

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 681.5.013

**Степанець О.В.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Піргач В.Є.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ Z-WAVE В ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОСТІР ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ OPC UA

*У статті розглядаються передумови, процедура та перспективи реалізації OPC UA-сервера для інтеграції протоколу Z-Wave в інформаційний простір за концепцією Industry 4.0. Проведено аналіз функціональних можливостей апаратних пристроїв технології Z-Wave та спеціалізованого програмного забезпечення. Описана послідовність створення OPC UA-сервера та налаштування програмного середовища на апаратній платформі Raspberry Pi. Продемонстрована можлива сфера застосування запропонованого рішення в автоматизації інженерних систем інтелектуальних будівель.*

**Ключові слова:** Industry 4.0, Z-Wave, OPC UA, автоматизація інтелектуальних будівель, Raspberry Pi.

**Постановка проблеми.** Industry 4.0 потребує гнучкості, адаптивності, прозорості тощо, які мають бути виконані компонентами або системами Industry 4.0 [1, с. 802]. Головною проблемою, яку порушують Industry 4.0 та Industrial Internet of Things (IIoT), є безпечний стандартизований обмін даними й інформацією між пристроями, машинами та сервісами різних галузей промисловості. Еталонна модель архітектури для Industry 4.0 рекомендує тільки стандарт IEC-62541 – уніфіковану архітектуру OPC (OPC UA) для реалізації комунікаційного шару. Тому будь-який продукт, який рекламується як “Industry 4.0-enabled”, має бути сумісним з OPC UA [2, с. 297].

OPC UA – це нове покоління технології OPC. OPC UA – більш безпечний, відкритий, надійний механізм передачі інформації між серверами та клієнтами. Він гарантує безпеку та більш повну інформаційну модель, ніж оригінальний OPC, OPC Classic [3, с. 635]. OPC UA забезпечує дуже гнучкий і адаптивний механізм передачі даних між системами корпоративного типу та контроле-

рами, датчиками та приладами, які взаємодіють із реальними даними.

На відміну від уніфікованої архітектури, OPC Classic є досить обмеженим і не відповідає сучасним вимогам щодо передачі даних між системами, що контролюють реальні процеси, які генерують та контролюють живі дані. До таких обмежень належать:

1. Залежність платформи від “Microsoft”. OPC Classic побудована на основі DCOM (Distribution COM) – старої комунікаційної технології, яку підтримує лише компанія “Microsoft”.

2. Недостатня кількість моделей даних. OPC Classic не має можливості адекватно відображати типи даних, інформацію та взаємозв’язки між елементами системи;

3. Microsoft і DCOM не мають такого рівня безпеки, яка потрібна у світі з вірусними загрозами та шкідливими програмами.

Важливою задачею є пошук та реалізація інформаційних технологій, що позбавлені цих недоліків і забезпечують ефективну взаємодію

між компонентами та користувачами, зокрема, міжмашинну взаємодію окремих керуючих пристроїв різних автоматичних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протокол Z-Wave був розроблений для квартир і невеликих будинків. Зазвичай такі системи містять від 5 до 100 пристроїв. Протокол розроблявся спеціально для управління такими приладами, як світильники, жалюзі, ворота, термостати тощо, шляхом передачі коротких команд, які потребують невеликого енергоспоживання [4, с. 24]. Типові завдання, які вирішуються за допомогою Z-Wave, – це встановлення прохідних вимикачів, перенесення вимикачів на більш зручний рівень, дистанційне керування воротами і жалюзі, вмикання світла за датчиком руху. Всі ці завдання не потребують переключення проводів.

Протокол Z-Wave має різні типи вузлів, які виконують різні задачі.

