

**ТЕХНОЛОГІЇ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ
З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ ТА БЕЗДРОТОВИХ
СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ В НАПІВНАТУРНОМУ
МОДЕЛЮВАННІ**

Вступ. Основне завдання технологій Інтернету речей (ІоТ) – виключити або мінімізувати участь людини в роботі ІТ-інфраструктури. Вдосконалення технологій має відбуватись шляхом повної автоматизації процесів управління групами пристроїв через обмін інформацією між різними датчиками [1, 2].

Звичайні вбудовані системи представляють собою спеціалізовані системи, призначені для виконання окремих завдань або функцій у більшій системі, які працюють деякий час, без взаємодії з користувачем та мають особливі апаратні та програмні складники. До таких систем можна віднести смарт-телевізори, монітори серцевого ритму, контролери подушок безпеки, автоматичні системи гальм.

Для вбудованих систем з використанням ІоТ та бездротових сенсорних мереж або просто вбудованих систем ІоТ характерним являється наявність зв'язку з хмарними онлайн-сервісами, присутність компонентів підключення, зокрема шлюзів ІоТ. При роботі вбудованих систем ІоТ потрібне налаштування хмарного середовища для керування даними, проектування інтерфейсів користувача, остаточне тестування.

Далі наведено приклади вбудованих систем з використанням Інтернету речей та бездротових сенсорних мереж.

Розумні термостати. Ці пристрої можуть автоматично змінювати температуру в будинку на основі вподобань користувача і зовнішніх умов. Вони можуть бути підключені до Інтернету для віддаленого управління і перевірки.

Системи безпеки. Розумні замки, камери спостереження, датчики руху, які можуть відправляти повідомлення через мобільні додатки при виявленні підозрілої активності.

Медичні пристрої. Медичні прилади, які можуть повідомляти про поточний стан здоров'я пацієнта лікарям для віддаленого контролю.

Досліджено технології вбудованих систем з використанням ІоТ та бездротових сенсорних мереж. Запропоновано напівнатурне моделювання системи для охорони здоров'я хронічних хворих з використанням вбудованих систем ІоТ та бездротових сенсорних мереж.

Ключові слова: Інтернет речей, технології, ІоТ, бездротові сенсорні мережі, вбудовані системи ІоТ.

Промислові системи. Датчики, встановлені на виробничому обладнанні, які збирають дані про його роботу і допомагають передбачити поломки, що дозволяє проводити профілактичне обслуговування.

Розумні міста. Датчики, які перевіряють і керують міською інфраструктурою, зокрема, транспортними і енергетичними системами.

Ці приклади показують, що різні вбудовані системи ІоТ направлені робити наше життя більш зручним і безпечним [3].

Бездротові сенсорні мережі. Правильну роботу вбудованих систем забезпечують бездротові сенсорні мережі, які самоорганізуються та складаються з великої кількості датчиків і виконуючих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіосигналів.

Зокрема, наступні бездротові сенсорні мережі використовуються у вбудованих системах ІоТ: RFID, NFC, Bluetooth, BLE, Wi-Fi / 802.11, Z-Wave, Zigbee, LoraWan, 4G LTE, 5G, Cat-M1, NB-IoT, Cat-M2, Sigfox.

Сучасні бездротові мережі характеризуються набором параметрів, серед яких можна виділити наступний базовий набір: смуга використовуваних частот; швидкість передачі даних; структура пакета, що передається; методи авторизації, реєстрації пристроїв (сенсорів, шлюзів, серверів) та захисту даних; дальність дії; енергоефективність (споживана потужність); методи модуляції сигналу; методи управління частотною смугою, поділу та ущільнення каналів.

Кінцеві пристрої (датчики або сенсори) збирають дані і передають їх на шлюзи. Шлюзи відправляють дані на мережевий сервер, який керує мережею і маршрутизацією даних. Сервер додатково обробляє дані і представляє їх користувачу через інтерфейси і додатки.

В табл. 1 наведено рекомендації щодо сфер застосування бездротових мереж у вбудованих системах ІоТ [4].

