

**ДЕЯКІ АСПЕКТИ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОНОМНИХ ВИМІРЮВАЛЬНО-
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ В ETHERNET-ОРІЄНТОВАНИХ
КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ**

© Міюшкович Є.Г., Парамуд Я.С., 2016

Запропонована структура автономного вимірювально-обчислювального вузла для Ethernet-орієнтованої КФС, що робить можливим використання стандартних промислових сенсорів та актуаторів з низькошвидкісними послідовними портами. Розглянуто п'ять варіантів його реалізації та сформовані рекомендації щодо вибору конкретного рішення за критерієм необхідної обчислювальної потужності для попередньої обробки даних.

Ключові слова: телекомунікаційний інтерфейс, кіберфізична система, послідовний порт.

This paper presents the structure of autonomous measuring-computing node for Ethernet-oriented CFS that enables the use of standard industrial sensors and actuators with low-speed serial ports. Considered five options for its implementation and formed recommendations for choosing a specific decision on the criteria necessary computing power for pre-processing data.

Keywords: telecommunications interface, cyber-physical system, serial port.

Вступ

В попередніх роботах [1,2] була обґрунтована доцільність побудови телекомунікаційної складової масштабних кіберфізичних систем на основі промислового Ethernet або WiFi. При цьому слід врахувати той факт, що вищезгадані інтерфейси не є самими поширеними серед типових промислових засобів вимірювання та управління, які будуть підключені до автономного вимірювально-обчислювального вузла (АВОВ) [3].

Постановка задачі

При побудові ієрархічних КФС з використанням існуючих промислових засобів вимірювання та управління виникає необхідність інтеграції до її складу сенсорів та актуаторів, які обладнані асинхронними послідовними портами (UART, RS-232, RS-485, Current Loop і т.п.). Передбачається, що основним засобом взаємодії в рамках КФС є промисловий Ethernet або WiFi.

Вирішення задачі

Запропонована узагальнена структурна схема АВОВ Ethernet-орієнтованої КФС наведена на рис. 1.

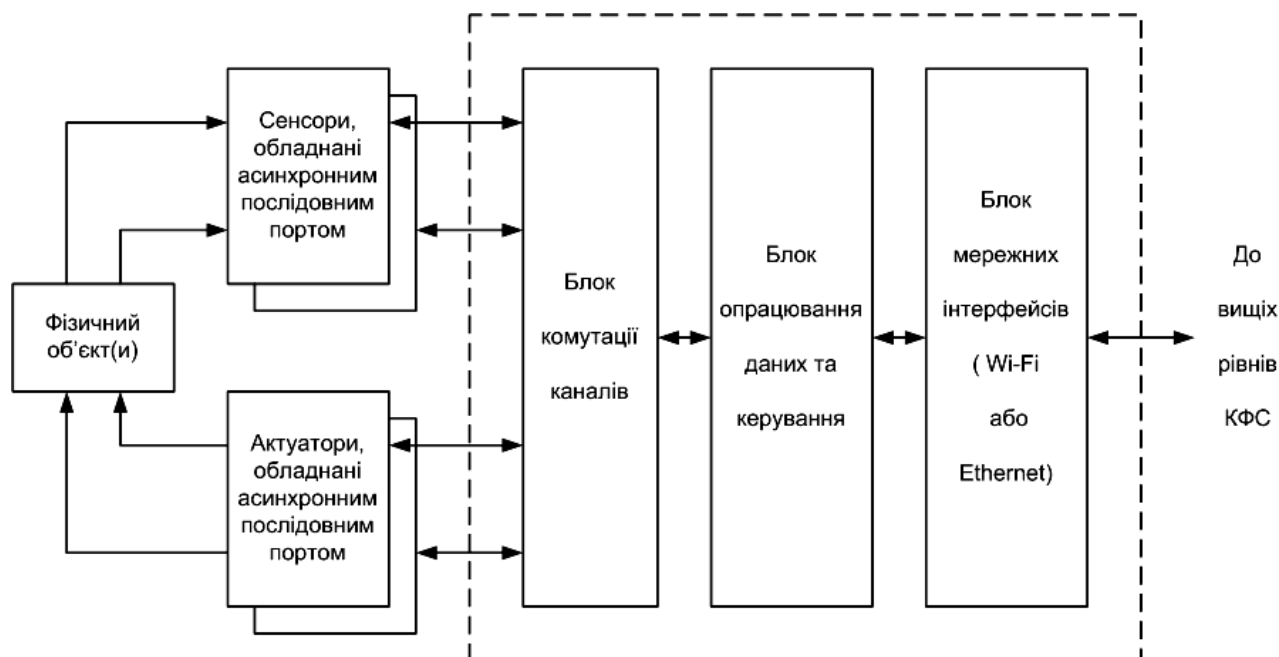


Рис. 1. Структурна схема автономного вимірювально-обчислювального вузла КФС

АВОВ складається з трьох основних частин – блоку комутації каналів, блоку опрацювання даних та керування і блоку мережних інтерфейсів.

