

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ТА СПОСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

Дана стаття присвячена аналізу сучасного стану сенсорних мереж та складових компонентів, плануванню архітектури та організації інфраструктури. Проведений аналіз показав, що проблема забезпечення достовірної передачі інформації між сенсорними вузлами є досить актуальною. Навіть незважаючи на ряд методів та алгоритмів, які вже були запропоновані до тестування, впровадження та подальшого використання. Під час проведення заходів по підвищенню достовірності передачі інформації необхідно врахувати недостатнє електроживлення сенсорних вузлів, малі об'єми пам'яті, відсутність інтелектуальної складової та прийняття рішень в моменти виникнення збоїв та дестабілізуючих факторів, стрімке зростання вартості сенсорів та фізичний вплив завад, що виникають в каналах зв'язку.

Ключові слова: сенсорна мережа, інформаційні технології, інтелектуальні датчики, сенсорний вузол, кодування, достовірність, збої.

Вступ. Сенсорні мережі - це нова перспективна технологія, на основі якої інтенсивно ведуться прикладні розробки і виконуються масштабні проекти для різних галузей промисловості і систем військового призначення. Управління сенсорною мережею здійснюється за допомогою шлюзу, що може бути встановлений між ключовими компонентами мережі. Модулі системи управління, отримують, обробляють і зберігають інформацію в базі даних, а в разі необхідності реагують на події у відповідності із параметрами алгоритму дій, що записується в бази даних систем управління сенсорними мережами. Наприклад, при загорянні контрольованих об'єктів від сенсорів надходить сигнал тривоги, за яким відповідний модуль управління включає місцеву систему оповіщення і посилає спеціальний сигнал тривоги в пожежну частину.

Постановка задачі. Для нормальної роботи та успішного функціонування сенсорних мереж передбачається передача малих об'ємів інформації з малою швидкістю. Тому, важливим питанням є підвищення достовірності передачі цієї інформації. Необхідно провести порівняльний аналіз існуючих алгоритмів обробки, зберігання та передачі даних, а також – методів та моделей побудови інфраструктури сенсорної мережі.

Аналіз існуючих методів та моделей побудови інфраструктури сенсорної мережі. Є два принципово різних типи мереж зв'язку. Перший будується на підтримуючій фізичній інфраструктурі, яка надає необхідні послуги для спілкування клієнтів, наприклад, маршрутизація. Цей клас включає такі мережі, як традиційна телефонна система (ТмЗК), мережа мобільного зв'язку, мережа Інтернет, поштова система та ін. В основі сенсорної мережі, що базується на цій парадигмі, використовуються базові станції, які пропонують інфраструктуру для вузлів сенсорів для використання.

Базова станція – це пристрій, обладнаний більшою кількістю ресурсів та більшим радіодіапазоном, ніж звичайний вузол датчиків. Кожний вузол зазвичай має прямий зв'язок з базовою станцією і виключно спілкується з цією базовою станцією. Пряме спілкування між вузлами не відбувається. Можливим винятком є ретрансляція повідомлень між вузлами, які знаходяться за діапазоном базової станції. Для мінімізації кількості базових станцій при досягненні повного охоплення потрібно здійснювати ретельне планування.

Другий тип мережі працює повністю без підтримки інфраструктури. Немає виділених пристроїв або установок, які підтримують клієнтів мережі. Натомість всі послуги надаються самим клієнтом за рівним рівнем доступу. Співпраця між клієнтами необхідна для забезпечення справедливого використання ресурсів один одного. Приклади таких мереж - накладені однорангові мережі, бездротові спеціальні мережі та радіолюбительські радіостанції. Сенсорні мережі, засновані на цій парадигмі, простіші для налаштування, ніж для попереднього типу.

