

УДК 621.3.019.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.219-229>

В.В. Смірнов, доц., канд. техн. наук, **Н.В. Смірнова**, доц., канд. техн. наук
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,
Україна*
e-mail: swckntu@gmail.com

Архітектура адаптивної бездротової локальної мережі для управління об'єктами і пристроями

Наведено опис архітектури адаптивної бездротової локальної мережі, розробленої для управління технологічними процесами, робототехнічними пристроями та іншими об'єктами. Описана концепція роботи бездротової мережі. Бездротова мережа є адаптивною, що самоорганізується і здатна працювати автономно. Розроблено протокол бездротової мережі для управління обміну даними і конфігурації мережі. Управління мережею і взаємодія контролерів вузлів мережі між собою здійснюється за допомогою різних трансиверів, що дозволило розподілити службовий трафік і трафік даних по різних каналах. Бездротова мережа може використовувати як локальний, так і хмарний MQTT сервер.

бездротова мережа, архітектура, протокол, контролер, об'єкт, вузол мережі, кластер

В.В. Смирнов, доц., канд. техн. наук, **Н.В. Смирнова**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна
Архитектура адаптивной беспроводной локальной сети для управления объектами и устройствами

Приведено описание архитектуры адаптивной беспроводной локальной сети разработанной для управления технологическими процессами, робототехнических устройств и другими объектами. Описана концепция работы беспроводной сети. Беспроводная сеть является адаптивной, самоорганизующейся и способна работать автономно. Разработан протокол беспроводной сети для управления обмена данными и конфигурирования сети. Управление сетью и взаимодействие контроллеров узлов сети между собой осуществляется с помощью разных трансиверов, что позволило распределить служебный трафик и трафик данных по разным каналам. Беспроводная сеть может использовать как локальный, так и облачный MQTT сервер.

беспроводная сеть, архитектура, протокол, контроллер, объект, узел сети, кластер

Постановка проблеми. В даний час існує безліч локальних бездротових мереж різної архітектури, які використовуються для управління технологічними процесами, робототехнічними пристроями та іншими об'єктами.

Область застосування бездротових локальних мереж широка, проте іноді існують обмеження на параметри технічного обладнання, яке може бути використане в певних умовах, наприклад, у вибухо- і пожежонебезпечних виробництвах.

Існуючі реалізації архітектур і технічних рішень локальних бездротових мереж не завжди оптимальні як з точки зору використовуваних протоколів, так і з точки зору економічної ефективності конкретної технології.

Наприклад, для систем «Розумний будинок» і подібних малих систем існує велика кількість варіантів реалізації, які в певних умовах перестають виконувати свої функції.

Одним з таких умов є зміна топології мережі, в результаті якого окремі об'єкти мережі перестають бути доступними для сервера та інших об'єктів мережі.

Таким чином, мережа повинна бути адаптованою до зміни своєї топології, бути здатною до відновлення втрачених зв'язків між об'єктами мережі і до встановлення нових зв'язків і маршрутів обміну даними.

Найважливішим фактором, що визначає «живучість» мережі є її архітектура. Наприклад, мережа з архітектурою «Клієнт-Сервер» при відмові сервера переставє існувати. Тому для забезпечення працездатності мережі необхідно розподілити функції управління мережею між декількома або всіма об'єктами мережі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує ряд стандартів на мережеві протоколи для бездротових мереж відповідно до яких реалізуються різні мережеві технології.

Мережеві стандарти IEEE 802.11 реалізується технологією Wi-Fi [1,2].

Мережа на основі Wi-Fi працює в діапазонах 2,4 і 5 ГГц. Забезпечуючи високу пропускну здатність, технологія має ряд недоліків, що перешкоджають побудові мобільної мережі для управління роєм об'єктів, а саме: обмежена кількість одночасних з'єднань (10-50 в залежності від застосовуваного контролера), великий час встановлення з'єднання (до 10 секунд) і відносно великий струм споживання.

Мережевий стандарт IEEE 802.15.4 реалізується технологією ZigBee для маршрутизованих радіомереж. Розроблено групою ZigBee Alliance [3-6].

Стандарт визначає два типи вузлів мережі: повнофункціональний пристрій Full-Function Device (FFD) і пристрої з полегшеними функціями Reduced-Function Device (RFD). Пристрій FFD є координатором мережі і може виконувати функції загального вузла. Пристрій RFD є простим пристроєм і не може виконувати функції координатора.

Мережа на основі ZigBee може бути одноранговою з топологією peer-to-peer (P2P), або мати топологію «зірка». Мережа повинна мінімум один FFD.

Мережі P2P можуть створювати довільні структури з'єднань і є основою для мереж, здатних до самоврядування і організації. Однак ZigBee не реалізує ці функції, що є перешкодою для застосування технології ZigBee в мобільній мережі для управління роєм об'єктів.

Мережа Z-Wave на основі ITU-T G.9959 [7-8] дозволяє створювати комірчасті мережі, що самоорганізуються і є гарним рішенням для управління роєм об'єктів. Однак, для створення контролерів мережі необхідно мати сертифікат союзу Z-Wave Alliance на правах члена Full Member за \$ 2500 на рік, що перешкоджає широкому використанню Z-Wave для реалізації мобільної мережі з аморфною топологією.

