

Міністерство освіти і науки України

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Використання Інтернету речей

навчально-методичний посібник

м. Кам'янець-Подільський

2022

УДК 004.77: 621.398:[6+35](075.8)
ББК 32.965-044.3+31.32
В 43

Розглянуто та рекомендовано до друку
вченою радою фізико-математичного факультету
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка,
протокол № 7 від 29 червня 2022 року

Укладач:

Смалько О. А. – кандидат пед. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка.

Рецензенти:

Панцир Ю. І. – декан інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти
«Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент;

Оптасюк С. В. – завідувач кафедри фізики Кам'янець-Подільського національ-
ного університету імені Івана Огієнка, кандидат технічних наук, доцент.

Використання Інтернету речей: навчально-методичний посібник /
укладач: О. А. Смалько. Кам'янець-Подільський: Друкарня «Рута»,
2022. 64 с.

У посібнику описуються передумови виникнення феномену Інтернету речей, наводяться історичні відомості про розвиток технологій, що сприяли його появі. Значна увага приділяється окресленню концепцій, які втілюються в сучасних системах і пристроях Інтернету речей, а також є перспективними в цій сфері. Для кращого усвідомлення різноманіття галузей життєдіяльності людини, в яких ефективно застосовуються ІоТ-системи, пропонуються завдання по дослідженню прикладів їх використання у житлово-комунальному та міському господарстві, в бізнесі й промисловості, в сільськогосподарських екосистемах і в сфері громадської безпеки, у транспортній логістиці та в галузі охорони здоров'я, в державному секторі, у військовій справі тощо.

Посібник містить багато відомостей довідкового характеру та ілюстративно-наочних матеріалів, ознайомлення з якими сприятиме якісному вивченню пропонованих тем. Наприкінці подається об'ємний перелік рекомендованих джерел, робота з якими розширить розуміння можливостей використання Інтернету речей у веденні домашнього господарства та у розвитку інфраструктури територіальних громад, в комерційній та виробничій діяльності, для покращення якості повсякденного життя людей та оптимізації природокористування.

Передмова

Зовсім недавно пересічний користувач Інтернету ще не міг собі уявити, що за допомогою смартфона чи планшета можна буде слідкувати за всіма системами життєзабезпечення власного будинку, а фермер не смів мріяти про те, що після встановлення належного взаємозв'язку між певними технічними пристроями і програмними застосунками він зможе ефективно вести своє господарство, економно витрачаючи воду та добрива для рослин, віддалено контролюючи метаболічну активність свійської худоби та птиці. До розробки промислових IoT-платформ важко було передбачити появу в керівника підприємства спроможностей відстежувати та аналізувати практично в режимі реального часу діяльність очолюваної ним виробничої установи, легко оптимізуючи існуючі бізнес-процеси, максимізуючи зростання доходів і зменшення витрат. Недосяжним здавалося й вирішення проблем розумного споживання та обліку різних ресурсів, котрих люди потребують для повноцінного життя. Поступовий науково-технічний розвиток концепції Інтернету речей також сприяв впровадженню IoT-рішень у сферу охорони здоров'я, уможливив розв'язання складних екологічних завдань сьогодення, вдосконалив парадигми транспортної логістики. Технології Інтернету речей відкрили майже фантастичні можливості для ритейлу, стимулюючи, зокрема поширення мереж безконтактних крамниць [в яких немає продавців] і дарксторів (від англ. dark store – темний магазин) [в яких немає покупців]. Деякі моделі Інтернету речей тепер є доречними для забезпечення критично важливих комунікацій (на різних рівнях), для зміцнення оборонного сектору країни, управління її збройними силами як у мирний, так і у воєнний час.

Сучасний Інтернет речей трансформує наші уявлення про можливості мережевої та міжмашинної взаємодії, про способи керування фізичними пристроями на відстані та, взагалі, про умови життя, праці й відпочинку, що відкриваються перед сучасною людиною, яка використовує IoT-системи. Тому потрібно досліджувати основи функціонування Інтернету речей і особливості його використання в різних сферах.

У цьому посібнику зібрано навчально-методичні матеріали, які будуть корисними для ознайомлення з історією формування поняття Інтернету речей, для вивчення сучасної його архітектури, для формування уявлень про пристрої та технології, що використовуються в поширених IoT-системах, а також для дослідження різноманітних галузей застосування Інтернету речей.

Посібник орієнтовано на допитливу студентську молодь і всіх зацікавлених у вивченні еволюції Інтернету речей та перспектив його використання.

Основні поняття Інтернету речей

«Інтернет речей» (англ. Internet of Things, скорочено IoT) – це глобальна мережа підключених до Інтернету речей пристроїв, оснащених сенсорами, датчиками, засобами передавання сигналів. Ці цифрові пристрої можуть сприймати різноманітні сигнали з навколишнього світу, вступати у взаємодію з іншими пристроями, обмінюватися даними з метою віддаленого моніторингу за станом об'єктів, аналізу зібраних даних і прийняття на їх основі рішень. Прикладом можуть бути гаражні двері, кавоварки, телевізори, мобільні телефони, відеокамери, датчики світла та температури тощо.

Інтернет речей – одна з найпопулярніших наукових ідей сучасної інформатики, яка в наш час активно втілюється в життя. Він здатний серйозно вплинути на розвиток сучасного суспільства, оскільки дасть змогу багатьом процесам відбуватися без участі людини.

Термін «Інтернет речей» запропонував у 1999 році засновник дослідницького центру Auto-ID Center (Auto-ID Labs – мережі лабораторій, дослідницької групи в галузі мережевої радіочастотної ідентифікації та нових сенсорних технологій) в Массачусетському технологічному інституті (MIT) британський інженер Кевін Ештон (рис. 1). Він висловив припущення, що згодом у кожній з речей реального фізичного світу в IoT буде цифровий двійник, її віртуальне представлення.



Рис. 1. Кевін Ештон

Напрямок IoT став активно розвиватися, коли на початку 2000-х років кількість пристроїв, під'єднаних до мережі Інтернет, перевищила кількість користувачів Інтернету.

Отже, Інтернет речей – це мережа зв'язаних через Інтернет об'єктів, здатних збирати дані та обмінюватися інформацією, яка надходить з вбудованих сервісів. Пристрої IoT являють собою будь-які автономні пристрої, підключені до Інтернету, якими можна керувати дистанційно.

Загалом екосистема IoT включає всі компоненти, які дозволяють бізнесу, урядам і користувачам поєднувати свої пристрої IoT, включаючи пульти управління, панелі інструментів, мережі, шлюзи, аналітику, зберігання даних і безпеку.

Фізичний рівень IoT являє собою апаратне забезпечення, яке використовується в IoT-пристроях, включаючи сенсори та мережеве обладнання. Відповідає за передавання даних, що збираються на фізичному шарі, до різних пристроїв.

Рівень застосунку IoT включає протоколи та інтерфейси, які використовують пристрої для ідентифікації та зв'язку між собою.

Пульты керування IoT дозволяють людям використовувати IoT-пристрої, з'єднуючись з ними і контролюючи їх за допомогою панелі інструментів – наприклад, за допомогою мобільних застосунків. До пультів керування відносяться смартфони, планшети, ПК, розумні годинники, телевізори та інші нетрадиційні пульти.

Панелі інструментів Інтернету речей забезпечують відображення інформації про екосистему IoT для користувачів, дозволяючи нею керувати (як правило, дистанційно).

Також в системі IoT функціонують різноманітні спеціалізовані програмні засоби, які аналізують дані, отримані від IoT-пристроїв. Аналітика використовується у великій кількості сценаріїв, наприклад, для прогнозування технічного обслуговування.

Історія формування поняття Інтернету речей

Ще у 1926 році Нікола Тесла в інтерв'ю американському журналу «Collier's» (заснованому в 1888 році Пітером Фенелоном Кольєром) заявив, що одного разу в майбутньому радіо буде перетворено у певний «великий мозок», і, в результаті, всі речі стануть частиною єдиного цілого, а інструменти, завдяки яким це стане можливим, будуть легко поміщатися у кишені. Треба пригадати, що Нікола Тесла – автор близько 800 винаходів в сфері електро- та радіотехніки. Він вперше розробив принципи дистанційного керування, побудував перші електричні годинники, двигун на сонячній енергії й багато іншого.

В 1973 році американський винахідник Маріо У. Кардулло отримав перший патент на радіочастотну ідентифікацію з можливістю читання і запису. Він був, по суті, прабатьком сучасної RFID-технології (RFID – англ. Radio Frequency Identification – радіочастотної ідентифікації). Вперше пасивний пристрій на відбитій енергії було продемонстровано в 1971 році владі Нью-Йорка та іншим потенційним покупцям як пристрій з 16 бітами пам'яті для стягування мита на дорогах. Патент Кардулло покриває використання радіохвиль, світла і звуку як засіб передавання інформації.

Хоч оригінальний бізнес-план був представлений інвесторам ще в 1969 році (для використання у сфері транспорту – а саме для ідентифікації самохідних машин, як автоматична платіжна система – система стягування мита, так би мовити, електронні номерні знаки, для збирання електронних платіжних відомостей, для моніторингу стану транспортних засобів), її пропонувалось використовувати і в банківській справі (електронні книги перевірок, електронні кредитні картки), у сфері безпеки (персональна ідентифікація, автоматичні ворота, спостереження), в медицині (ідентифікація пацієнта, історії хвороби) тощо.

У 1982 році (а дехто пише про те, що навіть раніше) у Школі комп'ютерних наук при Університеті Карнегі-Меллона в Піттсбурзі (штат Пенсільванія, США) з'явився підключений до Інтернету автомат з газованою водою (насправді це був апарат, що продавав пляшки з Кока-колою біля

кампусу [бо програмістам було важко працювати без кофеїну, і тому саме там ця машина користувалась популярністю].

У 1989 році до Інтернету було підключено тостер [цей винахід був умовно заявлений на конференції Interop'89*]. Ден Лінч, президент мережі Інтернет-шоу Interop, сказав Джону Ромкі на шоу 1989 року, що він дасть йому зірку наступного року, якщо той підключить тостер до Інтернету. Працюючи разом зі своїм другом Саймоном Хакеттом, Джон Ромкі під'єднався до Інтернету та підключив тостер Sunbeam Deluxe Automatic Radiant Control до Інтернету (рис. 2), зробивши це хітом Interop 1990 року.



Рис. 2. Саймон Хакетт, що демонструє тостер

Тостер було підключено до Інтернету за допомогою мережі TCP/IP, керувався він за допомогою інформаційної бази управління протоколом Simple Networking Management (SNMP MIB).

На Interop 1991 року до системи було додано невеликий роботизований кран, також керований з Інтернету, який підбирав шматочок хліба й кидав його в тостер, при цьому вже повністю автоматизуючи систему.

Тож у 1990 році один з творців протоколу TCP/IP Джон Ромкі під'єднав до мережі свій тостер, що, на думку багатьох експертів, ознаменувало початок епохи Інтернет-речей. Цей пристрій і став першою у світі «Інтернет-річчю».

Примітка. Джон Ромкі у 1983 році разом з Дональдом В. Гіллісом розробив в Массачусетському технологічному інституті перший у галузі стек TCP/IP для MS-DOS на IBM PC – MIT PCIP. Також Д. Ромкі був автором першого мережевого аналізатора Netwatch.

Сам термін «Інтернет речей», як про це йшлося вище, було вперше запропоновано та озвучено у 1999 році співзасновником дослідного центру Auto-ID в Массачусетському технологічному інституті Кевіном Ештоном. У цьому ж році був створений сам дослідний центр, який займався радіочастотною ідентифікацією (RFID) і сенсорними технологіями. Саме завдяки цим напрямкам концепція і отримала широке поширення.

Примітка. Після закінчення Лондонського університету Кевін Ештон працював в компанії Proctor and Gamble (P&G), де він допомагав у запуску лінійки косметики для Oil of Olay (американський бренд по догляду за шкірою, що належить компанії P&G). Працюючи у своєму підрозділі, він помітив, що щоразу, коли він відвідував магазин, один із відтінків помади з його товарної лінійки

* Interop – міжнародна щорічна виставка-конгрес, присвячена інформаційним технологіям, що проводиться в кількох країнах.

завжди був розпроданим. Тому він зв'язався з менеджерами поставок у P&G та розповів про цю проблему, у відповідь йому повідомили, що помада є на складі, а ця ситуація випадковість. Але ж помади не було в наявності щоразу, коли він відвідував магазин. Так, працюючи помічником бренд-менеджера в компанії P&G у 1997 році, він зацікавився технологією радіочастотної ідентифікації (RFID) і застосовував її для керування системою поставок P&G. Завдяки цій роботі в 1999 році його запросили в Массачусетський технологічний інститут, де він з групою однодумців організував дослідний консорціум Auto-ID Center.

Варто також пригадати і те, як у 1991 р американська компанія Hewlett-Packard (HP) представила HP LaserJet III Si – перший підключений до мережі Ethernet мережевий принтер (рис. 3). У 1993 році до Інтернету було під'єднано кавоварку в Кембриджському університеті (прославилась тоді й перша під'єднана до Інтернету камера, рис. 4).

В комп'ютерній лабораторії Кембриджського університету було розроблено протокол RPC (англ. Remote Procedure Call – виклик віддалених процедур), що дозволяє програмі, запущеній на одному комп'ютері, звертатись до функцій (процедур) програми, що виконується на іншому комп'ютері, подібно до того, як програма звертається до власних локальних функцій. В частині цієї лабораторії, що називалась Троянською кімнатою, працювало близько п'ятнадцяти людей, які займалися пов'язаними дослідженнями і користувались однією кавовою фільтр-машиною, розташованою в коридорі поруч з Троянською кімнатою.

Деякі члени того «кав'ярного клубу» знаходились в інших частинах будівлі, і їм доводилося долати кілька сходових прольотів, щоб дістатися до кавника; подібна подорож досить часто виявлялася безрезультатною, бо цілонічні хакери Троянської кімнати потрапляли до кавника першими. Цей збій у прогресі досліджень комп'ютерних наук, очевидно, викликав у всіх певний дискомфорт, і так народився XCoffee.



Рис. 3. Перший під'єднаний до мережі принтер



Рис. 4. Перша під'єднана до мережі камера

У Троянській кімнаті було кілька стійок з простими комп'ютерами, які використовувалися для тестування мереж. До одного з них було прикріплено відеокамеру, і вона на той час не використовувалася. Тоді програмісти закріпили камеру на підставці, спрямували її на кавоварку в коридорі і протягли дроти під підлогою, забезпечивши майже панорамне охоплення Троянської кімнати. Пол Джардецькі тоді написав «серверну» програму, яка працювала на цій машині та фіксувала зображення горщика кожні кілька секунд з різною роздільною здатністю, а Квентін Стаффорд-Фрейзер написав «клієнтську» програму, яку могли запускати всі, вона приєднувалася до сервера та забезпечувала відображення вигляду горщика розміром з піктограму в кутку екрана. Зображення оновлювалося лише тричі на хвилину.

Розробка цієї системи зайняла у програмістів лише день або близько того, але вона була дуже корисною. Перший опублікований запис про XCoffee з'явився коли один з родоначальників технології Ethernet Роберт «Боб» Меткалф написав про це в журналі «Com Week» 27 січня 1992 року після відвідування лабораторії, і всі натхненні цим успіхом заговорили про інші програми моніторингу, які використовують відео з низькою частотою кадрів. Відтоді сотні тисяч людей подивилися на кавник, що зробило його в той час, безсумнівно, найвідомішим у світі.

У 1996 році президент операцій у Півн. Америці автомобільної корпорації General Motors Рік Вагонер офіційно запустив на міжнародній виставці автомобілів і технологій «Чиказький автосалон» перший продукт і послугу телеметрії OnStar, розроблену дочірньою компанією OnStar Corporation спочатку для моделей Cadillac DeVille* 1997 модельного року (Cadillac Seville і Cadillac Eldorado). Послуга OnStar в ті часи була покликана надавати передусім екстрену допомогу. Електронна панель пристрою (яка залежно від моделі автомобіля розташовувалась в різних місцях салону авто) містила три кнопки – натискання синьої кнопки забезпечувало з'єднання водія з людиною або комп'ютеризованим голосом, червона кнопка призначалась для екстрених випадків, а біла викликала телефонну службу, подібно як зараз діє стільниковий зв'язок. Пізніше спектр функцій OnStar розширився, додалися послуги навігації, самодіагностики, дистанційного керування сигналізацією, фарами тощо. Комунікація забезпечувалась завдяки технології CDMA до поширення перспективніших технологій четвертого покоління мобільного радіозв'язку.

На початку 1998 року п'ять великих компаній – Ericsson, Nokia, IBM, Intel і Toshiba – об'єдналися, щоб почати роботу над створенням нової технології економного (з точки зору споживаного струму) і дешевого радіозв'язку між різноманітними типами електронних пристроїв, яка згодом отримала назву Bluetooth. 20 травня цього ж року для подальшого просування нової технології на телекомунікаційному ринку було сформовано спеціальну робочу групу (Bluetooth Special Interest Group – Bluetooth SIG).

* Пізніше, зокрема з 2002 по 2006 рік, така ж послуга була доступна вже на автомобілях Acura, Audi, Isuzu, Subaru і Volkswagen (через ліцензійну угоду).

Назву нової технології бездротового зв'язку пов'язали з прізвиськом короля вікінгів Харальда I Синьозубого, який жив у Данії в 10-му столітті та зумів за свого правління об'єднати датські племена, що до цього ворогували. Bluetooth – англійська інтерпретація прізвиська короля, яке давньоскандинавською мовою писалося Blátönn і вказувало на темний колір його зубів (ймовірно через пристрасть до чорниці).

У 1999 році південнокорейська корпорація LG Electronics представила світу свій холодильник «Internet Digital DIOS», найперший цифровий холодильник із підтримкою Інтернету. Цей пристрій забезпечував підключення до Інтернету та деякі інші функції, наприклад з'єднання з Інтернет-магазинами та відеотелефонний зв'язок. Холодильник був обладнаний 15,1-дюймовим екраном на основі рідких кристалів та під керуванням тонкоплівкових транзисторів (англ. Thin Film Transistor, TFT), а також портом локальної мережі. За допомогою камери, прикріпленої на дисплеї, можна було обмінюватися відеоповідомленнями або фотографуватися. Повідомлення чи зображення при цьому можна було відтворювати повторно. Крім того, холодильник мав музичну скриньку, лист-пам'ятку, з яким можна було працювати за допомогою електронної ручки, а також сприймав голосові повідомлення. Підтримувалась функція керування розкладом, в якому можна було зберігати, наприклад, важливі дати. Через інформаційне вікно дисплея господар міг отримувати різні корисні підказки, зокрема, про продукти, що зберігались всередині – про терміни придатності продуктів, інформацію про харчування, про способи приготування різних страв тощо.

У 2000 році з'явилися перші реалізації розробленої компанією Hewlett Packard концепції всепроникної комп'ютеризації Cooltown. Цей проєкт ґрунтувався на ідеї об'єднання «людей, місць та речей» за допомогою веб-присутності та був частиною глобальної системи UbiComp (англ. Ubiquitous Computing – повсюдний комп'ютинг), утвореної з комп'ютерів, вбудованих у повсякденні речі, поступово інтегрованих в довкілля.

У 2001 році японський оператор мобільного зв'язку KDDI випустив перший пристрій, що використовував технологію Bluetooth – мобільний телефон, що продавався під брендом KDDI «au» і допомагав обмінюватися електронною поштою, відео та іншими даними з персональними комп'ютерами, з портативними і цифровими камерами без використання кабелів.

У 2008 році утворилася перша IoT-спільнота IPSO* Alliance, метою якої було просування Інтернет-протоколу (IP) для того, що він забезпечував зв'язком «розумні об'єкти». Альянс виступав за використання мережевих IP-пристроїв для використання в енергетиці, споживчому секторі, у сфері охорони охорони здоров'я та в промисловості. 27 березня 2018 року IPSO Alliance об'єднався з організацією OMA (Open Mobile Alliance – Відкритий Мобільний Альянс), щоб сформувати інноваційну організацію з розробки специфікацій мобільних бездротових мереж передавання даних та Інтернету речей OMA SpecWorks.

* IPSO – Internet Protocol for Smart Objects – Інтернет-протокол для смарт-об'єктів.

У 2008-2009 роках кількість приєднаних до мережі об'єктів перевищила кількість підключених до мережі людей.

В 2009 році компанією Cisco Systems було розроблено перший стійкий до випромінювання космічний IP-маршрутизатор IRIS (англ. Internet Routing In Space). У тому ж році він був запусканий на геостаціонарну орбіту на борту супутника зв'язку Intelsat 14 (IS-14) для реалізації мети – інтегрування космічного та наземного сегментів задля створення конвергентної IP-мережі, яка підтримуватиме важливі Web, VoIP та інші IP-застосунки в режимі реального часу (без затримок у часі).

Також в 2009 році французький телекомунікаційний оператор Sigfox запустив в діапазоні частот, що не ліцензується, однойменну бездротову мережу, яка працювала на основі старої технології передачі невеликих за обсягом даних на далекій відстані LPWAN (Low-Power Wide-Area Network). Цю технологію використовували ще в 1980-1990 рр. здебільшого для систем сигналізації. З того часу невпинно зростає кількість різних стандартів і протоколів LPWAN, що запускаються в експлуатацію з їхніми привабливими характеристиками (значний радіус дії, низьке енергоспоживання, підтримка великої кількості вузлів, невелика вартість).

Успішна розробка напівпровідникових світлодіодних ламп привела до розвитку в 2010 році концепції розумного освітлення (англ. Smart Lighting). Відтоді Інтернет речей звершив перехід від простих радіочастотних міток до екосистеми* в Індустрії 4.0. Але переважно до 2012 р. ідея підключення речей до Інтернету переважно стосувалася смартфонів, планшетів, ПК і ноутбуків.

Багато експертів відзначили справжній початок ери технології IoT у 2013 році, хоча її поява не викликала у громадськості особливого інтересу. Втім, це було пов'язано з тим, що спочатку IoT стартувала як технологія міжмашинної взаємодії без людської участі (machine-to-machine, M2M**) для бездротових систем моніторингу. І лише трохи згодом до неї почали під'єднувати все, що так чи інакше пов'язане із вбудованими обчислювальними системами, наприклад, високопродуктивні мережі (англ. High-End Networking), обладнання для цифрових вивісок, робототехніку, дрони, автомобільні комп'ютери і переносні пристрої.

* Завдяки технологічним інноваціям, світлодіоди забезпечують високу ефективність, функціональність, естетику та допомагають заощадити величезну кількість електроенергії, скоротивши витрати на неї. Очікується, що до 2025 року світовий ринок світлодіодного освітлення становитиме 108 млрд. доларів. Впровадження розумного освітлення в життя сприятиме зменшенню вуглецевого сліду нашої діяльності. І що не менш важливо – може нам допомогти забезпечити продуктивність праці та психічне благополуччя.