Часто можна просто розгорнути вузли випадковим чином у межах області. Проте алгоритми та протоколи, що використовуються в таких мережах, зазвичай складніші,

оскільки вузли повинні співпрацювати в наданні послуг мережі, і немає глобального вигляду стан мережі. На практиці більшість мереж, ймовірно, буде сумішшю цих двох крайніх втілень. Обидві конструкції можуть існувати паралельно в тій же мережі: недоступні області можуть покриватися випадковими розгортаннями, самоорганізованими вузлами, тоді як населені райони можуть бути охоплені використанням базових станцій. Або мережа може бути в основному самоорганізованою, при цьому кілька базових станцій поширюються випадково по всій території мережі, надаючи точки доступу для зовнішніх клієнтів без повного охоплення.

Розгортання інфраструктури є дорогим і не завжди можливим, тому ми хочемо не покладатися на це в цілях безпеки. Відсутність інфраструктури означає, що всі рішення, що стосуються безпеки, повинні бути автономно створені мережею, наприклад, чи запит має право на доступ до певної інформації. Такі рішення щодо контролю доступу повинні здійснюватися шляхом співпраці вузлів сенсорів [1].

Все мережне устаткування в залежності від рівня складності виконання та розробки поділяються на три класи. На першому щаблі – координатор. Здатний здійснювати управління процесами формування мережі, зберігання даних про топологію. А також, слугує проміжним шлюзом для передачі даних, що збирають від усіх сенсорів для їх подальшої обробки. У мережі, як правило, використовується тільки один PAN-координатор.

Другий крок - це маршрутизатор. Даний пристрій, в сенсорній мережі, здатний постійно здійснювати операції по ретрансляванні отриманих повідомлень, підтримувати робочий стан будь-якої топології мережі, а також виконувати функції координатора кластеру. На третій сходинці – звичайний вузол. Даний компонент здатний лише передавати дані найближчого маршрутизатора.

Маршрутизатор кластерів розсилає запити до сенсорів, збирає дані від пристроїв. Ретранслюючи їх далі, один одному, підключається до IP-мережі. У разі збою в мережі, чи виходу з нормального, робочого стану устаткування, робота сенсорної мережі продовжиться. За рахунок самостійної реконфігурації системи.

Головна відмінність сенсорних мереж у порівнянні зі звичайними, класичними телекомунікаційними мережами - це використання великої кількості сенсорних датчиків. В архітектурному плані, вони покликані здійснювати передачу незначного обсягу інформації з урахуванням фіксованої відстані (від 10 до 100 м.).

Застосування таких сенсорних мереж призводить до необхідної розробки інструментів, що допоможуть подолати розриви між фізичними та віртуальними каналами. Адже вони дозволятимуть автоматично збирати інформацію про фізичні явища, здійснювати первинну обробку отриманої інформації, а згодом – передавати отримані результати в головні сенсорні вузли.

Датчики сенсорного вузла організуються самостійно, працюють спільно, і призначені для енергоефективності. Це дозволяє спостерігати за великими географічними районами або недоступними просторами протягом тривалого періоду часу без необхідності втручання людини.

Завдяки однаковим технічним вимогам, побудова мережі, що складається із сенсорних датчиків, може розглядатися як новий тип мережевої архітектури. Такі мережі складаються з невеликих і недорогих пристроїв, здатних взаємодіяти зі своїм середовищем, в основному через пасивні засоби, що дозволяють їм відчувати певні параметри навколишнього середовища, але іноді також активно запускати виконавчі елементи. Ресурси цих пристроїв досить обмежені через вимоги малих розмірів і низької вартості. Основним обмежувачем є їх енергопостачання. У більшості випадків їх акумулятори не можна заряджати, оскільки після розгортання пристрої недоступні. Зовнішні джерела живлення, такі як сонячні панелі, можуть компенсувати цей дефіцит лише частково.

Тому надзвичайно важливо будувати сенсорні мережі таким чином, щоб мінімізувати їх споживання енергії. Як наслідок цього принципу, обчислювальні та комунікаційні можливості сенсорних пристроїв досить обмежені.

