

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: **“ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО
ТЕЛЕБАЧЕННЯ”**

Виконав: студент 6 курсу, групи РТДМ-61
спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Казмірчук М.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Макаренко А.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(прізвище та ініціали)

Київ - 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	10
1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ.....	13
1.1 Цифрові системи телевізійного мовлення.....	13
1.1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення.....	13
1.1.2 Система ATSC.....	14
1.1.3 Система DVB.....	18
1.1.4 Система ISDB.....	20
1.2 Цифрове наземне телевізійне мовлення в Україні.....	22
2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T2.....	28
2.1 Загальна характеристика і структура системи DVB-T2.....	28
2.2 Стискування телевізійного сигналу.....	29
2.3 Рандомізація даних.....	35
2.4 Зовнішнє кодування і перемежування.....	37
2.5 Внутрішнє кодування.....	38
2.6 Внутрішнє перемежування.....	38
2.7 Методи модуляції.....	39
2.8 Формування кадру даних.....	40
3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ.....	43
3.1 Розрахунок зони покриття системи розподілу інформації МІТРС.....	43
3.2 Обладнання та методика підключення цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DTV-T2.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ATSC (Advanced Television Systems Committee - Комітет по вдосконаленим системам телебачення) - Система цифрового ТВ-мовлення, прийнята в США.

AVGD - Audio Video Graphics Decoding - аудіо-, відео- і графічний декодер.

BER (Bit Error Rate) - Частота помилок на 1 біт передаваної інформації.

COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) - OFDM, поєднана з канальним кодуванням.

DVB - Digital Video Broadcasting (Цифрове відеомовлення).

DVD - Digital Versatile Disk - Цифровий багатосторонній диск.

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

G.711, G.721, G.722, G.726, G.728, G.729 - Рекомендації ITU - Т, методи стискування мови, що описують, для систем зв'язку, у тому числі і відеозв'язку.

GOP - Group of Pictures - Група зображень. У MPEG - 1 і MPEG - 2 група наступних один за одним зображень (кадрів або полів).

HDTV - High - Definition Television. Телебачення високого розділення.

ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting - Цифрове мовлення з інтеграцією послуг) - Стандарт цифрового телевізійного мовлення, прийнятий в Японії.

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

ISDN (Integrated Services Digital Network - цифрові мережі інтегрованого сервісу) - Вид цифрових мереж зв'язку з комутацією каналів.

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

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

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

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

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

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

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

NTSC - National Television System Committee. Система кольорового телебачення, використовувана в США, Канаді, Японії і низці інших країн Азії і Америки.

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

PAL - Phase Alternating Line. Система кольорового телебачення використовується у багатьох країнах Європи, Китаї і інших країнах.

ВСТУП

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

Наразі Україна здійснює повний перехід на цифрове наземне телевізійне мовлення стандарту DVB-T2.

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

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

Актуальність теми. В процесі розвитку мереж телевізійного мовлення постійно збільшуються вимоги до якості відеозображення, кількості каналів, швидкості передачі інформації і якості сервісів, що надаються. Дана тенденція просліджується і для мереж телевізійного мовлення, середовищем передачі в яких є радіоканал. У зв'язку з цим в значній мірі ускладнюються використовувані для передачі інформації сигнали. Одним з перспективних видів сигнально-кодових конструкцій є ортогональне частотне мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) та не ортогональне частотне мультиплексування N-OFDM. Основна ідея методу полягає в розташуванні набору “незалежних підканалів так, щоб, з одного боку один підканал не був перешкодою іншому, а з іншого боку, спектри підканалів перекривалися.

При діленні основного потоку на підканали швидкість в кожному з них зменшується, що дозволяє понизити міжсимвольну інтерференцію, один з основних чинників, що заважають. В лінійних системах кожен з підканалів може розглядатися незалежно від інших, і тому виникнення помилок, унаслідок перешкод, в одному з підканалів не приводить до виникнення помилок в іншому. В результаті лише невелика частина передаваної інформації виявляється спотвореною і при використанні перешкодостійкого кодування може бути відновлена.

Вибір числа підканалів здійснюється на основі знання статистичних властивостей каналу зв'язку, а також вимог, що пред'являються до системи зв'язку. Виходячи з сучасних вимог до пропускної спроможності лінії радіозв'язку, що працює в складних умовах поширення радіохвиль, число підканалів має бути від декількох сотень до декількох тисяч.

Пропозиції по використанню багаточастотних сигналів були висунуті ще в 60-ті - 70-ті роки 20-го століття Чангом (Chang), Зальцбергом (Salzberg), Вайнштайном (Weinatein) і Ебертом (Ebert), але до 90-х років 20-го століття багаточастотні сигнали знаходили застосування лише в системах зв'язку військового призначення. З розвитком мікроелектроніки і появою недорогих надвеликих інтегральних схем з'явилася можливість реалізації порівняно недорогих пристроїв, що виконують цифрову обробку прийнятого сигналу.

Іншим важливим питанням для вирішення проблем з підвищення пропускної здатності телевізійних каналів є проблема стискування інформації. З теорії електрозв'язку відомо: по каналу зв'язку з шириною смуги пропускання ΔF можна передавати $2\Delta F$ біт інформації за 1 с, тобто ефективність використання смуги частот каналу зв'язку складає 2 (біт/с)/Гц. Отже, для передачі в послідовній формі цифрового телевізійного сигналу швидкістю передачі двійкових символів 243 Мбіт/с необхідний канал зв'язку з шириною смуги 121,5 МГц. Ясно, що ні який стандартний канал наземного телевізійного мовлення, що має ширину смуги 8 МГц, ні супутниковий канал зв'язку, що має ширину смуги 27 МГц, непридатні для передачі цифрового телевізійного сигналу.

Тому одним з важливих завдань в області цифрового телебачення є завдання скорочення швидкості передачі двійкових символів і, відповідно, необхідної смуги частот каналу зв'язку. Це завдання може бути вирішена шляхом стискуван-

ня інформації, що передається в телевізійному сигналі. Стискування інформації забезпечує також зменшення необхідного об'єму запам'ятовуючих пристроїв, при записі телепередач або окремих зображень.

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

Метою роботи є дослідження і проектування системи передачі цифрового телебачення для населеного пункту.

Об'єкт дослідження безпроводові широкопasmові радіотехнічні системи передачі цифрового телебачення.

Предмет дослідження - перспективні технології які забезпечать збільшення каналної ємності телевізійної мережі.

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

Практична значимість роботи. Створення системи передачі цифрового телебачення для населеного пункту з підвищеною абонентською ємністю телевізійних каналів на основі технології частотного мультиплексування з розробкою ефективного способу стискування інформації є актуальним, тому що забезпечує абонентів програмами високої якості зображення зі збільшеною кількістю каналів.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати магістерської атестаційної роботи доповідалися на ІХ Науково-технічній конференції «Сучасні інфокомунікаційні технології», Київ: ДУТ, 5 грудня 2019 р.

