

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Литвиненко О.Є.

«___» _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ
"БАКАЛАВР"

Тема: Моделювання процесу оброблення радіосигналу за технологією LoRa

Виконавець: _____ Кілюшик В.О.

Керівник: _____ Кучеров Д.П.

Нормоконтролер: _____ Тупота Є.В.

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціалізація 6.050102 "Системне програмування"
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Литвиненко О. Є.
« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи (проекту) Кілюшика Владислава Олеговича (прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема проекту (роботи): Моделювання процесу оброблення радіосигналу за технологією LoRa
затверджена наказом ректора від " " 20 року № /ст.

2. Термін виконання проекту (роботи): з .21 до .2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи): інформація про технологію LoRa, інформація про оброблення радіосигналів, мова програмування високого рівня, Microsoft Word.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

- 1) доцільність розробки програмного модуля;
- 2) оброблення ЛЧМ-сигналів;
- 3) проектування програмного модуля;
- 4) тестування програмного модуля.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

- 1) структура програмного модуля;
- 2) Use-case діаграма;
- 3) діаграма класів, послідовності додатку;
- 4) екранна форма інтерфейсу користувача;
- 5) приклад тест-кейсу.

6. Календарний план

<i>№ з/п</i>	<i>Завдання</i>	<i>Термін виконання</i>	<i>Підпис керівника</i>
1.	Аналіз літератури та джерел за темою дипломної роботи	24.05.2021р. – 26.05.2021р	
2.	Розроблення та затвердження плану дипломної роботи.	27.05.2021р	
3.	Приведення консультації з науковим керівником щодо створення першого розділу.	28.05.2021р.	
4.	Розробка розділу 1	29.05.2021р. – 30.05.2021р	
5.	Розробка розділу 2	31.05.2021р. – 01.06.2021р.	
6.	Розробка розділу 3	02.06.2021р. – 04.06.2021р..	
7.	Висновки та оформлення пояснювальної записки дипломного проекту.	05.06.2021р. – 08.06.2021р.	
8.	Підписання необхідних документів у встановленому порядку.	09.06.2021р. – 10.06.2021р	
9.	Підготовка до захисту та попередній захист дипломного проекту на випусковій кафедрі дипломного проекту	11.06.2021р. – 12.06.2021р.	

7. Дата видачі завдання _____

Керівник дипломного проекту _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випускника)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Моделювання процесу оброблення радіосигналу за технологією *LoRa*»: містить 49 сторінок, 36 рисунків, 20 наукових джерел.

СЕРВЕР, ШЛЮЗ, МОДУЛЬ, МЕРЕЖА, СИСТЕМА.

Актуальність: Для обслуговування ринку *IoT-Internet of Things* (інтернет речей) призначена технологія *LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)*, основними характеристиками якої є дотримання двох важливих умов: швидке і доступне за витратами розгортання мереж дальнього радіусу дії з можливістю надійної підтримки великої кількості з'єднань, і наявність пристроїв, оснащених батареями, здатними максимально довго тримати заряд.

Застосування бездротових систем управління і моніторингу є актуальною тенденцією для багатьох галузей. У тому числі такі системи активно впроваджуються в вуличне освітлення. Новий імпульс переходу на бездротові технології для даного застосування дало поява нової технології *LoRa*. І хоча вона розроблялася для вирішення більш широкого кола завдань, в результаті саме освітлення стало тим додатком, для якого переваги технології розкрилися найповніше.

Мета роботи: моделювати процес оброблення радіосигналу за технологією *LoRa*.

Виходячи з поставленої мети, були поставлені наступні **завдання**:

- аналіз обраної предметної області;
- дослідження процесу оброблення радіосигналу;
- вибір технологій і середовища розробки;
- моделювання процесу оброблення радіосигналу за технологією *LoRa*.

Предметом дослідження є процес оброблення радіосигналу.

Об'єктом дослідження є моделювання процесу оброблення радіосигналу за технологією *LoRa*.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЇ <i>LoRa</i>	9
1.1. Принцип роботи мережі <i>LoRa</i>	9
1.2. Перевага мережі <i>LoRa</i>	11
1.3. Сучасні розробки трансіверів <i>LoRa</i>	13
1.4. Обладнання, що використовується для обслуговування мережі	16
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЇ <i>LoRa</i>	26
2.1. Переваги технології з розширенням спектру	26
2.2. Цифрова фільтрація сигналів	29
2.3. Основні показники оброблення сигналів	30
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ	35
3.1. Побудова моделі в <i>Simulink</i>	35
3.2. Результати моделювання	39
3.3. Створення моделі для передачі повідомлення	40
3.4. Створення програмного модулю	42
3.5. Тестування програмного модулю	44
ВИСНОВКИ	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

LoRa – Long Range

LPWAN – Low-power Wide-area Network

M2M – Machine-to-Machine

ЛЧМ – лінійно-частотна модуляція

SF – коефіцієнт розширення спектру

BW – ширина спектру

CSS – Chirp Spread Spectrum

ВСТУП

Цифрова обробка сигналів (*ЦОС або DSP - digital signal processing*) є однією з новітніх і найбільш потужних технологій, яка активно проникла в широке коло областей науки і техніки: комунікації, метеорологія, радіолокація і гідролокація, медична візуалізація зображень, цифрове аудіо-та телевізійне мовлення, розвідка нафтових і газових родовищ, і багатьох інших. Можна сказати, що відбувається повсюдне і глибоке проникнення технологій цифрової обробки сигналів в усі сфери діяльності людства. Сьогодні технологія ЦГЗ відноситься до числа базових знань, які необхідні вченим і інженерам всіх галузей без винятку.

Вивчення принципів цифрової обробки сигналів не вимагає глибоких і всебічних знань з математики. Необхідно лише трохи досвіду в елементарній алгебрі, в способах декомпозиції (розкладання) довільних сигналів на складові і їх зворотного реконструкції. Чому ж предмет вважається складним для розуміння? Відповідь в тому, як матеріал подається для вивчення. Одна справа писати рівняння, але інше - пояснити їх значення з практичної точки зору. Саме в останньому і полягає мета даного курсу.

Фізичні величини макросвіту, як основного об'єкта наших вимірювань і джерела інформаційних сигналів, як правило, мають безперервну природу і відображаються безперервними (аналоговими) сигналами. Цифрова обробка сигналів оперує з дискретними величинами, причому з квантуванням як за координатами динаміки своїх змін (в часі, в просторі, і по будь-яким іншим змінним аргументів), так і за значеннями фізичних величин. Математика дискретних перетворень зародилася в надрах аналогової математики ще в 18 столітті в рамках теорії рядів і їх застосування для інтерполяції та апроксимації функцій, проте прискорений розвиток вона отримала в 20 столітті після появи перших обчислювальних машин. У своїх основних положеннях математичний апарат дискретних перетворень подібний перетворенням аналогових сигналів і систем. Однак дискретність даних вимагає врахування цього фактора, а його ігнорування може призводити до помилок. Крім того, ряд методів дискретної математики не має аналогів в аналітичній математиці.

Стимулом розвитку дискретної математики є і те, що вартість цифрової обробки даних менше аналогової і продовжує знижуватися, а продуктивність обчислювальних операцій безперервно зростає. Важливим є і те, що системи ЦГЗ відрізняються високою гнучкістю. Їх можна доповнювати новими програмами і перепрограмувати на виконання різних операцій без зміни обладнання. В останні роки ЦГЗ надає зростання впливу на всі галузі сучасної промисловості: телекомунікації, засоби інформації, цифрове телебачення тощо. Інтерес до наукових і до прикладних питань цифрової обробки сигналів зростає у всіх галузях науки і техніки.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТЕХНОЛОГІЇ *LoRa*

1.1. Принцип роботи мережі *LoRa*

Протокол *LoRa* на ринку мережевих додатків з'явився відносно недавно, але вже є багато прикладів застосування технології. На рис. 1.1 показано, як станція *LoRa* - проводить збір інформації з кінцевих вузлів. Вузли з допомогою шлюзів створюють невидимі мости, які з'єднуються з центральним сервером. Кінцеві вузли належать абонентам, а центральний сервер і шлюзи контролює оператор.

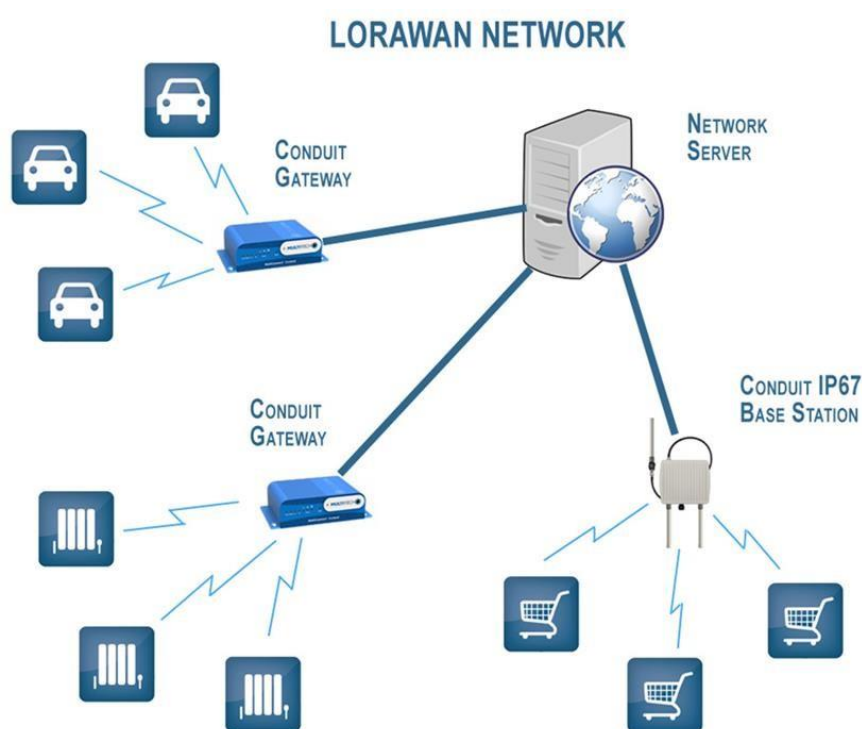


Рис.1.1. Типова бездротова мережа *LoRa*

Кафедра КСУ				НАУ 21 14 20 000 ПЗ			
<i>Виконав</i>	Кильошик В. О.			Основні поняття технології <i>LoRa</i>	<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	Кучеров Д. П.				Д	9	49
<i>Консульт.</i>					123 СП-435		
<i>Н- контроль.</i>	Тупота Є. В.						
<i>Зав. кафедри</i>	Литвиненко О. Є.						

По-перше бездротова мережа *LoRa* представляє собою сукупність шлюзів (*gateways*), які відправляють повідомлення між кінцевими пристроями (*end-devices*) і центральним сервером (*Network Server*), і характеризують себе «зоряною» топологією «*star-of-stars*».

