 \le t \le Q_{ldpc}, \quad (2.1)$$

де Q_{ldpc} - довжина кодованого блоку, яка залежить від швидкості коду, λ_{ldpc} - вихідний сигнал від кодера LDPC, u_{ldpc} - вихідний результат із чергування парності.

Вихідні дані записуються в окремі стовпці, а потім читають рядок за рядком. Під час запису початкове положення в стовпці визначається так званим параметром кручення tc [8].

Модуляція квадратурного фазового зсуву (QPSK) не використовує чергування. Тут для співвідношень LDPC 1/3 та 2/5 використовується лише чергування бітів парності. Переміщення бітів більш докладно описано в [5].

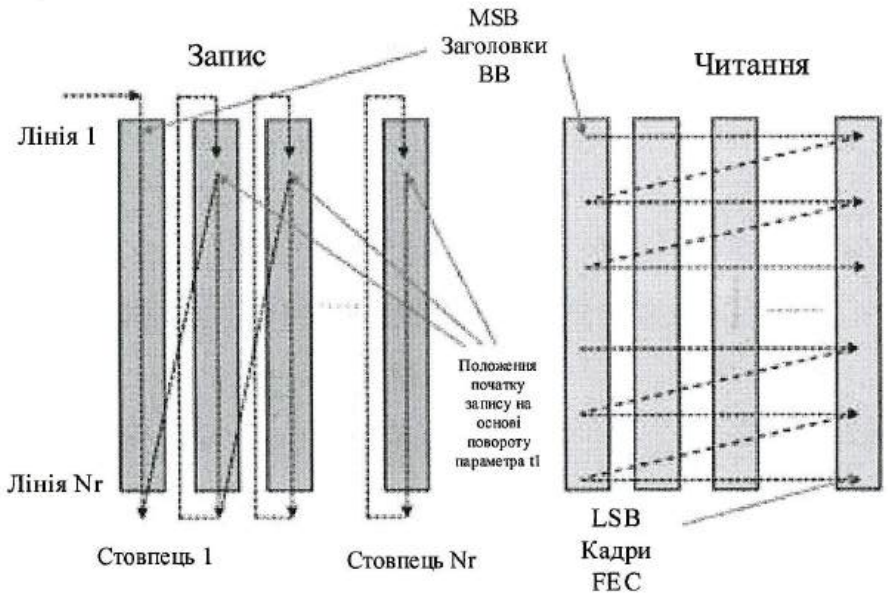


Рис.2. 4. Принцип бітового чергування кадру FEC

Зіставлення бітів у комірки COFDM

Після чергування бітів кожен кадр FEC відображається у так званих комірках COFDM (кодоване ортогональне мультиплексування з розподілом частоти). Вхідна послідовність бітів спочатку відображається у паралельних гілках, так званих словах комірок, у демультиплексорі (див. рис. 2.5). Розмір цих слів визначається параметром Nsub, кількість гілок Nsub наведено у таблиці 2.2. Згодом окремі клітини картографуються до даного сузір'я [7].

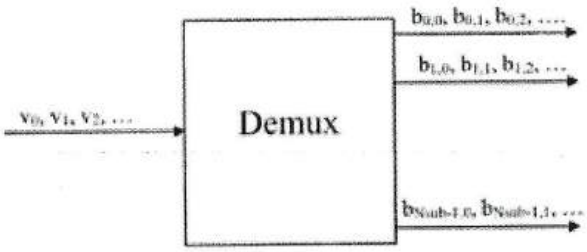


Рис.2.5. Демультиплексування бітів у гілках Nsub

Таблиця 2.2.

Кількість Nsubs в демультиплексорі

Модуляція	Довжина блоку LDPC (Nldpc)	Кількість відділень Nsub
QPSK	Всі	2
16QAM	Всі	8
64QAM	Всі	12
256QAM	64 800	16
	16 200	8

Для QPSK (N_{ldpc} = 64 800 та 16 200) та 256QAM (N_{ldpc} = 64 800) розмір комірки становить NMOD = Nsub. Окрім QPSK та 256QAM, клітини розміром Nsub поділяються на дві під комірки розміром NMOD = Nsub / 2 і послідовно відображаються на діаграмі сузір'я. На відміну від цього, для модуляцій QPSK і 256QAM клітини безпосередньо відображаються на діаграму сузір'я, і клітини, зіставлені таким чином, називаються COFDM [5]. Картування клітин більш докладно описано в [5].

Обертане сузір'я

Стандарт DVB-T2 також дозволяє використовувати так звану техніку обертаного сузір'я, що є одним з головних нововведень у системі DVB-T2.

У класичному суцільному сузір'ї, що не обертається, приймачу потрібні як фазова, так і квадратурна складові. Ці компоненти визначають, яка інформація передається [10].

При використанні обертаного сузір'я в комплексній площині застосовується певний кут повороту діаграми сузір'я, тоді компонент I і компонент Q мають достатньо інформації про те, який із символів переданий. На рис. 2.6 показано обернену схему сузір'я модуляції 16QAM [11].

Обертальне сузір'я виникає із затримкою компонента Q, що призводить до переміщення компонентів Q до наступної комірки COFDM. Завдяки поєднанню обертаного сузір'я та затримки Q, компоненти I та Q тепер розділені процесом чергування, що може призвести до окремої передачі компонентів I та Q на різних частотах, різних носіях та у різний час [10].

У разі пошкодження або впливу глибокої селективної витоку одного з компонентів I / Q, інший компонент може бути використаний для відновлення інформації. Результатом цієї техніки є поліпшення потужності сигналу для передачі інформації в глибокому каналі витоку [11].

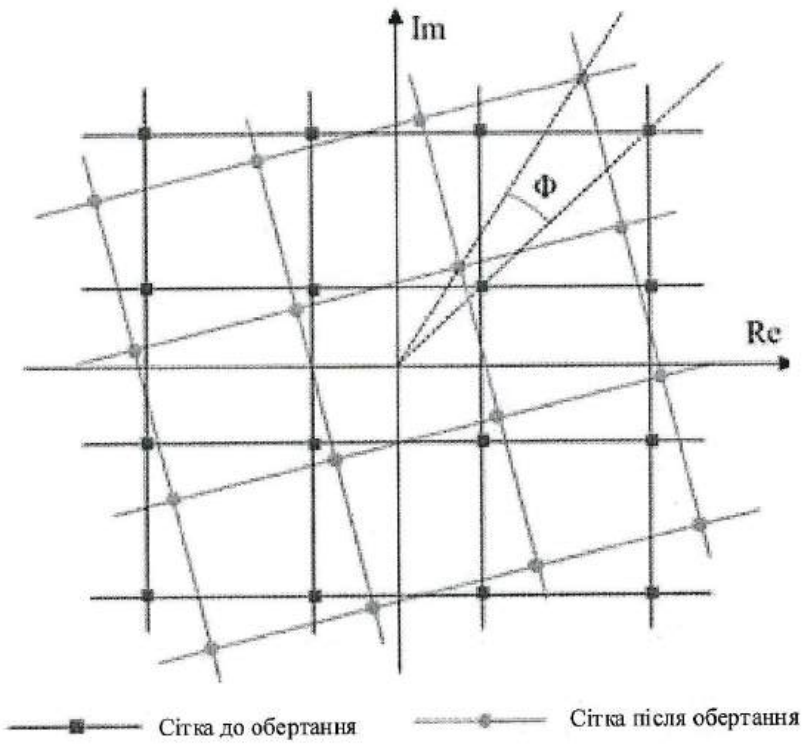


Рис. 2.6. Поворотне та класичне сузір'я з модуляцією 16QAM

Іншим параметром для сузір'я, що обертається, є кут повороту О. Кут залежить від обраної модуляції та типу каналу передачі, однак у стандарті DVB-T2

кут повороту був обраний незалежно від використовуваного каналу передачі. У таблиці 2.2 узагальнює значення кутів для окремих модуляцій. Хоча ці кути є оптимальними лише для певного типу модуляції, вони завжди представляють поліпшення порівняно з не обертаним сузір'ям [11].

Таблиця 2. 2.

Кут повороту сузір'я, що обертається, у DVB-T2 [11]

Модуляція	Кут повороту Q [°]
QPSK	29
16QAM	16.8
64QAM	8.6
256QAM	1/16

Чарівне чергування

Псевдовипадковий перемішувач комірок (CI) використовується для рівномірного розповсюдження комірок COFDM у блоці FEC, що забезпечує некорельований розподіл спотворень каналів у приймачі, покращений спектр сигналу та захист від помилок сплеску. Вихід CI є вектором, який визначається відношенням [5]:

$$d_{r,L_r(q)} = q_{r,q}, kde\ q = 0,1 \ldots, N_{cells} - 1, \quad (2.2)$$

де N_{cells} – кількість вихідних комірок даних в одному блоці FEC, а $L_r(q)$ функція перестановки застосовується до блоку FEC певного часового перемежувача (TI). Функція перестановки виражається відношенням [8]:

$$L_r(q) = [L_0(q) + P(r)] mod\ N_{cells}, \quad (2.3)$$

де $L_0(q)$ – основна функція перестановки, що використовується для першого блоку FEC даного блоку TI, P(r) - значення зміщення, застосоване до блоку FEC з індексом r даного блоку TI.

Часова чергування

Блоки FEC з чергування комірок збираються в окремі кадри чергування (IF), які відображають один або кілька кадрів T2. У кожному IF-кадрі може бути динамічно змінна кількість блоків FEC. Їх кількість може коливатися від мінімального значення 0 до максимального значення 1023, тому максимальна кількість блоків FEC на кадр ПЧ становить 1024.

Для кожного сигналу PLP існує 3 способи чергування часу. Перша можливість полягає в тому, що кожен кадр IF містить один блок TI і відображається в одному кадрі T2, друга можливість полягає в тому, що кадр IF містить один блок TI і відображається більше ніж одному кадру T2. Остання можливість полягає в тому, що кожен IF-кадр відображається безпосередньо в одному T2-кадрі, а IF-кадр ділиться на кілька блоків TI, і кожен може використовуватися до повної пам'яті блоку TI, таким чином збільшуючи максимальну швидкість передачі даних для PLP [8]. Більш детальний опис та зображення окремих методів чергування часу можна знайти в [5], [11].

Побудова фрейму DVB-T2

Його завдання полягає в тому, щоб з кожним рівнем PLP та комірками, які несуть дані сигналізації L1, зібрати вилучені в часі комірки COFDM. Він об'єднує їх в активні масиви комірок кожного символу COFDM. Це створює загальну структуру кадру. Найвищою одиницею є так званий Super-кадр, який далі поділяється на кадри T2, максимальна тривалість яких становить 250 мс, і вони також поділяються на окремі символи COFDM [5], [9].

Future Extension Frame (FEF) – це блок, який може бути частиною Super Frame і використовується для подальшого розширення таких послуг, як телевізійне мовлення у стандарті DVB-T2-lite [12]. Використання блоку FEF є необов'язковим [9].

Кадр T2 складається із символу P1, одного або декількох символів P2 та символів даних COFDM [5]. Більш детальний опис можна знайти в [5], [12].

Частотне чергування

Метою частотного перемежувача є чергування комірок COFDM всередині кожного символу COFDM. Він відображає ці комірки на носіях даних кожного символу COFDM. Для цього використовується вектор чергування $x_{m,i} = (X_{m,i,o}, X_{m}ii, ..., x_{m,i,Ndata-i})$. Для OFDM режим 32K визначається наступним чином [8], [12]:

$$a_{m,l,H_{(p)}} = x_{m,l,p}$$
$$a_{m,l,p} = x_{m,l,H_{(p)}} \quad (2.4)$$

Для інших режимів (1K, 2K, 4K, 16K) застосовується наступне [9]:

$$a_{m,l,p} = x_{m,l,H0_{(p)}}$$
$$a_{m,l,p} = x_{m,l,H1_{(p)}} \quad (2.5)$$

де m - індекс T2 кадру, l - індекс символу COFDM, p - індекс носія даних у символі COFDM, $x_{m,l,p}$ - комірка даних, що надходить у перетворювач частоти, $H_{(p)}$, $H0_{(p)}$ і $H1_{(p)}$ - це функції перестановки для послідовності R і для кожного режиму OFDM різні [7]. Більш детальний опис функції перестановки можна знайти в [8].

Формування символів COFDM

Через багатопроменеве поширення сигналу, яке спричинене відбиттями від перешкод (наприклад, будівель), може виникнути так звана міжсимвольна перешкода (Inter Symbol Interference - ISI) [5], [13]. Тому було обрано метод модуляції COFDM. Цей метод має добру спектральну ефективність і стійкий до поширення багатопроменевих шляхів [5]. Основний принцип полягає в тому, що використовується велика кількість несучих, а окремі несучі розподіляються ортогонально по всій смузі пропускання, тобто. максимум кожного перевізника перекривається з мінімумом інших. З частотного простору символи перетворюються у часовий простір за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (IFFT) [2], [13].

Активні носії містять носії даних, які використовуються для модуляції корисних даних, та пілотні носії. Пілотні носії поділяються на розсіяні пілоти (SP), безперервні пілоти (CP), пілотні крайові (EP), несучі P2 або пілоти, що закрива-

ють рамки (FCP). Несучі можуть бути використані для синхронізації кадру, частотної синхронізації, синхронізації часу, оцінки каналів, ідентифікації режиму передачі, а також може використовуватися для моніторингу фазового шуму [5]. Більш детальний опис перевізників буде наведено у наступних підрозділах.

Розсіяні носії (SP)

Розсіяні несучі використовуються для оцінки АЧХ каналу передачі. Вони не мають фіксованого положення, тому вони розкидані по всьому спектру. У системі DVB-T2 існує до восьми варіантів розподілу несучих, так званий пілотний шаблон (PP). Варіант PP1 має найщільніший розподіл, а варіант PP8, з іншого боку, найтонший розподіл пілотних носіїв [5]. Для того, щоб перевізник розпорошився, він повинен відповідати наступній умові [8]:

$$k \cdot \mathrm{mod}(D_x \cdot D_y = D_x \cdot \left(l \cdot \mathrm{mod}(D_y)\right), \quad k = [K_{min}; K_{max}], l = [N_{p2}; L_f - 1], \tag{2.6}$$

де K_{min} - перша активна піднесуча, K_{max} - остання активна піднесуча, N_{p2} - кількість символів P2 у кадрі T2, L_f - загальна кількість символів, параметри D_{xi} D_y визначені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Параметри, що визначають дисперсні носії

Пілотний сигнал	Відділ пілотних перевізників - Dx	Кількість символів, що утворюють один шаблон - Dy
PP1	3	4
PP2	6	2
PP3	6	4
PP4	12	2
PP5	12	4
PP6	24	2
PP7	24	4
PP8	6	16

Значення модуляції окремих розсіяних носіїв задається співвідношенням [7]:

$$\begin{aligned} \mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} &= 2A_{SP}\left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right), \\ \mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0, \end{aligned} \tag{2.7}$$

де A_{SP} - амплітуда (визначена в таблиці 2.4) , c - отримане значення несучої пілот-сигналу, m - індекс кадру, l - індекс символу, k - індекс несучої, r - опорна послідовність.

