

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-1/03>**Літвінов Є.А.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Сайченко І.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАННЯ СИГНАЛІВ У ВИДИМОМУ СВІТЛІ

У роботі розроблено пропозиції до побудови стенда з використанням GNU Radio для дослідження технології передавання даних із використанням технології видимого світла. Зв'язок у видимому світлі (VLC) може використовуватися для побудови мереж бездротового доступу з високою пропускну здатністю та швидкістю передавання даних. Основною перевагою зв'язку у видимому світлі є відсутність перешкод для радіочастотних сигналів. Це дає можливість використовувати зв'язок у видимому світлі в лікарнях, на космічних станціях, а також дає можливість зв'язку під водою. Безпека, прості процедури реалізації та характеристики діапазону, що не потребує ліцензії, також збільшують використання зв'язку у видимому світлі для різних додатків.

Метою роботи є надання інструкцій із проектування та реалізації випробувального стенду для зв'язку у видимому світлі з використанням програмно-конфігурованого радіо.

У статті описано архітектуру VLC, представлено можливість використання програмно-конфігурованого радіо як відправної точки для розроблення комерційних додатків VLC.

Технологія SDR забезпечує основу, яка може сприяти впровадженню програм на ринок, пробудити інтерес промислових гравців і скоротити час виведення на ринок продуктів, що відповідають стандартам, у майбутньому. Ключовими проблемами реалізації системи VLC є забезпечення можливості передавання даних для світлодіодного світильника з мінімальним зміною його характеристик освітлення і вартості виробництва. Таким чином, цю реалізацію можливо доопрацювати, скоротивши розрив між галуззю і дослідницьким співтовариством.

Було спроектовано прототип передавання даних у видимому світлі, який використовує програмно-конфігуроване радіо для взаємодії між аналоговими пристроями і комп'ютером, на якому виконується оброблення сигналу. Використання цієї концепції забезпечує системі достатню гнучкість і модульність для включення нових функцій у прототип, не вимагаючи тривалого часу на розроблення.

Проведено тестування цієї платформи, під час якого вдалося передати текстовий файл.

Надано висновок, що ця реалізація стенда передавання у видимому світлі може слугувати відправною точкою для розроблення комерційних додатків VLC із низькою і середньою швидкістю передавання даних.

Ключові слова: зв'язок із використанням видимого світла, VLC, IEEE 802.15.7, програмно-конфігуроване радіо, SDR, GNU Radio, USRP.

Постановка проблеми. Подальший розвиток радіосистем бездротового зв'язку пов'язаний із низкою проблем. Ними є нестача радіочастотного спектра, низька енергоефективність (безліч базових станцій споживають величезну кількість енергії для ретрансляції сигналів і охолодження обслуговувального обладнання), обмеження на використання радіозв'язку (в літаках, лікарнях та ін.), недостатня безпека (радіохвилі можуть про-

никати крізь стіни і надавати шкідливий вплив на біологічні та технічні об'єкти).

Одним із можливих напрямів вирішення цих проблем є застосування технології зв'язку за видимим світлом (VLC).

Visible light communication (VLC) – технологія, яка дозволяє джерелу світла (в додатку до освітлення) передавати інформацію, використовуючи той самий світловий сигнал. Причому можуть

використовуватися як світлові хвилі області інфрачервоного діапазону випромінювання, так і хвилі спектра видимого світла.

Зв'язок у видимому світлі (VLC) – це сфера досліджень у галузі оптичних комунікацій у вільному просторі, що розвивається. Розвиток потужних білих світлодіодів протягом останніх десятиліть призвів до розроблення недорогих освітлювальних пристроїв із кращими характеристиками як із точки зору енергоефективності, так і з точки зору очікуваного терміну служби. Очікується, що світлодіоди замінять лампи розжарювання і люмінесцентні лампи в системах освітлення нового покоління. Тим не менше, ці пристрої можуть використовуватися не тільки для освітлення. Використання світлодіодів для передавання даних як джерела освітлення привернуло увагу дослідницького співтовариства, а також глобальні зусилля зі стандартизації.

Використання технології VLC дає безліч переваг із точки зору доступної смуги пропускання, відсутності перешкод радіодіапазону, що особливо важливо через брак деяких смуг частот, потенційного просторового повторного використання, внутрішнього захисту від підслуховування і всього іншого. Цього можна домогтися за допомогою енергоефективних пристроїв і без високих витрат на розгортання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерес, проявлений дослідним співнотою до галузі VLC в останні роки, привів до розроблення демонстраційних стендів, здатних довести можливість використання цієї нової технології для бездротових додатків. Грунтуючись на методі модуляції, що використовується для передавання інформації, ці демонстратори можна розділити на дві групи: одна використовує модуляцію двоїчного рівня, а друга – схему багаторівневої модуляції.

Модуляція двоїчного рівня належить до методів модуляції, в яких інформація відправляється в кожному періоді символу за допомогою зміни двох рівнів інтенсивності. Ці методи є популярними схемами, які використовуються для дротового зв'язку, їх головна перевага полягає в тому, що вони прості й недорогі в реалізації. У [1] повідомлялося про реалізацію, засновану на безповоротному переході до нуля (NRZ) on-off-keying (ООК), що пропонує швидкість передавання даних 40 Мбіт/с. Основне обмеження в разі схем модуляції двоїчного рівня пов'язане з невеликою пропускну здатністю, пропонувано пристроями з білими світлодіодами. Щоб подолати цю проблему, рішення, засноване на пост-корекції, було

запропоноване в [2], де повідомляється про швидкість передавання даних 100 Мбіт/с для NRZ-ООК. Попередні демонстрації проводилися з використанням оптоелектронних приймачів на основі фотодіода PIN. Кращі результати можуть бути отримані під час використання лавинних фотодіодів (APD) у конструкції оптоелектронного приймача. У [3] повідомляється про швидкість передавання даних 230 Мбіт/с. Ця продуктивність досягається за рахунок використання модуляції ООК і приймача VLC на основі APD.