** M2M (машино-машинна взаємодія, англ. Machine-to-Machine, Mobile-to-Machine, Machine-to-Mobile) – це загальна назва технології, яка дозволяє просто, надійно та вигідно забезпечити передачу даних між різними пристроями. Слід розрізняти стаціонарний M2M і мобільний M2M. Стаціонарний M2M забезпечує використання різноманітних рішень: управління технологічними процесами, охоронний моніторинг, платіжні термінали, лічильники, автомати роздрібною торгівлі. Мобільний M2M дозволяє управляти автопарком та передбачає велику кількість автомобільних застосунків. Авторинок дає безліч можливостей для використання M2M як бортового пристрою, здатного здійснювати моніторинг, діагностику, навігацію, позиціонування, охорону та власне мобільний зв'язок.

Примітка. M2M (англ. Machine-to-Machine, Mobile-to-Machine, Machine-to-Mobile; машино-машинна взаємодія) – це загальна назва технології, яка дозволяє просто, надійно та вигідно забезпечити передавання даних між різними пристроями. Слід розрізняти стаціонарний M2M і мобільний M2M. Стаціонарний M2M забезпечує використання різноманітних рішень: управління технологічними процесами, охоронний моніторинг, платіжні термінали, лічильники, автомати роздрібною торгівлі. Мобільний M2M дозволяє управляти автопарком та передбачає велику кількість автомобільних застосунків. Авторинок дає безліч можливостей для використання M2M як бортового пристрою, здатного здійснювати моніторинг, діагностику, навігацію, позиціонування, охорону та власне мобільний зв'язок.

У 2014 році компанія Apple створила протокол iBeacon для маячків Інтернет-речей, що захопив практично кожен сегмент в сфері промисловості, бізнесу, охорони здоров'я і споживчих товарів. Ці малопотужні та недорогі передавачі, що працювали на основі бездротової технології з низьким енергоспоживанням BLE (англ. Bluetooth Low Energy), дозволяли смартфонам та іншим пристроям (спочатку лише з iOS) виконувати певні дії у випадку коли останні знаходилися в безпосередній близькості до них. Аналогічний сервіс згодом мали також пристрої з ОС Android (починаючи з версії 4.3).

Варто зазначити, що маячки iBeacon є корисними для людей із порушенням зору, вони допомагають слабозорим орієнтуватися на місцевості, надаючи докладну інформацію про те, що їх оточує.

Загалом, лавиноподібне зростання кількості IoT-пристроїв вже ніхто не зупинить. У 2015 році кількість активних пристроїв Інтернету речей була лише удвічі меншою від кількості мешканців нашої планети [тоді на Землі налічувалось близько 7,3 млрд. людей], а у 2023 році стане вдвічі більшою від кількості людей, що житимуть на той час на планеті (рис. 5).

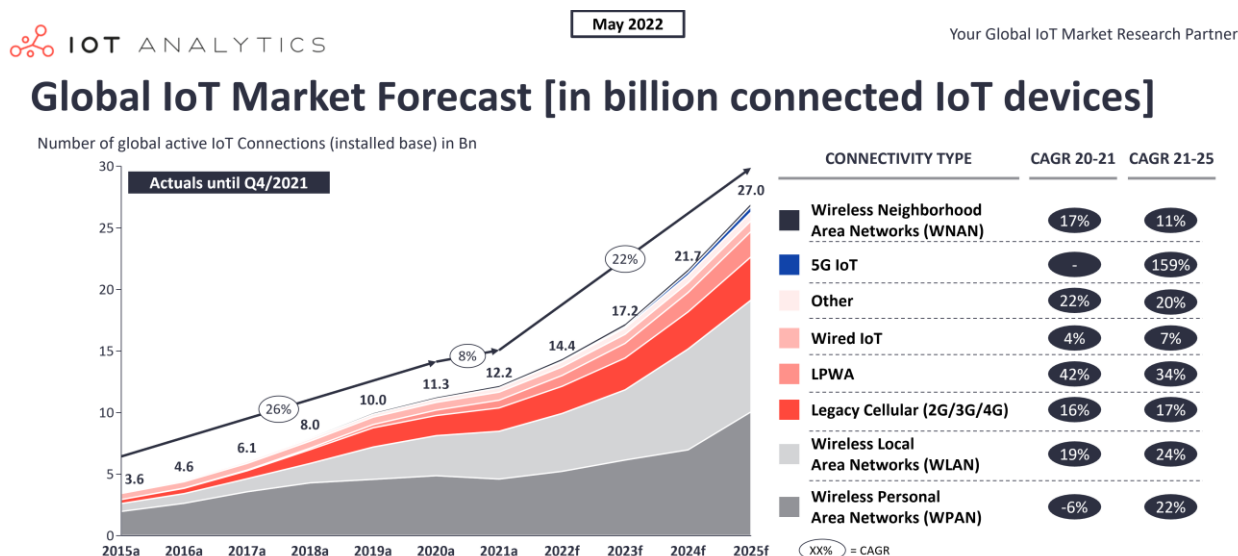


Рис. 5. Статистичні та прогностичні дані щодо кількості активних IoT-пристроїв

Чисельні аналітичні дослідження світового ринку Інтернету речей переконують нас у гарантованому середньорічному його зростанні щонайменше на 19%.

Архітектура Інтернету речей

Архітектура Інтернету речей залежить від сфери його застосування, особливостей проектування, реалізації та функціональності. Вимоги конкретного бізнес-завдання визначатимуть кількість архітектурних шарів та їх складність. Тому не існує єдиної узгодженої архітектури IoT. Однак є ключові будівельні блоки, що обов'язково входять до будь-якої структури IoT, а саме: *розумні речі* (до яких приєднуються датчики або сенсори), *мережі та шлюзи* (які забезпечують з'єднання між пристроями та вихід в Інтернет), *проміжне програмне забезпечення або платформи* Інтернету речей (що забезпечують простір для зберігання даних і передові обчислювальні механізми разом з аналітичними можливостями) та *застосунки* (які допомагають кінцевим користувачам отримувати користь від IoT і маніпулювати фізичним світом) (рис. 6).

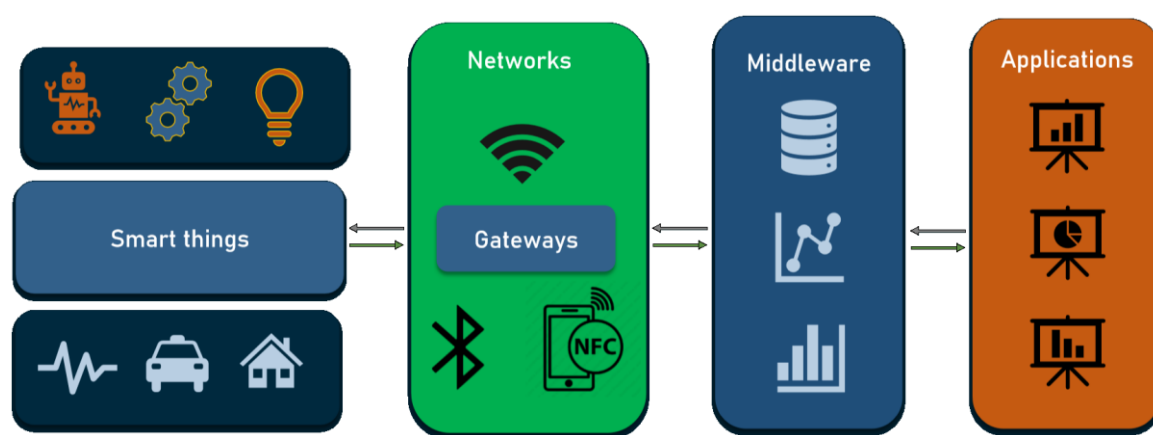


Рис. 6. Основні компоненти архітектури IoT

У найзагальнішому вигляді з інфокомунікаційної точки зору Інтернет речей можна окреслити у вигляді наступної символічної формули:

$$IoT = \text{Сенсори (датчики)} + \text{Дані} + \text{Мережі} + \text{Послуги}$$

Інтернет речей об'єднує реальні речі у віртуальні системи, здатні вирішувати абсолютно різні завдання. Ключова ідея – з'єднати між собою всі об'єкти, які можна з'єднати, під'єднати їх до мережі для збирання даних і прийняття рішень на їх основі.

Базовим рівнем (або шаром) усієї архітектури IoT (рис. 7) є *рівень сприйняття (сенсорний або фізичний)*. Він містить «розумні речі» та відповідає за збирання усіх даних від різних датчиків. Пристрої на цьому рівні відповідають за надсилання та отримання даних до верхніх рівнів та з них. Інформація, яку збирають датчики, може бути у статичному або динамічному стані, і вона описує стан об'єктів, окремі їх характеристики чи загалом стан навколишнього середовища. Всі об'єкти, що використовуються для збирання даних в IoT (такі як датчики, люди, електроніка та смартфони), називаються «речами». На цьому рівні використовуються такі технології: RFID, GPS, WSN, RSN тощо).

Примітка. GPS (англ. Global Positioning System – глобальна система позиціонування) – це сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначати положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері без

наявності будь-якого телефонного чи Інтернет-зв'язку з ним. Положення об'єкта обчислюється завдяки використанню розміщеного на ньому GPS-приймача, що приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS-системи.

WSN (англ. Wireless Sensor Networks – бездротова сенсорна мережа) – це безінфраструктурна бездротова мережа, яка розгорнута за спеціальним принципом з великою кількістю бездротових датчиків для моніторингу системи, фізичних умов або умов довкілля.

RSN (англ. Robust Security Network – мережа з підвищеною безпекою) – це протокол для встановлення безпечного зв'язку в мережах Wi-Fi. Є частиною стандарту 802.11i.

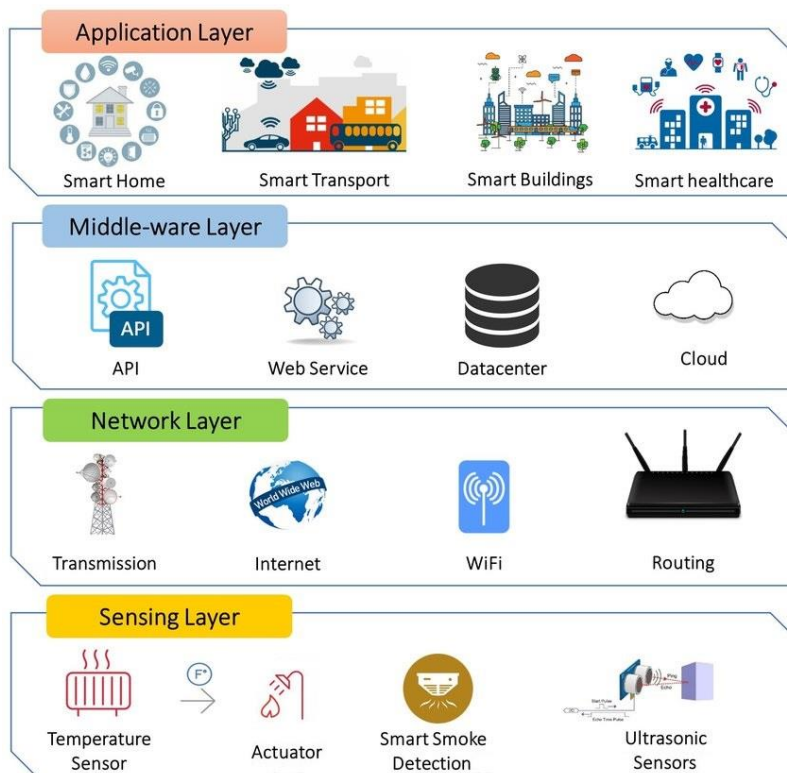


Рис. 7. Рівні архітектури IoT

Наступний рівень – *мережевий (або транспортний)*. Він відповідає за передавання даних і забезпечення доступу з фізичного рівня в хмару й навпаки через мережі та шлюзи. Тому вся інформація, що збирається від датчиків на попередньому шарі, передається через цей шар. Різні комунікаційні технології, такі як GSM, WLAN, IPv6 тощо, використовуються на цьому рівні для досягнення основної функції передавання інформації. Цей рівень може містити мережеві пристрої (такі як шлюзи), які, як правило, використовують мережі мобільного зв'язку та концепцію граничних обчислень*.

Наступний рівень – *обробки (проміжного програмного забезпечення або/та інфраструктури)*. На ньому використовуються потужні обчислювальні ресурси (високоякісні обчислювальні пристрої, пристрої хмарних обчислень, кластери, сервери, інші мережеві пристрої) для опрацювання величезної кількості даних, зібраних від датчиків на рівні сприйняття. На

* Граничні обчислення (англ. Edge Computing) – це парадигма розподілених обчислень, яка наближає обчислення та зберігання даних до джерел даних. Це хмарні обчислювальні системи, які виконують обробку даних на краю мережі поряд з джерелом даних.

цьому рівні застосовуються різноманітні інструменти (системи керування базами даних, вебсервери, сервери застосунків тощо) для інтелектуальної обробки зібраної інформації та її представлення на прикладному рівні.

Верхнім рівнем в архітектурі IoT є *прикладний* рівень. Цей рівень надає кінцевим користувачам багато послуг, зокрема такі як керування різними пристроями та програмами, формування аналітики, звітності. Досить часто він підтримується інтелектуальною системою прийняття рішень, яка допомагає управляти енергією, швидко реагувати на потреби замовників/підприємств, установ, забезпечує моніторинг навколишнього середовища тощо.

Датчики та живлення в сучасному Інтернеті речей

Інтернет починається або закінчується однією подією: простий рух, зміна температури або, наприклад, коли важіль замикає замок. На відміну від багатьох існуючих IT-пристроїв, Інтернет речей здебільшого пов'язаний з фізичною дією або подією. Він формує реакцію на якийсь фактор реального світу. Інколи при цьому один-єдиний датчик може згенерувати величезний обсяг даних, наприклад, акустичний датчик для профілактичного огляду обладнання. В окремих випадках одного біта даних достатньо щоб передати важливому адресату життєвоважливі відомості про стан здоров'я пацієнта.

З розвитком науково-технічного прогресу системи датчиків еволюціонували, відповідно до закону Мура зменшилися до субнанометрових розмірів і стали суттєво дешевшими. Саме до цього апелюють всі, хто прогнозує, що в найближчі роки Інтернет речей збільшиться на десятки мільярдів пристроїв.

Звісно, передусім, досліджуючи Інтернет речей, необхідно розглядати мікроелектромеханічні системи, датчики (рис. 8), інші типи недорогих граничних пристроїв та їх електрофізичні властивості.

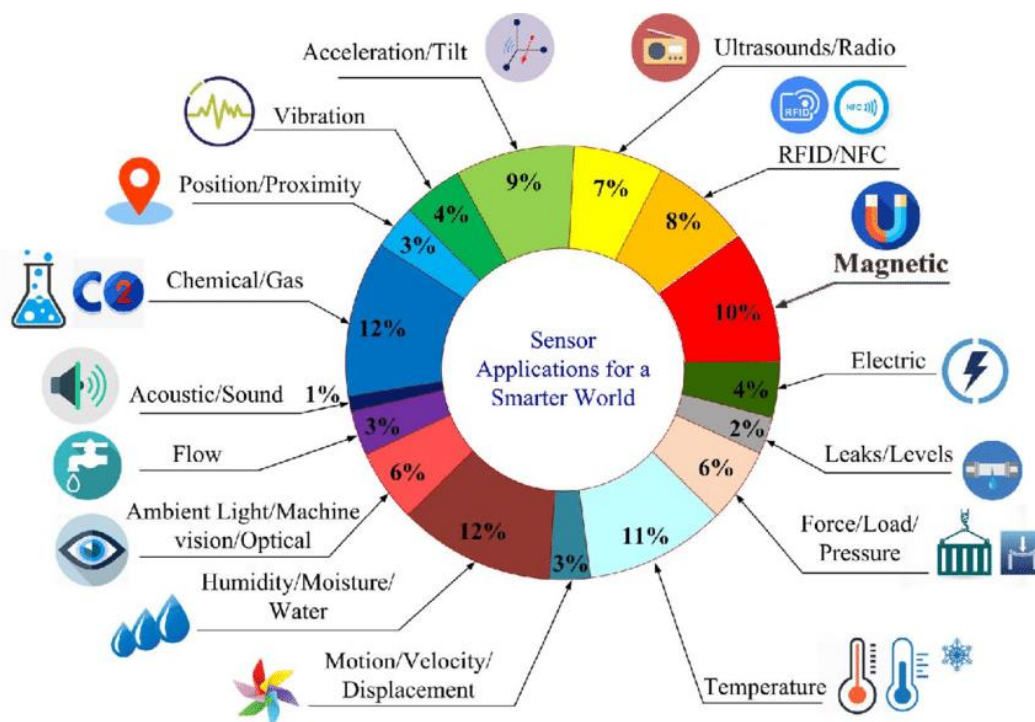


Рис. 8. Поширені категорії датчиків в застосунках IoT

Примітка. Мікроелектромеханічні системи, МЕМС (англ. Microelectromechanical Systems, MEMS) – це технології і пристрої, що поєднують в собі взаємопов’язані механічні та електричні компоненти мікронних розмірів. МЕМС також називають мікромашинами в Японії та мікросистемною технологією (англ. Microsystem Technology, MST) у Європі. Мікроелектромеханічні системи складаються з механічних елементів, датчиків, електроніки, приводів та пристроїв мікроелектроніки, розташованих на загальній кремнієвій підкладці. МЕМС складаються з компонентів розміром від 1 до 100 мікрометрів (тобто від 0,001 до 0,1 мм), а пристрої МЕМС зазвичай мають розміри від 20 мікрометрів до міліметра (тобто від 0,02 до 1,0 мм). В наш час технології МЕМС вже застосовуються для виготовлення різних мікросхем. Так, МЕМС-осцилятори в деяких застосуваннях замінюють кварцові генератори. МЕМС технології застосовуються для створення різноманітних мініатюрних датчиків, таких як акселерометри, датчики кутових швидкостей, гіроскопи, магнітометричні датчики, барометричні датчики, аналізатори середовища (наприклад для оперативного аналізу крові).

Датчики IoT – це пристрої, які виявляють або вимірюють фізичну властивість, а також записують, вказують чи реагують на неї якимось способом. IoT-датчики використовують для моніторингу певних процесів, проведення вимірювань та збирання потрібних даних, щоб можна було зрозуміти фізичне середовище, яке їх оточує. Існують різні типи датчиків, що виконують різноманітні функції залежно від їхнього призначення.

Датчики наближення (рис. 9) використовуються для виявлення довколишніх об’єктів в основному в секторі автономних транспортних засобів і входять до складу автономних роботів. Датчики наближення утворюють електромагнітне випромінювання (наприклад, інфрачервоне) і виявляють зміни зворотних сигналів. Це безконтактні датчики, які в наш час застосовують в телефонах, безпілотних автомобілях, в зенітних системах, на переробних заводах тощо.

Датчики газу (рис. 10) використовуються для моніторингу змін якості повітря та виявлення наявності шкідливих газів, викликаних певними витокami чи іншими обставинами. В основному вони застосовуються в нафтогазовій, виробничій і фармацевтичній промисловості. Датчики газу складаються з чутливого матеріалу та нагрівача, через які протікають вільні електрони.

Кисень притягує електрони до поверхні чутливого матеріалу, в результаті чого кількість електронів, які вільно протікають всередині чутливого матеріалу, є малою. Однак, якщо чисте повітря замінити токсичними газами, такими як, наприклад, монооксид вуглецю або пропан, електрони, утримувані молекулами кисню, проштовхуються всередину чутливого матеріалу і



Рис. 9. Вигляд датчика наближення



Рис. 10. Вигляд газових сенсорів

дозволяють проходити струм через ланцюг. Завдяки цьому датчик подає сигнал тривоги, виявляючи наявність шкідливого газу.

Для виявлення змін температури застосовують *датчики температури* (рис. 11). Вони використовуються в побутових приладах, таких як холодильники, кондиціонери, термостати, а також у таких виробничих галузях, де машини повинні працювати при певних температурах. Температурні датчики можуть надавати в режимі реального часу інформацію про температуру обладнання та навколишнього природного середовища, допомагаючи контролювати оптимальний температурний режим. Найчастіше використовувани датчики температури працюють за принципом термопари*.

Датчик вологості – це електронний прилад, що вимірює абсолютний вміст вологи у відсотковому відношенні до всієї маси газу або твердих матеріалів (у тому числі сипких). Оскільки вимірювання вологості необхідне в широкому спектрі застосувань, то існує безліч технічних реалізацій різних принципів вимірювання. Датчики вологості використовуються, наприклад, в метеорології в гігromетрах (воломірах) (рис. 12) для вимірювання вологості повітря. У сільському господарстві датчики вологи застосовують для вимірювання вологості ґрунту в тензіометрах**. У косметології та дерматології корнеометри*** використовують для вимірювання вологості шкіри у її верхніх шарах. Для вимірювання вологості сипучих матеріалів застосовують методи на основі мікрохвиль.



Рис. 11. Датчик температури

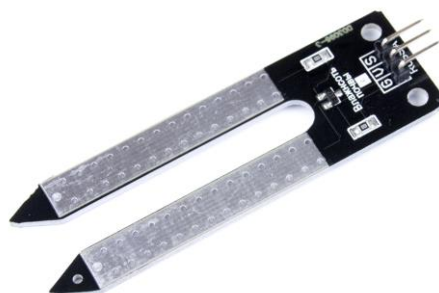


Рис. 11. Датчик вологості ґрунту (гігromетр)

* Термопара – це чутливий елемент термоелектричного перетворювача у вигляді двох ізольованих дротяних стрижнів із різних металів, з'єднаних на одному кінці [саме в цьому з'єднанні вимірюється температура]. Коли це з'єднання зазнає зміни температури, створюється напруга. Її можна інтерпретувати за допомогою довідкових таблиць термопар для розрахунку температури (існує багато типів термопар, кожна з яких має свої унікальні характеристики з погляду температурного діапазону, довговічності, вібростійкості, хімічної стійкості тощо). Термопари використовуються в багатьох промислових і наукових застосуваннях, в медицині, системах автоматизації, а також в побутових приладах (таких як, наприклад, плити, печі, тостери тощо).

** Тензіометр – прилад для визначення капілярної складової потенціалу ґрунтової вологи, що застосовується для вимірювання зволоженості ґрунту в сільському господарстві під час вирощування рослин та управління поливом.

*** Корнеометрія є поширеним методом прямого оцінювання гідратації рогового епідермісу, що застосовується з метою первинної діагностики патології шкіри та для оцінювання ефективності косметичних засобів/процедур, спрямованих на підвищення гідратації поверхні шкіри. У роботі корнеометра використовується принцип конденсаторної ємності (зміни діелектричних властивостей шкіри залежно від кількості вологи, що міститься у роговому шарі).

Примітка. Розумні технології у сільському господарстві та фермерстві диктують потребу розробки нових пристроїв, що допомагатимуть підтримувати ефективні методології вирощування рослин. Як правило, у більшості сільськогосподарських культур підвищена вологість листя викликає розповсюдження хвороботворних мікроорганізмів і розвиток хвороб. Тому дуже важливо не втратити час для застосування відповідних профілактичних заходів. Саме для цього створюється і використовується багато різних датчиків (рис. 13), які допомагають фермерам контролювати рівень поверхневої вологи на листі.