По-друге *LoRa* це глобальна мережа. Тому головним завданням розробників є забезпечення захисту даних користувачів, які надходять до системи. Для досягнення безпеки даних користувачів проводиться кодування інформації на декількох рівнях, а саме: мережевий рівень, наскрізна безпека на рівні додатків.

Шлюзи іноді називають концентраторами і базовими станціями. Зв'язок шлюзів з центральним сервером відбувається з допомогою стандартних IP-з'єднань, а також через бездротові з'єднання. Весь процес призначений для надшвидкісної бездротової передачі даних в діапазонах частот на великі відстані. Зв'язок є двохстороннім, але основний обсяг даних передається від кінцевих пристроїв до шлюзів. Мережею *LoRa* передбачено використання декількох класів пристроїв. Кожен клас використовується для вирішення різних завдань в залежності від області застосування.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу А» (*Bi-directional end-devices, Class A*). Ці кінцеві пристрої які використовуються, коли потрібна мінімальна споживана потужність при передачі даних на сервер.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу Б» (*Bi-directional end-devices, Class B*). Відмінною особливістю від класу А є - додаткове вікно прийому. Пристрій відкривається за розкладом. Це означає, що передача даних з сервера буде здійснюватися тоді, коли кінцевий пристрій вийде на зв'язок. Складання розкладу для кінцевого пристрою здійснює синхронізацію по сигналах від шлюзів.

Двонаправлені кінцеві пристрої «класу С» (*Bi-directional end-devices, Class C*). Ці пристрої мають максимальне вікно прийому. Призначені для отримання великого обсягу даних і мають практично безперервне вікно прийому даних. Тому один шлюз мережі може обслуговувати близько п'яти тисяч кінцевих пристроїв.

1.2. Перевага мережей *LoRa*

Якщо застосовується передача даних без проводів, реалізація централізованого управління всіма вуличними світильниками, по крайній мірі, в межах населеного пункту, незалежно від щільності населення і статусу проходять через нього трас. У найпростішому випадку моніторинг зводиться до контролю наявності напруги на проводах, за якими харчування подається на групу світильників. Наявність напруги в моменти часу, коли світильники повинні працювати, і відсутність їх в моменти, коли вони повинні бути вимкнені, свідчить про правильність роботи реле. Оскільки реле є електромеханічним пристроєм, його несправність є однією з найбільш поширених причин, чому вночі не вмикається освітлення на деяких вулицях.

Мережі *LoRa* працюють в діапазоні частот, які не потребують ліцензування. Вони мають високу завадостійкість. Термін служби акумулятора близько 10 років. Одна базова станція обслуговує десятки тисяч пристроїв.

У мережі багато переваг.

Термін служби батареї. Обмін даними відбувається асинхронно і тільки тоді коли є необхідність. У звичайних мережах пристрої «прокидаються», синхронізуються з мережею, перевіряють повідомлення. Весь процес призводить до витрати електроенергії і зносу акумулятора. Термін служби батареї в 3-5 разів вище, ніж в інших технологіях.

Ємність мережі. Для того щоб забезпечити оптимальну роботу мережі шлюз повинен володіти дуже високою пропускну здатністю або отримувати інформацію з величезного числа кінцевих пристроїв. Велика ємність мережі *LoRa* досягається за рахунок використання самоналаштованої швидкості передачі даних, а також за рахунок використання багатоканального передавача в шлюзі. Це забезпечує одночасне отримання повідомлень на кількох каналах.

Шлюзи дають можливість по одному каналу одночасно отримувати інформацію з пристроїв з різною швидкістю передачі даних. Адаптивна швидкість передачі даних також збільшує час роботи акумулятора.

Мережі *LoRa* розгортаються з мінімальною кількістю інфраструктури. При збільшенні кількості пристроїв в мережі, можлива зміна швидкості передачі даних, а також збільшення кількості шлюзів.

Стійкість до радіоперешкод. Мережа має велику проникаючу здатність сигналу. Вона забезпечить стабільний зв'язок, де іншим технологіям не впоратися. Модеми *LoRa* може пригнічувати перешкоди до 19,5 дБ (Гауссова фільтрація). Ця можливість придушення перешкод дозволить використовувати систему в сучасному великому місті (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Архітектура мережей *LoRa*

Переваги *LoRaWAN*:

- Велика дальність передачі сигналу у порівнянні з іншими бездротовими технологіями, що використовуються для телеметрії, досягає 10-15 км.

- Низький рівень споживання енергії у кінцевих пристроїв, завдяки мінімальним витратам енергії на передачу невеликого пакета даних.
- Висока проникаюча здатність радіосигналу в міській забудові при використанні частот субгігагерцового діапазону.
- Висока масштабованість мережі на великих територіях.
- Відсутність необхідності отримання частотного дозволу та плати за радіочастотний спектр, внаслідок використання неліцензованому частот (*ISM band*).

Недоліки *LoRaWAN*:

- Відносно низька пропускна здатність, варіюється в залежності від використовуваної технології передачі даних на фізичному рівні, становить від кількох сотень біт / с до декількох десятків кбіт / с.
- Затримка передачі даних від датчика до кінцевого додатки, пов'язана з часом передачі радіосигналу, може досягати від декількох секунд до декількох десятків секунд.
- Відсутність єдиного стандарту, який визначає фізичний шар і управління доступом до середовища для бездротових *LPWAN*-мереж.
- Ризики зашумленості спектра неліцензійного діапазону частот.
- Технологія модуляції *LoRa*, «закрита» патентом *Semtech*.
- Обмеження потужності сигналу.

1.3. Сучасні розробки трансіверов *LoRa*

Трансівер містить передавач, де основні функціональні вузли (гетеродина, підсилювачі, фільтри та інше) здійснюють роботу в двох напрямках (прийом \ передача). Подібний процес вимагає узгодження прийомних і передавальних частот. За рахунок представлених особливостей будови і реалізації переговорного

процесу, в трансивері присутньо менше органів управління, що істотно полегшує всю конструкцію.

Отже, кожен трансивер містить передавач, але далеко не кожен передавач є трансивером. Хоча, справедливості заради, варто відзначити, що в даний час радіостанції все частіше створюються за трансиверною схемою (з об'єднаними оперативними вузлами).

Трансивер переваги:

- невелика вартість і легка вага (це обумовлено простою конструкцією, де немає великої кількості елементів);
- стабільниц зв'язок в несприятливих погодних умовах (ні проливний дощ, ні щільний туман, ні перепади температури не завадять вести переговори);
- мобільність (компактні габарити дозволяють трансиверу завжди перебувати під рукою, наприклад в походах).

LoRaWAN-трансивер, який складається з приймача, реалізованого на базі технології *LoRa*, антенного такту і безпосередньо самої антени. Завдяки радіотрансиверу здійснюється радіозв'язок з *LoRaWAN* шлюзом, а також підключення кінцевого пристрою до *LoRaWAN* мережі;

Сам по собі процес роботи трансивера зовсім не складний і будь-який радіоаматор знає його досить добре. Схематично це виглядає так: антена приймального елемента ловить вхідні електромагнітні сигнали, які відразу передаються на джерело змінного струму і там проходять первинну обробку від шумів. Після цієї процедури сигнал проходить подальше очищення за допомогою спеціальних фільтрів, підсилювачів та інше. На даному етапі відбувається виокремлення та посилення необхідної інформації. Далі в роботу вступають генератори і синтезатори частот, саме вони забезпечують рух сигналу і, в залежності від необхідності, змінюють довжину хвилі, виконують перетворення частот і тд. В кінцевому підсумку модифікований сигнал надходить на передавач.

Як видно зі схеми, крім двох основних елементів, в трансивері знаходиться ще ряд функціональних вузлів, які проводять усі внутрішні операції з сигналами.

Генератор. З його допомогою трансивер підсилює слабкі сигнали і поліпшує якість надходять хвиль.

Частотний синтезатор. Він генерує високоточні сигнали для їх поширення на більші території.

Частотний конвертор. Головним завданням даного вузла є перетворення частот, якщо того вимагають обставини. Наприклад, при передачі хвиль на пристрої з іншою частотною сіткою.

Трансивери дуже зручно як підключати, так і потім використовувати. Досить вбудувати їх в плату адаптера або змонтувати на кабель у вигляді окремого блоку. Скажімо, трансивер виду *gls-lh-sm* в змозі передавати по оптичних лініях сигнал на відстань від п'яти сотень метрів до десятка кілометрів. Більш того, у цій моделі - розширений температурний діапазон (вилка) експлуатації. Як бачимо, достоїнств у нього маса. А значить, в даний час це - ідеальне рішення при побудові мережі.

Існують, крім того, оптичні трансивери, що конвертують сигнал в зовнішнє транспортну середовище з середовища мережевого пристрою (внутрішніх мікросхем). Така новинка робить можливим здійснення побудови мережі з передачею даних. Представлена оптична модель декількома модулями. Це *X2*, *XENPAK*, *XFP*, *SFP*. Вони оптимізовані для роботи з різними протоколами передачі даних. Подібний трансивер може бути вбудованим в мережевий пристрій, так і змінний.

1.4. Обладнання, що використовується для обслуговування мережі

З розвитком технологій «Інтернету речей» ми все більше стикаємося з необхідністю впровадження найбільш ефективної бездротової мережі. Існуючі технології не можуть забезпечити зростаючі потреби.

Мета такої технології надання якісного зв'язку з передачі інформації. Важливим моментом є вибір обладнання. Чим правильніше підбір, тим надійніше функціонування мережі. Так само важливий момент полягає в тому що потрібно передбачити подальшу модернізацію. Цей напрямок дуже популярний серед виробників технологій Інтернету речей. Ринок пропозицій великий, про що вже говорилося вище.

У нашій країні представником виробництва обладнання *LoRa* є компанія «Оріон Система». Компанія виробляє радіомодулі, базові станції, а також розробляє програмне забезпечення *Orion Network Server*. У роботі представлено обладнання, вироблене цією компанією і вже зарекомендувало себе. Також представлено обладнання, вироблене іншими виробниками.

Базові станції, виробництва *ORION* призначені для передачі різних даних по каналу радіозв'язку від датчиків, приладів обліку, вуличного і домашнього освітлення, приладів навігації, систем сигналізацій по протоколу *LoRa*. Інформація передається на центральний сервер.

За допомогою налаштованої базової станції дуже легко наростити мережу. Потрібно просто налаштовану базову станцію підключити через інтернет. Станція повинна займати домінуючу висоту. Якщо ще одна базова станція буде розташована вище, то станція буде простоювати і займати місце в ефірі. Так що встановлюючи базові станції необхідно розрахувати їх кількість на територію (рис. 1.3, рис.1.4).



Рис. 1.3. Шлюз *LoRa*



Рис. 1.4. Базова станція *ORION gateway*

Модулі.

Модулі - це інформаційні ресурси, підключені до програми. Вони об'єднують пов'язані ресурси і можуть містити опис змінних і підпрограм.

