

**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ІНТЕРФЕЙСИ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ:
КОНЦЕПЦІЯ ЗАСТОСУВАННЯ**

© *Міюшкович Є.Г., Парамуд Я.С., 2015*

Проведено аналіз характеристик стандартизованих інтерфейсів обміну інформацією щодо їх застосування у кіберфізичних системах (КФС). Запропонована концепція застосування телекомунікаційних інтерфейсів на основі двох критеріїв – інтенсивності інформаційного обміну та відстані між компонентами КФС. Виділено 9 класів телекомунікаційних засобів і рекомендовано для них стандартизовані інтерфейси. Рекомендовано при виборі телекомунікаційних інтерфейсів у засобах взаємодії з фізичним світом надавати перевагу дротовим варіантам у порівнянні з бездротовими рішеннями. При виборі телекомунікаційних інтерфейсів для засобів збору та доставки інформації запропоновано максимально застосувати стандартні інтерфейси промислових мереж, зокрема Industrial Ethernet.

Ключові слова: телекомунікаційний інтерфейс, кіберфізична система, концепція застосування, інтерфейс промислової мережі.

The characteristics of standard interfaces of information exchange for their use in cyberphysical systems (CFS) were analysed. The proposed concept of the use of telecommunication interfaces based on two criteria - the intensity of information exchange and the distance between the components of CFS. 9 classes of telecommunications were highlighted and standard interfaces for them were chosen. It is recommended to prefer wired interfaces against wireless solutions. When choosing telecommunication interfaces for data collection use of standard fieldbus interfaces, especially Industrial Ethernet were recommended.

Keywords: telecommunications interface, cyberphysical system, concept application, industrial network interface.

Вступ

Телекомунікаційні інтерфейси є важливими компонентами кіберфізичних систем. Дослідження щодо застосування телекомунікаційних інтерфейсів у кіберфізичних системах є обґрунтованою та актуальною задачею.

Стан проблеми.

Аналіз кола задач, що постають перед сенсорною та виконавчою системами автономного вимірювально-обчислювального вузла кіберфізичної системи [1] показує, що при їхній реалізації варто звернути увагу на вже існуючі стандартизовані рішення в галузі комп'ютерних телекомунікаційних систем.

При виборі варіанту реалізації сенсорної та виконавчої систем слід враховувати наступні фактори [2]:

відстань між сенсорами/актуаторами та автономним вимірювально-обчислювальним вузлом КФС;

мінімальна пропускна здатність каналу зв'язку – від одиниць байт за годину при вимірюванні температури до декількох мегабіт за секунду при передачі відеопотоку;

масштаб реального часу засобів передачі даних для конкретної КФС;

легкість масштабування та зміни конфігурації сенсорної та виконавчої систем автономного вимірювально-обчислювального вузла (АВОВ);

стійкість до дії дестабілізуючих факторів оточуючого середовища – комерційне, індустріальне чи аерокосмічне виконання.

Телекомунікаційним засобам КФС у літературних джерелах приділена певна увага. Однак телекомунікаційні інтерфейси розглянуті узагальнено. Концепція застосування телекомунікаційних інтерфейсів забезпечить можливість прийняття узгоджених рішень при практичній реалізації КФС.

Постановка задачі

Необхідно дослідити характеристики та особливості стандартизованих телекомунікаційних інтерфейсів та розробити концепцію їх застосування у кіберфізичних системах.

Виклад основного матеріалу.

У найпростішому випадку, якщо АВОВ компактно розташований у приміщенні з нормальними кліматичними умовами, цілком можливе використання сенсорів та актуаторів, оснащених інтерфейсами USB, RS-232, RS-485, I2C, SPI, CAN, побутовою версією Ethernet. Як приклад можна навести системи збору даних DAS (Data Acquisition System) та генератори сигналів, сенсори виробництва компанії National Instruments.

Концептуальне застосування телекомунікаційних інтерфейсів може базуватися на промислових мережах та бездротових засобах передачі інформації.

