

УДК 004.415:004.738.5

Євгеній Хоменко

Херсонський державний університет, Херсон, Україна

ORCID 0000-0002-5972-7410

**СУЧАСНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ
РЕАЛІЗАЦІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ ІОТ (INTERNET OF THINGS)**

DOI 10.14308/ite000782

У статті представлено аналіз сучасних методів, моделей та інструментів, що використовуються у процесі створення та оптимізації систем Інтернету речей (IoT). Детально розглянуто різноманіття підходів і програмних рішень, що відображає динамічне зростання у сфері автоматизації, які активно розвиваються як провідними міжнародними ІТ-компаніями, такими як Google, Apple та Xiaomi, так і вітчизняними фірмами, зокрема AJAX, і здобувають популярність на ринку. У статті висвітлено важливість IoT у різних аспектах сучасного життя, включаючи енергоефективність, безпеку та оптимізацію бізнес-процесів. Автор акцентує увагу на постійному розвитку технологій, що відкривають нові можливості для користувачів та сприяють поліпшенню якості їхнього життя. Розглянуто також інтеграцію IoT у різні сфери діяльності, що може призвести до значного позитивного впливу на суспільство та економіку. Окрім того, у статті подано огляд історії розвитку наряду інтернету речей, представлено еволюцію та ключові віхи у цій галузі. Розглянуто також сучасні комунікаційні технології, які є основою для IoT пристроїв. Автор визначає базові критерії, яким повинні відповідати сучасні надійні системи, аналізуючи їх із погляду ефективності, масштабованості та безпеки. Стаття також містить аналіз кількох популярних готових системних рішень, представлених на ринку. Для кожного з них наведено характеристики, переваги, недоліки та унікальні особливості. Це дає можливість глибше зрозуміти різноманітність доступних варіантів та допомагає у виборі відповідної системи в залежності від їхніх індивідуальних потреб і бюджету. Стаття є корисним ресурсом для тих, хто шукає оновлену та вичерпну інформацію про сучасні системи IoT та їх впровадження.

Ключові слова: *Internet of Things, методи керування пристроями, засоби автоматизації, системи автоматизації*

Вступ. Розробленню та впровадженню IoT на цей час присвячено багато праць і наукових розробок. Актуальність цієї тематики є вельми виразною і популярною в сучасному цифровому світі, оскільки технологічний процес стрімко розвивається, як ніколи трансформуючи наше повсякденне життя. Розумні будинки та IoT стають не тільки реальністю, але й важливою частиною концепції «розумного міста». Ця концепція інтерпретувалася у більшості сфер нашого життя: власна оселя, бізнес, медицина, системи охорони, маркетингу й інші сфери. Водночас системи не лише забезпечують зручність і комфорт життя, але й можуть вирішувати проблеми сталого розвитку, енергоефективності та безпеки. За останні десятиліття розвиток технологій значно вплинув на ставлення людства до технологій, створюючи нові технологічні пристрої та покращуючи доволі старі та звичні пристрої новими функціями.

Зараз існує безліч пристроїв, з якими можна взаємодіяти поза межами будинку, використовуючи лише телефон. Цей аспект приніс у життя людства гнучкість відносно використання власного часу, адже достатньо лише раз автоматизувати свої буденні процеси, щоб у майбутньому не витратити на рутинну роботу свій час або не перейматися про безпеку власної оселі. Саме цей комфорт, який вносять сучасні технології у наше життя, зробило їх популярними. На сьогодні будь-який користувач може підібрати собі систему для вирішення своїх задач незалежно від розмірів приміщення (власна будівля або велике підприємство), так і



за фінансовими можливостями. Завдяки цьому світ стає більш зв'язаним запровадженням «розумних концепцій», представниками яких є інтернет речей та «розумний» будинок [1].

Ураховуючи широке розповсюдження та важливість розвитку технологій Інтернету речей (IoT) у сучасному світі, основною метою цього огляду є надання всебічного аналізу сучасних методів, моделей та інструментів, які використовуються у створенні та оптимізації IoT-систем. Це включає дослідження того, як IoT трансформує різні аспекти нашого життя (від особистих просторів до бізнес-середовищ) та впливає на ключові сфери, такі як енергоефективність, безпека та сталий розвиток. Огляд також покликаний проаналізувати тенденції і напрями розвитку IoT, включаючи варіативність і доступність технічних рішень для різних користувачьких потреб, з метою надання глибокого розуміння потенціалу цих технологій та їхнього майбутнього розвитку.

Виклад основного матеріалу. За результатами дослідження компанії Cisco визначаємо, що масовий перехід до «Інтернету речей» відбувся між 2008 і 2009 роками. З цього часу можна стверджувати, що кількість пристроїв, які з'єднані з глобальною мережею Інтернет, перевищила кількість населення Землі [2]. На основі статистичного вебсайту в 2015 році через мережу було підключено понад 15 мільярдів пристроїв IoT [3]. У 2020 році очікувалося вдвічі більше кількості, що перевищує 30 мільярдів пристроїв IoT. Загальний ринок пристроїв IoT коштуватиме понад 1 мільярд доларів США на рік [4].

Сучасний підхід до Інтернету речей (IoT) є популярним і широко використовується в різних галузях, таких як медицина, послуги, домашня автоматизація, готельний бізнес та охоронні служби. Концепція Internet of Things виникла як результат розвитку та розширення ідеї «Розумного будинку».

Розумні будинки є галуззю повсюдних обчислень, що передбачає включення розумності в помешкання для забезпечення комфорту, охорони здоров'я, безпеки та енергозощадження [5]. Функціонально система пов'язує між собою всі електроприлади будівлі, використовуючи телекомунікаційні та вебтехнології, що надає можливість керувати централізовано системою через інтернет. Розумні будинки пропонують кращу якість життя завдяки впровадженню автоматизованого контролю приладів і допоміжних послуг, оптимізують комфорт користувача за допомогою усвідомлення контексту та попередньо визначених обмежень [6]. Користувач може керувати побутовою технікою та пристроями віддалено, що дозволяє йому або їй виконувати завдання раніше. Системи зовнішньої розвідки, які здійснюють моніторинг розумних будинків, іноді оптимізують використання електроенергії домогосподарства [7].

