

Інтернет речей IoT (Internet of Things)

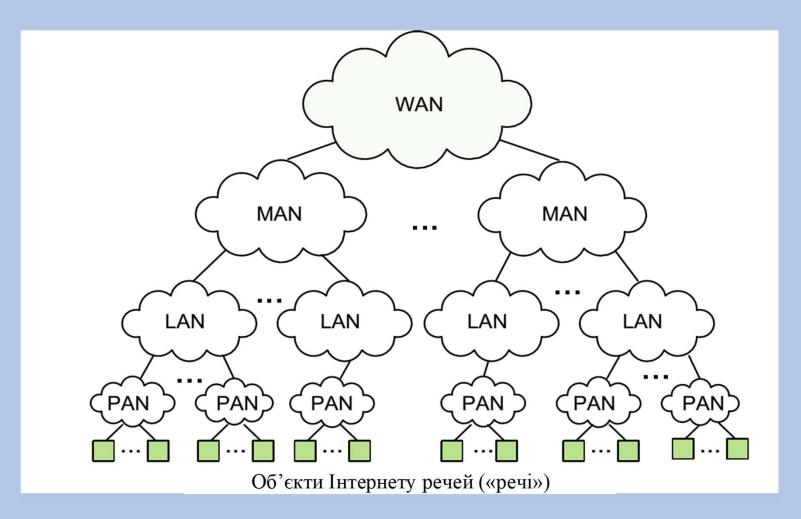
Термін «Інтернет речей» (Internet of Things, IoT) був запропонований у 1999 році Кевіном Ештоном, одним із трьох засновників Центру автоматичної ідентифікації Массачусетського університету (Auto-ID Center).

Gartner: Інтернет речей – це мережа фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію із зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні».

МсКіпѕеу: Інтернет речей — це датчики та приводи, вбудовані у фізичні пристрої та підключені до інтернету через дротові або бездротові мережі.

Складовою частиною Інтернету речей ϵ Індустріальний (або Промисловий) Інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT).

Класифікація технологій передачі даних у ІоТ



Класифікація технологій передачі даних у ІоТ

- 1. Персональна мережа PAN (Personal Area Network) це мережа, побудована «навколо» людини. Дані мережі мають об'єднувати всі персональні пристрої користувача (телефони, смартфони, кишенькові персональні комп'ютери, ноутбуки, гарнітури та ін.). Стосовно ІоТ така мережа будується «навколо» пристрою («речі»).
- 2. Локальна мережа LAN (Local Area Network) мережа, що зазвичай покриває відносно невелику територію або невелику групу будівель (будинок, офіс, фірму). До локальних мереж можна віднести і мережу контролерів CAN (Controller Area Network) промислову мережу, орієнтовану насамперед на об'єднання в єдину мережу різних виконавчих пристроїв і датчиків в рамках окремого підприємства.
- 3. Міська мережа MAN (Metropolitan Area Network) об'єднує окремих користувачів та локальні мережі в межах міста, являє собою мережу за розмірами більшу, ніж LAN, але меншу, ніж WAN.
- 4. Глобальна мережа WAN (Wide Area Network) пов'язує користувачів та мережі, розосереджені на відстані сотень та тисяч кілометрів.

Бездротові мережі малого радіусу дії

- 1. Бездротові персональні мережі WPAN (Wireless Personal Area Network). Застосовуються для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютерну, побутову та оргтехніку, засоби зв'язку тощо. Фізичний та канальний рівні регламентуються стандартом IEEE 802.15.4. Радіус дії WPAN становить від кількох метрів до кількох десятків сантиметрів. Такі мережі використовуються як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку їх із мережами вищого рівня, наприклад, глобальною мережею Інтернет. WPAN може бути розгорнута з використанням різних мережевих технологій, наприклад, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN та інших.
- 2. Бездротові сенсорні мережі WSN (Wireless Sensor Network). Розподілені мережі, що самоорганізуються, множини датчиків (сенсорів) виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Область покриття подібних мереж може становити від кількох метрів до кількох кілометрів за рахунок можливості ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого.
- 3. Малі локальні мережі ТАN (Tiny Area Network). Обчислювальні мережі, що розгортаються у межах невеликого офісу або окремого житла. Їх часто називають домашніми мережами, оскільки вони поєднують комп'ютери, побутову електроніку та прилади сигналізації, що належать одній сім'ї. Найчастіше такі мережі будуються з урахуванням технології Wi-Fi.