Таблиця 2. 4.

Амплітуди розсіяних носіїв

Пілотний візерунок	Амплітуда (A_{SP})	Еквівалент посилення (дБ)
PP1, PP2	4/3	2.5
PP3, PP4	7/4	4.9
PP5, PP6, PP7, PP8	7/3	7.4

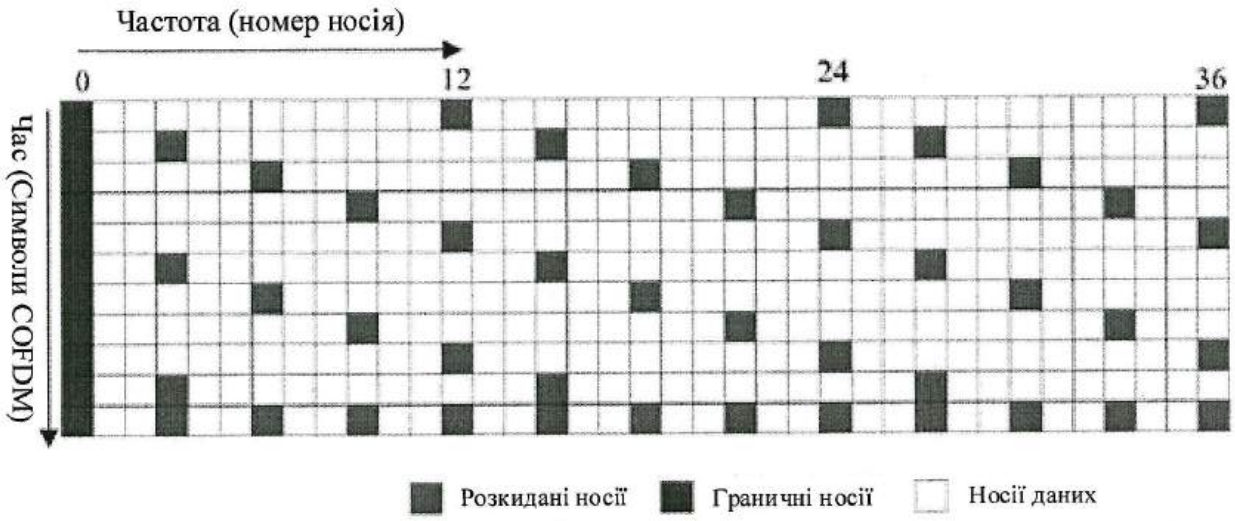


Рис. 2.7. Шаблон розподілених несучих PP1 – одиничний вхід, одиночний вихід (SISO)

Таблиця 2.5.

Розсіяний шаблон несучої, який використовуватиметься для кожної дозволеної комбінації розміру ШПФ та інтервалу захисту в режимі SISO

Розмір ШПФ	Захисний інтервал						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32 тис	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	на
16 тис	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8 тис	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4K, 2K	на	PP7 PP4	PP4 PP5	на	PP2 PP3	на	PP1
1K	на	на	PP4 PP5	на	PP2 PP3	на	PP1

Безперервні носії (CP)

CP використовуються для синхронізації часу та частоти. Неперервні носії вставляються в кожен символ, за винятком символів P1 та P2 та символу, що охоплює рамку. Положення та кількість неперервних несучих залежать від типу використовуваного режиму OFDM [7]. Групи CP для режимів OFDM знаходяться у таблиці 2.6.

Гранична несуча здатність (ЕП)

ОЗ вставляються по краях активних носіїв і містяться в кожному символі, за винятком символів P1 і P2. Їх завдання – доповнити розсіяні носії, щоб забезпечити інтерполяцію частоти аж до краю спектру [5].

Після додавання пілотних носіїв збираються символи COFDM. Всі ці процеси виконуються в частотній області, але для остаточної обробки сигналу необхідно перетворити все у часову область. Для цього використовується швидке зворотне перетворення Фур'є, яке застосовується до кожного символу COFDM [14]. Більш детальний опис IFFT можна знайти в [5].

Таблиця 2.6.

Безперервні носії, що використовуються з окремими режимами OFDM

Режим OFDM	Група CP	Кмод
1K	CP1	1632
2K	CP1 CP2	1632
4K	CP1 CP2 CP3	3 264
8 тис	CP1 CP2 CP3 CP4	6 528
16 тис	CP1 CP2 CP3 CP4 CP5	13 056
32 тис	CP1 CP2 CP3 CP4 CP5 CP6	-

Зниження PAPR

Відношення піку до середньої потужності (PAPR) вказує на відношення піку до середньої потужності. PAPR небажаний для підсилювачів вихідної потужності, які працюють в нелінійній частині характеристики перетворення для досягнення високої ефективності. У стандарті DVB-T2 можливі два методи зменшення. Для розширення активного сузір'я (ACE) зменшення здійснюється додаванням зовнішніх точок сузір'я в частотній області. Цей метод не можна використовувати, коли використовується обертане сузір'я. Другим методом є резервування тону (TR), тут зменшення PAPR виконується прямим обрізанням піків сигналу у часовій області [5].

2.2 Дослідження захисного інтервалу системи DVB-T2

Через відбиття хвилі від об'єктів (будівель) сигнал потрапляє до приймача непрямими шляхами, тому ортогональність між носіями вже не виконується, що призводить до ISI. Для запобігання взаємодії окремих символів COFDM між передачею кожного символу вставляється так званий захисний інтервал (GI). Метою вбудовування ГІ є введення опору розповсюдженню затримок, пов'язаних з ними

відбиттів та відгомонів. Кінець кожного символу копіюється на початок символу, див. рис. 2.8. [14].

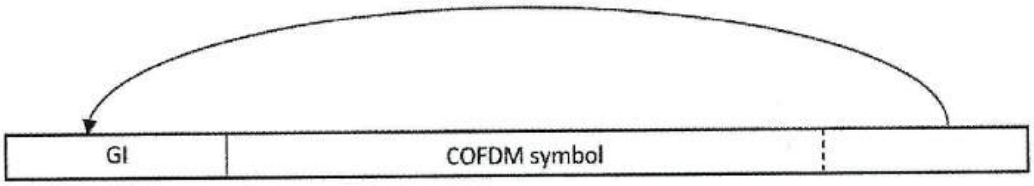


Рис. 2.8. Захисний інтервал (GI)

Конфігурація системи

У стандарті DVB-T2 можна використовувати різні режими передачі. Сюди входять базові конфігурації єдиного входу, одиночного виходу (SISO). У цій конфігурації радіочастотний сигнал передається одним передавачем і приймається одним приймачем [2].

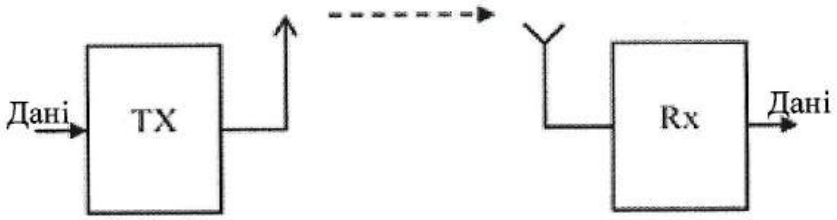


Рис.2.9. Конфігурація SISO

Інший варіант – це налаштування MISO. Тут передача здійснюється щонайменше з двох передавачів, перший передавач передає ті самі дані, що і в конфігурації SISO. Другий передавач, що працює на тій же частоті, передає складні пов'язані дані, які кодуються за допомогою кодування Аламуті, з інвертованими розсіяними пілотними несучими. Недоліком конфігурації MISO є необхідність подвоєної кількості розсіяних пілотних носіїв [2].

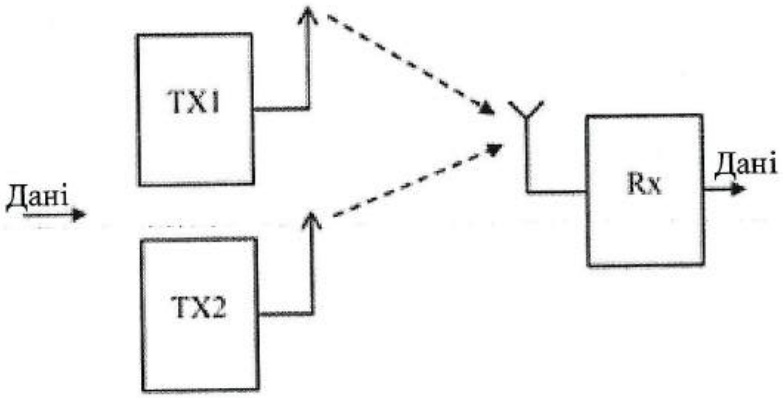


Рис. 2.10. Конфігурація MISO

2.3 Конфігурація MISO системи DVB-T2

У точці прийому сигналів щонайменше від двох передавачів (з однаковою напруженістю поля) прийнятий сигнал часто вироджується, що призводить до так званих глибоких витоків. Найбільш схильні до цього мобільний (приймач рухається з відносно високою швидкістю) та портативний (приймач рухається з меншою швидкістю) [15].

Одним з найбільш перспективних нововведень стандарту DVB-T2 є технологія багаторазового введення, одиночний вихід (MISO). Це означає, що використовуються принаймні дві передавальні антени, які не передають однаковий переданий сигнал [16]. Ці передавачі передають на тій же частоті, сигнал від іншого передавача буде злегка змінений. Він використовує Аламоуті кодування, в результаті чого передавачі один одному не будуть заважати під час конфігурації SISO з використанням двох передавачів та не буде значних перешкод. Недоліком є, необхідність в два рази перевищити щільність розсіяних пілотних несучих [15]. Метод MISO може придушити згадані вище витоки у стандарті DVB-T2 .

У порівнянні з базовою конфігурацією одного входу та одного виходу (Single Input, Single Output - SISO), метод MISO може зменшити руйнівні перешкоди та покращити покриття SFN SFN [16].

Аламоуті MISO

Alamouti код є найпростішим просторово-часовим блоковим кодом, де передбачається використовувати 2 передавальні антени (позначений , як TX1, TX2) і 1 прийомну антену (Rx).

Вхідні модульовані сигнали s1 і s2 відображаються на дві передавальні антени TX1 і TX2 за допомогою матриці Аламуті:

$$\begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \tag{2.8}$$

де символ * позначає складну асоціацію. Рядки матриці представляють комірки, що передаються в окремих антенах, стовпці представляють 2 послідовних інтервали часу. Наприклад, символ s1 є першим, посланим передавальною антеною TX1, так і в інтервалі, символ -x2 * буде посланий [17]. Це дозволяє приймачу повторно використовувати окремі два суміжних символи з допомогою математичних операцій [2].

Важливою особливістю коду Аламоуті є його ортогональність. Скалярний вид 1 - й рядки і 2 - й рядки матриці дорівнює нулю:

$$(s_1, -s_2^*) \cdot (s_2, s_1^*) = 0, \tag{2.9}$$

оскільки:

$$s_1 s_2^* - s_2^* s_1 = 0. \tag{2.10}$$

Отриманий сигнал в 1-му інтервалі:

$$r_1 = p_1 s_1 + p_2 s_2 + n_1, \tag{2.11}$$

де $_1$ - передача між TX1 і RX, $_2$ - передача між TX2 і RX, а $_1$ являє собою додатковий шум. Аналогічно сигналу в 2-му інтервалі:

$$r_2 = -p_1 s_2^* + p_2 s_1^* + n_2. \tag{2.12}$$

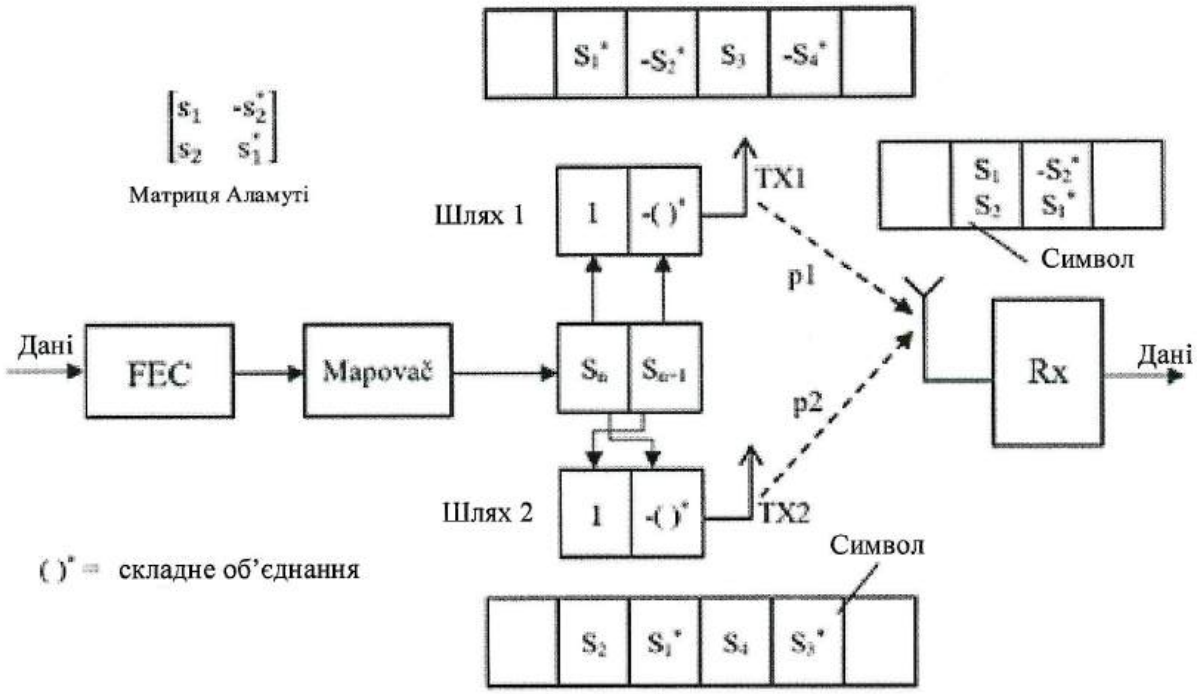


Рис. 2.12. Принцип MISO відповідно до кодування Аламоуті

Модифіковане кодування Alamouti у DVB-T2

Стандарт DVB-T2 використовує модифіковане кодування Alamouti. На антені TX1 комірки c1, C2, C3, C4, ... залишаються незмінними, але на антені TX2 комірки змінені, див. рис.2.13. Це має ту перевагу, що систему DVB-T2 можна легко звести до SISO, просто опустивши другий шлях передачі [2]. Модифікована матриця Аламоуті:

$$\begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ c_2^* & -c_1^* \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

Функція передачі каналу від передавальної антени TX1 і TX2 до приймача RX повинна бути відома, тобто необхідно виконати оцінку каналу на всіх передавальних і приймальних шляхах [2]. Оцінка каналу виконується на парах клітин двох сусідніх піднесучих. Це означає, що конфігурація MISO буде працювати найкраще, якщо ці сусідні піднесучі мають подібні витоки [18].

