

УДК 621.3.019.3

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.195-202>

В.В. Смірнов, доц., канд. техн. наук, **Н.В. Смірнова**, доц., канд. техн. наук,
Ю.М. Пархоменко, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м Кропивницький,
Україна*

e-mail: swckntu@gmail.com

Бездротова локальна мережа класу Smart Home на базі модулів сплітерів-репітерів

Наведено опис архітектури бездротової локальної мережі розробленої для використання в житлових приміщеннях. Описано базові модулі, розроблені для забезпечення кластеризації і сегментації груп об'єктів мережі. Модулі дозволяють розподілити загальний трафік в мережі по різних каналах, що знижує ймовірність виникнення колізій. Описана концепція роботи бездротової мережі на основі кластеризації і сегментації. Наведено структуру експериментальної бездротової мережі з низьким рівнем випромінювання на частоті 2.4 GHz. Представлений результат порівняльної оцінки рівня випромінювання між трансиверами мережі і пристроями Wi-Fi, який підтверджує правильність технічних рішень, використаних при створенні мережі.

бездротова мережа, архітектура, контролер, кластер, спліттер, хаб, комутатор

Постановка проблеми. В даний час для створення бездротових локальних мереж в житлових приміщеннях з метою вирішення завдань домашньої автоматизації і управління побутовою технікою використовуються різні технології і мережеве обладнання.

Установка таких мереж в житлових приміщеннях на пострадянському просторі не є поширеним явищем у зв'язку з відносно високою вартістю технічного обладнання мереж і складністю їх установки.

Однак, існує велика кількість ентузіастів, які проектують і встановлюють локальні мережі в домашніх умовах.

Як правило, архітектура мереж побудована на використанні серверів і протоколів MQTT, а в якості мережевого обладнання використовуються модулі Arduino і Raspberry P, чіпи ESP8266, ESP32 і BlueTooth, модулі GSM і трансивери 2.4 GHz.

Недоліком MQTT взаємодії об'єктів мережі слід вважати його залежність від можливості доступу об'єктів мережі до MQTT сервера.

Одним з найважливіших факторів при експлуатації бездротової домашньої мережі є безпека для людини. Пристрої Wi-Fi є джерелами електромагнітного випромінювання в НВЧ діапазоні 2,4 GHz і 5 GHz.

В процесі установки бездротової мережі фактор безпеки далеко не завжди враховується і житловий простір в приміщеннях перенасичений пристроями Wi-Fi.

Тому існують проблеми:

- проблема установки бездротової мережі класу Smart Home користувачами без відповідної кваліфікації;
- проблема обмеженого вибору архітектури та технічного обладнання мережі;
- проблема безпечної експлуатації бездротової мережі в житлових приміщеннях.

Аналіз досліджень і публікацій. Існує ряд стандартів для бездротових мереж. На їх основі реалізуються мережеві архітектури на базі різних технологій.

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

Мережа на основі Wi-Fi працює в діапазонах 2,4 і 5 GHz і забезпечує високу пропускну здатність. До недоліків технології можна віднести обмежену кількість одночасних з'єднань, відносно великий час встановлення з'єднання (до 10 секунд) і відносно великий струм споживання.

Мережевий стандарт IEEE 802.15.4 реалізуються 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 мати 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.

Мережа Z-Wave на основі ITU-T G.9959 [7-8] дозволяє створювати комірчасті мережі, що самоорганізуються. Однак, для створення контролерів мережі необхідно мати сертифікат союзу Z-Wave Alliance на правах члена Full Member.

Мережевий стандарт IEEE 802.16 реалізуються технологією WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) [9-10]. У цій технології реалізуються концепція множинного доступу з поділом за часом (TDMA).

Однак, технологія вимагає використання базових станцій, абонентських станцій і обладнання для організації зв'язку між базовими станціями.

Це не відповідає концепції створення локальної мережі малої вартості для будинку або невеликих господарських об'єктів.

Постановка задачі. Авторами розроблений варіант реалізації бездротової мобільної мережі [11,12], але для мережі класу Smart Home він є надмірним. Тому необхідно розробити полегшену версію мережі класу Smart Home, яка повинна забезпечити:

- стабільну взаємодію об'єктів мережі при зміні її топології;
- обмін даними між об'єктами мережі без локального MQTT сервера;
- безпечний для людини сумарний рівень випромінювання передавачів трансиверів і мінімальний рівень перешкод в діапазоні 2.4 MHz;
- можливість установки, настройки і експлуатації мережі силами некваліфікованого користувача.