Блок комутації каналів, окрім своєї основної функції, здійснює узгодження сигналів АВОВ та промислового обладнання на фізичному рівні. На ринку наявна широка номенклатура трансиверів для типових асинхронних послідовних інтерфейсів промислових мереж, що дозволяє підібрати необхідне рішення як за технічними (швидкість, відстань передачі, споживана потужність), так і за економічними параметрами.

Взаємодія з промисловими засобами вимірювання та управління в загальному випадку є двонаправленою, а тому виділення спеціалізованих каналів для сенсорів та для актуаторів є недоцільним.

Блок опрацювання даних та керування здійснює вибір каналу для взаємодії, первинну обробку даних від сенсорів та формування керуючих сигналів для актуаторів. Необхідна продуктивність обчислювальних засобів цього блоку визначається складністю алгоритмів обробки даних, кількістю каналів та реальною інтенсивністю інформаційного обміну.

Блок мережних інтерфейсів може бути реалізований декількома способами, переваги та недоліки яких будуть розглянуті нижче.

Оснву телекомунікаційної підсистеми Ethernet-орієнтованої КФС складає стек протоколів TCP/IP. Його повноцінна реалізація вимагає залучення доволі значних обчислювальних ресурсів, а тому вибір засобів для реалізації блока мережних інтерфейсів визначається в першу чергу наявністю вільних обчислювальних ресурсів в ядрі АВОВ, тобто в блоці опрацювання даних та керування.

У випадку, якщо первинне опрацювання даних не вимагає інтенсивних обчислень, то доцільною буде реалізація блоку мережних інтерфейсів АВОВ у вигляді інтерфейсного моста (рис. 2)

Інтерфейсний міст являє собою спеціалізовану «систему-на-кристалі», обчислювальна потужність якої достатня для функціонування Unix-подібної ОС з закритим кодом, що забезпечує повноцінну реалізацію стеку TCP/IP.



Рис. 2. АВОВ на основі інтерфейсного моста

Цей підхід має наступні переваги:

- можливість вибору мікроконтролера в залежності від складності алгоритмів обробки даних (від 8-бітних МК до повноцінних DSP);
- в деяких випадках (один канал, обробка даних не потрібна) можна взагалі відмовитися від мікроконтролера, залишивши тільки інтерфейсний міст;
- традиційна реалізація стеку TCP/IP на базі ОС;

Цей підхід має наступні недоліки:

- закритість коду вбудованого ПЗ інтерфейсного моста – усунення виявлених помилок лише у нових офіційних версіях прошивок;
- використання альтернативних прошивок (напр. OpenWRT) позбавляє міст гарантії виробника.

Прикладом можуть бути мости UART – WiFi від Mediatek (MT7681), Marvell (88W8801), Wiznet (WizFi210), Espressif (ESP8266); модуль UART – Ethernet/WiFi HLM-RM04 та цілий ряд інших.

У випадку, якщо ядро АВОВ володіє достатньою обчислювальною потужністю, то можлива програмна реалізація стеку протоколів TCP/IP у блоці обробки даних та керування. В цьому випадку функції блоку мережних інтерфейсів зводяться лише до забезпечення взаємодії на фізичному та каналному рівнях. Можливе використання як спеціалізованих інтерфейсних мікросхем (рис. 3), так і мікроконтролерів з інтегрованим інтерфейсом фізичного рівня Ethernet (рис. 4). Прикладом останнього може бути PIC18F67J60 виробництва Microchip.

