

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СТАНОВСЬКИЙ Андрій Олександрович

УДК 004.942:004.93'12

МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ
БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному політехнічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Нестеренко Сергій Анатолійович,
Одеський національний політехнічний
університет, професор кафедри комп'ютерних
інтелектуальних систем та мереж

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Машталір Володимир Петрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
професор кафедри інформатики;

доктор технічних наук, професор
Чмир Ігор Олексійович,
Одеський державний екологічний
університет, професор кафедри інформатики

Захист відбудеться _____ 2016 р. о 13.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради К 41.052.08 в Одеському національному політехнічному університеті за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, ауд. 400-А.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Одеського національного політехнічного університету за адресою: 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1.

Автореферат розісланий _____ травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Р.О. Шапорін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом, у зв'язку із розвитком енергетики, повітряного та космічного транспорту, військових технологій, тощо, все більшого поширення набувають так звані пошкодзовані бездротові комп'ютерні мережі (ПБКМ), які, на відміну від звичайних БКМ, працюють в складних малопередбачуваних умовах оточуючого середовища, що постійно створює небезпеку повного або часткового виходу з ладу окремих елементів мережі та (або) зв'язків між ними. Такі пошкодження обумовлюються зовнішніми діями на мережу, тому частота їхніх появ може бути значно вищою за частоту «внутрішнього» руйнування звичайних БКМ.

Використання таких мереж підвищує вимоги до їхньої відмовостійкості. Остання, в свою чергу, забезпечується своєчасним виявленням та усуненням явних і схованих «вузьких місць» і пошкоджень, які призводять до пошкодження та (або) недосяжності окремих елементів та зв'язків. При цьому істотним є час, затрачений на розпізнавання поточного стану структури пошкодкованої мережі, з одного боку, і на відновлення її початкової структурної повноти за рахунок, наприклад, «гарячого» резервування, – з іншого. Інакше кажучи, швидкість роботи систем розпізнавання та відновлення повинна забезпечувати онлайн підтримку працездатності систем, обладнаних такими ПБКМ.

Таким чином, при експлуатації ПБКМ, в першу чергу, важливо вміти оперативно оцінювати поточний стан їхньої структури, оскільки саме від нього залежить працездатність мережі. Адже на відміну від «звичайних» дротових мереж, бездротові позбавлені можливості постійного внутрішнього самомоніторингу своєї структури. Справа ускладнюється також тим, що елементи ПБКМ не мають сталих «сусідів» для взаємотестування, оскільки вони часто-густо переміщуються в просторі, виходять з ладу, тощо, постійно змінюючи перелік найближчих серверів та вузлів.

В той же час, навіть частково пошкоджена ПБКМ зберігає на працездатних елементах багато різноманітної інформації, яка може взагалі не використовуватися для основної роботи мережі, але яка містить на прихованому рівні важливі знання про поточну структуру останньої та «історію» стану цієї структури від початку експлуатації до поточного часу.

Важливо, що з виходом з ладу окремих структурних одиниць ПБКМ, інформація, яка зберігається на доступних вузлах залишається (до певних меж) інформативною з точки зору розпізнавання. Наразі, для інтелектуальної обробки подібних даних інтенсивно розробляються методи, які отримали загальну назву *Data Mining* (добування знань). Вони засновані на методах штучного інтелекту, і дозволяють виявляти розчинену у різного роду сховищах не очевидну, але існуючу і дуже цінну інформацію.

В нашому випадку така інформація, безумовно, носить швидкозмінний та ймовірнісний характер, але використання сучасних інтелектуальних методів, зокрема, *Data Mining*, виявлення корисних знань в, на перший погляд, неінформативних трендах робить цей шлях до оперативного розпізнавання структур ПБКМ вельми **актуальним**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась відповідно до завдань науково-дослідних робіт кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем та мереж Одеського національного політехнічного університету № 37-62 «Методи проектування та робочого діагностування складних цифрових систем і мереж» (номер державної реєстрації 0110U008194) та № 688-62 «Інтеркалібрація результатів дистанційного зондування мережі метеорологічних радарів високого розділення в ході експерименту *BaltRad*» (номер державної реєстрації 0113U001458).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було підвищення оперативності при збереженні прийнятної якості (достовірності) розпізнавання структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж, які працюють в умовах зовнішніх руйнуючих впливів, шляхом вдосконалення та впровадження інтелектуального методу *Data Mining* на основі математичної теорії поля напрямків.

Для досягнення цієї мети в роботі розв'язані наступні задачі:

- проаналізовані проблеми і методи розпізнавання структури та підтримання або відновлення працездатності частково недоступних для моніторингу бездротових комп'ютерних мереж, які працюють в умовах великої ймовірності пошкоджень, спричинених діями зовнішнього середовища;

- розроблено приховану марковську модель (ПММ) стану мережі, а саме, ймовірності працездатності елементів та зв'язків загальної структури пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі, які змінюються за часом її експлуатації, та метод її отримання на основі сигналів від працездатної частини елементів мережі;

- розроблено математичну модель стану елементів та зв'язків загальної структури пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі у вигляді тривимірних полів напрямків та просторових частот і метод класифікації стану структури мережі на основі локальних та загальних особливостей таких полів;

- розроблено систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень при розпізнаванні структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж із частково недоступними елементами «OBMIN» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) в рамках загальної системи підтримки стану резервованих пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж із швидкозмінною структурою та проведено її практичне випробування із позитивним технічним ефектом.

Об'єктом дослідження є процеси інтелектуального розпізнавання поточного стану структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж із частково недоступними елементами, які діють в небезпечних для їхньої працездатності умовах.

Предметом дослідження є ймовірнісні математичні моделі структури пошкоджуваних частково недоступних бездротових комп'ютерних мереж та методи їхнього перетворення для подальшої структурної ідентифікації.

Методи дослідження. Для математичного моделювання структури частково недоступних для моніторингу ПБКМ по сигналах, які надходять від працездатної частини елементів мережі, використовували приховані марковські моделі, а також моделі у вигляді тривимірного поля інтенсивностей, та тривимірних полів напрямків та просторових частот.

Для структурних та параметричних розрахунків процесів відновлення пошкоджених бездротових комп'ютерних мереж використовували метод багатоцільової багатоекстремальної оптимізації систем із слабкозв'язаними елементами.

Для верифікації створених моделей та чисельного оцінювання якості (достовірності) запропонованих методів розпізнавання стану швидкозмінної структури пошкоджуваних частково недоступних для моніторингу бездротових комп'ютерних мереж використовували теорію взаємної ентропії.

Для обґрунтування можливостей практичного впровадження розроблених моделей та методів використовувалося обладнання Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні нових та розвитку існуючих моделей і методів підвищення оперативності розпізнавання структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж:

- отримала подальший розвиток математична модель структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж в якій матриця ймовірностей працездатності окремих елементів, визначена за допомогою прихованих марковських моделей, перетворена до морфологічно подібного до неї поля інтенсивностей, що дозволило, розглядаючи поле інтенсивності як зоровий образ, виявити квазіперіодичну структуру останнього у вигляді сукупності контурних ліній на віртуальному зображенні, що породжує велику інформаційну надмірність, та застосувати для зниження надмірності цієї моделі математичний метод поля напрямків;

- вперше запропонована математична модель змінної структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж, в якій елементи часової послідовності полів інтенсивностей підкоряються деякому досить складному порядку, а саме, багатоконтурній впорядкованості текстури з вираженою орієнтацією смуг та їх густоти в кожній точці, яка представлена у вигляді тривимірних полів напрямків та просторових частот, що дозволило, у підсумку, застосувати таку модель в методі розпізнавання стану структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж;

- отримали подальший розвиток інтелектуальний метод структурної ідентифікації змінного стану бездротових комп'ютерних мереж, який полягає в виявленні глобальних та локальних особливостей моделей таких мереж у вигляді тривимірних полів напрямків та просторових частот, та метод класифікації стану структури мережі на основі цих особливостей, що дозволило підвищити швидкодію розпізнавання структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж та ліквідувати протиріччя між оперативністю та якістю (достовірністю) роботи системи розпізнавання;

- отримав подальший розвиток метод оцінювання якості (достовірності) класифікації, який полягає у представленні прихованої частини бездротової комп'ютерної мережі у вигляді ланцюжка «передавач – канал зв'язку – приймач» та застосуванні до нього математичного апарату взаємної ентропії, що дозволило оцінювати якість запропонованого методу.

Практичне значення отриманих результатів. Практичним результатом дослідження є складові інтелектуальної системи «OBMIN» (*objects with ele-*

ments, inaccessible to monitoring) комп'ютерного розпізнавання структури складних пошкоджуваних об'єктів з частково недоступними для моніторингу елементами, до яких, зокрема, відносили бездротові комп'ютерні мережі, що працюють в умовах, небезпечних для їхньої працездатності.

