

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

Смірнов В.В., Смірнова Н.В.

**Бездротова мережа для розробки і програмування
розподілених мікроконтролерних систем, пристроїв
робототехніки, автоматики та Internet Of Things**

Навчальний посібник

Кропивницький - 2024

УДК: 004.41
ББК 32.97
С50

*Рекомендовано Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету до друку та використанню підручника у навчальному процесі здобувачами вищої освіти очної та заочної форми навчання.
Протокол № 6 від 26.02. 2024 року*

Рецензенти:

Мацуй Анатолій Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету.

Дідик Олександр Костянтинович, кандидат технічних наук, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету.

Смірнов В.В., Смірнова Н.В.

С50

Бездротова мережа для розробки і програмування розподілених мікроконтролерних систем, пристроїв робототехніки, автоматики та Internet Of Things: навчальний посібник. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 88 с.

У навчальному посібнику описані бездротова мережа діапазону 2.4 GHz для розробки і програмування розподілених мікроконтролерних систем, пристроїв робототехніки, автоматики та Internet Of Things, що потребують наявності бездротового зв'язку з об'єктами управління з гарантованою доставкою команд і даних зі швидкістю 250 Kbps у радіусі до 10 км.

Наведено характеристики мережі, сферу застосування та обмеження. Описано архітектуру мережі, структуру вузлів мережі, типи застосовуваних антен і рекомендації для вибору оптимального каналу для роботи мережі.

Описано конфігурацію різних моделей побудови мережі, їхні особливості та практичну реалізацію. Описано систему адресації вузлів мережі для простої та кластерної моделі мережі. Описано процес конфігурування, тестування та перевірки працездатності мережі. Представлено приклад розміщення вузлів мережі на місцевості та приклад обміну даними в мережі.

Представлені практичні задачі для кращого освоєння досліджуваного матеріалу та представлені варіанти рішення задач для самостійного придбання практичних навичок.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти очної та заочної форми навчання за спеціальностями:

- 122 «Комп'ютерні науки»;
- 123 «Комп'ютерна інженерія»;
- 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»;
- 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Навчальне електронне видання комбінованого використання.
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

УДК: 004.41
ББК 32.97

© В.В. Смірнов, Н.В. Смірнова / 2024
© ЦНТУ / 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖІ	10
Призначення	10
Область застосування	10
Технічні характеристики:	11
Архітектури мережі:	12
Особливості мережі	12
2. ОПИС КОМПОНЕНТІВ І ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ	16
Трансивери	16
Антени	16
Вибір оптимальних каналів для роботи мережі	17
3. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СТРУКТУРА ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ	20
Вузли мережі	20
Net Master	20
Controller.....	21
Light Node.....	22
Cluster Admin.....	22
Net Router	23
Repeater.....	24
4. АРХІТЕКТУРА, МАСШТАБУВАННЯ, АДРЕСАЦІЯ ТА РОБОТА МЕРЕЖІ	25
Масштабування мережі	25
Модель мережі "Simple Net"	26
Модель мережі "Light Cluster Net"	27
Модель "Medium Cluster Net".....	28
Модель "Union Cluster Net"	30
Адресація вузлів у мережі	31
Поділ адресного простору мережі	32
Приклад адресації вузлів мережі	33
5. ПІДГОТОВКА ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ДО РОБОТИ	34
Програма "Serial Bluetooth Terminal". Базові відомості.....	35

Базовий набір функціональних кнопок.....	35
Розширений набір функціональних кнопок	36
Налаштування програми "Serial Bluetooth Terminal"	36
6. ТЕСТУВАННЯ МЕРЕЖІ. ПЕРЕДАЧА КОМАНД І ДАНИХ	40
7. ОБМІН ДАНИМИ В МЕРЕЖІ. ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ .	46
Встановлення адреси вузла-одержувача.....	46
Надсилання даних вузлу-одержувачу.....	48
8. РОБОТА З ВУЗЛОМ "CONTROLLER"	49
Призначення виводів вузла "Controller"	49
Класи команд управління функціями вузла "Controller"	49
8.1. МОДУЛЬ PІO. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ.....	51
Управління логічним рівнем пінів PІO.....	51
Встановлення режиму передавання повідомлень про стан пінів PІO у разі зміни їхнього логічного стану.....	51
Відміна режиму передавання повідомлень про стан пінів PІO у разі зміни їхнього логічного стану.....	52
Встановлення режиму передавання повідомлень про стан пінів PІO із зазначеним періодом	52
Відміна режиму передавання повідомлень про стан пінів PІO із зазначеним періодом	53
8.2. МОДУЛЬ ADC. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ.....	54
Отримання значення напруги на пінах ADC.....	54
Встановлення режиму передавання повідомлень у разі зміни рівня напруги на пінах ADC	54
Відміна режиму передавання повідомлень у разі зміни рівня напруги на пінах ADC	55
Встановлення режиму передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із заданим періодом	55
Відміна режиму передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із заданим періодом	56
8.3. МОДУЛЬ DAC. КОМАНДИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ.....	56
Встановлення рівня напруги на пінах DAC	56
8.4. МОДУЛЬ PWM. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ.....	57
Ініціалізація модуля PWM.....	57

Управління скважністю на пінах модуля PWM	57
Відміна режиму PWM.....	57
8.5. МОДУЛЬ SERVO. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ	58
Ініціалізація модуля SERVO	58
Встановлення кута повороту вала сервоприводів на пінах модуля SERVO	58
Встановлення режиму сканування сервоприводів на пінах модуля SERVO.....	58
Відміна режиму сканування сервоприводів на пінах модуля SERVO...	59
Відміна режиму SERVO	59
8.6. МОДУЛЬ GPS. КОМАНДИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ.....	60
Підключення модуля GPS	60
Відключення модуля GPS	60
Отримання поточних координат GPS	60
Отримання розширених координат модуля GPS	60
Фіксація поточних координат модуля GPS	61
Встановлення режиму передавання повідомлень у мережу повідомлення про зміну координат GPS	61
Відміна режиму передавання повідомлень у мережу повідомлення про зміну координат GPS	61
Встановлення режиму передавання повідомлень у мережу координат GPS із заданим періодом	62
Відміна режиму передавання повідомлень у мережу координат GPS із заданим періодом.....	62
АТ-КОМАНДИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ	63
Команда «АТ+HELP»	63
Команда «АТ+NET.config»	65
Команда «АТ+NET.mode m».....	66
Команда «АТ+NOD.config».....	66
Команда «АТ+NET.addr a».....	67
Команда «АТ+NOD.addr a».....	67
Команда «АТ+TRG.addr a».....	68
Команда «АТ+SRC.show»	68
Команда «АТ+SRC.hide».....	68

Команда «AT+CLU.config»	69
Команда «AT+CLU.adm n».....	69
Команда «AT+CLU.node n».....	70
Команда «AT+CLU.targ n»	70
Команда «AT+ROUT.num n».....	70
Команда «AT+CNL.main n»	71
Команда «AT+CNL.fixed»	71
Команда «AT+CNL.multi».....	71
Команда «AT+CNL.scan»	71
Команда «AT+CNL.view».....	72
Команда «AT+CNL.set s»	72
Команда «AT+POWER pow».....	73
Команда «AT+BITRATE br»	73
Команда «AT+BAUD bd»	73
Команда «AT+UART.flow+»	74
Команда «AT+UART.flow-».....	74
Команда «AT+START.hide».....	75
Команда «AT+START.show»	75
Команда «AT+DEFAULT»	76
Команда «AT+RESTART».....	76
Команда «AT+LOGIN log».....	76
Команда «AT+PASSW psw».....	77
Команда «AT+HI».....	77
Команда «AT+WHERE node».....	77
Команда «AT+ERROR.log»	78
Команда «AT+NOD.scan».....	78
Команда «AT+NOD.view».....	78
Команда «AT+GPS+».....	79
Команда «AT+GPS-»	79
Команда «AT+GPS.fix»	79
Команда «AT+GPS.view»	80
Команда «AT+BLE+»	80

Команда «AT+BLE-»	80
Команда «AT+BLE.config».....	80
Команда «AT+BLE.name n»	81
Команда «AT+BLE.psw p»	81
Команда «AT+STOP»	82
Команда «AT+COUNTER target[,period]»	82
Команда «AT+HELLO target[,period]».....	83
Команда «AT+HELLO.all [period]».....	84
Команда «AT+STRING target[,period][,length]»	85
Формати AT-команд	86

ВСТУП

На сьогодні розробка та реалізація бездротових мережевих технологій, мереж, систем і пристроїв для керування віддаленими та розподіленими в просторі об'єктами є актуальним завданням.

Такі системи та мережі повинні відповідати вимогам надійності, стійкості до перешкод, скритності в роботі, мати високий поріг виявлення, а також володіти достатнім рівнем захисту надісланих команд і даних.

Авторами в рамках науково-дослідної теми «Створення мобільної мережі 2.4 GHz з адаптивною аморфною топологією для управління роєм БПЛА і робототехнічних об'єктів», реєстраційний № 0120U104088, було проведено аналіз наявних бездротових мереж на предмет їхньої відповідності зазначеним вимогам.

Аналіз показав, що за сукупністю характеристик аналізовані мережі, такі, як ZigBee, Z-Wave, LoRaWan не здатні повною мірою вирішувати поставлені задачі.

На підставі результатів аналізу, авторами були проведені дослідницькі та дослідно-конструкторські роботи (ДКР), які дали можливість розробити архітектуру, систему протоколів, програмне і апаратне забезпечення бездротової мережі.

Мережа має можливість швидкого розгортання, властивість масштабування, а також здатність зміни топології без негативного впливу на роботу всієї мережі.

Розроблена мережа не використовує протоколи стека TCP/IP, що дало змогу значно скоротити розмір службової інформації в переданих пакетах, що підвищило поріг виявлення вузлів, які працюють у мережі.

Розроблені авторами мережеві протоколи дають змогу вузлам мережі здійснювати сеанси обміну даними в умовах, коли діапазон частот, що використовується, "зашумлений" іншими пристроями, що працюють у тому самому діапазоні.

У навчальному посібнику представлено практичну реалізацію одного з напрямів науково-дослідної теми № 0120U104088, а саме: бездротової локальної мережі під назвою «Easy Net Everywhere».

Дана реалізація локальної мережі дає змогу студентам відповідних спеціальностей освоїти розробку, програмування, встановлення та адміністрування вузлів і пристроїв бездротової мережі, а також отримати практичні навички роботи з розподіленими мікроконтролерними системами, пристроями автоматики, робототехніки та пристроями Internet Of Things.

Завданням навчального посібника є навчання студентів навичкам роботи з мікроконтролерами за допомогою бездротової локальної мережі «Easy Net Everywhere», а також для підготовки програмістів в області розробки та управління територіально-розподіленими системами, роботами, об'єктами і комплексами.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти очної та заочної форми навчання за спеціальностями:

122 «Комп'ютерні науки»;

123 «Комп'ютерна інженерія»;

172 «Електронні комунікації та радіотехніка»;

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖІ

Призначення

Бездротова мережа "Easy Net Everywhere" призначена для застосування в територіально-розподілених системах, які потребують наявності бездротового зв'язку з об'єктами управління з гарантованою доставкою команд і даних зі швидкістю 250 Kbps у радіусі до 10 км (залежно від умов навколишньої місцевості та складу обладнання).

Область застосування

Мережа "Easy Net Everywhere" може бути використана для вирішення завдань у проектах різного ступеня складності, наприклад:

- для управління як окремими об'єктами, так і роєм об'єктів, наприклад, дронами, роботами, роботизованими платформами та іншими механізмами;
- для використання в якості фреймворку для побудови різних систем і реалізації проектів рівня "Internet Of Things";
- для отримання і пересилання в мережу координат GPS, створення GPS трекерів і маячків тощо;
- для використання в системах зовнішньої та внутрішньої охорони об'єктів і приміщень, управління камерами відеоспостереження, у системах тривожної сигналізації, у метеостанціях і системах моніторингу датчиків показників навколишнього середовища;
- для віддаленого керування станом об'єктів у комунальних службах, наприклад, водопровідними засувками, кранами, клапанами тощо;
- для збирання та передавання інформації з віддалених автономних датчиків, датчиків пристроїв автоматики, медичних приладів тощо;
- для систем керування дозаторами, зерносушарками, теплицями тощо;
- для систем автоматичного керування мікрокліматом, поливом, освітленням тощо;

- для систем керування міськими світлофорами з метою підвищення комфорту пересування автомобільного транспорту, зниження рівня ДТП тощо;
- для систем управління класу "Smart Home», ввімкнення/вимкнення побутових приладів і електроприводів, для управління потужністю в навантаженні тощо;
- для швидкої реалізації територіально-розподілених DIY-проектів (Arduino тощо) ;
- для створення текстових месенджерів і чатів.

Область застосування мережі обмежується тільки її технічними характеристиками.

Технічні характеристики:

Частотний діапазон: ISM.

Радіоканали: 0-125 (від 2400 до 2525 МГц).

Полоса пропускання радіоканалу - 1МГц.

Трансивери: NRF24L01+, NRF24L01+PA+LNA, E01-ML01DP5, E01-2G4M27D.

Відстань приймання/передавання даних у межах прямої видимості на висоті 1 м на швидкості 250 Kbps:

- трансивер NRF24L01 - 100 м;
- трансивер NRF24L01+PA+LNA, E01-ML01DP5 - 1км;
- трансивер E01-2G4M27D - 2 км.

Швидкість передачі даних: 250 Kbps, 1 Mbps і 2 Mbps.

Максимальна довжина пакета: 256 байт.

Час передачі пакета 256 байт на швидкості 250 Kbps - 50 мс (5 Кб/с).

Інтерфейси користувача:

- UART 9600 - 921600 baud;
- Bluetooth: BLE.

Інтерфейси контролера мережі:

- I²C;
- SPI;
- GPS UART 115200 baud.

Кількість функціональних виводів контролера – 14.

Функції виводів контролера (призначаються користувачем):

- ADC - 14;
- DAC - 2;
- PWM - 11;
- Servo - 11;
- GPIO: вихід - 11, вхід - 14, input only - 3;
- GPIO переривання – 14.

Архітектури мережі:

Архітектура "багато-до-багатьох":

- кількість вузлів – 254.

Кластерна архітектура:

- кластерів - 14;
- кількість вузлів у кластері - 15;
- кількість роутерів - 30.

Напруга живлення: 3,3 В, 5 В.

Струм споживання вузла мережі:

- в активному режимі: 40 ма;
- у пасивному режимі: 25 мка.

Діапазон робочих температур: -40°C...+85°C.

Особливості мережі

Мережа "Easy Net Everywhere" має кластерну архітектуру з маршрутизацією пакетів і можливістю масштабування.

Вузлами мережі використовуються трансивери невеликої потужності для забезпечення обміну даними тільки там, де це необхідно, не займаючи ефір там, де це небажано.

Таке рішення забезпечує створення оптимальної топології мережі, підвищення порога виявлення роботи трансиверів і зменшення ймовірності виникнення колізій. Розв'язання колізій у мережі реалізується пропрієтарним протоколом.

Вузли мережі можуть одночасно працювати як у режимі точка-точка на невеликій дистанції в межах прямої видимості до 2 км, так і в режимі ретрансляції пакетів, що дає можливість встановлювати зв'язок між об'єктами на відстані до 10 км, а через мережу StarLink, мережу GSM і GSM-Internet - у встановлених межах.

Передавання даних здійснюється каналами, які обираються випадковим чином із числа доступних. Теоретично доступно 125 каналів з шириною смуги пропускання 1 МГц. Практично - залежить від конкретних умов.

Усі вузли мережі рівнозначні і можуть мати повний або обмежений доступ до інших вузлів мережі залежно від використаної архітектури.

Кожен вузол мережі може передати команди і дані будь-якому іншому вузлу.

Адміністратор мережі може встановити необхідні обмеження для кожного вузла. Адміністрування мережі можливе з будь-якого вузла, наділеного повноваженнями.

Кожна наступна транзакція не використовує повторно канал попередньої транзакції, що ускладнює виявлення вузла сканерами ефіру. Тривалість однієї транзакції на одному каналі не перевищує 25 мс.

Девіація каналів передавання даних може бути встановлена адміністратором у межах +/- 2...60 від частоти основного каналу.

Адміністратор може встановити обмежений список робочих каналів, при цьому кожному адресату може бути поставлено у відповідність один або кілька фіксованих/змінних каналів.

Безпека. Кожен вузол мережі має адресу мережі, адресу вузла, пароль і логін мережі, а також пароль доступу до вузла через Bluetooth.

Шифрування даних: пропрієтарний алгоритм маскування даних.

Передача даних у мережі може ініціюватися:

- користувачем;
- вузлом мережі;
- подією;
- перевищенням/зниженням значення параметра відносно заданого порога;
- після закінчення часу таймера одноразово або із заданою періодичністю.

Для передавання даних вузлу-одержувачу використовується маршрутизація відправника. Для кожного вузла-одержувача можна вказати свій маршрут проходження пакетів і записати його в профіль адресата.

Така маршрутизація детермінована і для стаціонарних і малорухомих об'єктів оптимальніша, ніж стохастична маршрутизація в mesh-мережі.

Взаємодія користувача з будь-яким вузлом мережі здійснюється за допомогою послідовного інтерфейсу UART на швидкості до 921600 baud або за допомогою інтерфейсу Bluetooth (BLE).

Конфігурація та встановлення параметрів вузлів мережі здійснюється за допомогою AT-команд через бездротовий інтерфейс Bluetooth (BLE) планшета або смартфона та дротовий інтерфейс UART.

Усі налаштування зберігаються в пам'яті вузла.

Порівняльні характеристики малопотужних бездротових мереж представлені в табл.1

Обмеження:

- обмеження 1 зумовлене частотою роботи трансивера - 2.4 GHz. Зв'язок можливий у межах прямої видимості;

- обмеження 2: за надто великої дистанції між роутерами зв'язок на даній ділянці може перерватися і мережа розпадеться на кілька самостійних сегментів.

