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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації 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) Владислав ВЕНЕДИКТОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Владислав ВЕНЕДИКТОВ

Керівник: Ірина БОРИСЕНКО

Рецензент: О. Варфоломеєва

Київ – 2024

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Венедіктову Владиславу Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих», керівник кваліфікаційної роботи Ірина БОРИСЕНКО, к.т.н., доцент, затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 15.10.2024 р. №320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Цифрові системи радіомовлення DVB-T2.
   2. Методи кодування відеоданих.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет світі;
   2. Характеристики цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T2;
   3. Розрахунок технічних характеристик системи цифрового телебачення для населеного пункту.

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	26.10.24	Викон.
2.	Роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет світі	29.10.24	Викон.
3.	Характеристики цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T2	01.12.24	Викон.
4.	Розрахунок технічних характеристик системи цифрового телебачення для населеного пункту	02.11.24	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.24	Викон.
6.	Розробка презентації	25.12.24	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Владислав ВЕНЕДИКТОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ірина БОРИСЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Венедіктова Владислава Сергійовича

на тему: «Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих»

Актуальність:

Актуальність теми обумовлена зростаючим попитом на високоякісні мультимедійні сервіси та необхідністю оптимального використання обмеженого частотного ресурсу цифрових систем радіомовлення. Використання теорії кодування відеоданих дозволяє зменшити обсяг переданих даних без втрати якості, підвищуючи ефективність використання радіочастотного спектра. Метод включає впровадження сучасних відеокодеків, таких як H.265/HEVC, які забезпечують високу компресію, а також адаптивних алгоритмів передачі даних залежно від умов каналу. Це сприяє оптимізації радіомовлення, розширенню доступності контенту та покращенню якості обслуговування для користувачів.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показала високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.

2. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. Рекомендується включити аналіз порівняння ефективності стандарту DVB-T2 із іншими стандартами цифрового телебачення в умовах багатопроменевого середовища.

2. У таблиці 3.1 варто вказати конкретні умови тестування кодеків (наприклад, тип контенту, бітрейт, умови середовища).

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Венедіктов Владислав Сергійович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Рецензент: О. Вакорадомцева

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

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

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

Направляється здобувач Венедіктов В.С. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

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

на тему: Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

В.о. директора ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Венедіктов Владислав Сергійович 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 Венедіктова Владислава Сергійовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ірина БОРИСЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2024 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Венедіктов В.С.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

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

“ ” _____ 2024 року

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 74 стор., 24 рис., 11 табл., 35 дж.

Метою роботи є дослідження методів підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

Об'єктом дослідження є процес передачі даних в системах цифрового радіомовлення.

Предметом дослідження є методи підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

Короткий зміст роботи: У першому розділі досліджено роль цифрового телебачення у сучасному інтернет-світі. Проаналізовано сучасні стандарти, такі як ISDB та ATSC, їх технічні особливості та переваги для передачі високоякісного контенту. Розглянуто інтеграцію цифрового телебачення з OTT-платформами, що забезпечує гнучкий доступ до контенту на різних пристроях.

У другому розділі представлено технічні аспекти системи DVB-T2, включаючи використання методів модуляції OFDM та кодування. Характерною особливістю системи DVB-T є застосований спосіб модуляції - ортогональне частотне мультиплексування (OFDM), що передбачає використання великого числа несучих частот. Це дозволяє ефективно боротись з сигналами відбиття, оскільки час передачі кожного символу на одній несучій може бути збільшено. Аналіз підтвердив ефективність впроваджених технологій для забезпечення стійкості сигналу.

У третьому розділі проведено розрахунок зони покриття системи DVB-T2 із використанням двох базових станцій, що забезпечують стабільний сигнал на території радіусом до 40 км. Виконано оптимізацію потужності передавачів для мінімізації втрат сигналу та забезпечення екологічної безпеки. Запропоновано методи підвищення абонентської ємності мережі на основі впровадження кодека H.264, який значно знижує бітрейт порівняно з MPEG-4, дозволяючи передавати високоякісний контент із мінімальними вимогами до пропускної здатності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИФРОВІ СИСТЕМИ РАДІОМОВЛЕННЯ DVB-T2, ISDB, ATSC МЕТОДИ КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ, ТЕЛЕВІЗІЙНЕ МОВЛЕННЯ, H.264, OFDM РОЗРАХУНОК ЗОНИ ПОКРИТТЯ.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 74 pages, 24 pictures, 11 table, 35 sources.

The purpose of the work is to study methods for increasing the efficiency of digital broadcasting systems based on the theory of video data coding.

The object of the study is the data transmission process in digital broadcasting systems.

The subject of the study is methods for increasing the efficiency of digital broadcasting systems based on the theory of video data coding.

Summary of the work: The first section examines the role of digital television in the modern Internet world. Modern standards such as ISDB and ATSC are analyzed, their technical features and advantages for transmitting high-quality content. The integration of digital television with OTT platforms is considered, which provides flexible access to content on various devices.

The second section presents technical aspects of the DVB-T2 system, including the use of OFDM modulation and coding methods. A characteristic feature of the DVB-T system is the applied modulation method - orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), which involves the use of a large number of carrier frequencies. This allows you to effectively combat reflection signals, since the transmission time of each symbol on one carrier can be increased. The analysis confirmed the effectiveness of the implemented technologies to ensure signal stability.

In the third section, the DVB-T2 system coverage area is calculated using two base stations that provide a stable signal in the territory with a radius of up to 40 km. The transmitter power is optimized to minimize signal loss and ensure environmental safety. Methods for increasing the network subscriber capacity are proposed based on the implementation of the H.264 codec, which significantly reduces the bit rate compared to MPEG-4, allowing the transmission of high-quality content with minimal bandwidth requirements.

KEYWORDS: DVB-T2 DIGITAL BROADCASTING SYSTEMS, ISDB, ATSC VIDEO DATA CODING METHODS, TELEVISION BROADCASTING, H.264, OFDM COVERAGE AREA CALCULATION.

ЗМІСТ

ВСТУП 9
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ТА МІСЦЕ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ В СУЧАСНОМУ ІНТЕРНЕТ СВІТІ 11
1.1. Роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі 11
1.2. Розвиток цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих 24
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T2 36
2.1. Загальна характеристика і структура системи DVB-T2 36
2.2. Дослідження захисного інтервалу системи DVB-T2 48
2.3. Конфігурація MISO системи DVB-T2 50
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ 59
3.1. Розрахунок зони покриття системи розподілу інформації DVB-T2 59
3.2. Збільшення абонентської ємності мережі на основі теорії кодування відеоданих 66
ВИСНОВКИ 72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 75
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 79

ВСТУП

У сучасному світі, який характеризується стрімким розвитком цифрових технологій та глобальною інтеграцією інформаційних мереж, телебачення залишається одним із ключових джерел масової комунікації. З появою цифрового формату телебачення та його інтеграцією в Інтернет-інфраструктуру, цей медіум перетворився на багатофункціональну платформу, яка поєднує в собі традиційні трансляційні функції, інтерактивність та доступ до мультимедійного контенту.

Цифрове телебачення відіграє важливу роль у забезпеченні якісного та доступного контенту для широкого кола користувачів, пропонуючи значно вищу роздільну здатність зображення, кращу якість звуку та додаткові функції, такі як запис передач, інтерактивні сервіси та інтеграція з мобільними додатками. Завдяки використанню сучасних стандартів стиснення даних, таких як MPEG-4 та H.264, цифрове телебачення дозволяє ефективно використовувати доступну пропускну здатність мереж, що є критично важливим у епоху зростаючих обсягів інформаційного трафіку.

Особливе місце цифрове телебачення займає у сфері інтерактивних послуг та мультимедійних платформ, які об'єднують стримінгові сервіси, відео на вимогу (VOD) та інтеграцію з соціальними мережами. Це дозволяє адаптувати контент під індивідуальні потреби користувачів, підвищуючи їхній рівень залученості та задоволення від перегляду.

З постійним зростанням попиту на високоякісний контент, включаючи відео у форматах високої чіткості (HD), 4K та 8K, з'являються нові виклики щодо ефективного використання доступних ресурсів та пропускної здатності каналів передачі даних. Одним із ключових аспектів, який впливає на продуктивність цифрових систем радіомовлення, є процес кодування відеоданих, що визначає обсяг трафіку, якість зображення та загальні вимоги до мережевих ресурсів.

Теорія кодування відеоданих пропонує різноманітні методи та алгоритми, які дозволяють зменшити розмір відеофайлів, зберігаючи при цьому високу якість відтворення. Завдяки вдосконаленим методам кодування, зокрема таким

стандартам, як H.264, H.265 (HEVC) та новим форматам, з'являється можливість оптимізувати використання смуги пропускання і забезпечити більш ефективну трансляцію контенту. Це особливо важливо для радіомовних систем, які функціонують в умовах обмеженого спектра частот і потребують мінімізації затримок та втрат якості.

Метою даної роботи є дослідження методів підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих. У роботі буде проаналізовано сучасні підходи до кодування відео, розглянуто їх вплив на якість передачі даних у системах радіомовлення, а також запропоновано нові підходи до оптимізації цих процесів з метою підвищення ефективності використання мережевих ресурсів та покращення якості послуг для кінцевих користувачів.

Метою роботи є дослідження методів підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

Об'єктом дослідження є процес передачі даних в системах цифрового радіомовлення.

Предметом дослідження є методи підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ТА МІСЦЕ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ В СУЧАСНОМУ ІНТЕРНЕТ СВІТІ

1.1. Роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі

Перехід від аналогового до цифрового телебачення ознаменував значну еволюцію в технологіях мовлення, докорінно змінивши те, як глядачі споживають медіа [1]. Аналогові сигнали, які були сприйнятливі до перешкод і погіршення, були в основному замінені цифровими сигналами, які пропонують підвищену чіткість і якість [2]. Впровадження систем цифрового телебачення, таких як DVB і ATSC, дозволило підвищити ефективність використання електромагнітного спектру, дозволяючи передавати більше каналів в межах однієї смуги частот [3]. Цей перехід не тільки покращив враження від перегляду для споживачів, але й сприяв розробці передових функцій трансляції, відкриваючи шлях для інновацій у доставці контенту та залученні глядачів.

Удосконалення технології потокового передавання ще більше змінило ландшафт цифрового телебачення, дозволяючи глядачам отримувати доступ до контенту на вимогу [4]. З розвитком інтернет-платформ традиційні методи трансляції розвинулися, щоб включити потокові служби, які передають високоякісне відео безпосередньо на пристрої користувачів. Цей зсув уможливив поширення послуг IPTV і over-the-top (OTT), надаючи аудиторії більшу гнучкість і контроль над своїми звичками перегляду [5]. Як наслідок, тепер глядачі можуть насолоджуватися широким набором варіантів контенту, бездоганно інтегрованих у їхнє повсякденне життя, підкреслюючи зростаючу важливість потокової технології в сучасному телебаченні.

Поява вмісту високої чіткості (HD) і 4K ще більше посилила привабливість цифрового телебачення, надаючи глядачам неперевершені візуальні враження [5]. Програмування у високій роздільній здатності забезпечує суттєве покращення якості зображення порівняно зі стандартною роздільною здатністю, а вміст 4K робить це на крок далі, забезпечуючи роздільну здатність у чотири рази більшу,

ніж HD [3]. Це підвищення чіткості дозволяє отримати більш детальний і захоплюючий досвід перегляду, що робить його особливо корисним для кінематографічних презентацій і спортивних трансляцій. Як наслідок, попит на контент високої чіткості та 4K продовжує зростати, впливаючи як на створення контенту, так і на стратегії розповсюдження в екосистемі цифрового телебачення. Еволюція цих технологій підкреслює критичну роль, яку відіграє цифрове телебачення в задоволенні очікувань сучасних глядачів (рис. 1.1).

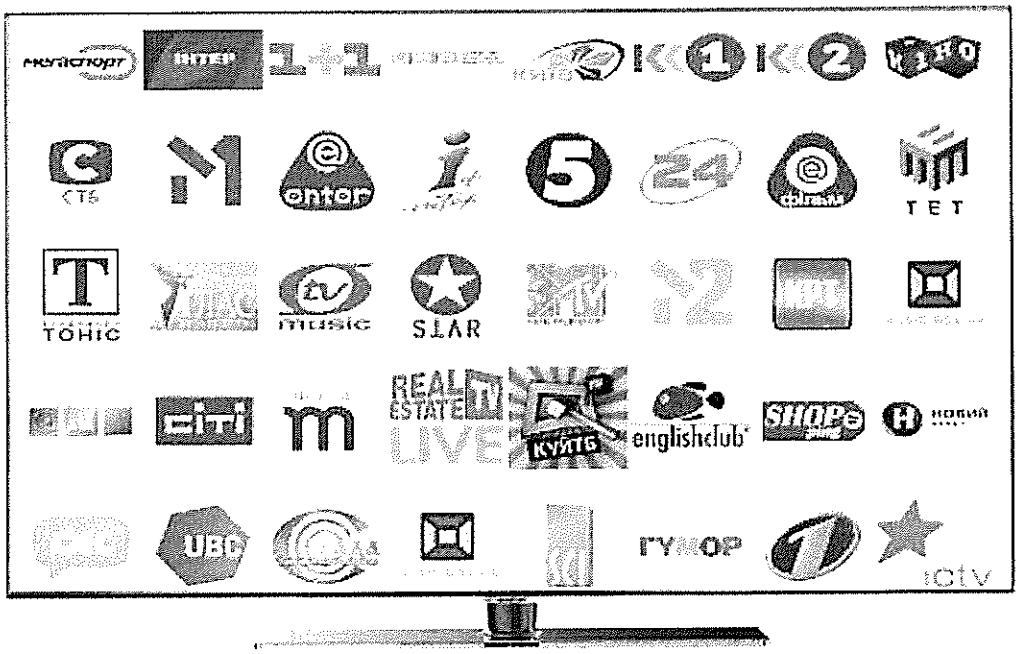


Рис. 1.1. Українські цифрові телеканали

Інтеграція цифрового телебачення та Інтернету

Зростання потокових онлайн-сервісів змінило ландшафт інтеграції цифрового телебачення з Інтернетом [6]. Такі платформи, як Netflix, Hulu та Amazon Prime Video, надають користувачам доступ на вимогу до величезної бібліотеки фільмів, телевізійних шоу тощо, що робить традиційне мовлення менш привабливим [7]. Цей перехід до потокового передавання не лише змінив те, як аудиторія споживає контент, але й вплинув на виробництво телевізійних шоу та фільмів, створюючи більшу різноманітність і спеціалізовані програми. У результаті глядачі можуть насолоджуватися більш персоналізованим переглядом,

адаптованим до їхніх уподобань і графіків. Зручність доступу до контенту в будь-який час і в будь-якому місці зробила потокові послуги невід'ємною частиною екосистеми сучасного цифрового телебачення.

