

УДК 004

О. Міроненко, магістр гр. КІ-22М-1

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕБАЧЕННЯ DVB-T2

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи цифрового телебачення DVB-T2. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи цифрового телебачення DVB-T2. Об'єктом дослідження є процес цифрового телебачення DVB-T2. Предметом дослідження є методи цифрового телебачення DVB-T2. Методи дослідження базуються на методах цифрового телебачення, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи цифрового телебачення DVB-T2. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Наземне телебачення DVB-T2 – це технологія, яка революціонізувала спосіб отримання та споживання телевізійного контенту.

DVB-T2 – це друге покоління стандарту DVB-T (цифрове відеомовлення – наземне), який використовується для наземного телевізійного мовлення. DVB-T2 пропонує значно покращену продуктивність та ефективність у порівнянні зі своїм попередником, забезпечуючи передачу більшої кількості каналів вищої якості на тому самому діапазоні частот.

DVB-T2 використовує передові методи кодування та модуляції, такі як HEVC (високоєфективне кодування відео) та OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів), щоб забезпечити високу якість відео та аудіо, а також кращу стійкість до перешкод. Таким чином, навіть якщо ви живете в районі з поганим покриттям, ви все одно зможете насолоджуватися кристально чистим відео та аудіо.

DVB-T2 – це майбутнє ефірного телебачення з кількох причин. По-перше, він пропонує набагато кращу якість зображення та звуку порівняно зі стандартом DVB-T. Завдяки використанню кодування HEVC DVB-T2 здатний передавати відео Full HD і навіть 4K, чого неможливо досягти за допомогою стандарту DVB-T.

По-друге, DVB-T2 більш ефективний з точки зору використання діапазону частот. Завдяки вдосконаленим методам модуляції DVB-T2 може передавати більше даних на одному діапазоні, що означає, що телевізійні станції можуть пропонувати більше каналів і послуг.

По-третє, DVB-T2 є більш гнучким і перспективним. Стандарт здатний підтримувати різноманітні формати та стандарти, такі як IPTV, VoD (відео на вимогу) та інтерактивні послуги, відкриваючи двері до нових можливостей та послуг для глядачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи цифрового телебачення dvb-t2.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи цифрового телебачення DVB-T2.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем цифрового телебачення DVB-T2.
- Дослідження системи цифрового телебачення DVB-T2.
- Програмна реалізація системи цифрового телебачення DVB-T2.

Об'єктом дослідження є процес цифрового телебачення DVB-T2.

Предметом дослідження є методи цифрового телебачення DVB-T2.

Методи дослідження базуються на методах цифрового телебачення, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. DVB-T2 – цифрова наземна система передачі, розроблена в рамках проекту DVB. Він представляє найновіші методи модуляції та кодування, щоб забезпечити високоефективне використання цінного наземного спектру для доставки аудіо-, відео- та послуг передачі даних на фіксовані, портативні та мобільні пристрої. DVB-T2 використовує модуляцію OFDM із великою кількістю піднесучих, що забезпечує надійний сигнал. Як і DVB-T, DVB-T2 пропонує низку різних режимів, що робить його дуже гнучким стандартом. Для виконання виправлення помилок DVB-T2 використовує те саме кодування, яке було вибрано для DVB-S2. Поєднання кодування перевірки парності з низькою щільністю (LDPC) і кодування Бозе-Чаудхурі-Хоккенгама (BCH) забезпечує чудову продуктивність у середовищі з високим рівнем шуму та перешкод, створюючи дуже надійний сигнал. Доступні кілька варіантів щодо таких аспектів, як кількість несучих, розмір захисного інтервалу та пілот-сигнали. Таким чином, накладні витрати можуть бути мінімізовані для будь-якого цільового каналу передачі. Нова техніка під назвою «повернені сузір'я» забезпечує значну додаткову надійність у складних каналах. Для досягнення необхідних умов прийому (наприклад, кімнатна антена/антена на даху) надається механізм окремого регулювання надійності кожної наданої послуги в межах каналу. Цей самий механізм дозволяє адаптувати передачі, щоб дозволити приймачу економити енергію, декодуючи лише одну програму, а не цілий комплекс програм.

Ключові характеристики DVB-T2:

- Щонайменше на 30-50% вища пропускна здатність і покращена продуктивність SFN порівняно з DVB-T.

- Надійність трансмісії залежно від послуги.
- Передача програм для мобільних і стаціонарних приймачів.
- Масове повторне використання інфраструктури DVB-T.
- Зменшення відношення пікової до середньої потужності і, отже, експлуатаційних витрат на кінці передавача.

Покращення, надані DVB-T2:

- Модуляція OFDM з додатковими режимами IFFT.
- Ефективний захист від помилок за допомогою кодування LDPC.
- Передача та інтеграція концепції кадру основної смуги DVB-S2.
- Обернені сузір'я із затримкою Q.
- Передача MISO.
- Зменшення крест-фактора.

DVB-T2 є наступним розвитком стандартів наземного цифрового відеомовлення. Він спирається на технологію та успіх DVB-T, щоб забезпечити додаткові можливості та функції відповідно до розвитку ринку DTT або цифрового наземного телебачення. Хоча дехто може розглядати DVB-T2 як конкурента існуючому стандарту DVB-T, це не так. Планується, що два стандарти співіснують протягом багатьох років, а DVB-T2 надасть додаткові функції та послуги.