Публікації. Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку, – 2019, – №3”.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

1.1 Цифрові системи телевізійного мовлення

1.1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення

Часом початку цифрового ТВ мовлення в Європі і, практично відразу, в США, слід рахувати листопад 1998 р. У Європі цифрове ТВ мовлення розвивалося відповідно до проекту DVB (Digital Video Broadcasting). Враховуючи різноманітність форм ТВ мовлення, частина проекту була присвячена розробці технічних рішень відносно супутникового телебачення, вона отримала назву DVB-S (...Satellite), частина — до кабельного (DVB-C — ...Cable), а частина — до наземного або ефірного мовлення (DVB-T — ...Terrestrial). Останніми роками в стандарті DVB-T2 почали мовлення Швеція, Іспанія, Данія і Австралія. Крім того, підготовчі роботи велися також в Сінгапурі, Новій Зеландії і Індії. Стандарт ISBD (Integrated Services Digital Broadcasting), розроблений в Японії, є в деякому розумінні модифікацією європейського стандарту ТВ мовлення. Найближчим часом ще 12 країн Європи, а також Сінгапур, Нова Зеландія і Індія планують почати трансляцію ТВ програм в стандарті DVB-T2.

У Росії пробні ТВ передачі в стандарті DVB були початі декілька пізніше. Дослідне цифрове ТВ мовлення було почате в Нижньому Новгороді в 2000 р., в С.-Петербурзі у 2001 р.

У США робота над стандартом цифрового ТВ мовлення почалась в 1987 р., а в 1996 р. Федеральна комісія США та зв'язку (Federal Communications Commission, FCC) затвердила розроблений стандарт як національний. Він отримав назву ATSC (Advanced Television Systems Committee). Вже в листопаді 1998 р. 26 станцій в 10 регіонах США приступили до цифрового ТВ мовлення. Одночасно в країні зберігалось і зберігається зараз мовлення в аналоговому стандарті NTSC.

В той же час, згідно стратегічному плану розвитку ТВ мовлення в країні, до 2006 р. всі мовні компанії повинні повністю перейти на цифрове ТВ мовлення, і в тому випадку, якщо в 95 % населення будуть цифрові ТВ приймачі, аналогове мовлення до цього часу повинне припинитися. До цифровому мовленні в стандарті ATSC приєдналися також Канада, Північна Корея, Тайвань і Аргентина.

Таким чином, в даний час в світі працюють різні системи цифрового телебачення. При цьому, як це колись було і з аналоговим телебаченням, єдиний для всіх країн стандарт на цифрове ТВ мовлення доки відсутній.

1.1.2 Система ATSC

Система ATSC, розроблена і впроваджена 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 ефективно використати 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 бічної смуги, що якоюсь мірою відповідає принципам побудови існуючих аналогових систем ТВ мовлення. Такий вигляд модуляції називається VSB-AM.

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

Використовуючи сигнал модуляції з вісьмома положеннями (8-VSB метод модуляції), три біта потоку даних передані по єдиному інтервалу характеру. У групі на 6 МГц (американська телевізійна пропускна здатність частоти), 8-VSB система здатна до передачі потоку даних на 32,3 Мбіт / с.

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

Згадайте структуру транспортного потоку: це складається з пакетів 188 байтів кожен, який містить передану інформацію. Коли інформація отримана в декодері 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 псевдослучайному 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 слідує один за іншим. На стороні отримання, звичайно, всі ці операції повторені в зворотному порядку, який дозволяє позбуватися від так званих «пакетних»

помилки, 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.

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 приймачу.

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 кожен 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. Структуру структури даних показують на рис. 1.3.

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

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

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

Таблиця 1.1

Параметри розгортки

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

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

ТВ ATSC телерадіомовна система використовує вид модуляції і структуру переданих даних (сегмент, область), традиційний для сучасного аналогового те-

лебачення. В цьому випадку цифровий потік, переданий через стандартний телерадіомовна телеканал, достатній, щоб передати ТВ з високою роздільною здатністю. У той же час у системи є недостатня шумова недоторканність від переданого сигналу, особливо у важких умовах поширення радіохвиль, коли умови прийому сигналу порушені відбитими сигналами. Цей дефіцит був усунутий розробниками європейського DVB Телерадіомовна Система.

1.1.3 Система DVB

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

Структурна схема обробки сигналу показана на рис. 1.4. Одна з особливостей системи DVB-T — так звана «ієрархічна» передача і прийом інформації. Це технічне рішення пов'язане із спеціальним вибором способу модуляції і дозволяє споживачеві прийняти зображення в такій якості, яке дозволяють умови прийому і якість приймача. Транспортний потік, відповідний стандарту MPEG-2, «розщеплюється» на виході мультимплектора на два незалежних потоки, що відрізняються пріоритетом. Потік вищого пріоритету кодується і передається за умови забезпечення високої перешкодозахищеності, а потік низького пріоритету — з нижчою перешкодозахищеністю, але з вищою швидкістю передачі даних. На рисунку його шлях позначено штриховою лінією. Рандомізація, а також зовнішнє і внутрішнє перемежування призначені для захисту від помилок передачі. Всі ці заходи дозволяють довести частоту помилок на вході демультимплектора MPEG-2 до значення порядку 10^{-11} , що відповідає практично безпомилковій роботі.

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

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

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

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

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

1.1.4 Система ISDB

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

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

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, перемежувачі і внутрішні згортальні кодери.

У системі ISDB-T транспортні потоки, що підлягають передачі, сформовані відповідно до вимог стандарту MPEG-2, спочатку піддаються ремультимплексуванню — перетворюються 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 мультимплексування і модуляції і для правильної демодуляції і управління конфігурацією декодування. Параметри коректуючого 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 узятє 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 мультимплексу. У нім транспортний потік це безперервний потік транспортних пакетів, що мають загальну довжину 204 байти, з яких 16 байтів є перевірочними байтами коду Ріда-Соломона, або нульовими байтами. Тривалість кадру мультимплексу 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.

Структурна схема підсистеми кодування для каналу в системі ISDB-T показана на рис. 1.5.

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

1.2 Цифрове наземне телевізійне мовлення в Україні

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

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

- національний канал “UA: Перший”;
- канали місцевого мовлення;
- аналогові канали в місцях проведення Операції Об’єднаних сил із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі та стримування збройної агресії Російської Федерації на території Донецької та Луганської областей.

Перехід на цифрове наземне телевізійне віщання стандарту DTV-T2 є одним з важливих етапів становлення і розвитку української телевізійної сфери. Завдяки цьому в Україні з’явилося 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 телефіру, 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 Україні, 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 (ДТТ), 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 Доплера (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-T22 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-T22 є ідеальним рішенням, що надає високий рівень стійкості сигналу, він забезпечує необхідне збільшення пропускної здатності, при збереженні існуючої інфраструктури антен.

Як і його попередник, DVB-T22 використовує OFDM (ортогональне частотне мультиплексування) модуляцію, з великим числом піднесучих. Також як і DVB-T2, новий стандарт пропонує діапазон різних режимів, які роблять його дуже гнучким (табл. 1.2). В області усунення помилок, DVB-T22 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-Nocquenghem, "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-T22. LDPC-коди описуються перевіркою матрицею з малою щільністю, що містить в основному нулі і відносно малу кількість одиниць. Остан-

не спрощує декодування інформаційних сигналів на приймальній стороні каналу зв'язку.

Таблиця 1.2

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

Показник	DVB - T	DVB - T2
Кодування з виправленням помилок (FEC)	Конволюційне (“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

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

DVB-T22 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-T22 визначені можливості, за допомогою яких його може бути розширено в майбутньому та він буде зворотньо сумісним, шляхом використання майбутніх, розширених за обсягом переданої інформації, кадрів.