Використання інтелектуального методу комп'ютерного розпізнавання стану структури складних ПБКМ із недоступними для моніторингу елементами дозволило з прийнятним ступенем достовірності оцінювати поточний стан мережі, а саме вибуття з ладу деяких її елементів, по сигналах, отриманих від справних елементів, що залишаються працездатними.

Практика підтвердила можливість, за рахунок оперативного розпізнавання пошкоджень та своєчасного відновлення пошкоджених елементів ПБКМ, підвищити мінімальний рівень структурної повноти останньої на 22,3 – 26,3 %.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені та використовувались в повсякденній діяльності Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України під час обґрунтування можливостей комплексу сил та засобів розвідки оперативних командувань.

Запропоновані методи і моделі, а також алгоритми і програми, розроблені для їхньої реалізації, впроваджені в навчальний процес в Одеському національному політехнічному університеті.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в узагальненні методів віртуальної моделі у вигляді полів інтенсивностей на розрахунки оптимальних параметрів складних систем [1, 9], у розробці методу оптимізації багатоцільових функцій зі слабо зв'язаними аргументами [2, 7], розробці методу інтелектуальної діагностики стану структури складного технічного об'єкта [3 – 12, 20, 25, 27] та комп'ютерних мережевих систем [13, 14, 19, 21, 23, 24, 30 – 35], побудові полів інтенсивностей структури систем із частково недоступними елементами [6], в розробці метода розпізнавання тривимірного поля інтенсивностей за допомогою тривимірних полів напрямків [8, 36, 37], методу реінжинірингу структури складних об'єктів [10, 22, 28], вдосконаленні методу отримання інформації про ймовірнісний стан складного об'єкта із частково недоступними для моніторингу елементами [15 – 17], а також розробці методу оцінки точності та розкриття невизначеності складного об'єкта [18, 26].

Здобувач розробив алгоритми та комп'ютерні програми для практичної реалізації запропонованих методів, брав участь у випробуваннях результатів роботи та оцінці їхньої ефективності.

Апробація результатів роботи. Матеріали роботи доповідалися та обговорювалися на: 14th International Conference «Research and development in mechanical industry» RaDMI 2014 (Vrnjačka Banja, Serbia, 2014), XVIII – XXIV семінарах «Моделювання в прикладних наукових дослідженнях» (Одеса, 2010 – 2016), Десятій та Одинадцятій всеукраїнських науково-технічних конференціях «Математичне моделювання та інформаційні технології» (Одеса, 2011, 2012), XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» (Одеса, 2012), Міжнародних науково-технічних конференціях «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Севастополь, 2012, 2013), Міжнародній науково-практичній конференції «Техніка і прогресивні техноло-

гії у нафтогазовій інженерії» (Івано-Франківськ, 2012), XIX та XX Міжнародних конференціях з автоматичного управління «Автоматика – 2012» та «Автоматика – 2013» (Київ, 2012 та Миколаїв, 2013), Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та інформаційна безпека в науці, техніці та освіті «ІНФОТЕХ-2013»» (Севастополь, 2013), 2-й Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2015), II Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Київ, 2015), V Міжнародній міжвузівській школі-семінарі «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МІЗДТС-2015)» (Івано-Франківськ, 2015), а також на розширеному засіданні наукового семінару кафедри «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» Одеського національного політехнічного університету (Одеса, 2016).

Публікації. Результати дисертації викладені в 37 наукових публікаціях, серед них: 8 – в журналах із спеціального переліку МОН України (з них 4 входять до міжнародних наукометричних баз *BASE*, *ULRICHSWEB*, *DRIVER*, *Index Copernicus*, *Worldcat*, *DOAJ*, *EBSCO*, *Freefullpdf*), 2 статті у збірниках, а також 27 матеріалів конференцій і семінарів.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків. Загальний об'єм дисертації – 170 стор., з них додатків – 20 стор. Дисертація містить 44 рисунки, 2 таблиці та посилання до 185 наукових джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, яка підкреслює її актуальність, відповідність державним науковим програмам, вимогам МОН України, наукову новизну та практичне значення; визначені об'єкт і предмет дослідження, сформульовані його мета і задачі, особистий внесок автора в публікацію та апробацію матеріалів роботи.

У першому розділі розглянуті проблеми та інтелектуальні методи комп'ютерного розпізнавання структури частково прихованих бездротових мереж із швидкозмінною структурою. Зокрема, проаналізовані проблеми структурного стану частково прихованих ПБКМ та методи його підтримання в заданих межах, запропоновано резервування як метод відновлення працездатності частково прихованих елементів ПБКМ, проаналізовані також існуючі методи розкриття невизначеностей в топології мережевих структур, та підвищення оперативності розпізнавання структури ПБКМ за допомогою віртуального об'єкта, зокрема, інтелектуальні методи розпізнавання сталих мережевих структур.

У другому розділі представлено метод отримання тривимірної ймовірнісної математичної моделі ПБКМ із швидкозмінною структурою.

Віртуальні математичні моделі в інформаційному просторі. В практиці дослідження надійності БКМ часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (непостережуваної, прихованої) частини останніх з ме-

тою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки структурної повноти мережі в цілому. Ця необхідність впливає з того, що окремі елементи частково недоступних ПБКМ із швидкозмінною структурою в умовах ймовірного пошкодження відносно швидко втрачають зв'язок із деякими елементами, які залишаються працездатними. Причиною цього можуть бути фізичне пошкодження елементів ПБКМ або пошкодження зв'язків між цими елементами, тобто зменшення початкової (100 %) повноти структури мережі.

Зазначимо, що повнота структури пошкоджуваної мережі – це відсоток кількості її елементів, які залишилися працездатними після чергової ітерації пошкодження. Повнота структури складно та малоперебачувано впливає на працездатність мережі в цілому. Але можна стверджувати, що повне відновлення структури або функцій мережі завжди призводить до відновлення (збереження) її працездатності.

Відновлення структури ПБКМ потребує або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або відновлення власне структурної повноти за рахунок використання «гарячого» резерву елементів на діючому об'єкті. При цьому спеціаліст з відновлення структури на поточній ітерації $t_{\text{пот}}$ життєвого циклу ПБКМ для прийняття рішення може розраховувати лише на відому інформацію про початкову непошкоджену структуру ПБКМ у вигляді графу $\mathbf{H}_{\text{об100}}$ (яка міститься в її описі), та про тренди деяких вимірюваних характеристик (сигналів) $\mathbf{C}(t)$, $0 \leq t \leq t_{\text{пот}}$ від ПБКМ в цілому, отримані від елементів, що залишилися доступними, за певний період до поточної ітерації $t_{\text{пот}}$. Це можуть бути вимірювані на виході мережі або на її доступних елементах дані з протоколів обмінів між елементами ПБКМ, залишки оброблюваної інформації, тощо.

Проблема полягає в тому, щоб з цих даних *оперативно та достовірно* розпізнати поточну структуру ПБКМ, тобто те, що залишилось від початкової структури після певної кількості часових ітерацій пошкодження окремих елементів мережі. Отримана в результаті розпізнавання інформація дозволяє, в свою чергу, не менш оперативно ставити та розв'язувати завдання відновлення структури мережі, а отже, її функціональної працездатності.

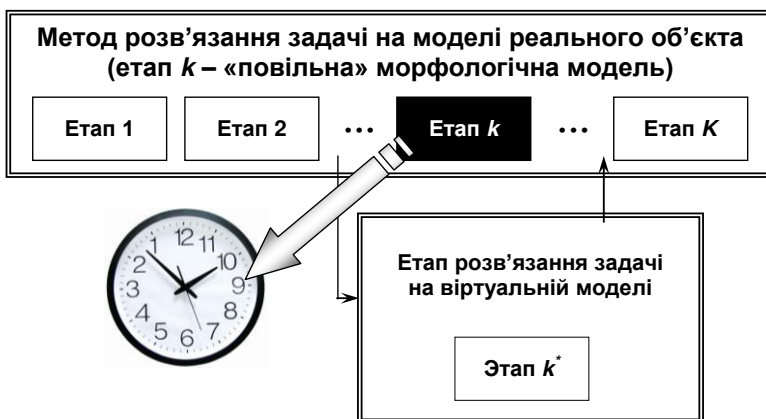


Рисунок 1 – Заміна «повільного» етапу k методу розв'язання задачі на моделі реального об'єкта на «швидкий» етап k^* із використанням віртуальної моделі

Дійсно, намагаючись виконати вимогу якості розпізнавання (його достовірності), дослідники стикаються із проблемою оперативності, оскільки існуючі методи якісного розпізнавання стану структури мережевих об'єктів за сигналами від непошкоджених елементів мережі містять, принаймні, один повільний етап k (рис. 1), пов'язаний найчастіше із великою часовою складністю його комп'ютерної реалізації.

