

УДК 004.9, 004.02

Вервейко О.І., канд. техн. наук,

Нікітенко Є.В., канд. фіз.-мат. наук,

Стрелок Д.В., магістрант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Досліджено принципи побудови та складові бездротових систем моніторингу. Запропоновано систему проектування таких систем. Описані основні принципи роботи системи, архітектура та алгоритми, що використовує система. Запропонований алгоритм автоматизованого проектування бездротової мережі системи моніторингу.

Постановка проблеми

В наш час з'являється новий перспективний напрямок в системах моніторингу (СМ), пов'язаний із застосуванням бездротових сенсорних мереж (БСМ). БСМ має здатність до ретрансляції сигналів від одного вузла до іншого, що дозволяє у разі виходу з ладу одного з вузлів організувати передачу інформації через сусідні елементи. Сама мережа визначає оптимальний маршрут руху інформаційних потоків. Ці особливості дозволяють використовувати сенсорні мережі для моніторингу навколишнього середовища.

Системи моніторингу, які побудовані на основі сенсорних мереж, мають наступні переваги:

- а) можливість розміщення вимірювальних приладів у важкодоступних місцях;
- б) надійність системи в цілому – у разі виходу з ладу одного вузла мережі інформація переноситься через сусідні елементи;
- в) можливість додавання або видалення будь-якої кількості пристроїв з мережі;
- г) високий рівень проникнення крізь перешкоди (стіни, стелі) і стійкість до електромагнітних перешкод (завдяки високій частоті роботи системи — 2,4 ГГц);
- д) тривалий час роботи без заміни елементів живлення.

У зв'язку з достатньо широким розповсюдженням бездротових систем моніторингу на основі сенсорних мереж ZigBee і відсутністю систем їх автоматизованого проектування, актуальною задачею є розробка такої системи. В рамках розробки даної системи необхідно також вирішити задачу автоматизованого планування бездротової мережі, яка зводиться до раціонального розташування ретрансляторів мережі для проходження сигналу від кінцевих пристроїв до координатора мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основною областю використання технології сенсорних мереж є контроль та моніторинг змінних параметрів різноманітних об'єктів та фізичних середовищ. Працююча сенсорна мережа може бути доопрацьована будь-якими видами датчиків і обслуговувати різні прикладні системи: охоронні комплекси, пожежні сигналізації, системи знаходження місць витoku води чи газу.

На сьогоднішній день Інститутом точної механіки і обчислювальної техніки ім. С.А.Лебедева Російської академії наук розроблені ефективні системи для моніторингу навколишнього або виробничого середовища і контролю за станом різних видів обладнання на основі бездротових сенсорних мереж стандарту ZigBee [1].

Проектування системи моніторингу вимагає автоматизованого планування топологічної структури БСМ. Відомі сьогодні підходи до проектування топологічної структури бездротових сенсорних мереж із використанням математичного моделювання базуються на використанні апарату комбінаторного аналізу та обтяжені

значними тратами ресурсів, які збільшуються за експонентою при зростанні числа вузлів БСМ [2, 3]. Це ускладнює використання таких методів для проектування мереж великої розмірності.

Постановка завдання

Метою роботи є створення системи автоматизованого проектування систем моніторингу на основі бездротових сенсорних мереж, яка б дозволяла виконувати автоматизоване планування сенсорної мережі, а також перевірку правильності побудови системи моніторингу.

Автоматизоване планування бездротової мережі вимагає застосування алгоритму раціонального розподілення ретрансляторів мережі при відомих координатах розміщення кінцевих пристроїв і координатора мережі.

Архітектура запропонованої системи

Головними складовими архітектури даної системи є дві підсистеми, які здатні функціонувати незалежно одна від одної: підсистема планування роботи СМ та підсистема моделювання роботи СМ. Взаємодію між ними забезпечує підсистема координації. Головним об'єктом цієї підсистеми є диспетчер, який призначений для контролю над усіма функціями даної системи.