Основи DVB-T2

Стандарт DVB-T2 використовує мультиплекс з ортогональним частотним розподілом як основне середовище радіопередачі. Ця форма передачі є особливо надійною та дозволяє приймати сигнали даних (у цьому випадку телевізійні дані) за наявності певних перешкод або відсутності каналів у результаті таких ефектів, як багатопроменевість.

OFDM

Мультиплекс з ортогональним частотним поділом сигналів, OFDM, є формою формату сигналу, який використовує велику кількість близькорознесених несучих, кожна з

яких модулюється потоком даних з низькою швидкістю. Зазвичай очікується, що сигнали, розташовані на близькій відстані, створюють перешкоди один одному, але якщо зробити сигнали ортогональними один одному, взаємних перешкод не буде. Дані, які потрібно передати, розподіляються між усіма носіями, що забезпечує стійкість до вибіркового завмирання через ефект багатопроменевого поширення.

Нова специфікація DVB-T2 надає можливість вибору різноманітних опцій відповідно до вимог оператора мережі.

Таблиця 1 – Основні характеристики DVB-T2

Параметр	DVB-T	DVB-T2
Кількість несучих у сигналі	2к, 8к	1к, 2к, 4к, 8к, 16к, 32к
Формати модуляції	QPSK, 16QAM, 64 QAM	QPSK, 16QAM, 64 QAM, 256QAM
Розсіяні пілоти	8% від загальної кількості	1%, 2%, 4%, 8% від загальної кількості
Постійні пілоти	2,6% від загальної кількості	0,35% від загальної суми
Виправлення помилок	Згорткове кодування + Рід Соломон 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Охоронний інтервал	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128, 1/8, 19/256, 1/16, 1/32, 1/128

Для виправлення помилок використовується технологія, яка використовується для DVB-S2. Це включає кодування LDPC (Low Density Parity Check) у поєднанні з кодуванням BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham). Доведено, що поєднання цих двох методів забезпечує чудову продуктивність за наявності високих рівнів шуму та перешкод.

Як і раніше, доступно кілька параметрів у таких областях, як кількість несучих, розміри захисного інтервалу та пілот-сигнали, так що накладні витрати можна мінімізувати для будь-якого даного каналу передачі.

Незважаючи на те, що DVB-T2 являє собою наступну еволюцію для цифрового наземного телебачення, планується, що він буде працювати поряд з поточним стандартом DVB-T протягом багатьох років і розвинути перехід на DVB-T2. Ця еволюція має відбуватися приблизно так само, як це відбулося між DVB-S і DVB-S2.

Оскільки DVB-T2 пропонує додаткові можливості, це дозволить мовникам пропонувати нові та захоплюючі послуги, щоб гарантувати, що вони зможуть утримати своїх глядачів. Спираючись на успіх існуючих цифрових телевізійних послуг, DVB-T2 неодмінно отримає значний рівень поширення протягом найближчих років.

Що таке OFDM: Ортогональне частотне мультиплексування

OFDM, мультиплексування з ортогональним частотним поділом використовує кілька близьких несучих, кожна з яких має низьку швидкість передачі даних для стійкого зв'язку.

Мультиплексування з ортогональним частотним поділом – це форма сигналу або модуляції, яка забезпечує деякі значні переваги для каналів передачі даних.

Відповідно, OFDM, ортогональне частотне мультиплексування, використовується для багатьох найновіших широкосмугових і високошвидкісних бездротових систем, включаючи Wi-Fi, стільниковий зв'язок і багато іншого.

Той факт, що OFDM використовує велику кількість несучих, кожна з яких передає дані з низькою швидкістю передачі даних, означає, що він дуже стійкий до вибіркового завмирання, перешкод і ефектів багатопроменевого поширення, а також забезпечує високий ступінь спектральної ефективності.

Ранні системи, що використовують OFDM, виявили, що обробка, необхідна для формату сигналу, була відносно високою, але з прогресом у технології OFDM створює невеликі проблеми з точки зору необхідної обробки.

Розвиток OFDM

Використання OFDM і модуляції з кількома несучими в цілому вийшло на перший план в останні роки, оскільки це забезпечує ідеальну платформу для бездротової передачі даних.

Однак концепція технології OFDM була вперше досліджена в 1960-х і 1970-х роках під час дослідження методів зменшення перешкод між близько розташованими каналами. На додаток до цих інших вимог, необхідних для досягнення безпомилкової передачі даних за наявності перешкод і умов вибіркового розповсюдження.

Спочатку використання OFDM вимагало великих рівнів обробки і, відповідно, не було життєздатним для загального використання.

Одними з перших систем, які прийняли OFDM, були цифрове мовлення – тут OFDM зміг забезпечити високонадійну форму транспортування даних за різними умовами шляху сигналу.

Одним із прикладів є цифрове радіо DAB, яке було представлено в Європі та інших країнах. Норвезька радіомовна корпорація NRK запустила першу послугу 1 червня 1995 року. OFDM також використовувався для цифрового телебачення.

Пізніше обчислювальна потужність зросла в результаті зростання рівнів інтеграції, що дозволило розглянути OFDM для систем мобільного зв'язку 4G, які почали розгортатися приблизно з 2009 року. Також OFDM було прийнято для Wi-Fi та низки інших бездротових систем передачі даних.

Що таке OFDM?