Розвиток технології «Інтернет речей» (IoT) припадає на далекий 1950 рік, коли в журналі "Popular Mechanics" з'явилася стаття під назвою "Push-Button Manor". Автором цього інноваційного підходу був американський інженер, який вирішив зробити свій будинок дійсно «розумним». Він обладнав кожную кімнату безліччю електричних пристроїв і встановив кнопки для їх керування. Завдяки цим кнопкам він зміг дистанційно вмикати та вимикати радіо, відчиняти двері гаража і керувати іншими пристроями у будинку. Однак найцікавішою частиною була автоматизована система сигналізації, яку він вбудував у будинок, забезпечуючи його не лише функціональністю, але й високим рівнем безпеки. Для реалізації цього проєкту інженер використав понад 2 кілометри кабелю. Важливо відзначити, що всі ці кабелі та проміжні пристрої були відмінно приховані в стінах та підлозі будинку, що робило цю систему не лише передовою для свого часу, а й визначною точкою в історії розвитку Розумного будинку та IoT [8].

Найзначніші етапи розвитку технології "Internet of Things" охоплюють період із 1960 років по сьогоднішній день. Активний розвиток технології відбувався в межах 2000-2010 років [9]. Інтернет речей активно використовується в кожному сегменті сфери діяльності людини – промисловість, бізнес, охорона здоров'я, споживчі товари та інше [4].

Основними критеріями для систем «Інтернет речей» є :

1. *Легкість управління та інтеграція.* Система повинна бути легкою у використанні, зручною для користувача і здатною інтегруватися з іншими пристроями та системами.
2. *Безпека.* Забезпечення високого рівня безпеки для ваших даних і фізичного приміщення. Це може включати системи відеоспостереження, сигналізації та захист від несанкціонованого доступу.
3. *Енергоефективність.* Можливість ефективного управління енергоспоживанням, у такий спосіб забезпечуючи оптимальну енергоефективність будинку.
4. *Автоматизація та сценарії.* Здатність програмувати різні сценарії для автоматизації рутинних операцій або подій у будинку.
5. *Сумісність з пристроями.* Можливість взаємодії та сумісності з різними розумними пристроями та платформами [10].
6. *Масштабованість.* Здатність розширення та адаптації системи відповідно до змін потреб користувача.
7. *Доступність інформації.* Забезпечення зручного доступу до інформації про стан системи та віддаленого управління через мобільні додатки або інтернет.
8. *Вартість інфраструктури.* Урахування витрат на встановлення та обслуговування системи, зокрема вартості розумних пристроїв та їхньої інфраструктури.
9. *Приватність і дані.* Захист особистих даних та забезпечення приватності користувача у процесі використання системи.
10. *Підтримка сучасних і декількох протоколів зв'язку одночасно.* Комбінування декількох протоколів зв'язку надає можливість обрати більш доцільні та економічно вигідні пристрої для розв'язання поставлених задач [11].

Зв'язок між пристроями в IoT здійснюється за допомогою провідних та безпроводних протоколів. Протокол – це набір правил, які дозволяють пристроям мережі встановити захищений та надійний зв'язок для обміну даними. Більшість пристроїв у «розумних домах» використовують безпроводні з'єднання, оскільки вони є зручнішими для пересічного користувача, але провідні підключення є більш швидкими та надійними [12]. На рис. 1 зображено сучасні протоколи зв'язку, які використовуються в пристроях IoT. Кожен із протоколів має як свої переваги, так і недоліки, тому користувачу необхідно на початку ознайомитися з ними, щоб побудувати свою систему, найбільш ефективно використовуючи переваги кожного в залежності від факторів. У сучасний час активно використовуються бездротові комунікаційні технології, такі як: Wi-Fi [13], Zigbee [14], Bluetooth Low Energy (BLE) [15], Thread, Matter [16]. Сучасні системи взаємодіють не лише з локальними мережами, а і глобальними для взаємодії з користувачем поза будинком і відстеження його місцеположення для виконання певних автоматизацій. До цих протоколів належать GPRS, 3G, 4G та 5G [17]. Великою популярністю внаслідок надійності та високої швидкості користуються рішення пристроїв, що використовують для підключення мережу Ethernet. Для пристроїв, що працюють на інфрачервоній частоті, для віддаленого контролю було розроблено пристрої, що керують такими пристроями та взаємодіють із системою за допомогою інших комунікаційних технологій, таких як Zigbee або WiFi [18].

КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІoT СЕРЕДОВИЩІ

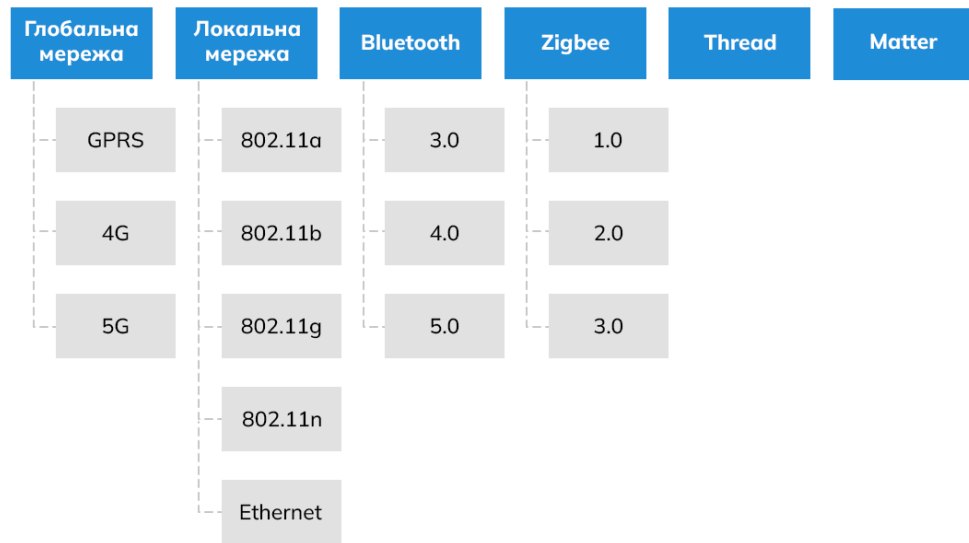


Рис. 1. Комунікаційні технології в ІoT середовищі

Системи Internet of Things вже широко відомі та добре зарекомендували себе. Як наслідок, провідні ІТ-компанії вирішили зайняти цю сферу. До таких компаній належать Apple, Google, Amazon, Xiaomi та інші. За оцінками, на сьогодні лише в нашій країні діє приблизно сотня компаній, які спеціалізуються на створенні проєктів для автоматизації та забезпечення безпеки будинків. Однак важливо відзначити, що на українському ринку переважно використовується імпортне обладнання для збудованих систем. Вартість упровадження такої системи може починатися від 2-3 тисяч євро [19]. Такий рівень інтересу та розвитку відображає важливість і популярність ІoT у сучасному житті.

На ринку представлено безліч готових систем для створення своєї системи для вирішення потреб користувача:

MiHome

Додаток MiHome (рис. 2) є офіційним мобільним застосунком [20] від Китайської компанії Xiaomi, спрямованим на забезпечення контролю та управління їхніми розумними пристроями для дому. Це програмне забезпечення розроблене для спрощення взаємодії з широким спектром розумних пристроїв Xiaomi та інших пристроїв, які використовують стандарти комунікації, розроблені цією компанією.

У роботі з системою можуть виникати проблеми, пов'язані з прив'язкою певних пристроїв до певного регіону, які не завжди можливо вирішити. Система має голосового помічника, але він працює лише в пристроях, призначених для Китаю, та підтримує лише китайську мову. Інтеграція в інші популярні системи – обмежена, якщо в Google Home додати пристрої є можливість, то в HomeKit можливість відсутня. Популярність цього рішення зумовлена низькою ціною стартового набору та великою кількістю серверів у всьому світі [21].

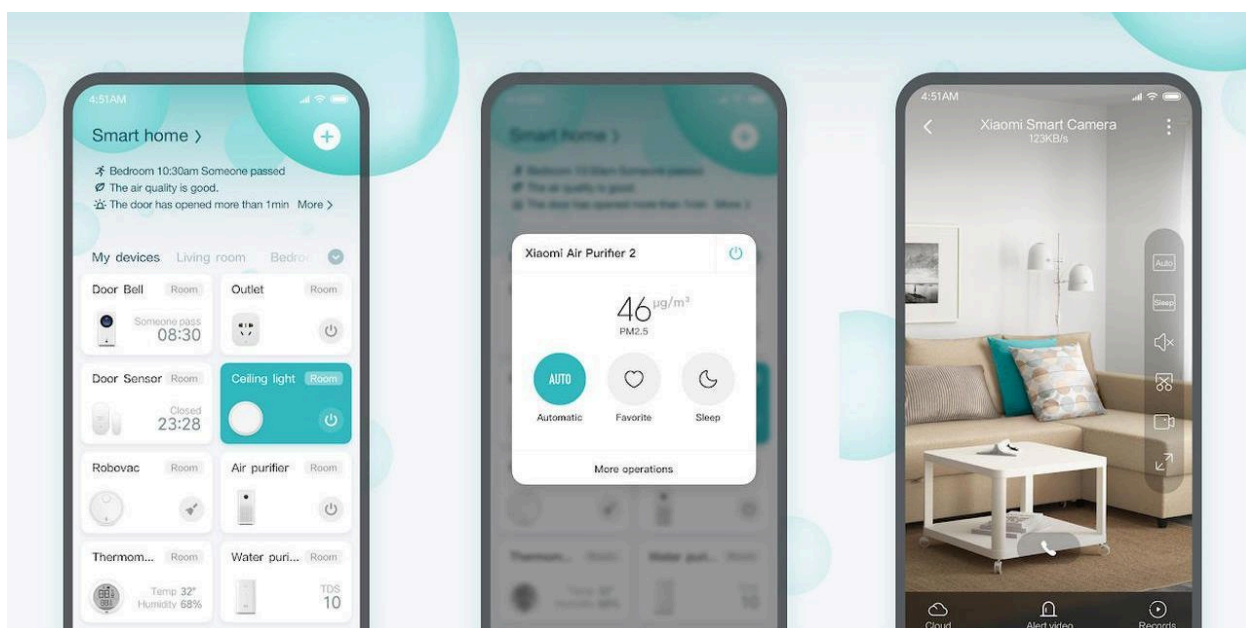


Рис. 2. Додаток «MiHome» від компанії Xiaomi

Переваги та недоліки MiHome

Переваги системи:

- Широкий асортимент пристроїв: Xiaomi пропонує різноманіття розумних пристроїв, включаючи освітлення, камери, датчики, розетки тощо.
- Доступна вартість: багато пристроїв Xiaomi приваблюють споживачів доступною ціною порівняно з іншими брендами.
- Інтеграція з іншими екосистемами: продукція Xiaomi може інтегруватися з іншими розумними екосистемами, такими як Google Home та Amazon Alexa, що робить її більш універсальною.
- Додаток MiHome: MiHome дозволяє зручно керувати всіма пристроями в одному додатку, надає можливість налаштувань та сценарії автоматизації, а також ділитися своєю системою з іншими користувачами.
- Інновації та постійне оновлення: Xiaomi відома своїми інноваційними рішеннями та системними оновленнями, які можуть покращувати функціонал пристроїв.
- Підтримка декількох протоколів зв'язку – Bluetooth, Zigbee та WiFi.
- Часткова залежність від інтернет-підключення завдяки режиму прямого біндингу та локальних автоматизацій.