Для виключення такої ситуації кількість роутерів на одиницю площі/обсягу ареалу функціонування мережі має бути більшою за мінімально необхідну кількість. У цьому разі існує більше варіантів вибору альтернативних маршрутів проходження пакетів.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики малопотужних бездротових мереж

Параметр	Z-Wave	Zigbee	LoRaWAN	Easy Net Everywhere
Потужність передавача	0 dBm/1 мВт	0 dBm/1 мВт	до 30 dBm/1000 мВт	до 27 dBm/500 мВт
Дальність зв'язку між вузлами мережі	до 100 м.	до 100 м.	до 10 км (модулі класу С) з додатковим обладнанням	до 10 км (модулі класу С) ● без додаткового обладнання
Швидкість передачі	до 100 Кбіт/с *	до 250 Кбіт/с *	до 19,2 Кбіт/с *	● 250 Кбіт/с ; 1 та 2 Mbit/c
Затримка передачі	Tx: 1% Rx: 99%	< 5 мс	від 1 мс до десятків секунд	● < 1 мс
Кількість каналів	16	16	127 (діапазон 2.4 GHz)	● 127
Мобільність	низька	низька	низька	● висока
Складність установки	середня	середня	висока	● низька
Орієнтація	пристрої і датчики	пристрої і датчики	пристрої і датчики	● людина, пристрої і датчики
Обмін текстовими повідомленнями	немає	немає	немає	● є, 256 байт/транзакція
Комунікаційні інтерфейси користувача	немає	немає	немає	● SPI, I2C, UART 921600 baud
Бездротові інтерфейси користувача	немає	немає	немає	● Wi-Fi, Bluetooth/BLE, GSM
Навігація	немає	немає	немає	● GPS/GLONASS/Galileo/Beidou
Управління дронами	непридатна	непридатна	непридатна	● придатна
Ліцензія	не потрібна	потрібна	не потрібна	не потрібна
Вартість	висока	середня	висока	● низька

Примітки: * - залежить від відстані між пристроями;

● - перевага

2. ОПИС КОМПОНЕНТІВ І ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ

Трансивери

У всіх вузлах мережі передбачено використання трансиверів різної потужності залежно від розв'язуваних завдань. Трансивер вузла вибирається користувачем. Трансивер або впаюється в плату вузла (рекомендується), або вставляється в роз'єм (для тестування).

Вузли мережі працюють із такими трансиверами:

- трансивери NRF24L01+, NRF24L01+PA+LNA (рис.1);
- трансивери E01-ML01DP5, E01-2G4M27D (рис.2).



Рисунок 1 - Трансивери NRF24L01+ та NRF24L01+PA+LNA



Рисунок 2 – Трансивери E01-ML01DP5 та E01-2G4M27D

Анени

З трансиверами можуть використовуватися різні антени, як штатні, так і спеціальні, з конектором SMA. Від вибору антени залежить відстань, на якій трансивери можуть забезпечити надійний зв'язок.

Штатна антена має коефіцієнт посилення 3 dBi і забезпечує впевнений зв'язок на відстані 1-2 км на відкритій місцевості на висоті 1,5 м з трансивером E01-2G4M27D (рис. 3).



Рисунок 3 - Штатна антена трансивера

Антенa Yagi 10 dBi забезпечує впевнений зв'язок на відстані до 5 км на відкритій місцевості на висоті 1,5 м з трансивером E01-2G4M27D (рис. 4).

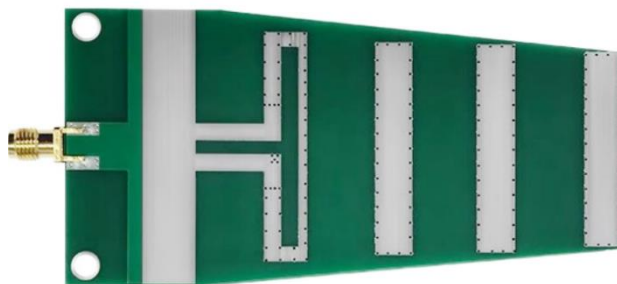


Рисунок 4 - Антенa Yagi 10 dBi

Антенa Yagi 25 dBi забезпечує впевнений зв'язок на відстані до 30 км на відкритій місцевості на висоті 1,5 м з трансивером E01-2G4M27D (рис. 5).



Рисунок 5 - Антенa Yagi 25 dBi

Під час вибору антени слід враховувати діаграму спрямованості, яка вказується в технічних характеристиках конкретних антен.

Керування трансиверами здійснюється мікроконтролером ESP32 фірми Espressif, у керуючій програмі якого реалізовано стек системних, мережових і користувацьких протоколів. Сукупність контролера і трансивера утворює вузол мережі.

Вибір оптимальних каналів для роботи мережі

Діапазон частот, у якому працює мережа, зумовлює певні вимоги до антен, що використовуються і вибору оптимального каналу (групи каналів) для роботи вузлів мережі.

Антени повинна мати мінімальне значення коефіцієнта стоячої хвилі КСВ (*SWR standing wave ratio*) в обраному діапазоні частот. Цей параметр визначає ККД антени і безпосередньо впливає на дальність зв'язку. Хвильовий опір антен для трансиверів становить 50 Ом.

Для визначення КСВ антен використовуються спеціальні прилади: КСВ-метри. Наприклад, у польових умовах для вимірювання необхідних параметрів антен можна використовувати LiteVNA (Portable Vector Network Analyzer).

Результати вимірювання КСВ штатної антени трансивера (рис. 3) за допомогою приладу LiteVNA представлені на рис. 6.

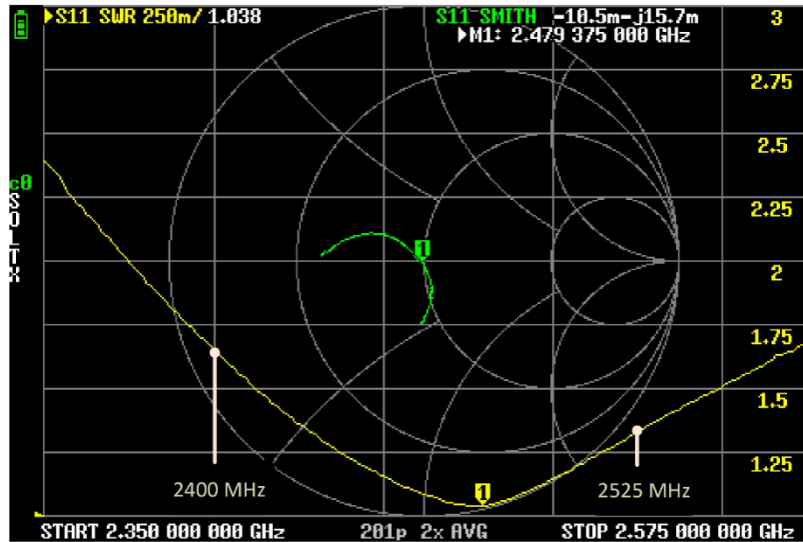


Рисунок 6 - Результати вимірювання КСВ штатної антени трансивера

З графіка випливає, що антена не є широкопasmовою. Мінімальний КСВ антени 1.038 відповідає частоті 2479 MHz або каналу з номером 79.

Прийнятний КСВ відповідає частотам 2450 MHz - 2500 MHz. Це означає, що основний канал для роботи мережі бажано вибирати в діапазоні від 50 до 100.

На рисунку 7 представлено скріншот екрана аналізатора TSA ULTRA (Tiny Spectrum Analyzer) з результатами сканування частот у діапазоні роботи мережі 2400 MHz - 2525 MHz (канали 0 - 125) під час виконання тесту для двох вузлів мережі.

На скріншоті відображено частоти, на яких здійснюється обмін даними між бездротовими пристроями:

- у діапазоні частот 2400 MHz - 2400 MHz працюють пристрої Wi-Fi;
- у діапазоні частот 2400 MHz - 2400 MHz працюють вузли мережі, займаючи канали 58 – 68;
- частота 2485 MHz відповідає основному каналу з номером 85.

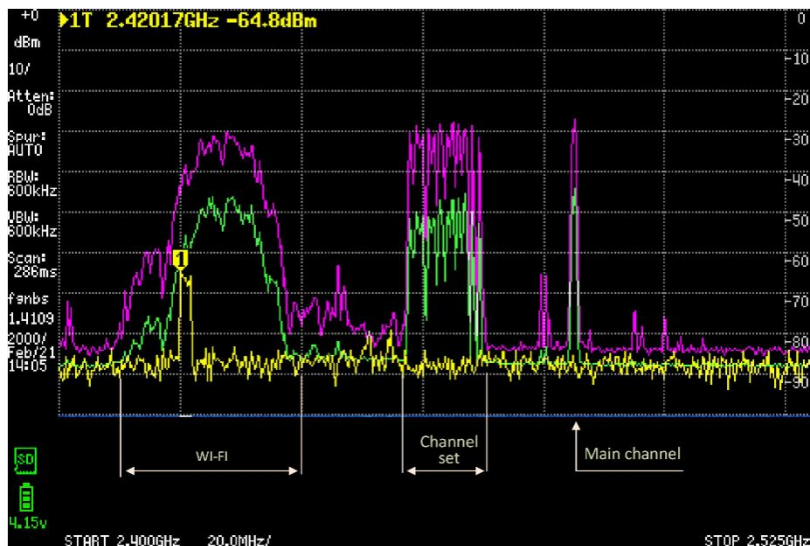


Рисунок 7 - Результат сканування діапазона 2400 MHz - 2525 MHz

Таким чином, знаючи КСВ антени, можна вибрати найбільш оптимальний діапазон частот (каналів) для роботи мережі.

У разі відсутності приладу для вимірювання КСВ антени, рекомендується обирати канали в середині робочого діапазону ISM і надалі коригувати їх на підставі статистичної інформації про помилки передавання даних за всіма обраними каналами (AT- команда AT+ERROR.log).

3. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА СТРУКТУРА ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ

Вузли мережі

Для побудови та організації роботи мережі використовуються мережеві функціональні вузли:

- "Net Master" (NM);
- "Controller" (C);
- "Light Node" (L);
- "Cluster Admin" (CA);
- "Net Router" (NR);
- "Repeater" (R).

Net Master

Вузол "Net Master" є головним об'єктом мережі та призначений для адміністрування мережі, надсилання команд і даних у мережу та отримання даних із мережі. Взаємодіє з мережею Internet за допомогою Wi-Fi роутера, за допомогою роутера Starlink і GSM-модема, що має підключення до UART.

Структурну схему вузла "Net Master" наведено на рис. 8.

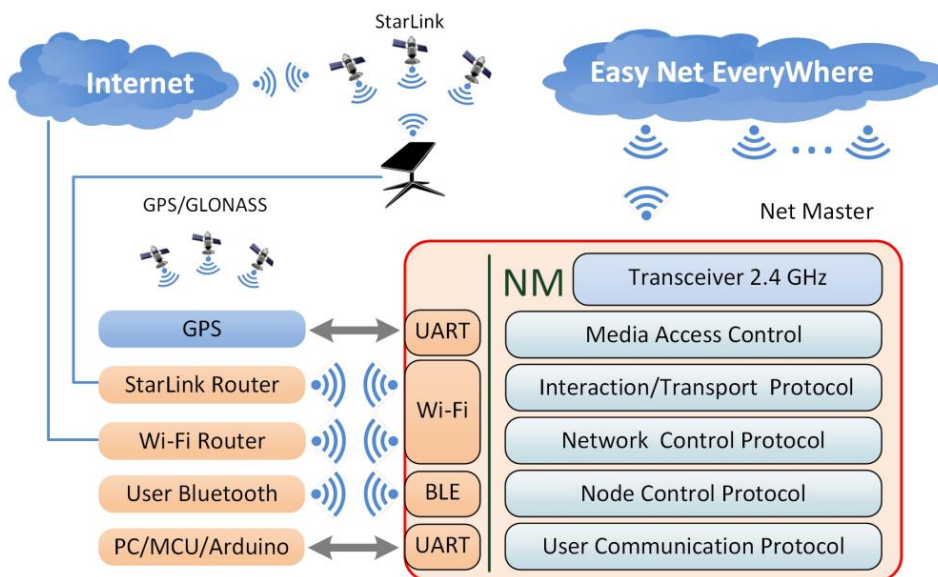


Рисунок 8 - Структурна схема вузла "Net Master"

Controller

Вузол "Controller" призначений:

- для приймання з мережі та передавання в UART команд і даних користувача, включно з текстовими повідомленнями довжиною до 256 байт;
- для виконання команд користувача;
- для збирання та передавання інформації.

Команди користувача являють собою числові значення, яким поставлено у відповідність виконання однієї дії на стороні контролера або послідовності дій, наприклад:

- увімкнути/вимкнути будь-який пристрій;
- збільшити/зменшити потужність у навантаженні;
- повернути вал одного або декількох сервоприводів на заданий кут з заданою швидкістю;
- встановити на виводах DAC рівень постійної напруги;
- прочитати поточне значення напруги на виводах ADC і передати їх користувачеві;
- встановити тайм-аут таймера для періодичного передавання користувачеві станів виводів і значень ADC тощо.

Вузол "Controller" має можливість підключення модуля GPS. Це дає змогу в реальному масштабі часу визначати координати кожного вузла мережі в просторі, передавати координати вузлу "Net Master" з подальшим відображенням їх на Google-карті (візуалізація топології мережі на смартфоні/планшеті або комп'ютері).

Це дуже корисна можливість для завдання оптимального маршруту проходження пакетів, відображення координат об'єктів, встановлення маячків, GPS-GSM трекерів, навігації дронів, роботизованих платформ тощо.

Структурна схема вузла "Controller" представлена на рис. 9.

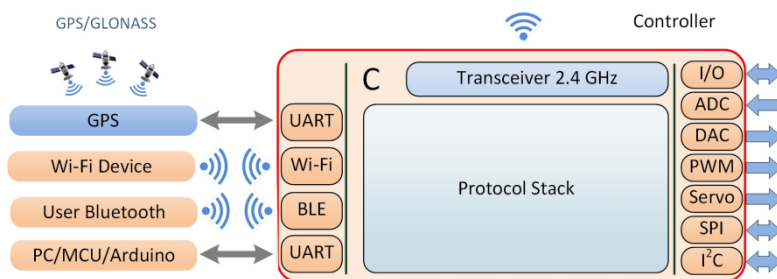


Рисунок 9 - Структурна схема вузла "Controller"

На структурній схемі вузла " Controller" з лівого боку представлені комунікаційні інтерфейси UART і Bluetooth для взаємодії користувача з контролером мережі.

З правого боку представлені послідовні системні інтерфейси SPI, I2C, і модулі контролера для управління обладнанням і отримання зовнішніх сигналів.

Light Node

Вузол "Light Node" призначений для двостороннього обміну командами і даними між інтерфейсом UART і мережею зі швидкістю до 921600 baud. Вузол не містить функціональних виводів. Для взаємодії з користувачем вузол "Light Node" має інтерфейси UART, Wi-Fi і Bluetooth (BLE).

Структурну схему вузла "Light Node" представлено на рис.10.

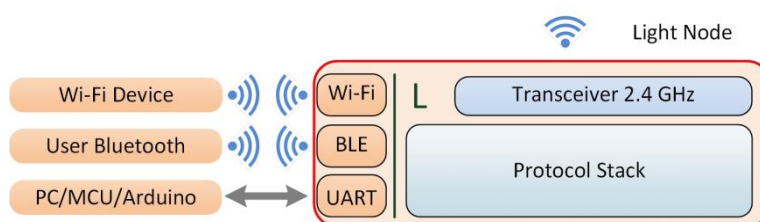


Рисунок 10 - Структурна схема вузла "Light Node"

Cluster Admin

Вузол "Cluster Admin" призначений для двостороннього обміну командами і даними користувача між інтерфейсом UART і мережею зі швидкістю до 921600 baud. Вузол здійснює адміністрування всіх вузлів кластера, виконує системні та сервісні функції для забезпечення роботи кластера. Для взаємодії з користувачем вузол "Cluster Admin" має інтерфейси UART і Bluetooth (BLE).

Структурну схему вузла "Cluster Admin" наведено на рис. 11.

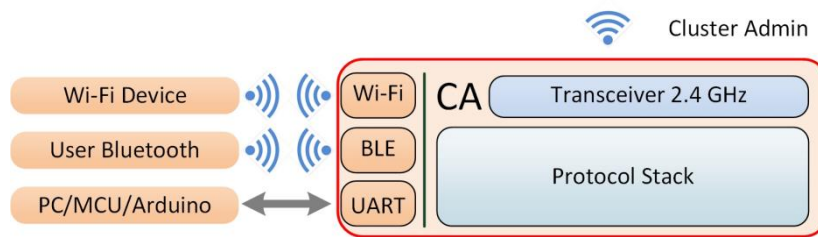


Рисунок 11 - Структурна схема вузла "Cluster Admin"

Net Router

Вузол "Net Router" призначений для маршрутизації пакетів у мережі відповідно до встановленого маршруту. Звільняє інші вузли мережі від участі в процесі маршрутизації та ретрансляції пакетів.

Реалізація вузла "Net Router" має два варіанти: одиночний і здвоєний. Одиночний роутер спочатку приймає дейтаграму, а потім передає. Оскільки режим роботи роутера симплексний, то під час передачі даних приймання даних не здійснюється. Загальний час прийому-передачі дейтаграми становить 50 мс.

У здвоєному роутері /"Fast Router"/ один роутер приймає дейтаграму, потім по інтерфейсу UART пересилає її другому роутеру, який передає дейтаграму в мережу. Час прийому-передачі дейтаграми становить 27 мс.

Для взаємодії з користувачем вузол "Net Router" має інтерфейси UART і Bluetooth (BLE).

Структурну схему одиночного вузла "Net Router" представлено на рис. 12.

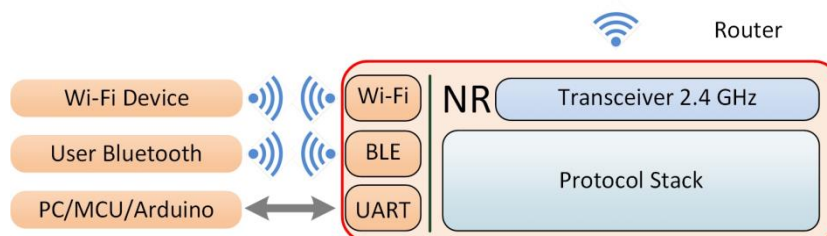


Рисунок 12 - Структурна схема одиночного вузла "Net Router"

Здвоєний роутер має дві мережеві адреси та по два інтерфейси UART і Bluetooth (BLE).

Структурна схема здвоєного вузла "Net Router" подана на рис. 13.

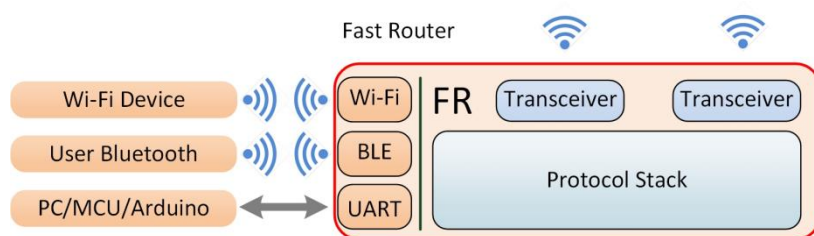


Рисунок 13 - Структурна схема зведеного вузла "Net Router"

Repeater

Вузол "Repeater" (ретранслятор) призначений для локального розширення зони покриття мережі. Він є повільним пристроєм зі швидкістю передачі 2400 baud. Діапазон частот роботи репітера - 144 і 433 MHz.

Вузол "Repeater" доцільно використовувати в умовах поганого проходження сигналу 2,4 GHz або у відсутності можливості використання вузла "Net Router".

Вузол "Repeater" приймає і передає дейтаграму цілком по інтерфейсу UART під управлінням спеціального протоколу.

