

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Romanov

## REQUIREMENTS TO SENSOR NODES IN INTERNET OF THINGS NETWORKS

*The aim of the article is the determination of main requirements to sensor nodes in the Internet of Things.*

*Key words: Internet of Things, smart sensor, sensor network.*

*Цель настоящей публикации – определение основных требований к сенсорным узлам систем на основе Интернета вещей.*

*Ключевые слова: Интернет вещей, смарт-сенсор, сенсорная сеть.*

*Мета даної публікації полягає у визначенні основних вимог до сенсорних вузлів у системах Інтернету речей.*

*Ключові слова: Інтернет речей, смарт-сенсор, сенсорна мережа.*

© В.О. Романов, 2018

УДК 004.75

В.О. РОМАНОВ

## ВИМОГИ ДО СЕНСОРНИХ ВУЗЛІВ У СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Вступ.** З розвитком технології Інтернету речей висувуються нові вимоги до сенсорних вузлів та мереж, які є основою таких технологій. Сенсорні вузли у системах Інтернету речей – це не просто перетворювачі величин різної природи у цифровий код, це складні інтелектуальні пристрої, які містять аналогові та цифрові фільтри, підсилювачі, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), процесори, приймачі-передавачі, мережні інтерфейси тощо. На наступний ієрархічний рівень такі інтелектуальні вузли або смарт-вузли передають тільки необхідну інформацію, вилучаючи її з потоку даних.

**Загальна частина.** Інтелектуалізація сенсорних вузлів у системах Інтернету речей є вимогою успішного застосування цих систем. На початковому етапі системи Інтернету речей характеризувалися використанням досить простих сенсорних вузлів з вбудованим радіоканалом. Нині у системах Інтернету речей використовуються сенсорні смарт-вузли. Попередня обробка даних у сенсорному смарт-вузлі включає такі операції, як фільтрацію та децимацію з вилученням потрібної інформації з потоку даних. У сенсорних смарт-вузлах нового покоління передбачене регулювання смуги пропускання, швидкості вибірки даних та динамічного діапазону. Наявність швидких перетворювачів Фур'є (ШПФ), КІХ-фільтрів, дециматорів та інших обчислювальних блоків у сенсорному смарт-вузлі дає можливість вилучати саме тільки корисну інформацію з потоку даних. У деяких випадках на рівень хмарного середовища можуть передаватися тільки інкрементні потоки даних.

До основних вимог до сенсорних смарт-вузлів слід віднести наступні: можливість роботи у бездротових мережах, низьке енергоспоживання, можливість фільтрації сигналів на вході і виході, можливість перетворення сигналів смарт-сенсорів, таких як сенсори фізичних, оптичних, електрохімічних, біологічних параметрів, у форму, яка є зручною для подальшої обробки і передачі даних, рис. 1 [1].

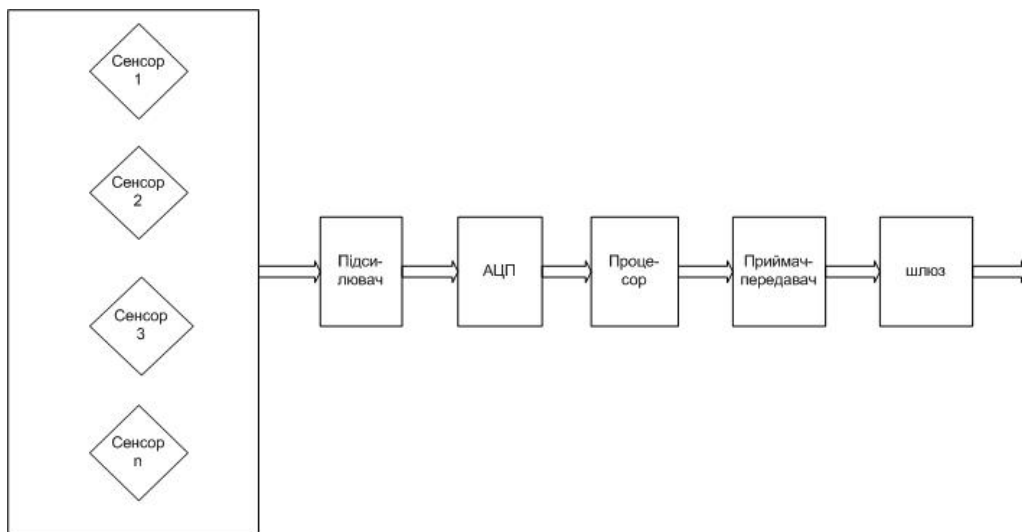


РИС. 1. Типова структура сенсорного смарт-вузла у системах Інтернету речей

Вище зазначено, попередня обробка та інтерпретація даних включені у функції сенсорного смарт-вузла. Тільки найбільш важлива інформація має передаватися смарт-вузлом на наступний рівень обробки, тобто у хмарне середовище або мобільний комп'ютер чи сервер для прогнозування та напрацювання управлінських рішень.

