

Параметри системи DVB-T

Основні параметри, що характеризують передавання даних у системі DVB-T, наведено у табл. 1 (числа, наведені курсивом, є приблизними величинами). Кількість носійних, що передають корисну інформацію, залежить тільки від режиму і дорівнює 1512 для режиму 2k та 6048 – для режиму 8k. Число "корисних" носійних в обох режимах відрізняється рівно в чотири рази. Якщо врахувати, що і тривалість корисного інтервалу у разі переходу від режиму до режиму також змінюється в чотири рази, то такий важливий параметр, як частота проходження символів даних RS , виявляється в двох режимах однаковою і дорівнює 6,75 мільйонам символів в секунду ($RS = 1512 / 224\text{мкс} = 6048 / 896\text{мкс} = 6,75\text{МГц} = 6,75\text{Мега символ / с}$).

Величину RS можна використати для розрахунку швидкості передавання даних у різних режимах і за різних комбінацій параметрів системи DVB-T: $RSU = RS \cdot b \cdot CRI \cdot CRRS \cdot (TU / TS)$ (де b – кількість бітів, переданих в одному символі за допомогою однієї носійної, CRI - швидкість внутрішнього згорткового коду; $CRRS$ – швидкість зовнішнього коду Ріда-Соломона, що дорівнює 188/204; (TU/TS) – відношення тривалості корисного інтервалу до загальної тривалості символу. Результати такого підрахунку швидкості передавання корисних даних наведено в табл. 2 .

У табл. 2 наведено також розрахункові значення відношення сигнал/шум для радіочастотного сигналу (C/N) на вході приймача для каналу зв'язку з гаусовим шумом за ієрархічного передавання (у разі інших характеристик шуму каналу необхідні для приймання значення C/N будуть іншими). Цей показник є пороговим. Якщо відношення сигнал/шум вище наведеної в таблиці величини, тоді внутрішній декодер здатний довести частоту помилок до величини, меншу за $2 \cdot 10^{-4}$, а зовнішній – до 10^{-11} . За таких показників на вході демультимплексора MPEG-2 в приймачі буде виникати одна не скоригована помилка за годину роботи.

Як впливає з табл. 2, в системі DVB-T швидкість передавання корисних даних може бути змінено в значних межах: від 4,98 до 31,67 Мбіт/с (це перебиває весь діапазон потреб, як телебачення обмеженої чіткості, так і телебачення високої чіткості).

Таблиця 1 – Основні параметри системи DVB-T

| Параметр | Режим | |
|--|------------------|---------------|
| | 8k | 2k |
| Число носійних коливань в символі OFDM | 6817 | 1705 |
| Тривалість корисного інтервалу T_u , мкс | 896 | 224 |
| Тривалість захисного інтервалу T_g , мкс | 224, 112, 56, 28 | 56, 28, 14, 7 |
| Інтервал між носійними частотами, Гц | 1116 | 4464 |
| Інтервал між крайніми частотами, МГц | 7,61 | 7,61 |
| Різновид модуляції носійних частот | QPSK, 16-QAM, | QPSK, 16-QAM, |

| | | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 64-QAM | 64-QAM |
| Швидкість внутрішнього коду | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 |

Найменше значення швидкості 4,98 Мбіт/с, що має місце у разі модуляції носійних способом QPSK і швидкості внутрішнього коду 1/2, забезпечує найвищу завадозахищеність системи передавання телевізійного сигналу. Для практично безпомилкової роботи достатньо відношення сигнал/шум у гаусовому каналі всього 3,1 дБ. Але для досягнення швидкості 31,67 Мбіт/с (модуляція носійних 64-QAM і швидкість внутрішнього коду 7/8) має бути забезпечено відношення сигнал/шум не менше 20,1 дБ.

