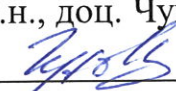


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 621.37:621.391

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.


« 19 » 12 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Дослідження сенсорної LORA-системи контролю сировини

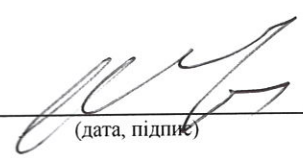
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.ТРм-22-1


(дата, підпис)

Опанасюк К. С.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


(дата, підпис)

Ципоренко В. Г.

Житомир
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: Дослідження сенсорної LORA-системи контролю сировини

Виконав: студент 2 курсу,
групи ТРМ-22-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Опанасюк К.С.

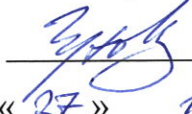
Керівник Ципоренко В.Г.

Рецензент Коломієць Р.О.

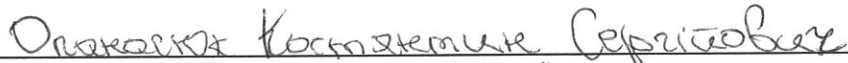
Житомир
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ
«27» 10 2022 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу


(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження сенсорної LORA-системи контролю сировини

затверджено наказом по університету від «22» листопада 2023 р. № 679

2. Мета дослідження: визначення та аналіз характеристик ємності та швидкодії сенсорної системи контролю сировини

3. Вихідні дані: базова технологія передачі LoRa; об'єкт контролю- умови зберігання сировини; контроль здійснюється цілодобово при можливості мобільності розташування контейнерів.

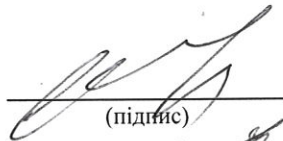
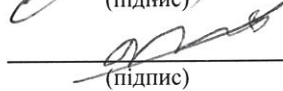
4. Основні задачі дослідження: огляд джерел інформації; аналіз побудови та алгоритму роботи системи; дослідження швидкодії, ємності та методів розподілу ресурсів системи.

5. Термін подання роботи до захисту «10» грудня 2023 р.

6. Дата видачі завдання «05» вересня 2023 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

(підпис)

Ципоренко В.Г.

(прізвище, ініціали)

Опанасюк К.С.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дослідження системи об'єктового модуля контролю лікарської сировини зосереджене на розвитку технологічних аспектів для ефективного моніторингу та контролю цінних ресурсів у фармацевтичній галузі. Розглянуті аспекти, від розробки алгоритмів та типу трансиверу до характеристик дальності роботи та моделі Окамура-Хата, спрямовані на підвищення точності та ефективності системи.

Проведені аналізи основних параметрів технології LoRa та розробка функціональної системи блоків підкреслюють ключову роль визначення ємності системи та оптимізації ресурсів для найефективнішого використання. Аналіз алгоритмів розподілу ресурсів і позиціонування, включаючи випадковий розподіл та псевдопружинну модель, відкриває можливості для покращення стабільності та ефективності мережі LoRaWAN.

Експериментальні дослідження характеристик ємності системи та проблем розподілу в LoRaWAN виявили перспективи для подальшого вдосконалення системи контролю лікарської сировини. Основні висновки дозволяють побачити шляхи покращення ефективності та надійності системи для забезпечення високоякісного контролю лікарської сировини у фармацевтичній сфері.

РЕФЕРАТ

Опанасюк К. С. Дослідження сенсорної LoRa-системи контролю сировини: магістерська кваліфікаційна робота. - 171 Електроніка. Житомир, Державний університет «Житомирська політехніка», 2023.

Ключові слова: сенсорна система, LoRa, контроль сировини, бездротова передача даних, моніторинг, промислові умови.

Актуальність дослідження: У сучасному глобальному економічному контексті, де конкуренція посилюється і якість продукції є визначальним фактором успіху, контроль якості сировини вирішально важливий для забезпечення високої якості готової продукції. Поширення новітніх технологій виробництва та моніторингу стає необхідністю, щоб відповісти на зростаючі вимоги споживачів та дотримуватися регуляторних стандартів.

Однією з важливих сфер, де інноваційні технології можуть відіграти ключову роль, є сенсорний контроль сировини. Сучасні ринкові вимоги до безпеки продукції, стійкості до зовнішніх факторів та відповідності стандартам якості вимагають від підприємств удосконалення і оптимізації своїх систем контролю та моніторингу.

В цьому контексті технологія LoRa (Long Range) набуває важливості як перспективний засіб передачі даних в сенсорних системах. Її можливість передавати дані на велику відстань при низькому споживанні енергії робить її ідеальним варіантом для вирішення завдань моніторингу та контролю в умовах, де проводити кабельний зв'язок неможливо або недоцільно.

Дослідження актуально, оскільки воно відповідає потребам вдосконалення виробничих процесів, забезпечення якості продукції та оптимізації ресурсів. Результати дослідження можуть мати практичне значення для підприємств, які виробляють товари з високими стандартами якості, а також вносити внесок у розвиток технологій моніторингу та контролю в індустріальних умовах.

Мета та завдання дослідження: Метою даної магістерської роботи є дослідження можливостей застосування сенсорної LoRa-системи для контролю якості сировини в промислових умовах. Для досягнення цієї мети

поставлені такі завдання: вивчення принципів роботи технології LoRa; аналіз типів сенсорів для контролю сировини; розробка архітектури системи; проведення досліджень та аналіз отриманих даних.

Об'єкт дослідження: Сенсорна LoRa-система контролю якості сировини.

Предмет дослідження: Процеси в сенсорній системі контролю сировини та її характеристики.

Методи дослідження: У роботі використано аналіз літературних джерел, дослідження технічних характеристик сенсорів та технології LoRa, експериментальні вимірювання та обробку даних.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	9
1.1 Характеристики мікроклімату	9
1.2 Основні правила заготівлі та зберігання лікарської сировини.	11
1.3 Види систем моніторингу мікроклімату.....	17
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТОВОГО МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ ЛІКАРСЬКОЇ СИРОВИНИ	33
2.1 Розробка алгоритму роботи системи	33
2.2 Опис типу трансиверу.	41
2.3 Аналіз основних параметрів технології LoRa та зв'язок між ними.	46
2.4 Аналіз формування ємності системи LoRa.	51
2.5 Аналіз побудови розподілу та оптимізації її ресурсів.	53
2.5.1 Аналіз алгоритму оптимізації розподілу ресурсів	54
2.5.3 Аналіз алгоритму позиціонування з використанням псевдопружинної моделі.	58
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТОВОГО МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ ЛІКАРСЬКОЇ СИРОВИНИ	61
3.1 Дослідження характеристик ємності системи	61
3.2 Дослідження ефективності розподілу в системі LoRaWAN	65
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	75

ВСТУП

У сучасних умовах швидкого технологічного розвитку та зростаючої конкуренції, якість продукції стає вирішальним чинником успіху для підприємств. Відповідно, контроль якості сировини, що використовується у виробництві, набуває критичної ваги. Недостатня якість сировини може призвести до виробничих дефектів, відмов у продукції та негативно вплинути на репутацію підприємства.

Зростаючі вимоги споживачів до продуктів, стандарти якості та регуляторні вимоги ставлять завдання ефективного контролю якості на передній план. Інтенсивний розвиток інформаційних технологій та безпроводних комунікацій надає унікальні можливості для вдосконалення систем контролю та моніторингу.

Серед ключових технологій, що здатні революціонізувати цей процес, - технологія Long Range (LoRa). Ця безпроводна технологія передачі даних відкриває нові перспективи для реалізації сенсорних систем моніторингу та контролю в умовах, де проведення кабельного зв'язку є недоцільним або неможливим.

Метою даної магістерської роботи є дослідження можливостей застосування сенсорної LoRa-системи для контролю якості сировини. Дослідження охоплює аналіз та вивчення технології LoRa, а також розробку та експериментальне валідацію ефективної системи моніторингу.

Актуальність дослідження обумовлена потребою у впровадженні новітніх технологій у виробничі процеси, покращення якості продукції та оптимізації виробничих ресурсів. Отримані результати можуть знайти широке використання у різних галузях промисловості, де контроль якості сировини визначає успіх та конкурентоспроможність підприємства.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

1.1 Характеристики мікроклімату

Мікроклімат визначається комплексом різних факторів у середовищі, таких як температура, вологість повітря, освітленість та інші. В контексті кімнати, мікроклімат залежить від зовнішніх погодних умов, пори року та часу доби. Створення оптимальних умов в кімнаті досягається за допомогою систем опалення, вентиляції, зволоження та освітлення.

Людина прагне створити комфортні умови для проживання, роботи та вирощування рослин і тварин. Мікроклімат впливає на працездатність людини, її самопочуття, здоров'я і настрої. Для рослин він також має велике значення, оскільки відповідна вологість, температура та освітлення впливають на їхній ріст, врожайність та розвиток.

Дана дипломна робота спрямована на вивчення трьох основних компонентів мікроклімату - температури, вологості повітря та освітленості, а також на розробку системи для автоматичного контролю цих параметрів[1].

Температура.

Температура - це важлива фізична величина, яка характеризує стан системи. У повсякденному житті ми сприймаємо температуру як суб'єктивне відчуття: тепло, холод, спека. Але для науки важливо мати точні вимірювання температури. Такі вимірювання здійснюються за допомогою термометрів, які використовують термометричні речовини для контакту з об'єктом, температуру якого ми хочемо виміряти. Це дає можливість точно визначити температуру тіла або середовища.

Щоб виміряти температуру, термометри використовують різноманітні речовини, такі як ртуть, спеціальні сплави або електронні сенсори. Вони реагують на зміни температури, що дозволяє точно вимірювати її значення. Такі прилади дозволяють отримувати об'єктивні дані про температуру, які

використовуються у наукових дослідженнях, медицині, промисловості та інших галузях [2].

Вологість.

Точно, вологість повітря це ключовий параметр, який визначає кількість водяної пари у повітрі. Існують різні показники, які описують цей параметр, такі як точка роси, відносна вологість, дефіцит роси та інші. Для вимірювання вологості використовують гігрометри або датчики вологості.

В повсякденному житті вологість має значення для здоров'я та комфорту людини. Відсоток вологості у повітрі впливає на самопочуття, зокрема на тих, хто страждає на гіпертонію, астму та інші захворювання. Недостатня вологість може призводити до сонливості, свербіжу шкіри та іншого дискомфорту. Сухе повітря також може сприяти захворюванням органів дихання.

З іншого боку, надмірна вологість може мати негативний вплив, сприяючи пошкодженню матеріалів, формуванню цвілі та викликати захворювання дихальних шляхів. У сільському господарстві вологість впливає на родючість ґрунту, тому вимірювання вологості важливе для контролю умов вирощування рослин.

Гігрометри або датчики вологості широко використовуються для вимірювання вологості у повітрі та ґрунті, щоб забезпечити оптимальні умови для різних сфер людської діяльності, включаючи комфорт у приміщеннях, охорону здоров'я та сільське господарство [3].

Освітленість.

Освітленість визначається світловим потоком, що падає на певну поверхню. Одиницею вимірювання освітленості є люкс, але людське око не може точно визначити цей параметр без використання спеціальних приладів, таких як люксметр[4].

Освітленість може бути природною, яку створюють сонячні промені, або штучною, що формується за допомогою різних джерел світла, таких як лампи розжарювання, LED-діоди та інші.

У побуті та в промисловості освітленість має велике значення для забезпечення здоров'я та комфорту. Для рослин вона також критично важлива, впливаючи на їх зріст і родючість. В науковій діяльності освітленість має значення, оскільки існують пристрої та прилади, які функціонують на основі фотоефекту і залежать від світлового потоку.

Отже, контроль та регулювання освітленості є важливими в різних аспектах життя: від комфорту у приміщеннях до оптимізації умов для росту рослин та функціонування наукових пристроїв [5].

1.2 Основні правила заготівлі та зберігання лікарської сировини.

Отримання лікарської рослинної сировини є ключовим етапом у виробництві лікарських препаратів. Ця сировина використовується для отримання активних речовин, які стануть основою лікарських засобів рослинного походження, таких як фітопрепарати [6].

Отримання сировини може проводитися з культивованих або дикорослих рослин. У багатьох країнах використання культивованих рослин є основним джерелом лікарської сировини. В Україні, за винятком ефірно-олійних культур, природні ресурси рослин є головним джерелом для отримання сировинних матеріалів у фармацевтичній промисловості.

Проте природні запаси лікарських рослин зменшуються або вичерпуються, що вимагає зусиль у напрямку отримання сировини з культивованих рослин. Введення рослин у культуру має безліч переваг, таких як більша врожайність, високий вміст корисних речовин, можливість механізованого збирання тощо.

Це важлива проблема для багатьох країн, оскільки збільшення культивованих рослин може допомогти зберегти природні ресурси та забезпечити стабільність у виробництві лікарських препаратів.

Технологія збору та обробки лікарської рослинної сировини дуже важлива для збереження активних компонентів і корисних властивостей рослин. Після збору рослинних органів починаються істотні біохімічні зміни через вплив ферментів та інших процесів. Саме в цей період важливо правильно спрямовувати ці зміни для отримання необхідного складу сировини.

Після збору і очищення сировину піддають висушуванню. Правильне висушування має враховувати хімічний склад активних компонентів у сировині. Температура грає важливу роль у процесі сушіння. Зазвичай рекомендують використовувати температуру близьку до 50°C, оскільки при цій температурі дія ферментів слабшає або припиняється, що допомагає зберегти корисні речовини в сировині. У деяких випадках рекомендують почати процес сушіння при більш високій температурі, а потім знизити її до близької до 50°C для збереження активних компонентів.

Ці процеси вимагають уважності та контролю, оскільки правильне висушування є ключовим етапом у збереженні якості лікарської рослинної сировини.

Для різних типів лікарських рослинних матеріалів існують різні методи сушіння, оскільки різні компоненти можуть вимагати різних умов збереження.

Соковиті плоди, які містять вітаміни, потребують швидкого сушіння, щоб зберегти біологічну активність вітамінів. Тут використовують високі температури (70-90°C), що допомагають зберегти значну частину вітамінів.

Сировина з серцевими глікозидами та алкалоїдами також потребує швидкого сушіння. При цьому зазвичай використовують низькі температури, оскільки вони можуть зберегти активність цих компонентів.

Ефірні олії зазвичай вимагають дуже обережного сушіння, оскільки їх властивості можуть змінюватися при підвищених температурах. Тому їх сушать повільно при низьких температурах (не вище 25-30°C), щоб запобігти втраті активних складових.

Кожен вид лікарської рослинної сировини має свої власні особливості, які потребують уважного відношення під час сушіння. Звичайно, залежно від складу рослини та її властивостей, існують оптимальні методи сушіння, які дозволяють зберегти активні складові.

Процес сушіння може здійснюватися різними способами, включаючи висушування на відкритому повітрі та у спеціальних сушильних приміщеннях. Наприклад, сировину, яка не містить барвники, можна сушити під прямим сонячним світлом. Проте, частини рослин, які забарвлюються під дією сонячних променів, потребують інших методів сушіння, щоб уникнути втрати природного забарвлення та вітамінів.

Повільне висушування на відкритому повітрі може бути ефективним у районах з сухим і теплим кліматом, де провітрювання відбувається більш природним чином. Це дозволяє сушити матеріал тонким шаром на спеціальних рамках, що сприяє кращому провітрюванню і допомагає зберегти корисні властивості рослинної сировини.

Отже, вибір методу сушіння залежить від конкретної рослини, її складу та кліматичних умов, що дозволяє зберегти максимальну кількість корисних складових.

Зберігання лікарської сировини вимагає дотримання певних умов, які забезпечують збереження її якості та корисних властивостей протягом тривалого часу. Ось деякі важливі вимоги до умов зберігання лікарської сировини:

1. Сухе середовище: Приміщення повинне бути сухим, щоб уникнути зволоження сировини, яке може спричинити псування чи руйнування активних складових.

2. Чистота та провітрювання: Очищені приміщення забезпечують запобігання забрудненню сировини. Добра вентиляція допомагає уникнути утворення плісняви та збереженню якості.

3. Підлога: Міцна дерев'яна підлога допомагає утримувати приміщення чистим та забезпечує стабільність та захист від вологості.

4. Упаковка: Сировину слід зберігати у відповідних упаковках. Гігроскопічні види сировини краще зберігати у добре закритих посудинах, щоб запобігти небажаному зволоженню.

5. Розміщення на полицях: Упаковки сировини слід розкладати на полицях так, щоб мати можливість легко оглядати їх, а не ставити або складати одну на одну.

6. Відокремлення отруйних речовин: Отруйні або сильно діючі засоби повинні бути збережені окремо від інших в спеціальних шафах, що закриваються, відповідно до вимог фармакопеї.

Ці вимоги допомагають підтримувати якість лікарської сировини протягом тривалого періоду зберігання та забезпечують безпеку та ефективність під час подальшого використання.

Правильне зберігання лікарської рослинної сировини є критично важливим для збереження її якості та ефективності. Недоліки у зберіганні можуть призвести до значного погіршення якості сировини, зниження її лікувальних властивостей та зробити її непридатною для подальшого використання.

Деякі наслідки неправильного зберігання лікарської сировини включають:

1. Відволоження: У вологих умовах сировина може втратити вологу, що призведе до зміни її структури та властивостей.

2. Цвіль: Вологе середовище сприяє розвитку цвілі, яка може зіпсувати сировину та змінити її хімічний склад, знизити ефективність та навіть стати причиною алергічних реакцій.

3. Пошкодження шкідниками: Недостатній захист може призвести до нападу різних шкідників, які можуть пошкодити лікарську рослинну сировину, зменшуючи її якість та ефективність.

У випадку, якщо лікарська сировина під час зберігання піддалася цим або іншим негативним факторам, її якість може бути втрачена. Перевірка якості проводиться згідно з вимогами державних фармакопей, де встановлені стандарти для кожного виду сировини. Якщо сировина не відповідає цим стандартам, вона вважається непридатною для використання та може бути

позбавлена статусу лікарської рослинної сировини, що призводить до її знищення або виключення з використання у медичних цілях [7].

Важливі вимоги для зберігання лікарської рослинної сировини як на складах, так і в аптеках, щоб забезпечити збереження її якості та ефективності протягом тривалого періоду часу. На складах спеціалізованих установ та аптечних закладах дотримуються строгих нормативів зберігання, які включають в себе:

1. Умови зберігання: Чистота, сухість, добре провітрювання, ізоляція від амбарних шкідників та захист від прямих сонячних променів є основними вимогами для зберігання. Вимірювання температури, вологості стін і підлоги, ідеальна температура (10-12 °C) та вологість (близько 13%) рекомендовані для зберігання сировини.

2. Упаковка і розміщення: Лікарську рослинну сировину зберігають в цілому вигляді у відповідних упаковках на спеціальних стелажах, розміщуючи їх за групами враховуючи специфічні властивості кожного виду сировини.

3. Особливі умови для деяких видів сировини:** Отруйні та сильнодіючі сировини, які містять алкалоїди та кардіостероїди, зберігаються в окремих приміщеннях зі спеціальними заходами безпеки.

4. Зберігання в аптеках: Сировину зберігають у невеликих кількостях у прохолодних, сухих кімнатах з вентиляцією, контролюючи температуру (близько 20°C) і вологість (30-40%).

5. Терміни придатності: Терміни придатності визначаються за результатами товарознавчого аналізу протягом певних періодів. Серії сировини періодично піддають аналізу, вивчаючи їх динаміку змін, щоб визначити максимальний термін їх придатності.