Натомість, існують методи заміни таких повільних етапів на значно більш оперативні за рахунок того, що під час його виконання модель реального об'єкта (ПБКМ) тимчасово замінюється на деяку віртуальну, швидкодіючу з точки зору розпізнавання модель.

Розв'язання проблеми недостатньої оперативності морфологічного методу-прототипу для розпізнавання стану ПБКМ. Найкращим за достовірністю методом розпізнавання стану ПБКМ є морфологічний, в якому для прийняття рішення про стан структури об'єкта порівнюють дві множини: отримане обробкою реальних сигналів $C(t)$ (при дискретному часі маємо $C(k)$) за допомогою ПММ *поле ймовірностей* пошкоджень, та дані від комп'ютерної морфологічної моделі, яка розраховує критерій працездатності, перебираючи усі можливі варіанти стану мережі. «Слабкою ланкою» методу є морфологічна модель, адже її часова складність перевищує складність роботи ПММ в десятки разів!

Саме тому в новому методі було запропоновано відмовитися від морфологічних моделей та замінити їх на віртуальну модель структури частково недоступної для моніторингу ПБКМ – *поле інтенсивностей*, в якому інтенсивність кожного пікселя дискретного поля відповідає ймовірності збереження працездатності відповідним цьому пікселю елементом мережі.

Само по собі поле інтенсивностей для ідентифікації стану структури ПБКМ є також незручним із-за великої інформаційної надмірності. Але виявлені особливості полів інтенсивностей в якості моделей структури ПБКМ дозволяють значно знизити таку надмірність. Для цього в роботі застосували метод побудови *поля напрямків*, яке для ідентифікації поточної структури ПБКМ має зручний математичний апарат, розповсюдивши його на тривимірну (дві просторові координати + час) модель об'єкта.

Метод побудови тривимірного поля ймовірностей на основі спостережуваних сигналів за допомогою ПММ. Повний опис ПММ λ , як відомо, складається з двох параметрів моделі (N і M), опису символів спостережуваної послідовності і трьох масивів ймовірностей – \mathbf{A} , \mathbf{B} і $\boldsymbol{\pi}$. Навчання ПММ полягає в оптимізації параметрів \mathbf{A} , \mathbf{B} , $\boldsymbol{\pi}$ моделі λ таким чином, щоб вона якнайкраще описувала реальну спостережувану послідовність. Завдання навчання формулюється таким чином: підібрати параметри моделі $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$ так, щоб максимізувати $P(C | \lambda)$.

Завдання побудови *поля ймовірностей* як моделі стану ПБКМ можна сформулювати таким чином. Нехай дана спостережувана послідовність $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_t\}$ характеристик доступної частини, вихідний стан S_0 і моделі $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$, отримані в результаті навчання ПММ. Необхідно підібрати послідовність станів прихованої частини бездротової комп'ютерної мережі $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_m, \dots, S_t\}$, яка найкраще відповідає спостережуваній послідовності \mathbf{C} , тобто «пояснює» спостережувану послідовність.

Загальний результат первинної побудови *поля ймовірностей* перебування елементів структури ПБКМ у працездатному стані за допомогою ПММ, представлений як матриця суміжностей для деякого графу стану ПБКМ, виглядає так (рис. 2).

$i = 1$	$p_{11}(k)$	$p_{12}(k)$	$p_{13}(k)$	$p_{1J}(k)$
2	$p_{21}(k)$				$1(k)$	
3	$p_{31}(k)$			$0(k)$		
4	$p_{41}(k)$					$p_{4J}(k)$
...		$0(k)$				
I				$1(t)$		$0(k)$
	$j = 1$	2	3	J

Рисунок 2 – Результат первинного розпізнавання за допомогою ПММ – матриця ймовірностей працездатності елементів ПБКМ на одній з ітерацій k .

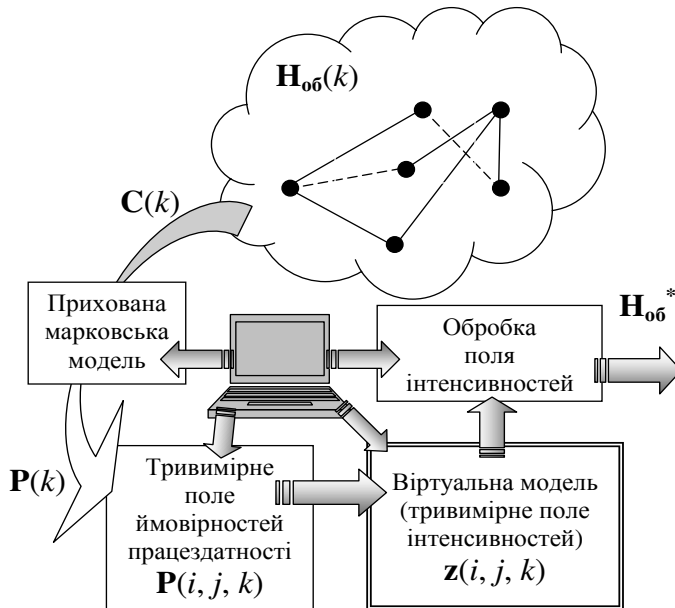


Рисунок 3 – Схема методу дистанційного визначення стану структури частково недоступної ПБКМ за допомогою віртуальної моделі

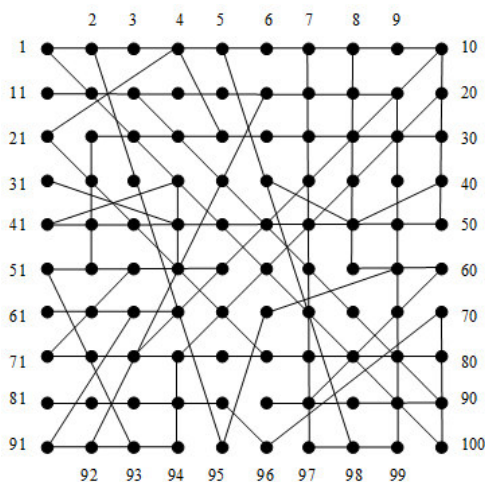


Рисунок 4 – Початковий стан структури тестової 100-елементної БКМ

структури пошкодженої БКМ, та отримуємо за допомогою розробленої комп'ютерної програми віртуальний двовимірний зоровий образ (зображення) її поля інтенсивностей $z(i, j)$ (рис. 6). Смугастий вигляд останнього підтверджує правильність вибору для розпізнавання структури ПБКМ математичної теорії поля напрямків та поля просторових частот.

У третьому розділі представлений метод побудови математичної моделі структури ПБКМ у вигляді тривимірного поля напрямків, яке отримується з тривимірного поля інтенсивностей, та метод розпізнавання структури мережі. В ньому відсутні «повільні» етапи, що дозволяє підвищити оперативність розпізнавання структури.

Новий метод, на відміну від існуючого, не містить циклів, та складних повторювань. Отримувана від частково недоступної ПБКМ із реальною, але невідомою поточною структурою $H_{обk}$, змінна в часі інформація $C(k)$ на першому етапі перетворюється на тривимірне поле ймовірностей $P(i, j, k)$ (i, j – координати відповідного пікселя, k – дискретний відлік часу), яке далі трансформується до віртуальної моделі у вигляді тривимірного поля інтенсивностей $z(i, j, k)$ і далі використовується для розпізнавання поточної структури ПБКМ $H_{обt}^*$ (рис. 3).

Перетворення двовимірних перерізів (кадрів) тривимірного поля ймовірностей на двовимірне поле інтенсивностей. Розглянемо в якості прикладу тестову 100-елементну ПБКМ, початковий (відомий) граф структури якої наведено на рис. 4. Всього в мережі 100 вузлів, зв'язки між якими створюють матрицю суміжності.