Мережевий стандарт IEEE 802.16 реалізується технологією WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [9-10]. У цій технології реалізується концепція множинного доступу з поділом за часом (TDMA). Базова станція виділяє абонентським станціям тимчасові інтервали, для передачі даних в строгій черговості, що виключає колізії в середовищі передачі.

Однак, технологія вимагає використання базових станцій, абонентських станцій і устаткування для організації зв'язку між базовими станціями, що не відповідає концепції створення недорогої локальної мережі.

Реалізація бездротової мобільної мережі для управління роєм об'єктів досить ефективна, але для простої стаціонарної мережі є надмірною [11]. Однак архітектура мережі, контролера вузла мережі і система протоколів може бути взята за основу при створенні адаптивної бездротової локальної мережі для управління об'єктами і пристроями.

Постановка задачі. Для управління обладнанням, об'єктами і пристроями під керуванням локальної / глобальної мережі а також в технології Internet of Things (IOT) використовується MQTT сервер (брокер), який реалізує протокол Message Queue

Telemetry Transport [12] також стандартизований OASIS [13]. MQTT сервер, може бути як глобальним, як наприклад, HiveMQ [14] і розміщуватися в хмарі, так і локальним, таким як Eclipse Mosquitto [15] і багато інших.

MQTT протокол публікації / підписки (publish / subscribe) забезпечує масштабований і відносно надійний спосіб підключення об'єктів і пристроїв через Інтернет і локальні мережі. MQTT протокол простий, досить ефективний і не вимагає великих обчислювальних ресурсів. Його перевагою є можливість роботи в ненадійних мережах.

Однак працездатність MQTT взаємодії безпосередньо залежить від властивостей мережі, яка не завжди може забезпечити доступ об'єктів мережі до MQTT сервера.

Тому представляється доцільною розробка адаптивної бездротової локальної мережі з невисокою вартістю і обмеженою функціональністю для управління технологічним обладнанням, об'єктами і пристроями, в рамках реалізації технології IOT без використання сервера MQTT.

Зокрема, така мережа може бути використана в системах «Розумний будинок», у вибухо- і пожежонебезпечних виробництвах, складах, елеваторах і в інших об'єктах.

Основним завданням адаптивної локальної мережі є реалізація взаємодії об'єктів мережі між собою в умовах зміни топології мережі. Мережа повинна забезпечити функціонування всіх об'єктів мережі при будь-якій зміні топології, бути такою, що самоорганізується, адаптованою і здатною до роботи без MQTT сервера.

Для вирішення цього завдання необхідна розробка архітектури мережі, стека протоколів, стратегії поведінки мережі та створення програмного забезпечення контролера вузла мережі.

Виклад основного матеріалу. У локальних бездротових мережах широко використовується технологія Wi-Fi, яка дозволяє досить простими засобами створити архітектуру «Клієнт-Сервер». Функції Клієнта виконують вузли Wi-Fi мережі з конфігурацією Station (рис. 1 а)), а функції сервера - вузол з конфігурацією Access Point (точка доступу). Обмін інформацією між вузлами мережі здійснюється поверх Wi-Fi протоколів за допомогою протоколів MQTT через MQTT сервер (рис. 1 б)).

Така архітектура мережі має два недоліки. Один полягає в тому, що при відмові або недоступності MQTT сервера вся мережа стає непрацездатною, а об'єкти мережі - некерованими. Другий недолік полягає в тому, що при зміні положення об'єкта мережі в просторі, об'єкт може втратити зв'язок з точкою доступу і також стати некерованим (рис 1 а), б)).

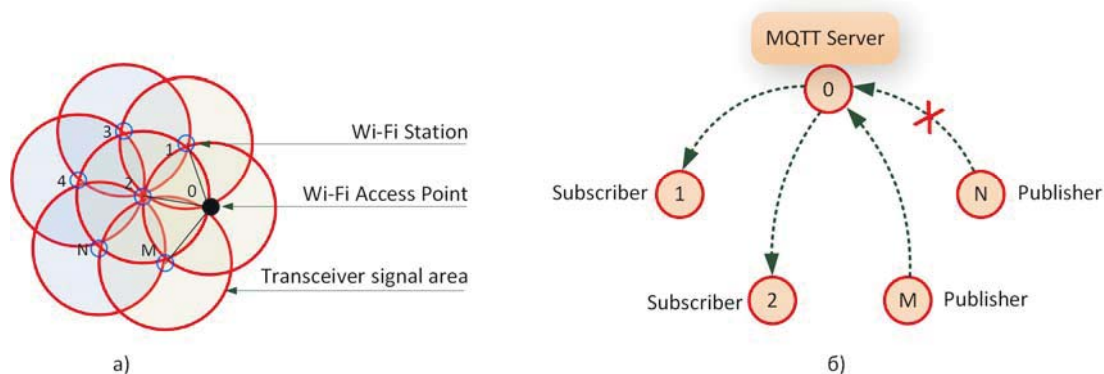


Рисунок 1 – Архітектура «Клієнт-Сервер» з використанням MQTT сервера

Джерело: розроблено авторами

Зазначені недоліки усуваються шляхом об'єднання вузлів мережі в комірчасту мережу (Mesh network), в якій всі вузли мережі мають кілька зв'язків з іншими доступними вузлами мережі (рис. 2 а)). У цьому випадку обмін інформацією між вузлами мережі здійснюється не тільки через MQTT сервер, але і через прямі зв'язки між вузлами мережі (рис. 2 б)), які виконують функції ретрансляторів.