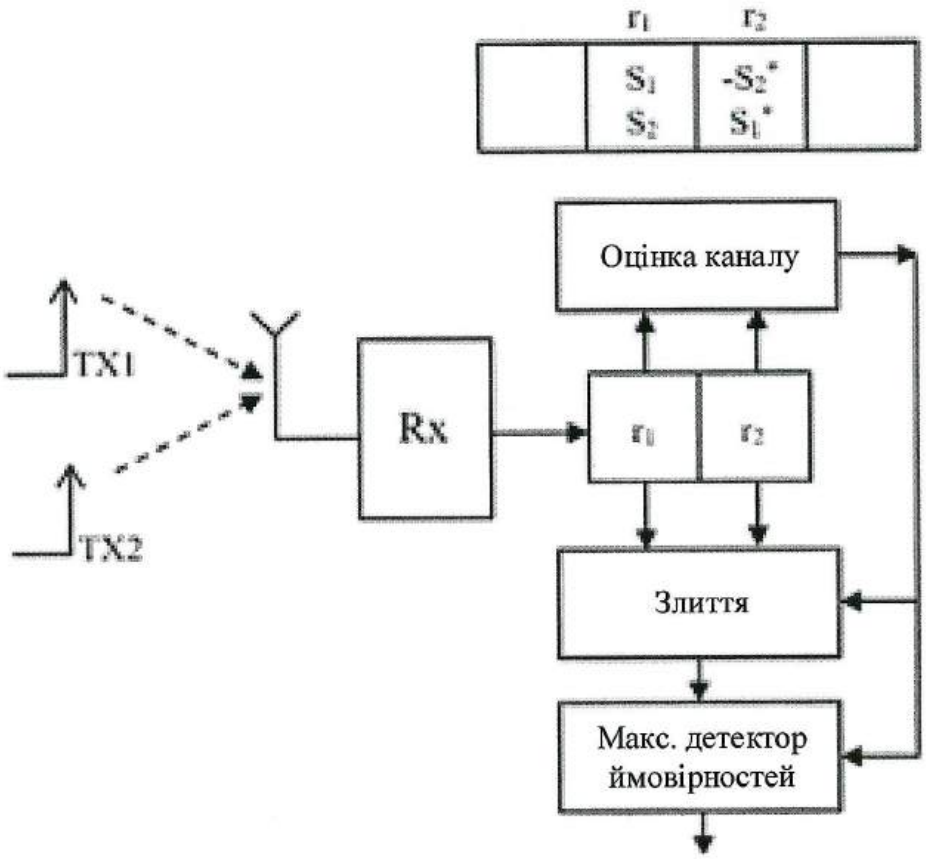


Рис. 2.12. Прийом сигналу MISO у приймачі

Обробка сигналу MISO в приймачі [2]:

Матриця Аламоуті:

$$\begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix} \tag{2.13}$$

де 1-й рядок масиву - path1, другий рядок масиву - path2, перший стовпець – інтервал часу t1, а другий стовпець - інтервал часу t2.

Прийняті символи:

$$\begin{aligned} r_1 &= s_1 + s_2 \\ r_2 &= -s_2 + s_1 \end{aligned} \tag{2.14}$$

Правило злиття в приймачі:

$$\begin{aligned} s_1 &\cong r_1 + r_2^* = (s_1 + s_2) + (-s_2^* + s_1^*)^* = s_1 + s_1 = 2s_1; \\ s_2 &\cong r_1 - r_2^* = (s_1 + s_2) - (-s_2^* + s_1^*)^* = s_2 + s_2 = 2s_2; \end{aligned} \tag{2.15}$$

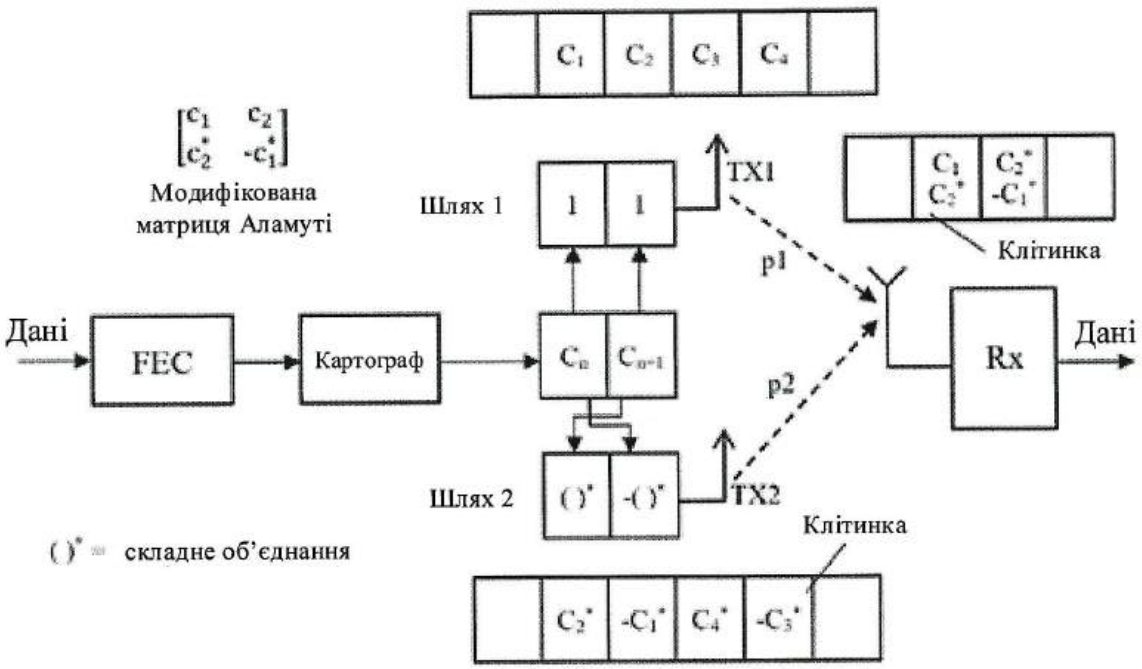


Рис. 2.13. Модифіковане кодування Alamouti

У випадку DVB-T2 із використанням конфігурації MISO не використовується просторово-часове розмаїття, а просторово-частотне рознесення (на основі сусідніх комірок у спектрі), тобто при передачі від антени TX2 сусідні пари несучих передаються зміненими порівняно з тими, що передаються на антені TX2. Великою перевагою цього модифікованого кодування Alamouti в DVB-T2 є те, що сигнали від передавальної антени TX1 і TX2 більше не корелюються. Це дозволяє уникнути витоків, широко поширених у DVB-T2, особливо при використанні розподіленого MISO в SFN, див рис. 2.15 [2].

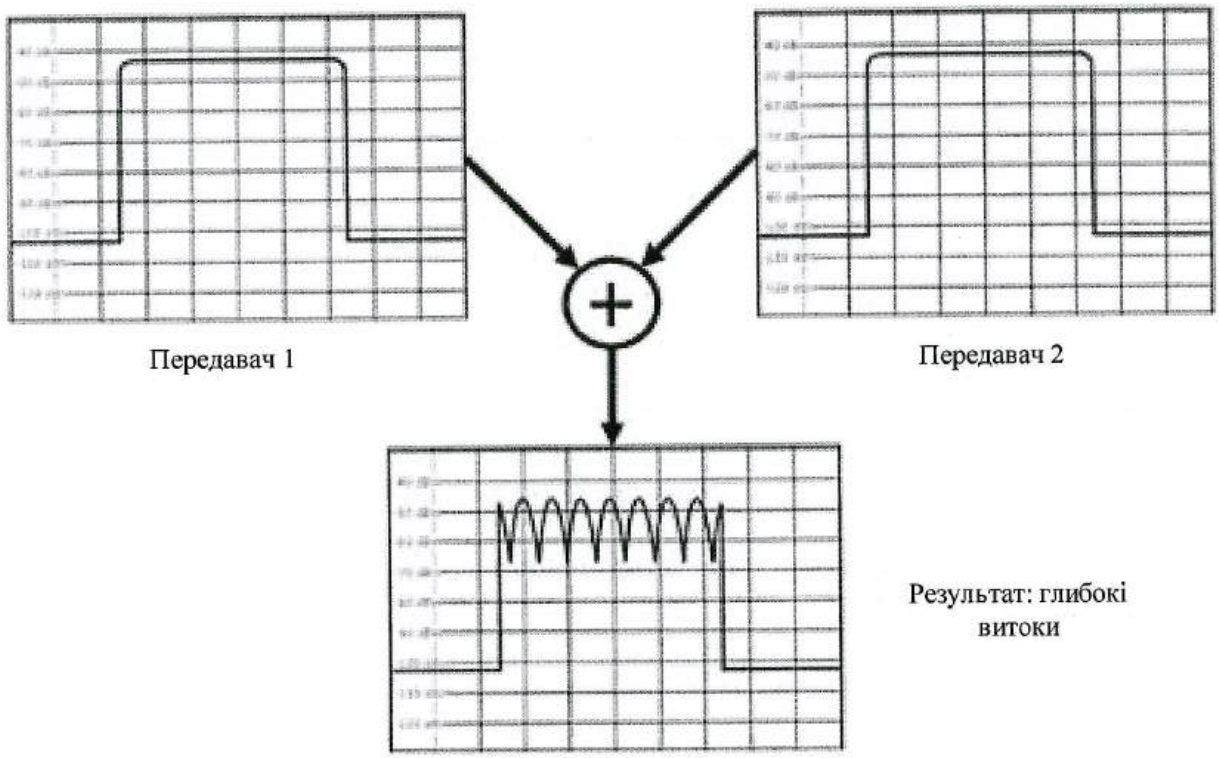


Рис. 2.14. Прийом сигналів від двох передавачів у SFN без конфігурації MISO

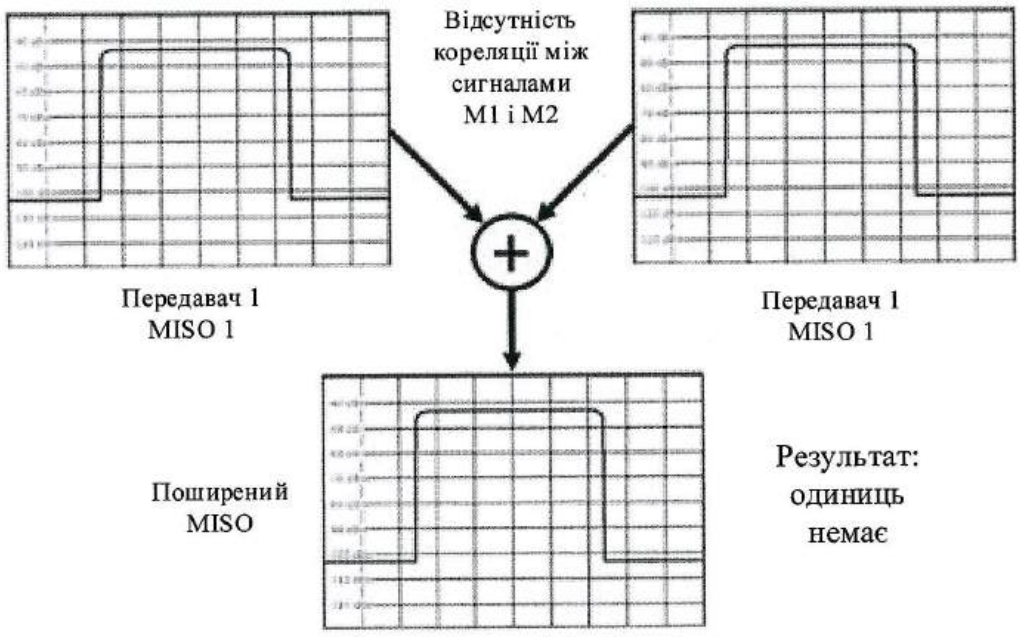


Рис.2.15. Прийом сигналів від двох передавачів у розподіленій конфігурації DVB-T2-MISO

Модифікації носія для MISO

У режимі MISO носії модифікуються в сигналі, що передається від будь-якого передавача групи MISO 2. Розташування та амплітуди несучих однакові для передавачів групи MISO 1 та групи MISO 2, як і в режимі SISO [9]. Однією з основних функцій несучої в цій системі є виконання оцінки каналів, зокрема розсіяних несучих [19].

Розсіяні носії

Порівняно з групою MISO 1, розсіяні носії від передавачів групи MISO 2 інвертуються до альтернативних несучих з розсіяними носіями [9].

$$\begin{aligned} \mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} &= 2(-1)^{k/D_x} A_{SP}\left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right), \\ \mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0, \end{aligned} \tag{2.16}$$

де A_{SP} - амплітуда, c - результуюче значення пілот-носія, m - індекс кадру, l - індекс символу, k - індекс несучої, r - опорна послідовність.

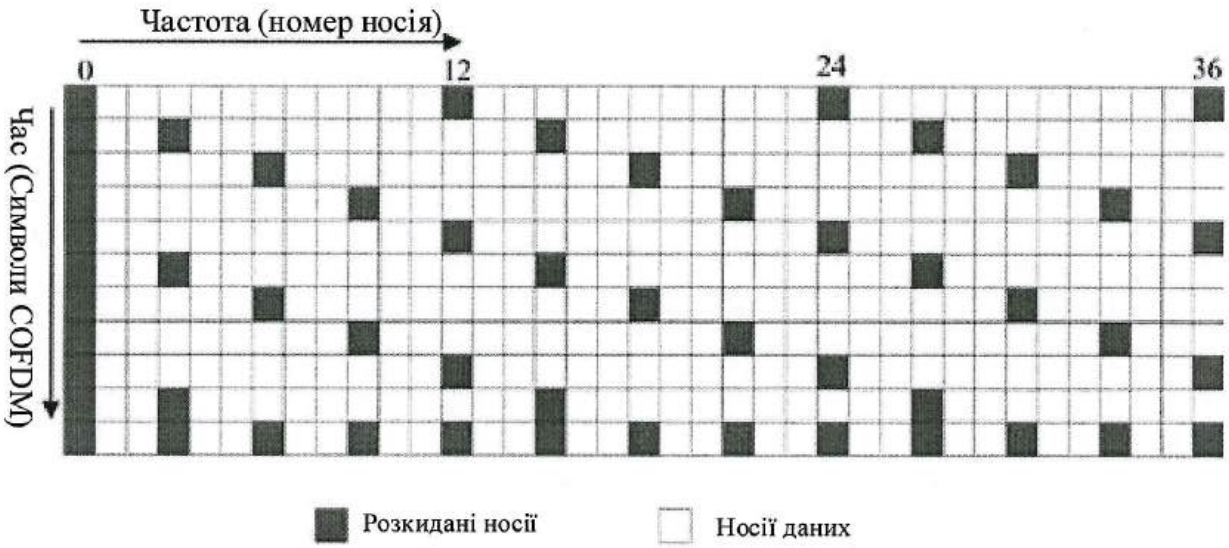


Рис. 2.16. Шаблон дисперсних носіїв PP1 - MISO групи 1

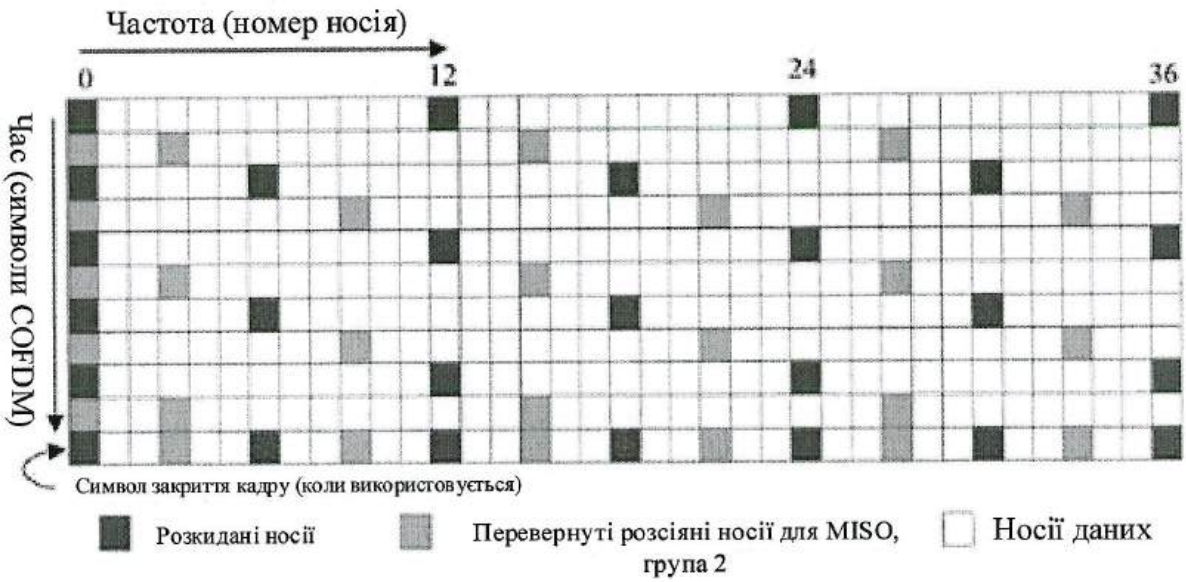


Рис. 2.17. Шаблон дисперсних носіїв PP1 - група MISO 2

Таблиця 2.7.

