

В. В. СТАЦЕНКО, О. П. БУРМІСТЕНКОВ, Т. Я. БІЛА, Д. В. СТАЦЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

О. І. ПАНАСЮК

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

РОЗРОБЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ВІД АНАЛОГОВИХ ДАТЧИКІВ

У роботі представлено результати розроблення структури системи збору даних з аналогових тензометричних датчиків маси. Проаналізовано основні варіанти архітектури системи, визначено їх переваги та недоліки. Представлено алгоритм передачі даних від аналого-цифрового перетворювача до мікроконтролера. Розроблено рекомендації щодо проектування системи збору даних з урахуванням умов їх експлуатації.

Ключові слова: мікроконтролер, АЦП, система збору даних, передача даних, Wi-Fi, датчик маси.

V. V. STATSENKO, O. P. BURMISTENKOV, T. Y. BILA, D. V. STATSENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

O. I. PANASIUK

Taras Shevchenko National University of Kyiv

DEVELOPMENT OF CENTRALIZED COMPUTER DATA COLLECTION SYSTEM FROM ANALOG SENSORS

The article presents the architecture and operation principles of the system for collecting and analyzing information from strain gauges. These systems are used to determine the equipment performance for transporting a variety of materials. In particular, they are used to control the movement of bulk materials mixtures components. For such technological processes, it is fundamentally important to ensure constant flows intensity.

The paper identifies three variants of sensor connection schemes, analyzes their advantages and disadvantages. It is established that the structure "one ADC – several sensors" allows to reduce equipment costs and at the same time to provide the minimum parameters influence of a transmission line on a useful sensor signal. The "one-to-one" scheme provides the connection of each sensor to its own ADC. "Circuit with multiplexer" allows to increase the number of sensors connected to one ADC. It is established that the best option in terms of reducing the interference effects on the analog signal and the cost of creating a system is the scheme "one ADC – several sensors".

The algorithm of information transfer from ADC to microcontroller (MC) is analysed. It is calculated that HX711 ADC chips provide the maximum data rate of 18.5 values/s.

It is proposed to transfer data between the MC and the server using the TCP protocol because it avoids data loss and provides the necessary data transfer speed. The structure and formats of data that are transmitted from the mass sensor to the ADC, microcontroller, web server and database are proposed.

The main speed, design parameters, advantages and disadvantages of wired and wireless data network between MK and the server are determined. Recommendations for the design of such a network depending on the characteristics of the premises in which the data collection system will be used have been developed.

Keywords: microcontroller, ADC, data acquisition system, data transmission, Wi-Fi, mass sensor.

Постановка проблеми

В умовах сучасного виробництва наявність актуальної та достовірної інформації про поточні параметри технологічних процесів розширює можливості використання обладнання, дозволяє зменшити кількість неякісної продукції та оперативно реагувати на аварійні ситуації. Сьогодні на ринку представлені промислові комплекси та технологічні лінії, які включають необхідні датчики, пристрої керування, мережеві інтерфейси та інше обладнання, що дозволяє максимально автоматизувати роботу, зменшити участь людини та надати оператору інформацію про поточні параметри систем.

Водночас, в ряді випадків на підприємствах використовується обладнання, при проектуванні якого не враховувалась можливість автоматизації його роботи. Також часто застосовується обладнання різних виробників, яке має власні інтерфейси для передачі даних та моніторингу технологічних параметрів. В цих випадках важливо забезпечити створення систем збору та аналізу даних з мінімальним втручанням у конструкцію обладнання та використанням спільних інтерфейсів передачі даних.

У роботі розглянуто архітектуру та принципи роботи системи збору та аналізу інформації з тензометричних датчиків маси. Такі системи застосовуються для визначення продуктивності різноманітних транспортерів. Зокрема, вони використовуються для контролю руху компонентів сумішей сипких матеріалів [1]. В цьому випадку принципово важливим є забезпечення постійної інтенсивності потоків. Датчики маси дозволяють отримати інформацію про кількість матеріалу, що знаходиться на поверхні транспортувальних пристроїв у кожен окремий момент часу. Ці дані можна використати для прогнозування якості суміші і корегування роботи технологічного обладнання. У сучасних виробництвах кількість зон, в яких необхідно здійснювати такий контроль, може вимірюватись десятками, що зумовлює доцільність централізованої обробки цих даних.