Таблиця 2 – Швидкість передавання даних системою DVB-T

| Модуляція | CR1 | C/N, дБ (гаусів канал) | Швидкість передавання даних, Мбіт/с | | | |
|-----------|-----|---------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| | | | Tg/Tu=1/ 4 | Tg/Tu=1/ 8 | Tg/Tu=1/ 16 | Tg/Tu=1/ 32 |
| QPSK | 1/2 | 3,1 | 4,98 | 5,53 | 5,85 | 6,03 |
| QPSK | 2/3 | 4,9 | 6,64 | 7,37 | 7,81 | 8,04 |
| QPSK | 3/4 | 5,9 | 7,46 | 8,29 | 8,78 | 9,05 |
| QPSK | 5/6 | 6,9 | 8,29 | 9,22 | 9,76 | 10,05 |
| QPSK | 7/8 | 7,7 | 8,71 | 9,68 | 10,25 | 10,56 |
| 16-QAM | 1/2 | 8,8 | 9,95 | 11,06 | 11,71 | 12,06 |
| 16-QAM | 2/3 | 11,1 | 13,27 | 14,75 | 15,61 | 16,09 |
| 16-QAM | 3/4 | 12,5 | 14,93 | 16,59 | 17,56 | 18,10 |
| 16-QAM | 5/6 | 13,5 | 16,59 | 18,43 | 19,52 | 20,11 |
| 16-QAM | 7/8 | 13,9 | 17,42 | 19,35 | 20,49 | 21,11 |
| 64-QAM | 1/2 | 14,4 | 19,91 | 22,12 | 23,42 | 24,13 |
| 64-QAM | 2/3 | 16,5 | 19,91 | 22,12 | 23,42 | 24,13 |
| 64-QAM | 3/4 | 18,0 | 22,39 | 24,88 | 26,35 | 27,14 |
| 64-QAM | 5/6 | 19,3 | 24,88 | 27,65 | 29,27 | 30,16 |
| 64-QAM | 7/8 | 20,1 | 26,13 | 29,03 | 30,74 | 31,67 |

Інформацію наведену в табл. 2 можна використовувати також для визначення швидкості передавання даних в режимі ієрархічної модуляції. Швидкість для потоку з вищим пріоритетом відповідає модуляції носійних способом QPSK. У разі модуляції носійних 16-QAM швидкість передавання даних для потоку з нижчим пріоритетом знаходиться в клітинках таблиці, де наведено дані для QPSK, а у разі модуляції 64-QAM – для 16-QAM.

Таблиці 1 і 2 підтверджують надзвичайну гнучкість системи DVB-T. Надаючи широкий спектр засобів, система здатна з високою надійністю передавати цифрові дані, що несуть інформацію про сигнал телебачення.

Лекція 4

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ DVB-T2

Навчальні питання:

1. *Передумови створення системи DVB-T2*
2. *Принципи організації системи DVB-T2*
3. *Особливості модуляції сигналів у системі DVB-T2*
4. *Розподілені пілот-сигнали*
5. *Диференційована завадостійкість окремих послуг і структура кадру T2*
6. *Багатоканальне приймання сигналів DVB-T2*
7. *Додаткові функції і перспективи збільшення функціональності*

1. Передумови створення системи DVB-T2

У лютому 2006 року в рамках консорціуму DVB був створений дослідницький комітет (Study Mission), який повинен був оцінити потенціал різних технологій. Через півроку роботу комітету було закінчено, і DVB консорціум почав розробляти стандарт DVB-T2.

Спочатку консорціум визначив набір комерційних вимог, що визначають межі даного проекту:

- Можливість приймати трансляції T2 на існуючі домашні антени, і перехід на новий стандарт не повинен вимагати зміни інфраструктури передавальної системи. Ця вимога не дозволила реалізувати у стандарті технологію MIMO, для якої необхідно було б використовувати нові приймальні та передавальні антени.

- T2 має бути орієнтовано для передавання на фіксовані та портативні антени.

- T2 має забезпечити, як мінімум, 30%-вий приріст пропускної спроможності каналів щодо DVB-T за однакових умов передавання.

- T2 має поліпшити роботу одночастотних мереж (SFN).

- У системі DVB-T2 слід передбачити можливість співіснування в одному РЧ-каналі послуг, що передають з різним ступенем завадостійкості. Наприклад, частина послуг, трансльованих в одному каналі шириною 8 МГц, може бути призначена для приймання на спрямовані антени, встановлені на дахах, а частина – для приймання на кімнатні портативні антени.

- У системі DVB-T2 слід забезпечити більшу гнучкість використання частотної смуги.

- У системі DVB-T2 необхідно забезпечити механізм, що дозволяє зменшити відношення пікової та середньої потужності радіосигналу. Це дозволить знизити експлуатаційні витрати.

На той час можливість впровадження ТВЧ в ефірні мережі розглядали відразу кілька країн. У Великобританії був особливо гострий дефіцит спектра для

ТВЧ з урахуванням того, що весь спектр, який мав звільнитись після завершення аналогових мовлення, вже було заплановано для передавання трансляцій зі стандартною роздільною здатністю. Один канал було заплановано для мультиплексу ТВЧ формату. Щоб максимально його завантажити, треба максимально ефективно використовувати транспортний ресурс каналу. У зв'язку з цим було заплановано застосувати мультиплекс у форматі DVB-T2, який забезпечує, як мінімум, 30% -вий збільшення пропускної здатності.