Сенсорні мережі розширюють можливості інтелектуальних датчиків шляхом додавання додаткових можливостей, таких як зв'язок (проводовий та безпроводовий), дисплей, шафи і кріплення, віддалене управління і безпека.

Проектуючи сенсорну мережу необхідно враховувати ключові параметри [2]:

1. Пропускна спроможність. В сенсорних мережах пропускна спроможність напряму залежить від стану каналу зв'язку, який встановлюється між конкретними сенсорними вузлами. На якість пропускної спроможності впливає взаємодія мережевих пристроїв та їх функцій. Таких як управління потужністю, маршрутизації та інші. Потужність і значення затримки на кожному ребрі (каналі зв'язку, що встановлюється між вузлами) залежать від розташування вузлів. Тому забезпечення QoS є складним завданням.

2. Якість обслуговування (QoS). Звичайні сенсори пасивно опрацьовують дані, що надходять із навколишнього середовища. В той час, мультимедійні сенсори повинні здійснювати первинну обробку потокового мультимедійного контенту. Даний контент опрацьовується протягом більш тривалих проміжків часу і вимагає постійного режиму передачі.

3. Обмеженість ресурсів. Як вже було зазначено в дослідженні, через апаратну реалізацію сенсори мають обмеження в роботі складових компонентів. В першу чергу це: запас енергії, пам'ять, якісні алгоритми обробки масивів даних, та нормальна швидкість передачі даних.

4. Широкопasmовий доступ. Мультимедійний контент, особливо «стрим»-відеопотоки, вимагають значну смугу пропускання. Дана смуга повинна бути значно більшою, ніж існуюча. У цьому відношенні перспективною для сенсорних мереж є технологія передачі Ultra Wide Band (UWB).

5. Первинна обробка мультимедійних даних. Сучасні відеокодери працюють за наступними алгоритмами: в першу чергу, це зменшення надлишковості в межах одного кадру; по-друге – це зменшення надлишковості між кадрами; і в третю чергу - кодування даних. Подальше впровадження новітніх методів обробки відео контенту передбачає наявність складних інтелектуальних сенсорів, потужних алгоритмів обробки і значного електроживлення [3].

6. Мережева обробка мультимедійного контенту. Після етапу первинної обробки мультимедійного контенту необхідно доставити дані масиви даних. На цей параметр впливає фіксований рівень QoS. Тому необхідно проектувати незалежну від додатків архітектуру мережі, яка буде забезпечувати гнучку первинну та мережеву обробку мультимедійного контенту.

7. Стиснення даних. Досягнення бажаного коефіцієнта стиснення, дозволить зменшити вимоги до пропускної спроможності каналів зв'язку.

8. Завадостійкість. Методи первинної обробки мультимедійних масивів даних, алгоритми стиснення даних повинні забезпечувати стійкий захист від впливу помилок, які можуть виникати при кодуванні вихідних даних.

Таким чином, для підвищення надійності передачі масивів даних в [4] запропоновано розділяти пакети на частини в системі залишкових класів і передавати їх з використанням багатошляхової маршрутизації. Отже, необхідно проаналізувати існуючі методи підвищення пропускної здатності сенсорних мереж та проаналізувати способи забезпечення достовірності інформації за рахунок методів кодування масивів даних.

Аналіз методів підвищення пропускної здатності сенсорних мереж та способів забезпечення достовірності інформації. Порівняно низька швидкість передачі даних в сенсорних мережах (приблизно 250 кбіт/с), призводить до необхідності розробляти та впроваджувати новітні методи обробки та передачі даних, що будуть спрямовані на ефективне використання каналів зв'язку, а також на підвищення пропускної спроможності сенсорних каналів. Збільшуючи максимально можливу пропускну спроможність сенсорних мереж досягається вагоме збільшення об'ємів інформації, що повинні передаватися та ретранслюватися між інтелектуальними сенсорними вузлами. В першу чергу, необхідна

фактична оптимізація використання мережевих протоколів, і первинна обробка графічних масивів даних.

