

Власник документу:
Бевза Олег Миколайович

ID перевірки:
1004089068

Дата перевірки:
17.06.2020 01:34:50 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
17.06.2020 01:48:54 EEST

ID користувача:
90740

Назва документу: 2020-bachelor-EDD_Maksymenko_LoRa_fch

ID файлу: 1004101674 Кількість сторінок: 31 Кількість слів: 11673 Кількість символів: 85345 Розмір файлу: 96.94 KB

11.3% Схожість

Найбільша схожість: 1.63% з джерело https://uk.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network

6.31% Схожість з Інтернет джерелами 89 Page 33

9.89% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту 324 Page 34

0.23% Цитат

Цитати 1 Page 35

Вилучення переліку посилань вимкнено

0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

Підміна символів

Заміна символів 40

Владислав Максименко

Застосування інтерфейсу бездротового зв'язку LoRa у промисловості**АНОТАЦІЯ**

У дипломному проєкті представлені результати огляду наукової та технічної літератури про розвиток бездротових мереж та опис відповідних галузевих стандартів та інтерфейсів. Показано перспективи використання таких систем для використання в промисловості та Інтернеті речей. Розроблено тестову мережу: архітектуру тестової мережі, структурну, функціональну та електричну схеми. Наведено результати випробувань та результати розрахунку параметрів та характеристик радіомодуля. Результати експериментальних випробувань тестової мережі показали очікувані під час розробки результати, що забезпечує наступні функції:

- передачу даних на відкритих територіях з дальністю 2600 метрів;
- передачу даних у будівельних умовах із дальністю до 460 метрів;
- передачу даних з пристроїв з інтерфейсом RS-232/485.

ANNOTATION

The diploma project presents a review of scientific and technical literature on the development of wireless networks and a description of industry standards and interfaces. Prospects for the use of such devices for use in industry and the Internet of Things are shown. The test results and the results of calculation of parameters and characteristics of the radio module are given. The results of experimental tests of the test network showed the results expected during development. Developed system, structural, functional and electrical schematic diagram of the network that provides the following functions:

- Data transmission in open areas with a range of 2600 meters;
- Data transmission in building conditions with a range of up to 460 meters;
- Data transfer from devices with RS-232/485 interface.

ВСТУП

Існує велика кількість технічних систем, які використовують інформацію від сукупності віддалених давачів інформації. Зазвичай такі системи використовують провідні інтерфейси для обміну інформацією. Проте досить часто дротові інтерфейси не дозволяють створювати оптимальні по критеріям «функціональні можливості-ціна» технічні рішення.

Ефективним методом зв'язку між пристроями є створення бездротової мережі. Інформація, що надходить із сенсорів до мікроконтролера, який в свою чергу обробляє дані, перенаправляється на той чи інший вузол, в разі запиту. Також система може бути налаштована на автономну, енергоефективну роботу.

Актуальність даного проєкту полягає у використанні без ліцензійного радіозв'язку в умовах високої дальності між пристроями, які використовують

промислові інтерфейси. Дана розробка може використовуватись у сферах де є потреба в передачі інформації на дальні відстані. Так «розумне землеробство» стає дуже популярними серед аграріїв. Вітчизняні агрохолдинги починають використовувати спеціальні датчики, які фіксують температуру і вологість ґрунту та надсилають інформацію по каналам бездротового зв'язку. Однією з найбільш актуальних сфер застосування мережі є збір інформації з різноманітних лічильників для сфери ЖКГ (Житлово-комунальне господарство).[20] В даний час існують модулі, що встановлюються на лічильники газу і води та дозволяють передавати зчитану інформацію по каналу LoRaWAN.

Метою роботи є розробка системи віддаленого моніторингу стану периферійних давачів інформації із застосування інтерфейсу бездротового зв'язку LoRa.

Об'єктом дослідження є процес збору інформації в промислових системах з віддаленими давачами даних з використанням інтерфейсу бездротового зв'язку стандарту LoRaWAN.

Предметом роботи є тестова система, яка призначена для зняття інформації з віддалених на великі відстані давачів, що використовує мережу бездротового зв'язку стандарту LoRaWAN.

Для реалізації зазначеної мети вирішувались наступні задачі:

1. Огляд систем збору інформації.
2. Огляд провідних інтерфейсів;
3. Огляд властивостей безпроводних інтерфейсів
4. Огляд властивостей інтерфейсу стандарту зв'язку LoRaWAN
5. Розробка архітектури мережі.
6. Розробка структури стендової установки мережі збору інформації з периферійних лічильників води;
7. Розробка прикладної програми функціонування мікрокомп'ютера Raspberry pi;
8. Тестування експериментальної установки.

1. ОГЛЯД ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ

1.1 Структури систем збору інформації та керування обладнанням

Сучасні підприємства – це технологічно складні об'єкти. Для точного керування технологічним обладнанням та технологічними процесами підприємства використовують датчики, виконуючі прилади та сервоприводи самих останніх поколінь. В якості прикладу технологій, які дозволяють отримати вигоду з доступності засобів прецензійного керування, можна назвати рівні мережевої взаємодії та автоматизації, які були додані до систем керування промисловим обладнанням. В структурі мережі керування існують вузли пов'язані інформаційними мережами, які надають стратегічну та комерційну інформацію, яка в свою чергу є основою для прийняття виробничих рішень.

Централізоване мережеве уявлення системи керування виробництвом надає технічним спеціалістам та інженерам-технологам доступ до великого об'єму даних для контролю, корекції та оптимізації виробничих операцій. Виконавче керівництво виробничих дільниць отримують можливість

оперативного доступу до даних про виробничі операції, які можна використовувати для всебічної оцінки загальної оцінки виробництва.

В минулому керування виробничими процесами виконувалося вручну, та кожна ділянка підприємства керувалась незалежно. Доступ в реальному часі до даних, дозволяє отримати ефективну оцінку фактичної роботи технологічних ділянок та дозволяє керівництву отримувати більш точну та повну інформацію про повсякденну роботу підприємства, корегувати ділову стратегію на основі фактичного завантаження в реальному часі. Процес переходу від ізольованих вузлів до об'єднаних за допомогою мереж систем йде вже протягом декількох років.

На рис 1.1 зображена типова структура мережі, яка використовується на виробництві.

В даний час існує уніфіковане уявлення про мережі виробничих систем керування, які використовують як спадний підхід («зверху вниз»), так і висхідний підхід («знизу догори») до побудови мереж.

В автоматизованих виробничих комплексах оператори, працюючи на робочих станціях дистанційного керування, повинні контролювати як можна більший об'єм обладнання. Для отримання повного контролю потрібен новий рівень графічних можливостей при відображенні інформації, включаючи тривимірну графіку та відео. Наприклад, одним з методів забезпечення контролю над розподільними виробничими системами керування є надання доступу оператору до любого елементу системи способом вибору вкладок з графічними схемами, які відображають інформацію про стан конкретного обладнання чи сегменту[25].

Людино-машинний інтерфейс з розширеними функціями дозволяє відображати оброблені по спеціальним алгоритмам дані, двовимірну та тривимірну графіку та відео зображення, Надані камерами відео спостереження в виробничих ділянках чи цехах. Також може бути передбачена можливість відображення критично важливих процесів виробничих показників в окремих вікнах. Масштабування, візуалізація та використання різних вікон типові можливості людино-машинного інтерфейсу з розширеними можливостями. Сенсорний екран, клавіатура та голос – додаткові способи введення інформації, для їх підтримки потрібен інтерфейс або порт для підключення периферійних пристроїв в мікропроцесорі[20,25].

Рівень керування виробництвом зазвичай складається з великої кількості програмованих логічний контролерів, діючих на цьому рівні не керування. Програмовані логічні контролери збирають дані з датчиків та приймають рішення відповідно до стану виробничих процесів, реле керувань, електродвигунів та іншого механічного обладнання. Вони можуть забезпечувати контроль та керувати станом значної кількості обладнання, входів та виходів, які в свою чергу відносяться до інших вузлів. Як правило, для роботи програмовано логічного контролера визначається детермінована поведінка – тобто зміна стану кожного елемента, входу/виходу повинно завжди займати один і той самий час, наприклад певна кількість циклів процесора. У випадку менш жорстких вимог по детермінованій поведінки в реальному часі

деякі програмовані логічні контролери використовують операційну систему реального часу, щоб спростити програмування, основане на описі конкретної задачі, а також забезпечити певну реакцію системи в рамках заданого періоду часу.

На рис 1.2 зображено структуру трирівневої автоматизованої системи керування технологічними системами.

Де в перший рівень входять ЛМІ (людинно-машинні інтерфейси) та система SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерське управління і збір даних) – це середовище для організації виробничих процесів. Така система забезпечує збір, обробку, керування та відображення технологічних процесів в реальному часі[24].

Середній рівень включає в себе вище зазначені ПЛК (програмовано логічні контролери), регулятори, лічильники та програмовані реле.

Нижній рівень забезпечує роботу давачів, двигунів, насосів регуляторів та іншого виконавчого обладнання[24].

На сьогоднішній день існує велика кількість способів обміну інформації між пристроями та взаємодії приладів з людиною.

Наприклад, одною з простих структур є мережа в звичайному офісі, де є такі пристрої, як персональні комп'ютери, принтери та факси. Всі ці пристрої потребують безперервного, високошвидкісного з'єднання. Кожна одиниця такої мережі повинна мати свою ідентифікаційну адресу, для розділення конкретних приладів за номером або типом, наприклад «комп'ютер №7» чи «принтер №2». Для забезпечення роботи даної мережі використовується провідний інтерфейс Ethernet з стандартизованою назвою IEEE 802.3. Щоб розгорнути дану мережу потрібен так званий роутер або світч до якого під'єднуються всі прилади які були наведені вище. На фізичному рівні під'єднання виконується за допомогою восьми провідних кабелів під назвою «вита пара» та роз'ємів стандарту RJ-45. Максимальна довжина кабелю між пристроями, але без використання магістральних підсилювачів становить 1 кілометр. Всі пристрої в мережі підключені до роутера, який ще називають маршрутизатором, це електронний пристрій, який має певну кількість виходів для кожної одиниці мережі, та зазвичай один вхід для під'єднання до іншою ієрархічно вищою мережі, зазвичай це головний сервер. В мережі пристрої обмінюються так званими IP (Інтернет Протокол)[22] «пакетами» де в кожному з них знаходиться інформація. Для розподілу підключених в мережу пристроїв використовується блок DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol - протокол динамічної конфігурації вузла), який в свою чергу реалізується за допомогою роутера[22]. Тобто кожному пристрою надається своя адреса в мережі. Також слід зазначити що в даній структурі швидкість передачі даних сягає 1 Гбіт/сек, що дозволяє швидко переносити доволі великі за об'ємом масиви інформації.

Побудова структури мережі на підприємствах, великих складах чи комбінатах, є більш складною задачею. Це пов'язано з віддаленістю елементів мережі на значні відстані та складність забезпечення провідного зв'язку. У сучасних системах широко вживаються саме провідні засоби зв'язку між об'єктами мережі. Давачі інформації зазвичай підключені за допомогою

інтерфейсу міжнародного стандарту RS-485 до програмно-логічного контролера, який підключений до мережі Ethernet. Задача програмно-логічного контролера відправляти дані по запиту за допомогою вище описаного мережевого протоколу IP. Інтерфейс RS-485 має дальність до 1200 метрів та дозволяє передавати інформацію до 10 Мбіт/сек і також, як Ethernet має адресну структуру, Програмно-логічний контролер розрізняє з якого саме давача надійшла інформація[25].