Розробники для збільшення дальності каналу зв'язку, а також зменшення вартості виробу пропонують модулі з підтримкою технології *LoRaTM* на основі вдосконаленого методу широкосмугового модуляції.

Застосування модулів дає наступні переваги: зниження критичності до розладу по частоті і підвищення чутливості приймача. У режимі прийому ці модулі характеризуються низьким енергоспоживанням.



Рис. 1.5. Модулі

Сенсори і датчики.

В сучасних пристроях датчики є невід'ємною частиною. З їх допомогою регулюються, управляються і вимірюються всі процеси. Датчики перетворюють будь-яку величину в потрібний сигнал.

Величина може визначати тиск, рух, швидкість, струм, витрати і ін. Вона перетворюється в оптичний, електричний або інші сигнали, які зручні для вимірювання, перетворення і зберігання інформації. Датчик- це пристрій, який перетворює вхідну дію фізичної величини в сигнал, зручний для подальшого використання. [12]

Далі на рисунку 1.6 представлені датчики, які використовують для обслуговування мереж *LoRa*.



Датчик парковки



Датчик передачі тиску



Датчик вуличної освітленості



Датчик температури



Датчик обліку води

Рис. 1.6. Різноманітні датчики

Сенсори *LoRa* мають можливість передачі інформації на великі відстані. Дальність в сприятливому середовищі досягає 100 кілометрів. Якщо ж це сільська

місцевість або невелике місто, то до 15 км, а в сучасному мегаполісі 2-3 км. Швидкість обміну даними від 300 біт / с до 100 Кбіт / с.

Сенсори найбільш підходять для передачі малих обсягів інформації. До того ж вони споживають дуже мало енергії і це дає їм безперерійно працювати до 10 років, живлячись від 1 акумулятора.

Сенсори є пристроями для вимірювання фізичного або хімічного параметра. Вони перетворюють потрібний параметр в зручний для використання сигнал, частіше електричний.



Рис. 1.7. Сенсор *LoRa*

На рисунку представлений температурний сенсор класу А. Він може працювати від батареї до 20 років.



Рис. 1.8. Температурний сенсор з аналоговими входами

На рисунку 1.9 представлений мініатюрний *GPS* трекер. Це пристрій займає особливе місце серед способів отримання інформації. Прилад використовується в різних сферах. *GPS* трекер (маячок, мітка) легко визначить місце розташування і передасть координати на сайт сервера. За допомогою повідомлення на ваш телефон або додатку для смартфона можна без проблем дізнатися розташування об'єкта, якщо на ньому встановлений маячок. Трекер може виконувати і охоронну функцію. За його командою можна заблокувати двигун автомобіля в разі спроби викрадення.



Рис. 1.9. *GPS* трекер и принцип його роботи

За сигналом з супутника пристрій визначить місце розташування об'єкта, передасть географічні координати з точністю до 10 метрів.

Пристрої для тестування мереж *LoRa™*. Тестери здійснюють перевірку параметрів мереж. Як правило у них вбудований акумулятор. Тому вони можуть працювати без підживлення кілька годин. Тестер відправить по мережі сигнал і після цього мережа відповість скільки базових станцій прийняло цей сигнал, і так же само надасть звіт про якість сигналу. З його допомогою оптимально розміщуються базові станції при розгортанні мережі, здійснюється їх налаштування. Тестер швидко аналізує дані про роботу мережі, радіопакет в мережах, роботи датчиків. Вся інформація відображається на його екрані. Тестери можуть працювати в умовах вкрай високих і вкрай низьких температур (рис 1.10)

Нижче представлений тестер з літій-іонним акумулятором. Час його автономної роботи близько 20 годин. У нижній частині пристрою є *USB*-роз'єм, через який підключається зарядний пристрій.



Рис. 1.10.Тестер *LoRa*

Вже зазначалося раніше, що мережі *LoRa* вигідно виглядають на тлі інших мереж. Їх перевага: великий радіус дії і тривалий термін роботи вузлів без обслуговування. Застосування таких економічних мереж робить їх досить привабливими в багатьох сферах життя. На сучасному етапі *LPWAN*-мережі, що базуються на *LoRa*, стали досить поширеними в багатьох країнах світу. Їх використовують уже більш ніж в 40 країнах.

Спектр застосування *LoRa* досить великий. Найперспективнішим напрямком вважається «Розумне місто». З огляду на особливості технології, простір для застосування неосяжний. Урбанізація йде швидкими темпами, і проблеми міст збільшуються. Застосування технології в системі ЖКГ саме затребуване і перспективне. Бездротові інтелектуальні лічильники допоможуть організувати облік і допоможуть заощадити ресурси. З їх допомогою можна організувати моніторинг витоків води, газу, електроенергії, а так же контролювати їх витрати.

За допомогою мереж *LoRa* можна управляти системою «Розумний будинок». За допомогою програми на смартфоні власники і екстрені служби будуть моментально повідомлені про задимлення, пожежі та інших екстрених ситуаціях. Крім цього, технологія дозволяє подбати і про комфорт людей. Додаток Розумний транспорт дозволить заощадити масу часу, датчики встановлять сприятливу температуру повітря і вологість приміщень. *LoRa* попередить про стан погоди і атмосферному тиску, камери відеоспостереження зроблять життя городян безпечніше.

Перспективно використовувати такі мережі і в промисловості. Мережі *LoRa* можуть працювати в ізольованих умовах, тому вони можуть бути розгорнуті у віддалених районах, в морі. *LoRa* - супутниковий зв'язок допоможе стежити за станом робочих систем і механізмів підприємства. Це допоможе уникнути простоїв через поломки і матеріальних втрат.

У сільському господарстві датчики відслідковують стан ґрунту, вологість повітря і ґрунту, кількість застосовуваних добрив. Система сама займається зрошенням висихаючих ділянок, причому уникне і перезволоження, що значно заощадить витрати води.

Безліч перспективних проектів ще тільки чекають свого впровадження. Сфери застосування не обмежуються перерахованими. Зараз йде впровадження протоколу в медицині, транспорті, управлінні відходами, управлінні вуличним освітленням і в багатьох інших сферах життя

Висновки до розділу

Технологія *LoRa* значно підвищує чутливість приймача і, аналогічно іншим методам модуляції з розширеним спектром, використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до каналних шумів і нечутливим до зсувів, викликаних неточностями в налаштуванні частот при використанні недорогих опорних кварцових резонаторів. Модем *LoRa* на суміщеному *GMSK*-каналі має можливість придушення перешкод до 19,5 дБ (за

рахунок гаусової фільтрації). Іншими словами, він може приймати і демодулювати сигнали на 19,5 дБ нижче рівня перешкод або шумів. Цей імунітет до перешкод дозволяє використовувати просту і недорогу систему з *LoRa* модуляцією в тих місцях, де є важка спектральна обстановка, або в гібридних системах зв'язку. У цих випадках використання технології *LoRa* дозволяє розширити діапазон покриття зв'язку, в той час як інші варіанти модуляції тут виявляються безсилями.

Вихідна потужність безпосередньо на виході чіпа дорівнює +20 дБм, а на антені, після узгодження та фільтрації, в результаті неминучих втрат вона становить вже +19 дБм \pm 0,5 дБ. Різні держави і навіть їх регіони мають різні правила для максимально допустимої потужності. Щоб досягти дозволеного максимуму і, відповідно, максимальної зони покриття, протокол *LoRaWAN* дозволяє встановити різні значення вихідної потужності, прийнятні для різних місць використання системи [5].

Завдяки своїй високій чутливості технологія *LoRa* підходить до пристроїв з вимогами низького споживання енергії і високої стійкості зв'язку на великих відстанях.

РОЗДІЛ 2

ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ LORA

2.1 Переваги технології з розширенням спектру

1. Придушення перешкод

За визначенням білий гаусів шум - це математична модель шуму нескінченно великої потужності, рівномірно розподіленого по всьому спектру частот. Наявність такого шуму не обов'язково означає відсутність ефективного зв'язку, оскільки інтерпретувати з сигналом можуть лише шумові складові обмеженою потужності, що знаходяться в сигнальному просторі (іншими словами, мають ті ж координати, що і компоненти сигналу). Інші складові ефективно відсіваються детектором.

Для типового вузькосмугового сигналу це означає, що характеристики зв'язку погіршують тільки шуми, що знаходяться в діапазоні сигналу. Оскільки спочатку методи розширеного спектру розроблялися для військових систем зв'язку, що працюють при підвищеному рівні перешкод, створюваних противником, спочатку буде розглянута стійкість даних методів.

Розглянемо основний принцип застосування розширеного спектру для створення перешкодостійких систем зв'язку. Припустимо, що для передачі сигналу можна використовувати безлічі ортогональних координат (або вимірювань), причому в кожен момент часу використовується тільки мала їх частина. Припустимо також, що станція-постановник перешкод не здатна визначити підмножину координат, що використовується в даний момент. Кількість координат для сигналу з шириною смуги W і тривалістю T буде приблизно дорівнювати $2WT$ [2].

При певній побудові системи ймовірність помилки в ній буде описана функцією E_b / N_0 .

Кафедра КСУ				НАУ 21 14 20 000 ПЗ			
Виконав	Кильошик В. О.			Оброблення сигналів за технологією LoRa	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Кучеров Д. П.				Д	26	49
Консульт.					123 СП-435		
Н- контроль.	Тупота Є. В.						
Зав. кафедри	Литвиненко О. Є.						

При наявності білого гаусового шуму нескінченно великої потужності використання розширення (тобто великих значень $2WT$) не покращує якості зв'язку.

У той же час, якщо шум походить від постановника перешкод з постійною кінцевої потужністю і не можна точно встановити координати сигналу в просторі сигналів, то для придушення сигналу можна використовувати тільки такі методи.

1. Створення перешкод рівній потужності у всьому сигнальному просторі. У такому випадку потужність перешкод на кожній координаті буде невеликою.

2. Створення перешкод більшої потужності для невеликої кількості координат діапазону (більш загальний випадок - створення перешкод різної потужності для всіх координат діапазону).

2. Зниження щільності енергії.

Уявімо собі ситуацію, коли сигнал в процесі зв'язку не повинен бути отриманий ніким, окрім певного приймача. Пристрої, які використовуються в таких випадках, називаються системами зв'язку з низькою ймовірністю виявлення (*LPD - low probability of detection*) або ж системами з низькою ймовірністю перехоплення (*LPI - low probability of intercept*). Основною особливістю цих систем є мінімальна ймовірність виявлення сеансу зв'язку будь-ким, крім певного приймача, при використанні мінімальної потужності сигналу і оптимальної схеми передачі.