Промислові мережі

Промислова мережа (англ. fieldbus) — це цифрова, двонаправлена, багатоточкова послідовна телекомунікаційна мережа, що зв'язує територіально розподілені сенсори, виконавчі механізми, промислові контролери і використовується в промисловій автоматизації для побудови єдиного інформаційного і керуючого середовища, котре об'єднує інтелектуальні технологічні пристрої і контролери цехового рівня.

Основним стандартом, що регламентує організацію промислових мереж є IEC 61158 [4]. В першій версії стандарту були визначені 8 різних протоколів (типів), назви яких наведені нижче:

Type 1 Foundation Fieldbus H1

Type 2 ControlNet

Type 3 PROFIBUS

Type 4 P-Net

Type 5 FOUNDATION Fieldbus HSE (High Speed Ethernet)

Type 6 SwiftNet (протокол, розвинений для фірми Boeing)

Type 7 WorldFIP

Type 8 Interbus

У порівнянні з підключенням периферійного обладнання до системи вищого рівня окремим спеціалізованим каналом зв'язку промислова мережа володіє наступними перевагами:

у декілька разів знижуються витрати на кабель та його прокладання;
збільшується допустима відстань до сенсорів та виконавчих механізмів;
спрощується керування мережею сенсорів та виконавчих механізмів;
спрощується модифікація системи при зміні виду сенсорів, протоколу взаємодії чи додаванні нових пристроїв вводу/виводу;
можливість дистанційного налаштування та діагностики сенсорів та актуаторів.

Недоліки, що пов'язані з використанням промислових мереж наведені нижче:

при обриві кабеля втрачається зв'язок не з одним, а з декількома пристроями (в залежності від місця обриву та топології мережі залишається можливість автономного функціонування сегмента мережі та схеми управління).

для підвищення надійності доводиться резервувати канали зв'язку або використовувати кільцеву топологію мережі.

Різновидами промислових мереж вважаються наступні [3].

Фізичний рівень на базі асинхронного інтерфейсу:

Modbus — один з самих відомих відкритих стандартів промислових мереж;

P-NET — електрична специфікація P-NET заснована на стандарті RS-485;

LIN — інтерфейс для автомобільних систем;

HART — стандарт передачі даних через струмову петлю 4-20мА.

Фізичний рівень на базі промислового Ethernet:

Profinet ;

Foundation Fieldbus HSE (High Speed Ethernet) (FF H2) — варіант промислового Ethernet, розроблений Foundation Fieldbus (FF);

EtherCAT;

Ethernet Powerlink;

Ethernet/IP;

SERCOS III;

MODBUS TCP — різновидність стандарту для TCP/IP мереж;

LAN eXtensions for Instrumentation – заміна GPIB для вимірювальних приладів.

FF H1 — промисловий протокол, аналог ProfiBus PA, розроблений FOUNDATION Filedbus (FF).

AS-Interface — низьковартісна та заводо захищена мережа для дискретних сенсорів малої продуктивності.

CC-Link — сімейство промислових мереж (CC-Link, CC-Link LT, CC-Link IE), створених за участі корпорації Mitsubishi Electric. В теперішній час розвитком цього сімейства мереж займається міжнародний консорціум CLPA.

CAN — специфікація фізичного та транспортного рівнів промислової мережі для автоматизації транспорту і машинобудування. Існує велика кількість доповнень, що уточнюють та доповнюють стандарт для певних задач:

CANbus;

CANopen;

DeviceNet;

SDS;

J1939.

ProfiBus — промислова мережа, міжнародний стандарт, створений з активною участю фірми Siemens AG, що містить ряд профілів, наприклад:

ProfiBus DP;
ProfiBus FMS;
ProfiBus PA;

Промислові мережі для автоматизації будівель:

LonWorks;
BACnet;
EIB.

Основні характеристики промислових мереж.