Останні досягнення в області розробки та виготовлення безпроводних модемів дали можливість інженерам-розробникам пропонувати нові рішення в рамках уніфікованого керування виробничим обладнанням. Ретельно аналізуючи вимоги до характеристик, до функціональних можливостей та обміну даних на кожному рівні керування, розробники можуть використовувати уніфіковану архітектуру, побудовану на основі стандартного процесорного ядра, для створення оптимальних рішень, маючих конкурентноспроможну ціну. Окрім цього підхід забезпечує зниження витрат на розробку програмного забезпечення та істотне зниження часу циклу проектування за рахунок повторного використання програмного забезпечення.

Існують сучасні бездротові структури мереж з використанням інтерфейсів які працюють на високих швидкостях, але з невеликим радіусом дії та з низькою швидкістю, але високим радіусом дії. До прикладу мережі з високою швидкістю можна навести корпоративну WiFi мережу в офісі, будинку чи ресторані де головним пристроєм є радіочастотний прийомопередавач, ще називають роутер, який працює згідно стандарту IEEE 802.11, на частотах 2,4ГГц та 5ГГц, та може передавати інформацію зі швидкістю до 11 Гбіт/сек, але на відстані в деяких випадках до 200 метрів. А до нього в свою чергу бездротовим способом підключені пристрої з підтримкою даного інтерфейсу. В даній структурі це можуть бути персональні комп'ютери, принтери та мобільні телефони.

У випадку низької швидкості передачі даних, але високого радіусу дії можна навести, приклад використання мережі LoRaWan у вище наведеній структурі, замінивши дротовий інтерфейс RS-485 разом з програмовано логічним контролером на бездротову мережу LoRaWan[23].

1.2. Огляд промислових інтерфейсів передачі даних

1.2.1 Огляд провідних інтерфейсів зв'язку

На сьогоднішній день в промисловості використовується велика кількість систем із застарілими інтерфейсами. Прикладом такого інтерфейсу є RS-232, специфікація якого була прийнята більше 30 років тому. Такий інтерфейс по технічним характеристикам є хорошим і надійним інструментом, коли потрібно передавати дані в умовах з високим рівнем шумів і перешкод. Це інтерфейс для використання між кінцевим обладнанням обробки даних і кінцевим обладнанням лінії з використанням послідовного обміну даними в двійковій формі. Зараз цей стандарт відомий просто як стандарт RS-232C. Система передачі даних (передавач, приймач, сполучні кабелі), реалізована відповідно до технічних умов стандарту RS-232C, забезпечує передачу сигналу зі швидкостями, що не перевищують 20 кбіт/с (реально використовують на

швидкостях до 115200 біт/с). В справжній час діє редакція стандарту, прийнята в 1991 році асоціаціями електронної та телекомунікаційної промисловості, під назвою EIA / TIA-232-E. У ній немає ніяких технічних змін, які могли б привести до несумісності з обладнанням, що підтримує інтерфейс RS-232 більш ранніх версій. Недоліки RS-232 складаються, перш за все, в тому, що він реалізує зв'язок типу «точка-точка» з низькою, за сучасними мірками, швидкістю і працює тільки на невеликих відстанях (до 10-15 м) [25].

Апаратна підтримка будь якого інтерфейсу краще всього поєднується з мережевим протоколом, котрий першочергово був розроблений як детермінований. Всі функції які пропонуються протоколом з точною синхронізацією по часу, відповідає стандарту IEEE1588 – Precision Time Protocol (PTP), який також підтримує багато адресну розсилку. З точки зору проектування систем автоматизації це означає, що важливим периферійним приладом являється мережевий інтерфейс Ethernet 10/100 з апаратною підтримкою вище наведеного стандарту IEEE1588 PTP. В деяких моделях більш потужних контролерів автоматизації необхідним являється підтримка більш сучасного з великою пропускну здатністю інтерфейсу Gigabit Ethernet, який забезпечує передачу великої кількості інформації. За строго технічним визначенням Ethernet - сімейство протоколів стандарту IEEE 802.3, як було вище зазначено, на фізичному рівні використовує восьми дротовий тип з'єднання, та підтримує відстань між пристроями до одного кілометра та дозволяє передавати інформацію до 100 Гбіт/сек. Ethernet є найпоширенішим протоколом у сучасних локальних комп'ютерних мережах [25].

Другим розповсюдженим методом обміну даними в системах промислової автоматизації являється використання протоколу локальної мережі контролерів (CAN), який дозволяє проектувати розподілені системи та системи з резервуванням. Controller Area Network, (CAN) (локальна мережа контролерів, він же CAN-Bus і Інтерфейс CAN) — стандарт, призначений для організації надійних та недорогих каналів зв'язку у розподілених системах керування.

CAN розроблений компанією Robert Bosch GmbH у середині 1980-х і знайшов застосування у промисловій автоматизації, технологіях «розумного будинку», автомобільній промисловості та інших галузях. Найчастіше CAN-інтерфейс використовується як зв'язна ланка між головною магістраллю та багатьма допоміжними датчиками, механізмами і т. д., підключення яких до центральної магістралі не завжди доцільне. У будь-якій реалізації мережа CAN — фізичне середовище передачі даних інтерпретується як ефір, в якому контролери, працюють як прийомопередавачі. При цьому, розпочавши передачу, контролер не перериває прослуховування ефіру, зокрема він відстежує і контролює процес передачі поточних даних. Це означає, що всі вузли мережі одночасно приймають сигнали, що передаються по шині. Неможливо послати повідомлення якомусь конкретному вузлу. Проте, CAN-контролери надають апаратну можливість фільтрації CAN-повідомлень.

CAN мережа призначена для комунікації так званих вузлів. Кожен вузол складається з двох складових. Це власне CAN-контролер, який забезпечує взаємодію з мережею і реалізує протокол, і мікропроцесор (CPU).

CAN-контролери з'єднуються за допомогою шини, яка має як мінімум два дроти CAN_H і CAN_L, по яких передаються сигнали за допомогою спеціалізованих прийомопередавачів, котрі ще реалізують додаткові сервісні функції[2].

Також деякі сучасні мікроконтролери підтримують Ethernet MAC, CAN, SDIO для адаптера WLAN та SPI для LoraWan чи ZigBee встановлених в мікросхему, окрім цього, дані мікроконтролери підтримують певні характеристики які дозволяють розвернути більшість відомих мережевих протоколів[19]. В таблиці 1.1 приведено порівняльні параметри трьох розповсюджених провідних інтерфейсів, які широко вживаються при побудові мереж.

Таблиця 1.1

Отже, як видно за даними таблиці, найменша дальність у інтерфейсу RS-232, але при цьому низька швидкість передачі даних. Слід зазначити що Ethernet та CAN мають високу пропускну здатність лише на невеликих відстанях.

1.2.2 Огляд безпроводних інтерфейсів

На рівні датчиків загальне визнання отримав протокол ZigBee. Даний протокол оснований на стандарті бездротової мережі IEEE802.15.4, який використовує технологію стільникових мереж. Стандарт IEEE 802.15.4 був розроблений для комунікацій в безпроводних корпоративних мережах на фізичному рівні та рівні управління доступом. Стандарт орієнтований на низьку вартість мережі, низьку швидкість обміну інформацією між пристроями (на відміну від багатьох більш орієнтованих на користувача мереж). При розробці цього інтерфейсу основна увага приділялася високій дальності зв'язку з найближчими пристроями, при використанні слабко розвиненої базової структури, з низьким рівнем потужності сигналу. На базі даного стандарту було розроблено декілька протоколів мережевого зв'язку, найбільш популярним з яких став протокол ZigBee, пізніше робочою групою IETF був спроектований стандарт взаємодії 6LoWPAN тобто – IPv6 over Low power WPAN на базі мережевого протоколу IPv6. Одним із основних переваг є те що ZigBee є мережею з самоорганізацією та самовідновленням, оскільки ZigBee пристрої, завдяки вбудованому програмному забезпеченню, вміють самі знаходити один одного та формувати мережу, а у разі виходу з ладу котрогось із вузлів можуть встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень[20].

Стандарт LoraWan – відзначається в першу чергу типом модуляції радіосигналу. Основними особливостями технології є висока дальність зв'язку та висока енергоефективність. В зоні міської забудови робоча дальність може складати до п'яти кілометрів, а на відкритій місцевості навіть до п'ятнадцяти кілометрів. Такі відстані досягаються за рахунок надчутливого приймача та унікальної модуляції, що в свою чергу дозволяє LoRa мережам працювати в так названих «підшумових діапазонах» На практиці це означає що приймальний та передавальний модулі не мають явища інтерференції з іншими системами зв'язку, наприклад Bluetooth, WiFi, GSM, LTE та інші.

Стільниковий зв'язок – один з видів мобільного радіозв'язку, оснований на поділі мережі на так звані стільники, що визначається зонами покриття окремих базових станцій. Стільники частково перекриваються й разом утворюють мережу. На ідеальній (рівній і без забудови) поверхні зона покриття однієї базової станції являє собою коло, тому складена з них мережа має вигляд шестикутних зон (бджолиних стільників). Стільникові технології пройшли декілька етапів розвитку:

- 1G-технології. Початок 80-х. Перше покоління стільникових мереж використовувало аналогові технології. В таких мережах передавали тільки телефонні розмови;

- 2G-технології. Середина 90-х. Цифрове кодування та передавання мовлення і коротких текстових повідомлень;

- 2.5G-технології. 2001 рік (США). Цифрові мережі з передаванням мовлення, тексту, приєднання до Internet;

- 3G-технології. Швидкість передавання до 2 Мбіт/с. Передавання мультимедійних даних. Окремі різновиди технології доступні в Японії.

- 4G-технології. Швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с (рухомих абонентів) та до 1 Гбіт/с (стаціонарним абонентам).

Існує також 5G-технологія, яка на сьогоднішній день поки розвивається, але в деяких країнах вже ведуться певні тестування. Також на ринку вже існують мобільні пристрої, які вже підтримують дану технологію. Технології 5G повинні забезпечувати вищу пропускну здатність у порівнянні з технологіями 4G, що дозволить забезпечити більшу доступність широкосмугового мобільного зв'язку, а також використання режимів device-to-device («Пристрій-пристрій», пряме з'єднання між абонентами), надійні масштабі системи комунікації між пристроями, а також менший час затримки, швидкість Інтернету 1-2 Гбіт/с, менша витрата енергії батареї, ніж у 4G-обладнання, що сприятливо позначиться на розвитку Інтернету речей.

Стільникові технології можна розглядати згідно з протокольними рівнями. На фізичному та каналному рівнях визначають різні методи доступу, які відображені у різноманітних технологіях.

NB-IoT (Narrow Band Internet of Things) – різновид стільниковою мережі, з вузьким частотним діапазоном. Робоча версія специфікація була розроблена у 2016 році. Має багато переваг, таких як можливість роботи майже на всіх відомих частотах стільникової мережі, має високу енергоефективність, мережа може підтримати одночасно велику кількість приладів. У табл.1.2 приведено порівняльні параметри розповсюджених без провідних інтерфейсів (стандартів обміну), які широко вживаються при побудові мереж[23].