На рис. 1.6 представлений теоретичний спектр сигналу DVB-T22 для різних режимів передачі. Звернемо увагу, що для розширеного режиму 32К використовується збільшена смуга частот в межах 8 МГц каналу.

В країнах, де широко поширені послуги за стандартом DVB-T2, здійснюється планомірна відмова від аналогового мовлення, і в процесі переходу на цифрове наземне телевізійне мовлення вивільняються УВЧ і УКВ діапазони, які використовують для інших цілей. Одним із стимулів переходу на цифрове мовлення, є введення нових послуг, передбачених в стандарті DVB-T22. 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.

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

Канал			
№	Назва	№	Назва
1	Інтер	17	МЕГА
2	Україна	18	Піксель
3	1 + 1	19	XSPORT
4	НТН	20	НЛО-TV
5	К-1	21	2 + 2
6	UA: Перший	22	Zik
7	ICTV	23	ЭСПРЕССО
8	Ентер-фільм	24	BUSINESS

Продовження таблиці 1.4

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

Канал			
№	Назва	№	Назва
9	ZOOM	25	Прямий
10	Індиго TV	26	Культура
11	СТБ	27	Вінтаж
12	ТЕТ	28	Ескулап
13	К - 2	29	112 Україна
14	Новий канал	30	Обласні телекомпанії
15	М - 1	31	Регіональний або місцевий
16	5 канал	32	Регіональний або місцевий

Місцеві канали можуть доповнювати цей перелік. Наприклад, транслюються канали М1, Банк ТВ, 5 канал, Спорт, дитячі та ін.

2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T2

2.1 Загальна характеристика і структура системи DVB-T2

Система цифрового наземного ТВ мовлення DVB-T2 визначається як функціональний блок обладнання, що забезпечує адаптацію цифрового ТВ сигналу, представленого в основній смузі частот на виході транспортного мультиплектора MPEG-2, з характеристиками стандартного наземного радіоканалу мовлення, що має ширину смуги частот 8 МГц.

Оскільки система DVB-T2, як і будь-яка інша система ЦНТВ, має використовувати існуючі частотні плани і протягом достатньо тривалого перехідного періоду забезпечувати мовлення поряд з аналоговими діючими ТВ системами, вона повинна володіти необхідною перешкодозахищеністю з боку аналогових систем і не повинна створювати неприпустимих перешкод для них.

Для забезпечення всіх необхідних вимог по адаптації потоку даних до радіоканалу мовлення у складі передавального комплексу системи DVB-T2 є пристрої кодування, мультиплексування і модуляції. Структурна схема підсистеми адаптації до каналу наземного мовлення показана на рис. 2.1. На тому ж рисунку спрощено показана також підсистема кодування джерел інформації і їх мультиплексування в транспортний потік.

Вихід транспортного мультиплектора є точкою стику підсистем формування і передачі транспортних пакетів. Таким чином, вхідним сигналом тракту адаптації є потік транспортних пакетів фіксованої довжини 188 байт, з яких один (перший) байт служить для циклової синхронізації. Для більш рівномірного розподілу енергії радіосигналу в смузі каналу вхідний потік піддається рандомізації (скремблюванню). Система DVB-T2 має два ідентичних по структурі тракту рандомізації і завадостійкого кодування.

Така побудова дозволяє використовувати ієрархічні методи незалежного кодування двох потоків даних для організації їх пріоритетного прийому в зонах мовлення з різною площею покриття. Загальна частина тракту підсистеми адаптації служить для перетворення потоків даних в комбінації бітів, що відповідають модульованим посилкам, введення сигналів циклової синхронізації і керування, формування захисних часових інтервалів, перетворення цифрових сигналів в модульований груповий спектр COFDM, перенесення його в смугу каналу мовлення, підсилення і випромінювання в ефір.

Побудова підсистеми кодового захисту в системі DVB-T2 виконано по традиційному для систем ЦНТВ каскадному принципу. Для захисту від помилок в демодульованому сигналі COFDM, служить внутрішній згортальний кодек з набором різних кодових швидкостей і блок внутрішнього перемежування-деперемежування бітів, що відноситься до нього. Для виправлення пакетів помилок і додаткового зниження ймовірності помилки в декодованому сигналі служить зовнішній кодек Ріда-Соломона і зовнішній перемежувач-деперемежувач байтів транспортного потоку.

При розробці підсистеми кодування для каналу в системі DVB-T2 були максимально враховані вимоги близькості структури і параметрів до супутникової (DVB-S) і кабельної (DVB-C) систем. Так, схеми зовнішнього кодування і зовнішнього перемежування є однаковими у всіх трьох системах DVB. Схеми внутрішнього кодування і рандомізації (скремблювання) відповідають супутниковій системі DVB-S.

2.2 Стискування телевізійного сигналу

В сучасних системах цифрового ТБ для кодування і обробки джерел інформації використовують групу алгоритмів, що мають загальну назву стандарту MPEG-2.

Стандарти MPEG-2 це не точні стандарти реалізації апаратних засобів, а швидше основоположний опис шляхів мультиплексування набору стислих сигналів: відео, аудіо і даних в потік призначених для передачі цифрових пакетів. Ця стандартизація кодування, у свою чергу, передбачає і робить можливим стандартизацію апаратних засобів і функцій декодера. Велика гнучкість стандартів MPEG-2 дає можливість проектувати цифрові ТВ системи різного призначення і якості. Діапазон цих систем тягнеться від комп'ютерної відеотелефонії до ТВЧ. Відповідно призначенню систем змінюються вимоги до швидкостей передачі цифрових потоків, об'ємів пам'яті декодерів, швидкодії процесорів і іншим апаратно-програмним ресурсам.

При перетворенні кольорового ТВ сигналу з аналогової в цифрову форму згідно Рекомендації МСЕ-Р ВТ.601 використовується частоти дискретизація і формуються цифрові потоки, приведені в табл. 2.1. Відповідна структурна схема кодуючого пристрою показана на рис. 2.2.

Дані таблиці 2.1 показують, що в результаті аналогово-цифрового перетворення кольорового ТВ сигналу результуючі потоки бітів і потрібні для їх передачі смуги частот дуже великі, і потрібне скорочення надмірності (стискування сигналу). Загальноприйнятим методом стискування в даний час є алгоритми стандарту MPEG-2, що дозволяють понизити швидкість бітів кодованого сигналу до 5-10 Мбіт/с.