Структурну схему вузла "Repeater" наведено на рис. 14.

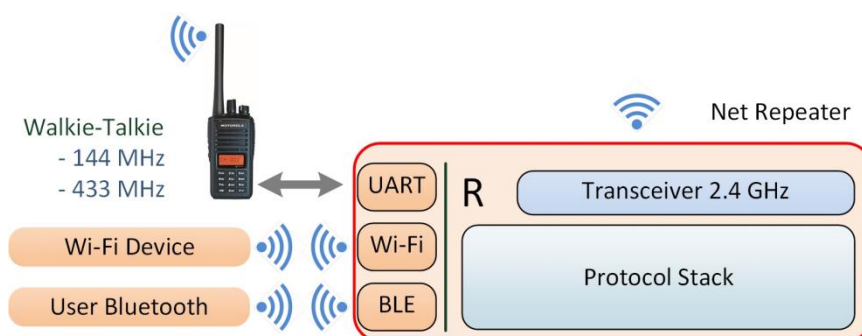


Рисунок 14 - Структурна схема вузла "Repeater"

4. АРХІТЕКТУРА, МАСШТАБУВАННЯ, АДРЕСАЦІЯ ТА РОБОТА МЕРЕЖІ

Архітектура мережі "Easy Net Everywhere" дає змогу користувачеві легко будувати необхідну топологію, оптимально відповідну для вирішення конкретного завдання.

У загальному вигляді архітектура мережі "Easy Net Everywhere" представлена на рис. 15.

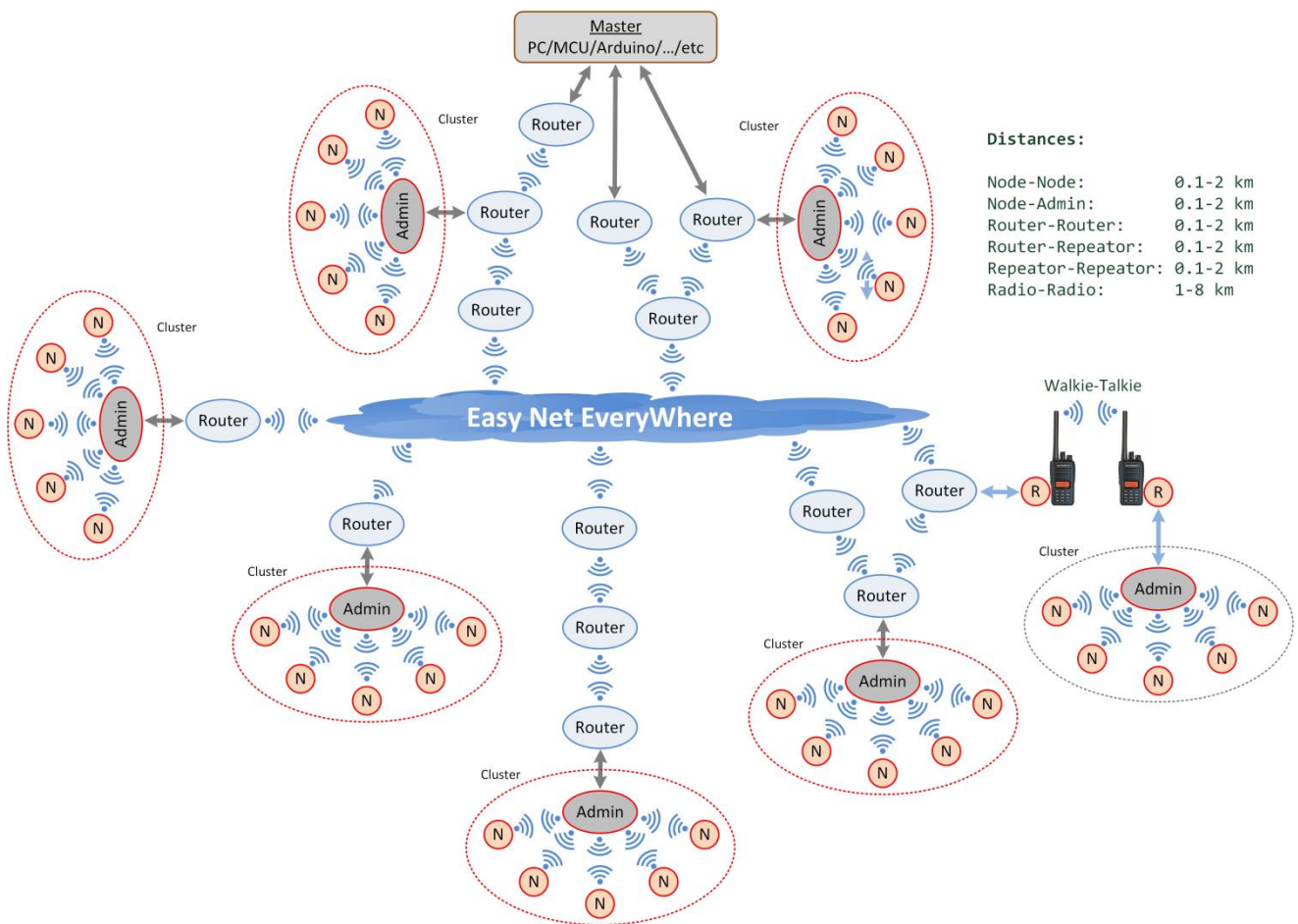


Рисунок 15 - Архітектура мережі "Easy Net Everywhere"

Масштабування мережі

Архітектура мережі "Easy Net Everywhere" є легко масштабованою.

Наприклад, для побудови системи "Розумний дім", що містить невелику кількість вузлів на невеликій площі за умов низького трафіку, застосування роутерів і репітерів недоцільне.

Однак, у територіально розподіленій системі з безліччю вузлів і відстанями між вузлами до 10 км, роутери та репітери є необхідністю.

Масштабування мережі реалізується відповідно до таких моделей:

- Модель "Simple Net";
- Модель "Light Cluster Net";
- Модель "Medium Cluster Net";
- Модель "Union Cluster Net".

Модель мережі "Simple Net" встановлює режим роботи простої мережі з аморфною архітектурою та аморфною топологією без використання роутерів та інших вузлів. У цьому режимі користувач і кожен вузол має прямий доступ до всіх інших вузлів мережі. Усі вузли за замовчуванням рівнозначні. За замовчуванням, Майстром мережі може стати будь-який вузол, до якого в цей момент підключився користувач. Тому мережа може мати кілька Майстрів мережі, якщо це не заборонено адміністратором.

Така модель рекомендується для створення дуже малих локальних мереж з невеликим трафіком.

Архітектура мережі на основі моделі "Simple Net" представлена на рис. 16.

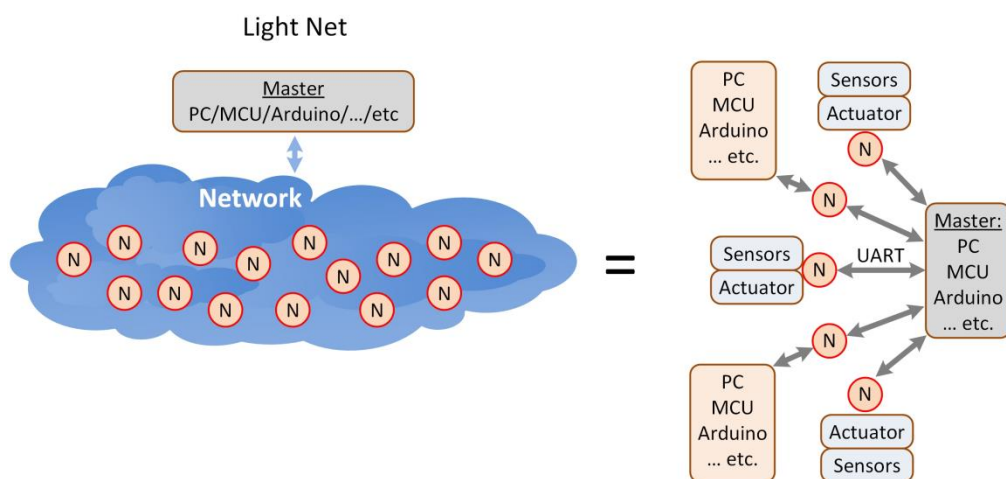


Рисунок 16 - Архітектура мережі на основі моделі "Simple Net"

Фізична реалізація мережі "Simple Net" представлена на рис. 17.

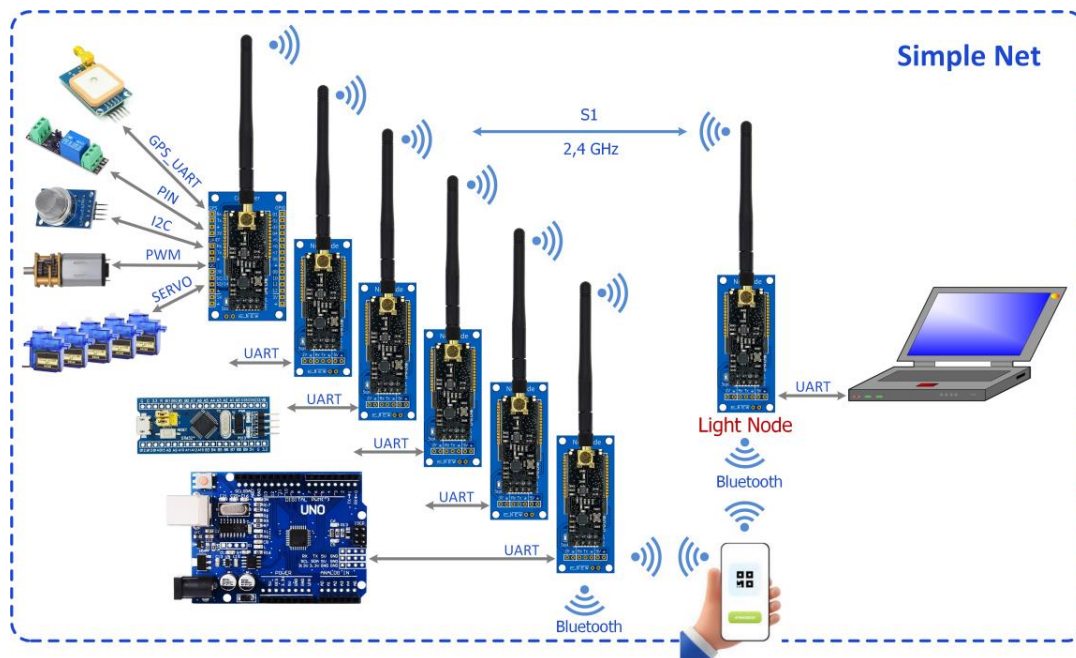


Рисунок 17 - Фізична реалізація мережі "Simple Net"

Значення дистанції $S1$ залежить від використовуваного трансивера та антени. Наприклад, у разі використання штатної антени і трансивера NRF24L01+PA+LNA дистанція $S1$ становить 1 км, а в разі використання трансивера E01-2G4M27D - 2 км.

Модель мережі "Light Cluster Net" встановлює режим роботи мережі з одним або кількома кластерами без використання роутерів. У цьому режимі доступ до вузлів кластера здійснюється через вузол "Cluster Admin", який інкапсулює вузли кластера і звільняє користувача від роботи з управління вузлами "Light Node".

Вузли "Cluster Admin" мають прямий зв'язок із вузлом "Net Master" за інтерфейсом UART зі швидкістю до 921600 baud.

Така модель рекомендується для створення невеликих локальних мереж з невеликим трафіком.

Архітектура мережі на основі моделі "Light Cluster Net" представлена на рис. 18.

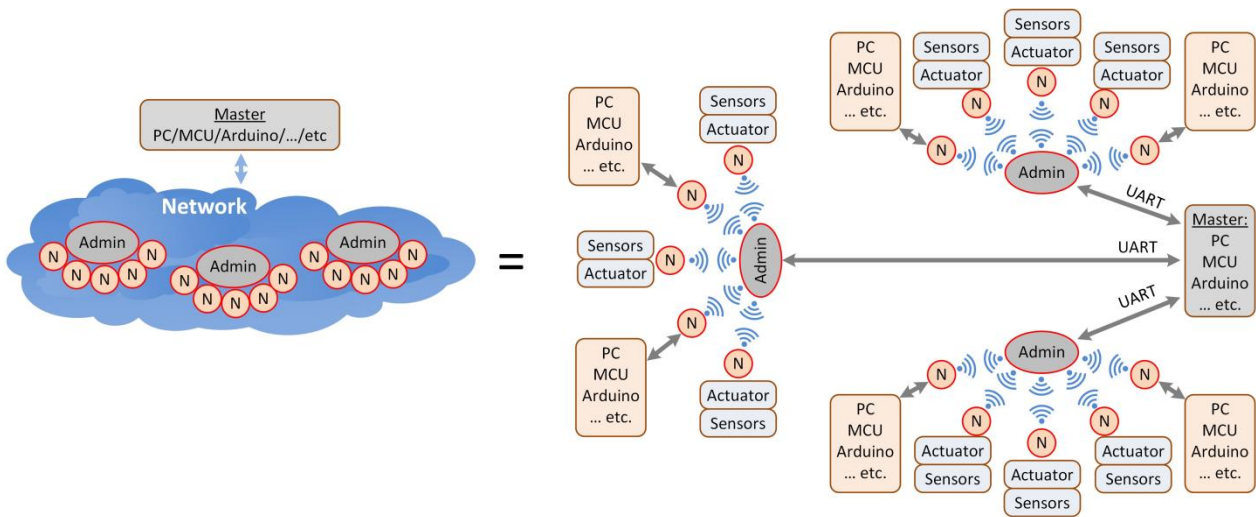


Рисунок 18 - Архітектура мережі на основі моделі "Light Cluster Net"

Фізична реалізація кластера мережі "Light Cluster Net" представлена на рис. 19.

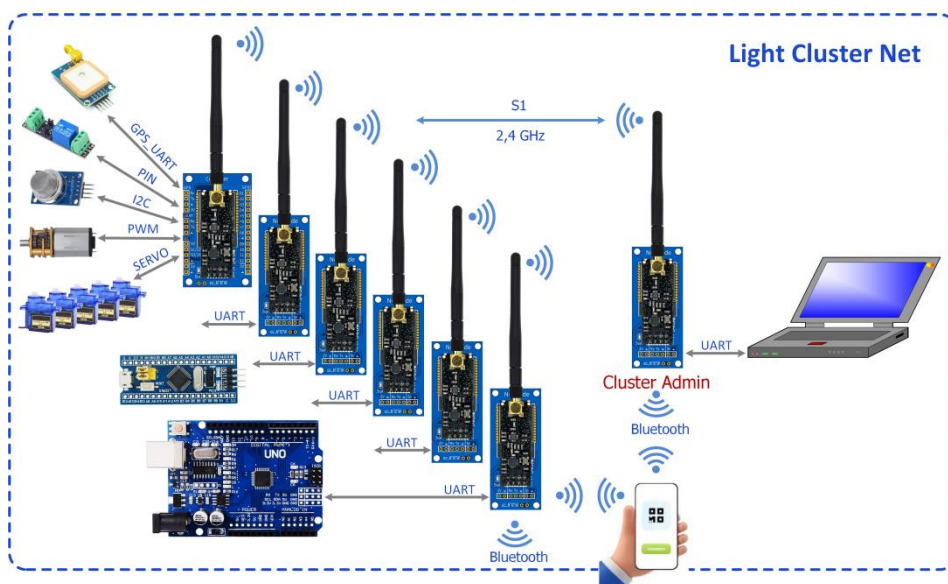


Рисунок 19 - Фізична реалізація кластера мережі "Light Cluster Net"

Модель "Medium Cluster Net" встановлює режим роботи мережі з декількома кластерами з використанням роутерів і репітерів та відносно високим трафіком в умовах наявності перешкод для проходження мережевих пакетів.

Доступ до вузлів мережі також здійснюється через вузол "Cluster Admin".

Така модель рекомендується для створення територіально-розподілених мереж з відносно високим трафіком. Фізична реалізація кластера мережі "Medium Cluster Net" представлена на рис. 20.

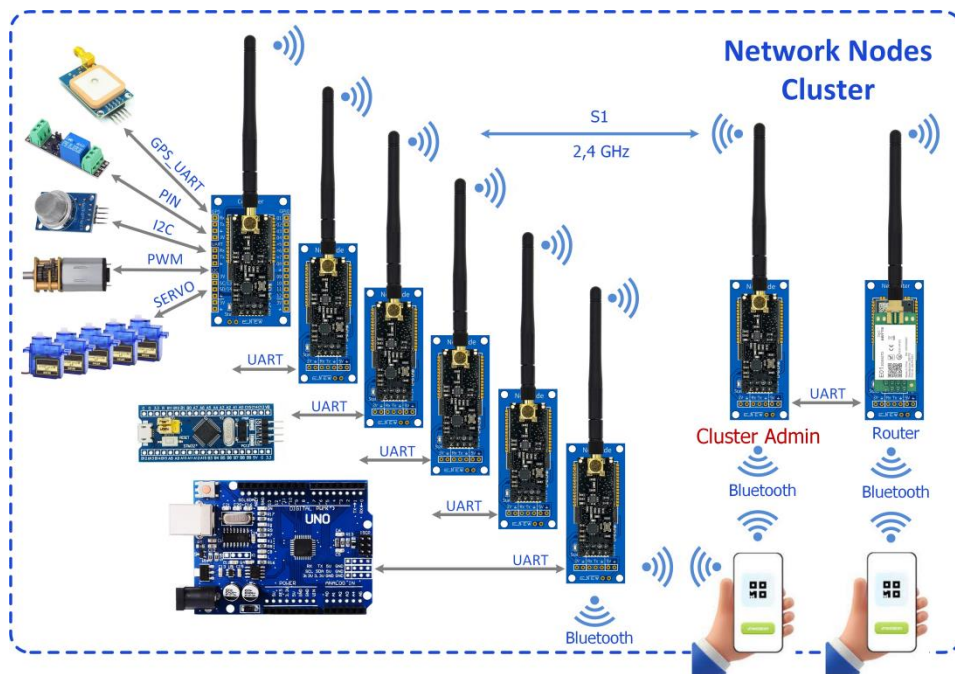


Рисунок 20 - Фізична реалізація кластера мережі "Medium Cluster Net"

Архітектура мережі на основі моделі "Medium Cluster Net" представлена на рис. 21.

