

ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВЗАЄМНИХ ПЕРЕВІРОК ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖІ

В статті запропоновано діагностичну модель бездротової сенсорної мережі, яка функціонує в системі моніторингу параметрів навколишнього середовища. Сенсорна мережа Це сукупність вузлів та бездротових ліній зв'язку. Кожний вузол представляє собою вимірювальний пристрій та маршрутизатор в одному корпусі. Передбачається, що на систему впливають завади, пошкодження, відмови та несправності, внаслідок цього елементи сенсорної мережі виходять з ладу. Для забезпечення функціонування мережі необхідно запровадити процедуру автоматичного діагностування для виявлення несправних елементів, відключення їх від мережі та реструктуризацію мережі з обмеженням числом сенсорів.

Запропонована діагностична модель побудована на основі взаємних перевірок елементів мережі. Вона описує взаємозв'язок між результатами перевірок та діагностичною інформацією, дешифрування якої дозволить виявити несправні елементи сенсорної мережі. Діагностична модель включає в себе обґрунтування та вибір системи оцінювання результатів взаємних перевірок, методику накопичення результатів перевірок, розрахунок ознаки достатності діагностичної інформації. Крім того показано, що запропонована ознака достатності діагностичної інформації дозволяє обмежити накопичення результатів перевірок в мережі та впливає на достовірність діагностування в цілому.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, діагностична модель, діагностична інформація, взаємні перевірки, характеристичні числа, дешифрування.

Вступ. Бездротові сенсорні мережі щороку все активніше проникають у всі галузі промисловості та сфери діяльності людини. На даний час вони широко використовуються не тільки для збору і обробки даних та керування промисловими об'єктами, але і у звичайному побуті у вигляді Інтернету речей (Internet of Things) [1]. Бездротова сенсорна мережа вже перестала бути тільки об'єктом наукових досліджень і перетворюється на масовий продукт, який випускають багато виробників. Саме це зумовило появу багатьох промислових стандартів, які розробляються різними міжнародними організаціями, наприклад, Міжнародною організацією по стандартизації (ISO), Інститутом інженерів електротехніки та електроніки (ІЕЕЕ), Інженерною радою Інтернету (ІЕТФ) та Міжнародним союзом електрозв'язку (ІТУ). Результатом роботи провідних організацій у галузі стандартизації стала сукупність стандартів ІЕЕЕ 802.15.4, які визначають особливості побудови мереж з невисокою пропускну здатністю.

Постановка завдання в загальному вигляді. Існуючі та проєктовані бездротові сенсорні мережі розрізняються як областями застосування, так використаними технічними рішеннями [2]. Тим не менш, можна виділити основні характеристики, які характерні більшості бездротових систем. Типова бездротова сенсорна мережа складається із великої кількості простих пристроїв або вузлів для збору інформації, декількох більш складніших пристроїв – координаторів, для обробки інформації і керування мережею та каналів передачі даних. Кожний вузол здійснює періодичні вимірювання, первинну обробку інформації та передачу цих даних до координатора. В координаторі дані обробляються та зберігаються, а при необхідності передаються на вищий рівень або до іншої системи. Вузли можуть передавати виміряну інформацію не тільки напряму координатору, але при необхідності через інші проміжні вузли. Типові сценарії використання бездротових сенсорних мереж накладають певні обмеження на структуру та функціонування вузлів. Зокрема, вузли мають бути малогабаритними, достатньо дешевими та мати досить довгий час автономної роботи. Відповідно, вузли мають енергетичні та обчислювальні обмеження, що слід враховувати при

розробці мереж. Координатори виконують відмінні від вузлів функції і, саме тому, часто володіють потужнішими процесорами, більшими обсягами пам'яті та кращими джерелами автономного живлення. Слід зауважити, що специфіка мережі передбачає можливість передачі даних від вузла до координатора через один або більше проміжних вузлів [3]. В той же час актуальним є контроль технічного стану і вчасне відновлення працездатності окремих вузлів сенсорної мережі. Для високої достовірності діагнозу доцільно використовувати тестове діагностування вузлів та каналів передачі інформації. В основу такого діагностування покладено такі процедури: накопичення діагностичної інформації; аналіз та дешифрування; видача діагнозу оператору чи особі, що приймає рішення.