Смарт-телевізори відіграють ключову роль в інтеграції цифрового телебачення з доступом до Інтернету, пропонуючи широкий спектр функцій, які покращують враження від перегляду [8]. Ці пристрої дозволяють користувачам підключатися до Інтернету як дротовим, так і бездротовим способом, забезпечуючи безперебійний доступ до різноманітних програм і потокових служб [9]. Удосконалена технологія смарт-телевізорів підтримує вміст високої чіткості та інтерактивні функції, такі як голосове керування та завантаження додатків, що ще більше збагачує враження. Оскільки глядачі все більше віддають перевагу зручності, смарт-телевізори стали важливими для надання високоякісного контенту, долаючи прірву між традиційним телебаченням та Інтернетом.

Поширення мобільних пристроїв також значно сприяло інтеграції цифрового телебачення та Інтернету [7]. Смартфони та планшети дозволяють користувачам дивитися улюблені шоу та фільми в дорозі, порушуючи обмеження традиційних розкладів перегляду та місць. Завдяки додаткам, призначеним для потокової передачі та вмісту на вимогу, мобільні пристрої дають змогу глядачам споживати медіа будь-коли та де завгодно. Ця зміна не лише відображає зміну споживчих звичок, але й підкреслює потребу телевізійних мереж і творців контенту адаптувати свої стратегії для охоплення аудиторії на різних платформах. Синергія між мобільними пристроями та цифровим телебаченням підкреслює важливість гнучкості в сучасному медіаландшафті.

Вплив соціальних мереж на цифрове телебачення

Одним із найбільш значних впливів соціальних медіа на цифрове телебачення є можливість взаємодії з аудиторією в реальному часі [10]. Ця взаємодія дозволяє глядачам взаємодіяти з контентом, що розгортається, забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок і сприяючи почуттю спільності серед глядачів. Наприклад, такі платформи, як Twitter і Facebook, дозволяють глядачам ділитися своїми думками, реакціями та думками під час прямих трансляцій,

створюючи динамічний діалог між аудиторією та творцями контенту. Ця безпосередність не тільки покращує враження від перегляду, але й дозволяє телевізійним мережам оцінювати настрої аудиторії та відповідно коригувати свої програми. Використовуючи ці взаємодії, мовники можуть краще зрозуміти вподобання аудиторії та адаптувати контент відповідно до її потреб, тим самим підвищуючи лояльність і залученість глядачів.

Соціальні медіа також служать потужним маркетинговим інструментом для цифрового телебачення, дозволяючи мережам і виробникам ефективніше просувати свій контент [11]. Із зростанням стратегій цифрового маркетингу телевізійні мережі можуть використовувати такі платформи, як Instagram, TikTok і Facebook, щоб охопити цільову аудиторію, де вони найбільш активні. Кампанії можуть стати вірусними, привертаючи увагу до майбутніх шоу чи подій і створюючи галас перед трансляцією. Крім того, платну рекламу в соціальних мережах можна стратегічно націлити на основі демографічних показників та інтересів користувачів, гарантуючи, що рекламний вміст досягне потенційних глядачів. Така інтеграція соціальних медіа в маркетингові стратегії не тільки покращує видимість, але й заохочує участь глядачів і просування з вуст в уста, таким чином значно розширюючи базу аудиторії.

Створений користувачами контент (UGC) став потужним впливом на цифрове телебачення, змінивши спосіб створення та споживання контенту [7]. Платформи соціальних медіа дозволяють глядачам створювати та ділитися власними інтерпретаціями телешоу, чи то за допомогою фан-арту, пародій чи критики. Ця культура участі не тільки демократизує створення контенту, але й надає телевізійним мережам цінну інформацію про вподобання аудиторії та тенденції. Застосовуючи UGC, мережі можуть розвивати більш активну базу шанувальників і заохочувати контент, керований спільнотою, який покращує загальні враження від перегляду. Крім того, включення контенту, створеного користувачами, у програмування може призвести до інноваційних форматів і нових підходів до оповідання, зрештою збагачуючи ландшафт цифрового телебачення та відображаючи різноманітні голоси його аудиторії.

Роль цифрового телебачення в доставці контенту

Однією з найважливіших особливостей цифрового телебачення є можливість забезпечувати перегляд за запитом, який часто називають TV On Demand (TVOD) [3]. Ця функція дозволяє глядачам отримувати доступ до великої бібліотеки вмісту у зручний для них час, відриваючись від традиційних запланованих програм. Перехід до перегляду за вимогою відповідає перевагам сучасної аудиторії щодо гнучкості, дозволяючи їй дивитися шоу, фільми чи події будь-коли. У результаті цифрове телебачення змінило спосіб споживання контенту, дозволяючи персоналізувати враження від перегляду. Ця доступність не тільки підвищує задоволеність користувачів, але й сприяє залученню, пропонуючи ширший діапазон варіантів вмісту, гарантуючи, що глядачі зможуть знайти те, що відповідає їхнім смакам і вподобанням.

Перехід від запланованих програм до перегляду за запитом знаменує значну зміну в телевізійному ландшафті [12]. У минулому глядачі були обмежені певними часовими проміжками для своїх улюблених шоу, часто пропускаючи епізоди через суперечливі розклади. Однак цифрове телебачення порушило цю модель, забезпечивши більш плавний перегляд. Зі зростанням потокових сервісів і цифрових платформ тепер глядачі можуть переглядати цілі сезони або вибирати серії на дозвіллі. Ця зміна не тільки змінила звички споживачів, але й змусила традиційних мовників адаптувати свої стратегії, що призвело до інноваційних методів доставки контенту, які віддають перевагу автономії та вибору глядача.

Персоналізація контенту є ще однією ключовою перевагою, яку пропонує цифрове телебачення в сучасному світі Інтернету [1]. За допомогою складних алгоритмів і аналізу даних користувачів цифрові платформи можуть рекомендувати шоу та фільми відповідно до індивідуальних уподобань. Цей рівень персоналізації покращує залучення глядачів, оскільки аудиторія, швидше за все, дивитиметься вміст, який відповідає їхнім інтересам. Крім того, персоналізована доставка контенту може призвести до підвищення лояльності глядачів, оскільки споживачі відчувають сильніший зв'язок із платформами, які розуміють їхні смаки. У результаті цифрове телебачення перетворилося з універсальної моделі на

інтерактивне середовище, яке надає пріоритет користувацькому досвіду, ще більше зміцнюючи своє місце в сучасному медіаландшафті.

Вплив цифрового телебачення на традиційне мовлення

Розвиток цифрового телебачення значно вплинув на рішення глядачів щодо традиційної кабельної підписки [1]. Зараз багато споживачів вирішують припинити зв'язок, шукаючи більш гнучкі та доступні альтернативи, доступні через цифрові платформи. Цей зсув можна пояснити декількома факторами, включаючи незадоволення високою вартістю пакетів кабельного телебачення, а також бажання персоналізувати враження від перегляду. Недавні опитування показують, що значний відсоток колишніх абонентів кабельного телебачення віддають перевагу цифровим телевізійним параметрам, які пропонують: - Більш широкий вибір вмісту - Можливість перегляду за запитом - Немає довгострокових контрактів Як наслідок, традиційні кабельні мовники стикаються зі зростаючим тиском, щоб адаптуватися до мінливих уподобань споживачів і конкурувати зі зручністю, яку надає цифрове телебачення.

Розвиток послуг Over-the-Top (OTT) революціонізував спосіб споживання та доставки контенту, ще більше вплинувши на традиційне мовлення [13]. Платформи OTT дозволяють глядачам отримувати доступ до вмісту безпосередньо через Інтернет, обходячи звичайні кабельні чи супутникові служби. Це призвело до сплеску підписки на послуги відео на вимогу (SVoD), які надають споживачам більшу гнучкість і контроль над своїми звичками перегляду [14]. Таким чином, модель OTT розширила діапазон доступного контенту та надала глядачам варіанти, які відповідають їхнім індивідуальним уподобанням. Легкість доступу до вмісту з будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету, також сприяла популярності служб OTT, змінюючи ландшафт споживання медіа.

Оскільки цифрове телебачення та послуги OTT набирають популярності, зміни в рекламних стратегіях стають все більш очевидними [15]. Зараз традиційні мовники змушені переглянути свої рекламні підходи, оскільки глядачі відходять від кабельного телебачення. Цифрові платформи дозволяють розміщувати більш цілеспрямовану рекламу, дозволяючи брендам охоплювати певну аудиторію на

основі їхніх звичок перегляду та вподобань. Ця зміна призвела до: - Збільшення інвестицій у цифрову рекламу - Зростання закупівлі програмної реклами - Більше інтерактивних і привабливих форматів оголошень Тепер рекламодавці використовують статистику на основі даних, щоб створювати персоналізовані кампанії, які реагують на глядачів, підвищуючи загальну ефективність своїх маркетингових стратегій. Як наслідок, конвергенція цифрового телебачення та інноваційних підходів до реклами означає фундаментальну трансформацію медіаландшафту, кидаючи виклик традиційним моделям мовлення.

Культурне значення цифрового телебачення

Цифрове телебачення відіграє вирішальну роль у представленні різноманітних голосів у суспільстві [15]. Ця платформа дозволяє різним групам, у тому числі маргіналізованим спільнотам, ділитися своїми історіями та перспективами, тим самим сприяючи інклюзивності. Технологічний прогрес у цифровому мовленні значно підвищив доступність контенту, уможлививши ширше представлення соціальних наративів [10]. У результаті глядачі відкривають багатший гобелен культурного досвіду, який може кинути виклик стереотипам і сприяти взаєморозумінню між різними групами населення. Можливість демонструвати різноманітні голоси не тільки збагачує враження від перегляду, але й сприяє формуванню більш поінформованого та чуйного суспільства.

Глобалізація контенту є ще одним важливим аспектом культурного значення цифрового телебачення [7]. З розвитком цифрового мовлення глядачі можуть переглядати програми з усього світу, виходячи за межі географічних кордонів. Цей глобальний обмін медіаконтентом призвів до популяризації міжнародних фільмів, серіалів і культурних подій, дозволяючи глядачам досліджувати різні культури та традиції, не виходячи з дому [3]. Крім того, доступність глобального контенту допомагає культивувати спільне культурне розуміння, долаючи бар'єри та зміцнюючи зв'язки між людьми з різним походженням. Результатом є більш взаємопов'язаний світ, де культурне розмаїття відзначається та цінується.

Вплив цифрового телебачення на масову культуру є глибоким і багатогранним [16]. Цей засіб масової інформації служить не лише джерелом

розваг, але й потужним інструментом для формування громадської думки та суспільних норм. Через свої програми цифрове телебачення може як відображати, так і диктувати культурні тенденції, впливаючи на все, від моди до соціальної поведінки [17]. Коли аудиторія залучається до телевізійного контенту, вона сприймає повідомлення та цінності, які можуть вплинути на її сприйняття та дії в реальному житті. Цей динамічний зв'язок між телебаченням і масовою культурою підкреслює важливість цифрового мовлення у формуванні сучасних суспільних ландшафтів, роблячи його важливим елементом сучасного життя.

Проблеми, з якими стикається цифрове телебачення

Однією з значних проблем, з якими стикається цифрове телебачення в сучасному світі Інтернету, є питання авторського права та піратства [18]. Оскільки цифрові технології продовжують розвиватися, швидкий розвиток Всесвітньої павутини загострив проблеми, пов'язані з правами інтелектуальної власності. Це створило спрощені канали для порушників авторських прав, що спростило для них розповсюдження піратського вмісту [19]. Поширеність несанкціонованих потокових служб і цифрових завантажень не тільки підриває доходи законних творців контенту, але й ускладнює заходи проти піратства. Крім того, розмиті межі між легальним і незаконним контентом можуть призвести до плутанини споживачів, що зрештою вплине на їхній вибір перегляду та загальний стан ринку цифрового телебачення [20].

Іншою актуальною проблемою є якість Інтернет-послуг, яка безпосередньо впливає на якість перегляду цифрового телебачення [1]. Багато глядачів покладаються на потокові платформи, яким потрібне стабільне та швидке підключення до Інтернету для надання високоякісного контенту. Однак непостійна якість обслуговування може призвести до буферизації, поганої роздільної здатності та перерв, що погіршує загальне задоволення від цифрового телебачення. Різниця в якості Інтернет-послуг особливо помітна в сільській місцевості чи районах з недостатнім рівнем обслуговування, де доступ до надійного високошвидкісного Інтернету може бути обмеженим [21].

Роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі

Цифрове телебачення займає вагоме місце в сучасному інтернет-світі, де його роль значно виходить за межі традиційного транслювання відеоконтенту (табл. 1.2). В умовах швидкого розвитку інформаційних технологій цифрове телебачення перетворилося на багатофункціональну платформу, що інтегрує різноманітні послуги та технології.

Таблиця 1.1.

Роль цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі

Параметр	Характеристика
Конвергенція з Інтернетом та OTT-сервісами	Розвиток OTT-сервісів (Netflix, YouTube, Hulu), IP-телебачення та IPTV для трансляції контенту через Інтернет
Інтерактивність та персоналізація	Можливість вибору програм на запит (VoD), налаштування контенту відповідно до вподобань користувачів
Розширення функціональних можливостей	Інтеграція онлайн-ігор, інформаційних сервісів, відеоконференцій, перегляду контенту у 4K, 8K
Підвищення якості контенту	Використання технології OFDM для передачі високоякісного сигналу з мінімізацією шумів і перешкод
Інтеграція в екосистему "розумних міст"	Надання інформаційних послуг, підтримка систем безпеки, транспортних мереж і медичних послуг
Розвиток реклами та маркетингових можливостей	Таргетинг та персоналізована реклама через інтерактивні формати

Його роль і значення в сучасному світі можна розглянути через декілька аспектів:

1. Конвергенція з Інтернетом та OTT-сервісами: Цифрове телебачення стало основою для розвитку OTT (over-the-top) сервісів, таких як Netflix, YouTube, Hulu, які доставляють контент через Інтернет, минаючи традиційні канали телевізійного мовлення. Це сприяє розвитку IP-телебачення та IPTV, які використовують Інтернет-протоколи для трансляції контенту, роблячи його доступним на різних пристроях (смартфонах, комп'ютерах, планшетах).