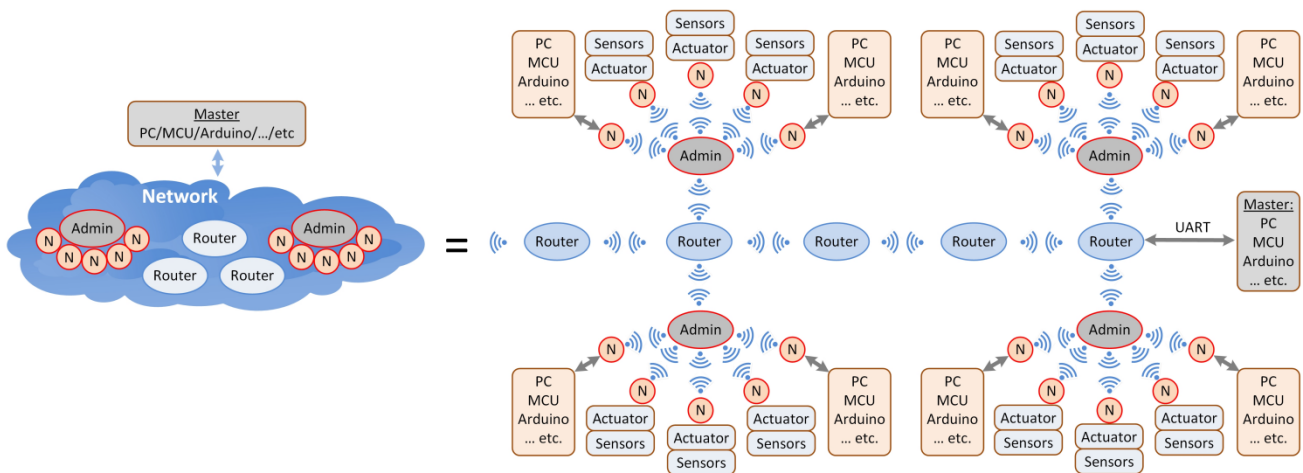


Рисунок 21 - Архітектура мережі на основі моделі "Medium Cluster Net"

Використання роутерів дає змогу користувачеві призначати та змінювати маршрути проходження пакетів, оптимально розподілити мережевий трафік і обійти об'єкти, що перешкоджають обміну даними між об'єктами мережі.

Фізична реалізація мережі "Medium Cluster Net" представлена на рис. 22.

Під час побудови мережі слід враховувати, що в разі спільного використання різних трансиверів дистанція стійкого зв'язку S2 дорівнюватиме найменшому значенню S1,

де: S1 - дистанція для трансивера NRF24L01+PA+LNA (1 км);
 S2 - дистанція для трансивера E01-2G4M27D (2 км).

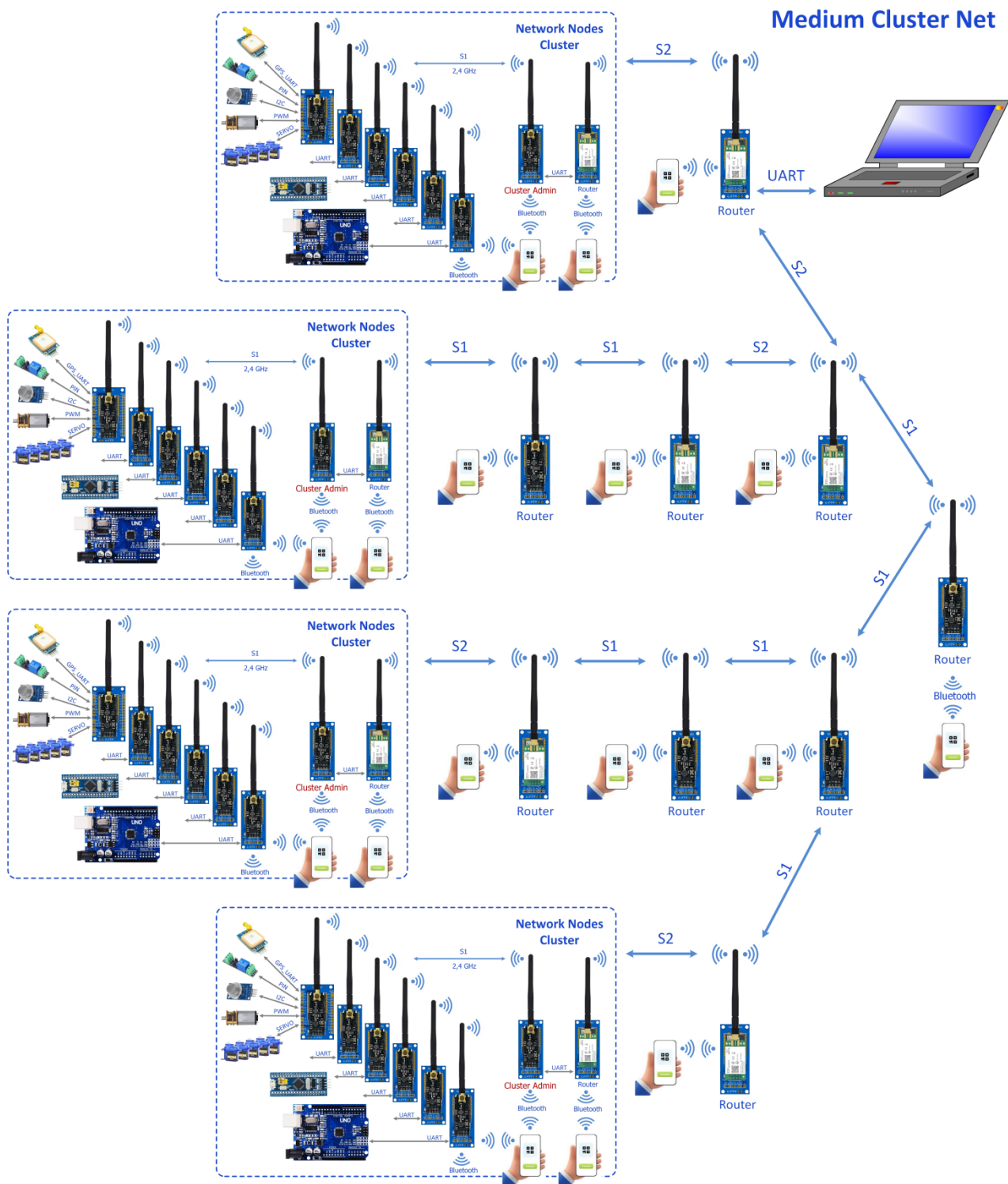


Рисунок 22 - Фізична реалізація мережі "Medium Cluster Net"

Модель "Union Cluster Net" об'єднує декілька локальних мереж різної архітектури в єдину систему. Використання мереж Internet та GSM дає

можливість побудови глобальної мережі Easy Net Everywhere з урахуванням певних обмежень.

Архітектура мережі на основі моделі "Union Cluster Net" представлена на рис. 23.

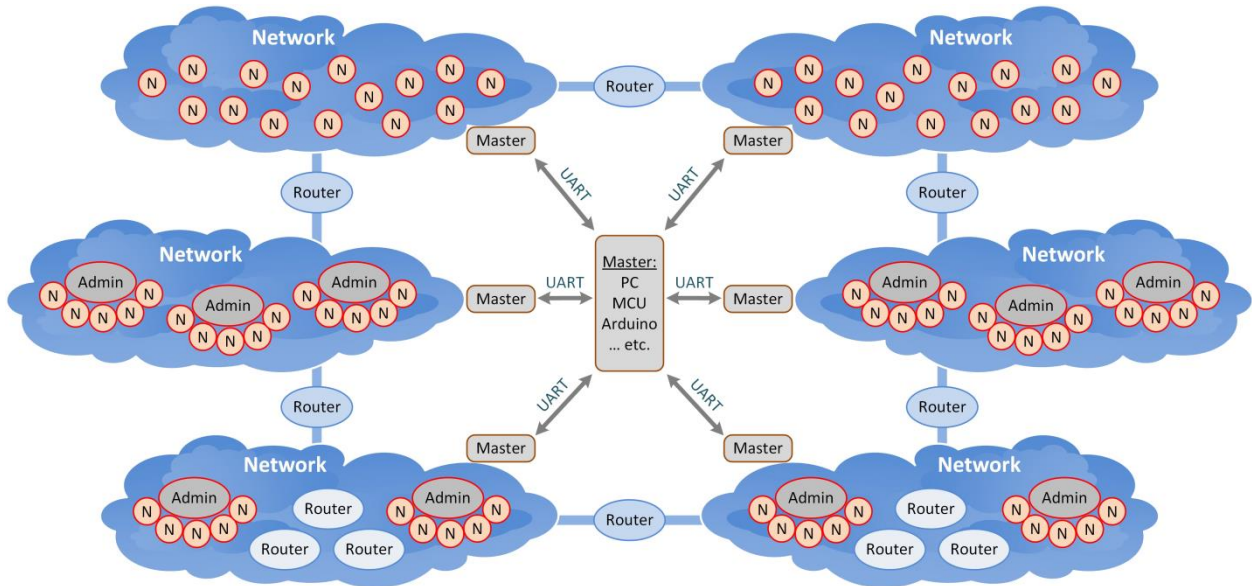


Рисунок 23 - Архітектура мережі на основі моделі "Union Cluster Net"

Адресація вузлів у мережі

Кожен вузол мережі має свою унікальну адресу. Повна адреса вузла складається з трьох компонентів: адреси мережі, адреси кластера і номера вузла в кластері.

Довжина адреси мережі становить 1 байт і адресує 254 мережі.

Довжина адреси кластера становить 4 біти і адресує 14 кластерів.

Довжина номера вузла становить 4 біти і адресує 15 вузлів.

Формат мережевої адреси наведено на рис. 24.



Рисунок 24 - Формат мережевої адреси

Поділ адресного простору мережі

Адресний простір мережі розділено на сегменти за функціональною ознакою пристроїв:

- вузли кластера мають номери: 1-15/0x01-0x0F;
- адміністратори кластера займають діапазон адрес: 0.0-13.0/0x00-0xD0;
- роутери та репітери займають діапазон адрес: R0-R30/0xE0-0xFE/.

Поділ адресного простору мережі на сегменти представлено на рис. 25.

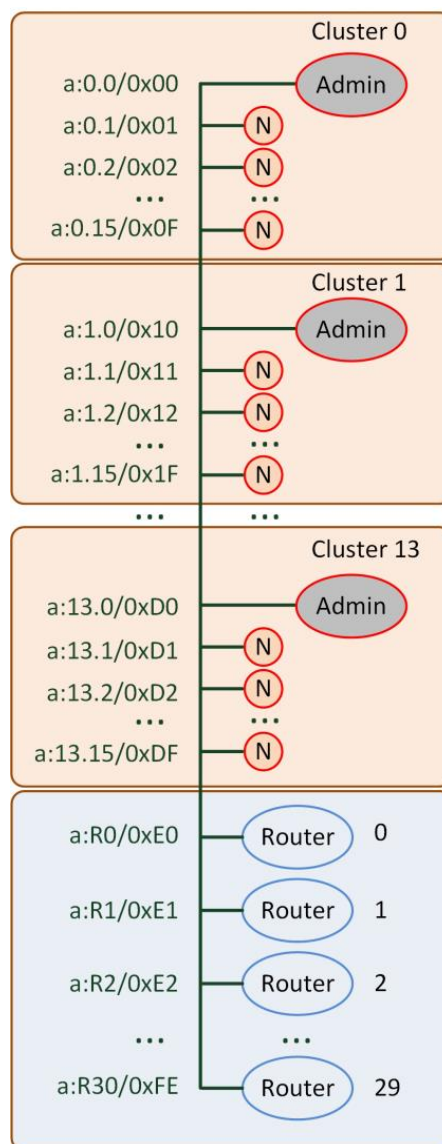


Рисунок 25 - Поділ адресного простору мережі на сегменти

Адреси вузлів мережі наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Адреси вузлів мережі

Cluster Admin address		Node address		Full Node address		Router address			
alias:	hex:	alias:	hex:	alias:	hex:	alias:	hex:	alias:	hex:
0	0x00	1	0x01	0.1-1.15	0x01-0x0F	R0	0xE0	R16	0xF0
1	0x10	2	0x02	1.1-1.15	0x11-0x1F	R1	0xE1	R17	0xF1
2	0x20	3	0x03	2.1-2.15	0x21-0x2F	R2	0xE2	R18	0xF2
3	0x30	4	0x04	3.1-3.15	0x31-0x3F	R3	0xE3	R19	0xF3
4	0x40	5	0x05	4.1-4.15	0x41-0x4F	R4	0xE4	R20	0xF4
5	0x50	6	0x06	5.1-5.15	0x51-0x5F	R5	0xE5	R21	0xF5
6	0x60	7	0x07	6.1-6.15	0x61-0x6F	R6	0xE6	R22	0xF6
7	0x70	8	0x08	7.1-7.15	0x71-0x7F	R7	0xE7	R23	0xF7
8	0x80	9	0x09	8.1-8.15	0x81-0x8F	R8	0xE8	R24	0xF8
9	0x90	10	0x0A	9.1-9.15	0x91-0x9F	R9	0xE9	R25	0xF9
10	0xA0	11	0x0B	10.1-10.15	0xA1-0xAF	R10	0xEA	R26	0xFA
11	0xB0	12	0x0C	11.1-11.15	0xB1-0xBF	R11	0xEB	R27	0xFB
12	0xC0	13	0x0D	12.1-12.15	0xC1-0xCF	R12	0xEC	R28	0xFC
13	0xD0	14	0x0E	13.1-13.15	0xD1-0xDF	R13	R29	0xFD	
Address range		15	0x0F	Address range		R14	0xEE	R30	0xFE
0.0-13.0	0x00-0xD0			0.1-13.15	0x01-0xDF	R15	0xEF		

Приклад адресації вузлів мережі

Якщо вузли належать до однієї мережі, то адреса мережі не вказується.

Приклад адресації вузлів мережі наведено на рис. 26.

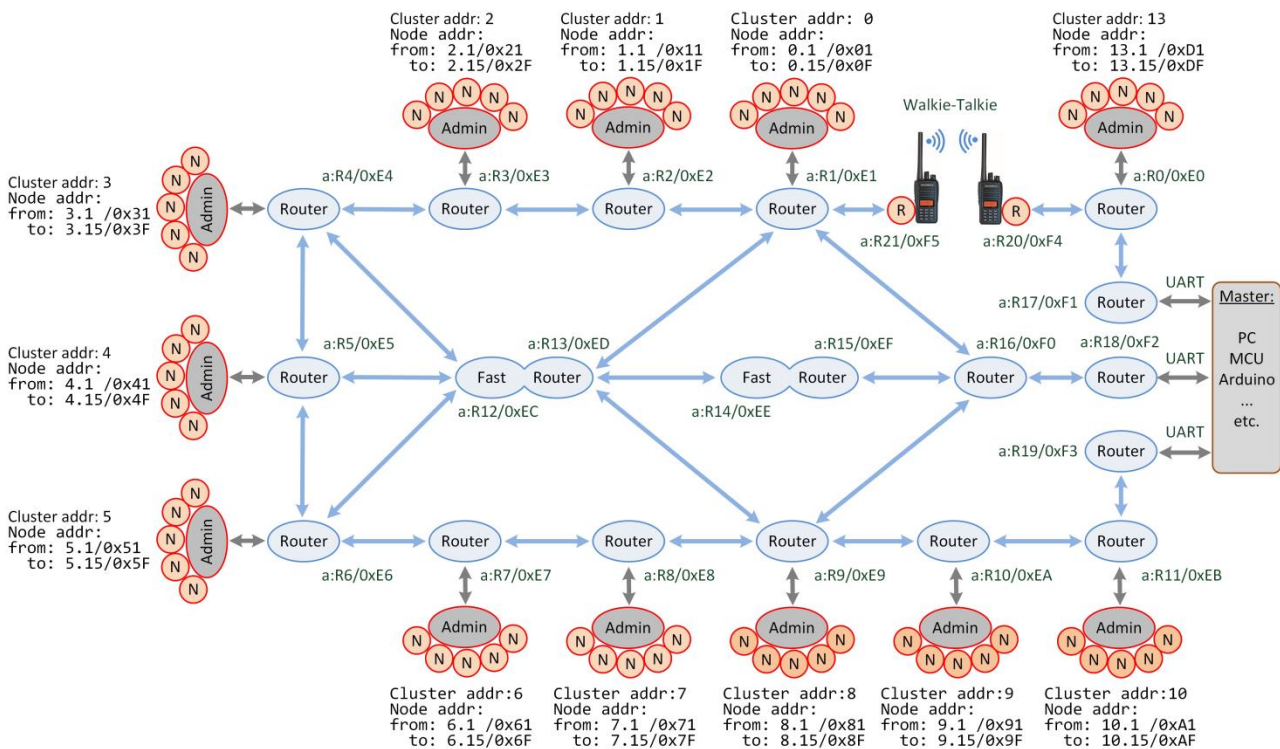


Рисунок 26 - Приклад адресації вузлів мережі

5. ПІДГОТОВКА ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ ДО РОБОТИ

Для підготовки вузла мережі до роботи необхідно під'єднати його до джерела живлення 5 В або 3,3 В, як зазначено на рисунках 15 і 16.

Для взаємодії користувача з вузлом через комп'ютер, через мікроконтролер або через плату Arduino, необхідно роз'єм UART вузла під'єднати до роз'єму UART відповідного пристрою і встановити швидкість 115200 baud.

Для підключення вузла до комп'ютера використовується будь-який конвертор UART-USB. До комп'ютера через USB-Hub можна підключити кілька вузлів мережі.

Після цього можна увімкнути живлення вузла і виконати відповідні налаштування вузла за допомогою будь-якої термінальної програми.

Налаштування вузла можна виконати через планшет/смартфон за допомогою програми "Serial Bluetooth Terminal" (автор Kai Morich).

Для цього достатньо з'єднатися з вузлом по інтерфейсу Bluetooth (BLE) і виконати відповідні налаштування.

Цю процедуру необхідно виконати для кожного вузла мережі.

Перше ввімкнення вузла

Якщо всі підключення виконано правильно, то під час увімкнення живлення у вікні терміналу з'явиться таке повідомлення:

```
> Node 123 ready to start. Wait...
*****
*   Easy Net Everywhere
*   -----
*   Network.mode:    SIMPLE_NET
*   Radio.bitrate:   250Kb
*   UART.baud:       115200
*   Bluetooth:       ON 123 NET_NODE
*****
>> Controller 123 started
```

Це означає, що вузол працездатний і готовий до роботи. Після цього необхідно виконати налаштування параметрів вузла.

Для налаштування вузла необхідно скористатися AT-командами, які можуть бути надіслані вузлу з вікна терміналу або з планшета/смартфона.

AT-команди виконують функції інтерфейсу пристрою з користувачем, що дає змогу програмі керування пристроєм інкапсулювати виклики системних функцій.

Програма "Serial Bluetooth Terminal". Базові відомості

Адміністрування мережі, обмін інформацією в мережі та налаштування параметрів вузлів мережі здійснюється не тільки через порт UART комп'ютера/мікроконтролера, а й через планшет/смартфон за допомогою програми "Serial Bluetooth Terminal" (автор Kai Morich).

Примітка: Користувач може використовувати будь-яку іншу аналогічну програму.

Програма завантажується з Internet і встановлюється на смартфон/планшет за допомогою програми Google Play.