Контролюється не лише волога в листі, а і широкий спектр умов навколишнього середовища, що значною мірою визначають фітотоклімат, життєздатність і можливості виживання рослин.

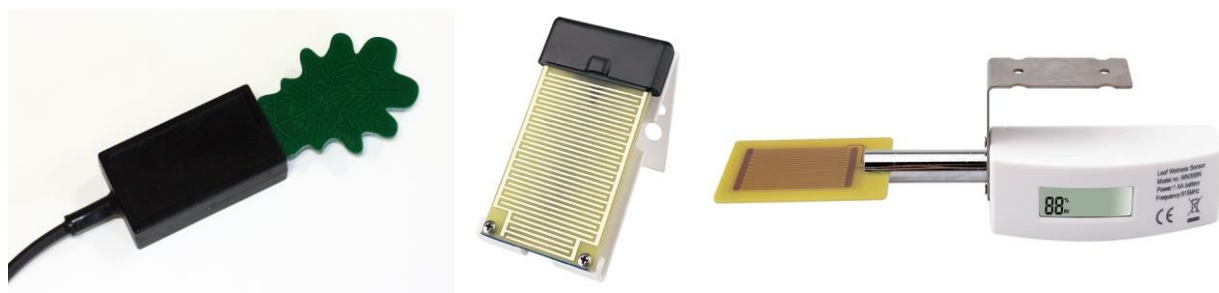


Рис. 12. Різні види датчиків вологості листя

Вологоміри конче необхідні під час вхідного контролю сировини та готової продукції на підприємствах екструзії, будівельної сфери та в інших галузях промисловості. Без них не можуть обійтись розробники систем HVAC (англ. Heating, Ventilation and Air Conditioning) – опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

В системах «Розумний дім» часто використовують пристрої комплексного призначення, що поєднують в собі функції відстеження температури та вологості в приміщенні, а також ведення відповідної статистики і навіть регулювання температури/вологості за допомогою додаткових виконуючих пристроїв «розумного дому» (розумних розеток, пультів керування, реле).

Датчики потоку використовуються для вимірювань у відкритому каналі (такому як потік, зрошувальний канал або каналізаційна труба без тиску тощо). На великих промислових об'єктах, в комерційних і житлових будівлях потрібна велика кількість води. Для виконання цієї вимоги використовується система громадського водопостачання. Для контролю кількості води, що подається і використовується, необхідно вимірювати витрату води. Саме тому і використовуються в усьому світі датчики потоку. Такі ж датчики застосовують також в медичних технологіях, в промислових процесах, в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

Датчик протікання або затоплення (англ. Water Detector, Leak Sensor, Flood Sensor) (рис. 14) – електронний пристрій, призначений для виявлення наявності води з метою своєчасного сповіщення та запобігання витоку води.



Рис. 13. Приклади сигналізаторів, здатних зафіксувати розливання води

В основі роботи датчика протікання лежить електрична провідність води. Оснащений двома-трьома контактами датчик встановлюється в місцях, де може з'явитися вода при протіканні. Коли вода потрапляє на контакти, між ними утворюється слабкий електричний струм і датчик спрацьовує.

Встановлення датчиків протікання є особливо актуальними для сімей з дітьми або літніми людьми, а також для помешканнях людей похилого віку, котрі живуть самотійно. В таких будинках вища ймовірність протікання через неуважність або помилку, наприклад забутого крана.

В системі «розумного дому» завдяки застосуванню датчиків протікання можна отримувати тривожний сигнал при протіканні (як власником помешкання, так і вказаний ним людині), дистанційно (зі смартфона) керувати автоматичним перекриттям або відключенням техніки, що допустила протікання. Подібні датчики можуть застосовуватись не лише всередині будинків, а і для визначення кількості опадів надворі.

Модуль датчика дощової води (рис. 15) може визначити, чи торкається друкованої плати струмопровідна рідина, наприклад вода. Модуль дозволяє вимірювати вологість за допомогою аналогових вихідних контактів і забезпечує цифровий вихід, коли перевищено поріг вологості. Він включає в себе модуль електроніки і друковану плату, яка «збирає» краплі дощу. Оскільки краплі дощу збираються на друкованій платі, вони створюють шляхи паралельного опору, що вимірюються операційним підсилювачем. Чим нижче опір (або більше води), тим нижча вихідна напруга. І навпаки: чим менше води, тим більшою буде вихідна напруга на аналоговому виході.

Датчики рівня рідини (рис. 16) використовуються для виявлення рівнів рідини або межі розділу між рідинами, такими як вода, масло тощо, або твердими речовинами і рідинами.

Для вимірювання рівня рідини застосовують поплавкові, буйкові, гідростатичні, ультразвукові, радарні безконтактні/контактні та акустичні прилади.

Фотодетектор (оптичний детектор, оптоелектронний датчик) – це датчик, що генерує електричний сигнал залежно від світла або іншого електромагнітного випромінювання, яке він отримує.



Рис. 16. Приклади модулів з датчиками дощової води



Рис. 16. Приклади датчиків рівня рідини

Існує велика різноманітність фотодетекторів, які можна класифікувати за механізмом виявлення, таким як фотоелектричні або фотохімічні ефекти (рис. 17), або за різними показниками продуктивності, такими, наприклад, як спектральна реакція.

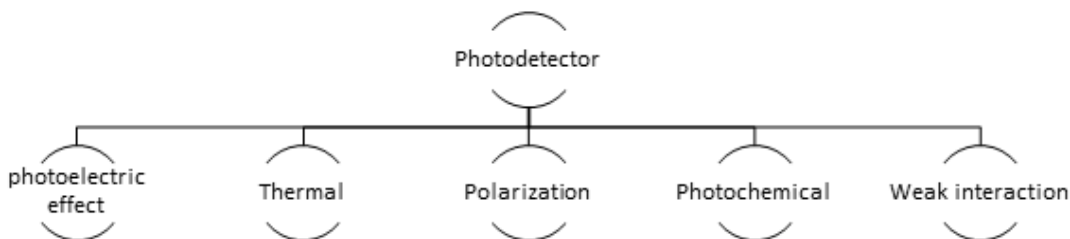


Рис. 14. Види оптичних датчиків за механізмом перетворення світла у вимірюваний сигнал

Фотоелектричний ефект* (або фотоемісія), зокрема, спричинює випромінювання електронів з металевої пластини при дії на неї світлових квантів – фотонів. За умови використання в фотодетекторі теплового феномена фотони світла, що діють на нього, призводять до закономірного коливання кристаліч-

* Цей ефект вже давно активно використовується для виробництва електроенергії з використанням різноманітних напівпровідникових матеріалів (так званих сонячних батарей). Вперше ефект перетворення світла в електрику помітив французький фізик Олександр Едмон Беккерель у 1839 році. 1948 року фахівцями американської компанії «Bell Laboratories» було створено перші сонячні батареї на основі кремнію для отримання електричного струму. А через 10 років (17 березня 1958 року) в США було запущено супутник «Авангард-1», на якому використовувались сонячні батареї. З того часу ефект фотоелектрики використовують у тому числі для коригування орбіт штучних супутників Землі та космічних кораблів.

ної ґратки (індукуючи фонон) і як наслідок – генерується тепло. Механізм поляризації спирається на те, що фотони, спричинюючи зміни в поляризаційних станах відповідних матеріалів, можуть призводити до зміни показників заломлення або до інших ефектів поляризації. Фотони також можуть викликати хімічні зміни в певних матеріалах, – на цьому ґрунтується використання фотохімічного ефекту. У разі необхідності в фотодавачах використовують й інші слабкіші вторинні ефекти, що викликаються дією фотонів.

Фотодетектори можуть застосовуватись в різних конфігураціях. Поодинокі датчики покликані виявляти загальний рівень освітлення. Для вимірювання розподілу світла вздовж лінії можна використовувати одновимірний масив фотодетекторів, як у спектрофотометрі або лінійному сканері. Двовимірний масив фотоприймачів може використовуватися як датчик зображення для формування зображень із світлового малюнка перед ним.

Датчик освітленості (оптичний датчик, сутінковий [або присмерковий] датчик) – це спеціалізований технічний пристрій автоматичного управління джерелами світла, що реагує на ступінь освітленості деякого простору (рис. 18). Як правило реагування відбувається на ступінь природного освітлення. Головне завдання датчиків освітлення – економія електроенергії шляхом припинення освітлення приміщень і територій де воно в певний час непотрібне.

В сучасних моделях датчиків освітлення можна регулювати світловий поріг, за якого мають спрацювати датчики. Поріг встановлюється підлаштуванням резистора. При перевищенні рівня освітленості спрацює реле.

В оптоелектроніці термін «світло» відноситься не лише до видимого світла, але і до невидимого інфрачервоного світла та ультрафіолетового випромінювання.

Інфрачервоні датчики – це електронні прилади, що використовуються для визначення певних характеристик навколишнього середовища шляхом випромінювання та/або виявлення інфрачервоного випромінювання (рис. 19). Інфрачервоні датчики також здатні вимірювати тепло, що випромінюється об'єктом, і виявляти рух. Багато з цих типів датчиків лише вимірюють інфрачервоне випромінювання, а не випромінюють його, тому вони відомі як пасивні інфрачервоні датчики (англ. Passive Infrared Motion Sensor, PIR).

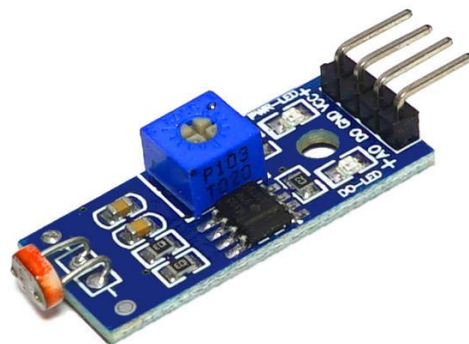


Рис. 17. Аналого-цифровий модуль Arduino з фоторезистором



Рис. 18. Мініатюрний інфрачервоний датчик руху в безкорпусному виконанні

Загалом, інфрачервоні сенсори працюють за допомогою спеціального датчика світла для виявлення вибраної довжини світлової хвилі в інфрачервоному спектрі*. Використовуючи світлодіод, який виробляє світло з такою ж довжиною хвилі, що й шукає датчик, можна проаналізувати інтенсивність отриманого світла. Коли об'єкт знаходиться поблизу датчика, то світло, випромінюване світлодіодом, відбивається від цього об'єкта і потрапляє на датчик освітленості. Це призводить до значного стрибка інтенсивності, який можна виявити за допомогою порога. «Інфрачервоний зір» допомагає дистанційно виявляти пари шкідливих газів в атмосфері, розпізнавати різні хімічні речовини в навколишньому середовищі, дозволяє виявляти пожежі та навіть є помічним у медичному обслуговуванні пацієнтів – може, наприклад, контролювати їхній кровотік, аналізувати дихання.

В системах «Розумний дім» за допомогою інфрачервоних датчиків нового покоління можна безконтактно вимірювати температуру, здійснювати контроль чутливих до тепла частин будинків, візуалізувати витoki тепла з будинків тощо.

Ультразвукові датчики (рис. 20) зазвичай використовуються для вимірювання відстані до об'єкта за допомогою звукових хвиль. Вони майже повністю нечутливі до перешкоджаючих факторів (таких як стороннє світло, пил, дим, туман, пара, пух, масляне повітря тощо) та найкраще підходять для виявлення прозорих і темних об'єктів, відбиваючих поверхонь, блискучих об'єктів, сипучих матеріалів та рідин.



Рис. 19. Вигляд деяких ультразвукових датчиків

Ультразвукові датчики – це сенсорні пристрої, які перетворюють сенсорну енергію на ультразвукові** хвилі. Принцип їхньої роботи схожий на функціонування радара. Такі датчики мають низку особливостей, що визначають сферу їх застосування (невелика дальність дії, яскраво виражена спрямованість сигналів, невелика швидкість поширення хвиль). Головна перевага цієї групи датчиків – відносно низька вартість. Вони застосовуються, наприклад, для систем освітлення, виявляючи рух мешканців, в системах сигналі-

* Інфрачервоні хвилі мають довжини, більші за видиме світло, тому їх людське око не бачить (видиме світло має довжину хвилі в діапазоні від 0,4 до 0,7 мікрометра; інфрачервоне випромінювання має довжину хвилі понад 0,7 мікрометра).

** Ультразвук – це звук, який не чуто людським вухом, оскільки його найнижча робоча частота перевищує порогову частоту людського слуху, яка становить близько 20 кГц.

зації, формуючи сигнал тривоги, якщо хтось проник у будинок, поки господарі відсутні. Ультразвукові сенсори можуть використовуватися для вимірювання рівня води в резервуарах, для контролю за її витокком, також входять до складу блока паркувальної системи (парктроніка*) на деяких автомобілях.

Загалом, ультразвукове сканування – це недорога технологія, яка може використовуватися в різних застосунках. Ультразвукові сенсори є універсальними і можуть застосовуватися в різному оточенні, будь-то вода, повітря чи газ. Все це робить їх ідеальним вибором при створенні найрізноманітніших пристроїв користувача.

Датчик кольору (рис. 21) – це цифровий датчик, який може визначати колір (зазвичай за колірною моделлю RGB) та/або яскравість світла, що надходить в невелике віконце на лицьовій стороні датчика. Цей датчик, як правило, може працювати в трьох різних режимах: в режимі «колір», в режимі «яскравість відбитого світла» і в режимі «яскравість зовнішнього освітлення». Використовуючи подібні датчики, можна, наприклад, будувати роботизовані пристрої, що будуть розрізняти кольори та яскравісні показники, а також визначати силу світла.



Рис. 20. Датчик кольору LEGO Mindstorms EV3

Датчик нахилу – це пристрій, який застосовується для вимірювання положення нахилу з його вихідним еталоном. Цей датчик, наприклад, надає цінну інформацію про горизонтальний і вертикальний нахил літака, щоб пілот літака міг легко зрозуміти процес управління перешкодами під час польоту.

Сенсорний датчик [сенсорний перемикач або датчик натискання] (рис. 22) – це тип перемикача, для роботи якого достатньо торкнутися об'єкта. Його також називають чутливим до дотику, сили або тиску. Це найпростіший тактильний датчик. Робота сенсорного датчика схожа на роботу простого перемикача. Коли відбувається контакт з його поверхнею, ланцюг всередині датчика замикається і виникає струм. Коли контакт на сенсорному датчику розмикається, ланцюг розімкнений і струм не протікає. Сенсорні датчики є чудовою заміною традиційних механічних кнопок (ключів).

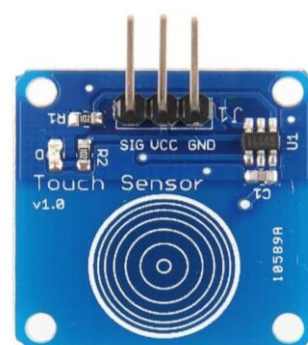


Рис. 21. Сенсорний модуль Arduino на мікросхемі ємнісного датчика дотику

Переважна кількість моделей сенсорних вимикачів використовується лише для комутації електрланцюга. Такі датчики виконують лише одну просту функцію – увімкнення та вимкнення (зокрема, освітлювальних приладів). Але

* Можна спробувати власноруч створити систему ультразвукового паркування, використовуючи, наприклад, плату міні-комп'ютера BeagleBone, що працює під Linux.

існують вимикачі, що виконують кілька функцій. Такі пристрої називаються *димерами** і можуть здійснювати управління лампами (розжарювання, галогенними, компактними люмінесцентними або світлодіодами), здійснювати їх плавний пуск (регулювання яскравості світла), виконувати роль таймера увімкнення/вимикання світла тощо.

*Вібраційні датчики*** (датчики удару*** або датчики розбиття) широко використовуються в охоронних системах. Їх почасти застосовують для захисту сейфів, вікон, вітрин від зловмисників. Також датчики вібрації (рис. 23) використовуються в різноманітних промислових секторах: їх включають в обертове обладнання, таке як насоси, двигуни, вентилятори, компресори, редуктори, газові турбіни, підшипники на конвеєрних системах, редуктори вітрових турбін, вітрогенератори, сушильні секції (целюлозно-паперові), охолоджувальні вентилятори, в печі для переробки корисних копалин, в стани гарячої прокатки (металообробка).

Розроблені для моніторингу працездатності виробничого обладнання датчики вібрації використовуються для моніторингу двигунів, найважливіших насосів, вентиляторів, редукторів, компресорів та інших механізмів, допомагаючи фахівцям зменшити незаплановані відключення та оптимізувати роботу машин. Це знижує експлуатаційні витрати виробництв, підвищує ефективність технічного їх обслуговування, збільшує продуктивність та грошові прибутки.



Рис. 22. Акустичний датчик для виявлення змін в потоці твердих речовин

* Димер (англ. Dimmer – регулятор освітленості, світлорегулятор) – пристрій, який дозволяє плавно або східчасто регулювати потужність, напругу або струм, що подається на пристрій, зменшуючи або збільшуючи яскравість лампи, температуру нагрівання праски, електричного обігрівача, електроплити, паяльника тощо. Димери дозволяють понизити витрату електроенергії, точно відрегулювати яскравість джерела світла і/або температуру нагрівання, понизити зорову стомлюваність. У схемах димерів можуть використовуватись діоди, потенціометри, реостати, трансформатори та інші електронні компоненти.

** Доступні різні типи датчиків вібрації, але зазвичай використовується тип, який називається *акселерометром*, оскільки він має переваги перед іншими. Акселерометр – це датчик, що виробляє електричний сигнал, пропорційний прискоренню віброуючого компонента, до якого прикріплений акселерометр. Саме акселерометр, зокрема, відповідає за орієнтацію екрана смартфона для ландшафтного (горизонтального) та портретного (вертикального) перегляду, а також вмикає екран фітнес-браслету, смарт-годинника коли повертається зап'ястя.

*** Спеціалізовані датчики удару (або детектори удару) включають до складу охоронних сигналізацій для виявлення механічного ударного впливу на об'єкт охорони (дуже часто їх, наприклад, встановлюють на транспортні засоби). Датчики удару ще називають пристроями ударного перевантаження. Їх можуть використовувати на поштових відправленнях крихких цінних предметів, щоб дізнатись, чи могло статися потенційно небезпечне падіння або удар під час транспортування. Вони також використовуються в спортивних шоломах, щоб допомогти оцінити, чи не стався небезпечний удар під час змагання. Нерідко для зручності використання в пристроях поєднують кілька функцій, створюючи датчики комплексного призначення (наприклад, досить популярним серед покупців вважається датчик удару та нахилу A-Sensor (з регульованою чутливістю до вібрації [ударів] та заданим в 5° порогом нахилу, при якому він спрацьовує).

Переважна кількість вібродатчиків встановлюється безпосередньо на певну поверхню для виявлення її фізичних коливань. Пристрій визначає коливання поверхні та передає про це сигнал на центральний блок сигналізації. Вібраційні датчики генерують небагато помилкових тривог, але один датчик може контролювати лише одну поверхню (наприклад, одне вікно).

Акустичні датчики, часто використовуювані для виявлення розбиття скла, є чутливими до звукових хвиль певної частоти. Один такий датчик може одночасно контролювати кілька вікон. Недоліком є те, що акустичні датчики дуже схильні до створення помилкових тривог.

До складу будь-якого акустичного датчика входить мікрофон, реле, підсилювач і електронний блок, що аналізує сигнал. Принцип дії акустичного датчика простий: постійний пошук звукових хвиль на певній частоті. Коли звукову хвилю знайдено, акустичний датчик починає аналіз її параметрів – амплітуди та швидкості. Потім прилад порівнює дані з еталонними значеннями, відправляє команду реле, воно замикає електричне коло, а також запускає таймер. В конструкції подібних пристроїв спочатку використовувались найпростіші механізми, які спрацьовували від хлопання в долоні. Тепер все частіше можна зустріти акустичні датчики зголосовим керуванням. Це складніші пристрої, які вміють розрізняти голосові команди.

Датчик тиску – це пристрій, який визначає тиск і перетворює його в електричний сигнал, величина якого залежить від прикладеного тиску. Датчики тиску бувають різних типів: датчики барометричного тиску, що містяться, зокрема, в більшості метеостанцій (вони призначені для вимірювання змін атмосферного тиску) і датчики тиску газу (призначені для моніторингу змін тиску в газах, особливо в нафтових, енергетичних та комунальних сферах). Хоча технічно *тензодатчики* (або датчики навантаження) не є датчиками тиску, проте їх також вважають різновидом датчиків тиску. Вони використовуються коли потрібно вимірювати вагу (наприклад, вагу тварини або рівень заповнення якогось резервуара).

Ще одним популярним датчиком тиску є *п'єзоелектричний датчик* (або п'єзоелектричний перетворювач). Це пристрій, який використовує п'єзоелектричний ефект для вимірювання змін тиску, прискорення, температури, деформації або сили шляхом перетворення їх в електричний заряд. Двома основними чутливими матеріалами, що використовуються для п'єзоелектричних датчиків, є п'єзоелектрична кераміка (наприклад, PZT кераміка*) і монокристалічні матеріали (наприклад, кварц).

Примітка. П'єзокераміка – група штучних матеріалів, що має п'єзоелектричні та сегнетоелектричні властивості. Префікс «п'єзо» (від грец. «piezo») означає «тиснути» і вказує на те, що цьому виду кераміки притаманна особлива власти-

* PZT (лат. Plumbum Zirconate Titanate) – цирконат-титанат свинцю – твердий розчин титанату свинцю та цирконату свинцю, сегнетоелектрик (речовина, керамічний перовскітний матеріал, що має спонтанний дипольний електричний момент в одній із кристалічних фаз у певному діапазоні температур). Широко використовується у вигляді поляризованої п'єзокераміки завдяки своїм високим п'єзоелектричним властивостям. У наш час ведуться активні пошуки екологічно чистих п'єзоелектричних матеріалів (безсвинцевих альтернатив п'єзокераміки).

вість – п'єзоелектричний ефект, тобто виникнення поляризації під дією механічної напруги.

Вперше п'єзокераміку було синтезовано у 1944 році уродженцем Білої Церкви Бенціоном Мойсейовичем Вулом, який виявив сегнетоелектричні властивості титанату барію. Практично одночасно ці властивості були виявлені американськими і японськими дослідниками (Юджином Вайнером і Алленом Саломоном в США у 1942 році, Такео Огавою та Шігеру Ваку в Японії у 1944 році).

У наш час п'єзоелектричні датчики (або п'єзоелектричні перетворювачі) активно використовуються в ехографії, в гідролокаторах, радарах, інфрачервоних детекторах, ультразвукових перетворювачах, в системах безключового доступу, у вібраційних контролерах відеоігор і навіть в аудіокомпонентах димових сигналізаторів. П'єзоелектричні кристали можуть стати джерелами живлення енергії, які перетворюють механічну енергію коливань у змінну електричну енергію, поступово знаходять належне місце в різних застосуваннях Інтернету речей, в тому числі для збирання та акумулювання енергії для автономних IoT-пристроїв.