Серед службових файлів конфігурації системи можна виділити службові конфігураційні файли, що необхідні для взаємодії складових розробленої системи між собою, а також файли конфігурації, специфічні для кожної підсистеми.

В службовому файлі конфігурації системи буде зберігатися інформація про усі підсистеми системи проектування бездротових систем моніторингу, а також про місце розташування службових файлів кожної підсистеми.

Підсистема планування системи моніторингу може зберігати конфігурації спланованих IP-мережі і ZigBee-мережі, а також відтворювати ці мережі за їх конфігураційними файлами.

Підсистема моделювання роботи системи моніторингу інформацію про всі події в системі моніторингу повинна заносити до відповідних вихідних файлів.

Архітектура системи проектування бездротових систем моніторингу представлена на рисунку 1.

Кожна підсистема реалізована у вигляді модулів, що підключаються до основної програми.

Бездротова система моніторингу об'єднує БСМ і дротову локальну мережу, тому в рамках даної системи доцільно розробити модулі планування бездротової сенсорної мережі та IP-мережі. Модуль планування IP-мережі відповідальний за присвоєння адрес вузлам IP-мережі і передачу даних між вузлами IP-мережі.

БСМ є самоорганізуючими мережами, що значно полегшує інсталяцію системи, оскільки вузли мережі здатні самостійно визначати і корегувати маршрути доставки даних.

Однак БСМ вимагають планування розміщення пристроїв різного типу на етапі проектування системи. В БСМ, що використовуються для моніторингу та управління, більшість вузлів – це кінцеві пристрої, які не здатні до ретрансляції повідомлень, тому в радіусі дії кожного кінцевого пристрою повинен бути хоча б один ретранслятор або координатор БСМ. Модуль планування роботи СМ буде виконувати функції автоматизованого планування БСМ (раціональне розміщення ретрансляторів мережі при відомих координатах кінцевих пристроїв та координатора мережі).

В процесі планування системи моніторингу користувач може припуститися ряду помилок, які мають бути помічені і виправлені. Тому після закінчення планування дротової мережі і БСМ необхідно проводити їх верифікацію. Верифікація призначена

для перевірки мережі на присутність грубих помилок. Для IP-мереж такими помилками можуть бути, наприклад, неспівпадіння маски мережі для різних вузлів або помилки в адресах різних вузлів мережі. Для БСМ помилками вважаються неоптимальні варіанти розміщення вузлів мережі.

Модуль верифікації мереж СМ повинен перевіряти мережі на грубі помилки проектування, тому що правильність роботи мереж системи моніторингу можна визначити лише після моделювання роботи системи.

