

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИЙ МЕТОД МОНІТОРИНГУ ЦІЛЕЙ У ЗОНАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

Лисенко О.І. Новіков В.І.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

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

Energy saving methods for monitoring purposes in the control areas of wireless sensor networks

A new method of managing power consumption for nodes of Wireless Sensor Network (WSN) was proposed. Method benefits are consideration of target's monitoring parameters (location, number), WSN parameters (battery's energy of WSN nodes, location, distance between nodes, data rate). It affords to reduce battery's power consumption of WSN nodes by definition (redistribution) of time (sessions) spent on surveillance of sensor's target.

Особливостями безпроводових сенсорних мереж (БСМ) моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, територій в зонах стихійного лиха (техногенних аварій) [1] є випадкове розміщення сенсорних вузлів, певна надлишковість сенсорних вузлів, значна інтенсивність виходу з ладу вузлів; малий час розгортання; неоднорідність вузлів і їх ресурсів (різні дальності радіо зв'язності та зон моніторингу окремих датчиків, енергоємність батарей тощо); концентрація трафіка навколо шлюзу; колективний доступ до радіоресурсу; автономність функціонування; обмежена безпека. В таких умовах задовольнити вимоги до якості інформаційного обміну та тривалості функціонування мережі не можливо без ефективної системи управління БСМ.

Так як живлення вузлів БСМ здійснюється від батарей обмеженої ємності, то задача управління витратами енергоресурсу сенсорних вузлів є однією з основних. Для цього до складу системи управління БСМ входить підсистема управління витратами енергоресурсу. Метою її функціонування є мінімізація та перерозподіл витрат енергоресурсу вузлами для максимізації тривалості функціонування БСМ.

Аналіз наукових результатів, отриманих в вибраній предметній області [2], показав, що 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. В роботі пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ.

Задано. Множина зон спостереження Z_j , множина сенсорів C_i та базова станція (БС) D в заданій координатній площі, $i, j=1..N$; побудована топологія сенсорної мережі.

Обмеження. Будь-який сенсор C_i може використовуватися як для спостереження за ціллю у зоні спостереження Z_j , так і для передачі (або ретрансляції) зібраних даних до БС. Кожен сенсор може одночасно спостерігати тільки за однією ціллю у зоні спостереження. Кожна ціль повинна спостерігатися деяким одним сенсором у будь-який час (безперервно). Розміщення сенсорів, цілей у зоні спостереження і БС квазістатичне.

Множина вимог до методу управління витратами енергоресурсу вузлів $\{B_q\}$, $q=1,3$ наступна: мінімальні витрати енергії батарей сенсорних вузлів; врахування розташування та кількості цілей у зонах спостереження; безперервний моніторинг зони спостереження.

Формалізація завдання. Введемо наступні позначення:

D – базова станція, енергоресурс якої необмежений.

C_i , $i=1, n$ – множина сенсорів і $n = |C|$.

Z_j , $j=1, m$ – множина зон спостереження і $m = |Z|$.

$C(j)$, $j=1, 2, \dots, m$ – множина сенсорів, здатних спостерігати за ціллю j у зоні спостереження Z_j ;

$Z(i)$, $i=1, 2, \dots, n$ – множина цілей, що знаходяться в межах зони моніторингу сенсорів i .

$N(i)$, $i=1, 2, \dots, n$ – множина сусідів сенсора i .

E_i^{ϕ} – початковий енергетичний резерв сенсора i .

d_{iu} – відстань між сенсорами i та u , $i, u=1, 2, \dots, n, D$.

$e^{\text{Пд}}, e^{\text{Пр}}$ – енергія, необхідна для передачі і прийому однієї одиниці даних, відповідно.

$e^{\text{М}}$ – енергія, що витрачається для моніторингу цілі у зоні спостереження за одиницю часу.

F – швидкість (частота) передачі даних, згенерована сенсорами, що спостерігають за цілями.

t_{ij} – загальний час спостереження i -го сенсора за j -ою ціллю.

Відзначимо, що $C(i)$ може частково перетинатися з $C(j)$ для $i \neq j$, і $Z(i)$ може частково перетинатися з $Z(j)$ для $i \neq j$.

Необхідно: для заданих множин сенсорів C , цілей Z і базових станцій D , знайти управляючий вплив $U_{\Pi}(t)$ (матрицю спостереження $|T|_{n \times m}$), що

задовольняє введеним обмеженням та збільшує тривалість функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{\text{БСМ}}}$:

$$U_{\Pi}(t) = \arg \max T_{\Phi_{\text{БСМ}}}(C(t), Z(t), D(t)E^{\circ}(t), U_{\Pi}(t)),$$

$$\text{де } U_{\Pi}(t) = \{ |T|_{n \times m} \}.$$

Тривалість функціонування сенсорної мережі – відрізок часу до моменту виснаження енергії всіх сенсорів в $C(j)$, поки існує ціль j , або дані моніторингу не можуть бути передані до БС внаслідок незв'язності мережі.