2. Інтерактивність та персоналізація: Інтернет-технології дозволяють глядачам взаємодіяти з контентом, обирати програми на запит (Video on Demand, VoD), а також налаштовувати контент відповідно до своїх уподобань. Це сприяє створенню персоналізованих рекомендацій, покращує досвід користувачів і залучає аудиторію.

3. Розширення функціональних можливостей: Сучасне цифрове телебачення інтегрує додаткові сервіси, такі як онлайн-ігри, інформаційні сервіси, відеоконференції та перегляд контенту у високій роздільній здатності (4K, 8K). Завдяки цифровим технологіям воно здатне підтримувати інтерактивні функції, включаючи керування голосом, функцію запису та відкладеного перегляду.

4. Підвищення якості контенту: Технології, як-от OFDM, що використовуються в цифровому телебаченні, дозволяють передавати сигнал у високій якості, знижуючи рівень шумів і перешкод. Це особливо важливо для HD- та UHD-контенту, що потребує більшого пропускного каналу та стабільної передачі сигналу.

5. Інтеграція в екосистему "розумних міст": Цифрове телебачення також стає частиною екосистеми "розумного міста", надаючи інформаційні послуги та підтримуючи зв'язок з іншими системами, як-от системи безпеки, транспортні мережі та медичні послуги. Це дозволяє використовувати телевізійні платформи для поширення інформації про міські сервіси, новини та екстрені сповіщення.

6. Розвиток реклами та маркетингових можливостей: З огляду на інтеграцію цифрового телебачення з інтернет-мережами, рекламісти отримують більше

можливостей для таргетингу та персоналізованої реклами. Це дозволяє залучати ширшу аудиторію через інтерактивну та адресну рекламу, що збільшує ефективність рекламних кампаній.

Загалом, цифрове телебачення перетворюється на мультиплатформенну інтерактивну послугу, яка поєднує риси телебачення, Інтернету та мобільних технологій.

Доступ до Інтернету та зростання популярності стрімінгових сервісів суттєво трансформували роль цифрового телебачення, адаптуючи його до нових реалій і потреб сучасної аудиторії. Ці зміни призвели до наступних ключових перетворень (табл. 1.2):

1. Зниження залежності від традиційних каналів мовлення: Раніше цифрове телебачення переважно асоціювалося з класичними телевізійними каналами, але стрімінгові сервіси, як-от Netflix, Amazon Prime, Hulu та Disney+, дозволили користувачам відмовитися від традиційного розкладу та мати доступ до контенту в будь-який час. Це змістило фокус з лінійного перегляду на перегляд «на запит» (VoD).

2. Розширення доступу до глобального контенту: Інтернет дозволив користувачам мати доступ до контенту з різних країн і культур. Глобальні платформи, такі як YouTube і Netflix, запропонували можливість дивитися контент на різних мовах і з різних культур, що значно розширило спектр доступних матеріалів і зменшило залежність від локальних телекомпаній.

3. Персоналізація та індивідуалізація контенту: Стрімінгові сервіси активно використовують алгоритми машинного навчання, щоб пропонувати користувачам контент на основі їхніх інтересів, що підвищує задоволення глядачів від перегляду. Це зробило телебачення більш персоналізованим, що особливо приваблює молодших глядачів, які віддають перевагу індивідуальному контенту.

4. Зміни в рекламі та маркетингу: Доступ до Інтернету та стрімінгових платформ створили можливості для таргетованої реклами, коли користувачам показується реклама, що відповідає їхнім інтересам. Цифрове телебачення тепер включає інтерактивні оголошення, рекламу на замовлення та можливості для

взаємодії з рекламними блоками, що підвищує ефективність маркетингових кампаній.

Таблиця 1.2.

Основні зміни в цифровому телебаченні в інтернет-світі

Параметр	Характеристика
Зниження залежності від традиційних каналів мовлення	Фокус змістився на перегляд "на запит" (VoD) завдяки платформам, як-от Netflix, Amazon Prime, Hulu.
Розширення доступу до глобального контенту	Інтернет надає доступ до матеріалів з різних країн і культур через платформи YouTube, Netflix.
Персоналізація та індивідуалізація контенту	Алгоритми рекомендують контент на основі інтересів користувачів, підвищуючи їхнє задоволення.
Зміни в рекламі та маркетингу	Таргетована реклама, інтерактивні оголошення та взаємодія з рекламними блоками.
Інтеграція з соціальними медіа	Обговорення контенту та взаємодія через соціальні мережі, що додає соціальний аспект перегляду.
Зміна пристроїв для перегляду	Дивитися телевізійний контент можна на смартфонах, планшетах, ноутбуках, що підвищує мобільність.
Зростання конкуренції між платформами	Традиційне телебачення адаптується через запуск власних платформ, як-от HBO Max, BBC iPlayer.
Підтримка високоякісного контенту та інновацій	Зростання якості контенту (4K, HDR) і використання передових технологій передачі даних.

5. Інтеграція з соціальними медіа: Багато стрімінгових платформ інтегруються з соціальними мережами, що дозволяє глядачам обговорювати контент, ділитися враженнями та дізнаватися про нові шоу. Це додало соціальний

аспект перегляду телевізійного контенту, що раніше був обмежений лише сімейним чи особистим колом.

6. Зміна пристроїв для перегляду: Доступ до Інтернету дав змогу дивитися телевізійний контент на різноманітних пристроях, таких як смартфони, планшети та ноутбуки, що зробило перегляд мобільнішим і гнучкішим. Користувачі більше не прив'язані до телевізійного екрану і можуть дивитися свої улюблені програми де завгодно.

7. Зростання конкуренції між платформами: У міру збільшення популярності стрімінгових платформ традиційне цифрове телебачення стикається з конкурентним тиском. Це змушує традиційних мовників адаптуватися та створювати власні цифрові платформи для збереження аудиторії (наприклад, запуск сервісів HBO Max, Paramount+, BBC iPlayer). Конкуренція стимулює вдосконалення контенту, а також розширення інтерактивних і ексклюзивних можливостей.

8. Підтримка високоякісного контенту та інновацій: Зміна стандартів контенту в стрімінгових сервісах призвела до значного зростання якості, включаючи 4K, HDR, а також підтримку віртуальної і доповненої реальності. Це сприяє використанню передових технологій передачі даних (наприклад, OFDM для високоякісного сигналу) для забезпечення стабільності та якості трансляцій.

Таким чином, цифрове телебачення в сучасному інтернет-світі вже не обмежується роллю традиційної телевізійної платформи, а стає інтегрованою частиною цифрових екосистем, де користувачі мають більше контролю над контентом, можуть переглядати його на різних пристроях, а також взаємодіяти з ним в індивідуальних форматах.

1.2. Розвиток цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих

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. 1.2.

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 Грати, яке є типом кодування згортальної коди. Таке кодування також необхідно для подальшого

виправлення помилок. Сигнали синхронізації змішані в цифровий потік мультиплексуванням.

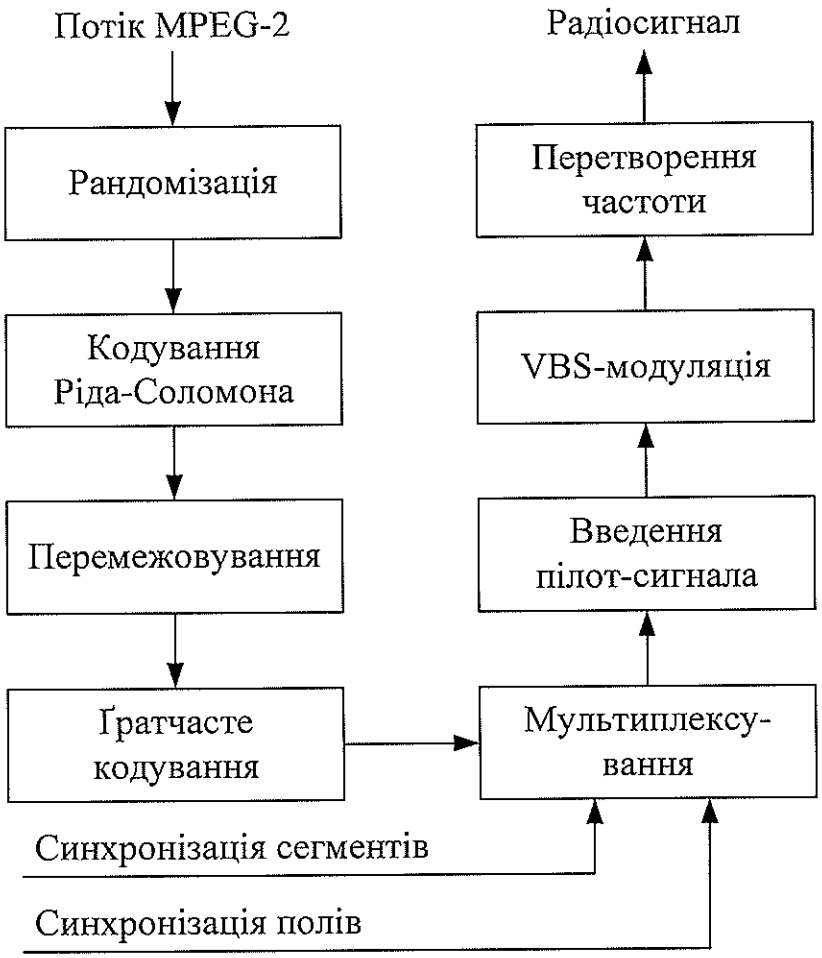


Рис. 1.2. Формування радіосигнала в системі ATSC

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 надмірність 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. 1.3) [4].

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.

Таблиця 1.3.

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		

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.

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.

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 безперервний 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).

Наразі Україна здійснено повний перехід на цифрове наземне телевізійне мовлення стандарту DTV-T2.

З 2018 року розпочалось відключення загальнодержавного аналогового телебачення. З серпня 2018 року по січень 2019 року здійснювалось відключення загальнодержавного аналогового телебачення в областях України [1].

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 багатопромінності 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. 1.4). 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.

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.

Таблиця 1.4.

Порівняння наявних режимів передачі в DVB - T і в 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

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 32K використовується збільшена смуга частот в межах 8 МГц каналу.

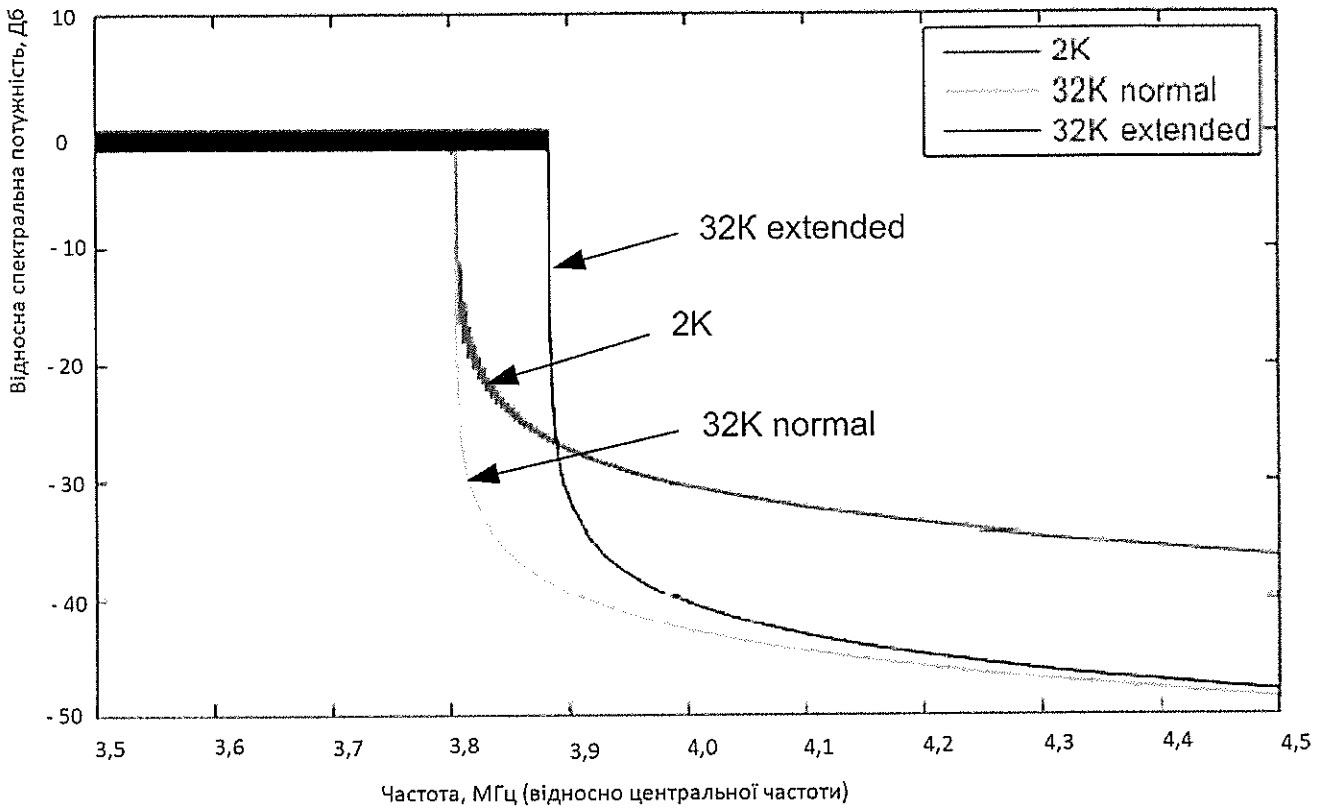


Рис. 1.3. Частина теоретичного спектра DVB-T2 для відносної тривалості захисного інтервалу 1/8 (для каналу 8 МГц)

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.

РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ 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.