Багаторівнева модуляція належить до методів модуляції, в яких інформація направляєтся шляхом зміни значень інтенсивності в безперервному діапазоні або з використанням набору зумовлених значень [4]. Оскільки вони забезпечують краще використання доступної смуги пропускання, системи, засновані на цих схемах модуляції, можуть досягати більш високих швидкостей передавання даних. Фактично, про швидкості передавання даних у Гбіт/с повідомляється в літературі з використанням дискретної багатотональної модуляції (DMT). Наприклад, у [5] представлено системи VLC на основі білих світлодіодів, які забезпечують швидкість передавання даних 1,1 Гбіт/с. Використовуючи багатобарвні світлодіодні пристрої, такі як світлодіоди RGB, можна отримати більш високу швидкість передавання даних, оскільки можна використовувати кілька каналів зв'язку. У [6] повідомляється про швидкість передавання даних 3,4 Гбіт/с з використанням RGB-світлодіодів і схеми модуляції DMT.

Аналізуючи публікації, пов'язані з VLC, стає зрозуміло, що високі швидкості передавання даних досяжні, що робить цю технологію потенційною альтернативою технології, заснованої на радіозв'язку. За умов більш уважного розгляду експериментальної установки, представленої в цих статтях, можна побачити, що результати отримані в особливих умовах і що радіус дії бездротового зв'язку становить близько десяти сантиметрів. Тим не менш, вони представляють значні досягнення і важливий доказ того, що VLC може слугувати додатковою технологією для бездротового зв'язку.

Постановка завдання. Надання інструкцій із проектування та реалізації випробувального стенда для зв'язку у видимому світлі з використанням програмно-конфігурованого радіо та програмного забезпечення GNU Radio.

Виклад основного матеріалу дослідження.

VLC система зв'язку. Основні блоки системи VLC представлено на рис. 1.

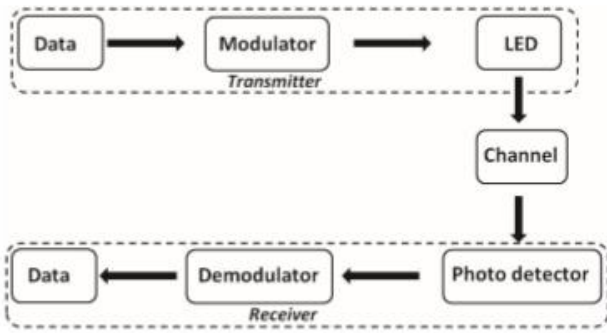


Рис. 1. Основні блоки передавання в системах VLC

Технологія VLC є частиною набору оптичних бездротових комунікацій (OWC). Отже, фізичні оптичні принципи можуть бути застосовані до систем VLC. Фактично, носієм у VLC є видимі промені, які використовуються для освітлення. VLC зазвичай характеризується передаванням невід’ємних і некогерентних сигналів. Він дотримується принципу зв’язку, в якому розглядаються три основні частини: передавач, канал і приймач. На рис. 1 показано основні блоки системи передавання VLC. Він складається з передавача, каналу і приймача, а для системи, спотвореної адитивним білим гаусовим шумом (AWGN), передавання завжди визначається

$$r_i = Hs_i + \omega_i$$

де r_i і s_i є прийнятим і переданим наборами символів відповідно, H є відповіддю каналу і ω_i шум каналу. Відповідну модель для систем зв’язку VLC зображено на рис. 2. Вона показує два електричних домени та один оптичний домен. Модульований сигнал, який додається до напруги постійного струму, використовується для живлення світлодіоду, що становить передавач. Світлодіод у своїй роботі випромінює світло і одночасно передає інформацію каналом. Приймач виконаний із фотоприймача (PD) і демодулятора. PD виявляє світло і виробляє електричний сигнал, що складається з повідомлення плюс шум. Частина шуму тут створюється каналом, хоча в моделі ми представляємо загальний шум в електричній сфері. Це пов’язано з тим, що PD перетворює і повідомлення, і оптичний шум в електричний струм.

ВLC-передавач. У системах VLC передавач групує в одному модулі джерело даних, модуль модуляції і світлодіод. Останні два елементи є дуже важливими в передавачі VLC. У системах VLC використовуються два типи світлодіодів: одноколірні і багатоколірні. Барвисті світлодіоди об’єднують в одному пакеті кілька одноколірних світлодіодів. Найбільш використовуваний багатобарвний світлодіод – це червоно-зелено-синій (RGB). У системах із декількома несучими кожен із кольорових світлодіодів, включених у комплект, є антеною, що відповідає одному каналу. У системі стільки каналів, скільки світлодіодів в упаковці. Отже, ця кількість кольорових світлодіодів буде забезпечувати однакову кількість окремих каналів. Отже, передавач RGB-LED розглядається як спеціальний багатоканальний передавач, який можна використовувати для розгортання методів модуляції на декількох несучих. Наприклад, (3×3) MIMO метод можна застосовувати для каналу VLC [7; 8]. На рис. 3 зображено два поширених типи передавачів VLC: на рис. 3-а – один передавач VLC і на рис. 3-б – 3-канальний передавач VLC.

Канал VLC. У комунікації канал є простором між передавачем і приймачем. У цьому просторі на сигнал впливає багато факторів, таких як загасання, перешкоди і шум. У технології VLC канал – це простір між світлодіодом і фотодетектором. Два основних типи каналів, які розглядаються в системах зв’язку VLC: один канал VLC, що включає один світлодіод і один фотодетектор, а також багатоканальні системи VLC, у яких передавач складається з різнокольорових світлодіодів. У другому випадку фотодетектор складається з більше ніж одного детектора, кожен із яких чутливий до кольору від передавача.