Ці вимоги спрямовані на збереження якості лікарської рослинної сировини та забезпечення безпеки при її зберіганні та використанні для медичних цілей.

Контроль мікроклімату в лабораторіях і фармацевтичному виробництві є критично важливим для забезпечення оптимальних умов для виробництва та зберігання препаратів, забезпечення комфорту працівників і збереження справності обладнання. Для цього застосовуються професійні контрольно-вимірювальні прилади (КВП), що дозволяють виміряти освітленість, температуру повітря та інші параметри.

Ці заходи мають кілька важливих функцій:

1. Забезпечення оптимальних умов для виробництва лікарських препаратів: Контроль мікроклімату допомагає створити і підтримувати оптимальні умови для виробництва вакцин, анатоксинів та інших лікарських засобів.

2. Здоров'я та комфорт працівників: Оптимальні умови сприяють збереженню здоров'я працівників і підтриманню їхньої ефективності.

3. Дотримання нормативів: Контроль мікроклімату дозволяє відповідати санітарно-гігієнічним нормативам, вимогам ГОСТ та інших стандартів.

4. Моніторинг умов довкілля: Це дозволяє реєструвати параметри мікроклімату відповідно до методик, контролювати їх та мати документальний облік.

5. Автоматизація контролю: Використання спеціальних приладів дозволяє організувати автоматичний моніторинг мікроклімату на підприємстві.

6. Документація та звітність: Ведення документального обліку дозволяє фіксувати важливі показники для повної звітності під час інспекторських перевірок і забезпечення відповідності стандартам якості.

Ці кроки є важливими для забезпечення високої якості та ефективності виробництва лікарських засобів, а також збереження здоров'я та безпеки працівників.

1.3 Види систем моніторингу мікроклімату.

Система контролю і моніторингу мікроклімату в приміщеннях та зонах перебування людей є важливим інструментом для відстеження різних параметрів та забезпечення комфорту і безпеки. Основні параметри, які можна контролювати за допомогою цієї системи, включають температуру, вологість, концентрацію вуглекислого газу, якість повітря, протікання, освітленість і рух.

Щодо вимог до самої системи контролю та моніторингу [9]:

1. Точність вимірювань: Важливо, щоб система надавала точні вимірювання для всіх параметрів.
2. Гнучкість системи: Система повинна бути гнучкою і можливою до розширення для контролю за більшою кількістю параметрів.
3. Сигналізація: Потрібна звукова або світлова сигналізація для інформування про порушення умов зберігання або перевищення порогових значень.
4. Автоматичне архівування даних: Дані вимірювань повинні автоматично архівуватися для подальшого використання та аналізу.
5. Звіти та аналіз даних:* Система повинна надавати можливість формування звітів і аналізу даних за певний період часу для зручності аналізу.
6. Захист даних: Оскільки це дані про параметри життєвого середовища та здоров'я, вони повинні бути надійно захищені.
7. Віддалений контроль і сигналізація: Бажано мати можливість віддаленого контролю і сигналізації про порушення умов зберігання.
8. Віддалена доступність даних: Зручність у віддаленому доступі до вимірюваних параметрів і даних системи.

Дотримання цих вимог допоможе забезпечити ефективний контроль та моніторинг умов мікроклімату та забезпечить безпеку та комфорт у приміщеннях.

Система моніторингу «ГІПРОТЕРМОН»

Система моніторингу «ГІПРОТЕРМОН», розроблена компанією ТОВ "Інженерні Технології", включає в себе широкий спектр функціональності для ефективного контролю та управління параметрами мікроклімату в різних приміщеннях.

Основні можливості системи:

1. **Централізована збір даних:** Здійснює моніторинг та збирання параметрів мікроклімату з різних джерел.
2. **Вимірювання відносної вологості:** Відслідковує та контролює рівень вологості повітря, що є важливим параметром для багатьох сфер, зокрема сільського господарства, медицини та промисловості.
3. **Відображення поточних значень:** Надає можливість відображати поточні вимірювані значення на дисплеях приладів для миттєвого контролю.
4. **Автоматичне створення звітів:** Автоматизовано створює та зберігає звіти у форматах PDF і XLS з заданою періодичністю.
5. **Режим історії дій:** Зберігає історію дій користувачів, дозволяючи відстежувати та аналізувати взаємодію з системою.
6. **Контроль доступу:** Реалізує розмежування прав доступу для різних користувачів, що забезпечує безпеку та конфіденційність даних.
7. **Журнал подій:** Веде журнал подій, що дозволяє відстежувати історію дій користувачів та подій системи.

Ця система використовується для ефективного контролю та забезпечення необхідних умов мікроклімату в приміщеннях, пропонуючи комплексний підхід до моніторингу і збереження даних про параметри оточуючого середовища.

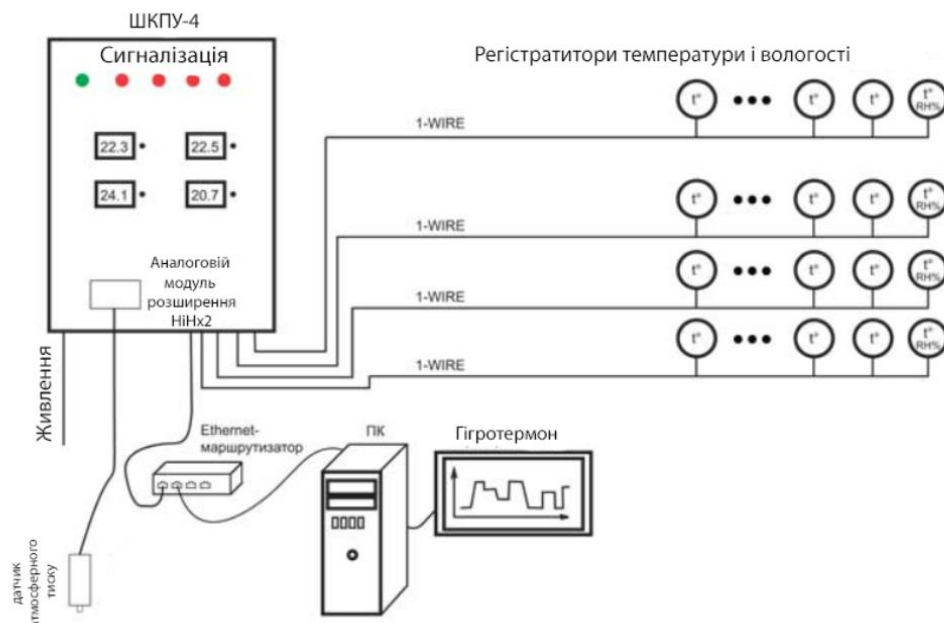


Рисунок 1.2 – Елементи системи моніторингу мікроклімату приміщень

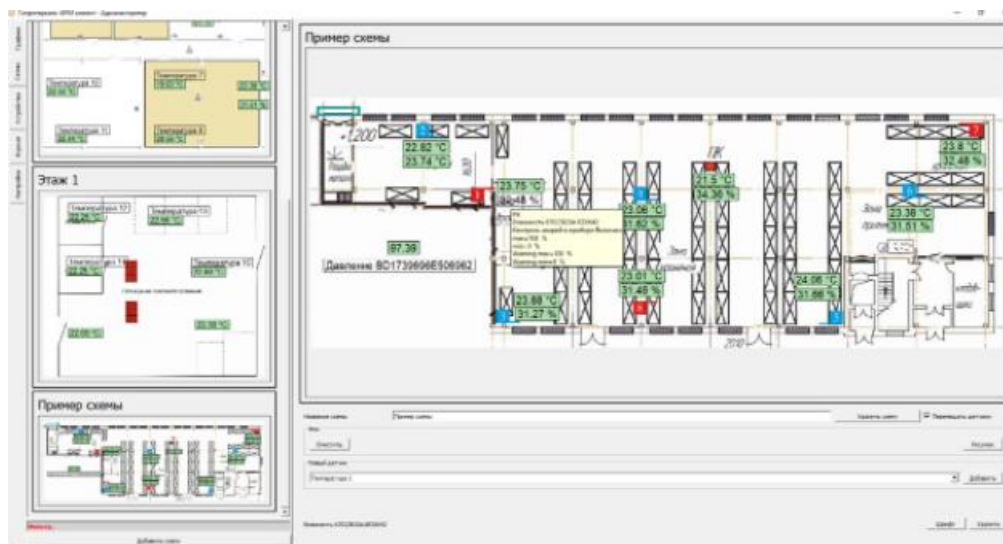


Рисунок 1.3 – Приклад програми

Система моніторингу мікроклімату "ГІГРОТЕРМОН" є універсальною і може бути використана в різноманітних середовищах та умовах, таких як:

1. Складські приміщення: Дозволяє контролювати температуру, вологість та інші параметри для зберігання товарів чи матеріалів.
2. Виробничі приміщення: Включають "чисті" приміщення, де необхідні певні параметри мікроклімату для виробництва специфічних товарів.
3. Житлові приміщення: Для контролю та підтримки комфортних умов для мешканців.

4. Лабораторії: Де необхідно точне регулювання та контроль параметрів мікроклімату для проведення експериментів чи зберігання чутливих матеріалів.

5. Холодильники, морозильники, інкубатори, та кліматичні камери: Для підтримки потрібних температурних режимів.

6. Місця масового скупчення людей: Забезпечення комфортних умов для великої кількості осіб, таких як торгові центри, офісні приміщення, громадські будівлі.

Система використовує бездротові вузли і адаптери на супер магнітах, що дозволяє швидко та без будівельних робіт встановлювати датчики в різні пристрої для зберігання та контролювати їхні параметри. Можливість кабельного підключення з зовнішніми датчиками забезпечує стійкий радіозв'язок та контроль в умовах, де безпосереднє бездротове підключення може бути складним.

LoRaWan

Технологія LoRaWAN дійсно має великий потенціал у сфері медицини та фармацевтики. Особливо важливим для медичних установ і фармацевтичних складів є контроль за температурними режимами, оскільки багато лікарських засобів та медичних препаратів вимагають певних умов зберігання для збереження їх ефективності та безпеки використання.

IoT-сенсори LoRaWAN можуть бути використані для моніторингу температури в реальному часі в різних ділянках фармацевтичних складів. Ці дані можна транслювати на віддалений сервер або хмарне сховище, що дозволить оперативно реагувати на будь-які зміни у температурних умовах. Якщо температура перевищить чи знизиться нижче встановленого порогу, система може надсилати автоматичні повідомлення адміністраторам чи відповідальним особам для вжиття необхідних заходів.

Це дозволяє забезпечити оптимальні умови зберігання медичних препаратів, які вимагають певної температурної стабільності, та попередити можливість псування ліків чи втрату їх ефективності.

Застосування LoRaWAN в медичній сфері може сприяти підвищенню ефективності та точності моніторингу, забезпечуючи безпеку та якість медичних послуг і фармацевтичних продуктів.

Безпека в мережах LoRa

Технологія LoRaWAN дійсно славиться своєю високою конфіденційністю та безпекою даних, що передаються через цю мережу. Основні принципи забезпечення конфіденційності даних у LoRaWAN включають наступне:

1. Шифрування даних: Дані, що передаються через LoRaWAN, шифруються на рівні кінцевих пристроїв, що гарантує, що інформація залишається зашифрованою протягом усього шляху передачі.

2. Аутентифікація і перевірка цілісності: Мережевий сервер використовує методи аутентифікації для перевірки, чи є кожен пакет даних відправленим від вірогідного джерела. Також він перевіряє цілісність кожного пакету, щоб упевнитися, що дані не були змінені під час передачі.

3. Обмежений доступ до корисного навантаження: Мережевий сервер у LoRaWAN не має прямого доступу до корисних даних, які передаються сенсорами чи кінцевими пристроями. Він операційно обробляє та маршрутизує дані, але не має можливості розшифрувати або отримати доступ до вмісту корисного навантаження.

Ці заходи забезпечують високий рівень конфіденційності даних, дозволяючи передавати чутливу інформацію через мережу LoRaWAN з впевненістю в її безпеці. У мережі є три види ключів які показані на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Ключі шифрування LORAWAN

Технологія LoRaWAN відома своєю низькою споживаною енергією, дальністю передачі та здатністю працювати на великій відстані від вузла

збору даних. Для забезпечення безпеки та конфіденційності даних, що передаються, використовуються різні ключі для шифрування і перевірки цілісності. Важливо зазначити основні характеристики технології LoRaWAN:

1. Зашифрування та аутентифікація ключів: LoRaWAN використовує ключі для аутентифікації кінцевих пристроїв і серверів, а також для зашифрування та підтвердження цілісності передачі даних.

2. Шифрування корисних даних: Дані, що передаються між кінцевими пристроями і серверами, зашифровані і можуть бути розшифровані лише на відповідному кінцевому пристрої та сервері.

3. Алгоритми шифрування та перевірки цілісності: Для забезпечення безпеки використовуються алгоритми шифрування, такі як AES-128, для захисту даних та перевірки цілісності через MIC.

4. Класи кінцевих пристроїв: Різні класи кінцевих пристроїв (A, B, C) дозволяють забезпечити різні рівні енергозбереження та способи спілкування з серверами.

5. Застосування в різних сферах: LoRaWAN знайшов широке застосування у багатьох сферах, таких як житлово-комунальне господарство, медицина, сільське господарство та розумні технології.

Завдяки своїм характеристикам та заходам забезпечення безпеки, LoRaWAN є популярним вибором для розгортання мереж Інтернету речей (IoT) у різних галузях та сценаріях.

testo Saveris

Testo Saveris - це досить просунута система моніторингу, особливо в контексті вологості та температури, яка використовує бездротові та дротяні зонди для контролю великої кількості точок одночасно. Основні переваги цієї системи:

1. Моніторинг багатьох точок: Здатність контролювати температуру та вологість у 150 точках одночасно - це значний плюс для великих приміщень або складів, де потрібен широкомасштабний моніторинг.

2. Двобічна зберіганість даних: Можливість зберігання даних не лише у зондах, але й у базовому модулі та навіть на ПК забезпечує надійність збереження історії вимірювань.

3. Незалежна пам'ять: Кожен зонд і базовий модуль мають власну пам'ять, що робить систему стійкою до втрати даних у випадку відключення електроживлення або розряджених батарейок.

4. Автоматичний контроль: Можливість автоматичного контролю вологості та температури спрощує процес моніторингу і відслідковування умов в приміщеннях.

5. Бездротові зонди: Це означає, що не потрібні складні проводи для підключення датчиків, що полегшує установку системи.

6. Гарантія збереження даних: Дублювання даних на кількох рівнях (у зондах, базовому модулі та ПК) забезпечує надійне збереження історії вимірювань.

Ця система добре підходить для секторів, де важливий постійний контроль параметрів середовища та дотримання встановлених стандартів температури і вологості, таких як фармацевтична промисловість або харчова галузь.

Ця система моніторингу дійсно вражає своєю гнучкістю та здатністю контролювати широкий спектр параметрів, що є критичними для фармацевтичної промисловості. Особливо важливою є можливість автоматично надсилати сповіщення через електронну пошту та SMS у випадку виходу параметрів за задані межі.

Система враховує діапазони температур і вологості, що дозволяє контролювати навіть екстремальні умови, які можуть виникнути в процесі виробництва фармацевтичних продуктів.

Важливо відзначити, що враховано стандарти ISO 14644-1 і ГОСТ Р 52249-2009 GMP, що стосуються середовища виробництва фармацевтичної продукції. Це вказує на відповідність системи вимогам щодо чистоти і контролю умов зберігання у цій сфері.

Також важливою є можливість інтегрувати сторонні параметри через аналогові виходи, що дозволяє розширити функціонал системи і використовувати інші датчики з метою контролю і контролю якості.

Крім того, відповідність вимогам стандарту 21 CFR Part 11 (GAMP 5) та можливість проходження валідації є важливими аспектами для фармацевтичної промисловості, оскільки вони вимагають дотримання високих стандартів безпеки та надійності.

Ця система є важливим інструментом для забезпечення безперервного моніторингу параметрів середовища у фармацевтичних умовах, зокрема температури, вологості та інших критичних факторів, і може бути ключовим для дотримання стандартів та виробничих вимог у цій галузі.

Розумна іригаційна Система.

Система зрошення з використанням бездротової сенсорної мережі Wzzard LRPv дозволяє вам ефективно керувати і відстежувати стан ґрунту в реальному часі. Ця інтелектуальна система забезпечує надійний збір даних від сенсорів, які можуть бути розміщені в будь-якому місці завдяки бездротовій технології.

За допомогою бездротових вузлів Wzzard LRPv, які передають дані на мережевий шлюз, отримані дані можуть бути передані на ваш ПК або у хмарні інтернет-додатки. Така можливість забезпечує вам доступ до інформації в будь-який час та з будь-якого місця, що є надзвичайно зручним для моніторингу стану ґрунту.

Програмне забезпечення взаємодіє з отриманою інформацією і може поєднувати дані з іншими джерелами, такими як погодні звіти від метеорологічних служб. Це дозволяє системі приймати розумні рішення щодо ефективного використання води, враховуючи погодні умови. Наприклад, система може оптимізувати витрату води, враховуючи передбачуваний дощ: у випадку передбаченого опадів система може зачекати, щоб виміряти результати опадів та перерахувати необхідну кількість води для зрошення.

Такий розумний підхід дозволяє ефективно використовувати ресурси і раціонально керувати зрошенням, мінімізуючи витрати води та оптимізуючи її використання в залежності від прогнозів погоди та реальних умов на місці.

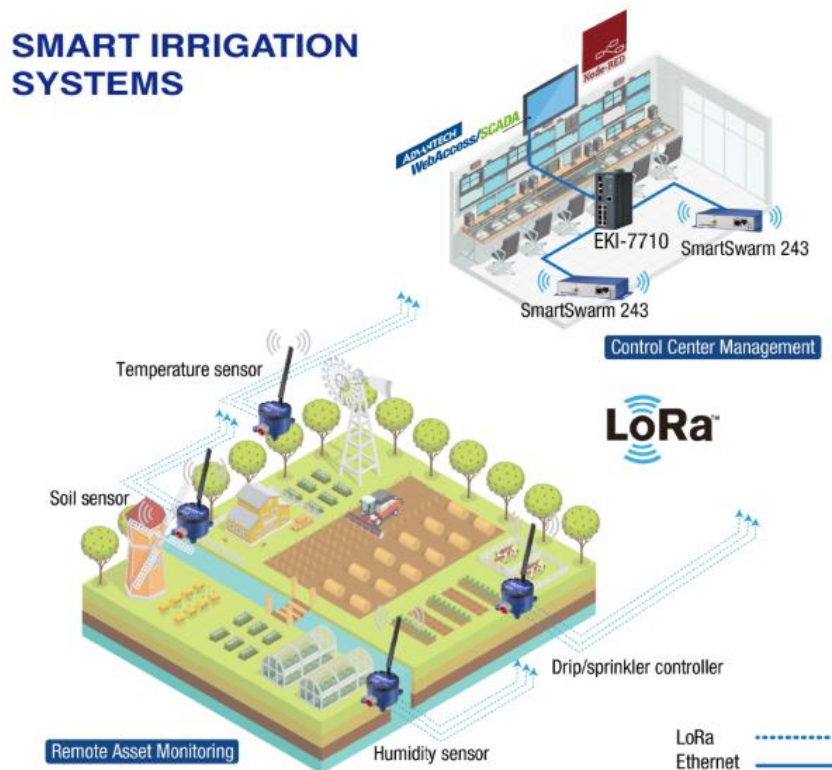


Рисунок 1.5 – Іригаційна система

Отмежовка зондів Wzzard LRPv у віддалених районах, підключених до датчиків різних параметрів, таких як вологість, температура, та контролерів розпилювача, та їхнє бездротове передавання даних за допомогою технології LoRa на центр управління - SmartSwarm 243 - формує надійну систему моніторингу.