Програма "Serial Bluetooth Terminal" дає змогу виконувати завдання:

1. Керування доступом до модуля Bluetooth (BLE) вузла мережі.
2. Встановлення режимів і параметрів вузла мережі за допомогою AT-команд.
3. Приймання та відображення даних від вузла мережі.
4. Передавання даних вузлу мережі.
5. Адміністрування мережі.

Базовий набір функціональних кнопок

Програма "Serial Bluetooth Terminal" використовується для керування кількома різними пристроями за допомогою функціональних кнопок. Користувач може привласнити кожній кнопці ім'я і поставити у відповідність імені певну команду, яка відсилається керованому пристрою під час натискання кнопки. Кожен пристрій виконує свої функції зі своїми параметрами. Тому для керування кожним пристроєм необхідно мати окремий набір кнопок із командами керування, що не завжди зручно.

З метою спрощення інтерфейсу користувача, відповідно до парадигми: "Багато пристроїв - один інтерфейс", функціональні кнопки інтерфейсу називаються "F1", "F2" і т.д., а команди кнопок починаються з символу '~' (тільда).

Таким чином формується проксі-меню, яке в кожному конкретному пристрої має свою реалізацію, що дає змогу без зміни інтерфейсу користувача керувати функціями різних пристроїв.

Базовий набір функціональних кнопок містить кнопки керування доступом до модуля Bluetooth (BLE) пристрою.

Розширений набір функціональних кнопок

Якщо базового набору функціональних кнопок недостатньо, то користувач створює додаткові кнопки, присвоює їм імена і ставить їм у відповідність виклики AT-команд.

Налаштування програми "Serial Bluetooth Terminal"

Після першого ввімкнення програми з'явиться вікно з набором кнопок, як показано на рис. 29.а. Користувачеві необхідно налаштувати інтерфейс взаємодії програми з вузлами мережі. Для цього у вкладках "Terminal", "Send" і "Misc." встановити параметри програми, як показано на рис. 29.б, с, д.

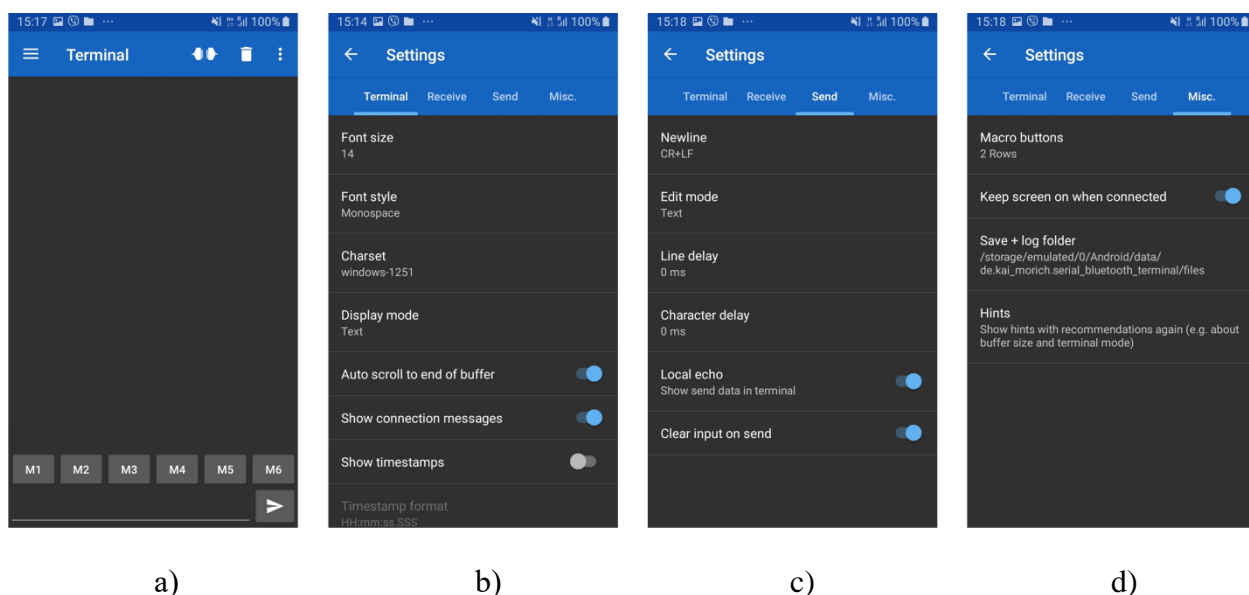


Рисунок 29 - Установка параметрів програми

Потім необхідно присвоїти кнопкам імена і поставити їм у відповідність команди керування, як показано на рис. 30.а, b, c, d.

Порядок призначення імені кнопки і команди керування для неї:

1. Натискати на кнопку до появи вікна, як показано на рис. 30.а, b, c, d.

2. У верхньому рядку встановити ім'я кнопки, а в нижньому встановити команду керування.

Якщо команда не містить параметрів, то радіокнопку "Action" слід установити в положення "Send" (рис. 30.а, b), а якщо є параметри, то в положення "Insert" (рис. 30.с, d).

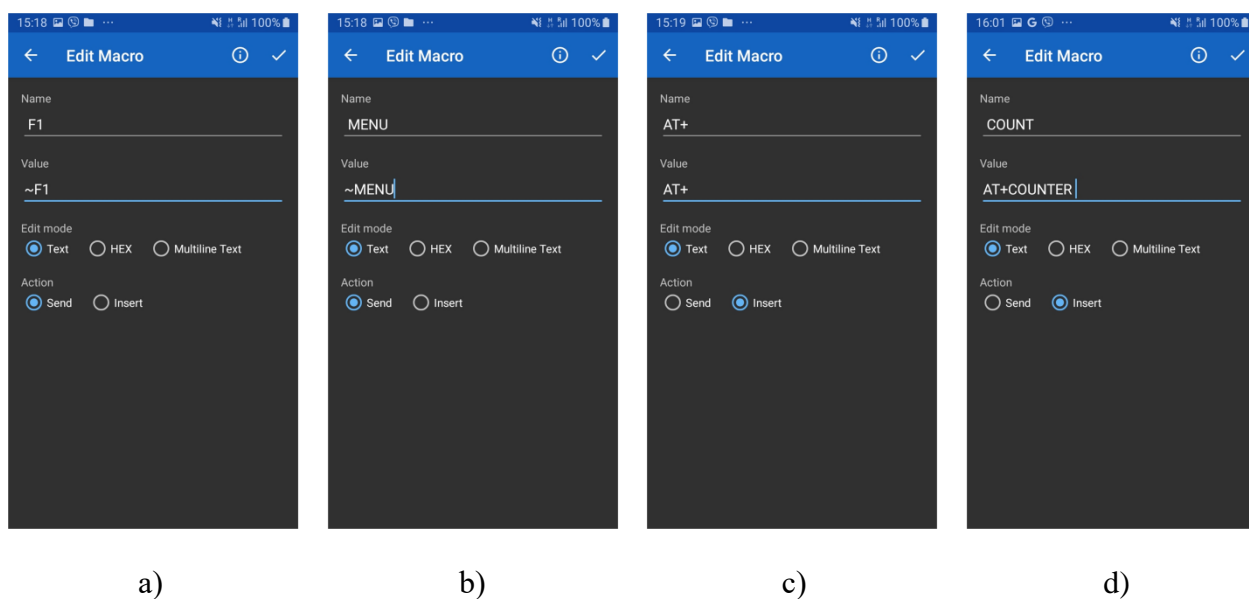


Рисунок 30 - Присвоєння кнопкам імен і команд

Після присвоєння кнопці імені та команди необхідно натиснути галочку у верхньому правому куті екрана програми. Присвоїти імена та команди всім кнопкам, як показано на рис. 31.б.

Під час натискання на вкладку "Scan" програма просканує ефір і знайде пристрої Bluetooth (BLE) та відобразить на екрані у вигляді списку, як показано на рис. 31.а.

Для підключення до вузла мережі потрібно натиснути відповідний рядок у списку пристроїв.

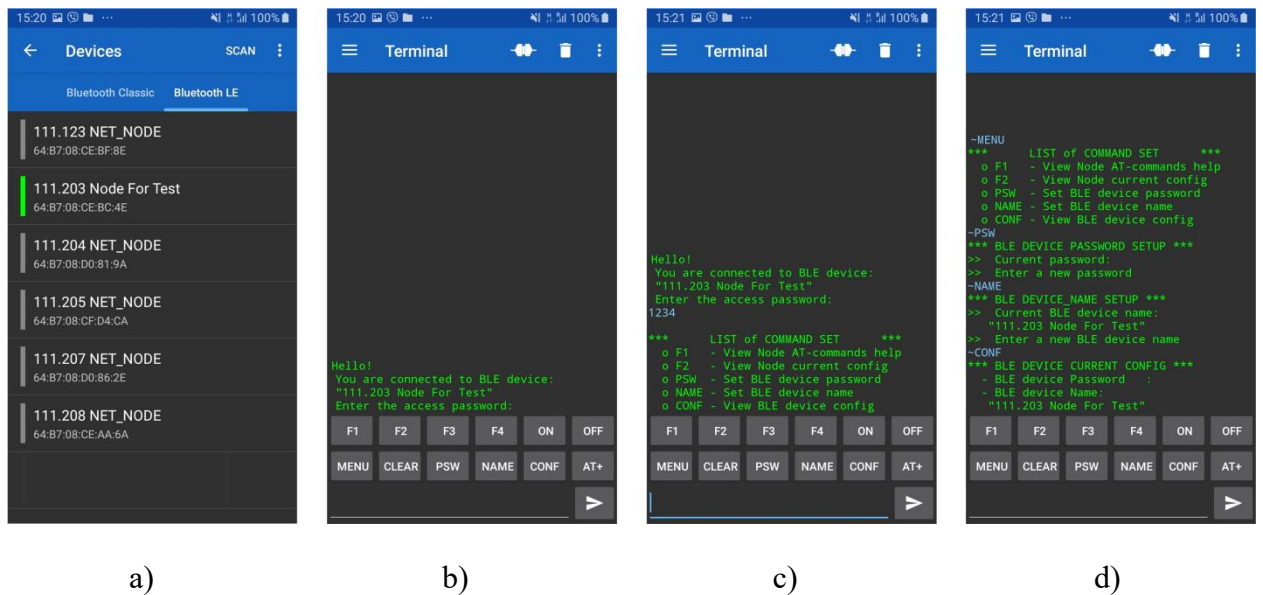


Рисунок 31 - Приклад адресації вузлів мережі

У вікні термінала з'явиться повідомлення про під'єднання до вузла мережі та запит пароля доступу, як показано на рис. 31.b. Пароль за замовчуванням: "1234". Після введення пароля у вікні термінала з'явиться список кнопок і виконуваних команд, як показано на рис. 31.c.

На рис. 31.d показано виведення у вікно термінала меню командних кнопок.

На рис. 32.a і б показано виведення у вікно термінала результату натискання кнопок "F1" і "F2".

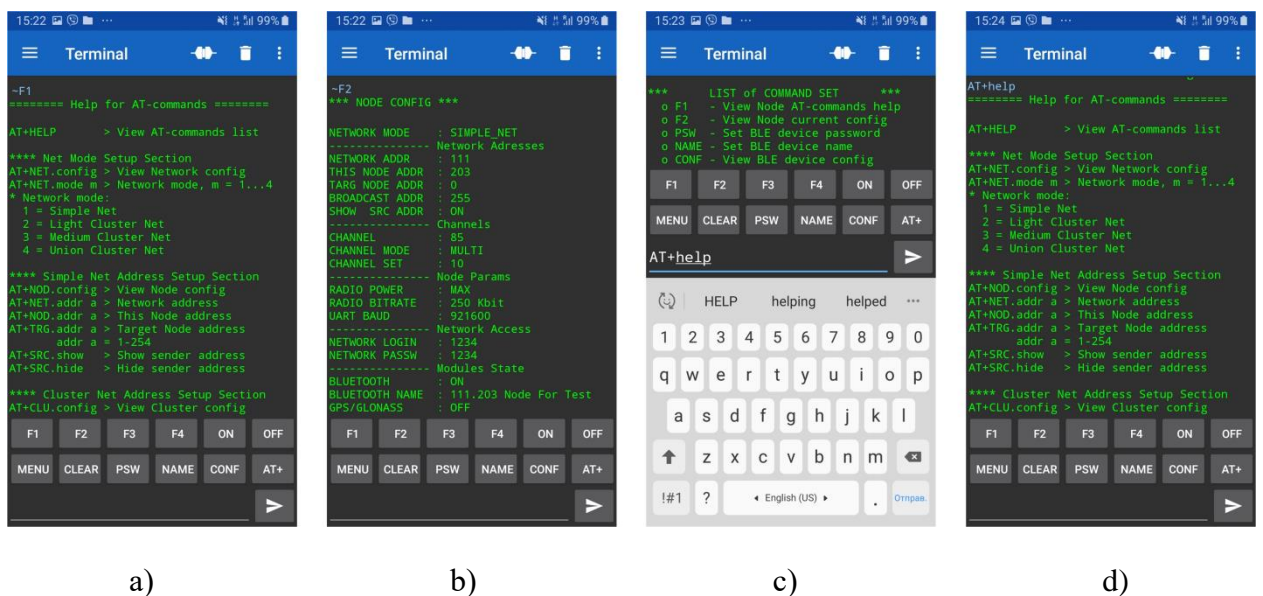


Рисунок 32 - Виконання команд під час натискання кнопок

AT-команди мають префікс "AT+", який для зручності введення присвоєно відповідній кнопці. При натисканні кнопки "AT+" у рядку введення з'явиться префікс "AT+".

Для формування команди необхідно ввести частину AT-команди, що залишилася (наприклад: "AT+HELP"), як показано на рис. 32.c і натиснути кнопку ">".

Результат виконання AT-команди "AT+HELP" представлено на рис. 32.d. Аналогічним чином працюють усі інші командні кнопки.

Примітка:

Описані вище налаштування командних клавіш мають рекомендаційний характер.

Користувач на свій розсуд може встановлювати імена і команди для наявних командних кнопок, а також створювати додаткові кнопки для побудови зручного інтерфейсу керування вузлами мережі.

6. ТЕСТУВАННЯ МЕРЕЖІ. ПЕРЕДАЧА КОМАНД І ДАНИХ

Для перевірки правильності роботи командних кнопок і працездатності вузлів мережі необхідно під'єднати вузли відповідно до рис. 33. На комп'ютері має бути встановлена будь-яка термінальна програма.



Рисунок 33 - Підключення вузлів мережі для тестування

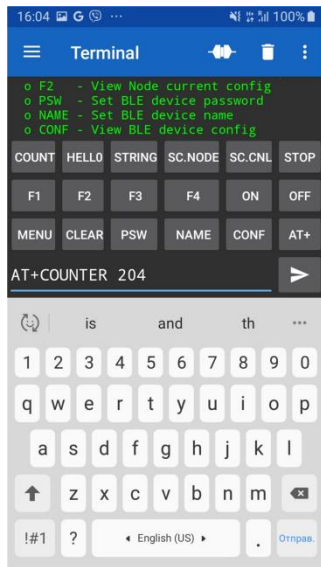
Тест якості зв'язку між двома вузлами запускається кнопкою "COUNT", яка передає вузлу AT- команду "AT+COUNTER target[,period]". Слід врахувати, що AT-команда має обов'язковий параметр, який необхідно ввести, і необов'язковий. Його можна не вказувати.

Обов'язковим параметром є адреса вузла-одержувача, до якого буде звернення.

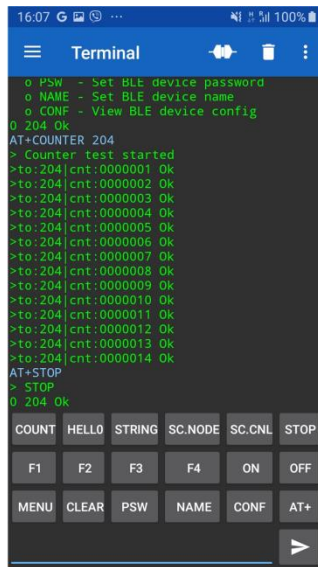
Приклад введення показано на рис. 34.а.

Після правильного введення команди та натискання кнопки ">" запуститься тест інкрементного лічильника, значення якого передаватиметься вузлу-одержувачу. Процес виконання тесту відобразатиметься у вікні терміналу на смартфоні, як показано на рис.34.б і у вікні терміналу на комп'ютері (рис.34.с).

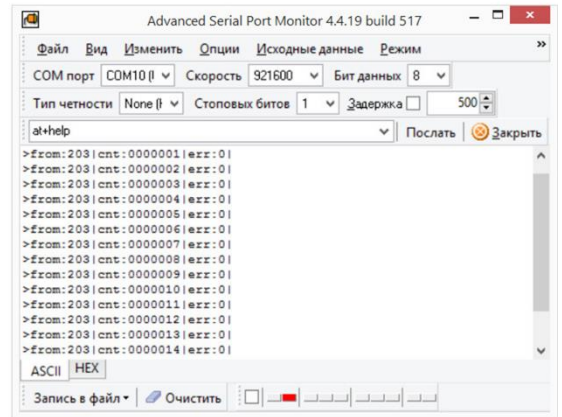
Кількість помилок слугує критерієм для визначення якості зв'язку на обраному каналі.



a)



b)



c)

Рисунок 34 - Запуск і виконання тестової команди "AT+COUNTER target[,period]"

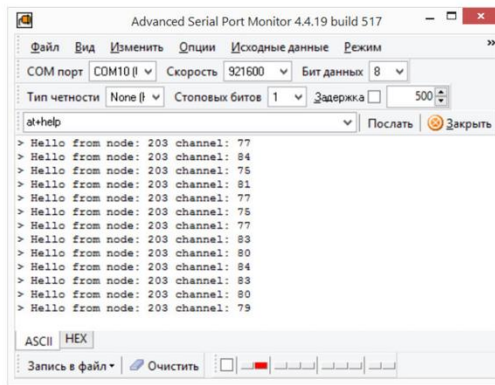
Для тестування пропускної здатності каналу використовується тест "HELLO". Тест запускається на кількох вузлах, які надсилають повідомлення "Hello from node" одному вузлу.

Після введення команди "AT+HELLO target[,period]" і натискання кнопки ">" запуститься тест. Процес виконання тесту відобразиться у вікні терміналу на смартфоні, як показано на рис. 35.a і у вікні терміналу на комп'ютері (рис. 35.b). Кількість колізій, що виникають, слугує критерієм визначення пропускної здатності каналу.

На рис. 35.c відображено виведення у вікно терміналу смартфона результату виконання команди сканування каналів "AT+CNL.scan". З результату сканування випливає, що зайнятими каналами є канали 0-34, а канали 37-126 можна використовувати. Символ "#" у списку каналів позначає головний канал мережі.



a)



b)



c)

Рисунок 35 - Виконання тестової команди "AT+HELLO target[,period]"

На рисунку 36 представлено виведення у вікно терміналу планшета повідомлень тестової команди "AT+HELLO target[,period]" у процесі виконання. У тесті беруть участь 6 вузлів.