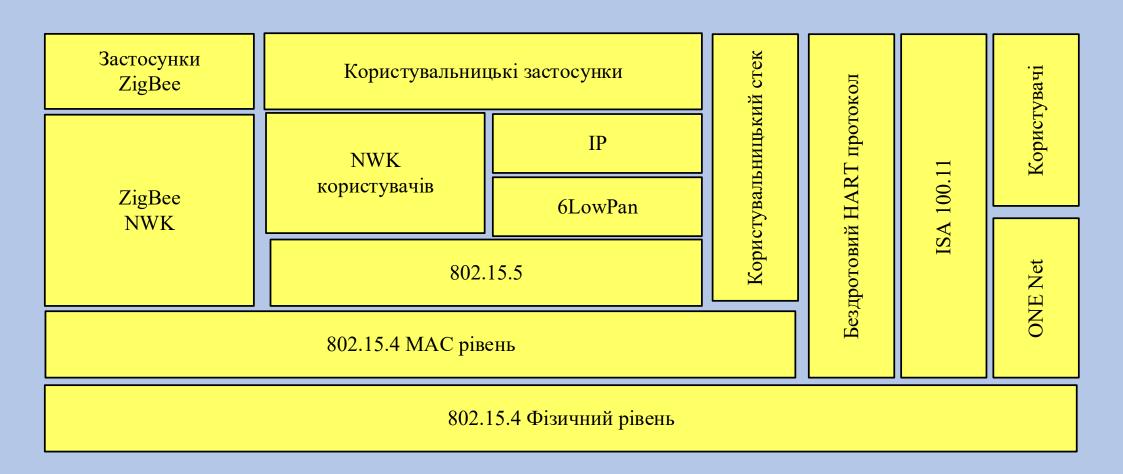
Стандарти та протоколи ІоТ

		Швид-	Рівні протоколу						ння		
Стандарт	Частота, МГц	кість б/с	P H Y	M A C		Т	A P S	A C L			
IEEE 802.15.4	868/915/2 400	20/40/ 250	+	+	•			+	+		
ZigBee	2400	250			+	+	+	+	+		
6LoWPAN	-	50-200			+			+	+		
WirelessH ART	2400	250	+	+	+	+	+	+	+		
ISA100.11 a	2400	250	+	+	+	+	+	+	+		
Z-Wave	865/915/8 69	9,6/40	+	+	+		+		-		
Bluetooth LE	2400	1000	+	+	+	+	+	+	+		
DECT ULE	1880-1900	1000	+	+	+	-	-	+	+		

Стандарт IEEE Std 802.15.4

□ Стандарт IEEE Std 802.15.4 призначений для реалізації бездротових персональних мереж WPAN великої ємності з низьким енергоспоживанням та низькою швидкістю передачі даних. Він реалізує лише два нижні рівні стеку протоколів — фізичний рівень (PHY) та рівень доступу до середовища (MAC). Стандарт 802.15.14 є базовою основою для більш високорівневих протоколів, таких як ZigBee, WirelessHART та МіWi. Він може бути також використаний спільно зі стандартом 6LoWPAN та стандартними протоколами Інтернету для побудови бездротових сенсорних мереж

Стек протоколів для стандарту IEEE Std 802.15.4



У стандарті 802.15.4 фізично під обмін даними зарезервовані 27 каналів у трьох частотних діапазонах: 868 МГц, 910 МГц і 2.4 ГГц, що дозволяє використовувати стандарт в неліцензійному в більшості країн світу діапазоні для промислових, наукових і медичних цілей Medical). На території України доступний до використання лише діапазон 2.4 ГГц. У даному діапазоні визначено 16 каналів шириною 5 МГц з несучими частотами, що обчислюються у відповідність до виразу:

$$Fc = 2405 + 5(k-1)$$
, $M\Gamma$ ц, де $k = 1, ..., 16$.