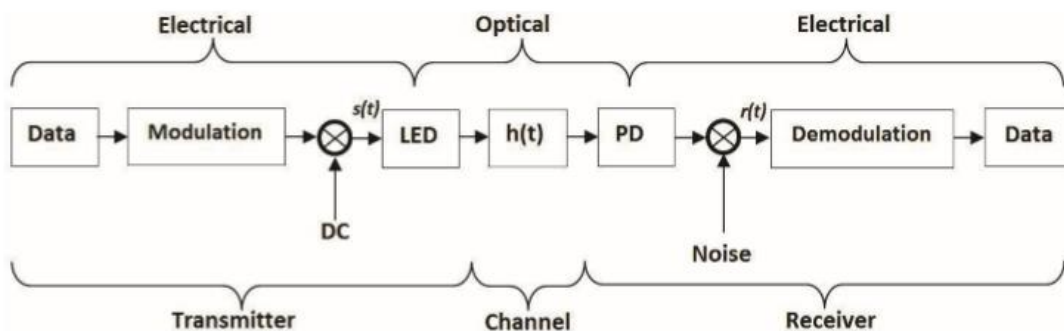


Рис. 2. Модель системи зв’язку VLC

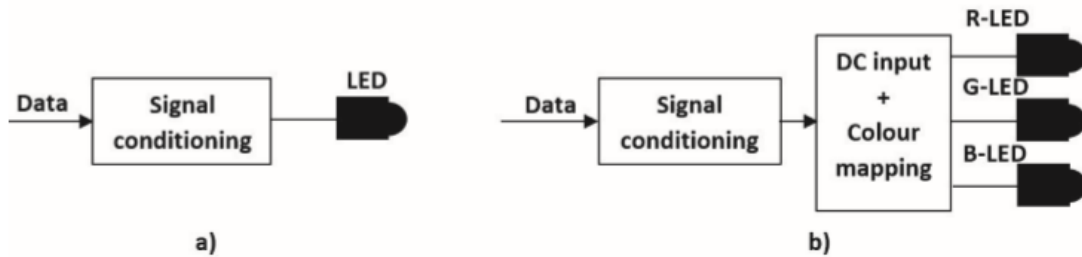


Рис. 3. Передавачі VLC: а) одиночний світлодіодний передавач, б) трьох каналний передавач VLC

Приймач VLC. Основним елементом у приймальнику VLC є фотодетектор, який використовується для збирання світлового випромінювання [10]. У приймачах VLC використовуються два основні типи фотоприймачів: фотодіод і фототранзистори. Цифрова камера, що складається з масиву фототранзисторів, є гарним пристроєм для прийому сигналу VLC в інтелектуальних пристроях, таких як смартфони і ноутбуки [11]. Як описано в [9], повна система приймача складається з таких компонентів, як концентратор, оптичний фільтр, підсилювач та еквалайзер, необхідних для захоплення максимального світла, необхідного для перетворення прийнятого сигналу в повідомлення. Промені проходять через концентратор і оптичний фільтр, перш ніж вони досягнуть належного ядра детектора. Архітектуру приймача VLC представлено на рис. 4.

Системний дизайн програмного забезпечення системи VLC. Найпростіший спосіб реалізації передавання даних за видимими світлом – використовувати програмно-конфігуроване

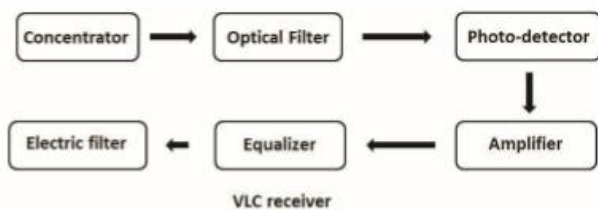


Рис. 4. Архітектура приймача VLC

радіо (SDR). Основною перевагою SDR є легкий апгрейд обладнання. Достатньо всього лише оновити програмне забезпечення, при цьому апаратні засоби залишаються без змін. Також SDR може бути легко адаптована під будь-які функції різних додатків.

Архітектуру запропонованого прототипу показано на рис. 5. Факт використання підходу SDR ділить прототип на 2 підсистеми: апаратну і програмну. Підсистема апаратного забезпечення складається з оптоелектронних пристроїв, аналогових пристроїв, необхідних для управління і оброблення сигналу, що виходить або направляється на оптоелектронні пристрої та модулі перетворення даних.

Основна відмінність цієї концепції в тому, що радіомодуль замінений оптико-електронним модулем.

Апаратна частина. Як правило, в програмно-конфігурованих системах інтерфейс між підсистемами апаратного і програмного забезпечення здійснюється за допомогою спеціалізованих пристроїв, які забезпечують такі функції, як перетворення і буферизація даних. У [12] можна знайти список доступних комерційних платформ. У цьому списку автори виділяють сімейство пристроїв Universal Software Radio Peripheral (USRP) від Ettus Research. Ці платформи побудовані на основі програмованої вентиляційної матриці (ПЛІС), яка включає в себе потужні аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі і можливість

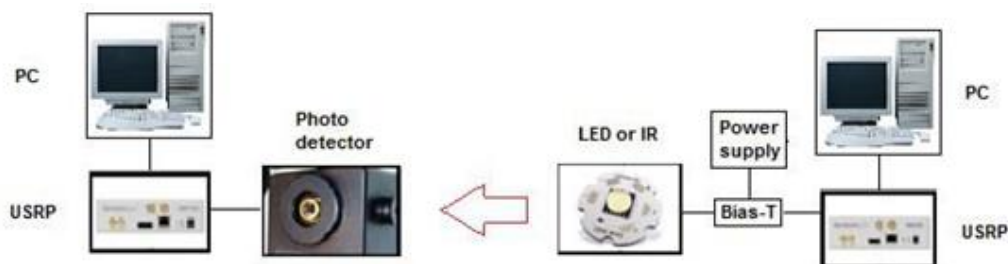


Рис. 5. Архітектура стенду VLC

додавання додаткових схем кондиціонування за допомогою плат розширення.