Таблиця 1.2

Проаналізувавши всі характеристики бездротових мереж такі як радіус дії, споживання енергії, час роботи від батареї та потребу в оренді частоти, було вирішено використовувати бездротовий інтерфейс LoRaWan. Таке рішення відповідає характеристикам тестової мережі, які вимагає технічне завдання. Високий радіус дії дозволяє розносити пристрої на досить велику відстань від базової станції, що дозволяє використовувати мережу в полях, в невеликих

міських районах, на території масштабних підприємств. Високий рівень енергозбереження дозволяє використовувати сонячні панелі, вітряки та акумуляторні батареї для забезпечення безперебійного живлення приладу. Також великим плюсом є те що не потрібно втрачати кошти на оренду частоти, так як базова частота 868Мгц є без ліцензійною, на відміну від стільникових мереж.

1.3 Огляд інтерфейсу зв'язку стандарту LoRaWAN

Основною особливістю технології бездротової передачі даних LoRa є висока дальність зв'язку та висока енергоефективність, тобто низький струм живлення в робочих режимах та можливість роботи в без ліцензійному діапазоні частот та потужностей. Якщо мова йде про любую іншу бездротову технологію передачі даних, то під високою дальністю частіше мається на увазі 200-300 метрів, інколи ця відстань може досягати до 500 метрів. Але якщо мова йде про технологію LoRa, то в умовах міської забудови робоча дальність може складати до п'яти кілометрів, а на відкритих ділянках до п'ятнадцяти кілометрів[20].

Стандарт зв'язку Lora відрізняється типом модуляції сигналу. Пристрої Lora можуть працювати автономно та у складі в мереж LoRaWAN (Low Power Wide Area Network). Мережі LoRaWAN використовуються для роботи пристроїв у складі як локальних, так і глобальних мереж.

Топологією мережі була вибрана «зірка», в центрі якої знаходиться пристрій, який називається Gateway. По аналогії з GSM мережею, головний пристрій являється базовою станцією, але не є суб'єктом мережі та повністю прозорий для кінцевих пристроїв, а його основною задачею є передача інформацію від пристроїв в сервер та навпаки за допомогою стандартного IP з'єднання за виключенням деяких винятків, пов'язаних з режимами роботи мережі. Але в таких мережах відсутня можливість ретрансляції між пристроями, як наприклад в мережах при використанні ZigBee.

Комутація між кінцевими пристроями та базовими станціями виконується на різних частотах, та різних швидкостях. Швидкість передачі даних в мережах LoRa обмежується відстанню між обладнанням.

Принцип розширення спектру, який використовується в модуляції LoRa, дозволяє пакетам, які передаються на різних швидкостях, не впливати один на одних, тим самим виконується «віртуальне» розширення кількості каналів, які одночасно обробляються однією базовою станцією. Швидкість передачі даних в таких мережах становить 0.3-50 кбіт/с. Для забезпечення максимальної ємності мережі LoRaWAN, сервер мережі може контролювати як потужність передавача кожного пристрою, так і швидкість передачі даних.

Отже можна привести деякі визначення та висновки:

- Стандарт зв'язку LoRa суттєво визначається типом модуляції;
- LoRaWAN – мережа побудована по топології «зірка» яка використовує тип модуляції LoRa;
- Модуль LoRa – модуль, який має прийомопередавач, який працює в режимі модуляції LoRa. Найчастіше модулі LoRa не мають додаткового вбудованого мікроконтролера, але бувають винятки;

- Модуль LoRaWAN (SX1276) - модуль, який має прийомопередавач з додатковим мікроконтролером, який реалізовує стек LoRaWAN;
- Модулі LoRa можуть в режимі offline «домовлятися» про номер особистого каналу та швидкості передачі даних, а також встановлювати зв'язок в режимі «точка-точка», тобто між собою.

1.4. Огляд мережевих протоколів

Варто зазначити що мережеві протоколи мають поділ за рівнями. Модель OSI (EMBCC) (базова еталонна модель взаємодії відкритих систем, Open Systems Interconnection Basic Reference Model, 1978 р.) — абстрактна мережева модель для комунікацій і розробки мережевих протоколів. Представляє рівневий підхід до мережі. Кожен рівень обслуговує свою частину процесу взаємодії. Завдяки такій структурі спільна робота мережевого обладнання й програмного забезпечення стає набагато простішою, прозорішою й зрозумілішою.

На даний час основним використовуваним стеком протоколів є TCP/IP, розробка якого не була пов'язана з моделлю OSI і до того ж була здійснена до її прийняття. За увесь час існування моделі OSI вона використовувалась обмежено. Сьогодні використовується тільки деякі версії моделі OSI. Вважається, що модель занадто складна, а її реалізація вимагає багато часу.

Окремі фахівці стверджують також, що історія моделі OSI являє типовий приклад невдалого й відірваного від життя проекту.

Тобто перший рівень є фізичним, який визначається типом інтерфейсу яке підтримує обладнання, наприклад RS-232. Другий рівень являється канальним, описує за яким типом з'єднання буде працювати той чи інший пристрій, наприклад Ethernet. Третій рівень (іноді вживають позначення 2+3) канальний плюс мережевий, визначає який тип передачі даних буде використовуватись в пакеті, наприклад асинхронний тип передачі даних. Наступний рівень це транспортний, відповідає за цілісність пакетів, потокову передачу даних та синхронізацію за часом. Наступний п'ятий рівень відповідає за мережеву файлову систему, наприклад NFS. Останнім рівнем є прикладний, верхній (7-й) рівень моделі, забезпечує взаємодію мережі й користувача. Рівень дозволяє додаткам користувача мати доступ до мережних служб, таких як обробник запитів до баз даних, доступ до файлів, пересилання електронної пошти. Також відповідає за передачу службової інформації, надає додаткам інформацію про помилки та формує запити до рівня подання. Існує велика кількість протоколів, які працюють на даному рівні, наприклад HTTP – протокол передачі гіпертекстових файлів, DNS – система призначена для ієрархічного розподілу доменних назв Інтернет сторінок[20].

1.5. Огляд модемного обладнання.

Реалізація фізичного рівня технології забезпечується спеціалізованим чіпсетом SX1276. На відмінну від багатьох бездротових технологій (наприклад, GSM), опис чіпсету та всіх регістрів доступний в мережі Інтернет у відкритому доступі.

На сьогодні більше десятка європейських, американських та китайських виробників пропонують модулі різної ціни та якості. Необхідно зазначити, що

перевага однозначно надається модулям які працюють в діапазоні 868МГц. Тому що більш низькі частоти в Україні насичені перешкодами, у зв'язку з чим досягнути заявлених виробником параметрів доволі важко.

Всі модулі LoRa можна умовно поділити на три групи.

До першої групи можна віднести модулі, які забезпечують виключно фізичний рівень зв'язку. Вони звичайно в якості інтерфейсу використовують інтерфейс SPI та сигнали переривання. Даний тип модулів, може працювати тільки з використанням зовнішнього мікроконтролера та застосуванням спеціальної бібліотеки керування чіпсетом.

Друга група модулів має вбудований мікроконтролер. Зв'язок між основним пристроєм та таким типом модуля є дуже простим. Найчастіше використовуються так звані AT – команди. Такі модулі можна використовувати в режимі «точка-точка», так і для побудови невеликих приватних мереж під конкретні задачі. Варто зазначити що за допомогою вбудованого програмного забезпечення гарантується відповідність радіочастотним стандартам.

Третя група модулів представлена пристроями, які реалізують мережевий протокол LoRaWAN та мають міжнародний сертифікат, такі пристрої мають спеціальний ідентифікаційний номер, аналогічно IMEI в GSM мережах.

На ринку існує безліч модемів для забезпечення мережі, переважно це є пристрої які сертифіковані виробником. Це дає змогу працювати в корпоративних мережах, але на жаль в деяких країнах вони ще тільки розвиваються.

В табл. 1.3 приведені технічні параметри трьох типів модемного обладнання двох виробників.

Таблиця 1.3

Як видно з таблиці, по частотному діапазону модулі розподіляються на два типи 433МГц та 868МГц. Проникаюча здатність низьких частот більша ніж у високих, тому можна припустити, що дальність зв'язку у модулів з нижчою частотою буде вища, але слід зазначити, що в міських умовах, ефір на частоті 433МГц є дуже «забруднений» і пакети будуть губитися за рахунок «колізії частот», тому такі модулі слід використовувати на відкритій місцевості подалі від міста.

Також модулі відрізняються за типом інтерфейсу передачі даних, але це не є суттєво тому що сучасні мікроконтролери підтримують обидва типи, як SPI так і UART[19].

Чутливість радіоприймача у всіх модулів приблизно однакова, і є досить високою, тому ця характеристика не є критичною при виборі модему.

Для даного проекту був вибраний модуль RN2903, так як він працює на частоті 868МГц та забезпечує більшу надійність передачі інформації в умовах використання обладнання тестової системи. Технічні характеристики цього модема задовольняють вимогам до тестового обладнання, модеми доступні у продажу та має невелику вартість[23].

2. ТЕСТОВА LORAWAN МЕРЕЖА

2.1 Архітектура мережі

Загальна архітектура мережі LoRaWAN представляє «зірку зірок» з центральним сервером, декількома шлюзами і клієнтськими пристроями, які обмінюються даними з сервером через найближчі доступні шлюзи (рис. 2.1).

Ідентифікація клієнтських пристроїв в мережі здійснюється за допомогою унікального восьмибайтового пристрою ідентифікації (devEUI). Для адресації клієнтських пристроїв користувачем призначаються чотирибайтові імена (devAddr), які відображаються на сервері. Також вказується призначення пристрою: восьмибайтовий ідентифікатор служби, з якою даний пристрій буде працювати (appEUI), і 16-байтний ключ аутентифікації в даній службі (appKey). Реєстрація в мережі (JOIN) може виконуватися двома способами: за допомогою процедури OTAA (over-the-air activation) або процедури ABP (activation by Personalization). Процедура OTAA вимагає наявності відповідних параметрів devEUI, appEUI і appKey в самому пристрої і на сервері. Сесійні ключі шифрування даних (для мережевого рівня - nwkskey, для рівня додатки - appKey) генеруються автоматично при первинній реєстрації в мережі. Процедура ABP вимагає визначення параметрів devAddr, nwkskey і appKey в клієнтському пристрої і в настройках сервера, тим самим виключається процедура отримання ключів на сеанси обміну з клієнтськими пристроями.

Після реєстрації в мережі клієнтський пристрій може функціонувати в одному з трьох класів:

- пристрої класу «А» більшу частину часу перебувають в режимі сну, періодично прокидаються, відправляють дані, незначний час очікують підтвердження від сервера, потім знову «засинають» до наступного сеансу відповідно до свого розкладу. Такий режим роботи, забезпечуючи максимальне енергозбереження, має і недолік: в період між коротким обміном даними пристрої недоступні для сервера, і останнім доводиться чекати чергового сеансу зв'язку;
- пристрої класу «В» більшу частину часу вони перебувають в режимі сну, але між відправленнями даних регулярно «прокидаються» і деякий час слухають ефір. Ці тимчасові інтервали суворо синхронізовані з сервером. Таким чином, передача даних на пристрій класу «В» здійснюється набагато швидше, ніж на пристрій класу «А», тому що не треба чекати чергового сеансу передачі даних. На жаль, на сьогодні практично немає вільного серверного програмного забезпечення з підтримкою пристроїв класу В;
- пристрої класу «С» переважна більшість часу знаходяться в режимі прийому, за винятком коротких сеансів передачі даних. Такі пристрої споживають значно більше енергії, але вони в будь-який момент доступні для сервера.