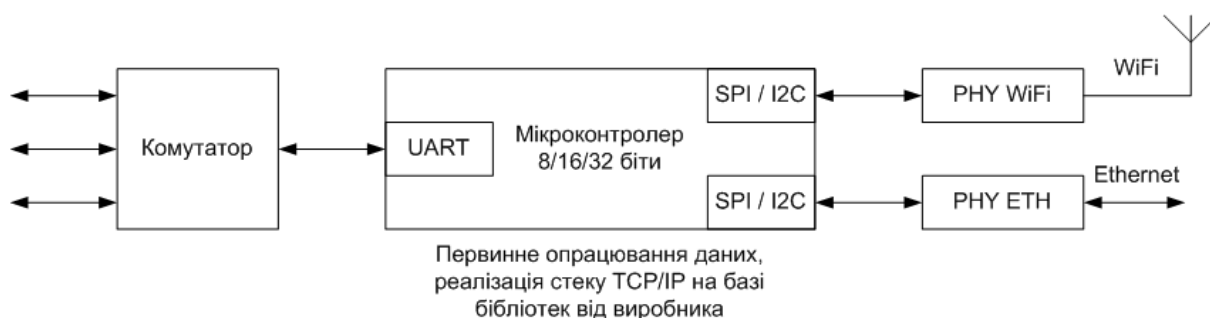


Рис. 3. АВОВ з спрощеним блоком мережних інтерфейсів

Стек протоколів зазвичай надається у вигляді пропріетарної бібліотеки від виробника МК.

Слід зауважити, що мікроконтролери з інтегрованим фізичним рівнем Ethernet зустрічаються порівняно рідко.

Ці підходи мають наступні переваги:

- при достатній продуктивності МК швидкість реакції системи може бути вищою, ніж у попередньому варіанті, оскільки відсутні витрати машинного часу на підтримку функціонування ОС;

- в залежності від потреб можна підібрати оптимальний варіант мікроконтролера, або закласти в проект можливість його заміни на продуктивнішу версію.

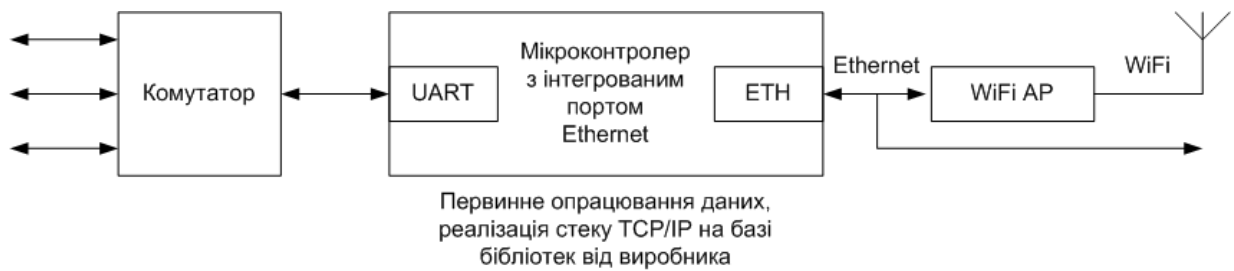


Рис. 4. АВОВ на основі МК з інтегрованим інтерфейсом фізичного рівня Ethernet

Ці підходи мають наступні недоліки:

- пропріетарна бібліотека стеку TCP/IP з закритим вихідним кодом зазвичай є платною;
- часто реалізується лише частина стеку TCP/IP;
- підвищені вимоги до ресурсів мікроконтролера практично виключають виконання 8-бітних рішень;
- будь-які зміни в алгоритмі функціонування ПЗ вимагають перепрошивки МК.

У випадку, якщо необхідна складна обробка даних, можлива часта зміна алгоритмів обробки чи потрібна повноцінна реалізація стеку TCP/IP, доцільно перейти до рішень вищого рівня, тобто до застосування одноплатних мікроЕОМ.

Достатньо продуктивна одноплатна мікроЕОМ з повноцінною ОС на борту через інтерфейс USB може бути доповнена відповідними мережними адаптерами (рис.5). Типовими представниками даного підходу є одноплатні мікроЕОМ серії Raspberry Pi (моделі А, А+, В, В+, 2В, Zero).

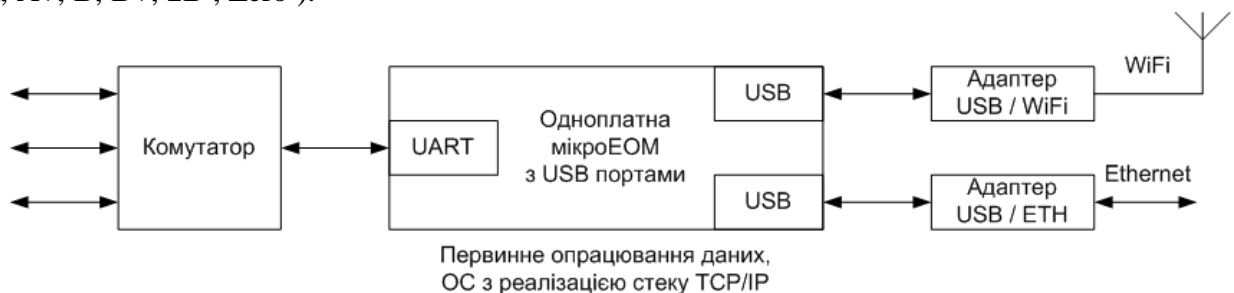


Рис. 5. АВОВ на основі одноплатної мікроЕОМ з інтегрованим інтерфейсом USB

Можливе також використання одноплатних мікроЕОМ з інтегрованим інтерфейсом Ethernet або WiFi (рис. 6). Типовим представником даного підходу є одноплатна мікроЕОМ Raspberry Pi 3.