Портативний контролер (Portable Controller) – прилад, що зберігає інформацію про сусідів всіх вузлів мережі (топологію мережі) і здатний на базі цієї інформації знайти маршрут до будь-якого вузла мережі. Крім того, він може переміщатися в мережі і здатен зв'язатися з усіма вузлами мережі з будь-якої її точки. До приладів даного типу не можна звернутися, тому що вони не фігурують в таблиці маршрутизації (будучи портативними) – вони можуть тільки відповідати на запит. Можливе застосування: пульт дистанційного керування. Такому приладу потрібна незалежна пам'ять EEPROM.

Статичний контролер (Static Controller) – аналогічний портативному, але він не переміщається в просторі і має бути завжди доступним іншим учасникам мережі. Типове застосування: контролер ПК. Такому приладу потрібна незалежна пам'ять EEPROM.

Дочірній пристрій (Slave) – здатний тільки відповідати на запити, тому що він не знає топології мережі і не зберігає жодних маршрутів. Такі прилади можуть бути тільки датчиками, що живляться від мережі й опитуються іншими вузлами або виконавцями. Вони не вміють ініціювати відправку даних самостійно. Таких приладів вже не виробляють, але на ринку вони ще залишилися.

Дочірній маршрутизуючий пристрій (Routing Slave) – здатний зберігати до 4 маршрутів для 5 вузлів (так звані «зворотні маршрути»). Ці пристрої можуть ініціювати відправку даних (відправляти непрошені пакети – *unsolicited packets*), а також можуть бути сплячими або такими, що «часто слухають». Типове застосування: датчики,

нерухомі пульти управління (датчик руху, кнопка вмикання на батарейках).

Комплексний дочірній маршрутизуючий пристрій (Routing Enhanced Slave). Схожий на дочірній маршрутизуючий пристрій, але зберігає маршрути до всіх вузлів мережі, а не тільки до 5. Такому приладу потрібна незалежна пам'ять EEPROM.

Більшість вузлів знає маршрути до деяких вузлів через своїх сусідів. Повні списки сусідів всіх вузлів зберігаються на контролерах. Це означає, що після переміщення пристроїв мережі в просторі маршрути, що не працюють, автоматично виправляються за першої необхідності.

Контролери (як статичні, так і портативні) можуть мати різні ролі в мережі.

Первинний контролер – координатор мережі. Це єдиний вузол, здатний включити в мережу нові вузли і виключити наявні. Він же зберігає актуальну інформацію про топологію мережі і може оновлювати списки сусідів для всіх інших (вторинних) контролерів. формувати маршрути в усіх дочірніх вузлах. Первинний контролер може бути тільки один у мережі. Зазвичай первинним є той контролер, з якого почалася побудова мережі. Однак надалі первинний контролер може включити в мережу новий контролер, передавши йому свою роль.

Вторинними контролерами називаються всі інші контролери в мережі. Для нормальної роботи їм треба періодично запитувати інформацію про топологію мережі (сусідів кожного вузла) у первинного контролера.

Є складні проекти автоматизації будинків, які не поступаються складністю промисловим системам автоматизації. Такі рішення потребують стандартизації передачі даних і підпадають під основні принципи Industrie 4.0, які, у свою чергу, передбачають використання стандарту OPC UA для комунікаційного шару.

Постає необхідність вибору апаратної платформи для розміщення на ній OPC UA-сервера. Raspberry Pi [5, с. 2008] є серією невеликих одноплатних комп'ютерів, розроблених Raspberry Pi Foundation як бюджетна система для навчання інформатиці, що згодом набула набагато ширшого застосування в багатьох сферах промисловості, зокрема автоматизації. Оскільки, крім стандартних, притаманних комп'ютеру інтерфейсів, Raspberry Pi має GPIO-інтерфейс для підключення зовнішніх приладів, це розширює сферу застосування Raspberry Pi в системах автоматизації.

Сьогодні програмні продукти дозволяють перетворити цей мікро-комп'ютер на повноцінний

програмно-логічний контролер (далі – ПЛК). Так, за допомогою Codesys та Control для Raspberry Pi можна створити дешеву альтернативу дорогим ПЛК, звичайно, з деякими обмеженнями у функціональності та надійності.