Стандарт DVB-T2 остаточно прийнято у червні 2010 року. Передбачалось, що на початку 2011 року буде розроблено комплект мікросхем VLSI для реалізації приймачів DVB-T2.

2. Принципи організації системи DVB-T2

Основний принцип розроблення стандартів родини DVB полягає в тому, що вони мають бути максимально сумісні між собою. Тобто, перетворення сигналу у разі його переформатування (наприклад, з DVB-S2 в DVB-T2) має бути максимально простим. Відповідно, під час розроблення нових стандартів, необхідно використовувати ті ж механізми, що й в наявних стандартах. Тому, для стандарту T2 було запозичено дві ключові технології у стандарті DVB-S2, це:

1. Системна архітектура транспортних потоків, в першу чергу, інкапсуляція даних в низькочастотні Base Band (BB) пакети.

2. Використання завадозахисного коду з малою щільністю перевірок на парність Low Density Parity Check Codes – LDPC. Значна частина рішень, реалізована під час розроблення T2, була спрямована на максимальне збільшення пропускної здатності каналів. Ряд параметрів – нові розмірності швидкого перетворення Фур'є (ФТТ) і захисних інтервалів, а також нові режими введення пілот-сигналів, було введено для можливості оптимізації параметрів мережі залежно від характеристик конкретного каналу.

Специфікація DVB-T2.

Схеми завадостійкого кодування (FEC) і Base Band (BB) кадри

Для передавання цифрового сигнального потоку його поділяють на блоки певної величини з яких формують низькочастотні (НЧ) кадри (англійською **Base Band (BB) frames**). Корисні дані кожного кадру кодують завадостійким кодом LDPC, аналогічним тому, який застосовують у системі DVB-S2. Для усунення помилок, що залишилися після LDPC-декодування, дані додатково захищають коротким кодом Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (Bose-Chaudhuri-Nocquenghem) BCH.

Повна довжина низькочастотного кадру після здійснення завадостійкого кодування становить 64800 бітів. Цей кадр є базовим блоком системи T2. Частка контрольних бітів завадостійкого кодування, що передбачено стандартом T2 може коливатись від 15 до 50%.

Передбачено можливість використовувати більш короткий варіант кодованого кадру, що має величину 16200 бітів. Такий формат кадру може бути за-

стосовано для зменшення затримок у разі приймання сигналів низькошвидкісних послуг.



Рисунок 1 – Структура інформаційного кадру після завадостійкого кодування

Дані всередині НЧ-кадру передають, як правило, у вигляді послідовності транспортних пакетів MPEG-2. У той же час, поля сигналізації в заголовку НЧ-кадру повністю сумісні з системою інкапсуляції IP-пакетів згідно нового DVB-протоколу під назвою Generic Stream Encapsulation.

Дослідження завадозахищеності сигнального потоку кодованого кодом LDPC забезпечує істотне підвищення захищеності порівняно з захистом, використаним у системі DVB-T, тобто кодуванням загортковим кодом у поєднанні з кодом Ріда-Соломона. Виграш щодо порогового рівня сигнал/шум (C/N) за рахунок нового кодування може становити до 3 дБ для типового рівня помилок у разі використання однакової частки контрольних символів. Це поліпшення характеристик системи дозволяє підвищити пропускну здатність каналу приблизно на 30% (наприклад, за рахунок застосування більшої кратності модуляції).

3. Особливості модуляції сигналів у системі DVB-T2

Під час розроблення специфікації T2 зробили порівняльне дослідження кількох варіантів одно частотної та багато частотної модуляції. Остаточо було обрано варіант OFDM з захисними інтервалами (GI-OFDM), рис. 2, який використовують у специфікації стандарту DVB-T.

У GI-OFDM кожен символ передають за допомогою великої кількості ортогональних носійних, модульованих одночасно по фазі і амплітуді. Зокрема, у системі DVB-T передбачено два режими – 2K і 8K. Ці цифри відображають розмірність швидкого перетворення Фур'є (FFT), яке використовують для реалізації багаточастотної модуляції. Фактична кількість носійних, що використовують для передавання даних, як ми знаємо, дещо менше.



Рисунок 2 – Захисні інтервали в структурі OFDM сигналу

Довжину захисного інтервалу вибирають залежно від розрахункової протяжності ефірного тракту та інших параметрів телевізійної мережі. Довші захисні інтервали потрібні в одночастотних мережах, де сигнали від сусідніх передавачів можуть надходити на приймач із значним запізненням відносно основного сигналу.