Перша версія стандарту 802.15.4 визначала два фізичні рівні з широкосмуговою модуляцією з прямим розширенням спектра DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): перший – у смузі 868/915 МГц зі швидкістю передачі відповідно 20 та 40 кбіт/с, а другий – у смузі 2450 МГц із швидкістю 250 кбіт/с. У 2006 року допустимі швидкості передачі на частотах 868/915 МГц було збільшено до 100 і 250 кбіт/с.

Крім того, були визначені чотири специфікації фізичного рівня залежно від методу модуляції: при збереженні широкосмугової модуляції DSSS можливе використання в діапазоні 868/915 МГц як двійкової, так і квадратурної фазової модуляції QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). З 2007 року у версії стандарту IEEE 802.15.4а кількість фізичних рівнів було збільшено до шести за рахунок включення рівня з надширокополосною радіотехнологією UWB (Ultra WideBand) для високошвидкісної передачі даних, а також специфікації рівня з радіотехнологією CSS (Chirp Spread Spectrum) частотного спектра методом лінійної частотної модуляції. Фізичний рівень UWB визначений виділеними частотами в трьох діапазонах: нижче 1 ГГц, 3-5 ГГц і 6-10 ГГц, а для CSS виділений спектр у смузі 2450 МГц неліцензійного діапазону ISM. У 2009 році у версіях стандартів IEEE 802.15.4c та IEEE 802.15.4d було розширено доступні частотні діапазони. Дані специфікації визначають можливість використання на фізичному рівні приймально-передавальні пристрої з квадратурною фазовою модуляцією QPSK або з фазовою маніпуляцією більш високих порядків на частоті 780 МГц, а на частоті 950 МГц – гауссівську частотну маніпуляцію GFSK BPSK (Віпату Phase-Shift Keying).

На канальному рівні специфікація IEEE 802.15.4 визначає механізми взаємодії елементів мережі фізично для забезпечення формування фрагментів даних (кадрів), перевірки та виправлення помилок, відправки кадрів на мережевий рівень. При цьому рівень МАС канального рівня регулює множинний доступ до фізичного середовища з поділом за часом, управляє зв'язками трансіверів і забезпечує безпеку.

Стандарт IEEE Std 802.15.4 забезпечує двосторонню напівдуплексну передачу даних, підтримуючи при цьому шифрування AES 128. Доступ до каналу заснований на принципі Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA/CA) – багатостанційний доступ з контролем несучої та запобігання конфліктам. CSMA/CA – це мережевий протокол, у якому використовується принцип прослуховування частоти, що несе. Пристрій, який готовий до передачі даних, посилає jam signal (сигнал затора) і прослуховує ефір. Якщо виявляється «чужий» jam signal, то передавач «засинає» на випадковий проміжок часу, а потім знову намагається розпочати передачу кадру. Таким чином, передача може виходити від тільки одного пристрою, що підвищує продуктивність мережі. При цьому дані передаються відносно невеликими пакетами, що характерно для трафіку сигналів управління та моніторингу БСС. Важливою особливістю стандарту є обов'язкове підтвердження доставки повідомлень.

Особливістю пристроїв, об'єднаних у мережу за стандартом IEEE Std 802.15.4, є низьке енергоспоживання за рахунок переходу трансівера в режим «засипання» за відсутності даних для пересилання та збереження підключення в цьому режимі. При створенні стандарту основний акцент робився на швидкість процесів конфігурування та реконфігурування. Зокрема, перехід приймача в активний стан триває порядку 10-15 мс, а підключення до мережі нових пристроїв - від 30 мс. При цьому тривалість реконфігурації та підключення пристроїв залежить від сталості прослуховування маршрутизаторами мережі.