При такій організації мережі MQTT сервер стає необов'язковим атрибутом в локальній мережевій системі управління об'єктами.

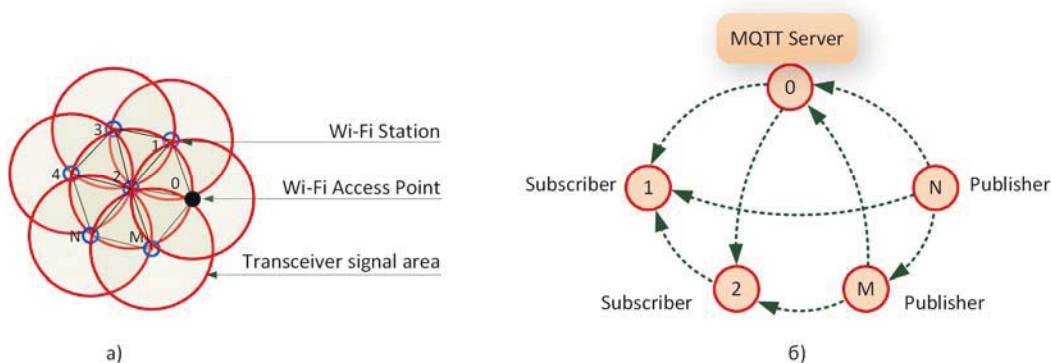


Рисунок 2 – Mesh-Network с использованием MQTT сервера

Джерело: розроблено авторами

В реальних умовах топологія мережі може включати в себе безліч вузлів-ретрансляторів і бути неоптимальною з погляду керованості. Динамічне розбиття мережі на кластери сприяє підвищенню рівня керованості мережі та її адміністрування.

З урахуванням вищевикладеного була створена архітектура адаптивної бездротової локальної мережі з можливістю динамічної зміни топології мережі що не приводить до втрати її керованості (рис. 3).

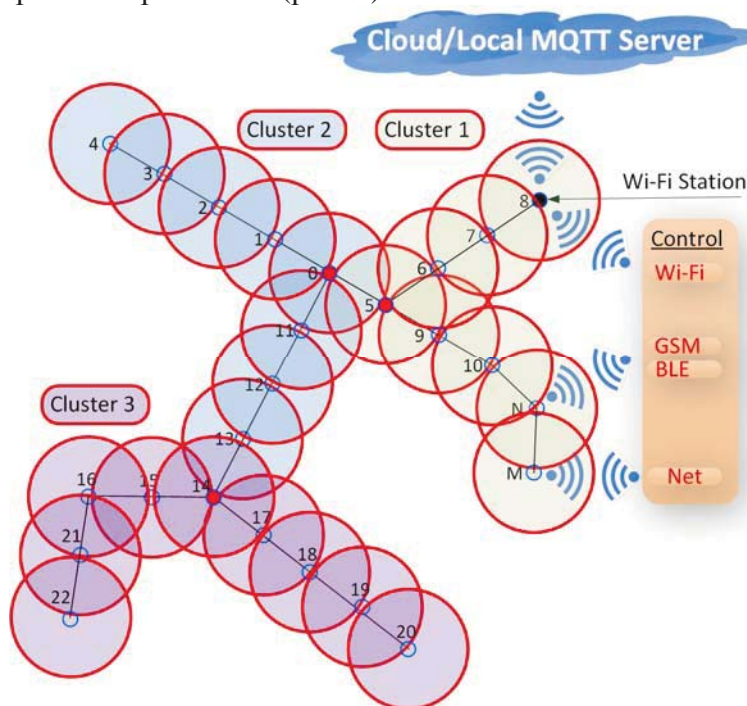


Рисунок 3 – Архітектура адаптивної бездротової локальної мережі

Джерело: розроблено авторами

Більшою мірою архітектура адаптивної бездротової локальної мережі включає в себе перевірені рішення інших архітектур, які доповнені апаратними та програмними засобами, необхідними для виконання мережею заданих функцій.

Критичною ситуацією в мережі може бути послідовність вузлів-ретрансляторів зі зв'язками «один до одного». При відключенні одного вузла-ретранслятора в ланцюжку всі інші вузли також будуть відключені. Для усунення такої ситуації в мережу необхідно включити додаткові вузли-ретранслятори для створення зв'язків «один до багатьох» або «багато до багатьох». З огляду на невисоку вартість контролера мережі, формування надійної топології мережі не становить проблеми.