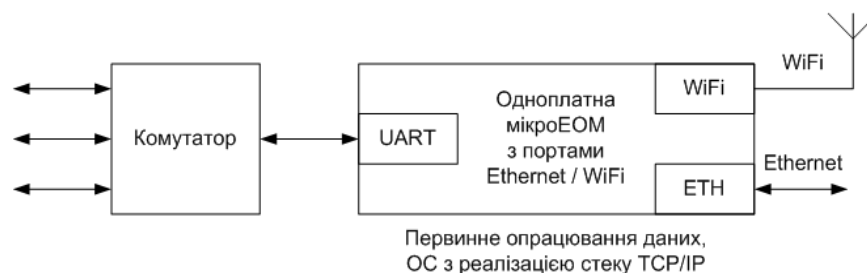


Рис. 6. АВОВ на основі одноплатної мікроЕОМ з інтегрованим інтерфейсом Ethernet або WiFi

Ці підходи мають наступні переваги:

- можливість встановлення ОС з відкритим вихідним кодом;
- гнучкість при виборі типів та кількості інтерфейсів;
- зміна алгоритмів обробки даних без використання зовнішнього програматора.

Ці підходи має наступні недоліки:

- підвищене енергоспоживання;
- додаткова витрати ресурсів процесора на підтримку ОС в цілому та, зокрема, достатньо складного в реалізації інтерфейсу USB.

Частковим випадком цього підходу можна вважати використання стандартного промислового ПК (PC-104, PCI-104 і т.п.) із відповідними платами інтерфейсних розширень. Особливістю цього варіанту є можливість реалізації АВОВ в індустріальному виконанні, але ціна подібного рішення буде суттєво вищою, ніж у попередніх випадках.

Висновки

Основними критеріями при виборі схеми реалізації АВОВ є обчислювальна складність алгоритмів попередньої обробки даних та інтенсивність інформаційних потоків, що проходять через нього.

При низькій обчислювальній складності алгоритмів обробки даних та низькій інтенсивності інформаційного обміну рекомендується реалізація АВОВ у вигляді поєднання мікроконтролера з інтерфейсним мостом UART-Ethernet або UART -WiFi.

При розробці низькобюджетних безкабельних КФС доцільно звернути увагу на міст UART – WiFi на базі SoC ESP8266 від Espressif.

Більш універсальним рішенням є застосування модуля UART – Ethernet/WiFi HLK-RM04, який забезпечує підтримку двох типів мережних інтерфейсів та двох незалежних асинхронних послідовних портів.

При необхідності виконання складних та ресурсоємних алгоритмів обробки даних доцільно використовувати одноплатні мікроЕОМ з інтегрованими мережними інтерфейсами – наприклад серія продуктів Raspberry Pi, або їхні функціональні аналоги.

При необхідності індустріального виконання АВОВ можливим рішенням може бути використання стандартних промислових ПК, хоча це суттєво збільшить вартість КФС.

1. Міюшкович Є. Г. Телекомунікаційні інтерфейси кіберфізичних систем: концепція застосування / Є. Г. Міюшкович, Я. С. Парамуд // Кіберфізичні системи досягнення та виклики : матеріали I Наукового семінару, 25–26 червня 2015 року, Львів / Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : НВФ «Українські технології», 2015. – С. 28–36. – Бібліографія: 3 назви. 2. Міюшкович Є. Г. Особливості класифікації та застосування телекомунікаційних інтерфейсів у кіберфізичних системах / Є. Г. Міюшкович, Я. С. Парамуд // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Комп'ютерні системи та мережі : збірник наукових праць. – 2015. – № 830. – С. 106–115. – Бібліографія: 6 назв. 3. Мельник А. О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А. О. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2014. – № 806 : Комп'ютерні системи та мережі. – С. 154–161. – Бібліографія: 31 назва.

Наукові результати, подані у цій статті, було отримано в рамках дослідницького проекту ДБ/КІБЕР з реєстраційним номером 0115U000446, 01.01.2015 – 31.12.2017, фінансово підтриманим Міністерством освіти та науки України.