Розсіяний шаблон несучої, який використовуватиметься для кожної дозволеної комбінації розміру ШПФ та інтервалу захисту в режимі MISO

Розмір ШПФ	Інтервал захисту						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32 тис	PP8 PP4 PP6	PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	-	-	-
16 тис	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP3 PP8	PP3 PP8	PP1 PP8	PP1 PP8	-
8 тис	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP3 PP8	PP3 PP8	PP1 PP8	PP1 PP8	-
4K, 2K	-	PP4 PP5	PP3	-	PP1	-	-
1K	-	-	PP1	-	PP1	-	-

У порівнянні з режимом SISO (див. табл. 2.7) видно, що режим MISO має більше заборонених інтервалів охорони, які можна використовувати порівняно з режимом SISO. Для інтервалу захисту 1/128 режим MISO має більше опцій для використання розсіяних несучих, але для інших інтервалів охорони режим SISO має більше опцій для використання розсіяних несучих.

Неможливо використовувати інтервал захисту 1/4 в режимі MISO. Отже, у великих мережах SFN MISO є можливим лише в тому випадку, якщо використовується режим ШПФ вище 8K [18].

Безперервні носії

Безперервні несучі від передавачів MISO групи 2, які падають на розсіяні несучі, інвертуються порівняно з MISO групи 1 до несучих, для яких розсіяні несучі обернені. Неперервні носії на носіях без розсіяних носіїв не інвертуються [9].

$$\mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} = \begin{cases} 2(-1)^{\frac{k}{D_x}} A_{CP}\left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \\ 2A_{CP}\left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \end{cases} \qquad (2.17)$$

$$\mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0,$$

де A_{CP} - амплітуда, c - результуюче значення несучої пілот-сигналу, m - індекс кадру, l - індекс символу, k - індекс несучої та r - опорна послідовність.

Крайові несучі від передавачів групи MISO 2 інвертуються порівняно з групою MISO 1 на непарних символах OFDM [8].

$$\mathrm{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2(-1)^l A_{SP}\left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right), \qquad (2.18)$$

$$\mathrm{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0,$$

де A_{SP} - амплітуда, c - результуюче значення пілот-носія, m - індекс кадру, l - індекс символу, k - індекс несучої, r - опорна послідовність.

Розташування та амплітуди несучих в MISO такі самі, як і в режимі SISO для передавачів з обох груп MISO, але також додаються інші несучі P2 [7].

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ

3.1 Розрахунок зони покриття системи розподілу інформації DVB-T2

Основні переваги систем DVB-T2 в порівнянні із звичайними системами наземного телемовлення [2, 18].

Можливість передачі до 24 телепередачі в залежності від стандарту при аналоговому сигналі і в 4-6 разів більше при модуляції цифровими стандартами.

Радіомовлення і телемовлення ведуться на екологічно безпечному рівні, коли сумарна потужність передавача не перевищує 1...10 Вт. У застосованих в даний час в системах аналогового телевізійного мовлення використовуються передавачі в метровому діапазоні потужністю до 50 кВт, в дециметровому - до 10 кВт, при цьому рівень електромагнітного поля поблизу телецентрів значно перевищує допустимі норми.

Усуваються так звані "мертві зони" в крупних городах з багатоповерховою забудовою.

Значна економія засобів в порівнянні із будівництвом систем кабельного телебачення. Якщо в розгалуженій кабельній мережі потрібно перекрити окремі ділянки завдовжки 5...20 км., то варіант з ретранслятором відповідної потужності може виявитися переважним прокладці кабелю.

Істотно зменшуються експлуатаційні витрати дякуючи відсутності протяжних магістральних ліній.

Підвищується надійність системи теле- і радіомовлення, оскільки кабельні лінії легко ушкоджуються при різного роду реконструкціях, що проводяться в містах, і при надзвичайних ситуаціях (землетруси, зсуви, урагани і т. п.).

Час розгортання системи DVB-T2 залежно від її конфігурації лежить в межах від декількох днів до двох-трьох тижнів. Система мобільна - без особливих витрат, в разі необхідності, може бути передислокована в інший район.

Системи DVB-T2 можуть надавати послуги доступу в Інтернет.

Джерелом сигналів для телепередач можуть бути:

- приймальна установка супутникового телебачення;
- професійне устаткування наземного телебачення;
- телевізійні і аудіостудії, у тому числі і пересувні установки;
- радіорелейна станція прямої видимості;
- головна станція кабельного телебачення.
- сполучення передавальної станції DVB-T2 з джерелом передачі даних, комп'ютерними мережами і телефонним зв'язком загального користування.

Схема організації мовлення приведена на рис. 3.1 [19].

Передавач головної станції за допомогою антени створює кругове рівномірне випромінювання. Прийом зворотного каналу здійснюється на рупорні антени в заданому секторі залежно від конфігурації зони обхвату. При необхідності збільшення зони або подолання перешкод встановлюються ретранслятори, що працюють в автоматичному режимі.

Для захисту від несанкціонованого прийому система може бути доукомплектована шифратором і комп'ютером з необхідним програмним забезпеченням для контролю за збором абонентської плати з користувачів. При несвоєчасній оплаті абонент автоматично відключається від програми. Пакет передаваних програм може бути роздільний на декілька груп, закодованих по-різному, що дозволяє обирати те, що цікавить абонента.

Система DVB-T2, призначена для мереж наземного телерадіомовлення, розробляється і упроваджується на Україні. На відміну від схожих систем з метою збільшення числа робочих каналів в системі DVB-T2 вибраний діапазон частот в смузі 11,7...12,5 ГГц. передбачається надалі можливість роботи DVB-T2 в діапазонах 28...30 і 40...43 ГГц. Ширина смуги каналу дорівнює 8 МГц. Крок сітки 14 МГц.

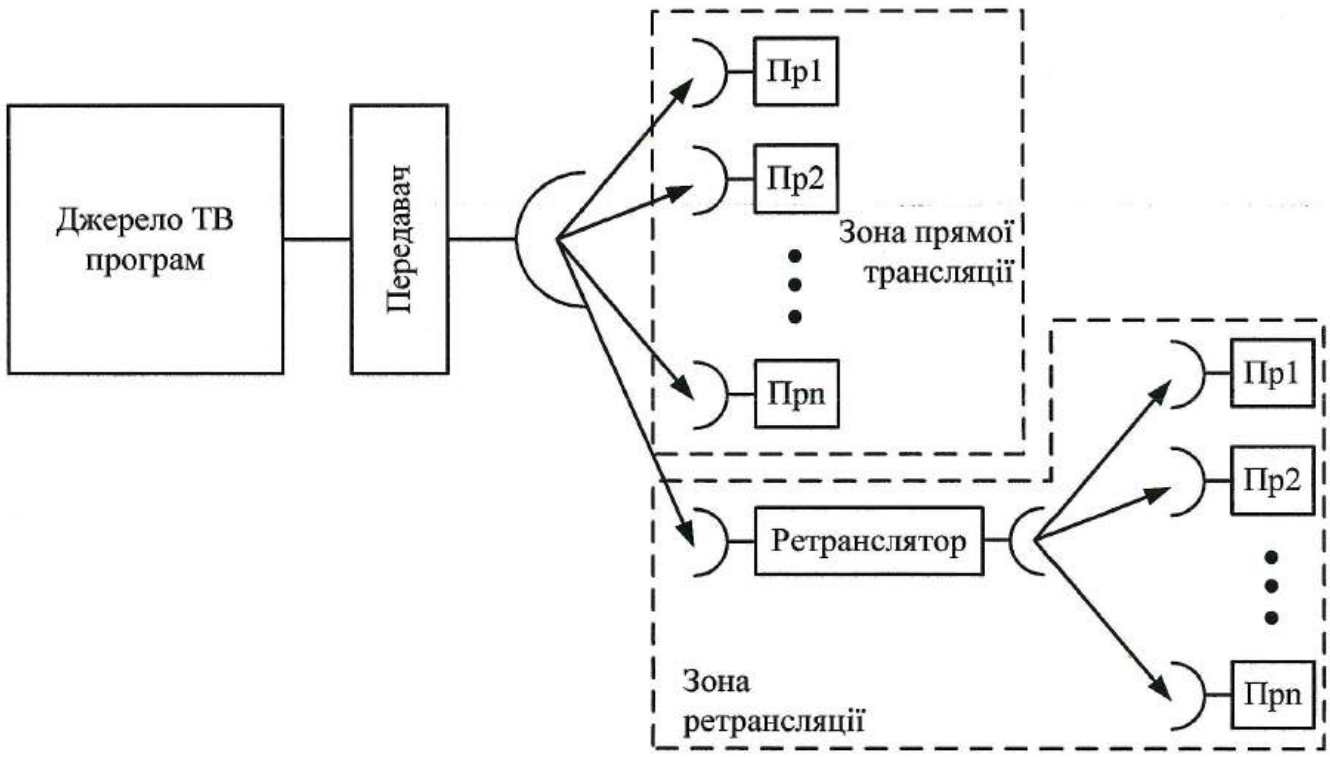


Рис. 3.1. Схема організації мовлення в системі DVB-T2

Основними елементами системи DVB-T2 є:

- підсистема прийому супутникових телепередач, що складається з групи пристроїв супутникового телебачення (антени, конвертери, ресівери і ін. допоміжні блоки);

- підсистема прийому програм наземного телевізійного мовлення, що складається з професійного устаткування для колективного прийому;

- підсистема формування студійних програм;

- підсистема прийому телепередач з виходу радіорелейних ліній прямої видимості;

- підсистема сполучення з телефонною мережею загального користування і комп'ютерними мережами;

- приймальні підсистеми, призначені для колективних і індивідуальних користувачів;

- багатоканальний передавач з антеною, що має кругову діаграму спрямованості, що працює в НВЧ-діапазоні;

- підсистема формування, управління і контролю.

Завданням останньої підсистеми є перетворення аудіо- і відеосигналів в радіосигнали в смузі 0.950...2.050 ГГц, їх розфільтровка і розміщення в заданому порядку на шкалі частот спільно з сигналами супутникового телевізійного мовлення, прийнятими в цій же смузі, а також приведення всіх сигналів до стандартних рівнів.

Багатоканальний передавач передає сигнали зі смуги 0,95...2,05 у смугу 11,7...12,5 ГГц.

Передавальна антена з круговою діаграмою направленості, сформованою за допомогою спеціальної трьохдзеркальної конструкції, має коефіцієнт посилення в смузі робочих частот в горизонтальній площині більше 16 дБ при ширині діаграми спрямованості у вертикальній площині не більш 4°.

Прийом сигналів по системі наземного телевізійного мовлення ведеться на параболічні антени діаметром 25, 60 і 90 см залежно від відстані до передавача і категорії приймальної установки - індивідуальна або колективна.

При потужності 100 мВт на один канал діаметр зони обслуговування складає до 40 км., а в ближній зоні (до 5 км.) прийом можливий безпосередньо на опромінювач конвертера. Підсумовування сигналів різних програм в смузі 11,7... 12,5 ГГц здійснюється в самій антені.

Упевнений прийом на відстані до 15 км. може вестися на антену діаметром 25 см, до 30 км. - на антену діаметром до 60 см і до 40 км. - на антену діаметром 90 см. Можливий прийом сигналів через суху цегельну стіну.

У смузі 11,7...12,5 ГГц в даний час розміщено 24 телевізійних каналу. При переході до частотної сітки через 14 МГц і чергуванні каналів з горизонтальною і вертикальною поляризацією пропускна спроможність системи збільшується до 42 каналів.

Розрахунки і експериментальна перевірка спільної роботи супутникових і наземних систем телевізійного мовлення в загальній смузі частот показали можливість реалізації норм електромагнітної сумісності цих систем.

Зниження потужності, що випромінюється на один канал, з 8...10 Вт до 100 мВт є позитивним чинником, поліпшуючим екологічну обстановку в крупних міс-

тах, населення яких наражається на небезпеку потужного опромінення в діапазонах частот від 2 до 18 ГГц.

Перейдемо до розрахунків.

Для телерадіомовної системи населеного пункту спроектуємо кількість стільників і координати їх розміщення на місцевості. Як населений пункт обираємо м. Васильків в якому немає подібної системи телевізійного мовлення (рис. 3.2).

