

УДК 004.72

А.В. Собчук¹, М.О. Коваль¹, Ю.В. Кравченко¹, О.В. Барабаш²¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ² Державний університет телекомунікацій, Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОЇ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

Запропоновано математичну модель функціонально стійкої безпроводної сенсорної мережі на основі показників зв'язаності мережі та обґрунтовано критерії функціональної стійкості. Досліджено критерії, що дозволяють управляти переналаштуванням системи, управляти надмірністю, динамічно змінювати таблиці маршрутизації у вузлах мережі, при виходу з ладу окремих сенсорів чи ліній зв'язку між ними, що допоможе в подальшому розраховувати раціональне розташування сенсорів на об'єкті.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, функціональна стійкість, оптимізація, показники зв'язаності.

Вступ

Сенсорна мережа являє собою розподілену систему автономних датчиків, що самоорганізуються в процесі роботи, а також використовують безпроводні канали зв'язку. За допомогою ретрансляції повідомлень між елементами мережі є можливою передача даних на доволі значну відстань. При цьому витрачаються досить незначні ресурси. Сенсорні мережі мають велику сферу застосування. Використання їх для моніторингу навколишнього середовища, на промислових об'єктах, охоронних системах, у військових чи медичних цілях дозволяє швидко ідентифікувати зміни спостережуваних показників, зібрати та обробити дані, що реєструються датчиками-сенсорами та передаються по мережі.

Сенсорні мережі доцільно використовувати в труднодоступних місцях, на об'єктах підвищеної небезпеки, в місцях переробки вибухових, хімічних, отруйних та інших речовин, де ремонт та технічне обслуговування системи датчиків є неможливим, затратним або небезпечним. Тому, до сенсорних мереж висувуються жорсткі вимоги щодо автономного функціонування в таких умовах.

Для забезпечення безперервного надійного функціонування сенсорної мережі в автономному режимі на тривалих термінах експлуатації пропонується забезпечити в системі властивість функціональної стійкості. В цьому випадку система буде нечутливою до зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих чинників, виконувати основні функції моніторингу зовнішнього середовища та передачі сукупності параметрів до центральної станції обробки і аналізу інформації.

Під функціональною стійкістю складної технічної системи розуміється її властивість зберігати протягом заданого терміну часу виконання своїх основних функцій в межах, що встановлено нормативними вимогами, в умовах впливу потоку відмов, несправностей, збоїв, навмисних пошкоджень тощо

[1] Забезпечення функціональної стійкості відбувається у три етапи:

- виявлення позаштатної ситуації;
- локалізація позаштатної ситуації;
- відновлення функціонування системи з обмеженими можливостями.

Постановка завдання в загальному вигляді.

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів підвищення ефективності функціонування бездротової сенсорної мережі та її компонентів показало, що не існує єдиного загального підходу до математичного опису даного типу мережі. Зазвичай, це пояснюється суб'єктивним характером процедури обрання моделі. Особливо це стосується підходів, що пов'язані із забезпеченням в системі властивості функціональної стійкості.

Реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складній технічній системі різних уже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парировання наслідків позаштатних ситуацій [2]. В той же час більш детальної уваги потребує завдання розробки математичної моделі сенсорної бездротової мережі із властивістю функціональної стійкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Роботами, пов'язаними з математичним описом сенсорних мереж та їх компонентів займалися такі вчені, як Беркман Л.Н. [3], Галкін П.В. [4], Машков О.А. [5], Барабаш О.В. [6], Кравченко Ю.В. [6], Обідін Д.М. [7], Шмід С. [8], Джигу Ю. [9], Льюїс П. [10], Іванова І.А., Зеленін А.Н., Власова В.А., Ефремов С.Г., Галенюка І.Б., Євтух Г.С., Карпінський В.М., Лі Дж., Мун І., Парк П., Вонг Х., Ву Н. та інші. На сьогоднішній день теорія функціональної стійкості розвивається в наукових роботах Машкова О.А. [11], Барабаша О.В. [12], Кравченка Ю.В. [5], Савченка В.А., Обідіна Д.М., Мусієнка А.П. та інших. В них розробляються наукові методи і способи забез-

печення функціональної стійкості різних типів технічних систем. При цьому слід зазначити, що найбільш доцільно розробляти та впроваджувати методи забезпечення функціональної стійкості для інтелектуальних багатомодульних систем, до класу яких і відноситься сенсорні мережі. В такій системі кожний датчик може замінити датчик, який вийшов з ладу з урахуванням радіусу дії та інших параметрів. Тому на сьогодні є актуальними питання розробки методів управління надмірністю в процесі деградації системи протягом її автономного функціонування на тривалих термінах експлуатації.