На основі приведеної на рис 2.1 загальної архітектури мережі LoRaWAN було розроблено спрощену архітектуру тестової мережі, яку приведено на рис 2.2

На відміну від загальної архітектури (рис.2.1) в архітектурі тестової мережі (рис 2.2) не передбачені функції використання бази даних та Web-socket, тому що існують сервіси типу MajorDoMo, які дозволяють працювати з протоколом MQTT, мають влаштовані бази даних та надають готовий власний

web - інтерфейс у зв'язку з чим були видалені блоки: web-socket, база даних та зовнішні додатки користувача.

В тестовій системі на клієнтській стороні використовуються лічильники води з імпульсним виходом. Використання таких лічильників визначає необхідність підключення кожного лічильника до мережі через модуль LoRa.

На рис 2.3 зображено архітектуру клієнтської сторони тестової мережі.

Кожен лічильник під'єднаний до свого модуля окремо. Проте, якщо вони розташовані недалеко один від одного, то є можливість під'єднати декілька лічильників до одного модуля, але за умови, що вони використовують однакові налаштування протоколу. Скрипт опитування лічильників можна завантажити в сам радіо модуль, який буде опитувати лічильники з певною частотою і передавати обумовлені дані.

Недоліки такого методу полягають у тому, що:

- такий радіомодуль вимагає певних обчислювальних ресурсів;
- такий радіомодуль споживає більше енергії.

Радіомодуль передає дані із заданою періодичністю. На стороні сервера ці дані направляються до бази даних. У разі необхідності звернення до бази даних відпадає необхідність звернення до лічильників.

2.2 Структурна схема тестової системи

На рис 2.4 приведена структурна схема тестової мережі, яка складається з наступних блоків:

- LoRaWan шлюз IC880A
- Плата Raspberry pi
- Локальна мережа Ethernet
- LoRaWan клієнт
- Давачі
- Блок живлення

Raspberry pi в даному випадку підключена в локальну мережу, в цьому випадку в домашній роутер, у випадку роботи на підприємстві підключається в світч або сервер за допомогою кабелю вита пара та роз'єму стандарту RJ-45. Також у такому випадку керування системами Raspberry pi, можливе за допомогою SSH, це технологія доступу до терміналу мікрокомп'ютера за допомогою локальної мережі або серійного порта. LoRaWan шлюз виконаний на платі IC880A та під'єднаний до плати мікрокомп'ютера Raspberry за допомогою шини SPI, тобто три дроти лінії даних та два дроти живлення плюс п'ять вольт та земляний дріт. У даному випадку для живлення цієї ланки системи використовувався блок живлення з параметрами 10Вт, 5В 2А.

Блок живлення під'єднаний до плати [Raspberry pi 3a](#) допомогою microUSB кабеля.

Також в даній системі використовується SD картка флеш пам'яті на 4 гігабайти, даного об'єму пам'яті достатньо для розміщення файлів операційної системи та програмного забезпечення для LoRaWan шлюза. Слід зазначити що об'єм картки не буде використовуватись для системи бази даних, ці файли будуть записуватись та зберігатись на сервері сервісу для роботи з MQTT.

Рис 2.4 Структурна схема тестової мережі

Плата RaspberryPi – це мікрокомп'ютер, який працює на відкритій операційній системі Linux, з периферійних інтерфейсів використовується:

- SPI для підключення IC880A
- Ethernet для підключення до локальної мережі
- USB для підключення миші та клавіатури
- HDMI для виводу зображення на монітор

За допомогою миші та клавіатури, пристрій може використовуватись для адміністрування, або операторської роботи з клієнтськими пристроями.

2.3. Вибір елементів мережі та режимів їх використання.

Для реалізації технічного завдання потрібні наступні елементи мережі: власне базова станція LoRaWan Gateway, яка у даному випадку складається з мікрокомп'ютера Raspberry Pi, який в свою чергу працює на відкритій операційній системі Linux, що чудово підходить для мережевих серверних розробок та декілька клієнтських модулів LoRaWan для передачі даних з давачів та інших віддалених периферійних пристроїв.

Ядром LoRaWAN-мережі є сервер, який підтримує з'єднання з одним або декількома шлюзами. Сервер керує пулом клієнтських пристроїв, забезпечуючи прийом даних, направляючи їх в призначений для користувача інтерфейс ний пристрій.

Найбільш дорогими елементами LoRaWAN-мережі є шлюзи. Основне завдання шлюзу - прийняти дані від клієнтських пристроїв і передати їх на сервер, використовуючи інтернет-підключення, а також ретранслювати дані, що відправляються сервером, в ефір. Функціонально шлюз являє собою багатоканальний приймач. Радіоканал зазвичай виконується на двох чіпсетах SX1257, а обробка проводиться сигнальним процесором SX1301. Подібний шлюз здатний одночасно обробляти до восьми LoRa-пакетів в своєму робочому діапазоні частот. Більш потужні моделі містять більше приймачів, що дозволяє розширити функціональні можливості, а саме, збільшити кількість каналів і збільшити продуктивність шлюзу. Надійне функціонування корпоративної мережі цілком можуть забезпечити навіть прості шлюзи з одним процесором. Збільшувати ємність мережі краще шляхом збільшення кількості шлюзів, рівномірно розподіляючи їх по клієнтським пристроям, ніж за рахунок збільшення продуктивності єдиного шлюзу.

Представлені сьогодні на ринку шлюзи є, в основному, дорогими професійними пристроями, як правило, в IP67-виконанні, призначеними для безпосереднього монтажу на радіощоглах або дахах будівель з метою максимального покриття регіону. Можна виділити моделі Wernet Station від Kerlink і GDOx02 від Manthink - високопродуктивні зовнішні шлюзи, попередньо налаштовані для якнайшвидшого розгортання корпоративної LoRaWAN-мережі.

Лінійка подібних шлюзів сьогодні представлена моделями IC880A від IMST і RHF0M31 від RisingHF[23]. Інтегрований радіоканал з цифровим сигнальним процесором зібраний на невеликій платі і управляється через стандартний SPI інтерфейс. В роботі використовувався модуль IC880A (рис. 2.5.) спільно з бюджетним одноплатним комп'ютером Raspberry Pi.

В якості клієнтських пристроїв в тестовій мережі використовувались лічильники води.

По типу формування вихідних даних існує декілька типів лічильників:

- без імпульсного виходу;
- з імпульсним виходом;
- з інтерфейсом RS-485 та протоколом обміну інформації ModBus.

Наприклад, теплोलічильник ВКТ-7;

- з інтерфейсом RS-485 та протоколом обміну інформації ГОСТ Р МЕК 61107-2001. Наприклад, теплोलічильник Енергоміра.

Наприклад, на рис 2.5 зображено лічильник води з інтерфейсом RS-485.

Кожен протокол обміну має свій склад кадрів, вимагає своїх команд на виконання тих чи інших дій, передбачає різне зберігання (а значить і опитування) значень. Отже, для кожного пристрою необхідний свій скрипт опитування. Навіть при використанні одного протоколу (той же ModBus) цей скрипт буде відрізнятися від пристрою до пристрою. Самі по собі протоколи відкриті. Більш того, сайт кожного виробника часто містить безкоштовну утиліту, за допомогою якої можна опитувати прилади. Але ці утиліти не універсальні і призначені для продукції одного виробника. Проте на підприємствах використовується велика кількість пристроїв різного типу. І використовувати одразу декілька програм не зручно. Оскільки RS-485 передбачає, можливість звертання до пристрою в будь-який момент, радіомодуль LoRa з його підтримкою повинен бути класу «С». Тобто завжди слухати ефір і бути готовим відповісти.

2.4 Опис принципової схеми тестової системи

На рис 2.7 приведена принципіальна схема тестової системи, яка складається з двох блоків, а саме блок шлюзу та блок клієнтських пристроїв, детальний опис складових кожного блоку наведений нижче.

Рис 2.7 Повна принципіальна схема тестової системи

Блок шлюзу складається з наступних складових:

Raspberry – мікрокомп'ютер розміром з кредитну картку, який має всі потрібні інтерфейси для реалізації шлюзу, а саме SPI для підключення плати модема LoRaWan, USB (чотири порти) для підключення периферійних пристроїв, які дозволяють напряду керувати системою, Ethernet порт для підключення в локальну мережу або інтернет для обміну даними та HDMI порт для виведення графічного зображення на монітор. IC880A - плата концентратора або модема LoRaWan для реалізації шлюзу, підключається до мікрокомп'ютера за допомогою SPI інтерфейсу, також потребує антени налаштованої на 868МГц.

Клавіатура – використовується для вводу інформації, звичайна комп'ютерна клавіатура, яка підключається за допомогою інтерфейсу USB до Raspberry.

Миша – використовується для вводу інформації, звичайна комп'ютерна мишка, яка підключається за допомогою інтерфейсу USB до Raspberry.

Локальна мережа Ethernet – використовується для підключення Raspberry до мережі інтернет, за допомогою дроту витягана пара та роз'ємів стандарту RJ-45.

Монітор – використовується для виводу графічного зображення, для користувача, підключається за допомогою інтерфейсу HDMI, який складається з 8 пар сигнальних дротів та спеціальних роз'ємів.

Блок живлення – використовується для живлення системи шлюзу, в даній розробці використовується звичайний USB адаптер на 10вт, підключається до raspberry за допомогою стандартного microUSB дроту. За інформацією технічної документації до вище названих складових системи десяти ватт достатньо для нормального функціонування системи шлюзу.

Блок передавача складається з наступних складових:

- Радіомодуль від компанії ReuaxRYLR890, складається з **трансиверу** який підтримує LoRa модуляцію від компанії SemtechSX1276, та мікроконтролера STM32L1, система відтворена на одній друкованій платі та між собою мікросхеми спілкуються за допомогою інтерфейсу SPI, мікроконтролер служить формувачем пакетів та підтримує функцію AT команд та шифрування алгоритмом AES-128.
- Електронний лічильник – виконує функцію давача, підключений до модуля RYLR890
- Понижуючий DC-**ДCперетворювач** – виконує функцію понижуючого модуля для перетворення постійної напруги 12 вольт в постійну напругу 5 вольт для живлення радіомодуля.
- Джерело живлення 12 вольт – служить для живлення складових пристроїв даного блоку, використовується саме 12 вольт, тому що саме таке значення рекомендується для живлення електронного лічильника води.

2.5 Опис протоколів обміну інформації

Одним з ключових аспектів розробки це обмежені ресурси пристроїв і каналів зв'язку, тому вирішено використовувати спрощені протоколи.

Протоколи "звичайного" Інтернету, такі як HTTP, виявляються занадто складні і ресурсовитратні. Розглянемо протокол MQTT, який працює за принципом підписок.