Аналіз основних характеристик промислових мереж вказує на наступне.

Різні стандарти промислових мереж пропонують різні набори функцій і мають різну продуктивність. Важко зробити загальне порівняння по продуктивності промислових мереж через принципову відмінність у методології передачі даних. Тому у порівняльній таблиці нижче просто відзначено, що мережа має тривалість циклу оновлення даних мілісекунду або меншу від мілісекунди. Основні характеристики найбільш поширених промислових мереж зведені у таблицю 1.

Таблиця 1.

Основні характеристики найбільш поширених промислових мереж

Промислова мережа	Забезпечення живлення	Надлишковість кабелів	Макс. кількість пристроїв	Синхронізація	Трив. циклу менше 1 мс
AS-Interface	Так	Ні	62	Ні	Ні
CANOpen	Ні	Ні	127	Так	Ні
ControlNet	Ні	Так	99	Ні	Ні
CC-Link	Ні	Ні	64	Ні	Ні
DeviceNet	Так	Ні	64	Ні	Ні
EtherCAT	Ні	Так	65536	Так	Так
Ethernet Powerlink	Ні	Опційно	240	Так	Так
EtherNet/IP	Ні	Опційно	Без обмежень	У розробці	Ні
Interbus	Ні	Ні	511	Ні	Ні
LonWorks	Ні	Ні	32000	Ні	Ні
Modbus	Ні	Ні	246	Ні	Ні

Промислова мережа	Забезпечення живлення	Надлишковість кабелів	Макс. кількість пристроїв	Синхронізація	Трив. циклу менше 1 мс
Profibus DP	Ні	Так	126	Так	Так
Profibus PA	Так	Ні	126	Ні	Ні
PROFINET IO	Ні	Опційно	Без обмежень	Ні	Ні
PROFINET IRT	Ні	Опційно	Без обмежень	Так	Так
SERCOS III	Ні	Так	511	Так	Так
SERCOS interface	Ні	Ні	254	Так	Так

Промисловий Ethernet.

Промисловий Ethernet (англ. Industrial Ethernet) – це стандартизований варіант мережевого протоколу Ethernet, адаптований з метою застосування у промислових умовах для автоматизації та керування технологічними процесами.

Основні завдання промислового Ethernet в наступному. У цьому стандарті застосовано низку модифікацій з метою адаптації Ethernet-протоколу для потреб виробничих процесів, щоб забезпечити керування процесами у реальному часі. Останнім часом є одним з найпопулярніших протоколів на базі якого будуються промислові мережі.

Існує ціле сімейство протоколів, що у різному ступені модифікують стандартний стек TCP/IP, додаючи до нього додатково:

- функції синхронізації;
- нові алгоритми мережевого обміну;
- діагностичні функції;
- алгоритми самокорекції.

Канальний і фізичний рівні моделі OSI від Ethernet при цьому залишаються незмінними, що дозволяє використовувати протоколи реального часу в існуючих мережах Ethernet на базі використання стандартного мережевого обладнання.

З використанням цього протоколу можуть бути сполучені і забезпечувати інформаційну взаємодію засоби автоматизації для різних етапів технологічного процесу та від різних виробників. Промисловий Ethernet зазвичай використовується для обміну даними між програмованими контролерами та системами людино-машинного інтерфейсу, рідше для обміну даними між контролерами, а також для підключення до контролерів віддаленого обладнання (сенсорів чи виконавчих механізмів).

Основні вимоги до обладнання наступні. Компоненти, що працюють за протоколом Industrial Ethernet, повинні бути адаптовані для роботи в суворих умовах екстремальних температур, вологості та вібрацій, які перевищують діапазони для ІТ-обладнання, призначеного для встановлення в контрольованих умовах.

При використанні систем автоматизації в неопалюваних приміщеннях чи поза приміщеннями, вимагається ширший температурний діапазон роботи обладнання від -40°C до 70°C . Тому, офісне Ethernet устаткування не відповідає вимогам промислової автоматизації. Більше того, вимоги щодо сертифікації промислового обладнання, найчастіше є унікальними і мають свої галузеві особливості.