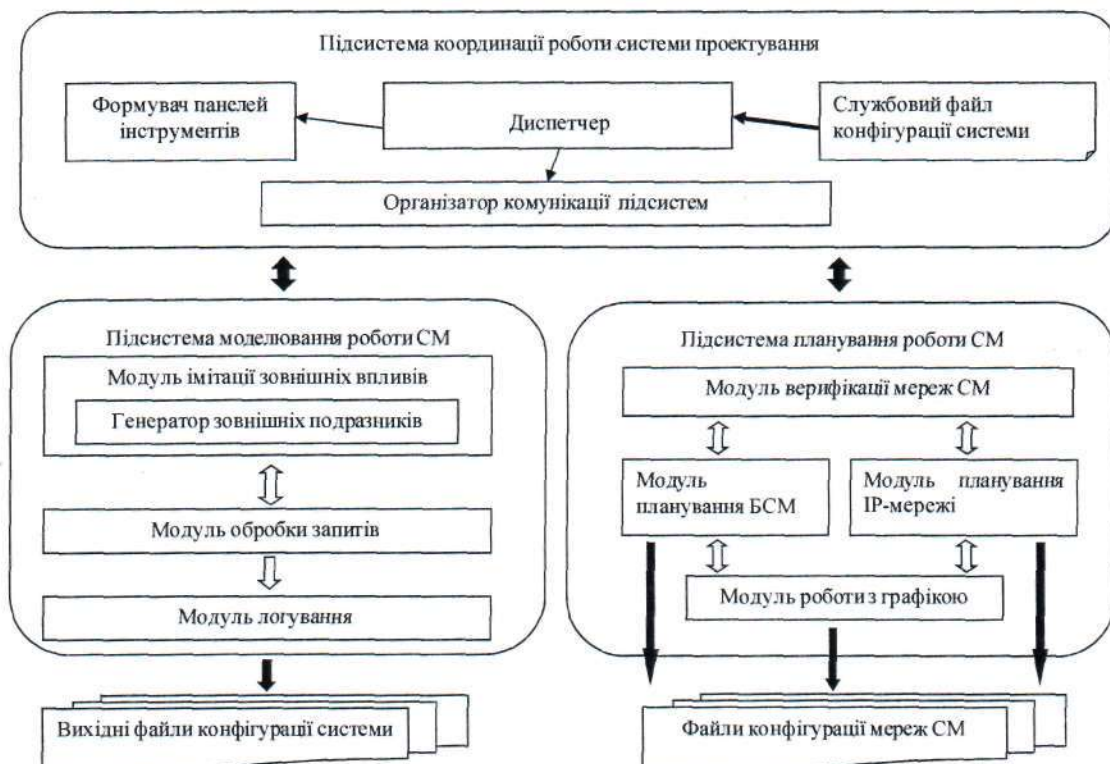


Рис. 1. Архітектура системи автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу

Модуль обробки запитів служить для моделювання передачі даних по БСМ. Моделювання роботи кожного вузла мережі буде відбуватися за допомогою підходу агентного моделювання, при якому робота системи моделюється на рівні вузлів.

Для того, щоб змодельовати роботу системи моніторингу, недостатньо описати лише поведінку вузлів системи. Перш за все, треба змодельовати запити, яким будуть піддаватися кінцеві пристрої ZigBee мережі. В якості запитів для кінцевих пристроїв ZigBee мережі служать спрацювання датчиків системи моніторингу. Імітацією таких запитів буде займатися модуль імітації зовнішніх впливів. Основним об'єктом цього модуля є генератор зовнішніх подразників, який має в своєму складі генератор випадкових чисел.

Алгоритм раціонального планування бездротової сенсорної мережі

Актуальною задачею в процесі побудови системи автоматизованого проектування систем моніторингу є задача автоматизованого планування бездротової сенсорної мережі ZigBee.

Як відомо, вузол в мережі ZigBee може виконувати одну з трьох ролей: кінцевого пристрою, ретранслятора або координатора.

Кінцеві пристрої (КП) – це пристрої з обмеженою функціональністю, які забезпечують мінімальний набір функцій і здатні до обміну інформацією з ретранслятором чи координатором мережі.

Ретранслятор мережі – це пристрій з повною функціональністю, що визначена в документі IEEE 802.15.4. Він може виконувати функції мосту, маршрутизатора або шлюзу для взаємодії з іншими мережами.

Координатор мережі повинен містити всю інформацію стосовно мережних з'єднань, мати великий об'єм пам'яті та високу продуктивність. Зазвичай такий пристрій у складі сенсорної мережі лише один (хоча може бути і більше). Саме з координатора дані про стан мережі потрапляють через відповідні шлюзи до робочих станцій пунктів нагляду системи моніторингу.

Розташування кінцевих пристроїв, як правило, визначається розташуванням датчиків різних параметрів, а розташування координатора – місцем його з'єднання з пристроєм, що забезпечує передачу інформації до пункту нагляду. Тому задача автоматизації планування сенсорної мережі ZigBee зводиться до задачі оптимального розміщення ретрансляторів мережі таким чином, щоб забезпечити передачу інформації від кінцевих пристроїв до координатора.

