

## АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЖИВУЧОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

<sup>1</sup>Лисенко О.І., <sup>3</sup>Самберг А., <sup>2</sup>Чумаченко С.М., <sup>1</sup>Новіков В.І.

<sup>1</sup> *Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

<sup>2</sup> *Національний університет харчових технологій, Україна*

<sup>3</sup> *Європейська організація з кібербезпеки, Бельгія*

*E-mail: novikov1967@ukr.net, lysenko.a.i.1952@gmail.com,*

### ANALYSIS OF FUNCTIONAL VISIBILITY OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

The report analyzes key components for formulating conceptual approaches to ensuring the functional viability of a wireless sensor network.

Структура аналізу живучості безпроводових сенсорних мереж (БСМ) полягає в дослідженні [1] критичних елементів БСМ, вихід з ладу яких призводить до розпаду мережі на незв'язані сукупності частини; зовнішніх та внутрішніх впливів, які призводять до загублення зв'язності; можливостей щодо відновлюваності раціональних показників функціонування мережі; кількісних показників, що характеризують живучість БСМ.

Загально-теоретично живучість забезпечується технологіями розпізнавання, протидії, відновлення, адаптації (інваріантності та квазіінваріантності), реконструкції, реконфігурації та реорганізації.

Технологія розпізнавання кібератаки у БСМ використовує методи: діагностики стану елементів мережі; ідентифікації взаємодіючих елементів; оповіщення центру управління мережею про наближення до критичного стану; реєстрації подій в мережі та умови їх виникнення; аналізу моделей поведінки елементів мережі.

Технологія протидії (технологія кризисного управління) БСМ спрямована на прогнозування моменту часу переходу БСМ на режим функціонування у нештатній ситуації і використовує методи: обґрунтування раціональної надмірності ресурсів у мережі; теорії ігрових рішень для мережі; авторизації елементів мережі.

Технології відновлення у БСМ використовують методи оперативного відновлення функціональної живучості для передбачуваних нештатних ситуацій (методи, які дозволяють заздалегідь розробити алгоритми за якими потрібно парировати нештатну ситуацію, яка точно ідентифікована як передбачувана).

Технології адаптації, інваріантності та квазіінваріантності у БСМ використовують методи оперативного відновлення функціональної живучості для непередбачуваних нештатних ситуацій (тобто методи, які дозволяють заздалегідь розробити алгоритми підтримання та відновлення функціональної живучості в умовах різних типів попередньої невизначеності).

Технології реорганізації, реконфігурації та реконструкції у БСМ

використовують методи, які дозволяють відповідно розробити алгоритми оперативного перерозподілу функцій між елементами БСМ, перебудови структури обміну службовою та прикладною інформацією в БСМ та спланувати плавну нехтовно малу деградацію системи протягом максимального часу, коли цілі функціонування БСМ ще виконуються.

Техніко-технологічним прототипом концептуального підходу до побудови технології забезпечення функціональної живучості БСМ на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ (МТАП) можливо вважати підхід, який використано в технології побудови Wireless Mesh Network (WMN). Mesh-мережі за своєю структурою складаються із декількох кластерів (в загальному випадку їх кількість не обмежена). В Mesh-мережі підтримується динамічна маршрутизація трафіку між точками доступу за оптимальним (за критерієм часу) маршрутом, забезпечується функціональна живучість мережі при відмовах деяких її елементів.

Стосовно БСМ можливо стверджувати, що базуючись на техніко-технологічному прототипі та комбінованому використанні наведених вище технологій є можливість розробляти конкретні методики, процедури та алгоритми забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі у вигляді методики формулювання кількісних показників живучості; процедури попереднього ретроспективного аналізу ситуацій втрати живучості; алгоритмів забезпечення зв'язності; алгоритмів забезпечення якості передачі сигналу; алгоритмів забезпечення пропускну здатності; алгоритмів управління взаємодією елементів БСМ.