Устаткування для промислового Ethernet обов'язково повинно пройти випробування на електромагнітну сумісність відповідно до вимог IEC 61000-4, IEEE C37.90. Випробування на вібрацію IEC 60255-21 і захист від попадання вологи чи сторонніх часток IEC 60529, NEMA 6 (IP67) і т.д.

Серед галузевих стандартів та сертифікатів варто відзначити вимогу на відповідність стандарту IEC 61850-3 (Мережі і системи зв'язку на підстанціях IEC 61850-3), сертифікат Germanischer Lloyd (GL) або DNV, стандарти на вибухобезпечність UL1604 (ATEX) і багато інших.

В залежності від вимог, що ставляться до мережі Industrial Ethernet, для передачі даних можуть використовуватися різні види каналів зв'язку.

Канали зв'язку на основі витих пар для швидкого монтажу FC TP (Fast Connect twisted pair) – ідеальний варіант організації каналів зв'язку для офісних застосувань, розширюваний на застосування в промислових умовах. Підключення до мережевих версій сайту може здійснюватися через роз'єм 8p8c (RJ45). Завдяки спеціальному виконання кабелю (FC) тривалість монтажу ліній зв'язку може бути істотно скорочено.

Канали зв'язку на основі промислових витих пар ITP (Industrial Twisted Pair) – дозволяють створювати електричні канали зв'язку з підключенням через з'єднувачі D-типу. Довжина лінії зв'язку може досягати 100м.

Оптичні канали зв'язку є оптимальним рішенням для побудови резервованих кільцевих топологій мережі. Такі канали зв'язку виконуються оптоволоконним кабелем. Оптичні канали зв'язку не зазнають впливу електромагнітних полів і не вимагають використання додаткової ізоляції.

Бездротові канали зв'язку використовуються для побудови локальних обчислювальних мереж, що працюють в частотному діапазоні 2.4 ГГц. Компоненти бездротових мереж відповідають вимогам стандарту IEEE 802.11b і забезпечують можливість передачі даних зі швидкістю 1...11 Мбіт/с. Доступ через бездротові канали до локальної мережі Industrial Ethernet здійснюється через модулі RLM (Radio Link Module).

Комбіновані системи – при необхідності в рамках однієї мережі Industrial Ethernet можуть використовуватися різні види каналів зв'язку. Узгодження різних видів каналів зв'язку між собою, що працюють з різними швидкостями передачі (10/100) забезпечують Industrial Ethernet Switches та медіаконвертери.

Промисловий Ethernet має декілька ефективних практичних реалізацій.

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) — є відкритою Ethernet-мережею розробки фірми Beckhoff. Протокол забезпечує обмін інформацією в режимі реального часу у мережі на основі витої пари чи волоконно-оптичних засобів та підтримує різноманітні топології. Цей стандарт підтримується EtherCAT Technology Group, що має 168 компаній-членів. Специфікація протоколу EtherCAT доступна лише членам організації.

Profinet — стандарт промислового Ethernet, що визначається стандартами IEC 61158 та IEC 61784, розроблений і опублікований організацією PROFIBUS International і розвивається компанією Siemens AG і Profibus User Organization. Він регламентує вимоги до устаткування і побудови мережі для передачі даних із швидкістю 100 Мбіт/с в умовах підвищених температурних, механічних і електромагнітних впливів. Дана специфікація дозволяє працювати з такими системами промислових комунікацій: Profibus, Interbus, Devicenet. Взаємодію цих мереж з Profinet забезпечують спеціальні пристрої шлюзування (проху).

Для конфігурування і діагностики в Profinet використовують протоколи TCP/IP та UDP.

Стандарт Profinet визначає топологію мережі, вимоги до з'єднувачів і прокладки кабелю. Виробники устаткування отримали єдині вимоги для інтерфейсів, а кінцеві користувачі — простий монтаж мережі.