Для вирішення цих завдань необхідно розробити відповідну архітектуру, мережеве обладнання та системне програмне забезпечення бездротової локальної мережі.

Виклад основного матеріалу. У локальних бездротових мережах Smart Home обмін даними між об'єктами мережі реалізуються через локальний MQTT сервер.

Така архітектура мережі має два недоліка. Один полягає в тому, що при відмові або недоступності локального 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 MQTT сервером і також стати некерованим.

Для того, щоб цього не сталося, трансивер вузла мережі повинен забезпечити підвищену потужність передавача.

Тому архітектура розробленої мережі не передбачає використання MQTT сервера в якості засобу обміну даними між вузлами мережі.

Архітектура мережі також передбачає кластеризацію, сегментування груп об'єктів і механізм маршрутизації пакетів в мережі. Функції маршрутизатора виконують координатори кластерів, підмереж і сегментів мережі. Координатором групи може стати будь-який об'єкт мережі з більшим логічним номером в групі об'єктів.

Обмін інформацією в мережі здійснюється на основі методу CSMA / CD, тобто в умовах постійного конфлікту за доступ до середовища передачі, що значно знижує трафік в мережі.

Розв'язана задача ефективного використання загального трафіку в мережі шляхом логічного поділу всіх об'єктів мережі на групи, кожна з яких працює на різних каналах, не втручаючись у трафік сусідньої групи.

Ширина смуги пропускання кожного каналу - 1MHz, кількість каналів - 128.

Точки доступу Wi-Fi мають смугу пропускання 20-40 MHz і відповідно, меншу кількість каналів. Тому об'єкту мережі з пропускнуою здатністю 1MHz легше знайти вільний канал, ніж вузлу Wi-Fi.

Завдання зменшення колізій між об'єктами мережі вдалося вирішити шляхом створення спеціального обладнання на базі чіпа Waken 2461 [13]. На базі двох трансиверів створений модуль спліттера (роздільника) каналів обміну даними, який також виконує функцію репитера (повторювача) (рис. 1).

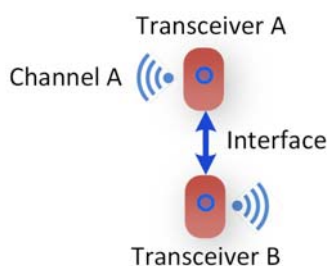


Рисунок 1 – Модуль спліттера - репитера

Джерело: розроблено авторами

За допомогою спліттера-репитера (S / R) можна збільшити фізичну протяжність мережі і з'єднати як окремі об'єкти мережі (рис. 2), так і сукупність об'єктів, організованих в кластери, сегменти і підмережі (рис. 3).

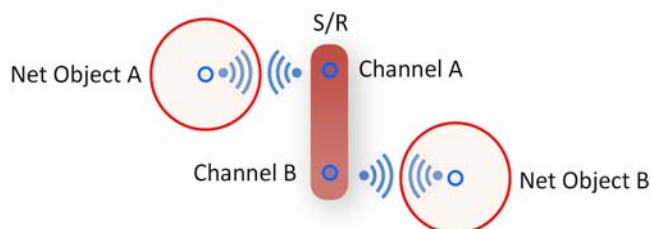


Рисунок 2 – З'єднання двох об'єктів мережі за допомогою спліттера-репитера

Джерело: розроблено авторами.

Розподіл каналів (Ch_A ... Ch_D) необхідно для виключення впливу різних груп мережевих об'єктів на загальний канал передачі даних.

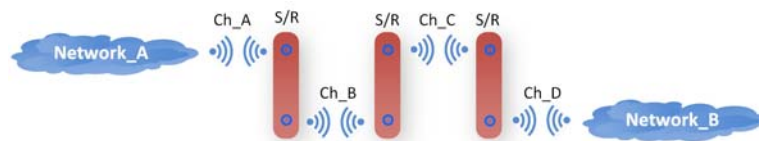


Рисунок 3 – З'єднання груп об'єктів за допомогою ланцюжка сплітерів-репітерів
Джерело: розроблено авторами.

Для забезпечення гнучкості архітектури бездротової мережі розроблені модулі дротового (Wired) і бездротового (Wireless) хабів (HUB) і комутаторів (Switch). Структура модулів дротового і бездротового хабів представлена на рис. 4.

