

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СТАНОВСЬКИЙ Андрій Олександрович



УДК 004.942004.93'12

МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ
БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

05.13.23 – Системи та засоби штучного інтелекту

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
НЕСТЕРЕНКО Сергій Анатолійович
доктор технічних наук, професор

Одеса – 2016

ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ СТРУКТУРИ ЧАСТКОВО ПРИХОВАНИХ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ	14
1.1 Структурний стан частково прихованих ПБКМ та методи її підтримання в заданих межах	14
1.2 Резервування як метод відновлення працездатності частково прихованих елементів ПБКМ	19
1.3 Методи розкриття невизначеностей в топології мережевих структур	25
1.4 Підвищення оперативності розпізнавання структури ПБКМ за допомогою віртуального об'єкта	29
1.5 Інтелектуальні методи розпізнавання сталих структур	31
1.6 Висновки та постановка задач дослідження	37
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ОТРИМАННЯ ТРИВИМІРНОЇ ЙМОВІРНІСНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПБКМ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ	40
2.1 Віртуальні структурні математичні моделі ПБКМ в інформаційному просторі	40
2.1.1 Види об'єктів та їхніх віртуальних математичних моделей ..	40
2.1.2 Створення та інформаційна обробка математичної моделі теоретично можливого, але невідомого об'єкта – ПБКМ	46

2.2 Часова складність побудови тривимірної ймовірнісної математичної моделі ПБКМ із швидкозмінною структурою	54
2.2.1 Морфологічний метод дистанційного розпізнавання двовимірної структури ПБКМ	54
2.2.2 Метод розпізнавання стану «тривимірної» структури БКМ, пошкоджуваних під час експлуатації	60
2.3 Метод побудови ММТО на основі спостережуваних сигналів за допомогою прихованих марковських моделей	63
2.3.1 Теоретичні основи методу	63
2.3.2 Результат моделювання структури ПБКМ за допомогою ПММ	73
2.4 Висновки	75

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ ПБКМ У ВИГЛЯДІ ТРИВИМІРНОГО ПОЛЯ НАПРЯМКІВ ТА МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ	77
3.1 Метод дистанційного розпізнавання стану структури частково недоступної ПБКМ за допомогою віртуальної моделі у вигляді тривимірного поля інтенсивностей	77
3.2 Перетворення окремих «кадрів» тривимірного поля ймовірностей на двовимірне поле інтенсивностей	79
3.3 Розпізнавання стану структури ПБКМ за допомогою математичної теорії поля напрямків	91
3.3.1 Моделювання стану структури ПБКМ у вигляді двовимірного поля напрямків	91
3.3.2 Побудова моделі стану структури ПБКМ у вигляді тривимірного поля напрямків	100
3.3.3 Розпізнавання стану ПБКМ із швидкозмінною структурою за допомогою тривимірних полів напрямків та просторових частот	106

3.4 Висновки	108
РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА ЗАГАЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПБКМ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ «ОВМІН»	110
4.1 Система «ОВМІН» розпізнавання та відновлення структури частково недоступних до моніторингу ПБКМ	110
4.2 Розрахунки параметрів відновлення структури ПБКМ	112
4.3. Метод та результати оцінювання якості розпізнавання	116
4.3.1 Метод оцінювання якості роботи системи розпізнавання структури ПБКМ	116
4.3.2 Результати оцінювання якості роботи системи розпізнавання та відновлення структури БКМ	121
4.3.3 Практичні випробування запропонованих систем	122
4.4 Висновки	124
ВИСНОВКИ	127
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	130
ДОДАТКИ	151

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- БКМ – бездротова комп’ютерна мережа;
- ІТ – інформаційна технологія;
- МВО – метод віртуального об’єкта;
- ММ – морфологічна модель;
- ММНО – можлива (віртуальна) математична модель неможливого матеріального об’єкта;
- ММРО – можлива (віртуальна) математична модель реального об’єкта;
- ММТО – можлива (віртуальна) математична модель теоретично можливого, але неіснуючого або невідомого об’єкта;
- НМ – недоступний до моніторингу елемент;
- ПБКМ – пошкоджувана бездротова комп’ютерна мережа;
- ПІ – поле інтенсивностей;
- ПШ – пошкоджений елемент;
- ТПІ – тривимірне поле інтенсивностей;
- ПММ – прихована марковська модель;
- ПН – поле напрямків;
- ППР – підтримка прийняття рішень;
- ТПН – тривимірне поле напрямків;
- ШІ – штучний інтелект;

ВСТУП

Актуальність теми. Останнім часом, у зв'язку із розвитком енергетики, повітряного та космічного транспорту, військових технологій, тощо, все більшого поширення набувають так звані пошкоджувані 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 пошкодженої 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 он-лайн 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 спостереження.

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 elements, 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 технології 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.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ СТРУКТУРИ ЧАСТКОВО ПРИХОВАНИХ БЕЗДРОВОВИХ МЕРЕЖ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

1.1 Структурний стан частково прихованих ПКМ та методи її підтримання в заданих межах

Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі (БКМ), які дозволяють значно краще пристосовуватись до потреб великої кількості користувачів інформаційних систем [38, 39]. Більш того, існують об'єкти, в яких використання звичайних, дротових мереж просто неможливо, наприклад, рухомі машини (автомобілі, потяги, тощо), літаки, космічні апарати і т.п.

Широке використання таких мереж призводить до росту вимог до їхньої надійності, відмовостійкості та продуктивності. Висока надійність мережі забезпечується, в першу чергу, відсутністю явних і схованих вузьких місць і дефектів, що призводять як до параметричного уповільнення швидкості роботи в мережі, так і до структурної недосяжності окремих елементів бездротової мережі із-за виходу з ладу процесорів та комунікаційних компонентів [40]. При цьому істотним є час, затрачуваний на відновлення працездатності мережі.

Останнє породжує важливу характеристику систем відтворення працездатності БКМ – їхню оперативність.

Розв'язок завдань розпізнавання структури БКМ являє собою складне завдання ще й тому, що мережні структурні несправності діляться на різні типи, для пошуку кожного з яких необхідно використовувати різні методи і види обладнання для розпізнавання [41 – 43]. До цього слід додати, що надійність самих систем розпізнавання потребує постійної уваги дослідника [44, 45]. Пошук і усунення несправностей програмного забезпечення, як правило, не

входить до завдання структурного розпізнавання «рухомих» БКМ, і звідси виникає додаткова проблема відділення несправностей прикладного програмного забезпечення від несправностей мережі.

Крім цього, пошук структурних несправностей навіть одного типу ускладнюється відсутністю єдиного формалізованого підходу, загального алгоритму дій адміністратора. У практиці автоматизованого структурного розпізнавання та синтезу БКМ використовуються різні способи їхнього представлення, кожний з яких має свої переваги і недоліки, але не є єдиним [46].

Відсутність формалізованого методу визначення області підозрюваних несправностей призводить до високих часових витрат на проведення будь-якого експерименту і, отже, на пошук несправності. Також наразі відсутня єдина формалізована методологія, теоретично обґрунтоване морфологічне середовище [47, 48], що дозволяє локалізувати кожний з видів несправностей.

Це, в свою чергу, призводить до необхідності наявності у адміністратора досить високого рівня досвіду і знань в області морфологічного аналізу та прогнозування стану структури складних систем для забезпечення коректності постановки експерименту з розпізнавання [49 – 51]. Зазначені проблеми обумовлюють високі часові витрати на пошук несправності, а також звужують діапазон суб'єктів, що забезпечують оперативне розв'язання завдання пошуку структурних порушень БКМ.

Визначимо об'єкти навколишнього світу, для яких можуть створюватись та в яких можуть застосовуватись частково приховані «рухомі» БКМ із швидкозмінною структурою.