Для підвищення пропускної здатності каналів зв'язку використовують методи мережного кодування та багатошляхову маршрутизацію. Фізично зменшити частку службових даних в структурі мережевих протоколів можна лише за рахунок передачі повідомлень максимальної довжини. Однак, є максимально можливе обмеження. Службові повідомлення, що входять до складу систем моніторингу та управління, характеризуються меншою довжиною інформаційних повідомлень, ніж повідомлення, що містять особисті дані [5].

Відомий об'єм даних, що можуть міститися в сенсорі в процесі вимірювання фізичних показників, таких як температури, освітлення чи вологість, сягає 32 біти. Необхідність збільшити розмір повідомлення може бути забезпечена за рахунок об'єднання повідомлень, отриманих від різних сенсорів в один пакет. Одним із таких способів це конкатенація даних.

Якщо $\alpha = a_1 \dots a_n$ і $\beta = b_1 \dots b_m$ слова в алфавіті A , то конкатенацією слів α і β буде слово γ в тому ж алфавіті A , що визначається $\gamma = \alpha \beta = a_1 \dots a_n b_1 \dots b_m$.

Якщо отриманні значення мають різну розрядність, використання відомих методів конкатенації призводить до збільшення надлишковості.

Для зменшення трафіку від сенсорних вузлів використовують різні підходи. Можна розглянути технологію «мобільних агентів». Програмний код, що може використовуватися при обробці значного обсягу даних, може бути зменшений за рахунок усунення надлишковості детермінованими методами. Проте, такий підхід обмежує сферу застосування даної технології через обмеження можливостей архітектури сенсорної мережі, відстані до ядра (кластера) та інші.

Ще одним підходом до зменшення кількості даних, які передаються на базову станцію, є методи агрегування даних. Агрегування даних зазвичай виконується шляхом передавання тільки максимальних, мінімальних та середніх значень отриманих даних. Це значно зменшує кількість даних, що можуть бути передані. Проте, при цьому методі можуть передаватися лише статистичні дані, тобто службова інформація. Як висновок, можна сказати, що метод агрегування даних виправданий при низькій динаміці зміни даних сенсорів та високій щільності розміщення вузлів при проектуванні сенсорної мережі.

Оптимізація трафіка може бути забезпечена шляхом кореляції даних, тобто усунення надлишковості, як в повідомленні, що передається, так і в каналі зв'язку. Однак використання цього методу можливе тільки для потоків масивів даних від близько розміщених вузлів, і при умові вимірювання однакових фізичних показників. В свою чергу це значно обмежує ресурси сенсорної мережі, і кожного окремо виділеного сенсорного вузла.

Метод ущільнення даних може бути запропонований як ще одна альтернатива для зменшення трафіку. Впровадження даного методу в сенсорних вузлах дозволяє значно скоротити обсяг даних, які необхідно передавати. За рахунок цього, підвищується тривалість роботи всієї сенсорної мережі. В цьому випадку виокремлюється ряд недоліків, серед яких мала ефективність при опрацюванні масивів даних невеликого обсягу. Для прикладу, від 1 до 3 байт. Збільшення часу на обробку та затримка при передачі значно обмежують використання в системах моніторингу та запису в реальному часі. Взагалі, для обробки масивів даних малого об'єму починає діяти зворотна дія. А саме, необхідно вводити додаткову надмірність даних для адекватного декодування [6].

Ще один фактор, який ускладнює використання методів стиснення даних в сенсорній мережі – це фізичне та логічне обмеження апаратної складової компонентів сенсорної мережі. Існують алгоритми, які здатні реалізовувати високий коефіцієнт стиснення даних. Наприклад, алгоритми на основі методів прогнозування, арифметичного кодування. Проте вони вимагають значних затрат енергії у порівнянні із системою без ущільнення. Це явище напряму впливає із відмінної складності реалізації подібних алгоритмів, які потребують більшої потужності та пам'яті.