В статті запропоновано визначення ознак достатності діагностичної інформації через характеристичні числа структури бездротової сенсорної мережі.

Аналіз основних публікацій. Проблема забезпечення достовірності діагностування функціонування складних інтелектуальних систем досліджувалась в роботах О.А. Машкова [4], В.А. Машкова [5]. Ключові положення теорії тестового діагностування потім були розвинені в роботах О.В. Барабаша [6], Ю.В. Кравченка [7] та інших. Разом з тим, очевидно є залежність моделей і методів теорії тестового діагностування від предметної області їх застосування.

Метою статті є побудова алгоритму визначення характеристичних чисел структури для бездротової сенсорної мережі.

Основна частина. Подання бездротової сенсорної мережі у вигляді набору зв'язаних між собою вузлів дозволяє подати її діагностичну модель у вигляді орієнтованого графа $G(V, E)$, множина вершин якого $V = \{v_i\}$ відповідає вузлам бездротової сенсорної мережі, а ребра $E = \{v_i, v_j\}$ – елементарним перевіркам між вузлами системи.

Після виконання набору перевірок в системі кожному перевірочному зв'язку (ребру E_{ij}) ставиться у відповідність результат перевірки

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } v_i - \text{корект.}, v_j - \text{корект.}; \\ 1, & \text{if } v_i - \text{корект.}, v_j - \text{некорект.}; \\ x = \{0 \vee 1\}, & \text{if } v_i - \text{некорект.} \end{cases}$$

Граф, поданий таким чином отримав назву діагностичного графа (ДГ), а модель – діагностичної моделі. Математичні моделі на основі ДГ є найбільш поширеними при дослідженні систем діагностування і для різних розподілених систем, які детально описані в роботах [8,9].

Кожна вершина діагностичного графа характеризується локальним ступенем вихідних ребер α_i^+ та локальним ступенем вхідних ребер α_i^- .

Діагностичний граф задається матрицею суміжності $A = \{a_{ij}\}, i, j = 1 \dots n$, де a_{ij} – елементи матриці суміжності ДГ, приймають значення 1, якщо існує ребро $e_{ij} = \{v_i, v_j\} \in E$ і 0 – у інших випадках.

При розгляді і аналізі ДГ використовується математичний апарат теорії графів [10]. Графова діагностична модель є найбільш наочною і, в більшості випадків, дозволяє визначити діагностичні параметри системи. При цьому легко перейти до інших різновидів моделей, а результати досліджень можуть бути перенесені на графову модель.

Крім того, для урахування динаміки зміни структури діагностичних зв'язків розглянемо метод накопичення діагностичної інформації та будемо досліджувати характеристичні числа поточної структури й мінімально-достатні структури для діагностування.

Характеристичні числа описують структуру діагностичних зв'язків. Одним із складних завдань, що вирішуються в процесі побудови систем діагностування, є підвищення достовірності D діагнозу, отриманого після виконання дешифрування діагностичної

інформації. Стосовно запропонованої методики діагностування бездротової сенсорної мережі, вищезгадане завдання набуває смислу розкриття невизначеності накопиченої діагностичної інформації $R = \{r_{ij}\}$. Дослідження, проведені в [11], показали, що підвищити достовірність D діагностування можна за рахунок визначення (або призначення) підмножини коректних вузлів $X_C \in V$.

Якщо у поточній структурі діагностичних зв'язків можна виділити не одну, а декілька підмножин X_C , то діагностування буде виконано з більшою достовірністю. Таким чином, числом підмножин X_C можна характеризувати діагностичні властивості структури діагностичних зв'язків. З цією метою вводяться у розгляд характеристичні числа структури діагностичних зв'язків $C_k, k = 1, \dots, N$.