У сенсорному смарт-вузлі використовується велика кількість аналогових компонентів, при роботі яких необхідно враховувати їх динамічний та частотний діапазони. Наявність аналогових елементів потребує використання фільтрів, але аналогові фільтри у вимірювальних каналах можуть привести до втрат корисної інформації. Тому альтернативою аналоговим фільтрам є цифрові фільтри на виході АЦП у складі смарт-сенсора. При виборі типу АЦП у складі смарт-сенсора треба звернути особливу увагу перш за все на динамічний діапазон та смугу вхідного сигналу, роздільну здатність, частоту вибірки, спектральну щільність шуму. Усі ці параметри АЦП впливають на точність отриманих даних. Якщо на вході АЦП включений підсилювач, то його параметри теж слід узгодити з параметрами АЦП та чутливого елемента.

У смарт-сенсорах, як правило, використовують порозрядні АЦП або сігма-дельта АЦП. Особливістю останніх є те, що їх шум квантування зсунуто у високочастотну область, а область корисного сигналу знаходиться у смузі більш низьких частот, тобто сігма-дельта АЦП має більший динамічний діапазон у порівнянні з порозрядним АЦП. Бажано, щоб АЦП мав деякий запас з динамічного діапазону, не менший ніж 1 дБ, що дає змогу уникнути нелінійних спотворень при обмеженні амплітуди вхідного сигналу АЦП.

Обчислювальна потужність сенсорного смарт-вузла залежить від типу вбудованого процесора. Ядро такого процесора може включати один або кілька обчислювачів, RAM-пам'ять та ін. [2]. Можуть бути застосовані процесори з плаваючою або фіксованою точкою, а також сигнальні процесори. Вибір типу процесора визначається необхідною обчислювальною потужністю, точністю та швидкістю виконання операцій. Чим вищі вимоги до обчислювальної потужності сенсорного смарт-вузла, тим уважніше слід вибирати для нього тип процесора. Як приклад, на сьогодні можуть бути запропоновані процесори типу ARM з ядром Cortex-M3 та Cortex-M0, які містять вбудований протокол обробки даних. Процесор з ядром Cortex-M3 призначений для виконання складної обробки сигналів, а процесор з ядром Cortex-M0 використовують для обчислювальних задач невисокої складності. Такий розподіл функцій має декілька переваг, а саме, коли потужний процесор зайнятий виконанням обчислень високої складності, менш потужний процесор слідкує за обробкою переривань. Крім того, використання в одному смарт-вузлі двох ядер дозволяє подолати обмеження у роботі з флеш-пам'яттю шляхом розпаралелювання декількох обчислювальних процесів. Також це рішення дозволяє збалансувати енергоспоживання з обчислювальною потужністю, що важливо для сенсорних вузлів з автономним живленням, які призначені до тривалої роботи без заміни чи підзарядки автономних елементів живлення. Оцінка енергоспоживання вбудованого у сенсорний смарт-вузол процесора може бути виражена як величина струму споживання на 1 МГц його тактової частоти. Так, наприклад, для процесора типу ARM Cortex-M3 ця величина складає декілька десятків мікроампер на 1 МГц. Для зменшення енергоспоживання процесора, слід зменшити час використання процесора протягом робочого циклу сенсорного смарт-вузла. Крім того, кожний процесор має декілька сплячих режимів, використання яких у робочих циклах смарт-вузла може додатково зменшити споживання сенсорного вузла в цілому. Якщо, наприклад, у сенсорному смарт-вузлі використані процесори ADuMC3027 або ADuMC3029 компанії Analog Devices з ядром ARM Cortex-M3 та тактовою частотою 26 МГц, то їх енергоспоживання в активному режимі не вище 38 мкА/МГц, а у сплячому режимі – не більше 750 нА. Зазначимо, що наступне покоління процесорів з ядром Cortex-M3 і архітектурою ARMv8-M спеціально призначено для використання у бездротових сенсорних смарт-вузлах, які орієнтовані на системи Інтернету речей з високою функціональною надійністю та інформаційною безпекою.

Вище зазначено, зв'язок смарт-вузлів з хмарним середовищем або іншими засобами обробки даних підтримують бездротові сенсорні мережі. Для захисту від несанкціонованого втручання у роботу мережевих каналів системи на основі

Інтернету речей мають забезпечувати високу функціональну надійність та інформаційну безпеку. Тому бездротові сенсорні мережі в системах Інтернету речей повинні відповідати вимогам стандарту шифрування даних (Advanced Encryption Standard – AES). Таємний ключ згідно до цього стандарту має розрядність не менше 128 біт.