Стандарт визначає два типи вузлів мережі:

- 1) повнофункціональний пристрій FFD (Fully Function Device), який може реалізувати як функцію координації роботи та встановлення параметрів мережі, так і працювати в режимі типового вузла;
- 2) пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device), що має лише можливість підтримки зв'язку з повнофункціональними пристроями.

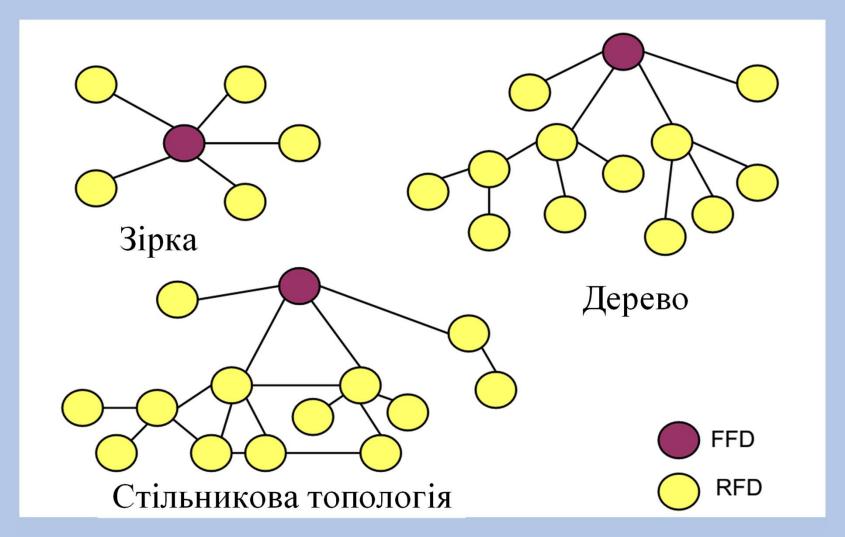
У будь-якій мережі повинен бути принаймні один FFD, що реалізує функцію координатора. Кожен пристрій має 64-розрядний ідентифікатор, але в деяких випадках для обмеженої області може використовуватися короткий 16-розрядний для з'єднань в персональній мережі PAN.

На канальному рівні стандарту IEEE Std 802.15.4 наведено загальні рекомендації щодо побудови топології мережі. Мережі можуть бути однорангові P2P (peer-to-peer, point-to-point), або мати топологію «зірка». На основі структури P2P можуть формуватися довільні структури з'єднань, обмежені лише дальністю зв'язку між парами вузлів. З урахуванням цього можливі різні варіанти топологічної структури БСС, зокрема «дерево» кластерів - структура, в якій RFD, будучи «листами дерева», пов'язані тільки з одним FFD, а більшість вузлів у мережі є FFD. Можлива також коміркова топологія мережі, сформована на основі кластерних «дерев» з локальним координатором для кожного кластера і містить глобальний мережевий координатор

Стандарт ZigBee

Як було зазначено вище, стандарт IEEE Std 802.15.4 описує два нижні рівні мережевої моделі OSI, не визначаючи вимог до верхніх рівнів та умов їх сумісності. Вирішення цих завдань зажадало розробки спеціальних комунікаційних протоколів. Найбільш відомими є протоколи альянсу ZigBee, який був створений найбільшими світовими компаніями, що спеціалізуються на розробці програмно-апаратних засобів для інфокомунікаційних систем. Серед більш ніж двохсот членів альянсу ZigBee, що координують роботи з просування технологій та виробництва технічних засобів для бездротових сенсорних мереж -Texas Instruments, Motorola, Philips, IBM, Ember, Samsung, NEC, Freescale Semiconductor, LG, OKI та багато інших. Альянс розробив та ратифікував у 2004 році стандарт ZigBee, що включає повний стек протоколів для бездротових сенсорних мереж. Назва специфікації ZigBee походить від Zig-zag – зигзаг та Bee – бджола. Передбачалося, що топологія мережі нагадуватиме зигзагоподібну траєкторію польоту бджоли від квітки до квітки.