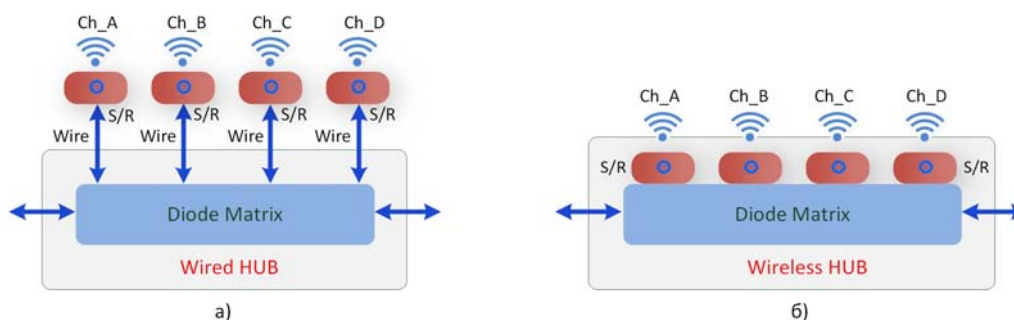


Рисунок 4 – Модулі дротового а) і бездротового б) хабів

Джерело: розроблено авторами.

Модулі сплітерів-репітерів з'єднуються з хабом за допомогою дротового з'єднання, що дозволяє розподілити окремі сегменти мережі по різних приміщеннях крізь перешкоди, що викликають загасання сигналу на частоті 2.4 GHz, таких, як залізобетонні стіни, металеві покриття і перегородки, водні резервуари і т.д.

Бездротовий хаб відрізняється від дротового тим, що сплітери-репітери конструктивно інтегровані в корпус хаба і є цілісною конструкцією. Модуль бездротового хаба призначений для об'єднання координаторів сегментів мережі в єдиний адресний простір у межах області дії трансиверів.

Модулі хабів об'єднують всі підключені сегменти мережі в загальний адресний простір, при цьому можлива ситуація конфлікту координаторів сегментів мережі за доступ до середовища передачі.

В умовах невисокого трафіку в мережі застосування хабів цілком достатньо для вирішення завдань автоматизації і управління об'єктами мережі.

Однак, якщо трафік між сегментами мережі досить високий, доцільно забезпечити їх з'єднання з поділом загального потоку трафіку на кілька незалежних потоків по різних каналах передачі даних.

Для вирішення цього завдання був створений дротовий і бездротовий модуль комутатора (рис.5).

На відміну від хаба, комутатор включає в себе контролер, який комутує модулі сплітерів-репітерів відповідно до адреси пакета даних.

Призначення і застосування дротового і бездротового варіанту модулів комутатора аналогічно області застосування хабів. Тобто, при наявності перешкод, що викликають велике загасання сигналу мережі або при великому видаленні сегментів

мережі в умовах недостатньої потужності передавачів трансиверів, доцільно використання застосування дротового модуля комутатора.

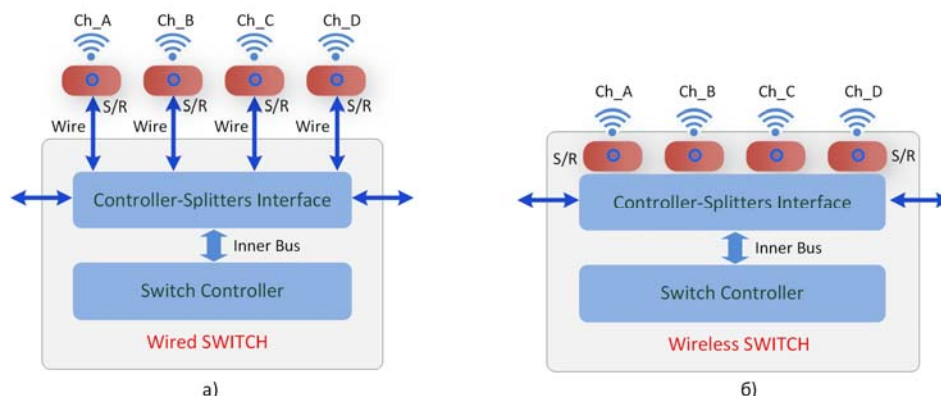


Рисунок 5 – Модулі дротового а) і бездротового б) комутатора

Джерело: розроблено авторами.

Для перевірки правильності архітектурних, алгоритмічних і схмотехнічних рішень, використаних при розробці мережевих модулів була створена експериментальна бездротова локальна мережа Smart Home.

Локальна мережа включає в себе 30 об'єктів, які згруповані в чотири кластери і дві підмережі, об'єднані двома комутаторами і одним сплиттером-репитером (рис 6).