Вузли Wi-Fi мережі використовують постійно включені передавачі, що при великій кількості вузлів створює небезпечний для людини рівень СВЧ-випромінювання. У системах «Розумний будинок» несприятливий вплив випромінювання Wi-Fi великої кількості передавачів негативно позначається на стан здоров'я мешканців будинку.

Підвищене споживання електроенергії від джерела живлення (до 300 ma) також є небажаним фактором для Wi-Fi об'єктів мережі, що мають автономне джерело живлення.

Використання технології Wi-Fi для побудови мережі з невеликим обсягом переданої інформації не є оптимальним рішенням, тому кількість Wi-Fi вузлів мережі обмежена необхідним мінімумом.

Управління мережею здійснюється за допомогою Wi-Fi, GSM, Bluetooth (BLE) трансиверів. Трансивер UART 2.4 GHz є основним засобом комунікації між вузлами локальної мережі. Wi-Fi точка доступу належить вузлу мережі з функціями управління для забезпечення зв'язку з хмарним MQTT сервером і з комп'ютером адміністратора мережі.

При запуску мережі або виявленні зміни топології мережі запускається процедура реконфігурації, в процесі виконання якої оновлюються таблиці зв'язків з доступними вузлами мережі. Найближчий вузол може виступати в ролі ретранслятора.

Обмін даними конфігурації між вузлами мережі здійснюється через заданий інтервал 1-30 сек. Вузол мобільної мережі передає дані про свій стан в ширококомовному режимі.

Той вузол, у якого більше сусідніх зв'язків, створює кластер і стає координатором кластера (рис. 3). З безлічі контролерів вузлів мережі кластера зі зв'язками одного рангу координатором стає контролер з більшою адресою (ідентифікатором).

У мережі використовується модифікований метод доступу до середовища передачі CSMA / CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - множинний доступ з контролем несучої та виявленням колізій). Колізія вирішується шляхом повторної передачі пакета вузлом з урахуванням пріоритету.

Пріоритет має вузол мережі з меншим номером (значенням ідентифікатора), оскільки час тайм-ауту при вирішенні колізії спочатку різний і збільшується пропорційно номеру вузла мережі. Як тільки мережа звільняється, вузол, який бере участь в колізії повторно ініціює передачу даних. Інформація про виникнення колізії передається всім вузлам мережі, тому наступний інформаційний обмін не може початися раніше, ніж завершиться попередній.

Для реалізації поставленого завдання був розроблений контролер вузла адаптивної бездротової мережі.

Архітектура контролера вузла мережі і взаємодія контролера з об'єктом мережі представлена на рис. 4.

Контролер вузла мережі може мати різну конфігурацію, яка визначає його роль в локальній мережі. Контролер вузла мережі може бути як керуючим, так і ординарним. Керуючий контролер забезпечує взаємодію із зовнішньою системою управління і з простими контролерами мережі. Керуючих контролерів в мережі може бути кілька.

Ординарний контролер відрізняється від керуючого відсутністю Wi-Fi і GSM трансиверів і містить тільки UART 2.4 GHz трансивер для забезпечення мережевої взаємодії і BLE трансивер (опціонально) для управління мережею через смартфон.

Тому ієрархія контролера в мережі визначається тільки його конфігурацією. Застосування декількох трансиверів дозволяє розвантажити середу передачі від зайвого трафіку. Трансивери працюють на різних каналах і з різною інтенсивністю, тому не мають негативного взаємного впливу.

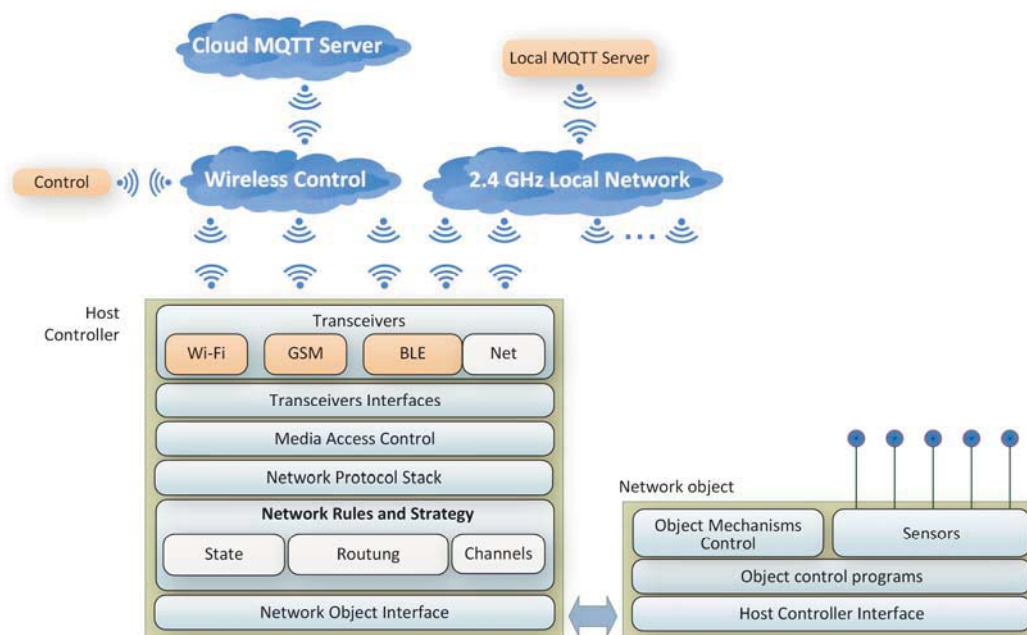


Рисунок 4 – Архітектура контролера вузла мережі і взаємодія контролера з об'єктом мережі
Джерело: розроблено авторами