Після отримання інформації шлюз SmartSwarm 243 передає ці дані на ПК, який керує сервером додатків і SCADA. Це спрощує збір та організацію даних, забезпечуючи централізований контроль за декількома місцями.

Комутатор виступає як додатковий інструмент, що сприяє збору та організації інформації з декількох SmartSwarm 243 шлюзів, щоб передати ці дані на ПК для подальшого аналізу та управління.

Залучаючи великий обсяг даних від датчиків, система надає можливість аналізувати ситуацію з поливом у реальному часі і приймати

обґрунтовані рішення щодо оптимізації водопостачання - коли, де та скільки води використовувати.

Ваша система дистанційного моніторингу та керування кліматичними параметрами приміщень для промислового виробництва використовує ряд протоколів обміну інформацією, включаючи смартпротокол, інтерфейс SDI-12, Modbus та протокол шини CAN, для забезпечення зв'язку з різними пристроями та реєстраторами даних.

Основна система, оснащена мікроконтролером ESP32, відповідає за оцінку та оброблення даних з сенсорів. Мікроконтролер має можливість працювати з аналоговими сенсорами завдяки наявності аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Система здатна проводити порівняння отриманих даних з попередньо встановленими критичними точками та вживати відповідні заходи для уникнення екстрених ситуацій.

При досягненні заданих критичних значень (наприклад, перевищенні температури) система може виконати автоматизовані операції, такі як активація реле для включення охолоджувача.

Для передачі даних використовується мережа Wi-Fi, що дозволяє відправляти дані з пристрою на сервер для дистанційного моніторингу. Після оброблення сервер зберігає інформацію в загальній базі даних (БД), включаючи ідентифікатор пристрою та значення вимірювальних величин.

Отримані дані відображаються на онлайн-таблицях та графіках для спрощеного моніторингу та аналізу стану параметрів приміщень у реальному часі.

Протокол JSON (Java Script Object Notation) - це легкий формат обміну даними, який використовується для передачі структурованих даних між сервером і клієнтом через мережу. JSON дозволяє передавати дані в універсальному форматі, який легко зрозуміти та обробляти як комп'ютерам, так і людям.

В контексті керування технологічними процесами у системі HACCP (система контролю критичних точок у харчовій промисловості), JSON може бути використаний для зберігання та передачі керуючих параметрів, що впливають на роботу системи.

Використання JSON дозволяє операторам зв'язуватися з системою у реальному часі з будь-якого місця через веб-інтерфейс. Вони можуть отримувати актуальні дані про стан технологічного процесу, встановлювати параметри та вносити зміни в режими роботи системи НАССР.

Така можливість дозволяє операторам встановлювати критичні точки та отримувати сповіщення у разі порушень системи НАССР, надаючи засоби для негайного реагування та виправлення ситуацій, що можуть становити ризик для безпеки та якості харчових продуктів.

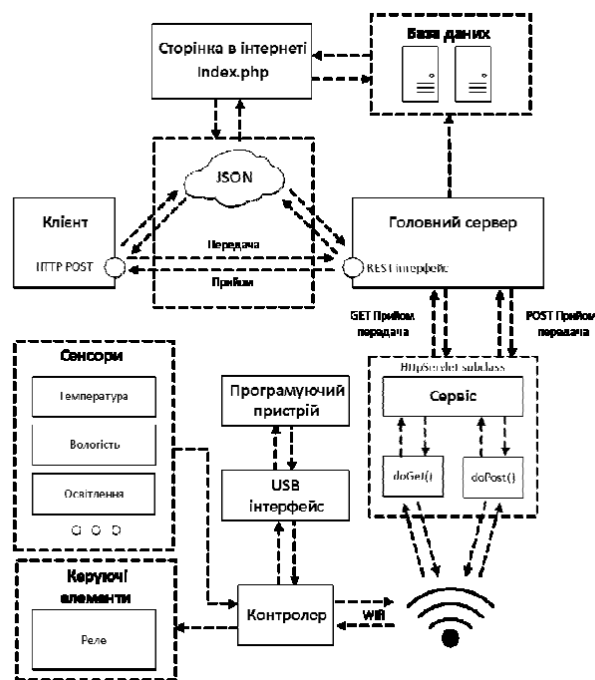


Рисунок 1.6 – Структура системи дистанційного керування та моніторингу

Ця інтегрована система на ПАТ "Стрийський хлібокомбінат" дійсно продемонструвала значний потенціал у керуванні та моніторингу технологічних процесів в умовах зберігання харчових продуктів на різних температурних режимах.

Основні переваги системи, які виокремлені:

1. Моніторинг в реальному часі: Завдяки збору та візуалізації даних у реальному часі через індивідуальний веб-інтерфейс, оператори могли миттєво спостерігати та реагувати на зміни температурних режимів.

2. Контроль та калібрування обладнання: Використання системи дало можливість калібрувати обладнання та оптимізувати його роботу, що призвело до зменшення енерговитрат і підвищення його ефективності.

3. Автоматизація процесів: Система дозволила автоматизувати облік та контроль за обладнанням, що спростило управління та покращило ефективність.

4. Економічна вигода: Зниження витрат на прокладання кабелів завдяки використанню Wi-Fi технології, а також оптимізація енергоспоживання стали ключовими факторами в економічній вигоді від впровадження системи.

Такі інтегровані системи, як вказаний приклад, стають важливою складовою виробничих процесів, допомагаючи зберігати продукцію відповідно до стандартів безпеки та оптимізувати витрати енергії.

Система контролю мікрокліматом свиногокомплексу БУМsmart.NET

Система автоматизації керування мікрокліматом для свиногокомплексу на базі БУМ smart.NET вирішує широкий спектр завдань, пов'язаних із забезпеченням оптимального середовища для тварин. Деякі з ключових функцій та завдань цієї системи включають:

1. Температурний контроль: Підтримка оптимальних температурних умов в приміщенні свиногокомплексу, що важливо для комфорту тварин та їх здоров'я.

2. Контроль шкідливих газів: Моніторинг та регулювання концентрації шкідливих газів у повітрі для забезпечення здоров'я тварин.

3. Вентиляція та вологість: Відведення надлишкової вологості та забезпечення мінімального рівня вентиляції, необхідного для забезпечення комфорту тварин.

4. Регулювання повітряного потоку: Регулювання швидкості припливу повітря для усунення протягів і "мертвих зон" вентиляції за допомогою клапанів.

5. Управління вентиляцією в різних режимах: Можливість ручного керування вентиляцією при специфічних умовах, таких як режими "миття" чи "сушіння" приміщення.

6. Автоматична реакція на аварійні ситуації: Переведення виконавчих механізмів у стан природної вентиляції в разі виникнення аварійних ситуацій.

7. Моніторинг та диспетчеризація даних: Збір, обробка та передача даних про хід технологічного процесу в єдину систему моніторингу для зручного відстеження та управління.

Ця система дозволяє не лише модернізувати існуючі системи, а й комплексно постачати обладнання для нових приміщень, забезпечуючи гнучке керування периферійним обладнанням від різних виробників. Це сприяє створенню оптимальних умов для свиней, забезпечуючи їхнє здоров'я та комфорт у своєму середовищі.

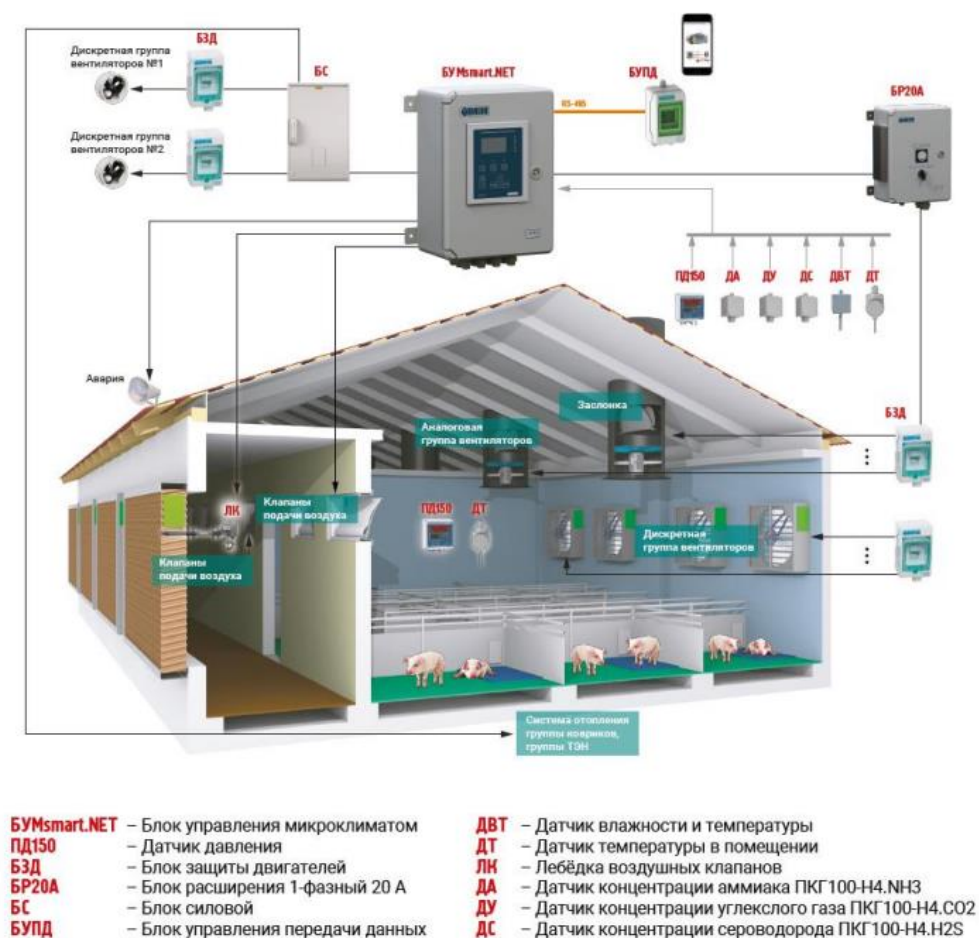


Рисунок 1.7 – Структурна схема контролю мікрокліматом свиногокмплексу

Система збору та відображення даних мікроклімату розумної будівлі з LoRa MESH – Технологій

Зв'язок із звичайними системами розумного будинку може бути викликаний багатьма факторами, такими як розміри будинку, матеріали, з яких він побудований, і навіть локація датчиків. Звичайні безпроводні системи можуть мати проблеми із забезпеченням стабільного зв'язку, особливо в будинках із залізобетонними стінами або великою площею.

Технологія LoRa, сполучена з технологією Mesh, може вирішити ці проблеми, створюючи мережу, яка дозволяє пристроям взаємодіяти між собою, передавати дані через кілька пристроїв та, при потребі, підсилювати сигнал.

Створення макету системи з трансивером RFM95 та програмним забезпеченням для візуалізації мережі і даних з датчиків - важливий крок для перевірки функціональності цієї технології. Це дозволяє переконатися, що LoRa в поєднанні з Mesh може забезпечити потрібний зв'язок у будь-яких умовах та середовищах.

Потенціал такого рішення полягає у створенні надійної мережі для збору даних про мікроклімат в будинках з будь-якими конструкціями або розмірами. Це може виявитися надзвичайно корисним для забезпечення стабільного контролю мікроклімату та автоматизації керування в розумних будинках.

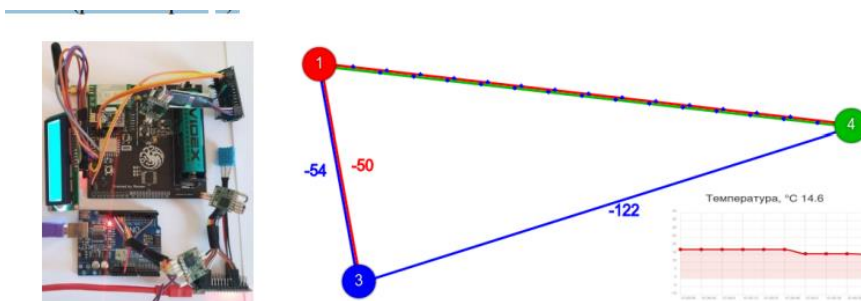


Рисунок 1.8 – Система та візуалізація LoRa-Mesh-мережі

Схема з використанням мережевого шлюзу та вузлів з датчиками освітленості та температури звучить цікаво! Принципово, така архітектура дозволяє створювати мережу, в якій дані передаються через проміжні вузли,

якщо прямий зв'язок між вузлами відсутній, забезпечуючи шлях передачі інформації через інші вузли в мережі.

У вас вже є певна апаратна конфігурація, яка може передавати дані між вузлами, але здається, що вузол 4 потребує додаткового посередника для зв'язку з мережевим шлюзом через вузол 3. Це класичний приклад роботи мережі маршрутизації, коли дані передаються через проміжні вузли для досягнення кінцевого пункту.

Через використання Chartist.js ви зможете візуалізувати зібрані дані у формі графіків. Це дасть змогу зручно спостерігати за динамікою температури, вологості та освітленості відповідно до змін у вашому приміщенні.

Можливість створення такої мережі і візуалізація даних - це чудова база для подальших розширень і досліджень у напрямку розумних систем контролю за середовищем та автоматизації [4].

Висновки:

Технологія LoRa відкриває широкі можливості для контролю якості та умов зберігання сировини. Її низька споживана потужність і великий дальній зв'язок дозволяють застосовувати цю технологію в різних галузях.

У сфері контролю сировини LoRa може забезпечити стабільний моніторинг умов зберігання на складах або під час транспортування. Наприклад, за допомогою сенсорних систем, обладнаних LoRa, можна контролювати температуру, вологість або рівень освітленості, що дозволить підтримувати оптимальні умови для зберігання сировини та уникнути її псування чи погіршення якості.

Такі системи можуть також бути корисними в агропромисловому секторі, де контроль за умовами вирощування та зберігання сільськогосподарської продукції є критичним. LoRa дозволяє отримувати дані з віддалених об'єктів, де традиційний доступ до мережі може бути обмеженим.

Ця технологія відкриває можливості для розробки інноваційних систем контролю, спрощуючи процес моніторингу та дозволяючи ефективніше управляти якістю сировини на всіх етапах її обробки та зберігання.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТОВОГО МОДУЛЯ КОНТРОЛЮ ЛІКАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

2.1 Розробка алгоритму роботи системи

Система контролю лікарської сировини має величезне значення для фармацевтичної промисловості. Забезпечення високої якості та безпеки лікарських препаратів починається саме з контролю якості сировини. Це дозволяє виробникам ліків створювати продукти, які відповідають найвищим стандартам і вимогам.

Дослідження системи об'єктового контролю лікарської сировини є ключовим для постійного удосконалення і покращення процесу виробництва ліків. Це дозволяє виявляти потенційні ризики, удосконалювати процеси контролю якості та розробляти ефективні стратегії для забезпечення безпеки та ефективності медичних засобів.

Оскільки вимоги до якості та безпеки медичних продуктів постійно зростають, розвиток систем контролю лікарської сировини виступає як стратегічно важлива складова фармацевтичної галузі, що допомагає виробникам ефективно відповідати потребам ринку та забезпечувати безпеку пацієнтів. Розуміння та контроль якості лікарських сировин є вирішальними для забезпечення безпеки та ефективності лікарських засобів.

Точно, дослідження системи контролю лікарської сировини відіграє вирішальну роль у підвищенні якості та безпеки медичних препаратів. Використання сучасних технологій у системі контролю дозволяє покращити моніторинг якості сировини, запобігати можливим дефектам та забезпечувати стандарти безпеки та ефективності у виробництві лікарських засобів.

Апаратна частина цієї системи заснована на використанні сучасних компонентів, таких як надійні датчики, мікроконтролери, радіочастотні модулі, а також нагрівачі та вентиляційні компоненти. Це не лише забезпечує високу точність вимірювань, а й робить систему економічно ефективною завдяки своїй надійності та мінімальній похибці.

Цей підхід до вдосконалення системи контролю лікарської сировини важливий для розвитку фармацевтичної промисловості, оскільки він сприяє виробництву високоякісних медичних засобів, що має безпосереднє значення для забезпечення здоров'я та безпеки пацієнтів.

Ця система контролю мікроклімату має розширену функціональність через свою двочастинну апаратну структуру: автономний пристрій для вимірювання та регулювання та ретранслятор для передачі та консолідації даних. Вона може бути реалізована для контролю мікроклімату в різних умовах, від контейнерів до приміщень, забезпечуючи певний мінімальний набір датчиків для реагування на різні ситуації та події.

Мінімальний набір датчиків, що включає датчики повітря, вологості, температури та освітленості, представляє собою ключовий комплект для вимірювання важливих параметрів мікроклімату. Ці дані можуть використовуватись для автоматичного управління вентиляцією, освітленістю та іншими параметрами з метою забезпечення оптимального середовища у контрольованій області.

Цей підхід дозволяє створити гнучку систему контролю, яка може адаптуватися до різних умов та вимог, а також реагувати на негативні ситуації, надаючи можливість реагування на аварійні ситуації та покращення умов зберігання.

Режим роботи системи.

Цей процес контролю мікроклімату є досить реактивним та автоматизованим, але потребує втручання людини після спрацювання датчика для управління ситуацією. Коли датчик виявляє порушення умов зберігання, мікроконтролер ініціює сигнал тривоги, який надсилається до диспетчерського приймача. Оператор отримує цю інформацію та має можливість прийняти рішення щодо подальших кроків.

Це може включати переміщення сировини в інший контейнер або приміщення, виправлення проблем у системі контролю, чи прийняття рішення про ігнорування ситуації, якщо вона не є критичною або може бути спричинена помилковими чи випадковими сигналами датчика.

Цей алгоритм дозволяє оператору приймати розумні рішення на основі інформації, що надходить від системи контролю, та забезпечує можливість реагування на надзвичайні ситуації для збереження якості сировини. На рисунку 2.1. показано алгоритм роботи.



Рисунок 2.1 – Режим роботи системи

Ця система контролю мікроклімату має свої переваги та недоліки, які варто врахувати:

Переваги:

1. Самостійне рішення оператора: Оператор може самостійно визначати, як реагувати на сигнал тривоги, що дозволяє адаптувати реакцію до конкретної ситуації.
2. Можливість ігнорування ситуації: Є можливість не реагувати на сигнал у випадках помилкового спрацювання датчика, забезпечуючи безперервний моніторинг мікроклімату.

Недоліки:

1. Низька швидкодія передачі сигналу: Затримка у передачі сигналу від датчика до диспетчерського приймача та в зворотному напрямку може зменшити швидкість реакції на надзвичайні ситуації.

2. Час на прийняття рішення оператором: Необхідність часу на прийняття рішення оператором може спричинити затримки у вжитті заходів у випадку екстрених ситуацій.

Ці аспекти можуть впливати на ефективність системи та швидкість реагування на події, тому важливо збалансувати ці переваги та недоліки для оптимальної роботи системи контролю мікроклімату.