В роботі до них відносили частково приховані бездротові комп'ютерні мережі, експлуатація яких відрізняється, принаймні, такими характерними особливостями:

– невиконання або неналежне виконання функціональних «обов'язків» такої БКМ відповідального призначення призводить до значних матеріальних втрат;

– на стан структури такої БКМ під час її експлуатації одночасно та протилежно впливають дві зовнішні сутності: негативна, яка здатна фізично знищити елементи мережі, а також заблокувати зв'язки між ними, та позитивна, яка здатна відновити працездатність пошкоджених елементів та мереж (рис. 1.1);

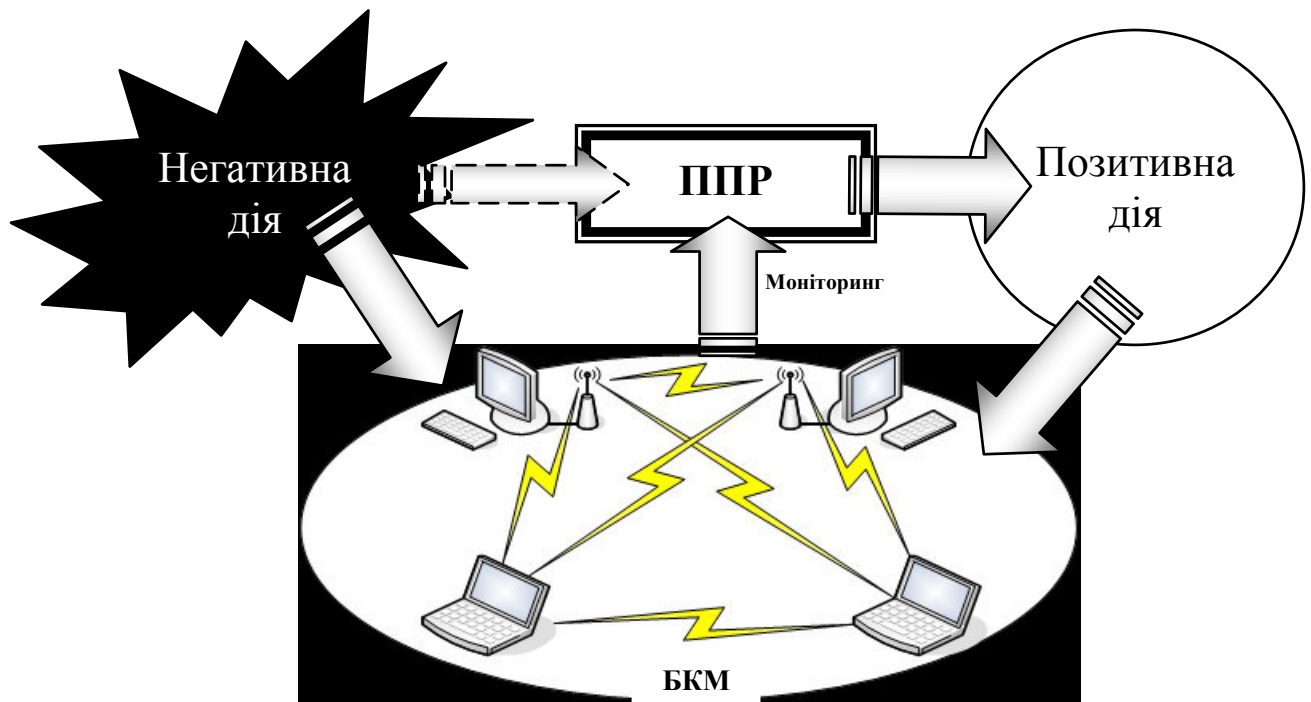


Рисунок 1.1 – Схема зовнішнього впливу на частково приховану БКМ відповідального призначення

– зв'язки між елементами мережі спроектовані таким чином, що не усі елементи можуть бути тестовані на працездатність безпосередньо з «бази», тому частина мережі з різноманітних причин (пошкодження елементів або зв'язків, перебування елементів поза зоною досягнення, тощо) недоступна для моніторингу, який міг чисельно підтвердити рівень її працездатності на поточний час;

– під час експлуатації такої ПБКМ із швидкозмінною структурою існує принаймні дві множини її елементів (які можуть перехрещуватися): множина

пошкоджених елементів та множина *недоступних* до моніторингу елементів та зв'язків між ними.

Остання властивість прихованих БKM із швидкозмінною структурою породжує множину недоступних елементів, про які достовірно невідомо, в якому поточному стані вони знаходяться, – тут можна говорити лише про ***ймовірність такого стану***.

Прикладом такої БKM може служити комп'ютерна мережа, частково розташована на серії безпілотних літальних апаратів-дронів (рис. 1.2), які виконують повітряне спостереження за деяким об'єктом та зв'язані поміж собою та базою (або декількома, пов'язаними у власну мережу, базами) безпроводним зв'язком.



Рисунок 1.2 – Безпілотний літальний апарат із встановленим комп'ютерним елементом БKM

Зауважимо, що зв'язки між елементами бази можуть бути як провідними, якщо, наприклад, вони функціонують в одному автомобілі, так і безпроводними, в залежності від можливостей та функціонального призначення всієї БKM в цілому.

Безпілотні літальні апарати широко використовуються не тільки безпосередньо для спостережень з повітря, але й в доставці різноманітних вантажів [52, 53].

В Україні планується в 2017 році завершити розробку конструкторської документації на перший «професійний» безпілотник, який зможе виконувати різні функції.

В залежності від завдання, такий апарат зможе нести різні комбінації вантажів та електронного обладнання [54].

Важливою прийнятою в роботі особливістю елементів частково прихованих ПБКМ із швидкозмінною структурою, встановлених на літальних апаратах (не обов'язково безпілотних) є те, що, з точки зору їхньої надійності (працездатності), вони повністю ототожнюються із самим літальним апаратом, тобто спеціалісту з відновлення байдуже, що вийшло з ладу: літальний апарат або встановлений на ньому бортовий комп'ютер.

Оскільки негативна сутність діє за своїм, невідомим для оператора ПБКМ «планом», який не може бути повністю визначеним, то й пошкодження сприймаються ним як *випадкові*, непередбачувані, і вся інформація про поточний стан структури ПБКМ, необхідна для планування та здійснення впливу позитивної сутності (рис. 1.1), може бути отримана лише безпосередньо шляхом моніторингу доступної частини, точніше того, що від неї залишилось після пошкоджень.

З такого визначення випливає, що найголовнішою проблемою експлуатації ПБКМ із швидкозмінною структурою є своєчасне підтримання її працездатності за рахунок оперативної компенсації пошкоджень, а план такої компенсації спирається на розрахунки, виконані на ймовірнісних знаннях про поточний стан БКМ.

Зі сказаного вище випливає також те, що єдиним шляхом до отримання знань про поточний стан БКМ в умовах неповних даних є застосування методів штучного інтелекту.

1.2 Резервування як метод відновлення працездатності частково прихованих елементів ПБКМ

Як було сказано вище, відновлення працездатності частково прихованих ПБКМ із швидкозмінною структурою може бути здійснене або функціональним резервуванням, тобто розширенням функцій існуючих елементів для заміщення пошкоджених (наприклад два безпілотних літальних апарати отримують команду піднятися вище і охопити при цьому площу відеоспостереження, яка була функціональною зоною пошкодженого апарата) (рис. 1.3), або структурним резервуванням, тобто повною заміною втраченого елемента БКМ на резервний (рис. 1.4).

Як відомо, резервування взагалі – це метод підвищення надійності ПБКМ введенням додаткових елементів і функціональних можливостей понад мінімально необхідних для нормального виконання цим об'єктом заданих функцій.

В той же час, *функціональне або навантажене резервування* – це метод підвищення надійності об'єкту, який передбачає використання здатності елементів виконувати додаткові функції замість основних або поряд з ними, а *структурне резервування* – метод підвищення надійності об'єкту, який передбачає використання надлишкових елементів БКМ, що входять до фізичної структури об'єкта [55]. В нашому випадку мова йде про окремі літальні апарати та встановлені на них елементи БКМ.

Зауважимо, що розробка методів будь-якого резервування не входить до завдань роботи, але як споживач результатів роботи інтелектуальних методів комп'ютерного розпізнавання та відтворення структури бездротових комп'ютерних мереж із швидкозмінною структурою цей напрямок представляє безумовну цікавість. Адже, проблема забезпечення надійності комп'ютерних мереж за рахунок резервування її елементів, яке забезпечує працездатність мережі на протязі заданого часу, прискіпливо розглядається з моменту створення таких мереж взагалі [56 – 59].