Через трансивери управління (Wi-Fi, BLE і GSM) здійснюється зв'язок керуючого контролера вузла мережі з оператором і хмарним MQTT сервером з метою отримання команд та відправки інформації телеметрії і поточного стану об'єктів мережі.

Через трансивер UART 2.4 GHz здійснюється обмін даними між контролерами вузлів мережі і моніторинг вузлів мережі з метою підтримки в актуальному стані інформації про топології мережі, таблиць маршрутизації і ієрархії кластерів.

Інтерфейси з трансиверами (Transceivers Interfaces) забезпечують взаємодію трансиверів з блоком доступу до середовища передачі (Media Access Control), які реалізують стек мережевих протоколів (Network Protocol Stack).

Стек мережевих протоколів містить один універсальний протокол, за допомогою якого виконуються функції управління, конфігурації і обміну даними в мережі.

Основним блоком, що визначає інтелект контролера вузла мережі є блок правил і стратегії поведінки мережі (Network Rules and Strategy). У блок входять програмні модулі управління маршрутизацією, перемиканням каналів трансиверів, адаптивної зміни конфігурації мережі при зміні її топології.

Інтерфейс з об'єктом мережі (Network Object Interface) забезпечує взаємодію між контролером вузла мережі і об'єктом мережі.

Оскільки контролер вузла мобільної мережі є незалежним пристроєм, функцією якого є підтримка працездатності мережі, він може бути використаний з будь-яким пристроєм, що має послідовний комунікаційний інтерфейс SPI або UART і відповідну програму управління.

Тому об'єктом мобільної мережі може бути будь-який пристрій, такий, як реле, робототехнічний об'єкт або пристрій управління будь-яким технологічним процесом.

Контролер локальної мережі може мати спрощену структуру за рахунок фізичного об'єднання функцій контролера і об'єкта мережі (виконавчим пристроєм і датчиками), як представлено на рис. 5.

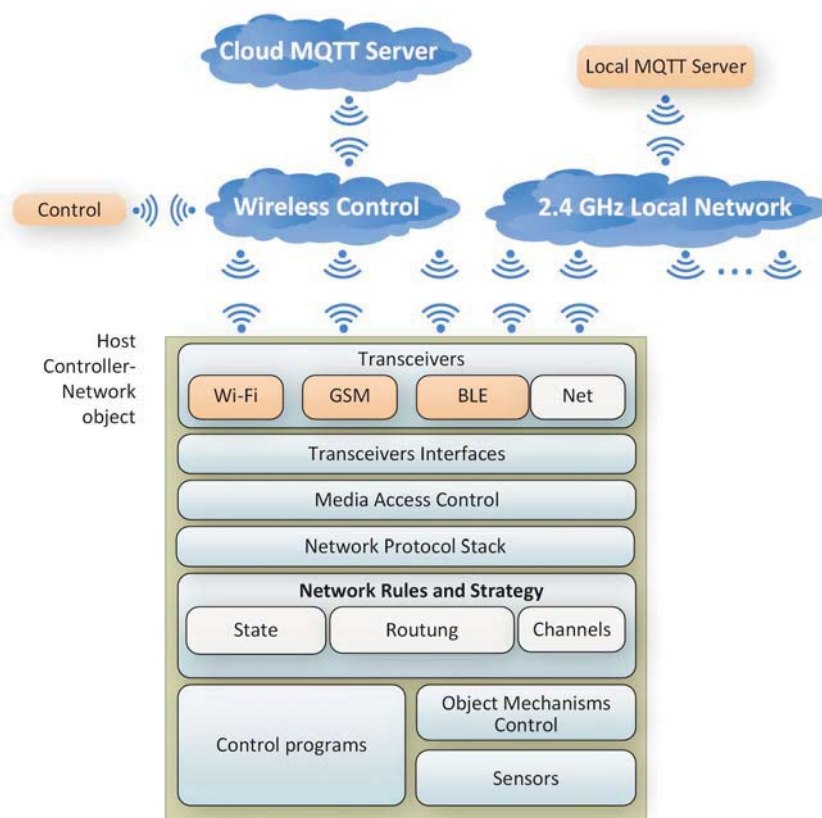


Рисунок 5 – Архітектура контролера вузла мережі і об'єкта мережі

Джерело: розроблено авторами

Відповідно до розробленої архітектури бездротової локальної мережі були створені алгоритми функціонування, апаратне і програмне забезпечення контролера вузла мережі, а також протокол обміну між вузлами мережі. Протокол обміну для даної мережі є модифікованим варіантом протоколів, використовуваних в мобільній мережі для управління роєм об'єктів [11]. Структура протоколу управління та обміну даними в мережі представлена на рис.6.