Недоліки системи:

- Обмежена локалізація деяких пристроїв: деякі пристрої Xiaomi можуть мати обмежену локалізацію або підтримку, що може бути проблемою для користувачів поза ключовими ринками, що унеможливує використання пристроїв поза зоною їх регіону.
- Проблеми з безпекою: як і з будь-якими підключеними до мережі рішеннями IoT, існують питання щодо безпеки та конфіденційності даних.
- Залежність від хмарних сервісів: деякі функції та взаємодія пристроїв можуть вимагати доступ до хмарних сервісів, що може призвести до обмежень у випадку відсутності Інтернет-з'єднання.
- Можливість конфліктів з іншими пристроями: при використанні різних брендів розумних пристроїв можуть виникати проблеми із сумісністю та інтеграцією.
- Найважна колонка з голосовим асистентом доступна лише для Китаю і підтримує лише китайську мову.

Apple HomeKit

Додаток Apple HomeKit є технологічною платформою [22], що являє собою комплексну технологічну екосистему, яка надає можливості для створення розумного будинку, використовуючи пристрої IoT. Як запевняє компанія, технологію засновано на принципах інновацій. Екосистема від Apple пропонує інтегроване управління розумними пристроями та взаємодію з електронікою в домі, виготовленою відповідно до високих стандартів компанії, і надає користувачу широкі можливості при використанні інших пристроїв з їх екосистеми. Система вирізняється використанням механізмів безпеки, таких як шифрування та аутентифікація, для забезпечення захищеного обміну даними між пристроями та платформою. Одним із найголовніших критеріїв є підтримка голосового асистента – Siri. За допомогою голосового асистента можна керувати іншими пристроями в домі, отримувати інформацію про стан приладів в оселі та змінювати їх стан за допомогою голосу [23]. HomeKit має можливість додавати у свою систему пристрої інших виробників, якщо виробник зробив їх ПЗ сумісне з даною системою.

Переваги та недоліки HomeKit.

Переваги системи:

- HomeKit гармонійно вписується в екосистему Apple, забезпечуючи повну сумісність із пристроями iPhone, iPad, Apple Watch та Mac.
- Платформа акцентує на високому рівні безпеки та захисту приватності, використовуючи ефективно шифрування та аутентифікацію.
- Забезпечує зручне голосове управління за допомогою особистого асистента Siri, що додає високий рівень інтерактивності та зручності користування.
- Відзначається розширеною системою автоматизації та сценаріїв, які можна легко програмувати для оптимізації роботи розумних пристроїв.
- Забезпечує можливість віддаленого керування розумним будинком через сервіс iCloud, що дозволяє користувачам здійснювати контроль навіть здалеку.
- Наявна можливість інтеграції в систему пристроїв сторонніх виробників.
- Підтримка протоколу Matter.

Недоліки системи:

- HomeKit обмежений вибором сумісних пристроїв, і виробники повинні відповідати специфікаціям Apple, що може обмежувати вибір.
- Вартість розумних пристроїв від Apple вище, порівняно з конкурентами, що може створювати бар'єр для входження нових користувачів.
- Повний функціонал доступний тільки в тому випадку, якщо користувач вже використовує продукцію Apple, що може обмежити привабливість для тих, хто вибирає інші марки.
- HomeKit працює ефективно лише в екосистемі Apple, що може ускладнювати інтеграцію з іншими платформами.
- Залежність від інтернет-підключення.

Google Home

Додаток Google Home (рис. 3) є системою, розробленою компанією Google [24], призначеною для впровадження концепції «розумного будинку». Платформа базується на використанні штучного інтелекту, голосового керування та підключення до Інтернету для створення ефективної та зручної системи управління різноманітними пристроями та послугами в оселі користувача. Взаємодіяти з системою користувач може як за допомогою мобільного додатку, так і за допомогою голосу, що значно полегшує досвід роботи з системою. Google Home підтримує інтеграцію з різноманітними розумними пристроями та платформами, такі як освітлення, термостати, аудіо- та відеоапаратура, через протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth та Matter [25]. Саме ця відкритість та універсальність приваблює користувачів до цієї системи.

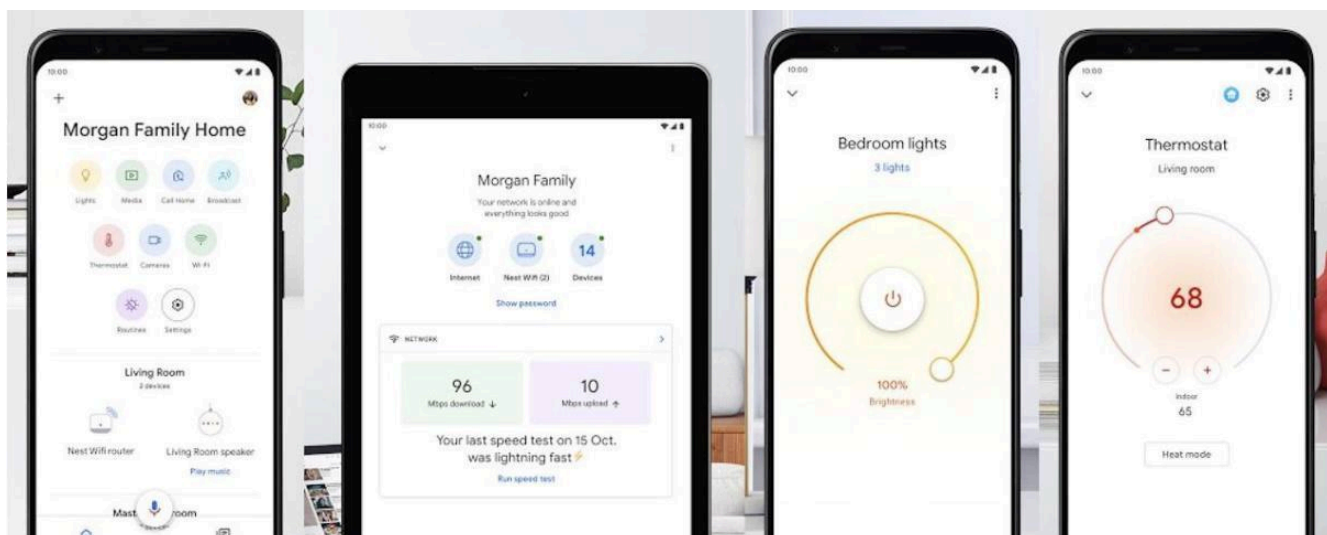


Рис. 3. Додаток «Google Home» від компанії Google

Переваги та недоліки Google Home.