ТАБЛИЦЯ 1. Застосування бездротових мереж у вбудованих системах ІоТ

Мережа (стандарт)	Сфера застосування
Bluetooth (BLE) (IEEE 802.15.1)	Побутова електроніка
Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Для дому та офісу
Z-Wave	Для домашніх пристроїв
Zigbee	Енергетичні домашні системи автоматизації та медичні пристрої
(LoRaWAN)	Передача даних на далекі відстані, мале енергоспоживання, високий рівень проникнення сигналу
(4G LTE)	Отримувати відомості чи оновлення в реальному часі від обмеженої кількості пристроїв
(5G)	Забезпечує високу швидкість завантаження і підключення до великої кількості пристроїв
(Sigfox)	Перевірка пристроїв, що знаходяться на великих відстанях від базової станції, таких як лічильники газу та води, телеметричні системи та системи моніторингу стану обладнання.

Характеристики деяких бездротових сенсорних приведено в табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2. Результати порівняння бездротових сенсорних мереж

Мережа (стандарт)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	Wi-Fi (IEEE 802.11b)	Bluetooth(BLE) (IEEE 802.15.1)
Смуга використовуваних частот (Гц)	Від 2,4 до 2,483		
Швидкість передачі даних(Кбіт/сек)	250	11000	723,1
Час безперервної автономної роботи від акумулятора (дні)	Від 100 до 1000	Від 0,5 до 5	Від 1 до 10
Максимальна кількість вузлів у мережі	65536	10	7
Дальність дії(м)	Від 10 до100	Від 20 до300	Від 10 до 100

Апаратні та програмні складники. Вбудовану систему IoT не можна ототожнювати з мікросхемою IoT. Мікросхема IoT звичайно може включати мікроконтролери, датчики та комунікаційні інтерфейси і бути лише частиною вбудованої системи IoT. Вбудована система IoT охоплює весь пристрій, поєднує у собі апаратне та програмне забезпечення потрібне для виконання конкретної задачі, а також для зв'язку з Інтернетом та хмарним середовищем.

Апаратні компоненти вбудованих систем це і одноплатні процесори такі як Arduino Uno, що показують функції GPS, різних датчиків або інтерактивних дисплеїв. На мікрокомп'ютері Raspberry Pi 2, який належить до апаратури вбудованих систем IoT може працювати система Windows 10, а також IoT Core [5–7].

У вбудованих системах IoT використовуються Linux або Unix-подібні операційні системи, такі як Ubuntu Core або Android. Мови програмування у вбудованих системах IoT: C, C++, Java, Python, В#. Обробкою даних, прийняттям рішень керує програмне забезпечення, яке включає драйвери пристроїв для датчиків та виконавчих механізмів, протоколи зв'язку, логіку конкретної програми. У вбудованій системі IoT трансляцію між різними протоколами, а також кодування та декодування даних виконують шлюзи [8, 9].

Безпечність. Вбудовані системи з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж також мають бути безпечними. Для захисту вбудованих систем IoT від кіберзагроз потрібно застосовувати шифрування використовуваної ними інформації, автентифікацію та інші високонадійні засоби безпеки. Низькі заходи безпеки можуть привести до порушення конфіденційності користувача, розкриття його даних, зниження довіри до надійності системи. При розробці програмного забезпечення вбудованих систем IoT необхідно подбати про його захист та невразливість.

Канали зв'язку повинні бути захищеними. Не допускати витоку з інформаційної системи. Ретельно слідкувати, щоб не було шкідливих програм, кібератак. Оскільки вбудовані системи обслуговують галузі, що працюють у сфері медицини, торгівлі, фінансів, логістики, то потрібна особливо надійна безпека, щоб не нашкодити тисячам людей. Заходи безпеки для вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж впровадити значно складніше, ніж у звичайні гаджети з підключенням до Інтернету. Адже складно захистити малі датчики та мікропроцесори на апаратному рівні, інструменти безпеки збільшать вартість і час їх виробництва. А такі пристрої повинні виготовлятися швидко і бути дешевими [10].