Стандарт ZigBee



Стандарт ZigBee



Специфікація ZigBee орієнтована на програми, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях та можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей). Вона забезпечує невисоке споживання енергії та передачу даних зі швидкістю до 250 Кбіт/с на відстань до 75 метрів за умов прямої видимості. Характеристики ZigBee наведені нижче



Характеристики технології ZigBee

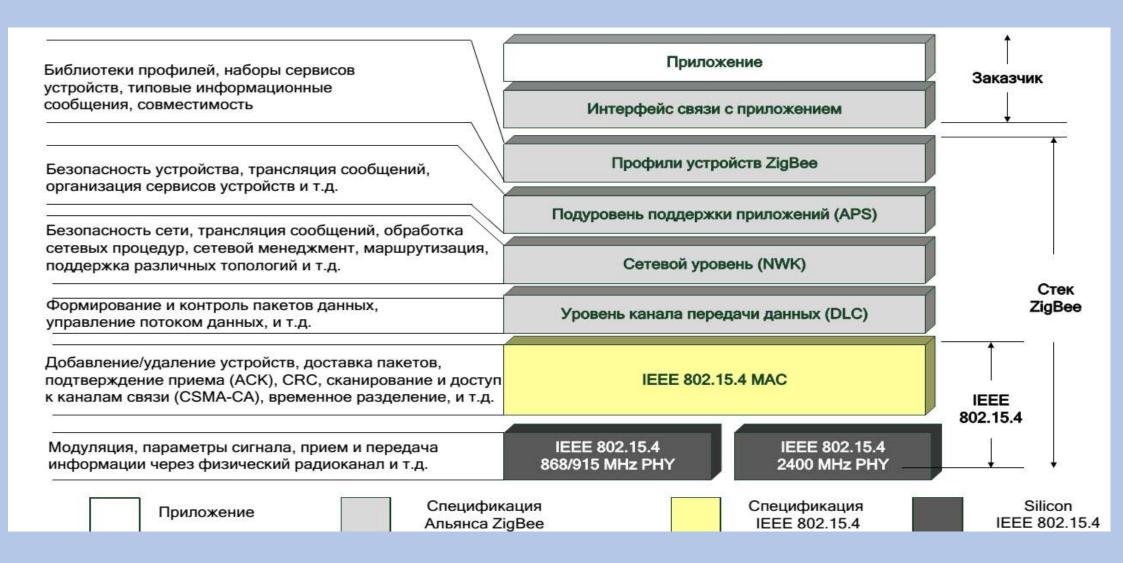
Параметр	Значення				
Частотний діапазон, Мгц	868/915/2400				
Бітова швидкість, кбіт/с	20/40/250				
Тип модуляції сигналу	BPSK, BPSK/O, QPSK				
Метод розширення спектру	DSSS				
Чутливість приймача, дБм	-92 або краще для 868/915 МГц;				
	-85 або краще для 2400 МГц				
Вихідна потужність передавача,	-32 0				
дБм					
Розмір пакету даних, байт	До 127				
Адресація	16- і 64-біт МАС, 16-біт				
	ідентифікатор мережі				
Типові вимоги до реалізації стеку	45 128 кбайт ПЗП;				
протоколу	2,7 12 кбайт ОЗП				