Після початку експлуатації мережі в ній з'являються структурні втрати. Далі, спираючись на сигнали $C(k)$, побудуємо за допомогою ПММ ймовірнісну матрицю (рис. 5), яка відбиває початковий стан

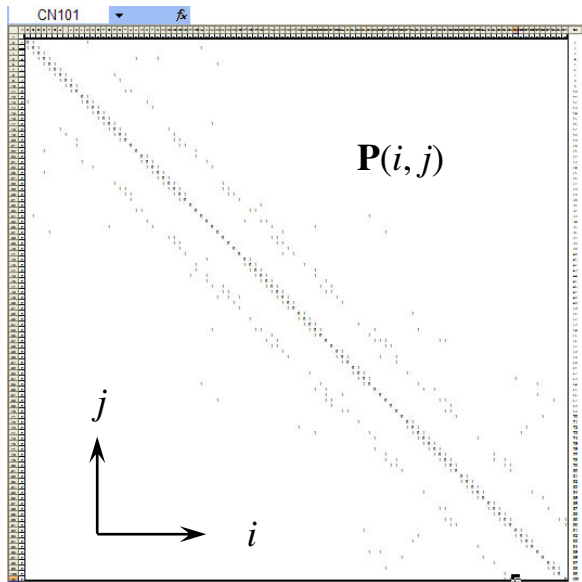


Рисунок 5 – Фрагмент *Excel*-таблиці із результатами, отриманими в результаті обробки сигналів від ПБКМ за допомогою ПММ

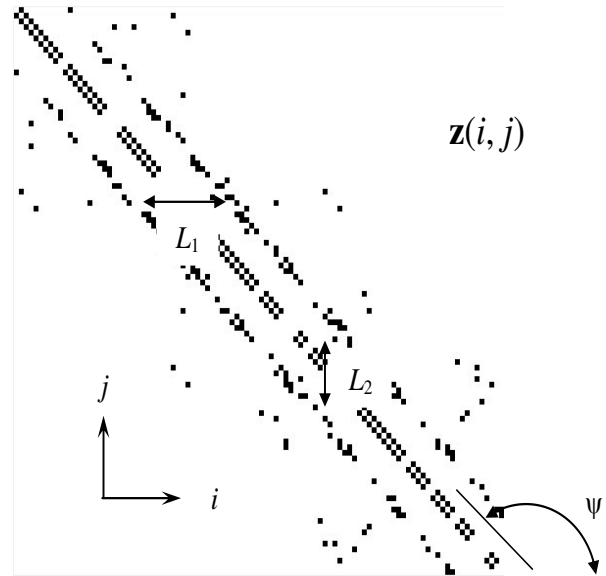


Рисунок 6 – Інвертований двовимірний зоровий образ поля інтенсивностей – моделі тестової ПБКМ

Розпізнавання стану структури ПБКМ за допомогою тривимірного поля напрямків та поля просторових частот. Поле інтенсивностей $z = z(i, j)$ в *scue.xjve* представлено є двовимірною матрицею пікселів, атрибутами кожного з яких є його дискретна адреса $i \in I$ і $j \in J$ та інтенсивність $0 \leq z \leq 255$, незмінна для ij -го пікселя в цілому. Якщо до двох дискретних координат – i та j додати залежність інтенсивності z ще й від дискретного часу k , тобто покласти $z = z(i, j, k)$, то отримаємо *тривимірне* поле інтенсивностей (на рис. 7 наведено приклад для мережі $5 \times 5 = 25$ елементів).

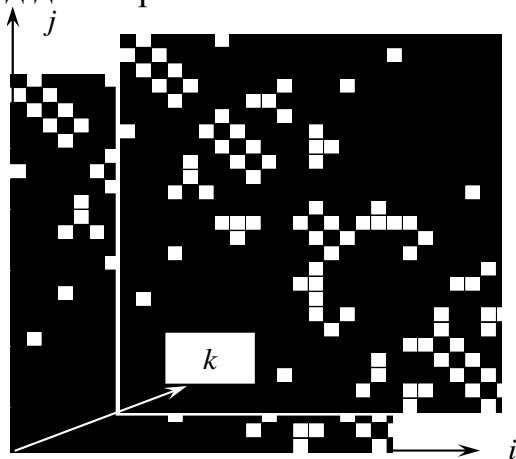


Рисунок 7 – Тривимірне поле інтенсивностей в якості моделі структури двадцятип'ятиелементної ПБКМ

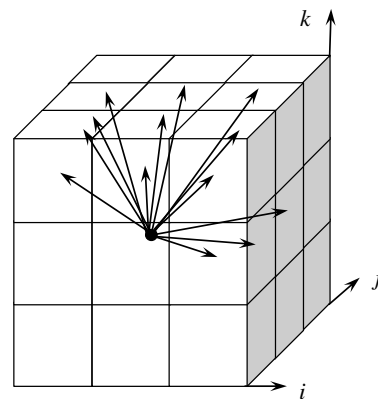


Рисунок 8 – Схеми обчислення чисельних «похідних» (скінченних різниць) в диференціальному методі побудови тривимірного поля напрямків: маска $3 \times 3 \times 3$

У *тривимірній* моделі при використанні маски розмірів $3 \times 3 \times 3$ (двадцять шість найближчих сусідів у центрального елемента маски) чисельні «похідні» розраховуються вже як тривимірне поле напрямків, яке описується двома кутами $\psi(i, j, k)$ та $\xi(i, j, k)$, які, в свою чергу, обчислюються за тринадцятьма не колінеарними напрямками: $(0; 0)$; $(0; 90^\circ)$; $(90^\circ; 0)$; $(45^\circ; 0)$; $(135^\circ; 0)$; $(45^\circ; 45^\circ)$; $(135^\circ; 45^\circ)$; $(45^\circ; -45^\circ)$; $(135^\circ; -45^\circ)$; $(90^\circ; 90^\circ)$; $(90^\circ; -90^\circ)$; $(135^\circ; 90^\circ)$; $(135^\circ; -90^\circ)$ (рис. 8).

Кожен з перерахованих не колінеарних напрямків у тривимірному просторі, природно, має і третій визначаючий кут, але він однозначно обчислюється з перших двох, якщо згадати, що сума квадратів направляючих косинусів для цих кутів завжди дорівнює одиниці.

На практиці використовують численні завадостійкі методи побудови поля напрямків засновані на апроксимації та усередненні. Зокрема, використовують диференціальний метод, який заснований на тому факті, що похідна функції інтенсивності за напрямком, який співпадає із напрямком смуги, має найменше за модулем значення серед похідних за напрямком в поточній точці: $\psi = \arg \min_{\varphi} |z'_{\varphi}|$. Основною перевагою диференціальних методів є їхня оперативність, тобто максимально можлива швидкодія серед усіх відомих класів методів побудови поля напрямків.

Тривимірне поле напрямків $[\psi(i, j, k)$ та $\xi(i, j, k)]$ – це поле пар кутів ψ та ξ переважного напрямку смуг в локальних околицях точок тривимірного поля інтенсивностей.

Тривимірне поле просторових частот:

$$\omega(i, j, k) = \sqrt{\omega_1^2(i, j, k) + \omega_2^2(i, j, k) + \omega_3^2(i, j, k)}, \quad (1)$$

описує щільність або густоту смуг в малій околиці заданої точки (i, j, k) у тривимірному полі інтенсивностей.

При цьому, кути напрямку смуги $[\psi(i, j, k)$ та $\xi(i, j, k)]$ в даній точці дорівнюють кутам дотичної до відповідної поверхні рівня тривимірної функції інтенсивностей $z(i, j, k) = z_0$. Як і в двовимірному випадку, тривимірне поле напрямків, при цьому, фактично є результатом «геометричного» подвійного інтегрування поля інтенсивностей. Адже, тривимірним полем напрямків є геометрична інтерпретація множини плоских елементів, які відповідають системі диференціальних рівнянь у часткових похідних:

$$\frac{\partial j}{\partial i} = z(i, j, k); \quad (2)$$

$$\frac{\partial k}{\partial i} = z(i, j, k). \quad (3)$$

Тривимірним лінійним елементом в цьому випадку назвемо набір чисел $i, j, k, z(i, j, k)$, який можна представити як сукупність точки $(i, j, k) \in G^3 \subset R^3$ та відповідного їй напрямку, де G^3 – загальна множина точок (пікселів); для тривимірного (R^3) розташування точок. Оцінки чисельних «похідних» для різних напрямків в цьому випадку мають такий вигляд (приклад для одного з тринадцяти напрямків та лише одного з кутів цього напрямку):

$$\begin{aligned} f_{0,0} = & \frac{[z_{(i-1)(j-1)(k+1)} - z_{(i-1)(j+1)(k-1)}] + [z_{i(j+1)(k+1)} - z_{i(j+1)(k-1)}] + [z_{(i+1)(j+1)(k+1)} - z_{(i+1)(j+1)(k-1)}]}{36} \\ & + \frac{[z_{(i-1)j(k+1)} - z_{(i-1)j(k-1)}] + [z_{ij(k+1)} - z_{ij(k-1)}] + [z_{(i+1)j(k+1)} - z_{(i+1)j(k-1)}] + [z_{(i-1)(j-1)(k+1)} - z_{(i-1)(j-1)(k-1)}]}{36} \\ & + \frac{[z_{i(j-1)(k+1)} - z_{i(j-1)(k-1)}] + [z_{(i+1)(j-1)(k+1)} - z_{(i+1)(j-1)(k-1)}]}{36} \end{aligned} \quad (4)$$