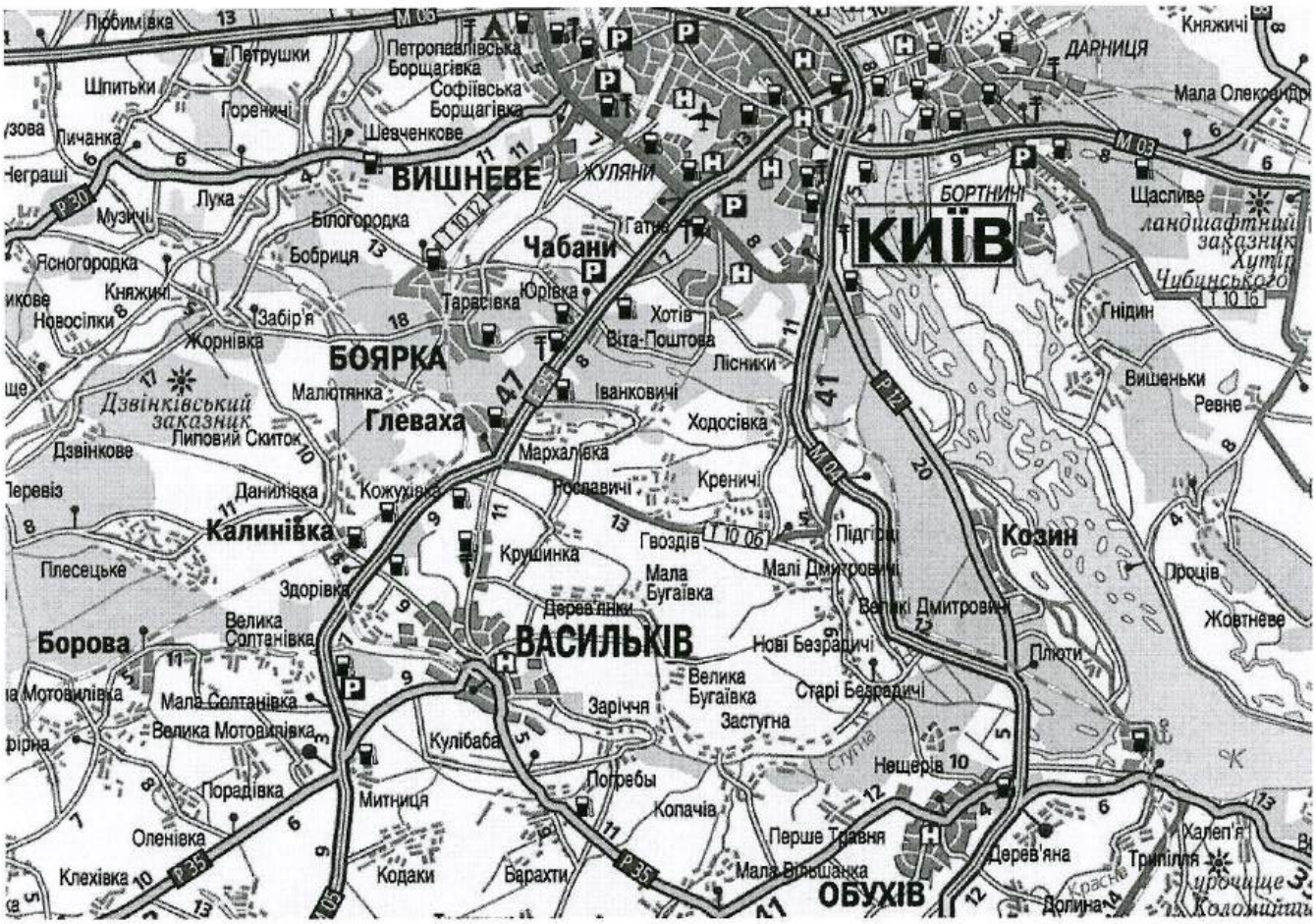


Рис. 3.2. Розміщення м. Васильків на карті

При потужності 100 мВт на один канал діаметр зони обслуговування складає до 40 км. Упевнений прийом на відстані до 15 км. може вестися на антену діаметром 25 см, до 30 км. - на антену діаметром до 60 см і до 40 км. - на антену діаметром 90 см. Можливий прийом сигналів через суху цегельну стіну.

Для впевненого прийому цифрового телевізійного сигналу застосуємо дві базових станції DVB-T2 з радіусом стільника 4 км з круговою діаграмою направ-

лености. Також у випадку виходу з ладу однієї базової станції DVB-T2 потужності однієї станції буде достатньо для впевненого прийому. Такий крок дає можливість покрити і прилеглі села.

Зобразимо приблизне розташування телекомунікаційного обладнання та розміри території, на яку повинен розповсюджуватися зв'язок (рис. 3.3).

Важливим технічним рішенням даної магістерської роботи є застосування двох базових станцій причому одна базова станція випромінює в горизонтальній поляризації, інша у вертикальній. У цьому випадку немає необхідності поділяти частотний діапазон між двома станціями і збільшити в два рази кількість каналів.

Оскільки впевнений прийом сигналу від базових станцій до абонента складає до 40 км, то кожна станція перекриває повністю населений пункт.

Проведемо розрахунки для визначення необхідної потужності передавача.

Рівняння радіолінії зв'язку [20 - 25, 28]:

$$(P \cdot G)_{та} (G/T)_{то} = \frac{16\pi^2 R^2 P_{тоі\,зі} \gamma L}{\lambda^2} \qquad (3.1)$$

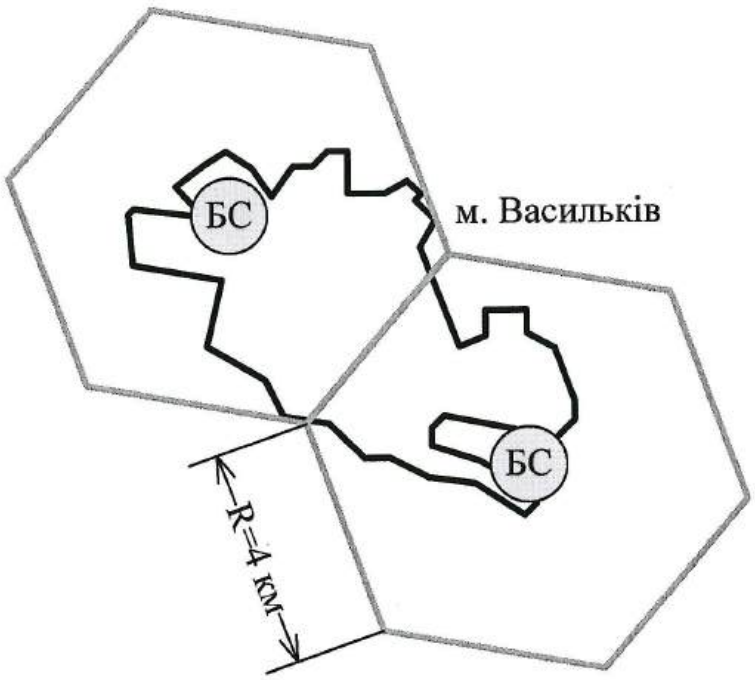


Рис. 3.3. Розміщення базових станцій на території

Виходячи з цього формула потужності передавача має вигляд:

$$P_{\text{ïð}} = \frac{16\pi^2 R^2 P_{\text{ïðèåì}} \gamma L}{\lambda^2 G^2} \qquad (3.2)$$

де R – радіус стільника; λ - довжина хвилі для частоти 12.1 ГГц; G - коефіцієнт підсилення обраної СП дорівнює 16 дБ $G = 10^{0.1 \cdot 16} = 40$ ðàç; γ - відношення потужності сигналу обраної СП до потужності шуму при $P_{зав}=10^{-6}$ $\gamma = 10^{0.1 \cdot 14} = 25$ ðàç.

Визначимо шумову температуру, при $K_ш=1.9$ для обраної СП:

$$T = T_0 \left(K_ø - 1\right) = 293\left(1.9 - 1\right) = 263.7\ \text{K} \qquad (3.3)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища.

Розрахуємо чутливість приймача:

$$P_{\text{ïðèåì}} = kT\Delta F = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 263.7 \cdot 800 \cdot 10^6 = 2.9\ \text{ï Âò} \qquad (3.4)$$

Розрахуємо загасання сигналу за формулою:

$$L_{çä} = L_{çâ} + \left(L_ê + L_î\right) R = 2 + \left(0.1 + 1.2\right) 4 = 7.2\ \text{äÁ} = 5.2 \qquad (3.5)$$

де $L_{зв}$ – завмирання сигналу; $L_к$ – загасання в парах кисню; $L_о$ – загасання в опадах.

Визначимо потужність передавача:

$$P_{\text{ïð}} = \frac{16\pi^2 4000^2 \cdot 2.9 \cdot 10^{-12} \cdot 25 \cdot 5.2}{0.025^2 \cdot 40^2} = 0.95\ \text{Âò}.$$

Складемо частотний план телевізійних каналів. Частотний діапазон, який виділено для передачі сигналу СП DVB-T2 дорівнює 11,7...12,5 ГГц. Ширина смуги пропускання ΔF=800 МГц. Крок частотної сітки K=14 МГц.

Визначимо кількість каналів які можна розмістити в діапазоні частот 11,7...12,5 ГГц:

$$N_k = \left(\Delta F / K\right) - 2 = \left(800 / 14\right) - 2 = 55, \qquad (3.6)$$

цифра 2 виключає з діапазону перший та останній канали, що розміщені на краях діапазону.

Таку кількість каналів ми отримаємо у випадку застосування модуляції OFDM при методі стискання інформації MPEG-4 для розподільної здатності 740x480 пікселів при швидкості потоку 5-6 Мбіт/с (DVD якість). При застосуванні ефективного завадостійкого кодування інформаційний потік збільшується в двічі. Одже 16/2=8 МГц. Як відомо з підрозділу 3.1 застосовуючи технологію N-OFDM можливо в два раз збільшити пропускну здатність каналу зв'язку. Також при використанні перспективного кодека H.264 вдається зменшити інформаційну швидкість телевізійного потоку на 50% в порівняні з MPEG-3.

Таким чином з вищесказаного випливає, що інформаційний потік у такий спосіб можна зменшити в 4 рази. В цьому випадку по одному каналу зв'язку для формули (3.6) ми можемо передати 4 телевізійних потоки DVD якості середнім відеопотоком до 4 Мбіт/с, або один Blu-ray якості з середнім відеопотоком до 16 Мбіт/с.

Визначимо кількість каналів які можна розмістити в діапазоні частот 11,7...12,5 ГГц з урахуванням формули:

$$N_k = \left[\left(\Delta F / K\right) - 2\right] 4 = \left[\left(800 / 14\right) - 2\right] 4 = 220 . \quad (3.8)$$

3.2 Збільшення абонентської ємності мережі за допомогою стандарту H.264

Як і слід було очікувати, найновіший стандарт стиснення для відео H.264 (серед приблизно MPEG-4 Part 10/AVC, його також називають MPEG-4, частина 10 / AVC, остання буква вказує на ще одну технологію кодування відео), буде стандартом у найближчі роки. відео, що більше зажадалось [26].

H.264 - це відкритий ліцензований стандарт, який підтримує найпотужніші на сьогодні технології стиснення відео. H.264 кодер може зменшити розмір файлу цифрового відео більш ніж на 80% по порівнянні з Motion JPEG технології і 50% по порівнянні з MPEG-4 без шкоди для якості зображення. Це означає набагато нижчі вимоги до пропускної здатності для передачі відео та пам'яті. Або, з іншого боку, можливість отримувати набагато якісніші відео з однаковою швидкістю та даними.

H.264 з'явилися в нових електронних пристроях, такі як мобільні телефони і читачі фонів і відео цифрові, і відразу ж отримали визнання з боку користувача. Провайдери різних послуг, таких як онлайн - відео записи, а також в телекомунікаційній компанії, також почали використовувати H.264.

У галузі відеоспостереження H.264, мабуть, найшвидше знайти своє призначення в районах, що вимагають високої частоти кадрів і високої роздільної здатності, наприклад, з міркувань безпеки в період спостереження шосейних доріг, аеропортів та казино, де нормою є використовувати 30 кадрів в секунду. Найбільша економія досягається за рахунок оптимізації вимог та пропускної здатності та кількості місця для зберігання та відображення даних.

Він також планує прискорити перехід до H.264 мегапіксельної камери та повторно використовувати високоефективну технологію стиснення, яка може зменшити великий файл і швидкість передачі інформації без шкоди для якості зображення.

H.264 є результатом спільного проекту між Експертною групою з кодування відео ITU-T та Експертною групою з кінотехнологій ISO / IEC (MPEG). ITU-T координує телекомунікаційні стандарти від імені Міжнародного телекомунікаційного союзу. ISO розшифровується як Міжнародна організація зі стандартів та держави, а IEC - Міжнародна електротехнічна комісія, яка контролює всі електричні, електронні та суміжні технології. Ім'я H.264 зі сторони ITU - T, в той час як ISO / IEC дали стандартний MPEG-4 Part 10 / AVC назва, тому що це новий елемент в пакеті MPEG-4. Пакет MPEG-4, наприклад, включає в себе MPEG-4 Part 2 використовується в відео передавачів і камер мережі - на основі систем IP.

H.264, призначений для виправлення деяких недоліків попередніх припущень та стиснення відео для досягнення своїх цілей:

• удосконалення, які дозволяють для більш низьких швидкостей передачі даних, вмісту сірки і т.д. Це становить 50% і забезпечує відео якості реального дорівнювати в будь-якому іншому стандарті відео;

• відмовостійкість, що дозволяє відтворювати зображення, незважаючи на помилки в передачі даних по різних мережах;

• мало затримок і отримати найкращу якість на найвищому рівні та за підтримки;

• проста структура синтаксису, що спрощує реалізацію стандарту;

• декодування на основі точних збігів, визначення точної кількості чисельних розрахунків, виконаних в кодер і декодер вони дозволяють це потреба уникнути накопичення помилок.

H.264 також володіє достатньою гнучкістю, що дозволяє йому обертатися і розгортати безліч завдань, то швидкість передачі даних, яка є дуже різні. Наприклад, у розважальному відео (трансляція, DVD, супутникове та кабельне телебачення) H.264 може забезпечувати швидкість від 1 до 10 мегабіт в секунду, тоді як телекомунікації в H.264 можуть забезпечувати з'єднання для даних кісток доктора менше 1 Мбіт / с.

Стиснення відео є скорочення і видалення введення непотрібних і даних з метою оптимізації зберігання та передачі цифрового відео файлів.

Під час цього процесу алгоритм обробляє вихідний відеосигнал, щоб створити стислий файл для передачі та зберігання. Стиснутий файл в електронній системі використовує зворотний алгоритм, який на самому ділі створює ті ж кадри, як оригінальне джерело відеосигнал. Час хотів би стиснути, відправити, розпакувати та відобразити імена файлів із затримкою. При однаковій обчислювальній потужності: чим складніший алгоритм стиснення, тим більша затримка.

Загальна робота пари алгоритмів називається відеокодеком (кодером / декодером). Відеокодеки, які використовують різні стандарти, які, як правило, несумісні з кожним або f із них, оскільки відеодані, упаковані в один із стандартів, не

можуть бути розіп'яті та випечені за допомогою іншого стандарту. Наприклад, декодер MPEG-4 не має зв'язку з кодером H.264. Причина полягає в тому, що жоден алгоритм не має однакових правильних результатів декомпресії, використовуючи роботу іншого алгоритму, але існує можливість оснащення багатьох різних алгоритмів, програмного чи апаратного забезпечення, щоб він міг створювати формати стиснення.

Різні стандарти стиснення відео відрізняються, а тоді зменшує обсяг даних і, отже, результати відрізняються якістю, швидкістю даних і рівнем затримки.