Системи з використанням вбудованих систем IoT ведуть від об'єднання комп'ютерів і людей до об'єднання “розумних” об'єктів або речей за допомогою Інтернету (рис.1).

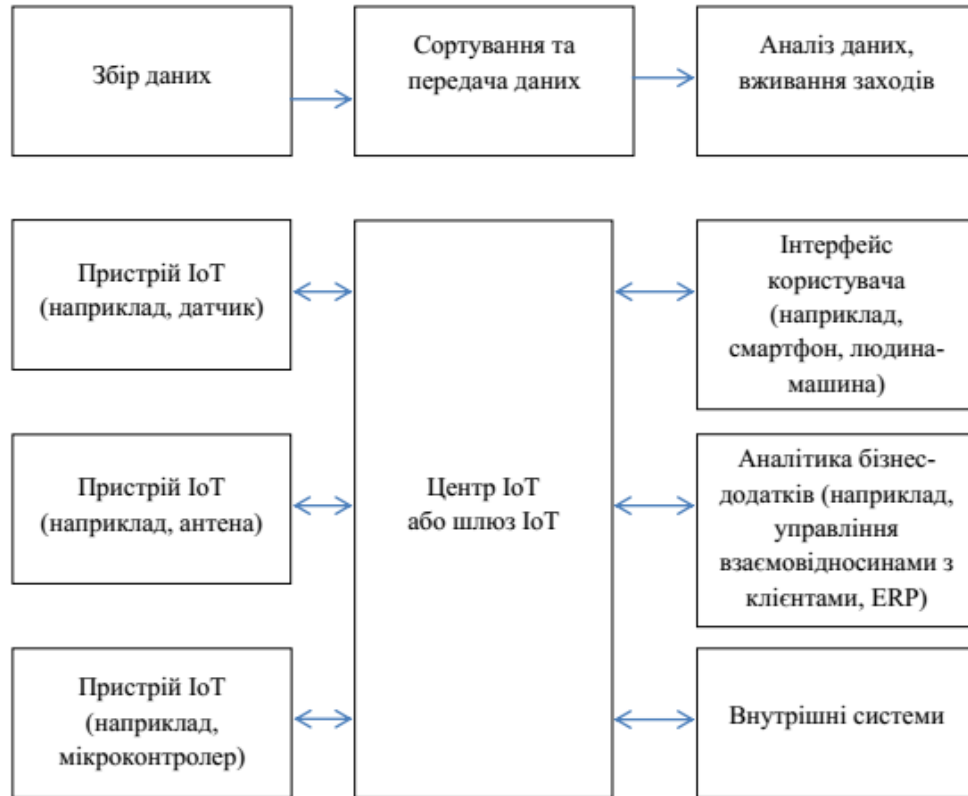


РИС.1. Приклад системи з використанням вбудованих систем IoT

Вбудовані системи IoT в системі охорони здоров'я. Напівнатурне моделювання – це моделювання, при якому частина системи моделюється, а інша частина – реальна [11]. Як приклад використання вбудованих систем IoT запропоновано наступне напівнатурне моделювання електронної системи охорони здоров'я для хронічних хворих. Останні потребують постійного спостереження за своїм здоров'ям, але знаходження їх у стаціонарі лікарень потребує значних економічних затрат на систему охорони здоров'я. Пропонується забезпечення хорошого спостереження за такими хворими з допомогою системи IoT, яка використовує мережі з високою пропускнуою здатністю і низькою затримкою.

5G – це стандарт технології п'ятого покоління для широкополосних стільникових мереж. Як відомо, перше покоління (1G) було зосереджено на голосовій передачі інформації. 2G представило можливості текстових повідомлень, а 3G добавило дані. 4G пришвидшив процес передачі, а 5G ще більше підвищує швидкість передачі даних для більшої кількості користувачів.