OFDM є формою модуляції з кількома несучими. Сигнал OFDM складається з ряду близько розташованих модульованих несучих. Коли модуляція будь-якої форми – голосу, даних тощо застосовується до несучої, тоді бічні смуги розповсюджуються в обидві сторони.

Необхідно, щоб приймач міг приймати весь сигнал, щоб мати можливість успішно демодулювати дані. У результаті, коли сигнали передаються близько один до одного, вони повинні бути розташовані так, щоб приймач міг розділити їх за допомогою фільтра, і між ними повинна бути захисна смуга. З OFDM це не так.

Незважаючи на те, що бічні смуги від кожної несучої перекриваються, вони все одно можуть прийматися без перешкод, які можна очікувати, оскільки вони ортогональні одна одній. Це досягається тим, що інтервал між несучими дорівнює зворотній величині періоду символу.

Традиційна вибірка сигналів if на різних каналах

Щоб побачити, як працює OFDM, необхідно подивитися на приймач. Це діє як банк демодуляторів, перетворюючи кожну несучу на DC. Результируючий сигнал інтегрується по періоду символу для регенерації даних із цього носія. Цей же демодулятор також демодулює інші несучі.

Оскільки інтервал між несучими дорівнює зворотній величині періоду символу, це означає, що вони матимуть цілу кількість циклів у періоді символу, а їхній внесок дорівнюватиме нулю – іншими словами, внеску перешкод немає.

Основна концепція OFDM, ортогонального частотного мультиплексування

Однією з вимог систем передачі та прийому OFDM є те, що вони повинні бути лінійними. Будь-яка нелінійність спричинить інтерференцію між несучими в результаті інтермодуляційних спотворень. Це призведе до появи небажаних сигналів, які можуть спричинити перешкоди та погіршити ортогональність передачі.

Що стосується обладнання, яке буде використовуватися, високе відношення піку до середнього в системах з декількома несучими, такими як OFDM, вимагає кінцевого РЧ-підсилювача на виході передавача, щоб мати можливість впоратися з піками, тоді як середня потужність набагато нижча, і це призводить до неефективності.

У деяких системах піки обмежені. Хоча це вносить спотворення, що призводить до більш високого рівня помилок даних, система може покладатися на виправлення помилок для їх усунення.

Дані з OFDM

Традиційний формат для надсилання даних через радіоканал полягає в тому, щоб надсилати їх послідовно, один біт за іншим. Це залежить від одного каналу, і будь-які перешкоди на одній частоті можуть порушити всю передачу.

OFDM використовує інший підхід. Дані передаються паралельно через різні несучі в межах загального сигналу OFDM. Будучи поділеним на кілька паралельних «підпотоків», загальна швидкість передачі даних дорівнює вихідному потоку, але для кожного з підпотоків набагато нижча, а символи рознесені далі один від одного в часі.

Це зменшує перешкоди між символами та полегшує точне отримання кожного символу, зберігаючи однакову пропускну здатність.

Нижча швидкість передачі даних у кожному потоці означає, що перешкоди від відображень набагато менш критичні. Це досягається шляхом додавання в систему часу захисної смуги або захисного інтервалу.

Захисний час забезпечує вибірку даних лише тоді, коли сигнал стабільний і не надходять нові затримані сигнали, які можуть змінити час і фазу сигналу. Цього можна досягти набагато ефективніше в субпоточі з низькою швидкістю передачі даних.

Захисний інтервал для сигналів OFDM

Розподіл даних через велику кількість несучих у сигналі OFDM має деякі додаткові переваги. Нульові сигнали, викликані ефектами багатопроменевого поширення або перешкодами на даній частоті, впливають лише на невелику кількість несучих, решта приймаються правильно. Використовуючи методи кодування помилок, що означає додавання додаткових даних до переданого сигналу, це дає змогу відновити багато або всі пошкоджені дані в приймачі. Це можна зробити, оскільки код виправлення помилок передається в іншій частині сигналу.

Ключові особливості OFDM

Схема OFDM відрізняється від традиційної FDM наступними взаємопов'язаними способами:

- Кілька несучих (так звані піднесучі) передають потік інформації.
- Піднесучі ортогональні одна одній.
- До кожного символу додається захисний інтервал, щоб мінімізувати розкид затримки каналу та міжсимвольні перешкоди.

Переваги та недоліки OFDM

Переваги OFDM

OFDM використовувався в багатьох бездротових системах з високою швидкістю передачі даних через численні переваги, які він надає.

– Стійкість до вибіркового завмирання: одна з головних переваг OFDM полягає в тому, що він більш стійкий до частотно-селективного завмирання, ніж системи з однією несучою, оскільки він розділяє загальний канал на кілька вузькосмугових сигналів, на які впливають індивідуально як на підканали з плоским завмиранням.

– Стійкість до перешкод: перешкоди, що з'являються на каналі, можуть бути обмежені смугою пропускання, і таким чином не впливатимуть на всі підканали. Це означає, що не всі дані втрачаються.

– Ефективність використання спектру. Значною перевагою OFDM є те, що він ефективно використовує доступний спектр.

– Стійкість до ISI: ще одна перевага OFDM полягає в тому, що він дуже стійкий до міжсимвольних і міжкадрових перешкод. Це є результатом низької швидкості передачі даних на кожному з підканалів.