Результати стиснення можуть різнитися, і датчики, які використовують сонячну енергію та UT на тому самому рівні, що і кодер розробника, можуть вільно вибирати, які інструменти визначаються у стандарті, з яким він асоціюється. До тих пір, поки кодер виводу результатів відповідає стандартним форматам і декодерам, безліч m і до його реалізації. Це корисно, оскільки різні методи реалізації мають різні цілі та бюджет. Датчики професійне програмне забезпечення для використання в оптичних носіях не в режимі реального часу повинна бути в змозі забезпечити кращий код для фільму Ван по порівнянні з кодером апаратних засобів, щоб бачили на конференції в режимі реального часу, вбудованих в портативних пристроях. Тому конкретний стандарт не може гарантувати певну швидкість або якість передачі даних. Крім того, робота нормального не може бути адекватно пористою в межах з іншими стандартами або навіть різними реалізаціями того самого стандарту без визначення способу реалізації.

На додаток, декодер, в відміну від кодера встановлюється на всіх не бути необхідні стандартні компоненти для того, щоб декодувати відповідний потік бітів. Таким чином, стандарт чітко визначає, як алгоритм розпакування повинен відновлювати кожен біт з стисненого відеозображення [27].

На наступній діаграмі (рис. 3.4) порівнюється швидкість передачі даних для наступних стандартів відео на одному рівні якості зображення: Motion JPEG, MPEG-4 та H.264. Для обраного відеокадра послідовності, то H.264 кодер виробляє до 50% менше біт в секунду по порівнянні з MPEG-4 кодера. Кодер H.264

принаймні втричі потужніший кодер MPEG-2 і принаймні в шість разів потужніший, ніж Motion JPEG.

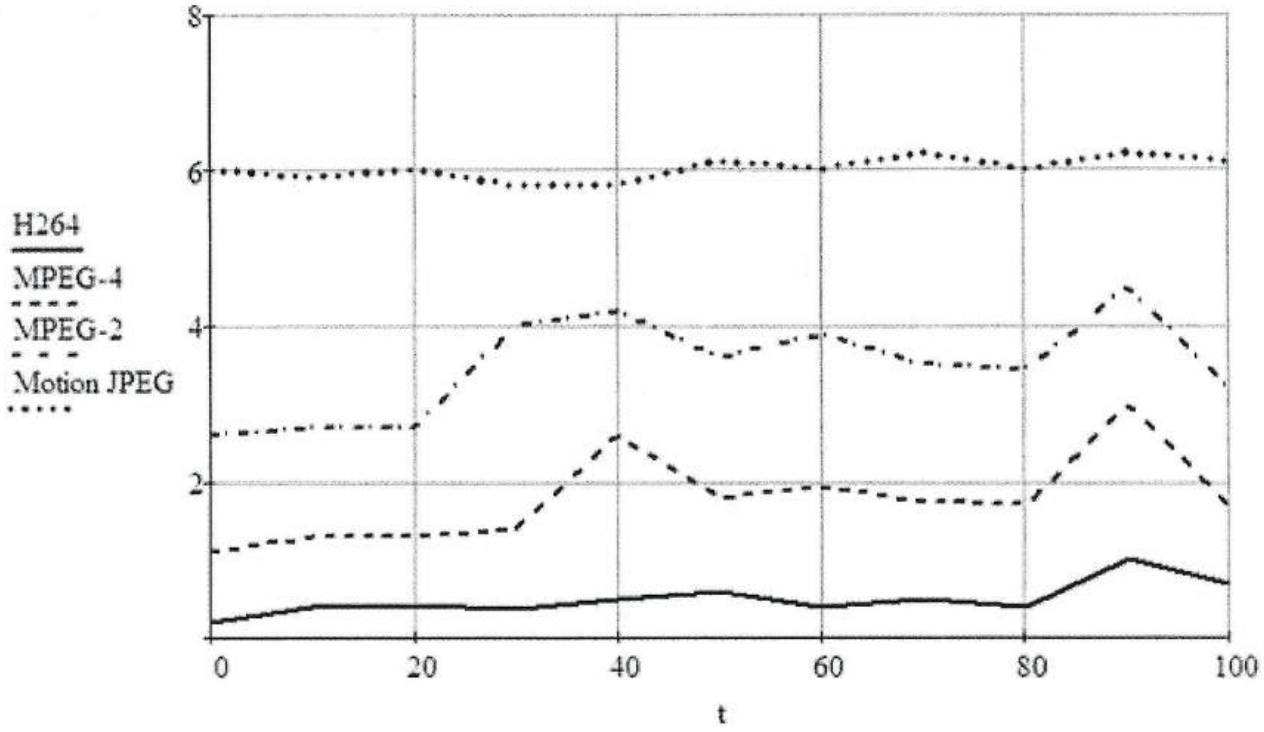


Рис. 3.4. Порівняння швидкість передачі даних при однаковому рівні якості зображення для відеокамери, що встановлена перед дверима

Об'єднана команда, бере участь у визначенні стандарту H.264, буде зосереджена на створенні простого і прозорого розчину, що знижує і кількість мінімум опцій і параметрів. Важливий аспект стандарту, як і інші стандарти відео, є наданням різних функціональних можливостей в рамках профілів (набори з алгоритмічних параметрів) і рівнів (категорії продуктивності) для підтримки оптимальної для популярних продуктів і загальних форматів.

H.264 включає сім профілів, кожен призначений для конкретного застосування. Кожен профіль визначає, які параметри може використовувати кодер, і обмежує складність реалізації декодера.

Мережеві камери та відеопередавачі, ймовірно, використовуватимуть так званий базовий профіль, головним чином призначений для використання в районах з обмеженими обчислювальними можливостями. Основний план підходу до більшості - це використання для сучасних кодерів у мережі відеоприладів, вбудо-

ваних в режимі реального часу. Профіль цього також забезпечує низьку затримку, що є необхідною умовою важливим для реального часу мовлення, а також є особливим, яка може знищити цінність управління оглядом в режимі реального часу в камері переглядає мережу, нахил і масштабування.

H.264 має 11 рівнів обмежень щодо функціональності, пропускної здатності каналів та вимог до пам'яті. Кожен рівень визначає швидкість передачі даних, і швидкість кодування являє собою ванну макроблоків помилок в секунду з роздільною здатністю від ТБ до низької якості і високоякісного телебачення. Чим більше розподілу воно здається, потрібно більш високий рівень.

Залежно від профілю H.264, кодер може використовувати різні типи кадрів, а саме I- кадр, P-кадр та B-кадр (див. рис. 3.5).

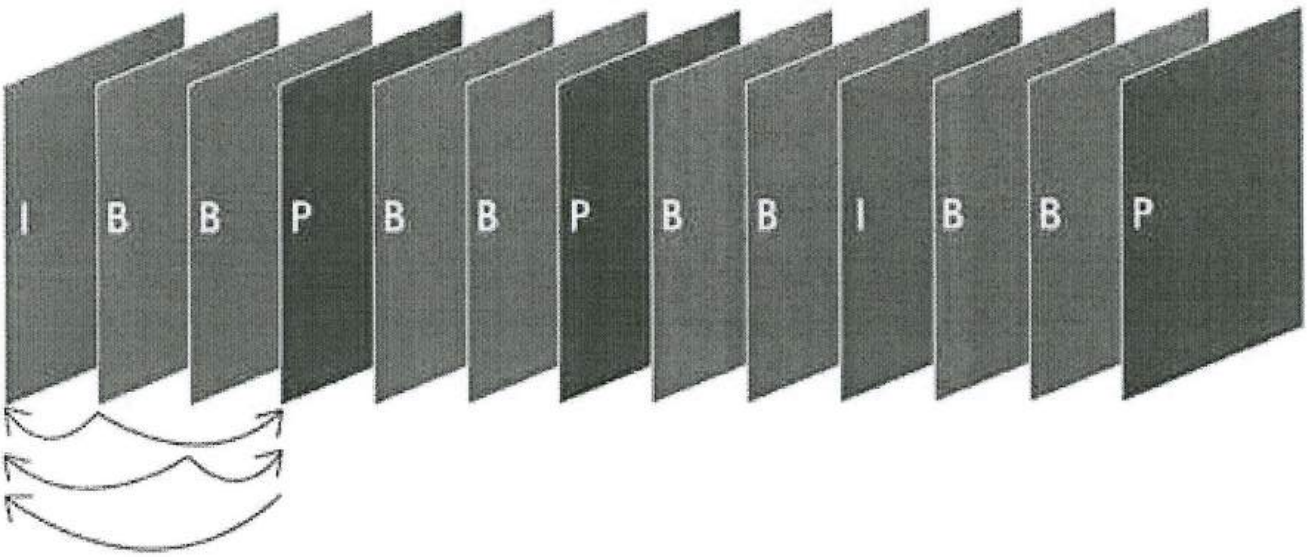


Рис. 3.5. Типова послідовність I-, B- і P-кадрів

I-кадр (або вхідний кадр) - це ізольований кадр, який можна самостійно декодувати, не комбінуючи з іншими зображеннями. Перші зображення та обмеження у відеопослідовності завжди є I-кадром. I-кадри необхідні для виходу в точку перспективи або ресинхронізації, коли вимога порушення є бітовим потоком даних. I-кадри можуть бути використані для операцій та перемотування вперед, назад і інших функцій довільного доступу. Кодер автоматично вставляє I-кадри через рівні проміжки часу або на вимогу у разі, коли очікується приєднання нових

клієнтів до перегляду потоку. Недолік I-кадрів знаходиться на залізницях, які вимірюють кількість біт, але з іншого боку не генерує велику кількість спотворень в процесі.

P-кадр, який декодує в якості проміжного кадру в призначеної природі, містить посилання на його кодування для попередніх I-кадрів і P-кадрів. P-кадри зазвичай вимагають менше бітів, ніж I-кадри, але вони мають недолік n f в тому сенсі, що вони вразливі до помилок передачі через складну залежність попередніх P- кадрів.

B-кадр (або проміжний кадр із двонаправленим передбаченням) - це кадр, який містить посилання як на попередній, так і на наступний опорний кадр. P-кадр може згадувати попередній I або P-кадр, тоді як B-кадр може бути n або запрошувати компонент, а також попередній та наступний I або P-кадри.

Коли відеодекодер повертає відео з використанням покадрове декодування потоку біт, процес декодування завжди повинен починатися з I-кадром. Коли P-кадри і B - кадри використовуються, вони повинні бути розшифровані разом з опорними кадрами.

Тільки H і P кадри використовуються в H.264, базовий профіль. Профіль цього ідеально підходить для мережевих камер і відеокодера, так як затримка буде зменшена, яка досягається за рахунок відсутності B-кадрів.

Є кілька способів, щоб зменшити обсяг відеоданих знаходиться в кадрі з картини, що в наборі відеокадрів.

Усередині кадру зменшення даних зображення може виконуватися просто з допомогою даних, не потрібних (зменшення розміру файлу / кадру), які впливають на роздільну здатність зображення (рис. 3.6). У форматі Motion JPEG, ці три зображення показана в порядку, згаданий вище, кодуються і передаються в вигляді окремих університетів та окремі зображень (I-кадри) без взаємозалежності [29].

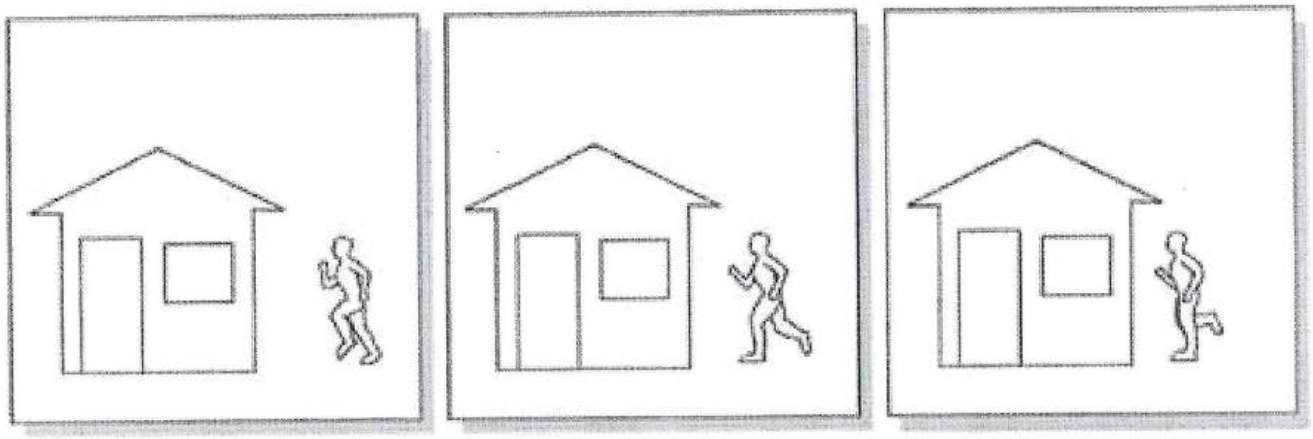


Рис. 3.6. Кодування по унікальних зображеннях

У рамках послідовності зменшення відеоданих можна здійснити за допомогою таких методів, як диференційоване кодування, що використовується в більшості стандартів стиснення відео, включаючи H.264 (рис. 3.7). При кодуються з відмінностями, тільки перше зображення (I-кадр) буде повністю закодований. Два послідовних зображення (P-кадри) є посиланнями на перше зображення відносно статичних елементів (в даному випадку відносного будинку) і кодуються лише рухомими частинами (людина в даному випадку рухається) від навігації до застосування векторного руху, зменшуючи таким чином, обсяг даних, що підлягають передачі, і зберігається.

Розмір кодування можна додатково зменшити, якщо виявлення і стискування піксельних блоків (макроблоків) та окремих пікселів, тоді порівняно з більшими площами і лише кодованими блоками, які мають суттєві відмінності. Знижується вартість зазначення місця зміни.

Втім, кодування по відмінностях істотно не понизить об'єм даних, якщо відео містить багато рухомих об'єктів. І можна використовувати ці техніки або вже в якості компенсаційного блоку руху. Блок компенсації руху бере до уваги, що велика частина нього, що створює новий кадр в відеопослідовності, можна знайти в попередніх кадрах, але, можливо, в інших місцях. Програма ділить кадр на макроблоки. Новий кадр (наприклад, P-кадр) можна скласти або "дочекатися" блоку, шукаючи відповідний блок у опорному кадрі. Коли виявлено звернення, кодер просто кодує позицію відповідного блоку, знайденого в системі відліку. Кодуван-

ня так званого вектора руху вимагає менше інформації, ніж кодування фактичного змісту всього блоку (рис. 3.8).