Технологія 5G забезпечує вищу пропускну здатність, менші затримки і втрати, ніж попередні технології, які використовувались з цією метою. Розглянемо напівнатурне моделювання спостереження за хронічними хворими у системі електронної охорони здоров'я з використанням вбудованих систем IoT.

Елементи архітектури включають пристрої, що носить хворий для збору даних і смартфон на стороні пацієнта для передачі даних, отриманих від пристроїв (рис. 2).



РИС. 2. Пристрої віддаленого моніторингу пацієнтів у розумній системі охорони здоров'я

База даних з розумною системою, подає сигнал тривоги, коли виявить щось аномальне в отриманих показниках від пацієнта. Інтелектуальна база даних має бути створена з використанням машинного навчання на основі великих даних, отриманих з різних лікарень, і даних, отриманих від пацієнта, для діагностики і генерації сигналів тривоги. Слід зауважити, що інформаційна система HELSI, яка працює в Україні не повідомляє пацієнта про відхилення у здоров'ї, зробити це може тільки лікар після перевірки результатів аналізів. Звичайно це робиться з затримкою у часі, що негативно впливає на лікування пацієнта.

Для малої кількості користувачів достатньо 4G технології, що вже доступна в нас. Якщо кількість користувачів більша, час проходження сигналу туди і назад значно збільшується. Тому для спостереження за великою кількістю пацієнтів потрібна мережа 5G, яка забезпечує низькі затримки і гарантує доступність ширини пропускання для всіх користувачів.

ІоТ принесе користь електронній системі охорони здоров'я. Пристрої, які носять пацієнти для моніторингу електронної охорони здоров'я з використанням 5G принесуть ряд переваг для хронічних хворих за рахунок скорочення часу госпіталізації і збільшення тривалості життя за рахунок швидкого реагування на сигнали тривоги. У випадку тривоги лікарі зможуть віддалено проглядати показники життєдіяльності хворих і швидше реагувати на сигнали тривоги.

Технології широкосмугового бездротового доступу зазнали багато змін. Технологія 5G, як нове покоління мобільних мереж, буде розгорнута із щільними малими стільниками. Вона запропонує значно збільшену пропускну спроможність та гарантує користувачам високу якість обслуговування. Ці переваги сприяють тому, що 5G надає безліч типів послуг, таких як ІоТ, хмарні обчислення, потокове відео HD 3D та інтерактивні програми для мобільних користувачів. Однак переваги цієї технології полягають у збільшенні швидкості передачі даних та розширенні пропускну спроможності.

На даний час, кількість різних пристроїв, підключених до мережі, досягла 50 мільярдів. Крім того, трафік з мобільних пристроїв становитиме близько двох третин загального IP-трафіку. Отже, пропускну здатність мереж має бути значно збільшена, щоб задовольнити ці високі швидкості передачі даних та задовольнити надмірні вимоги користувачів без зниження якості обслуговування.

Багато програм були розроблені так, щоб бути адаптивними та уникати погіршення параметрів мережі (наприклад, адаптивне потокове відео). Ці додатки більш гнучкі та дозволяють надавати інтегровані послуги у гетерогенних мережах. Архітектура мережі 5G включає стільники різних розмірів (фемтостільники, пікостільники, мікростільники і макростільники), покриття яких становить

10–20 м, 200 м, 2 км і 30–35 км відповідно, і зазвичай використовує різноманітний доступ до мережі (технології, UMTS, HSPA, WiMAX, LTE, Wi-Fi).

Висновки. В роботі проаналізовано технології вбудованих систем з використанням ІоТ та бездротових сенсорних мереж. Галузь застосування: розробка вбудованих систем ІоТ та їх впровадження у різні галузі життя, зокрема, в охорону здоров'я хронічних хворих. Доведено, що основна мета вбудованих систем з використанням ІоТ та бездротових сенсорних мереж – робити наше життя більш зручним і безпечним.