Програмна частина. Модуляція і демодуляція бітів, що надходять на платформи/від платформ перетворення даних (USRP), виконуються в GPP за допомогою бібліотеки з відкритим вихідним кодом для оброблення сигналів. Прикладом бібліотеки з відкритим вихідним кодом для оброблення сигналів є GNU Radio. Gnu Radio є вільним і відкритим джерелом програмного забезпечення, що розширює інструментарій та забезпечує можливості програмного радіомовлення. Він використовується як програма управління SDR пристроями, готує дані для оброблення сигналу. Операція оброблення сигналу закінчується пізніше спеціалізованим модулем. GNU Radio пропонує легко перенастроювати радіосистему, що дозволяє користувачам створювати різні пристрої без необхідності покупки декількох дорогих радіостанцій. Його можна використовувати для створення додатків, отримання даних із цифрових потоків або передавати дані в цифрові потоки. Потім ці потоки передаються з використанням апаратних засобів.

Gnu Radio має фільтри, каналні кодери, елементи синхронізації, еквалайзери, демодулятори, кодери, декодери і багато інших елементів (блоків). Також Gnu Radio включає в себе спосіб підключення цих блоків і управління передаванням даних від одного блоку до іншого

Взаємодії програмної й апаратної частин. Підключення з програмного забезпечення GNU Radio, представлено на рис. 2. Підключення до пристроїв USRP забезпечується за допомогою апаратних драйверів UHD. Драйвери встановлюються на платформи Linux, Mac OSX і Windows, які забезпечують універсальне підключення пристроїв. Підключення програмного забезпечення до пристроїв SDR зображено на рис. 6.

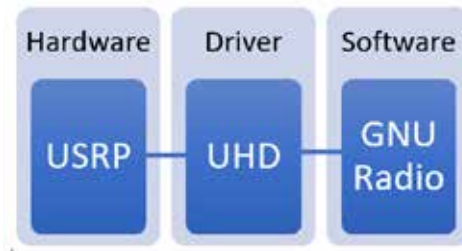


Рис. 6. Підключення програмного забезпечення до пристроїв USRP

Опис роботи системи. Сигнальний ланцюжок VLC зображено на рис. 7.

Текстовий файл, відео і голос передаються в програмне забезпечення GNU Radio, яке використовується для оброблення протоколів, оброблення рівня MAC. Наприклад, текстові дані пакуються, а потім дискредитуються в цифровому вигляді з використанням блоків оброблення сигналів GNURadio. Різні параметри, такі як частота дискретизації, швидкість передавання даних, схема модуляції тощо, можна налаштувати, змінивши блоки оброблення сигналів усередині GNURadio. Потім цифрові зразки пересилаються в USRP з використанням інтерфейсу апаратного драйвера USRP (UHD) через USB-порт. Потім сигнал передається на дочірню плату LFTX для модуляції смуги пропускання. Вихідний сигнал драйвера передається оптичним каналом. Потім інтенсивність прийнятого світла виявляється приймачем і перетворюється в електричний струм на основі прямого виявлення з використанням комерційного фотодетектора. Дочірня плата LFRX в приймачі використовується для демодуляції прийнятого сигналу несучої, тоді як USRP приймач виконує перетворення з аналогового в цифровий. Цифрова вибірка з USRP пересилається на персональний комп'ютер, що приймає, через USB-порт

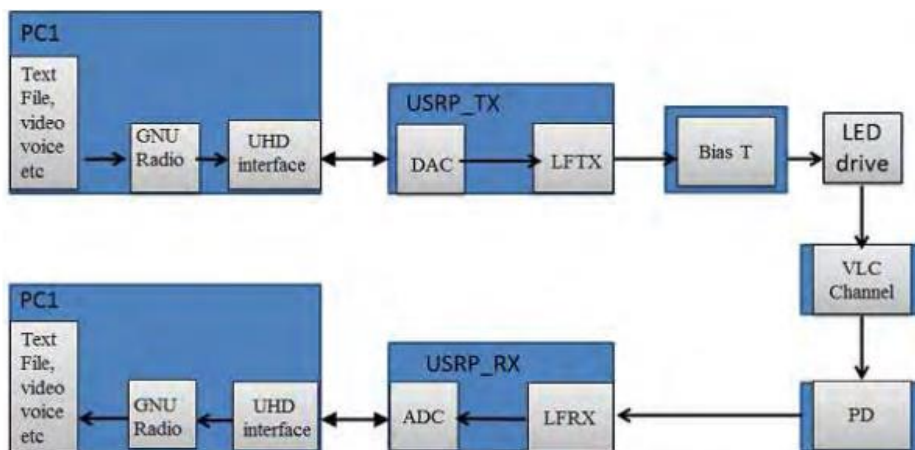


Рис. 7. Сигнальний ланцюжок VLC

з використанням інтерфейсу (UHD). На стороні, що приймає, програмне забезпечення GNURadio використовується для оброблення отриманих сигналів через блоки оброблення сигналів. Потім вихідні дані відправляються в текстовий файл, медіаплеєр та інші елементи.