Захисний інтервал є складовою процесу передавання, що призводить до зменшення пропускної здатності транспортного ресурсу. У системі DVB-T цей інтервал може зменшувати пропускну здатність до 1/4 максимальної теоретичної пропускної здатності системи. З метою забезпечити захисний інтервал достатньої величини з одного боку та збільшити пропускну здатність – з іншого, у системі T2 введено два нові режими – 16К й 32К, з відповідним збільшенням числа ортогональних носійних. Виграш стосовно пропускної здатності у результаті застосування режиму 32К проілюстровано на рис.3.

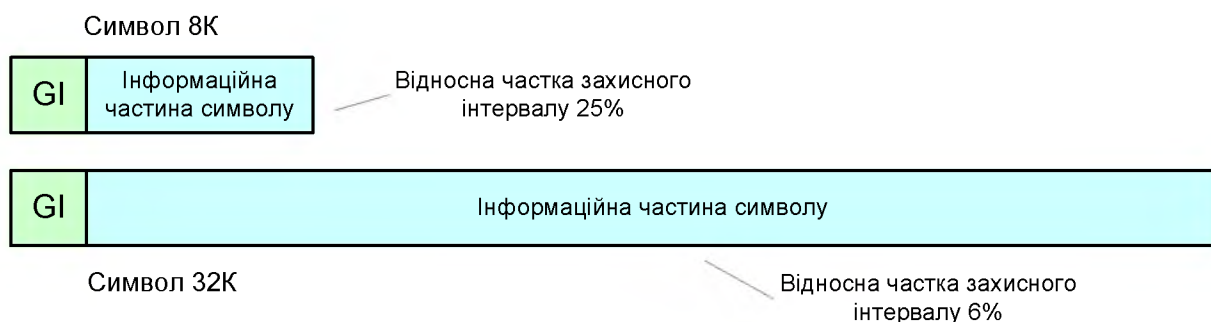


Рисунок 3 – Ілюстрація зміни відносної величини захисного інтервалу в системі DVB-T2

Максимальна тривалість захисного інтервалу в T2 має місце в режимі 32К. Співвідношення тривалості захисного інтервалу й загальної тривалості інтервалу передавання символу OFDM в цьому випадку складає 19/128, а тривалість GI перевищує 500 мкс, чого цілком достатньо для будівництва великої загальнодержавної одночастотної мережі.

У специфікації T2 запропоновано більшу кількість режимів OFDM та тривалості захисних інтервалів, а саме:

- розмірності швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) – 1К, 2К, 4К, 8К, 16К, 32К;
- відносна тривалість захисних інтервалів – 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

Як відомо в OFDM кожену носійну модулюють методами багатократної модуляції (ФМ, КАМ). Найбільша кратність модуляції, яку застосовано у системі DVB-T становить 64 (QAM-64), забезпечує передавання 6 бітів однією носійною під час передавання одного символу OFDM.

У специфікації T2 найбільшу кратність модуляції збільшено до 256 (QAM-256), вона дозволяє передавати однією носійною 8 бітів.

Обвідна спектру модульованих коливань T2 у режимах 16K і 32K має значно більш крутий спад позасмугових складових порівняно з режимом 2K, рис. 4. Ця обставина дозволяє розміщувати носійні ближче до меж стандартної спектральної маски, яку стандартизовано для сигналів DVB-T у смузі частот 8 МГц. Таке розширення смуги дозволяє збільшити пропускну здатність додатково на 2%.

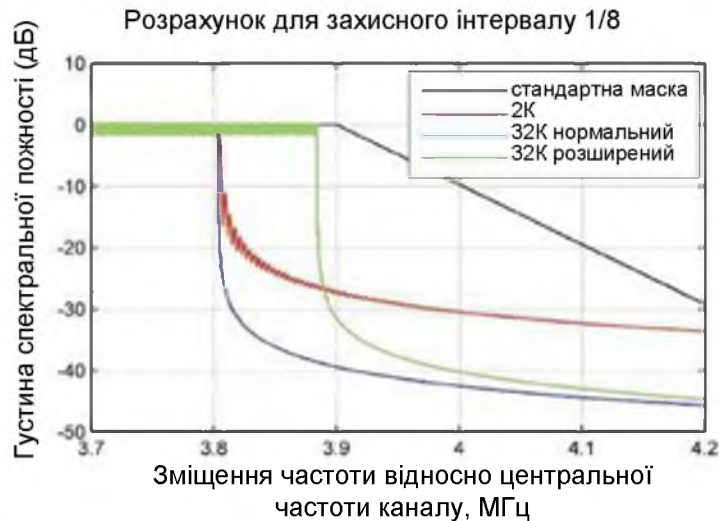


Рисунок 4 – Теоретично визначені обвідні спектру сигналів DVB-T2 для каналу 8 МГц

4. Розподілені пілот-сигнали

У системах OFDM використовують розподілені пілот-сигнали. Ці службові сигнали є спеціальним чином модульованими елементами, які певним чином рознесені в часі й між носійними частотами. Дані про пілот-сигнали та їх параметри закладено у систему керування кожного приймача OFDM сигналів для забезпечення можливості оцінювання стану каналу.