Отже, в контексті систем зв'язку розширеного спектра розподіл по безлічі координат призводить до того, що сигнал більш рівномірний і менш щільний (в порівнянні з традиційними схемами модуляції) розподіляється в заданій області спектра. Таким чином, не тільки підвищується стійкість сигналу, але і знижується ймовірність його перехоплення. Для того, хто не має в своєму розпорядженні синхронізованою копією розширеного сигналу, даний сигнал буде губитися в шумі.

3. Висока тимчасова роздільна здатність

Сигнали розширеного спектру можуть використовуватися для визначення місця розташування. Як впливає з рис. 2.1, похибка такого виміру, прямо пропорційна часу наростання сигналу, яке, в свою чергу, обернено пропорційно ширині смуги сигналу.

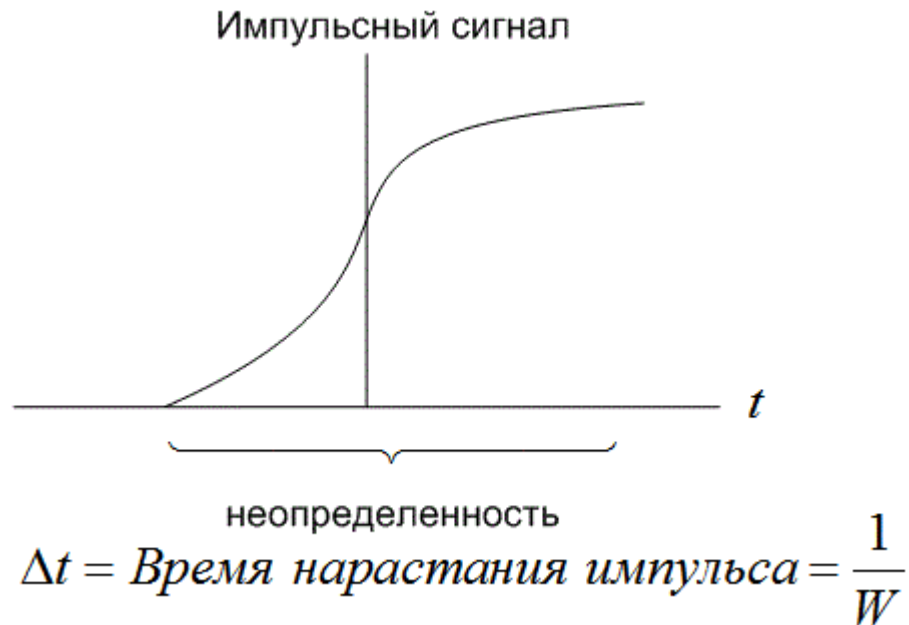


Рис. 2.1. Вимірювання часу затримки поширення

Точність вимірювання відстані може бути підвищена за рахунок збільшення ширини смуги сигналу. При використанні гауссового каналу результат, отриманий шляхом одноразового вимірювання одиничного імпульсного сигналу, не буде достатньо точним. Метод розширеного спектра передбачає застосування кодованого сигналу, що складається з довгої послідовності змін полярності (наприклад, сигнал з модуляцією *PSK*). У приймачу отримана послідовність зіставляється з локальною копією, і результати такого зіставлення дозволяють зробити точний вимір відстані.

4. Множинний доступ

Методи розширеного спектру застосовуються в системах зв'язку множинного доступу для управління спільним використанням ресурсу зв'язку великим числом користувачів. Даний метод називається множинним доступом з кодовим поділом (*code-division multiple access - CDMA*). Однією з особливостей *CDMA* є збереження конфіденційності зв'язку між користувачами, що мають різні сигнали розширеного спектру. Відстеження сеансу зв'язку буде непростим завданням для користувача, який не має доступу до певного сигналу. Більш детально це питання буде розглянуто пізніше.

2.2. Цифрова фільтрація сигналів

Найбільш поширеними лінійними елементами систем цифрової обробки сигналів є цифрові фільтри (ЦФ). Великий інтерес до цифрових фільтрів пояснюється рядом переваг цих фільтрів в порівнянні з аналоговими. Зупинимося на найбільш важливих з них:

- ЦФ не мають реактивних елементів і тому при їх розробці виключаються всі проблеми, пов'язані з точністю виготовлення і стабільністю цих елементів;

- ЦФ можна виконувати на інтегральних схемах або у вигляді невеликого числа (або навіть однієї) інтегральних субсистем. Отже, такі фільтри можуть бути економічними і мати малі розміри;

- в тих випадках, коли для обробки сигналів застосовується комп'ютер, що працює в реальному масштабі часу, ЦФ можуть бути запрограмовані на ньому. Така реалізація ЦФ особливо зручна, коли комп'ютер використовується для моделювання динамічної системи;

- характеристики ЦФ прогнозуються і виконуються з високою точністю;

- характеристичні частоти ЦФ залежать від зовнішньої тактової частоти. Змінюючи цю частоту, можна легко перебудувувати фільтр. Можна також легко змінювати і інші параметри фільтру (наприклад, ширину смуги пропускання), що дає можливість використовувати їх в адаптивних і стежать системах;

- ЦФ мають високу стабільність, яка визначається стабільністю генератора тактової частоти. Це дозволяє реалізувати фільтри з дуже високою добротністю або надзвичайно великими постійними часу;

- ЦФ можна виконувати з лінійними фазовими характеристиками, що важливо в тих випадках, коли треба мати постійну затримку на всіх частотах або хорошу імпульсну характеристику;

- при розробці ЦФ не виникає проблем, пов'язаних з фізичною реалізацією негативних індуктивностей. Це дозволяє мати значно більшу різноманітність структур фільтрів;

- при розробці ЦФ не виникає завдання узгодження навантажень;
- переваги ЦФ особливо видно на наднизьких частотах, де габарити аналогових фільтрів неприпустимо великі;
- ЦФ не мають дрейфу, властивого активним фільтрам;
- в разі реалізації фільтрових гребінок один керуючий пристрій і один арифметичний блок можуть обслуговувати для багатьох ЦФ, що дає суттєву економію обладнання.

У той же час слід мати на увазі, що на відміну від аналогових фільтрів, робота ЦФ супроводжується утворенням специфічного шуму за рахунок недостатньо чіткого обмеження смуги частот вхідного аналогового сигналу, неточного визначення частоти дискретизації і застосування квантування, а також з-за неминучого округлення чисел при проведенні обчислень. Області застосування ЦФ в значній мірі визначаються можливою швидкодією використовуваних обчислювальних засобів.

Схеми цифрової фільтрації описуються за допомогою різницевих рівнянь подібно до того, як схеми аналогової фільтрації описуються за допомогою диференціальних рівнянь. Для вирішення різницевих рівнянь і синтезу ЦФ зручно використовувати математичний апарат. Перетворення, що виконує в дискретному аналізі ту ж роль, що і перетворення Лапласа в безперервному аналізі.

Деякі типи ЦФ можна розглядати як апроксимацію відомих аналогових фільтрів, але в загальному випадку ЦФ становлять значно ширший клас пристроїв, і їх можна проектувати безпосередньо, не спираючись на аналогові прототипи. В останньому випадку можна створити ЦФ, що не мають подібних серед аналогових фільтрів.

Математична теорія ЦФ переносить на випадок дискретних сигналів всі основні положення теорії лінійних систем, що перетворюють безперервні сигнали.

2.3 Основні показники оброблення сигналів

Основні технічні показники

На вході приймача, крім корисного сигналу діють різного роду зовнішні перешкоди, а так само перешкоди, створювані всередині його, що утрудняють прийом з необхідною вірністю.

Залежно від походження ці дії, що відрізняються від корисних сигналів можна розділити на:

- перешкоди від заважаючих радіостанцій, які можна вважати вузькосмуговими, створюють на його виході крім корисних, сигналів сусідніх по частоті каналів. А в приймачах супергетеродинного типу так само перешкоди по дзеркальному каналу, каналу прямого проходження, обумовлених недостатньою вибірковістю радіотакта;

- атмосферні перешкоди зобов'язані своїм походженням в основному атмосферній електриці і, що володіють широким спектром, справляють істотний вплив на параметри корисного сигналу в діапазоні низьких (30 .. 300 кГц), середніх (300 ... 3000 кГц) і нижньої частини високочастотного (3 ... 30 МГц) діапазонів;

- індустриальні перешкоди, створювані пристроями, що утворюють іскри в робочому циклі (широкосмуговий спектр);

- космічні перешкоди, джерелами яких є Сонце і окремі райони Галактики створюють перешкоди шумового характеру системам зв'язку радіонавігації і радіолокації;

- шуми атмосфери, що носять флуктуаційний характер, і викликають розсіювання або поглинання сигналу на молекулах води і кисню; шуми теплового випромінювання Землі;

- шуми антени, обумовлені хаотичним (тепловим) рухом носіїв зарядів в провіднику, що володіють опором (втратами);

- власні шуми підсилюючих елементів.

Основні технічні характеристики приймачів, які потрібно забезпечити, як і способи їх досягнення, досить добре відомі [1,2]. Однак перехід до цифрових методів обробки сигналу, широкому впровадженню систем рухомого зв'язку, Інтернету, освоєння нових способів модуляції і демодуляції, привели до появи нових показників і необхідності розширеного опису відомих.

Розглянемо основні характеристики, джерела і моделі джерел шуму і їх кількісну оцінку.

Однією з найважливіших електричних характеристик радіоприймача є чутливість - здатність приймача приймати слабкі сигнали. Кількісно чутливість оцінюється мінімальною ЕРС в антені, напруженістю електричного поля поблизу приймачної антени E або номінальною потужністю РЛЮ нормально модульованого сигналу, при яких на виході приймача сигнал відтворюється з необхідною якістю. Під необхідною якістю зазвичай розуміють або отримання заданого рівня сигналу на виході приймача при певному відношенні потужності сигналу до потужності шумів, або забезпечення одного з імовірнісних критеріїв прийому сигналу.

Очевидно, що чутливість залежить від посилення сигналу в приймачі і зростає, коли рівень сигналу на виході приймача збільшується зі зростанням посилення, що дійсно справедливо при малих рівнях вхідного сигналу. Однак зі зростанням посилення приймача рівень шумів на його виході збільшується, що обумовлено переходом активних компонентів вузлів радіотакта в нелінійний режим, що супроводжується виникненням додаткових частотних складових. В цьому випадку, навіть при синусоїдальному характері вхідного впливу, що виникли додаткові гармонійні складові в сукупності формуватимуть випадковий процес (шум), що зменшує відношення на виході. Таким чином, чутливість при заданій якості прийому обмежена посиленням радіотакта.

У реальних умовах, що особливо характерно для приймачів сучасних систем мобільного зв'язку третього і четвертого покоління, *UWB*, систем персонального супутникового зв'язку, рівень сигналу і перешкод, що діють на вході співмірні, то сигнал може бути не прийнятий. У цьому випадку збільшення посилення призведе не тільки до посилення сигналу, але і перешкод, і найменший рівень сигналу, який може бути прийнятий, не обмежуватимуть сигналом, а рівнем перешкод. Оскільки перешкоди можуть бути зовнішніми і внутрішніми, то навіть при відсутності зовнішніх перешкод на виході радіотакта завжди будуть присутні посилені внутрішні перешкоди, що носять в основному флуктуаційний характер. Рівень внутрішніх перешкод визначає межу чутливості приймача.