Означення. Характеристичним числом $C_k, k = 1, \dots, N$ діагностичного графа, складеним по структурі діагностичних зв'язків, є відношення кількості різних підмножин модулів X_C , що складаються з k вузлів, перевіряючих решту вузлів системи $V \setminus X_C$.

Таким чином, якщо в структурі діагностичних зв'язків, можна виділити дві підмножини ($X_{C_1} = \{v_1, v_2\}, X_{C_2} = \{v_1, v_3\}$), перевіряючи решту всіх вузлів, то характеристичне число даної структури $C_2 = 2$. У цій же структурі діагностичних зв'язків можна виділити п'ять підмножин з трьох модулів: $X_{C_1} = \{v_1, v_2, v_3\}, X_{C_2} = \{v_1, v_2, v_4\}, X_{C_3} = \{v_1, v_2, v_5\}, X_{C_4} = \{v_1, v_3, v_4\}, X_{C_5} = \{v_1, v_4, v_5\}$. Отже, характеристичне число даної структури $C_3 = 3$.

Очевидно, що чим більшими будуть характеристичні числа структури, тим вище її діагностичні властивості. Тому на підставі характеристичних чисел можна встановити ознаку достатності для діагностування бездротової сенсорної мережі.

Одним з важливих завдань є визначення характеристичних чисел по поточній структурі діагностичних зв'язків. Для визначення чисел C_k вводиться в розгляд модернізована матриця системи A_m , яка виходить з матриці A заміною всіх ненульових елементів одиницями:

$$a_{mij} = \begin{cases} 1, & \text{if } a_{ij} \neq 0; \\ 0, & \text{if } a_{ij} = 0, \end{cases}$$

де $a_{ij} \in A$.

Для модифікованої матриці A_m характеристичні числа C_k означатимуть кількість різних варіантів покриттів всіх стовпців ненульовими елементами вибраним k числом рядків. Характеристичні числа C_k можуть бути легко визначені шляхом повного перебору всіх елементів матриці A_m . Наприклад:

$$C_2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \left[\prod_{j=1}^n (a_{kj} \vee a_{ij}) \right], a_{kj}, a_{ij} \in A_m. \quad (1)$$

Слід зазначити, що трудомісткість алгоритму на основі (1) достатньо висока. У загальному випадку для визначення C_k в системі з $N=5$ модулями, алгоритм визначає C_k за kn^{k+2} кроків.

Для великих значень k ($k \geq n-3$) трудомісткість алгоритму досягне і буде вище, ніж $O(n^n)$. В цьому випадку алгоритм називається експоненціальним і для великих n він непридатний для реалізації.

У зв'язку з цим, пропонується інший спосіб визначення характеристичних чисел структури C_k . Для їх визначення розроблені і використані мінімально-достатні структури.

Введемо в розгляд поняття мінімально-достатньої структури діагностичних зв'язків для β коректних вузлів і позначимо її $(\text{МДС})_\beta$. Так, для $\beta = 2$, $(\text{МДС})_2$ – це така структура, в якій

всі вершини ДГ безпосередньо досяжні з двох вершин. Очевидно, що $(МДС)_2$ має характеристичне число $C_2 = 1$. В цьому випадку $C_2 = 1$ означає, що в системі передбачаються коректними два вузли бездротової сенсорної мережі, які перевіряють усі вузли системи, що залишилися.

Означення. Мінімально-достатньою структурою $(МДС)_\beta$ є така структура діагностичних зв'язків, в якій підмножина, що складається з β вершин, безпосередньо пов'язана з іншими $N - \beta$ вершинами діагностичного графа. На основі порівняння числа ребер графа з числом його вершин встановлюються ознаки $(МДС)$ [12].

Підграф називається зв'язним, якщо для будь-якої пари вершин a і b ($a, b \in \{N_\beta\}$) можна прокласти маршрут з кінцями в a і b .

На підставі визначення приналежності поточної структури діагностичних зв'язків до класу $МДС$, а також підрахунку кількості мінімально-достатніх підструктур, що містяться в діагностичному графові, можна визначити характеристичні числа C_k отриманої структури діагностичних зв'язків.