Умови задачі оптимального розміщення ретрансляторів мережі подібні до умов транспортної задачі. За критерій оптимальності взято мінімальну кількість ретрансляторів, що здатні забезпечити передачу даних від кінцевих пристроїв до координатора БСМ. Для вирішення подібних задач зазвичай використовується підхід динамічного програмування [4, 5], оскільки він має ітеративний характер та дозволяє розбивати задачу на підзадачі меншого розміру, рішення яких можна використати для рішення основної задачі.

На тривимірній системі координат (рисунок 2) зображені множина КП $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ і множина кінцевих точок системи $B = \{b_1, \dots, b_n\}$, що на початку вирішення задачі дорівнює множині координаторів мережі $K = \{k_1, \dots, k_u\}$ (для початку $n = 1$). Відстань між точками $a_i(x_i, y_i, z_i)$ і $b_j(x_j, y_j, z_j)$ дорівнює:

$$c_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (1)$$

Множина таких відстаней $C = \{c_{11}, \dots, c_{m1}, \dots, c_{1n}, \dots, c_{mn}\}$.

Відстань між вузлами не повинна перевищувати максимальну дальність передачі даних. Для простоти будемо вважати, що максимальна дальність передачі між будь-якими вузлами мережі однакова і дорівнює c_{\max} .

Отже, треба визначити множину ретрансляторів $R = \{r_1, \dots, r_p\}$, таких, що для точки $a_i \in A$, існувала б точка $b_j \in B$, а також множина точок $F = \{f_1, \dots, f_q\}$ і відстань між сусідніми з них $c_{i,i+1} < c_{\max}$, $i \in (1 \dots q)$, де c_{\max} – максимальна відстань між вузлами мережі.

Для того, щоб оптимально розмістити ретранслятори, треба визначити сукупності кінцевих пристроїв L із множини A ($L \subset A$), які розташовані досить близько один до одного так, що для передачі інформації до координатора мережі достатньо одного ретранслятора, який буде приймати сигнали від цих точок.

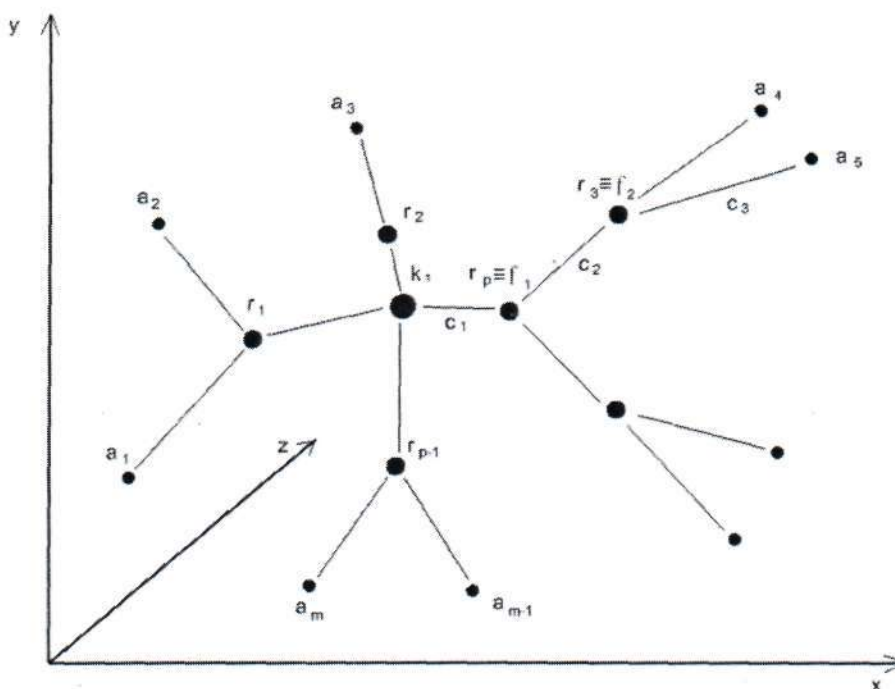


Рис. 2. Модель кінцевої топології сенсорної мережі

Визначити сукупності L можна різними методами. У множині A треба виділити підмножини L і для кожної з них знайти оптимальну позицію для ретранслятора $r \in N \subset R$, де N – множина ретрансляторів, що з’явилися на певній ітерації. Сукупність точок L можна розглядати як вміст прямокутного паралелепіеда у тривимірному просторі (рисунок 3).