У системі DVB-T кожен дванадцятий модульований елемент є пілот-сигналом, тобто для їх передавання використовують 8% від загального частотного ресурсу. Цю пропорцію застосовують за будь-яких варіантів захисних інтервалів, і розміщення пілот-сигналів має бути таким, щоб засобами приймача можна було вирівняти передавальну характеристику каналу у режимі із захисним інтервалом 1/4. Однак для менших захисних інтервалів наявність пілот-сигналів в кількості 8% є надлишковою. Тому, в системі T2 передбачено вісім різних варіантів розміщення пілот-сигналів. Кожному варіанту відносної тривалості захисного інтервалу відповідає кілька можливих варіантів розміщення пілот-сигналів. Вибір цих варіантів відбувається динамічно (адаптація до характеристики каналу) залежно від поточного стану каналу, що дозволяє оптимізувати їх кількість. На рис. 5 наведено два можливі варіанти розміщення.

Більш щільне розміщення пілот-сигналів використовують для зменшення порогового рівня C/N на вході приймача або для поліпшення синхронізації.

В останньому випадку пілот-сигнали модулюють псевдовипадковою послідовністю.

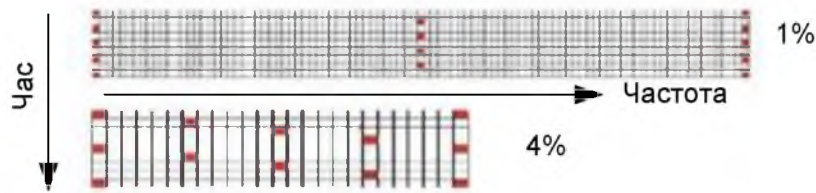


Рисунок 5 – Типові схеми розміщення пілот-сигналів та частка виділених для них ресурсів

5. Диференційована завадостійкість окремих послуг і структура кадру T2

Комерційне використання системи T2 обумовило необхідність забезпечити різні рівні завадостійкості для різних послуг. Такі можливості можна забезпечити використанням різних схем модуляції і ступеня завадостійкого кодування. У системі T2 зазначену вище можливість забезпечують шляхом групування OFDM-символів всередині кадру, так що сигнальний потік кожної послуги передають цільним блоком, який розміщено в кадрі у певному сегменті (слоті). Цей принцип проілюстровано на рис. 6

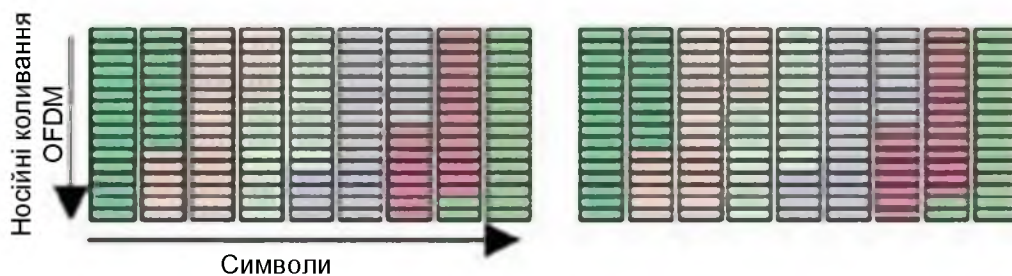


Рисунок 6 – Структура кадрів T2. Фрагменти потоків різних послуг позначено різними кольорами

Початок кожного кадру T2 ініціюють коротким OFDM-символом P1. Цей символ OFDM має розмірність 1К. Структура символу містить повтори початку і кінця символу на сусідніх носійних (тобто із зсувом по частоті), як це наведено на рис. 7. Така структура символу P1 з одного боку дозволяє легко його виявити, а з іншого – унеможливорює імітацію цього символу яким-небудь фрагментом основного кадру.

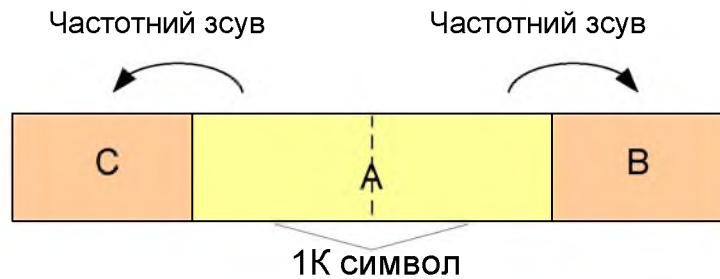


Рисунок 7 – Узагальнена структура символу P1 сигналізації DVB-T2

Символ P1 забезпечує простий і надійний механізм виявлення трансляції T2-приймачем, що здійснює перегляд спектру (сканує) в режимі пошуку, а також швидке захоплення приймачем частоти і 6-бітної сигналізації (наприклад, для визначення розмірності ШПФ в кадрі T2).