Розміри пристроїв IoT можуть варіюватися від крихітних до дуже великих. Вони можуть виконувати одну просту функцію або мати складний бортовий інтелект. Залежно від призначення та особливостей функціонування IoT-пристрої можуть передавати дані байтового розміру за допомогою радіочастотної ідентифікації короткого діапазону (RFID) або потоки даних можуть надсилатися мережею з високою пропускну здатністю на великі відстані. Пристрій IoT можуть перебувати у фіксованому чи змінному місці, а доступ до них може бути легким або ж зовсім відсутнім.

Незважаючи на численні відмінності, є одна загальна вимога для всіх систем пристроїв – вони повинні мати потужність (енергію або електрику), щоб працювати.

Існує три поширені варіанти живлення системи IoT: за допомогою мережевої електрики, з використанням електричних батарей (гальванічних елементів, акумуляторів, паливних елементів), а також різноманітними способами перетворення енергії з навколишнього середовища (рис. 24).



Рис. 23. Шляхи живлення системи IoT

Розглянемо поширені підходи до збирання енергії.

Величезна кількість різноманітних пристроїв і механізмів Інтернету речей повинна житися за допомогою популярних серед користувачів засобів, які такими стали завдяки наукоємності використаної при їх створенні технології, безпечності, зручності, вигідної ціни та тривалої роботи.

Отримувати енергію можна з використанням термоелектричних, п'єзоелектричних, трибоелектричних технологій, застосовуючи фотовольтаїку або

користуючись явищем перенесення енергії електромагнітних хвиль в діапазоні радіочастот (рис. 25).

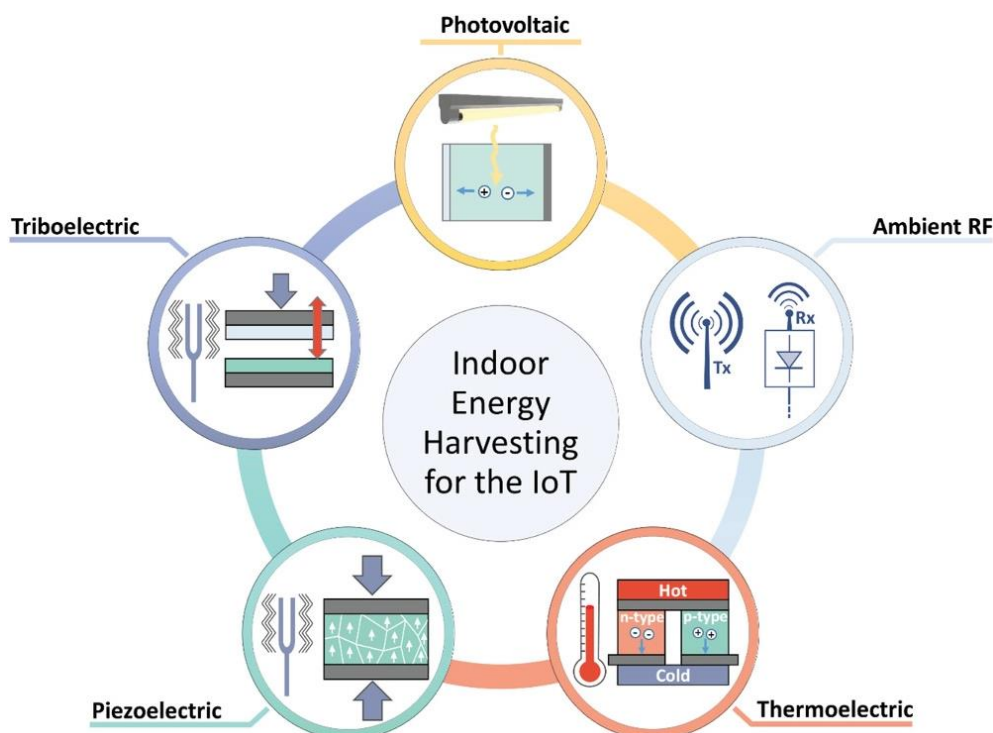


Рис. 24. Поширені технології збирання енергії для пристроїв Інтернету речей

Термоелектричні генератори* енергії перетворюють відпрацьоване тепло в електрику. Трибоелектричне збирання енергії для пристроїв IoT передбачає використання трибоелектричних наногенераторів**, що перетворюють навколишню механічну енергію в електрику за допомогою комбінації трибоелектрифікації та електростатичної індукції. Коли зовнішня сила приводить в контакт два матеріали з різною спорідненістю поверхневого заряду, поверхні двох матеріалів стають електрично зарядженими (відбувається процес трибоелектризації), особливо за наявності тертя. Збирання радіочастотної енергії навколишнього середовища являє собою перетворення навколишніх радіочастотних хвиль в електрику.

* Термоелектрогенератор (або термоелемент) – це технічний пристрій прямого перетворення теплової енергії на електричну з використанням напівпровідникових термоелементів. Перший у світі такий прилад створила в 1947 році американська винахідниця угорського походження Марія Телкеш (а наступного, 1948 року, вона ж розробила першу сонячну систему опалення для «Сонячного дому»).

** Трибоелектричний наногенератор (англ. Triboelectric Nanogenerator, TENG) використовує трибоелектричний ефект – явище, під час якого електричний заряд накопичується в одному матеріалі після того, як він відокремився від іншого матеріалу, з яким контактував (це те, що відповідає за статичний заряд, який виникає, коли гребінцем розчісується волосся). Наногенератор – це відносно новий тип технології, який перетворює енергію невеликих фізичних змін в електрику. Але останнім часом, зокрема, китайські вчені активно використовують цю технологію, створюючи панелі, які виробляють енергію з крапель дощу, подушки, які стежать за якістю сну та заряджаються від крутіння голови, «розумні» вікна, які змінюють свою прозорість, регулюючи кількість світла, що пропускається склом, покритим рідкими кристалами з полімерною дисперсією. А дослідники з Каліфорнійського університету знайшли спосіб виробляти енергію за допомогою трибоелектричного ефекту, використовуючи сніг і силікон.

Загалом, термоелектрогенератори бувають паливними (в них тепло отримується внаслідок спалювання палива), радіоізотопними (в таких пристроях тепло отримується від розпаду ізотопів, при цьому розпад не контролюється, а робота визначається періодом напіврозпаду), атомними (це пристрої для організації керованої самопідтримуваної ланцюгової реакції поділу урану 233/235, плутонію або торію, яка завжди супроводжується виділенням енергії), сонячними (в них тепло поступає від сонячних колекторів – дзеркал, лінз, теплових труб), геотермальними (електроенергію отримують з гарячих джерел, термальних підземних вод), утилізаційними (тепло отримують з будь-яких джерел, що виділяють скидне тепло [вихлопні, димові, пічні гази]) тощо.

Останніми роками людство активно вишукує альтернативні джерела енергії, а інженери динамічно впроваджують їх у виробництво різноманітних пристроїв. Так, наприклад, нещодавно в Китаї створили гнучкий, схожий на морські водорості, наногенератор, який рухається під дією навіть відносно слабкої підводної течії та генерує електричний струм. Загалом, подібні пристрої використовують у морському секторі IoT – у так званому морському Інтернеті речей (англ. Maritime Internet of Things, MIoT).

Не можна вважати, що граничні пристрої забезпечуються енергією за замовчуванням. Мільярди маленьких датчиків постійно потребують великої кількості енергії. Не менш важливо підтримувати й надійне передавання даних в IoT, і не лише на сенсорному (фізичному) рівні, на якому функціонують сенсори/датчики, а на всіх рівнях архітектури Інтернету речей.

Передавання даних

Велика увага при розробці IoT приділяється встановленню з'єднання і роботі мереж. Інтернету речей не існувало б без надійних технологій передавання даних з найвіддаленіших і несприятливих районів у найбільші центри збирання даних компаній Google, Amazon, Microsoft та IBM. Вивчаючи Інтернет речей конче необхідно досліджувати питання, що стосуються мережних технологій, обміну даними та навіть основи теорії сигналів, оскільки базова опора Інтернету речей – це не датчики і не програми, а можливість встановити з'єднання.

Передавання даних і встановлення мережевого з'єднання базується на основі систем зв'язку ближньої дії – персональних мереж (PAN), зазвичай побудованих без дотримання правил IP-протоколу. Це можуть бути як дротові, так і бездротові мережі. До бездротових IoT-мереж/протоколів, як правило, відносяться протоколи Bluetooth, Mesh-мережі, ZigBee, Z-Wave. Для PoT це також Wireless Hart та ISA100 Wireless. Перелік дротових мереж ще більший, оскільки сюди входять усі можливі промислові мережі та протоколи.

Mesh-мережа або сітчаста мережа – це топологія комп'ютерної мережі, в якій кожен вузол (що називається вузлом меш) передає дані по мережі й виступає в ролі комутатора. Перші Mesh-мережі використовувались у військових застосуваннях, зокрема для організації мобільного зв'язку з одиничними об'єктами. Mesh-мережі забезпечують високошвидкісне передавання

цифрових даних, відео- і мовний зв'язок, а також визначають місце розташування потрібних об'єктів.

ZigBee – це бездротова технологія, яка заснована на радіостандарті IEEE 802.15.4, підтримується Альянсом стандартів зв'язку (англ. Connectivity Standard Alliance) і призначена для стандартизації малопотужних M2M-пристроїв різних виробників. ZigBee працює в промислових, наукових і медичних радіодіапазонах (ISM-діапазон – від англ. Industrial, Scientific and Medical): 868 МГц в Європі, 915 МГц у США та в Австралії, 784 МГц у Китаї та 2.4 ГГц для більшості комерційних пристроїв Zigbee домашнього використання (в більшості країн світу). З особливостей мережі можна виділити високу стійкість до відмов, тривалий термін служби кінцевих пристроїв від однієї батареї, підтримку великої кількості підключень і спільну роботу пристроїв різних виробників.

Z-Wave – це протокол бездротового зв'язку (і відповідна радіотехнологія), що розроблено ще у 1999 році датською компанією Zensys (спочатку для споживчої системи керування світлом), але й досі використовується переважно для домашньої автоматизації. Мережева сітка Z-Wave працює в діапазоні частот до 1 ГГц і в ній для зв'язку між пристроями застосовуються малопотужні та мініатюрні радіочастотні модулі.

WirelessHART (або IEC 62591) – це мережева технологія, заснована на гібридному аналогово-цифровому відкритому протоколі промислової автоматизації HART (англ. Highway Addressable Remote Transducer Protocol), що розробила фірма Rosemount ще в середині 1980-х років. Базується на стандарті бездротового зв'язку IEEE 802.15.4 (діапазон ISM).

ISA100.11a (або IEC 62734) – це стандарт технології бездротової мережі, розроблений Міжнародним товариством автоматизації (англ. International Society of Automation, ISA), що базується на стандарті IEEE 802.15.4 і призначений для створення персональних мереж з низьким енергоспоживанням і низькою швидкістю передавання даних.

Крім персональних мереж використовуються бездротові локальні мережі та системи зв'язку на основі IP-протоколу, включаючи широкий діапазон Wi-Fi-мереж на основі стандартів IEEE 802.11, 6LoWPAN і технології Thread. Нерідко використовуються телекомунікації на основі стільникових стандартів (3G, 4G, LTE) і нові стандарти, що забезпечують роботу Інтернету речей та міжмашинну взаємодію, такі як Cat-M1 і NB-IoT, а також пропріетарні протоколи LoRaWAN і Sigfox, що притаманні лише IoT.

IEEE 802.11 – набір стандартів для комунікації в бездротовій локальній мережевій зоні частотних діапазонів 2.4, 3.6 і 5 ГГц. Їх випрацював і підтримує комітет зі стандартів LAN/MAN (IEEE 802) Інституту інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), які визначають взаємодію бездротових комп'ютерних мереж. Ці стандарти забезпечують основи бездротових мережеских продуктів, які користуються брендом Wi-Fi.

6LoWPAN (англ. IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) – стандарт взаємодії по протоколу IPv6 поверх малопотужних бездротових персональних мереж стандарту IEEE 802.15.4.

Thread – це протокол бездротової мережі з низьким енергоспоживанням і малою затримкою, створений з використанням відкритих та перевірених стандартів на основі протоколу IPv6.

3G (англ. 3rd Generation) – «третє покоління технології мобільного зв'язку», що працює на частотах дециметрового діапазону (близько 2 ГГц) зі швидкістю передавання даних понад 2 Мбіт/с. Існує два стандарти 3G: UMTS (чи W-CDMA) та CDMA2000. UMTS більш розповсюджений в основному в Європі, CDMA2000 – в Азії та США.

4G (англ. 4th Generation) – «четверте покоління мобільного радіозв'язку», швидкість передавання даних якого перевищує показники 3G в 200-500 разів. Міжнародний союз електрозв'язку (англ. International Telecommunication Union, ITU) до стандартів четвертого покоління відносить стандарти мобільної передачі, затверджені у специфікації ITM-Advanced у 2010 році, кандидатами у четверте покоління були визначені 6 радіоінтерфейсів, серед них варіанти LTE-Advanced (3GPP LTE Release 10) та WiMax Release 2 (IEEE802.16m). LTE (англ. Long-Term Evolution – довготерміновий розвиток) – термін, який використовується для позначення мереж, пропускна спроможність яких становить не менше 10 Мбіт/с.

LTE-M – це стандарт радіотехнології глобальної мережі низької потужності [LPWAN] LTE-MTC [Machine Type Communication], що підтримує передавання послуг стільникового зв'язку в смузі пропускання 1,4 МГц. Включав також специфікацію eMTC (англ. enhanced Machine Type Communication – розширений машинний зв'язок) [LTE Cat M1], яка була заморожена в стандарті Release 13 3GPP LTE Advanced Pro у 2016 році.

NB-IoT (англ. Narrow Band Internet of Things – вузькосмуговий IoT), також відомий як LTE Cat NB1 або LTE-M2, – це стандарт стільникового зв'язку для пристроїв телеметрії, що працює в дуже вузькій смузі пропускання (180 кГц) з низьким споживанням енергії, може обробляти невеликі обсяги двосторонньої передачі даних ефективним, безпечним і надійним способом. Він призначений для використання всередині приміщень, забезпечує тривалий термін служби батареї та велику кількість підключених пристроїв. Цей стандарт також було заморожено у 2016 році. Проте екосистема 3GPP-сумісних пристроїв для глобальних мереж малої потужності продовжує розвиватися. В стандарті Release 14 3GPP, зокрема, затверджено вдосконалений протокол NB-IoT – LTE Cat NB2. Завдяки йому тепер у NB2-пристроях можна використовувати батареї з меншим форм-фактором, а також забезпечується вища швидкість передачі даних порівняно з пристроями Cat NB1.

LoRa (**Long Range**) – це технологія модуляції радіосигналу для передавання даних в громадських, приватних і гібридних мережах, що забезпечує більшу зону покриття, ніж стільникові мережі. Сигнали в таких мережах передаються на відстань до 15 км. Стандарт LoRa використовує радіохвилі на субгігагерцових частотах (неліцензійного діапазону): Європа – 433 МГц, 868 МГц; Азія – 923 МГц; Північна Америка й Австралія – 915 МГц. LoRa – це фізичний рівень використання радіосигналів, а LoRaWAN (мережа довготривалої широкої зони дії) – програмний протокол передавання інформації.

Sigfox – бездротова енергоефективна технологія передавання даних між об'єктами малої потужності в мережах дальнього радіуса дії (LPWAN), що працює в радіодіапазонах ISM (868 МГц у Європі, 902 МГц у США). Мережі Sigfox засновані на зірковій топології та потребують мобільного оператора для передавання згенерованого трафіку. Сигнал Sigfox можна використувати для покриття великих територій і доступу до підземних об'єктів.

Привабливими для IoT вбачаються можливості кількарізного зростання швидкості передавання даних, що прогнозується для мереж 5G*. Значне підвищення продуктивності та надійності підключених пристроїв Інтернету речей дозволить їм «спілкуватися» та обмінюватися даними швидше, ніж будь-коли. Наразі на стадії концептуальної розробки перебуває також стандарт 5G-Advanced, який націлений на практично нульовий час переривання обслуговування під час передавання даних без шкоди для надійності.

Розвиток IoT стримується обмеженими зонами дії наземних мобільних мереж ширококутового доступу, які з комерційних міркувань охоплюють території з відносно високою щільністю населення. Розширити зону надання послуг Інтернету речей можна шляхом використання ресурсу супутникових телекомунікаційних систем.

Наявні супутникові телекомунікаційні системи здатні забезпечувати передачу трафіка систем Інтернету речей, вони, як правило, будуються за архітектурою хмарних обчислень (рис. 26). На нижньому рівні ієрархічної структури системи Інтернету речей перебувають IoT-пристрої або розумні речі (сенсори, а також пристрої, що реалізують фізичний вплив на актуатори** згідно з отриманими командами). На верхньому ієрархічному рівні системи перебуває хмарний центр опрацювання та зберігання даних.



Рис. 25. Модель системи IoT, яка використовує супутникову телекомунікаційну систему

* 5G є технологічним стандартом п'ятого покоління для ширококутових стільникових мереж, який оператори мобільного зв'язку почали розгортати по всьому світу в 2019 році, і є запланованим наступником мереж 4G, які забезпечують підключення до більшості сучасних мобільних телефонів. За прогнозами торгової організації GSMA, яка представляє інтереси операторів мобільного зв'язку по всьому світу, до 2025 року мережа 5G матиме понад 1,7 млрд. абонентів у всьому світі.

** Актуатор (англ. actuator) або виконавчий механізм – це пристрій, що змінює потік енергії або матеріалів, які діють на об'єкт. Актуатор приймає електричний сигнал і поєднує його з джерелом енергії, тобто перетворює енергію в рух.

Сегмент супутникового зв'язку утворює канал передавання даних від пристроїв Інтернету речей, сенсорів до хмари та у зворотному напрямку. Супутниковий канал формується із застосуванням таких елементів: VSAT*-термінал (що перебуває безпосередньо у місці розташування IoT-пристроїв і забезпечує підключення цих пристроїв із використанням радіотехнологій малого радіусу дії, як-от: Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee), телекомунікаційний супутник (що забезпечує ретрансляцію пакетів інформації IoT-пристроїв), центральна станція VSAT-мережі або станція спряження (що зазвичай підключена до магістральної мережі зв'язку та мережі Інтернет, через яку здійснюється передача інформації до хмарного центру обробки даних).

На рис. 27 наведено приклади застосування супутникових телекомунікаційних систем різного типу (що використовують низьку навколосезну орбіту [ННО] та геостаціонарну орбіту [ГСО]**) для забезпечення роботи систем Інтернету речей. Супутникові системи широкосмугового доступу, що використовують середню навколосезну орбіту (англ. Medium Earth Orbit, МЕО), утворені, наприклад, угрупованням супутників ОЗб***, не мають принципових відмінностей в архітектурі побудови від тих, що використовують низьку навколосезну орбіту.

Перспективні супутникові системи широкосмугового доступу StarLink та OneWeb, які перебувають на різних стадіях формування орбітального угруповання, також здатні забезпечувати передавання інформації в мережах Інтернету речей.

Starlink – це глобальна супутникова система, що розгортається компанією SpaceX для забезпечення високошвидкісного широкосмугового супут-

* VSAT (англ. Very Small Aperture Terminal) – це двостороння супутникова наземна станція з антеною-тарілкою розміром менше 3,8 метра (здебільшого від 75 см до 1.2 м), яка забезпечує доступ до супутників на геосинхронній або геостаціонарній орбіті. Перші комерційні VSAT-системи були налаштовані на роботу в діапазоні С (4-8 ГГц). На початку 1980-х років було розроблено VSAT Ku-діапазону (12-14 ГГц). На сьогодні найбільша в світі мережа VSAT діапазону Ku, що містить понад 100 000 VSAT, розгорнута та керується компанією Hughes Communications. У 2005 р. компанія WildBlue (нині ViaSat) почала розгортати мережі VSAT з обладнанням, що працює в Ka-діапазон (26,5-40 ГГц), а купивши у 2021 р. супутникову систему Inmarsat, отримала доступ до транспондерів діапазонів L (1-2 ГГц) та S (2-4 ГГц).

** Геостаціонарна орбіта (або геосинхронна екваторіальна орбіта; англ. Geosynchronous Equatorial Orbit, GEO) – це колова геосинхронна орбіта, на якій штучний супутник, обертаючись у напрямку обертання Землі, постійно перебуває над однією й тією ж точкою земної поверхні. Вона розташована над екватором Землі на постійній висоті 35 786 км над рівнем моря. Низька навколосезна орбіта (англ. Low Earth Orbit, LEO) – це космічна орбіта навколо Землі, що має висоту над поверхнею планети в діапазоні від 160 км до 2000 км.

*** Супутникове угруповання ОЗб, яке зараз належить міжнародному комерційному супутниковому оператору SES S.A., призначене для телекомунікацій та передавання даних з віддалених місць. Назва «ОЗб» спочатку розшифровувалась як «Other 3 billion» («Інші 3 мільярди») і стосувалася населення світу, у якого на час розробки проекту не було стабільного доступу до Інтернету. Наразі на середньонизькій земній орбіті розгортається супутникова система зв'язку наступного покоління ОЗб mPOWER, яка охопить 96% населення світу та зможе забезпечити пропускну здатність сотень гігабіт на мобільні або віддалені термінали. Це допоможе значно розширити комунікаційні спроможності споживачів різних державних і громадських установ та організацій, нафтогазових і гірничодобувних підприємств, військової сфери, комерційного та круїзного судноплавства, авіаційних і телекомунікаційних компаній.

никового доступу до Інтернет у місцях, де він був ненадійним, дорогим або повністю недоступним. Кілька тисяч супутників Starlink «спілкуватимуться» між собою у космосі на частоті понад 10 тис. ГГц за допомогою лазерного променя. З наземними станціями та терміналами користувачів зв'язок здійснюється у радіодіапазонах (Ku- та Ka-) на частоті 12 ГГц. Ku-антени надійні в роботі навіть у хмарну та дощову погоду, а Ka-антени забезпечують значно більшу пропускну здатність. Обіцяна швидкість передавання даних для споживача – 1 Гбіт/с. Для підтримки супутникового зв'язку Starlink потрібно мати термінал (супутникову тарілку із роутером), що відстежуватиме супутники за допомогою фазованої антенної решітки, яку рухатиме вбудований моторчик. Встановлювати його потрібно, спрямувавши у небо.