Modbus TCP — підтримується Schneider Automation, на основі Modbus-протоколу, що добре зарекомендував себе і який будується поверх протоколу TCP/IP стандартних мереж Ethernet. Протокол Modbus розроблений фірмою Modicon (в даний час належить компанії Schneider Electric) для використання в її контролерах з програмованою логікою. Вперше специфікація протоколу була опублікована в 1979 році. Це був відкритий стандарт, що описує формат повідомлень і способи їх передачі в мережі, котра складається з різних електронних пристроїв.

Спочатку контролери Modicon використовували послідовний інтерфейс RS-232. Пізніше став застосовуватися інтерфейс RS-485, так як він забезпечував вищу надійність і дозволяв використовувати довші лінії зв'язку та підключати до однієї лінії декілька пристроїв.

Останньою модифікацією протоколу для передачі даних по мережах Ethernet поверх TCP/IP став Modbus TCP.

Ethernet Powerlink — це Ethernet-протокол, що працює в режимі реального часу, який поєднує в собі концепцію CANopen з Ethernet-технологіями. Ethernet Powerlink Standardization Group (EPSSG) є відкритою асоціацією промислових виробників, науково-дослідних інститутів та кінцевих користувачів в галузі розробки технологій режиму реального часу для Ethernet.

EtherNet/IP є промисловим стандартом мереж, що використовує такі переваги комерційного Ethernet, як серійні апаратні засоби зв'язку та фізичні носії. IP розшифровується як "Industrial Protocol". Цей протокол підтримують ControlNet International (CI), Industrial Ethernet Association (IEA) і Open DeviceNet Vendor Association (ODVA).

Бездротовий зв'язок

Використання бездротового зв'язку, надаючи певні переваги користувачу, в той же час має цілий ряд обмежень:

- порівняно мала пропускна здатність каналу зв'язку;
- можливість розриву зв'язку під дією зовнішніх завад;
- мала кількість каналів у фіксованому частотному діапазоні;
- відсутня сумісність засобів, реалізованих за різними стандартами.

На теперішній час розроблено та впроваджено ряд стандартів бездротового зв'язку. Основні характеристики для найбільш поширених наведені у порівняльній таблиці 2.

Порівняльна таблиця стандартів бездротового зв'язку

Технологія	Стандарт	Застосування	Пропускна здатність	Радіус дії	Частоти
Wi-Fi	802.11a	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 300 метрів	5,0 ГГц
Wi-Fi	802.11b	WLAN	до 11 Мбіт/с	до 300 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11g	WLAN	до 54 Мбіт/с	до 300 метрів	2,4 ГГц
Wi-Fi	802.11n	WLAN	до 300 Мбіт/с (в перспективі до 600 Мбіт/с)	до 300 метрів	2,4 — 2,5 або 5,0 ГГц
WiMax	802.16d	WMAN	до 75 Мбіт/с	25-80 км	1,5-11 ГГц
WiMax	802.16e	Mobile WMAN	до 40 Мбіт/с	1-5 км	2,3-13,6 ГГц
WiMax 2	802.16m	WMAN, Mobile WMAN	до 1 Гбіт/с (WMAN), до 100 Мбіт/с (Mobile WMAN)	120-150 км (стандарт в розробці)	н/д (стандарт в разработке)
Bluetooth v. 1.1	802.15.1	WPAN	до 1 Мбит/с	до 10 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 2.0	802.15.3	WPAN	до 2,1 Мбит/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
Bluetooth v. 3.0	802.11	WPAN	от 3 Мбит/с до 24 Мбит/с	до 100 метрів	2,4 ГГц
UWB	802.15.3a	WPAN	110-480 Мбіт/с	до 10 метрів	7,5 ГГц
ZigBee	802.15.4	WPAN	від 20 до 250 кбіт/с	1-100 м	2,4 ГГц (16 каналів), 915 МГц (10 каналів), 868 МГц (один канал)
Інфрачервона лінія зв'язку	IrDa	WPAN	до 16 Мбіт/с	від 5 до 50 см, симплексний зв'язок — до 10 метрів	Інфрачервоне випромінювання