Тестування. Вибір модуляції. Обраною модуляцією стала частотна модуляція Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK) за шістьма причинами, зазначеними нижче:

- 1) простота впровадження в програмне забезпечення;
- 2) спектральна ефективність;
- 3) нелінійність сигналу;
- 4) можливість самосинхронізації;
- 5) широке використання в бездротовому зв'язку як у стандарті GSM;
- 6) несприйнятливості до амплітудної дисперсії і шуму.

Першою причиною вибору GMSK модуляції був час і вартість впровадження, модуляція закодована в програмах GNU Radio і Python, що дозволяє легко впровадити її в систему [8]. Другою причиною була спектральна ефективність модуляції, яка дозволяла додавати більше даних у канал зв'язку з обмеженою пропускною спроможністю світлодіодів. Третя причина полягала в тому, що вимога лінійності сигналу не було жорстким, що означає, що нелінійність світлодіода не зашкодила зв'язку. Четвертою перевагою GMSK була можливість самосинхронізації, яка дозво-

ляла варіювати час обміну даними. П'ята перевага полягала в тому, що GMSK широко використовується в різних стандартах RF.

Програмування передавача та приймача в програмному середовищі GNU Radio. Для програмування передавача необхідно зібрати таку схему (рис 8) в програмному забезпеченні GNU Radio.

Як можна бачити з рис. 4, ми читаємо дані з файла TX.txt, вміст файла зображений на рис. 9, який записаний на жорсткому диску комп'ютера, шлях до файла вказується в блоці File Source, потім сигнал потрапляє на вхід пакетного енкодера (Packet Encoder) пакетів, який перетворює потік у 2-бітний код. Цей потік надходить на Частотний модулятор Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK mode), після чого потрапляє на блок управління трансивером, USRP (USRP2 Sink).

Для програмування приймача необхідно зібрати таку схему (рис. 10) в програмному забезпеченні GNU Radio.

Схема приймача складається з таких блоків: блок вхідних даних, які приймає трансивер (USRP2 source), після нього сигнал потрапляє на фільтр нижніх частот (Low Pass Filter), де виділяється частота 10кГц, далі – на Частотний демодулятор Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK Demod) і після на декодер пакетів (Packet Decoder), останній блок, на який потрапляє сигнал – це блок File Sink, який використовується для запису прийнятого повідомлення в файл на жорсткий диск комп'ютера.