Переваги системи:

- Наявність голосового керування та можливість керувати підключеними пристроями та отримувати інформацію за допомогою голосових команд.
- Google Home легко інтегрується з екосистемою Google, включаючи Google Assistant, YouTube, Google Calendar та інші сервіси.
- Є велика кількість підтримуваних пристроїв і виробників, що робить його універсальним рішенням для «розумного будинку».
- Користувачі можуть створювати персоналізовані сценарії та розклади для автоматизації певних дій у визначений час.
- Система володіє високим рівнем розпізнавання голосу та може адаптуватися до різних мовних акцентів та стилів.
- Можливість інтегрувати в систему пристрої та системи інших виробників для керування голосом.
- Підтримка декількох протоколів зв'язку –WiFi, Zigbee та Matter.

Недоліки системи:

- У порівнянні з іншими системами Google Home може бути менш гнучким у створенні складних автоматизованих сценаріїв, що може негативно вплинути на можливість покриття потреб користувача.
- Використання голосового асистента може створювати питання щодо приватності, оскільки пристрої з голосовим асистентом постійно працюють та опрацьовують звук, що може негативно вплинути на конфіденційність життя. Деякі дані можуть бути записані та використані для створення персональних рекламних пропозицій.
- Деякі пристрої можуть не підтримувати Google Home, що може створити обмеження для користувачів, які вже володіють конкретною технологією.
- Деякі функції можуть бути недоступними без стабільного інтернет-з'єднання, що може бути проблемою у випадку відключення мережі.

AJAX

Додаток Ajax Security Systems (рис. 4) – система, яку створила високотехнологічна компанія, що спеціалізується на створенні та виробництві інтелектуальних систем безпеки для дому та бізнесу [26]. Заснована в Україні, Ajax здобула визнання на світовому ринку завдяки своїм передовим технологіям та забезпеченню надійного захисту для користувачів. Система та датчики мають високий рівень надійності від пошкоджень, спроб їх підмінити або заглушити і сповістять користувача у таких випадках. Система на початку орієнтувалася на охоронний

сектор приміщень, але з часом компанія розширювала свій асортимент, створюючи нові пристрої, такі як реле, розетки, камери, датчики вогню та диму й інші [27]. На популярність системи впливає складність налаштування системи та висока ціна – 9000 гривень за стартовий набір, який складається зі шлюза, датчика руху, датчика відкриття та брелка сигналізації, що значно дорожче стартових наборів інших виробників.

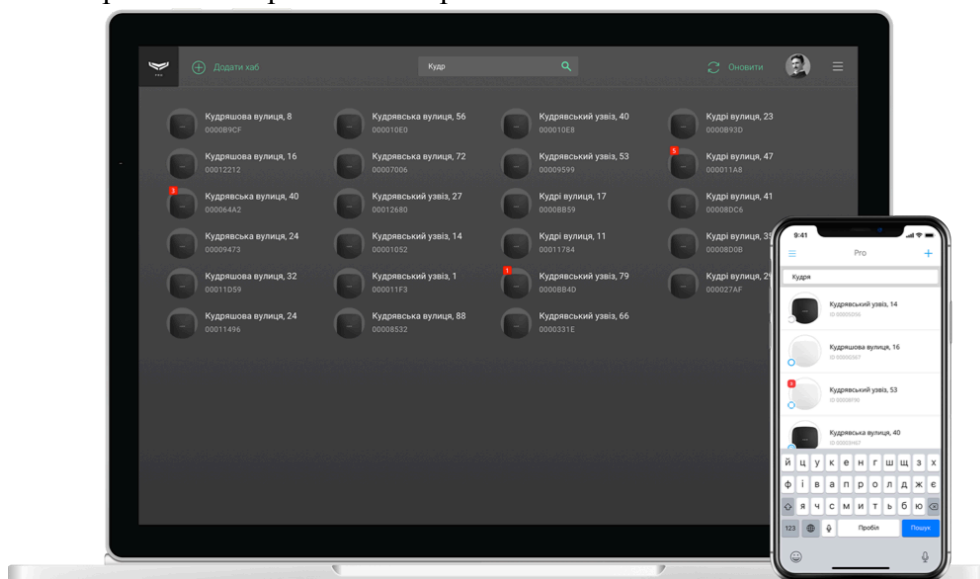


Рис. 4. Додаток «AJAX» від компанії AJAX System

Переваги та недоліки AJAX.

Переваги системи:

- Ажах відома своєю сфокусованістю на інноваціях у сфері безпеки. Вони впроваджують передові технології, такі як двостороння передача даних, шифрування та антисаботажні заходи.
- Однією з ключових переваг є використання бездротових технологій, що робить встановлення та налаштування системи Ажах простим і ефективним.
- Інтуїтивний і зручний інтерфейс додатків для смартфонів дозволяє користувачам легко керувати своєю системою безпеки з будь-якого місця.
- Ажах пропонує різноманіття пристроїв для різних потреб, включаючи датчики руху, відеокамери, датчики витoku газу та багато інших.
- Система відома своєю надійністю, а також можливістю інтеграції з іншими розумними системами та платформами, такими як Google Home та Amazon Alexa.
- Ажах систематично надає оновлення програмного забезпечення для підвищення ефективності та безпеки системи.

Недоліки системи:

- Продукти Ажах мають доволі високу ціну у порівнянні з іншими системами, що може бути стримувальним фактором для деяких користувачів.
- Оскільки багато функцій працюють через хмарні сервіси, існує залежність від стабільного інтернет-з'єднання.
- Для некваліфікованих користувачів налаштування може бути складними і необхідна буде допомога спеціаліста.
- Висока сумісність відносно власної лінійки продуктів Ажах та високий рівень захисту ускладнює інтеграцію з іншими виробниками.