Система збору даних має відповідати наступним вимогам – забезпечувати:

- перетворення аналогових сигналів датчиків у цифровий формат.
- передавання даних через мережу Інтернет.
- можливість горизонтального масштабування (збільшення кількості пристроїв).
- можливість збереження даних для подальшого аналізу.

До складу системи мають входити прилади, які серійно випускаються промисловістю.

Кількість додаткових пристроїв має бути мінімальною.

Необхідно мінімізувати (в ідеальному випадку – уникнути) кількість монтажних робіт у промислових приміщеннях.

Аналіз останніх джерел

Сьогодні проблемам побудови комп'ютерних мереж присвячено велику кількість наукових робіт. Це обумовлено передусім широким використанням різноманітних каналів зв'язку та обмеженнями, що виникають при використанні того чи іншого методу передавання даних. Принципи побудови сучасних телекомунікаційних мереж представлені у роботі [2]. Авторами розглянуто види каналів передачі даних, методи кодування сигналів, захисту від перешкод, перетворення сигналів з аналогової у цифрову форму, принципи побудови комп'ютерних мереж. Також ряд робіт, зокрема [3], присвячено проблемам бездротової передачі даних. Створення таких мереж дозволяє уникнути додаткових витрат на проведення монтажних робіт. Водночас, такий спосіб передачі даних зумовлює появу додаткових проблем, пов'язаних з захистом від перешкод.

Таким чином, створення систем передачі даних в промислових умовах цілком можливе на базі обладнання, що серійно випускається. Водночас, побудова архітектури такої мережі має здійснюватись з урахуванням конкретних промислових умов, параметрів первинних інформаційних сигналів, вимог до швидкості передавання даних.

Метою роботи є розробка структури централізованої системи збору даних з аналогових тензометричних датчиків маси.

Виклад основного матеріалу

Структурна схема системи збору та аналізу даних представлена на рис. 1. Вимірювання маси матеріалу здійснюється за допомогою тензометричних датчиків маси (ТДМ1...ТДМn). Вибір датчиків саме цього типу зумовлений їх високою точністю та практично лінійною характеристикою (залежністю між масою та вихідним сигналом). Це дозволяє уникнути необхідності у додаткових перетвореннях під час аналізу сигналів датчиків. За своєю фізичною природою сигнали датчиків є аналоговими. Перетворення у цифрову форму здійснюється за допомогою аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП). Інформація від АЦП зчитується мікроконтролером (МК). Отримані результати вимірювань надсилаються через мережу Інтернет до центрального сервера, який зберігає їх у базі даних (БД).

Розглянемо детальніше лінію передачі даних. Сигнали датчиків маси, які передаються на вхід АЦП, є аналоговими. Це автоматично накладає суттєві обмеження

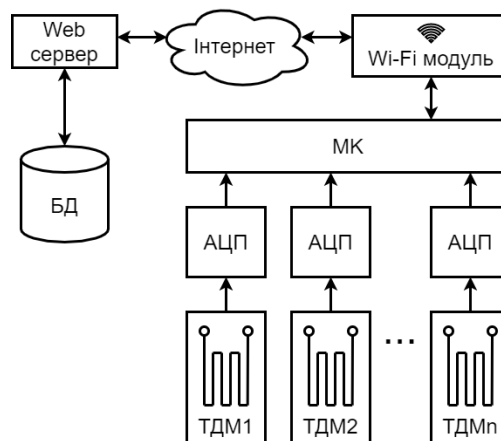


Рис. 1. Структурна схема системи збору даних

на довжину лінії передачі, оскільки її електричний опір та ємність призводитиме до появи додаткових похибок у результатах вимірювань. Мінімізація довжини цієї лінії дещо збільшує вартість системи, оскільки АЦП має знаходитись безпосередньо поряд з датчиком маси. Основні варіанти схем підключення датчиків до АЦП показані на рис. 2. Відповідні якісні характеристики запропонованих схем представлені у таблиці 1.