Стандартна тривалість кадру T2 - близько 200 мс, а надбудова, яка потрібна для передавання інформації про структуру кадру, як правило, потребує менше 1%.

Перемежування

У системі T2 застосовано трикаскадне перемежування. Такий спосіб перемежування практично гарантує, що спотворені елементи, у тому числі за наявності пакетних помилок, після відновлення природної послідовності (зворотного перемежування) у декодері будуть розкидані вздовж LDPC кодованому кадру. Це надає можливість відтворити спотворені біти у процесі декодування LDPC кодованого сигналу.

У системі застосовано такі каскади перемежування:

- а) бітове перемежування – рандомізація бітів в межах кодованого блоку;
- б) часове перемежування – перерозподіл даних кодованого блоку між символами OFDM в межах кадру T2. Це підвищує стійкість сигналу до імпульсного шуму і зміни характеристик тракту передавання.
- с) частотне перемежування – рандомізація даних в межах OFDM-символу з метою послабити ефект селективних частотних завмирань.

Розворот модуляційного сузір'я

У T2 застосували додаткову процедуру оброблення модульованого сигналу, яка полягає в розвороті усіх векторів модульованого коливання на певний кут. Таку процедуру називають іще «розворот модуляційного сузір'я».

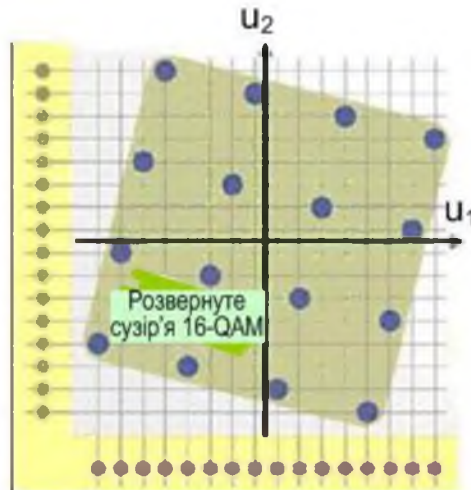


Рисунок 8 – Схема розвороту модуляційного сузір'я у разі модуляції 16-QAM

Такий поворот може істотно підвищити стійкість сигналу у разі виникнення типових проблемах ефіру. За рахунок повороту сузір'я на точно визначений кут кожна точка сузір'я набуває унікальні координати (u_1 і u_2). Така пара координат не може виникнути для інших векторів модульованого коливання. Принцип розвороту сузір'я проілюстровано на рис.8.

Кожну координату вектора обробляють в модуляторі окремо, а потім передають в OFDM-сигналі окремо, тобто u_1 і u_2 одного вектора передають на різних OFDM-носійних і в різних OFDM-символах.

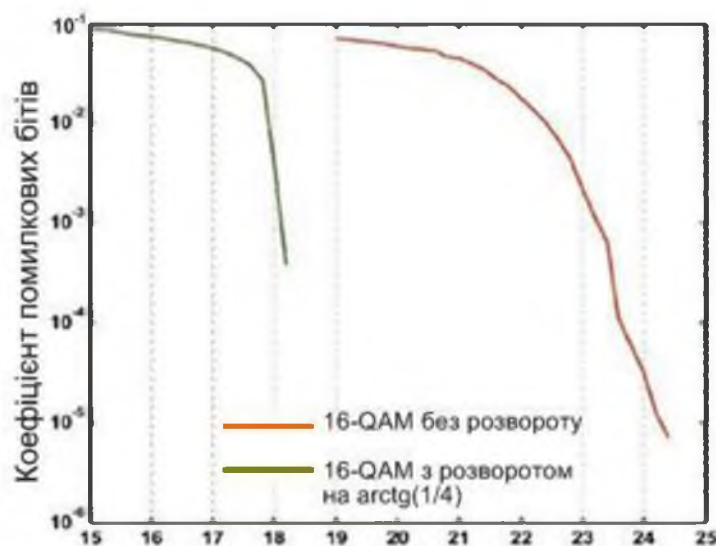


Рисунок 9 – Залежність коефіцієнту помилкових бітів (BER) від виду сузір'я (визначено для відносної швидкості кодування 4/5 для каналу Релея з 15% завмирань)

У приймачі координати u_1 і u_2 знову об'єднують і формують, що дозволяє визначити положення точок модуляційного сузір'я, розвернутого по колу. У такому сузір'ї, якщо одну носійну або символ (передає одну із координат) буде

втрачено в результаті дії завад (інтерференції), з великою ймовірністю буде збережено інформацію про іншу координату, що дозволить відновити символ.