Протокол MQTT - Message Queue Telemetry Transport (дослівно транспорт для черги повідомлень телеметрії) був розроблений в IBM в 1999 році і стандартизований компанією OASIS. В його основі лежить проста ідея перенесення ресурсозатратної частини системи на один елемент у якого ці ресурси є. При цьому всі інші учасники системи майже повністю звільнені від роботи, що дозволяє їм економити ресурси. Реалізовано це наступним чином: пристрої, які хочуть передати повідомлення (клієнти MQTT), відправляють його серверу (брокеру), пристрої які хочуть отримати повідомлення (клієнти отримувачі), також підключаються до брокера і отримують повідомлення від нього. Всю обробку повідомлень бере на себе MQTT-брокер. Даний підхід показав себе дуже добре і ефективно в таких завданнях, як, наприклад, збір даних, телеметрія і управління простими пристроями.

На рис 2.6 зображено інформаційну структуру протоколу MQTT.

Особливостями протоколу MQTT є:

- Кожен кінцевий пристрій ініціює і встановлює зв'язок з брокером. Це дозволяє усунути відразу кілька обмежень в мережах. Наприклад, обійти відсутність статичних IP-адрес, що є дуже поширеним в поточний момент;
- MQTT працює поверх TCP;
- Для забезпечення безпеки може застосовуватися аутентифікація і засоби SSL / TLS;
- Управління повідомленнями здійснюється за принципом роздільної черзі побудованої на механізмі топіків;
- У кожного повідомлення повинен бути адреса званий топік (приклад: / home / kitchen / sensor1 / temperature);
- Видавці можуть публікувати повідомлення в топік після чого воно потрапляє в чергу. Передплатники можуть підписатися на ті чи інші топіки брокера і отримувати повідомлення з черги кожного топіка. Від підписки на топік можна відмовитися;
- Топіки організовують дерево на основі адреси з поділом по символу "/".

2.6. Інсталяція та налагодження програмного забезпечення стандартних компонентів мережі

Для побудови мережі був обраний варіант використання модуля IC880A в парі з мікрокомп'ютером Raspberry Pi, для підтримки базової станції LoraWan Gateway. Радіомодуль IC880A був підключений до плати за допомогою шини SPI. Опис підключення наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Для зручності тестування мікрокомп'ютером використовувалася операційна система Debian_xfce_desktop, що надає графічний інтерфейс через HDMI-відео. Образ операційної системи був записаний на бюджетну microSD-карту Kingston 4GB Class 4 з реальною швидкістю запису близько 10 Мбайт / с. Після входу в систему (з логіном Pi та паролем raspberry) виконувалися стандартні процедури установки розміру розділу файлової системи (відповідно до використовуваної SD-картою) та оновлення інформації про пакети, що містяться в репозиторіях Debian:

```
/usr/local/bin/fs_resize // перехід до певного репозиторія  
apt-get update // оновлення існуючих пакетів для доступу в репозиторіях
```

Для управління фізичної лінією скидання IC880A зручно використовувати стандартну бібліотеку доступу до інтерфейсу введення / виводу комп'ютера - WiringOP, що встановлюється з github:

```
git clone https://github.com/ // завантаження даних з Інтернет ресурсу «github»  
zhaolei/WiringOP.git -b h3 // вибір потрібного фалу  
cd WiringOP // перехід в репозиторій  
chmod +x./build // команда для доступу встановлення  
./build // вибір файлу інсталятора  
cd.. // перехід в попередній репозиторій
```

Для керування радіоканалом IC880A використовувався драйвер від виробника плати, також доступний на github:

```
git clone https://github.com/Loranet/ // завантаження даних з Інтернет ресурсу  
«github»
```

```
lora_gateway // вибір потрібного файлу
cd lora_gateway // перехід в репозиторій
make // додаток який автоматизує процес встановлення
cd../ //перехід в попередній репозиторій
    I, нарешті, для забезпечення обміну з LoRaWAN-сервером
використовувався додаток packet_forwarder:
git clone https://github.com/Loranet/ // завантаження даних з Інтернет ресурсу
«github»
packet_forwarder // вибір потрібного файлу
cd packet_forwarder // перехід в репозиторій
make // додаток який автоматизує процес встановлення
cd../ //перехід в попередній репозиторій
    Для запуску цього додатка був створений скрипт start_pfd.sh, що містить
команди:
sleep 10 //затримка 10 секунд
gpio mode 7 out // встановлення сьомого виводу плати на роботу у вихідному
режимі
gpio write 7 1 // встановлення логічної одиниці на сьомому виводі
sleep 0.5 // затримка 0,5 секунди
gpio write 7 0 // встановлення логічного нуля на сьомому виводі
sleep 0.5 // затримка 0,5 секунди
cd /root/packet_forwarder/lora_ // перехід в репозиторій
pkt_fwd// вибір потрібного файлу
./lora_pkt_fwd //вибір потрібного файлу
exit 0 // вихід
```

Пауза спочатку скрипта необхідна для коректної роботи в режимі автозапуску: так як Raspberry Pi не має апаратного годинника реального часу, тобто після старту комп'ютера перед запуском шлюзу необхідно почекати оновлення часу через Інтернет засіб NTP. Надалі автозапуск програмного забезпечення шлюзу забезпечувався шляхом створення за зразком стандартного скрипту LoRa в папці init.d і при необхідності керується командами:

```
update-rc.d lora defaults
update-rc.d -f lora remove
```

Після установки програмного забезпечення необхідно в файлі `/root/packet_forwarder/lora_pkt_fwd/global_conf.json` в параметрі `server_address` вказати IP-адресу або доменне ім'я LoRaWAN-сервера, з яким буде працювати шлюз. Також, в разі можливого використання декількох шлюзів, необхідно призначити кожному з них унікальну MAC-адресу у файлі `/root/packet_forwarder/lora_pkt_fwd/local_conf.json`. Після виконання зазначених операцій шлюз буде повністю готовий до роботи в складі корпоративної мережі.

Для отримання пакетів від шлюзів сервер використовує UDP-порт 1680. Веб-інтерфейс, призначений для настройки та контролю, доступний через TCP-порт 8080 (за замовчуванням відкритий доступ для користувача `admin` з паролем `admin`). Налаштування сервера полягає в додаванні шлюзів і клієнтських пристроїв.

Для додавання шлюзів в веб-інтерфейсі необхідно використовувати меню Infrastructure? Gateways? Create і заповнити поля, відмічені зірочкою: MAC (повинен відповідати MAC-адресу, заданому при налаштуванні даного шлюзу), NetID (довільний код мережі, загальний для всіх шлюзів), TX Chain (обов'язково «0»), Location (вказати розташування даного шлюзу на карті).

Для додавання клієнтських пристроїв використовується меню Devices? Create (для пристроїв, які реєструються в мережі за процедурою OTAA) або Nodes? Create. Пристрої, які одного разу успішно були зареєстровані за процедурою OTAA, автоматично додаються в розділ Nodes.

Для забезпечення процедури реєстрації OTAA в меню Devices? Create для кожного клієнтського пристрою необхідно вказати його Region = EU 863-870MHz і Application = WebSocket (інтерфейс, за яким дані з цього пристрою будуть доступні для користувача додатком). Параметри deveui, appeui і appkey повинні відповідати таким, що додаються клієнтському пристрої.

Для забезпечення процедури ABP в меню Nodes? Create необхідно також вказати Region = EU 863-870MHz та Application = WebSocket. Параметри devaddr, nwkskey і appskey повинні відповідати таким, що додаються клієнтському пристрої. Після налаштування, останні дані, отримані від активних клієнтських пристроїв, можна побачити в меню Received Frames. Для отримання клієнтським додатком прийнятих даних через інтерфейс WebSocket при додаванні пристроїв можна вказати необов'язковий параметр Group = ABC і підключатися до сервера за посиланням ws://server:8080/ws/groups/ABC/json. Дані, отримані від учасників групи ABC, будуть передаватися до клієнтського додатку у вигляді json-пакетів, що містять, крім самих даних, додаткову інформацію про клієнтські пристрої, такі, як рівень помилок та поточні параметри модуляції, що використовується у шлюзі.

В результаті була розгорнута тестова бюджетна корпоративна мережа LoRaWAN, що складається з енергоефективних клієнтських пристроїв, які періодично надсилають дані телеметрії серверу, керуючого мережею та надає отримані дані клієнтського додатку. В розробці було використане програмне забезпечення з відкритим кодом, адаптоване під конкретне призначення для користувача завдання. Обладнання, необхідне для розгортання подібної мережі, не потребує витрати великих фінансових ресурсів.

Для клієнтського пристрою було вирішено використовувати Arduino MEGA 2560 в парі з модулем LoRa. Для роботи за даним обладнанням потрібне програмне забезпечення Arduino IDE та підключення по інтерфейсу USB. Крім самого середовища розробки Arduino, необхідно встановити бібліотеку Arduino-LMIC library. Даний репозитарій має бібліотеку IBM LMIC (LoraMAC-in-C), трохи перероблену для роботи в оточенні Arduino. Для цієї бібліотеки допустимо використання трансиверів SX1272, SX1276 і сумісних з ними модулів.

Після виконання всіх вищенаведених дій, необхідно завантажити скетч з посилання github.com/dragino/Lora/tree/master/Lora%20Shield/Examples/lora_shield_ttn

з репозиторіїв github. На рис.2.7 приведено скріншот середовища розробки Arduino IDE.

Результат запуску завантаженого скетчу можна побачити у вікні монітора послідовного порту. У той же самий час можна спостерігати відповідний результат передачі даних на платі Raspberry Pi (рис 2.8).

За замовчуванням, вузол мережі LoRa відправляє дані на 10 частотах, а шлюз отримує дані тільки на одній частоті, таким чином приходить один пакет в 10 хвилин. На реальному шлюзі видно повідомлення кожну хвилину.

На попередніх етапах налаштування мережі доцільно використовувати спеціальне програмне забезпечення Semtech Lora Calculator, що дозволяє ввести різні настройки (ширину спектра, частоту тощо) і побачити результат – швидкість обміну, споживання струму, час роботи від батареї. На рис.2.8 приведено зовнішній вигляд вікна налаштувань модулів цієї програми.

3. АЛГОРИТМИ РОБОТИ СКЛАДОВИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ

3.1 Опис алгоритму роботи системи

Користувач за допомогою [сервісу MoJoRdomo](#), або [SSH](#) отримує доступ до головного шлюзу системи та відсилає йому необхідний запит або команду. Шлюз у свою чергу запитує дані з давачів (для послідовного вивантаження інформації на сервер), або відсилає певні команди на виконуючі пристрої чи програмовано логічний контролер.

Кожен давач має свій особистий, унікальний програмований ідентифікатор, який задається під час складання безпроводної системи та програмування її складових. Ідентифікатори використовуються для адресної передачі даних між складовими системи.

В алгоритмі системи керування реалізується мета по спрощенню зняття даних з давачів.

На підставі розробленої структурної схеми системи мережі був розроблений алгоритм керування системою.

Робота системи складається з декількох кроків:

Крок 1. Ініціалізація

Відбувається ініціалізація всіх елементів системи. Налаштування входів та виходів мікроконтролера.