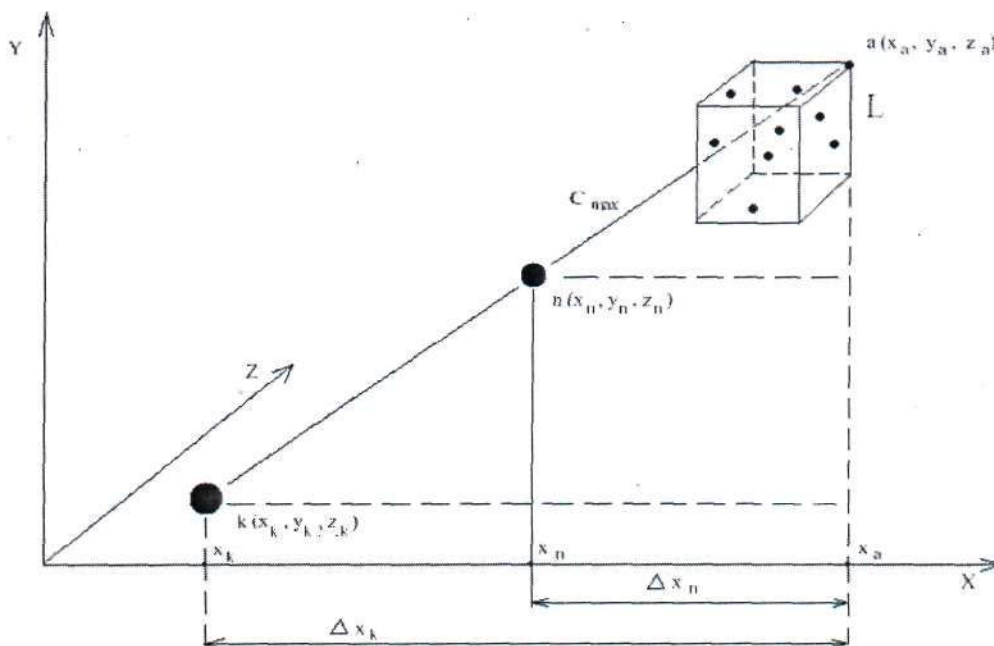


Рис. 3. Визначення позиції ретранслятора

Для визначення позиції ретранслятора обчислимо спочатку координати кута куба, що знаходиться якнайдалі від координатора мережі. Формула для обчислення

$$x(L) = \begin{cases} x_{L \min}, \forall x_L < x_K, \\ x_{L \max}, \forall x_L > x_K, \\ 0, \exists x_L < x_K < \exists x_L \end{cases} \quad (2)$$

де $x(L)$ – координата x дальнього кута паралелепіпеда, $x_{L \min}$ – мінімальна координата x серед усіх елементів множини L , $x_{L \max}$ – максимальна координата x серед усіх елементів множини L , x_K – координата x координатора мережі.

Аналогічні формули можна записати для координат y та z .