У бездротовій сенсорній мережі передбачено застосування великої кількості сенсорних смарт-вузлів [3], які об'єднані у відповідні кластери, як показано на рис. 2.

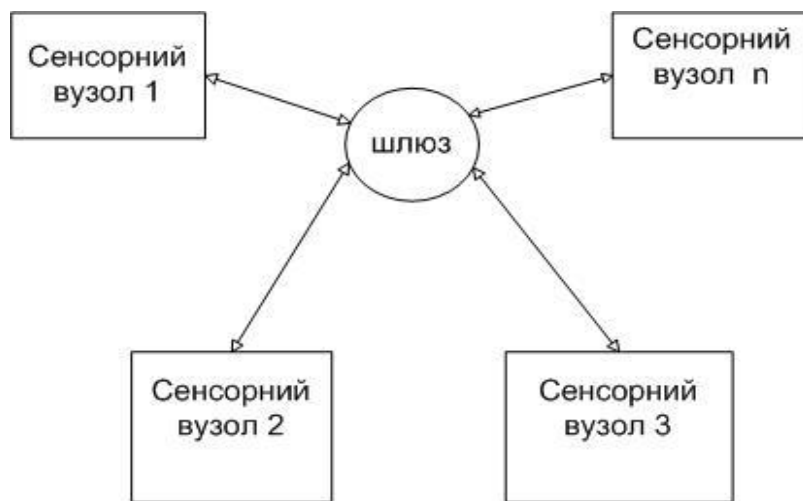


РИС. 2. Смарт-вузли, об'єднані в один кластер

Як правило, втрачені у смарт-вузлах дані не можуть бути відновлені у хмарному середовищі. Це є недоліком бездротових сенсорних мереж. Тому висока надійність смарт-сенсора є важливою вимогою до бездротових сенсорних мереж. Збій чи відмова вузла може викликати відмову всієї мережі. Дані, які отримані на виході смарт-сенсора, рис. 3, дають змогу звести до мінімуму затримки та часові втрати за подальшою обробкою інформації у хмарному середовищі.

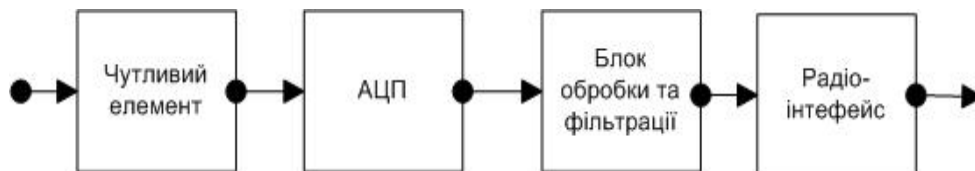


РИС. 3. Типова структура смарт-сенсора

Таким чином, системи на основі Інтернету речей, як правило, відносяться до систем реального часу, а це означає, що у хмарне середовище через шлюз (мережний інтерфейс) поступає найбільш суттєва інформація для подальшої обробки та напрацювання управлінських рішень. Зазначимо, що обробка даних у хмарному середовищі іноді потребує даних, отриманих на попередніх етапах роботи мережі. Тому найбільш важлива інформація має бути архівована у хмарному середовищі з можливістю доступу до неї у реальному часі.

Системи на основі Інтернету речей широко застосовуються при побудові «розумних» міст, «розумних» апартаментів, вулиць тощо. Тоді у такий сенсорний вузол може бути вбудована смарт-камера з інкрементним потоком даних на виході, яка слідкує, наприклад, за безпечним паркуванням автомобілів, попереджує крадіжки товарів у супермаркетах, фіксує несанкціонований доступ до офісних або приватних приміщень.

#### **Висновки.**

1. Поява технології Інтернету речей, яка основана на використанні сенсорних мереж, висунула нові вимоги до інтелектуалізації сенсорних вузлів.

2. Сенсорні вузли в системах Інтернету речей не тільки перетворюють фізичні, оптичні та інші величини у цифровий код та його передачу в хмарне середовище, але виконують попередню обробку даних, спрямовану на вилучення корисної інформації з потоку даних. Це розвантажує мережу від надлишкових даних і дає можливість у реальному часі напрацьовувати управлінські рішення у хмарному середовищі.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Beavers I. Intelligence at the Edge Part 1: The Edge Node. [www.analog.com](http://www.analog.com).
2. Beavers I. Intelligence at the Edge Part 2: The Edge Node. [www.analog.com](http://www.analog.com).
3. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Voronenko O. Wireless Smart Biosensor for Sensor Networks in Ecological Monitoring. Proceeding of the 9th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2017. Bucharest, Romania. 2017, September 21–23. P. 679–683.

Одержано 08.11.2018