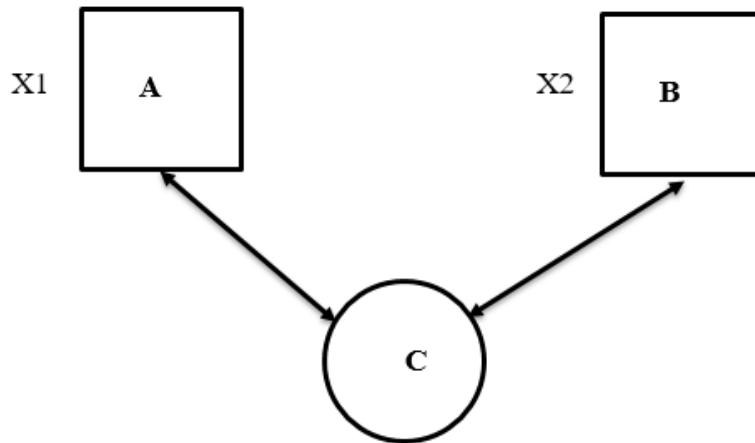


Рис. 1. Безпроводна мережа з трьох вузлів

Для безпроводної мережі без кодування протокол передачі має вигляд:

$$\begin{aligned}
 t_1 & x_1: A \rightarrow C; \\
 t_2 & x_2: B \rightarrow C; \\
 t_3 & x_2: C \rightarrow A; \\
 t_4 & x_1: C \rightarrow B.
 \end{aligned}$$

Отже, для обміну повідомленнями в мережі без кодування між вузлами А і В необхідно чотири кадри (рис.2).

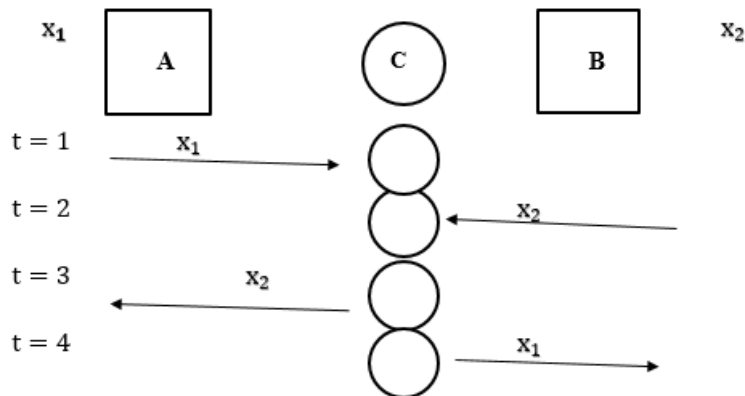


Рис.2. Схема передачі без мережного кодування

При використанні мережного кодування ретранслятор зберігає пакети і утворює їх лінійні комбінації. В даному випадку протокол передачі буде мати вигляд.

$$\begin{aligned}
 t_1 - x_1: A \rightarrow C; \\
 t_2 - x_2: B \rightarrow C; \\
 t_3 - x_1 \oplus x_2: C \rightarrow A; C \rightarrow B.
 \end{aligned}$$

В кадрі 3 вузол S формує суму прийнятих пакетів за модулем 2 і передає пакет $x_1 \oplus x_2$ (рис.3). Вузли А і В приймають цей пакет і обчислюють необхідні пакети:

$$\begin{aligned}
 x_2 &= (x_1 \oplus x_2) \oplus x_1; \\
 x_1 &= (x_1 \oplus x_2) \oplus x_2.
 \end{aligned}$$

Отже, при використанні мережного кодування для обміну повідомленнями між вузлами А і В необхідно 3 кадри. Використання мережного кодування дозволяє збільшити пропускну здатність та підвищити надійність мережі.