Вузол 203 - одержувач, а вузли 204, 205, 206, 207, 208 - відправники.

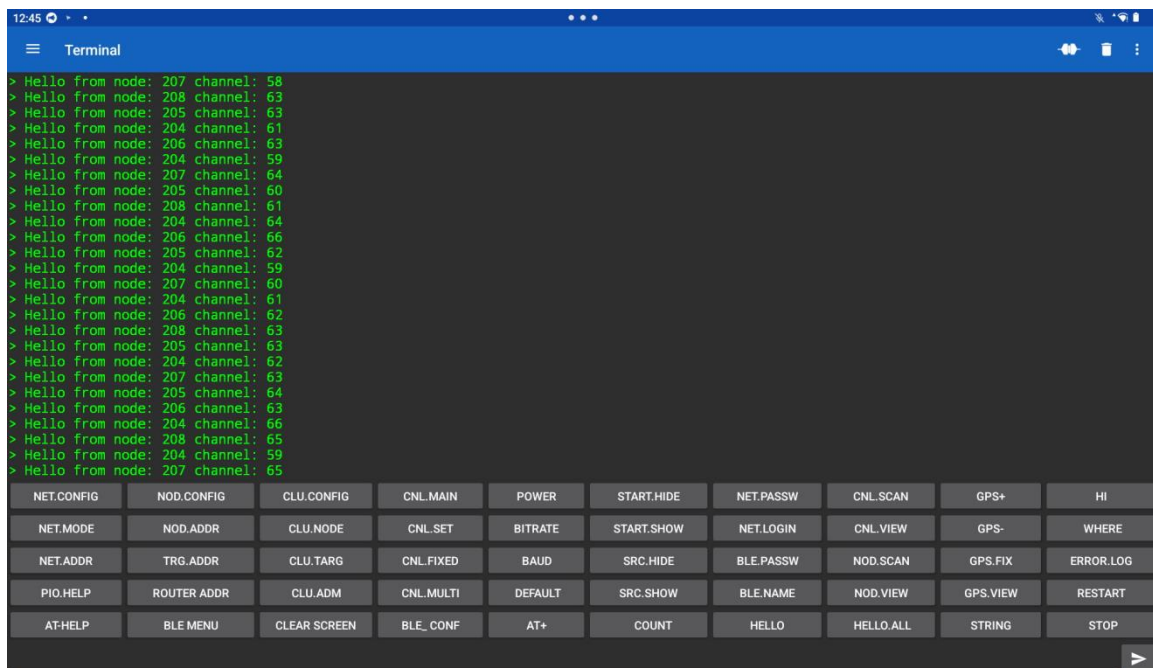


Рисунок 36 - Виконання тестової команди "AT+HELLO target[,period]" на 6 вузлах

На рисунку 37 представлено виведення повідомлень того самого тесту у вікна терміналів на комп'ютері через порти UART.

Якщо обрано режим роботи мережі "Light Cluster Net", додатково встановити:

Номер адміна кластера: команда "AT+CLU.adm n";

Номер вузла кластера: команда "AT+CLU.node n".

Якщо обрано режим роботи мережі "Medium Cluster Net", додатково встановити:

Адреси роутерів: команда "AT+ROUT.num n".

Адреси репітерів можна встановлювати в будь-якому режимі роботи мережі.

Подивитися поточні параметри вузла можна за допомогою команди: "AT+NOD.config"

Підключення обладнання для роботи в мережі

Підключення обладнання та організація процесу обміну даними в мережі є простим завданням.

Усі пристрої підключаються до вузлів мережі через послідовний інтерфейс UART відповідно до рис. 38 и 39.

Комп'ютери та контролери можна підключати в будь-якій комбінації. Приклад під'єднання комп'ютерів до вузлів мережі наведено на рис. 36.

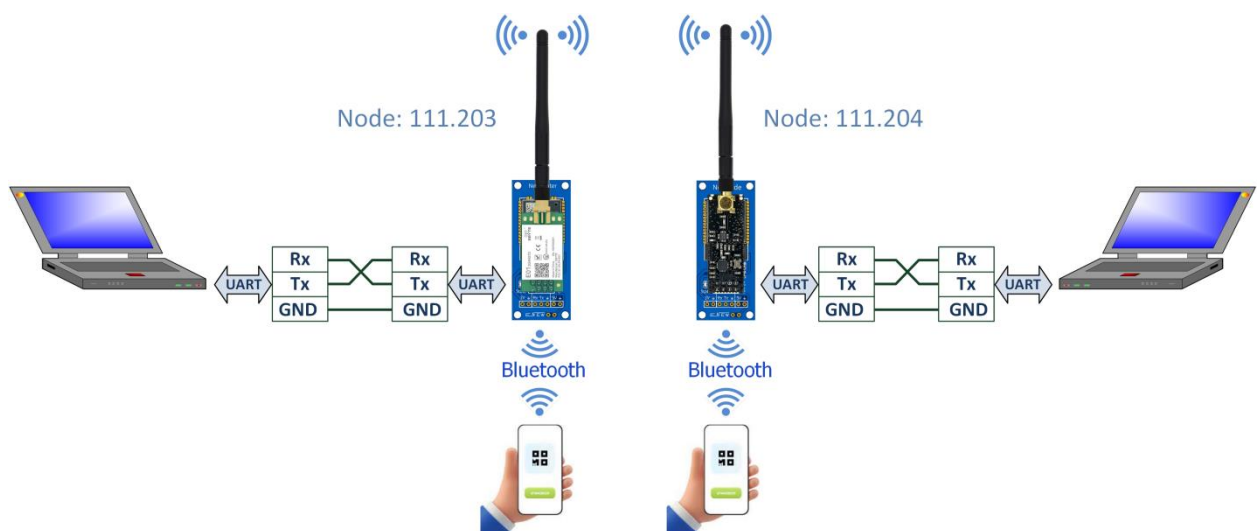


Рисунок 38 - Підключення комп'ютерів до вузлів мережі

Приклад підключення контролерів до вузлів мережі подано на рис. 37.

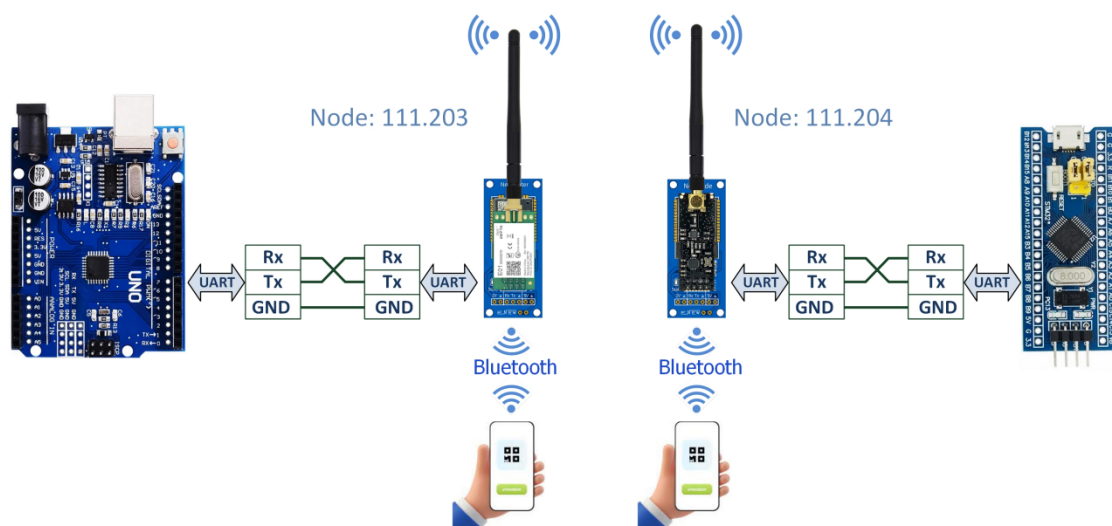


Рисунок 39 - Підключення контролерів до вузлів мережі

Якщо параметри вузлів мережі встановлено правильно, то мережа починає функціонувати. Перед початком експлуатації мережі рекомендується:

1. Просканувати канали та встановити номер головного каналу в середині найбільшої ділянки доступних каналів.
2. Виконати тестування за допомогою набору вбудованих тестів.

7. ОБМІН ДАНИМИ В МЕРЕЖІ. ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ

Порядок проходження байтів у переданому повідомленні не змінюється. Вузол-одержувач приймає дані з мережі та виводить їх у порт UART у тому самому порядку, у якому вони надійшли в порт UART вузла-відправника.

Тобто для користувача процес передачі даних є прозорим, як показано на рис. 40.

Швидкість портів UART вузлів встановлюється користувачем з урахуванням особливостей приймальних і передавальних пристроїв.

Наприклад, швидкість порту UART вузла-відправника може бути 921600 baud, а швидкість порту UART вузла-приймача - 115200 baud.



Рисунок 40 – Порядок проходження байтів у переданому повідомленні

Встановлення адреси вузла-одержувача

Перед надсиланням даних у мережі вузол-відправник має встановити адресу вузла одержувача в символному або цифровому форматі. У цифровому форматі повідомлення більш компактне.

Встановлення адреси вузла-одержувача здійснюється трьома способами:

Спосіб 1: Використання AT-команди AT+TRG.addr a.

Адреса вузла-одержувача буде збережена в EEPROM. Усі наступні транзакції за замовчуванням здійснюватимуться тільки з цим вузлом.

Приклад:

```
AT+TRG.addr 203 //target address = 203
Hello! This is a simple message /ag/messe to node 203
AT+CLU.targ 01.05 //target address:01.05(Cluster = 1 node = 5)
```

```
Hello! This is a simple message //message to node 01.05
```

Спосіб 2: Встановлення адреси вузла-одержувача на початку повідомлення. Адреса в EEPROM не зберігається. Усі наступні транзакції будуть здійснюватися тільки з цим вузлом.

Приклад:

Символьний формат:

```
*203*Hello! This is a simple message //message to node 203
*205*Hello! This is a simple message //message to node 205
//
*01.05*Hello! This is a simple message //message to node 01.05
*02.07*Hello! This is a simple message //message to node 02.07
```

Цифровий формат:

```
#CB#Hello! This is a simple message //message to node 203 = 0xCB
#CD#Hello! This is a simple message //message to node 205 = 0xCD
//
#25#Hello! This is a simple message //message to node 02.05
#27#Hello! This is a simple message //message to node 02.07
```

Спосіб 3: Встановлення адреси вузла-одержувача в окремому повідомленні. Адреса в EEPROM не зберігається. Усі наступні транзакції здійснюватимуться тільки з цим вузлом.

Приклад:

Символьний формат:

```
*203* //target address = 203
Hello! This is a simple message //message to node 203
//
*02.07*
Hello! This is a simple message //message to node 02.07
```

Цифровий формат:

```
#CB# //target address = 203/0xCB
Hello! This is a simple message //message to node 203

#25#
Hello! This is a simple message //message to node 02.05
```

Надсилання даних вузлу-одержувачу

Вузлу-одержувачу можуть бути надіслані будь-які дані в символьному та цифровому форматі.

Дані можуть бути відформатовані, якщо дані є командним рядком зі списком параметрів або бути простим текстовим рядком.

Завдання парсингу даних лежить на користувачеві. Вузл-одержувач виводить в UART дані в тому ж порядку, в якому вони були відправлені вузлом-відправником.

Приклад 1:

Передача вузлу 203 команди !XXXX! з параметрами в символьному форматі.

```
String DATA_OUT = "*203*!XXXX!12,12345,234567,345.678";
printf(DATA_OUT); //send data to network
```

Передача вузлу 01.05 команди !XXXX! із параметрами у символьному форматі.

```
String DATA_OUT = "*01.05*!XXXX!12,12345,234567,345.678";
printf(DATA_OUT); //send data to network
```

На стороні вузла-одержувача дані можна прийняти в такий спосіб:

```
#include "Parser.h"
enum package{ _cmd, _parm_1, _parm_2, parm_3, _parm_4}; //data format
byte DATA_IN[150];
String cmd;
int8 var_8; int16 var_16;
int32 var_32; float var_fl;

//== input data parsing
parse_data(DATA_IN);

//== get parameters
cmd = get_token_string(_cmd); // cmd = !XXXX!
var_8 = get_token_int8(_parm_1); // var_8 = 12
var_16 = get_token_int16(_parm_2); // var_16 = 12345
var_32 = get_token_int32(_parm_3); // var_32 = 234567
var_fl = get_token_float(_parm_4); // var_fl = 345.678
```

8. РОБОТА З ВУЗЛОМ "CONTROLLER"

Призначення виводів вузла "Controller"

На друкованій платі вузла "Controller" для зручності використання всі виводи (пін, pin) позначені у форматі логічних номерів. Кожен пін може виконувати кілька функцій.

Функції пінів і відповідність їхніх логічних номерів фізичним номерам наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Вузол "Controller". Функції пінів і відповідність їхніх логічних номерів фізичним номерам

LOG_PIN	GPIO	ADC/PIN	DAC/PIN	SPI	I ² C	PWM/PIN	SERVO/PIN	GPS
01	27	2/1				1/1	1/1	
02	26	2/2	2/2			2/2	2/2	
03	25	2/3	1/3			3/3	3/3	
04	33	1/4				4/4	4/4	
05	35*	1/5						
06	34*	1/6						
07	36*	1/7						Rx
08	02	2/8				5/8	5/8	Tx
09	15	2/9		CS		6/9	6/9	
10	13	2/10		MOSI		7/10	7/10	
11	12	2/11		MISO		8/11	8/11	
12	14	2/12		SCK		9/12	9/12	
13	22	2/13			SCL	10/13	10/13	
14	21	2/14			SDA	11/14	11/14	

* - піни тільки для читання.

Команди управління вузлом Controller оперують з пінами, які мають логічні номери 01-14.

Класи команд управління функціями вузла "Controller"

Робота вузла «Controller» полягає у виконанні AT-команд, що надходять із мережі/Bluetooth/Wi-Fi та передачі їх у порт UART. AT-команди для вузла "Controller" мають три класи: "GET", "SET" та "CANCEL".

AT-команди класу GET повідомляють вузол Controller про те, що потрібно передати в мережу дані, зазначені в команді.

АТ-команди класу "SET" встановлюють режим роботи вузла "Controller", вказаний у команді.

АТ-команди класу "CANCEL" скасовують режим роботи вузла "Controller", вказаний у команді.

АТ-команди мають два формати: повний та короткий. Повний формат зручно використовувати при ручному введенні команд, а короткий - для передачі команди в мережу. Формати АТ-команд описані у Додатку 1.

8.1. МОДУЛЬ РІО. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ

Управління логічним рівнем пінів РІО

Модуль РІО може встановлювати на пінах вузла стан логічної "1" або логічного "0", а також надсилати в мережу поточне логічне значення одного або декількох пінів вузла, зазначених у команді.

Задача: Вузлу 203 встановити пін 1 у стан "0", пін 4 у стан "1", пін 8 у стан "0":

```
АТ-команда  [*addr*]AT+PIN.SET
            pin:state[,pin:state][,pin:state]...[,pin:state]
Повернення  addr result  list old_pin_state>new_pin_state
            result: 0 cmd_Ok |1 cmd_Error
Приклад     *203*AT+PIN.SET 1:0,4:1,8:0
            203 0 cmd_Ok 1:1>0,4:1>1,8:1>0 //результат виконання команди
            203 1 cmd_Error //команду не виконано
```

Задача: Отримати стан пінів 1, 4, 8 вузла 203:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+PIN.GET pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення  addr pin:state[,pin:state][,pin:state]...[,pin:state]|cmd_Error
Приклад     *203*AT+PIN.GET 1,4,8
Повернення  203 1:0,4:1,8:0
            203 //номер вузла-відправника
            1:0,4:1,8:0 //номер піна та його стан
            203 1 cmd_Error //команду не виконано
```

Встановлення режиму передавання повідомлень про стан пінів РІО у разі зміни їхнього логічного стану

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення іншому вузлу при кожній зміні логічного стану одного або декількох пінів. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим.

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлення при зміні логічного стану пінів:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+PIN.SET_CHANGE_NOTIFY pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення  addr 0 cmd_Ok |1 cmd_Error
Приклад     *203*AT+PIN.SET_CHANGE_NOTIFY 1,4,8
```

```
Повернення 203 0 cmd_Ok //команду виконано
            203 1 cmd_Error //команду не виконано
```

Після встановлення режиму вузол буде відсилати в мережу повідомлення при кожній зміні логічного рівня зазначених пінів:

```
Приклад 203 1:0>1 //зміна логічного стану пін 1 з 0 на 1
         203 4:0>1 //зміна логічного стану пін 4 з 0 на 1
         203 4:1>0,8:0>1 //зміна логічного стану пінів 4 і 8
```

Відміна режиму передавання повідомлень про стан пінів РІО у разі зміни їхнього логічного стану

Задача: Відмінити для вузла 203 режим передавання повідомлення у разі зміни логічного стану пінів:

```
АТ-команда [*addr*]AT+PIN.CANCEL_CHANGE_NOTIFY
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+PIN.CANCEL_CHANGE_NOTIFY
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Встановлення режиму передавання повідомлень про стан пінів РІО із зазначеним періодом

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення іншому вузлу про стан пінів РІО із заданим періодом period. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлень про стан пінів із зазначеним періодом. Період у мілісекундах 1-10000 або в секундах 1-1000:

```
АТ-команда [*addr*]AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_MS
            period,pin[,pin][,pin]...[,pin]
            [*addr*]AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_SEC
            period,pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_MS 300,1,4,8 //період:300 ms
        *203*AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_SEC 600,1,4,8//період:10
        min.
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Після встановлення режиму вузол надсилатиме в мережу повідомлення про стан пінів із періодом 300 ms/10 min:

Приклад 203 1:0,4:1,8:0
 203 1:0,4:1,8:0
 203 1:0,4:1,8:1

Відміна режиму передавання повідомлень про стан пінів РІО із зазначеним періодом

Задача: Відмінити для вузла 203 режим передавання повідомлень про стан пінів із зазначеним періодом:

АТ-команда [*addr*]AT+PIN.CANCEL_PERIOD_STATE_NOTIFY
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+PIN.CANCEL_PERIOD_STATE_NOTIFY
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

8.2. МОДУЛЬ ADC. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ

Контролер ESP32 має два канали ADC: ADC_1 та ADC_2. Канал ADC_2 можна використовувати тільки тоді, коли модуль Wi-Fi вимкнений.

Отримання значення напруги на пінах ADC

Модуль ADC може надсилати в мережу поточне значення в мілівольтах одного або декількох пінів вузла, зазначених у команді.