За допомогою розробленого протоколу реалізуються функції управління, інформаційного обміну та конфігурації мережі. Режим конфігурації використовується об'єктами мережі для визначення поточної топології мережі, формування кластерів об'єктів, формування таблиць маршрутизації пакетів та інших службових функцій.

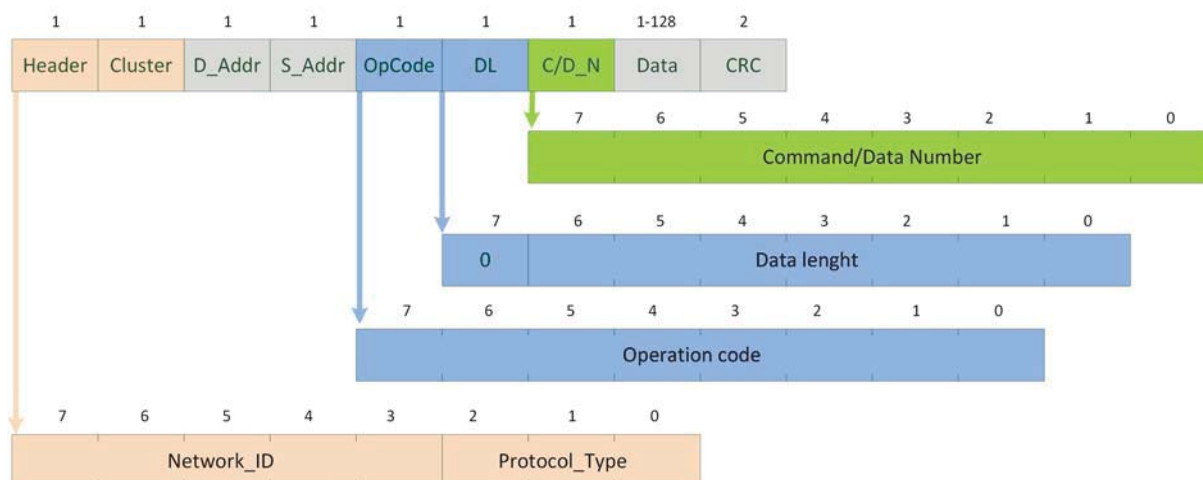


Рисунок 6 – Структура протоколу управління та обміну даними в мережі

Джерело: розроблено авторами

Приймачем і ретранслятором пакетів стає найближчий до оператора контролер вузла мережі. Вибір об'єкта-ретранслятора здійснюється на підставі даних таблиць маршрутизації, які має кожен контролер вузла мережі.

Призначення полів протоколу. Поле «Header» - заголовок протоколу. Поле ідентифікує мережу (32 мережі) і тип протоколу. Ідентифікація мережі необхідна, оскільки кілька мереж можуть перетинатися і знаходитися в загальній зоні покриття.

Поле «Cluster» містить ідентифікатор кластера, до якого належить об'єкт мережі.

Поле «D_Addr» містить адресу об'єкта - одержувача пакета або значення «0xFF» в режимі ширококомовної передачі. Поле «Op_ID» містить ідентифікатор оператора мережі. Поле «Op_Code» містить код операції для контролера вузла мережі. Поле «DL» визначає довжину поля даних в байтах.

Поле «C/D_N» містить номер даного пакета в загальній послідовності переданих пакетів. На кожен посланий відправником пакет від одержувача надходить квитанція про його одержання. В процесі ретрансляції пакетів виникає затримка, а в разі ретрансляції пакету по декількох каналах (при збою в системі маршрутизації) – одержувач може прийняти кілька копій пакета.

Якщо пакет прийнятий одержувачем і на нього надіслано квитанцію, то всі інші копії пакета одержувачем відкидаються. Якщо у відповідь на відправлений пакет квитанція не надійшла протягом певного часового інтервалу, вважається, що вузол-ретранслятор вибув з мережі. У цьому випадку програма оператора запускає процедуру виявлення нового вузла-ретранслятора шляхом передачі ширококомовного пакета з командою реконфігурації мережі. Після надходження квитанції значення поля «C/D_N» інкрементується по кільцю.

Поле «Data» – поле даних 1-96 байт. Містить параметри команд і дані. Поле «CRC» - контрольна сума.

Безперебійна робота мережі забезпечується програмним забезпеченням контролера вузла мережі. Всі контролери вузлів мережі за замовчуванням рівнозначні, проте їх функції можуть змінюватися в результаті адаптації до фізичної і логічної топології мережі, яка може динамічно змінюватися.

Висновки. Представлена архітектура адаптивної бездротової локальної мережі покладена в основу розробленої системи управління технологічними процесами,

робототехнічними пристроями та іншими об'єктами, а також систем «Розумний будинок» і подібних малих систем без використання MQTT серверів.