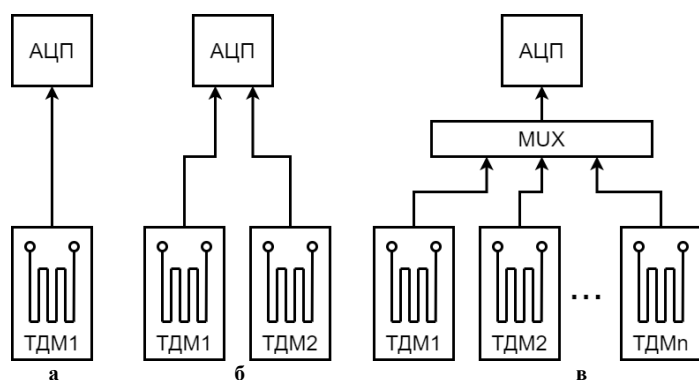


Рис. 2. Схема підключення датчиків до АЦП:

а) один-до-одного; б) один АЦП – декілька датчиків; в) схема з мультиплексором

Таблиця 1

Характеристики схем підключення датчиків до АЦП

№ з/п	Схема підключення	Довжина ліній передачі	Час опитування датчиків	Вартість
1	Один-до-одного	Мінімальна	Мінімальний	Максимальна
2	Один АЦП – декілька датчиків	Середня	Середній	Середня
3	Схема з мультиплексором	Максимальна	Максимальний	Мінімальна

У схемі «один-до-одного» (рис. 2, а) кожен датчик підключений до власного АЦП. В цьому випадку можна забезпечити мінімально можливу відстань між датчиком та АЦП, що зменшує вплив параметрів лінії

передачі на корисний сигнал. Водночас, при реалізації такої схеми кількість АЦП дорівнюватиме кількості датчиків, тобто буде максимальною. Окрім того, до кожного АЦП необхідно підвести постійну напругу живлення (в більшості випадків +5В), що також підвищує вартість системи в цілому. Безумовною перевагою такої схеми є мінімальна величина часу опитування датчиків, яка визначається часом перетворення АЦП та тривалістю передачі даних до МК.

Схему «один АЦП – декілька датчиків» (рис. 2, б) можливо реалізувати у випадку, якщо мікросхема АЦП має декілька аналогових входів. Сьогодні такі мікросхеми серійно випускаються промисловістю та мають невисоку вартість. Найбільш ефективно використовувати таку схему при вимірюванні маси декількома датчиками. В цьому випадку датчики розташовують поряд один з одним і порівнюють їх сигнали. Це дозволяє оцінити та знизити вплив випадкових похибок. Довжина ліній передачі між АЦП та датчиками залишається низькою, оскільки датчики розташовані поруч. Час опитування збільшується пропорційно кількості датчиків внаслідок того, що АЦП здійснює перетворення та передачу результатів до МК послідовно. Водночас, вартість системи зменшується за рахунок зменшення кількості АЦП.

Збільшити кількість датчиків, підключених до одного АЦП, можна за рахунок використання «схеми з мультиплексором» (рис. 2, в). В ній датчики підключаються до мультиплексора (MUX), який по черзі з'єднує їх з входом АЦП. В цьому випадку кількість датчиків обмежена кількістю входів MUX. Це дозволяє зменшити вартість системи за рахунок зменшення кількості мікросхем. Але при цьому суттєво збільшується довжина ліній передачі, що негативно впливає на точність вимірювань. Також час опитування збільшується пропорційно кількості датчиків, що підключені до одного АЦП. Рекомендувати використання такої схеми можна у випадку компактного розташування зон, в яких здійснюється вимірювання.

У реальних умовах місце встановлення датчиків визначається розмірами та розташуванням обладнання. Це означає, що в більшості випадків доцільним є використання схем «один-до-одного» та «один АЦП – декілька датчиків». У роботі запропоновано використання мікросхем АЦП HX711 [4], які мають низьку вартість та забезпечують можливість підключення до двох датчиків маси.