Крок 2. Дані з датчиків

Наприклад отримуємо дані з давачів і оновлюємо їх кожних 10 хвилин.

Крок 3. Зв'язок з веб-сервісом

Налаштування зв'язку з веб-сервісом, якщо зв'язок вдалося встановити тоді керування системою буде виконуватися через веб-сервіс. В інших випадках користувачеві доведеться з'єднуватись з шлюзом за допомогою віддаленого доступу через SSH.

3.2 Опис алгоритму роботи шлюза

Рис 3.13 Загальний алгоритм системи

Після подачі живлення, пристрій здійснює спробу підключення до мережі Інтернет, при невдалій спробі пристрій виводить повідомлення про невдале підключення в термінал потім знову здійснює спробу та цикл повторюється поки підключення не буде вдалим. Як тільки спроба підключення є вдалою –

пристрій в циклі очікує надходження команди з серверу. Якщо надходить команда від оператора, виконується перевірка команди та відповідно команді виконується певна дія. Слід зазначити що після виконання команди цикл повторюється з місця перевірки наявності нової команди.

3.3 Опис алгоритму роботи тестової мережі.

Рис 3.2 Алгоритм роботи тестової мережі

Спочатку проходить ініціалізація функцій (дефайни, зміни, оголошення функцій). Наступним кроком проходить перевірка змінної, яка відповідає за те що буде робити код, тобто вибір пристрою (приймач/передавач), так як програмне забезпечення є адаптивним, та підходить до пристрою, як передатчика так і приймач, якщо це приймач то виводиться інформація на екран, у випадку якщо це передавач то програма перевіряє наявність логічної одиниці, тобто перемичка на платі, яка подає на вхід переривання логічну одиницю, якщо присутня логічна одиниця то встановлюється одна потужність (32мВт), якщо логічний нуль то друга потужність (10мВт), потім програма переходить до основного цикла While, в циклі постійно перевіряється, які функції виконує код, якщо це приймач то на екран виводиться адреса та кількість прийнятих пакетів, програма оновлюється при затримці 100мілісекунд, тобто кожну десятку секунд програма перевіряє, коли приходить черговий пакет і виводиться кількість пакетів яка прийшла, у випадку якщо це передавач то перевіряється чи піднятий флаг передачі, якщо флаг піднятий то передавач відправляє пакет. Слід зазначити, що флаг піднімається в таймері з певною періодичністю.

4. ОПИС ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

4.1 Загальний опис програмного забезпечення мікроконтролера

Слід зазначити, що для даного проекту все програмне забезпечення знаходиться у вільному доступі в мережі інтернет, але в сукупності являє собою систему з утиліт, додатків та драйверів для тих чи інших пристроїв.

Програмне забезпечення для Raspberry pi було завантажено з офіційних джерел. На офіційному сайті у вкладці «завантаження» потрібно вибрати образ під конкретну модель плати. Образ це стиснутий файл операційної системи для запису на флеш носій. В даному випадку поточна версія програмного забезпечення називається «Raspberry Pi OS» ця система основана на LinuxDebian. Існує кілька версій Raspbian, в тому числі Raspbian Stretch і Raspbian Jessie. З 2015 року Raspbian офіційно представлена Raspberry Pi Foundation в якості основної операційної системи для одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi.

Завантажений з офіційного сайту образ у форматі .ISO потрібно змонтувати на флеш носій. Для цього потрібно за допомогою картридера під'єднати флеш карту до персонального комп'ютера та за допомогою програми UltraISO, провести запис на носій, слід пам'ятати, що перед данною процедурою потрібно відформатувати картку у файлову систему FAT-FS, за допомогою стандартної утиліти у середовищі windows. Після запису потрібно відкрити кореневу папку флешки та додати файл без розширення з назвою «SSH», даний файл потрібен для увімкнення функції віддаленого доступу за

допомогою локальної мережі, такий спосіб використовується за відсутністю монітора чи навіть графічного ядра.

Після підключення флеш карти до Raspberry, потрібно при можливості під'єднати монітор з інтерфейсом HDMI, при відсутності монітору під'єднати мікрокомп'ютер до локальної мережі Ethernet за допомогою дроту вита пара з роз'ємами стандарту RJ-45. Після подачі живлення та вводу паролю з логіном мікрокомп'ютер придатний до роботи.

Дане рішення обумовлене:

- Доступність
- Простота використання
- Швидка компіляція
- Можливість використання декількох мов програмування.

В даному випадку робота проводилась за допомогою віддаленого доступу по локальній мережі SSH, та вікна терміналу в програмі PuTTY.

Рис 4.1 Вигляд терміналу

Протокол SSH (англ. Secure Shell - «безпечна оболонка») - мережевий протокол прикладного рівня, що дозволяє забезпечувати віддалене управління операційною системою і тунелювання TCP-з'єднань (наприклад, для передачі файлів). Схожий за функціональністю з протоколами Telnet і rlogin, але, на відміну від них, шифрує весь трафік, включаючи і передачу паролів. SSH допускає вибір різних алгоритмів шифрування. SSH-клієнти і SSH-сервери доступні для більшості мережевих операційних систем.

У даному проєкті використані наступні складові програмного забезпечення:

Операційна система для Raspberry, «Raspberry Pi OS» ця система основана на LinuxDebian. Існує кілька версій Raspbian, в тому числі Raspbian Stretch і Raspbian Jessie. Але для розробки даного проєкту використовувалась версія Jessie.

Для управління фізичною лінією скидання IC880A зручно використовувати стандартну бібліотеку доступу до інтерфейсу введення / виводу комп'ютера - WiringOP, що встановлюється з github.

Для роботи з GPIO (англ. general-purpose input / output) - інтерфейс вводу / виводу загального призначення, була вибрана бібліотека WiringOP або WiringPi для використання з Raspberry. Назва файлу обраної утиліти для роботи з GPIO - zhaolei/WiringOP, час компіляції та встановлення бінарного файлу приблизно становить 45 секунд.

Для керування радіоканалом IC880A використовувався драйвер від виробника плати, також доступний на github. Назва файлу драйвера - loga_gateway, час компіляції та встановлення бінарного файлу приблизно становить 1 хвилина 30 секунд.

Для забезпечення обміну з LoRaWAN-сервером використовувався додаток packet_forwarder, також, також доступний на github. час компіляції та встановлення бінарного файлу приблизно становить 2 хвилини 45 секунд.

Отже, дана комбінація була підібрана для конкретної системи, кожна утиліта обиралась виключно під конкретне технічне забезпечення.

4.2 Опис функції керування для віддаленого керування

Все керування виконується за допомогою вище описаного терміналу, але у даній розробці існує можливість використання сервісу «majordomo» для більш простого керування системою.

Даний сервіс надає наступний функціонал:

- робота з веб інтерфейсом
- створення «хмарних» баз даних
- можливість налаштування з будь-якого мобільного пристрою

Система автоматизації MajorDoMo (Major Domestic Module або Головний Домашній Модуль) являє собою безкоштовну і відкриту програмну платформу для комплексного управління автоматикою, а так само для інформаційної підтримки життєдіяльності. Дана система може бути встановлена практично на будь-який персональний комп'ютер (на платформі Windows і Linux) і зовсім не вимоглива до ресурсів. Навіть без прив'язки до обладнання вона може бути використана для організації персонального інфо-середовища.

В даному проекті систему можна використовувати у розумному будинку, тобто мережа **LoRaWAN** даному випадку буде виступати як бездротове з'єднання між вузлами системи.

4.3 Опис програмного забезпечення тестової системи

Програмне забезпечення для мікроконтролерів STM32F103C8T6 було розроблене та скопійовано в середовищі **CubeMX** та CubeIDE.

CubeMx - абсолютно новий програмний продукт, що дозволяє легко і невимусно за допомогою досить зрозумілого графічного інтерфейсу будь-яку периферію на борту мікроконтролера. Працює все це так - створюється проект, вибирається мікроконтролер і відразу ж пропонується велика схема з усіма характеристиками обраного контролера. Натискаючи на графічні ланки і заходячи в різноманітні меню, легко можна налаштувати як периферію, так і режими роботи кожного конкретного виводу. Відразу ж очевидний плюс - можна наочно побачити, які виводи вже зайняті, а які ще вільні. Отже, були вибрані всі потрібні **GPIO виводи**, введені всі налаштування периферії (наприклад, частоти тактування, режими роботи таймерів), та CubeMx дає можливість згенерувати відповідний код. Тобто в підсумку ми отримуємо готовий проект, з уже прописаними налаштуваннями, з підключеними бібліотеками і з готової ініціалізації всієї обраної периферії. Базою для всього цього є бібліотеки CMSIS і HAL. Бібліотека STM32 HAL Driver прийшла на зміну бібліотеці Standard Peripheral Library (SPL).

Огляд використаних бібліотек:

BSP - папка з драйверами для конкретних налагоджувальних плат на базі STM32F1. Наприклад, для STM32F103C8e6 там можна знайти файли з вже готовою реалізацією обміну даними.

Крім того, в папці Drivers існує бібліотека CMSIS і STM32F1xx_HAL_Driver, яка згадувалась вище.

Папка Middlewares містить бібліотеки для роботи з аудіо, USB, а також бібліотеки FatFs, FreeRTOS і інші, адаптовані під використання спільно з STM32F1xx HAL Driver.

В папці Projects - величезна кількість готових прикладів на будь-який випадок розробки, для всіх основних налагоджувальних плат.

При виборі нового проекту. Відразу ж відкривається вікно з величезною кількістю налаштувань, в якому необхідно вибрати мікроконтролер, який планується використовувати в даному проекті. В даному випадку було вибрано STM32F103C8. З'являється нове вікно:

Рис 4.2 Вигляд вікна в середовищі CubeMX

Тут можна бачити в правій частині зображення даного контролера з усіма виводами, а зліва список всієї доступної периферії. Також в лівій частині вікна можна вибрати чи буде використовуватися наприклад **SPI** в даному проекті.

Після налаштування всіх виводів можна натиснути на кнопку Generate Source Code, і Cube запропонує завантажити необхідні бібліотеки (як раз ті, які були вказані на початку підрозділу).

Після закінчення генерації можна відкрити папку з проектом і оглянути нові файли і папки. В папці Drivers містяться всі необхідні бібліотеки, а в папках src і inc, відповідно, самі файли з кодом ініціалізації.

У функції main () викликається MX_GPIO_Init () яка визначена в цьому ж файлі - main.c. Власне, в цих функціях і міститься ініціалізація і налаштування всієї периферії, яка була обрана при створенні проекту в STM32CubeMx

Опис розробленого коду файлу main.c для тестового передавача чи приймача:

Встановлення потужності передавача в залежності від наявності перемички між A15 і GND

5. ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ

5.1 Опис тестової системи

Для тестування мережі була зібрана експериментальна установка. Для зручності тестування у обох випадках, будь то на відкриті місцевості чи в умовах забудови, архітектура мережі була обрана «точка-точка» так як власне сам радіомодуль, який використовується в шлюзах та в клієнтських пристроях, є однаковим. В системі збору інформації був використаний модуль RYLR896 від компанії Reuax.