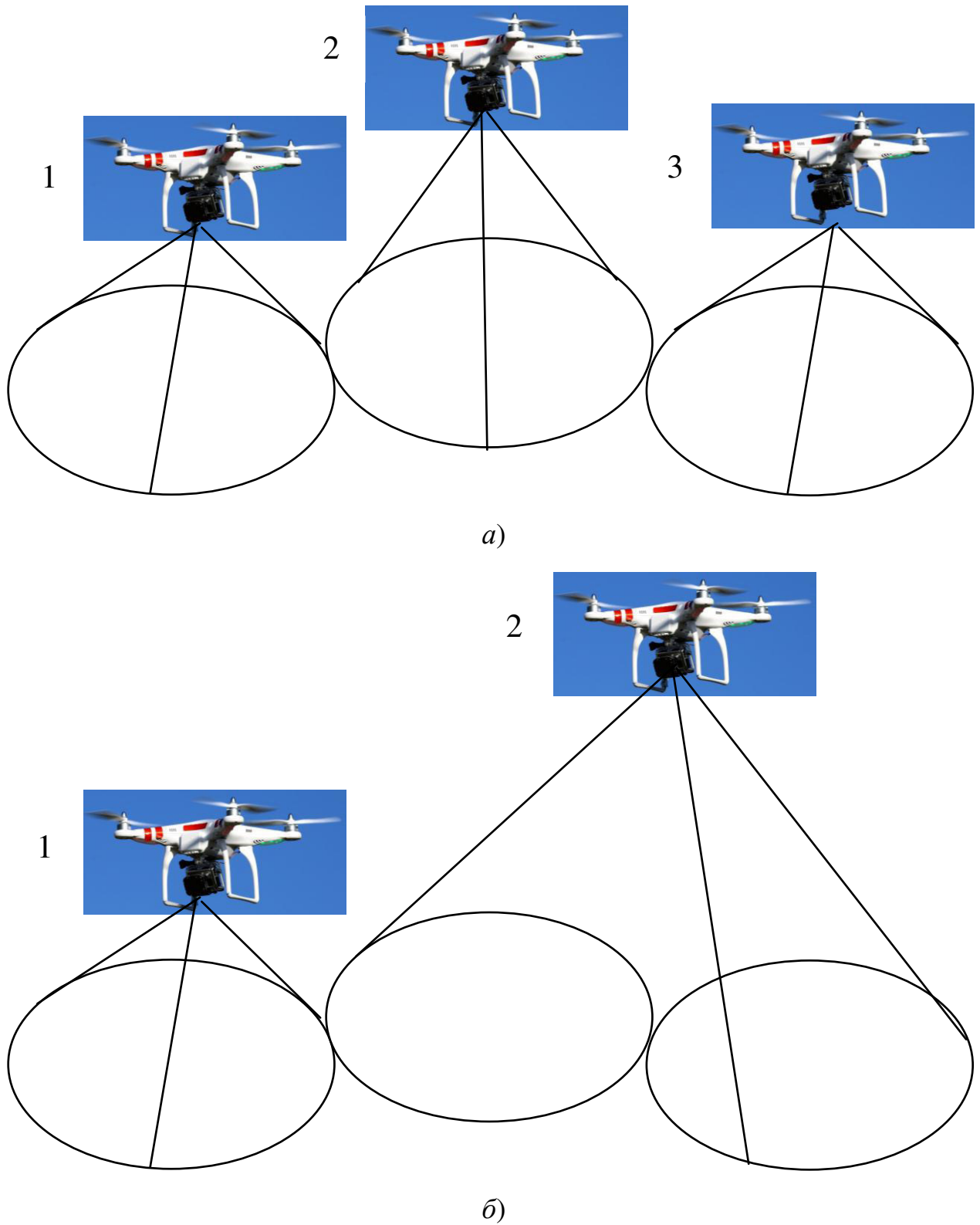


Рисунок 1.3 – «Відновлення» працездатності елементів ПБКМ за рахунок розширення функцій існуючих елементів:

a – до виходу з ладу елемента 3;

б – після виходу з ладу елемента 3 та його функціонального заміщення.

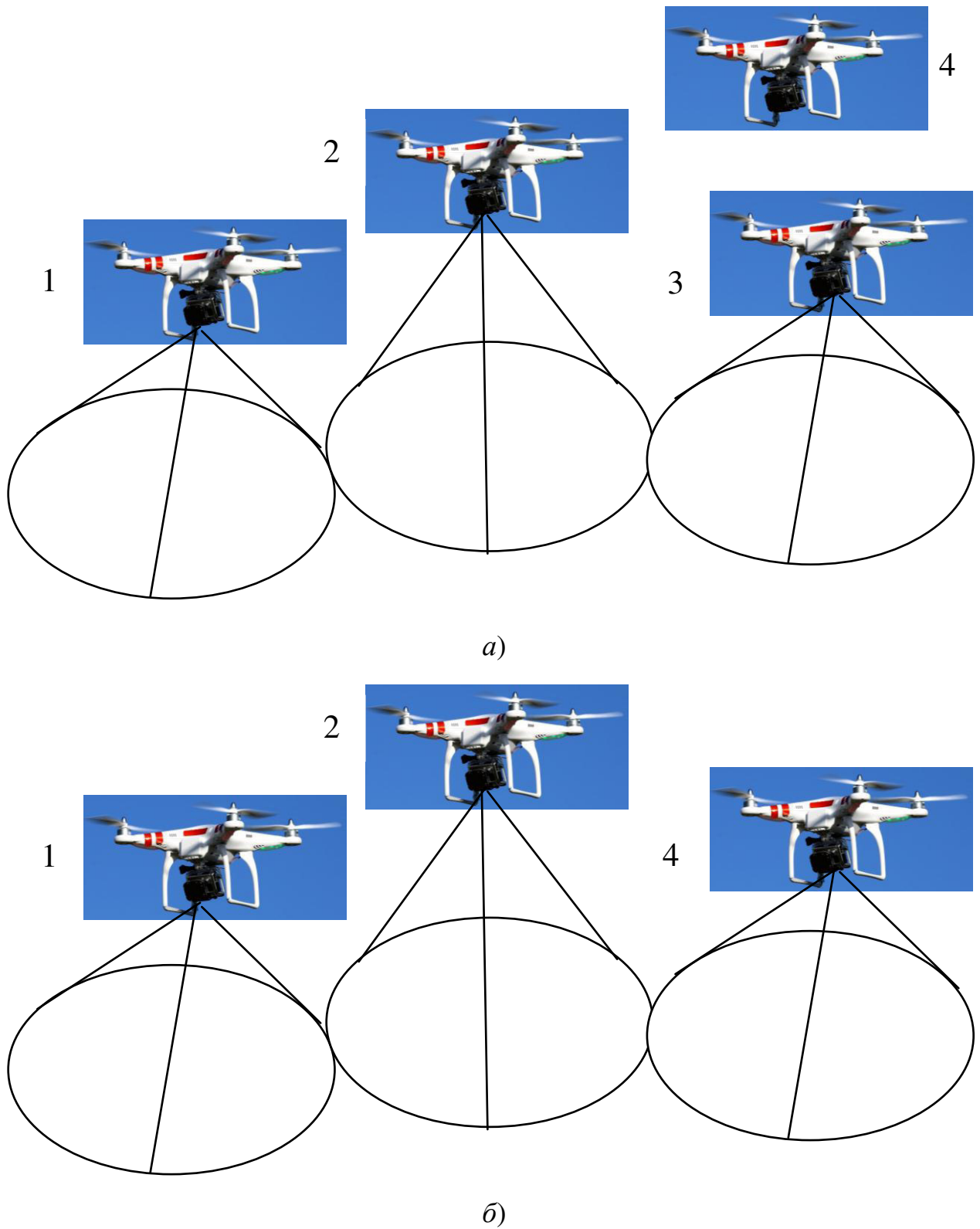


Рисунок 1.4 – Відновлення працездатності елементів ПБКМ за рахунок заміни втраченого елемента ПБКМ на резервний:

а – до виходу з ладу елемента 3;

б – після виходу з ладу елемента 3 та його структурного заміщення.

Мова йде про *роздільне резервування* – резервування, при якому резервуються окремі елементи об'єкта або їх груп, при цьому *основний елемент* – це елемент фізичної структури об'єкта, мінімально необхідної для нормального виконання об'єктом завдань, а *резервний елемент* – це елемент, призначений для забезпечення працездатності об'єкта в разі відмови основного елемента. Для пошкоджуваних БКМ застосовується так зване *ковзне резервування* – резервування заміщенням, при якому група основних елементів об'єкта резервується одним або декількома резервними елементами, кожен з яких може замінити будь-який основний елемент, що відмовив в даній групі [55].

При цьому, як правило, розглядаються дві причини відмови комп'ютерних мереж в цілому: вихід з ладу елементів обладнання або переповнення обчислювальних можливостей останнього (ємність пам'яті, швидкість обробки запитів, тощо) [60]. Кожна з цих причин має ймовірнісний характер, адже ані пошкодження, ані надходження запитів, в загальному випадку передбачити неможливо.

Відповідно, в усіх роботах такого напрямку мова йде лише про ймовірність того або іншого стану мережі на поточний час [61], що примушує дослідника при створенні моделей функціонування мережі вдаватися до використання багатьох, не завжди виправданих домовленостей типу: «Показники живучості обчислимо при наступних обмеженнях на роботу системи: а) обчислювальна система є високопродуктивною; б) режим функціонування стаціонарний; в) у разі виходу елемента з ладу, він відразу починає відновлюватися, тощо» [60].

Завдання, яке при цьому ставиться, як правило зворотне: потрібно визначити необхідний обсяг n , кількості елементів резерву, кількість m відновлюючих пристроїв (ВП) та ймовірність безвідмовної роботи основної підсистеми, на весь період часу встановленого режиму її функціонування, при заданій довірчій ймовірності [60], хоча зворотні задачі не завжди мають розв'язки взагалі [62].

Саме зворотні задачі найчастіше доводиться ставити в інженерній практиці при пошуку оптимальних рішень. Однак обчислювальна складність зворотних задач набагато вище, ніж прямих, що ставить під сумнів саму можливість використання для оптимізації у відновленні ПБКМ навіть надшвидкодіючої обчислювальної техніки [63].

Моделювання подібного типу зазвичай починаються також із сумнівних домовленостей на кшталт: «Нехай маємо обчислювальну систему зі структурною надмірністю, що складається з N елементів і основною підсистемою з n елементів, де $n \in N$. Нехай λ – інтенсивність відмов елементів мережі, а μ – інтенсивність відновлень» [64].

При цьому, для оператора-практика не говориться, де брати ті коефіцієнти λ та μ , що чисельно означає «відразу починає відновлюватися», хоча й зазначається, що «Припущення про те, що елемент, який вийшов з ладу відразу починає відновлюватися [65], не тільки спрощує модель, але і цілком обґрунтоване», і т. ін.