Визначення характеристичних чисел C_k для структури діагностичних зв'язків виконується кожним вузлом безпроводної сенсорної мережі відразу після отримання результатів останньої перевірки в мережі.

Припустимо, що останньою перевіркою в мережі була перевірка j -м вузлом стану

i -го. При цьому отриманий результат перевірки $r_{ij} = 0$. Відповідно до способу умовної передачі результатів перевірок i -й вузол, на додаток до наявної інформації, отримує від j -го вузла всю діагностичну інформацію, яка була їм накопичена в процесі виконання перевірок.

Таким чином, i -й вузол бездротової сенсорної мережі після отримання діагностичної інформації про результати перевірок, визначає характеристичні числа структури. Спочатку обчислюється значення $C_2(i, j)$, яке може приймати наступні значення:

$$C_2(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_i \text{ і } v_j \text{ утворюють } (МДС)_2 \\ 0, & \text{якщо } v_i \text{ і } v_j \text{ не утворюють } (МДС)_2 \end{cases}$$

Характеристики структури C_k , розраховані i -м вузлом (у припущенні його коректності і входження в $(МДС)_k$ -структуру), позначимо через C_k^i . Для визначення C_k^i структуру діагностичних зв'язків представляють у вигляді дерева, що закінчується в i -му вузлі. Обґрунтуванням такого уявлення є наступна лема.

Лема. Будь-яку структуру діагностичних зв'язків можна розкласти відносно i -ї вершини і представити у вигляді дерева, що закінчується у вершині i .

Для неорієнтованих графів дана лема доведена в роботі [10]. Для орієнтованих графів доведення є аналогічним. Для кожного ланцюжка дерева визначається число $C_{\omega k}^i$ де індекс ω означає номер ланцюжка дерева, а індекс k відповідає індексу характеристики структури C_k .

Підсумовуючи значення $C_{\omega k}^i$ по всіх ланцюжках, остаточно визначається C_k^i : $C_k^i = \sum_{\omega=1}^n C_{\omega k}^i$.

Початковою інформацією для визначення $C_{\omega k}^i$ є значення $C_2(x_s, x_t)$, де x_s і x_t входять до складу даного ланцюжка ω . Вузол бездротової сенсорної мережі i після отримання інформації від j -го вузла визначає $C_2(i, j_\omega)$. Якщо $C_2(i, j_\omega) = 1$, то тоді будь-який вузол мережі спільно з i -м і j -м модулями утворюють $(МДС)_3$ -структуру.

Будь-яка пара вузлів (окрім i -го і j_ω -го) утворює з i -м і j_ω -м вузлами $(МДС)_4$ -структуру, і так далі.

Кількість (МДС) $_k$ -структур визначається числом можливих комбінацій щодо даної множини вершин. У загальному випадку: $C_k = C_{N-\beta}^{k-\beta}$, де β – кількість вузлів, щодо яких утворена (МДС) $_\beta$ -структура: $C_\beta=1$.

Таким чином, якщо $C_2(i, j_\omega)=1$, то для ω -ланцюжка визначаються всі $C_{\omega k}^i$ для $k=3,4,\dots,N$. Після цього набуті значення підсумовуються із значеннями $C_{v k}^i$, $v=1,2,\dots,N$, $v \neq \omega$ інших ланцюжків.

В результаті виходять:

$$C_3^i = \sum_{\omega=1}^n C_{\omega 3}^i ; C_4^i = \sum_{\omega=1}^n C_{\omega 4}^i ; C_N^i = \sum_{\omega=1}^n C_{\omega N}^i .$$

Далі значення C_k^i використовуються для обчислення ознаки достатності структури, і, при його відповідності, виконується алгоритм діагностування. Інакше значення C_k^i запам'ятовуються i -м вузлом до отримання результатів чергової перевірки. Якщо $C_2(i, j_\omega)=0$. Це означає відсутність структури, що дозволяє перевірити всі вузли, в припущенні коректності i -го і j -го вузлів. В даному випадку для визначення C_3^i вводяться в розгляд величини $C_3^i(i, j_\omega, x_m)$. Вони приймають наступні значення:

$$C_3^i(i, j_\omega, x_m) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i, j_\omega, x_m \text{ утворюють (МДС)}_3 \\ 1, & \text{якщо } i, j_\omega, x_m \text{ не утворюють (МДС)}_3 \end{cases} .$$