На даний час в теорії функціональної стійкості розроблено математичні моделі складних технічних систем, які не в повній мірі можуть описати функціонування всіх існуючих систем. Актуальним є завдання узагальнити теорію функціональної стійкості складних технічних систем та розвивати її для конкретних систем. Аналіз відомих наукових положень існуючої теорії функціональної стійкості виявив що, вперше у [3] було сформульовано та доведено загальну відмінність стійкості функціонування від функціональної стійкості: стійкість функціонування характеризує поведінку координат незбуреного й збуреного руху системи, а функціональна стійкість характеризує відхилення основних функцій системи під час впливу на неї зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Розподілена інформаційна система математично описана випадковим графом, вершини якого з'єднані за принципом трикутника. За такого підходу при більшості позаштатних ситуацій інформація від кожного вузла повинна дійти (нехай і не по найкоротшому шляху) до кожного вузла системи.

В [7] надано формалізоване визначення функціональної стійкості псевдосупутникової радіонавігаційної системи. На відміну від розподіленої інформаційної системи у псевдосупутниковій системі моделлю з'єднань є топологія мережі «Зірка», а математичною моделлю – навантажені орграфи. Проблема синтезу структури системи вирішена на основі теорії матроїдів, градієнтних алгоритмів і розробленого автором методу послідовного збільшення рангу k -однорідного матроїда.

На відміну від відомих, математична модель сенсорної мережі має описувати структуру мережі, особливості бездротових ліній зв'язку між сенсорами, динаміку їх зміни й переналаштування, а також має враховувати можливість управління надмірністю для забезпечення властивості функціональної стійкості.

Метою статті є розробка математичної моделі бездротової сенсорної мережі та дослідження загальних принципів взаємодії окремих її елементів, а також пошук шляхів підвищення функціональної стійкості даного типу мережі.

Основна частина

Сенсорні мережі призначені для збирання інформації про параметри середовища, складаються із великого числа сенсорів, що розкидаються в хаотичному порядку на заданій території. Кожний сенсор мережі виконує три функції: 1) функцію датчика – вимірює відповідні параметри навколишнього середовища; 2) функцію передатчика – передає накопичену інформацію до адресату, яким є один із найближчих сенсорів; 3) функцію маршрутизатора – приймає від сусідніх сенсорів інформаційні пакети та передає їх по мережі в сторону спеціального пункту прийому інформації, на якому вся інформація аналізується, зберігається, обробляється та надається зацікавленим особам у зручному вигляді.

Особливістю є те, що зв'язок між сенсорами бездротовий – вся сенсорна система в залежності від алгоритмів управління маршрутизаторами (сенсорами) має властивість самоорганізації (пошук нових маршрутів передачі інформації замість пошкоджених та уражених).

Для забезпечення функціонування запропонованої сенсорної мережі необхідно забезпечити її функціональну стійкість. Традиційно це робиться у три етапи: виявлення, локалізація, використання надмірності для відключення несправних сенсорів та передачі функцій тим, що залишилися справними.

Індивідуальні характеристики сенсорних мереж описуються таким набором параметрів як: кількість вузлів в мережі, швидкість передачі даних по каналах зв'язку, щільність розміщення вузлів, час роботи мережі, пропускна здатність вузлів, діаметр мережі. Залежно від завдань, покладених на сенсорну мережу, буде відрізнятися і її топологія. Розглянемо безпроводну сенсорну мережу моніторингу певного об'єкту, що буде збирати дані та надсилати їх для обробки до локальної станції. Вона буде мати таку топологію (рис. 1).