Частотний поділ каналів зв'язку.

У частотному поділі (FDM - Frequency Division Multiplexing) різні сигнали передаються одночасно на різних частотах в межах загального смуги частот. Кожен сигнал або канал має власну частотну ділянку, яка не перетинається з іншими ділянками частот, використовуючи загальний канал зв'язку. Це дає можливість одночасно передавати різні сигнали чи канали без втрати інформації та перешкод один для одного.

На рисунку 2.2, показано різні частотні інтервали, які використовуються для передачі різних сигналів чи каналів по лінії зв'язку. Кожен канал має свою власну область частот, і всі ці області об'єднуються в загальний смугу частот, яка використовується для передачі інформації.

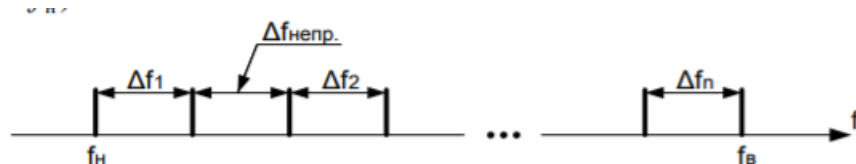


Рисунок 2.2 – Інтервали частот при частотному поділі каналів зв'язку

Для першого каналу зв'язку виділяється смуга Δf_1 , для другого - Δf_2 і т.д. Сусідні канали зв'язку поділяються між собою смугами не пропускання, ширина яких залежить від якості фільтрів, що застосовуються для поділу каналів зображено на рисунку 2.3.

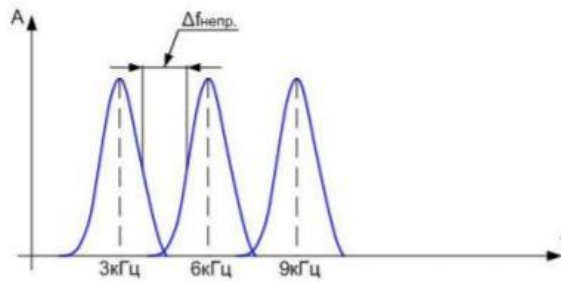


Рисунок 2.3 – Амплітудно-частотна характеристика каналів зв'язку

Недоліки частотного поділу каналів зв'язку:

- складність фільтрів;
- великі смуги не пропускання;
- неефективне використання частотного діапазону.

Часовий поділ каналів зв'язку

Часовий поділ каналів зв'язку (TDMA - Time Division Multiple Access) - це ефективний метод передачі даних, де час поділяється на інтервали для передачі інформації від різних джерел. Це використовується для оптимізації використання ресурсів та підвищення ефективності передачі даних.

Переваги часового поділу каналів зв'язку, які ви згадали, включають:

- Використання цифрового сигналу, що дозволяє відновлювати сигнал та забезпечує більшу стійкість.
- Можливість передачі додаткової інформації для корекції помилок у передачі даних.
- Висока стійкість до перешкод, зокрема відсутність перехідних перешкод нелінійного походження.
- Простота реалізації системи та підвищена захищеність каналів від несанкціонованого доступу.

Недоліки часового поділу каналів зв'язку включають:

- Нелінійні спотворення через обмежену ширину смуги частот та імпульсні характеристики системи.
- Можливі взаємні перешкоди через недосконалість синхронізації тактових імпульсів на передавальній та приймальній сторонах.

Ці переваги і недоліки є важливими при розробці та використанні систем передачі даних і дозволяють зрозуміти, які аспекти варто враховувати для досягнення оптимальної ефективності і надійності зв'язку.

Способи з'єднання контейнерів.

Топологія "зірка" дійсно має свої переваги та недоліки, особливо коли мова йде про контроль мережі.

Переваги топології "зірка":

- Централізоване керування: Всі системи з'єднані з центральним вузлом (диспетчерським пристроєм), що полегшує керування і контроль мережі.
- Простота виявлення несправностей: Легше визначити проблемне місце, оскільки весь трафік проходить через центральний вузол.
- Незалежність відмов: Відмова одного пристрою зазвичай не впливає на роботу інших вузлів.

Недоліки топології "зірка":

- Залежність від центрального вузла: Перевантаження або відмова центрального пристрою може паралізувати всю мережу.
- Вразливість центрального вузла: Недолік централізованого підходу полягає в тому, що він стає єдиною точкою витоку несправностей.
- Обмеженість: Кількість підключень обмежена фізичними обмеженнями самого центрального вузла.

Усі ці аспекти добре підкреслюють, що топологія "зірка" є ефективною для контролю та легкої ідентифікації несправностей, проте потребує уважності щодо надійності центрального вузла, щоб уникнути загрози відмови всієї системи.

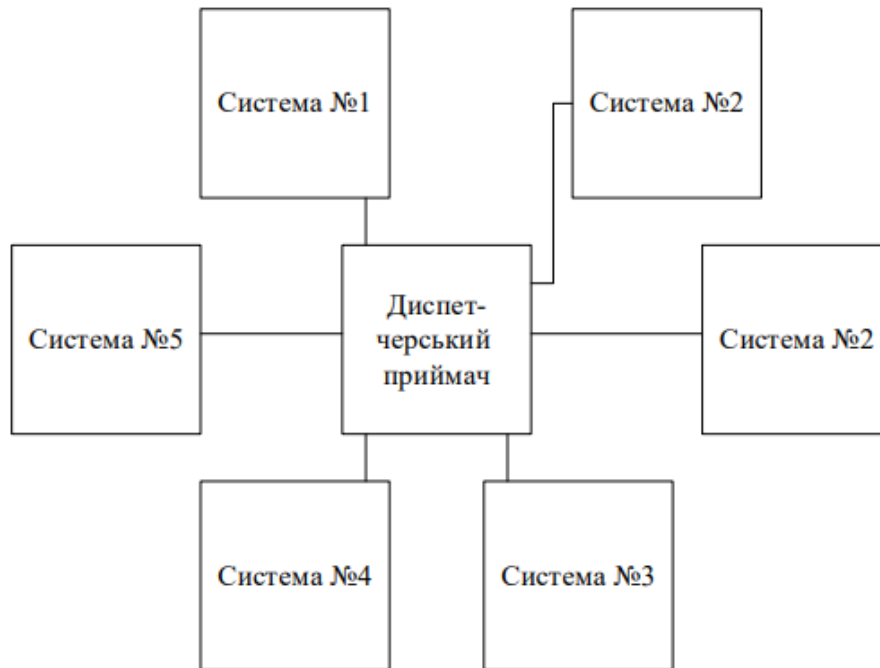


Рисунок 2.4. – З'єднання зірка

Топологія кільця має свої особливості, які роблять її привабливою, але й вносять обмеження.

Переваги топології кільця:

- Розширення мережі: Ретрансляція сигналів кожною системою дозволяє значно збільшити розмір всієї мережі, іноді до декількох десятків кілометрів.

- Відсутність загасання сигналу: Оскільки кожна система ретранслює сигнал, загасання сигналу у всьому кільці не має критичного значення, а лише між сусідніми системами.

Недоліки топології кільця:

- Знижена надійність: Відмова хоча б однієї системи призводить до паралізу всього обміну, оскільки весь кільцевий механізм працює відносно синхронно.

- Потреба у диспетчерському пристрої: Хоча немає чітко виділеного центра, але для управління системами може бути визначений диспетчерський пристрій, що займається координацією мережі.

Топологія кільця може бути ефективною, зокрема щодо розширення мережі, але вимагає уважності при плануванні, оскільки вразливість до

відмов може призвести до серйозних проблем із забезпеченням доступності мережі.

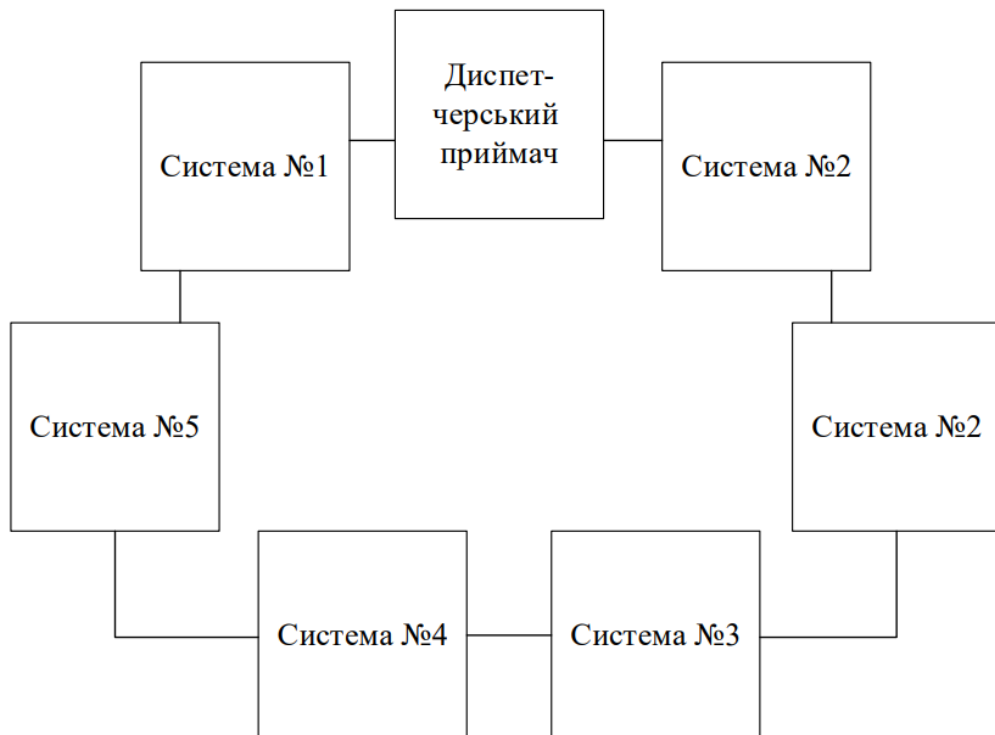


Рисунок 2.5. – З'єднання кільце

Обрання зіркової топології для побудови мережі має свої плюси, зокрема зручність у керуванні та локалізації проблем. Вона дозволяє ефективно контролювати та керувати системою через центральний вузол, що спрощує процеси моніторингу та управління.

Також, у топології зірки немає проблеми залежності від однієї системи від іншої, оскільки усі системи підключені до центрального вузла. Це означає, що відмова однієї системи не впливає на роботу інших.

Однак слід мати на увазі, що зіркова топологія також може мати обмеження, зокрема щодо витрат на кабельне з'єднання, а також залежності від центрального вузла, який може стати одним із слабких пунктів мережі.

Отже, обираючи зіркову топологію, важливо врахувати переваги та недоліки для забезпечення ефективності та надійності мережі.

2.2 Опис типу трансиверу.

Модуль LoRa Ra-01, заснований на чіпі SX1278, відкриває широкі можливості для бездротових зв'язків на великі відстані з мікроконтролерами. Ця технологія LoRa відома своєю унікальною здатністю передавати дані на значні відстані з низьким споживанням енергії та високою стійкістю до перешкод.

Використання інтерфейсу SPI спрощує взаємодію модуля з мікроконтролерами, роблячи його легким у використанні для створення різноманітних проєктів IoT, систем моніторингу та бездротових сенсорних мереж.

Його широкий діапазон робочих частот та висока швидкість передачі даних (до 300 кбіт/с) роблять модуль Ra-01 відмінним вибором для різноманітних застосувань, де важлива дальність передачі і низьке споживання енергії.

Загалом, його популярність серед розробників полягає в комбінації передових можливостей, простоті використання та здатності працювати на великій відстані з високою ефективністю.

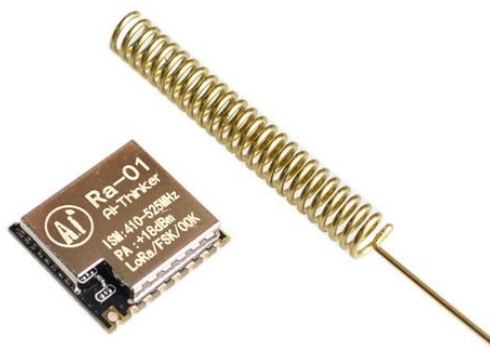


Рисунок 2.6 – LoRa Ra-01 на чіпі SX1278

Зв'язок LoRa справді вражає своєю стійкістю до перешкод та здатністю працювати в умовах, де інші бездротові технології можуть втратити зв'язок.

Модуляція сигналу LoRa дозволяє йому ефективно функціонувати при низьких рівнях сигналу та ускладнених умовах оточення.

Модуль Ra-01 часто використовується для створення мереж, де потрібна велика дальнодіючість та енергоефективність. Наприклад, він може використовуватися для віддаленого зчитування даних, моніторингу довкілля, віддаленого керування та спостереження за об'єктами.

Однією з ключових переваг LoRa є його можливість працювати на великих відстанях. Залежно від умов оточення та параметрів передачі сигналу, LoRa може забезпечити зв'язок на відстанях кількох кілометрів чи навіть більше. Це робить LoRa дуже привабливим для сценаріїв, де важлива велика площа покриття без великого споживання енергії.

Загалом, модуль LoRa Ra-01 є потужним та ефективним інструментом для створення надійних та енергоефективних бездротових зв'язків у різноманітних проектах, особливо в галузі IoT та бездротового зв'язку.

Дальність роботи LoRa

Дальність передачі у технології LoRa може значно коливатися через ряд впливових факторів. У ситуації ідеальних умов з прямою видимістю (line of sight), LoRa може працювати на відстань кількох кілометрів, навіть до 10-15 км, залежно від потужності передачі та частоти. Однак у реальних умовах, різні перешкоди, такі як будівлі, рельєф місцевості, електромагнітні перешкоди та інші, можуть обмежувати дальність сигналу.

Важливо зазначити, що різні версії LoRa можуть мати різні характеристики передачі даних. Наприклад, LoRaWAN може мати більшу дальність порівняно з базовою версією LoRa завдяки використанню мережових архітектур для оптимізації передачі даних.

Належне налаштування параметрів передачі, таких як потужність передачі, частота, а також використання підходящих антен, може сприяти досягненню оптимальної дальності передачі сигналу. Отже, для типових застосувань LoRa, можна очікувати дальність передачі від кількох сотень метрів до кількох кілометрів, залежно від конкретних умов використання та правильного налаштування параметрів передачі.

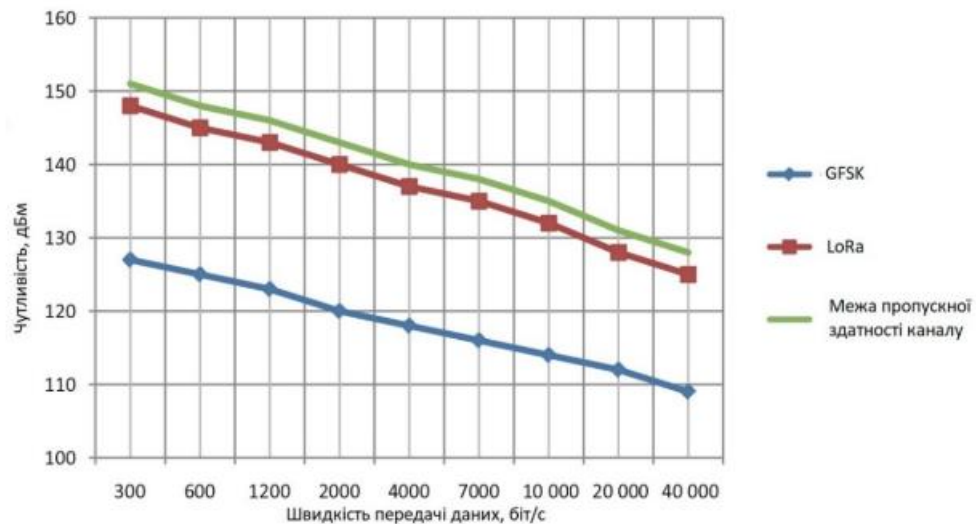


Рисунок 2.7 – Чутливість приймачів до швидкості передачі

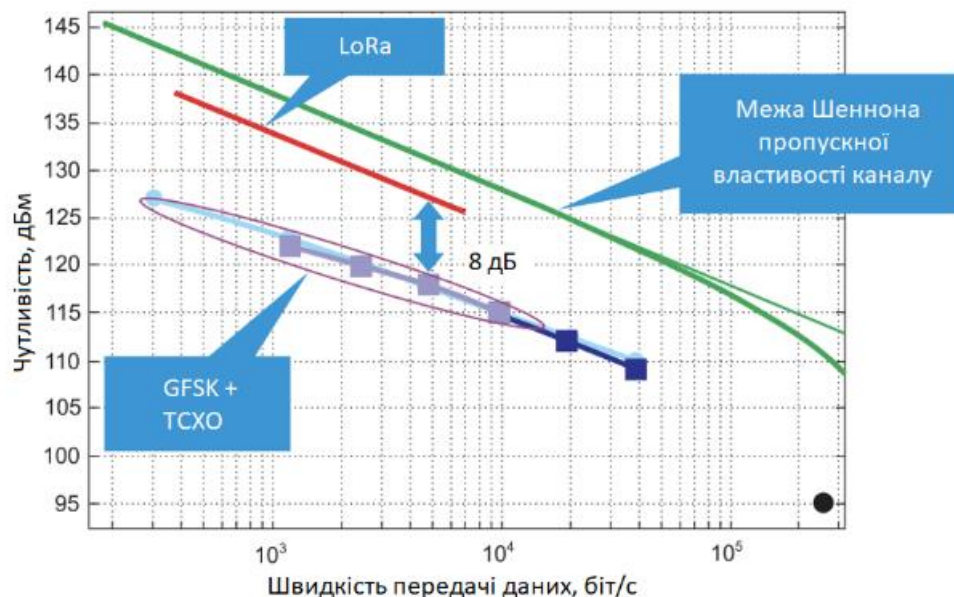


Рисунок 2.8 – Чутливість від швидкості передачі даних для гаусівської ЧМ та розширенням спектру (LoRa)

Модель Окамура-Хата

Ця модель враховує чимало складних аспектів, таких як втрати в антенно-фідерному тракті, рівень шумів на приймачі, особливості розповсюдження радіохвиль у міських та приміських місцевостях. Її використання дозволяє розрахувати середні втрати сигналу на різних ділянках шляху від передавача до приймача.

У моделі Окамура-Хата важливо враховувати такі параметри, як частота сигналу, дальність зв'язку, висота антен, а також тип місцевості. Різні типи місцевості, такі як великі міста, невеликі і середні міста, приміські

території та сільські місцевості, впливають на розподіл сигналу і вимагають врахування специфічних факторів.

Врахування всіх цих даних та факторів дозволяє отримувати достатньо точні прогнози щодо якості зв'язку на різних відстанях та в умовах різних місцевостей. Це надзвичайно важливо для планування ефективних систем зв'язку, особливо в умовах рухомих об'єктів і мобільних пристроїв.

Розрахунки зони обслуговування базових станцій у мережах мобільного зв'язку зазвичай базуються на великій кількості факторів. Наприклад, врахування параметрів антенно-фідерного тракту приймально-передавальної апаратури, яка включає в себе характеристики діаграм спрямованості приймальної антени та висоти її розташування, важливе для визначення зони оптимального покриття.

Технічні параметри обладнання, які використовуються, також впливають на якість зв'язку: робоча частота, тип модуляції та ширина смуги пропускання приймача. У міських умовах рельєф місцевості та міська забудова впливають на розподіл сигналу, викликаючи явища, такі як дифракція та багатопроменевість.