У разі використання симетричного (не повернутого) модуляційного сузір'я рознесення u_1 і u_2 сенсу не має тому, що символ можна ідентифікувати тільки за значеннями двох координат. Кожна з них окремо має двійників, і унікальним є тільки їх поєднання.

За результатами досліджень було визначено, що вигравш щодо порогового відношення C/N за рахунок застосуванням цієї технології може скласти до 5 дБ.

6. Багатоканальне приймання сигналів DVB-T2

У специфікації системи T2 передбачено додаткову можливість використовувати код Аламоуті, який створює можливість приймання сигналів одночасно від двох передавачів.

У 1998 році Аламоуті запропонував новий підхід до поділу МІМО-сигналів (МІМО – Multiple Input Multiple Output) на приймальній стороні.

Схема Аламоуті з рознесенням передаванням дозволяє зменшити коефіцієнт помилок, збільшити швидкість передавання або ємність каналу безпроводових систем зв'язку.

Нову схему, назвали на честь автора. Її віднесено до класу ортогонального блокового кодування (OSTBC – orthogonal space-time block codes). Принцип кодування за Аламоуті полягає в тому, що послідовність символів, яку слід передавати, розподіляють на пари (наприклад, суміжні парний і непарний символи) x_i й x_{i+1} . Для передавання такого блоку потрібні два випромінювача і два інтервали передавання. У першому інтервалі передавальна антена 1 випромінює сигнал символу x_i , тоді як антена 2 – сигнал x_{i+1} . У наступному часовому інтервалі антена 1 передає сигнал $-x_{i+1}^*$, а антена 2 – сигнал x_i^* (де «*» - символ комплексно-спряженої величини).

Фізична сутність таких маніпуляцій з випромінюваними сигналами стає зрозумілою, якщо зробити їх математичний опис. Запишемо комплексну величину x через коефіцієнти дійсної та уявної частин (a й b):

$$\begin{cases} x_i = a_i + jb_i \\ x_{i+1} = a_{i+1} + jb_{i+1} \\ x_i^* = a_i - jb_i \\ -x_{i+1}^* = -a_{i+1} + jb_{i+1} \end{cases}$$

Для приймання кодованого за схемою Аламоуті двосимвольного сигналу достатньо однієї прийомної антени і двох часових відліків сигнальної суміші. Таким чином, фактично можна застосувати систему MISO (MISO – Multiple Input Single Output). У результаті приймання сигнальної суміші протягом двох послідовних часових інтервалів отримаємо сукупність напруг y_i та y_{i+1} ,

$$\begin{cases} y_i = h_1 x_i + h_2 x_{i+1} + n_i \\ y_{i+1} = -h_1 x_{i+1}^* + h_2 x_i^* + n_2 \end{cases}$$

де n_i, n_{i+1} – відліки напруг внутрішнього шуму приймача, а h_1 та h_2 – передавальні характеристики каналів для сигналів, що випромінюють перша та друга антени, відповідно. Два часових відліки необхідно для того, щоб число рівнянь в системі дорівнювало числу невідомих.

Після встановлення зв'язку за відомим значенням передавальних характеристик декодують пари переданих символів із застосуванням співвідношень

$$\begin{cases} x_i = h_1 y_i^* + h_2 y_{i+1}^* \\ x_{i+1} = h_1 y_{i+1}^* + h_2 y_i^* \end{cases}$$

Останні співвідношення є оптимальними оцінками максимальної правдоподібності.

У випадку, коли на приймач надходять сигнали одразу від двох передавачів, наприклад, у разі приймання на ненаправлену антену у невеликій одночастотній мережі, застосування коду Аламоуті може значно поліпшити роботу системи.

Таке кодування спільно зі зміною формату пілот-сигналів надає можливість без втрат розділити і окремо декодувати сигнали, прийняті з двох різних ефірних каналів.

Відзначимо, що застосування коду не погіршує процес приймання, якщо на антену надходить тільки сигнал одного каналу. За розрахунками застосування коду Аламоуті дозволяє збільшити зону покриття невеликих одночастотних мереж до 30%.