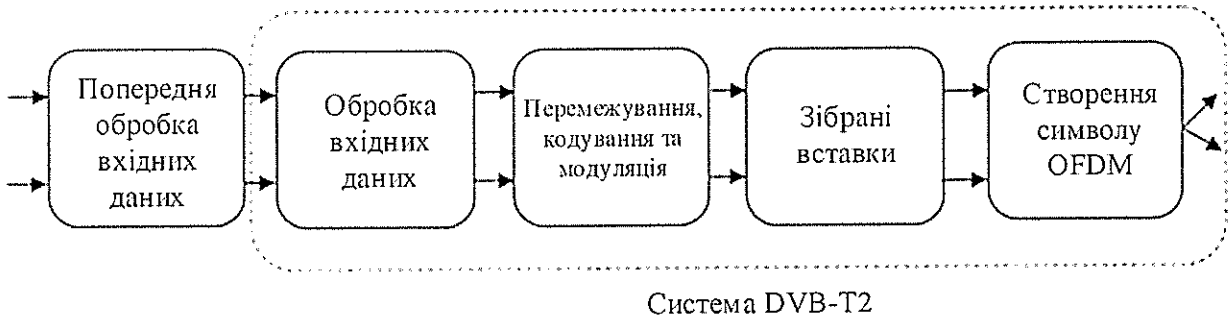


Рис. 2.2. Спрощена блок-схема стандарту DVB-T2

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

пакета 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).

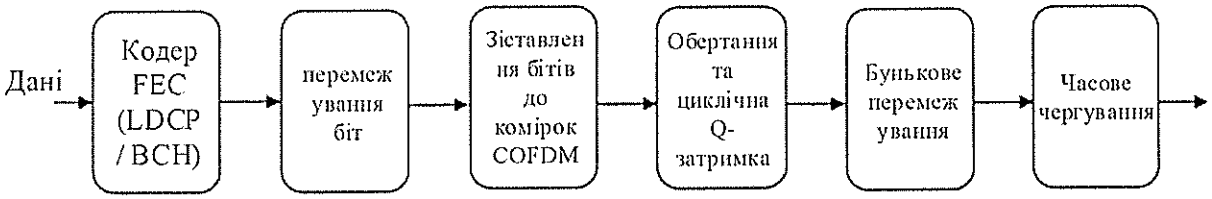


Рис. 2.2. Структурна схема модуля BICM

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,

парності 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. Біт-перемеження 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].

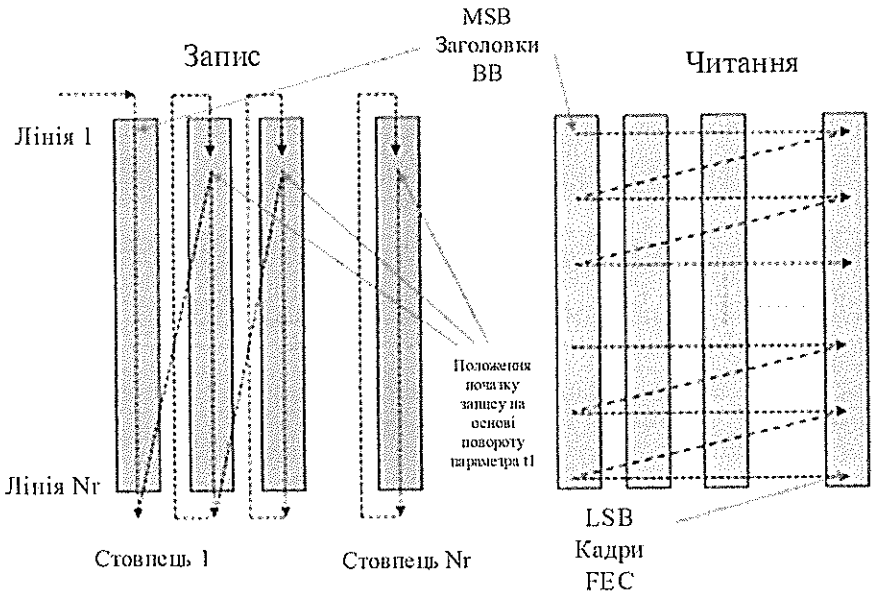


Рис.2. 4. Принцип бітового чергування кадру FEC

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].

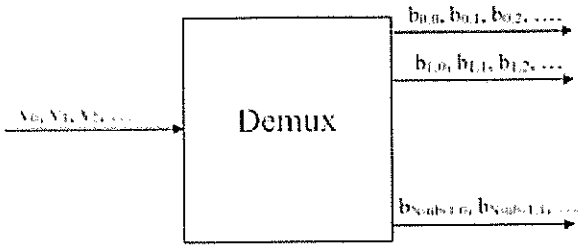


Рис.2.5. Демультиплексування бітів у гілках Nsub

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].

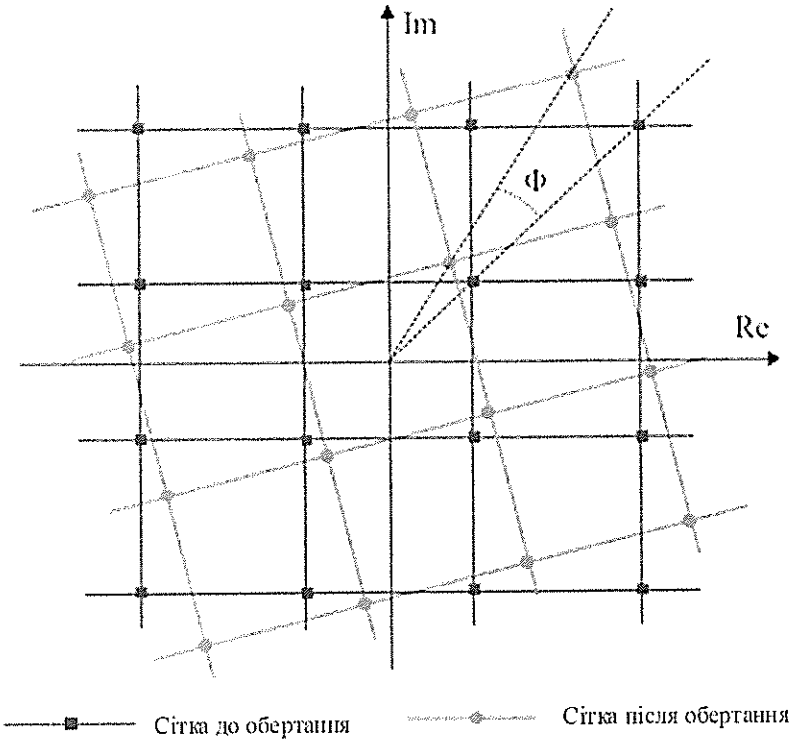


Рис. 2.6. Поворотне та класичне сузір'я з модуляцією 16QAM

Іншим параметром для сузір'я, що обертається, є кут повороту O. 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 $x_{m,i} = (X_m,i,o, X_mii, ..., x_m,i,Ndata-i)$. 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 закривають

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

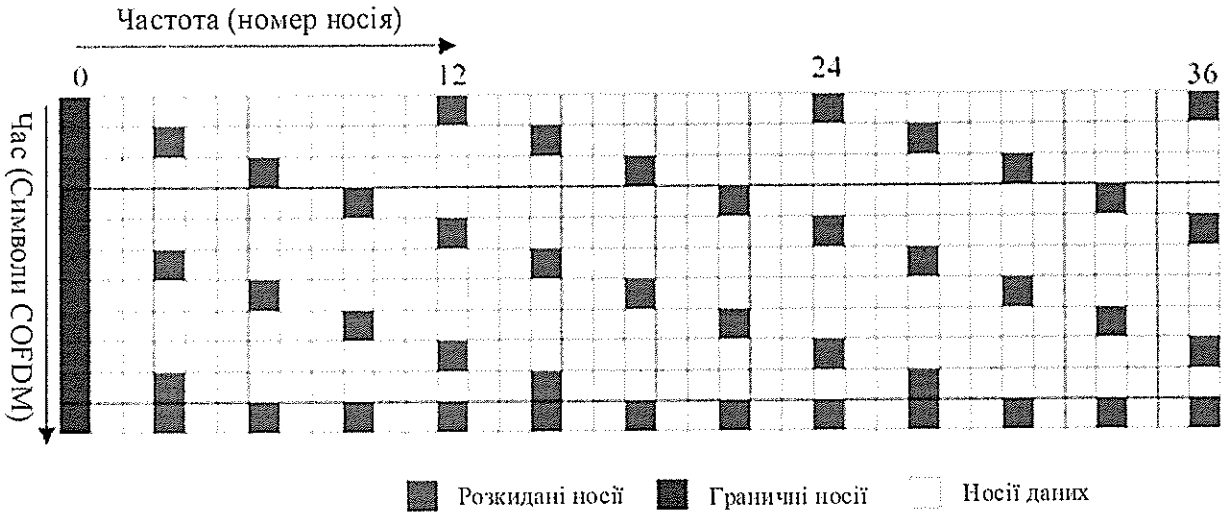


Рис. 2.7. Шаблон розподілених несучих PP1 – одиничний вхід, одиночний вихід (SISO)

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].

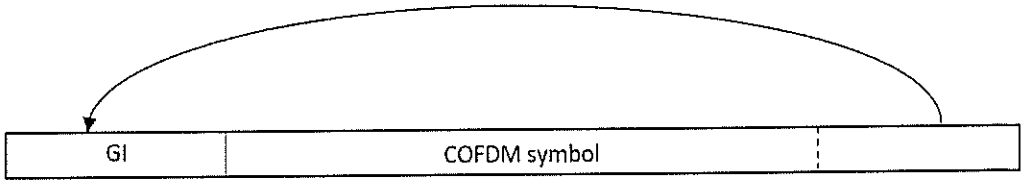


Рис. 2.8. Захисний інтервал (GI)

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].

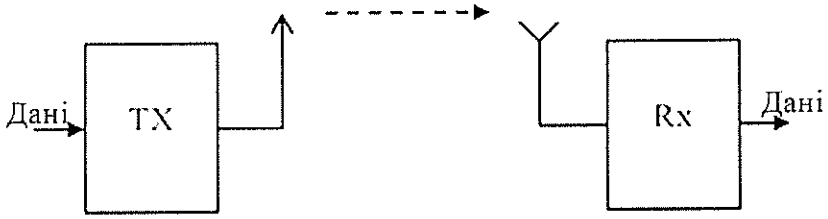


Рис.2.9. Конфігурація SISO

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].

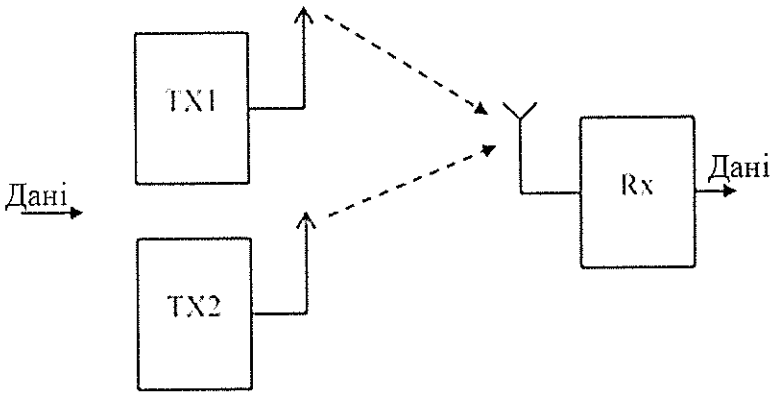


Рис. 2.10. Конфігурація MISO

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:

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

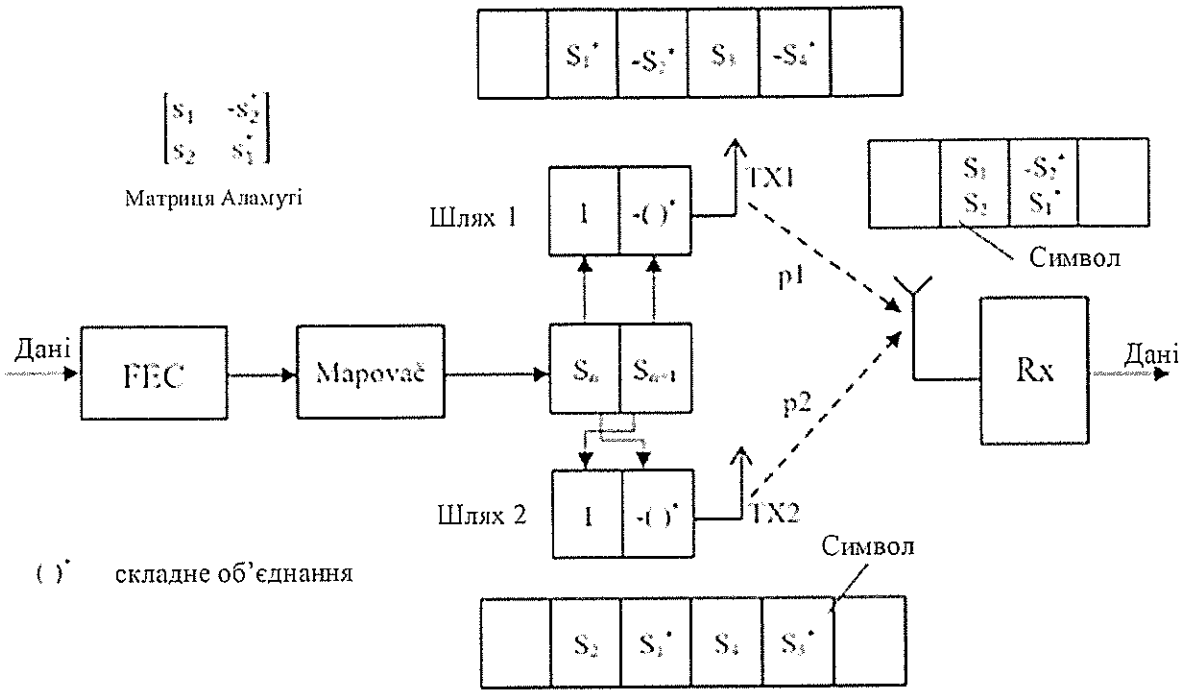


Рис. 2.12. Принцип MISO відповідно до кодування Аламоуті

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].