Пропонується новий енергозберігаючий метод моніторингу цілей у зонах спостереження сенсорів БСМ, який включає три етапи:

1. Знаходження верхньої межі максимальної тривалості функціонування сенсорної мережі $T_{\Phi_{\text{БСМ}}}$ 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.

Оцінка ефективності енергозберігаючого методу моніторингу БСМ включає наступні етапи:

1. Аналіз умов функціонування мережі і завдання початкових даних у вигляді: параметри БСМ (розмірність мережі: N – кількість вузлів мережі, Z – кількість цілей, діаметр мережі і площа розміщення); параметри вузлів (початкові координати розміщення на місцевості – x_i, y_i , CV – середній ступінь зв'язності мережі, E° – початковий енергетичний резерв сенсорів, $e^{\text{Пд}}, e^{\text{Пр}}, e^{\text{М}}$ – енергія, необхідна для передачі, прийому та моніторингу однієї одиниці даних, F – швидкість (частота) передачі даних, t_{ij} – загальний час спостереження i -го сенсора за j -ою ціллю).

Варіанти параметрів сенсорного вузла наведені в таблиці 1:

Таблиця 1. Варіанти параметрів вузла безпроводної сенсорної мережі.

| | |
|--------------------------|-----------------|
| Процесор | АТmega1281 |
| Тактова частота | 4 МГц |
| Оперативна пам'ять | 8 Кбайт |
| Flash – пам'ять | 128 Кбайт |
| Приймач – передавач | |
| Стандарт радіоканалу | IEEE 802.15.4 |
| Діапазон частот | 2400-2483,5 МГц |
| Швидкість передачі даних | до 250 Кбіт/с |

2. Вибір показників ефективності функціонування БСМ. Оцінка ефективності розробленого методу моніторингу цілей в БСМ проводиться за двома групами показників: глобальним (тривалість функціонування сенсорної мережі) та локальними (алгоритмічна складність $O(|E| \times n^3)$, зв'язна складність $O(2d)$, складність зберігання $O(n^2)$).

3. Проведення досліджень. Оцінка ефективності методу моніторингу проводиться з використанням наступних вихідних даних: розмірність мережі: $N = 100$, $M = 5 - 15$, енергія необхідна для передачі однієї одиниці інформації – 0, 12 мВт (100 м) – 36,3 мВт (400 м); енергія необхідна для прийому однієї одиниці інформації – 0,1 мВт. Протокол доступу до каналу – детермінований.

В таблиці 2 наведені параметри витрат енергії сенсорними вузлами в різних режимах роботи [3].

Таблиця 2. Витрати енергії сенсорними вузлами при різних режимах роботи.

| Режими роботи | Струм, А | Потужність, Вт |
|-----------------|----------|----------------|
| Моніторинг | 2,9 мА | 8,7 мВт |
| Режим „сон” | 1,9 мА | 5,9 мВт |
| Вимкнений режим | 1 мкА | 3 мкВт |

Оцінка ефективності методу моніторингу цілей за локальними та глобальними показниками проводилася в порівнянні з існуючим методом *surveillance method (SM)* та без використання методів моніторингу [4].

Отримані результати показали, що застосування запропонованого методу забезпечує збільшення тривалості функціонування сенсорної мережі в середньому на 10-15% в порівнянні з існуючими методами.

Література

1. Міночкін А.І. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж / А.І. Міночкін, В.А.Романюк, О.В. Жук // Збірник наукових праць № 4. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 112 – 119.
2. Коваленко І.Г. Аналіз методів енергозбереження в сенсорних радіомережах / І.Г.Коваленко, В.А.Романюк, І.М. Діянчук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. – 2011. – № 1. – С. 76 – 84.
3. Yan T. Differentiated surveillance for sensor networks / T. Yan, T. He, J. A. Stankovic // 1st Int. Conf. Embedded Networked Sensor Systems. – Los Angeles. –2003. – pp. 51 – 62.
4. Жук О.В. Оцінка ефективності методики моніторингу цілей в безпроводній сенсорній мережі тактичної ланки управління / О.В. Жук, В.А. Романюк, О. Я. Сова // Труды Академії. – 2008. – № 7 (87). – С. 154 – 162.