Основні показники при кодуванні ТВ сигналу

Компоненти і параметри сигналу	Позначення	Частоти дискретизації і швидкості передачі
Сигнал яскравості	Y	13,5 МГц (8 біт x 13,5 = 108 Мбіт/с)
Кольорорізнісний сигнал В-У	C _B	6,75 МГц (8 біт x 6,75 = 54 Мбіт/с)
Кольорорізнісний сигнал R-У	C _R	6,75 МГц (8 біт x 6,75 = 54 Мбіт/с)
Повне число відліків в секунду	S	13,5 + 6,75 + 6,75 - 27,000 Мвідліків/с
Повна швидкість передачі бітів при кодуванні з 8 бітами/відліками (з 256 можливих рівнів квантування лише 220 використовуються для відображення сигналу яскравості)	R _B	27Мвід./с x 8 біт = 216 Мбіт/с
Необхідна смуга частот каналу (при двійковій передачі в смузі Найквіста)	B _N	108 МГц
Повна швидкість передачі бітів при студійному кодуванні з 10 бітами/відліками	R _B	27x10=270 Мбіт/с
Необхідна смуга частот каналу (при двійковій передачі в смузі Найквіста)	B _N	135 МГц

Техніка стискування кодованих зображень ґрунтується на скороченні наступних видів надмірності:

просторова надмірність: значення елементів зображення (пікселів) є не незалежним, а корельованими в межах деякої області зображення, тобто можна передати значення одного пікселя, а значення інших — передбачити;

часова надмірність: кореляція між пікселями зберігається і в послідовності декількох кадрів зображення, тобто техніка передбачення і компенсації руху може бути поширена на декілька кадрів;

надмірність ентропії: сигнал, що безперервно змінюється, квантується, тобто замінюється сигналом, що дискретно змінюється, а для кодування квантованих рівнів використовується кодування Хаффмана, при якому довжина кодової комбінації обернено пропорційно залежить від частоти появи рівнів;

психовізуальна надмірність: око нездатне розрізняти дуже дрібні деталі і високочастотні колірні переходи.

У кодері MPEG-2 спочатку обробляються фрагменти зображення (блоки) розміром 8×8 пікселів, що несуть інформацію про яскравість або колірність. Блоки яскравості організуються в макроблоки, що складаються з чотирьох блоків (мають розмір 16×16 пікселів). Якщо з кожним макроблоком зв'язані по одному блоку кольорорізнисцевих сигналів C_R і C_B , то має місце формат колірної дискретизації 4:2:0. Якщо ж число колірних блоків рівне чотирьом (по два блоки для кожного з кольорорізнисцевих сигналів C_R і C_B), то має місце формат колірної дискретизації 4:2:2. Один або більше суміжних макроблоків групуються разом і утворюють слайс (вирізку даних з масиву).

Первинною кодованою одиницею зображення є кадр, що складається з групи слайсів, складових активну область зображення. Для скорочення просторової надмірності в межах одного кадру при кодуванні створюється так званий I-кадр, що містить всю інформацію, необхідну для декодування зображення. В разі збою або перешкод в каналі I-кадри дозволяють відновити процес правильного декодування. Для підвищення міри стискування I-кадри передаються приблизно один раз в 12 кадрів. У останній час передаються P-кадри і B-кадри, значення яких передбачені: для P-кадрів — виходячи із значень попередніх I-кадрів і P-кадрів, а для B-кадрів — виходячи із значень передуючих і подальших I-кадрів і P-кадрів.

Щоб декодер міг правильно відновити інформацію, потрібно передавати також додаткову службову інформацію. Для цього кожен кадр забезпечується заголовком, а ряд взаємозв'язаних I-, P-, B-кадрів об'єднується в групу кадрів (GOP),

яка також забезпечується заголовком. Отримана структура даних називається елементарним потоком даних. У послідовності GOP спочатку слідують І-кадри і Р-кадри, а потім В-кадри, які реконструюються декодером з раніше прийнятих І- і Р-кадрів. Оскільки послідовність передачі кадрів не збігається з послідовністю їх відтворення, то на рівні пакетованого елементарного потоку додаються часові мітки декодування (DTS) і вистави (PTS), які несуть інформацію про необхідні моменти часу декодування і відображення кадрів.

Таким чином, в процесі кодування створюється складна шестирівнева ієрархічна структура: блок — макроблок — слайс, кадр — група кадрів — послідовність кадрів (рис. 2.3).

При практичній реалізації кодування за стандартом MPEG-2 в більшості випадків прагнуть забезпечити режим багатoprogramного мовлення. При традиційній організації багатoprogramного мовлення пропускна спроможність каналу ділиться між декількома програмами деяким фіксованим чином. Це передбачає використання постійної швидкості передачі бітів для кожної програми. Відомо, що значення швидкості передачі інформації, необхідне для досягнення бажаної якості зображення, залежить від вмісту зображення. Тому для ефективного використання пропускної спроможності каналу застосовують метод статистичного мультиплексування, що забезпечує кодування із змінною швидкістю бітів для кожного з джерел при незмінній загальній швидкості передачі, що не виходить за кордони пропускної спроможності каналу.

Стандартні кодери MPEG-2 підтримують режим кодування із змінною швидкістю вихідних даних, наприклад, для цифрового ТВ сигналу стандартної якості (SDTV) швидкість передачі може лежати в межах 2-15 Мбіт/с.

Для реалізації методу статистичного мультиплексування необхідні лінії двосторонньої передачі даних між кодерами програм і системним мультиплексором. Наявність зворотного зв'язку від мультиплексора до індивідуальних програмних кодерів дозволяє адаптивно змінювати коефіцієнт стискування і швидкість бітів в потоках окремих програм при постійній швидкості мультиплексованого групового потоку.

Існують два міжнародні стандарти кодування і стискування звуку: MPEG-1 і MPEG-2. Система багатоканального кодування звуку із стискуванням за стандартом MPEG-2 є розширенням одноканальної стереозвукової системи MPEG-1 і має з нею пряму і зворотню сумісність. Пряма сумісність означає, що багатоканальний декодер MPEG-2 може декодувати моно- і стереосигнали системи MPEG-1. Зворотна сумісність означає, що декодер MPEG-1 може відтворювати певну змістовну частину інформації системи MPEG-2. Для того, щоб забезпечувати пряму і зворотню сумісності кодер і декодер MPEG-2 містять як складові елементи кодер і декодер MPEG-1, що показано на рис. 2.4.

- п'ять високоякісних звукових каналів плюс один канал низькочастотної корекції (ця схема позначається 5.1), гарантуючи, що існуючі декодери з двома каналами будуть здатні декодувати сумісну стереоінформацію;
- багатомовну звукову підтримку у вигляді семи додаткових коментаторських каналів;
- швидкості передачі стислих звукових даних: для монофонічних сигналів потоки бітів з швидкостями в діапазоні 32-192 кбіт/с і для стереофонічних сигналів — 64-384 кбіт/с;
- кодування в широкому діапазоні частот дискретизації звукового сигналу: 16; 22,05; 24; 32; 44,1; 48 кГц.

Залежно від об'єму даних, передаваних в мультиплексованому потоці бітів, можна організувати 1-5.1 каналів. Для опису числа передаваних каналів зазвичай використовується позначення вигляду F/S, де F — число "фронтальних" каналів і S — число "тильних" каналів. Стереослужба позначається як 2/0, тоді як служба з повними 5.1 каналами може бути позначена як 3.1/2 або 3+/2. Механізми стискування дозволяють сформувати потоки бітів всього лише від 32 кбіт/с для послуг типу мова/діалог; до 384 кбіт/с для відтворення звуку за допомогою 5.1 каналів. Система забезпечує передачу одного або двох незалежних звукових сигналів, а також матрицьованих сигналів, які можуть містити L, C, R (лівий, центр, правий) і кругові звукові сигнали. Опції кругового звуку включають одиночний канал (S) або звукову пару кругових каналів (SL — тильний лівий, SR — тильний правий).

До будь-якого з матрицованих сигналів може бути доданий сигнал низькочастотної корекції (LFE).

Канал LFE має обмежений діапазон частот: 20-120 Гц і дозволяє слухачеві розширити низькочастотний вміст звукового формату по частоті і рівню. Цей канал по суті дублює канал субнизькочастотного гучномовця, використовуваний в звукових форматах цифрових фільмів. Канал LFE може бути кодований з низькою швидкістю бітів, що наголошується у вигляді ".1" в позначенні "5.1" або "+" в позначенні "5+".

