

ПРОЦЕДУРА ПОБУДОВИ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТОПОЛОГІЇ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ МОНІТОРИНГУ ЦІЛЕЙ

Новіков В.І., Алексєєва І.В., Лисенко О.І.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського,

Україна E-mail: lysenko.a.i.1952@gmail.com

Procedure for formation the energy-saving layout topology of the wireless sensor circuit monitoring of the targets

Proposed a new mathematical model of procedure for formation the energy-saving layout topology of the wireless sensor network (WSN) monitoring of the targets. Construction of network topology is carried out by controlling the transmission power of nodes WSN.

Електроживлення вузлів безпроводових сенсорних мереж (БСМ) у більшості випадків здійснюється від батарей. У зв'язку з цим в системі управління БСМ виділена підсистема управління витратами енергоресурсу вузлів[1]. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ. Існуючі методи управління витратами енергоресурсів БСМ не враховують особливостей БСМ і тому не забезпечують максимізацію тривалості їх функціонування при виконанні вимог до якості інформаційного обміну. У зв'язку з цим, задача розробки нових та удосконалення існуючих методів управління витратами енергоресурсів для використання в БСМ є актуальною на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводових телекомунікацій.

Управління витратами енергоресурсу вузлів БСМ може бути реалізоване за рівнями еталонної моделі OSI з використанням різних методів, які в загальному випадку можна поділити на дві групи: методи збереження енергії батарей і методи управління потужністю передачі. В роботі[2] було запропоновано новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який відноситься до першої групи методів і складається з трьох етапів:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{БСМ}}$ та матриці спостереження $|T|_{n \times m}$ (яка визначає інтервал часу, протягом якого сенсори спостерігають за цілями у зонах спостереження).

2. Визначення сесій спостереження – розбиття матриці спостереження $|T|_{n \times m}$ в послідовність матриць (сесій) спостереження $T_{n \times m} = T_1 + T_2 + \dots + T_t$, які не зменшують отримане значення максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі та забезпечують виконання умови один сенсор – одна ціль.

3. Визначення маршрутів передачі зібраної інформації за сесіями спостереження.

Для підвищення ефективності енергозберігаючого методу моніторингу

цілей пропонується використати в ньому нову енергозберігаючу процедуру побудови топології мережі шляхом управління потужністю передачі вузлів БСМ. Під топологією мережі розуміють сукупність вузлів на місцевості і каналів, що сполучають їх, у взаємному розташуванні. Топологія визначає потенційні можливості мережі з доставки даних між взаємодіючими вузлами. Передбачається, що кожен вузол може змінювати потужність передачі $p_i = [p_{i_{\min}} \dots p_{i_{\max}}]$ з певним кроком дискретизації Δp .

Відповідно, під управлінням топологією БСМ розумітимемо управління U_T , що змінює топологію БСМ в процесі її функціонування за рахунок перерозподілу потужностей передач вузлів p_i з метою забезпечення цільової функції Z_k , $k = \overline{1, K}$ [1, 2]:

Z_1 – мінімізація потужностей передачі вузлів ($\min p_i$) і загальної потужності сенсорної мережі $P_{\text{зар}}$ в цілому.

Z_2 – забезпечення зв'язності мережі (зв'язності між вузлами i та u – $cv_{iu} = 1$);

Z_3 – мінімізації часу затримки передачі повідомлень ($\min \bar{t}_3$);

Z_4 – максимізації пропускної спроможності мережі ($\max S$);

Для підвищення ефективності функціонування БСМ моніторингу цілей мережевий рівень еталонної моделі OSI (як складову частину системи управління) пропонується реалізувати на двох підрівнях: на верхньому рівні проводиться оперативне управління топологією мережі (створюються потенційні маршрути передачі інформації); на нижньому – управління побудовою і підтримкою маршрутів при отриманій топології (реалізується конкретний метод маршрутизації) [3].

Верхній і нижній рівні працюють в різних часових інтервалах. Цикл управління маршрутами значно менший за цикл управління топологією. Співвідношення циклів управління повинно бути таким, що на кожному кроці топологічних змін повинен відбуватися весь цикл управління маршрутами. Тільки в цьому випадку можливе досягнення ефективності реалізованої топології.

Розглянемо математичну модель процедури побудови топології БСМ моніторингу цілей.

Модель мережі. БСМ представляється у вигляді графа $G = (V, E)$ з множиною вершин $V = \{i\}$ і множиною ребер $E = \{(i, j) | p_{iu} \approx (d_{iu})^{-\alpha}\}$, що визначають матрицю зв'язності $\tilde{N}V = \|cv_{iu}\|$, де $cv_{iu} = \{0, 1\}$ – булева змінна, d_{iu} – відстань між вузлами i та u для $i \neq u$, $i = \overline{1, N}$, $u = \overline{1, N}$, p_{iu} – потужність передачі вузла i , яка необхідна для забезпечення радіозв'язності з вузлом u , $0 \leq p_{iu} \leq p_{\text{пор}}$ для $0 \leq i \leq n$, α – параметр, що приймає значення між 2 та

4. $P(CV) = \sum_{i=1}^n p_i$ – загальна потужність передачі сенсорної мережі, що витрачається.