Отже, GPIO-інтерфейс дає можливість підключення плати розширення RaZberry, яка перетворює дешевий міні-комп'ютер Raspberry Pi на Z-Wave-контролер для автоматизації.

RaZberry – це плата із трансивером Z-Wave (рис. 1), програмне забезпечення Z-Way та інше.



Рис. 1. Плата із трансивером Z-Wave для GPIO інтерфейсу Raspberry Pi

Для з'єднання радіомодуля Z-Wave з мікрокомп'ютером Raspberry Pi використовується програмне забезпечення, що зазвичай використовує специфічний прикладний програмний інтерфейс (API). Тому актуальною є задача написання OPC UA-сервера для уніфікації та стандартизації використання інтерфейсів зовнішніми системами.

**Постановка завдання.** Для розроблення способу інтеграції Z-Wave з OPC UA потрібно вирішити такі задачі:

1. Визначити доступні методи та функціональні можливості інформаційної інтеграції Z-Wave з іншими технологіями з урахуванням особливостей доступних апаратних платформ.

2. Розробити процедуру налаштування програмно-апаратного середовища для взаємодії з OPC UA.

3. Розробити OPC UA-сервер для протоколу Z-Wave, дослідити його роботу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Z-Way встановлюється поверх операційної системи Raspbian шляхом запуску команди: `wget -q -O- razberry.z-wave.me/install | sudo bash`.

Скрипт установки встановить ПЗ Z-Way в `/opt/z-way-server`, запише в `/etc/init.d/Z-Way` скрипт для запуску, додасть його в автозапуск і налаштує порт `ttyAMA0`. Після перезавантаження сервер буде готовий до роботи. Після цього в браузері є можливість відкрити веб-додаток за адресою `IP_OF_RASPBERRY:8083` і будувати мережу Z-Wave.

Програмне забезпечення Z-Way складається з декількох частин:

1. Бібліотеки `libzway` – основи Z-Wave, що надає C API для простої роботи із Z-Wave.

2. Бібліотеки `libzwayjs` – створює зв'язок між C та JavaScript рушієм Google V8. Надає просте JS API для роботи з мережею Z-Wave.

3. Бібліотеки `libzwayhttp` – HTTP-сервісу для обслуговування зовнішніх клієнтів, зокрема призначених для користувача інтерфейсів.

Така структура дозволяє використовувати різні рівні інтеграції зі складовими частинами Z-Way. Для проектів, де важлива продуктивність, доступний API рівня C, для проектів, де потрібна оперативна розробка, простіше використовувати JS API. Важливо, що обидва інтерфейси мають подібну структуру, що дозволяє просто перенести код із JavaScript на C після швидкого прототипування.

Для реалізації OPC UA-сервера на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi обрано Node.js – платформу з відкритим кодом для виконання високопродуктивних мережових запитів, написаних мовою JavaScript. Функції платформи не обмежені створенням серверних скриптів для веб, платформа може використовуватися і для створення звичайних клієнтських і серверних мережових програм. Для забезпечення виконання JavaScript-коду використовується розроблений компанією “Google” рушієм V8.

Для реалізації функцій OPC UA засобами Node.js була використана бібліотека `NodeOPCUA` [6], що надає прикладний програмний інтерфейс для повної взаємодії із засобами OPC UA.

Специфікація OPC UA передбачає так звану модель адресного простору. Основна мета адресного простору OPC UA полягає в тому, щоб забезпечити стандартний спосіб для серверів представляти об'єкти для клієнтів. Об'єктна модель OPC UA розроблена для досягнення цієї мети. Вона визначає об'єкти за змінними та методами. Така структура також дозволяє створювати взаємодію з іншими об'єктами. Проста модель адресного простору, подібна до класичного OPC Data Access (DA), може бути побудована за допомогою об'єктів папок та змінних. Але наявність розширених об'єктно-орієнтованих функцій полегшує

представлення об'єктно-орієнтованих систем з OPC UA.