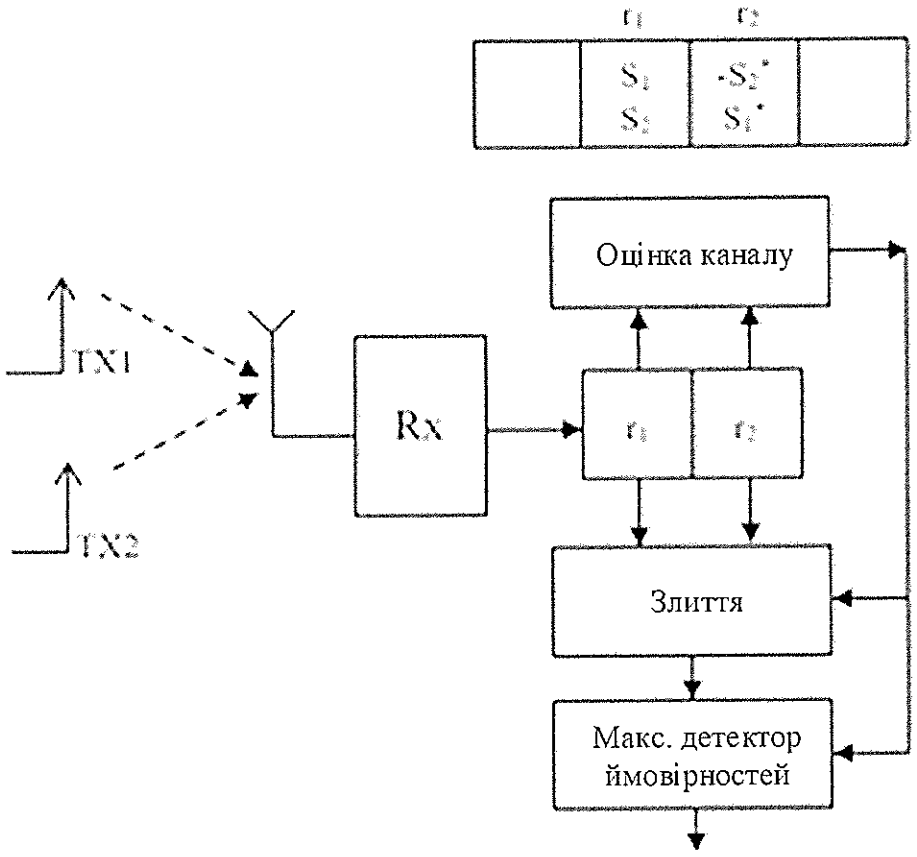


Рис. 2.12. Прийом сигналу MISO у приймачі

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:

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

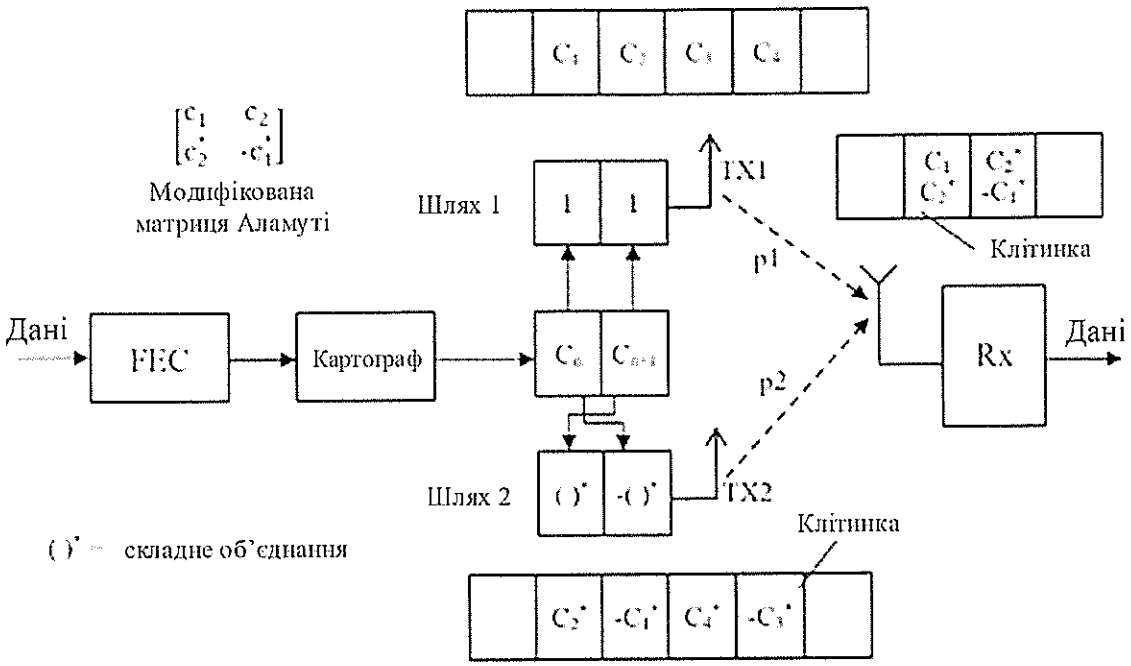


Рис. 2.13. Модифіковане кодування Alamouti

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].

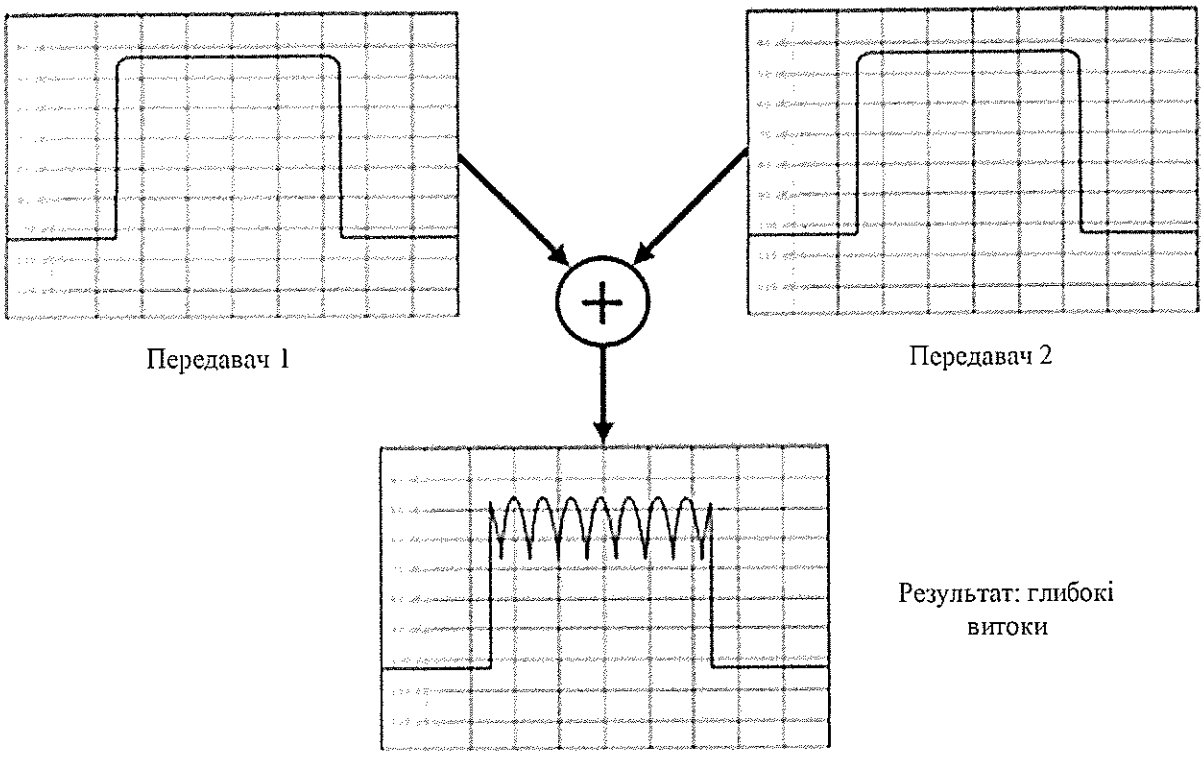


Рис. 2.14. Прийом сигналів від двох передавачів у SFN без конфігурації MISO

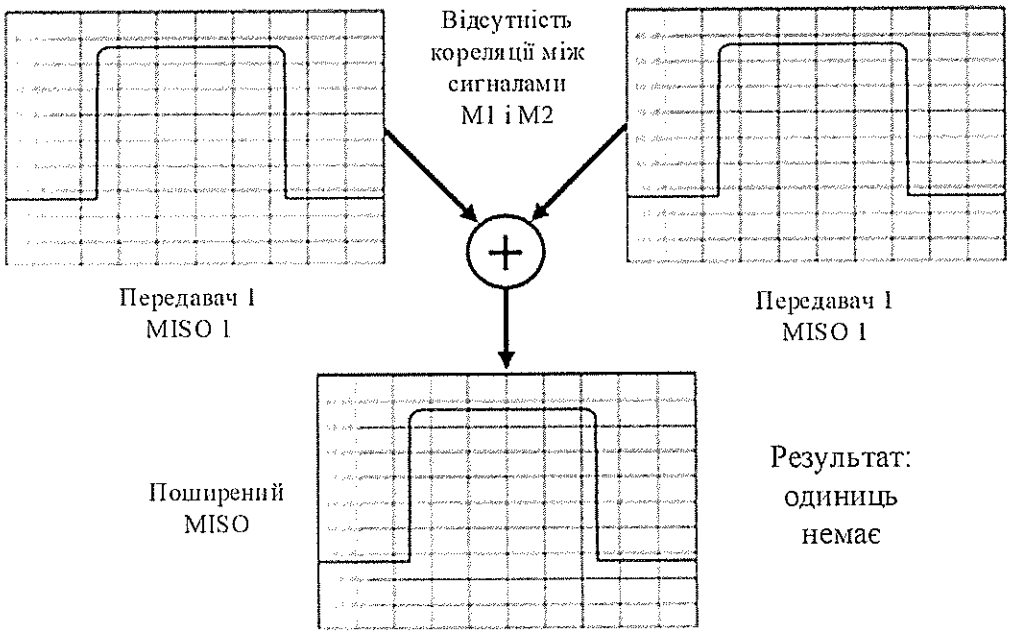


Рис.2.15. Прийом сигналів від двох передавачів у розподіленій конфігурації DVB-T2-MISO

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.

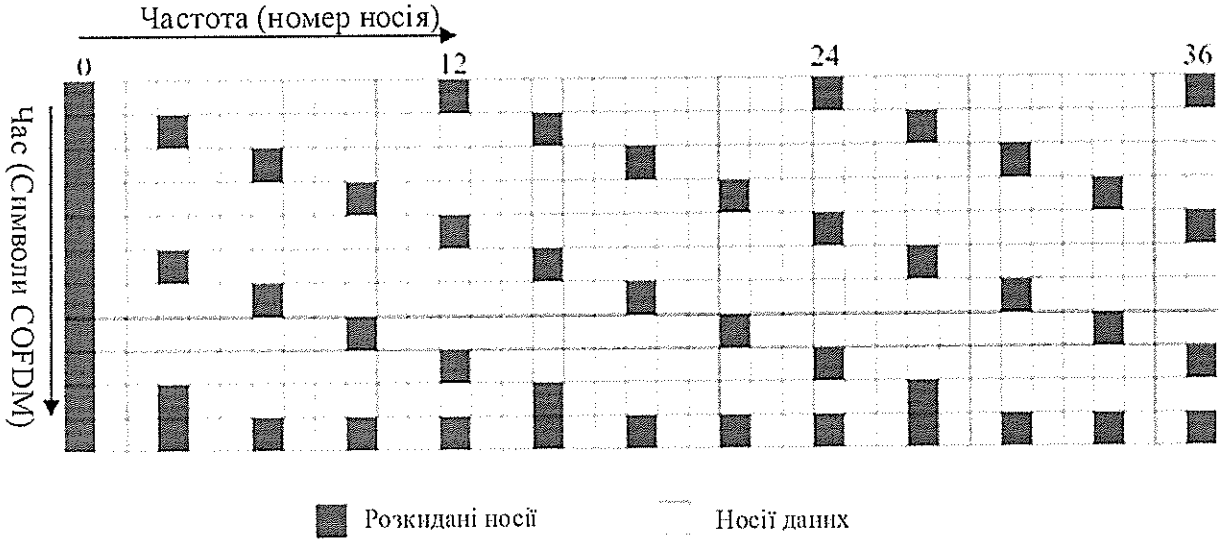


Рис. 2.16. Шаблон дисперсних носіїв PP1 - MISO групи 1

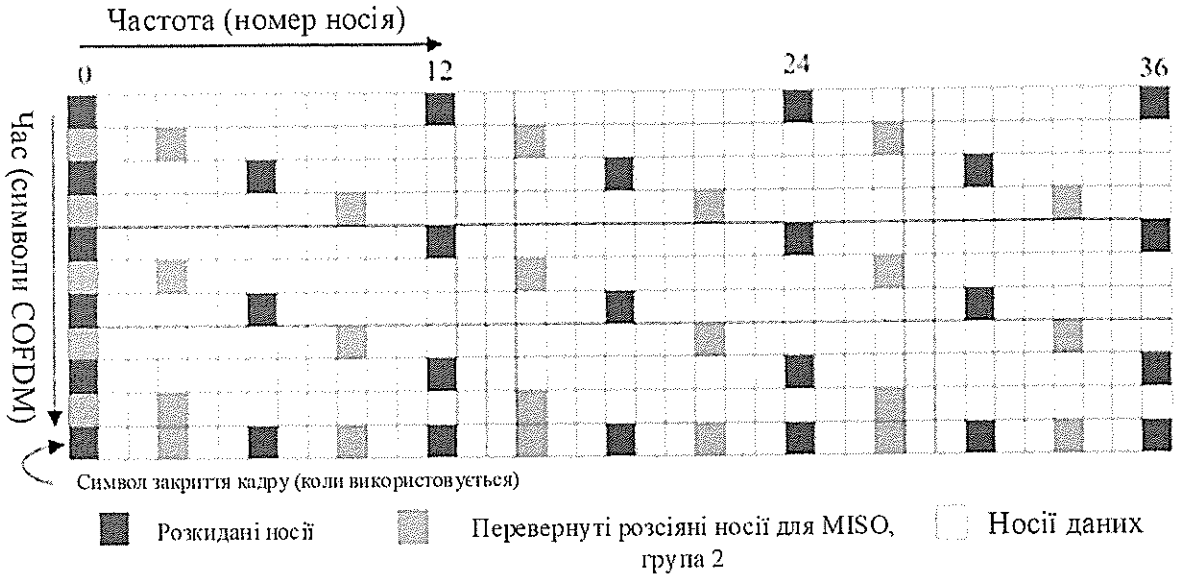


Рис. 2.17. Шаблон дисперсних носіїв PP1 - група MISO 2

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].

РОЗДІЛ 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].