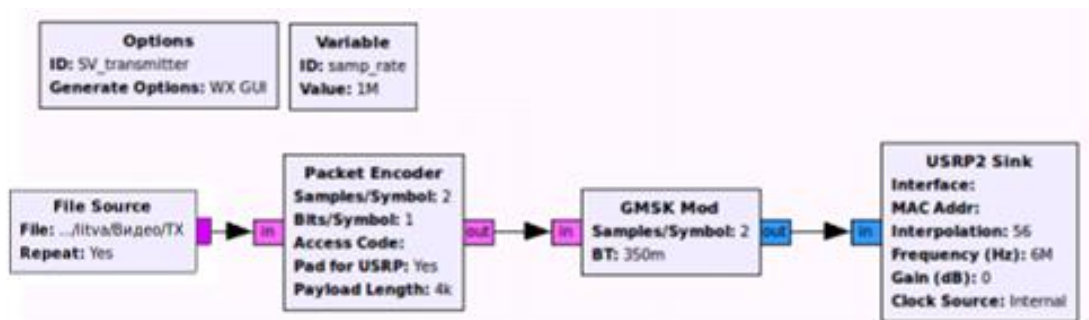


Рис. 8. Блок схема передавача в програмному середовищі GNU Radio

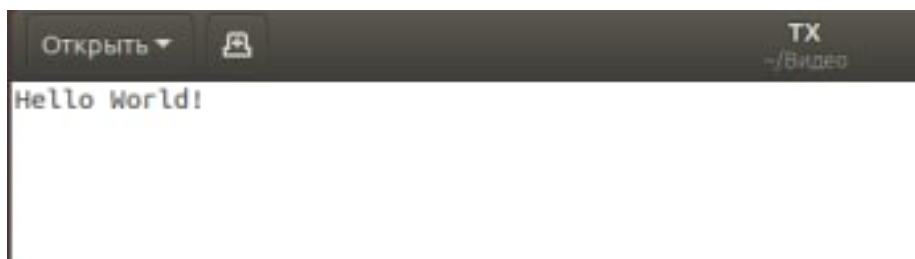


Рис. 9. Вміст файлу TX.txt

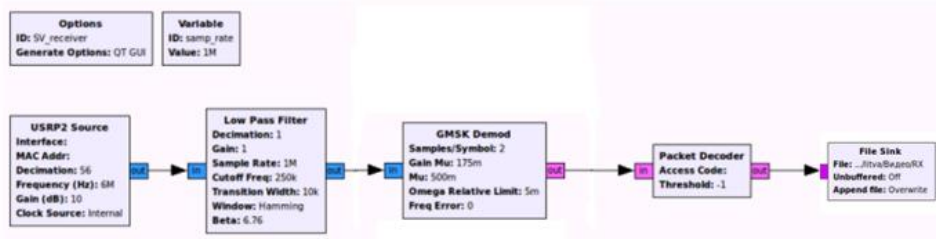


Рис. 10. Блок-схема приймача в програмному середовищі GNU Radio

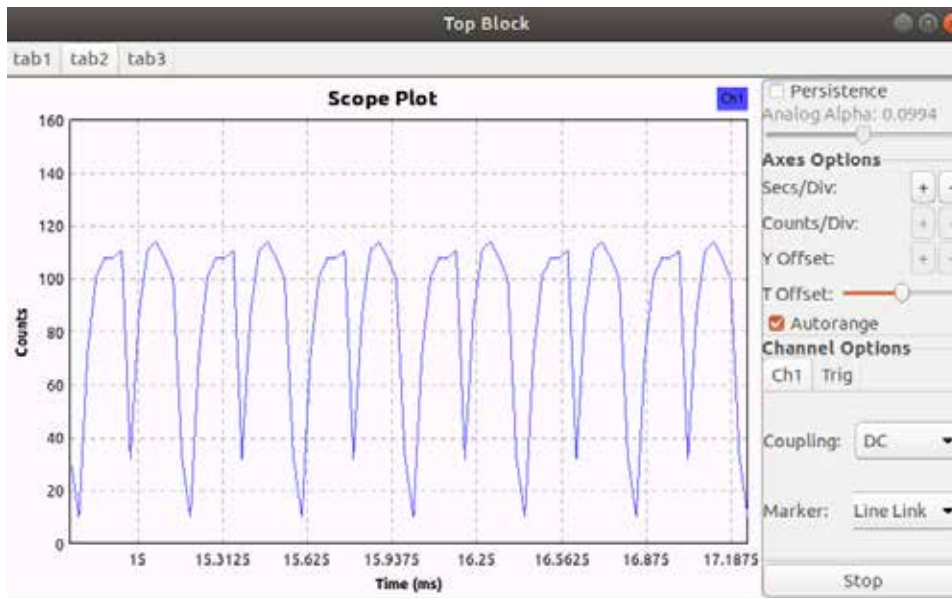


Рис. 11. Відображення форми сигналу в часовій області

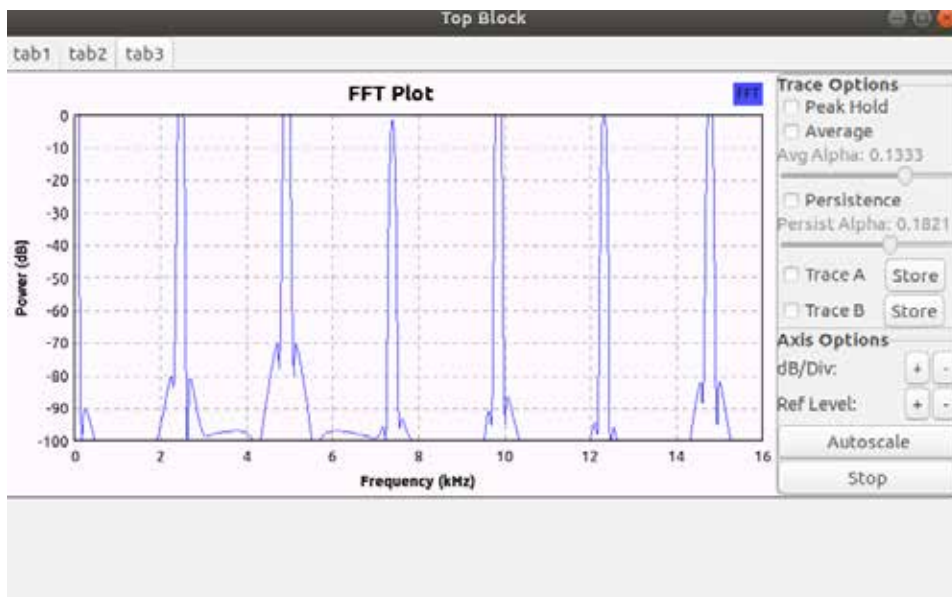


Рис. 12. Спектр сигналу

Запустивши блок-схему, ми отримали такі результати. На виході блоку file source, графік спектра сигналу, відображення форми сигналу в часовій області виглядали так, рис. 11, 12.

Відображення сигналу в часовій області і спектр сигналу після проходження частотного модулятора Гаусса з мінімальним зрушенням представлені на рисунках 13, 14.

Графік спектра сигналу, і відображення форми сигналу в часовій області на виході модулятора GMSK представлено на рис. 13.

Прийнятий сигнал зображено на рис. 15, 16.

Після демодуляції і декодування вихідний сигнал показаний на рис. 17, 18.

На рис. 19 представлено прийняте повідомлення, як бачимо, воно збігається з відправленим.

Висновки. Технології зв'язку у видимому світлі мають великі можливості в майбутньому. Ця технологія дозволить вирішити проблему інтеграції технології зв'язку у видимому світлі з наявною інфраструктурою без внесення в неї серйозних змін. У галузі зв'язку нею сегмент, що

швидко зростає, і його можна легко впровадити з мінімальними витратами.

У цій роботі представлено можливість використання програмно-конфігурованого радіо як відправної точки для розроблення комерційних додатків VLC із низькою та середньою швидкістю передання даних. Представлений прототип стенду VLC – об'єднання програмних та апаратних елементів. Ця реалізація пропонує гнучку платформу, на якій можна провести дослідження впровадження нових функцій, не вимагаючи тривалого часу на розроблення.

Передання через відео світла показує, що сценарій із використанням пристроїв SDR актуалізований з точки зору не лише затрат, а й простоти, гнучкості та продуктивності.