Задача: Отримати значення напруги на пінах 4,5,6,7 вузла 203:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+ADC.GET_ADC pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення  addr pin:val[,pin:val][,pin:val]...[,pin:val] |cmd_Error
Приклад     *203*AT+ADC.GET_ADC 4,5,6,7
Повернення  203 4:105,5:2700,6:1350,7:3500
             4:105,5:2700,6:1350,7:3500 //напруга на входах піна в mv
             203 1 cmd_Error
```

Встановлення режиму передавання повідомлень у разі зміни рівня напруги на пінах ADC

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення іншому вузлу при кожній зміні рівня напруги на вході одного або декількох пінів. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим.

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлення в разі зміни рівня напруги на вході одного або декількох пінів у разі перевищення заданого порога **threshold**:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+ADC.SET_CHANGE_NOTIFY threshold_mv,
             pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення  addr 0 cmd_Ok |1 cmd_Error
Приклад     *203*AT+ADC.SET_CHANGE_NOTIFY 50,4,5,6,7 //порог 50 mv
Повернення  203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Після встановлення режиму вузол буде відсилати в мережу повідомлення при кожній зміні рівня напруги на вході зазначених пінів:

```
Приклад     203 4:105>170 //зміна рівня напруги піна 4
             203 5:2700>21750 //зміна рівня напруги піна 5
             203 7:3500>3450 //зміна рівня напруги піна 7
```

Відміна режиму передавання повідомлень у разі зміни рівня напруги на пінах ADC

Задача: Відмінити для вузла 203 режим передавання повідомлення у разі зміни рівня напруги на пінах ADC:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+ADC.CANCEL_CHANGE_NOTIFY
Повернення  addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад     *203*AT+ADC.CANCEL_CHANGE_NOTIFY
Повернення  203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Встановлення режиму передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із заданим періодом

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення про рівні напруги на пінах ADC іншому вузлу із заданим періодом **period**. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим.

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із заданим періодом. Період у мілісекундах 1-10000 або в секундах 1-1000:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_MS
              period,pin[,pin][,pin]...[,pin]
              [*addr*]AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_SEC
              period,pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення  addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад     *203*AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_MS 300,4,5,7 //період:300 ms
              *203*AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_SEC 600,4,5,7//період:10
              min.
Повернення  203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Після встановлення режиму вузол буде відсилати в мережу повідомлення про рівні напруги на пінах ADC з періодом 300 ms/10 min:

```
Пример      203 4:105 //рівень напруги на піні 4
              203 5:2700 //рівень напруги на піні 5
              203 7:3500 //рівень напруги на піні 7
```

Відміна режиму передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із заданим періодом

Задача: Відмінити для вузла 203 режим передавання повідомлень про рівні напруги на пінах ADC із зазначеним періодом:

АТ-команда	<code>[*addr*]AT+ADC.CANCEL_PERIOD_VALUE_NOTIFY</code>
Повернення	<code>addr 0 cmd_Ok 1 cmd_Error</code>
Приклад	<code>*203*AT+ADC.CANCEL_PERIOD_VALUE_NOTIFY</code>
Повернення	<code>203 0 cmd_Ok 203 1 cmd_Error</code>

8.3. МОДУЛЬ DAC. КОМАНДИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ

Вузол "Controller" має два піни DAC: DAC_1/PIN_3 і DAC_2/PIN_2. На пінах встановлюється значення заданої напруги з розрядністю 8 біт.

Встановлення рівня напруги на пінах DAC

Модуль DAC може встановлювати на пінах 2 і 3 заданий у команді рівень напруги в мілівольтах.

Задача: Вузлу 203 встановити на піні 2 напругу 1500 mV, а на піні 3 напругу 2500 mV:

АТ-команда	<code>[*addr*]AT+DAC.SET pin:value[,pin:value]</code>
Повернення	<code>addr 0 cmd_Ok 1 cmd_Error</code>
Приклад	<code>*203*AT+DAC.SET 2:1500,3:2500</code> <code>203 0 cmd_Ok 203 1 cmd_Error</code>

8.4. МОДУЛЬ PWM. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ

Вузол "Controller" має 11 пінів PWM. Для ініціалізації модуля PWM необхідно встановити такі параметри:

- частоту **frequency** у діапазоні 20-5000 Hz;
- розрядність **resolution** у діапазоні 8-12 bit;
- пін **pin** для виведення сигналу PWM (1 - 4; 8-14).

Управління роботою модуля PWM на зазначеному піні здійснюється встановленням параметра **duty** в діапазоні 0-1000, де 1000 = 100%.

Ініціалізація модуля PWM

Задача: Ініціалізувати модуль PWM вузла 203 з параметрами:

- **frequency** = 1000;
- **resolution** = 8;
- **pin** = 1,2,3.

АТ-команда [*addr*]AT+PWM.SET frequency,resolution,pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+PWM.SET 1000,8,1,2,3
 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Управління скважністю на пінах модуля PWM

Задача: На піні 1 вузла 203 встановити скважність 10%, на піні 2 - 25%, на піні 3 - 75%:

АТ-команда [*addr*]AT+PWM.DUTY
 pin:value[,pin:value][,pin:value]...[,pin:value]
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+PWM.DUTY 1:100,2:250,3:750
 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Відміна режиму PWM

Задача: Відмінити для вузла 203 режим PWM

АТ-команда [*addr*]AT+PWM.CANCEL
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error

8.5. МОДУЛЬ SERVO. КОМАНДИ УПРАВЛІННЯ МОДУЛЕМ

Вузол "Controller" має 11 пінів для управління сервоприводами. Для ініціалізації модуля SERVO необхідно встановити такі параметри:

- пін **pin** для управління сервоприводом (1 - 4; 8-14).

Управління роботою модуля SERVO на зазначеному піні здійснюється встановленням параметрів:

- **degree** = 0 - 180; //кут установки вала сервопривода в градусах

- **time** = 0 - 10000 ms або 1-1000 sec. //час встановлення

Ініціалізація модуля SERVO

Задача: Ініціалізувати модуль SERVO вузла 203 для пінів 1,2,3,4:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+SERVO.SET pin[,pin][,pin]...[,pin]
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад    *203*AT+SERVO.SET 1,2,3,4
           203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Встановлення кута повороту вала сервоприводів на пінах модуля SERVO

Задача: Вал сервоприводу 1 встановити в положення 90 градусів,

Вал сервоприводу 2 встановити в положення 30 градусів за час 1500 ms,

Вал сервоприводу 3 встановити в положення 120 градусів за час 2000 ms,

Вал сервоприводу 4 встановити в положення 180 градусів за час 500 ms:

```
АТ-команда  [*addr*]AT+SERVO.DEGREE
           pin:degree:time[,pin:degree:time]...[,pin:degree:time]
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад    *203*AT+SERVO.DEGREE 1:900,2:300:1500,3:1200:2000,4:1800:500
           203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Встановлення режиму сканування сервоприводів на пінах модуля SERVO

У режимі сканування вал сервоприводу циклічно переміщується від початкового значення кута повороту **beg_degree** до кінцевого значення кута

повороту **end_degree** за час **time** у секундах із зупинками в кінцевих точках на час **pause** у секундах.

Задача: Встановити режим сканування для двох сервоприводів на пінах 1 і 3 з параметрами:

Сервопривід 1: **beg_degree** = 0, **end_degree** = 1800, **time** = 10, **pause** = 0;

Сервопривід 2: **beg_degree** = 450, **end_degree** = 1350, **time** = 30, **pause** = 5:

АТ-команда [*addr*]AT+SERVO.SET_SCAN
 pin:beg_degree:end_degree:time:pause..
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+SERVO.SET_SCAN 1:0:1800:10,2:450:1350:30:5
 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Відміна режиму сканування сервоприводів на пінах модуля SERVO

Задача: Відмінити для вузла 203 режим сканування

АТ-команда [*addr*]AT+SERVO.CANCEL_SCAN
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error

Відміна режиму SERVO

Задача: Відмінити для вузла 203 режим SERVO

АТ-команда [*addr*]AT+SERVO.CANCEL
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error

8.6. МОДУЛЬ GPS. КОМАНДИ КЕРУВАННЯ МОДУЛЕМ

Модуль GPS є зовнішнім модулем і під'єднується у відповідний роз'єм вузла "Controller".

Модуль GPS управляється за допомогою AT-команд.

Підключення модуля GPS

Задача: Підключити модуль GPS:

```
AT-команда    [*addr*]AT+GPS+
Повернення   addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад      *203*AT+GPS+
Повернення   203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Відключення модуля GPS

Задача: Відключити модуль GPS:

```
AT-команда    [*addr*]AT+GPS-
Повернення   addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад      *203*AT+GPS-
Повернення   203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Отримання поточних координат GPS

Задача: Отримати короткі поточні координати модуля GPS вузла 203:

```
AT-команда    [*addr*]AT+GPS.GET_COORDINATE
Повернення   ret_val | addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад      *203*AT+GPS.GET
Повернення   //Latitude,Longitude
              N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"
              203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Отримання розширених координат модуля GPS

Задача: Отримати розширені координати модуля GPS вузла 203:

```
AT-команда    [*addr*]AT+GPS.GET_DATA
Повернення   ret_val | addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад      *203*AT+GPS.GET
Повернення   //Latitude,Longitude,Distance (m) ,Altitude (m) ,Speed (m/s)
              N48.09'47.6574",E17.08'11.2991",3500,160,3
              203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error
```

Фіксація поточних координат модуля GPS

Задача: Зафіксувати поточні координати модуля GPS вузла 203:

АТ-команда [*addr*]AT+GPS.FIX
Повернення ret_val | addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+GPS.GET
Повернення //Latitude,Longitude
 N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"
 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Встановлення режиму передавання повідомлень у мережу повідомлення про зміну координат GPS

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення іншому вузлу в разі зміни координат GPS, що перевищують вказане значення. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим.

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлення при зміні координат GPS у разі перевищення заданого значення **threshold** (1-100 m):

АТ-команда [*addr*]AT+GPS.SET_CHANGE_NOTIFY threshold
Повернення addr 0 cmd_Ok |1 cmd_Error
Приклад *203*AT+GPS.SET_CHANGE_NOTIFY 10 //порог = 10 метрів
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Після встановлення режиму вузол надсилатиме в мережу повідомлення при кожній зміні координат GPS, що перевищують зазначене значення:

Приклад N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"
 N48.09'47.6751",E17.08'11.5622"
 N48.09'47.6751",E17.08'11.7988"
 N48.09'47.6554",E17.08'12.0528"

Відміна режиму передавання повідомлень у мережу повідомлення про зміну координат GPS

Задача: Відмінити для вузла 203 режим передавання повідомлення у разі зміни координат GPS:

АТ-команда [*addr*]AT+GPS.CANCEL_CHANGE_NOTIFY
Повернення addr 0 cmd_Ok |1 cmd_Error
Приклад *203*AT+GPS.CANCEL_CHANGE_NOTIFY

Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Встановлення режиму передавання повідомлень у мережу координат GPS із заданим періодом

Вузол "Controller" може надсилати повідомлення з координатами GPS іншому вузлу із заданим періодом **period**. Повідомлення передається тому вузлу, який встановив режим.

Задача: Встановити для вузла 203 режим передавання повідомлень із координатами GPS із заданим періодом. Період у мілісекундах 100-10000 (0.1-10 sec):

АТ-команда [*addr*]AT+GPS.SET_PERIOD_NOTIFY period
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+GPS.SET_PERIOD_NOTIFY 200 //період: 200 ms
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

Після встановлення режиму вузол буде відсилати в мережу повідомлення з координатами GPS з періодом 200 ms:

Приклад N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"
N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"
N48.09'47.6574",E17.08'11.2991"

Відміна режиму передавання повідомлень у мережу координат GPS із заданим періодом

Задача: Скасувати для вузла 203 режим передавання повідомлень із координатами GPS із заданим періодом:

АТ-команда [*addr*]AT+GPS.CANCEL_PERIOD_NOTIFY
Повернення addr 0 cmd_Ok | 1 cmd_Error
Приклад *203*AT+GPS.CANCEL_PERIOD_NOTIFY
Повернення 203 0 cmd_Ok | 203 1 cmd_Error

АТ-КОМАНДИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ВУЗЛІВ МЕРЕЖІ

Команда «AT+HELP»

Призначення: показати список АТ-команд. Регістр введення не має значення.

Приклад:

```
AT+HELP
```

У вікні терміналу відобразиться список АТ-команд:

```
===== Help for AT-commands =====
AT+HELP          > View AT-commands list

**** Net Mode Setup Section
AT+NET.config > View Network config
AT+NET.mode m > Network mode, m = 1...4
  Network mode:
  1 = Simple Net
  2 = Light Cluster Net
  3 = Medium Cluster Net
  4 = Union Cluster Net

**** Simple Net Address Setup Section
AT+NOD.config > View Node config
AT+NET.addr a > Network address
AT+NOD.addr a > This Node address
AT+TRG.addr a > Target Node address
  addr a = 1-254
AT+SRC.show   > Show sender address
AT+SRC.hide   > Hide sender address

**** Cluster Net Address Setup Section
AT+CLU.config > View Cluster config
AT+CLU.adm n  > This Admin number:  0-13
AT+CLU.node n > This Node number:    1-15
AT+CLU.targ n > Target Node number: 1-15
AT+ROUT.num n > Router number, n:R0-R30

**** Channel Mode Setup Section
AT+CNL.main n > Main channel number
  n = 1-125
AT+CNL.fixed > Use one fixed channel
AT+CNL.multi > Use many channels
AT+CNL.set s > Channel set, s:1-50
AT+CNL.scan  > Scan and view channels
AT+CNL.view  > View available channels
```

```

**** Node Params Setup Section
AT+POWER pow > Radio power,
    pow:1/2/3 = MIN/AVR/MAX
AT+BITRATE br > Radio bitrate,
    br:1/2/3 = 250Kb/1Mb/2Mb
AT+BAUD bd > UART baud,
    bd:9600/115200/230400/460800/921600
AT+UART.flow+ > UART flow control ON
AT+UART.flow- > UART flow control OFF

**** Node Control Section
AT+START.hide > Hide start message
AT+START.show > Show start message
AT+DEFAULT > Reset to default settings
AT+RESTART > Node restart

**** Network Access Setup
AT+LOGIN log > Login, log:1-8 chars
AT+PASSW psw > Password, psw:1-8 chars

**** Network Service Section
AT+HI > Flash BLE connected node
AT+WHERE node > Flash node looking for
AT+ERROR.log > View Error log
AT+NOD.scan > Scan and view Net nodes
AT+NOD.view > View available Net nodes

**** GPS Module Control Section
AT+GPS+ > GPS switch ON
AT+GPS- > GPS switch OFF
AT+GPS.fix > Fix GPS coordinates
AT+GPS.view > View GPS coordinates

**** BLE Module Control Section
AT+BLE+ > BLE switch ON
AT+BLE- > BLE switch OFF
AT+BLE.config > View BLE config
AT+BLE.name n > Set BLE name, n:name
AT+BLE.psw p > Set BLE password, p:passw

****Test Mode Section
AT+STOP > Test stop
AT+COUNTER target[,period]
    target = target_addr,
    period = 50...10000 ms, default: 500

AT+HELLO target[,period]
    target = target_addr,
    period = 50...10000 ms, default: 500

```

```
AT+HELLO.all [period]
  period = 50...10000 ms, default: 500
```

```
AT+STRING target[,period][,length]
  target = target_addr,
  period = 50...1000 ms, default: 500
  length = 1...150 bytes, default: 50
```

```
**** Message Format Section
*target addr* message 1...256 bytes
```

***** Net Mode Setup Section

Команда «AT+NET.config»

Призначення: показати конфігурацію мережі. Буде відображено список вузлів мережі відповідно до поточної моделі мережі.

Приклад:

```
AT+NET.config
```

У вікні терміналу відобразиться конфігурація мережі:

```
===== Network Configuration =====

> CLUSTER  ADDR  NODE_TYPE  STATE
  0         0.0   Admin      ON
  0         0.1   Lite Node  ON
  0         0.2   Lite Node  ON
  0         0.3   Controller ON
  0         0.4   Controller ON
  0         0.5   Controller ON
  0         0.6   Lite Node  OFF
-----

> CLUSTER  ADDR  NODE_TYPE  STATE
  1         1.0   Admin      ON
  1         1.1   Controller ON
  1         1.2   Controller ON
  1         1.3   Controller ON
  1         1.4   Controller ON
  1         1.5   Controller ON
-----

> ROUTER   ADDR  NODE_TYPE  STATE
  1         R0    Single     ON
  2         R1/R2  Fast       ON
  3         R3/R4  Fast       ON
  4         R5    Single     ON
-----

> REPEATOR ADDR  TYPE      STATE
  1         R17   Repeater  OFF
```

Команда «AT+NET.mode m»

Призначення: встановити конфігурацію мережі.

Параметр m набуває значень:

- 1 = Simple Net
- 2 = Light Cluster Net
- 3 = Medium Cluster Net
- 4 = Union Cluster Net

Приклад:

```
AT+NET.mode 2
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> mode LIGHT_CLUSTER_NET: Ok
```

Якщо параметр AT-команд введено неправильно, то буде відображено повідомлення про помилку.

Приклад:

```
AT+NET.mode 5
```

```
> Error: Incorrect value: 5
```

******* Simple Net Addresses Setup Section**

Команда «AT+NOD.config»

Призначення: показати конфігурацію вузла.

Приклад:

```
AT+NOD.config
```

У вікні терміналу відобразиться поточна конфігурація вузла:

```
*** NODE CONFIG ***

NETWORK MODE      : SIMPLE_NET
----- Network Adresses
NETWORK ADDR     : 111
THIS NODE ADDR   : 203
TARG NODE ADDR   : 0
BROADCAST ADDR   : 255
```

```
SHOW SRC ADDR : ON
----- Channels
CHANNEL       : 85
CHANNEL MODE  : MULTI
CHANNEL SET   : 10
----- Node Params
RADIO POWER   : MAX
RADIO BITRATE : 250 Kbit
UART BAUD     : 921600
----- Network Access
NETWORK LOGIN : 1234
NETWORK PASSW : 1234
----- Modules State
BLUETOOTH     : ON
BLUETOOTH NAME : 111.203 Node For Test
GPS/GLONASS   : OFF
```

Команда «AT+NET.addr a»

Призначення: присвоїти адресу мережі.

Параметр **a** приймає значення: 1-254.

Приклад:

```
AT+NET.addr 234
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Network Address 234: Ok
```

Команда «AT+NOD.addr a»

Призначення: присвоїти адресу вузлам "Net Master", "Controller" і "Light Node".

Параметр **a** приймає значення: 1-254.

Приклад:

```
AT+NOD.addr 204
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> This Node Address 204: Ok
```

Команда «AT+TRG.addr a»

Призначення: присвоїти адресу вузлу-одержувачу.

Параметр **a** приймає значення: 1-254.

Приклад:

```
AT+ TRG.addr 127
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Target Node Address 127: Ok
```

Команда «AT+SRC.show»

Призначення: дозволяє виведення адреси вузла-відправника в UART вузла-приймача. Сервісна функція. Служить для візуальної ідентифікації користувачем вузла-відправника.

Приклад:

```
AT+SRC.show
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Sender address put to UART: Ok
```

Адреса вузла-відправника буде виводитися в UART вузла-приймача.

Команда «AT+SRC.hide»

Призначення: скасовує виведення в UART вузла-приймача адреси вузла-відправника.

Приклад:

```
AT+SRC.hide
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Sender address don't put to UART: Ok
```

Адреса вузла-відправника не буде виводитися в UART вузла-приймача.

***** Cluster Net Addresses Setup Section

Команда «AT+CLU.config»

Призначення: показати конфігурацію поточного кластера.

Приклад:

```
AT+CLU.config
```

У вікні терміналу відобразиться поточна конфігурація кластера:

```
> Cluster Admin address: 08.00
Node addresses:
08.01
08.02
08.03
08.04
```

Команда «AT+CLU.adm n»

Призначення: присвоїти номер вузлу "Cluster Admin".

Параметр **n** приймає значення: 1-13.

Приклад:

```
AT+CLU.adm 12
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> This Cluster Admin number 12: Ok
```

Команда «AT+CLU.node n»

Призначення: присвоїти номер вузлам кластера "Controller" або "Light Node".

Параметр **n** приймає значення: 1-15.

Приклад:

```
AT+CLU.node 12.15
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> This Cluster Node number 12.15: Ok
```

Команда «AT+CLU.targ n»

Призначення: присвоїти номер вузлам кластера-одержувача "Controller" або "Light Node".

Параметр **n** приймає значення: 0-13.1-15.

Приклад:

```
AT+CLU.targ 12.15
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Target Cluster Node number 12.15: Ok
```

Команда «AT+ROUT.num n»

Призначення: присвоїти номер вузлу "Net Router".

Параметр **n** приймає значення: R0-R30.

Приклад:

```
AT+ AT+ROUT.num R15
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> This Router number 15: Ok
```

******* Channel Mode Setup Section**

Команда «AT+CNL.main n»

Призначення: встановити для мережі номер основного каналу.

Параметр **n** приймає значення: 1-125.

Приклад:

```
AT+CNL.main 85
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Main channel #85: Ok
```

Команда «AT+CNL.fixed»

Призначення: встановити для мережі один фіксований номер каналу.

Приклад:

```
AT+CNL.fixed
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Fixed channel mode: Ok
```

Команда «AT+CNL.multi»

Призначення: дозволити вузлам мережі використовувати безліч каналів.

Приклад:

```
AT+CNL.multi
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Multi channels mode: Ok
```

Команда «AT+CNL.scan»

Призначення: сканувати і відобразити всі канали мережі з метою визначення вільних і зайнятих каналів.

***** Node Params Setup Section

Команда «AT+POWER pow»

Призначення: встановити потужність трансивера.

Параметр **pow** приймає значення: 1/2/3 = MIN/AVR/MAX.

Приклад:

```
AT+POWER 3
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> RF power MAX: Ok
```

Команда «AT+BITRATE br»

Призначення: встановити швидкість передавання даних трансивера.

Параметр **br** набуває значень: 1/2/3 = 250Kb/1Mb/2Mb.

Приклад:

```
AT+BITRATE 1
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> RF bitrate 250 Kbit: Ok
```

Команда «AT+BAUD bd»

Призначення: встановити швидкість передавання даних порту UART.

Параметр **bd** приймає значення: 9600/115200/230400/460800/921600 baud.

Приклад:

```
AT+BAUD 921600
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> UART baud 921600: Ok
```

```
Don't forget to switch to installed baud
```

Команда «AT+UART.flow+»

Призначення: увімкнути керування потоком даних UART XON/XOFF. Відправник буде призупиняти передачу даних в UART при отриманні байта XOFF і відновлювати при отриманні байта XON.

Управління потоком даних запобігає переповненню вхідного буфера UART.

Приклад:

```
AT+UART.flow+
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> UART flow control ON: Ok
```

Команда «AT+UART.flow-»

Призначення: вимкнути керування потоком даних UART XON/XOFF.

Приклад:

```
AT+UART.flow-
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> UART flow control OFF: Ok
```

***** Node Control Section

Команда «AT+START.hide»

Призначення: заборонити виведення повідомлення з параметрами вузла під час старту.

Приклад:

```
AT+START.hide
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Start message hide: Ok
```

Під час старту вузла у вікні термінала відобразиться повідомлення:

```
>> Node 203 started
```

Команда «AT+START.show»

Призначення: дозволити виведення повідомлення з параметрами вузла під час старту.

Приклад:

```
AT+START.show
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Start message show: Ok
```

Під час старту вузла у вікні термінала відобразиться повідомлення:

```
> Node 203 ready to start. Wait..
*****
* Easy Net Everywhere
* -----
* Network.mode:    SIMPLE_NET
* Radio.bitrate:  250Kb
* UART.baud:      921600
* Bluetooth:      ON
* Bluetooth name: 111.203 Node For Test
*****
>> Node 203 started
```

Команда «AT+DEFAULT»

Призначення: скинути налаштування параметрів вузла до початкових значень.

Приклад:

```
AT+DEFAULT
```

Вузол встановить параметри за замовчуванням.

Команда «AT+RESTART»

Призначення: перезавантажити вузол.

Приклад:

```
AT+RESTART
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про перезавантаження, після чого вузол буде перезавантажено.

```
> The node will reboot now
*****
* Easy Net Everywhere
* -----
* Network.model: SIMPLE_NET
* Radio.bitrate: 250Kb
* UART.baud: 115200
* Bluetooth: ON
* Bluetooth name: 111.203 NET_NODE
*****
>> Node 203 started
```

******* Network Access Setup**

Команда «AT+LOGIN log»

Призначення: встановити мережевий логін.

Параметр **log** набуває значень: будь-які символи і цифри довжиною до 8 байт.

Приклад:

```
AT+LOGIN 12345678
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Network Login Ok: 12345678
```

Команда «AT+PASSW psw»

Призначення: встановити мережевий пароль.

Параметр **psw** набуває значень: будь-які символи і цифри довжиною до 8 байт.

Приклад:

```
AT+PASSW 876954321
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Network Password Ok: 876954321
```

******* Network Service Section**

Команда «AT+HI»

Призначення: знайти вузол, з яким встановлено з'єднання через Bluetooth (BLE).

Світлодіод "State" шуканого вузла блиматиме протягом двох секунд.

Приклад:

```
AT+HI
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> The node you are connected is flashing
```

Команда «AT+WHERE node»

Призначення: знайти вузол із зазначеною адресою.

Параметр **node** приймає значення: 1-254/00.01-13.15

Світлодіод "State" шуканого вузла блиматиме протягом двох секунд.

Приклад:

```
AT+WHERE 205 или AT+WHERE 12.14
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> The node you are looking for is flashing
```

Команда «AT+ERROR.log»

Призначення: показати журнал із помилками мережі та статистикою.

Приклад:

```
AT+ERROR.log 01.00
```

У вікні термінала відобразиться вміст журналу помилок кластера 1. Якщо параметр `node` не вказувати, то вузол "Net Master" відобразить вміст журналу помилок усієї мережі.

```
==== Network Channel Error =====  
> SENDER  TARG    CNL    ERROR  QUALITY  
  1.0      1.1      62     12     ***  
  1.1      1.0      62      9     ****  
  1.0      1.5      62     14     **  
  1.5      1.0      63     16     **
```

Із записів журналу випливає, що канали 62 і 63 мають помилки.

При досягненні порога помилок у 20% мережа автоматично виключає канал зі списку доступних.

Команда «AT+NOD.scan»

Призначення: сканувати вузли мережі.

Приклад:

```
AT+NOD.scan
```

У вікні термінала відобразиться список знайдених вузлів мережі:

```
> Scan nodes begin. Wait...  
*> Nodes found: 14  
  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  
123 204 207 208
```

Команда «AT+NOD.view»

Призначення: показати всі вузли в мережі.

Приклад:

```
AT+NOD.view
```

У вікні термінала відобразиться список знайдених вузлів мережі:

```
*> Nodes found: 15
 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29
123 204 205 207 208
```

****** GPS Module Control Section**

Команда «AT+GPS+»

Призначення: увімкнути функцію роботи з GPS модулем.

Приклад:

```
AT+GPS+
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> GPS state: ON
```

Команда «AT+GPS-»

Призначення: вимкнути функцію роботи з GPS модулем.

Приклад:

```
AT+GPS-
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> GPS state: OFF
```

Команда «AT+GPS.fix»

Призначення: зафіксувати поточні координати GPS модуля.

Приклад:

```
AT+GPS.fix
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> GPS coordinates fixed: зафіксовані координати широти і довготи
```

Якщо зафіксувати поточні координати GPS не вдалося, то з'явиться повідомлення:

```
> GPS fix error
> GPS Coordinates NOT fixed
```

Команда «AT+GPS.view»

Призначення: показати поточні координати GPS модуля.

Приклад:

```
AT+GPS.view
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> GPS current coordinates: поточні координати широти та довготи
```

****** BLE Module Control Section**

Команда «AT+BLE+»

Призначення: увімкнути функцію роботи з Bluetooth (BLE) модулем.

Приклад:

```
AT+BLE+
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Bluetooth state: ON
```

Команда «AT+BLE-»

Призначення: вимкнути функцію роботи з Bluetooth (BLE) модулем.

Приклад:

```
AT+BLE-
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> Bluetooth state: OFF
```

Команда «AT+BLE.config»

Призначення: подивитися поточні установки BLE модуля вузла.

Приклад:

```
AT+BLE.config
```

У вікні терміналу будуть відображені поточні установки BLE модуля:

```
*** BLE DEVICE CURRENT CONFIG ***  
BLE device Password: 12345678  
BLE device Name:  
111.203 Node For Test
```

Команда «AT+BLE.name n»

Призначення: присвоїти ім'я BLE модулю вузла.

Параметр n приймає значення: будь-які символи і цифри довжиною до 24 байт.

Приклад:

```
AT+BLE.name Node For Test
```

У вікні терміналу відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> BLE Node name: Ok 111.203 Node For Test
```

Команда «AT+BLE.psw p»

Призначення: встановити пароль доступу до BLE модуля вузла.

Параметр p приймає значення: будь-які символи і цифри довжиною до 8 байт.

Приклад:

```
AT+BLE.psw 12345678
```

У вікні терміналу відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> BLE password: Ok 12345678
```

***** Test Mode Section

Команда «AT+STOP»

Призначення: зупинити поточний тест.

Приклад:

```
AT+STOP
```

У вікні термінала відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно.

```
> STOP
```

Поточний тест буде зупинено.

Команда «AT+COUNTER target[,period]»

Призначення: запустити тест для перевірки передавання даних між двома вузлами.

У тесті вузлом-відправником надсилається поточне значення лічильника вузлу-одержувачу.

Якщо вузол-одержувач отримав значення лічильника без помилок, то вузлу-відправнику надсилається квитанція АСК і вузол-відправник інкрементує значення лічильника.

Вузол-приймач фіксує кількість помилок лічильника і виводить на екран терміналу поточні значення.

Параметр **target** - адреса вузла-одержувача.

Параметр **period** - період надсилання тестових пакетів: 50...10000 ms. За замовчуванням: 500 ms.

Приклад:

```
AT+COUNTER 203,100
```

У вікні термінала вузла-відправника з'явиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно, відправлене поточне значення лічильника і значення лічильника помилок, передане вузлом-одержувачем.

Якщо до вузла під'єднано та активовано модуль GPS, то відстань між вузлами також відобразиться з похибкою 2 метри:

```
> Counter test started
>to:203|cnt:0000001|err:0|s=623 м|
>to:203|cnt:0000002|err:0|s=623 м|
>to:203|cnt:0000003|err:0|s=623 м|
>to:203|cnt:0000004|err:0|s=623 м|
```

У вікні термінала вузла-одержувача виводитиметься отримане значення лічильника:

```
>from:204|cnt:0000001|err:0|
>from:204|cnt:0000002|err:0|
>from:204|cnt:0000003|err:0|
>from:204|cnt:0000004|err:0|
```

Команда «AT+HELLO target[,period]»

Призначення: запустити тест для перевірки передачі даних між двома вузлами.

У тесті вузлом-відправником надсилається повідомлення "Hello from node".

Якщо вузол-одержувач отримав повідомлення, то у вікні терміналу вузла-одержувача буде відобразитися повідомлення, адреса вузла-відправника і номер каналу, по якому було прийнято повідомлення.

Параметр **target** - адреса вузла-одержувача.

Параметр **period** - період надсилання тестових пакетів: 50...10000 ms. За замовчуванням: 500 ms.

Приклад:

```
AT+ HELLO 203,300
```

У вікні термінала вузла-одержувача з адресою 204 відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> Hello message start
0 203 Ok
0 203 Ok
0 203 Ok
```

У вікні терміналу вузла-одержувача з адресою 203 виводитиметься повідомлення:

```
> Hello from node: 204 channel: 61
> Hello from node: 204 channel: 59
> Hello from node: 204 channel: 58
```

Команда «AT+HELLO.all [period]»

Призначення: запустити тест для перевірки передавання даних між кількома вузлами.

У тесті вузлом-відправником усім вузлам мережі по черзі надсилається повідомлення "Hello from node".

Якщо вузол-одержувач отримав повідомлення, то у вікні терміналу вузла-одержувача відобразатиметься повідомлення, адреса вузла-відправника і номер каналу, яким було прийнято повідомлення.

Параметр **target** - адреса вузла-одержувача.

Параметр **period** - період надсилання тестових пакетів: 50...10000 ms. За замовчуванням: 500 ms.

Приклад:

```
AT+HELLO.all 100
```

У вікні терміналу вузла-відправника відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> Hello to all message start
0 28 Ok
1 29 NO_CONNECTION
0 123 Ok
```

У вікні терміналу вузлів-одержувачів виводитиметься повідомлення:

```
> Hello from node: 203 channel: 76
> Hello from node: 203 channel: 80
> Hello from node: 203 channel: 79
```

Команда «AT+STRING target[,period][,length]»

Призначення: запустити тест для перевірки передавання даних між двома вузлами.

У тесті вузлом-відправником вузлу-одержувачу надсилається текстовий рядок довжиною, заданою користувачем.

Якщо вузол-одержувач отримав повідомлення, то у вікні терміналу вузла-одержувача відобразатиметься прийнятий рядок.

Параметр **target** - адреса вузла-одержувача.

Параметр **period** - період надсилання тестових пакетів: 50...10000 ms. За замовчуванням: 500 ms.

Параметр **length** - довжина рядка: 1-150 байт. За замовчуванням: 50 байт.

Приклад:

```
AT+STRING 203
```

У вікні терміналу вузла-відправника відобразиться повідомлення про те, що AT-команду виконано успішно:

```
> Test Sequence start
0 203 Ok
0 203 Ok
0 203 Ok
0 203 Ok
```

У вікні терміналу вузлів-одержувачів виводитиметься повідомлення:

```
123456789_123456789_123456789_123456789_123456789_
123456789_123456789_123456789_123456789_123456789_
123456789_123456789_123456789_123456789_123456789_
123456789_123456789_123456789_123456789_123456789_
```

Формати АТ-команд

Повний формат	Короткий формат :
AT+HELP	011
AT+NET.config	012
AT+NET.mode	013
AT+NOD.config	014
AT+NET.addr	015
AT+NOD.addr	015
AT+TRG.addr	017
AT+SRC.show	018
AT+SRC.hide	019
AT+CLU.config	021
AT+CLU.adm	022
AT+CLU.node	023
AT+CLU.targ	024
AT+ROUT.num	025
AT+CNL.main	026
AT+CNL.fixed	027
AT+CNL.multi	028
AT+CNL.scan	029
AT+CNL.view	02A
AT+CNL.set	02B
AT+POWER	031
AT+BITRATE	032
AT+BAUD	033
AT+UART.flow+	034
AT+UART.flow-	035
AT+START.hide	036
AT+START.show	037
AT+DEFAULT	038
AT+RESTART	039
AT+LOGIN	03A
AT+PASSW	03B
AT+HI	041
AT+WHERE	042
AT+ERROR.log	043
AT+NOD.scan	044
AT+NOD.view	045
AT+BLE+	046
AT+BLE-	047
AT+BLE.config	048
AT+BLE.name	049
AT+BLE.psw	04A
AT+STOP	051

AT+COUNTER	052
AT+HELLO	053
AT+HELLO.all	054
AT+STRING	055
AT+PIN.SET	061
AT+PIN.GET	062
AT+PIN.SET_CHANGE_NOTIFY	063
AT+PIN.CANCEL_CHANGE_NOTIFY	064
AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_MS	065
AT+PIN.SET_PERIOD_STATE_NOTIFY_SEC	066
AT+PIN.CANCEL_PERIOD_STATE_NOTIFY	067
AT+ADC.GET_ADC	071
AT+ADC.SET_CHANGE_NOTIFY	072
AT+ADC.CANCEL_CHANGE_NOTIFY	073
AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_MS	074
AT+ADC.SET_PERIOD_VALUE_NOTIFY_SEC	075
AT+ADC.CANCEL_PERIOD_VALUE_NOTIFY	076
AT+DAC.SET	077
AT+PWM.SET	081
AT+PWM.DUTY	082
AT+PWM.CANCEL	083
AT+SERVO.SET	086
AT+SERVO.DEGREE	087
AT+SERVO.SET_SCAN	088
AT+SERVO.CANCEL_SCAN	089
AT+SERVO.CANCEL	08A
AT+GPS+	091
AT+GPS-	092
AT+GPS.GET_COORDINATE	093
AT+GPS.GET_DATA	094
AT+GPS.FIX	095
AT+GPS.SET_CHANGE_NOTIFY	096
AT+GPS.CANCEL_CHANGE_NOTIFY	097
AT+GPS.SET_PERIOD_NOTIFY	098
AT+GPS.CANCEL_PERIOD_NOTIFY	099

Список літератури

1. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee. 2020.05.06. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html (дата звернення: 12.03.2023).
2. Recommendation G.9959. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201310-S!Amd1/en> (дата звернення: 12.03.2023).
3. LoRaWAN™ Specification, N.Sornin (Semtech), M.Luis (Semtech), T.Eirich (IBM), T.Kramp (IBM), O.Hersent (Actility), V1.0, 2015 January.
4. Смирнов В.В., Смирнова Н.В. Архитектура контроллера узла адаптивной мобильной сети с аморфной топологией / Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки» - (3)-34 - Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – С. 12-21. (Фахове видання). DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3\(34\).12-21](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2020.3(34).12-21).
5. Смирнов В.В., Смирнова Н.В. Архитектура адаптивной бездротовой локальной сети для управления объектами и устройствами. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 50. С. 219-229 (Фахове видання). DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.219-229>.
6. Смирнов В.В., Смирнова Н.В. Бездротова локальна мережа класу Smart Home на базі модулів сплітерів-репітерів. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. Вип. 51. С. 195-202 (Фахове видання). DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.195-202>.
7. Смирнов В.В., Смирнова Н.В. Мобільна mesh-мережа для управління роєм об'єктів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 7(38), ч.ІІ. С. 3-11 (Фахове видання). DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.3-11](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.3-11).