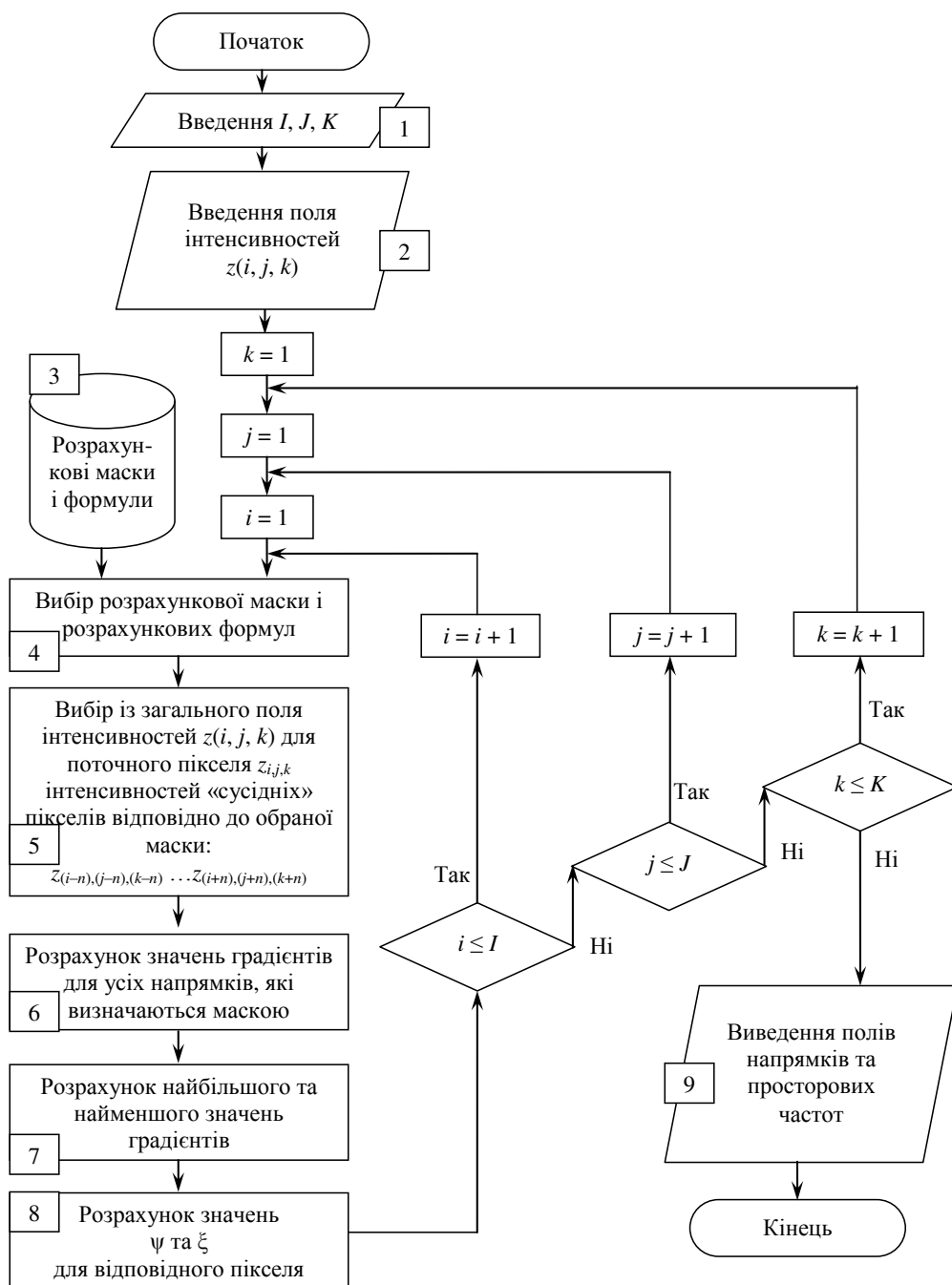


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма розрахунку тривимірних полів напрямків та просторових частот

Для початку, неперервне значення від 0 до 180 градусів для кожного з кутів ψ та ξ поля напрямків розбивається на чотири діапазони: 0 – від 0 до 22 та від 158 до 180 градусів, 1 – від 23 до 67 градусів, 2 – від 68 до 112 градусів та 3 – від 113 до 157 градусів. Далі вибирається перший піксель поля напрямків і виконується кодування по діапазонах для шести його ортогональних сусідів.

Особливість кожного пікселя тривимірного поля напрямків як моделі стану структури ПБКМ полягає у порядку зміни діапазонів кутів в її околицях (наприклад, за ψ : 2-3-0-1-3-0; за ξ : 0-1-3-0-2-0) (рис. 10). Крім того, кожна глобальна особливість відрізняється геометричними характеристиками, а саме, – кутами нахилу ліній розподілу між діапазонами відповідних кутів. Для пошуку локальних особливостей до двовимірних перерізів тривимірного поля напрямків застосовується один з відомих методів ідентифікацій зображень.

Блок-схему алгоритма розрахунку тривимірних полів напрямків та просторових частот наведено на рис. 9.

Розпізнавання стану ПБКМ із швидкозмінною структурою за допомогою тривимірних полів напрямків та просторових частот. Отримані тривимірні поля напрямків та просторових частот кодується щодо наявності глобальних та локальних особливостей та їх геометричного розташування на полі напрямків.

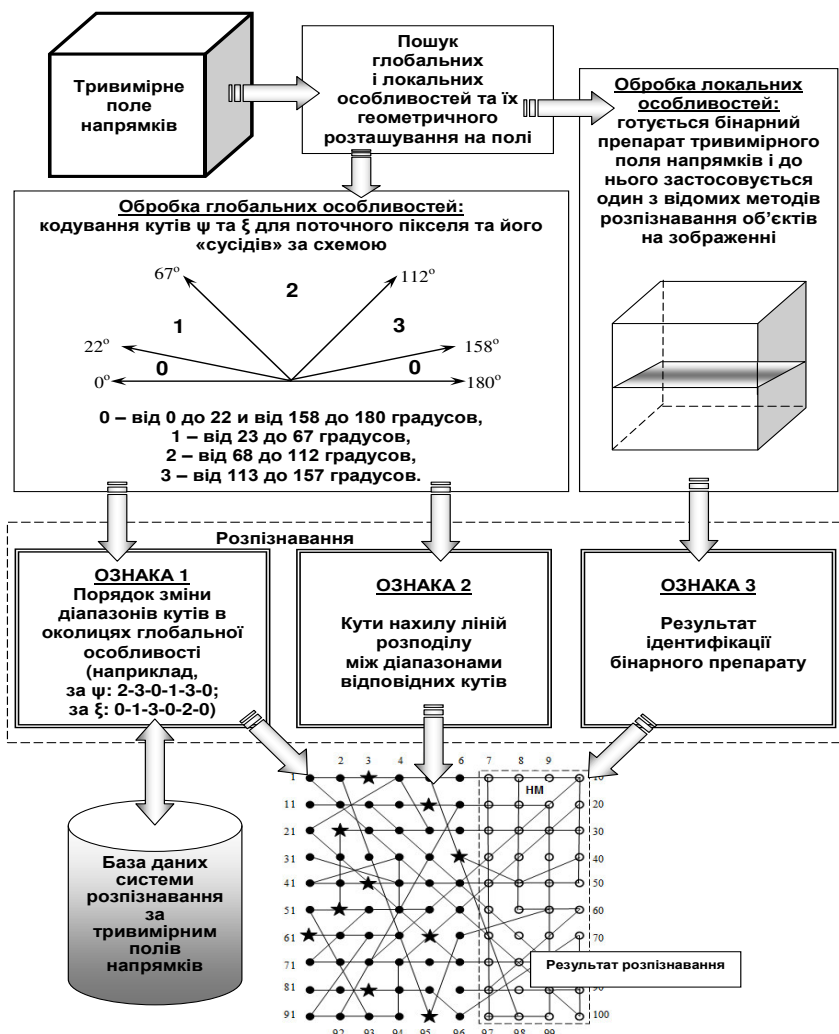


Рисунок 10 – Схема методу розпізнавання стану ПБКМ за допомогою тривимірних полів напрямків

структури частково недоступних для моніторингу пошкодженої БКМ наведено на рис. 11.

Розрахунки параметрів відновлення структури ПБКМ. Найкращою схемою відновлення пошкодженої БКМ є оптимальне поєднання процесів перерозподілу функцій працездатних елементів мережі та заміни вибувчих елементів на їхній полегшений резерв. Для такої багатофакторної та багатоцільової оптимізації із слабкозв'язаними оптимізуючими аргументами використовували еволюційний метод генетичної оптимізації.

Метод та результати оцінювання якості розпізнавання. Для чисельного оцінювання якості (точності або достовірності) роботи системи розпізнавання використовували теорію взаємної ентропії. Для цього реальну структуру ПБКМ розглядали у вигляді «передавача» деякого сигналу, а розпізнану структуру – передавача. Метод розпізнавання при цьому є умовним каналом зв'язку, точність якого й оцінюється взаємною ентропією.

Натурні експерименти на реальних бездротових комп'ютерних мережах показали, що точність розпізнавання при використанні запропонованого методу, у порівнянні з прототипом дещо знижується. Однак ця втрата з лишком окупається швидкістю роботи запропонованого методу.