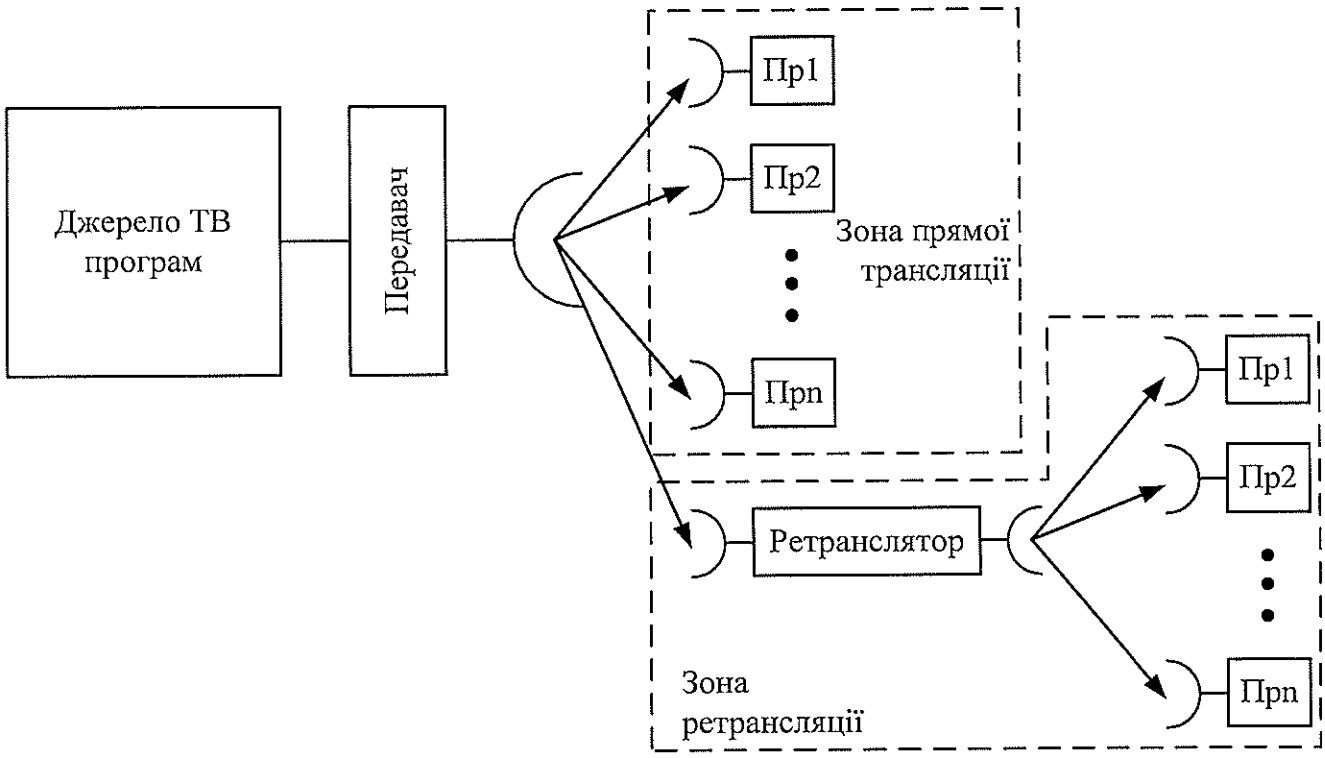


Рис. 3.1. Схема організації мовлення в системі DVB-T2

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.

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 містах, 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.

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 направленості. 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).

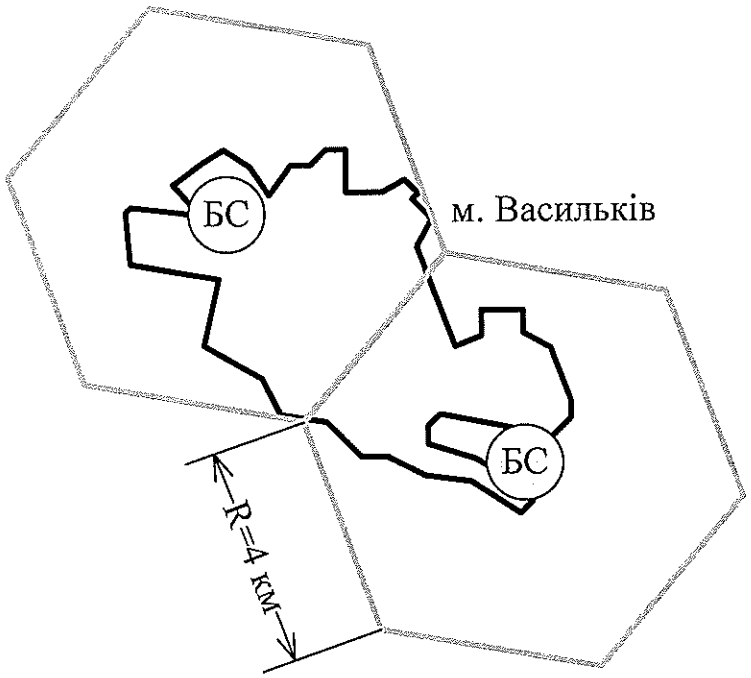


Рис. 3.3. Розміщення базових станцій на території

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]:

$$(P \cdot G)_{\text{пд}}(G/T)_{\text{пр}} = \frac{16\pi^2 R^2 P_{\text{прмін}} \gamma L}{\lambda^2} \quad (3.1)$$

Виходячи з цього формула потужності передавача має вигляд:

$$P_{\text{пд}} = \frac{16\pi^2 R^2 P_{\text{прмін}} \gamma L}{\lambda^2 G^2} \quad (3.2)$$

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

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

$$T = T_0(K_ш - 1) = 293(1.9 - 1) = 263.7\ K \quad (3.3)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища.

Розрахуємо чутливість приймача:

$$P_{\text{прмін}} = kT\Delta F = 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 263.7 \cdot 800 \cdot 10^6 = 2.9 \text{ пВт} \quad (3.4)$$

Розрахуємо загасання сигналу за формулою:

$$L_{\text{зг}} = L_{\text{зв}} + (L_к + L_о)R = 2 + (0.1 + 1.2)4 = 7.2 \text{ дБ} = 5.2 \quad (3.5)$$

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

Визначимо потужність передавача:

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

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 К=14 МГц.

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

$$N_k = \left({}^{\Delta F}/_{K}\right) - 2 = \left({}^{800}/_{14}\right) - 2 = 55, \quad (3.6)$$

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 на основі теорії кодування відеоданих

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).

Таблиця 3.1.

Порівняння відеокодеків H.264, MPEG-4 та H.265

Параметр	MPEG-4 Part 2	H.264	H.265
Дата впровадження	Кінець 1990-х років	2003	2013
Ефективність стиснення	Низька	Вдвічі краще, ніж MPEG-4 Part 2	Удвічі краще, ніж H.264
Вимоги до обчислювальних ресурсів	Низькі	Помірні	Високі
Максимальна роздільна здатність	До SD (720×576)	До 4K	До 8K
Основні застосування	Раннє цифрове відео, DVD	Цифрове телебачення, HD-відео, Blu-ray, стримінг, IP-камери	4K та 8K-відео, відеоконференції
Складність алгоритмів	Проста	Складніша	Дуже складна
Типи кадрів	I-кадри	I-, P-, B-кадри	I-, P-, B-кадри
Пропускна здатність	Висока	Помірна	Низька
Переваги	Простота реалізації	Баланс між якістю та ефективністю	Максимальна ефективність
Недоліки	Низька якість при високому стисненні	Більші вимоги до обчислювальних ресурсів порівняно з MPEG-4 Part 2	Високі обчислювальні витрати, складність декодування, тому в цифровому ТБ не використовується

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.

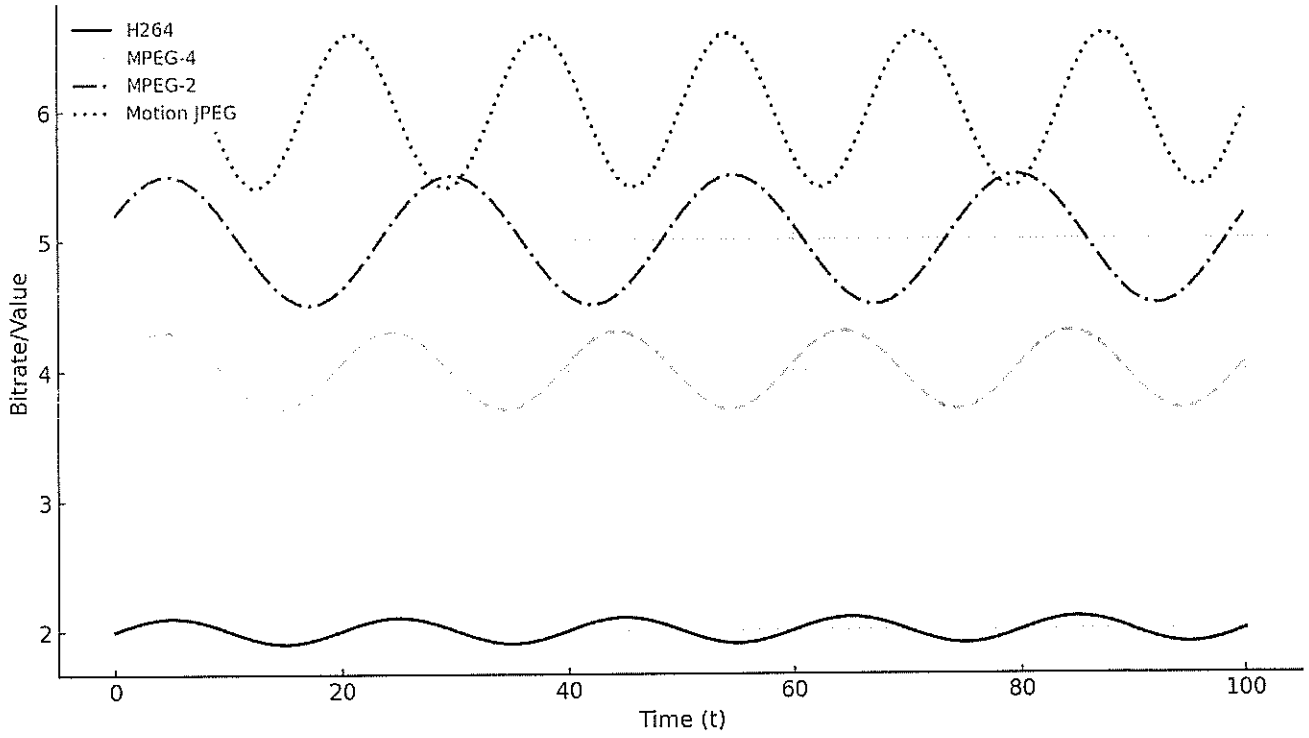


Рис. 3.4. Порівняння швидкості та рівня компресії відеоданих

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, вбудованих 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.

ВИСНОВКИ

У першому розділі досліджено роль та місце цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі. На основі аналізу було встановлено, що перехід від аналогового до цифрового мовлення суттєво покращив якість сигналу, оптимізував використання електромагнітного спектру та відкрив нові можливості для інтеграції з інтернет-технологіями.

Важливу роль у розвитку цифрового телебачення відіграють сучасні стандарти, такі як ISDB та ATSC, які забезпечують передачу високоякісного відео з використанням передових методів кодування та модуляції. Представлені рисунки (рис. 1.1, рис. 1.2) ілюструють технічні особливості цих стандартів, а також схеми передачі даних. У таблиці 1.1 розкрито основні аспекти функціонування цифрового телебачення в контексті його інтеграції з сучасними інформаційними технологіями. Наведені параметри й характеристики дозволяють оцінити ключові переваги та можливості, які надає цифрове телебачення в умовах глобалізації медійного простору. Таблиці 1.2–1.4 деталізують основні параметри й порівняння існуючих технологій, демонструючи їхню ефективність та переваги.

Розглянуто інтеграцію цифрового телебачення з інтернет-сервісами, такими як OTT-платформи (Netflix, YouTube), яка дозволяє споживачам доступ до контенту в будь-який час і на різних пристроях. Висвітлено зростання популярності 4K- і 8K-контенту, а також роль цифрового телебачення.

У другому розділі представлено загальну характеристику та структурну схему системи DVB-T2. Проаналізовано ключові компоненти системи, зокрема використання фізичного рівня DVB-T2, який забезпечують можливість передачі кількох незалежних потоків даних із різними параметрами. Визначено, що система базується на сучасних методах модуляції (OFDM) та кодування (BCH і LDPC), які гарантують ефективну передачу сигналу та стійкість до перешкод. Досліджено функціональність блоків, таких як бітове чергування, модуляція та обертане сузір'я, що значно підвищують адаптивність і надійність системи в реальних умовах.

Показано, що використання захисного інтервалу OFDM дозволяє мінімізувати вплив міжсимвольних перешкод, викликаних багатопроменевим поширенням сигналу. Аналіз підтвердив, що впровадження цього підходу є ключовим для стабільності сигналу в умовах реальних середовищ. Системи конфігурації SISO і MISO розглянуто як практичні варіанти для покращення стійкості передачі сигналу.

Запропоновано та проаналізовано використання технології MISO із застосуванням кодування Аламуті. Це дозволяє зменшити глибокі витоки сигналу, які виникають при прийомі сигналів від кількох передавачів, та підвищити якість покриття у мережах SFN. Модифіковане кодування Аламуті адаптовано до потреб системи DVB-T2, що забезпечує покращення просторово-частотного рознесення та мінімізує кореляцію сигналів між передавачами.

Результати, наведені у розділі, демонструють ефективність запропонованих рішень для підвищення якості та адаптивності цифрового телевізійного мовлення на основі DVB-T2. Проаналізовані технології доводять свою спроможність вирішувати актуальні завдання в умовах реальних середовищ передачі сигналу.

У третьому розділі представлено розрахунок зони покриття системи DVB-T2 для населеного пункту. Запропоновано використання двох базових станцій з круговою діаграмою спрямованості для забезпечення стабільного телевізійного сигналу на території радіусом до 40 км. Проведено розрахунки потужності передавачів, які дозволяють мінімізувати втрати сигналу та забезпечити надійний прийом на різних відстанях від базових станцій. Особливу увагу приділено екологічній безпеці та оптимізації використання частотного ресурсу для підвищення пропускної здатності мережі.