У діапазоні СВЧ основним видом перешкод є внутрішній шум приймача, проте це не дозволяє забезпечувати будь-яку бажану чутливість, оскільки антена є не тільки джерелом сигналу, а й джерелом шуму. Еквівалентна схема налаштованої антени повинна містити разом з генератором ЕРС сигналу генератор шумовий ЕРС.

Таким чином, при конструюванні приймача використовують поняття реальної чутливості, під якою розуміють здатність приймача приймати слабкі сигнали при заданому відношенні сигнал / шум на виході радіотакта. Для цифрових систем радіозв'язку застосовується поняття порогової чутливості приймача - це мінімальна прийнята потужність, необхідна для досягнення прийняттого рівня характеристик, таких як максимальне значення ймовірності помилки на біт *BER* (*Bit Error Rate*).

У цьому діапазоні частот чутливість кількісно оцінюється номінальною потужністю РЛО нормально модульованого сигналу, при якому на виході сигнал відтворюється з необхідною якістю. Номінальною (максимальною) потужністю називають потужність, що розсіюється на вході приймача в режимі узгодження джерела сигналу, яким є антена R_A і входу чотириполюсника $R_{вх}$ ($R_A = R_{п} + \Gamma_{п}$, рис.2.2)

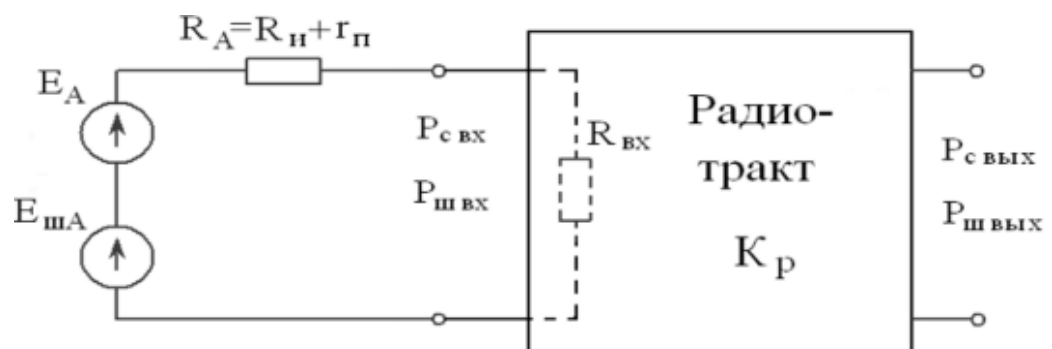


Рис. 2.2 Конструкція приймача

Коефіцієнт посилення радіотакта по потужності $K_p = P_{свих} / P_{свх}$. Під радіотакатом розуміють частину радіоприймача від його входу (місця підключення

антени) до входу детектора (демодулятора), що перетворює радіосигнал в аналоговий або цифровий.

Висновки до розділу

Розробка і впровадження технології *LoRa* для вузькосмугової передачі даних з розширеною зоною покриття суттєво посилила конкуренцію на ринку бездротових технологій *IoT* для стільникових технологій, які використовують ліцензовані смуги частот і вимагають використання *SIM*-карт.

В даний час *LoRa* має низку переваг за технічними параметрами, використання неліцензійного спектра, простоті регулювання, відсутності необхідності отримання ліцензії на надання послуг передачі даних. Однак необхідно мати на увазі, що, незважаючи на сьогоднішній успіх, *LoRa* вже має серйозні альтернативи на ринку як серед технологій радіодоступу мереж *IoT / M2M*, так і мобільного зв'язку. Вона може стати в майбутньому нішою в результаті наближення конкуренції з стільниковими технологіями радіодоступу для мереж *IoT / M2M - NB-IoT i LTE Cat.0* - внаслідок дешевизни, ефекту масового виробництва, кращого інвестиційного та бізнес-потенціалу останніх.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ

3.1. Побудова моделі в *Simulink*

Імітаційна модель бездротової передачі даних за технологією *LoRa*, спроектована в програмному середовищі *MATLAB Simulink* представлена на рис. 3.1. Модель мережі містить в собі цифровий приймач (*Digital Receiver*), цифровий передавач (*Digital Transmitter*), радіоприймач прямого перетворення сигналів (*SimRF Direct Conversion RX*) та аналого-цифровий перетворювач (*ADC*) [8].

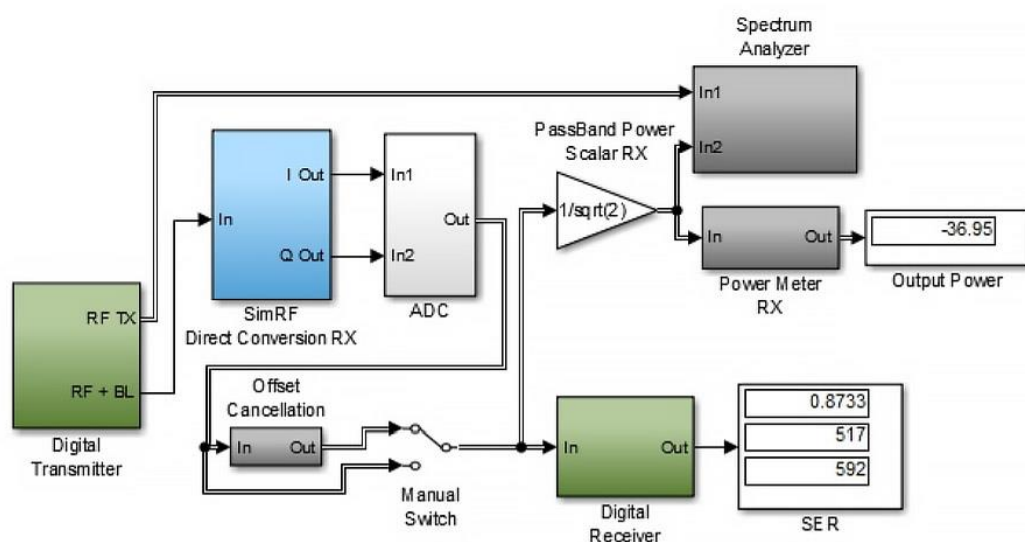


Рис. 3.1. Модель мережі

Цифровий передавач (*Digital Transmitter*) представлений на рис. 3.2. Передавач складається з двох ЛЧМ-сигналів, а саме: сигнал, що заважає (тобто містить шуми) та цільовий сигнал.

Кафедра КСУ				НАУ 21 14 20 000 ПЗ			
Виконав	Кильошик В. О.			Проектування програмного модуля	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Кучеров Д.П.				Д	35	49
Консульт.					123 СП-435		
Н- контроль.	Тупота Є. В.						
Зав. кафедри	Литвиненко О. Є.						

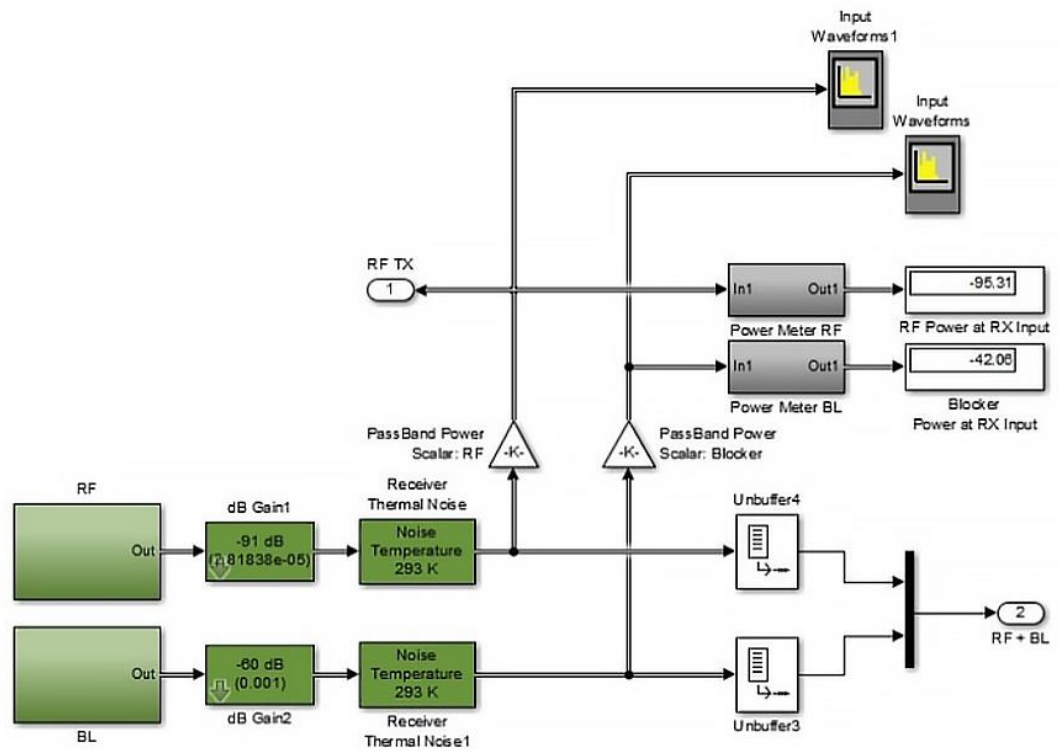


Рис. 3.2. Цифровий передавач

RF-приймач прямого перетворення зображений на рис. 3.3 містить блок перетворення частоти та два блоки посилення сигналу. Вихідний та вхідний опір системи прямого перетворення моделюють резистори. Також резистори моделюють ізоляцію між *RF*-портами (РЧ-сигнал від антени) та *LO* (сигнал гетеродина) змішувачів. Кожний блок фіксує радіоспотворення, що входять до конструкції. Моделюванням в середовищі *RF Blockset* мінімального рівня теплового шуму займається параметр *Temperature* в блоці *Configuration*, який вказує наявну шумову температуру 293,0 К.