Рис. 13. Відображення форми сигналу в часовій області після модуляції

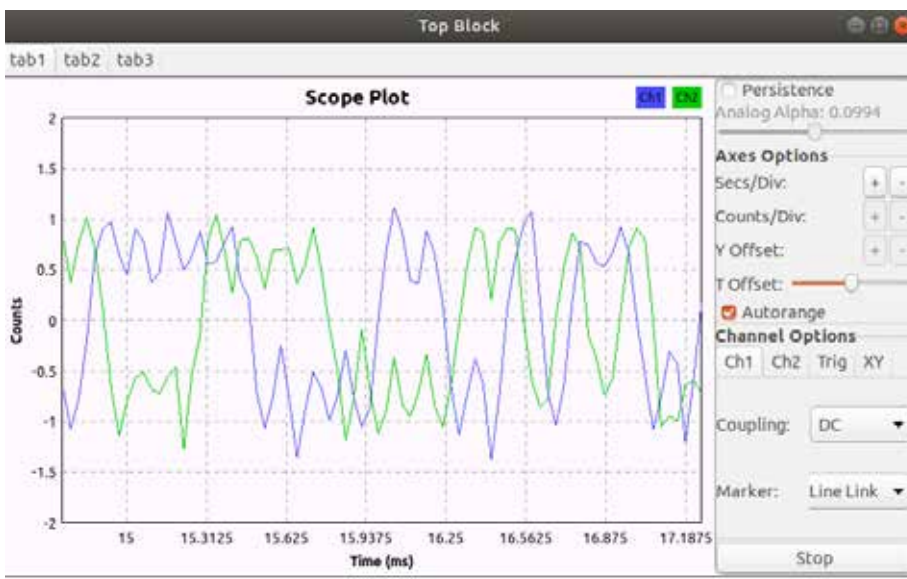


Рис. 14. Спектр сигналу після модуляції

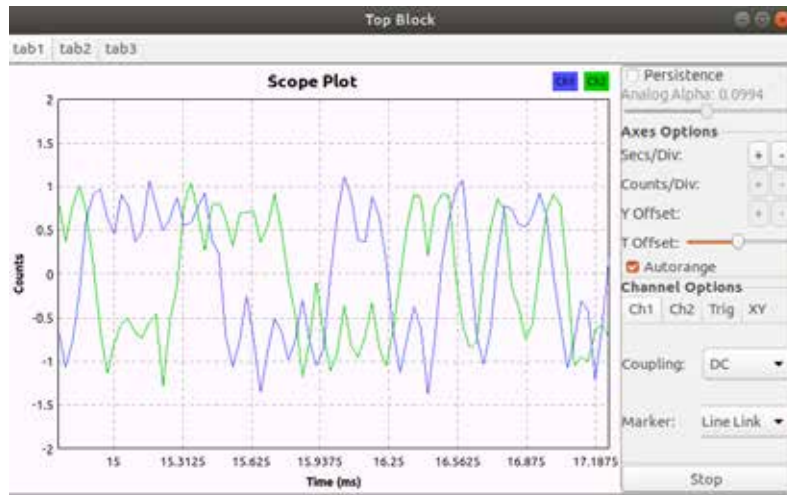


Рис. 15. Форма сигналу в часовій області після проходження каналу зв'язку

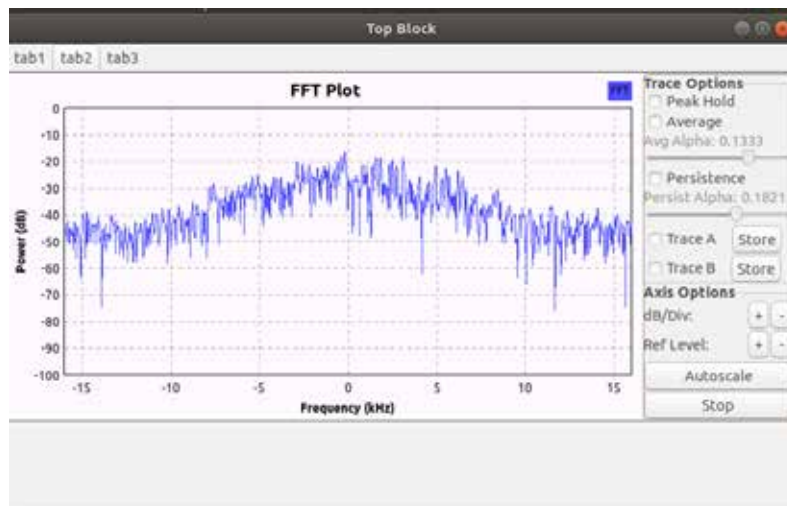


Рис. 16. Спектр сигналу після проходження каналу зв'язку

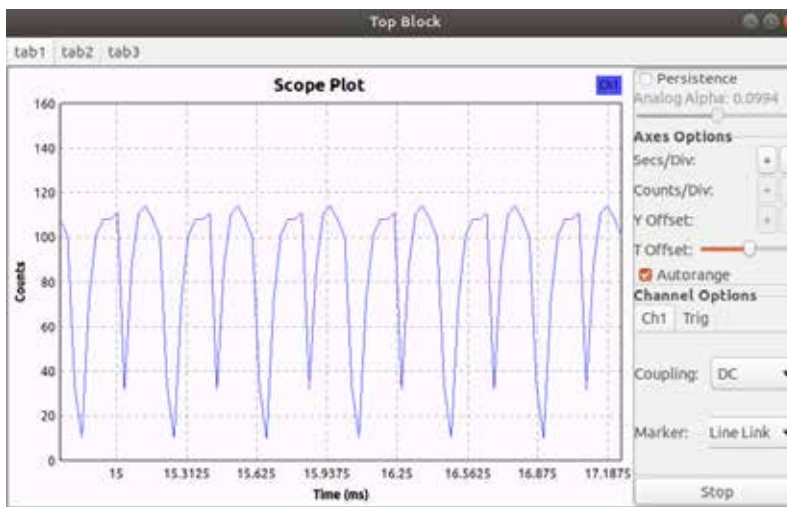


Рис. 17. Форма модульованого і декодованого сигналу в часовій області

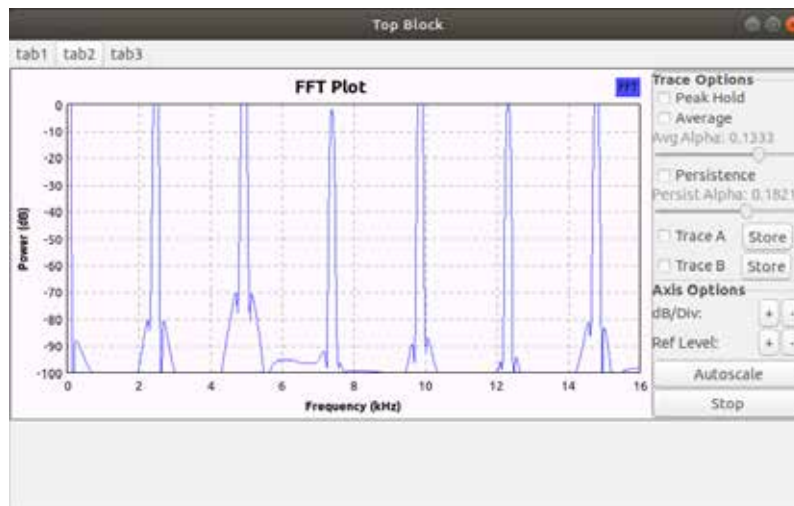


Рис. 18. Спектр сигналу після декодування і демодуляції

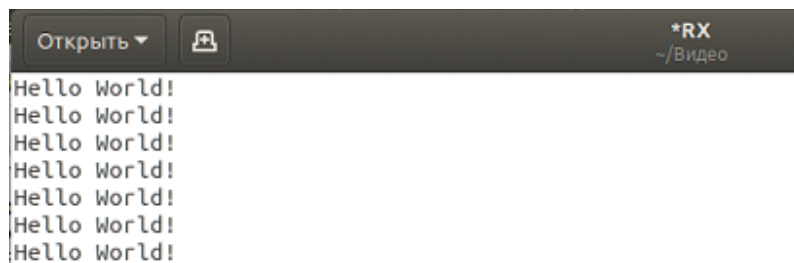


Рис. 19. Прийняте повідомлення

Список літератури:

1. Romanov O.I, Fediushyna D.M., Dong T.T. Model and method of Li-Fi network calculation with multipath Light Signals/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10–14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047550, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
2. O.I. Romanov, M.M. Nesterenko, L.A. Veres. Integration Of Modern Protocols Ip-Telephony In IMS Architecture/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10-14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109 / UkrMiCo43733.2018.9047587, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
3. Romanov O., Dong Tho, Nesterenko M. The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology/ 8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAИТ), 2020. <http://dx.doi.org/10.25673/32747>
4. Romanov O., Nesterenko M., Veres L., Kamarali R., Saychenko I. (2021) Methods for Calculating the Performance Indicators of IP Multimedia Subsystem (IMS). In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. http://doi-org-443.webynp.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-58359-0_13
5. F. M. Wu, C. T. Lin, et al. "1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication Employing Carrier-Less Amplitude and Phase Modulation", IEEE Photonics Technology Letters, 2012.
6. G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella, "3.4-Gb/s visible optical wireless transmission based on RGB LED," Optics Express, 2012.
7. Y. Hong, J. Chen, Z. Wang, and C. Yu Photonics Journal, IEEE, vol. 5, pp. 7800211–7800211, 2013.
8. M. Biagi, A. Vegni, and T. D. C. Little, "Lat indoor mimo-vlc localize, access and transmit," in Optical Wireless Communications (IWOW), 2012 International Workshop on, pp. 1–3, Oct 2012.
9. M. Saadi, L. Wattisuttikulij, Y. Zhao, and P. Sangwongngam International Journal of Electronics & Informatics, vol. 2, 2013.
10. S. il Choi, "Analysis of vlc channel based on the shapes of white-light led lighting," in Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on, pp. 1–5, July 2012.