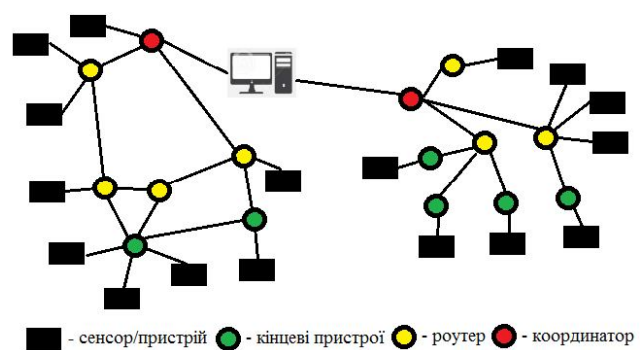


Рис. 1. Топологія безпроводної сенсорної мережі моніторингу

Представимо дану сенсорну мережу як граф $G = [V, R]$, де $V = [V_1, V_2, \dots, V_n]$ – множина вузлів мережі; $R = [R_1, R_2, \dots, R_m]$ – множина ребер.

Зазвичай в сенсорній мережі призначають один або кілька вузлів в якості керуючих, який (або які) збирає (збирають) дані з усієї мережі, а також може (або можуть) керувати і / або конфігурувати її вузли. В якості керуючого критерію може використовуватися можливість зміни максимальної потужності радіопередачі кожного конкретного вузла.

Структура графу сенсорної локальної мережі визначається тим, наскільки досяжним є зв'язок будь-якого вузла мережі з будь-яким іншим. Структуру зв'язків можна описати за допомогою матриці:

$$A = \{a_{ij}\}_{n \times n} \quad (1)$$

де a_{ij} – можливість передачі повідомлення від елемента i до j . В якості значень елементів a_{ij} можуть вибиратися значення, пропорційні ефективній швидкості передачі даних, яка визначається кількістю переданих пакетів за одиницю часу або втрачених пакетів, які зажадали повторної передачі за цей самий проміжок часу. Беручи до уваги, що безпроводна сенсорна мережа складається з кінцевих пристроїв, роутерів і координаторів, множину пристроїв мережі можна розбити на три підмножини, що об'єднують всі елементи сенсорної мережі:

$$N \subset K, N \subset R, N \subset E, \quad (2)$$

де K – підмножина координаторів в мережі; R – підмножина роутерів в мережі; E – підмножина кінцевих пристроїв в мережі. Тоді загальну кількість вузлів в мережі можна описати, як:

$$N_{all} = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{j=1}^k N_j + \sum_{l=1}^r N_l + \sum_{s=1}^e N_s, \quad (3)$$

де k – кількість координаторів в мережі; r – кількість роутерів в мережі; e – кількість кінцевих пристроїв в мережі; N_j – j -й координатор в безпроводній сенсорній мережі; N_l – l -й роутер мережі; N_s – s -й кінцевий вузол мережі.

Нехай максимальна відстань між N_i і N_j , де N_i знаходиться в радіовидимості N_j , називається радіусом зв'язку R_{radio} вузла N_i , і визначає зв'язаність вузла безпроводної сенсорної мережі (рис. 2). Вузли N_i і N_j можуть мати прямий радіозв'язок тоді і тільки тоді, коли [12]:

$$N_i \in M_Radio(N_j) \cap N_j \in M_Radio(N_i) \quad (4)$$

де $M_Radio(N_j)$ – множина сусідів радіозв'язку.

В такому випадку два вузли називаються сусідами, якщо перетини їх радіусів дії не являється пустою множиною:

$$R_s(N_i) \cap R_s(N_j) \neq \emptyset, \quad (5)$$

де $R_s(N_i)$ – радіус дії сенсорного вузла N_i ; $R_s(N_j)$ – радіус дії сенсорного вузла N_j для усіх $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$.