– Стійкість до вузькосмугових ефектів: використовуючи адекватне каналне кодування та чергування, можна відновити символи, втрачені через частотну вибіркковість каналу та вузькосмугові перешкоди. Не всі дані втрачаються.

– Спрощене вирівнювання каналів. Однією з проблем систем CDMA була складність вирівнювання каналів, яке доводилося застосовувати по всьому каналу. Перевагою OFDM є те, що за допомогою кількох підканалів вирівнювання каналів стає набагато простішим.

Недоліки OFDM

Незважаючи на те, що OFDM широко використовується, у його використанні все ще є кілька недоліків, які необхідно розглянути при розгляді його використання.

– Високе відношення пікової до середньої потужності: сигнал OFDM має зміну амплітуди, схожу на шум, і має відносно високий великий динамічний діапазон або відношення пікової до середньої потужності. Це впливає на ефективність радіочастотного підсилювача, оскільки підсилювачі повинні бути лінійними та витримувати великі коливання амплітуди, і ці фактори означають, що підсилювач не може працювати з високим рівнем ефективності.

– Чутливість до зсуву та дрейфу несучої: Іншим недоліком OFDM є чутливість до зсуву та дрейфу несучої частоти. Системи з однією несучою менш чутливі.

Варіанти OFDM

Існує кілька інших варіантів OFDM, ініціали яких можна побачити в технічній літературі. Вони відповідають основному формату для OFDM, але мають додаткові атрибути або варіації:

– COFDM: кодоване мультиплексування з ортогональним частотним поділом. Форма OFDM, де кодування виправлення помилок включено в сигнал.

– Flash OFDM: це варіант OFDM, розроблений Flarion, і це форма OFDM зі швидким перемиканням. Він використовує кілька тонів і швидке стрибкоподібне перемикання для розподілу сигналів у заданому діапазоні спектру.

– OFDMA: множинний доступ з ортогональним частотним поділом. Схема, яка використовується для надання можливості множинного доступу для таких програм, як стільниковий зв'язок, коли використовуються технології OFDM.

– VOFDM: векторний OFDM. Ця форма OFDM використовує концепцію технології MIMO. Він розробляється компанією CISCO Systems. MIMO розшифровується як Multiple Input Multiple output і використовує кілька антен для передачі та прийому сигналів, щоб можна було використовувати ефекти багатопроменевості для покращення прийому сигналу та покращення підтримуваної швидкості передачі.

– WOFDM: широкосмуговий OFDM. Концепція цієї форми OFDM полягає в тому, що вона використовує достатньо великий відстань між каналами, щоб будь-які частотні помилки між передавачем і приймачем не впливали на продуктивність. Особливо це стосується систем Wi-Fi.

Кожна з цих форм OFDM використовує ту саму основну концепцію використання близько розташованих ортогональних несучих, кожна з яких передає сигнали з низькою швидкістю передачі даних. Під час фази демодуляції дані потім об'єднуються для отримання повного сигналу.

OFDM, мультиплексування з ортогональним частотним поділом, набуло значної присутності на ринку бездротового зв'язку. Поєднання високої ємності даних, високої спектральної ефективності та його стійкості до перешкод у результаті багатопроменевого ефекту означає, що він ідеально підходить для додатків з великим об'ємом даних, які стали головним чинником сучасної комунікаційної сцени.

OFDM Синхронізація часу та частоти

Для оптимальної демодуляції OFDM потрібна точна синхронізація часу та частоти, інакше рівень перешкод зростає та виникають інші проблеми з демодуляцією.

Однією з ключових вимог для оптимальної демодуляції сигналів OFDM є точна синхронізація частоти та часу.

На щастя, хорошу синхронізацію OFDM і частоту відносно легко отримати, оскільки легко вивести точні сигнали.

Погана синхронізація часу та частоти призводить до значного погіршення якості сигналу, і в результаті цей аспект сигнального ланцюга є ключовим для оптимальної продуктивності.

Основи синхронізації OFDM

OFDM пропонує багато переваг щодо стійкості до вицвітання, віддзеркалень тощо. OFDM також пропонує високий рівень ефективності спектру. Однак, щоб отримати винагороду, необхідно, щоб система OFDM працювала правильно, і для досягнення цього необхідно, щоб синхронізація OFDM була ефективною.

Існує ряд областей, у яких синхронізація OFDM критична для роботи системи:

– Синхронізація OFDM з точки зору зміщення частоти: необхідно, щоб частоти точно відстежувалися, щоб забезпечити підтримку ортогональності.

– Синхронізація OFDM з точки зору точності годин: необхідно, щоб вибірка відбувалася в правильний інтервал часу, щоб забезпечити синхронізацію вибірок і мінімізацію помилок даних.

Для того, щоб забезпечити оптимальну роботу системи OFDM, необхідно переконаватися, що існують схеми, які гарантують, що синхронізація OFDM знаходиться в необхідних межах.

Синхронізація зміщення частоти OFDM

Особливо важливо, щоб демодулятор в приймачі OFDM міг точно синхронізуватися з несучими в сигналі OFDM. Зміщення можуть виникати з ряду причин, включаючи будь-які частотні помилки між передавачем і приймачем, а також в результаті доплерівських зсувів, якщо є рух між передавачем і приймачем.

Якщо частотна синхронізація порушується, то ортогональність несучих знижується в процесі демодуляції, а частота помилок зростає. Відповідно, важливо підтримувати ортогональність, щоб зменшити кількість помилок і підтримувати ефективність зв'язку.