Модель Окамура-Хата, враховуючи ці параметри та умови розповсюдження радіохвиль у місті та приміських територіях, дозволяє прогнозувати середні втрати сигналу на шляху між станціями. Вона допомагає встановити оптимальні параметри для забезпечення стабільного зв'язку з урахуванням різноманітних умов місцевості та технічних характеристик обладнання.

Важливим аспектом при розрахунках зони покриття є врахування рівня шумів на вході приймача та його чутливості. Ці параметри визначають можливість прийому сигналу при високому рівні шуму та враховують чутливість приймача до слабких сигналів.

Також важливо враховувати явища повільного та швидкого завмирання сигналу через рух мобільних пристроїв. Ці коливання можуть бути передбачені за допомогою логарифмічно-нормального закону розподілення ймовірності, що дозволяє описати ці коливання, що відбуваються навколо середнього рівня сигналу.

Рельєф місцевості, будівлі та інші об'єкти на шляху поширення сигналу можуть викликати дифракцію та багатопроменевість, впливаючи на колювання сигналу та розподіл його сили в точці приймання.

Отже, модель Окамура-Хата є потужним інструментом для врахування всіх цих факторів у плануванні систем зв'язку з рухомими об'єктами. Вона дозволяє здійснювати прогнози та розрахунки, необхідні для створення ефективних систем забезпечення якісного та стабільного зв'язку.

Міська територія

Втрата сигналу в радіоканалі у міських умовах може бути розрахована за допомогою різних моделей передачі сигналу, які враховують різні фактори [20].

$$L_U = 69,55 + 26,16 \log_{10} f - 13,82 \log_{10} h_B - \\ - C_H + [44,9 - 6,55 \log_{10} h_B] \log_{10} d \text{ дБм.}$$

де L_U – втрати при розповсюдженні радіохвиль, дБ;

h_B – висота антени базової станції, м;

f – частота радіосигналу, МГц;

C_H – поправочний коефіцієнт, дБ;

d – відстань між базовою станцією та абонентською станцією, км.

Приміська територія

Модель Окамури-Хата використовується для прогнозування втрати сигналу в радіочастотних системах у приміських або півприміських середовищах з урахуванням умов, коли антенна станції залишається на приблизно однаковій висоті, але знаходиться серед забудови або дерев.

$$L_{SU} = L_U - 2 \left(\log_{10} \frac{f}{28} \right)^2 - 5,4.$$

де L_{SU} – втрати при розповсюдженні в приміських районах, дБ;

L_U – втрати при розповсюдженні в міських районах, дБ;

f – частота радіосигналу, МГц.

Відкрита територія

Модель Окамура-Хата використовується для передачі радіосигналів у відкритих територіях, наприклад, в сільських середовищах, де немає значних перешкод, що блокують шлях передачі сигналу. Ця модель враховує втрати сигналу відкритих територій без перешкод за допомогою відповідної формули, яка враховує особливості такого сприятливого середовища для передачі радіосигналів.

$$L_O = L_U - 4,78(\log_{10} f)^2 + 18,33(\log_{10} f) - 40,94.$$

де L_O – втрати радіохвиль на відкритих територіях, дБ.

2.3 Аналіз основних параметрів технології LoRa та зв'язок між ними.

LoRa - це протокол дальнього зв'язку, який працює на радіочастоті із великим діапазоном передачі даних. Він використовує параметри, такі як пропускна здатність (BW - Bandwidth), фактор розповсюдження (SF - Spreading Factor), швидкість кодування (CR - Coding Rate), потужність передачі (TP - Transmission Power), носійна частота (CF - Carrier Frequency), щоб забезпечити ефективний обмін даними на великі відстані з мінімальним споживанням енергії.

Пропускна здатність (BW) визначає ширину діапазону частот, яким використовується LoRa для передачі даних. Чим ширший діапазон, тим більше можна передати інформації, але це також може знизити чутливість та збільшити проблеми із "дрейфом годинника".

$$R_c = BW \frac{\text{чірп}}{с}$$

Фактор розповсюдження (SF) впливає на чутливість приймача та швидкість передачі. Використання більшого SF збільшує чутливість приймача, але зменшує швидкість передачі.

$$R_s = \frac{R_c}{2^{SF}} = \frac{BW}{2^{SF}} \frac{\text{символ}}{с}$$

Що призводить до модуляції швидкості бітової передачі, яка може бути виражена як:

$$R_M = SF \cdot R_s = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \frac{\text{біт}}{\text{с}}$$

Швидкість кодування (CR) дозволяє виправляти помилки в передачі даних. Використання більшого CR забезпечує більшу стійкість до пошкоджень, але знижує швидкість передачі.

$$BR = R_M \cdot \frac{4}{4 + CR} = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot \frac{4}{4 + CR} \frac{\text{біт}}{\text{с}}$$

Потужність передачі (TP) контролює рівень енергії, що використовується для передачі сигналу. Вона може бути змінена відносно великою мірою, але має обмеження з погляду споживання енергії та законодавчі норми.

Носійна частота (CF) вказує на частоту, на якій працює LoRa для зв'язку. Зазвичай використовуються специфічні діапазони частот, такі як ISM-діапазони.

Ці параметри використовуються для налаштування зв'язку залежно від конкретних умов, таких як відстань, ефективність передачі та споживання енергії. На жаль, я не можу відобразити або переглянути конкретні графіки чи малюнки, оскільки мої можливості обмежені текстовим форматом. Однак можу надати загальний опис того, що може бути відображено на цих графіках.

Рисунок 2.9, показує форму сигналу у часовій області для ЛЧМ (ширококутної модуляції) сигналу. Це може бути коливанням або формою хвилі, яка представляє собою сигнал у фізичному просторі залежно від часу.

Рисунки 2.10 і 2.11 відображають спектр сигналу для двох різних значень параметру BW (пропускна здатність) і баз (SF - фактор розповсюдження). Ці спектри можуть показати, як різні значення цих параметрів впливають на частотний спектр сигналу. Зазвичай, зі збільшенням

значення BW чи SF, можна спостерігати зміни у ширині спектру сигналу та його розміщенні в частотній області.

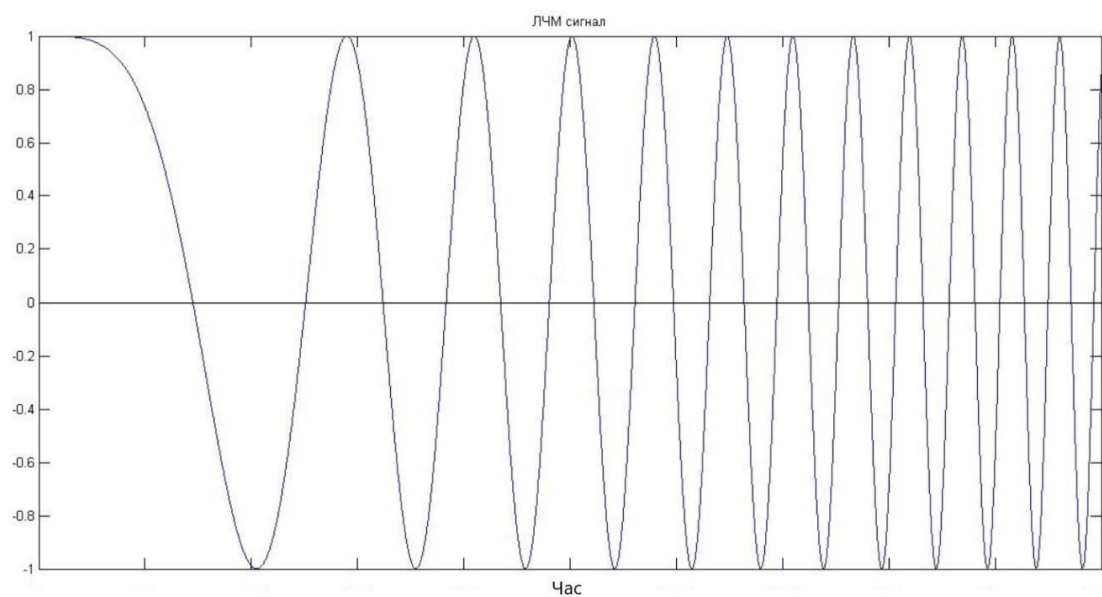


Рисунок 2.9 – ЛЧМ у часовій області

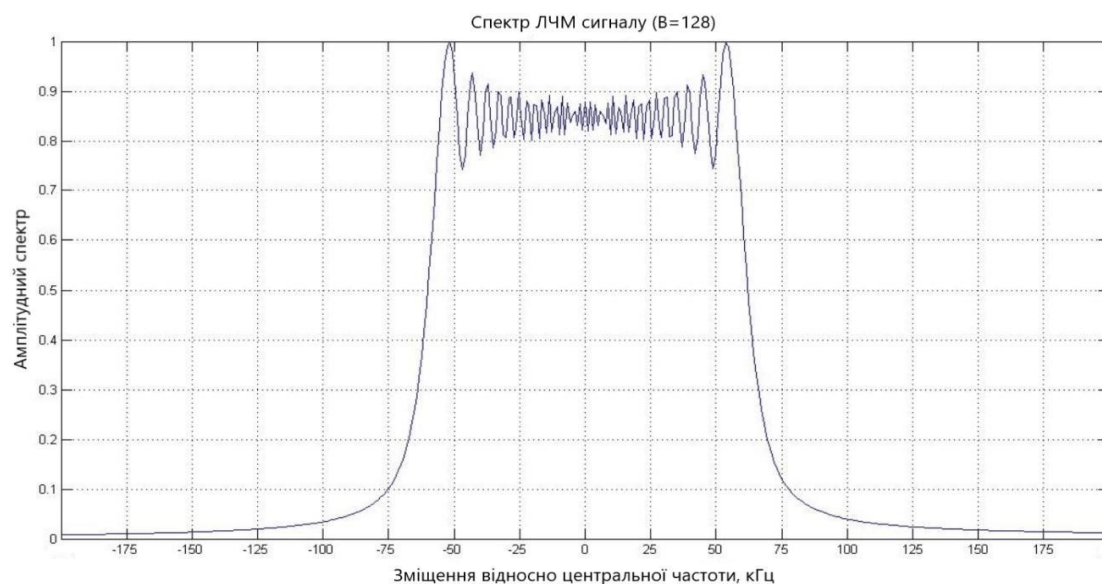


Рисунок 2.10 – Спектр ЛЧМ при BW=128кГц і базою 128 (SF=7)

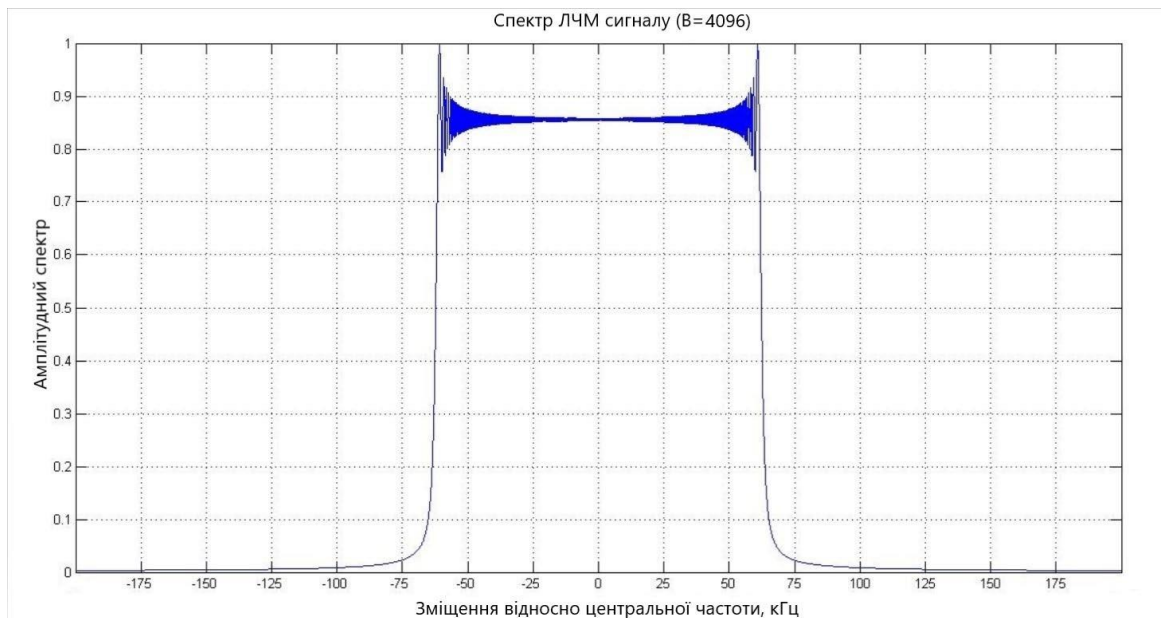


Рисунок 2.11 – Спектр ЛЧМ сигналу при $BW=128\text{кГц}$ і базою 4096

($SF=12$) Передавачі LoRa формують CSS

радіосигнали з шириною спектра (BW)

125, 250 або 500 кГц. При утриманні фіксованої ширини спектра радіосигналу, зміна параметру бази відбувається за рахунок зміни тривалості символу і швидкості зміни частоти, що впливає на швидкість передачі даних та чутливість сигналу до спотворень.

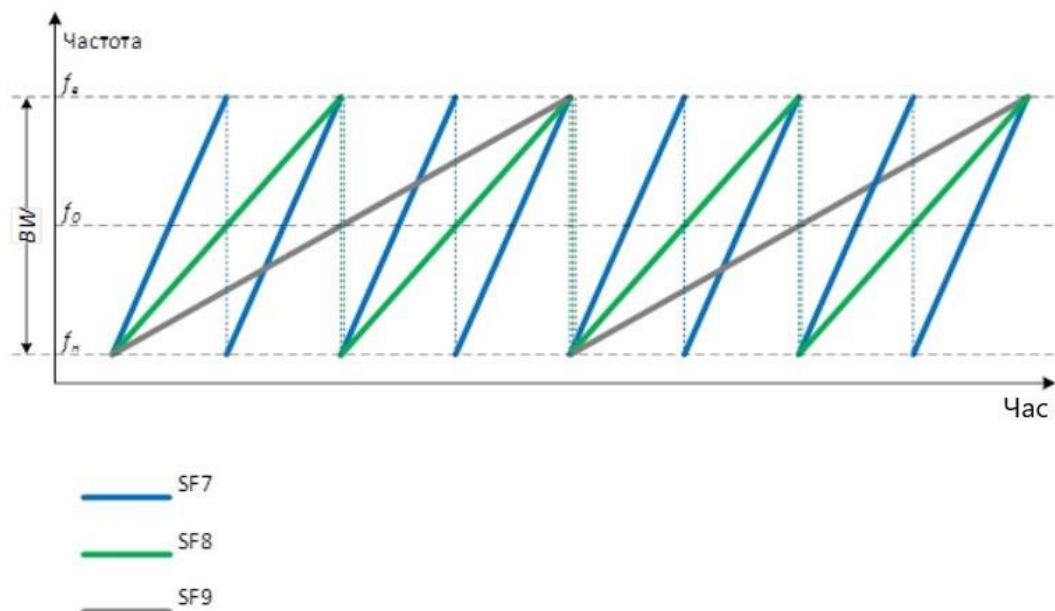


Рисунок 2.12 – Зміна бази при однаковій ширині спектра

В системі обміну даними важливо мати синхронізацію між приймачем і передавачем для визначення часових рамок передачі інформації. Технологія LoRa використовує асинхронний режим, коли передавач може розпочати передачу без попереднього планування. Для досягнення синхронізації

використовується преамбула, що передує кожному блоку даних. Преамбула містить послідовність символів, які дозволяють приймачу виявити активність передавача, визначити параметри передачі та виконати синхронізацію символів.

Для виявлення преамбули застосовується механізм, що базується на узгодженому фільтрі. Цей фільтр має імпульсну характеристику, яка взаємозв'язана з радіосигналом CSS (Chirp Spread Spectrum) у частотній області та має дзеркальне відображення в часовій області. Це дозволяє виявити преамбулу та виконати синхронізацію символів на приймачі:

$$h(t) = A_1 \cdot \cos\left(\omega_n \cdot (T_{sym} - t) - \frac{\mu}{2} \cdot (T_{sym} - t)^2\right), 0 \leq t < T_{sym}$$

У модуляційного методу, використаного для передачі даних через LoRa. У LoRa, для передачі символів інформації фізичному рівню (PHY DATA UNIT), використовується широкосмуговий радіосигнал зі специфічним частотним зсувом.

Отже, описаний принцип полягає у використанні частотного зсуву для кодування інформації у широкосмуговому радіосигналі LoRa. Це дозволяє передавати символи інформації у вигляді частотно зміщених сигналів, що дозволяє отримати більшу стійкість до шумів та забезпечити дальший діапазон передачі даних.

$$x(t) = \begin{cases} A_0 \cdot \cos\left(\omega_n \cdot t + \Delta\omega \cdot k \cdot t + \frac{\mu}{2} \cdot t^2\right), & 0 \leq t < T_0 \\ A_0 \cdot \cos\left(\omega_n \cdot t + \Delta\omega \cdot k \cdot t - BW \cdot t + \frac{\mu}{2} \cdot t^2\right), & T_0 \leq t < T_{sym} \end{cases}$$

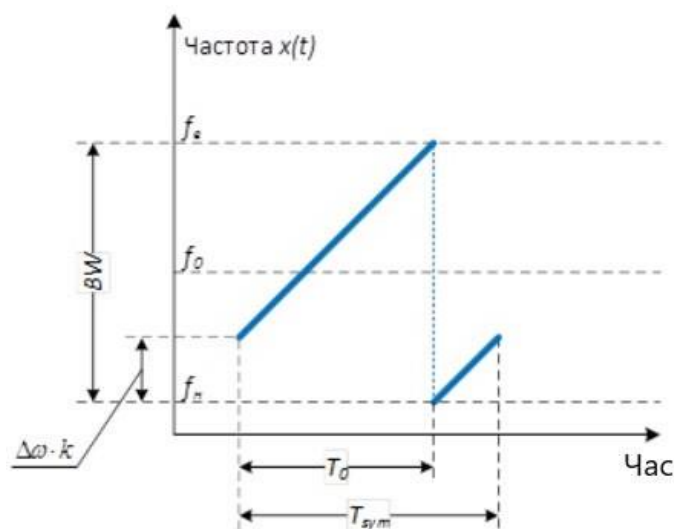


Рисунок 2.13 – Передача символів

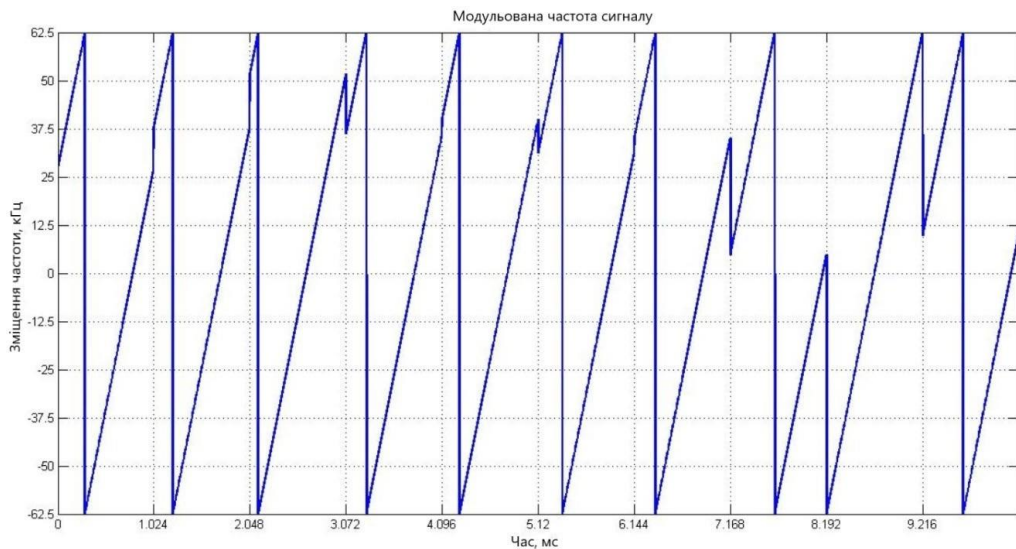


Рисунок 2.14 – Залежність частоти сигналу від часу

2.4 Аналіз формування ємності системи LoRa.