Початковою інформацією для визначення $C_3^i(i, j_\omega, x_m)$ є всі $C_2^{j_\omega}(j_\omega, x_m)$. Якщо знайдеться яке-небудь $C_2^{j_\omega}(j_\omega, x_m)=1$, то тоді i -й вузол разом з j_ω, x_m вузлами утворюють (МДС) $_3$ -структуру, тобто $C_3^i(i, j_\omega, x_m)=1$. Тут індекс ω , як і раніше, означає номер ланцюжка, на якому розташовані вузли j_ω, x_m . У тому випадку, коли всі числа $C_3^i(i, j_\omega, x_m)$, $m=1,2,\dots,q$, $q=\alpha_{j_\omega}$ дорівнюють 1, то $C_3^i = \alpha_{j_\omega}$, а для $k>3$ характеристичні числа, рівні: $C_{\omega k}^i = C_{N-3}^{k-3}$, Інакше $C_{\omega 3}^i$ необхідно визначати таким чином: $C_{\omega k}^i = \sum_{m=1}^q C_3^i(i, j_\omega, x_m) + L_3$, де L_3 означає кількість (МДС) $_3$ -структур, для яких $C_2^{j_\omega}(j_\omega, x_m)=0$.

Після визначення $C_{\omega 3}^i$ визначаються $C_{\omega k}^i$ для значень $k>3$. У тому випадку, коли $\forall C_{\omega 3}^i(i, j_\omega, x_m)=0$, для $m=1,2,\dots,q$, необхідно досліджувати всі $C_2^{x_m}(x_m, y_t)$ де x_m , і y_t належать ω -ланцюжку, і визначити їх значення.

Тепер $C_{\omega 4}^i$ визначатиметься таким чином: $C_{\omega k}^i(i, j_\omega, x_m, y_t) = \sum_{t=1}^{\alpha_{x_m}} C_2(x_m, y_t) + L_4$. У цьому виразі L_4 (аналогічно з L_3) означає кількість (МДС) $_4$ -структур, для яких

$$C_3^{j_\omega}(j_\omega, x_m, y_t) = 0 .$$

Аналогічна процедура виконується і для визначення $C_{\omega k}^i$ для $k>4$. Проте, визначення $C_{\omega k}^i$, згідно приведеній процедури, повинно бути обмежене невеликим значенням k .

Для обмеження алгоритму обрано наступну стратегію. Якщо при визначенні чисел C_k яке-небудь характеристичне число C_k^i приймає максимальне значення, то всі числа C_l^i вищого порядку ($l>k$) можна автоматично встановити максимальними:

$$\exists C_k^i = \max \Rightarrow C_l^i = \max / l > k .$$

Твердження. Якщо характеристичне число C_k^i досягло максимального значення, то всі числа C_l^i , $l>k$ також приймають максимальні значення.

Доведення. Характеристичне число C_k^i приймає значення 1, якщо множина вузлів $\{N_\beta\}$, створюючим (МДС) k -структуру, є i -й вузол і ще $k-1$ вузлів, які перевіряють решту $N-k$ вузлів. Число C_k^i приймає максимальне значення в тому випадку, якщо всі комбінації $k-1$ вузлів разом з i -м вузлом перевіряють решту вузлів.

Таким чином: $\max(C_k^i) = C_{N-1}^{k-1}$ де C_{N-1}^{k-1} – кількість комбінацій з $N-1$ по $k-1$ елементах. Якщо множина вузлів, в яку входять i -й вузол і інші $k-1$ вузлів, перевіряє решта $N-k$ вузлів, то додавши до цієї множини ще який-небудь вузол, можна відмітити, що нова множина потужністю $k+1$ також перевірятиме всі вузли, що залишилися. Більш того, будь-яка множина вузлів, що складається з i -го вузла і будь-якої комбінації k вузлів, також перевірятимуть вузли, що все залишилися, $N-k-1$, тобто утворюють $(МДС)_{k+1}$ -структуру. Таким чином, якщо число C приймає максимальне значення, то число C_{k+1}^i також буде максимальним.