Спочатку подивіться, як має відбуватися вибірка. Коли демодулятор синхронізований, усі внески від інших несучих сумарно дорівнюють нулю, як показано. Таким чином, усі носії ортогональні, а частота помилок мінімальна.

Демодуляція OFDM, яка показує, як мінімізуються перешкоди від інших несучих в центрі несучої частоти

Якщо виникає ситуація, коли синхронізація OFDM для частотних аспектів є поганою, тоді демодулятор центруватиме свої зразки подалі від піку сигналу, а також у точці, де внески інших сигналів не дорівнюють нулю. Це призведе до погіршення якості сигналу, що, у свою чергу, може призвести до збільшення кількості бітових помилок.

Демодуляція OFDM, де перешкоди високі через погану частотну синхронізацію

Синхронізація зміщення годинника OFDM

Також необхідно підтримувати синхронізацію OFDM з точки зору годинника. Посилення, якщо синхронізація годинника є неточною, дискретизація буде зміщена, і знову ортогональність буде зменшена, а помилки даних зростуть.

При розгляді синхронізації OFDM з огляду на зсув тактової частоти інтервал несучої, що використовується в приймачі для дискретизації отриманого сигналу, базуватиметься на внутрішній тактовій частоті. Якщо це відрізняється від того, що використовується в передавачі, буде виявлено, що навіть якщо перша несуча в мультиплексі є правильною, тоді буде зростати розбіжність з кожною несучою, віддаленою від першої. Навіть невеликі рівні розбіжностей призведуть до збільшення рівня помилок.

Демодуляція OFDM із зміщенням синхронізації годинника

При використанні OFDM необхідно переконаватися, що синхронізація як для часу, так і для частоти є точною. Забезпечуючи точну синхронізацію, можна виконати оптимальну

демодуляцію сигналу. Будь-яке зміщення призводить до того, що приймач починає вловлювати небажані сигнали перешкод. На щастя, відносно легко отримати точні сигнали синхронізації, оскільки вони доступні з мережі, а короткочасну синхронізацію можна створити всередині.

Розробка структурної схеми

Розробники заклали як мінімум 30-відсоткове поліпшення всіх значимих показників щодо попередньої версії стандарту – DVB-T.

Окрім нових застосовуваних технологій для передачі інформації в новій версії стандарту існують і деякі відмінності в організації мереж синхронного одночастотного мовлення (SFN).

У стандарті DVB-T2 є два режими роботи: так звані System A і System B. Перший відрізняється від DVB-T використанням більш високих порядків модуляцій і додаткових нових алгоритмів корекції помилок.

Крім того, даний режим не передбачає роботу мережі в SFN-режимі (окремий випадок – робота в System B з одним PLP).

System B є більш складним режимом роботи DVB-T2 передавачів. Його реалізація вимагає використання більш складних технологій і пристроїв (multi-PLP потоків, T2-Gateway).

Саме він передбачає створення SFN-мереж. Специфікою є і те, що для організації SFN-мереж вже не потрібно такий спеціальний пристрій, як SFN-адаптер (MIP-інсертер).

Його функції включає в себе DVB-T2 Gateway – пристрій, на вхід якого подається(-ються) MPEG-2 TS, а на вихідному інтерфейсі T2 Modulator Interface (T2-MI) формується вихідний multi-PLP потік.

T2-MI – це інтерфейс, призначений для передачі інформації від T2 Gateway до модуляторам. Він розроблений спеціально для того, щоб модулятор міг працювати з технологією multi-PLP. T2-MI-пакети містять в собі транспортні потоки і всю необхідну інформацію для роботи модуляторів.

У певних місцях (L1 signalling) T2-MI-пакетів міститься вся необхідна інформація для передавачів по режимам і параметрам передачі, причому параметри можна вказувати для кожного передавача окремо.

Наприклад, передавати значення тимчасової затримки прямо в потоці, змінюючи їх на «льоту».

Генерація потоку T2-MI відбувається наступним чином: кожен раз, коли розташування ВВ-кадру (BaseBand Frame) визначено, він може бути вставлений в T2-MI-пакет з відповідною інформацією в заголовку і негайно відправлений через T2-MI інтерфейс.

ВВ-Frame – це основна одиниця в логічній кадровій структурі DVB-T2. Пакетовані потоки розбиваються на ВВ-кадри (синхронно або асинхронно).

Кожен ВВ-кадр може містити ціле число пакетів, або ж пакет може бути розбитий на кілька ВВ-кадрів. Тема ВВ-кадру містить інформацію про довжину пакету і позиції першого пакету, що дозволяє реконструювати їх на приймальному кінці.

Розмір кожного ВВ-кадру, що містить будь наповнення та/або внутрішню сигналізацію, постійний для даного PLP (Physical Layer Pipe – технологія, що дозволяє одночасно передавати кілька видів інформації з окремими для кожного параметрами перешкодозахищеності і швидкості), залежить від кодової швидкості LDPC і від довжини використаних FEC-блоків.

Як тільки розташування ВВ-кадрів визначено для всіх PLP, чиї кадри перемеження (Interleaving Frames) вставлені в даний T2-кадр, в пакеті генерується і передається T2-MI інформація, що описує цей кадр L1-сигналізація.

Там же міститься й інформація для синхронізації. Якщо синхронізація не потрібна (для MFN), у відповідних осередках передаються нулі.