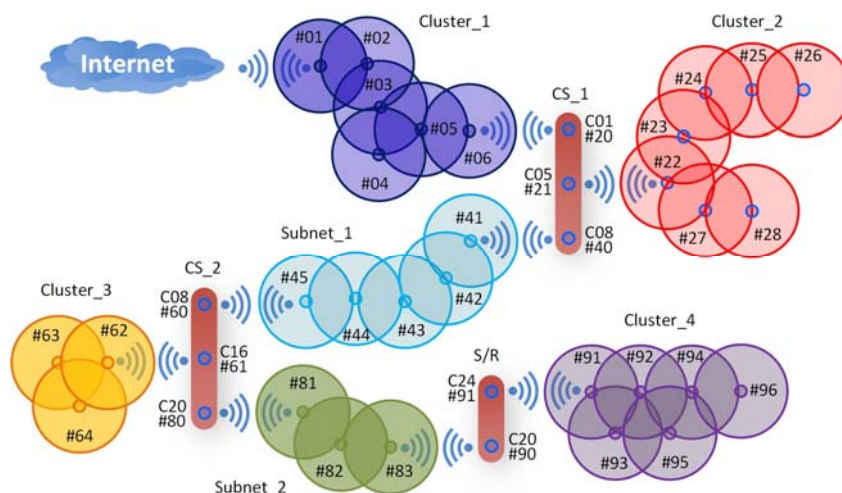


Рисунок 6 – Експериментальна бездротова локальна мережа Smart Home

Джерело: розроблено авторами.

У процесі моніторингу мережі будь-яких збоїв і порушень в роботі мережі не спостерігалось. При значному збільшенні загального трафіку мережі в тестовому режимі відзначалися невеликі затримки в передачі мережевих пакетів тривалістю до 10 мс.

Затримки обумовлені як завантаженістю радіоканалу перешкодами від об'єктів Wi-Fi, так і конфліктами об'єктів мережі в межах кластерів і підмереж.

Також була створена спеціальна програма для оцінки параметрів бездротової мережі.

Оцінка рівнів сигналів в діапазоні 2.4 GHz показує, що сумарне випромінювання від 30 об'єктів мережі Smart Home на 35 dB менше, ніж від 5 Wi-Fi об'єктів (рис. 7).

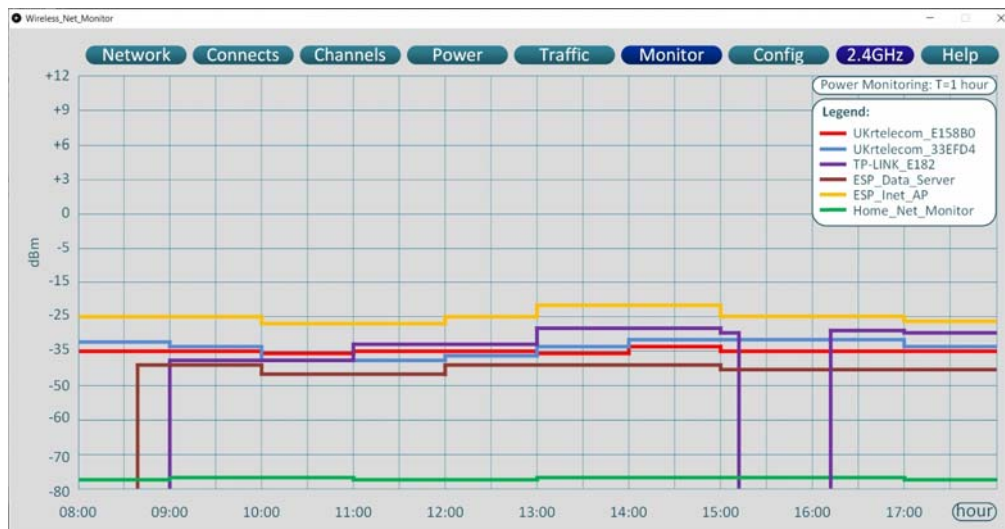


Рисунок 7 – Оцінка рівнів СВЧ випромінювання через бездротову локальну мережу Smart Home
Джерело: розроблено авторами.

Висновки. Встановлено, що архітектура бездротової мережі, заснована на кластеризації і сегментації груп об'єктів мережі і поділ каналів середовища передачі даних сприяє підвищенню якісних характеристик мережі.