З усього цього робиться висновок про те, що для великих обчислювальних систем кількість елементів структурної надмірності або *кратність резервування* – відношення кількості резервних елементів до кількості елементів об'єкта [55] не повинна перевищувати 0,02 %.

Зроблено також висновок, що ймовірність безвідмовної роботи великих обчислювальних систем, практично не залежить від кількості поновлюючих пристроїв, а залежить від кількості елементів структурної надлишковості та інтенсивності відновлень елементів.

Вочевидь, усе це, – і попередні домовленості, і «остаточні» висновки не мають жодного відношення до об'єкта нашого дослідження – частково недоступної для моніторингу ПБКМ із швидкозмінною структурою. Адже «умови роботи» такої БКМ настільки суттєво відрізняються від умов функціонування «звичайної» комп'ютерної мережі, що дає підстави стверджувати незастосовність існуючих розрахункових та прогнозних моделей [66 – 68] до швидкопошкоджуваних комп'ютерних мереж.

Необхідно мати на увазі ще й те, що для таких мереж сам термін «обслуговування» має зовсім інше сенсове наповнення, ніж в системах масового обслуговування [69, 70], оскільки поняття «черга», «зона очікування» та інші зводяться тут до простого прямого зв'язку: рухомий апарат із своїм елементом загальної БКМ працездатний → канал зв'язку останньої із сервером незаблокований → «обслуговування», незалежно від часу, здійснюється в повному обсязі.

І тут неможливе *часове резервування* – метод підвищення надійності об'єкту, який передбачає використання надлишкового часу, виділеного для виконання завдань [55], – оскільки при виконанні багатьох оперативних завдань надлишкового часу не буває.

Коли мова йде про резервування елементів БКМ, розташованих на великій кількості безпілотних рухомих апаратів, то навряд чи мова може йти про *навантажений резерв*, тобто резервні елементи, які знаходяться в тому ж режимі, що й основний [71], або про *ненавантажений резерв*, коли резервні елементи, практично не несуть навантажень або знаходяться далеко від ПБКМ (такі елементи не зможуть швидко та в повній мірі замінити ті, що вийшли з ладу).

Залишається деякий проміжний, *полегшений резерв*, коли резервний елемент, знаходиться в менш навантаженому режимі, ніж основний. В нашому випадку це означає, що рухомий апарат з елементом БКМ, який знаходиться у полегшеному резерві, знаходиться недалеко від дії всієї множини апаратів, але в інформаційному обміні із сервером або іншими елементами участі не приймає, зберігаючи до певної міри своє інкогніто [55].

Особливе значення в роботі буде відведено *інформаційному резервуванню* – методу підвищення працездатності об'єкту, який передбачає використання деякої надлишкової інформації, яка зберігається на серверах мережі поряд з мінімально необхідною для виконання завдань. Саме такий надлишковий інформаційний резерв буде покладено в основу методу розпізнавання поточного стану ПБКМ з метою її відновлення.

1.3 Методи розкриття невизначеностей в топології мережевих структур

Після більш-менш тривалої експлуатації ПБКМ в важких умовах, загрожуючих пошкодженнями та, навіть, втратами її елементів та зв'язків між ними, «базовий» оператор на сервері втрачає відомості про поточний стан недоступних до моніторингу елементів [72, 73].

Як відомо, за допомогою інтелектуальної обробки сигналів, які залишаються на доступних елементах, можна отримати інформацію про ймовірність працездатності недоступних [43, 74]. Ця інформація відбивається на зміненій матриці суміжності у вигляді дрейфу одиниць, які містяться в ній, в напрямку нуля, відповідно до зниження ймовірності існування колись стовідсотково ймовірного зв'язку.

В той же час, на справних серверах бездротової мережі під час її роботи накопичується багато інформації, яка може взагалі не використовуватися для основної роботи, але яка, в той же час, містить на прихованому рівні важливі знання про структуру мережі та її «історію» від початку експлуатації до поточного часу.

Важливо, що з виходом з ладу окремих структурних одиниць системи, інформація, яка зберігається на доступних вузлах залишається (до певних меж) інформативною з точки зору розпізнавання. Такі знання носять безумовно ймовірнісний характер, але використання сучасних інтелектуальних методів «витягування» корисних знань з, на перший погляд, неінформативних джерел інформації робить цей шлях до розпізнавання структури бездротових комп'ютерних мереж вельми актуальним.

Для оцінки структурної надійності резервованих мереж існують різні методи [41]. В основі багатьох з них – знаходження математичної залежності між ушкодженням структури системи та її залишковою працездатністю [44, 75]. Однак подібний аналіз частково прихованої системи утруднений як раз тим, що стан системи, цілісність і пошкодження її структури не можуть бути визначені безпосередньо: простим оглядом або будь-яким зондуванням. У цьому випадку

доводиться користуватися деякими непрямими сигналами [76].

В методі оцінки залишкової структури на основі характеристик непрямого сигналу повинен бути передбачений певний механізм аналізу останнього, який дозволяє отримати бажаний результат. Застосовувані при цьому математичні моделі можна поділити на детерміновані та статистичні. Детерміновані використовуються, якщо відомі фундаментальні характеристики сигналу: ряд Фур'є або, наприклад, сума експонент. У такому випадку досить просто описати подібну модель – для цього потрібно підібрати (обчислити) її параметри. Моделі, які базуються на статистичних характеристиках сигналу описують гауссові, пуассонівські, марковські, а також подібні процеси [77 – 79].

Будь-яка система розпізнавання надійності пошкоджуваних під час зберігання та експлуатації мережевих об'єктів, тобто об'єктів, які складаються з окремих елементів та зв'язків між ними, потребує, як мінімум, відомостей про початковий стан їхньої структури, а також результатів аналізу структури поточного стану. Якщо подібні об'єкти спочатку або в результаті пошкоджень частково *недоступні* для моніторингу, з таким аналізом виникають проблеми [80].

В цьому випадку дослідник має змогу отримати лише обмежену інформацію про значення деяких характеристик *доступної* частини мережевого об'єкта за деякий період до поточного часу включно. Це можуть бути вимірювані на доступній частині часові тренди параметрів стану термодинамічних систем (температура, тиск, концентрація, тощо), механічних характеристик технічних систем (напруження, деформація, тощо), інформаційних складових комп'ютерних мереж та багато іншого.

Зрозуміло, що в цьому випадку наявність лише частини інформації про стан структури мережевого об'єкта, яку, тим не менш, необхідно розпізнати, відносить систему розпізнавання до систем, що навчаються. Такі системи автоматизовано розпізнають образи в умовах частково втрачених або вимушено розпаралелених даних, вони можуть з деякою вірогідністю й помилятися. Все

це є ознакою систем із штучним інтелектом [81, 82].

Треба також мати на увазі те, що надійність технічних систем в цілому визначається властивостями їх елементів і зв'язків між ними. При цьому наявності декількох елементів у системі важливою проблемою оцінки надійності останньої є врахування значущості кожного елемента і його вкладу в надійність системи в цілому [83, 84].

У разі високих вимог до надійності технічних систем, наприклад, при експлуатації атомних станцій, їх елементи піддаються класифікації, що визначає як вибір елементів, так і всі рішення, пов'язані з їх технічним обслуговуванням [85].

При розгляді мережевої надійності інформаційних мереж останні зазвичай описуються графом, де ребра відображають мережеві канали, а в якості вузлів виступають робочі станції, сервери, повторювачі, перемикачі, маршрутизатори або інші пристрої [86].

Вихід з ладу робочої станції (термінального вузлу) створює такі проблеми її користувачеві, як і інші користувачі, швидше за все, не помітять, але відмова сервера позначиться на роботі всіх його клієнтів, в тому числі і віддалених. Вихід же з ладу маршрутизатора (якщо це транзитний вузол) може вплинути на роботу цілого регіону. Звідси видно, що окремі вузли можуть по-різному впливати на роботу мережі в цілому.

Таким чином, параметри надійності часто залежать від вектора завантажень (списку значень завантажень каналів, які впливають на доступність та якість обслуговування). З цієї причини при формулюванні задачі оцінки надійності визначають, які з параметрів важливі: зв'язність, пропускну здатність, час відновлення зв'язності або мінімізація затримок обслуговування.

На практиці, навіть використовуючи найпродуктивніші обчислювальні системи, можна оцінити надійність мережі лише з обмеженою кількістю вузлів. З-за тривалості прямих обчислень складності алгоритмів багато дослідників обмежуються лише оцінкою можливих меж надійності [87, 88].

Через відсутність прийнятної моделі механізму втрат в мережі та

складності розрахунку мережевої надійності найчастіше використовуються спрощені моделі з дискретною ймовірністю, в яких передбачається, що мережеві компоненти (вузли і ребра) можуть перебувати лише у двох станах: працює або не працює.

При цьому, як правило, стан будь-якого мережевого компонента описується випадковою величиною, яка не залежить від стану інших компонентів.