Опис локальних та глобальних особливостей порівнюється з описами аналогічних моделей в БД станів ПБКМ (рис. 10) і при співпадінні останнє вважається закінченням процесу розпізнавання.

В четвертому розділі представлена побудова загальної інтелектуальної системи розпізнавання та відновлення ПБКМ із швидкозмінною структурою «ОВМІН».

Система «ОВМІН» розпізнавання та відновлення структури частково недоступних до моніторингу БКМ. Загальна структура системи «ОВМІН» розпізнавання і відновлення



Рисунок 11 – Структура системи «OBMIN» розпізнавання та відновлення структури ПБКМ

режі, частково встановлені на безпілотних літальних апаратах – дронах.

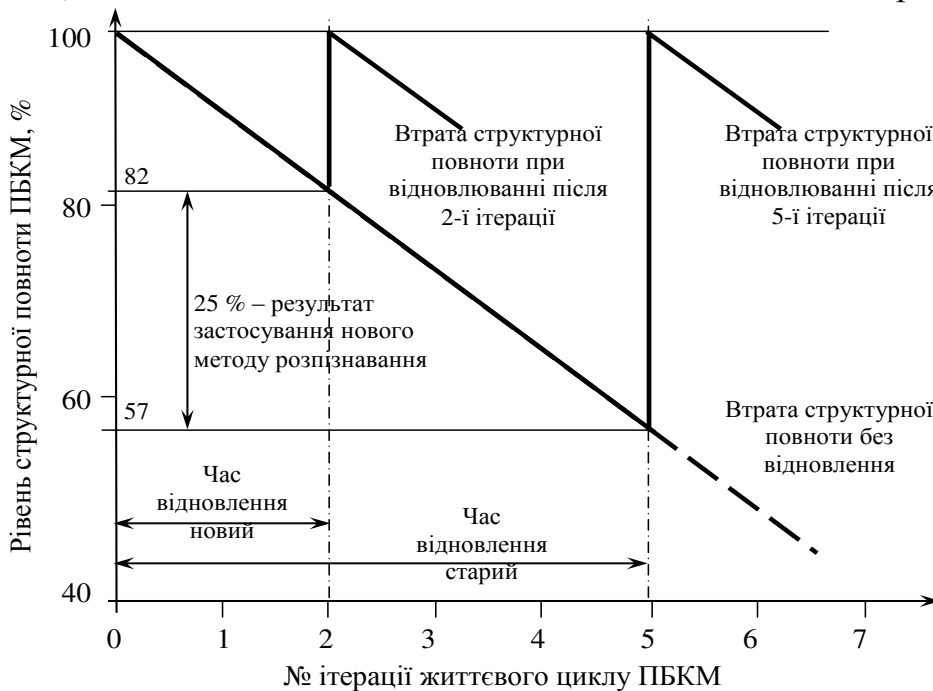


Рисунок 12 – Схема засад підвищення рівня структурної повноти ПБКМ при використанні нового методу

Це дозволяє вчасно «включати» процес відновлення пошкодженої мережі і не допускати, в результаті, дуже глибокого «просідання» її структурної повноти (рис. 12), що надзвичайно важливо в умовах роботи саме пошкодженої мережі. Як видно з рисунку, зменшення терміну розпізнавання на три ітерації життєвого циклу БКМ дозволяє на 25 % знизити величину «просідання» структурної повноти. Практичним результатом дослідження є складові інтелектуальної системи «OBMIN» комп'ютерного розпізнавання структури складних пошкоджуваних об'єктів з частково недоступними для моніторингу елементами, до яких слід, зокрема, віднести бездротові комп'ютерні мережі, частково встановлені на безпілотних літальних апаратах – дронах.

Використання інтелектуального методу комп'ютерного розпізнавання та відтворення зорового образу структури складних пошкоджуваних об'єктів із недоступними для моніторингу елементами дозволяє з високим ступенем ймовірності оцінити поточний стан мережі, а саме, вибуття з

ладу деяких її елементів по сигналах, отриманих від завідомо справних елементів, що залишаються на базових позиціях. Практика підтверджує можливість прискорення своєчасного ремонту та заміни пошкоджених елементів бездротової комп'ютерної мережі, що гарантує підвищення загального рівня структурної повноти останньої на 22,3 – 26,3 %.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які вирішують наукову задачу інтелектуального комп'ютерного розпізнавання стану бездротових мереж із швидкозмінною структурою.

1. В практиці дослідження надійності ПБКМ часто виникає необхідність *розпізнавання поточного стану структури* останньої з метою виявлення кількості і дислокації непрацездатних елементів (структурних пошкоджень) та оцінки комплектності (відсотку працездатних елементів) мережі в цілому. При цьому в роботі умовно вважали стан елементів бінарним (пошкоджений – працездатний), а комплектність мережі дискретною, яка знижується в міру пошкодження елементів. Пошкоджена БКМ для відновлення потребує або заміни непрацездатних елементів, або перерозподілу функцій серед працездатних. Проаналізовані проблеми і методи розпізнавання структури та підтримання комплектності частково недоступних для моніторингу бездротових комп'ютерних мереж, які працюють в умовах великої ймовірності структурних пошкоджень, спричинених діями зовнішнього середовища.

2. Для реалізації підходу *Data Mining* запропоновано математичну модель стану елементів та зв'язків загальної структури пошкоджуваної бездротової комп'ютерної мережі у вигляді *тривимірної матриці ймовірностей* працездатності елементів та зв'язків загальної структури пошкоджуваної бездротової комп'ютерної мережі, яка змінюється за часом її експлуатації, та вдосконалено метод її отримання на основі сигналів, що надходять від працездатної частини елементів мережі, за допомогою теорії прихованих марковських моделей.

3. Використання ймовірнісної матричної моделі для безпосереднього розпізнавання стану неможливе з різних причин: по-перше, це низька достовірність отриманої інформації і, як наслідок, низька точність розпізнавання (наприклад, у разі використання порогових моделей); по-друге, – велика тривалість розпізнавання (наприклад, у разі використання морфологічних моделей). Тому в роботі було запропоновано застосовувати проміжну математичну модель стану елементів та зв'язків загальної структури пошкоджуваної бездротової комп'ютерної мережі у вигляді *тривимірного поля інтенсивностей* (віртуального відеопотоку), яке, в свою чергу, отримується з матриці ймовірностей.

4. Двовимірний переріз тривимірного поля інтенсивностей, відтворений на електронному носії у вигляді зорового образу, дозволив виявити квазіперіодичну структуру функції стану елементів та зв'язків загальної структури пошкоджуваної бездротової комп'ютерної мережі у вигляді сукупності контурних ліній, які підкоряються деякому досить складному порядку, а саме багатоконтурній впорядкованості текстури з вираженою орієнтацією смуг та їх густоти в ко-

жній точці такого зображення, і на цій підставі розробити математичну модель стану пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі у вигляді *тривимірного поля напрямків*.

5. Отримані тривимірні поля напрямків та просторових частот кодуються щодо параметрів глобальних та локальних особливостей та їх геометричного розташування на полі. При цьому, кожна глобальна особливість в точці (пікселі), яка аналізується, відрізняється послідовністю діапазонів відповідних кутів у її ортогональних «сусідів» по полю напрямків, а локальні особливості знаходяться з двовимірних перерізів поля напрямків із застосуванням до нього один з відомих методів ідентифікацій зображення. З наборів глобальних та локальних кодів, отриманих від тестових полів напрямків та досвіду розпізнавання стану реальних ПБКМ в минулому, створена база даних, яка використовується для прискореної класифікації стану поточних мереж.

6. Запропоновано два підходи до відновлення працездатності пошкоджених бездротових мереж. Перший передбачає використання «гарячого» резервування окремих елементів, тобто відновлення її структурної повноти, другий – розширення функцій тих елементів, що залишаються працездатними. Завдання вчасного функціонального відновлення пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі представляє собою розв'язання задачі багатоцільової багатоекстремальної оптимізації із зв'язаними оптимізаційними аргументами. В роботі її вирішували модернізованим еволюційним методом.

7. Практичним результатом дослідження є інтелектуальна система «OBMIN» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) комп'ютерного розпізнавання структури складних пошкоджуваних об'єктів з частково недоступними для моніторингу елементами. Натурні експерименти на реальних, але пошкоджуваних «вручну» бездротових комп'ютерних мережах, показали, що виміряна вдосконаленим для цього випадку методом обчислення взаємної ентропії якість (точність, достовірність) розпізнавання при використанні запропонованого методу, у порівнянні з прототипом, дещо знижується. Однак ця втрата з лишком окупається швидкістю роботи запропонованого методу, що дозволяє вчасно «включати» процес відновлення пошкодженої мережі і не допускати, в результаті, неприпустимого рівня втрати її структурної повноти.