У DVB-T2 збільшене число піднесущих (32К проти 8к), що дозволяє продовжити захисний інтервал до 532 Мкс (тоді як в DVB-T – 224 Мкс).

Відповідно, збільшується і максимальна відстань між сусідніми передавачами в SFN. Теоретично воно дорівнює приблизно 160 км проти 67 у попередньому стандарті.

Також немає вже максимально допустимої затримки в поширенні сигналу в мережі передавачів в 1с через прив'язку до сигналу в 1 PPS.

Вся система може синхронізуватися з глобального часу (GMT), і затримка може бути більше.

У той же час збільшення числа піднесучих до 32К призводить до зменшення «відстані» між ними, а це, у свою чергу, висуває досить високі вимоги до стабільності частоти передавача при роботі в SFN-режимі в System B – до 0,5 Гц.

Додатково стандарт DVB-T2 при роботі в System B, завдяки використанню системи MISO (яка, у свою чергу, використовує коди Alamauti), дозволяє ефективно боротися з завмираннями сигналу в SFN-мережах (вихідний сигнал на двох сусідніх передавачах попередньо спотворюється таким чином, що в точці прийому без праці можна відновлювати вихідний сигнал, а умови прийому поліпшуються).

Коротко підсумуємо відмінності в організації SFN-мереж в новому стандарті від попереднього.

1. Відпала необхідність у SFN-адаптер. Його функції вже закладені в T2 Gateway.
2. Можлива затримка в мережі стала більше секунди.
3. Максимально допустима відстань між сусідніми передавачами зросла з 67 до 160 км.
4. Зросли вимоги до стабільності частоти сигналу передавачів: $\pm 0,5$ Гц.
5. Завдяки системі MISO поліпшуються умови прийому в зонах з однаковими відстанями до сусідніх передавачів, що зумовлює виникнення селективних за частотою завмирань.

Таким чином, використовуючи перераховані вище особливості, можна створювати більш ефективні SFN-мережі і використовувати їх більш гнучко.

Структурна схема розробленої системи зображена на рисунку 1. На ній показано структуру системи.

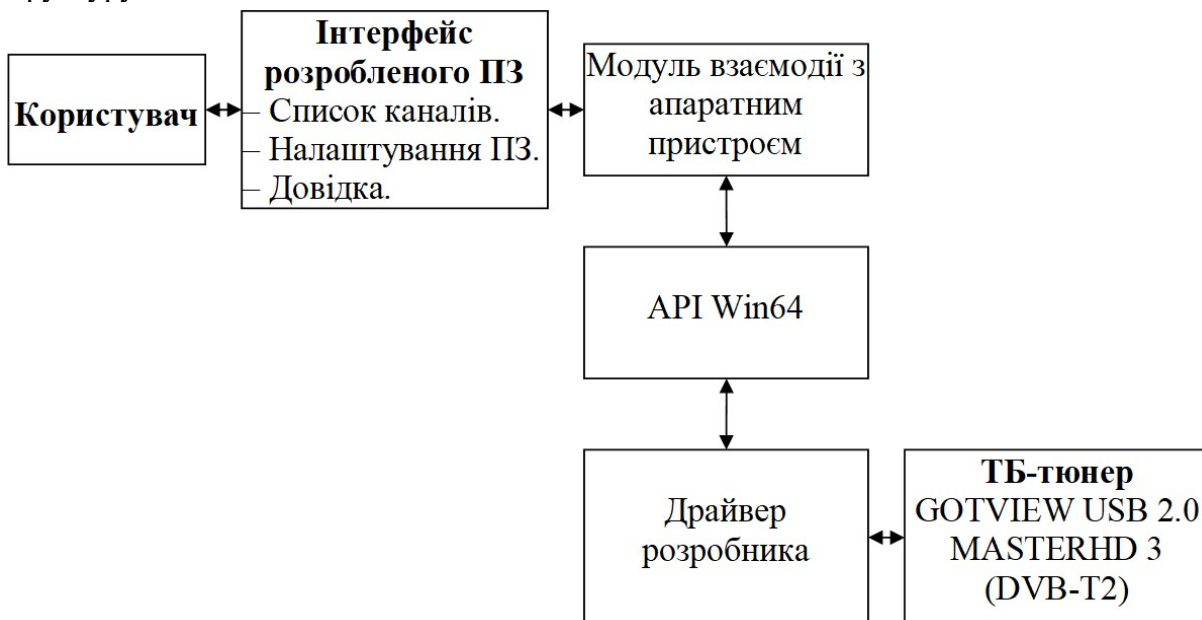


Рисунок 1 – Структурна схема роботи системи

Користувач використовує розроблене ПЗ під керуванням ОС Windows 8 через інтерфейс розробленого ПЗ. Розроблена ПЗ має список каналів, налаштування ПЗ та довідкову інформацію. Через модуль взаємодії з апаратним пристроєм (Application programming interface) а саме підсистему Digital Video Broadcasting Second Generation

Terrestrial (DVB-T2) та драйвер розробника проходить взаємодія з ТБ-тюнером GOTVIEW USB 2.0 MASTERHD 3.