У багатьох випадках можуть відмовляти як дуги, так і вузли. Отже, доводиться вивчати моделі, здатні реагувати і на відмови вузлів, і на обриви дуг [89].

Для випадку орієнтованих мереж за допомогою топологічного перетворення завдання з ненадійними ребрами і вузлами можна звести до задачі з абсолютно надійними вузлами і ненадійними ребрами. У кожному випадку дуга, яка заміщує вузли, успадковує характеристики відповідних вузлів.

Таким чином, багато практичних додатків вимагають використання моделей, як з різною надійністю компонентів, так і з різним внеском цих компонентів в надійність системи в цілому.

Життєвий цикл об'єктів – складних технічних систем (наприклад, комп'ютерних мереж, транспортних засобів, тощо) визначається значною кількістю зовнішніх експлуатаційних факторів, частина з яких носить детермінований або стохастичний характер. До цих факторів належать різні умови зовнішнього середовища, експлуатаційне навантаження, змінність роботи, підготовленість обслуговуючого персоналу, загальна культура виробництва, тощо.

В результаті, формується поточний стан життєвого циклу кожної системи, обумовлений множиною внутрішніх факторів – справністю або пошкодженням тих або інших зв'язків або вузлів, втомую елементів конструкції і т. п. Особливістю як зовнішніх, так і внутрішніх чинників є те, що їх значення можуть суттєво відрізнятись у кожного елемента з множини об'єктів, що

складають систему. Це пов'язано як з об'єктивними (наприклад, кліматом регіону, де експлуатується система), так і з суб'єктивними обставинами, які мають відношення до конкретних виконавців.

В будь-якому випадку, зважаючи на особливості використання саме цього виду бездротових комп'ютерних мереж, найважливішою характеристикою того або іншого методу розпізнавання працездатності шляхом розкриття невизначеностей в топології мережевих структур є його часова складність. Оскільки відомі методи найчастіше складаються з окремих послідовних етапів переробки інформації, часто виходить так, що один або два етапи «тягнуть назад» по цьому показнику увесь метод.

Розглянемо існуючі шляхи боротьби із цим явищем за допомогою підвищення оперативності «вузьких місць» таких методів.

1.4 Підвищення оперативності розпізнавання структури ПБКМ за допомогою віртуального об'єкта

Одним з суттєвих методів заміни часово складних етапів в процесах розпізнавання є, так званий, метод віртуального об'єкта.

Віртуальним об'єктом називають такий уявний (проміжний) стан об'єкта, який не може бути відтворений в реальній практиці, але на рівні моделі може бути використаний для потреб розпізнавання [63].

Віртуальні об'єкти можна використовувати на всіх етапах життєвого циклу об'єкта розпізнавання .

Наприклад, з метою оптимізації конструкцій та умов експлуатації об'єктів машинобудування віртуальні об'єкти використовуються при проектуванні деталей оптимальної форми, проектуванні та експлуатації вузлів і деталей машин, які підлягають регенерації на випадок пошкодження, а також з метою зниження часової складності управління швидкоплинними процесами в машинах.

Хай, наприклад, для оптимізації певного об'єкта в рамках застосованого методу оптимізації треба здійснювати дискретне перебирання деякого параметра А, але розв'язуючий алгоритм такий рух забороняє (заборона А). Хай рухом вздовж параметру В також можна оптимізувати об'єкт (назвемо цей процес *квазіоптимізацією*), але такий рух забороняє фізична або інша природа самого об'єкта (заборона В).

В практиці реального моделювання заборона В нездоланна: неможливо створити об'єкт, який складається *одночасно з різних* матеріалів або на який в одній точці *одночасно* діють сили *різної* величини. Інтелектуальна технологія «метод віртуального об'єкта» такі ситуації дозволяє, роблячи заборону В не абсолютною, а такою, яка має деяку скінченну «жорсткість». Тоді, якщо заборона В менш жорстка, ніж заборона А, то рухаючись у напрямку В, знайдемо квазіоптимальний (віртуальний) об'єкт. Далі залишається фінішний перехід від квазіоптимального до оптимального об'єкта. Задача розв'язана й жорстка заборона А обійдена [63].

Результат – значне зниження часової складності оптимізації. Таким чином, метод віртуального об'єкта складається, як мінімум, з двох етапів: квазіоптимізації і фінішного переходу. Різноманітність підходів дозволяє використовувати цей метод як на етапі проектування, так і на етапі управління об'єктом.

У практиці *проектування* машинобудівних об'єктів найчастіше доводиться оптимізувати конфігурацію деталей, оскільки властивості їх матеріалу та зовнішні впливи набагато менше залежать від бажання конструктора. Пряма задача використовується, в основному, при аналізі варіантів проекту. При проектуванні складних об'єктів результат розрахунку не завжди очевидний, і оптимальне рішення виходить тільки після генерування й відкидання декількох проміжних варіантів.

Метод віртуального об'єкта в проектуванні використовується в сукупності з чисельними методами (наприклад методом скінченних елементів) і забезпечує прискорений розрахунок оптимальних векторів конфігурації деталей

механічного вузла і (або) їхніх властивостей по відомих векторах зовнішнього впливу на вузол і припустимій реакції на цей вплив.

В практиці оптимізації плану розпізнавання та відтворення ПБКМ із швидкозмінною структурою метод віртуального об'єкта, очевидно, може бути застосовний до відповідної перебудови загальних методів класифікації із включенням до них існуючих інтелектуальних методів розпізнавання мережевих структур, перероблених під швидкозмінні умови існування та цілей використання ПБКМ.

1.5 Інтелектуальні методи розпізнавання сталих структур

Завдяки проміжному перетворенню відбитків стану структури БКМ у вигляді сигналів від доступних елементів до деякої функції інтенсивностей з'являється можливість застосування до діагностики БКМ великої кількості існуючих на сьогодні методів обробки останніх.

Так, відомий метод, в основу якого покладені інтелектуальні структурні статистичні моделі [80], не передбачав створення та обробку проміжних функцій інтенсивностей, а результат тестування частково недоступних мереж цим методом не задовольняв потреби в підтримці працездатності систем із швидкозмінною структурою. В методі використовували способи фільтрації, які ґрунтуються на раціональному використанні даних як з робочої точки, так і з її околиці [90].

При вирішенні задач фільтрації використовували ймовірнісні моделі функції інтенсивностей і застосовували статистичні критерії оптимальності. Це пов'язано з випадковим характером можливих завад і прагненням отримати мінімальну в середньому різницю між результатом обробки та деякого «ідеального» сигналу, який відбиває невідомий реальний стан структури ПБКМ.

Розпізнавання швидкозмінних структур прихованих ПБКМ має загальну

рису з будь-якими методами розпізнавання образів, – процес здійснюється в умовах неповних даних і потребує для свого здійснення навчання відповідних інтелектуальних систем [91 – 95].

Так, наприклад, ідентифікацію життєвого циклу множини станів складних технічних систем може бути здійснено за допомогою морфологічних моделей або моделі гетеросоціативної пам'яті, побудованій на багат шаровій нейронній мережі.

Морфологічна модель може співставити будь-якій структурі деяке число, яке може бути використане при розпізнаванні [42, 75, 96]. Головний недолік методу – відносно низька швидкість роботи із-за великої кількості машинних операцій, виконуваних в його рамках [89, 97].

Натомість існують методи інтелектуального (побудованого на знаннях) розпізнавання стану частково недоступних для моніторингу технічних систем [97], коли досліднику вдається отримати ймовірнісну оцінку стану недоступних елементів (а, отже, і всієї БКМ) по сигналах від доступних. На жаль, такі методи відрізняються низькою швидкістю з-за своєї складності [80], або невеликою точністю [43].

Так, нейронна мережа в процесі навчання також набуває здатність будувати асоціацію між вхідною і вихідною інформацією, тобто прогнозувати розвиток об'єкта.

В якості вхідної інформації використовуються часові ряди, що представляють значення факторів, які враховуються на заданому інтервалі часу. Кількість входів у нейронів першого шару визначається кількістю зовнішніх факторів, які враховуються, а кількість нейронів останнього шару – кількістю місць пошкоджень системи, що враховуються [98, 99].

Тому, при побудові архітектури нейронної мережі на першому етапі здійснюють відбір зовнішніх факторів, які враховуються, і виділення внутрішніх факторів за допомогою статистичної обробки результатів комп'ютерних і (або) полігонних випробувань одного з об'єктів – типового представника множини складних технічних систем.

Інформація, яка при цьому накопичується, використовується також і для навчання мережі. В якості елемента навчальної вибірки (<поточний вхід>, <бажаний вихід>) використовується пара (<умови експлуатації БKM>, <реальний стан БKM після експлуатації>) [100, 101].

Після налаштування синаптичних ваг і зміщень нейронів мережа може бути використана для кластеризації реальних поточних умов експлуатації будь-якого елемента БKM за класами, які відрізняються станом множини можливих місць пошкодження (справний, частково пошкоджений, пошкоджений повністю), тобто для прогнозування технічного стану мережі на тому чи іншому інтервалі її життєвого циклу.