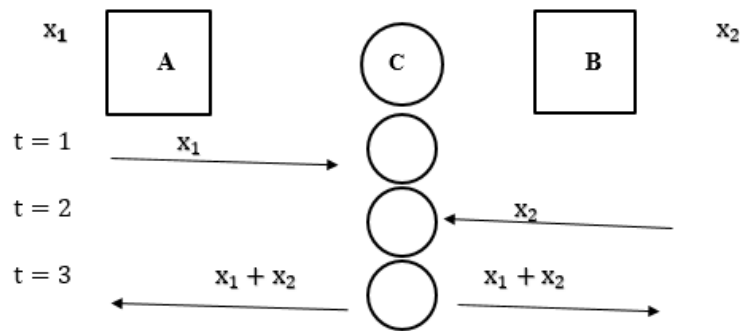


Рис.3. Передача пакетів з використанням мережного кодування

При мережному кодуванні кожний вихідний пакет, що передається по мережі, є лінійною комбінацією отриманих пакетів, де операція додавання виконується над полем $GF(2^S)$:

$$X = \sum_{i=1}^n g_i \cdot H^i, \quad (1)$$

де H^i – вихідні пакети одного або декількох джерел інформації; g_i – коефіцієнти поля $GF(2^S)$, символ g_i складається із бітів.

Для того, щоб відновити закодовані пакети $(g_1, H^1), \dots, (g_m, H^m)$, необхідно розв'язати систему m рівнянь:

$$\{X^j = \sum_{i=1}^n g_i^j \cdot H^i\}, j = \{1 \dots, m\}, \quad (2)$$

де H^i є невідомими. Для розв'язання системи m рівнянь з n невідомими необхідно, щоб $m \geq n$. В цьому випадку виокремлюється головна задача, а саме – вибір кожним сенсорним вузлом оптимальної лінійної комбінації. Довільно і децентралізовано кожен компонент мережі обирає елементи поля $GF(2^S)$ з рівною ймовірністю. При багатоадресній передачі масивів даних були описані та розроблені алгоритми лінійного кодування. Перевагою подібних алгоритмів є те, що вони можуть бути використані для архітектури мереж з наявною динамічною топологією. Це знову ж зменшить пропускну спроможність через додавання до кожного пакета заголовку, в який додається ще і коефіцієнт кодування [7].

Висновок. У роботі розглядається питання досягнення рівня достовірності інформації при передачі повідомлень між сенсорними датчиками. Аналіз процесів підвищення пропускну здатності за рахунок зменшення кількості службових даних та за рахунок збільшення розміру поля даних, а також використання методів мережного кодування даних та впровадження протоколів багатошляхової маршрутизації дозволить покращити рівень достовірності інформації у порівнянні із існуючим.

Список використаних джерел

1. Гераймчук М.Д., Івахів О.В., Паламар М.І., Шевчук Б.М. Основи побудови перспективних безпроводових сенсорних мереж. Монографія. – К.: ЕКМО, 2010. – 124 с.
2. Marcelloni F., Vecchio M. A simple algorithm for data compression in wireless sensor networks. Communications Letters, IEEE, 2008, 12.6. – Pp. 411-413.
3. Kasirajan, Priya, Carl Larsen, and Sarangapani Jagannathan. A new data aggregation scheme via adaptive compression for wireless sensor networks. ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN), 2012. – Vol. 9, No. 1. – Pp. 5.1-5.26.
4. Яцків В.В. Метод мережного кодування в системі залишкових класів / В.В. Яцків // Науковий вісник «Комп'ютерні системи та мережі» Національного університету «Львівська політехніка» Львів. – 2013. – № 773. – С. 157 – 164.
5. R. Ramanath, W.E. Snyder, Y. Yoo, and M.S. Drew. Color image processing pipeline. Signal Processing Magazine, IEEE, 22(1): 34–43, 2005.
6. Bao X., Li J. Matching Code-on-Graph with Network-on-Graph: Adaptive Network Coding for Wireless Relay Networks // IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008. – V. 7, N. 2. – Pp. 574–583.
7. Min Chen, et al. Mobile Agent-Based Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2007, Vol. 2007.1. – Pp. 1 – 13.

Надійшла: 8.07.2018

Рецензент: к.т.н. Курченко О.А.