Модуль складається з двох мікросхем, це є власне LoRa радіотрансивер SX1276 та мікроконтролер STM32L151t8c6a, який в свою чергу реалізує протокол взаємодії з мікросхемою трансивера по SPI інтерфейсу. На мікроконтролері також реалізовано UART інтерфейс, з використанням логічного протоколу обміну оснований на AT командах. Цей мікроконтролер також реалізує функцію шифрування за алгоритмами AES128. На приймачу та передавачу встановлюються однакові ключі шифрування. Якщо ключі не співпадають, то інформація в пакетах буде спотворена і неможлива для читання.

В даному випадку використання AT команд є дуже зручним. Наприклад, для програмного скидання достатньо в порт надіслати AT+RESET. Команда AT+MODE – дозволяє перевести модуль в режим сну. Команда AT+IPR=<значення> - дозволяє виставити швидкість роботи інтерфейсу UART за замовченням 115200. Команда AT+PARAMETR=<SF> - дозволяє встановити чотири ключових параметри радіомодуля, всі ці параметри повинні бути

однакові, на приймачу та передавачу для того вони працювали з однаковим протоколом.

Перший параметр це коефіцієнт розширення спектру, справа в тому що одна із ключових особливостей LoRa – це модуляція з можливістю розширення спектру, саме цим параметром який може приймати значення від 7 до 12 можна регулювати ступінь розширення спектру. Чим більший цей коефіцієнт, тим вища чутливість та більша дальність, також цей параметр сильно впливає на час передачі пакету.

За замовченням це параметр дорівнює 12, це дозволяє досягти максимальної дальності, власне це значення буде використовуватись в тестуванні в реальних умовах.

Наступний параметр це смуга частот, яка використовується для прийому та передачі, справа в тому що LoRa використовує всю цю смугу, нижче будуть показані візуалізовані зображення отримані за допомогою SDR приймача, тобто багаторазово при передачі символів стається пере налаштування частоти, та значення цього параметру впливає як і на чутливість, так і на час передачі пакету.

Тобто чим вужче смуга частот тим більша чутливість, але більший час займає передача пакету. В даних тестах використана смуга частот, яка встановлена за замовченням, це 125кГц.

Наступний параметр це CodingRate. Справа в тому, що LoRa це не тільки власне спосіб модуляції, а це ще набір який включає в себе алгоритми сигнальної обробки, один з таких пошук та виправлення помилок в прийнятих спотворених пакетах. Було використано значення CodingRate за замовченням.

Наступний параметр це довжина преамбули. Преамбула використовується щоб приймач міг синхронізуватись при прийомі чергового пакету. В даних тестах використовувалось значення 4.

Наступна команда AT+BAND=<значення>, яка дозволяє встановити частоту для прийому та передачі. Дані модулі дозволяють встановити частоту в діапазоні від 820МГц до 1020МГц, але в даному проекті використовуються частоти які не потребують ліцензування. Всі тести були проведені на частоті 868МГц.

Наступні дві команди дозволяють керувати логічною адресацією прийому та передачі. Команда AT+NETWORKID=<networkid> дозволяє встановити ідентифікатор мережі в діапазоні від 0 до 16, та в кожній такій мережі може існувати до 65535 прийомопередавачів. Наступна команда AT+CPIN=<ключ> дозволяє встановити ключ шифрування який працює за алгоритмами AES128. За допомогою цієї команди передається 32 символи, тобто 16 байт.

Наступна команда AT+CRFOP=<потужність> дозволяє встановити вихідну потужність передавача в діапазоні від 0 до 15 дБ. Слід зазначити, що 15 дБ це еквівалент приблизно 32мВт, таким чином можна програмно керувати вихідною потужністю радіомодуля.

Наступна команда AT+SEND=<adress><payload><data> дозволяє надіслати пакет іншому радіомодулю.

Коли радіомодуль приймає повідомлення, він в UART відправляє наступну строку +RCV=<адреса>,<довжина рядку>,<рядок>,<рівень сигналу>,<відношення сигнал шум> .

Для тестування радіомодулів було побудовано передавач та приймач. Передавач побудований на базі відладочної плати мікроконтролера STM32f103c8t6 та, власне, сам модуль підключений по інтерфейсу UART. Для живлення системи використовувалось автономне джерело живлення напругою 5 вольт.

Що стосується приймача, то він був виконаний по ідентичній схемі, за виключенням того, що було під'єднано дисплей 1602 по шині i2c. На рис. 5.5. зображена схема підключення.

В процесі тестування були виконані заміри за допомогою SDR приймача. На рис. 5.6 представлено спектр сигналу, знятий за допомогою SDR приймача.

Таким чином виглядає спектр сигналу на виході трансівера при передачі 8 байт інформації, та 8 байт надлишкових даних, оскільки увімкнута функцію шифрування. Встановлено максимальне значення коефіцієнту розширення смуги, тобто число 12. Смуга діапазону частоти виставлена 125кГц.

В тесті попередньо визначався споживаний струм у різних режимах роботи. В табл. 5.1. показані результати вимірювань в різних режимах роботи.

Таблиця 5.1

5.2 Тестування в умовах відкритого простору

Тестування в умовах відкритого простору було вирішено проводити на прямому відрізку вулиці, без пагорбів та впадин, щоб сигнал додатково не затухав, а передавач був на рівні приймача. Передавач був встановлений на відкриті ділянки вулиці та підключений до акумуляторної батареї. Тестування проводилось, методом збільшення відстані між передавачем та приймачем на рівні відрізки. Через кожних 50 метрів проводилась перевірка отримання пакетів на приймач. У випадку початку спотворень відстань встановлювалась з більшою точністю. Нижче, на рис 5.7. зображена мапа, та відрізок на якому почали спотворюватись прийняті пакети. Ця відстань становила 216 метрів, але передавач працював не на максимальні вихідну потужність, вона становила 10мВт.

Далі передавач був налаштований на вихідну потужність 32мВт. При цьому максимальна відстань на якій приймалися цілі не спотворені пакети становила 870 метрів. Слід зазначити що в місті не так легко знайти прямий відрізок дороги. Після цього було вирішено виміряти дальність зв'язку в умовах абсолютної видимості радіо модулів на великій відстані, передавач був розташований на одному мості, а приймач був розташований на другому мосту, нижче на рисунку приведені результати, дальність становила 2682 метри, слід зазначити що дане тестування проводилось на вихідній потужності в 10мВт.

Таке вимірювання не дає інформації про максимальну можливу відстань зв'язку тестового обладнання, проте результати підтверджують можливість встановлення зв'язку на великій відстані.

Отже, було експериментально, доведено як впливають перешкоди в місті та значення вихідної напруги на дальність передачі даних між двома радіо модулями.

5.3 Тестування в умовах забудови

При проведенні тестування в умовах забудови, було вирішено встановити передавач в напівпідвальному приміщенні та відходити на певну відстань поки кількість пошкоджених пакетів не стане більше 50 відсотків. Перші тести проводились на вихідній потужності радіо модуля 10мВт. Як видно на мапі рис 2.9. в умовах забудови максимальна дальність склала 302 метри.

Після цього радіо модуль було налаштовано на вихідну потужність 32мВт. При таких умовах максимальна дальність склала 496 метрів, на цій відмітці кількість втрачених пакетів через загасання хвилі становила більше 50 відсотків.

На основі зібраних даних була складена табл.5.2, де видно відношення умов оточення, видимості радіомодулей та вихідної потужності до максимальної дальності, при якій приймач отримувал інформацію з заданою кількістю втрачених пакетів (<50%).

Таблиця 5.2

Отже, на основі зібраних даних, можна зробити висновок, що на дальність зв'язку тестового обладнання впливають перешкоди, особливо в умовах забудови. Більша кількість пакетів пошкоджується та стають неможливими отримання та обробка інформації приймачем. Величина вихідної потужності радіомодуля впливає на максимальну дальність зв'язку.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи була розроблена бездротова мережа LoRaWAN зв'язку з лічильниками води.

Якщо враховувати розвиток технологій в сфері Інтернету речей, то збір інформації та віддалене керування на високих відстанях є дуже перспективною розробкою.

Актуальним на сьогоднішній день є використання даної мережі в промисловості, в агробізнесі, в сфері Інтернету речей та розумного міста.

Розроблена система є доступною, легко програмується, так як все програмне забезпечення є у відкритому доступі, також має можливість модифікації за рахунок підключення додаткових блоків. Система є легкою до будови в проекти розумного будинку.

Проведене тестування розробленої мережі показало необхідність налагодження параметрів модемів у залежності від умов використання, а саме – умов забудови та дальності використання кінцевих пристроїв.

Розроблена мережа дозволяє обмінюватися даними з приладами які знаходяться на досить великій відстані: в умовах міської забудови до 460 метрів та на відкритій місцевості до 2600 метрів. Система доступна на будь-якому пристрої з виходом до Інтернету.

SUMMARY

Industrial application of LoRa wireless interface

The diploma project of first educational level "Bachelor" by specialty 171 Electronics, specialization Electronicsystems. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Faculty of Electronics, Department of Electronic Devices and Systems. Academic group DS-61. - Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. - __61_ p., Ill. 27, tables6.

Keywords:LoRa, IoT, STM32, industry.

An effective method of communication between devices is to create a wireless network. The information coming from the sensors to the microcontroller, which in turn processes the data, is redirected to a node, in case of request. The system can also be configured for autonomous, energy efficient operation.

The relevance of this project is to use unlicensed radio in high-distance conditions between devices that use industrial interfaces. This development can be used in areas where there is a need to transmit information over long distances. Thus, "smart farming" is becoming very popular among farmers. Domestic agricultural holdings are beginning to use special sensors that detect soil temperature and humidity and send information via wireless channels. One of the most relevant areas of application of the network is the collection of information from various meters for the housing sector (Housing and communal services). Currently, there are modules that are installed on gas and water meters and allow you to transmit read information on the LoRaWAN channel.

The aim of the work is to develop a system for remote monitoring of the status of peripheral information sensors using the LoRa wireless communication interface.

The object of the study is the process of collecting information in industrial systems with remote data sensors using the wireless interface of the LoRaWAN standard.

The subject of the work is a test system designed to capture information from long-distance sensors using a LoRaWAN wireless network.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

1. Overview of information collection systems.
2. Overview of leading interfaces;
3. Overview of the properties of wireless interfaces
4. Overview of the properties of the interface of the LoRaWAN communication standard
5. Development of network architecture.
6. Development of the structure of the bench installation of the network for collecting information from peripheral water meters;
7. Development of an application for the operation of the Raspberry pi microcomputer;
8. Testing of the experimental setup.

Overview of leading communication interfaces

Today, the industry uses a large number of systems with outdated interfaces. An example of such an interface is the RS-232, the specification of which was adopted more than 30 years ago. This technical interface is a good and reliable tool when you need to transmit data in conditions with high noise and interference. This is an interface for use between data end equipment and line end equipment using serial

binary data exchange. This standard is now known simply as the RS-232C standard. The data transmission system (transmitter, receiver, connecting cables), implemented in accordance with the technical conditions of the RS-232C standard, provides signal transmission at speeds not exceeding 20 kbit / s (actually used at speeds up to 115200 bits / s). The version of the standard adopted in 1991 by the electronics and telecommunications industry associations, called EIA / TIA-232-E, is currently in force. There are no technical changes that could lead to incompatibilities with equipment that supports the RS-232 interface of earlier versions. The disadvantages of RS-232 are, first of all, that it implements a point-to-point connection with low, by modern standards, speed and works only over short distances (up to 10-15 m).