Застосування телекомунікаційних інтерфейсів доцільно базувати на двох основних критеріях: а) продуктивності (інтенсивності інформаційного обміну); найбільшій відстані між компонентами КФС, які безпосередньо беруть участь в обміні даними. Такі критерії можна вважати класифікаційними ознаками телекомунікаційних засобів КФС. Пропонується кожному із класифікаційних ознак розбити на три групи. Стосовно інтенсивності інформаційного обміну виділити низьку L (< 10 кбіт/с), середню S (>10 кбіт/с, < 1 Мбіт/с), високу H (> 1 Мбіт/с). Стосовно відстані між компонентами виділити системи типу PAN (< 10 м), LAN (> 10 м, < 1 км), MAN/WAN (> 1 км). Використовуючи такі класифікаційні ознаки формуються 9 класів телекомунікаційних засобів від L-PAN до H- MAN/WAN. Для кожного із класів рекомендуються стандартизовані інтерфейси за таблицею 3.

Телекомунікаційні інтерфейси для різних класів КФС

Радіус мережі	Інтенсивність інформаційного обміну		
	Низька L (< 10 кбіт/с)	Середня S (>10 кбіт/с, < 1 Мбіт/с)	Висока H (> 1 Мбіт/с)
PAN (< 10 м)	RS-232, RS-485, MicroLAN (1-Wire), CAN, USB, SPI, I2C, Bluetooth, ZigBee, радіомодеми (2,4 ГГц)	CAN, RS-485, USB, Ethernet, WiFi.	CAN, RS-485, USB, Ethernet, WiFi, UWB.
LAN (> 10 м, < 1 км)	CAN, RS-485, MicroLAN (1-Wire). Радіомодеми (433 МГц).	Промислові мережі, Industrial Ethernet WiMAX	Промислові мережі, Industrial Ethernet WiMAX
MAN/WAN (> 1 км)	Промислові мережі, Industrial Ethernet, GPRS/EDGE модеми,	Промислові мережі, Industrial Ethernet, 3G модеми	Промислові мережі, Industrial Ethernet, 3G модеми, Оптоволоконні мережі

Наведена таблиця є відкритою. Вона може змінюватися при подальших дослідженнях як в царині КФС, так і в царині телекомунікаційних інтерфейсів.

Висновки

Пропонується концепція застосування телекомунікаційних інтерфейсів із використанням двох основних критеріїв – інтенсивності інформаційного обміну та відстані між компонентами КФС. Запропоновано виділити 9 класів телекомунікаційних засобів та рекомендовано для них стандартизовані інтерфейси.

При виборі телекомунікаційних інтерфейсів у засобах взаємодії з фізичним світом перевагу варто надавати дротовим варіантам і використовувати бездротові рішення лише у разі необхідності.

При виборі телекомунікаційних інтерфейсів для засобів збору та доставки інформації максимально широкий спектр застосування мають стандартні промислові рішення (промислові мережі, зокрема Industrial Ethernet). При такому виборі потрібно враховувати, що їхня вартість буде порівняно високою.

Запропонована концепція застосування телекомунікаційних інтерфейсів забезпечить можливість прийняття узгоджених рішень при практичній реалізації КФС.

Перелік посилань

1. 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. 2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием - М.: "Горячая линия-Телеком", 2009 - 608 с. ISBN 978-5-9912-0060-8. Гук М. Интерфейсы ПК: справочник.-СПб: ЗАО "Изд. "Путер", 1999. -416 с. ISBN 5-8046-0030-3. International Standart IEC 61158 Digital data communications for measurement and control – Fieldbus for use in industrial control systems

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.