Tuya Smart

Додаток Tuya Smart (рис. 5) – система, створена компанією Tuya Smart Inc [28], що надає інтегровані та інноваційні рішення для споживачів та бізнес-сегментів, використовуючи технологію «Розумний будинок». Технології та підхід спрямований на забезпечення ефективної і зручної автоматизації різноманітних пристроїв у домашньому оточенні. Система має зручний

інтуїтивний інтерфейс, пристрої цієї системи коштують значно дешевше, що робить цю систему привабливою для нових користувачів. Окрім цього, перевагою є використання пристроїв з різними протоколами зв'язку – WiFi, Bluetooth, Zigbee та Matter. Як наслідок, компанія має безпроводні пристрої, які працюють на протоколі WiFi і мають проблеми з енергоефективністю, але коштують дешевше, ніж аналогічні пристрої з протоколом зв'язку Zigbee або Matter. Можливості інтеграції пристроїв в інші системи досить широкі: можливість додати пристрої в інші екосистеми та керувати ними за допомогою голосового помічника від компанії Google, окрім цього, пристрої легко інтегруються до власних користувацьких серверів IoT [29].

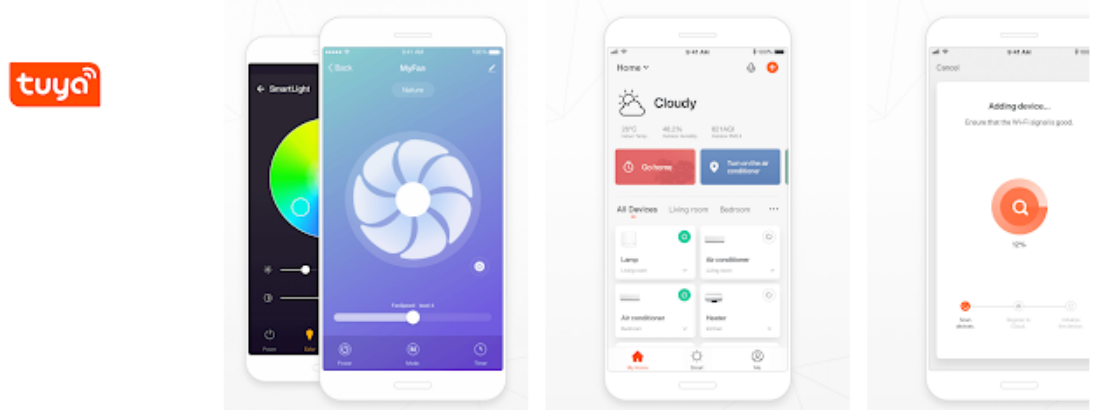


Рис. 5. Додаток «Tuuya Smart» від компанії Tuuya Smart Inc.

Переваги та недоліки Tuuya Smart.

Переваги системи:

- Tuuya Smart пропонує широкий асортимент розумних пристроїв, включаючи лампи, розетки, термостати, датчики руху та інші, що надає користувачам гнучкість у виборі продуктів для розумного будинку.
- Вироби, підтримувані Tuuya Smart, легко інтегруються з різними популярними платформами розумного дому, такими як Amazon Alexa, Google Assistant та Apple HomeKit.
- Мобільний додаток Tuuya Smart дозволяє користувачам віддалено керувати своїми розумними пристроями, створювати розумні сценарії та налаштовувати параметри за допомогою зручного інтерфейсу.
- Tuuya Smart пропонує інструменти для розробників, що дозволяють швидко створювати та інтегрувати розумні пристрої відповідно до власних потреб.
- Компанія активно розвивається, маючи глобальний вплив та партнерські відносини у багатьох регіонах світу.

Недоліки системи:

- Деякі функції можуть бути залежні від стабільного інтернет-з'єднання, що може викликати проблеми у разі відключення.
- Можливі проблеми зі стабільністю підключення між деякими розумними пристроями та головним хабом.
- Можливості налаштування та кастомізації інтерфейсу є більш обмеженими у порівнянні з конкурентами.
- Задля зменшення вартості пристроїв компанія використовує більш прості компоненти та протоколи, що негативно впливає на якість зв'язку, можливості та тривалості автономної роботи.

Висновки. Після аналізу наявних на ринку рішень у сфері IoT можна підтвердити, що інтерес та значимість цих технологій неухильно зростають із кожним роком. Сектор IoT демонструє швидке збільшення кількості доступних пристроїв, компаній, що пропонують ці рішення, а також методів та підходів у роботі систем. Інтеграція голосових помічників як приклад застосування Штучного Інтелекту для зручної взаємодії з системами є однією з

ключових інновацій, яка продовжуватиме поліпшувати користувацький досвід. Клієнти мають змогу обирати рішення, які відповідають їхнім технологічним потребам і фінансовим можливостям. Ознайомлення з наявними IoT-системами надає змогу користувачам визначити напрям для розробки власної системи, урахувавши такі аспекти, як вартість, безпека, функціональність і потенціал для майбутнього розвитку. Постійне дослідження та вдосконалення систем Інтернету речей великими IT-компаніями та ентузіастами сприяє прогресу в цій галузі, вносячи нові можливості та переваги. Це водночас позитивно впливає на продуктивність та зменшує навантаження, пов'язане з повсякденними завданнями, розширюючи функціональність і гнучкість використання цих систем.