Параметри БСМ моніторингу цілей: кількість вузлів N ; кожен вузол графа i у момент t описується сукупністю параметрів: координати розташування (x_i, y_i) ; потужність передачі p_i ; ємність батареї E_i^4 ; маршрутна таблиця найкоротших шляхів $\Pi_i = \|\|l_\eta(\pi_{iu}^{(b)})\|\|$, де $b \in D$, $(i, u) \in E$, $\pi_{iu}^{(b)} = \{0, 1\}$ – маршрутна змінна, що визначає відсутність (наявність) маршруту від відправника i до адресата b через сусідній вузол $u \in N_i$, l_η – довжина найкоротшого маршруту, $\eta = \overline{1, N}$ – позитивні метрики (наявність радіозв'язності – η_1 , енергія батарей вузлів – η_2 , потужність передачі вузлів – η_3 , відстань – η_4 , затримка передачі – η_5 , пропускна спроможність – η_6). Інтенсивність вхідних потоків визначається матрицею тяжіння $\mathbf{Q}^\xi = \|\|Q_{ab}^\xi\|\|$, $\sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N q_{ab}^\xi \leq q_{\max}^\xi$, де $a \in S$ – відправник; $b \in D$ – базова станція; $q_{iu}^\xi \leq s_{\max}$ – пропускна спроможність радіоканалу $\forall (i, u) \in E$; радіозв'язність між вузлами мережі підтримується одним з детермінованих протоколів каналного рівня.

Множина вимог до процедури побудови топології $\{B_q\}$, $q = \overline{1, 4}$: мінімізація потужностей передач вузлів і загальної потужності сенсорної мережі в цілому; забезпечення зв'язності мережі; мінімізація часу затримки передачі повідомлень; максимізація пропускної спроможності мережі.

Необхідно: у режимі реального часу знайти матрицю зв'язності CV^* (визначити потужність передачі p_i для кожного вузла i , $0 \leq i \leq N$ що забезпечує виконання цільової функції Z_k , $k = \overline{1, K}$:

$$C_k^* = \arg \underset{U_T \in \Omega_T}{opt} Z_k(CV), \quad (1)$$

при виконанні обмежень на множину управляючих впливів, і ресурси мережі Ω_δ

$$\Omega_T : \left\{ \begin{array}{l} t_3^\xi(m_{ab}) \leq t_{\text{доп}}^\xi (l_{ab}^\xi(m_{ab}) \leq l_{\text{доп}}^\xi), \\ q_{iu}^\xi \leq s_{\text{доп}}(cv_{iu}), \\ p_i \leq p_{\text{пор}}, \\ E_i^6 \leq E_{i\text{макс}}^6, \text{ для } i \in C - D \end{array} \right. \quad (2)$$

де t_ζ^ξ – затримка передачі трафіка ξ -го типу, q_{iu}^ξ – інтенсивність потоків пакетів, що поступають за всіма маршрутами m_{ab} , які проходять через даний вузол i – $q_{iu}^\xi = \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N \gamma_{ab}$; $(i, u) \in m_{ab}$ – маршрут з відправником у вузлі a і

одержувачем b ; $a, b, i, u \in V$, p_i – потужність передачі i -го вузла відповідно до прийнятих маршрутних рішень Π_i ; $s(cv_{iu})$ – пропускна спроможність радіоканалу; l_{ab}^{ξ} – кількість ретрансляцій для пари вузлів (a, b) повідомлень по маршруту m_{ab} ; $p(m_{ab}) = \sum_{(i,u) \in m_{ab}} (k_1 d_{ij}^{-\alpha} + k_2)$, $a = 2 \dots 4$, k_1 і k_2 – константи; $p_{\text{пор}}$, $t_{\text{доп}}$, $l_{\text{доп}}$ – допустимі значення вищеназваних параметрів.

Основне завдання при побудові топології БСМ полягає в отриманні зв'язної топології та задоволенні показників якості обслуговування потоків даних при мінімізації загальної потужності передачі вузлів у сенсорній мережі.

В цьому випадку цільова функція приймає вигляд

$$CV^* = \|cv_{iu}^*\| = \arg \min_{U_{\tau} \in \Omega_{\tau}} P(CV) = \arg \min_{U_{\tau} \in \Omega_{\tau}} \sum_{m=1}^M \sum_{a=1}^N \sum_{b=1}^N p(m_{ab}(CV)), \quad (3)$$

де $P(CV)$ – загальна потужність передачі вузлів сенсорної мережі; $a, b, i, u \in V$; при виконанні обмежень (2).

Завдання пошуку матриці зв'язності CV^* (1) відноситься до класу NP-повних. Застосування для його вирішення класичних методів приводить до експоненціальної складності. Отримання точного рішення для мережі, яка налічує десятки (сотні) вузлів, пов'язане із значними часовими витратами. Тому для скорочення перебору топології в подальших дослідженнях планується розробити множину правил, об'єднаних в базу знань, що змінюють зв'язність мережі для поліпшення її параметрів [4]. Це дозволяє отримати в реальному масштабі часу близькі до оптимальних рішення і використовувати методіку для побудови топології БСМ моніторингу цілей. Критерієм визначення моменту перебудови топології мережі є невиконання однієї з умов обмеження Ω_{τ} .

Література

1. Лисенко О. І. Функціональна модель системи управління безпроводовою сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О. І. Лисенко, К. С. Козелкова, В. І. Новіков, Т. О. Прищепка, А. В. Романюк // Системи обробки інформації. - 2015. - Вип. 10. - С. 222-225
2. Новіков В. І. Метод збільшення часу життя безпроводної сенсорної мережі з надлишковою кількістю вузлів під час стеження за цілями моніторингу / В. І. Новіков // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. - 2017. - Том 28 (67) № 2 - С. 38-43.
3. Романюк В.А. Активная маршрутизация в мобильных радиосетях / Романюк В.А. // Зв'язок. – № 3. – 2002. – С. 21 – 25.
4. Романюк В.А. Підходи до розробки нової архітектури системи управління неоднорідними безпроводовими сенсорними мережами. / В.А. Романюк, О.І. Лисенко, І.В. Алексєєва, А.В. Романюк, В.І. Новіков // Математичні машини і системи, 2017, № 2. С. 15-23.