11. F. Porikli, "Inter-camera color calibration by correlation model function," in Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on, vol. 2, pp. II-133, IEEE, 2003.
12. Klemettila P., Oulun yliopistossa tutkitaan tiedonsiirtoa valolla, Kaleva, p. 3, 18 10 2014.

Litvinov Ye.A., Saichenko I.O. USING SOFTWARE DEFINED RADIO TO STUDY SIGNAL TRANSMISSION IN VISIBLE LIGHT

In the work, proposals have been developed for building a stand using GNU Radio for researching data transmission technology using visible light technology. Visible light communication (VLC) can be used to build high-bandwidth, high-speed wireless access networks. The main advantage of visible light communication is that RF signals are not obstructed. This makes it possible to use visible light communication in hospitals, on space stations, and so it makes it possible to communicate underwater. Security, simple implementation procedures and range characteristics, license-free, also increase the use of visible light communication for a variety of applications.

The aim of this work is to provide guidance on the design and implementation of a visible light communication test bench using software-defined radio.

The article describes the architecture of VLC, presents the possibilities of using Software Defined Radio as a starting point for developing commercial VLC applications

SDR technology provides a framework that can help drive programs to market, generate interest from industry players, and shorten the time to market for future compliant products. The key issues in the implementation of the VLC system is to ensure the ability to transmit data for an LED luminaire with minimal changes in its lighting characteristics and production costs. Thus, this implementation can be improved by narrowing the gap between the industry and the research community.

A prototype for visible light transmission was designed using software-defined radios to communicate between analog devices and the computer on which the signal is processed. Using this concept provides the system with sufficient flexibility and modularity to incorporate new features into a prototype without requiring a long development time.

Conducted testing of this platform, during which it was possible to transfer a text file.

It is concluded that this implementation of the visible light transmission stand can serve as a starting point for the development of low to medium bit rate commercial VLC applications.

Key words: *visible light communication, VLC, IEEE 802.15.7, software-defined radio, SDR, GNU Radio, USRP.*