До подальших перспектив досліджень автора слід віднести пошук рішень, що дозволив би об'єднати найкращі технічні та програмні засоби та імплементувати їх в окрему систему. Так ми б отримали систему, позбавлену більшості недоліків, що наявні у готових рішеннях та більшу гнучкість у побудові власної. Подібне рішення позитивно вплинуло би на функціонал, захист та вартість системи, а найголовніше – користувачі зможуть розвивати систему з тим функціоналом і пристроями, які вони вважають найбільш доречними до поставленої задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Himmat, Mubarak & Algazoli, Gada & Hammam, Nazar & Abdalla, Ashraf (2022). Review on the Current State of the Internet of Things and its Extension and its Challenges. *European Journal of Information Technologies and Computer Science*, 2, 1–5.
2. Cisco, Cisco Networking Academy. Introduction to IoT (2020). URL: <https://1331758.netacad.com/courses/1012514>
3. IHS, “IoT: number of connected devices worldwide 2012-2025,” Statista, 27-Nov-2016. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> (дата звернення – 24.10.2023).
4. Simadiputra, Vincent & Surantha, Nico (2021). Rasefiberry: Secure and efficient Raspberry-Pi based gateway for smarthome IoT architecture. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10, 1036.
5. Stojkoska, R., Trivodaliev, K. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of cleaner production*, 140, 1454–1464.
6. Robles, J., Kim, H. (2010). Applications, systems and methods in smart home technology: A. *Int. Journal of Advanced Science And Technology*, 15, 37–48.
7. Alam, Muhammad Raisul & Reaz, Mamun Bin Ibne & Mohd Ali, Mohd (2012). A Review of Smart Homes – Past, Present, and Future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics -Part C: Applications and Reviews*, 42, 1190–1203.
8. Railton, A., R. (1950). Push Button Manor, *Popular Mechanics Magazine*, 252, 85–87.
9. Tanwar, Sudeep & Patel, P. & Patel, K. & Tyagi, Sudhanshu & Kumar, Neeraj & Obaidat, Mohammad (2017). An advanced Internet of Thing based Security Alert System for Smart Home. 25–29. 10.1109/CITS.2017.8035326.
10. Mohammed Ghazi Sami, Teba & Zeebaree, Subhi & Ahmed, Sarkar (2023). A Novel Multi-Level Hashing Algorithm to Enhance Internet of Things Devices' and Networks' Security. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12, 676–696.
11. Tomaş, M. & Dostoğlu, N. (2020). Smart House with Artificial Intelligence. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 486–493.
12. Apostolos Gerodimos, Leandros Maglaras, Mohamed Amine Ferrag, Nick Ayres, Ioanna Kantzavelou (2023). Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 1–13.
13. Turgut Z., Kakisim A.G. (2023). An explainable hybrid deep learning architecture for WiFi-based indoor localization in Internet of Things environment. *Future Generation Computer Systems*, 151, 196–213.

14. Romputtal, A., Phongcharoenpanich C. (2023). T-Slot Antennas-Embedded ZigBee Wireless Sensor Network System for IoT-Enabled Monitoring and Control Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 10 (23), 20834–20845.
15. Al-Shareeda, M. A., Alsadhan, A. A., Qasim, H. H., Manickam, S. (2023). Long range technology for internet of things: review, challenges, and future directions. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12 (6), 3758–3767.
16. De Castro Tomé, M., Nardelli, P.H.J., Alves, H. (2019). Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (2), 1629–1637.
17. Gupta, N., Juneja, P. K., Sharma, S., Garg, U. (2023). An intelligent technique for network resource management and analysis of 5G-IoT smart healthcare application. *Journal of Autonomous Intelligence*, 7 (1), art. no. 694.
18. Singh, H., Pokhriyal, A., Sachan, A., Saxena M. (2023). SCPS: An IoT Based Smart Car Parking System. *Studies in Systems, Decision and Control*, 472, 533–542.
19. Паньків, В. Г. (2011). Український ринок систем автоматизації та диспетчеризації. *Мережі та бізнес системи*, 3, 58–62.
20. Smart Home| Xiaomi. URL: <https://www.mi.com/global/smart-home/> (дата звернення – 22.10.2023).
21. Zheng, Z., Li, C., Tu, Y. (2023). Xiaomi: How Do the World's Top Enterprises for Product Ecosystem Layout the Internet of Things? *Management for Professionals*, Part F540, 319–333.
22. Home App – Apple. URL: <https://www.apple.com/home-app/> (дата звернення – 28.10.2023)
23. Vongchumyen, C., Torthithum, S., Khamsopa, J., Watanachaturaporn, P. (2019). Home appliances-controlled platform with homekit application. *Proceeding – 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, ICEAST 2019*.
24. Smart home automation from Google. URL: <https://home.google.com/welcome/> (дата звернення – 03.11.2023)
25. Tamanna, Iffat & Lima, Sweety (2023). An IoT Based Smart Home Automation Using Google Assistant. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, VIII, 112–119.
26. Охоронна система AJAX – сигналізація та смарт-система. URL: <https://ajax.systems/ua/> (дата звернення – 10.11.2023)
27. Dragonas, E., Lambrinouidakis, C. (2023). IoT Forensics: Analysis of Ajax Systems' mobile app for the end user. *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience, CSR 2023*, 446–451
28. Tuya Smart – Global IoT Developer Service Provider. URL: <https://www.tuya.com/> (дата звернення – 17.11.2023)
29. Bakti, Very & Sutanto, Achmad & Arfani, Mohammad (2022). Penerapan Tuya Application Programming Interface (API) pada Sistem IoT Monitoring Suhu Ruang Server. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 8, 45–49.

REFERENCES

1. Himmat, Mubarak & Algazoli, Gada & Hammam, Nazar & Abdalla, Ashraf (2022). Review on the Current State of the Internet of Things and its Extension and its Challenges. *European Journal of Information Technologies and Computer Science*, 2, 1–5.
2. Cisco, Cisco Networking Academy. Introduction to IoT (2020). URL: <https://1331758.netacad.com/courses/1012514>
3. IHS, “IoT: number of connected devices worldwide 2012-2025,” Statista, 27-Nov-2016. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> (дата звернення – 24.10.2023).
4. Simadiputra, Vincent & Surantha, Nico (2021). Rasefiberry: Secure and efficient Raspberry-Pi based gateway for smarthome IoT architecture. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10, 1036.