Передача даних між АЦП та МК здійснюється через послідовний інтерфейс. Сигнали передаються у вигляді прямокутних імпульсів, що значно зменшує вплив на них зовнішніх факторів (порівняно з аналоговими сигналами). Тривалість і послідовність імпульсів визначається розробником мікросхеми та наведена у документації. Мікросхема HX711 передає результати вимірювання блоками по 24 біти зі швидкістю 10 або 80 значень за секунду. Швидкість передачі може бути змінена у випадку використання зовнішнього генератора тактових сигналів. Для передачі даних до МК використовуються два виводи мікросхеми: PD_SCK (цифровий вхід) та DOUT (цифровий вихід). Вони дозволяють отримувати дані та задавати режим роботи АЦП. Послідовність передачі даних показаний на рис. 3.

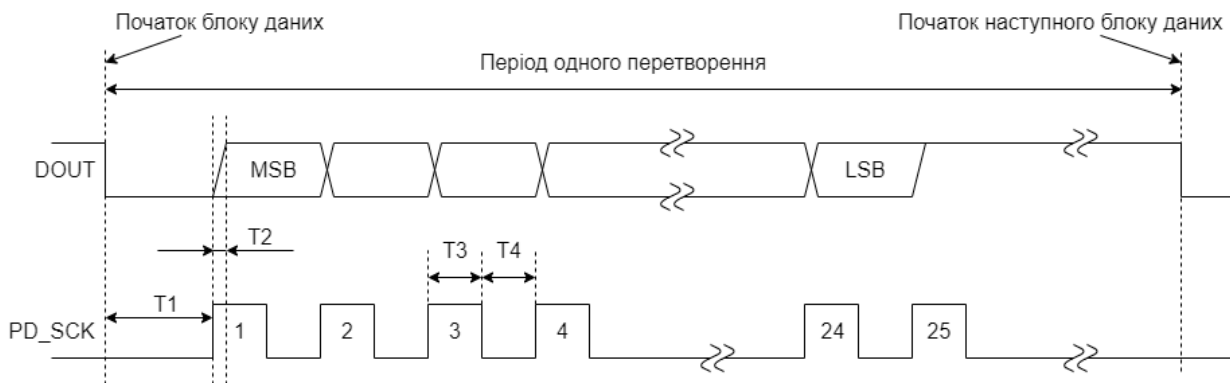


Рис. 3. Сигнали на виходах МК під час передачі даних

Під час перетворення даних АЦП подає на вихід DOUT логічну «1». Зміна сигналу на цьому виводі на «0» означає, що перетворення завершено і дані готові для зчитування. МК послідовно подає на PD_SCK серію з 25–27 прямокутних імпульсів. За появою кожного з цих імпульсів АЦП виводить на DOUT біти значення, що отримано в результаті перетворення аналогового сигналу. Першим виводиться старший біт (MSB), двадцять четвертим – останній біт (LSB). Наявність 25-, 26- та 27-го імпульсів на виводі PD_SCK задає режим роботи мікросхеми HX711. Тривалості імпульсів та пауз мають задовольняти наступним вимогам: $T1 \geq 0,1$ мкс, $T2 \leq 0,1$ мкс, $0,2$ мкс $\leq T3 \leq 50$ мкс, $T4 \geq 0,2$ мкс.

Вплив зовнішніх перешкод та електричних параметрів ліній передачі на імпульсний сигнал значно менший ніж на аналоговий, що дозволяє збільшити їх довжину. У випадку з'єднання АЦП з МК кабелем типу «вита пара» довжина ліній передачі може сягати 100 м без використання додаткових підсилюючих пристроїв. Кількість АЦП, які можна під'єднати до одного МК, визначається кількістю вільних виводів мікросхеми МК (два виводи на 1 АЦП) та необхідною періодичністю опитування датчиків. Оскільки зчитування та оброблення даних від АЦП здійснюється послідовно, необхідно оцінити час, що витрачається на ці операції. За даними виробника, типовими значеннями T3 та T4 є 1 мс. Тобто при передачі 27 імпульсів загальний час передачі результатів одного перетворення (T_p) становитиме не менше $27 \cdot 2 \cdot 1 = 54$ мс. Це значення дозволяє оцінити верхню межу швидкості передачі даних, яка становить $1000/54 = 18,5$ значень/с.