GOTVIEW USB 2.0 MASTERHD

ТБ-тюнер USB 2.0 представляє собою рішення по прийому й запису відкритих цифрових теле- і радіоканалів DVB-T2, DVB-T і DVB-C стандартів, включаючи FULL HD канали. GOTVIEW USB 2.0 MASTERHD 3 є одним з перших тюнерів в Україні з одночасною підтримкою цих трьох стандартів віщання. Тюнер виконаний у звичному дизайні USB стик GOTVIEW, аналогічному моделям GOTVIEW USB 2.0 Hybrid MasterHD і GOTVIEW USB 2.0 Master, але його технічна начинка більше функціональна й унікальна. Тюнер дозволяє приймати ефірне цифрове DVB-T2, DVB-T, цифрове, кабельне ТБ DVB-C.

Наявність автодетекта відеостандарту в тюнері Gotview USB 2.0 MasterHD 3 необхідно для використання тюнера в таких програмах, як Windows Media Center, які не можуть самі перемикаєти стандарти. Будь-який канал можна настроїти індивідуально.

Важливо, що для стандарту DVB-T2 реалізована підтримка однопотокового (single) PLP і багатопоточного (multiple) PLP режимів віщання, що дозволить стабільно приймати DVB-T2 сигнал у всіх регіонах України.

У багатьох регіонах України вже запущене ефірне цифрове віщання в DVB-T2.

Якщо цікаві передачі йдуть одночасно на різних каналах і хочеться подивитися їх всі, то й це не проблема. Можна записати весь транспортний потік і потім дивитися той канал, на якому віщалась цікава передача. Досить у плеєрі вибрати потрібний ідентифікатор каналу.

Як селектор каналів використаний новий напівпровідниковий чипсет компанії Silabs Si2148.

На ринку ТБ тюнерів існує тверда конкуренція між SiLabs, NXP, MaxLinear і SONY. Ключовими особливостями селектора SiLabs є те, що він не вимагає зовнішнього балансування, котушок індуктивності в ланцюгах відстеження сигналу й у фільтруючих вузлах блока живлення.

Продуктивність даного селектора перевищує аналогічні характеристики тюнерів на основі MOPLL (гетеродин з ФАПЧ).

Селектор Si2148 малочутливий до перешкод з боку мереж Wi-Fi і LTE, що дозволяє відмовитися від застосування зовнішніх фільтруючих ланцюгів і працює від одного джерела живлення з напругою 3,3В.

Споживана потужність селектора не перевищує 500 мВт, що на 50% нижче в порівнянні із ТБ тюнерами попереднього покоління.

Селектор Si2148 виділяється відмінною чутливістю й вибірковістю, а також зниженим енергоспоживанням і тепловиділенням у порівнянні з конкуруючими моделями. За рахунок невеликого тепловиділення, використовується без застосування радіаторів для відводу надлишку тепла.

Тюнер підтримується операційними системами Windows XP/Vista/7 і 8, планується випуск драйверів під Linux.

Можливість прийому цифрового телебачення трьох стандартів віщання, широкі функціональні можливості програми GOTVIEW DVB роблять новий тюнер GOTVIEW цікавою й унікальною пропозицією на українському ринку.

Можливості:

1. Селектор Silabs Si2148 забезпечить високоякісний прийом теле- і радіоканалів цифрового віщання.

2. Підтримка стерео звуку.

3. Прийом ефірного (DVB-T2/T) і кабельного (DVB-C) стандартів цифрового віщання.

4. Підтримка однопотокового Single PLP (режим 'A') і багатопоточного Multiple PLP (режим 'B') режимів віщання.

5. Підтримка телебачення високої чіткості HDTV.

6. Підтримка цифрового віщання в стандартах MPEG-2 і H.264 (MPEG-4/AVC).
 7. Широкі можливості пошуку й налаштування каналів.
 8. Можливість робити захвата окремих каналів або всього транспортного потоку. Підтримується запис в ISO/IEC 13818-1 Program Stream і всього транспортного потоку в ISO/IEC 13818-1 Transport Stream, для одночасного запису всіх каналів, трансльованих на даній частоті.
 9. Повністю русифікований інтерфейс.
 10. Індивідуальні налаштування для кожного каналу: гучність, яскравість, контрастність, насиченість.
 11. Функція відкладеного перегляду або зрушення за часом (TimeShift) з можливістю прискореного й уповільненого перегляду.
 12. Можливість налаштування до 255 ТВ каналів.
 13. Наявність вибору дозволу для попереднього й повноекраного режимів перегляду.
 14. Захват кадрів ТВ вікна у форматі JPG по таймеру або по натисканню кнопки.
 15. Опціональне відключення звуку під час запуску програми, пошуку або перемикання каналів.
 16. Захват окремих кадрів.
 17. Диспетчер відкладених завдань для запису відео в заданий час.
 18. Гнучке налаштування захвата.
 19. Відеозахват з автоматичним формуванням файлів заданого розміру (наприклад, по 700 Мб для подальшого запису на CD-DVD диски).
 20. Можливість автоматичної зміни імені файлу.
 21. Сканування каналів у будь-якому зазначеному діапазоні, з будь-яким заданим кроком.
 22. Повна інформація про захват:
 - розмір і тривалість захопленого фрагмента;
 - вільне місце на диску;
 - час можливого запису, виходячи з наявного вільного простору на диску;
 - кількість захоплених і пропущених кадрів;
 - частота кадрів;
 - завантаження процесора.
 23. Можливість тимчасового припинення запису "ПАУЗА" (наприклад, для пропуску реклами).
 24. Можливість корекції налаштувань (зміна яскравості, контрастності та ін.) прямо під час запису.
 25. Трансляція по мережі.
 26. Відображення назви поточної телепередачі, а також часу початку й закінчення даної передачі із вказівкою відрізка часу, що пройшов від початку.
 27. Підтримка програми телепередач на тиждень із можливістю завантаження відновлення з інтернету.
 28. Перегляд захоплюваного зображення.
 29. Можливість відключити зображення й звук при тривалій відсутності сигналу.
 30. Автоматичне збереження налаштувань.
- Мінімальні системні вимоги:
- Операційна система: Microsoft Windows Vista, Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8 (32-х і 64-х бітні версії).
 - Центральний процесор: не нижче Intel Pentium IV 1.6 ГГц.
 - Вільне місце на диску: не менш 100 Мбайт для установки всіх додатків.
 - USB 2.0 High Speed для ТВ-тюнера.
 - Звукова карта.