Для обчислення координат ретранслятора n треба спочатку розкласти відрізок, що сполучає точки на проекції $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$ по координатним осям x, y, z . Відрізок, який сполучає точки k і a , також можна розкласти на проекції $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$. Як видно з подібності трикутників на рисунку 3, можна записати наступні рівняння:

$$\frac{\Delta y_k}{\Delta x_k} = \frac{\Delta y_n}{\Delta x_n} = t_{yx} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta z_k}{\Delta x_k} = \frac{\Delta z_n}{\Delta x_n} = t_{zx} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta x_k}{\Delta y_k} = \frac{\Delta x_n}{\Delta y_n} = t_{xy} \quad (5)$$

$$\frac{\Delta x_k}{\Delta z_k} = \frac{\Delta x_n}{\Delta z_n} = t_{xz} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta z_k}{\Delta y_k} = \frac{\Delta z_n}{\Delta y_n} = t_{zy} \quad (7)$$

$$\frac{\Delta y_k}{\Delta z_k} = \frac{\Delta y_n}{\Delta z_n} = t_{yz} \quad (8)$$

Таким чином, величина проекцій $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$ обчислюється за наступними формулами:

$$\Delta x_n = \frac{\sqrt{t_{yx}^2 + t_{zx}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (9)$$

$$\Delta y_n = \frac{\sqrt{t_{xy}^2 + t_{zy}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (10)$$

$$\Delta z_n = \frac{\sqrt{t_{xz}^2 + t_{zy}^2 + 1}}{c_{\max}} \quad (11)$$

Знаючи величини $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$, можна визначити координати ретранслятора n за формулами:

$$x_r = \begin{cases} x(L) + \Delta x_n, x(L) < x_K, \\ x(L) - \Delta x_n, x(L) > x_K; \end{cases} \quad (12)$$

$$y_r = \begin{cases} y(L) + \Delta y_n, y(L) < y_K, \\ y(L) - \Delta y_n, y(L) > y_K; \end{cases} \quad (13)$$

$$z_r = \begin{cases} z(L) + \Delta z_n, z(L) < z_K, \\ z(L) - \Delta z_n, z(L) > z_K; \end{cases} \quad (14)$$

Аналогічні формули можна застосувати для обчислення координат y та z ретранслятора.

Після обчислення позицій ретрансляторів їх треба зарахувати до множини R .

У наступній ітерації у якості множини A буде розглядатися множина, до якої входять усі елементи множини N , окрім елементів $n \in N_h$, таких, для яких виконується $\exists c_n < c_{\max}$, де c_n – відстань між ретранслятором і координатором мережі. Такі елементи заносяться до множини B . Робота алгоритму буде припинена, якщо на певній ітерації буде виконуватися вимога $\forall c_n < c_{\max}$.

Висновки

На основі аналізу існуючих технологій проектування сенсорних і комп'ютерних мереж сформульовані вимоги і запропонована архітектура системи автоматизованого проектування бездротових систем моніторингу. Ця система дає наступні переваги:

- можливість проектування систем для моніторингу середовища та параметрів різних об'єктів;
- автоматизація планування топології за рахунок запропонованого раціонального алгоритму планування бездротової мережі;
- можливість перевірки результатів проектування системи моніторингу за рахунок верифікації та моделювання роботи системи.

Для автоматизованого проектування БСМ розроблений алгоритм, що дозволяє раціонально розподілити ретранслятори при відомих позиціях кінцевих пристроїв та координатора мережі.

Використання даної системи інженерами різних напрямків під час проектування систем моніторингу навколишнього середовища, систем охоронної і пожежної сигналізації, систем обліку небезпечних показників на виробництві і т. д. дозволить скоротити трати часу і ресурсів на розробку за рахунок використання автоматизації.

Список літературних джерел

1. Интеллектуальные системы на базе сенсорных сетей// Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН, 2009. – 10 с.
2. Акимов Е.В. Сравнение топологий беспроводных сенсорных сетей (БСС). — «Вестник компьютерных и информационных технологий» №8, 2008 г. — М.: Машиностроение, 2008. – С. 43-49.
3. Акимов Е.В. Проектирование рациональной топологии беспроводных сенсорных сетей: Автореф. дис. канд.техн. наук. - М., 2010. - 22с.
4. Беллман Р. Динамическое программирование/ Белманн Р. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. – 401 с.
5. Щербина О. А. Методологические аспекты динамического программирования / Щербина О. А.// Динамические системы.–2007.– вып. 22. — С. 21-36.