Аналогічно, якщо C_{k+1}^i – максимальне, то і C_{k+2}^i також максимальне. Провівши міркування за методом математичної індукції, можна зробити висновок, що, якщо

$C_k^i = \max$, то для всіх $l > k$ $C_l^i = \max$. Тим самим твердження доведено.

Проте слід зазначити, що зворотна умова твердження в деяких випадках не виконується. Тому процедуру визначення характеристичних чисел C_k^i завжди необхідно починати для значення $k=1$ і з кожним кроком збільшувати значення на одиницю.

Алгоритм визначення характеристичних чисел C_k структури діагностичних зв'язків.

Крок 1. Сформувати модернізовану матрицю суміжності A_M .

Крок 2. Привласнити $k:=0$.

Крок 3. Обчислити $k:=k+1$; привласнити $C_k:=0$.

Крок 4. Привласнити $m:=0$.

Крок 5. Обчислити $m:=m+1$. Вибрати m -у комбінацію k рядків матриці A_M : $\{a_{i1,i}\}, \{a_{j2,i}\}, \dots, \{a_{jk,i}\}$, де $i=1,2,\dots,n$.

Крок 6. Організувати цикл по $l:=1$ до n :

Якщо $(a_{j1,l}+a_{j2,l}+\dots+a_{jk,l})=0$, то перехід до кроку 5.

Кінець циклу по l .

Крок 7. Обчислити $C_k:=C_k+1$.

Крок 8. Якщо $m < (n! / k! \cdot (n-k)!)$, то перехід до кроку 5.

Крок 9. Виведення значення C_k .

Крок 10. Якщо $k < n$, то перехід до кроку 3, інакше – Кінець алгоритму.

Висновки. При будь-якій поточній структурі одне з чисел C_k^i матиме максимальне значення, де $k=1,2,\dots,N$. Крім того в процесі виконання перевірок, вузол бездротової сенсорної мережі, отримавши діагностичну інформацію про поточну структуру і синдром, визначає характеристичні числа структури C_k , $k=1,2,\dots,N$, на підставі яких обчислює ознаку достатності структури для діагностування.

Запропонована ознака достатності діагностичної інформації при її подальшому дешифруванню дозволяє обмежити накопичення результатів перевірок в системі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Recommendation Y.2060 "Overview of the Internet of things" // International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, 2012.

2. Shorey R. Mobile, wireless, and sensor networks: technology, applications, and future directions / Shorey R., Ananda A., Mun Choon Chan, Wei Tsang Ooi. // USA: A John Wiley & Sons, Inc. – 2011. – 430 p.

3. Kryvonos Yu. Application of wireless technologies in agriculture, ecological monitoring and defense / Yu. Kryvonos, V. Romanov, W. Wojcik, I. Galelyuka, A. Voronenko // Proceeding of the 8th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2011. – Warsaw, Poland. – 2015, September 24–26

4. Машков О.А., Барабаш О.В. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / О.А. Машков, О.В. Барабаш // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць. – Львів: Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2005. – Вип. 1. – С. 157 – 163. http://www.cmm.lviv.ua/12005/1_16_2005.pdf

5. Барабаш О.В. Методика діагностування складних технічних систем на основі внутрішніх тестових перевірок / О.В. Барабаш, А.П. Мусієнко, М.О. Коваль // Тези доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції «Математика. Інформаційні технології. Освіта». Луцьк – Світязь, 5 – 7 червня 2017 року. – Луцьк: СЕНУ імені Лесі Українки, 2017. – С. 35 – 36.

6. Барабаш О.В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / О.В. Барабаш, Ю.В. Кравченко // Збірник наукових праць НАОУ. Бюл. №40. –К.: НАОУ, 2002. – С. 225 – 229.