Елементи такої моделі представлені в адресному просторі як вузли. Кожен вузол належить до класу, наприклад, об'єкт, змінна і метод, і являє собою окремих вузол об'єктної моделі (рис. 2).

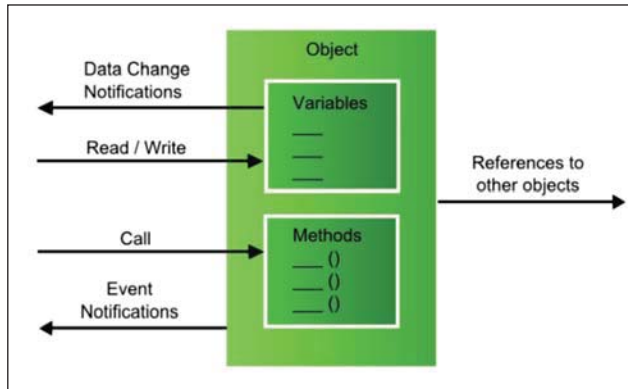


Рис. 2. Об'єкт адресного простору OPC UA-сервера

Спершу, для представлення у вигляді об'єктної моделі пристроїв Z-Wave, їх потрібно отримати. Програмне забезпечення Z-Wave [7, с. 117] дозволяє взаємодіяти з контролером за допомогою звичайних HTTP-запитів, які надають відповідь у форматі JavaScript Object Notation (JSON), що одразу дозволяє перетворити дані на звичайний JavaScript-об'єкт. Отже, для отримання списку пристроїв потрібно зробити HTTP-запит на адресу `IP_OF_RASPBERRY:8083/ZAutomation/api/v1/devices`. Після отримання даних зі списком пристроїв Z-Wave їх можна передати до OPC UA-сервера. Кожен пристрій – це змінна в адресному просторі сервера, що містить ім'я, тип

даних, значення вимірюваного параметра, одиницю вимірювання, опис, історичні дані тощо.

Під час зчитування даних змінної OPC UA клієнтом OPC UA-сервер робить запит на сервер, що взаємодіє із Z-Wave-пристроями й отримує поточне значення того чи іншого пристрою й оновлює значення змінної OPC UA-сервера. Аналогічні операції виконуються для запису змінної. Наприклад, щоб додати аналогову змінну до адресного простору OPC UA-сервера, необхідно викликати метод `addAnalogDataItem`, що належить об'єкту `addressSpace`, який, своєю чергою, належить об'єкту створеного OPC UA-сервера. Виклик методу `addAnalogDataItem` відбувається з передачею йому необхідних аргументів, а саме об'єкта з такими властивостями:

- `componentOf` – посилання на вузол, в якому перебуває змінна;
- `browseName` – ім'я змінної;
- `dataType` – тип даних змінної (повний список типів даних можна переглянути в об'єкті `DataTypes` бібліотеки `NodeOPCUA`);
- `description` – опис змінної, що додається;
- `engineeringUnits` – одиниці вимірювання змінної (повний список одиниць вимірювання можна переглянути в об'єкті `standardUnits` бібліотеки `NodeOPCUA`);
- `accessLevel` – рівень доступу, що показує можливість використання змінної, тобто зчитування, запис або зчитування та запис;
- `value` – власне значення змінної.