Конфігурація стеків протоколів 802.15.4 та ZigBee

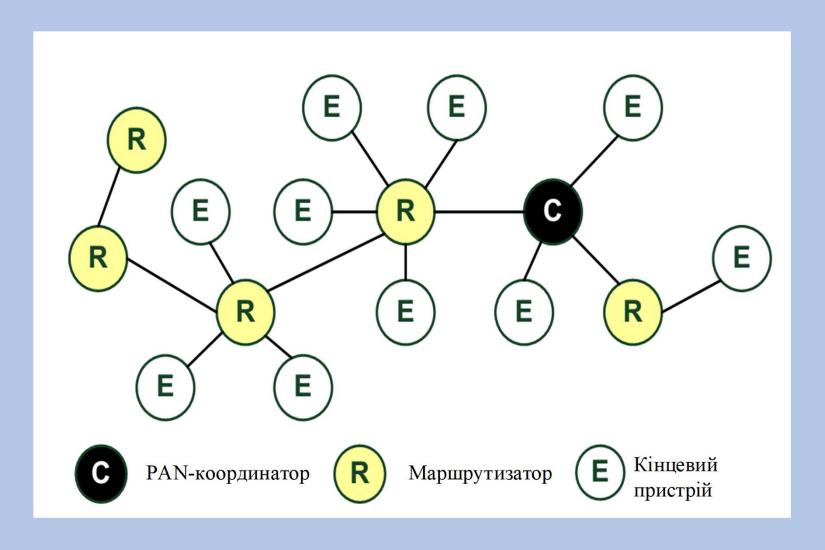
ZigBee базується на стандарті IEEE Std 802.15.4, який визначає лише фізичний рівень та рівень доступу до середовища МАС для бездротових мереж передачі даних з низьким енергоспоживанням. Стандарт ZigBee включає опис мережевих процесів керування, сумісності та профілів пристроїв, а також інформаційної безпеки.

На мережевому рівні у ZigBee визначено механізми маршрутизації та формування логічної топології мережі.

Конфігурація стеків протоколів 802.15.4 та ZigBee



Типова топологія мережі ZigBee



Мережі ZigBee

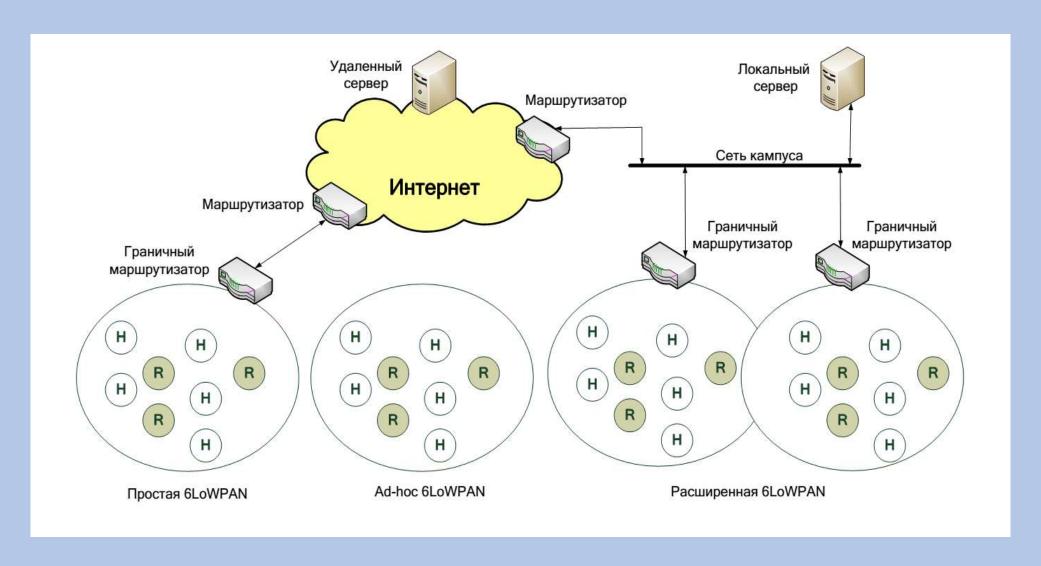
Стандарт ZigBee підтримує мережу з кластерною архітектурою, сформованою зі звичайних вузлів, об'єднаних у кластери за допомогою маршрутизаторів. Маршрутизатор кластерів запитують сенсорні дані від пристроїв і, ретранслюючи їх один одному, передають координатору, який зазвичай має зв'язок із зовнішньою ІР-мережею, куди і відправляє інформацію для накопичення та остаточної обробки.

Мережа ZigBee самоорганізується, тобто всі вузли здатні самостійно визначати та коригувати маршрути доставки даних. Дані передаються за допомогою радіопередавачів від одних вузлів до інших ланцюжком, і в результаті найближчі до шлюзу вузли скидають всю акумульовану інформацію на шлюз. Ця інформація включає дані, що зчитуються з сенсорних датчиків, а також дані про стан пристроїв та результати процесу передачі інформації. У разі виходу частини пристроїв з ладу робота сенсорної мережі після реконфігурації повинна продовжитися. Бездротові вузли функціонують під керуванням спеціальної програми. Зазвичай всі вузли сенсорної мережі використовують ту саму керуючу програму, що забезпечує їх функціональність і виконання мережевих протоколів.