Усі пристрої LoRaWAN, включаючи кінцеві пристрої, а також LoRa-шлюз, використовують довільний (не синхронізований) доступ до загального середовища передачі. При цьому тимчасові інтервали відправки пакетів плануються кінцевими пристроями на основі власних потреб. Даний механізм доступу вдає із себе протокол типу "чиста ALOHA" (pure ALOHA) на ім'я першої комп'ютерної мережі передачі даних з пакетною комутацією (ALOHA_{net}), розробленої в 1968-1970-х роках групою вчених Гавайського університету під керівництвом Нормана Абрамсона і використала в якості середовища доступу до неї бездротову технологію.

Формування ємності мережі LoRa включає в себе декілька ключових аспектів:

- **Фізичний шар (PHY Layer):** Це включає в себе вибір радіочастоти, модуляційні схеми та техніки передачі даних. LoRa використовує модуляцію з розв'язанням різницевої фази (CSS) для досягнення великої дальності та ефективності.
- **Мережевий доступ (MAC Layer):** Протокол LoRaWAN визначає спосіб організації доступу до каналу передачі для вузлів мережі, керує QoS (якість обслуговування) та безпекою, враховуючи особливості великого обсягу вузлів та різні вимоги до передачі даних.

- Топологія мережі: LoRa мережі можуть мати різні топології, такі як зірка, дерево, меш (сітка). Обрана топологія може вплинути на дальність зв'язку, пропускну здатність та стійкість мережі до втрати пакетів.
- Управління енергоспоживанням: Оскільки LoRa часто використовується в батарейно-живлених пристроях, управління споживанням енергії є критичним аспектом формування мережі. Технологія LoRa пропонує методи зменшення споживання енергії у режимі очікування.
- Складові безпеки: Мережі LoRaWAN мають вбудовані механізми безпеки, такі як шифрування даних, аутентифікація вузлів та ключі безпеки для захисту від несанкціонованого доступу та атак.
- Управління мережею та динамічне керування ресурсами: LoRaWAN мережі включають управління ресурсами, таким як алгоритми розподілу часу, фреймів та дозволів для вузлів у мережі, щоб ефективно використовувати обмежені ресурси.
- Формування ємності мережі LoRa враховує всі ці аспекти для створення масштабованих, надійних та ефективних мереж для різноманітних застосувань в IoT, від сільського господарства до міського управління та індустріальних систем моніторингу.

Оцінка пропускнуої здатності системи визначається при наступних припущеннях:

- користувачькі дані, призначені для передачі, надходять на термінали випадково, утворюючи пуассонівський потік;
- відкинуті через помилки передачі пакети передаються повторно, утворюючи також пуассонівський потік;
- всі пакети даних мають однакову довжину і передаються однакою час;
- в мережі знаходиться нескінченне число віддалених терміналів (при цьому якщо якийсь термінал вже передає дані, це ніяк не впливає на ймовірність передачі даних іншими терміналами). В цьому випадку:
- імовірність того, що за час передачі одного пакета T надійде ще k пакетів від всіх терміналів мережі визначається формулою Пуассона:

$$Pr(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!},$$

де G - інтенсивність надходження пакетів (або середнє число повідомлень для передачі, що з'явилося на всіх терміналах мережі за час T).

– колізія не виникне, якщо на інтервалі передачі повідомлення, а також на одному попередньому інтервалі не з'являться ще пакети для передачі від інших кінцевих пристроїв мережі ($k = 0$). Отже, ймовірність успішної передачі становить $P = e^{-2G}$;

– середнє число успішно переданих за час T пакетів, тобто пропускну здатність мережі, становить $S = G \cdot P = G \cdot e^{-2G}$.

2.5 Аналіз побудови розподілу та оптимізації її ресурсів.

Розподіл кінцевих пристроїв між шлюзами залежить від періодів повідомлень і евклідової відстані між обома вузлами, яка обмежує SF використовувати. Кінцеві пристрої можуть працювати по-різному SF , але зазвичай лише деякі з них можуть бути використані для доступу до призначеного шлюзу. Часові обмеження (зокрема, періоди повідомлень DC) може обмежити використання вищих SF . Оскільки час передачі подвоюється, коли SF збільшується в один блок, кінцевий пристрій з періодом 100 і повідомленням одного блоку для передачі може використовувати SF_7 дотримуючись DC обмеження. Однак його можна не використовувати SF_8 як це порушить DC .

Відстань до можливого шлюзу є іншим фактором, який визначає процес розподілу. Знову ж таки, кінцевий пристрій може підключатися до близького шлюзу за допомогою SF_7 , але не до іншого з вищим SF , оскільки це порушує DC обмеження. Якщо ED можна використовувати вищу SF , тоді його повідомлення досягатимуть кількох шлюзів, хоча лише один із них пересилатиме повідомлення на мережевий сервер. Тому використовуючи ту чи іншу SF не те саме, оскільки слід враховувати можливе втручання. Період повідомлення та відстань до потенційних шлюзів є змінними, які дозволяють визначити доцільність підключення кінцевого пристрою до шлюзу.

Розподіл кінцевих пристроїв у межах певної області є ще одним ключовим аспектом дизайну, який слід враховувати при визначенні кількості шлюзів, необхідних для планування всіх повідомлень. Якщо кінцеві пристрої розташовані далеко між ними, ймовірно, знадобиться більше шлюзів для покриття зони, де розгорнуто мережу, навіть якщо можна використовувати більші SF, а коефіцієнт використання шлюзу (U) низький.

З іншого боку, коли концентрація вузлів висока в обмеженій області, одного шлюзу може бути достатньо для планування всіх повідомлень. Однак, якщо кількість кінцевих пристроїв занадто велика, так що U шлюзу перевищує 1, буде більше шлюзів, що працюють у різних каналах необхідні для обробки всього трафіку. Щільність вузлів є ще одним важливим питанням у момент розгортання шлюзів.

Зрештою, система буде неможлива, якщо кінцеві пристрої та повідомлення будуть згруповані у зменшеній області таким чином, що доступних шлюзів буде недостатньо для обробки трафіку. Далі ми опишемо евристику оптимізації, запропоновану для вирішення зазначеної проблеми розподілу. Ми також представляємо алгоритми позиціонування шлюзів і підключення їх до кінцевих пристроїв.

2.5.1 Аналіз алгоритму оптимізації розподілу ресурсів

Періоди повідомлень є частиною вимог застосунку, але час передачі повідомлень є функцією обраного значення Spread Factor (SF). Визначає набір можливих значень SF для кожного кінцевого пристрою (ЕП). Евристичний метод розподіляє кожен КП лише до одного шлюзу (GW), встановлює канал, SF та момент часу, коли КП може передавати. Якщо виділено більше одного часового слоту через обране $SF > 7$, тоді передачу не можна перервати. У випадку, якщо КП досягає двох шлюзів, що працюють на одному каналі, обидва шлюзи повинні вказати слот як тимчасово виділений для цього кінцевого пристрою, хоча лише один з них відправить повідомлення на сервер мережі.

Є компроміс між виконанням термінів та обов'язковим циклом роботи та мінімізацією кількості шлюзів, що мають бути розгорнуті в мережі. Для виконання термінів та збереження циклу роботи необхідно тримати SF в низькому діапазоні; однак, для зменшення кількості шлюзів краще використовувати вищі значення SF. Методи, запропоновані в цій роботі, досягають компромісу між обома вимогами.

Алгоритм представляє псевдокод процесу оптимізації розподілу кінцевих пристроїв до шлюзів. На основі методу розташування шлюзів, який використовується, алгоритм повторюється до досягнення прийнятного рішення, завершення заданої кількості ітерацій або досягнення обмеження часу.

У алгоритмі чотири конфігураційні параметри:

1. Метод розташування шлюзів, який слід використовувати.
2. Поріг прогресу.
3. Поріг затору.
4. Максимальний фактор розповсюдження, дозволений для шлюзів.

Було реалізовано три різні методи для розташування шлюзів: випадковий та псевдо-пружини; рядки (8), (11) та (13) показують виклик цих методів відповідно. Метод жадібного розподілу працює за один крок, поки всі КП не будуть призначені до одного шлюзу. Останні два методи декілька разів повторюються, додаючи шлюзи за потреби, поки не буде досягнуто повного покриття, тобто, коли не залишиться відключених КП.

Ініціалізація методу великою кількістю шлюзів прискорює процес, але не гарантує оптимального рішення. Для поліпшення охоплення шлюзи пересувають за різними стратегіями розташування, але якщо після декількох ітерацій охоплення більше не покращується, до мережі слід додавати нові шлюзи, як показано у рядках (14) - (20). Для цього використовуються два параметри для контролю моменту додавання нових шлюзів: `progressThreshold` та `stagnationThreshold`. `progressThreshold` (показаний у (22)) визначає, чи вважається нове обчислене рішення поліпшенням порівняно з попереднім. У цьому варіанті використовується кількість нових підключених КП після кожного кроку як показник. Крім того, порігове значення

вибирається пропорційно загальній кількості КП в мережі, поділений на 1000. Наприклад, у мережі з десятками тисяч КП після кожного оптимізаційного кроку повинно бути підключено одинадцять нових КП для вважання значущим прогресом. Після певної кількості кроків без поліпшення чи прогресу буде додано новий шлюз. Тут використовується параметр *stagnationThreshold* (23). Експериментально було визначено, що значення десять дозволяє отримати прийнятні результати для більшості випадків. Для отримання кращих результатів рекомендується налаштувати ці два параметри.

$$progressThreshold = 1 + \frac{\text{Number of ED}}{1000}$$

$$stagnationThreshold = 10$$

```

Input: E, G ; // Sets of ED and GW
Output: GW number, positions and ED allocation
1 runOptimization (positioning, progressThresshold, stagnationThreshold, SFmax)
2 begint ← now() ; // Initialize timer
3 GW ← initGatewayPositions() ; // Set initial positions of GW
4 updateLinks() ; // Connect EDs to GW
5 NC ← getNotConnectedCount(ED) ; // Number of not connected EDs
6 wtdg ← 0 ; // Initialize progress watchdog
7 if positioning == 'greedy' then
8   Greedy() ; // Greedy allocation method
9 while iter < maxiter and now() – begint < timeout and NC > 0 do
10   if positioning == 'random' then
11     stepRandom() ; // Apply single step of positioning algorithm
12   if positioning == 'pseudo-springs' then
13     stepPseudoSprings() ; // Apply single step of positioning algorithm
14   prog ← NC – getNotConnectedCount(ED) ; // Optimization progress
15   NC ← getNotConnectedCount(ED) ; // Update number of not connected EDs
16   if prog < progressThreshold then
17     wtdg ← wtdg + 1 ; // If no progress, increment watchdog
18   if wtdg > stagnationThreshold then
19     GW ← addGateway(SFmax) ; // If stagnated, add a new GW at random location
20     wtdg ← 0 ; // Reset progress watchdog
21 if NC == 0 then
22   mc ← computeMinChannels() ; // Compute number of channels
23   if mc > 16 and SFmax > 7 then
24     SFmax ← SFmax – 1 ; // If many channels result, reduce value of SF
25     runOptimization() ; // Repeat optimization process with new SFmax

```

Рисунок 2.18 – Алгоритм оптимізації розподілу ресурсів

2.5.2 Аналіз алгоритму позиціонування з використанням випадкового розподілу.

Ця стратегія розташування шлюзів досить проста. Враховуючи, що розподіл кінцевих пристроїв є випадковим, місця розташування шлюзів вибираються за допомогою рівномірного випадкового розподілу. Зокрема, на кожному кроці генерується новий розподіл шлюзів. Якщо відсоток охоплення зменшується, то позиції повертаються до попереднього кроку. Якщо після серії спроб не досягнуто поліпшення, то додається новий шлюз. Кількість кроків, які потрібно виконати перед додаванням нового шлюзу, є параметром, який можна налаштувати.

```
Input: ED (end-devices) and GW (gateways)
Output: GW (gateways with improved positions)
1 begin
2   initialNE  $\leftarrow$  getConnectedCount(ED); // Initial number of connected
   ED
3   saveGWPositions(); // Save GW positions before updating
4   for each gwi in GW do
5     gwix  $\leftarrow$  uniform_random(); // Update x component of GW position
6     gwiy  $\leftarrow$  uniform_random(); // Update y component of GW position
7   updateLinks(); // Update connections between ED and GW
8   newNE  $\leftarrow$  getConnectedCount(ED); // Number of connected ED after
   updating positions
9   if newNE < initialNE then
10    revertGWPositions(); // If connected ED are less, revert GW
    positions
11  return (GW)
```

Рисунок 2.19 – Алгоритм випадкового позиціонування шлюзу

Рисунок 2.19 показує процедуру одного кроку, який виконується ітеративно. Цей метод швидко покращує розподіл шлюзів на початку, але після декількох ітерацій починає стагнувати, оскільки ймовірність знаходження кращого розподілу шлюзів стає меншою. Хоча остаточне рішення залежить від кількості шлюзів та розмірів області мережі, цей метод служить як посилання для оцінки придатності інших технік розташування.

2.5.3 Аналіз алгоритму позиціонування з використанням псевдопружинної моделі.

У цьому випадку функція цілі полягає в визначенні мінімальної кількості шлюзів для планування всіх повідомлень від кінцевих пристроїв. Як вже зазначалося, потрібно знайти метод, який ефективно розташовує шлюзи в відповідних місцях. Враховуючи, що кожен кінцевий пристрій в мережі більш схильний підключатися до найближчого шлюзу, запропоновано рівняння динамічної системи для надання рухливості шлюзам за допомогою симуляції сил притягання, що діють на них [19].

У цьому методі розташування початковий стан або позиції випадково вибираються. У кінцевому підсумку їх можуть розмістити вручну з певними знаннями про мережу для планування.

З одного боку, відключені кінцеві пристрої притягують найближчий шлюз, щоб мати змогу підключитися до них, коли вони будуть у дійсному діапазоні передачі. З іншого боку, підключені КП притягують шлюз, до якого вони в даний момент підключені, щоб розмістити їх у центрі мас цього хмари (тобто підмножини КП). Остання сила зазвичай повинна бути слабшою, ніж перша, і це дозволяє балансувати розподіл шлюзів в просторі мережі.

Тоді позиція x_g певного шлюзу GW оновлюється відповідно до його швидкості $\dot{x}_g$, де ED_c - це набір підключених ED до поточного шлюзу GW , ED_n - це набір найближчих непідключених ED , y_i - позиції ED , а константи k_n та k_c відповідають за регулювання сили сил, що діють на шлюзи. Якщо ці константи визначені як обернені числа підключених або непідключених ED , то загальна сила притягання (або швидкість) усереднюється, щоб зберігати їх у розумних значеннях. Щоб уникнути великих швидкостей шлюзів, застосовується функція обмеження для обмеження значень, до яких оновлюються позиції шлюзів.

$$\dot{x}_g = \sum_{t \in ED_n} k_n \cdot (y_t - x_g) + \sum_{t \in ED_c} k_c \cdot (y_t - x_g)$$

Input: *ED* (end-devices) and *GW* (gateways)

Output: *GW* (gateways with improved positions)

```
1 begin
2    $NE \leftarrow \text{getConnectedCount}(ED);$  // Number of connected EDs
3    $NC \leftarrow \text{getNotConnectedCount}(ED);$  // Number of not connected EDs
4   for each  $ed_j$  in ED do
5     if isConnected( $ed_j$ ) then
6        $gw_i \leftarrow \text{getConnectedGateway}(ed_j);$  // Get the GW of the current
        ED
7        $v_{ix} \leftarrow \frac{(ed_{jx} - gw_{ix})}{NC};$  // Update x component of GW velocity
8        $v_{iy} \leftarrow \frac{(ed_{jy} - gw_{iy})}{NC};$  // Update y component of GW velocity
9     else
10       $gw_i \leftarrow \text{getClosestGateway}(ed_j, GW);$  // Get closest GW to current
        ED
11       $v_{ix} \leftarrow \frac{(ed_{jx} - gw_{ix})}{NE};$  // Update x component of GW velocity
12       $v_{iy} \leftarrow \frac{(ed_{jy} - gw_{iy})}{NE};$  // Update y component of GW velocity
13    for each  $gw_i$  in GW do
14       $gw_{ix} \leftarrow gw_{ix} + \text{clamp}(v_{ix});$  // Update x component of GW position,
        limiting velocity value
15       $gw_{iy} \leftarrow gw_{iy} + \text{clamp}(v_{iy});$  // Update y component of GW position,
        limiting velocity value
16    updateLinks(); // Update connections of ED and GW according to new
        positions
17  return (GW)
```

Рисунок 2.20 – Алгоритм позиціонування псевдопружини шлюзу

Цей метод дозволяє нам експериментувати зі складнішими рівняннями, наприклад, вводячи фізичні змінні, такі як маса чи інерція, щоб змінити або зрештою покращити поведінку системи. Рисунок 2.20 показує процедуру для одного кроку процесу оптимізації, який використовує модель псевдопружини [19].

Висновки:

Проведений аналіз в даному розділі показав що, застосування сенсорних LoRa-систем дозволяє підприємствам забезпечити надійний моніторинг якості сировини та оптимізувати виробничі процеси. Велика відстань передачі даних, низьке споживання енергії та можливість передачі даних в реальному часі роблять цю технологію ідеальним варіантом для впровадження в індустріальних умовах.

Отже, дослідження сенсорної LoRa-системи контролю сировини доводить, що вона є перспективним рішенням для покращення якості та ефективності виробництва, а також для відповіді на сучасні вимоги ринку та споживачів. Завдяки своїм перевагам LoRa-технологія може знайти широке застосування в різних галузях промисловості та сільського господарства.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТОВОГО МОДУЛЯ КОНТРОЮ ЛІКАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

3.1 Дослідження характеристик ємності системи

Максимальне значення пропускної здатності досягається при інтенсивності надходження пакетів (G) 0,5 і становить 0,184 (при цьому ймовірність втрати пакетів через колізію - PLOSS складе 63%). При інтенсивності надходження пакетів (G) 0,0256 ймовірність втрати пакетів через колізії (p_{LOSS}) становить 5%.