В процесі експлуатації на технічний стан об'єктів подібного типу має суттєвий вплив стохастична складова зовнішніх впливів. Для її врахування на вході кожного нейрона першого шару передбачений додатковий синапс, на який надходить сигнал від генератора випадкових чисел, а навчання мережі продовжується на всьому протязі моделювання після надходження кожної нової навчальної вибірки – інформації про стан об'єктів в реальній експлуатації [102 – 104].

З іншого боку, в останній час значного поширення отримали методи обробки зорових зображень [90, 105 – 111] та відеопотоків [112, 113], сучасних інтелектуальних методів розпізнавання образів [114 – 117], тощо, які надають можливості «витягнути» з навіть пошкодженого зображення суттєву інформацію, необхідну для діагностики поточного стану, відтворення або реінжинірингу БKM – методи *Data Mining*.

Як відомо, *Data Mining* – це дослідження та виявлення комп'ютером (алгоритмами, засобами штучного інтелекту) в «сирих» даних прихованих знань, які раніше не спостерігалися, нетривіальні, але є практично корисними та доступними для інтерпретації людиною [118, 119].

Залишається лише не до кінця розробленою проблема відображення складної структури на зорове зображення, тобто структурна візуалізація складних систем [120, 121].

Дійсно, структура БКМ – це не зоровий образ. Можна лише намагатися розглянути деякий інший, віртуальний образ, назовемо його функцією інтенсивностей $z(x_1, x_2)$, однозначно пов'язаний із такою структурою. Якщо така функція відображена у вигляді інтенсивностей (яскравостей) окремих точок із координатами x_1 та x_2 на екрані комп'ютера або паперовому носії, то отримуємо те ж двовимірне зображення.

До цієї віртуальної моделі структури ПБКМ можна застосувати метод обробки двовимірних зображень, який називається поля напрямків [122, 123]. Такий метод широко використовується для ідентифікації особистості по дактилограмах [124, 125] в криміналістиці, аналізу кристалів сльози [74, 126] та крові [127 – 129] в медицині, тощо.

Отримані при цьому поля напрямків дозволяють використовувати їх в алгоритмах для автоматизованих систем розпізнавання образів та апроксимації нерухомих зображень [90, 130 – 132].

Цей метод застосовний до квазіперіодичних зображень, які з інформаційної точки зору є надлишковими, тобто мають структурну надмірність [133]. Основним чинником надмірності такого зображення є так звана несуча частота, яка візуально сприймається як множина контурних ліній [134, 135].

Розглянемо підхід, заснований на обчисленні поля напрямків функцій інтенсивностей (зображень) зі структурною надмірністю [124, 136, 137]. Саме поле напрямків є найбільш зручним носієм інформації для вирішення завдання класифікації і розпізнавання зображень зі структурною надмірністю. В якості представників даного класу функцій розглядаються функції квазіперіодичних структур.

Будь-яка інформаційна технологія розпізнавання стану складних пошкоджуваних відновлюваних частково недоступних об'єктів, до яких, безумовно, відносяться БКМ, починається із створення деякого образу останніх, – функції інтенсивностей, що має, тим не менш, усі атрибути першого, необхідні для подальшої математичної комп'ютерної обробки [138,

139]. Для формування різних геометричних характеристик такого класу зображень також використовується підхід, заснований на обчисленні поля напрямків [140].

Таким чином, полем напрямків називають поле кутів ψ переважного напрямку смуг в локальній околиці точки функції інтенсивностей (рис. 1.5).

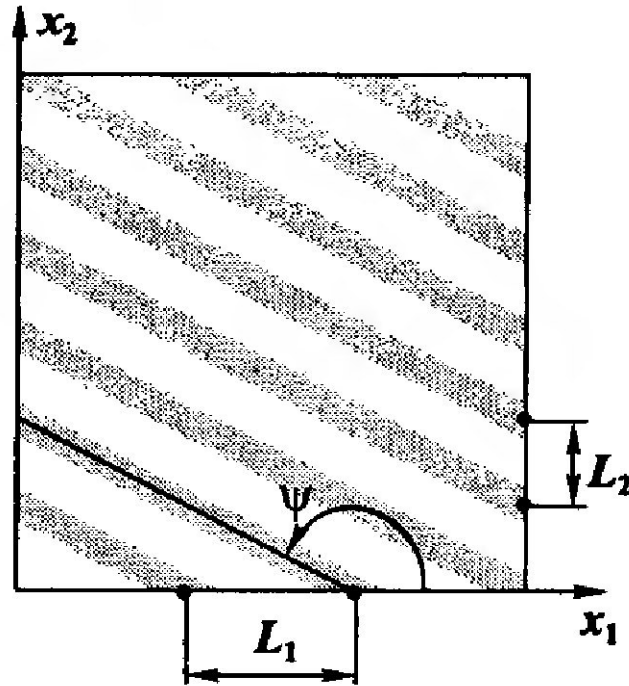


Рисунок 1.5 – Альтернативний опис поля напрямків

Кут напрямку смуги $\psi(x_1, x_2)$ в даній точці дорівнює, за визначенням, куту дотичної до лінії рівня функції інтенсивності (яскравості). Поле напрямків є зручним носієм інформації для розв'язання завдання класифікації і розпізнавання функцій інтенсивностей із квазіперіодичною структурою [141, 142].

Побудова іншого перетворення функції інтенсивностей – *поля просторових частот* описана в [142, 143]. На рис. 1.6 наведено приклад поля напрямків $\psi(x_1, x_2)$ (б) і поля просторових частот $\omega(x_1, x_2)$ (в) для тестового смугастого зображення (а).

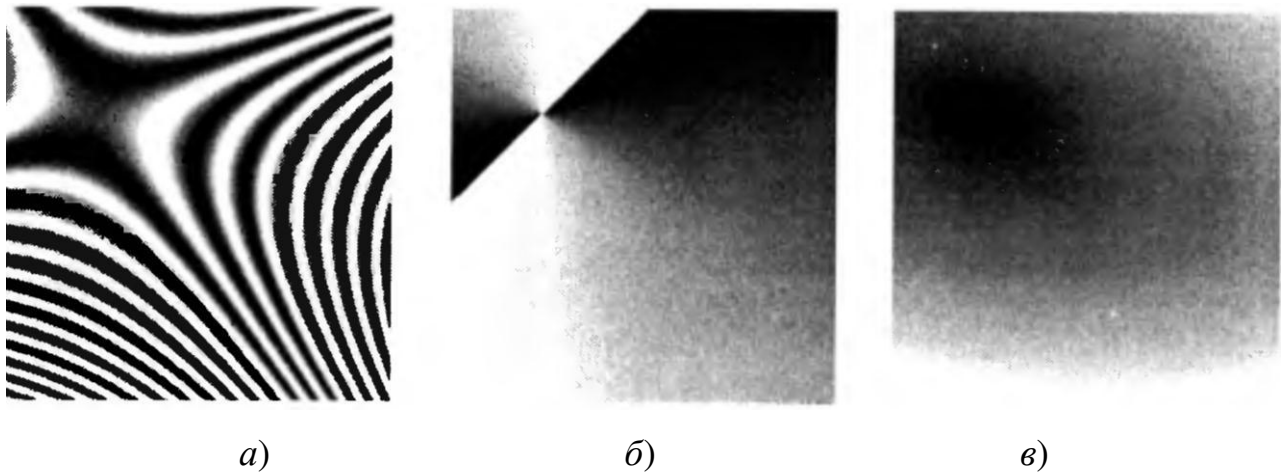


Рисунок 1.6 – Квазіперіодична смугаста структура та її характеристики:

a – початкова функція інтенсивностей;

б – поле напрямків;

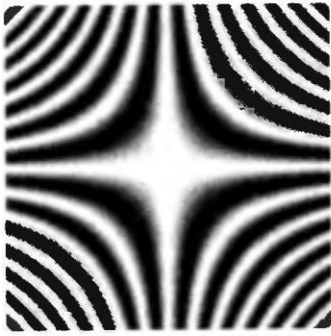
в – поле просторових частот

На рис. 1.7 показано кілька видів найпростіших конфігурацій полів напрямків для «стандартних» тестових смугастих зображень [144, 145].

Як бачимо, кожне поле напрямків, як і початкове зображення, наприклад відбитків пальців, також має свої індивідуальні унікальні особливості, які, завдяки видаленню надлишкової інформації, надають можливість набагато швидше класифікувати початкове зображення [146, 147].

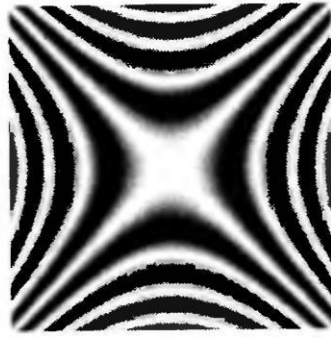
1.6 Висновки та постановка задач дослідження

Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі, які дозволяють значно краще пристосовуватись до потреб великої кількості користувачів інформаційних систем. Більш того, існують об'єкти, в яких використання звичайних, дротових мереж просто неможливо, наприклад, рухомі машини (автомобілі, потяги, тощо), літаки, космічні апарати і т.п.