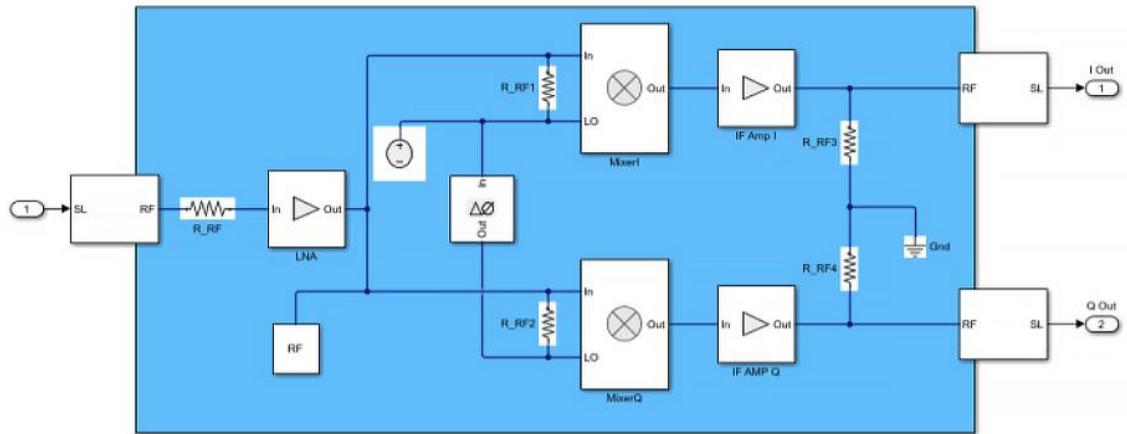


Рис. 3.3. *RF*-приймач прямого перетворення

Моделювання *ADC* відбувається при використанні 8-розрядного квантувача та ідеального семплера, за якими слідує так званий блок насичення, який застосовується для моделювання повного діапазону, безпосередньо зображеного на рис. 3.4. *ADC* впливає на характеристики цифрового приймача і вірно моделює мінімальний рівень квантування шуму в системі.

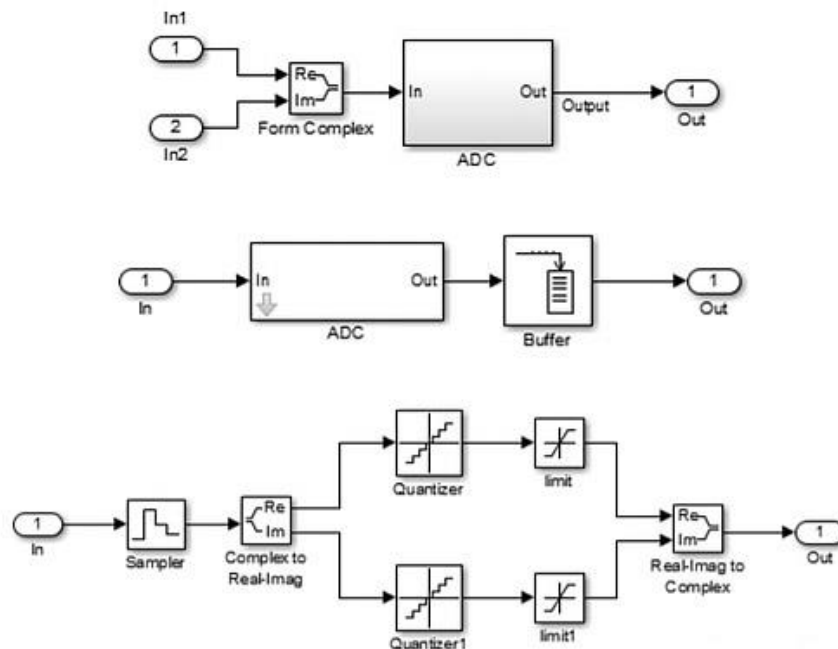


Рис. 3.4. Ідеальний семплер і квантувач

Узгоджений фільтр отриманого сигналу застосовує цифровий приймач, за ним слідує функція *AGC*, яка демодулює вхідний сигнал для того, щоб визначити помилки по символам і обчислити частоту. Приймач зображений на рис. 3.5.

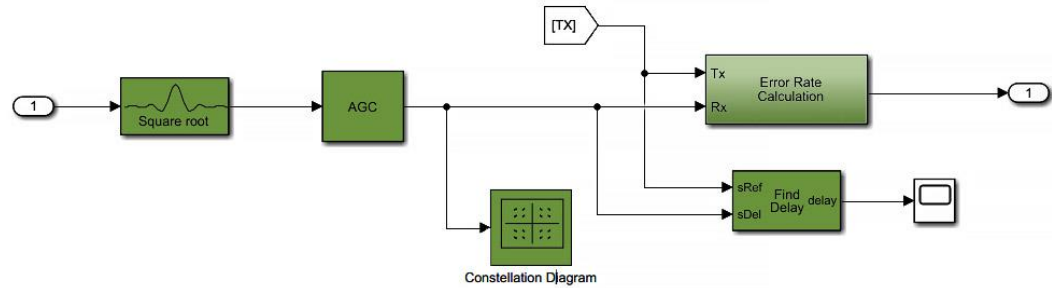


Рис. 3.5. Цифровий приймач

Спектр корисного сигналу системи, який випромінює цифровий передавач показаний на рис. 3.6. Спектр сигналу на вході приймача, який містить в собі корисний сигнал та корисний сигнал перешкод показаний на рис. 3.7.

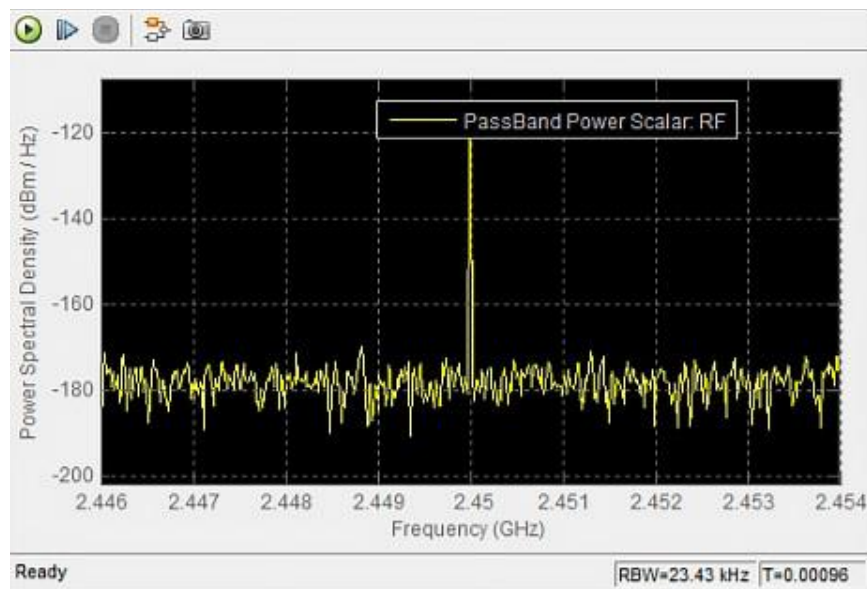


Рис. 3.6. Спектр корисного сигналу

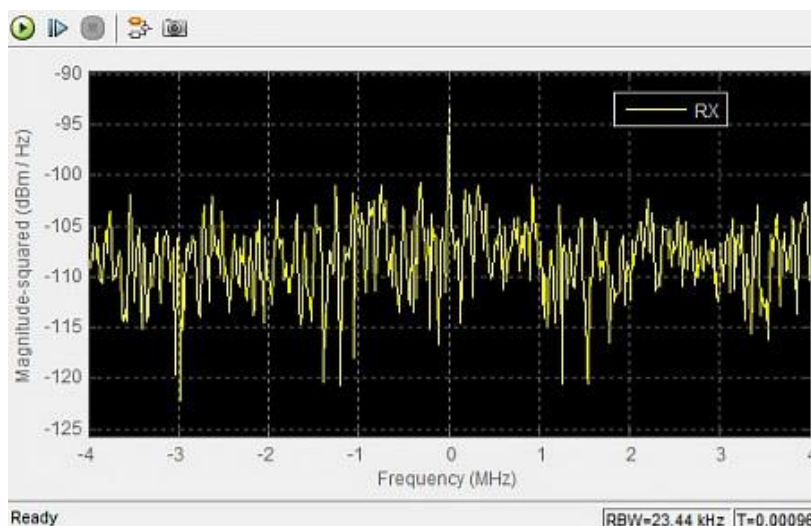


Рис. 3.7. Спектр корисного сигналу з перешкодами

3.2. Результати моделювання

Для того, щоб реалізувати програмний модуль, розроблена модель мовою *MatLab*. Вхідними параметрами були використані: координати джерела випромінювання (7000,2000,300), похибка проходження сигналу та координати п'яти точок. Дана модель може знаходити оцінки координат джерела радіовипромінювань. Результати п'ятиста вимірювань оцінок координат передавача зображені на рис. 3.8 у вигляді маркера «+», реальні координати (*IPI*) позначені маркером «•». За допомогою цієї моделі можна оцінити розкидання отриманих значень відносно істинних значень, отриманих в тривимірній системі координат.

Можна зазначити те, що результати були отримані різними вимірами, а головне вони не сходяться один з одним. Зумовлено це тим, що при проходженні сигналу внесено штучно для того, щоб моделювати в реальних умовах присутня похибка.

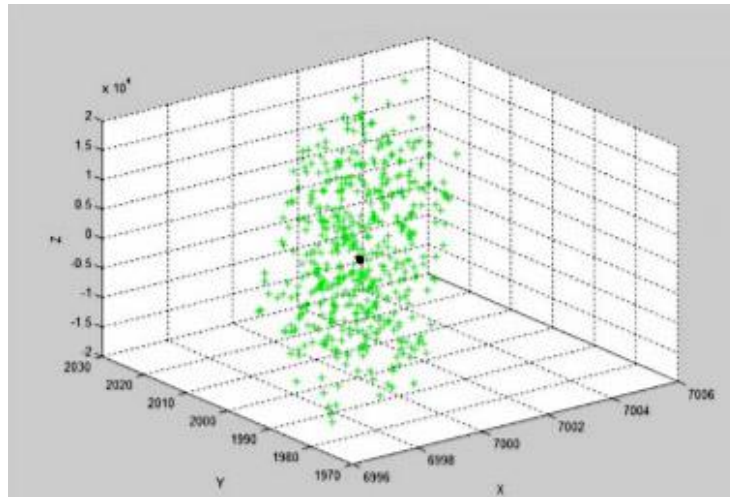


Рис. 3.8. Результати моделювання

3.3. Створення моделі для передачі повідомлення

Вхідними даними для моделі є *message* з середовища *Matlab*. Символьний вектор, з нульовим символом в кінці створює *ASCII Encoder*. Перед тим як сигнал буде проходити по каналу, сигнал моделюється. За допомогою *Raised Cosine Transmit Filter* збільшується частота дискретизації, далі фільтрується вхідний сигнал. Коли сигнал покидає канал, блок *Phase/Frequency Offset* зміщує частоту вихідного сигналу при застосуванні фази. Наступним кроком блок *QPSK Demodulator Baseband* займається демодулюванням сигналу. Сама модель показана на рис. 3.9.