8. Використання розробленого інтелектуального методу комп'ютерного розпізнавання структури складних пошкоджуваних бездротових мереж із частково недоступними для моніторингу елементами та створеної на його основі системи «OBMIN» дозволяє оперативно та з прийнятним рівнем якості оцінити поточний стан структури мережі, а саме вибуття з ладу деяких її елементів по сигналах, отриманих від справних елементів, що залишаються працездатними та здійснити функціональне відновлення пошкоджених елементів. Практика підтверджує підвищення мінімального значення структурної повноти бездротової комп'ютерної мережі, до якого із-за пошкоджень опускається остання під час експлуатації, на 22,3 – 26,3 % за рахунок оперативної та своєчасної функціональної заміни пошкоджених елементів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Бовнегра, Л. В. Обобщение метода виртуального объекта на расчеты оптимальных параметров сложных систем / Л.В. Бовнегра, Т.В. Лысенко, Ан.А. Становский // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Процессы управления. – Харьков, 2014. – № 4/3 (70). – С. 33 – 37. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*
2. Савельева, О. С. Парето-оптимизация многоцелевых функций со слабосвязанными аргументами / О.С. Савельева, П.С. Швець, Ан.А. Становский // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2014. – № 3. – С. 13 – 18.
3. Нестеренко, С. А. Метод діагностики стану структури складного об'єкта машинобудування / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, А.В. Торопенко // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків, НТУ «ХПІ». – 2013. – Вип. 8. – С. 116 – 123.
4. Становська, Т. П. Метод розкриття невизначеності у структурі складного об'єкта // Т.П. Становська, Ан.О. Становський, А.В. Торопенко, Г.В. Налєва // Холодильна техніка і технологія. – 2013. – № 2(142). – С. 109 – 111.
5. Нестеренко, С. А. САПР реинжиниринга механических систем в эксплуатации / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский, Д.А. Монова // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків: НУУ «ХПІ», 2015. – Вып. 1(25). – С. 109 – 115.
6. Нестеренко, С. А. Перетворення структури складної технічної системи із частково недоступними елементами до зорового образу / С. А. Нестеренко, Ан. О. Становський, А. В. Торопенко, П. С. Швець // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2015. – № 5/3 (77). – С. 30 – 35. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*
7. Становський, О. Л. Оптимізація зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем / О.Л. Становський, П.С. Швець, А.В. Торопенко, В.В. Бондаренко, Ан.О. Становський, О. Абу Шена, О.М. Красножон // Вісник наукових праць НТУ «ХПІ». – 2015. – № 49 (11/58). – С. 170 – 175.
8. Нестеренко, С. А. Розпізнавання стану бездротових комп'ютерних мереж за допомогою тривимірного поля напрямків / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, О.О. Оборотова // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Харків, 2015. – № 6/2(26). – С. 28 – 35. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

Наукові праці апробаційного характеру

9. Lysenko, T. Structure optimization of the mechanical and computer networks using the method of virtual object / T. Lysenko, L. Bovnegra, An. Stanovskyi, I. Tsapenko / Materials of 14th International Conference «Research and development

in mechanical industry» RaDMI 2014. – SaTCIP, Vrnjačka Banja, Serbia, 18 – 21 September 2014. – P. 694 – 700. *Видання входить до міжнародних наукометричних баз BASE, ULRICHSWEB, DRIVER, Index Copernicus, WorldCat, DOAJ, EBSCO, FreeFullPDF, eLIBRARY.*

10. Савельева, О. С. Автоматизированное проектирование структуры сложных объектов после восстановления / О.С. Савельева, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Одеса: АО Бахва, 2013 – Вип. 1(2). – С. 161 – 167.

11. Нестеренко, С. А. Метод диагностики stanu структуры складного об'єкта машинобудування / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, Д.О. Пурич // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві: збірник наукових праць. – Одеса: АО Бахва, 2013 – Вип. 4(5). – С. 89 – 95.

12. Лысенко, Т. В. Методы идентификации личности по психофизиологическим данным / Т.В. Лысенко, А.А. Коряченко, Ан.А. Становский // Материалы XVIII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 17 – 18 марта 2010. – С. 34 – 36.

13. Савельева, О. С. К оценке надежности сети датчиков с резервированием / О.С. Савельева, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Материалы XIX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 1 – 2 марта 2011. – С. 65 – 68.

14. Нестеренко, С. А. Моделирование надежности сетевых структур с латентными элементами / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Материалы Десятої всеукраїнської науково-технічної конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології». – Одеса: ОДАХ, 23 – 25 листопада 2011. – С. 43 – 44.

15. Нестеренко, С. А. Оценка состояния сетевых структур с латентными элементами с помощью скрытых марковских моделей / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» – Одесса: ОНПУ, 4 – 8 июня 2012 г. – С. 89.

16. Нестеренко, С. А. Информационный метод структурной диагностики частично недоступных объектов / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Материалы Одинадцятій всеукраїнської науково-технічної конференції «Математичне моделювання та інформаційні технології». – Одеса: ОНАХТ, 21 – 23 листопада 2012. – С. 37 – 38.

17. Нестеренко, С. А. Оценка состояния сетевых структур с помощью скрытых марковских моделей / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Севастополь: СевНТУ, 3 – 7 сентября 2012. – С. 166 – 168.

18. Становський, Ан. О. Оцінка точності методу розкриття невизначеності об'єкта й адекватності одержуваної при цьому моделі / Ан.О. Становський, О.С. Савельева, Д.О. Пурич // Материалы XX научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 19 – 20 января 2012. – С. 3 – 5.

19. Пурич, Д. О. Частково приховані бездротові комп'ютерні мережі та їхня діагностика / Д.О. Пурич, С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський // Матеріали ХХ научно-технічного семінара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 19 – 20 января 2012. – С. 6 – 7.

20. Нестеренко, С. А. Структурная диагностика частично недоступных мониторингу нефтегазовых объектов / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії – 2012». – Івано-Франківськ, 5 – 7 листопада 2012. – С. 181 – 183.

21. Нестеренко, С. А. Оценка состояния сетевых структур с латентными элементами с помощью скрытых марковских моделей / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Матеріали ХІХ-й Международной конференции «Автоматика – 2012». – Киев: УНУХТ, 26 – 28 сентября 2012. – С. 231.

22. Нестеренко, С. А. САПР ремонта и восстановления сетевых структур / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Матеріали ХХІ научно-технічного семінара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 22 – 23 января 2013. – С. 66 – 67.

23. Нестеренко, С. А. Структурна діагностика працездатності бездротових комп'ютерних мереж / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський // Матеріали ХХІ научно-технічного семінара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 22 – 23 января 2013. – С. 67 – 74.

24. Нестеренко, С.А. Метод розкриття невизначеності у структурі складного об'єкта / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, А.В. Торопенко // Матеріали ХХ міжнародної конференції з автоматичного управління, присвяченої 100-річчю з дня народження академіка НАНУ О.Г. Івахненка «АВТОМАТИКА / AUTOMATICS – 2013». – Миколаїв: НУК, 25 – 27 вересня 2013. – С. 186 – 187.

25. Нестеренко, С. А. Інформаційний метод розкриття невизначеності складного об'єкта / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, М.А. Духаніна // Матеріали міжнародної научно-технічної конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Современные технологии проектирования управляющих и мехатронных систем» под эгидой Black Sea Universities Network. – Севастополь, 16-19 апреля 2013. – С. 169 – 172.

26. Нестеренко, С. А. Інформаційна оцінка точності методу розкриття невизначеності / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, А.В. Торопенко // Матеріали міжнародної научно-практичної конференції «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ – 2013»» – Севастополь: СевНТУ, 9 – 13 сентября 2013. – С. 21.

27. Нестеренко, С. А. Математическое моделирование и анализ частично недоступных для мониторинга технических объектов в САПР / С.А. Нестеренко, Д.А. Пурич, Ан.А. Становский // Матеріали міжнародної научно-технічної конференції «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Севастополь: СевНТУ, 8 – 12 сентября 2013. – С. 138 – 139.

28. Нестеренко, С. А. Інформаційні технології в САПР реінжинірингу частково недоступних мережевих структур / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, Д.А. Монова // Матеріали ХХІІ научно-технічного семінара «Моделирова-

ние в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 4 марта 2014. – С. 57 – 59.

29. Лебедева, Е. Ю. Метод проектирования систем с существенно различными свойствами материалов элементов / Е.Ю. Лебедева, А.Н. Красножон, Ан.О. Становський // Материалы XXII научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 4 марта 2014. – С. 63 – 64.

30. Нестеренко, С. А. Разработка алгоритмов и программных средств для систем компьютерного распознавания и воспроизведения структуры беспроводных компьютерных сетей / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, Абу Шена Осам // Материалы XXIII научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 9 – 11 марта 2015. – С. 51 – 53.