Трафік управління відділений від трафіку даних і трафіку конфігурації, що дало можливість здійснювати інформаційний обмін одночасно з командами управління. Мінімізований стек протоколів. Розділена функціональність вузла мережі і об'єкта мережі. Топологія бездротової мережі не детермінована і змінюється при переміщенні об'єктів мережі в просторі. При цьому втрачаються одні зв'язки і виникають інші. Таблиці маршрутизації постійно оновлюються.

Мережа по команді або відповідно до закладеного алгоритму здатна адаптивно вибудувувати потрібну топологію і організувати необхідні зв'язки з метою виконання об'єктами мережі своїх функцій, а також для побудови ланцюжка ретрансляції пакетів для віддалених об'єктів мережі.

Таким чином, реалізація бездротової мережі при її невисокій вартості і невеликій складності в реалізації дозволяє вирішити універсальне коло завдань. Виконавцем може бути як окремий об'єкт, пов'язаний з іншими об'єктами послідовністю ретрансляторів, так і кілька об'єктів.

З метою підвищення ефективності формування таблиць маршрутизації та мінімізації структур кластерів у бездротовій мережі за доцільне застосування алгоритмів оптимізації на основі теорії множин.

Список літератури

1. Brian Verenkoff Understanding and Optimizing 802.11n. Buffalo Technology. July 2011. 8 p. URL: https://www.lmi.net/wp-content/uploads/Optimizing_802.11n.pdf (дата обращения: 30.09.2020).
2. Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi 6. URL: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6> (дата обращения: 30.09.2020).
3. 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 обращения: 30.09.2020).
4. IEEE 802.15.2-2003 - IEEE Recommended Practice for Information technology - Local and metropolitan area networks. Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee. 2003.06.12. URL: https://standards.ieee.org/standard/802_15_2-2003.html (дата обращения: 30.09.2020).
5. 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 обращения: 30.09.2020).
6. P802.15.4z/D06, Jan. 2020 - IEEE Draft Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment: Enhanced High Rate Pulse (HRP) and Low Rate Pulse (LRP) Ultra Wide-Band (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques. Jan. 2020. URL: <http://libris.kb.se/bib/fr02gv53cvb60ktf> (дата обращения: 30.09.2020).
7. Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices. Vesternet Ltd. 28.01.2020. URL: <https://www.vesternet.com/pages/understanding-z-wave-networks-nodes-devices> (дата обращения: 30.09.2020).
8. Recommendation G.9959. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201202-I/en> (дата обращения: 30.09.2020).
9. WiMAX Forum. URL: <http://wimaxforum.org> (дата обращения: 30.09.2020).
10. IEEE Std 802.16™-2009. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. 29 May 2009. URL: <https://legal.vvv.enseirb-matmeca.fr/download/amichel/%5BStandard%20LDPC%5D%20802.16-2009.pdf> (дата обращения: 30.09.2020).
11. Смірнов В.В., Смірнова Н.В. Архітектура контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією. Збірник наукових праць «Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки». Кропивницький: ЦНТУ, 2020. Вип. 3(34). С. 12-21.
12. MQTT: The Standard for IoT Messaging. URL: <https://mqtt.org/> (дата звернення: 11.12.2020).
13. Richard Coppen OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) TC. URL: https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=mqtt (дата звернення: 11.12.2020).

14. HiveMQ GmbH The Messaging and Data Exchange Protocol of the IoT. URL: <https://www.hivemq.com/mqtt-protocol/> (дата звернення: 12.12.2020).
15. Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker. URL: <https://mosquitto.org/> (дата звернення: 12.12.2020).