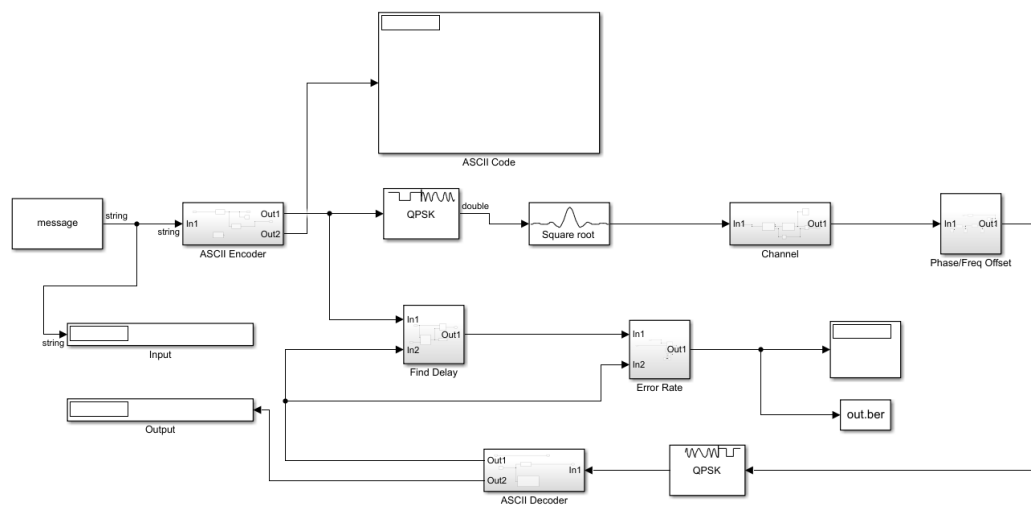


Рис. 3.9. Модель для передачі повідомлень

Щоб схема почала працювати створюємо змінну з текстом (рис. 3.10).

```
>> message = "message from input"
message =
    "message from input"
```

Рис. 3.10. Створення змінної

В той час, як модель запуситься блоки дисплею *Input* і *Output*, покажуть вхідне та вихідне повідомлення, які пройшли через канал зв'язку (рис. 3.11).

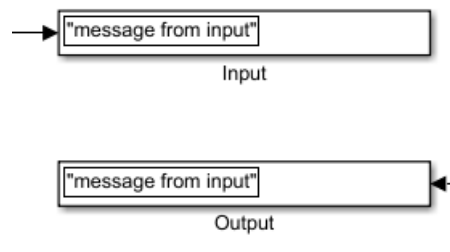


Рис. 3.11. Вхідне і вихідне повідомлення

BERTool це додаток який дозволяє проаналізувати продуктивність системи передавання даних по частоті бітових помилок (*BER*). Частота бітових помилок обчислюється відношенням сигнал/шум. На рис. 3.12 відображений графік частоти бітових помилок, сформований додатком *BERTool*.

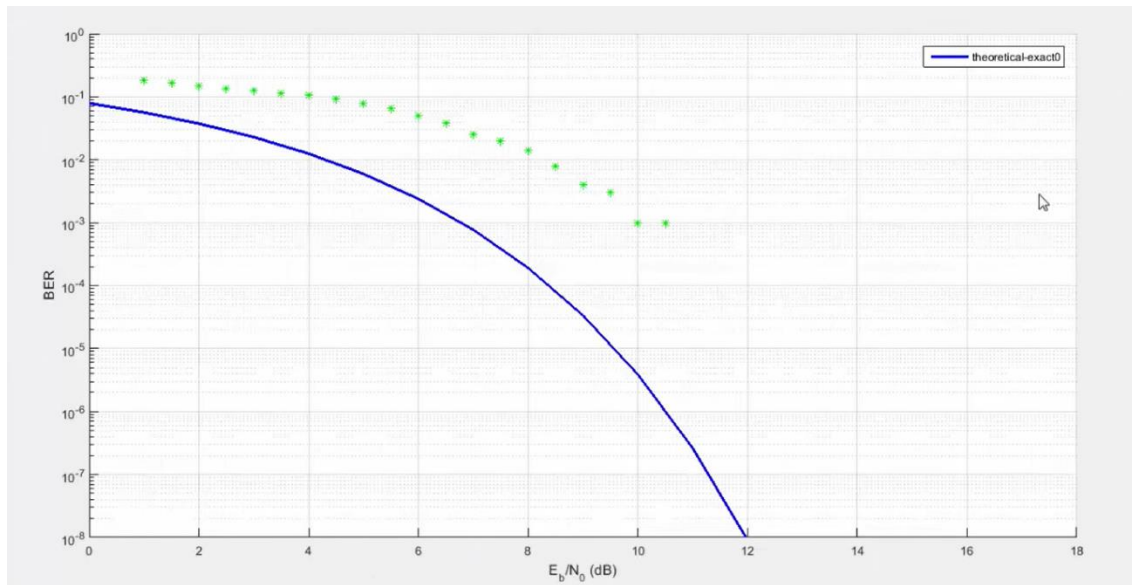


Рис. 3.12. Графік частоти бітових помилок

3.4. Створення програмного модулю

На рис. 3.13 зображена *Use-case* діаграма. Головними акторами на діаграмі є клієнт та сервер. Клієнт може: відкривати клієнтський сокет, підключатись до серверу, відсилати повідомлення, отримувати логи від серверу та закривати клієнтську сесію. Сервер може: створювати серверний сокет, підключити режим прослуховування, підтверджувати підключення клієнта, створювати потік комунікації з клієнтом, надсилати підтвердження читання повідомлення. Для кожного клієнта під'юченого до системи сервер створює потік обміну інформації з клієнтом. Сервер також може припинити як власну сесію, так і сесію клієнта.

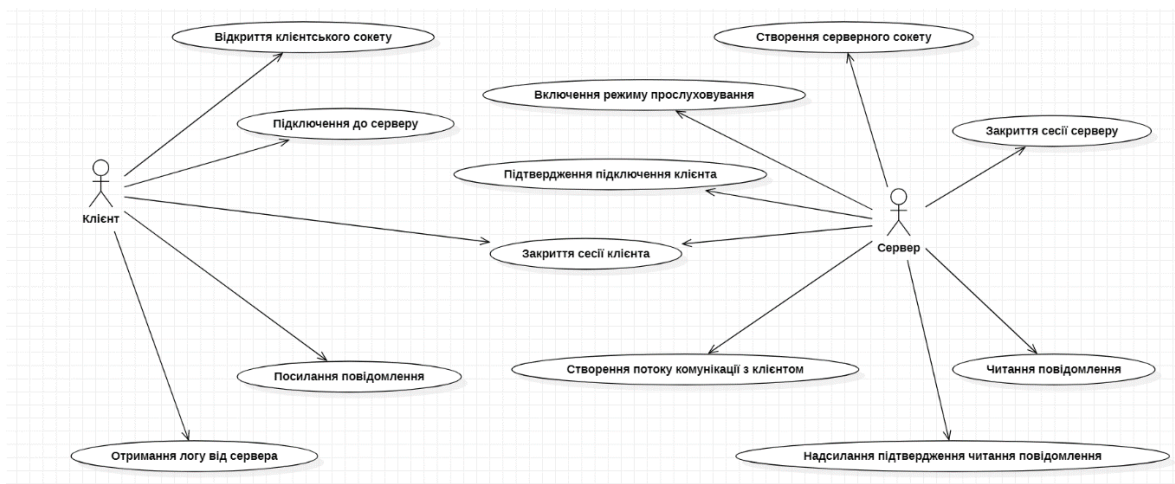


Рис. 3.13. *Use-case* діаграма

Для того, щоб реалізувати програмний модуль розроблені наступні класи мовою C++ (рис. 3.14):

- *LoRaServer* – містить в собі методи реалізації для операцій таких як налаштування серверу, підтвердження підключення клієнта, створення комунікації з клієнтом, отримання і обробка повідомлень від клієнта, закриття сесії;
- *LoRaClient* – реалізує налаштування клієнта, а саме: читання відповіді від серверу, відсилання повідомлень, закриття сесії;
- *LoRaClientRunner* – містить в собі функцію для клієнта, займається запуском всього функціоналу, реалізованого в класі *LoRaClient*.
- *LoRaServerRunner* – містить в собі функцію для сервера, займається запуском всього функціоналу, реалізованого в класі *LoRaServer*.

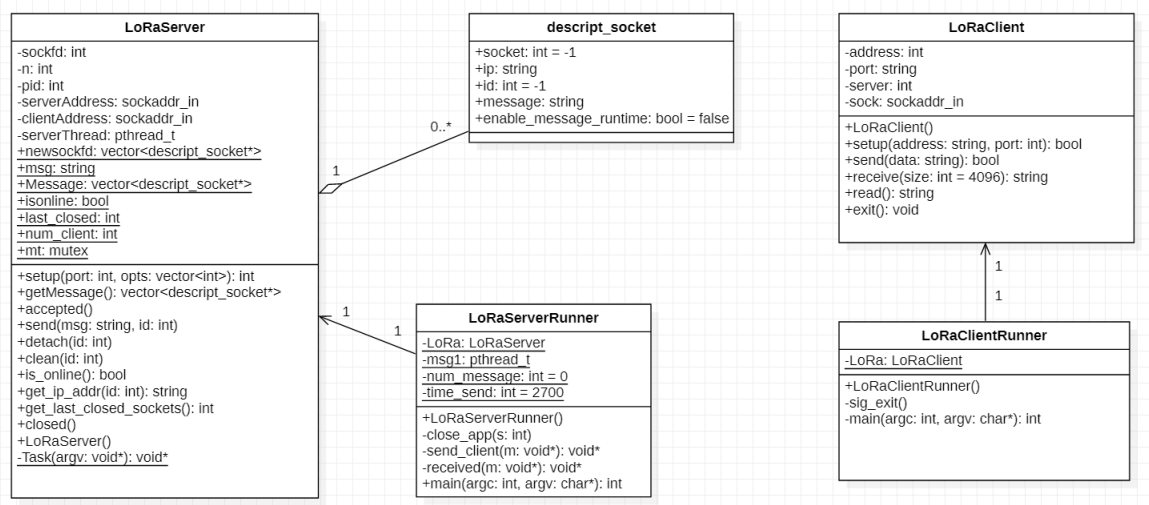


Рис. 3.14. Діаграма класів

Діаграма послідовності для клієнтської сторони зображена на рис. 3.15. Також клієнт може обмінюватись повідомленням з сервером, якщо підключена відповідна опція. Діаграма послідовності для серверної сторони зображена на рис. 3.16