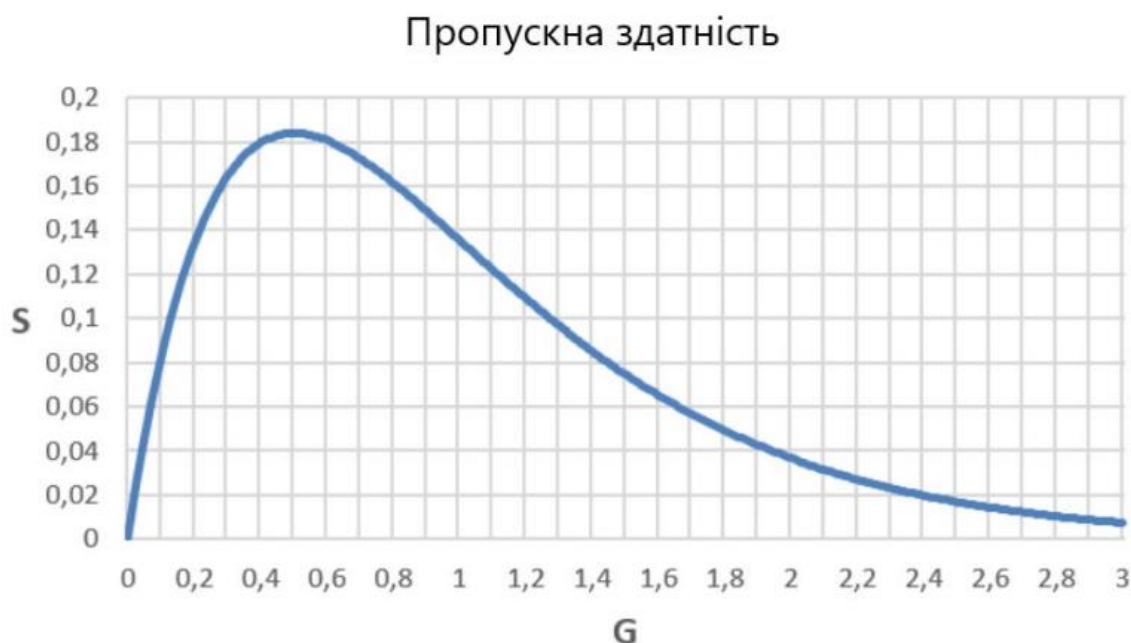


Рисунок 3.1 – Графік пропускної здатності

Максимальне значення пропускної здатності досягається при інтенсивності надходження пакетів (G) 0,5 і становить 0,184 (при цьому ймовірність втрати пакетів через колізію - PLOSS складе 63%). При інтенсивності надходження пакетів (G) 0,0256 ймовірність втрати пакетів через колізії (PLOSS) становить 5%.

Розглянемо мережу LoRa з наступними характеристиками:

- кількість радіочастотних каналів (N_f) - 8;
- кількість символів в преамбулі (n_{preamble}) - 6;

- середній розмір корисних даних, що передаються в поле FRMPayload - 10 байт;
- середня частота передачі пакетів одним кінцевим пристроєм - 1 пакет на годину;
- передача заголовка включена (explicit mode - H = 0), передача CRC включена (CRC = 1), оптимізація швидкостей вимкнена (DE = 0);
- швидкість кодування (CR) - 4/5;
- пакети передаються тільки від кінцевих пристроїв (без підтвердження доставки);
- допустима ймовірність втрати пакетів через колізії (p_{loss}) - 5%;
- суміщення за часом в одному радіоканалі двох пакетів від різних джерел вважається колізією незалежно від використовуваних коефіцієнтів розширення спектра (SF).

Допустима кількість пакетів на LoRa GW на добу становить:

$$\text{Throughput} = N_f \cdot \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{5\%}}{T},$$

де $G_{5\%} = 0,0256$ – інтенсивність надходження пакетів при $P_{\text{Loss}} = 5\%$.

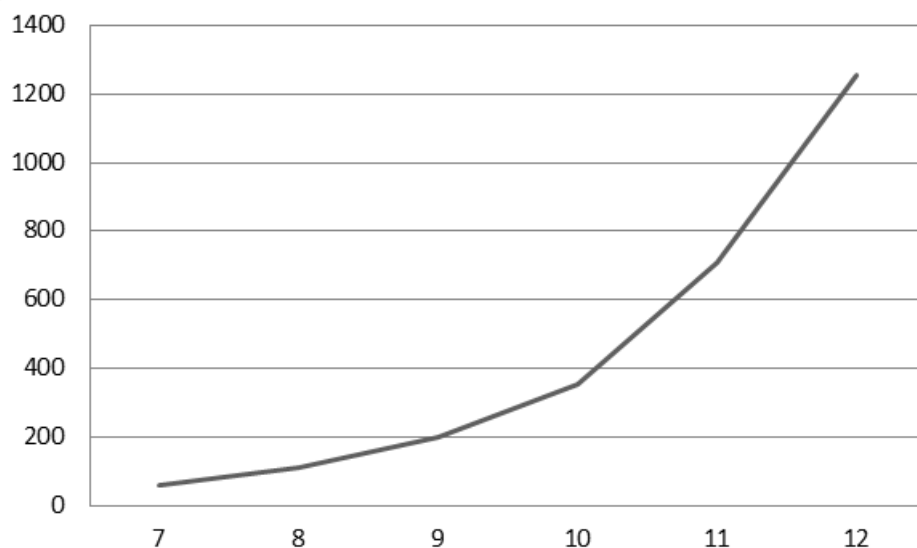


Рисунок 3.2 – Залежність тривалості одного пакета від коефіцієнту розширення

Якщо подивитися на дані, можна побачити, що з збільшенням зони покриття час передачі пакету також зростає. Проте цей зріст не відбувається лінійно, а здається, що є деякий патерн чи співвідношення.

Кожен наступний рівень зони покриття в два рази більший за попередній, але час передачі пакету збільшується більш, ніж удвічі з кожним новим рівнем. Наприклад, коли зона покриття переходить від 7 до 8, час збільшується з 59,65 до 109,06, що є приблизно удвічі більше. Але коли ми переходимо від 8 до 9, час зростає вже майже удвічі від 109,06 до 197,63.

Це може вказувати на те, що збільшення зони покриття приводить до не лінійного, але зростаючого співвідношення з часом передачі пакету. Тобто, при збільшенні зони покриття, час передачі пакету збільшується, проте зростання часу не є сталим або пропорційним до збільшення зони покриття, і це може бути зумовлене різними факторами в мережі чи пристроях.

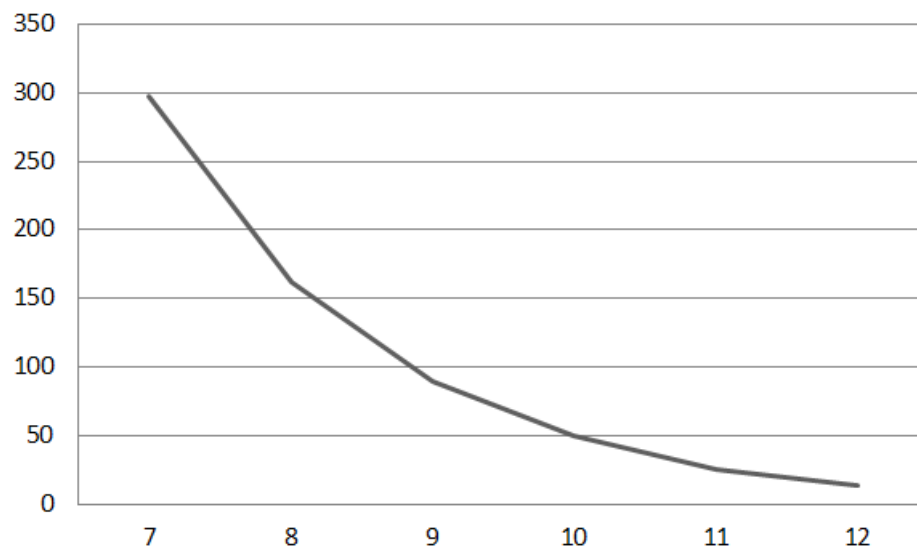


Рисунок 3.3 – Залежність кількості пакетів від коефіцієнту розширення

У цьому наборі даних зменшення зони покриття супроводжується значним зменшенням кількості прийнятих пакетів GW. Наприклад, коли зона покриття зменшується з 7 до 8, кількість пакетів зменшується з 297,19 до 162,55. І це спостереження відбувається при кожному наступному зменшенні зони покриття.

Такий зворотний зв'язок може бути зумовлений тим, що зменшення зони покриття призводить до меншої доступності для передачі пакетів мережею LoRa. Коли зона покриття скорочується, менше пристроїв можуть отримувати сигнал, що може призвести до зменшення кількості пакетів, які приймає Gateway.

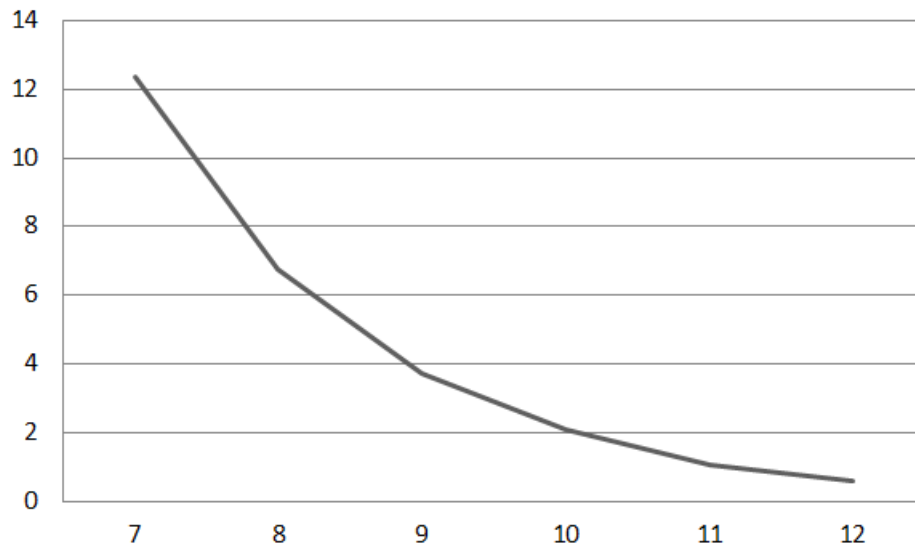


Рисунок 3.4 – Залежність кількості пристроїв від коефіцієнту розширення

За цим набором даних можна побачити, що зменшення зони покриття супроводжується значним зменшенням кількості підключених пристроїв LoRa до GW. Наприклад, коли зона покриття зменшується з 7 до 8, кількість пристроїв зменшується з 12,38 до 6,77. І це спостереження відбувається при кожному наступному зменшенні зони покриття.

Це може бути пов'язано з обмеженим радіусом покриття пристроїв LoRa або певними характеристиками самої мережі LoRa. Коли зона покриття зменшується, менше пристроїв може бути здатний підключатися до мережі LoRa через обмежену доступність сигналу або область покриття.

Якщо використовується режим з підтвердженням отримання мережевим сервером кожного пакета від кінцевого пристрою (з передачею етикетки підтвердження в першому часовому вікні прийому), то в якості часу передачі одного повідомлення візьмемо сумарний час передачі пакета даних кінцевим пристроєм і передачі етикетки підтвердження.

3.2 Дослідження ефективності розподілу в системі LoRaWAN

Експерименти проводилися на синтетичних випадках, спеціально розроблених для оцінки поведінки моделі в різних сценаріях і з використанням різних підходів до позиціонування. Було розроблено два види експериментів для оцінки ефективності запропонованих методів розподілу та планування. Перший набір експериментів оцінював цільову функцію з урахуванням мінливості щільності вузлів і потреби в часі відповідно до наступного:

- Три квадратні карти зі сторонами 100 м, 1000 м і 2000 м;
- Три вимоги до конфігурації часу: жорсткий, середній і м'який;
- Розподіл двох кінцевих пристроїв: однорідний і хмарний;
- П'ять наборів кінцевих пристроїв з 1000, 2000, 5000, 10 000, 20 000 елементів кожен для кожної конфігурації карти/часу/розподілу.

Друга серія експериментів враховувала постійну щільність вузлів і обсяг пам'яті:

- Три квадратні карти: 500 м, 1000 м і 2000 м сторони квадрата;
- Середній попит у реальному часі.

У перших експериментах було оцінено 900 екземплярів за допомогою трьох підходів до позиціонування. Ми порівнюємо продуктивність цих підходів для двох підходів до розподілу кінцевих пристроїв, щоб вирішити проблему за двома основними аспектами: кількість необхідних шлюзів, час, необхідний для пошуку рішення. Загалом було виконано 2700 прогонів.

Другий експеримент був розроблений, щоб визначити, чи є результат оптимізації кращим при розгляді великих площ, хоча це вимагає більше часу, чи вирішення послідовних менших областей за менший час забезпечить достатньо хороше рішення.

Розмір зони мережі є ключовим аспектом при налаштуванні мережі LoRaWAN. Технологія LoRa може досягати великих відстаней ціною використання вищих SF . Обидва факти стають компромісом для мінімізації шлюзів. З одного боку у розрідженій зоні (де кінцеві пристрої віддалені між

собою) мережа потребуватиме відносно великої кількості шлюзів з низькими коефіцієнтами використання та, ймовірно, не використовуватиме багато каналів. Однак, коли щільність вузлів збільшується, шлюзи досягають вищих коефіцієнтів використання, і в невеликих областях, ймовірно, слід використовувати кілька каналів для розміщення всіх передач. У наступних розділах пояснюється розподіл кінцевих пристроїв у зоні розгортання, вимоги до часу та отримані результати.

З урахуванням навантаження десятима байтами для всіх повідомлень, час, потрібний для відправки повідомлення при використанні SF7, становить 60 мс. Це змушує короткий період бути більшим або рівним 6 с.

Давайте припустимо, що тривалість слоту системи дорівнює часу, потрібному кінцевим пристроям (з використанням SF7), щоб відправити повідомлення, яке складає 60 мс. Обрані періоди для оцінки пропозиції відповідають тому, що очікується від моніторингових застосувань у розумних середовищах. Наприклад, найкоротший розглянутий період становить 19,2 с. Це може бути пов'язано з датчиком, який потребує трьох оновлень за хвилину. Натомість найдовший період становить 16 хвилин або приблизно чотири рази на годину. Моніторинг погоди, транспорту, забруднення або літніх людей - це приклади застосувань, які можуть працювати з цими частотами оновлення датчиків.

Обмеження DC накладає обмеження на використання SF для передачі, враховуючи відстані та періоди повідомлень. Коли у кінцевих пристроїв коротші періоди, можливість використання вищих значень SF зменшується, і, отже, потрібно більше шлюзів, оскільки відстані, які покриваються меншими значеннями SF, коротші. У деяких випадках, коли кількість кінцевих пристроїв велика, реальний планування часу неможливий. Три види обмежень, що враховуються в симуляціях, показують спосіб, яким різні підходи вирішують питання розподілу та планування систем.

Як вже зазначалося, одиницею часу для кожного слоту є 60 мс, що є часом, необхідним для передачі повідомлення LoRaWAN з навантаженням десять байт при SF7. Системи з м'якими обмеженнями часу використовують наступні періоди: 3200, 4000, 8000 та 16 000 слотів. У системах з середніми

обмеженнями часу періоди становлять: 1600, 2000, 4000 та 8000 слотів. Нарешті, у випадку жорстких обмежень часу періоди становлять: 320, 400, 800 та 1600 слотів.

З урахуванням обмежень DC, у випадку жорстких обмежень часу жоден кінцевий пристрій не може передавати за допомогою SF12, тоді як у випадку середніх обмежень часу це можуть робити лише ті кінцеві пристрої, у яких період 4000 і 8000. У випадку м'яких вимог всі кінцеві пристрої можуть використовувати максимальне значення SF . У межах кожної групи обмежень часу всі періоди мають однакову ймовірність, тобто 25% кінцевих пристроїв мають кожен період.

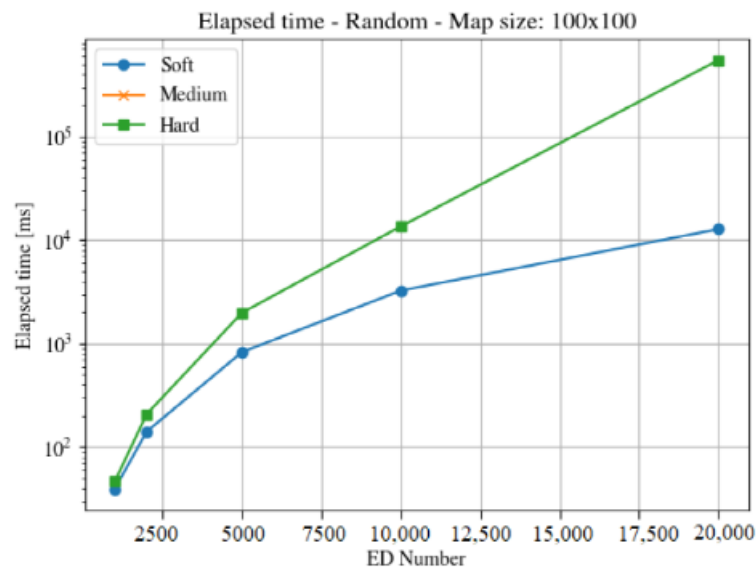


Рисунок 3.5 – Залежність часу обробки від кількості кінцевих пристроїв

Рисунок 3.5 вказує на залежність часу обробки даних від кількості кінцевих пристроїв.

За цим набором даних можна побачити, що збільшення кількості пристроїв супроводжується значним збільшенням часу обробки пристроїв LoRa. Наприклад, коли кількість пристроїв збільшується з 2500 до 10000, то час обробки даних збільшується з 100 до 100000 мс.

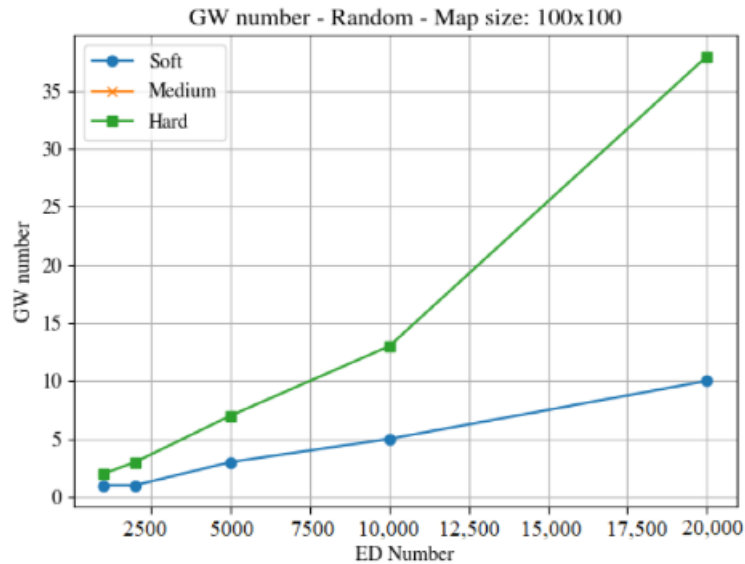


Рисунок 3.6 – Залежність кількості шлюзів від кількості кінцевих пристроїв

За цим набором даних можна побачити, що збільшення кількості пристроїв супроводжується збільшенням кількості шлюзів. Наприклад, для хард режиму нам потрібно, щоб строго точно наші дані обробилися тому для даного випадку потрібно значно більше використовувати шлюзів ніж для інших режимів.