7. Кравченко Ю.В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах / Ю.В. Кравченко, С.В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – К.: ДУТ, 2014. – №1. – С. 12 – 18.

8. Барабаш О.В. Алгоритм самодіагностування технічного стану вузлів комутації інформаційних систем / О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, А.П. Мусієнко // Сучасний захист інформації. – К.: № 2 – 2014. – С. 114 – 121.

9. Барабаш О.В. Модель бази знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / О.В. Барабаш, Д.М. Обідін, А.П. Мусієнко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2014. – № 5 (121). – С. 3–6.

10. Барабаш О.В. Забезпечення функціональної стійкості критичних інформаційних систем на основі системного використання методів аналізу і синтезу / О.В. Барабаш, Д.П. Пашков, О.М. Горський // Стандартизація, сертифікація, якість: науково-технічний журнал. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – № 4 (101). – С. 65 – 72.

11. Барабаш О.В. Інформаційний підхід до забезпечення функціональної стійкості складних організаційних ерготехнічних систем / О.В. Барабаш, Д.П. Пашков, О.М. Горський // Системи обробки інформації. – Х.: ХНУПС, 2016. – № 9 (146). – С. 86 – 89.

12. Lukova-Chuiko N. Methods of self-diagnosis of telecommunication networks based on flexible structures of test connections / N. Lukova-Chuiko, O. Barabash, A. Musiyenko // Zbornik vedeckých a odborných prác: Medzinárodná vedecká konferencia “Bezpečnosť a bezpečnostná veda” (Security and Security Science) v dňoch 23.-27.02.2015, Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, Slovakia. – Liptovský Mikuláš, 2015. – S. 226 – 231.

REFERENCES:

1. Recommendation Y.2060 "Overview of the Internet of things" // International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector, 2012.

2. Shorey R. Mobile, wireless, and sensor networks: technology, applications, and future directions / Shorey R., Ananda A., Mun Choon Chan, Wei Tsang Ooi. // USA: A John Wiley & Sons, Inc. – 2011. – 430 p.

3. Kryvonos Yu. Application of wireless technologies in agriculture, ecological monitoring and defense / Yu. Kryvonos, V. Romanov, W. Wojcik, I. Galelyuka, A. Voronenko // Proceeding of the 8th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2011. – Warsaw, Poland. – 2015, September 24–26

4. Mashkov O.A., Barabash O.V. Estimation of functional stability of distributed information and control systems / O.A. Mashkov, O.V. Barabash // Physical-mathematical modeling and information technologies: Collection of scientific works. – Lviv: Center for Mathematical Modeling of the Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics in the name of Y.S. Pidstrigach NAS of Ukraine, 2005. – Ed. 1. – P. 157 – 163. http://www.cmm.lviv.ua/12005/1_16_2005.pdf

5. Barabash O.V. Methodology for diagnosing complex technical systems based on internal test checks / O.V. Barabash, A.P. Musienko, M.O. Koval // Abstracts of reports of the VI international scientific and practical conference «Math. Information Technology. Education». Lutsk – Svitiaz, June 5 – 7, 2017. – Lutsk: EENU in the name of Lesia Ukrainka, 2017 – P. 35 – 36.

6. Barabash O.V. Functional stability - property complex technical systems / O.V. Barabash, Y.V. Kravchenko // Collected works The National Academy of Sciences of Ukraine. Vol. №40. –К.: The National Academy of Sciences of Ukraine, 2002. – P. 225 – 229.

7. Kravchenko Y.V. Determination theory perspective on the application of functional stability in computer systems / Y.V. Kravchenko, S.V. Nikiforov // Telecommunication and Information Technology. – К.: State University of Telecommunications, 2014. – №1. – P. 12 – 18.

8. Barabash O.V. Algorithm way of diagnosing technical state switching node information systems / O.V. Barabash, D.M. Obidin, A.P. Musienko // Current information protection. – К.: № 2 – 2014. – P. 114 – 121.