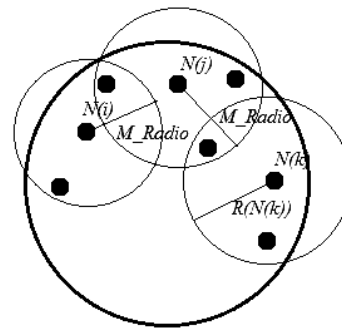


Рис. 2. Зона радіовидимості вузлів сенсорної мережі [11]

Одним із основних критеріїв функціонування безпроводної сенсорної мережі є період її якісної роботи. В ситуаціях коли необхідно забезпечити постійний моніторинг, такий як, моніторинг та контроль промислових процесів, моніторинг стану виробничих об'єктів або навколишнього середовища. В такому випадку одним з головних критеріїв функціонування сенсорної мережі є енергоспоживання кожного з її компонентів, для забезпечення тривалого автономного та безперебійного якісного функціонування сенсорної мережі.

Якщо описувати бездротову сенсорну мережу орієнтованим графом варто зазначити, що важливу роль грає пошук найкоротшого маршруту передачі даних між вузлами та компонентами мережі. Кожен вузол мережі споживає енергію з постійною швидкістю при його взаємодії з іншими вузлами. Тому енергоспоживання можна умовно розділити, на використання в режимі очікування та під час передачі/прийому інформації між вузлами.

Припустимо, що усі вузли мають однаковий заряд енергії і витрачають ідентичний відсоток заряду на передачу та прийом даних.

Метою, в такому випадку, є мінімізація суми споживаної енергії під час більш активної фази енергоспоживання.

Опишемо функцію, що мінімізує суму загальної спожитої енергії, в усіх вузлах, як [6]:

$$\text{MIN} \sum_{i \in N} e_{i0} - \sum_{i \in N, i \neq n} E_{i(et)}, \quad (6)$$

де e_{i0} – початковий показник енергії вузла i для усіх $i \in N (e_{i0} > 0)$; $E_{i(et)}$ – показник енергії вузла i в період часу t для усіх $i \in N, t \in T$; i, j, k – індекси вузлів мережі. За умови, що:

$$\sum_{i \in N, i \neq k} X_{ikt} - \sum_{j \in N, j \neq k} X_{kjt} = 0, \quad (7)$$

для усіх $i, k \in N, t \in T, k \neq s, k \neq n$, де X_{ikt} – показник стану мережі, якому відповідає 1, якщо вузол i та j пов'язані в період часу t ; 0 в іншому випадку для всіх $i, j \in N$; s – індекс вузла джерела передачі інформації.

$$X_{ijt} + X_{jit} \leq 1 \quad \forall i, j \in N, t \in T, i \neq j; \quad (8)$$

$$\sum_{j \in N, j \neq s} X_{sjt} = 1 \quad \forall t \in T; \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq n} X_{int} = 1 \quad \forall j \in N, t \in T; \quad (10)$$

$$d_{ij} \cdot X_{ijt} \leq ld, \quad \forall i, j \in N, t \in T, \quad (11)$$

де d_{ij} – відстань між вузлами i та j для усіх $i, j \in N$.

$$E_{it} - E_{it-1} + cw \cdot \sum_{j \in N, i \neq j} X_{ijt} + ct \cdot \sum_{j \in N, i \neq j} d_{ij} \cdot X_{ijt} = 0, \quad (12)$$

$\forall j \in N, i \neq n, t \in T$, де cw – енергія спожита вузлом під час його активації для прийому чи передачі даних; ct – швидкість споживання енергії під час передачі чи прийому даних (константа);

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (13)$$

$$E_{it} \geq 0, \quad \forall i \in N, t \in T. \quad (14)$$

Для повної оцінки сенсорної мережі з точки зору теорії функціональної стійкості слід розглядати критерії зв'язності мережі. Так як реалізація функціональної стійкості досягається застосуванням у складних технічних системах різних, уже існуючих видів надмірності (функціональної, структурної, часової, інформаційної та ін.), необхідно забезпечити перерозподіл ресурсів мережі, для її безперерйного функціонування. Вибір характеристик зв'язаності визначається твкими обставинами:

- існуючими показниками функціональної стійкості;

- класифікацією характеристик зв'язаності.