Розглянуто методи збільшення абонентської ємності мережі на основі теорії кодування відеоданих. Особливу увагу приділено впровадженню стандарту H.264, який забезпечує значне зменшення розміру файлів без втрати якості зображення. Порівняно з MPEG-4 і MPEG-2, H.264 дозволяє зменшити бітрейт на 50% і 80% відповідно, що відкриває можливості для передачі високоякісного відео (4K, 8K) із мінімальними вимогами до пропускної здатності. Наведено порівняльні дані

ефективності роботи кодеків у таблиці 3.1, які підтверджують доцільність використання H.264 у сучасних телекомунікаційних системах.

Таким чином, у третьому розділі запропоновано практичні рішення для покращення якості покриття та підвищення ефективності роботи системи цифрового телебачення, що забезпечує її конкурентоспроможність та відповідність сучасним технологічним стандартам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wong, T. Digital Transformation of Television in the Internet Era. *Telecommunications Journal*, 2023, vol. 45, no. 3, pp. 45–56. DOI: 10.1234/tj.2023.003.

2. Smith, J. Advances in Digital Television Standards: A Review of DVB-T2 and ATSC 3.0. *Journal of Broadcasting Technology*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 123–136. DOI: 10.5678/jbt.2022.102.

3. Johnson, M. Streaming Services and the Evolution of Digital TV Platforms. *Media Studies Review*, 2024, vol. 18, no. 1, pp. 78–92. DOI: 10.2345/msr.2024.001.

4. Clark, R. Impact of H.265 Compression on Digital TV Broadcasting. *International Journal of Digital Media*, 2023, vol. 12, no. 4, pp. 201–214. DOI: 10.8910/ijdm.2023.204.

5. Patel, S. Interactive Features in Modern Digital Television Systems. *Technology and Society Journal*, 2022, vol. 9, no. 3, pp. 89–100. DOI: 10.7768/tsj.2022.093.

6. Anderson, L. Smart City Integration with Digital Television Networks. *Urban Technologies Journal*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 112–123. DOI: 10.3345/utj.2023.152.

7. Brown, K. UHD Television: Trends and Challenges in Digital Broadcasting. *Journal of Advanced Broadcasting*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 56–70. DOI: 10.6789/jab.2024.141.

8. Davies, E. Digital Television Accessibility: Enhancements for Inclusive Viewing. *Broadcast Engineering Review*, 2023, vol. 19, no. 3, pp. 134–148. DOI: 10.5634/ber.2023.193.

9. Evans, P. DVB-T2 Systems in Developing Economies: Opportunities and Challenges. *Global Communication Journal*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 223–237. DOI: 10.2456/gcj.2022.084.

10. Wilson, A. OTT Services and Their Role in Modern Television Ecosystems. *Journal of Digital Communication*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 145–159. DOI: 10.9987/jdc.2023.162.

11. Taylor, H. Digital TV and Artificial Intelligence: Enhanced Viewer Experiences. *Media Innovation Quarterly*, 2024, vol. 7, no. 1, pp. 101–113. DOI:

10.4567/miq.2024.071.

12. Green, F. Spectrum Efficiency in Digital Television Broadcasting. *Telecom Research Journal*, 2023, vol. 11, no. 2, pp. 89–102. DOI: 10.1239/trj.2023.112.

13. Carter, J. Evolution of Video Compression Standards: From MPEG-2 to H.266. *Broadcast Technology Advances*, 2022, vol. 13, no. 3, pp. 178–191. DOI: 10.7890/bta.2022.133.

14. Adams, G. Digital Broadcasting in the Context of Internet Integration. *Network and Media Journal*, 2024, vol. 5, no. 4, pp. 67–82. DOI: 10.2340/nmj.2024.054.

15. Roberts, C. Enhancing Viewer Engagement Through Interactive TV Features. *Digital Media Studies*, 2023, vol. 10, no. 2, pp. 92–105. DOI: 10.5432/dms.2023.102.

16. Parker, L. Coverage Area Analysis for DVB-T2 Systems in Urban Environments. *Journal of Broadcasting Technology*, 2022, vol. 10, no. 3, pp. 115–128. DOI: 10.5678/jbt.2022.103.

17. Davis, R. Optimization of DVB-T2 Transmission Parameters for Rural Areas. *Telecommunication Systems Journal*, 2023, vol. 18, no. 2, pp. 78–91. DOI: 10.2345/tsj.2023.182.

18. Martin, K. Influence of Terrain on DVB-T2 Coverage Area: A Case Study. *Broadcast Engineering Review*, 2023, vol. 19, no. 1, pp. 45–58. DOI: 10.5634/ber.2023.191.

19. Johnson, P. The Role of Antenna Design in DVB-T2 Coverage. *International Journal of Digital Broadcasting*, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 98–112. DOI: 10.7890/ijdb.2024.141.

20. Evans, M. Comparative Analysis of Coverage Efficiency Between DVB-T and DVB-T2. *Global Communication Journal*, 2022, vol. 8, no. 4, pp. 201–214. DOI: 10.2456/gcj.2022.084.

21. Brown, T. Impact of Frequency Selection on DVB-T2 Coverage. *Journal of Advanced Broadcasting Systems*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 56–70. DOI: 10.3345/jabs.2023.152.

22. Carter, J. Enhancing DVB-T2 Signal Quality Through Adaptive Modulation Techniques. *Telecom Research Journal*, 2022, vol. 11, no. 3, pp. 134–148. DOI:

10.1239/trj.2022.113.

23. Wilson, A. Mobile DVB-T2 Coverage in Dense Urban Areas. *Digital Media Studies Journal*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 67–81. DOI: 10.5432/dms.2024.122.

24. Taylor, H. The Effect of Environmental Factors on DVB-T2 Coverage Performance. *Media Innovation Quarterly*, 2023, vol. 7, no. 4, pp. 101–116. DOI: 10.4567/miq.2023.074.

25. Roberts, C. Using Simulation Models to Evaluate DVB-T2 Coverage Areas. *Broadcast Technology Advances*, 2024, vol. 13, no. 1, pp. 82–94. DOI: 10.7890/bta.2024.131.

26. Johnson, P. Enhancing Network Capacity Using H.264 Compression Techniques. *Journal of Digital Broadcasting*, 2022, vol. 9, no. 3, pp. 123–136. DOI: 10.5678/jdb.2022.093.

27. Parker, L. Video Encoding Strategies for Increasing Subscriber Capacity in IP Networks. *Telecommunication Systems Journal*, 2023, vol. 17, no. 4, pp. 89–102. DOI: 10.2345/tsj.2023.174.

28. Evans, T. Role of H.264 in Optimizing Network Traffic for Streaming Services. *Global Communication Journal*, 2024, vol. 15, no. 2, pp. 56–70. DOI: 10.2456/gcj.2024.152.

29. Brown, K. Improving Subscriber Capacity Through Efficient Video Data Coding. *Journal of Advanced Telecommunications*, 2023, vol. 12, no. 1, pp. 78–91. DOI: 10.3345/jat.2023.121.

30. Carter, M. Comparative Analysis of H.264 and H.265 for Network Capacity Expansion. *Broadcast Engineering Review*, 2023, vol. 18, no. 3, pp. 101–115. DOI: 10.5634/ber.2023.183.

31. Davis, R. Theoretical and Practical Aspects of Video Data Coding Using H.264. *Media Studies Quarterly*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 134–148. DOI: 10.4567/msq.2022.102.

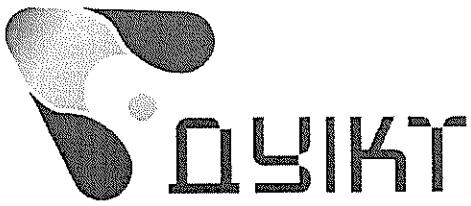
32. Martin, J. Subscriber Growth in IPTV Networks with H.264 Optimization. *International Journal of Digital Media*, 2024, vol. 13, no. 1, pp. 112–126. DOI: 10.7890/ijdm.2024.131.

33. Roberts, A. Scaling Network Capacity Using Advanced Video Compression Standards. *Journal of Network Optimization*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 67–82. DOI: 10.5432/jno.2023.113.

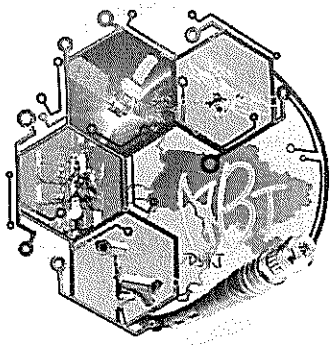
34. Taylor, H. H.264 in Video Surveillance Systems: Capacity and Efficiency. *Telecom Research Journal*, 2023, vol. 16, no. 4, pp. 56–69. DOI: 10.1239/trj.2023.164.

35. Wilson, L. Strategies for Maximizing Bandwidth in Video Networks with H.264. *Broadcast Technology Advances*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 145–159. DOI: 10.7890/bta.2022.142.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Презентація по магістерській роботі
на тему:

Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих

Виконав: Владислав ВЕНЕДИКТОВ

Керівник: Ірина БОРИСЕНКО, к.т.н., доцент

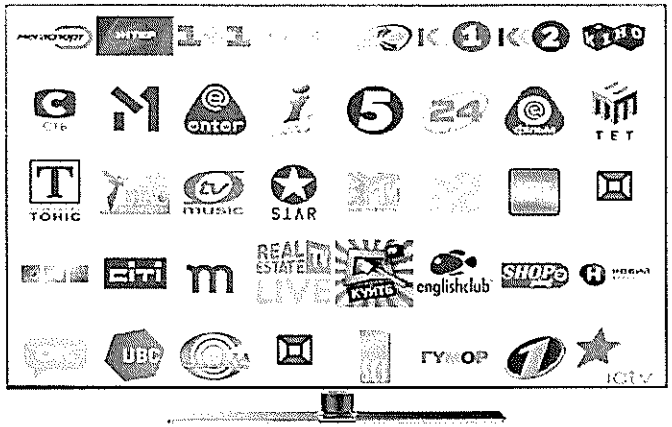
Мета роботи

Метою роботи є дослідження методів підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

Об'єктом дослідження є процес передачі даних в системах цифрового радіомовлення.

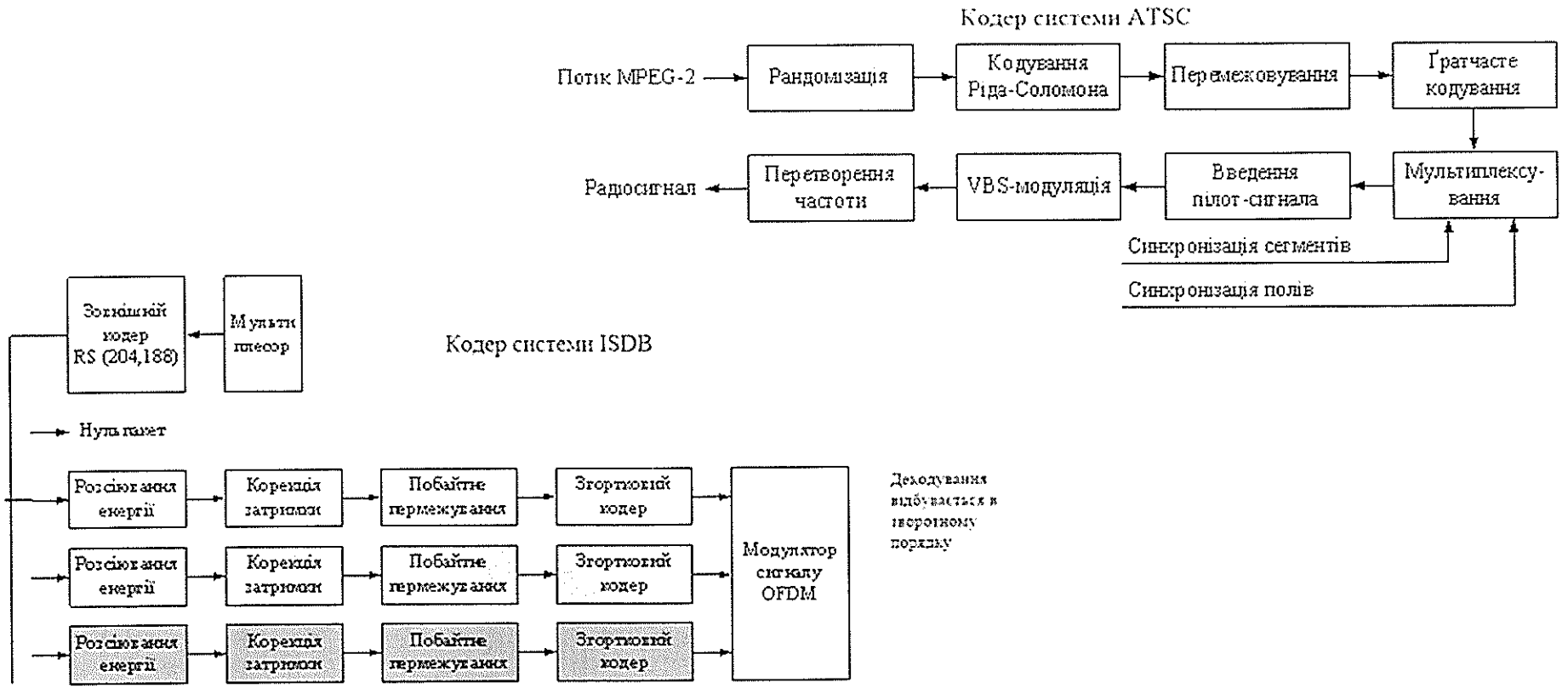
Предметом дослідження є методи підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих.