Властивість `value` має керований доступ, для цього використовуються спеціальні функції `get` та `set`, тобто для отримання значення та запису зна-

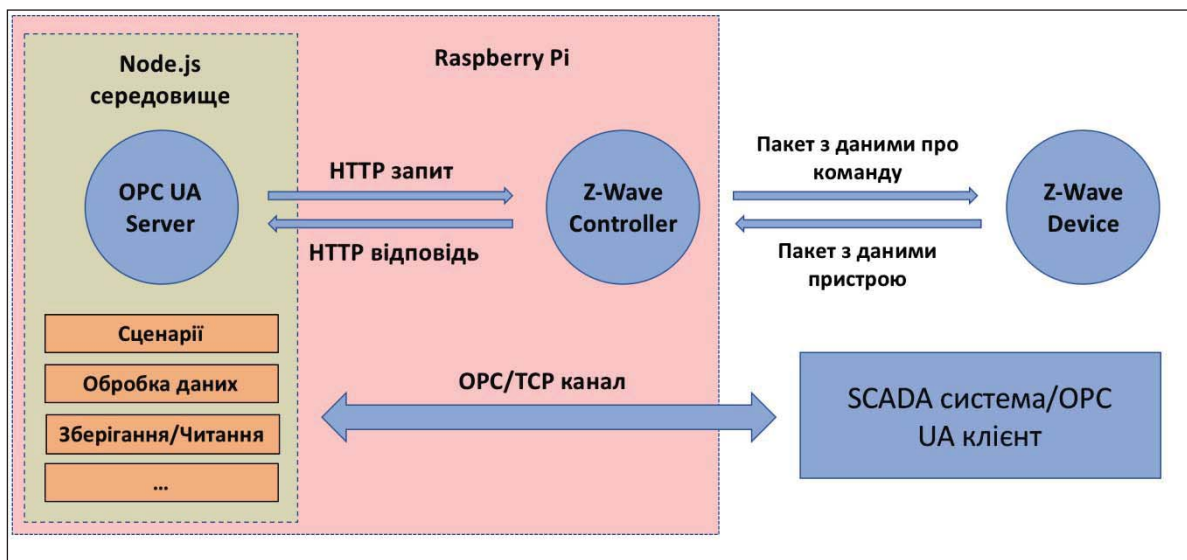


Рис. 3. Структура запитів між OPC UA-сервером, Z-Wave-контролером та OPC UA-клієнтом

чення потрібно використовувати спеціалізовані функції. Так, для отримання поточного значення того чи іншого пристрою необхідно виконати HTTP-запит, який у відповідь поверне всю необхідну інформацію про пристрій. Також для запису

значення змінної необхідно виконати HTTP-запит і в тілі запиту надіслати необхідне для запису значення. Загальна структура запитів показана на рис. 3.

Для тестування роботи OPC UA-сервера обрано програмне забезпечення Prosys OPC UA Client для операційної системи Mac OS. Список пристроїв для взаємодії показаний на рис. 4.

Також є можливість отримання історичних даних, тобто даних, які записувалися в пам'ять протягом певного часу.

Підписка на оновлення тестової змінної, яка генерує синусоїдальний сигнал, показана на рис. 5.

Специфіка Z-Wave-пристроїв така, що команди ставлять у чергу на відправку відповідних пакетів [7, с. 164]. Відправлення здійснюється через Sigma Designs Serial API, реалізовану на платі розширення RaZberry. Весь функціонал Z-Wave прихований під цим рівнем абстракції: для пристроїв на батареях ці пакети позначаються як такі, що очікують пробудження, тобто деякі пристрої можуть бути в так званому «сплячому» режимі. Для шифрування йде попередній обмін ключем, для економії заряду батарей та часу в ефірі деякі пакети об'єднуються в один. Як і в будь-якому іншому протоколі, у Z-Wave багато функціонала [8, с. 3], який знаходяться під закритим API Z-Wave.