Розглянуто досить актуальні проблеми сучасного світу. Загальні витрати підприємств у сфері ІоТ за інформацією Глобальної панелі управління витратами підприємств на Інтернет речей можуть досягнути суми в 525 мільярдів доларів до 2027 року. Цьому сприятиме саме розвиток рівня технологій. Зокрема, через доступність недорогого апаратного обладнання з низьким енергоспоживанням. Наприклад, датчики та мітки RFID, бездротові мережі та нові стільникові мережі мають високу пропускну здатність необхідну для роботи вбудованих систем ІоТ.

З допомогою вдосконалених алгоритмів машинного навчання можна швидко аналізувати дані. Хмарні обчислення допомагають у передаванні та зберіганні великої кількості даних потрібних для роботи вбудованих систем ІоТ.

Слід прийняти до уваги, що в сучасному світі багато проблем, які мають вирішуватись із допомогою вбудованих систем ІоТ. Наприклад, зменшити або зовсім зупинити викиди вуглекислого газу, побороти такі загрозливі явища, як лісові пожежі та повені. Провідні світові компанії інвестують у розробки на основі ІоТ, щоб це стало реальністю. Виробництво електромобілів веде до зменшення споживання викопного палива, зокрема, провідні автомобільні компанії працюють над збільшенням своїх електропарків. Зростання стимулюватиме впровадження 5G та стільникового зв'язку з низьким енергоспоживанням, завдяки їм пристрої зможуть працювати практично повсюдно.

Список літератури

1. Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології Інтернету речей. Навчальний посібник, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/dcd9e1aa-8bcc-4e76-b1e0-ed133bf616b2/content>
2. Learn IoT – IoT Tutorials – DataFlair. <https://data-flair.training/blogs/iot-tutorials-home/> (звернення: 08.01.2025)
3. Розкрийте вбудовані системи ІоТ. <https://www.dusuniot.com/uk/blog/unveil-iot-embedded-system/> (звернення: 08.01.2025)
4. Технологии и протоколы интернета вещей. <https://azure.microsoft.com/ru-ru/solutions/iot/iot-technology-protocols> (звернення: 08.01.2025)
5. Перри Л. Архитектура интернета вещей. 2018. 453 с. <https://books.google.com.ua/books?id=S92rDwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
6. Getting Started with Arduino UNO. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno> (звернення: 08.01.2025)
7. Петін В.А. Arduino и raspberry pi в проектах internet of things. 2018. 432 с. <https://www.gstu.by/sites/default/files/files/resources/2018/05/petin.pdf>
8. Муромцев Д.И., Шматков В.Н. Интернет Вещей: Введение в программирование на arduino. 2018. 36 с. <http://cwer.ws/node/464506/>
9. Документація Google Cloud IoT Core. <https://cloud.google.com/iot/docs> (звернення: 08.01.2025)
10. Sosnenko K.P., Samolyuk T.A. Modeling of processes of intellectual collection, recognition and transmission of information in semi-natural modeling systems. *Тези XXXIX Міжнародна конференція "Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності" (PDMU-2024)*. 2024. С. 129–130.
11. Яковлев Ю.С., Тимашов О.О., Єлісеєва О.В., Курзанцева Л.І. Система напівнатурного моделювання з використанням смарт-технологій. *Математичні машини і системи*. 2020. № 3. С. 105–114. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2020-3-105-114>

Одержано 08.01.2025

Самоліук Тамара Андріївна,
молодший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.
tamara.samoliuk@ukr.net

УДК 004.45.71

Т.А. Самолюк

Технології вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж в напівнатурному моделюванні

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ
Листування: tamara.samoliuk@ukr.net

Вступ. Інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) – це концепція розвитку Інтернет-технологій у напрямку автоматизації та виключення людської участі з більшості процесів IT-інфраструктури. Для вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж або просто вбудованих систем IoT характерним являється наявність зв'язку з хмарними онлайн-сервісами, присутність компонентів підключення, зокрема шлюзів IoT. При роботі вбудованих систем IoT потрібне налаштування хмарного середовища для керування даними, проектування інтерфейсів користувача, остаточне тестування.