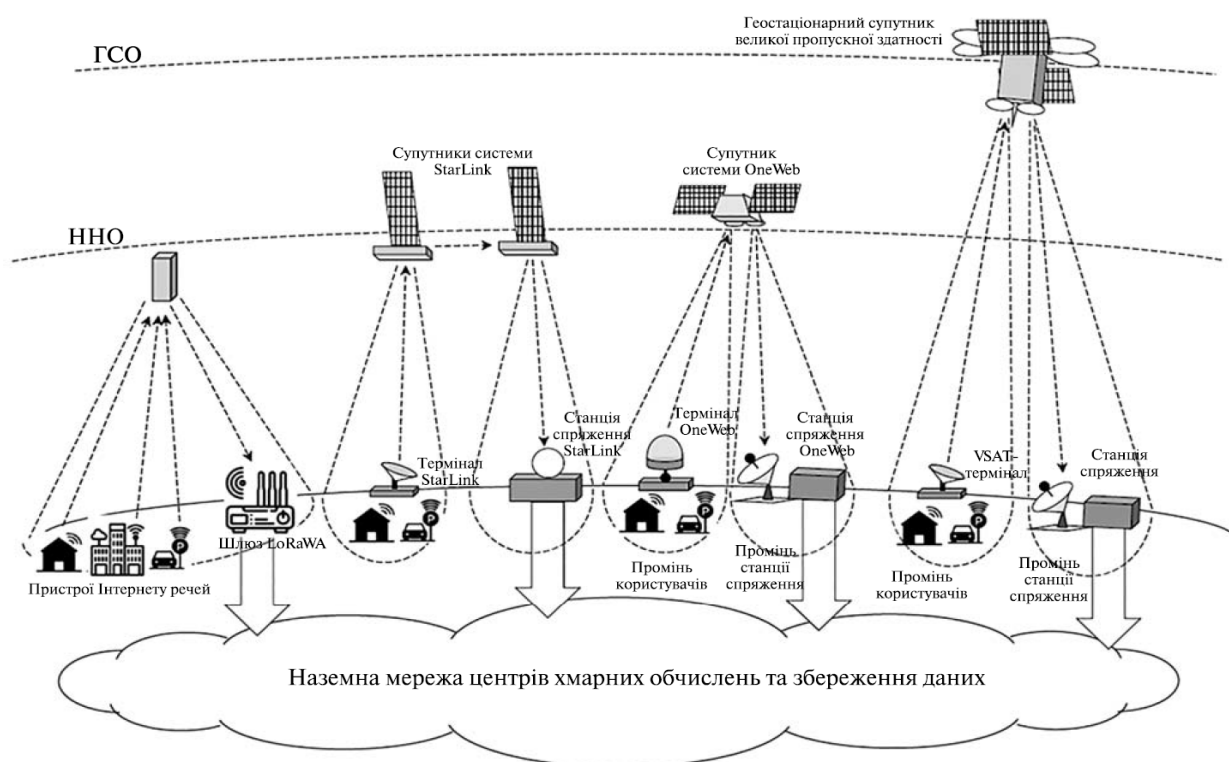


Рис. 26. Схема взаємодії супутникових телекомунікаційних систем з IoT-системою

Принципи використання супутникового угруповання OneWeb, що розгортається над Землею однойменною компанією, схожі до Starlink. Супутники OneWeb першого покоління не мають міжсупутникових каналів передавання даних, тому надаватимуть послугу для користувачів лише тоді, коли вони знаходяться в зоні дії наземної станції шлюзу. З користувачами вони «спілкуватимуться» в мікрохвильовому діапазоні частот 12-18 ГГц (Ku-діапазон). Зв'язок з наземними станціями шлюзу передбачається у Ka-діапазоні. Антена терміналу користувача на поверхні Землі являє собою або фазовану антенну решітку розміром приблизно 36×16 см, або подвійну моторизовану антену стеження, які забезпечать доступ до Інтернету зі швидкістю 50+ Мбіт/с по низхідному каналу та 10-20 Мбіт/с по висхідному каналу.

Ще один подібний амбітний проєкт розгортання над Землею великого сузір'я супутників скоро почне реалізовуватись за сприяння аерокосмічних

компаній Blue Origin, Arianespace та підприємства United Launch Alliance, які на своїх ракетах-носіях виведуть на низьку навколоземну орбіту супутники Project Kuiper дочірнього підрозділу компанії Amazon. Передбачається, що супутники будуть рухатись по орбіті на висоті від 590 до 630 км над Землею і використовуватимуть такі частоти Ка-діапазону: для низхідної лінії зв'язку 17.7-18.6 ГГц та 18.8-20.2 ГГц, для висхідної – 27.5-30 ГГц. Антена клієнтського терміналу з одноапертурною решіткою діаметром 12 дюймів працюватиме на частоті 17-30 ГГц. Також очікується, що підтримуватиметься пропускна здатність до 400 Мбіт/с.

На полярній і похилій орбітах на висоті близько 1000 км з використанням діапазону Ка у 6 орбітальних площинах невдовзі розгорнеться і сузір'я канадських супутників Telesat Lightspeed. Очікується, що ця мережа матиме пропускну здатність 16-24 Тбіт/с, при цьому клієнтам буде доступна швидкість передавання даних 8 Тбіт/с (1 ТБ/с).

В наземному сегменті IoT-мереж свої особливості налагодження зв'язку. Для передавання даних від датчиків до Інтернет-простору необхідні дві технології: маршрутизатор-шлюз і опорні Інтернет-протоколи, що забезпечують ефективність обміну даними. Маршрутизатор особливо важливий в таких аспектах, як безпека, управління і напрям пересилання даних. Граничні маршрутизатори керують і стежать за станом відповідних Mesh-мереж, вирівнюють та підтримують якість передавання даних. Також значну увагу слід приділяти вирішенню проблем конфіденційності та безпеки даних.

Маршрутизатор відіграє важливу роль в створенні віртуальних приватних мереж, віртуальних локальних мереж і програмно-визначених глобальних мереж. Вони в буквальному сенсі можуть містити тисячі вузлів, що обслуговуються єдиним граничним маршрутизатором, і якоюсь мірою маршрутизатор служить розширенням для хмари.

На цьому рівні використовується ряд протоколів, необхідних для обміну даними між вузлами, маршрутизаторами та хмарними сервісами в межах IoT-системи. Інтернет речей відкрив дорогу новим IoT-протоколам, які виходять на один рівень з традиційними протоколами HTTP і SNMP, що застосовуються вже кілька десятиків років. Для передавання IoT-даних потрібні ефективні, енергозберігаючі протоколи з малою затримкою, здатні легко і безпечно відправляти дані в хмару та з неї.

На сьогоднішній день існує декілька протоколів прикладного рівня, використовуваних при створенні IoT-сервісів: CoAP, DTLS, Eddystone, HTTP, iBeacon, MQTT, MQTT-SN, PJON, STOMP, Websocket, XMPP. Незважаючи на їх різноманітність, на практиці розробники частіше застосовують протоколи MQTT, CoAP, Websocket, і HTTP*. Крім того, їх підтримують

* Незважаючи на універсальність протоколу HTTP, який був розроблений для загального використання у моделях клієнт/сервер універсального типу, все ж IoT-пристрої здебільшого дуже обмежені у ресурсах, в тому числі у швидкості передавання даних. Тому для управління безліччю пристроїв в різних мережевих топологіях, таких як Mesh-мережі, ієрархічні та змішані мережі, необхідні більш ефективні, безпечні та масштабовані протоколи.

основні провайдери хмарних сервісів в своїх рішеннях (Amazon, Microsoft, IBM, Google).

Примітка. MQTT (англ. Message Queue Telemetry Transport – телеметричний транспорт черги повідомлень) – спрощений мережевий протокол, заснований на TCP. Використовується для обміну повідомленнями між пристроями за принципом видавець-підписник.

CoAP (англ. Constrained Application Protocol – протокол обмежених додатків) – спеціалізований протокол веб-передачі, розроблений відкритим міжнародним співтовариством проєктувальників, учених, мережевих операторів і провайдерів (англ. Internet Engineering Task Force, IETF) для використання між пристроями в одній обмеженій мережі, між пристроями та загальними вузлами в Інтернеті, а також між пристроями в різних обмежених мережах, об'єднаних через Інтернет. На відміну від HTTP CoAP на транспортному рівні використовує протокол UDP, клієнт і сервер взаємодіють без встановлення з'єднання. Основними перевагами використання CoAP для IoT є простота, низькі витрати пам'яті і енергії живлення.

WebSocket – незалежний протокол, заснований на протоколі TCP, призначений для обміну повідомленнями між браузером і вебсервером в режимі реального часу. Прикладний програмний інтерфейс WebSocket був стандартизований W3C, крім того протокол WebSocket стандартизований IETF як RFC 6455. WebSocket розроблений для втілення у браузерах і вебсерверах, але він може бути використаний для будь-якого клієнтського або серверного додатка.

В архітектурі Інтернету речей останнім часом виділяють окремий рівень *граничних або туманних обчислень* (рис. 28). Цей рівень необхідний для того, щоб IoT-системи відповідали вимогам до швидкості, безпеки та масштабування мобільної мережі 5-го покоління або 5G. Новий бездротовий стандарт обіцяє вищу швидкість, меншу затримку та здатність обслуговувати набагато більше підключених пристроїв, ніж поточний стандарт 4G.



Рис. 27. Архітектура граничних і туманних обчислень

Граничні та туманні обчислення є розширеннями хмарних обчислень. Основна відмінність між хмарними, туманними та граничними обчисленнями полягає в розташуванні інтелектуальних та обчислювальних потужностей. Хмара розгортається в набагато більшому масштабі, їй необхідно обробляти

величезну кількість даних, і вона знаходиться на більшій відстані* від своїх користувачів. Щоб подолати проблеми, з якими стикаються хмарні обчислення, використовуються граничні обчислення, в яких невеликий граничний сервер розміщується між користувачем і хмарою/туманом. Деякі дії з обробки можуть проводитись на цьому сервері, а не у хмарі, тому значна кількість даних зберігається неподалік від вихідних пристроїв або в туманних вузлах. Граничні обчислення сприяють зниженню вартості зв'язку, запобігаючи необхідності переміщення всіх даних у хмару. Цей підхід також дозволяє аналізувати та перетворювати великі обсяги даних у реальному часі локально, на кордонах мереж. Отже заощаджується час та інші ресурси, які в іншому випадку знадобилися б для надсилання всіх даних до хмарних служб. В результаті знижується затримка системи, що веде до підвищення продуктивності.

Граничні обчислення відбуваються на шлюзах, локальних серверах або інших периферійних вузлах, розкиданих по мережі. Вузлом туману може бути будь-який обчислювальний пристрій, сховище та мережа підключення. В шарі туману, зокрема, можуть працювати промислові контролери, комутатори, маршрутизатори, вбудовані сервери, камери відеоспостереження тощо.

Можливо, колись пристрої будуть не лише самостійно під'єднуватися до Інтернету та до інших локальних пристроїв, але й «спілкуватимуться» з будь-якими пристроями через Інтернет. У цьому контексті окремі групи вчених вже активно розвивають концепцію *соціального Інтернету речей*** (англ. Social Internet of Things, SIoT).

В процесі поєднання застосовних до обчислювальних пристроїв інструментів таких галузей, як синтетична біологія та нанотехнології, розвиватиметься й нова парадигма інформаційних технологій – *Інтернет біо-нано речей* (англ. the Internet of Bio-Nano Thing, IoBNT). А конвергенція технології штучного інтелекту (англ. Artificial Intelligence) та інфраструктури Інтернету речей цілком може породити *штучний інтелект речей* (англ. the Artificial Intelligence of Things, AIoT), який буде керуватися та використовуватися шляхом злиття фізичних і цифрових речей з біологічними істотами...

* Критично важливу інформацію можна зберігати в космосі, щоб зловмисники не мали доступу до неї. Наразі розробляється кілька подібних проєктів, зокрема SpaceBelt компанії Cloud Constellation, Nebula компанії D-Orbit (у співпраці з компанією UNIBAP) і ConnectX одногоменного стартапу. Вже запатентовано службу космічного хмарного зберігання даних SpaceBelt™ Data Security as a Service (DSaaS). В мережі не пов'язаних із земним Інтернетом орбітальних супутників, що «спілкуються» між собою за допомогою лазерного зв'язку, зберігаються важливі дані, і з цими хмарними центрами зберігання даних зв'язуються ретранслятори, які розташовані на геоостаціонарній орбіті. Через них проводиться передача даних клієнтам на Землі та від них. В ізольованих «космічних хмарах» можна також запускати програми штучного інтелекту, алгоритми машинного навчання, проводити інші високотехнологічні експерименти, не хвилюючись про те, що комп'ютери через недогляд програмістів можуть вийти з-під контролю. А завдяки рамковій програмі досліджень і технологічного розвитку Horizon 2020 продовжується розробка проєкту глобального рішення «сузір'я як послуга» на базі наносупутників – інфраструктура глобального Інтернету речей (англ. Global Internet of Things, GIoT).

** Соціальний Інтернет речей (SIoT) – це новий вид Інтернету речей, в якому кросдоменні IoT пристрої забезпечують зв'язок і співпрацю між своїм програмами без втручання людини.

Завдання до дослідженню сфер використання Інтернету речей

Завдання по вивченню поширених функцій «розумного будинку»

1. Ознайомитись з поняттями «Розумний будинок» (англ. Smart House), «Автоматизація будівель» (англ. Home Automation) та «Система управління будівлею» (англ. Building Management System). Розібратись з компонентним складом відповідних систем (з найменуванням підсистем і призначенням кожної з них).
- 
2. З'ясувати які саме датчики використовують у типовій модифікації системи «Розумний будинок». Оцінити приблизний ціновий діапазон найбільш економного варіанту системи «Розумний будинок».
 3. Дослідити різноманіття основних протоколів зв'язку (передавання даних) в системах «Розумний будинок».
 4. Проаналізувати останні статистичні дані стосовно домашньої автоматизації. Оцінити переваги сучасних розумних будинків.
 5. Дослідити сучасне різноманіття популярних готових рішень систем домашньої автоматизації. Проаналізувати функціональні можливості та особливості 3-5 найбільш популярних у наш час. З'ясувати, яке в них використовується програмне забезпечення (під різні операційні системи – як з відкритим, так і з закритим кодом). Зауважити, в яких саме системах частково реалізуються технології штучного інтелекту.
 6. Наведіть приклади девайсів з адміністрування «розумного будинку», якими можуть скористатися українці для підвищення комфорту та безпеки свого життя. Які функції описаних пристроїв на вашу думку є найбільш затребуваними в наш час і чому саме?
 7. З яких етапів має складатися процес розробки власної системи «Розумний дім»? Зауважте, які саме на вашу думку пристрої та програмні засоби найбільш раціонально (доцільно) використовувати при монтажі системи.
 8. Розробити власний проєкт (креслення) системи «Розумний дім» для квартири чи будинку. Скласти детальний текстовий опис усіх елементів облаштування свого «розумного будинку» або «розумної квартири».

Перелік рекомендованих джерел

1. Идеальный сервер умного дома на Home Assistant, часть 1 (аппаратная). URL: <https://www.ixbt.com/live/diy/idealnyy-server-umnogo-doma-na-home-assistant.html>.

2. Кращі системи «Розумний будинок» по виробниках 2022 року. ТОП 5 надійних та якісних систем «Розумний будинок» рейтингу. URL: <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam>.
3. Монтаж системи розумний будинок. URL: <https://itlogica.com.ua/uk/services/umnyj-dom>.
4. Мультирум. URL: <https://www.smarthouse.ua/ua/multirum.html>.
5. Детально про датчики системи «Умный дом». URL: <https://www.forter.com.ua/news-and-articles/podrobno-o-datchikah-sistemi-umny-dom>.
6. Проект розумного дому. Проектування системи. URL: <https://elektryka.ivano-frankivsk.ua/proektuvannya/proekt-rozumnogo-domu>.
7. Протоколи зв'язу для «Умного дома». URL: <https://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Protocols.htm>.
8. Розумний будинок (Smart House). URL: <https://sclnau.com.ua/pdf/2018/KIT/1.pdf>.
9. Розумний будинок – з чого він складається та чи потрібен вам. URL: <https://nachasi.com/2018/06/25/smart-house-faq>.
10. Розумний будинок на андроїд своїми руками, відео. URL: <http://stroyka-gid.com.ua/enziklopedia-znan/11764-rozumny-bydynok-na-android.html>.
11. «Розумні» будинки: що вмюють і в чому допомагають. URL: <https://techtoday.in.ua/news/rozumni-budinki-shho-vmiyut-i-v-chomu-dopomagayut-25925.html>.
12. Умный дом, послушный дом. URL: <https://www.apple.com/ru/ios/home>.
13. Что такое мультирум? Все, что вы хотели знать. URL: <https://www.denon.com/ru-ru/blog/what-is-multi-room-audio---everything-you-need-to-know>.
14. Що таке система «Розумний дім»: 9 фішок для комфорту. URL: https://www.mojo.ua/ua/news/chto_takoe_sistema_umnyy_dom_9_fishek_dlya_komforta.html.
15. Этапы разработки системы «Умный дом». URL: http://web.archive.org/web/20081223053654/http://www.realhome.ru/umny_dom/controlsystems/stages.
16. Як додати прилад HomeKit до програми «Дім». URL: <https://support.apple.com/uk-ua/HT204893>.
17. Як керувати розумними пристроями на телефоні Android. URL: <https://support.google.com/android/answer/10035441>.
18. Як працює розумний будинок. URL: https://secur.ua/ua/articles/ua_jak-pracjuje-rozumnij-budinok.html.
19. Alex Kvazis – технологии умного дома. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCcq9onYHbs6go3kDpfBoqhg>.
20. Cvetkovska L. 30 Smart Home Statistics for All High-Tech Enthusiasts. URL: <https://comfyliving.net/smart-home-statistics>.
21. Hey Google. URL: <https://assistant.google.com>.
22. Home Assistant. URL: <https://www.home-assistant.io>.
23. Home Assistant. URL: <https://oxorona.com/home-assistant>.
24. Home Assistant Yellow. URL: <https://www.crowdsupply.com/nabucasa/home-assistant-yellow?fbclid=IwAR07Qn6Eh7Q1gk-sjkBbUvCZYviI2-R37fh53bzBxvvTKV9b2KtnhnMAdco>.

25. List of Open Source Home Automation Software. URL: https://linuxhint.com/best_home_automation_software.
26. Smart home – Statistics & Facts. URL: https://www.statista.com/topics/2430/smart-homes/#topicHeader__wrapper.
27. The 10 Best Home Automation Systems. URL: <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/best-home-automation-systems>.
28. Tuya Smart life – приложение для любых устройств. URL: <https://intervision.ua/ua/tuya-smart-life-prilozhenie-dlya-lyubyx-ustrojstv/38-uncategorised-ua/100-tuya-smart-life-prilozhenie-dlya-lyubyx-ustrojstv>.
29. Your Building Automation System Essential Guide: How It Works & Why You Need One. URL: <https://gatewaymechanical.ca/building-automation-system-essential-guide>.
30. YUBII Home Center. URL: <https://www.data.ai/en/apps/google-play/app/com.fibaro.homecenter>.
31. Z-Wave vs ZigBee, WiFi, Thread, Bluetooth BLE: выбираем протокол управления умным домом. URL: <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom>.
32. 16 Open Source Home Automation Platforms to Use in 2020. URL: <https://ubidots.com/blog/open-source-home-automation>.
33. 4 лучших приложения для умного дома для автоматизации умного дома. URL: <https://websetnet.net/ru/4-лучших-приложения-для-умного-дома-для-автоматизации-умного-дома>.
34. 60+ Smart Home Stats and Facts That Will Surprise You. URL: https://hdlautomation.com/Articles_100000102865241.html.

Завдання по вивченню концепції та технологій «розумного міста»

1. Ознайомитись з особливостями широкопasmової технології малої потужності LPWAN та відкритим стандартом передавання даних в мережах широкого радіусу дії з низьким рівнем енергоспоживання пристроїв LoRaWAN.
2. Поглибити знання про можливість використання інформаційно-комунікаційних технологій у сфері житлово-комунального господарства, що забезпечують надійність і безпеку міських систем та ефективність використання ресурсів, про різні моделі та технології, що реалізуються в «розумних містах».
3. Ознайомитись з матеріалами/публікаціями про втілення концепції «розумного міста» в деяких найбільш успішних мегаполісах світу.



4. Дослідити різноманіття IoT-послуг, що покращують взаємодію та довіру між урядами та громадськістю, яку вони обслуговують. Оцінити важливість смартизації державного сектора (управління містами й планування їхнього розвитку, виконання оборонних функцій і дистанційного стеження за територіями, запобігання виникненню катастроф, надзвичайних ситуацій і швидкого реагування на них, покращення електронних послуг державного сектора, е-урядування).
5. З'ясувати, які проблеми цифрової трансформації сучасного міського господарства є на часі, зокрема в Україні. Оцінити можливості реалізації в Україні технологій «розумних міст».
6. Провести аналіз поширених (у тому числі вітчизняних) IoT-рішень, призначених для розумного обліку ресурсів житлово-комунального господарства, розумного вуличного освітлення, розумного транспортного забезпечення, контролю рухомого та нерухомого майна (зокрема, будівель), інтелектуальних систем паркування.

Перелік рекомендованих джерел

1. Автотрекінг. URL: <https://kyivstar.ua/uk/mm/entertainment/autotracking>.
2. В Україні запустили сервіс контролю безпеки будинків та квартир зі смартфона. URL: <https://www.unian.ua/science/10337511-v-ukrajini-zapustili-servis-kontrolyu-bezpeki-budinkiv-ta-kvartir-zi-smartfona.html>.
3. Геоінформаційні технології у територіальному управлінні: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. 14–16 верес. 2016 р. Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2016. 184 с. URL: <http://www.oridu.odessa.ua/7/7/11.pdf>.
4. Дистанційний облік ресурсів. URL: <https://jooby.eu/uk/rdc-landing-page>.
5. Додаток I. Модуль 2. Фізичні особи, домогосподарства та інформаційне суспільство Регламенту Комісії (ЄС) № 859/2013 від 5 вересня 2013 року про імплементацію Регламенту Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 808/2004 про статистику Співтовариства щодо інформаційного суспільства. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_027-13.
6. DubaiNow. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.deg.mdubai>.
7. Єршова О. Л., Бажан Л. І. Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація. URL: <http://194.44.12.92:8080/xmlui/handle/123456789/5372>.
8. Інтелектуальна транспортна система. URL: <https://pro-mobility.org/upravlinnya-transportnoyu-systemoyu/intelektualni-transportni-sistemi-its>.
9. Інтернет речей та сектор охоронної сигналізації. URL: <https://worldvision.com.ua/internet-veshchey-i-sektor-okhrannoy-signalizatsii>.
10. Компанія ІМК запустила ще один фрагмент мережі ТМ «МЕРЕЖА-868». URL: <http://www.imc.ua/blog/компанія+імк+запустила+ще+один+фрагмент+мережі+тм+«мережа-868»>.
11. Комплект сигналізації Hiper IoT Cam Home Kit MX3. URL: <https://ek.ua/ua/HIPER-IOT-CAM-HOME-KIT-MX3.htm>.

12. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Харків: Майдан, 2018. 262 с. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/2316/1/migal_1_2018.pdf.
13. Місто майбутнього: розумні технології в Сінгапурі. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/misto-majbutnogo-rozumni-tehnologiyi-v-singapuri>.
14. Мунистр В. Д. Компьютерные сети. IoT и межмашинное взаимодействие. Хрестоматия. URL: <https://ua1lib.org/book/5538695/се6bb4>.
15. Онлайн тренінг «IoT та технічні рішення для сучасного управління містами та інфраструктурою». URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aaZauds034o>.
16. Особливості GSM сигналізації SafeHome. URL: <https://spadok.org.ua/tehnologiyi/osoblyvosti-gsm-sygnalizatsiyi-safehome>.
17. Переверзев О. А., Гумен Т. Ф., Трапезон К. О. Дослідження особливостей використання технології LPWAN у сучасних системах охорони житлових будинків. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/3_2020/part_1/13.pdf.
18. Платформа електронної демократії та електронного врядування SMART CITY, SMART ГРОМАДА, SMART РЕГІОН. URL: <https://bissoft.org.ua/smart-city>.
19. Порівняння стандартів для IoT рішень Різниця між LPWAN та 3GPP. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=15GHrIlg2EQ>.
20. «Потрібні технології та залучення мешканців». URL: <https://day.kyiv.ua/uk/article/ekonomika/potribni-tehnologiyi-ta-zaluchennya-meshkanciv>.
21. Про затвердження Концепції «КИЇВ СМАРТ СІТІ 2020». URL: https://kyivcity.gov.ua/npa/pro_zatverdzhennya_kontseptsi_kiv_smart_siti_2020_348234.
22. Програмне забезпечення для управління освітленням Jooby CMS. URL: <https://jooby.eu/uk/cms-admin-panel-uk>.
23. Протипожежний датчик Hiper IoT S1. URL: <https://ek.ua/ua/HIPER-IOT-S1.htm>.
24. Рішення IoT (LoRaWAN) для ЖКГ. URL: <https://www.atiko.com.ua/ua/solutions/rishennia-iot-lorawan-dlia-zhkh>.
25. Розумне місто. Розповідаємо, що таке «smart city» та чим воно небезпечне. URL: <https://hromadske.ua/posts/liho-z-rozumu-rozpovidayemo-sho-take-smart-city-ta-chim-vono-nebezpechne>.
26. Розумне місто. URL: <https://romsat.ua/solutions/rozumne-misto>.
27. Розумний облік ресурсів. URL: <https://business.vodafone.ua/produkty/iot/smart-metering>.
28. «Розумний» хаос: що не так зі Smart City в українських містах. URL: <https://mind.ua/publications/20221673-rozumnij-haos-shcho-ne-tak-zi-smart-city-v-ukrayinskih-mistah>.
29. Розумні парковки. Управління паркувальним майданчиком супермаркету. URL: <https://iotji.io/solutions/rozumni-parkovky>.
30. Система освітлення LoRaWAN. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ukGEYbhRv54>.
31. Технологія LoRaWAN. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/66634.html>.

32. Ткач С. М. Управління розвитком міст на засадах концепції Smart City у Західному регіоні України. URL: https://re.gov.ua/re202102/re202102_091_TkachSM.pdf.
33. Третяк Я. Галузі майбутнього: «розумні» міста та будинки. URL: <https://mind.ua/publications/20188390-galuzi-majbutnogo-rozumni-mista-ta-budinki>.
34. Тур О. В. Концепція розумного міста як основа забезпечення сталого розвитку територій. URL: http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/15_2018/51.pdf.
35. Умное уличное освещение. URL: <https://jooby.eu/ru/smart-lighting-landing>.
36. Чотири цінні можливості інтернету речей у ритейлі. URL: <https://wezom.com.ua/blog/chetyre-tsennyh-vozmozhnosti-interneta-veschej-v-ritejle>.
37. Что такое LoRaWan. URL: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067>.
38. Чукут С. А., Дмитренко В. І. Смарт-сіті чи електронне місто: сучасні підходи до розуміння впровадження е-урядування на місцевому рівні. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2016_13_17.
39. Що таке Smart City? URL: <https://sites.google.com/site/smartyolesia>.
40. ABS research keeps Amsterdam clean: real-time image recognition for litter collection. URL: <https://www.uva.nl/en/content/news/news/2020/10/abs-research-keeps-amsterdam-clean-real-time-image-recognition-for-litter-collection.html>.
41. Amsterdam. Smart City. URL: <https://amsterdamsmartcity.com>.
42. Array of Things. URL: <https://arrayofthings.github.io>.
43. Burbano L. What is a smart parking system? Functionalities and benefits. URL: <https://tomorrow.city/a/smart-parking>.
44. Data Sharing Toolkit. URL: https://www.digitaldubai.ae/docs/default-source/publications/data-sharing-toolkit.pdf?sfvrsn=91fb2fa1_12.
45. Dubai Now <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.deg.mdubai>
46. Humphrey R. The IoT Opportunity: Nissan. URL: <https://www.forgerock.com/blog/iot-opportunity-nissan>.
47. Interact City. URL: <https://www.interact-lighting.com/uk-ua/what-is-possible/interact-city>.
48. IoT і технологія LoRaWAN. У чому переваги такого поєднання? URL: <https://iotji.io/osoblyvosti-lorawan>.
49. IOT сигналізація. URL: <https://intervision.ua/ua/gsm-signalizaciya/iot-alarm>.
50. IOT SOLUTIONS. Smart Parking. URL: <https://www.libelium.com/iot-solutions/smart-parking>.
51. IP відеокамера InterVision IOT-CAM. URL: <https://video-standart.com.ua/ua/okhrannaja-signalizacija/gsm-signalizacija/intervision-iot-cam>.
52. Jakarta's Smart City vision. A megacity on a mission. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/sg/Documents/public-sector/sea-ps-govlab-jakarta-brief.pdf>.
53. Jooby. Дистанційний облік ресурсів. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=veSWgeqDlas>.
54. Jooby Smart Lighting. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=IX4Ys-fklsE>.

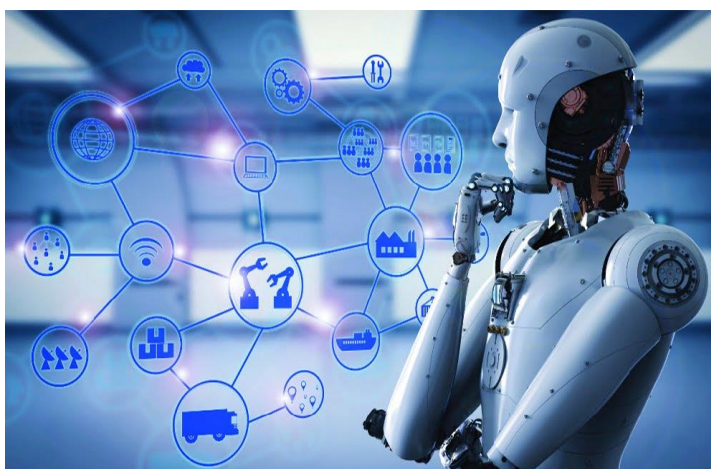
55. Koba S. IoT Based Smart Parking System Development. URL: <https://mobidev.biz/blog/iot-based-smart-parking-system>.
56. LoRa чи NB-IoT: що обрати для енергоефективного рішення? URL: <https://business.dii.gov.ua/handbook/tehnologii-dla-avtomatizacii-biznesu/lora-ci-nb-iot-so-obrati-dla-energoefektivnogo-risenna>.
57. LoRaWAN для IoT. Огляд рішення LoRa в ELKO Smart Center. URL: <https://www.elko.ua/novosti2/lorawan-elko-smart-center#regform>.
58. LoRaWAN МЕРЕЖА-868 РАПИРА ИМК ИМС. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ftBCtcunEHA>.
59. Papadopoulou P., Kolomvatsos K., Hadjiefthymiades S. Internet of Things in E-Government: Applications and Challenges. URL: <https://www.igi-global.com/gateway/article/full-text-html/257274>.
60. Perenio. Про систему. URL: <https://perenio.ua/platform>.
61. Smart Cities around the world. Amsterdam Edition. URL: <https://www.tech.gov.sg/media/technews/smart-cities-around-the-world-amsterdam>.
62. Smart City від Vodafone – це вирішення проблем сучасного міста. URL: <https://business.vodafone.ua/produkty/iot/smart-city>.
63. Smart City 2021: світові тренди розвитку розумних міст. Де Україна? URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/rishennya-dlya-zdorov-ya-ta-zruchnosti-smart-city-yak-rozvivayutsya-kijiv-ta-ukrajinski-mista-50182226.html>.
64. Smart City: Розумні технології сучасного міста. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/smart-city-rozumni-tehnologiyi-suchasnogo-mista>.
65. Smart City: технології «розумного міста» та їх цільове призначення. URL: <https://ukraine.org.ua/ua/news/smart-city-tehnologiyi-rozumnogo-mista-ta-yih-cilove-priznachennya>.
66. Smart City Chicago. URL: <https://meetingoftheminds.org/smart-city-chicago-27152>.
67. Smart City Observatory. URL: <https://www.imd.org/smart-city-observatory>.
68. Smart Dubai 2021 Strategy. URL: <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/local-governments-strategies-and-plans/smart-dubai-2021-strategy>.
69. Smart Metering: що це таке, навіщо та де застосовується. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/smart-metering-shho-cze-take-navishho-ta-de-zastosovuyetsya>.
70. Sriratnasari S. R., Wang G., Kaburuan E. R., Jayadi R. Integrated Smart Transportation using IoT at DKI Jakarta. URL: https://www.researchgate.net/publication/335932963_Integrated_Smart_Transportation_using_IoT_at_DKI_Jakarta.
71. The Internet of Things for Government. URL: <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-government-solutionbrief-en.pdf>.
72. The smart nation: Singapore's masterplan. URL: <https://www.information-age.com/smart-nation-singapores-masterplan-123462444>.
73. Toyota builds company-wide, standardized IoT platform to promote data utilization with Edge AI. URL: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/1359428884271186582-toyota-industries-corporation-automotive-azure-en-japan>.

74. Ultimate Guide to IoT Based Smart Parking System. URL: <https://chintglobal.com/blog/iot-based-smart-parking-system>.
75. Waggle. URL: <https://wa8.gl>.
76. Water Leak Detection & Control Systems. URL: <https://www.kairoswater.io>.
77. Webinar: LoRaWAN® Solutions for Smart Water Management. URL: <https://resources.lora-alliance.org/smart-utilities/webinar-lorawan-solutions-for-smart-water-management-2>.
78. Wi-Fi камера Hiper IoT Cam CX1. URL: <https://e-katalog.pl/ua/HIPER-IOT-CAM-CX1.htm>.
79. Wi-Fi камера Hiper IoT Cam M4. URL: <https://ek.ua/ua/HIPER-IOT-CAM-M4.htm>.

*Завдання по дослідженню можливостей
використання Інтернету речей*

в бізнесі, промисловості та інших сферах життєдіяльності

1. Ознайомитись з поняттями «BPM-система», «MES-система», «ERP-система» та «CRM-система». Розібратись, як саме системи управління бізнес-процесами (англ. Business Process Management, BPM), системи управління виробничими процесами (англ. Manufacturing Execution System, MES), системи планування ресурсів підприємства (англ. Enterprise Resource Planning, ERP), системи управління відносинами з клієнтами (англ. Customer Relationship Management, CRM) можна використовувати з Інтернетом речей (з конкретними хмарними рішеннями). Описати можливості такого використання, навести приклади програмних рішень (у тому числі вітчизняних) відповідного призначення.
2. Зробити короткий аналіз того, які на вашу думку можливості надають системи Інтернету речей
 - а) у плануванні ресурсів підприємств, у підвищенні ефективності бізнесу завдяки автоматизації процесів виробничого циклу підприємств, у моніторингу ланцюга поставок товарів і послуг;
 - б) при керуванні даними в сільськогосподарських екосистемах для ефективного ведення агробізнесу, у контролі процесу вирощування сільськогосподарських культур, у спостереженні за станом та здоров'ям посівів, у плануванні поливу й точному зрошенні, у моніторингу поживних речовин у ґрунті;
 - в) для дистанційного моніторингу стану тваринницьких ферм, їх інфраструктури, для контролю за благополуччям та метаболічною активністю тварин, за дозуванням їжі та ліків в процесі вирощування



худоби, для слідкування за показниками біосенсорів на птахофабриках з метою контролю за здоров'ям птиці та раннього виявлення хворих;
г) при організації подорожей, транспортної логістики, вантажних перевезень (залізницею, автомобільними дорогами, морським, річковим транспортом), ритейлу (роздрібною торгівлі).

3. Дослідіть усі можливі сегменти застосування Інтернету медичних речей (англ. Internet of Medical Things, IoMT; Health IoT) і опишіть важливі на Ваш погляд перспективи розвитку галузі охорони здоров'я та персоналізованої медицини. Оцініть важливість застосування IoT у фармацевтичному виробництві, спираючись на дані з публікацій, що можна знайти у вільному доступі.
4. Ознайомтесь з тлумаченнями критично важливого Інтернету речей (англ. Mission Critical Internet of Things, MC-IoT). Проаналізуйте, які моделі Інтернету речей можуть бути найбільш доцільними для забезпечення критично важливих комунікацій (на рівні підприємств і в територіальних громадах), зокрема для належного вирішення проблем громадської безпеки, прискореного реагування на надзвичайні ситуації.
5. Спроектуйте модель бізнесу ймовірного власного екопідприємства із зазначенням технічних і програмних рішень, які планували б на ньому використовувати.
6. Ознайомтесь з поняттям Військового Інтернету речей [англ. Military Internet of Things, MIoT] (синоніми: Інтернет бойових речей [англ. the Internet of Battle Things], Інтернет речей бойових дій [англ. the Internet of Battlefield Things, IoBT]), а також з можливостями використання IoT в обороні та військовій сфері. Опишіть, як Ви розумієте концепцію Інтернету речей для бойових дій та війни, які її принципи та технології Ви вважаєте перспективними для розумного управління військовими ресурсами, доцільного ведення розвідки, належного забезпечення оборонних можливостей і грамотної тактичної аналітики під час проведення бойових операцій.

Перелік рекомендованих джерел

1. Вистоять «озброєні»: як інтернет речей допомагає бізнесу впоратися з кризою. Які smart-проекти вже є в арсеналі українських компаній. URL: <https://mind.ua/publications/20208969-vistoyat-ozbroeni-yak-internet-rechej-dopomagaе-biznesu-vporatisya-z-krizoyu>.
2. Гарбар С. Купи-продай: останні тренди та прогнози запровадження інтернету речей в FMCG. І як вони працюють. URL: <https://mind.ua/openmind/20234613-kupi-prodaj-ostanni-trendi-ta-prognozi-zaprovadzhennya-internetu-rechej-v-fmcg>.
3. Гліненко Л. К., Дайновський Ю. А. Формування бізнес-моделей Інтернету речей за шаблоном BMC // Маркетинг і цифрові технології, v. 5, n. 1. 2021. p. 42-73. URL: <https://www.mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/129/116>.

4. Глобальні технологічні тренди у розрізі окремих цілей сталого розвитку: монографія / Т. Писаренко, Т. Кваша, О. Паладченко та ін. Київ: УкрІНТЕІ, 2019. 311 с. URL: http://www.uiniei.kiev.ua/sites/default/files/monog_gtr_2019_0.pdf.
5. Інтернет речей: технології, які змінюють український ритейл. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/shcho-take-iot-riteyl-biznes-v-ukrajini-zminuyetsya-zavdyaki-suchasnim-tehnologiyam-50155833.html>.
6. Інтернет речей: чим він може бути корисний для бізнесу. URL: <https://metinvest.digital/ua/page/internet-veshchej-chem-on-mozhet-byt-polezen-dlya-biznesa>.
7. Інтернет речей у бізнесі: як це працює? URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-ueiznesi-yak-cze-praczuue>.
8. Інтернет речей у промисловості: як це працює? URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-u-promislovosti-yak-cze-praczuue>.
9. Інтернет речей у сільському господарстві: 8 порад. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-u-silisikomu-gospodarstvi-8-porad>.
10. Інтернет речей як наступний крок до підвищення ефективності бізнесу. URL: <https://prisma-group.com.ua/uk/article/internet-rechej-yak-nastupnij-krok-do-pidvishhennya-efektivnosti-biznesu>.
11. Кравець І. Як оцифрувати фермерське господарство. URL: <https://propozitsiya.com/ua/kak-ocifrovat-fermerskoe-hozyaystvo>.
12. Павленко О. Чому IoT, AI та Machine Learning – це майбутнє сільського господарства. URL: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learningtse.html.
13. ПРОКСИС™. Створення розумних фабрик як метод диверсифікації виробництва. URL: https://www.proxis.ua/uk/solution/Sozdanie_umnix_fabrik_iz_setevogo_oborudovaniya.
14. ПРОКСИС™. Edge Device-to-Cloud – майбутнє IoT! URL: <https://www.proxis.ua/uk/solution/edge-device-to-cloud>.
15. Промисловий Інтернет речей стимулює впровадження цифрових технологій для інтуїтивного керування промисловими об'єктами. URL: <https://www.se.com/ua/uk/work/campaign/innovation/industries.jsp>.
16. Промисловий Інтернет речей. URL: <https://www.proxis.ua/uk/services/industrial-internet-of-things>.
17. Сільське господарство та «інтернет речей» – перспективи на майбутнє. URL: <https://www.imena.ua/blog/agtech>.
18. Accelerate Success With ThingWorx IIoT Solutions Platform. URL: <https://www.ptc.com/en/products/thingworx>.
19. Adam D. Tops Expands Contactless Shop + Scan Option to 5 More Stores. URL: <https://www.winsightgrocerybusiness.com/retailers/tops-expands-contactless-shop-scan-option-5-more-stores>.
20. Agriculture Drone Software Development Services. URL: <https://intellias.com/agriculture-drone-software-development>.
21. Agriculture IoT Use Case. URL: <https://thethings.io/iot-agriculture>.

22. Agriculture Software Development. URL: <https://intellias.com/agriculture-software-development>.
23. Azure IoT Edge. Build the Intelligent Edge. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-edge>.
24. Brown H. The future of farming: IoT wearables and data in animal care. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/post/The-future-of-farming-IoT-wearables-and-data-in-animal-care>.
25. Business Process Management, BPM. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/business-process-management-bpm>.
26. Cameron L. Internet of Things Meets the Military and Battlefield. Connecting Gear and Biometric Wearables for an IoMT and IoBT. URL: <https://www.computer.org/publications/tech-news/research/internet-of-military-battlefield-things-iomt-iobt>.
27. Carrefour opens hi-tech contactless shop in Paris. URL: <https://www.retaildetail.eu/news/food/carrefour-opens-hi-tech-contactless-shop-paris>.
28. Chalimov A. IoT in Agriculture: 8 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider). URL: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider>.
29. Ciccozzi F., Crnkovic I., Ruscio D. D., Malavolta I., Pelliccione P., Spalazzese R. Model-Driven Engineering for Mission-Critical IoT Systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/312483915_Model-Driven_Engineering_for_Mission-Critical_IoT_Systems.
30. Connect to Protect with Mission Critical IoT. URL: https://www.motorolasolutions.com/en_us/products/mission-critical-internet-of-things.html.
31. Critical Communications IoT Concepts Paper. URL: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/12/202001_GSMA_IoT_Critical-Comms-IoT-Concepts-Paper.pdf.
32. Customer Relationship Management, CRM. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/customer-relationship-management-crm>.
33. Digital Agriculture, AgTech and the Internet of Things. URL: <https://agriculture.vic.gov.au/farm-management/agtech/introduction-to-agtech/digital-agriculture-agtech-internet-things>.
34. Digital Health IoT Connectivity Solutions. URL: <https://www.cassianetworks.com/bluetooth-iot-solutions/healthcare-digital-health-iot>.
35. Enterprise Resource Planning, ERP. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/enterprise-resource-planning-erp>.
36. Getting Started with SAP Leonardo IoT. URL: https://help.sap.com/docs/SAP_Leonardo_IoT/195126f4601945cba0886cbbcbf3d364.
37. How IoT and BPM Integration Transforms Your Business. URL: <https://www.comidor.com/blog/business-process-management/how-iot-and-bpm-integration-transforms-your-business>.
38. Improving CRM Practices with Salesforce IoT Cloud. URL: <https://erpsolutionsoodles.medium.com/improving-crm-practices-with-salesforce-iot-cloud-9936e6345e67>.

39. Industrial Internet of Things, IIoT. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/promyshlennyj-internet-veschej>.
40. Internet of Medical Things Revolutionizing Healthcare. URL: <https://aabme.asme.org/posts/internet-of-medical-things-revolutionizing-healthcare>.
41. IoBT-CRA. URL: <https://iobt.illinois.edu>.
42. IoT у HoReCa – як інтернет речей змінив готельний та ресторанний бізнес. URL: <https://www.imena.ua/blog/iot-in-horeca>.
43. IoT Core. URL: <https://cloud.google.com/solutions/iot>.
44. IOT is Transforming Modern Warfare. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2017/internet-of-things-transofrming-modern-warfare.html>.
45. IoT vs COVID-19. Як Інтернет речей допомагає бізнесу працювати в умовах карантину. URL: <https://www.telesphera.net/news/iot-vs-covid-19.html>.
46. IoT World Today. Can ERP and MES Systems Keep Up With IIoT? URL: <https://www.iotworldtoday.com/2021/08/02/can-erp-and-mes-systems-keep-up-with-iiot>.
47. Kott A., Swami A., West B. J. The Internet of Battle Things // Computer 49.12, 2016. p. 70-75. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1712/1712.08980.pdf>.
48. Le M. You Can Fight Climate Change and Boost Revenue – See How These Ecopreneurs Do It. URL: <https://www.salesforce.com/blog/ecopreneurs>.
49. Lenniy D. IoT in Agriculture: Connected Farming Is the Smarter Way to Sustainability. URL: <https://intellias.com/iot-agriculture-connected-farming>.
50. Low-code BPM-platform. URL: <https://www.creatio.com/products>.
51. Lukavetska O. How to integrate CRM and IoT. URL: <https://keap.com/business-success-blog/sales/crm/internet-of-things-and-crm>.
52. Manning K. IoT + BPM: Modeling Sensor-Aware Business Processes. URL: <https://www.processmaker.com/blog/iot-bpm-modeling-sensor-aware-business-processes>.
53. Manufacturing Execution System, MES. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/manufacturing-execution-system-mes>.
54. MarineLabs. URL: <https://marinelabs.io>.
55. Meola A. Smart Farming in 2020: How IoT Sensors are Creating a More Efficient Precision Agriculture Industry. URL: <https://www.businessinsider.com/smart-farming-iot-agriculture>.
56. MES and Industrial IoT. URL: <https://eazyworks.com/index.php/ez-mes-and-Industrial-iot>.
57. MES & I-IoT – How do they Work Together. URL: https://www.youtube.com/watch?v=90_wNKvpk-k.
58. Mission Critical Internet of Things. URL: https://namrinfo.motorolasolutions.com/APP4483_scada_wastewater.
59. Newton E. How Is the Internet of Things Improving Pharmaceutical Manufacturing? URL: <https://datafloq.com/read/how-is-iot-improving-pharmaceutical-manufacturing>.
60. Ordóñez M. D., Gómez A., Ruiz M., Ortells J. M., Niemi-Hugaerts H., Juiz C., Jara A., Butler T. A. IoT Technologies and Applications in Tourism

- and Travel Industries. URL: https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/chapter/RP_9788770221955C8.pdf.
61. Přinášíme inovace a chytrá řešení do zemědělství. URL: <https://www.cleverfarm.ag/cs/?fbclid=IwAR2p44ZDEiyvxLaCzVrYj2QPxzC7wBTs52dSxPOXJDq8-o2yPj1mf8ZjUk>.
 62. PULSE: A Foundational Platform that Makes Building IoT Devices, Simpler. URL: <https://pycno.co>.
 63. Rad M. M., Rahmani A. M., Sahafi A., Qader N. N. Social Internet of Things: vision, challenges, and trends // Human-centric Computing and Information Sciences. 10, 52 (2020). URL: <https://d-nb.info/1225675677/34>.
 64. Ready for Dedicated Fresh Produce ERP. URL: <https://aptean.com/en-US/solutions/erp/products/aptean-food-and-beverage-erp-linkfresh>.
 65. Sahu M. 7 Applications of IoT in Defence and Military. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/7-applications-iot-defence-and-military>.
 66. Scarpato N., Pieroni A., Nunzio L. Di, Fallucchi F. E-health-IoT universe: A review. URL: https://www.researchgate.net/publication/322138675_E-health-IoT_universe_A_review.
 67. Smart Agriculture (Розумне сільське господарство). URL: <https://iotukraine.com/projects-ua/smart-agriculture-rozumne-silске-gospodarstvo>.
 68. Smart Agriculture Market. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-agriculture-market-239736790.html>.
 69. Social Internet of Things. When Things get smart, the Internet of Things gets Social! URL: <http://www.social-iot.org>.
 70. Soni P. 9 Applications of IoT in Pharmaceutical Manufacturing. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/9-applications-iot-pharmaceutical-manufacturing>.
 71. Specialists In High-Tech Precision Farming Services. URL: <https://www.agri-tech.co.uk>.
 72. The Internet of Things – Building Smart Machines. URL: <https://www.salesforce.com/ap/internet-of-things>.
 73. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11432-020-2955-6.pdf>.
 74. Umt. Рішення. URL: https://www.umat.ua/solutions_ua.
 75. What is Mission-Critical IoT? URL: <https://callmc.com/data-solutions/cellular/iot-networking>.
 76. Yang G., Xie L., Mäntysalo M., Zhou X., Pang Z., Xu L., Kao-Walter S., Chen Q., Zheng L. R. A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor and Intelligent Medicine Box. URL: https://www.researchgate.net/publication/269948865_A_Health-IoT_Platform_Based_on_the_Integration_of_Intelligent_Packaging_Unobtrusive_Bio-Sensor_and_Intelligent_Medicine_Box.
 77. 10 Internet of Things (IoT) Healthcare Examples, and why their Security Matters. URL: <https://ordr.net/article/iot-healthcare-examples>.