Також засобами методів об'єктної моделі адресного простору сервера є можливість надіслати подібні команди для Z-Wave-пристроїв з OPC UA-клієнта. Тобто, викликаючи метод об'єкта OPC UA [9, с. 210], можна викликати ланцюг

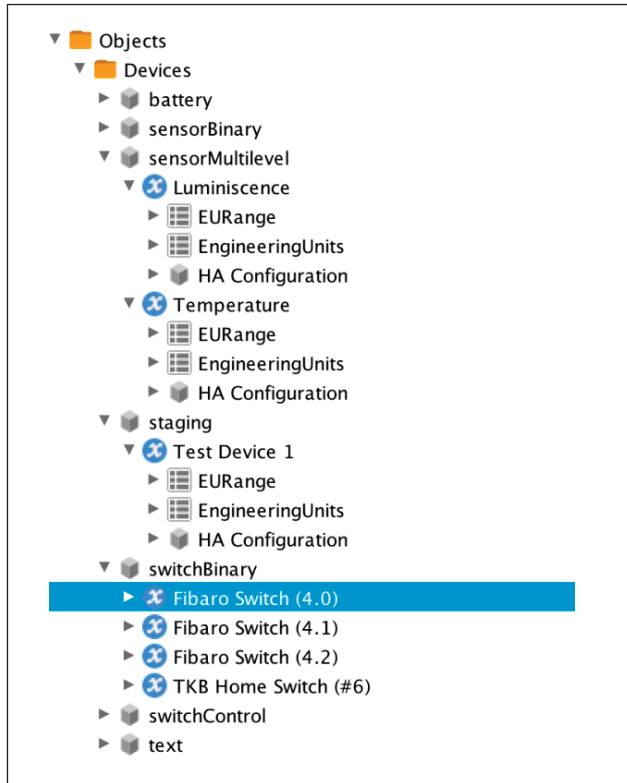


Рис. 4. Список пристроїв Z-Wave, представлений в OPC UA-клієнті

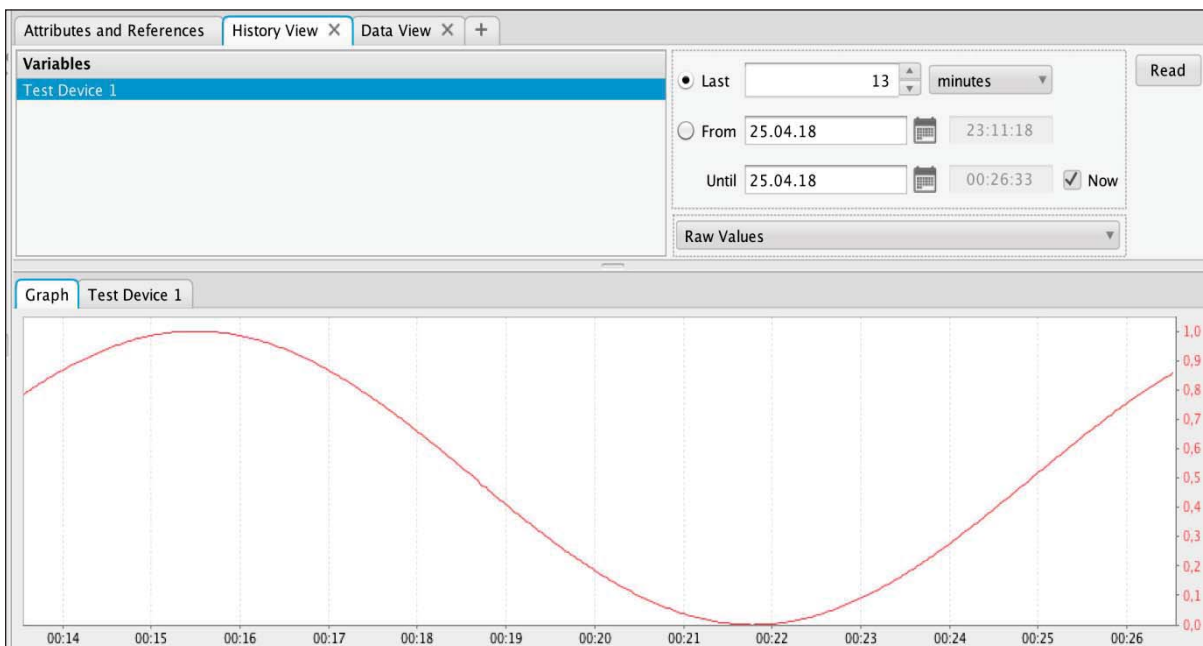


Рис. 5. Історичні дані значень тестової змінної

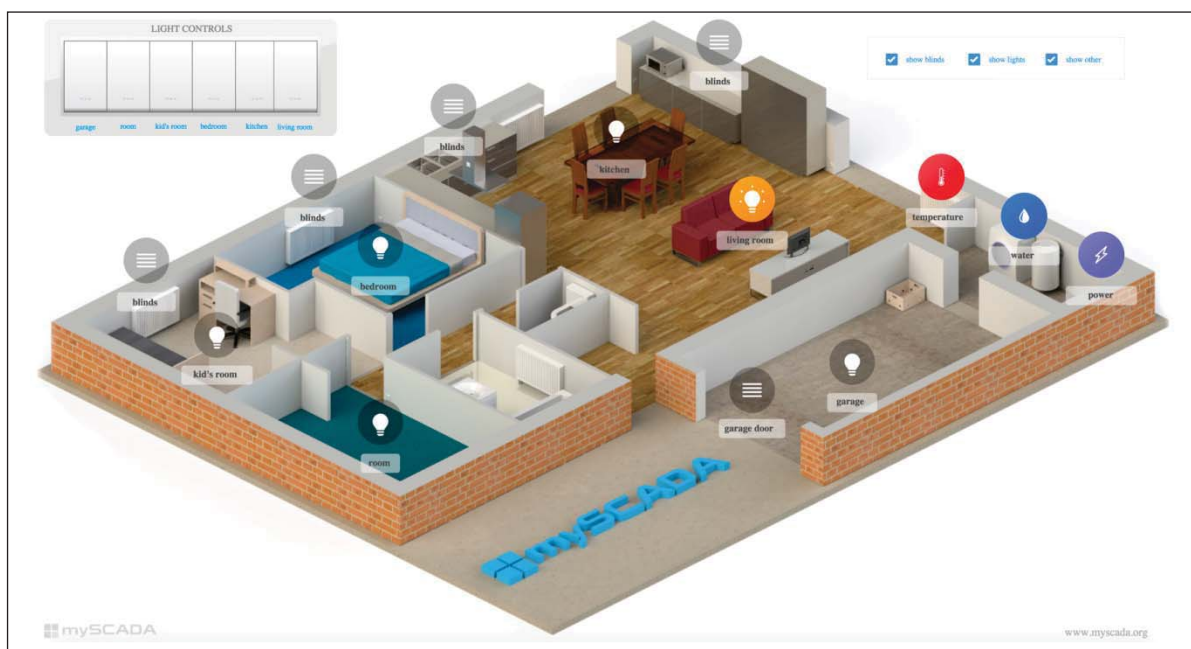


Рис. 6. Приклад інтерфейсу myScada для управління Z-Wave-пристроями за допомогою специфікації OPC UA

інших методів, які безпосередньо взаємодіють із Z-Wave-пристроями.

Наприклад, для домашньої автоматизації можливе використання SCADA-системи з веб-інтерфейсом mySCADA [10], що дає можливість авторизованого доступу до системи з будь-якої точки планети через інтернет. Програмне забезпечення myDESIGNER дозволяє проектувати зручні інтерфейси для контролю й управління пристроями розумного будинку з комунікаційним шаром OPC UA (рис. 6).

**Висновки.** Досліджено способи взаємодії пристроїв із технологією зв'язку Z-Wave та іншими системами автоматизації. Засобами JavaScript створений OPC UA-сервер на базі

мікро-комп'ютера Raspberry Pi, який взаємодіє із Z-Wave-пристроями через HTTP-запити специфічної структури і виконує роль інформаційного шлюзу між Z-Wave та іншими учасниками інформаційного простору системи автоматичного керування об'єктом. Описана процедура налаштування програмного середовища та розроблення OPC UA-сервера. Наведені приклади роботи сервера в тестовому режимі та з підключенням промислової SCADA як клієнта демонструють широкі можливості впровадження таких рішень. Така зв'язка дає можливість використовувати будь-яку SCADA-систему з підтримкою специфікації OPC UA для малої автоматизації, де всі пристрої мають безпроводний інтерфейс.