9. Barabash O.V. The base model of intellectual knowledge management system of high-speed moving object based on its verification / O.V. Barabash, D.M. Obidin, A.P. Musienko // Information processing systems. – Kharkiv: Kharkiv National University of the Air Force, 2014. – № 5 (121). – P. 3–6.

10. Barabash O.V. Ensuring of the functional stability of critical information systems on the basis of the systematic use of methods of analysis and synthesis / O.V. Barabash, D.P. Pashkov, O.M. Gorskiy // Standardization, certification, quality: scientific and technical journal. – K.: SE «UkrRTC», 2016. – №4 (101). – P. 65 – 72.

11. Barabash O.V. Informational approach to ensuring the functional stability of complex organizational ergot systems / O.V. Barabash, D.P. Pashkov, O.M. Gorskiy // Information processing systems. – K.:KNUAF, 2016. – № 9 (146). – P. 86 – 89.

12. Lukova-Chuiko N. Methods of self-diagnosis of telecommunication networks based on flexible structures of test connections / N. Lukova-Chuiko, O. Barabash, A. Musiyenko // Zbornik vedeckých a odborných prác: Medzinárodná vedecká konferencia “Bezpečnosť a bezpečnostná veda” (Security and Security Science) v dňoch 23.-27.02.2015, Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, Slovakia. – Liptovský Mikuláš, 2015. – S. 226 – 231.

Без рецензії.

к.т.н., доц. Пампуха И.В., д.т.н., проф. Барабаш О.В.,
к.физ.-м.н. Мусиенко А.П., Коваль М.А.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНЫХ ПРОВЕРОК ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

В статье предложена диагностическая модель беспроводной сенсорной сети, функционирующей в системе мониторинга параметров окружающей среды. Сенсорная сеть это совокупность узлов и беспроводных линий связи. Каждый узел представляет собой измерительное устройство и маршрутизатор в одном корпусе. Предполагается, что на систему влияют помехи, повреждения, отказа и неисправности, вследствие этого элементы сенсорной сети выходят из строя. Для обеспечения функционирования сети необходимо ввести процедуру автоматического диагностирования для выявления неисправных элементов, отключения их от сети и реструктуризацию сети с ограниченным числом сенсоров.

Предложенная диагностическая модель построена на основе взаимных проверок элементов сети. Она описывает взаимосвязь между результатами проверок и диагностической информацией, дешифровка которой позволяет выявить неисправные элементы сенсорной сети. Диагностическая модель включает в себя обоснование и выбор системы оценки результатов взаимных проверок, методику накопления результатов проверок, расчет признаки достаточности диагностической информации. Кроме того показано, что предложенный признак достаточности диагностической информации позволяет ограничить накопление результатов проверок в сети и влияет на достоверность диагностирования в целом.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, диагностическая модель, диагностическая информация, взаимные проверки, характерные числа, дешифровки

Ph.D. Pampuha I.V., prof. Barabash O.V., Ph.D. Musienko A.P., Koval M.O. DIAGNOSIS MODEL OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK ON THE BASYS OF NETWORK ELEMENTS MUTUAL CHECKOUTS

The article presents the diagnosis model of the wireless sensor model that works in the environment characteristics monitoring system. Sensor network is the complex of centers and wireless lines of communication. Each center is a measuring device and router in the joint case. Interference, injures, fails, outages are supposed to influence the system. As a result, the sensor network elements are out of action. It brings the need to introduce the automatic diagnosis procedure for faulty elements detection, their unmount and the limited sensors network restructuring

The offered diagnosis model is formed on the basis of network elements mutual checkouts. The interconnection of checkouts results and diagnosis information are exposure in this article. Such

information deciphering is able to detect inoperative elements of the sensor network. Such components as substantiation and selection of system of assessment for mutual checkouts results, technique for checkouts results accumulation, calculation of sufficiency criterion for diagnosis information compose the diagnosis model. Besides the article exposes that the proposed sufficiency criterion for diagnosis information enables to restrict accumulation of checkouts results in the network and acts on the diagnosis authenticity in general.

Keywords: wireless sensor network, diagnosis model, diagnosis information, mutual checkouts, discriminating numbers, deciphering.