Рис. 3.7. Кодування по відмінностях

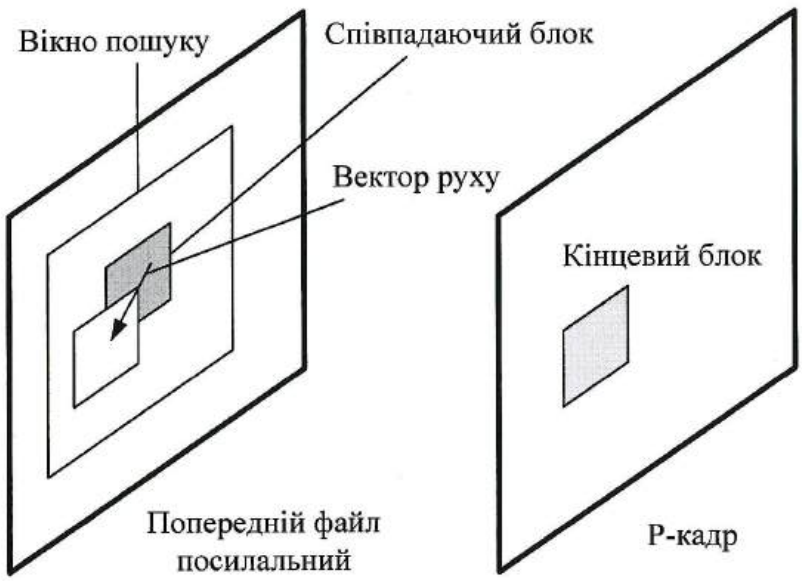


Рис. 3.8. Ілюстрація поблочної компенсації руху

Стандарт H.264 представляє нову вдосконалену внутрішню систему прогнозування для і-кодування. Ця система може значно зменшити розмір (біт) І-кадр, зберігаючи при цьому високу якість за рахунок правильного передбачення числа з блоків пікселів в межах похибки від макроблоку в межах кадру. Це робиться шляхом спроби знайти сумісні пікселі серед раніше закодованих пікселів, які обме-

жують новий блок пікселів 4x4 для внутрішнього кодування. Шляхом повторного використання, вже закодовані у значеннях пікселів, можуть бути по суті скульптурними при глибокому розмірі даних у бітах. Нове міністерство внутрішніх справ прогноз - ключ і пост ментів технологія H.264, яка виявилася дуже ефективними. Для того, щоб тієї рівні, навіть якщо потік H.264, використовуючи тільки кадри, розмір файлу, що е буде набагато менше, ніж в Motion JPEG потік, який використовує сонячну енергію в тільки I-кадрування.

H.264, також покращує блок компенсації руху, який використовується для кодування P і B кадрів. H.264 кодер може вибрати для пошуку відповідного ж тих одиниць (навіть з субпіксельним дозволом) в деяких або кілька областях одного або кілька швидкостей передачі біт. Щоб покращити колекцію пошуку та пагорб, ви також можете налаштувати розмір та форму блоків. У тих районах, де подібні одиниці сонячної енергії не можуть бути знайдені в рамках в внутрішньої кодованої помилки макроблоків. Висока гнучкість виграшних блокополімерів, такі як H.264 руху ефективні в області відеоспостереження декількох великих село людей флагманського зберігання з досить свободами дій для якості зображення. Компенсація руху є найпопулярнішим аспектом відеокодера та різними способами та рівнями, на яких його реалізація дає можливість використовувати кодер H.264, зовнішній, для поліпшення стиснення відео.

З H.264 стандартних типових блочних об'єктів з'являються в відеозображення з високим Motion JPEG і MPEG стиснення стандартами (в відміну від H.264), то вбудовані деблокуючі фільтри може бути зменшено. Цей фільтр автоматично вирівнює краю блоків і створює на майже повне розширене відеозображення [29].

Підіб'ємо підсумки. H.264 є величезним кроком вперед в технології стискування відеозображення. Цей стандарт пропонує різноманітні технології, що дозволяють покращити ефективність стиснення за допомогою більш точних моделей внутрішнього прогнозу та більшої стійкості до відмов. Це відкриває нові можливості для створення вдосконаленого кодера, здатного значно підвищити і якість зображення, збільшити частоту кадрів і роздільну здатність, коли колекція є

рівною і тією ж швидкістю передачі даних (від попереднього стандарту і нами) або навпаки з урахуванням відео того самого якість з меншою кількістю з'єднань, кубиків даних тощо.

H.264 є першим прикладом спільної роботи Міжнародного союзу електрозв'язку, Міжнародної організації зі стандартизації та Міжнародної комісії з електроенергетики щодо загальних міжнародних стандартів для стиснення відео. Через свою гнучкість H.264 знайшов своє місце в таких областях, як відеокодерів телебачення високої чіткості (наприклад, Blu-ray), відео мовлення, таких як телебачення високої чіткості, онлайн - зберігання відео (наприклад, YouTube), додатки третього покоління мобільної телефонії, такі як QuickTime, Flash і операційна система MacOS, а також відеографія з іграми з додатками, наприклад, PlayStation 4. За підтримки багатьох галузей промисловості і розробці програмних додатків, призначених для задоволення потреб споживачів і продавців, H.264, як очікується, замінять інші, використовувані в даний час стандартів і методів стиснення.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень:

1. В роботі проведено аналіз радіотехнічних телевізійних систем мовлення.

2. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандартів DVB-T та DVB-T2.

3. Проаналізовано переваги стандарту DVB-T2 порівняно з DVB-T і зроблено висновок про те, що стандарт DVB-T2 значно покращує та розширює можливості свого попередника DVB-T.

4. Експериментально досліджено ефективність застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу.

5. Розрахована система телевізійного мовлення для м. Васильків.

Проведені дослідження та розрахунки дозволять здійснювати цифрову передачу телевізійних програм високоефективними системами зв'язку і актуально для впровадження в сучасних системах телевізійного мовлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Постанови Кабміну щодо впровадження цифрового мовлення [Електронний ресурс] // Національна рада України з питань телебачення і радіомовлення - Режим доступу: https://www.nrada.gov.ua/tsyfrove-efirne-telebachennya/ (дата звернення: 15.10.2023).

2. DVB-T2 [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/DVB-T2 (дата звернення: 18.10.2023).

3. "Final Acts WRC-17," ITU, Geneva, Switzerland, Tech. Rep., 2017

4. DVB WorldWide [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://www.dvb.org/news/worldwide (дата звернення: 18.10.2023).

5. Digital Video and Audio Broadcasting Technology (4th ed.) / Walter Fischer. - Springer, 2020. - 1055 p.

6. The Development of MPEG-2 Systems [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8042845/ (дата звернення: 15.11.2023).

7. Content Support in MPEG-2 Systems [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8042741 (дата звернення: 15.11.2023).

8. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300421/01.01.02_60/en_300421v010102p.pdf (дата звернення: 15.11.2023).

9. "Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)", ETSI Technical Specification TS 102 831 V1.1.1, Oct. 2017.

10. B. Ruckveratham and S. Promwong, "Performance evaluation of DVB-T2 for outdoor reception", 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology, pp. 1-5, 2016.

11. A. Ingun, "DVB-T2 field trial and optimized parameters in Thailand", Electrical Engineering Congress (iEECON) 2014 International, pp. 1-4, March 2021.

12. "ETSI Standard EN 102 831 V1.2.1", "Digital Video Broadcasting (DVB): Implementation guildline for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)", Aug. 2020.

13. S.G Tanyer, "The Cumulative Distribution Function for a finite data set", IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 1-3, April 2018.

14. "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for DVB Terrestrial Services; Transmission Aspects", V. 1.2.1. ETSI TR 101–190 Now, 2021.

15. J. Kalliovaara et al., "Coexistence of DTT and Mobile Broadband: A Survey and Guidelines for Field Measurements", Wireless Commun. and Mobile Comput., vol. 2017, pp. 1-19, Jun. 2017.

16. H. Bawab et al., "Global Ergodic Capacity Closed-Form Expression of Coexisting DVB-LTE-Like Systems", Proc. IEEE VTC 2019-Spring, pp. 1-5, 2019.

17. M. Denkovska et al., "Optimization of Spectrum Usage and Coexistence Analysis of DVB-T and LTE-800 systems", Wireless Pers. Commun., vol. 87, no. 3, pp. 713-730, Apr. 2016.

18. H. Bawab et al., "Spectral Overlap Optimization for DVB-T2 and LTE Coexistence", IEEE Trans. on Broadcast., vol. 64, no. 1, pp. 70-84, Mar. 2018.

19. L. Polak et al., "Study of Coexistence between Indoor LTE Femtocell and Outdoor-to-Indoor DVB-T2-Lite Reception in a Shared Frequency Band", EURASIP Journal on Wireless Commun. and Network., vol. 2015, no. 1, pp. 1-14, Apr. 2021.

20. L. Polak and T. Kratochvil, "Influence of IQ-Imbalances on DVB-T2 Performance and their Suppression", Proc. of BMSB, pp. 1-5, Jun. 2017.

21. W. Fischer, Digital video and audio broadcasting technology: a practical engineering guide., 2020.

22. B. Ruckveratham and S. Promwong, "Empirical single frequency network threshold for DVB-T2 based on laboratory experiments", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, vol. 27, no. 5, pp. 3342-3355, Jan. 2019.

23. S. Nepal et al., "A Comparative Study on Radio Coverage Due to DVB-T2 Multi-Frequency Network (MFN) and Single Frequency Network (SFN)", Proc. of Int. Symp. BMSB, pp. 1-6, 2020.

24. L. Polak et al., "On the Performance of DVB-T2 MISO System: Special Fixed Transmission Scenarios", Proc. of 31st Int. Conf. on Radioelektronika, pp. 1-4, 2021.

25. "Generating a Test Signal for Distributed DVB-T2 MISO", R&S Application Note, Nov. 2022.

26. N. Dwiyanti, M. E. Anggraeni and C. D. Murdaningtyas, "Performance of QoS parameters for UHF TV broadcast on Batu TV", International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA), 26-27 September 2017, ISBN CFP17D37-POD 978-1-5386-0713-8.

27. E. G. Rakhmat Oktariza, "Rancang Bangun Platform Sistem SFN TV Digital DVB-T2", Jurnal Teknik ITS, vol. 4, no. 2, pp. A-206, 2022, ISSN 2337-3539.

28. R. Kaur and N. Singh, "OFDM: Overview, Fundamentals, and Future," Wireless Personal Communications, vol. 103, no. 1, pp. 71-91, 2018. doi: 10.1007/s11277-018-5577-1.

29. Coding Time Prediction in H.264/HEVC Transcoding Using Macroblock Sizes [Електронний ресурс] // - Режим доступу: https://ieeexplore.ieee.org/document/8864805 (дата звернення: 16.11.2023).

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація магістерської роботи на тему:

Розробка телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2

Студента Калініченка Данила Олександровича

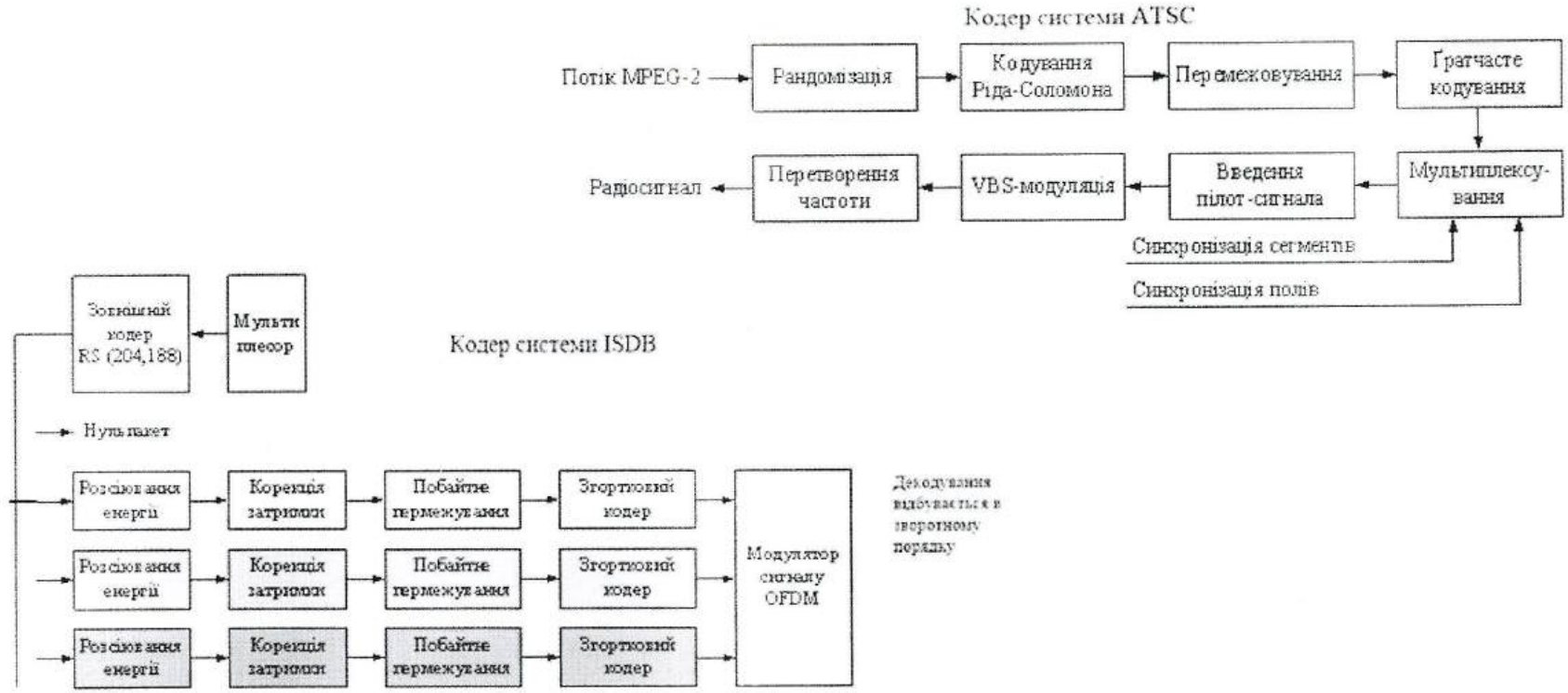
Мета роботи

Об'єкт дослідження є процес безпроводового телевізійного мовлення.