#### Список літератури:

1. Schleipen M., Lüder A., Sauer O., Flatt H., Jasperneite J. Requirements and concept for Plug-and-Work. Adaptivity in the context of Industry 4.0. *Automatisierungstechnik*. 2015. Vol. 63. Issue 10. P. 801–820. DOI: 10.1515/auto-2015-0015.
2. Henssen R., Schleipen M. Interoperability between OPC UA and Automation ML. *Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution*. Procedia CIRP. 2014. Volume 25. P. 297–304. DOI:10.1016/j.procir.2014.10.042.
3. Schleipen M., Sauer O., Wang J. Semantic integration by means of a graphical OPC Unified Architecture (OPC UA) information model designer for Manufacturing Execution Systems. 43rd CIRP International Conference on Manufacturing Systems, 26–28 May 2010. Vienna. P. 633–640.
4. Paetz C. *Z-Wave Basics: Remote Control in Smart Homes*. 2015. 300 p.
5. Shete R., Agrawal S. IoT based urban climate monitoring using raspberry pi. *Communication and Signal Processing (ICCSP)*. 2016, P. 2008–2012.
6. Build OPC UA applications in JavaScript and NodeJS. URL: <http://node-opcua.github.io> (дата звернення: 22.05.2018).

7. Hall J., Ramsey B., Rice M., Lacey T. Z-Wave network reconnaissance and transceiver fingerprinting using software-defined radios. International conference on cyber warfare and security. 2016, P. 163–171.
8. Fouladi B., Ghanoun S. Security evaluation of the Z-Wave wireless protocol / Presented at Blackhat, Fouladi, Ghanoun, 2013. USA. URL: [http://neominds.org/download/zwave\\_wp.pdf](http://neominds.org/download/zwave_wp.pdf) (дата звернення: 22.05.2018).
9. Rohjans S., Piech K., Lehnhoff S. UML-based modeling of OPC UA address spaces for power systems: IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems. 2013. P. 209–214.
10. mySCADA Technologies – Professional HMI/SCADA Solution. URL: <https://www.myscada.org> (дата звернення: 22.05.2018).

### **ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ Z-WAVE В ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ OPC UA**

*В статье рассматриваются предпосылки, процедура и перспективы реализации OPC UA-сервера для интеграции протокола Z-Wave в информационное пространство по концепции Industry 4.0. Проведен анализ функциональных возможностей аппаратных устройств технологии Z-Wave и специализированного программного обеспечения. Описаны последовательность создания OPC UA-сервера и настройка программной среды на аппаратной платформе Raspberry Pi. Продемонстрирована возможная сфера применения предлагаемого решения в автоматизации инженерных систем интеллектуальных зданий.*

**Ключевые слова:** Industry 4.0, Z-Wave, OPC UA, автоматизация интеллектуальных зданий, Raspberry Pi.

### **INTEGRATION OF Z-WAVE TECHNOLOGY IN THE INFORMATION SPACE OF INDUSTRIAL AUTOMATION WITH OPC UA**

*The article discusses the preconditions, procedure and prospects for the implementation of the OPC UA server for integration of the Z-Wave protocol into the information space under the Industry 4.0 concept. The analysis of functional possibilities of Z-Wave hardware devices and specialized software was carried out. Describes the process of creating the OPC UA server and configuring the software environment on the Raspberry Pi hardware platform. The possible application of the proposed solution in the automation of engineering systems of intellectual buildings is demonstrated.*

**Key words:** Industry 4.0, Z-Wave, OPC UA, Intelligent Buildings Automation, Raspberry Pi.