Система MPEG-2 побудована так, що термінал слухача (ТВ приймач, комп'ютер, і тому подібне) розпізнає число і вигляд кодованих і декодованих звукових каналів і відтворює звукові сигнали відповідно числу наявних гучномовців.

2.3 Рандомізація даних

Щоб забезпечити розсіювання енергії і близьку до випадкової статистику переходів між бітами потоку, вхідний системний потік MPEG-2 має бути рандомізований. Вхідний потік бітів організований у вигляді транспортних пакетів фіксованої довжини 188 байт, які з входу системи поступають в блок циклової синхронізації і рандомізації. Кожен транспортний потік містить 1 байт слова синхронізації і 187 байтів мультиплексованих даних. Байти даних слідує старшим розрядом вперед. Байт синхронізації не скремблюється, його значення (01000111) інвертується в кожному восьмому транспортному пакеті і служить відміткою циклу з восьми пакетів.

Для рандомізації використовується адитивний 15-розрядний скремблер (аналогічний пристрій виконує також функції дескремблера в приймачі), структурна схема якого показана на рис. 2.5.

У генераторі псевдовипадкової двійкової послідовності скремблера використовується генераторний поліном вигляду

$$G(X) = 1 + X^{14} + X^{15}. \quad (2.1)$$

Після завантаження в скремблер ініціалізуючої послідовності, генерується псевдовипадкова послідовність (ПВП), яка впливає на групу з восьми транспортних пакетів. Байти синхронізації останніх не скремблюються — в ці моменти вихід генератора ПВП блокується. Для правильної синхронізації дескремблера в приймачі необхідна групова синхронізація: інвертується перший синхробайт в групі з восьми транспортних пакетів.

2.4 Зовнішнє кодування і перемежування

Зовнішнє кодування транспортних пакетів, які надходять, в системі DVB-T2 здійснюється скороченим кодом Ріда-Соломона RS (204,188,t=8), що походить з оригінального систематичного коду RS(255,239,t=8). Практично скорочення коду забезпечується додаванням на вході кодера RS (255,239,t=8) групи з 51 нульового байта перед інформаційними байтами транспортного пакету. Після кодування ці нульові байти відкидаються, залишаючи кодове слово завдовжки 204 байти. Кодуванню підлягає повністю транспортний пакет довжиною 188 байт, включаючи його синхробайт (як неінвертований, так і інвертований). Генераторний поліном скороченого коду Ріда-Соломона має вигляд

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15}), \quad \text{де } \lambda = 02_{\text{HEX}}; \quad (2.2)$$

генераторний поліном поля —

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1. \quad (2.3)$$

Після зовнішнього кодування проводиться операція зовнішнього перемежування в згортальному побайтовому перемежувачі структури Форні з глибиною перемежовування $I=12$, структурна схема якого показана на рис. 2.6. Для депережовування даних в приймачі використовується аналогічна схема. Байти синхронізації пакетів не перемежуються, вони весь час проходять через перемежувач по гілці з нульовою затримкою, як показано на структурній схемі рис. 2.6. Затримки в гілках депережовувача вибрані так, щоб у всіх положеннях 12-позиційного комутатора сумарна затримка перемежовування-деперемежовування була рівна 17×11 байтів.

2.5 Внутрішнє кодування

Для внутрішнього кодування в системі DVB-T2 використовуються виколоті згортальні коди з рядом швидкостей від $1/2$ до $7/8$. Всі вони виходять з початкового коду, що має швидкість $1/2$ з довжиною кодового обмеження $K=7$, що відповідає 64 станам ґратчастої діаграми. Структурна схема згортального кодера показана на рис. 2.7. Генераторні поліноми двох його гілок визначаються виразами (у вісімковому коді) $G1=1710ct$ і $G2=1330ct$.

Як було відмічено, в системі DVB-T2 є два ідентичних тракту з внутрішніми кодерами. При використанні ієрархічної передачі з двома рівнями пріоритетів в кожному з цих двох каналів кодування може бути встановлена своя власна кодова швидкість.

Фактично слідом за базовим згортальним кодером із швидкістю $1/2$, схема якого показана на рис. 2.7, встановлений перфоратор, який виконує виколування кодової послідовності, видаляючи з неї частину перевірочних бітів. При цьому кодова швидкість зростає до більших значень — $2/3$, $3/4$, $5/6$ і $7/8$.

2.6 Внутрішнє перемежовування

Внутрішній перемежовувач розташований на вході єдиного тракту обробки даних, слідує за двома паралельними підсистемами кодування. Внутрішній перемежовувач складається з перемежовувача бітів і слідує за ним перемежовувача символів. Структура внутрішнього перемежовувача залежить від вибраних ієрархічного режиму і схеми модуляції. Тому приведу для зведення найскладнішу структурну схему, яка відповідає передачі двох ієрархічних потоків і схемі первинної модуляції 64-QAM (для кожної з несучих COFDM).

Схема внутрішнього перемежовувача показана на рис. 2.8. На вхід схеми надходять два кодовані потоки даних $[x_{00}, x_{10}, x_{20}\dots]$ і $[x_{01}, x_{11}, x_{21}\dots]$. Вхідні потоки даних демультимплекуються на v підпотоків, де $v = 2$ для модуляції QPSK, $v = 4$ для 16-QAM і $v = 6$ для 64-QAM. Потік з високим пріоритетом демультимплексу-

ється на два підпотоки, а потік з низьким пріоритетом — на ($v = 2$) підпотоки. Якщо використовується неієрархічний режим передачі, то працює лише один канал кодування і на вхід перемешувача з виходу внутрішнього кодера надходить один потік даних $[x_0, x_1, x_2 \dots]$, який демультимплексується на v підпотоків.

Після демультимплексування кожен з підпотоків обробляється окремим перемешувачем бітів. При перемешуванні залежно від числа v використовується до 6 таких перемешувачів, що позначаються індексами I0-I5. Перемешувачі з індексами I0 і I1 застосовуються при QPSK, з індексами I0-I3 — при 16-QAM, з індексами I0-I5 — при 64-QAM.

Перемешуванню піддаються лише корисні дані. Довжина блоку кожного з перемешувачів постійна і дорівнює 126 бітам, але послідовності перемешування у всіх різні. Процес перемешування блоків повторюється рівно 12 разів за час одного символу OFDM в режимі 2k або 48 разів в режимі 8k.

Виходи v перемешувачів в кожному такті групуються в один цифровий символ даних (кодову комбінацію), так що в символі присутній по одному біту від кожного з v перемешувачів. При цьому біт з виходу перемешувача з індексом 70 є самим старшим бітом комбінації. Сформовані символи далі піддаються наступному етапу перемешування (по символах). Це означає, що кожен з символів модулює по випадковій вибірці одну з несучих всієї групи OFDM (1512 несучих в режимі 2k або 6048 несучих в режимі 8k). Перемешування по бітах еквівалентно перемешуванню в часі, тоді як перемешування по символах еквівалентно перемешуванню по частоті.