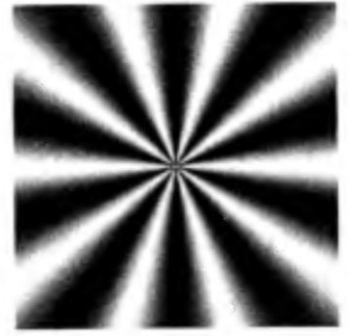
$$f(x_1, x_2) = A \cos kx_1x_2$$

a



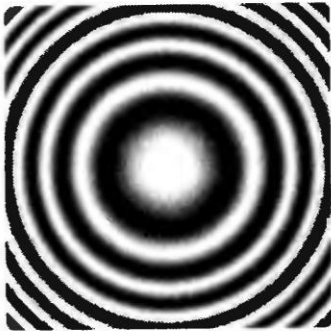
$$f(x_1, x_2) = A \cos k(x_1^2 - x_2^2)$$

б



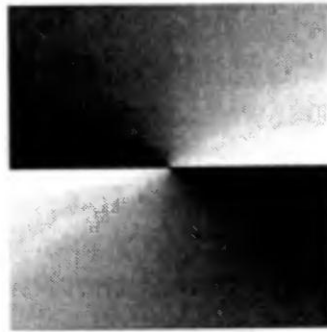
$$f(r, \varphi) = A \cos k\varphi$$

в



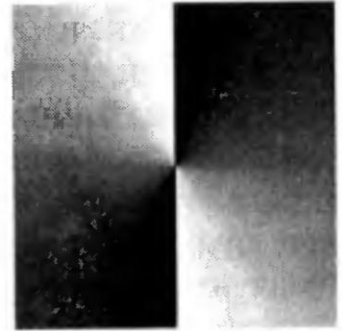
$$f(x_1, x_2) = A \cos k(x_1^2 + x_2^2)$$

г



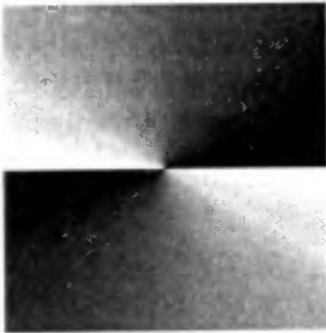
$$\operatorname{tg}\psi = -\frac{x_2}{x_1}$$

д



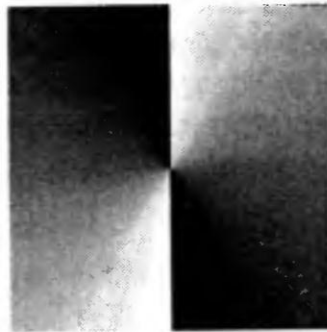
$$\operatorname{tg}\psi = \frac{x_1}{x_2}$$

е



$$\operatorname{tg}\psi = \frac{x_2}{x_1}$$

ж



$$\operatorname{tg}\psi = -\frac{x_1}{x_2}$$

з

Рисунок 1.7 – Стандарні конфігурації смугастих зображень (*a, б, в, г*) та відповідні до них поля напрямків (*д, е, ж, з*)

Найголовнішою проблемою експлуатації пошкодженої частково прихованої ПБКМ відповідального призначення є підтримання її працездатності за рахунок компенсації пошкоджень, а план такої компенсації

спирається на розрахунки, виконані на ймовірнісних знаннях про поточний стан ПБКМ. Єдиним шляхом до отримання знань про поточний стан ПБКМ (розпізнавання стану мережі в умовах неповних даних) є застосування методів штучного інтелекту.

Робота системи підтримки працездатності зводиться до перерозподілу функцій елементів ПБКМ або до відновлення її структури за рахунок полегшеного резервування, тобто використання резервних елементів, які на початок активної фази життєвого циклу БКМ знаходилися в менш навантаженому режимі, ніж основний.

Аналізом методів розкриття невизначеностей в топології мережевих структур виявлені способи відтворення таких структур, які спираються на інтелектуальні методи морфологічних моделей, прихованих марковських моделей, нейронних мереж та полів напрямків, показано, що ці методи для випадку їхнього застосування для розпізнавання структури ПБКМ із швидкозмінною структурою або недостовірні з-за браку початкових даних або дуже повільні, із-за чого не можуть бути застосовані в *on-line* підтримці працездатності ПБКМ із швидкозмінною структурою.

Метод віртуального об'єкта, який може значно пришвидшити відповідні розрахунки, непридатний для відтворення стану структури частково прихованої БКМ відповідального призначення із-за відсутності необхідних швидкодіючих моделей для розпізнавання цієї структури як деякого образу, який постійно змінюється під час експлуатації БКМ.

Існуючий метод розпізнавання сталих структур, який спирається на математичну теорію поля напрямків, непридатний для інтелектуального аналізу швидкозмінних станів структур пошкоджуваних БКМ в якості деякого тренду, необхідного для ефективного планування та здійснення відновлення останніх.

Тому **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 пошкоджуваної 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 пошкоджуваної 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.

РОЗДІЛ 2

МЕТОД ОТРИМАННЯ ТРИВИМІРНОЇ ЙМОВІРНІСНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПБКМ ІЗ ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ

2.1 Віртуальні структурні математичні моделі ПБКМ в інформаційному просторі

2.1.1 Види об'єктів та їхніх віртуальних математичних моделей

Як випливає з аналізу, наведеному в Розділі 1, в практиці дослідження надійності ПБКМ часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (не спостережуваної, прихованої) частини останніх з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому. Ця необхідність випливає з того, що окремі елементи ПБКМ із швидкозмінною структурою в умовах ймовірного пошкодження, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються доступними (рис. 2.1). Як видно з рисунку, причиною цього можуть бути активне фізичне пошкодження елементів ПБКМ та (або) пошкодження зв'язків між цими елементами.

Відтворення працездатності ПБКМ з деякою ймовірністю потребує або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або відновлення за рахунок використання «гарячого» резерву елементів на діючому об'єкті. Практично це означає не відновлення початкової структури ПБКМ, а відновлення її функцій «будь якою ціною» [13].

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 її початкову структуру у вигляді графу $\mathbf{H}_{\text{об}100}$ (100 % початкової структури збережено), яка міститься, наприклад, в її описі, та про тренди деяких поточних вимірюваних характеристик (сигналів) $\mathbf{C}(t)$, $0 \leq t \leq t_{\text{пот}}$

від ПБКМ в цілому, отримані від елементів, що залишалися доступними, за певний період до поточної ітерації (рис. 2.2).