Використана та рекомендована література

1. Автотрекінг. URL: <https://kyivstar.ua/uk/mm/entertainment/autotracking>.
2. Акустический датчик: принцип работы и разновидности умных устройств. URL: <https://dom-i-remont.info/posts/obshhie-voprosy/akusticheskij-datchik-princzip-raboty-i-raznovidnosti-umnyh-ustrojstv>.
3. Вистоять «озброєні»: як інтернет речей допомагає бізнесу впоратися з кризою. Які smart-проекти вже є в арсеналі українських компаній. URL: <https://mind.ua/publications/20208969-vistoyat-ozbroeni-yak-internet-rechej-dopomagaе-biznesu-vporatisya-z-krizoyu>.
4. Вступ до Граничних обчислень в IoT (Introduction to Edge Computing in IoT). Технічна документація ІІС. URL: https://atep.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/12/vstup_do_granichnih_obchislen_v_iiot.pdf.
5. В Китаї створили гнучкий наногенератор, схожий на морські водорості, що збирає енергію хвиль. URL: <https://ua-electro.com/ru/v-kita%D1%97-stvorili-gnuchkij-nanogenerator-sxozhij-na-morski-vodorosti-shho-zbiraye-energiyu-xvil>.
6. В Україні запустили сервіс контролю безпеки будинків та квартир зі смартфона. URL: <https://www.unian.ua/science/10337511-v-ukrajini-zapustili-servis-kontrolyu-bezpeki-budinkiv-ta-kvartir-zi-smartfona.html>.
7. Выше облаков: а не построишь ли сервер в космосе? URL: <https://habr.com/ru/company/ruvds/blog/552054>.
8. Гарбар С. Купи-продай: останні тренди та прогнози запровадження інтернету речей в FMCG. І як вони працюють. URL: <https://mind.ua/openmind/20234613-kupi-prodaj-ostanni-trendi-ta-prognozi-zaprovadzhennya-internetu-rechej-v-fmcg>.
9. Геоінформаційні технології у територіальному управлінні: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. 14-16 верес. 2016 р. Одеса: ОРІДУ НАДУ, 2016. 184 с. URL: <http://www.oridu.odessa.ua/7/7/11.pdf>.
10. Глобальні технологічні тренди у розрізі окремих цілей сталого розвитку: монографія / Т. Писаренко, Т. Кваша, О. Паладченко та ін. Київ: УкрІНТЕІ, 2019. 311 с. URL: http://www.uiniei.kiev.ua/sites/default/files/monog_gtr_2019_0.pdf.
11. Дистанційний облік ресурсів. URL: <https://jooby.eu/uk/rdc-landing-page>.
12. Єршова О. Л., Бажан Л. І. Розумне місто – концепція, моделі, технології, стандартизація. URL: <http://194.44.12.92:8080/xmlui/handle/123456789/5372>.
13. Заряджає саме себе. Вчені створили розумне вікно, яке дозволить заощадити на кондиціонері. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/innovations/rozumni-vikna-yak-nova-tehnologiya-ridkih-kristaliv-dopomagaye-shovatisya-vid-soncyu-50153553.html>.
14. Идеальный сервер умного дома на Home Assistant, часть 1 (аппаратная). URL: <https://www.ixbt.com/live/diy/idealnyy-server-umnogo-doma-na-home-assistant.html>.
15. Ільченко М. Ю., Наритник Т. М., Присяжний В. І., Капштик С. В., Матвієнко С. А. Космічна інфраструктура інтернету речей. Стан та

- перспективи розвитку // Космічна наука і технологія. 2021. Т. 27, №6 (133). С. 65-84. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2021.06.065>.
16. Ільченко М. Ю., Наритник Т. М., Присяжний В. І., Капшик С. В., Матвієнко С. А. Низькоорбітальна супутникова система Інтернету речей на базі розподіленого супутника // Космічна наука і технологія. 2020. Т. 26. №4 (125). С. 57-85. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2020.04.057>.
 17. Інтернет речей: технології, які змінюють український ритейл. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/shcho-take-iot-riteyl-biznes-v-ukrajini-zminuyetsya-zavdyaki-suchasnim-tehnologiyam-50155833.html>.
 18. Інтернет речей: чим він може бути корисний для бізнесу. URL: <https://metinvest.digital/ua/page/internet-veshchej-chem-on-mozhet-byt-polezen-dlya-biznesa>.
 19. Інтернет речей та сектор охоронної сигналізації. URL: <https://worldvision.com.ua/internet-veshchej-i-sektor-okhrannoy-signalizatsii>.
 20. Інтернет речей у бізнесі: як це працює? URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-ueiznesi-yak-cze-praczuje>.
 21. Інтернет речей у промисловості: як це працює? URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-u-promislovosti-yak-cze-praczuje>.
 22. Інтернет речей у сільському господарстві: 8 порад. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/internet-rechej-u-siliskomu-gospodarstvi-8-porad>.
 23. Інтернет речей як наступний крок до підвищення ефективності бізнесу. URL: <https://prisma-group.com.ua/uk/article/internet-rechej-yak-nastupnij-krok-do-pidvishhennya-efektivnosti-biznesu>.
 24. Качура М. Подушка простежила за якістю сну і зарядилася від крутіння голови. URL: [https://nauka.ua/news/podushka-zaryadilasya-vid-krutinnya-golovi-uvi-sni-ta-postezhila-za-yakisty-u-snu](https://nauka.ua/news/podushka-zaryadilasya-vid-krutinnya-golovi).
 25. Китай запустив міні супутникове угруповання «Сонечка» для IoT. URL: <https://transcontrol.com.ua/uk/zapytannia-vidpovidi/270-kytai-zapustyv-mini-suputnykove-uhrupovannia-sonetchka-dlia-iot.html>.
 26. Китайці розробили панель, що виробляє енергію з крапель дощу. URL: <https://ecolog-ua.com/news/kytauci-rozrobily-panel-shcho-vyroblyaye-energiyu-z-krapel-doshchu>.
 27. Кравець І. Як оцифрувати фермерське господарство. URL: <https://propozitsiya.com/ua/kak-ocifrovat-fermerskoe-hozyaystvo>.
 28. Кращі системи «Розумний будинок» по виробниках 2022 року. ТОП 5 надійних та якісних систем «Розумний будинок» рейтингу. URL: <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyu-dom-po-proizvoditelyam>.
 29. Ли П. Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. Москва: ДМК Пресс, 2019. 454 с.
 30. Монтаж системи розумний будинок. URL: <https://itlogica.com.ua/uk/services/umnyj-dom>.
 31. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Харків: Майдан, 2018. 262 с. URL: https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/bitstream/123456789/2316/1/migal_1_2018.pdf.

32. Місто майбутнього: розумні технології в Сінгапурі. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/misto-majbutnogo-rozumni-tehnologiyi-v-singapuri>.
33. Музей комп'ютерів HP. URL: http://hpmuseum.net/display_item.php?hw=350.
34. Мультирум. URL: <https://www.smarthouse.ua/ua/multirum.html>.
35. Мунистр В. Д. Компьютерные сети. IoT и межмашинное взаимодействие. Хрестоматия. URL: <https://ua1lib.org/book/5538695/ce6bb4>.
36. Онлайн тренінг «IoT та технічні рішення для сучасного управління містами та інфраструктурою». URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aaZauds034o>.
37. Павленко О. Чому IoT, AI та Machine Learning – це майбутнє сільського господарства. URL: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learningtse.html.
38. Переверзев О. А., Гумен Т. Ф., Трапезон К. О. Дослідження особливостей використання технології LPWAN у сучасних системах охорони житлових будинків. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/3_2020/part_1/13.pdf.
39. Платформа електронної демократії та електронного врядування SMART CITY, SMART ГРОМАДА, SMART РЕГІОН. URL: <https://bissoft.org/ua/smart-city>.
40. Подробно о датчиках системы «Умный дом». URL: <https://www.forter.com.ua/news-and-articles/podrobno-o-datchikah-sistemi-umnyi-dom>.
41. Порівняння стандартів для IoT рішень. Різниця між LPWAN та 3GPP. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=15GHrIg2EQ>.
42. Програмне забезпечення для управління освітленням Jooby CMS. URL: <https://jooby.eu/uk/cms-admin-panel-uk>.
43. Проект розумного дому. Проектування системи. URL: <https://elektryka.ivano-frankivsk.ua/proektuvannya/proekt-rozumnogo-domu>.
44. ПРОКСИС™. Створення розумних фабрик як метод диверсифікації виробництва. URL: https://www.proxis.ua/uk/solution/Sozdanie_umnix_fabrik_iz_setevogo_oborudovaniya.
45. ПРОКСИС™. Edge Device-to-Cloud – майбутнє IoT! URL: <https://www.proxis.ua/uk/solution/edge-device-to-cloud>.
46. Промисловий Інтернет речей стимулює впровадження цифрових технологій для інтуїтивного керування промисловими об'єктами. URL: <https://www.se.com/ua/uk/work/campaign/innovation/industries.jsp>.
47. Промисловий Інтернет речей. URL: <https://www.proxis.ua/uk/services/industrial-internet-of-things/>.
48. Протоколи зв'язи для «Умного дома». URL: <https://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-Protocols.htm>.
49. Рішення IoT (LoRaWAN) для ЖКГ. URL: <https://www.atiko.com.ua/ua/solutions/rishennia-iot-lorawan-dlia-zhkh>.
50. Розумне місто. Розповідаємо, що таке «smart city» та чим воно небезпечне. URL: <https://hromadske.ua/posts/liho-z-rozumu-rozpovidayemo-sho-take-smart-city-ta-chim-vono-nebezpechne>.
51. Розумне місто. URL: <https://romsat.ua/solutions/rozumne-misto>.
52. Розумний будинок – з чого він складається та чи потрібен вам. URL: <https://nachasi.com/2018/06/25/smart-house-faq>.
53. Розумний будинок на андроїд своїми руками, відео. URL: <http://stroyka-gid.com.ua/enziklopedia-znan/11764-rozumny-bydynok-na-android.html>.

54. Розумний облік ресурсів. URL: <https://business.vodafone.ua/produkty/iot/smart-metering>.
55. «Розумний» хаос: що не так зі Smart City в українських містах. URL: <https://mind.ua/publications/20221673-rozumnij-haos-shcho-ne-tak-zi-smart-city-v-ukrayinskih-mistah>.
56. «Розумні» будинки: що вміють і в чому допомагають. URL: <https://techtoday.in.ua/news/rozumni-budinki-shho-vmiyut-i-v-chomu-dopomagayut-25925.html>.
57. Розумні парковки. Управління паркувальним майданчиком супермаркету. URL: <https://iotji.io/solutions/rozumni-parkovky>.
58. Сільське господарство та «інтернет речей» – перспективи на майбутнє. URL: <https://www.imena.ua/blog/agtech>.
59. Технології індустрії 4.0. URL: <http://edu.asu.in.ua/mod/book/view.php?id=112&chapterid=227>.
60. Технології інтернету речей. Навчальний посібник / Б. Ю. Жураковський, І. О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.
61. Технології сучасних кібер-фізичних систем: Навчальний посібник / укладач: Ю. Є. Грудзинський. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 327 с.
62. Технологія LoRaWAN. URL: <https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/66634.html>.
63. Ткач С. М. Управління розвитком міст на засадах концепції Smart City у Західному регіоні України. URL: https://re.gov.ua/re202102/re202102_091_TkachSM.pdf
64. Третяк Я. Галузі майбутнього: «розумні» міста та будинки. URL: <https://mind.ua/publications/20188390-galuzi-majbutnogo-rozumni-mista-ta-budinki>.
65. Тур О. В. Концепція розумного міста як основа забезпечення сталого розвитку територій. URL: http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/15_2018/51.pdf.
66. Умное уличное освещение. URL: <https://jooby.eu/ru/smart-lighting-landing>.
67. Умный дом, послушный дом. URL: <https://www.apple.com/ru/ios/home>.
68. Чотири цінні можливості інтернету речей у ритейлі. URL: <https://wezom.com.ua/ua/blog/chetyre-tsennyh-vozmozhnosti-interneta-veschej-v-ritejle>.
69. Что такое мультирум? Все, что вы хотели знать. URL: <https://www.denon.com/ru-ru/blog/what-is-multi-room-audio---everything-you-need-to-know>.
70. Что такое LoRaWan. URL: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067>.
71. Чукут С. А., Дмитренко В. І. Смарт-сіті чи електронне місто: сучасні підходи до розуміння впровадження е-урядування на місцевому рівні. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ipd_2016_13_17.
72. Шевченко А. Створений спосіб отримувати енергію з снігу. URL: <https://cikavosti.com/stvorenii-sposib-otrimyvati-energiu-z-snigu>.
73. Що таке система «Розумний дім»: 9 фішок для комфорту. URL: https://www.mojo.ua/ua/news/chto_takoe_sistema_umnyu_dom_9_fishek_dlya_komforta.html.
74. Що таке Smart City? URL: <https://sites.google.com/site/smartcityolesia>.

75. Этапы разработки системы «Умный дом». URL: http://web.archive.org/web/20081223053654/http://www.realhome.ru/umny_dom/controlsystems/stages.
76. Як додати прилад HomeKit до програми «Дім». URL: <https://support.apple.com/uk-ua/HT204893>.
77. Як керувати розумними пристроями на телефоні Android. URL: <https://support.google.com/android/answer/10035441>.
78. Як працює розумний будинок. URL: https://secur.ua/ua/articles/ua_jak-pracjuje-rozumnij-budinok.html.
79. ABS research keeps Amsterdam clean: real-time image recognition for litter collection. URL: <https://www.uva.nl/en/content/news/news/2020/10/abs-research-keeps-amsterdam-clean-real-time-image-recognition-for-litter-collection.html>.
80. Accelerate Success With ThingWorx IIoT Solutions Platform. URL: <https://www.ptc.com/en/products/thingworx>.
81. Agriculture Drone Software Development Services. URL: <https://intellias.com/agriculture-drone-software-development>.
82. Agriculture IoT Use Case. URL: <https://thethings.io/iot-agriculture>.
83. Agriculture Software Development. URL: <https://intellias.com/agriculture-software-development>.
84. Akyildiz I. F., Pierobon M., Balasubramaniam S., Koucheryavy Y. The Internet of Bio-NanoThings. URL: <https://mbite.unl.edu/files/papers/2015/j1.pdf>.
85. Alex Kvazis – технологии умного дома. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCcq9onYHbs6go3kDpfBoqhg>.
86. Amazon teme la interferencia entre los 30.000 satélites de Starlink y los propios. URL: <https://politicnews.com.ar/2022/06/28/amazon-teme-la-interferencia-entre-los-30-000-satelites-de-starlink-y-los-propios>.
87. Andreev S., Galinina O., Pyattaev A., Gerasimenko M., Tirronen T., Torsner J., Sachs J., Dohler M., Koucheryavy Y. Understanding the IoT Connectivity Landscape – A Contemporary M2M Radio Technology Roadmap. URL <https://arxiv.org/pdf/1509.09299.pdf>.
88. Array of Things. URL: <https://arrayofthings.github.io>.
89. Azure IoT Edge. Build the Intelligent Edge. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-edge>.
90. Borcoci E., Drăgulinescu A.-M., Li F. Y., Vochin M.-C., Kjellstadli K. An Overview of 5G Slicing Operational Business Models for Internet of Vehicles, Maritime IoT Applications and Connectivity Solutions. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9615227>.
91. Brown H. The future of farming: IoT wearables and data in animal care. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/post/The-future-of-farming-IoT-wearables-and-data-in-animal-care>
92. Burbano L. What is a smart parking system? Functionalities and benefits. URL: <https://tomorrow.city/a/smart-parking>.
93. Büchner W., Heinzelmann S. "Trojan Room Coffee Machine". Virtuelles Museum für den ersten Star des Internets. URL: <https://www.spiegel.de/netzwelt/web/trojan-room-coffee-machine-virtuelles-museum-fuer-den-ersten-star-des-internets-a-189302.html>.

94. Cameron L. Internet of Things Meets the Military and Battlefield. Connecting Gear and Biometric Wearables for an IoMT and IoBT. URL: <https://www.computer.org/publications/tech-news/research/internet-of-military-battlefield-things-iomt-iobt>.
95. Chalimov A. IoT in Agriculture: 8 Technology Use Cases for Smart Farming (and Challenges to Consider). URL: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider>.
96. Chen M., Miao Y., Humar I. OPNET IoT Simulation. Springer Nature Singapore, Huazhong University of Science and Technology Press, 2019. 689 p. URL: <https://vdoc.pub/documents/opnet-iot-simulation-7srfmsjuvpa0>.
97. Chubb N. Maritime Applications for IoT. URL: <https://thetius.com/maritime-applications-for-iot>.
98. Ciccozzi F., Crnkovic I., Ruscio D. D., Malavolta I., Pelliccione P., Spalazzese R. Model-Driven Engineering for Mission-Critical IoT Systems. URL: https://www.researchgate.net/publication/312483915_Model-Driven_Engineering_for_Mission-Critical_IoT_Systems.
99. Cirani S., Ferrari G., Picone M., Veltri L. Internet of Things. Architectures, Protocols and Standards. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2018. 408 p.
100. Cloud Constellation Corporation. Leading the Cloud Transformation of Space. URL: <https://spacebelt.com>.
101. Colina A. L., Vives A., Zennaro M., Bagula A., Pietrosemol E. Internet of Things in 5 days. 2016. 227 p. URL: <http://www.iet.unipi.it/c.vallati/files/IoTinfivedays-v1.1.pdf>.
102. Connect to Protect with Mission Critical IoT. URL: https://www.motorolasolutions.com/en_us/products/mission-critical-internet-of-things.html
103. ConnectX. The FIRST network of small satellites and terrestrial servers that stores high value data eliminating the use of the Internet. URL: <https://connectx.com>.
104. Cranenburgh N. IoT in Defence. URL: <https://iot.engineersaustralia.org.au/wiki-index/iot-in-defence-r83>.
105. Critical Communications IoT Concepts Paper. URL: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2019/12/202001_GSMA_IoT_Critical-Comms-IoT-Concepts-Paper.pdf.
106. Cvetkovska L. 30 Smart Home Statistics for All High-Tech Enthusiasts. URL: <https://comfyliving.net/smart-home-statistics>.
107. Data Sharing Toolkit. URL: https://www.digitaldubai.ae/docs/default-source/publications/data-sharing-toolkit.pdf?sfvrsn=91fb2fa1_12.
108. Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities. Urban Design to IoT Solutions / Editors: Angelakis V., Tragos E., Pöhls H. C., Kapovits A., Bassi A. Cham: Springer Publishing Company, 2017. 336 p.
109. Digital Agriculture, AgTech and the Internet of Things. URL: <https://agriculture.vic.gov.au/farm-management/agtech/introduction-to-agtech/digital-agriculture-agtech-internet-things>.
110. Digital Health IoT Connectivity Solutions. URL: <https://www.cassianetworks.com/bluetooth-iot-solutions/healthcare-digital-health-iot>.