2.7 Методи модуляції

У системі ЦНТВ DVB-T2 використовується передача сигналів за багаточастотною схемою модуляції з частотним розподілом ортогональних несучих (OFDM). Можливий вибір одного з двох режимів мовлення: режиму 2k із загальним числом 1705 ортогональних несучих або режиму 8k із загальним числом 6817

ортогональних несучих в одному символі OFDM. Кожна несучих модулюється низькошвидкісним цифровим потоком, що є частиною загального транспортного потоку системи, причому як первинні види модуляції для різних умов регламентуються QPSK, 16-QAM і 64-QAM.

Залежно від вибраної схеми передачі в системі DVB-T2 можуть формуватися три групи сигнальних сузір'їв: рівномірні для неієрархічної передачі (використовується QPSK, 16-QAM, 64-QAM) і нерівномірні з двома можливими коефіцієнтами нерівномірності $\alpha=2$ і $\alpha=4$ (використовується 16-QAM і 64-QAM).

Модульовані вузькосмугові ортогональні несучі об'єднуються, в межах смуги каналу в групу COFDM. При модуляції несучих (при відображенні бітових комбінацій в точки сигнального сузір'я) для двох старших розрядів використовується перетворення натурального коду в код Грея.

У ТВ радіоканалі спектр системи DVB-T2 за рахунок використання схеми модуляції OFDM має дуже хорошу прямокутність. Повна спектральна щільність потужності модульованих несучих OFDM, являється сумою спектральної щільності потужності безлічі несучих. Теоретичний спектр сигналу OFDM для каналу із смугою 8 МГц показаний на рис. 2.9. Рівень спектру на частотах поза номінальною смугою радіосигналу 7,61 МГц може бути понижений за допомогою застосування додаткової смугової фільтрації.

2.8 Формування кадру даних

У системі DVB-T2 на виході тракту зовнішнього кодування і перемежування утворюється потік кодованих пакетів завдовжки по 204 байти: 1 байт синхронізації, 187 байтів перемежованих даних і 16 байтів зовнішнього кодозахисту. Після внутрішнього кодування довжина пакету зростає пропорційно вибраній кодовій швидкості згортального коду. Отриманий результуючий потік бітів в процесі модуляції перетвориться в символи сигналу OFDM, які організуються в кадри. Чотири кадри утворюють один суперкадр.

Кожен кадр системи DVB-T2 має тривалість T_f і складається з 68 символів з номерами від 0 до 67, які містять корисні дані і службову інформацію, потрібну для забезпечення правильного декодування в приймачі. Кожен символ OFDM містить 6817 несучих в режимі 8k і 1705 несучих в режимі 2k. Число несучих корисних даних, є незмінним від символу до символу і за вирахуванням службових несучих складають 6048 несучих в режимі 8k і 1512 несучих в режимі 2k.

Оскільки сигнал OFDM містить багато окремо модульованих несучих, то кожен символ може бути поділений на комірки, що відповідають окремо взятій модульованій несучій в межах одного символу. Передавана в межах кадру службова інформація містить:

- комірки розосереджених пілот-сигналів;
- несучі з безперервно повторюючимись пілот-сигналами;
- несучі сигналізації про параметри передачі (TPS—Transmission Parameter Signalling).

Перераховані пілот-сигнали використовуються для кадрової синхронізації, частотної синхронізації, часової синхронізації, оцінювання каналу, ідентифікації режиму передачі, компенсації фазового шуму і ін. За допомогою розосереджених і безперервно повторюючихся пілот-сигналів в деяких службових комірках кадру передається опорна інформація, параметри якої апріорі відомі в приймачі. Несучі пілот-сигналів передаються з додатковою потужністю в співвідношенні 16/9 відносно потужності несучих корисних даних. Кожен пілот-сигнал, що безперервно повторюється, збігається з розосередженими пілот-сигналами в кожному четвертому символі.

Чисельні значення основних параметрів кадру OFDM в системі DVB-T2 приведені в табл. 2.2.

Параметри кадру DVB-T2

Параметр	Значення для режиму	
	8k	2k
Число несучих в символі OFDM	6817	1705
Число несучих корисних даних в символі OFDM	6048	1512
Число розосереджених пілот-сигналів в кадрі OFDM	524	131
Число пілот-сигналів в кадрі OFDM, що безперервно повторюються	177	45
Число несучих сигналізації про параметри передачі в кадрі OFDM	68	17
Тривалість корисної частини символу OFDM, мкс	896	224
Рознесення сусідніх несучих, Гц	1116	4464
Рознесення між крайніми несучими в символі OFDM, МГц	7,608258	7,611607

3 РОЗРАХУНОК ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ ДЛЯ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ

3.1 Розрахунок зони покриття системи розподілу інформації МІТРІС

Основні переваги систем МІТРІС (мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система) в порівнянні із звичайними системами наземного телемовлення:

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 великих містах 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 МІТРС залежно від її конфігурації лежить в межах від декількох днів до двух-трьох тижнів. Система мобільна - без особливих витрат, в разі необхідності, може бути передислокована в інший район.

Системи МІТРС 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 МІТРС з джерелом передачі даних, комп'ютерними мережами і телефонним зв'язком загального користування.

Схема організації мовлення приведена на рис. 3.1.

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 розділений на декілька груп, закодованих по-різному, що дозволяє обирати те, що цікавить абонента.

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

Основними елементами системи МІТРС 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 (рис. 3.2).

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 МІТРС з радіусом стільника 4 км з круговою діаграмою направленості. Також у випадку виходу з ладу однієї базової станції МІТРС потужності

однієї станції буде достатньо для впевненого прийому. Такий крок дає можливість покрити і прилеглі села.

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

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

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

Проведемо розрахунки для визначення необхідної потужності передавача.

Рівняння радіолінії зв'язку:

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

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 $G = 10^{0.16} = 40$ раз; γ - відношення потужності сигналу обраної СП до потужності шуму при $P_{\text{зав}} = 10^{-6}$ $\gamma = 10^{0.14} = 25$ раз.

Визначимо шумову температуру, при $K_{\text{ш}} = 1.9$ для обраної СП:

$$T = T_0 (K_{\text{ш}} - 1) = 293(1.9 - 1) = 263.7 \text{ К} \quad (3.3)$$

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:

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

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

Визначимо потужність передавача:

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

Складемо частотний план телевізійних каналів. Частотний діапазон, який виділено для передачі сигналу СП МІТРС дорівнює 11,7...12,5 ГГц. Ширина смуги пропускання $\Delta F = 800$ МГц. Крок частотної сітки $K = 14$ МГц.

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

$$N_{к} = \left(\frac{\Delta F}{K} \right) - 2 = \left(\frac{800}{14} \right) - 2 = 55, \quad (3.6)$$

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 впливає, 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:

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

3.2 Обладнання та методика підключення цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DTV-T2

Сучасні моделі телевізорів зазвичай обладнані вбудованими TV-тюнерами.

Основна проблема масового переходу на цифрове наземне телевізійне віщання стандарту DTV-T2 полягає в тому, що населення України використовує переважно застарілі моделі телевізорів, які не мають такого обладнання. В цьому випадку для того щоб споживати послуги цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2 потрібно придбати додаткове обладнання для використання його у якості зовнішньої приставки до телевізора.

Комплект обладнання для приймання сигналів цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2 та його підключення зображено на рис. 3.12.