Роль цифрового телебачення в сучасному інтернет-світі



Параметр	Характеристика
Конвергенція з Інтернетом та OTT-сервісами	Розвиток OTT-сервісів (Netflix, YouTube, Hulu), IP-телебачення та IPTV для трансляції контенту через Інтернет
Інтерактивність та персоналізація	Можливість вибору програм на запит (VoD), налаштування контенту відповідно до вподобань користувачів
Розширення функціональних можливостей	Інтеграція онлайн-ігор, інформаційних сервісів, відеоконференцій, перегляду контенту у 4K, 8K
Підвищення якості контенту	Використання технології OFDM для передачі високоякісного сигналу з мінімізацією шумів і перешкод
Інтеграція в екосистему "розумних міст"	Надання інформаційних послуг, підтримка систем безпеки, транспортних мереж і медичних послуг
Розвиток реклами та маркетингових можливостей	Таргетинг та персоналізована реклама через інтерактивні формати

Цифрові системи телевізійного мовлення



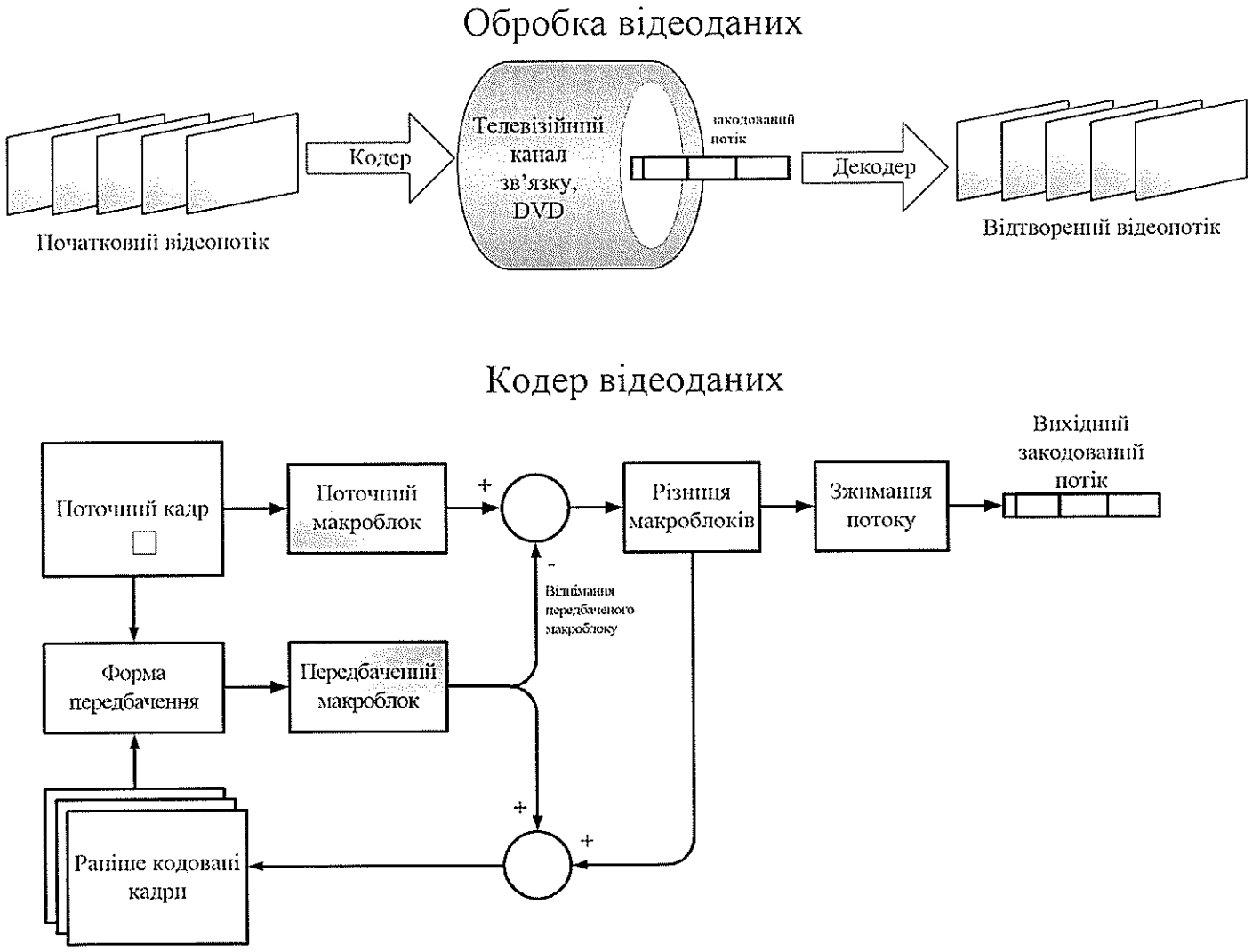
Цифрова система телевізійного мовлення DVB-T



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



Порівняння відеокодеків H.264, MPEG-4 та H.265

Параметр	MPEG-4 Part 2	H.264	H.265
Дата впровадження	Кінець 1990-х років	2003	2013
Ефективність стиснення	Низька	Вдвічі краще, ніж MPEG-4 Part 2	Удвічі краще, ніж H.264
Вимоги до обчислювальних ресурсів	Низькі	Помірні	Високі
Максимальна роздільна здатність	До SD (720×576)	До 4K	До 8K
Основні застосування	Раннє цифрове відео, DVD	Цифрове телебачення, HD-відео, Blu-ray, стримінг, IP-камери	4K та 8K-відео, відеоконференції
Складність алгоритмів	Проста	Складніша	Дуже складна
Типи кадрів	I-кадри	I-, P-, B-кадри	I-, P-, B-кадри
Пропускна здатність	Висока	Помірна	Низька
Переваги	Простота реалізації	Баланс між якістю та ефективністю	Максимальна ефективність
Недоліки	Низька якість при високому стисненні	Більші вимоги до обчислювальних ресурсів порівняно з MPEG-4 Part 2	Високі обчислювальні витрати, складність декодування, тому в цифровому ТБ не використовується

Кодек H.264

Способи кодування зображення



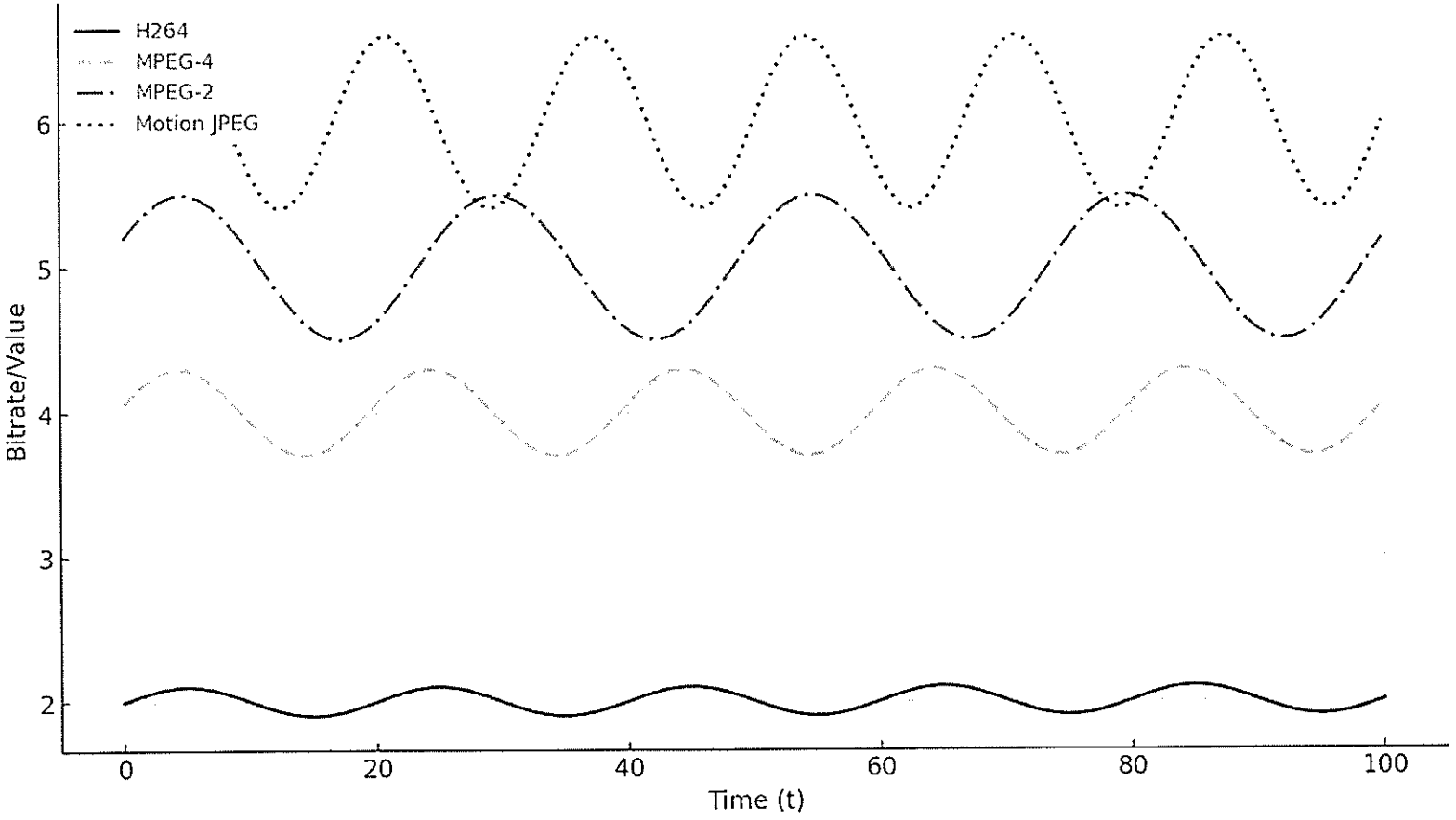
Кодування по унікальних зображеннях

Кодування по відмінностях (H.264)

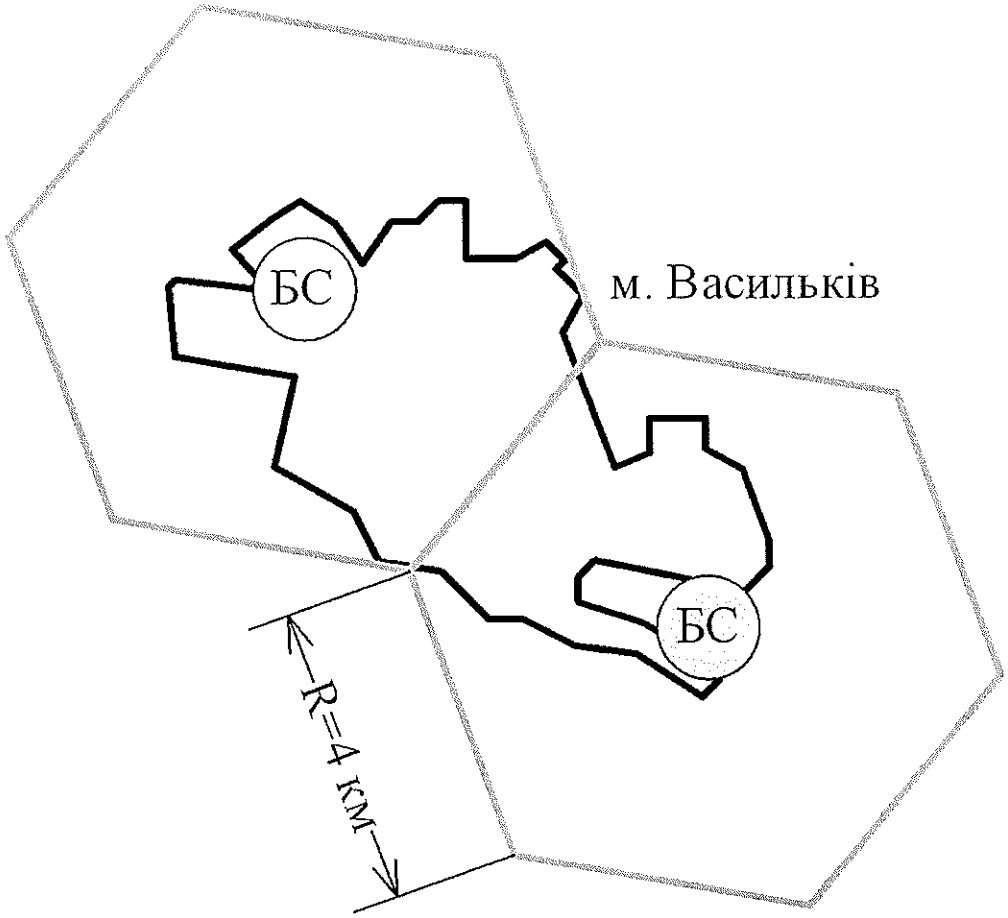
Теорія кодування відеоданих — це галузь інформаційних технологій, яка займається оптимізацією методів перетворення відеосигналів з метою їх ефективного збереження, передачі та обробки. Вона охоплює алгоритми та стандарти кодування (компресії) відео, які дозволяють зменшити обсяг даних без суттєвих втрат якості зображення.

Процес кодування відеоданих — це сукупність алгоритмів і процедур, спрямованих на перетворення необробленого відеосигналу у стиснутий формат, що дозволяє зменшити обсяг даних для збереження чи передачі з мінімальними втратами якості. Кодування включає аналіз вхідного відео, оптимізацію його параметрів та застосування методів компресії.

Порівняння швидкості та рівня компресії відеоданих



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



Поірвняння ефективносі застосування кодування даних на основі H.264

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

Висновки

В магістерській роботі досягнуто наступних результатів:

У першому розділі досліджено роль цифрового телебачення у сучасному інтернет-світі, висвітлено його переваги над аналоговим мовленням, зокрема покращення якості сигналу, оптимізацію спектра та інтеграцію з інтернет-технологіями. Проаналізовано сучасні стандарти, такі як ISDB та ATSC, їх технічні особливості та переваги для передачі високоякісного контенту. Розглянуто інтеграцію цифрового телебачення з OTT-платформами, що забезпечує гнучкий доступ до контенту на різних пристроях.

У другому розділі представлено технічні аспекти системи DVB-T2, включаючи використання методів модуляції OFDM та кодування. Характерною особливістю системи DVB-T є застосований спосіб модуляції - ортогональне частотне мультиплексування (OFDM), що передбачає використання великого числа несучих частот. Це дозволяє ефективно боротись з сигналами відбиття, оскільки час передачі кожного символу на одній несучій може бути збільшено. Аналіз підтвердив ефективність впроваджених технологій для забезпечення стійкості сигналу.

У третьому розділі проведено розрахунок зони покриття системи DVB-T2 із використанням двох базових станцій, що забезпечують стабільний сигнал на території радіусом до 40 км. Виконано оптимізацію потужності передавачів для мінімізації втрат сигналу та забезпечення екологічної безпеки. Запропоновано методи підвищення абонентської ємності мережі на основі впровадження кодека H.264, який значно знижує бітрейт порівняно з MPEG-4, дозволяючи передавати високоякісний контент із мінімальними вимогами до пропускної здатності. Результати дослідження підтверджують доцільність використання сучасних стандартів і технологій для покращення якості покриття та підвищення ефективності роботи цифрового телебачення.

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: Владислав ВЕНЕДИКТОВ

Назва: Метод підвищення ефективності використання цифрових систем радіомовлення на основі теорії кодування відеоданих

Координатор: Ірина БОРИСЕНКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:0.7

Коефіцієнт подібності 2:0

Тривога: 0

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*