У статті проведено дослідження з аналізу існуючих бездротових сенсорних мереж, їх переваги і недоліки та перспективи подальшого розвитку. Проведені дослідження апаратно-програмного забезпечення, необхідного для функціонування вбудованих систем Інтернету речей. Приведено опис напівнатурного моделювання системи охорони здоров'я хронічних хворих з використанням технологій вбудованих систем IoT.

Мета роботи. Описати методику та критерії відбору апаратних та програмних засобів для ефективного використання в технологіях вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж, що, у свою чергу, дозволяє використовувати ці результати у напівнатурному моделюванні різних систем, наприклад, системи охорони здоров'я хронічних хворих.

Результати. Проведені дослідження підтверджують необхідність використання наведених засобів для ефективного відбору та застосування програмних та апаратних засобів необхідних у вбудованих системах з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж. Зокрема, їх застосування у системі охорони здоров'я хронічних хворих.

Висновки. Загальні витрати підприємств в сфері IoT за інформацією Глобальної панелі управління витратами підприємств на Інтернет речей можуть досягнути суми в 525 мільярдів доларів до 2027 року. Цьому сприятиме саме розвиток рівня технологій. Зокрема через доступність недорогого апаратного обладнання з низьким енергоспоживанням. Наприклад датчики та мітки RFID, бездротові мережі та нові стільникові мережі мають високу пропускну здатність необхідну для роботи вбудованих систем IoT.

В статті проаналізовані технології вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж. Галузь застосування: розробка вбудованих систем IoT та їх впровадження в різні галузі життя, зокрема в охорону здоров'я хронічних хворих, Стаття доводить, що основною метою вбудованих систем з використанням IoT та бездротових сенсорних мереж є робити наше життя більш зручним і безпечним.

Ключові слова: Інтернет речей, технології, бездротові мережі, вбудовані системи IoT, сенсори.

UDC 004.45.71

Т.А. Samoliuk

Embedded Systems Technologies Using IoT and Wireless Sensor Networks in Semi-Real-Time Modeling

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv
Correspondence: tamara.samoliuk@ukr.net

Introduction. The Internet of Things (IoT) is a concept for the development of Internet technologies in the direction of automation and exclusion of human participation from most IT infrastructure processes. Embedded systems using IoT and wireless sensor networks or simply embedded IoT systems are characterized by the presence of communication with cloud online services, the presence of connection components, in particular IoT gateways. The operation of embedded IoT systems requires the configuration of a cloud environment for data management, the design of user interfaces, and final testing.

The article conducts research on the analysis of existing wireless sensor networks, their advantages and disadvantages, and prospects for further development. Research on the hardware and software necessary for the functioning of embedded Internet of Things systems is conducted. A description of the semi-real-life modeling of the healthcare system for chronically ill patients using embedded IoT systems technologies is provided.

The purpose of the paper is describe the methodology and criteria for selecting hardware and software tools for effective use in embedded systems technologies using IoT and wireless sensor networks, which, in turn, allows using these results in semi-real-time modeling of various systems, for example, a healthcare system for chronic patients.

Results. The conducted studies confirm the need to use the above tools for effective selection and application of software and hardware tools required in embedded systems using IoT and wireless sensor networks. In particular, their application in the healthcare system for chronic patients.

Conclusions. According to the Global Enterprise Spending Management Panel on the Internet of Things, total enterprise spending in the IoT sector may reach \$525 billion by 2027. This will be facilitated by the development of the level of technology. In particular, due to the availability of inexpensive hardware with low power consumption. For example, RFID sensors and tags, wireless networks and new cellular networks have high bandwidth necessary for the operation of embedded IoT systems.

The article analyzes the technologies of embedded systems using IoT and wireless sensor networks. Field of application: development of embedded IoT systems and their implementation in various areas of life, in particular in the healthcare of chronically ill patients. The article proves that the main goal of embedded systems using IoT and wireless sensor networks is to make our lives more convenient and safe.

Keywords: Internet of Things, technologies, wireless networks, embedded IoT systems, sensors.