Зменшення співвідношення пікової та середньої потужностей передавача

Значна частка витрат на передавання телевізійного сигналу припадає на сплату за спожиту передавачами електроенергію. OFDM-сигнали характеризуються відносно високим відношенням пікової та середньої потужностей. У зв'язку з цим в T2 застосовано дві технології, що дозволяють знизити це співвідношення приблизно на 20%. А це, в свою чергу, істотно знижує витрати на електроживлення.

Застосовано такі дві технології:

- Резервування частотних складових. У цьому випадку 1% носійних залишається в резерві, і не переносить ніяких даних, але їх може бути використано передавачем для введення сигналів з метою «розмазати» піки.

- Активне розширення модуляційного сузір'я. У цьому випадку частину крайніх точок сузір'я зміщують далі від центру так, щоб це зменшувало піки сигналів. Оскільки зміни стосуються тільки крайніх точок, зміщених зону, вільну від інших точок, така процедура не має істотного впливу на здатність приймача декодувати дані.

7. Додаткові функції і перспективи збільшення функціональності

У специфікації T2 передбачено два додаткові інструменти, які в перспективі можна буде використовувати для розширення кадру. По-перше, передбачено можливість уведення сигналізації, рис.10, у структуру кадру T2 для нових типів кадрів, які може бути використано для передавання сигналів нового формату, який ще не визначено. Наявність сигналізації дозволить приймачу здійснювати детектування таких сигналів.



Рисунок 10 – Схема уведення кадрів для майбутнього розширення функціональності (FEF) між кадрами потоку T2

Тобто зміст можливих нових кадрів FEF (Future Extension Frames) поки що не визначено. Уведення відповідної сигналізації в специфікацію T2 дозволяє приймачам першого покоління розпізнати і проігнорувати FEF-фрагменти. Але наявність зазначеної сигналізації забезпечить зворотну сумісність перших систем передавання з майбутніми, в яких ця сигналізація буде надавати інформацію про нові типи вмісту кадрів. Частотно-часова сегментація T2 також супроводжується сигналізацією, необхідною для майбутнього застосування частотно-часового розподілу на слоти (TFS – Time Frequency Slicing). Хоча в основній специфікації передбачено приймання без застосування TFS, в сигналізацію уведено позначки, які дозволять майбутнім приймачам, оснащеним двома тунерами, працювати з TFS-сигналами. Такий сигнал будуть передавати у кількох РЧ каналах, і різні фрагменти кожної з послуг будуть в загальному випадку передаватися на різних частотах. Ресивер буде стрибками перебудовуватись з каналу на канал, збираючи фрагменти даних, які стосуються відповідної послуги.

Такий підхід дозволяє формувати пакети з розмірами, що значно перевищують допустимі для одного РЧ-каналу, що, в свою чергу, надає можливість виграшу за рахунок статистичного мультиплексування значної кількості каналів і гнучкості частотного планування.

Пропускна спроможність системи

Пропускна спроможність системи T2 визначається вибором цілої низки системних параметрів. Для забезпечення гнучкості системі передбачено багато опцій. Вибір параметрів є процедурою оптимізації роботи системи, наприклад, пошук компромісу між часткою службової інформації і часом перемикання з каналу на канал або між пропускнуою здатністю і стійкістю до завад.

Широкий набір параметрів конфігурації також ускладнює порівняння з іншими системами. Так, наприклад, якщо порівнювати T2 з DVB-T, то для першої можна обрати параметри, що забезпечують таку ж поведінку сигналу в

стандартному гаусовому каналі, але обумовлюють велику стійкість T2 за умов складного приймання. Такий варіант вже відповідає значно більш високій пропускній здатності каналу T2 порівняно з DVB-T.

Таблиця 1 – Співставлення параметрів систем DVB-T та DVB-T2

| | DVB-T (британський варіант) | DVB-T2 |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Модуляція | 64-QAM | 256-QAM |
| Розмірність ШПФ | | |
| Захисний інтервал | | |
| Коеф. помилкових бітів | 2/3CC+RC(8%) | 3/5LDPC+BCH(0,3%) |
| Розподілені пілот-сигнали | 8% | 1% |
| Постійні пілот-сигнали | 2,6% | 0,35% |
| Заголовок кадру | 1% | 0,7% |
| Смуга частот | Нормальна | Розширена |
| Пропускна здатність, Мбіт/с | 24,1 | 35,9 |

Проте можна вибрати й варіант з трохи нижчими показниками для гаусового каналу, але як і раніше з дещо вищими для каналів, зі складними умовами приймання. У цьому випадку приріст пропускної здатності буде ще більше. Порівняльні характеристики систем з однаковою поведінкою в гаусовому каналі наведено в табл. 1.

Із наведених параметрів впливає що, очікуваний приріст пропускної спроможності щодо британського варіанту DVB-T складе близько 49%.