В даному випадку слід розглядати мережу, яка після видалення k сенсорів зберігають задану зв'язаність, крім одиночного околу видалених вузлів. Теорія функціональної стійкості розглядає такі показники структури, як:

1. Число вершинної зв'язності $\chi(G)$ – це найменше число вершин, віддалення яких разом з інцидентними їм ребрам призводить до незв'язного чи одностороннього графу.

2. Число реберної зв'язності $\lambda(G)$ – це найменше число ребер, віддалення яких призводить до незв'язного графу.

3. Імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ – це імовірність того, що повідомлення із вузла i у вузол j буде передано за час не більший, ніж t .

Аналіз даних показників дозволяє виділити наступні особливості:

- числа вершинної та реберної зв'язності характеризують тільки поточну структуру, незалежно від надійності вузлів комутації або ліній зв'язку;

- імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ дозволяє врахувати надійність обладнання, вид фізичного каналу передачі інформації, наявність резервних каналів та маршрутів, а також зв'язність структури;

- імовірність зв'язності характеризує тільки зв'язність між однією парою вершин. Для того щоб

оперувати між всіма парами вершин необхідно оперувати з матрицею ймовірностей зв'язності [13]:

$$P = \|P_{ij}\|, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Узагальнений ймовірнісний показник зв'язності P_{ij} також можна представити, як згортку матриці ймовірностей зв'язаності:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & 0 & & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Дослідивши значення вагових коефіцієнтів можна визначити інтенсивність передачі інформації, яка описується формулою:

$$F(P_{ij}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} * P_{ij}, \quad (17)$$

де n – число вузлів мережі; w_{ij} – вагові коефіцієнти лінії зв'язку, які залежать від заданої передачі інформації p_{ij} між v_i і v_j .

Математичне сподівання заданої інтенсивності передачі інформації $M[p]$ для сенсорної мережі визначається на основі такої залежності:

$$w_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{при } p_{ij} \geq M[p]; \\ 1, & \text{при } 0, 1M[p] \leq p_{ij} < M[p]; \\ 1/2, & \text{при } p_{ij} < M[p], \end{cases} \quad (18)$$

де
$$M[p] = (1/n \cdot (n-1)) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n p_{ij}. \quad (19)$$

На основі запропонованих ознак та показників обґрунтовано критерії функціональної стійкості:

1. Структурний критерій. За умови, що число вершинної зв'язності та число реберної зв'язності задовольняють вимогам:

$$\chi(G) \geq 2 \cup \lambda(G) \geq 2 \quad (20)$$

2. Імовірнісний критерій. Імовірність зв'язності між кожною парою вершин має бути не менше заданої:

$$P_{ij}(t) \geq P_{ij}^3, \quad i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

Для прикладу представимо граф $\chi(G)$ на рис. 3. При цьому допускається, що у всій розподіленій системі можливий вихід з ладу будь-яких сенсорів, за яких мережа залишається зв'язаною [12].

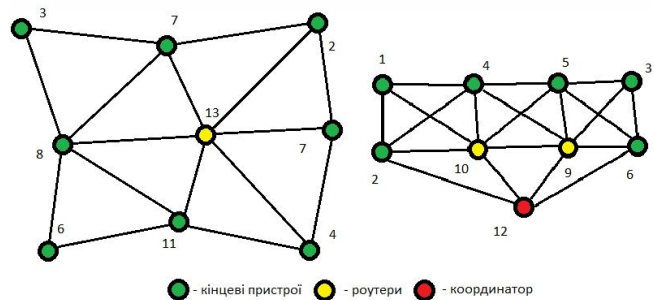


Рис. 3. Приклади функціонально стійких структур

На рис. 3 відображено графову модель функціонально стійкої структури. Після розриву ребра, число вершинної зв'язності для графу знизиться, як і число допустимих відмов.

Запропоновані критерії дозволяють управляти перенаштуванням системи, управляти надмірністю, динамічно змінювати таблиці маршрутизації у вузлах мережі, при виходу з ладу окремих сенсорів чи ліній зв'язку між ними. Урахування даних критеріїв також допоможе розрахувати раціональне розташування сенсорів на об'єкті.