За наявності необхідного обладнання процес підключення цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2 досить простий:

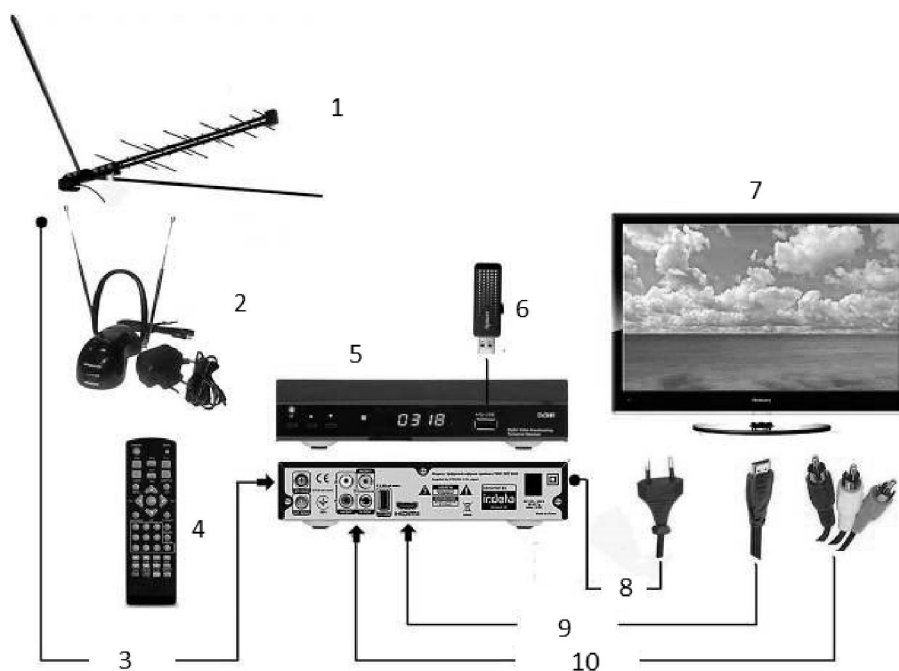


Рис. 3.12. Підключення комплекту обладнання для приймання цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2, де: 1 – зовнішня антена; 2 – внутрішня антена; 3 – кабель антени; 4 – пульт управління функціями TV-тюнера та перемикач каналів; 5 – TV-тюнер; 6 – USB-накопичувач; 7 – телевізійний приймач; 8 – кабель живлення від мережі 220 В; 9 – кабель HDMI; 10 – кабель з 3 RCA роз’ємами

1. Визначити місцезнаходження найближчої телевежі цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2 відносно місця розташування телевізійного приймача.

Рівень сигналу залежить від відстані до телевежі. Як правило, найкращим є сигнал, що надходить з найближчої телевежі. Знайти азимут на джерело випромінювання сигналу найбільшого рівня допомагає спеціальне пошукове обладнання, за відсутності якого можна обходитись картою розташування телевеж, що допоможе зрозуміти на якій відстані від телеприймача знаходиться найближче джерело сигналу. Це також важливо для вибору моделі антени з відповідними підсилювачами сигналу.

2. Налаштувати зовнішню або внутрішнімнатну антену (використовують також звичайні дециметрові або універсальні антени).

При самостійному встановленні антени можуть виникнути певні труднощі з її орієнтуванням. Сигнал з вишки йде прямо, він має слабку здатність долати перешкоди. Потрібно направити антену просто в сторону телевежі в разі наявності прямого візуального “контакту” між ними. Коли ж на шляху між антеною та вежею знаходяться перешкоди (висотні будівлі, місцевий рельєф, тощо) якість сигналу може спотворюватися. В такому випадку для отримання “відбитого” сигналу потрібно буде направити антену в сторону від телевежі. Однак зазвичай в багатоквартирних будинках на даху встановлені універсальні антени та вже є необхідне обладнання для їх підключення. Потрібно лише приєднати до TV-тюнера кабель, що йде від розподільчої коробки контуру антени.

3. Приєднати до TV-тюнера кабель антени.

Як вже було зазначено сучасні моделі телевізійних приймачів обладнані вмонтованими платами TV-тюнерів, які обробляють цифровий сигнал. До таких телевізорів кабель антени приєднують напряму. Після цього налаштовують канали за допомогою пульта управління через меню пошуку сигналу та настройки каналів. За наявності сильного сигналу деякі сучасні телевізійні приймачі спроможні обходитись без зовнішніх антен.

Перед придбанням TV-тюнера визначають чи потрібні споживачеві його функції, що дозволяють повною мірою використовувати переваги цифрового наземного телевізійного віщання стандарту DTV-T2, а саме:

- наявність портів (наприклад – USB) для приєднання носіїв (накопичувачів) інформації з метою запису телепередач;

- підтримка формату HDTV, якщо планується приймати сигнал високої якості;

- наявність слотів для карт платних пакетів (додаткових каналів) за необхідності;

- підтримка IPTV для перегляду пакетів інтернет-телебачення, тощо.

4. Приєднати відео-кабель від TV-тюнера до телевізора.

Після чого увімкнути обладнання та настроїти канали.

ВИСНОВКИ

Сукупність проведених досліджень та розрахунків в магістерській роботі складають вирішення завдань зі створення системи передачі цифрового телебачення для населеного пункту з підвищеною абонентською ємністю.

В роботі досягнуто таких результатів:

1. Розглянуто аналогові телевізійних системи мовлення NTSC, SEKAM та PAL. Зроблено висновок про те що система телевізійного мовлення PAL є найбільш ефективною у порівнянні з NTSC та SEKAM, оскільки блок затримки в декодері PAL по своїй структурі і параметрам близький до гребінчастого фільтру, то в ній більш ефективно, ніж в звичайному приймачі системи NTSC і тим більше системи SECAM, пригнічуються складові сигналу яскравості, що створюють перехресні перешкоди в каналі кольоровості.

2. Розглянуто цифрові телевізійні системи мовлення ATSC, DVB та ISDB. Зроблено висновок про те, що система телевізійного мовлення DVB є найбільш ефективною у порівнянні з ATSC та ISDB.

По-перше система телевізійного мовлення DVB є найбільш поширеною в країнах Європи до якої відноситься і Україна.

По-друге суттєвим недоліком систем ATSC є показник відношення сигнал/шум. Вказане для приймача ATSC співвідношення сигнал/шум 15 дБ в якості шумів включає також і відбитий сигнал. В той же час приймач DVB, хоча і має межу значення сигнал/шум 18 дБ, працює навіть при рівності основного і відбитого сигналів. Це є істотним обмеженням застосування стандарту ATSC в багатьох країнах, оскільки співвідношення сигнал/шум не може бути досягнуте навіть збільшенням потужності передавача, оскільки пропорційно зростає і рівень відбитих сигналів. Крім того, для правильної роботи схеми еквалайзера в потік MPEG-2 були введені опорні імпульси, так що структура сигналу стала схожа на структуру сигналу аналогового телебачення NTSC. Враховуючи цю обставину, а також амплітудний характер сигналу ATSC, неважко здогадатися, що виникла проблема

перешкодостійкості цифрового прийому до аналогового.

По-третє стандарт ISDB дає гірші показники прийому телевізійних програм для рухомих об'єктів у порівнянні з ATSC та DVB.

По-третє системи телевізійного мовлення ATSC, DVB та ISDB є не сумісними між собою.

3. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T: загальна характеристика і структура системи DVB-T2; стискування телевізійного сигналу; рандомізація даних; зовнішнє кодування і перемежування; внутрішнє кодування; внутрішнє перемежування; методи модуляції; формування кадру даних; сигналізація про параметри передачі; захисні інтервали.

По результатах дослідження зроблено висновки:

- Стандарт DVB-T2 використовує ефективні методи боротьби з перевідбиттям, засновані на використанні швидкого перетворення Фур'є з введенням захисних проміжків і спеціальних методів модуляції (OFDM). Він дозволяє варіювати міру захищеності, швидкість передачі і корекцію помилок. Дані можливості дозволяють створювати системи ефірного цифрового телебачення, оптимальні для кожного населеного пункту або міста.
- Перевагою DVB-T2 є можливість прийому ТВ програм в разі накладення зон упевненого прийому декількох телецентрів, що працюють на одній частоті, але у випадку трансляції одного телевізійного пакету.
- Використання одночастотних мереж руйнує звичне уявлення про частотне планування, позбавляє від будівництва високих антенних споруд, зменшує в 6-7 разів кількість передавачів і дозволяє додатково зменшити потужність передавача на 25-30%. Синхронізація телецентрів відбувається по еталону частот будь-якого доступного супутника.
- Стандарт DVB-T2 дозволяє застосовувати звичайне застаріле антенно-розподільче устаткування без всяких доопрацювань.
- Стандарт DVB-T2 не вимагає відмови від існуючих програм аналогового телебачення, оскільки володіє високою захищеністю до аналогового ТБ.

- Ширина смуги частот в стандарті DVB-T2 повністю адаптується під будь-яку країну.
- Наприклад, потужність передавача в Лондоні складає менше 10 кВт забезпечує упевнений прийом стандарту DVB-T2 в радіусі 114 км, тоді як в Нью-Йорку передавач стандарту ATSC потужністю 35 кВт не забезпечує 100% прийому в радіусі 100 км.
- Прийом на кімнатну антену або переносний телевізор не викликає проблем в стандарті DVB-T2.
- Можливість прийому сигналу DVB-T2 на рухомому транспорті (до 300 км/ч).

4. Застосувавши технологію OFDM та H.264 вдалося в чотири рази збільшити пропускну здатність телевізійного каналу зв'язку досягнувши 220 стандартних каналів замість 55 в смузі частот 11.7...12.5 ГГц.

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

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Макаренко А.О. Методи підвищення ефективності роботи безпроводових телекомунікаційних мереж / Макаренко А.О., Лавренко А.С., Козлов Б.С., Анд-рюк О.М., Казмирчук М.Г. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - №3. - С. 74-79.
2. Горбатенко М.В., Копил І.А. Перспективи підвищення ефективності ТКС // VIII Міжнародна науково-технічна конференція “Проблеми інформатизації”. К.: ДУТ, 11-12 квітня, 2017. - С. 34 - 35.
3. Ельяшкевич С.А., Пескин А.Е. Телевизоры нового поколения: Справоч-ник. - М.: МП «Символ-Р», 1996.-216 с.
4. Андриюшко А.П., Горбатенко М.В., Добровольський А.Я., Палюх В.В. Ін-формаційні мережі безпроводового зв'язку: перспективи розвитку на найближче майбутнє / А.П. Андриюшко, М.В. Горбатенко, А.Я. Добровольський, В.В. Палюх // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2017. – № 1. – С. 127-133.
5. Телевидение: Учебник для вузов / Под ред. В.Е. Джаконии. — М.: Радио и связь. 1997. — 640 с.
6. ГОСТ 7845-92. Система вещательного телевидения. Основные парамет-ры. Методы измерений.
7. Певзнер Б.М. Качество цветных телевизионных изображений. — М.: Ра-дио и связь, 1988. — 224 с.
8. Кривошеев М.И. Цифровое телевидение: Учеб. пособие. — М.: ВЗЭИС, 1984. — 95 с.
9. Быков Р.Б. Теоретические основы телевидения: Учебник для вузов по на-правлению «Радиотехника». — СПб.: Лань, 1998. — 288 с.
10. Хохлов Б.Н. Декодирующие устройства цветных телевизоров. — М.: Ра-дио и связь, 1998. — 513 с.

11. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / Под ред. Ю.Б. Зубарева и В.П. Дворковича. — М., 1997. — 255 с.
12. Тимофеев Б.С. Цифровое телевидение: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГУ-АП, 1998. — 49 с.
13. Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения: Учебное пособие. — М.: Горячая линия-Телеком, 2001. — 224 с.
14. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение. М.: Горячая линия-Телеком, 2001 — 520 с.
15. Цифровое телевидение / Под ред. М.И. Кривошеева. — М.: Связь, 1980. — 264 с.
16. Птачек М. Цифровое телевидение. Теория и техника. — М.: Радио и связь, 1990. — 528 с.
17. Б. А. Локшин Цифровое вещание: от студии к телезрителю - М.: Компания Сайрус системс, 2001. — 450 с.
18. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 2 - Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г. П., Мам-чев Г. В., Попантонопуло В. Н., В.П.Шувалов; под ред. профессора В. П. Шувалова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М.: Горячая линия-Телеком, 2004.— 672 с: ил.
19. Ю.Б.Зубарев, М.И.Кривошеев, И.Н. Красносельский. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы. — М.: Научно-исследовательский институт радио (НИИР), 2001. — 568 с: ил.
20. Телевидение: Учебник для вузов / В. Гг. Джакония, Л. Л. Гоголь, Я. В. Друзин и др.; Под ред. В. Г. Джаконии. 4-е изд., стереотип. -М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 616 с: ил.
21. Мамаев Н. С, Мамаев Ю. Н., Теряев Б. Г. Системы цифрового телевидения и радиовещания / Под ред. Н. С. Мамаева. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 254 с: ил.
22. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. - 2003. - № 7. - С. 30 -39.

23. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. - 2004. - № 4. - С. 53-59.

24. Коханов А.Б., Захаров В.В. Ортогональная многотоновая модуляция с использованием преобразования Хартли // Радиоэлектроника. Изв. высш. учеб. заведений. - 2004. - № 11. - С. 38-44.

25. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 480 с.

26. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли: Пер. с англ. - М.: Мир, 1990. - 175 с.

27. Слюсар В.И., Васильев К.А. Метод неортогональной частотной дискретной модуляции сигналов на основе базисных функций Хартли // Сб. материалов 2-ого Международного радиоэлектронного форума. Том 4. - Х.: ХНУРЭ. - 2005. - С. 224-226.

28. Слюсар В.И., Васильев К.А., Уткин Ю.В. Исследование возможностей частотного уплотнения сигналов N-OFDM на основе базисных функций Хартли// Радиоэлектронные и компьютерные системы. - 2006.-№ 6. - С. 215-218.

29. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. - М.: Радио и связь, 2000. - 800 с.

30. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. - 576 с.

40. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. - 720 с.

41. Ян Ричардсон Видеокодирование. H.264 в MPEG-4 — стандарты нового поколения Москва: Техносфера, 2005. - 368 с.

42. IEEE TVansactions on Circuits and Systems for Video Technology, special issue on H.264/AVC, to appear in 2003

43. А. Оппенгейм, Р. Шафер Цифровая обработка сигналов Москва: Техносфера, 2006. – 856 с.

44. СП «Інститут електроніки та зв'язку Академії наук України»
<http://www.mitris.com/contacts.html>