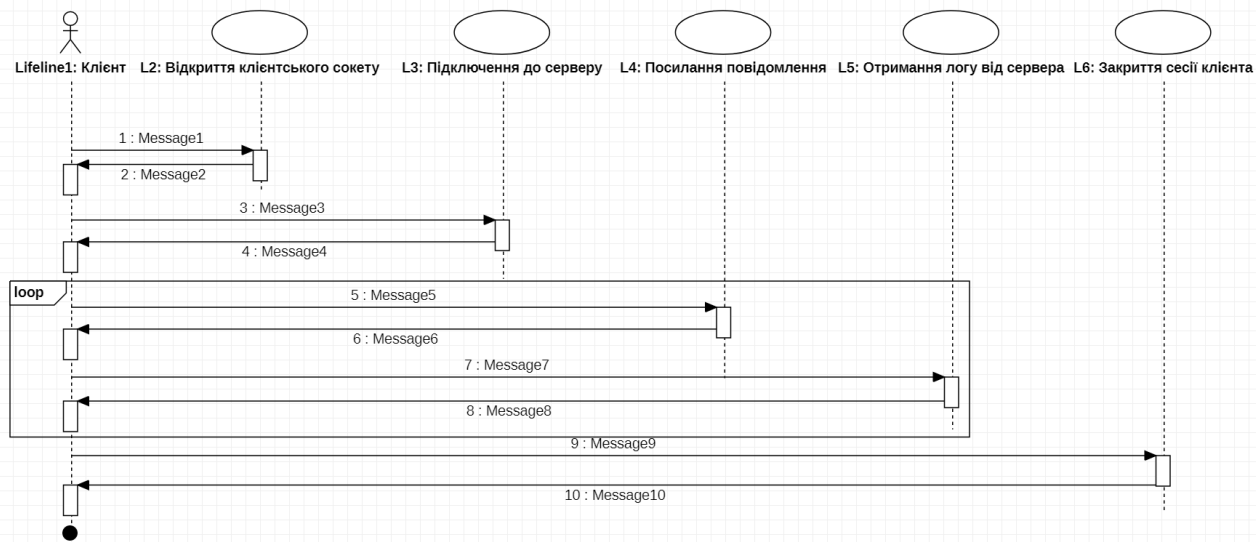


Рис. 3.15. Діаграма послідовності клієнта

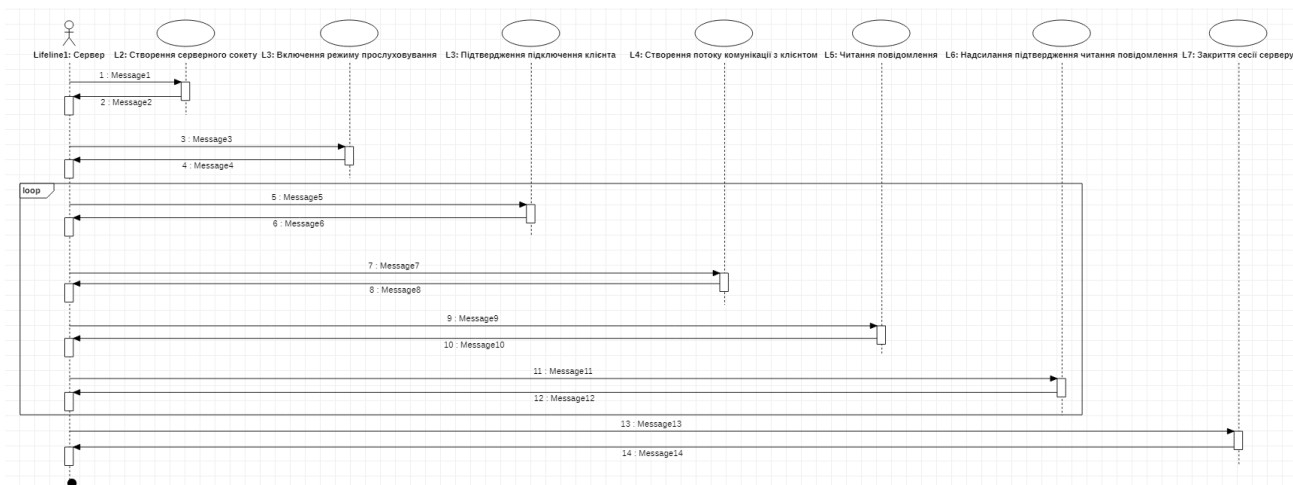


Рис. 3.15. Діаграма послідовності сервера

3.5. Тестування програмного модулю

Спочатку запускаємо сервер, не забувши вказати порт за допомогою наступної команди в терміналі:

```
./LoRaServerApp 3131
```

Якщо запуск сервера буде невдалим, буде виведене повідомлення з помилкою. Після того як сервер успішно запусниться, можна підключати клієнтів (рис. 3.16). Для цього вказуємо IP-адресу, порт сервера та повідомлення.

```
~/projects/lora/LoRaClient$ ./LoRaClientApp 127.0.0.1 3131 "message from client 1"
```

Рис. 3.16. Підключення клієнта

В терміналі серверу виводиться інформація про підключення клієнта до системи, також дані про клієнта та його повідомлення (рис. 3.17). Сервер у успішності прислає дату і час читання.

```
accept client[ id:0 ip:127.0.0.1 handle:4 ]
Accepted
open client[ id:0 ip:127.0.0.1 socket:4 send:0 ]
ACTIVATE THREAD SEND MESSAGES
id:      0
ip:      127.0.0.1
message: message from client 1
socket:  4
enable:  1
2020-6-11 16:25:36

id:      0
ip:      127.0.0.1
message: message from client 1
socket:  4
enable:  1
```

Рис. 3.17. Лог сервера

Для комунікації з клієнтами сервер створює для кожного клієнта окремий потік, тому може отримувати одночасно від багатьох клієнтів повідомлення. Підключимо наступного клієнта паралельно з попереднім (рис. 3.18).

```
~/projects/lora/LoRaClient$ ./LoRaClientApp 127.0.0.1 3131 "hello world from client 2"
```

Рис. 3.18. Запуск другого клієнта

Сервер зчитав повідомлення від наступного клієнта (рис. 3.19).

```
accept client[ id:1 ip:127.0.0.1 handle:5 ]
Accepted
open client[ id:1 ip:127.0.0.1 socket:5 send:0 ]
ACTIVATE THREAD SEND MESSAGES
id:      1
ip:      127.0.0.1
message: hello world from client 2
socket:  5
enable:  1
2020-6-11 16:37:27

id:      1
ip:      127.0.0.1
message: hello world from client 2
socket:  5
enable:  1
```

Рис. 3.19. Оновлений лог сервера

Висновки до розділу

Основним завданням третього розділу було розробити модель програмного модулю в програмному забезпеченні *Matlab Simulink*. Ця модель складається з цифрового приймача, цифрового передавача, аналого-цифрового перетворювача, радіоприймача. В даній моделі проходить процес імітування реальних умов середовища. Також проведено тестування, роботи розробленої системи. Результатом є присутність похибки проходження сигналу, вона обумовлена імітацією реальних умов середовища.

Розроблений програмний модуль, який складається з серверної і клієнтської сторони для формування повідомлень за допомогою протоколу *LoRa*, між ними.

ВИСНОВКИ

В роботі велику увагу приділено викривлянню функцій, які не просто корисні в цифровій обробці зображень, але дають абсолютно необхідний інструмент для подальшого вивчення питань, пов'язаних з обробкою зображень. Питання оцінки спотворення функцій і сьогодні становлять значний інтерес. Оскільки спотворювана функція рідко буває відома точно, в останні роки був запропонований цілий ряд методів, в яких особливе значення надається певним аспектам відновлення.

Особливу увагу приділено питанням збереження різких перепадів значень яскравості для підвищення різкості зображення, в той час як основною метою в роботі є відновлення дрібних об'єктів на перекручених зображеннях.

Спираючись на результати експериментів, можна зробити висновок про те, що на точність *LoRa* впливає ряд факторів: площа території, рельєф місцевості, відстань між пристроями в мережі, рівень перешкод (шумів) в навколишньому середовищу. При оптимальному співвідношенні даних факторів, можна досягти необхідної точності.

Технологія бездротової передачі даних *LoRa* може ефективно використовуватися при створенні систем локального позиціонування. Однак потенціал *LoRa* не розкритий до кінця, що є передумовою для подальших досліджень в цій області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мережеві технології Інтернету речей / Прес-центр компанії Ericsson
2. Зв'язок в інтернеті речей: LoRa проти UNB. / Прес-центр компанії Unwired Devices
3. Офіційний сайт LoRa альянсу // <https://www.lora-alliance.org/>
4. Архітектура LoRaWAN мереж / Сайт спільноти LoRaWAN / <http://lorawan.lace.io/lorawan-networks/>
5. Сайт спільноти розробників LoRa / <http://lo-ra.ru/forum/resources/>
6. Сайт мережі Lorient // <https://www.lorient.io/lora-end-nodes.html>
7. LoRa модуляція - тест на дальність передачі даних / Сайт спільноти LoRaWAN / <http://lorawan.lace.io/lora-range-test/>
8. Гусев. О. Експеримент зі створення системи моніторингу господарських об'єктів з використанням LoRaWAN. / Безпроводні технології, №2 2016, с. 72-76.
9. Business at Gartner Symposium / ІТхро 2015 року, November 8-12 in Barcelona, Spain. Cellular Network for massive IoT / Ericsson White paper / Uen 284 23-3278 /, January 2016. LoRaWAN™ Specification, LoRa Alliance, Version: V1.0, 2015 January.
10. Mobile Experts. White Paper for LoRa Alliance, 2015.
ETSI EN 300.220 Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW; Part 1: Technical characteristics and test methods.
11. Верхулевській К. Базові станції Kerlink для LoRaWAN // Бездротові технології. 2016. №2. Рішення ГКРЧ від 7 травня 2007 р №07-20-03-001 "Про виділення смуг радіочастот пристроїв малого радіусу дії". Рішення ГКРЧ від 20 грудня 2011 р №11-13-07-1 "Про внесення змін до рішення ГКРЧ від 7 травня 2007 р №07-20-03-001 "Про виділення смуг радіочастот пристроїв малого радіусу дії".
12. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. «Интернет вещей».- Самара: ПГУТИ, АСТАРД 2014 г.

13. Роуз Д. «Будущее вещей: Как сказка и фантастика становятся реальностью.» Альпина нон-фикшн 2015 г
- 14.Международный Научный Журнал «Инновационная Наука» №12-2/2016 статья «Интернет вещей».
- 15.Мачей Кранц «Интернет вещей. Новая технологическая революция». ЭКСМО 2018 г.
- 16.Карачев О. «Интернет вещей : что это такое и с чем его едят?» 2014 г.
<http://chezasite.com/news/chto-takoe-internet-veshei-82180.html>.
- 17.Карим Токтабаев «Интернет вещей в РК: реальность или несбыточная мечта?» 2017 г. kapital.kz/economic/64083/internet-vecshej-v-rk-realnost-ili-nesbytochnaya-mechta.html
- 18.Линдзи О* Доннелл «Вендоры Интернета вещей: оборудование для IoT.2017г.<https://www.crn.ru/numbers/spec-numbers/detail.php?ID=11794>
- 19.Кабанова А. Б., Бодрова А. А., Логвин В. И. «Исследование интернета вещей и его применение в создании умного дома» Журнал «Символ науки» № 11 2016 г.
- 20.Пятницких А. «Технологии IoT на службе умного города.» СТА №4 2015 г.