Передача даних від МК до сервера може здійснюватись через дротову або бездротову мережу за UDP або TCP/IP протоколом. Станом на сьогодні, всі зазначені варіанти передачі даних є стандартизованими, і відповідне апаратне та програмне забезпечення постачається виробниками з різних країн світу. Переваги та недоліки дротових та бездротових ліній передачі наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Основні характеристики ліній передачі даних

Найменування характеристики	Дротова лінія передачі	Бездротова лінія передачі
Максимальна швидкість передачі даних, Мбіт/с	До 1000 (вита пара, в більшості випадків – 100 Мбіт/с) До 10000 (оптоволокно)	До 320 (Wi-Fi, стандарт 802.11n)
Дальність передачі даних, м (без використання додаткового підсилювального обладнання)	100 (вита пара) 80–100 км (оптоволокно)	До 100 м (за умови прямої видимості)
Кількість монтажних робіт	Велика	Низька
Вплив перегородок у приміщеннях	Низький (необхідно створення технологічних отворів для прокладання кабелю)	Високий (необхідно збільшення кількості активного обладнання)

Слід зазначити, що значення швидкостей та дальності передачі, які наведені у таблиці 2, в багатьох випадках обмежені характеристиками комутуючого обладнання. Так при використанні виті пари застосовуються переважно комутатори з максимальною швидкістю передачі даних 100 Мбіт/с. Передача даних через оптоволокно потребує використання додаткових конверторів, що підвищує вартість системи.

Кожен блок даних, який надсилається від МК до сервера, має включати отримане значення від АЦП та порядковий номер датчика. В нашому випадку розмір значення від АЦП становить три байти, а для передачі порядкового номеру доцільно використати тип `int` (ціле число) розміром два байти (в цьому випадку до системи може бути підключено $2^{16} = 32768$ датчиків). Таким чином, розмір 1 блоку даних становить 5 байт. Враховуючи швидкість передачі даних (18,5 блоків/с), ширина каналу передачі даних для одного датчика становитиме $18,5 \cdot 5 \cdot 8 = 740$ біт/с.

Передачу даних можна здійснювати за протоколами TCP або UDP. Перший (TCP) передбачає процедуру встановлення зв'язку та передачу підтверджуючих повідомлень після отримання кожного пакету даних, що збільшує кількість даних, які передаються. При використанні протоколу UDP перевірка отримання пакетів з даними приймаючою стороною не здійснюється, що збільшує швидкість передачі даних, але знижує надійність (частину даних сервер може не отримати). В реальних умовах кількість датчиків вимірюється десятками, в окремих випадках, сотнями одиниць. Відповідно, ширина каналу, що необхідна для передачі їх даних, буде на декілька порядків меншою за максимальну швидкість локальної мережі незалежно від типу та протоколу передачі даних.

Тому вибір типу мережі доцільно здійснювати виходячи з архітектурних особливостей приміщень, в яких розташовано промислове обладнання. При роботі у великих приміщеннях без залізобетонних або металевих перегородок доцільно використовувати бездротову мережу, оскільки вона дозволяє знизити кількість монтажних робіт. За наявності перешкод для радіосигналу – дротову мережу, що знизить витрати на активне обладнання (Wi-Fi-роутери). В якості протоколу передачі даних у роботі пропонується використовувати TCP, оскільки він дозволяє уникнути втрати даних, а швидкість передачі даних, як було зазначено вище, в даному випадку не є обмежувальним фактором.

Структура даних, що передаються між складовими елементами системи, показана на рис. 4.