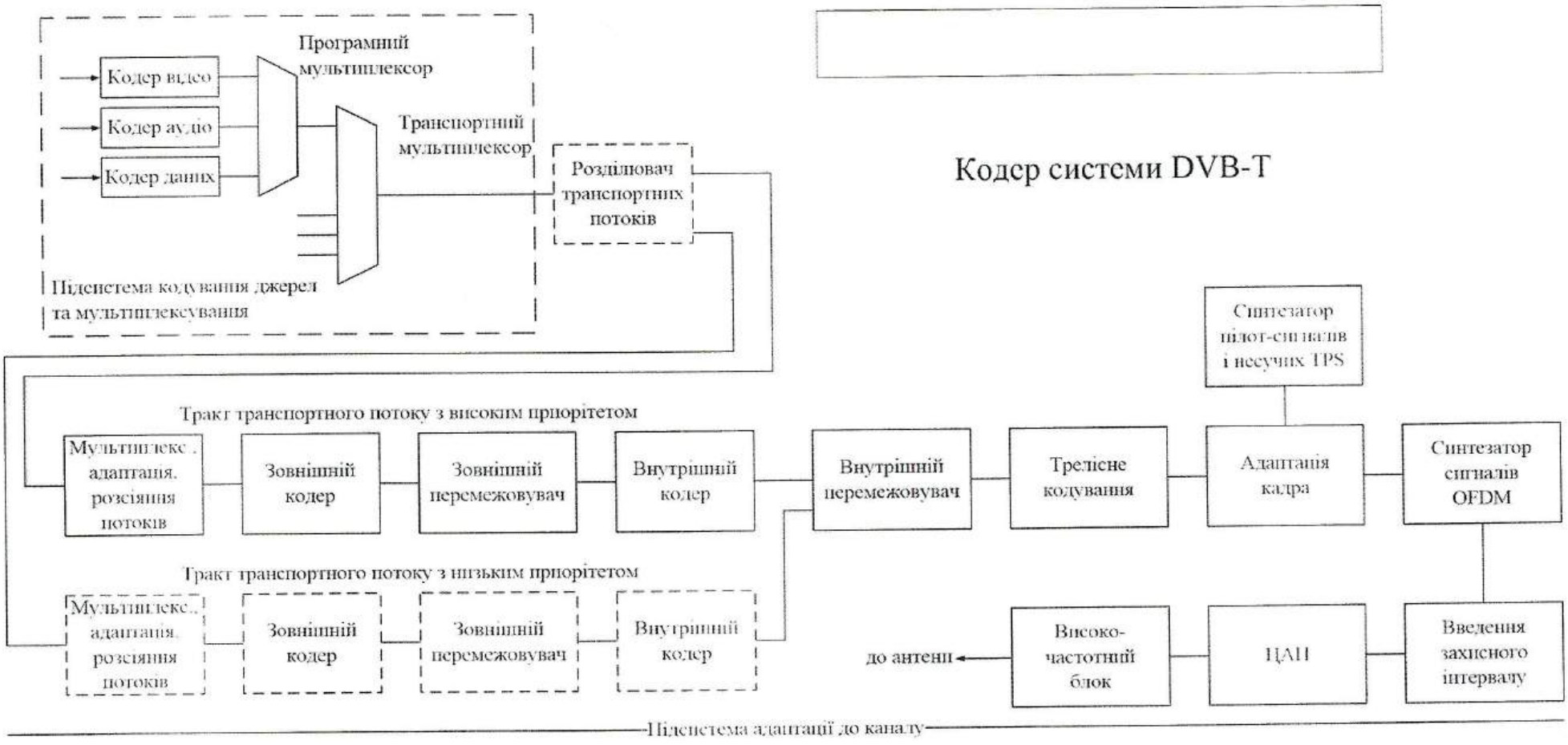
Предмет дослідження є методи розробки телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Метою роботи є розробка телекомунікаційної інфраструктури населеного пункту на основі стандарту DVB-T2.

Цифрові системи телевізійного мовлення



Цифрові системи телевізійного мовлення DVB-T



Цифрове наземне телевізійне мовлення в Україні



Канали цифрового мовлення в Україні

Назва	Холдинг / Власник	Логотип	Запуск	Формат мовлення	EPG	Юридична особа	Офіційний вебсайт	Попередній мовник
Перший	Суспільне	ПЕРШИЙ	01.02.1939	SD 576i 16:9	✓	АТ «Національна суспільна телерадіокомпанія України»	tv.suspilne.media	Інтер
Рада	ДТВРУ	РАДА	24.11.1998	HD 1080i 16:9	✗	ДП «Парламентський телеканал „РАДА"»		Україна
1+1	1+1 Media	1+1	03.09.1995	SD 576i 16:9	✓	ТОВ «ТРК „Студія 1+1»»		
Суспільне Культура	Суспільне	СУСПІЛЬНЕ КУЛЬТУРА	01.01.2002	HD 1080i 16:9	✗	АТ «Національна суспільна телерадіокомпанія України»	suspilne.media/culture	НТН Україна
ICTV	Starlight Media	ICTV	15.06.1992	SD 576i 16:9		ТОВ «Міжнародна комерційна телерадіокомпанія»	ictv.ua	К1
СТБ		С	02.06.1997			ТОВ «Телеканал СТБ»	stb.ua	Перший
Інтер	Inter Media Group	ІНТЕР	20.10.1996		✓	ПрАТ «Телеканал „Інтер"»	inter.ua	ICTV
УНІАН ТБ	1+1 Media	УНІАН	28.07.2010			ТОВ «Дідиван»	unian.tv	Enter-фільм
Бігуді		бігуді	13.01.2014			ТОВ «РЄАЛ ІСТЕЙТ-ТВ»	biguditv.ua	
Армія ТБ	Міністерство оборони України	АРМІЯ ТБ	21.04.2023		✗	Центральна ТРС Міністерства оборони України	armytv.com.ua	

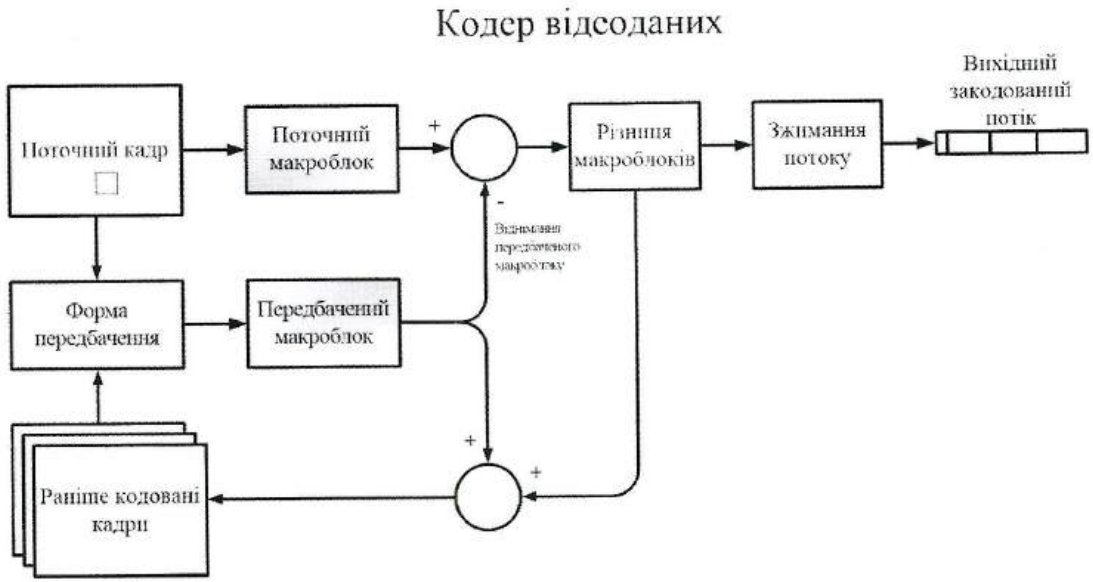
Назва	Холдинг / Власник	Логотип	Запуск	Формат мовлення	EPG	Юридична особа	Офіційний вебсайт	Попередній мовник
Новий канал	Starlight Media	Н	15.07.1998	SD 576i 16:9		ТОВ «Новий канал»	2day.tv	MTV Україна Zoom
ТЕТ	1+1 Media	ТЕТ	24.01.1992			ПрАТ «Телекомпанія „ТЕТ"»		
2+2		2+2	01.07.2006			ТОВ «Реал Істейт-ТВ»	2plus2.ua	СТБ
М1	Starlight Media		27.12.2001			ТОВ «Телеодин»	m1.tv	ТЕТ НЛО TV
НТН	Inter Media Group	НТН	01.11.2004		✓	ТОВ «Телестудія „Служба інформації"»	ntn.ua	К2
Мега		М	29.03.2010			ТОВ «Телеканал „Мега"»	mega.ua	Новий канал
ПлюсПлюс	1+1 Media	ПЛЮС	04.08.2012			ТОВ «УНІАН ТБ»	plusplus.tv	М1
1+1 Україна	1+1 Media	1+1 УКРАЇНА	24.12.2022			ТОВ «ТРК „Студія 1+1"»	1plus1.ua	
ICTV2	Starlight Media	ICTV	17.12.2022			ТОВ «Міжнародна комерційна телерадіокомпанія»	ictv.ua/ictv2	
ОЦЕ ТБ		ОЦЕ	01.09.2017		✗	ТОВ «Хмарочос Медіа»	oce.tv	

Порівняння стандартів DVB-T і DVB-T2

Показник	DVB - T	DVB - T2
Кодування з виправленням помилок (FEC)	Конволюційне ("згортальне") кодування + кодування Ріда-Соломона 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, **3/5**, 2/3, 3/4, **4/5**, 5/6
Режими	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, **256QAM**
Захисний інтервал	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, **19/256**, 1/8, **19/128**, 1/16, 1/32, **1/128**
FFT розмір	2k, 8k	**1k**, 2k, **4k**, 8k, **16k**, **32k**
Розсіяні пілот-сигнали	8% від загальної кількості	**1%, 2%, 4%**, 8% від загальної кількості
Безперервні пілот-сигнали	2,6% від загальної кількості	**0,35**% від загальної кількості

Структурна схема кодера H.264





Кодек H.264

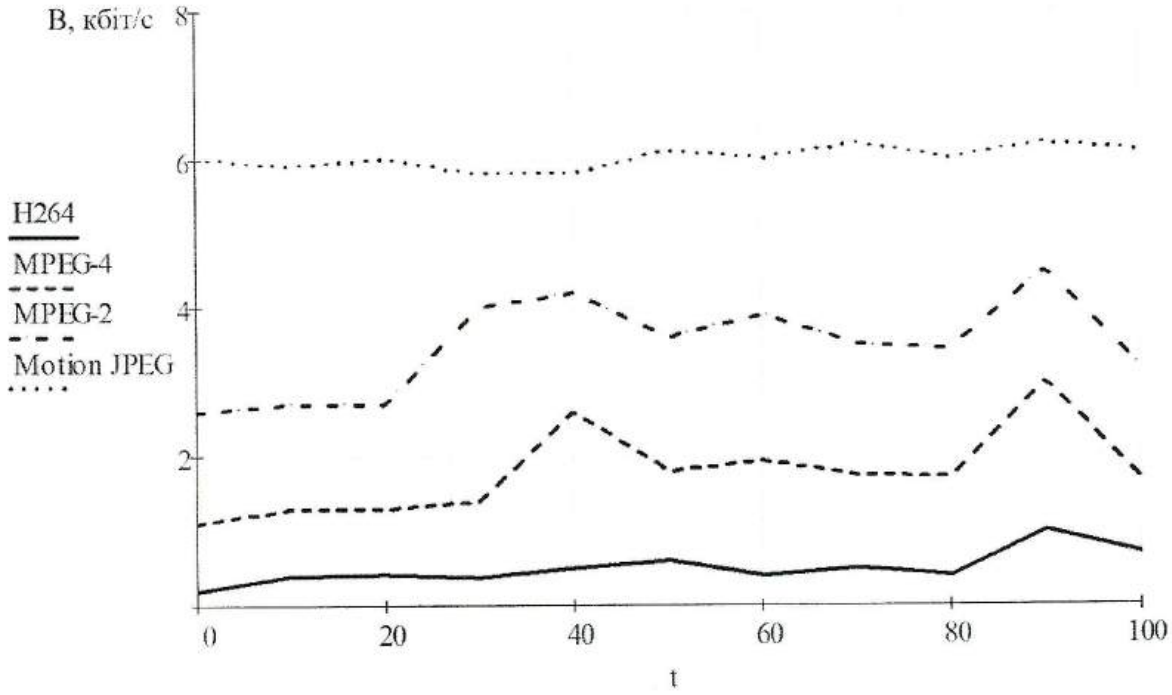
Способи кодування зображення

Кодування по унікальних зображеннях

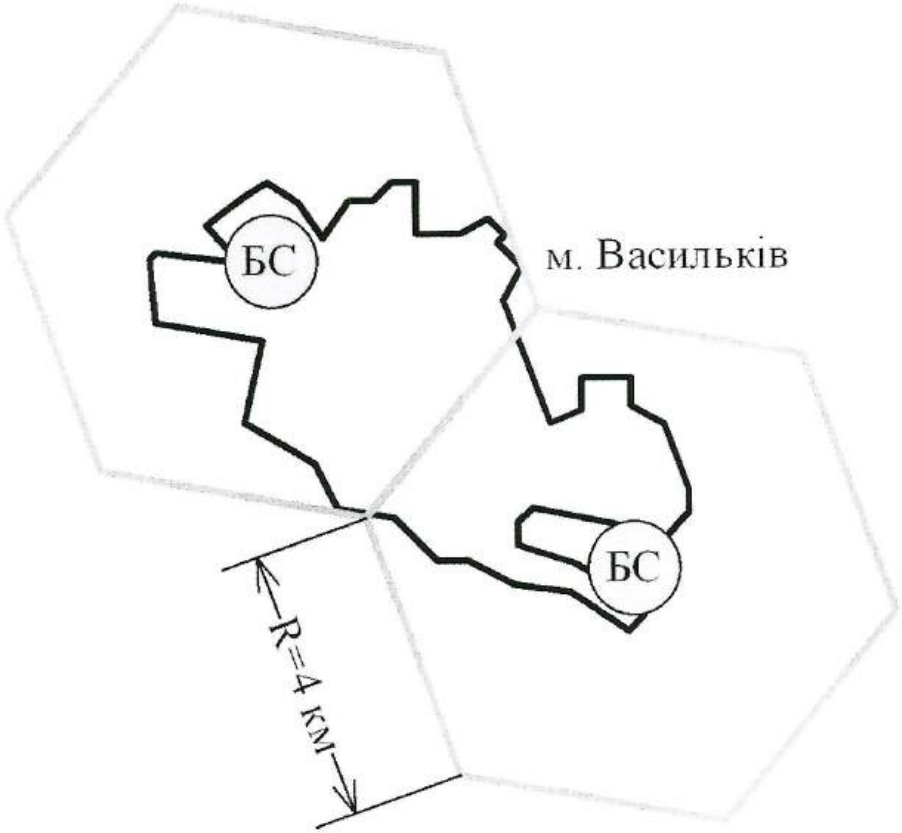
Кодування по відмінностях (H.264)

Порівняння швидкість передачі даних

Порівняння необхідної швидкості передачі даних при однаковому рівні якості зображення для відеокамери, що встановлена перед рухомими об'єкати



Реалізація телевізійного мовлення для м. Васильків на основі цифрової системи розподілу інформації DVB-T2



Реалізація телевізійного мовлення для м. Васильків на основі цифрової системи розподілу інформації DVB-T2

Порівняння ефективності застосування кодека H.264

Технологія	Кіл. каналів	Інф. потік, Мбіт/с
OFDM	55	-
MPEG-4	55	16
H.264	110	8
Разом	110	8

Висновки

Результати проведених досліджень:

1. В роботі проведено аналіз радіотехнічних телевізійних систем мовлення.

2. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандартів DVB-T та DVB-T2.

3. Проаналізовано переваги стандарту DVB-T2 порівняно з DVB-T і зроблено висновок про те, що стандарт DVB-T2 значно покращує та розширює можливості свого попередника DVB-T.

4. Експериментально досліджено ефективність застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу.

5. Розрахована система телевізійного мовлення для м. Васильків.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Данило КАЛІНІЧЕНКО

Назва: Розробка телекомунікаційної інфраструктури на основі стандарту DVB-T2

Координатор: Віталій СТРЕЛЬНІКОВ

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :7.7

Коефіцієнт подібності 2 :3.3

Тривога: 2

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*