Висновки

В статті запропоновано математичну модель бездротової сенсорної мережі та розглянуто її основні параметри. Представлена модель демонструє загальні принципи взаємодії елементів мережі та описує процес енергоспоживання її компонентами в стані очікування та активному стані – в процесі прийому та передачі інформації. Підвищення ефективності енергоспоживання є важливим фактором забезпечення функціональної стійкості сенсорної мережі для її тривалої автономної роботи під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Для оцінки сенсорної мережі з точки зору теорії функціональної стійкості розглянуто та обґрунтовано критерії зв'язності мережі.

Список літератури

1. Кравченко Ю.В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / Ю.В. Кравченко, О.В. Барабаш // Збірник наукових праць НАОУ. – К.: НАОУ, 2002. – Бюл. №40. – С. 225 – 229.
2. Неділько С.М. Технологічні основи забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько, Г.Л. Баранов // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: "ХАТ", 2011. – № 9 (86). – С. 202 – 206.
3. Беркман Л.Н. Метод исследования многокритериальной оптимизации (векторного синтеза) параметров сетей FN по результирующему критерию / Л.Н. Беркман, Л.А. Комарова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – Вип. 4. – С. 164 – 166.

4. Галкін П.В. Аналіз моделей та оптимізації збору інформації в бездротових сенсорних мережах / П.В. Галкін // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – № 5(9). – С. 24 – 30.

5. Машиков О.А. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машиков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с/

6. Кравченко Ю.В. Применение метода последовательного увеличения ранга k -однородного матрицеда в задаче синтеза структуры псевдоспутниковой радионавигационной системы / Ю.В. Кравченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: 2008. – №2 (2). – С. 19 – 22.

7. Обідін Д.М. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш // Системи озброєння і військова техніка: Науковий журнал. – Х.: ХУПС, 2012. – № 1 (29). – С. 133 – 136.

8. S. Schmid, R. Wattenhofer, Algorithmic models for sensor networks, in: Proceeding of the 20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), April 2006.

9. Yu, Jiguo, et al. Connected dominating sets in wireless ad hoc and sensor networks—A comprehensive survey. *Computer Communications* 36.2 (2013): 121 – 134.

10. Levis P., Madden S., Polastre J. and dr. TinyOS: An operating system for wireless sensor networks // W. Weber, J.M. Rabaey, E. Aarts (Eds.) // In Ambient Intelligence. — New York, NY: Springer-Verlag, 2005. — 374 p.

11. Машиков О.А. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / О.А. Машиков, О.В. Барабаш // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – Львів: ЦММ ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2005. – Вип. 1. – С. 157 – 163.

12. Барабаш О.В. Вибір показників та критеріїв при оцінюванні функціональної стійкості системи розвідки повітряного противника та оповіщення на етапі її побудови / О.В. Барабаш, В.В. Кіреєнко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2013. – №3. – С. 5 – 7.

13. Саланда І.П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / І.П. Саланда, О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 1. – С. 122 – 126.

Надійшла до редколегії 25.09.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНО УСТОЙЧИВОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

А.В. Собчук, М.А. Коваль, Ю.В. Кравченко, О.В. Барабаш

Предложена математическая модель функционально устойчивой беспроводной сенсорной сети на основе показателей связности сети и обоснованы критерии функциональной устойчивости. Исследованы критерии, позволяющие управлять перенастройкой системы, управлять избыточностью, динамически изменять таблицы маршрутизации в узлах сети, при выходе из строя отдельных сенсоров или линий связи между ними, поможет в дальнейшем рассчитать рациональное расположение сенсоров на объекте.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, функциональная устойчивость, оптимизация, показатели связности.

MATHEMATICAL MODEL OF FUNCTIONALLY SUSTAINABLE SENSOR NETWORK

A.V. Sobchuk, M.O. Koval, Yu.V. Kravchenko, O.V. Barabash

This article describes mathematical model of a functionally stable wireless sensor network based on the network connectivity indicators is proposed and the criteria of functional stability are substantiated. The criteria for controlling system reconfiguration, managing redundancy, dynamically changing routing tables at network nodes, and the failure of individual sensors or communication lines between them, will help to calculate the rational arrangement of sensors in the future.

Keywords: wireless sensor network, functional stability, optimization, connectivity indicators.