111. Enabling Things to Talk. Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model / Editors: Bassi A., Bauer M., Fiedler M., Kramp T., Kranenburg R. van, Lange S., Meissner S. Springer Publishing Company, 2013. 352 p.
112. EU's Horizon 2020 And ESA Are Part Of €10 Million Grant For NanoAvionics' Global IoT Constellation-as-a-Service Aimed at IoT/M2M Communications Providers. URL: <https://nanoavionics.com/news/eus-horizon-2020-and-esa-are-part-of-e10-million-grant-for-nanoavionics-global-iot-constellation-as-a-service-aimed-at-iot-m2m-communications-providers>.
113. Foster L. D. IoT Protocols You Need to Know: ISA100.11a. URL: <https://www.cbtnuggets.com/blog/technology/networking/iot-protocols-you-need-to-know-isa100-11a>.
114. Getting Started with SAP Leonardo IoT. URL: https://help.sap.com/docs/SAP_Leonardo_IoT/195126f4601945cba0886cbbcbf3d364.
115. Giometti R. BeagleBone Home Automation Blueprints. Birmingham – Mumbai: Packt Publishing Ltd., 2016. 378 p.
116. Grizhnevich A. IoT Architecture: Building Blocks and How They Work. URL: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-architecture-in-a-nutshell-and-how-it-works>.
117. Hasan M. State of IoT 2022: Number of connected IoT devices growing 18% to 14.4 billion globally. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices>.
118. Hassija V., Chamola V., Saxena V., Jain D., Goyal P., Sikdar B. A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures. URL: https://www.researchgate.net/publication/333909259_A_Survey_on_IoT_Security_Application_Areas_Security_Threats_and_Solution_Architectures.
119. Hey Google. URL: <https://assistant.google.com>.
120. Home Assistant. URL: <https://oxorona.com/home-assistant>.
121. Home Assistant Yellow. URL: <https://www.crowdsupply.com/nabu-casa/home-assistant-yellow?fbclid=IwAR07Qn6Eh7Q1gk-sjkBbUvCZYviI2-R37fh53bzBxvvTKV9b2KtnhnMAAdco>.
122. How IoT and BPM Integration Transforms Your Business. URL: <https://www.comidor.com/blog/business-process-management/how-iot-and-bpm-integration-transforms-your-business>.
123. How Smart lighting Bring Savings to Industrial Environments? URL: <https://www.bridgethings.com/how-smart-lighting-brings-savings-to-industrial-environments>.
124. Humphrey R. The IoT Opportunity: Nissan. URL: <https://www.forgerock.com/blog/iot-opportunity-nissan>.
125. Improving CRM Practices with Salesforce IoT Cloud. URL: <https://erpsolutionsoodles.medium.com/improving-crm-practices-with-salesforce-iot-cloud-9936e6345e67>.
126. Industrial Internet of Things, IIoT. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/promyshlennyj-internet-veschej>
127. Industrial IOT on land and at sea: Maritime. URL: https://www.inmarsat.com/content/dam/inmarsat/corporate/documents/maritime/insights/Inmarsat_IIoT_on_land_and_at_sea_Maritime.PDF.

128. Industrial IOT on land and at sea. URL: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2018/09/Inmarsat-IoT-on-land-and-at-sea-2018_09.pdf.
129. Interact City. URL: <https://www.interact-lighting.com/uk-ua/what-is-possible/interact-city>.
130. Internet of Medical Things Revolutionizing Healthcare. URL: <https://aabme.asme.org/posts/internet-of-medical-things-revolutionizing-healthcare>.
131. Internet of Things A to Z. Technologies and Applications / The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Edited by Qusay F. Hassan. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018. 704 p.
132. Internet of Things Applications – From Research and Innovation to Market Deployment / Editors: Ovidiu Vermesan & Peter Friess, River Publishers Series in Communications and Networking. URL: https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/RP_E9788793102958.pdf.
133. Internet of Things (IoT) in healthcare: benefits, use cases and evolutions. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/internet-things-healthcare>.
134. Internet of Things (IoT) Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Component (Platform, Solution & Services), By End-use Industry (BFSI, Retail, Government, Healthcare, Manufacturing, Agriculture, Sustainable Energy, Transportation, IT & Telecom, and Others), and Regional Forecast, 2022-2029. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-things-iot-market-100307>.
135. IoBT-CRA. URL: <https://iobt.illinois.edu>.
136. IoT і технологія LoRaWAN. У чому переваги такого поєднання? URL: <https://iotji.io/osoblyvosti-lorawan>.
137. IoT у HoReCa – як інтернет речей змінив готельний та ресторанний бізнес. URL: <https://www.imena.ua/blog/iot-in-horeca>.
138. IoT Architecture: the Pathway from Physical Signals to Business Decisions. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/iot-architecture-layers-components>.
139. IoT Core. URL: <https://cloud.google.com/solutions/iot>.
140. IOT is Transforming Modern Warfare. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2017/internet-of-things-transofrming-modern-warfare.html>.
141. IOT SOLUTIONS. Smart Parking. URL: <https://www.libelium.com/iot-solutions/smart-parking>.
142. IoT vs COVID-19. Як Інтернет речей допомагає бізнесу працювати в умовах карантину. URL: <https://www.telesphera.net/news/iot-vs-covid-19.html>.
143. IoT World Today. Can ERP and MES Systems Keep Up With IIoT? URL: <https://www.iotworldtoday.com/2021/08/02/can-erp-and-mes-systems-keep-up-with-iiot>.
144. IRIS Space Router. Key Capabilities and Benefits. White Paper. URL: https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/gov/IRIS_Space_Router_Key_Capabilities_and_Benefits_wp.pdf.
145. ISA100 Wireless. URL: <https://opcfoundation.org/markets-collaboration/isa100-wireless>.

146. ISA100 Wireless. Architecture for Industrial Internet of Things. URL: <https://isa100wci.org/en-US/Documents/PDF/3405-ISA100-WirelessSystems-Future-broch-WEB-ETSI.aspx>.
147. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things. Executive Summary. Geneva: International Telecommunication Union, 2005. 28 c.
148. Jakarta's Smart City vision. A megacity on a mission. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/sg/Documents/public-sector/sea-ps-govlab-jakarta-brief.pdf>.
149. Jansons J. 5G use cases for enterprises. URL: <https://iot.telenor.com/blog/5g-use-cases-for-enterprises>.
150. Johnson J. T. 6 IoT architecture layers and components explained. URL: <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/A-comprehensive-view-of-the-4-IoT-architecture-layers>.
151. Joshi N. Understanding IoT sensors: how IoT devices collect data. URL: <https://www.allerin.com/blog/understanding-iot-sensors-how-iot-devices-collect-data>.
152. Karjagi R., Jindal M. What can IoT do for healthcare? URL: <https://www.wipro.com/business-process/what-can-iot-do-for-healthcare->.
153. Karlicek B. Smart Lighting: The Next Wave in Solid State Lighting. URL: <http://www.bu.edu/smartlighting/files/2010/01/BobK.pdf>.
154. KDDI first to offer Bluetooth mobiles. URL: <http://edition.cnn.com/2001/BUSINESS/asia/04/17/tokyo.kddiblueooth/index.html>
155. Koba S. IoT Based Smart Parking System Development. URL: <https://mobidev.biz/blog/iot-based-smart-parking-system>.
156. Kott A., Swami A., West B. J. The Internet of Battle Things // Computer 49.12, 2016. p. 70-75. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1712/1712.08980.pdf>.
157. Kuscü M., Unlutürk B. D. Internet of Bio-Nano Things: A Review of Applications, Enabling Technologies and Key Challenges. URL: <https://arxiv.org/pdf/2112.09249.pdf>.
158. Langleite R. Military applications for IoT. Utilizing soldier wearables for enhanced battle space Situational Awareness. Oslo: Reprosentralen, University of Oslo, 2021. 186 p.
159. Le M. You Can Fight Climate Change and Boost Revenue – See How These Ecopreneurs Do It. URL: <https://www.salesforce.com/blog/ecopreneurs>.
160. Lenny D. IoT in Agriculture: Connected Farming Is the Smarter Way to Sustainability. URL: <https://intellias.com/iot-agriculture-connected-farming>.
161. LG Introduced Internet Digital Diod Refrigerator. URL: <https://www.ryt9.com/en/prg/23392>.
162. List of Open Source Home Automation Software. URL: https://linuxhint.com/best_home_automation_software.
163. LoRa й LoRaWAN®: як навчити пристрої спілкуватися з людиною. URL: <https://jooby.eu/uk/blog/radiotekhnolohiya-lora>.
164. LoRa чи NB-IoT: що обрати для енергоефективного рішення? URL: <https://business.dii.gov.ua/handbook/tehnologii-dla-avtomatizacii-biznesu/lora-ci-nb-iot-so-obrati-dla-energoefektivnogo-risenna>.

165. LoRaWAN для IoT. Огляд рішення LoRa в ELKO Smart Center. URL: <https://www.elko.ua/novosti2/lorawan-elko-smart-center#regform>.
166. LTE Cat-NB1 and Cat-NB2. URL: <https://www.4gtemall.com/ue-category/lte-cat-nb1.html>.
167. Lukavetska O. How to integrate CRM and IoT. URL: <https://keap.com/business-success-blog/sales/crm/internet-of-things-and-crm>.
168. Mahmoud R., Yousuf T., Aloul F., Zualkernan I. Internet of Things (IoT) Security: Current Status, Challenges and Prospective Measures. URL: http://aloul.net/Papers/faloul_icitst15.pdf.
169. Manning K. IoT + BPM: Modeling Sensor-Aware Business Processes. URL: <https://www.processmaker.com/blog/iot-bpm-modeling-sensor-aware-business-processes>.
170. Manyika J., Chui M., Bisson P., Woetzel J., Dobbs R., Bughin J., Aharon D. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. Highlights. McKinsey Global Institute, 2015. URL: [http://103.47.12.35/bitstream/handle/1/2813/PS27 Internet of Things %28 PDFDrive %29.pdf](http://103.47.12.35/bitstream/handle/1/2813/PS27%20Internet%20of%20Things%28%20PDFDrive%29.pdf).
171. MarineLabs. URL: <https://marinelabs.io>.
172. Matthews K. The Role of Piezoelectric Technology in IoT. URL: <https://www.ietfforall.com/role-piezoelectric-technology-iot>.
173. MEMS Overview: MEMS Devices & Uses in IoT. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/mems-and-iot-applications>.
174. Meola A. Smart Farming in 2020: How IoT Sensors are Creating a More Efficient Precision Agriculture Industry. URL: <https://www.businessinsider.com/smart-farming-iot-agriculture>.
175. MES and Industrial IoT. URL: <https://eazyworks.com/index.php/ez-mes-and-Industrial-iot>.
176. MES & I-IoT – How do they Work Together. URL: https://www.youtube.com/watch?v=90_wNKvpk-k.
177. Mission Critical Internet of Things. URL: https://namrinfo.motorolasolutions.com/APP4483_scada_wastewater
178. Mishra H. Commonly used Sensors in IoT. URL: <https://iotbyhvm.ooo/commonly-used-sensors-in-iot>.
179. Misra J. Powering the IoT System. URL: <https://bridgera.com/powering-the-iot-system>.
180. Mukhopadhyay S. Why the future of the lighting industry is in smart lighting. URL: <https://yourstory.com/2018/07/smart-lighting-future-industry>.
181. Nano-satellites based Global Infrastructure to Enable IoT/M2M Networks - GIoT (Global IoT). URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/853797>.
182. Newman P. The Internet of Things 2020: Here's what over 400 IoT decision-makers say about the future of enterprise connectivity and how IoT companies can use it to grow revenue. URL: <https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report>.
183. Newton E. How Is the Internet of Things Improving Pharmaceutical Manufacturing? URL: <https://datafloq.com/read/how-is-iot-improving-pharmaceutical-manufacturing>.

184. Norris D. *The Internet of Things: Do-It-Yourself Projects with Arduino, Raspberry Pi, and BeagleBone Black*. McGraw-Hill Education, 2015. 352 p.
185. OMA SpecWorks. URL: <https://omaspecworks.org>.
186. Ordóñez M. D., Gómez A., Ruiz M., Ortells J. M., Niemi-Hugaerts H., Juiz C., Jara A., Butler T. A. *IoT Technologies and Applications in Tourism and Travel Industries*. URL: https://www.riverpublishers.com/pdf/ebook/chapter/RP_9788770221955C8.pdf.
187. Palma D. *Enabling the Maritime Internet of Things: CoAP and 6LoWPAN performance over VHF links*. URL: https://www.researchgate.net/publication/327409413_Enabling_the_Maritime_Internet_of_Things_CoAP_and_6LoWPAN_performance_over_VHF_links.
188. Panchal M. *IoT In Telemedicine: Enhances Healthcare System from Core*. URL: <https://www.iotcentral.io/blog/iot-in-telemedicine-enhances-healthcare-system-from-core>.
189. Papadopoulou P., Kolomvatsos K., Hadjiefthymiades S. *Internet of Things in E-Government: Applications and Challenges*. URL: <https://www.igi-global.com/gateway/article/full-text-html/257274>.
190. Pecunia V., Occhipinti L. G., Hoyer R. L. Z. *Emerging Indoor Photovoltaic Technologies for Sustainable Internet of Things*. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aenm.202100698>.
191. Perenio. *Про систему*. URL: <https://perenio.ua/platform>.
192. *Prinášíme inovace a chytrá řešení do zemědělství*. URL: <https://www.cleverfarm.ag/cs/?fbclid=IwAR2p44ZDEiyvxeLaCzVrYj2QPxzC7wBTs52dSxPOXJDq8-o2yPj1mf8ZjUk>.
193. PULSE: A Foundational Platform that Makes Building IoT Devices, Simpler. URL: <https://pucno.co>.
194. Quinnell R. *Low power wide-area networking alternatives for the IoT*. URL: <https://www.edn.com/low-power-wide-area-networking-alternatives-for-the-iot>.
195. Rad M. M., Rahmani A. M., Sahafi A., Qader N. N. *Social Internet of Things: vision, challenges, and trends // Human-centric Computing and Information Sciences*. 10, 52 (2020). URL: <https://d-nb.info/1225675677/34>.
196. *Ready for Dedicated Fresh Produce ERP*. URL: <https://aptean.com/en-US/solutions/erp/products/aptean-food-and-beverage-erp-linkfresh>.
197. Reynolds I. J. H. *Internet of Things. IOT Architecture*. URL: <https://www.zibtek.com/blog/iot-architecture>.
198. Sahu M. *7 Applications of IoT in Defence and Military*. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/7-applications-iot-defence-and-military>.
199. Scarpato N., Pieroni A., Nunzio L. Di, Fallucchi F. *E-health-IoT universe: A review*. URL: https://www.researchgate.net/publication/322138675_E-health-IoT_universe_A_review.
200. Seferagić A., Haxhibeqiri J., Pillozzi P., Hoebeke J. *Multimodal Network Architecture for Shared Situational Awareness amongst Vessels*. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8512041>.
201. Shirvanimoghaddam M., Shirvanimoghaddam K., Abolhasani M. M., Farhangi M., Barsari V. Z., Liu H., Dohler M., Naebe M. *Towards a Green*

- and Self-Powered Internet of Things Using Piezoelectric Energy Harvesting. URL: <https://arxiv.org/pdf/1712.02277.pdf>.
202. Smart Agriculture (Розумне сільське господарство). URL: <https://iotukraine.com/projects-ua/smart-agriculture-rozumne-silске-gospodarstvo>.
 203. Smart Agriculture Market. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-agriculture-market-239736790.html>.
 204. Smart Cities around the world. Amsterdam Edition. URL: <https://www.tech.gov.sg/media/technews/smart-cities-around-the-world-amsterdam>.
 205. Smart City від Vodafone – це вирішення проблем сучасного міста. URL: <https://business.vodafone.ua/produkty/iot/smart-city>.
 206. Smart City: Розумні технології сучасного міста. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/smart-city-rozumni-tehnologiyi-suchasnogo-mista>.
 207. Smart City: технології «розумного міста» та їх цільове призначення. URL: <https://eukraine.org.ua/ua/news/smart-city-tehnologiyi-rozumnogo-mista-ta-yih-cilove-priznachennya>.
 208. Smart City Chicago. URL: <https://meetingoftheminds.org/smart-city-chicago-27152>.
 209. Smart City Observatory. URL: <https://www.imd.org/smart-city-observatory>.
 210. Smart City 2021: світові тренди розвитку розумних міст. Де Україна? URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/rishennya-dlya-zdorov-ya-ta-zruchnosti-smart-city-yak-rozvivayutsya-kijiv-ta-ukrajinski-mista-50182226.html>.
 211. Smart Dubai 2021 Strategy. URL: <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/local-governments-strategies-and-plans/smart-dubai-2021-strategy>.
 212. Smart home – Statistics & Facts. URL: https://www.statista.com/topics/2430/smart-homes/#topicHeader__wrapper.
 213. Smart Metering: що це таке, навіщо та де застосовується. URL: <https://hub.kyivstar.ua/news/smart-metering-shho-cze-take-navishho-ta-de-zastosovuyetsya>.
 214. Social Internet of Things. When Things get smart, the Internet of Things gets Social! URL: <http://www.social-iot.org>.
 215. Specialists In High-Tech Precision Farming Services. URL: <https://www.agri-tech.co.uk>.
 216. Soni P. 9 Applications of IoT in Pharmaceutical Manufacturing. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/9-applications-iot-pharmaceutical-manufacturing>.
 217. Sriratnasari S. R., Wang G., Kaburuan E. R., Jayadi R. Integrated Smart Transportation using IoT at DKI Jakarta. URL: https://www.researchgate.net/publication/335932963_Integrated_Smart_Transportation_using_IoT_at_DKI_Jakarta.
 218. Taranovich S. MEMS devices deliver performance improvements for IoT products. URL: <https://www.electronicproducts.com/mems-devices-deliver-performance-improvements-for-iot-products>.
 219. Telesat Lightspeed. URL: <https://www.telesat.com/leo-satellites>.

220. The Internet of Things – Building Smart Machines. URL: <https://www.salesforce.com/ap/internet-of-things>.
221. The Internet of Things for Government. URL: <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-government-solutionbrief-en.pdf>.
222. The smart nation: Singapore’s masterplan. URL: <https://www.information-age.com/smart-nation-singapores-masterplan-123462444>.
223. The 10 Best Home Automation Systems. URL: <https://www.thomasnet.com/articles/automation-electronics/best-home-automation-systems>.
224. The Trojan Room Coffee Pot. URL: <https://www.cl.cam.ac.uk/coffee/qsf/coffee.html>.
225. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11432-020-2955-6.pdf>.
226. Toyota builds company-wide, standardized IoT platform to promote data utilization with Edge AI. URL: <https://customers.microsoft.com/en-us/story/1359428884271186582-toyota-industries-corporation-automotive-azure-en-japan>.
227. Tuya Smart life – приложение для любых устройств. URL: <https://intervision.ua/ua/tuya-smart-life-prilozhenie-dlya-lyubyx-ustrojstv/38-uncategorised-ua/100-tuya-smart-life-prilozhenie-dlya-lyubyx-ustrojstv>.
228. Types of photo detector and their application. URL: <https://forumautomation.com/t/types-of-photo-detector-and-their-application/5332>.
229. Types of Sensors. URL: <https://www.yokogawa.com/special/sensing-technology/usage/types-of-sensors>.
230. Ultimate Guide to IoT Based Smart Parking System. URL: <https://chintglobal.com/blog/iot-based-smart-parking-system>.
231. Umt. Рішення. URL: https://www.umat.ua/solutions_ua.
232. Verma S. URL: Types Of IoT Sensors. URL: <https://iotgyaan.com/types-of-iot-sensors>.
233. Vibration Sensor: Definitions, Applications and How to Use it. URL: <https://www.etssolution-asia.com/blog/vibration-sensor-definitions-applications-and-how-to-use-it>.
234. Waggle. URL: <https://wa8.gl>.
235. Wang M. M, Zhang J. Machine-Type Communication for Maritime Internet-of-Things: From Concept to Practice. Springer, 2021. 303 p.
236. Wang M. M, Zhang J., You X. Machine-Type Communication for Maritime Internet of Things: A Design. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/ielx7/9739/9265420/09163413.pdf>.
237. Webinar: LoRaWAN® Solutions for Smart Water Management. URL: <https://resources.lora-alliance.org/smart-utilities/webinar-lorawan-solutions-for-smart-water-management-2>.
238. What is Mission-Critical IoT? URL: <https://callmc.com/data-solutions/cellular/iot-networking>.

239. What is the Internet of Medical Things (IoMT)? URL: https://www.splunk.com/en_us/data-insider/what-is-the-internet-of-medical-things-iomt.html.
240. Will leaf sensors increase the efficacy of foliar biocontrol agents? URL: <https://www.ugent.be/cropfit/en/news-events/news/leaf-sensor>.
241. Xiao P. Designing Embedded Systems and the Internet of Things (IoT) with the ARM® Mbed™. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2018. 344 p.
242. Xuyang L., Lam K. H, Zhu P. K., Zheng C., Li X., Du Y., Chunhua L., Pong P. W. T. Overview of Spintronic Sensors with Internet of Things for Smart Living https://www.researchgate.net/publication/334760981_Overview_of_Spintronic_Sensors_With_Internet_of_Things_for_Smart_Living.
243. Yang G., Xie L., Mäntysalo M., Zhou X., Pang Z., Xu L., Kao-Walter S., Chen Q., Zheng L. R. A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor and Intelligent Medicine Box. URL: https://www.researchgate.net/publication/269948865_A_Health-IoT_Platform_Based_on_the_Integration_of_Intelligent_Packaging_Unobtrusive_Bio-Sensor_and_Intelligent_Medicine_Box.
244. Your Building Automation System Essential Guide: How It Works & Why You Need One. URL: <https://gatewaymechanical.ca/building-automation-system-essential-guide>.
245. YUBII Home Center. URL: <https://www.data.ai/en/apps/google-play/app/com.fibaro.homecenter>.
246. Z-Wave vs ZigBee, WiFi, Thread, Bluetooth BLE: выбираем протокол управления умным домом. URL: <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom>.
247. 10 Internet of Things (IoT) Healthcare Examples, and why their Security Matters. URL: <https://ordr.net/article/iot-healthcare-examples>.
248. 15 кращих датчиків Інтернету речей для розробки додатків та рішень для Інтернету речей. URL: <https://ciksiti.com/uk/chapters/5887-top-15-best-iot-sensors-to-develop-iot-applications-and-solu>.
249. 16 Open Source Home Automation Platforms to Use in 2020. URL: <https://ubidots.com/blog/open-source-home-automation>.
250. 4 лучших приложения для умного дома для автоматизации умного дома. URL: <https://websetnet.net/ru/4-лучших-приложения-для-умного-дома-для-автоматизации-умного-дома>.
251. 5G and its Impact on the Internet of Things. URL: <https://www2.stardust-testing.com/en/5g-and-impact-on-iots>.
252. 5G-Advanced explained. URL: <https://www.nokia.com/about-us/newsroom/articles/5g-advanced-explained>.
253. 60+ Smart Home Stats and Facts That Will Surprise You. URL: https://hdlautomation.com/Articles_100000102865241.html.
254. 8 Applications of IoT in Aviation Industry. URL: <https://www.analyticssteps.com/blogs/8-applications-iot-aviation-industry>.

Зміст

Передмова	3
Основні поняття Інтернету речей	4
Історія формування поняття Інтернету речей	5
Архітектура Інтернету речей	12
Датчики та живлення в сучасному Інтернеті речей.....	14
Передавання даних.....	27
Завдання до дослідженню сфер використання Інтернету речей	36
<i>Завдання по вивченню поширених функцій «розумного будинку».....</i>	<i>36</i>
<i>Завдання по вивченню концепції та технологій «розумного міста»</i>	<i>38</i>
<i>Завдання по дослідженню можливостей використання Інтернету речей в бізнесі, промисловості та інших сферах життєдіяльності</i>	<i>43</i>
Використана та рекомендована література	49

Використання Інтернету речей

навчально-методичний посібник

Підписано до друку 30.08.2022 р.

Формат 60x84\16

Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 3,72.

Тираж 80 прим. Замовлення № 439.

Віддруковано ТОВ «Друкарня «Рута»

(свід. Серія ДК №4060 від 29.04.2011 р.)

м. Кам'янець-Подільський, вул. Руслана Коношенка, 1

тел. 0 98 627 00 79, drukruta@ukr.net