The hardware support of any interface is best combined with the network protocol, which was originally designed to be deterministic. All functions offered by the protocol with exact time synchronization, conforms to the IEEE1588 standard - Precision Time Protocol (PTP), which also supports multi-mailing. From the point of view of designing automation systems, this means that an important peripheral is the Ethernet 10/100 network interface with hardware support for the above IEEE1588 PTP standard. Some models of more powerful automation controllers require support for a more modern, high-bandwidth Gigabit Ethernet interface that transmits large amounts of information. By strict technical definition, the Ethernet family of protocols of the IEEE 802.3 standard, as mentioned above, physically uses an eight-wire connection type, and supports the distance between devices up to one kilometer and allows the transmission of information up to 100 Gbps. Ethernet is the most common protocol in modern local area networks.

The second common method of data exchange in industrial automation systems is the use of the protocol of the local network of controllers (CAN), which allows you to design distributed systems and systems with redundancy. Controller Area Network (CAN) (local network of controllers, also known as CAN-Bus and CAN Interface) - a standard designed to organize reliable and inexpensive communication channels in distributed control systems.

CAN was developed by Robert Bosch GmbH in the mid-1980s and has been used in industrial automation, smart home technology, the automotive industry and other industries. Most often, the CAN interface is used as a link between the main bus and many auxiliary sensors, mechanisms, etc., the connection of which to the central bus is not always appropriate. In any implementation, the CAN network - the physical medium of data transmission is interpreted as ether, in which the controllers act as transceivers. At the same time, starting the transmission, the controller does not interrupt the listening of the air, in particular, it monitors and controls the process of transmission of current data. This means that all network nodes simultaneously receive signals transmitted over the bus. Unable to send message to any specific node. However, CAN controllers provide hardware capability for filtering CAN messages.

CAN network is designed to communicate with so-called nodes. Each node consists of two components. This is actually a CAN-controller, which provides interaction with the network and implements the protocol, and a microprocessor (CPU).

CAN controllers are connected by means of a bus having at least two wires CAN_H and CAN_L, on which signals are transmitted by means of specialized transceivers, which still implement additional service functions. The following network elements are required to implement the technical task: the LoRaWAN Gateway base station itself, which in this case consists of a Raspberry Pi microcomputer, which in turn runs on the open Linux operating system, which is perfect for network server development and several LoRaWAN client modules. for data transfer from sensors and other remote peripherals.

The core of a LoRaWAN network is a server that supports connections to one or more gateways. The server manages the pool of client devices, providing data reception, sending them to the user interface device.

The most expensive elements of the LoRaWAN network are gateways. The main task of the gateway is to receive data from client devices and transmit them to the server using an Internet connection, as well as retransmit the data sent by the server over the air. Functionally, the gateway is a multi-channel receiver. The radio channel is usually performed on two SX1257 chipsets, and processing is performed by the signal processor SX1301. Such a gateway is capable of simultaneously processing up to eight LoRa packets in its operating frequency range. More powerful models contain more receivers, which allows you to expand the functionality, namely, increase the number of channels and increase the performance of the gateway. Reliable operation of the corporate network can be provided even by simple gateways with one processor. It is better to increase network capacity by increasing the number of gateways, evenly distributing them across client devices, than by increasing the performance of a single gateway.

The gateways on the market today are mainly expensive professional devices, usually in IP67 design, designed for direct installation on radio masts or roofs of buildings in order to maximize coverage of the region. Kerlink's Wirnet Station and Manthink's GDOx02 are high-performance external gateways pre-configured for the fastest deployment of an enterprise LoRaWAN network.

The line of such gateways today is represented by models IC880A from IMST and RHF0M31 from RisingHF. An integrated radio channel with a digital signal processor is assembled on a small board and controlled via a standard SPI interface. The IC880A module was used in the work.

As a result, a test budget enterprise network LoRaWAN was deployed, consisting of energy-efficient client devices that periodically send telemetry data to the server managing the network and provide the received data to the client application. The development used open source software adapted to a specific user task. The equipment required to deploy such a network does not require large financial resources. During the thesis a wireless network was developed, with parameters and characteristics that meet the technical task. The network allows you to exchange data devices that are at high distances in urban areas up to 460 meters and in open areas up to 2600 meters. The system is available on any device with Internet access.

Given the development of technologies in the field of the Internet of Things, remote control at high distances is a very promising development.

The use of this network in industry, agribusiness, the Internet of Things and a smart city is relevant today.

The developed system is accessible, easy to program, as all software is publicly available, as well as the possibility of modification by connecting additional units.

The system is easy to build into smart home projects.

Схожість

Схожість із джерелами з Інтернету

89

1	https://uk.wikipedia.org/wiki/Controller_Area_Network	1.63%
5	https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D...	1.34%
6	https://uk.m.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D...	1.33%
9	https://studopedia.net/13_52316_DHCP--protokol-dinamichnoyi-konfiguratsiyi-vuzla.html	0.74%
14	https://2IP.ua/ua/blog/web-services	0.53%
25	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/22890/1/Organizacia_komputernih_merezh_Konspekt_lekciy.pdf	0.33%
27	https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/71282/1/Shutko_2018.pdf;jsessionid=D3B5A6B81AECF01EEF987...	0.24%
28	http://cad.kpi.ua/attachments/093_2017d_Voitekh.pdf	4 Джерело 0.24%
30	https://controlengrussia.com/besprovodny-e-tehnologii/korporativnoj-seti-lorawan	3 Джерело 0.23%
32	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28338/1/Zavalniuk_bakalavr.pdf	0.22%
34	https://tef.kpi.ua/files/pdf/tezi-tom2_2022.pdf	3 Джерело 0.18%
38	https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15704474847961.pdf	0.15%
39	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32149/1/Hliba_magistr.pdf	22 Джерело 0.15%
42	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27349/1/Rashchenko_magistr.pdf	0.14%
48	https://elib.pstu.ru/vufind/EDS/Search?lookfor=%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0+%D0%	28 Джерело 0.09%
52	https://revolution.allbest.ru/management/00283465_0.html	0.08%
53	http://afgp.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/05/Metod.-rekom.-do-napysannya-dyplomnyh-robot-OKR-spetsialist-Prav	2 Джерело 0.08%
59	https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/32402/1/Sydorets_magistr.pdf	0.07%
60	http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/9221/1/Forum_2013.doc	12 Джерело 0.07%
61	https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/node-need-a-sketch-that-works-with-dragino-lora-shield-arduino-uno/13429	0.07%

62 <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Strategy%20and%20Communications%20Methods.pdf>

2 Джерело

0.07%

Схожість по Бібліотеці акаунту

324

2 Студентська робота ID файлу: 5200756 Institution: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University 6 Джерело 1.63%

3 Ліпко ID файлу: 1000042942 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" 1.57%

4 Студентська робота ID файлу: 1004074398 Institution: Lviv Polytechnic National University 1.4%

7 Yaremenko_2018 ID файлу: 5537285 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic 4 Джерело 0.8%

8 Диплом-Подручна-All-РЕД ID файлу: 1003903029 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Poly... 0.74%

10 Федів_Юрій_БезОхорониПраці ID файлу: 5979539 Institution: National Technical University of Ukraine 17 Джерело 0.62%

11 Finishna_Pryama ID файлу: 5466221 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" 0.59%

12 Студентська робота ID файлу: 1001170974 Institution: National Aviation University 3 Джерело 0.55%

13 Студентська робота ID файлу: 1000050979 Institution: Lviv Polytechnic National University 0.54%

15 2020-bachelor-EDS_Kyvyhlo_n-p_prystroyii_fch ID файлу: 1004030973 Institution: National Technical Univer 51 Джерело 0.46%

16 Студентська робота ID файлу: 8473598 Institution: Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University 3 Джерело 0.45%

17 2020-bachelor-EDD_Pakhomov_protydiya_lazeram_fch ID файлу: 1004048804 Institution: National Technical 12 Джерело 0.45%

18 bondar-2-2018b ID файлу: 6004535 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic In 3 Джерело 0.43%

19 2020-bachelor-EDD_Melnyk_nerhospozhyvannya_ofisa_fch ID файлу: 1004048812 Institution: National Techn 8 Джерело 0.42%

20 Студентська робота ID файлу: 1927307 Institution: Lviv Polytechnic National University 3 Джерело 0.42%

21 Студентська робота ID файлу: 106706 Institution: Lviv Polytechnic National University 5 Джерело 0.39%

22 ПЗМД_КПІ_АУТС_2019_БойчукPI ID файлу: 1000795451 Institution: National Technical University of Ukra 2 Джерело 0.37%

23 Студентська робота ID файлу: 2269442 Institution: Lviv Polytechnic National University 2 Джерело 0.35%

24 IK-71mp_Dubyna ID файлу: 7938910 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic 2 Джерело 0.33%

26 Шалабай_ДС51 ID файлу: 1000084567 Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytech 2 Джерело 0.27%

29	Блоха_магістерська	ID файлу: 8493057	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	16 Джерело	0.24%
31	Гліба Д М	ID файлу: 1000793475	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	70 Джерело	0.22%
33	Диплом_бакалавр_Шиянов	ID файлу: 5961559	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.21%
35	2020-bachelor-EDS_Ihnatenko_NVCH_peretvoryuvach_fch	ID файлу: 1004030970	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.17%
36	Студентська робота	ID файлу: 1000243265	Institution: Kharkiv National Air Force University named after Kharkiv	27 Джерело	0.16%
37	шульц (2)	ID файлу: 5852019	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	2 Джерело	0.15%
40	Moholivets_magistr_2019_2	ID файлу: 1000779851	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	2 Джерело	0.15%
41	Ращенко О М	ID файлу: 8373168	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.14%
43	ПЗБД_КПИ_АУТС_2019_БуланІЛ	ID файлу: 1000078255	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.11%
44	2 розд ук 121219	ID файлу: 1000942453	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.1%
45	Студентська робота	ID файлу: 6002274	Institution: National University of Water Management and Natural Resources	10 Джерело	0.1%
46	ПЗБП_АУТС_КПИ_2020_ХижнякОС	ID файлу: 1004040411	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	2 Джерело	0.09%
47	ФБ_Шайдецький	ID файлу: 8380897	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	14 Джерело	0.09%
49	Студентська робота	ID файлу: 1000751785	Institution: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.09%
50	Чевельча_магістерська	ID файлу: 1002982941	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	6 Джерело	0.08%
51	IK71mp_Filyayushkin	ID файлу: 7939013	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.08%
54	Студентська робота	ID файлу: 1000046170	Institution: National University of Life and Environmental Sciences	25 Джерело	0.08%
55	ПЗМД_КПИ_АУТС_2019_СидорецьЮМ_v2	ID файлу: 1000787303	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.07%
56	вандиловский-бак	ID файлу: 1000076330	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.07%
57	Студентська робота	ID файлу: 1082612	Institution: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.07%
58	Студентська робота	ID файлу: 1495562	Institution: Lviv Polytechnic National University	9 Джерело	0.07%
63	Тучка	ID файлу: 1000026709	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"		0.07%

Цитати

Цитати

1

- 1 One of the most relevant areas of application of the network is the collection of information from various meters for the housing sector (Housing and communal services).