DVB-T2 принципово відрізняється як архітектурою системного рівня (MAC-рівня), так і особливостями фізичного рівня.

У DVB-T2 використовується OFDM модуляція з великою кількістю піднесучих, що забезпечує стійкий сигнал. Подібно DVB-T, DVB-T2 передбачає велику кількість різних режимів, це робить DVB-T2 дуже гнучким стандартом. Для виконання корекції помилок в DVB-T2 застосовується таке ж кодування, яке було вибрано для DVB-S2. Поєднання кодування з низькою щільністю перевірок на парність (LDPC) і кодування Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (BCH) забезпечує дуже стійкий сигнал і чудову якість в умовах з високим рівнем шумів і перешкод.

Є декілька опцій таких параметрів, як кількість несучих, тривалість захисного інтервалу та розміщення пілот-сигналів. Це дозволяє знизити до мінімуму частку службової інформації для будь-якого заданого каналу передачі. Новий метод, названий «поворот сигнального сузір'я» забезпечує істотний приріст стійкості у складних ефірних умовах. Для забезпечення необхідних умов прийому (наприклад, кімнатна антена / антена на даху), передбачено механізм роздільної настройки стійкості сигналу в межах каналу для кожної надаваної служби. Такий самий механізм дозволяє настроїти передачі так, щоб дати можливість приймачу економити енергію за допомогою декодування тільки однієї програми, а не всього пакета програм.

Ключові особливості характеристик DVB-T2:

- Збільшена не менше ніж на 30% пропускну здатність і покращені характеристики SFN, порівняно з DVB-T.
- Обумовлена стійкість передачі.
- Передача програм на мобільні та стаціонарні приймачі.
- Широке використання інфраструктури DVB-T.
- Зниження експлуатаційних витрат на стороні передачі за рахунок зменшення відношення пікової потужності до середньої потужності.

Покращення, передбачені DVB-T2:

- Модуляція OFDM з додатковими режимами IFFT.
- Кодування LDPC забезпечує ефективний захист від помилок.
- Використання та інтеграція базової структури кадру DVB-S2.
- Поворот сигнального сузір'я з Q-затримкою.
- Передача MISO.
- Зменшення пік-фактора.

Висновки. У статті освіти наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів цифрового телебачення DVB-T2. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем цифрового телебачення DVB-T2; Досліджена система цифрового телебачення DVB-T2; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи цифрового телебачення DVB-T2. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання цифрового телебачення DVB-T2. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
2. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
3. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT».

- International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.
4. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
 5. Smirnov O., Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
 6. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
 7. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.517-522.
 8. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
 9. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.
 10. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobaev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.
 11. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
 12. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
 13. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. №3(23), С. 111-131.
 14. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.
 15. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхусейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
 16. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А. «Дослідження нормативної документації та стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». VI міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», м. Кропивницький. 20-21 квітня 2023 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2023. – С. 35-36.
 17. Смірнов, О.А., Усік П.С., Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Терещенко Л.Ю. «Інформаційна технологія та програмне забезпечення для підвищення ефективності планування підсистеми базових станцій стільникового зв'язку». Проблеми телекомунікацій. № 1(26). С. 83-96. 2020.
 18. Смірнов О.А., Усік П.С., Миронець І.В., Буравченко К.О., Якименко Н.М. «Метод підвищення ефективності розподіленої обробки даних у комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку» Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. №4. С. 103-110. 2020.
 19. О.А.Смірнов, Т.В.Смірнова, Л.І. Поліщук, К.О. Буравченко, А.О.Макевнін, «Дослідження хмарних технологій як сервісів», Кібербезпека: освіта, наука, техніка. № 3(7). С. 43-62. 2020.
 20. Смірнов О.А., Дреєва Г.М., Дреєв О.М., Смірнова Т.В. «Фрактальний аналіз генератора самоподібного трафіку на основі ланцюга Маркова». Центральньоукраїнський науковий вісник. Технічні науки. № 2(33). с. 161-172, 2019.
 21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kuznetsova, K. Synthesis of Discrete Signals with Improved Correlation Properties. Монографія: In.: ISCI'2019: Information Security in Critical Infrastructures. Collective monograph. Edited by Ivan D. Gorbenko and Alexandr A. Kuznetsov, ASC Academic Publishing, USA, 2019, pp. 281-299. – ISBN: 978-0-9989826-8-7 (Hardback), ISBN: 978-0-9989826-9-4 (Ebook).