Глобальна (регіональна) БСМ складається із деякої кількості мультисенсорних мобільних, квазімобільних та стаціонарних датчиків первинної інформації, тобто сенсорних вузлів. Підкреслимо, що сенсорні вузли (мобільні, квазімобільні і стаціонарні) можуть бути розташовані у різних середовищах: на дні водойм; під водою; на поверхні води; на твердій поверхні; у повітрі; у космічному просторі. Розглядається БСМ із сенсорними вузлами, що розташовані у різних середовищах. Вважається, що функціональна живучість БСМ забезпечена, якщо періодично через інтервал часу  $T_0$  відбувається передача інформації, що зібрана із усіх сенсорів, які ще не відмовили, у центр управління. Під впливом внутрішніх та зовнішніх збурень мережа втрачає свою цілісність, тобто розпадається на деяку кількість сукупностей сенсорних вузлів, які зберігають зв'язність лише в цій сукупності (кластері). Підкреслимо, що щільність розташування сенсорних вузлів та запас енергетичного ресурсу кожного сенсорного вузла буде різною. Необхідно підтримати спроможність, вже не цілісної мережі, а набору сенсорних сукупностей, передати усю накопичену при кінці кожного інтервалу часу  $T_0$  до центру управління. На відміну від БСМ неперервного часу (або як кажуть оперативних систем чи систем реального часу) в БСМ дискретного часу (або як кажуть Delay Tolerant Networks) можливо використати мобільні платформи (підводні, надводні, повітряні або навіть космічні, зрозуміло, в залежності від середовища розташування сенсорних вузлів БСМ) для збирання інформації та (або) відновлення зв'язності мережі і підвищення її пропускну здатності із

заданою якістю передавання інформації. Ключовими складовими для формулювання концептуальних підходів до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання МТАП є [2]:

1. Ідентифікація та прогнозування на один чи декілька періодів спостереження вектору стану кожного елемента БСМ (сенсорних вузлів, маршрутизаторів, шлюзів контролерів): просторових координат; залишку енергії в акумуляторній батареї; результати самоконтролю внутрішніх параметрів елементів БСМ; об'єм та важливість даних моніторингу, які очікують на передавання у наступному циклі.

2. Призначення головного вузла (вузла, який займається збором інформації із закріплених за ним на поточний цикл сенсорних вузлів).

3. Розрахунок траєкторії руху МТАП для зчитування інформації з головного вузла.

Концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання МТАП передбачає, що в якості вихідних даних повинні бути відомі: початкова просторова структура та якісний і кількісний склад БСМ (тобто із яких елементів складається БСМ та їх технічні характеристики, включаючи і показники мобільності); алгоритм самоорганізації, визначення просторових координат, управління радіотехнічними та телекомунікаційними параметрами елементів БСМ; технічні характеристики МТАП (як ті, що складають вектор телекомунікаційних параметрів, так і ті, що складають вектор, що описує динаміку руху платформи).

Припускаємо, що безпроводовий обмін інформацією із зануреними під воду елементами БСМ реалізується завдяки акустичним сигналам, а у повітряному та космічному просторі використовуються радіотехнічні та лазерні технології передачі та приймання телекомунікаційних сигналів.

Для прийняття рішення щодо забезпечення функціональної живучості БСМ необхідно сформулювати критерій цієї функціональної живучості. Зважаючи на те, що БСМ є елементом інформаційно-керуючої системи, в якій для прийняття управлінських рішень потрібно отримувати інформацію від БСМ із періодом не більше  $T_0$ , пропонується прийняти критерій функціональної живучості БСМ у вигляді: реальний час, який витрачається на збір інформації у БСМ не перевищує  $T_0$ .

## Література

1. Марченко В.С., Яковлев С.В., Горбатчик О.С. та ін. Забезпечення функціональної безпеки критичних інформаційно-керуючих систем / монографія / за ред. В.С. Марченка, С.В. Яковлева. Харків: Константа, 2019. 272 с. ISBN 978-966-342-415-6.
2. Romaniuk V. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV / V. Romaniuk, O. Lysenko, A. Romaniuk and O. Zhuk // Information and telecommunication sciences. – 2020. - Vol. 11, no. 1. - С. 102-107. – DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.