Referencis

1. Brian Verenkov Understanding and Optimizing 802.11n. (July 2011) *Buffalo Technology* : website. *lmi.net*. Retrieved from https://www.lmi.net/wp-content/uploads/Optimizing_802.11n.pdf [in English].
2. Wi-Fi Alliance® introduces Wi-Fi 6 (n.d.) : website. *wi-fi.org*. Retrieved from <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-alliance-introduces-wi-fi-6> [in English].
3. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (2020.05.06). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html [in English].
4. IEEE 802.15.2-2003 - IEEE Recommended Practice for Information technology - Local and metropolitan area networks (2003.06.12). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_2-2003.html [in English].
5. IEEE 802.15.4-2020 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (2020.05.06). *Standards Committee : C/LM - LAN/MAN Standards Committee* : website. *standards.ieee.org*. Retrieved from https://standards.ieee.org/standard/802_15_4-2020.html [in English].
6. P802.15.4z/D06, Jan. 2020 - IEEE Draft Standard for Low-Rate Wireless Networks Amendment: Enhanced High Rate Pulse (HRP) and Low Rate Pulse (LRP) Ultra Wide-Band (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques (Jan. 2020) : website. *libris.kb.se*. Retrieved from <http://libris.kb.se/bib/fr02gv53cvb60ktf> [in English].
7. Understanding Z-Wave Networks, Nodes & Devices (28.01.2020). *Vesternet Ltd.* : website. *vesternet.com*. Retrieved from <https://www.vesternet.com/pages/understanding-z-wave-networks-nodes-devices> [in English].
8. Recommendation G.9959 (n.d.) : website. *itu.int*. Retrieved from <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201202-I/en> [in English].
9. WiMAX Forum (n.d.) : website. *wimaxforum.org*. Retrieved from <http://wimaxforum.org> [in English].
10. IEEE Std 802.16™-2009. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems (29 May 2009) : website. *legal.vvv.enseirb-matmeca.fr*. Retrieved from <https://legal.vvv.enseirb-matmeca.fr/download/amichel/%5BStandard%20LDPC%5D%20802.16-2009.pdf> [in English].
11. Smirnov V.V., Smirnova N.V. (2020). Архитектура контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією [Adaptive mobile network with amorphous topology node controller architecture]. *Zbirnyk naukovykh prats' «Tsentral'noukrayins'kyi naukovy visnyk. Tekhnichni nauky» - Collected Works "Central ukrainian scientific bulletin. Technical sciences"*. 3(34). 12-21 [in Ukrainian].
12. MQTT: The Standard for IoT Messaging (n.d.) : website. *mqtt.org* Retrieved from <https://mqtt.org/> [in English].
13. Richard Coppen (n.d.). OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) TC : website. *oasis-open.org*. Retrieved from https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=mqtt [in English].
14. HiveMQ GmbH (n.d.). The Messaging and Data Exchange Protocol of the IoT : website. *hivemq.com* Retrieved from <https://www.hivemq.com/mqtt-protocol/> [in English].
15. Eclipse Mosquitto™ (n.d.) An open source MQTT broker : website. *mosquitto.org*. Retrieved from <https://mosquitto.org/> [in English].

Volodymyr Smirnov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Smirnova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Adaptive Mobile Network with Amorphous Topology Node Controller Architecture

The purpose of the article is to develop an adaptive wireless LAN architecture for the technological processes, robotic devices and other objects control. The article describes the wireless LAN architecture. The concept of a wireless LAN is described. The wireless network is adaptive, self-organizing, and able to operate autonomously. The presented wireless network node controller architecture is the basis for many objects and Smart home control system small systems without using MQTT servers. The nodes of the network nodes interaction is carried out using several transceivers.

The use of multiple transceivers made it possible to distribute data traffic, configuration traffic, and control traffic over different channels, which made it possible to carry out information exchange at the same time. The protocol stack is minimized. The functionality of the host and the network object is completely separated. The topology of the mobile network is not deterministic, amorphous and changes when the network objects move in space. In this case, some connections are lost and others arise. The routing tables are constantly updated.

The network in accordance with the laid down algorithm, is able to build the necessary topology and organize the necessary connections in order to complete the task with a many objects. The network is capable of building packet retransmission chains for remote network objects. Thus, the wireless network implementation at its low cost allows solving a certain range of tasks. The performer can be either a separate object associated with the operator through a many repeaters.

In order to increase the efficiency of the formation of routing tables and minimize the cluster structures in a wireless network, it is advisable to use optimization algorithms based on set theory. The local wireless network is designed to control an Internet of Things objects, robotic objects and control systems for various technological processes.

wireless network, architecture, protocol, controller, object, network node, cluster

Одержано (Received) 02.12.2020

Прорецензовано (Reviewed) 15.12.2020

Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020

УДК 004.8/681.5

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.229-235>

Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
e-mail: aron70@ukr.net*

Аналіз алгоритмів планування ресурсами в розподіленому обчислювальному середовищі

В статті проведено аналіз алгоритмів планування ресурсами в розподіленому обчислювальному середовищі. Головним завданням, яке вирішують технології розподілених обчислень є забезпечення доступу до глобально розподілених ресурсів з допомогою спеціальних інструментів. Складність керування глобальними ресурсами обумовлена тим, що доступ до необхідних даних може відбуватись на різних комп'ютерах. Крім того, глобальні розподілені обчислювальні мережі, які формуються із автономних ресурсів, можуть змінювати свою конфігурацію динамічно. Керування ресурсами в неоднорідних розподілених обчислювальних системах потребує пошуку нових моделей обчислення і керування ресурсами.

обчислювальні ресурси, комп'ютер, алгоритми планування, розподілені обчислення

Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

Анализ алгоритмов планирования ресурсами в распределенной вычислительной среде

В статье проведен анализ алгоритмов планирования ресурсами в распределенной вычислительной среде. Главной задачей, которую решают технологии распределенных вычислений, есть обеспечение доступа к глобально распределенным ресурсам с помощью специальных инструментов. Сложность управления глобальными ресурсами связана с тем, что доступ к необходимым данным может происходить на разных компьютерах. Кроме того, глобальные распределенные вычислительные сети, формирующиеся из автономных ресурсов, могут изменять свою конфигурацию динамически. Управление ресурсами в неоднородных распределенных вычислительных системах требует поиска новых моделей вычислений и управления ресурсами.

вычислительные ресурсы, компьютер, алгоритмы планирования, распределенные вычисления