5. Stojkoska, R., Trivodaliev, K. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of cleaner production*, 140, 1454–1464.
6. Robles, J., Kim, H. (2010). Applications, systems and methods in smart home technology: A. *Int. Journal of Advanced Science And Technology*, 15, 37–48.
7. Alam, Muhammad Raisul & Reaz, Mamun Bin Ibne & Mohd Ali, Mohd (2012). A Review of Smart Homes – Past, Present, and Future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics -Part C: Applications and Reviews*, 42, 1190–1203.
8. Railton, A., R. (1950). Push Button Manor, *Popular Mechanics Magazine*, 252, 85–87.
9. Tanwar, Sudeep & Patel, P. & Patel, K. & Tyagi, Sudhanshu & Kumar, Neeraj & Obaidat, Mohammad (2017). An advanced Internet of Thing based Security Alert System for Smart Home. 25–29. 10.1109/CITS.2017.8035326.
10. Mohammed Ghazi Sami, Teba & Zeebaree, Subhi & Ahmed, Sarkar (2023). A Novel Multi-Level Hashing Algorithm to Enhance Internet of Things Devices' and Networks' Security. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12, 676–696.
11. Tomaş, M. & Dostoğlu, N. (2020). Smart House with Artificial Intelligence. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 486–493.
12. Apostolos Gerodimos, Leandros Maglaras, Mohamed Amine Ferrag, Nick Ayres, Ioanna Kantzavelou (2023). Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 1–13.
13. Turgut Z., Kakisim A.G. (2023). An explainable hybrid deep learning architecture for WiFi-based indoor localization in Internet of Things environment. *Future Generation Computer Systems*, 151, 196–213.
14. Romputtal, A., Phongcharoenpanich C. (2023). T-Slot Antennas-Embedded ZigBee Wireless Sensor Network System for IoT-Enabled Monitoring and Control Systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 10 (23), 20834–20845.
15. Al-Shareeda, M. A., Alsadhan, A. A., Qasim, H. H., Manickam, S. (2023). Long range technology for internet of things: review, challenges, and future directions. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12 (6), 3758–3767.
16. De Castro Tomé, M., Nardelli, P.H.J., Alves, H. (2019). Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66 (2), 1629–1637.
17. Gupta, N., Juneja, P. K., Sharma, S., Garg, U. (2023). An intelligent technique for network resource management and analysis of 5G-IoT smart healthcare application. *Journal of Autonomous Intelligence*, 7 (1), art. no. 694.
18. Singh, H., Pokhriyal, A., Sachan, A., Saxena M. (2023). SCPS: An IoT Based Smart Car Parking System. *Studies in Systems, Decision and Control*, 472, 533–542.
19. Pankiv, V. H. (2011). Ukrainskyi rynek system avtomatyzatsii ta dyspetcheryzatsii [Ukrainian market of automation and dispatching systems]. *Networks and business systems*, 3, 58–62.
20. Smart Home| Xiaomi. URL: <https://www.mi.com/global/smart-home/> (дата звернення – 22.10.2023).
21. Zheng, Z., Li, C., Tu, Y. (2023). Xiaomi: How Do the World's Top Enterprises for Product Ecosystem Layout the Internet of Things? *Management for Professionals*, Part F540, 319–333.
22. Home App – Apple. URL: <https://www.apple.com/home-app/> (дата звернення – 28.10.2023)
23. Vongchumyen, C., Torthithum, S., Khamsopa, J., Watanachaturaporn, P. (2019). Home appliances-controlled platform with homekit application. *Proceeding – 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, ICEAST 2019*.
24. Smart home automation from Google. URL: <https://home.google.com/welcome/> (дата звернення – 03.11.2023)
25. Tamanna, Iffat & Lima, Sweetey (2023). An IoT Based Smart Home Automation Using Google Assistant. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, VIII, 112–119.
26. Okhoronna systema AJAX – syhnalizatsiia ta smart-systema [AJAX security system – alarm and smart system]. URL: <https://ajax.systems/ua/> (data zvernennia –10.11.2023)

27. Dragonas, E., Lambrinouidakis, C. (2023). IoT Forensics: Analysis of Ajax Systems' mobile app for the end user. *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience, CSR 2023*, 446–451
28. Tuya Smart – Global IoT Developer Service Provider. URL: <https://www.tuya.com/> (дата звернення – 17.11.2023)
29. Bakti, Very & Sutanto, Achmad & Arfani, Mohammad (2022). Penerapan Tuya Application Programming Interface (API) pada Sistem IoT Monitoring Suhu Ruang Server. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 8, 45–49.

Yevheniy Khomenko

Kherson State University, Kherson, Ukraine

MODERN METHODS, MODELS AND SOFTWARE TOOLS FOR IMPLEMENTATION AND OPTIMIZATION OF IOT SYSTEMS (INTERNET OF THINGS)

This article presents an analysis of modern methods, models, and tools used to create and optimize Internet of Things (IoT) systems. It examines in detail the variety of approaches and software solutions, reflecting the dynamic growth in the field of automation, which is being actively developed by both leading international IT companies such as Google, Apple and Xiaomi, and domestic firms, in particular AJAX, which are gaining popularity in the market. The article highlights the importance of IoT in various aspects of modern life, including energy efficiency, security, and business process optimization. The author focuses on the continuous development of technologies that open up new opportunities for users and improve their quality of life. The author also considers the integration of IoT into various fields of activity, which can lead to a significant positive impact on society and the economy. In addition, the article provides an overview of the history of the Internet of Things, presenting the evolution and key milestones in this area. Modern communication technologies that are the basis for IoT devices are also considered. The author identifies the basic criteria that modern reliable systems must meet, analyzing them in terms of efficiency, scalability, and security. The article also contains an analysis of several popular off-the-shelf system solutions on the market. Each of them is characterized by characteristics, advantages, disadvantages, and unique features. This provides a deeper understanding of the variety of options available and helps in choosing the right system for their individual needs and budget. The article is a useful resource for those looking for updated and comprehensive information on modern IoT systems and their implementation.

Keywords: Internet of Things, device control methods, automation tools, automation systems.

Стаття надійшла до редакції 07.12.2023

The article was received 07 December 2023