Зменшено кількість колізій, обумовлених властивостями методу доступу до середовища передачі CSMA / CD, тим самим знижені тимчасові затримки в процесі обміну даними між об'єктами мережі.

Розроблені модулі сплітерів-репітерів є основою для побудови модулів хабів і комутаторів. Використання цих мережевих модулів дає можливість створювати бездротову мережу Smart Home з довільною топологією.

Невисока вартість і простота установки мережі сприяє її широкому розповсюдженню в секторі автоматизації побутових пристроїв в рамках концепції Smart Home.

Низький рівень випромінювання в діапазоні 2.4 GHz є необхідною умовою для безпечної експлуатації бездротової локальної мережі в житлових приміщеннях.

Таким чином, при створенні бездротової мережі Smart Home з використанням технічних рішень на основі модулів сплітерів-репітерів вирішені поставлені завдання:

- забезпечена стабільна взаємодія об'єктів мережі при зміні її топології;
- реалізований обмін даними між об'єктами мережі без локального MQTT сервера;
- досягнутий безпечний для людини сумарний рівень випромінювання передавачів трансиверів і мінімальний рівень перешкод в діапазоні 2.4 MHz;
- реалізована можливість установки, настройки і експлуатації мережі силами некваліфікованого користувача.

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 звернення: 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 звернення: 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 звернення: 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 звернення: 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 звернення: 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 звернення: 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 звернення: 30.09.2020).
8. Recommendation G.9959. URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.9959-201202-I/en> (дата звернення: 30.09.2020).
9. WiMAX Forum. URL: <http://wimaxforum.org> (дата звернення: 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 звернення: 30.09.2020).
11. Смірнов В.В., Смірнова Н.В. Архітектура контролера вузла адаптивної мобільної мережі з аморфною топологією. Центральноросійський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. праць. 2020. Вип. 3(34). С. 12-21. URL : <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10422>
12. Смірнов В.В., Смірнова Н.В. Архітектура адаптивної бездротової локальної мережі для управління об'єктами і пристроями *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2020. Вип. 50. С. 219-229. URL : <http://zborniksgm.kntu.kr.ua/pdf/50/28.pdf>
13. BK2461 Datasheet - FLIP51 MCU+RF : Beken Corporation. 95 p. URL :<http://www.bekencorp.com/index/goods/detail/cid/6.html> (дата звернення: 10.06.2021).

Referencis

1. Brian Verenkoff. (July 2011). Understanding and Optimizing 802.11n. 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). Arkhitektura kontrolera vuzla adaptivnoyi mobil'noyi merezhi z amorfnoyu topolohiyeyu [Adaptive mobile network with amorphous topology node controller architecture]. *Tsentral'noukrayins'kyi naukovyy visnyk. Tekhnichni nauk: Zb. nauk. prats' – Central ukrainian scientific bulletin. Technical sciences. Vol. 3(34)*. 12-21. Retrieved from : <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10422> [in Ukrainian].
12. Smirnov, V.V. & Smirnova, N.V. (2020). Arkhitektura adaptivnoyi bezdrotovoi lokal'noyi merezhi dlya upravlinnya ob'ektamy i prystroyamy [Adaptive wireless LAN architecture for object and device management]. *Konstruiuvannya, vyrobnyctvo ta ekspluatatsiya sil'skohospodars'kykh mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Vol. 50*. 219-229. Retrieved from : <http://zborniksgm.kntu.kr.ua/pdf/50/28.pdf> [in Ukrainian].
13. BK2461 Datasheet (2015). FLIP51 MCU+RF : Beken Corporation. 95 p. Retrieved from : <http://www.bekencorp.com/index/goods/detail/cid/6.html> [in English].

Volodymyr Smirnov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Natalia Smirnova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci, **Yuriy Parkhomenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Wireless Smart Home LAN Based on Splitters-repeater Modules

The purpose of the article is develop a wireless local area network for residential use. The article contains a description of the created channel splitter modules. The module also acts as a repeater. On the basis of repeater splitter module designed network modules hubs and switches. The hub and switch has two versions: wired and wireless. The wired version is used in conditions of a large amount of interference and a large signal attenuation.

Smart Home wireless LAN is built on the splitters-repeaters modules basis, hubs and switches. The network does not support the MQTT protocol. The network is divided into clusters and segments and supports packet routing.

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. The local wireless network is designed to control an Internet of Things objects.

wireless network, architecture, controller, cluster, splitter, hub, switch

Одержано (Received) 04.10.2021

Прорецензовано (Reviewed) 09.10.2021

Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021