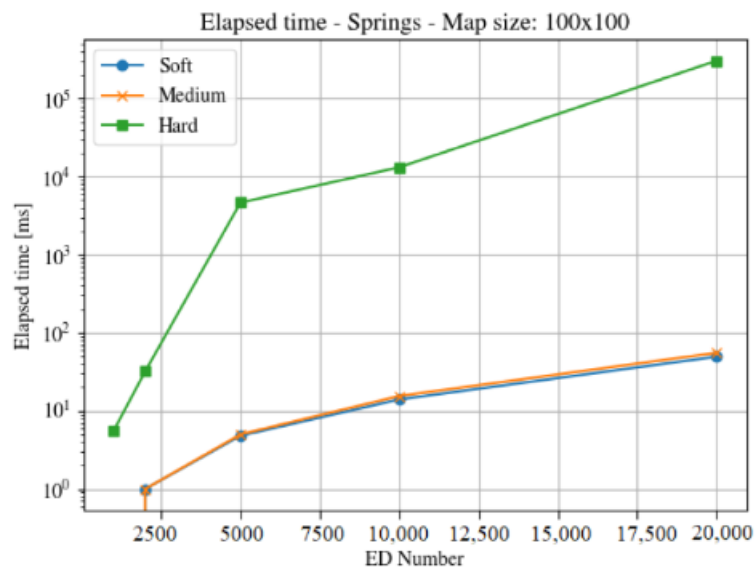


Рисунок 3.7 – Залежність часу обробки від кількості кінцевих пристроїв

За цим набором даних можна побачити, що збільшення кількості пристроїв супроводжується значним збільшенням часу обробки пристроїв LoRa. Наприклад, для хард кількість пристроїв збільшується з 2500 до 10000, то час обробки даних збільшується з 8 до 10000 мс.

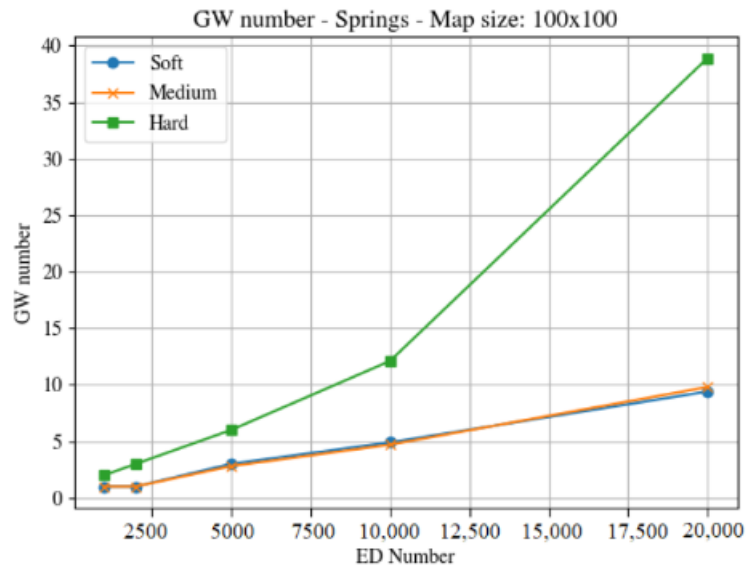


Рисунок 3.8 – Залежність кількості шлюз до кількості кінцевих пристроїв

За цим набором для пружного режиму можна побачити, що збільшення кількості пристроїв супроводжується збільшенням кількості шлюзів. Наприклад, для хард значно більше кількість шлюзів ніж ждя інших режимів конфігурації.

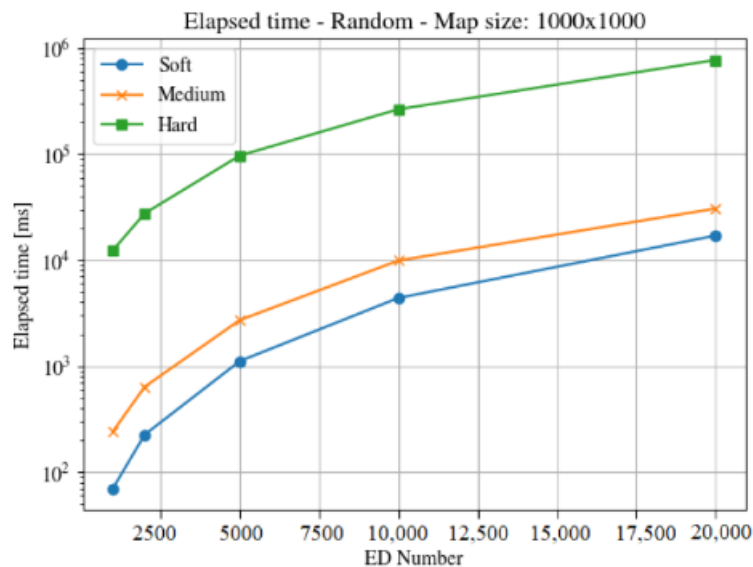


Рисунок 3.9 – Залежність часу обробки від кількості кінцевих пристроїв

За цим набором даних можна побачити, що збільшенням масштабу карти супроводжується значним збільшенням часу обробки пристроїв LoRa.

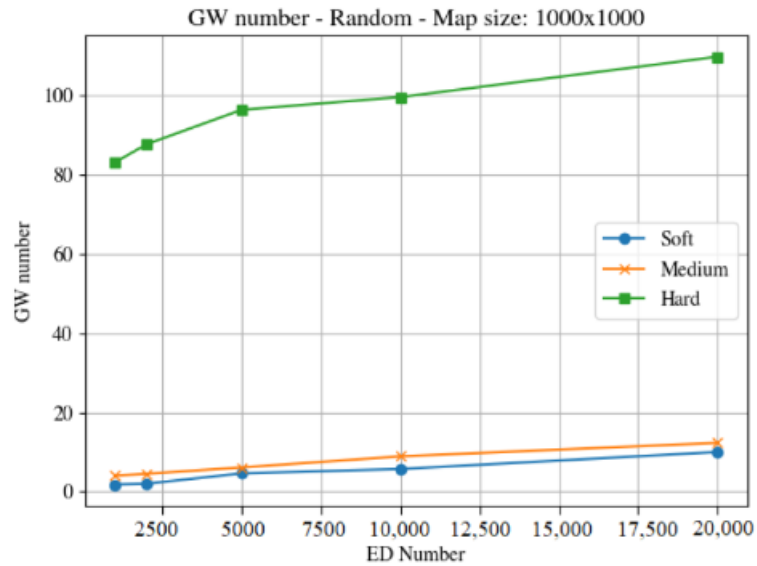


Рисунок 3.10 – Залежність кількості шлюз до кількості кінцевих пристроїв

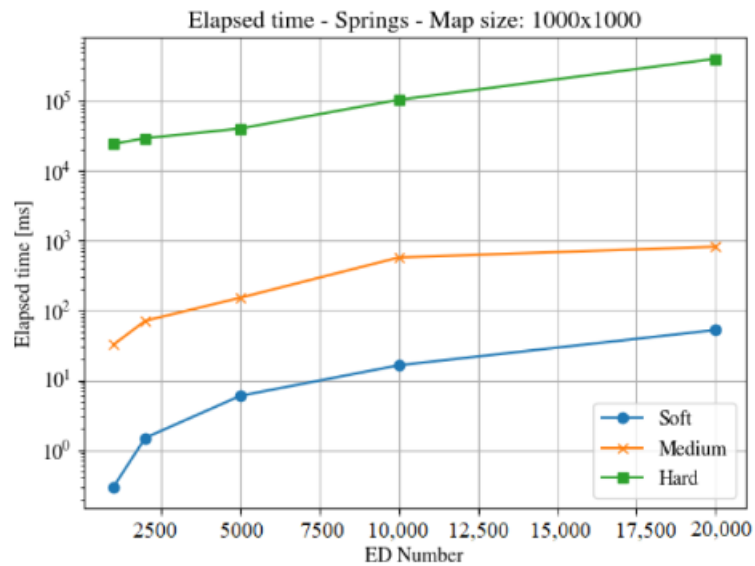


Рисунок 3.11 – Залежність часу обробки від кількості кінцевих пристроїв

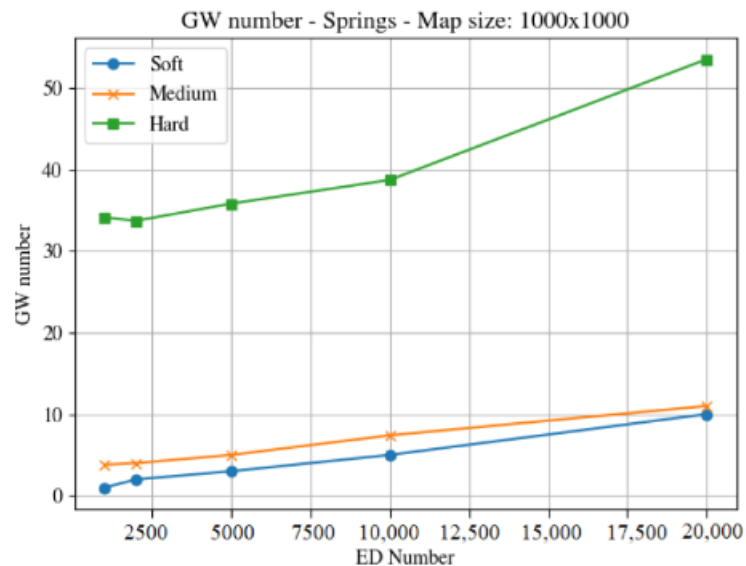


Рисунок 3.12 – Залежність кількості шлюзів до кількості кінцевих пристроїв

Рисунки 3.5-3.8 досить невеликі. Квадрат розміром 100 метрів це всього лише один міський квартал. У цьому сценарії, шлюз, розміщений у середині квадрата, може прослуховувати всі пристрої з усіма значеннями SF. Рисунки 3.5-3.8 показують результати, отримані для часу обчислення та кількості шлюзів для кінцевих пристроїв відповідно, використовуючи три методи оптимізації та три типи обмежень часу.

Результати показують, що жорсткі обмеження часу завжди потребують два або три порядки величини (за часом обчислення) більше, ніж м'які обмеження часу, і також потребують більше шлюзів. Порівнюючи обидві фігури, очевидно, що розподіл складніше вирішити.

Важливо відзначити, що навіть якщо для 40 шлюзів знайдено рішення вчасно, це не можливо для максимальної кількості кінцевих пристроїв, оскільки кількість необхідних каналів перевищує 16. Це серйозне обмеження для використання LoRaWAN у зоні великої щільності з жорсткими обмеженнями часу.

Середні та м'які обмеження часу є реальними, і рішення знаходяться з усіма підходами до позиціонування. Цікаво відзначити, що час обчислення для підходу Pseudo-Springs значно скорочений, а жадібний підхід надає мінімальну кількість необхідних шлюзів. Це є наслідком механізму виділення в такій малій області.

Рисунки 3.9-3.12 (квадрат 1000 м) представляє область з 100 блоків у місті. Розгортаючи різну кількість шлюзів для покриття регіону. Як показано на 3.9-3.12, час, необхідний для обчислення рішення для систем з жорстким часовим вимогою, такий самий, як і на попередній мапі, тобто вищий, ніж потрібно для середніх і м'яких випадків, з обома розподілами кінцевих пристроїв.

Пружинний метод отримує краще рішення за набагато менший час, ніж інші методи, а розподіл хмар вимагає більше часу, ніж однорідний випадок. У цьому випадку сирі дані (<https://github.com/matiasmicheletto/lorawan-simulation-results>) показують, що Random, він не може знайти рішення для більше ніж двох тисяч кінцевих пристроїв. Умова тайм-ауту або досягнення

максимальної кількості ітерацій досягається, і покриття не є повним, тому результати не можуть бути порівняні з іншими методами.

Висновки:

Отже, LoRaWAN виявився корисним для підтримки комунікації в системах, хоча він обмежений у випадках, коли необхідна миттєва доставка повідомлень для підтримки операцій системи. Тому використання LoRaWAN не завжди є можливим, коли комунікація включає часові обмеження. З економічних та часових причин ця можливість повинна бути визначена на ранніх етапах розробки будь-якого проекту з розвитку системи Інтернету речей.

На сьогоднішній день не існує простого способу визначити таку можливість на ранніх етапах проекту, коли рішення використовує LoRaWAN як підтримку комунікації. Ми пропонуємо модель цілочисельного лінійного програмування для визначення можливості використання цього протоколу в різних налаштуваннях та у вирішенні різних часових обмежень повідомлень.

Модель може використовувати різні евристики для зв'язку кінцевих пристроїв з шлюзами, хоча в розділі ми використовували лише два підходи: випадковий і псевдо-пружинний. Другий використовує випадковий підхід для розміщення шлюзів, а третій, після початкового випадкового розміщення шлюзів. Перший вирішує призначення вузлів, обчислюючи кінцеві пристрої з найбільшим ступенем суміжності та перетворюючи їх на шлюзи.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі проведено порівняння різних систем контролю лікарської сировини. Загалом, у подібних системах передача даних може здійснюватися як за допомогою радіоканалу, так і через дротове з'єднання. З урахуванням розмірів, вартості та зручності використання, було обрано систему з бездротовим з'єднанням.

LoRaWAN - це відкритий протокол зв'язку, що визначає архітектуру системи з топологією типу «зірка». Цей протокол був розроблений для забезпечення зв'язку між недорогими пристроями, які працюють від батарей. Для оптимізації співвідношення швидкості передачі та енергоспоживання, протокол LoRaWAN має різні класи вузлів.

У другому розділі були дослідження системи об'єктового модуля контролю лікарської сировини виявило значний прогрес у вирішенні проблем точного контролю та відстеження. Розроблений алгоритм роботи системи виявився досить ефективним у забезпеченні надійного функціонування. Тип трансиверу, використаного у системі, підтримує потрібний рівень зв'язку та дозволяє забезпечити необхідну дальність роботи LoRa.

Модель Окамура-Хата виявилася цікавою у врахуванні основних параметрів технології LoRa та встановленні зв'язку між ними. Розроблена функціональна система блоків дозволяє ефективно управляти та контролювати ресурси системи.

Аналіз формування ємності системи LoRa виявив важливі аспекти її оптимізації, зокрема, побудову розподілу та оптимізацію ресурсів. Алгоритми оптимізації розподілу ресурсів, такі як випадковий розподіл та псевдопружинна модель, показали свою ефективність у забезпеченні оптимального використання ресурсів системи та у позиціонуванні.

У результаті дослідження було виявлено, що використання алгоритмів оптимізації та моделей розподілу дозволяє досягти високої ефективності та точності у контролі лікарської сировини за допомогою системи LoRa.

Експериментальні дослідження системи об'єктового модуля контролю лікарської сировини зосереджені на двох ключових аспектах: характеристиках ємності системи та проблемі розподілу в LoRaWAN.

Перше дослідження виявило суттєві аспекти щодо ємності системи. Аналізуючи ємнісні можливості, вдалося визначити рівень та обсяг інформації, яку може забезпечити та опрацювати система. Це дозволяє точно оцінити її потенціал у контексті контролю лікарської сировини та встановлення оптимальних параметрів роботи.

Друге дослідження зосереджується на важливій проблемі розподілу в LoRaWAN. Виявлені проблеми та перешкоди, пов'язані з ефективним використанням ресурсів мережі, дозволили виявити обмеження та визначити шляхи подолання цих перешкод. Це допоможе у вдосконаленні процесу розподілу та оптимізації ресурсів, що є ключовим для ефективної роботи системи контролю лікарської сировини.

Загальною метою експериментальних досліджень є досягнення оптимальної роботи системи контролю, забезпечуючи високу ефективність використання ресурсів та надійність в збереженні та передачі даних про лікарську сировину.

Таким чином, робота виконана у повному обсязі та у відповідності до завдання

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мікроклімат. – Режим доступу до ресурсу :
<http://dspif.gov.ua/news/239-%20mkroklmat-virobnichoyi-zoni.html>.
2. Температура. – Режим доступу до ресурсу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0>.
3. Датчики вологості – Режим доступу до ресурсу :
<https://simvolt.ua/datchikivologost/>.
4. Що таке люкси й люмени, та чому вати – Режим доступу до ресурсу:
<https://maxus.com.ua/blog/chto-takoe-lyuksy-i-lyumeny-i-pochemu-vatty-neglavnoe-v-svetodiodnom-osveshchenii>.
5. Освітленість – Режим доступу до ресурсу :
<https://pidru4niki.com/16011013/bzhd/osvitlenist>.
6. ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ - О.О. Аннамухаммедова – 2014 – Режим доступу до ресурсу: https://lifelib.info/botany/medical_1/2.html.
7. Фітотерапія, основні поняття та принципи. Правила заготівлі , сушіння та зберігання лікарської рослинної сировини – Режим доступу до ресурсу:
http://www.medcollege.te.ua/sayt1/Lecturs/Lekcia_fitoterapia/1_Princip.htm.
8. Контроль мікроклімату під час виробництва вакцин – Режим доступу до ресурсу: <https://www.eksis.ru/materials/articles/kontrol-mikroklimata-pri-proizvodstve-vaktsin.php>.
9. Моніторинг мікроклімата – Режим доступу до ресурсу:
<https://autonomnoe.ru/resheniya/monitoring-mikroklimata>.
10. Моніторинг умов зберігання продукції на фармацевтичних складах – Режим доступу до ресурсу: <http://sensorica.by/catalog/vlazhnost-i-temperatura/monitoring-usloviy-hraneniya-produkcii-na-farmaceuticheskikh-skladah>.
11. ClimaPredict – Режим доступу до ресурсу:
<https://climapredict.fractal.market/>.

12. Система контролю мікроклімату в теплиці CRIMAPREDIC Режим доступу до ресурсу: <http://novateplica.com.ua/systema-climapredict-dlya-kontrolyu-mikroklimatu-v-teplytsi/>.

13. Pueyo Centelles, R.; Месегер, Р.; Фрайтаг, Ф.; Наварро, Л.; Очоа, С.Ф.; Сантос, Р.М. LoRaMoto: система зв'язку, яка інформує цивільне населення про безпеку після землетрусу. Покоління майбутнього. обчис. Syst. 2021, 115, 150–170.

14. Леонарді, Л.; Баталья, Ф.; Ло Белло, Л. RT-LoRa: Стратегія доступу до середовища для підтримки потоків у реальному часі через мережі на основі LoRa для промислових додатків Інтернету речей. IEEE Internet Things J. 2019, 6, 10812–10823.

15. Hoang, Q.L.; Юнг, В.; Юн, Т.; Ю, Д.; О, Х. Протокол LoRa в реальному часі для промислових систем моніторингу та управління. IEEE Access 2020, 8, 44727–44738.

16. Hoang, Q.L.; О, Х. Протокол LoRa в реальному часі з використанням логічного розділення кадрів для періодичної та аперіодичної передачі даних. IEEE Internet Things J. 2022, 9, 15401–15412.

17. Вангеліста, Л. Модуляція чирпу зі зсувом частоти: модуляція LoRa. Процес сигналу IEEE. Lett. 2017, 24, 1818–1821.

18. Альянс, Специфікація L. LoRaWAN 1.1. 2017. Режим доступу до ресурсу: https://lora-alliance.org/resource_hub/lorawan-specification-v1-1/

19. SEMTECH. SX 1301 Gateway v2.4. 2022. Режим доступу до ресурсу: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1301>.

20. Бездротовий траншвер LoRa Ra-02 на чіпі SX1278 (410-525 МГц). Режим доступу до ресурсу: <https://www.mini-tech.com.ua/lora-ra-02>.