31. Нестеренко, С. А. Інтелектуальні методи оцінювати стану структури бездротових комп'ютерних мереж при їхньому проектуванні та експлуатації / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, Хеблов Исмаил // Материалы XXIII научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 9 – 11 марта 2015. – С. 54 – 55.

32. Нестеренко, С. А. Інтелектуальна діагностика стану структури віддалених бездротових комп'ютерних мереж / Нестеренко С.А., Становський Ан.О., Оборотова О.О., Дадерко О.І. // Матеріали 2-ої Всеукраїнської конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості 2015». – Івано-Франківськ, 6 – 9 жовтня 2015. – С. 102 – 103.

33. Нестеренко, С. А. Інтелектуальні методи в діагностиці бездротових комп'ютерних мереж / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, О.О. Оборотова, О.І. Дадерко // II Міжнародна науково-технічна *Internet*-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами». – Київ, НУХТ, 25 листопада 2015. – С. 64.

34. Становський, Ан. О. Використання методу поля напрямків в діагностиці бездротових комп'ютерних мереж / Ан. О. Становський, В. В. Бондаренко, О. Абу Шена, О. І. Дадерко // Матеріали V Міжнародної міжвузівської школи-семинару «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі МіЗД ТС-2015». – Івано-Франківськ, 16 – 19 листопада 2015 року. – С. 73 – 76.

35. Нестеренко, С. А. Інформаційна технологія аналізу стану структури віддалених бездротових комп'ютерних мереж / С.А. Нестеренко, Ан.О. Становський, О.О. Оборотова // Матеріали I Міжнародної конференції *Infocom Advanced Solutions* – 2015. – Київ, 24 – 25 листопада 2015. – С. 56 – 57.

36. Становський, Ан. А. Интеллектуальная система «ОВМІН» компьютерного распознавания структуры сложных повреждаемых объектов с частично недоступными для мониторинга элементами // Материалы XXIV научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 11 января 2016.

37. Нестеренко, С. А. Распознавание трехмерного зрительного образа с помощью трехмерного поля направлений / С.А. Нестеренко, Ан.А. Становський, Е.А. Оборотова // Материалы XXIV научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 11 января 2016.

АНОТАЦІЯ

Становський А.О. Методи комп'ютерного розпізнавання стану бездротових мереж із швидкозмінною структурою. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню оперативності при збереженні прийнятної якості (достовірності) розпізнавання структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж, які працюють в умовах зовнішніх руйнуючих впливів, шляхом вдосконалення та впровадження інтелектуальних методів *Data Mining* на основі математичної теорії поля напрямків.

Проаналізовані проблеми і методи розпізнавання структури частково недоступних для моніторингу бездротових комп'ютерних мереж. Розроблено ймовірнісну приховану марковську модель стану мережі та метод її отримання на основі сигналів від працездатної частини елементів мережі. Розроблено математичну модель стану елементів загальної структури пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі у вигляді тривимірних полів напрямків та просторових частот. Розроблено систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень при розпізнаванні структури пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж із частково недоступними елементами «OBMIN».

Ключові слова: штучний інтелект, пошкоджувана бездротова комп'ютерна мережа, поле інтенсивностей, поле напрямків.

ANOTATION

Stanovskyi A. The computer determine methods of the damaged wireless networks structure state. – The Manuscript.

The dissertation seeking scientific degree of the candidate of technical science in specialty 05.13.23 – The systems and facilities of artificial intelligence. – Odessa national polytechnic university, Odessa, 2016.

Dissertation is sanctified to the increase of operationability at maintenance of acceptable quality (authenticity) of the damaged wireless computer networks, that work in the conditions of external destroying influences, structures recognition, by perfection and introduction of Data Mining intellectual methods on the basis of mathematical theory of the fields directions.

The problems and methods of structure partly inaccessible for monitoring wireless computer networks recognition where analyzed. The probabilistic hidden Markov model of the network state and method of her receipt are worked out on the basis of signals from capable of network elements working part. The mathematical model of the elements state of general damaged wireless computer network structure is worked out as the three-dimensional fields directions and spatial frequencies. The system of making decision intellectual support at recognition of the damaged wireless computer networks with the partly inaccessible elements structure "OBMIN" is worked out.

Keywords: artificial intelligence, damaged wireless computer network, fields intensities, fields directions.

АННОТАЦИЯ

Становский А.А. Методы компьютерного распознавания состояния беспроводных сетей с быстроизменяющейся структурой. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.23 – Системы и средства искусственного интеллекта. – Одесский национальный политехнический университет, Одесса, 2016.

Диссертация посвящена повышению оперативности при сохранении приемлемого качества (достоверности) распознавания структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей, работающих в условиях внешних разрушающих воздействий, путем совершенствования и внедрения интеллектуальных методов *Data Mining* на основе математической теории поля направлений.

Проанализированы проблемы и методы распознавания структуры частично недоступных для мониторинга беспроводных компьютерных сетей. Разработана вероятностная скрытая марковская модель состояния сети и метод ее получения на основе сигналов от работоспособной части элементов сети. Разработана математическая модель состояния элементов общей структуры повреждаемой беспроводной компьютерной сети в виде трехмерных полей направлений и пространственных частот.

Разработана система интеллектуальной поддержки принятия решений при распознавании структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей с частично недоступными элементами «OBMIN».

Объектом исследования являются процессы интеллектуального распознавания текущего состояния структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей с частично недоступными элементами, действующих в опасных для их работоспособности условиях.

Предметом исследования являются вероятностные математические модели структуры повреждаемых частично недоступных беспроводных компьютерных сетей и методы их преобразования для дальнейшей структурной идентификации.

Для математического моделирования структуры повреждаемых частично недоступных для мониторинга беспроводных компьютерных сетей по сигналам, приходящим от работоспособной части элементов сети, использовали скрытые марковские модели, а также модели в виде трехмерного поля интенсивностей, трехмерного поля направлений и пространственных частот.

Для структурных и параметрических расчетов процессов восстановления поврежденных беспроводных компьютерных сетей использовали метод многоцелевой многоэкстремальной оптимизации систем со слабосвязанными элементами.

Для верификации созданных моделей и численной оценки качества (достоверности) предложенных методов распознавания состояния быстроизменяющейся структуры повреждаемых частично недоступных для мониторинга беспроводных компьютерных сетей использовали теорию взаимной энтропии.

Для обоснования возможностей практического внедрения разработанных моделей и методов использовалось оборудование Разведывательного управления штаба Командования Сухопутных войск Вооруженных Сил Украины.

Получила дальнейшее развитие математическая модель структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей, в которой матрица вероятностей работоспособности отдельных элементов, полученная с помощью скрытых марковских моделей, преобразована в морфологически подобное ей поле интенсивностей, что позволило, рассматривая поле интенсивности как зрительный образ, выявить квазипериодическую структуру последнего в виде совокупности контурных линий на виртуальном изображении, порождающую большую информационную избыточность, и применить для снижения избыточности этой модели математический метод поля направлений.

Впервые предложена математическая модель переменной структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей, в которой элементы временной последовательности полей интенсивностей подчиняются некоторому достаточно сложному порядку, а именно многоконтурной упорядоченности текстуры с выраженной ориентацией полос и их плотности в каждой точке, представленная в виде трехмерных полей направлений и пространственных частот, что позволило, в итоге, применить эту модель в методе распознавания состояния структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей.

Получил дальнейшее развитие интеллектуальный метод структурной идентификации переменного состояния беспроводных компьютерных сетей, заключающийся в выявлении глобальных и локальных особенностей моделей таких сетей в виде трехмерных полей направлений и пространственных частот, и метод классификации состояния структуры сети на основе этих особенностей, что позволило повысить быстродействие распознавания структуры повреждаемых беспроводных компьютерных сетей и ликвидировать противоречие между оперативностью и качеством (достоверностью) работы системы распознавания.

Получил дальнейшее развитие метод оценки качества (достоверности) классификации, который заключается в представлении скрытой части беспроводной компьютерной сети в виде цепочки «передатчик – канал связи – приемник» и применении к нему математического аппарата взаимной энтропии, что позволило оценивать качество предложенного метода по значению этой энтропии.

Практическим результатом исследования являются составляющие интеллектуальной системы «ОВМІN» компьютерного распознавания структуры сложных повреждаемых объектов с частично недоступными для мониторинга элементами, к которым, в частности, относили беспроводные компьютерные сети, работающие в условиях, опасных для их работоспособности.

Практика подтвердила возможность за счет оперативного распознавания повреждений и своевременного восстановления поврежденных элементов сети повышения общего уровня структурной полноты последней на 22,3 – 26,3 %.

Ключевые слова: искусственный интеллект, повреждаемая беспроводная компьютерная сеть, поле интенсивностей, поле направлений.