6LoWPAN (IPv6 Low-Power Wireless Personal Area Network) – стандарт, що забезпечує взаємодію малих бездротових мереж із мережами IP за протоколом IPv6 з малим енергоспоживанням. Стандарт розроблений групою IETF і описаний в RFC 4944 та RFC 4919. Технологія використовується в основному для організації мереж датчиків та автоматизації житлового та офісного приміщення з можливістю керування через інтернет, однак може використовуватись і автономно для реалізації простих бездротових мереж датчиків. Передача даних у стандарті 6LoWPAN передбачає використання субгігагерцового діапазону та забезпечує швидкість передачі від 50 до 200 Кбіт/с на відстань до 800 метрів.

Архітектура мереж 6LoWPAN дещо відрізняється від традиційних архітектур ІР-мереж (наявність спеціалізованого комутаційного обладнання, маршрутизаторів, медіа-конверторів) і від архітектур бездротових мереж збору даних, що склалися. Найближче до неї знаходиться архітектура WiFi-мереж, хоч і від неї є низка відмінностей.

Насамперед, мережі 6LoWPAN є підмережами IPv6-мереж, тобто, вони можуть взаємодіяти з іншими мережами та вузлами IP-мережі, але не є транзитними для мережного трафіку. Мережі 6LoWPAN складаються з вузлів, які можуть виконувати роль маршрутизаторів (host i router), крім цього в мережі може бути присутнім один або більше так званих граничних маршрутизаторів (edge routers). Участь у маршрутизації не ϵ обов'язковою вимогою для вузла мережі і він може відігравати роль, аналогічну ролі кінцевого пристрою в мережах ZigBee або пристрої з обмеженою функціональністю для мереж 802.15.4. Термінологія 6LoWPAN – «хост-вузол» Н (host). Вузол, здатний виконувати маршрутизацію в межах 6LoWPAN, називається роутером або маршрутизатором R (router). Граничний маршрутизатор відповідає за взаємодію підмережі 6LoWPAN з мережею IPv6, бере участь у процедурі ініціалізації та маршрутизації у підмережі 6LoWPAN, здійснює компресію/декомпресію заголовків IPv6 при обміні із зовнішньою мережею, у разі підключення до мережі IPv4 може грати роль шлюзу IPv4. Вузли підмережі поділяють 64-бітний префікс IPv6, який також є частиною адреси мережі граничного маршрутизатора. Для адресації всередині мережі можна користуватися 64 бітами (МАС-адреса мережного інтерфейсу), що залишилися, або використовувати стиснення адреси і вкорочену 16-бітну схему адресації (молодші два байти МАС-адреси). Передбачається, що мережна адреса безпосередньо включає адресу мережного інтерфейсу, це виключає необхідність застосування протоколу визначення мережевих адрес ARP (Address Resolution Protocol).



Ad-hoc-мережа не має підключення до зовнішньої IP-мережі, не має граничного маршрутизатора. Є мережею, що самоорганізується, використовує стек протоколів 6loWPAN для організації роботи і передачі даних між вузлами.

Проста 6LoWPAN-мережа підключена до іншої ІР-мережі за допомогою одного граничного маршрутизатора. Граничний маршрутизатор може бути підключений безпосередньо до зовнішньої ІР-мережі (підключення типу «точка-точка», наприклад, GPRS/3G-модем) або може входити до складу кампусної мережі (наприклад, мережі організації).