Рис. 4. Структура даних, що передаються між елементами системи

Від тензометричного датчика до АЦП дані надходять в аналоговій формі, далі вони перетворюються у цифрову форму та передаються до МК. Мікроконтролер формує структуру даних, що складається з сигналу датчика та його номеру та надсилає ці дані на сервер. Сервер додає до отриманої структури дату та час отримання даних та зберігає цю інформацію в базі даних. Недоліком запропонованого алгоритму є системна похибка в інформації про дату та час вимірювання, яка визначається часом обробки та передачі даних до сервера. Усунути її можна за рахунок формування інформації про дату та час вимірювання у мікроконтролері. Але така реалізація передбачає підключення до МК мікросхеми точного часу, що збільшує вартість. Також при збиранні даних з декількох мікроконтролерів виникає проблема синхронізації мікросхем точного часу між собою, що у свою чергу призводить до появи додаткових похибок.

Висновки

У роботі розроблено структуру централізованої системи збору даних з аналогових тензометричних датчиків маси. Визначено основні варіанти схем підключення датчиків, проаналізовано їх переваги та недоліки. Встановлено, що структура «один АЦП – декілька датчиків» дозволяє знизити витрати на обладнання та одночасно забезпечити мінімальний вплив параметрів лінії передачі на корисний сигнал датчика.

Проаналізовано алгоритм передачі інформації від АЦП до МК. Встановлено, що при використанні мікросхем HX711 максимальна швидкість передачі даних становить 18,5 значень/с.

Визначено основні швидкісні та конструктивні параметри, переваги та недоліки дротової та бездротової мережі передачі даних від МК до сервера. Розроблено рекомендації щодо проектування такої мережі в залежності від особливостей приміщень, в яких використовуватиметься система збору даних.

Література

1. Автоматизовані комплекси безперервного приготування композицій сипких матеріалів : монографія / В. В. Стаценко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла. – Київ : КНУТД, 2017. – 220 с.
2. Інформаційні основи побудови телекомунікаційних мереж / В. В. Казимир, В.В. Литвинов, С.М. Шкарлет, С.В. Зайцев // Вісник Чернігівського ДТУ. – Чернігів : ЧД ТУ, 2013. – 340 с.
3. Джулій В.М. Підвищення функціональності і стабільності заводостійких безпроводових інформаційно-комунікаційних систем / В.М. Джулій, Ю.П. Кльоц, В.С. Орленко, В.Ю. Тітова, Ю.В. Хмельницький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2021. – № 1 (293). – С. 12–16.
4. AVIA Semiconductor. 24-Bit Analog-to-Digital Converter HX711. URL: http://image.dfrobot.com/image/data/SEN0160/hx711_english.pdf

References

1. Avtomatyzovani kompleksi bezperernvnoho pryhotuvannya kompozytsii sypanykh materialiv : monohrafiia / V. V. Statsenko, O. P. Burmistenkov, T. Ya. Bila. – Kyiv : KNUTD, 2017. – 220 s.
2. Informatsiini osnovy pobudovy telekomunikatsiinykh merezh / V. V. Kazymyr, V.V. Lytvynov, S.M. Shkarlet, S.V. Zaitsev // Visnyk Chernihivskoho DTU. – Chernihiv : ChD TU, 2013. – 340 s.
3. Dzhulii V.M. Pidvyshchennia funktsionalnosti i stabilnosti zavodostiikykh bezprovodovykh informatsiino-komunikatsiinykh system / V.M. Dzhulii, Yu.P. Klots, V.S. Orlenko, V.Iu. Titova, Yu.V. Khmelnytskyi // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2021. – № 1 (293). – S. 12–16.
4. AVIA Semiconductor. 24-Bit Analog-to-Digital Converter HX711. URL: http://image.dfrobot.com/image/data/SEN0160/hx711_english.pdf

В. В. СТАЦЕНКО
О. П. БУРМІСТЕНКОВ
Т. Я. БІЛА
Д. В. СТАЦЕНКО
О. І. ПАНАСЮК

ORCID ID: 0000-0002-3932-792X
ORCID ID: 0000-0003-0001-4229
ORCID ID: 0000-0002-5014-9052
ORCID ID: 0000-0002-3064-3109

statsenko.v@knutd.edu.ua
bur42@ukr.net
bila.ty@knutd.edu.ua
statsenko.dv@knutd.edu.ua
vohigi@gmail.com

Рецензія/Peer review : 20.04.2021 р. Надрукована/Printed :30.06.2021 р.