Розширена мережа 6LoWPAN складається з однієї або декількох підмереж, підключених до зовнішньої ІР-мережі через кілька граничних маршрутизаторів, підключених до однієї мережі (наприклад, локальна мережа організації). При цьому граничні маршрутизатори в розширеній мережі поділяють один і той же мережевий префікс. Вузли розширеної мережі можуть вільно переміщатися в межах мережі та здійснювати обмін із зовнішньою мережею через будь-який граничний маршрутизатор (зазвичай вибирається маршрут із найкращими показниками якості сигналу – рівень помилок, рівень сигналу)

TCP/IP		6LoWPAN			ZigBee				
HTT	P		RTP	Прикладні протоколи			Застосунки		
	1						Профайли ZigBee		
ТСР	UI	OP	ICMP	UDP	UDP ICMP		APS (підрівень підтримки застосунків)		
						NWK (мережний рівень)			
IP			IPM6 3 6LoWPAN			DLC (рівень каналу передачі даних)			
Ethernet MAC			IEEE802.15.4g MAC			IEEE802.15.4 MAC			
Ethernet PHY			IEEE802.15.4g PHY			IEEE802.15.4 PHY			

Основні галузі застосування стандарту 6LoWPAN:

- > інтелектуальні системи обліку;
- > керування вуличним освітленням;
- > промислова автоматика;
- > логістичні системи, відстеження товарів чи об'єктів інвентаризації;
- > комерційні охоронні системи, системи контролю та управління доступом;
- > деякі військові програми.

Деякі області застосувань 6LoWPAN перекликаються з низкою стандартів ZigBee, проте в даному випадку конкуренція відсутня, швидше, — взаємодія та доповнення один одного, особливо щодо інтеграції сервісів, розширення зон дії мережі.

Характеристики технології 6LoWPAN

Параметр	Значення				
Адресація	16- і 64-біт МАС, 128-біт адреса IPv6				
Вимоги до реалізації стека	24 кбайт ПЗП;				
протоколу	3,6 кбайт ОЗП				

Порівняння стеків протоколів OSI, TCP/IP та HART

OSI

TCP/IP

HART

Прикладной уровень

Уровень представления

Сеансовый уровень

Транспортный уровень

Сетевой уровень

Канальный уровень

Физический уровень

Прикладной уровень

TCP

IP

Доступ к сети

Командно-ориентированный. Предопределенные типы данных и действий приложений

Авто-сегментированная передача больших объемов данных. Надежный транспорт

Побайтно, маркер, протокол ведущий / ведомый

Аналоговая и цифровая сигнализация 4-20 мА Пути с резервированием. Ячеистая сеть

TDMA, быстрая смена каналов

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 (2,4 GHz)

Проводной доступ (FSK/PSK/RS485)

Беспроводной доступ 2.4 Гц

Стандарти WirelessHART та ISA100.11a

Стандарти промислових бездротових мереж WirelessHART (IEC 62591) та ISA100.11а, як і розглянуті раніше технології ZigBee та 6LoWPAN, є надбудовами над фізичним рівнем стандарту IEEE 802.15.4. Обидва стандарти мають загальний принцип роботи та конкурують між собою. Конвергенцію WirelessHART та ISA100.11а планувалося здійснити в єдиному стандарті ISA100.12, проте після п'яти років роботи наприкінці 2012 року роботу над новим стандартом у рамках Міжнародної асоціації автоматизації (ISA) було припинено, оскільки не вдалося вирішити питання про сумісність цих стандартів. бездротових мереж промислової автоматики

WirelessHART – протокол передачі даних по бездротовій лінії зв'язку, розроблений фондом HART Communication Foundation для передачі даних у вигляді HART-повідомлень у бездротовому середовищі. Вихідний протокол обміну даними HART у провідних мережах був призначений для взаємодії з польовими датчиками на основі розширюваного набору простих команд «запит-відповідь», що передаються у цифровому вигляді по двопровідній лінії зі струмом 4-20 мА. Його бездротовий варіант WirelessHART забезпечує передачу даних зі швидкістю до 250 кбіт/с на відстань до 200 м (при прямій видимості) при частоті передачі у діапазоні 2.4 ГГц. WirelessHART схвалений міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) як перший міжнародний стандарт бездротового зв'язку промислової автоматизації під номером IEC 62591.

Архітектура мережі WirelessHART