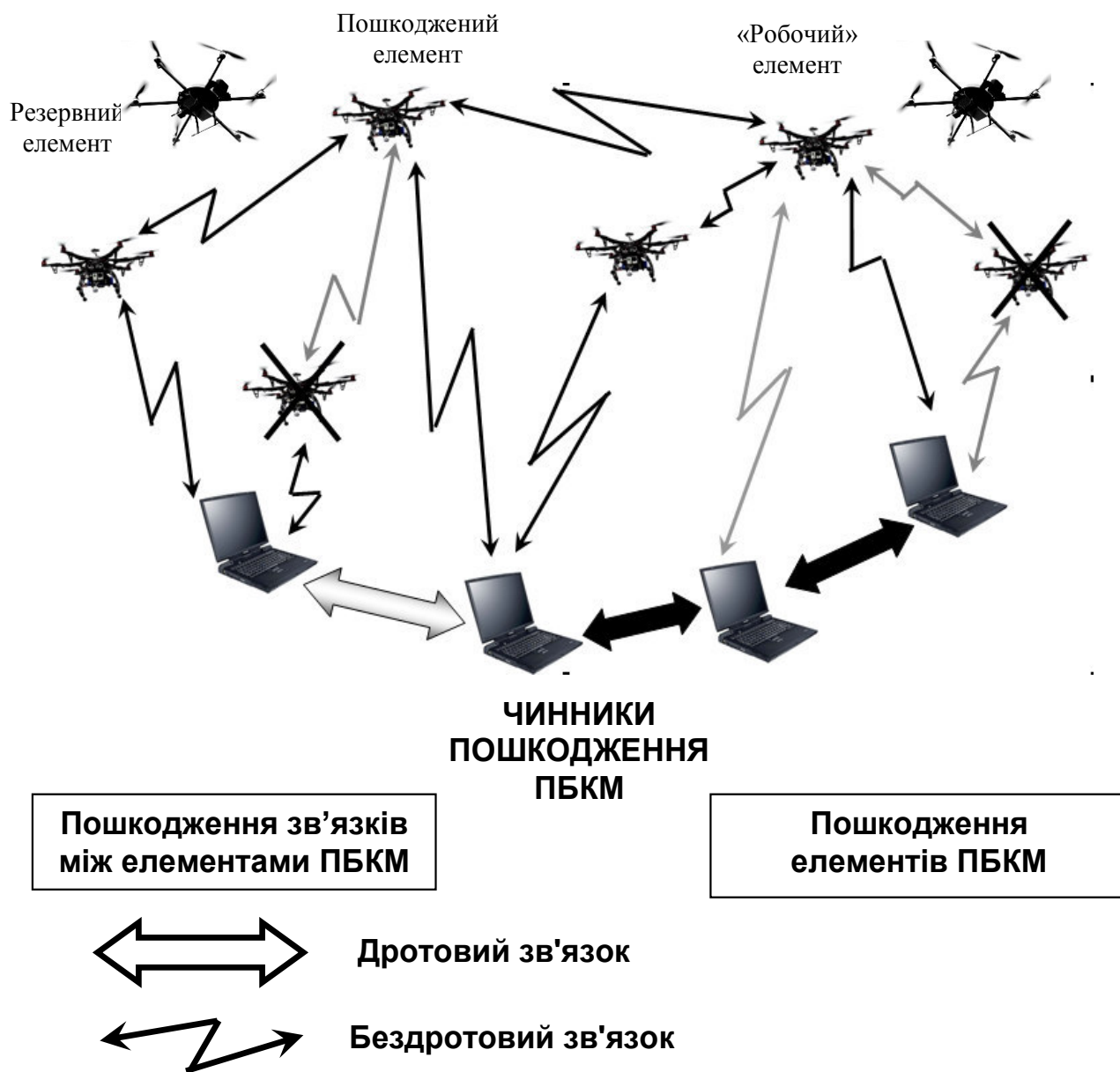


Рисунок 2.1 – Частково недоступні для моніторингу, активно пошкоджені резервовані бездротові комп'ютерні мережі із швидкозмінною структурою

Це можуть бути вимірювані на виході мережі або на її доступних елементах дані з протоколів обмінів між елементами ПБКМ, залишки сумісно оброблюваної інформації, тощо.

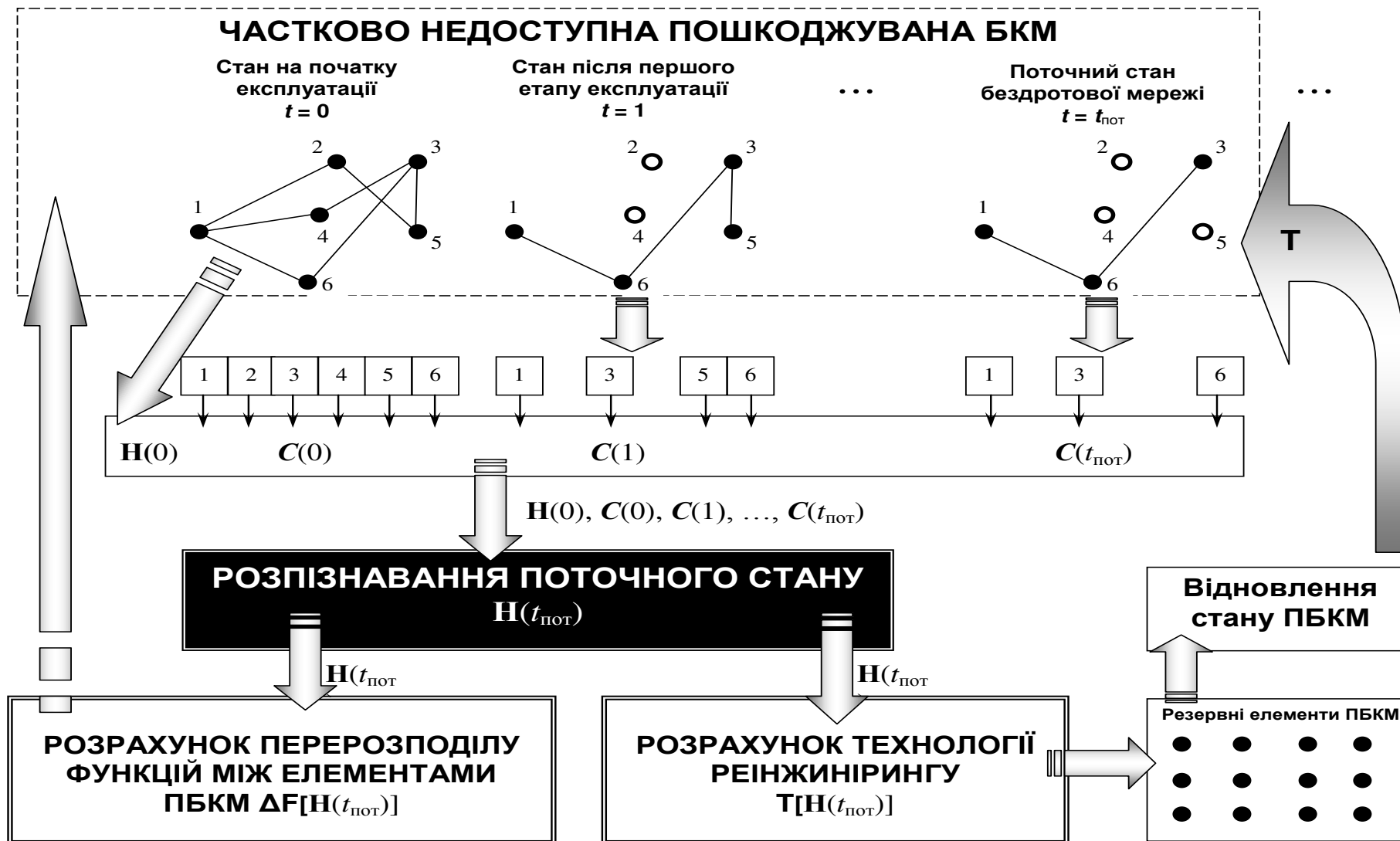


Рисунок 2.2 – Схема надходження інформації від частково недоступної для спостереження пошкодженої БКМ та її використання для перерозподілу функції окремих елементів БКМ і (або) відновлення пошкоджень

Таким чином, після перетворення доступної інформації, схема якого наведена на рис. 2.1, маємо реальний, але не до кінця відомий об'єкт – частково недоступну для спостереження ПБКМ – та отримуємо його віртуальну, але в деякому сенсі відому модель $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$ [1, 9]. Зауважимо, що прийнятий термін «віртуальний об'єкт» [148, 149] не зовсім коректний, оскільки сам об'єкт не може бути віртуальним, – він такий, «який він є», а віртуальною може бути лише модель цього об'єкта або деяка інтерпретація об'єкта «який би він міг бути, якщо б...».

Дійсно, як випливає з визначення, віртуальний (лат. *virtualis* – можливий) – об'єкт, який реально не існує, але може виникнути при певних умовах [150]. В англійській мові слово *virtual* з появою обчислювальної техніки набуло додатковий відтінок: «він (об'єкт) не існує в дійсності, але з'являється завдяки програмному забезпеченню» [151], що теж є ознакою моделі, а не самого об'єкта.

Філософія абстрагує ідею віртуальної реальності від її технічного втілення. Віртуальну реальність тлумачать як сукупність моделюємих реальними процесами об'єктів [152, 153], зміст і форма яких не збігається із цими процесами. Існування моделюємих об'єктів порівнюється з реальністю, але розглядається обособлено від неї – віртуальні об'єкти існують, але не в якості субстанції реального миру.

У той же час ці об'єкти актуальні, а не потенційні. «Віртуальність» реальності встановлюється стосовно «основної» реальності, яка її обумовлює. Віртуальні реальності можуть бути вкладені одна в іншу. При завершенні моделюючих процесів, що йдуть в «основній» реальності, віртуальна реальність зникає [154]. Прикладами віртуальної реальності, широко використовуваними в науці, є простори з розмірністю більше трьох [155], дробновимірні простори [156], дробові похідні [157] і багато іншого.

Останнім часом з'явився метод оптимізації різних процесів (механічних, гідравлічних, теплових, тощо) за допомогою *методу віртуального об'єкта* [158 – 162]. Застосуємо цей метод до процесу перерозподілу функцій елементів або

відновлення ПБКМ. Для цього спочатку проаналізуємо поняття «віртуальний об'єкт». Віртуальні об'єкти відносно реального світу можуть бути представлені чотирма видами:

- існування таких об'єктів в реальному житті неможливо в принципі;
- об'єкти містять елементи з позамежними щодо реальної практики параметрами;
- об'єкти містять елементи, виготовлення яких можливе, але вкрай неекономічне;
- об'єкти містять елементи, виготовлення яких можливе, але вкрай нетехнологічне.

Приклади віртуальних об'єктів чотирьох перерахованих видів наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Види та приклади віртуальних об'єктів

№№ п/п	Вид віртуальності	Приклади віртуальних об'єктів
1	Неможливість	Питома електропровідність матеріалу деталі при нормальних умовах – вище $7 \cdot 10^8$ См/м До однієї точки електричного ланцюга <i>одночасно</i> підведена <i>різна</i> напруга
2	Заграничність	Діаметр вала редуктора – 2 м
3	Неекономічність	Матеріал корпусу редуктора – платина
4	Нетехнологічність	Форма деталі – порожня куля Деталь із плавно змінними властивостями

Основні варіанти існування віртуального об'єкта, що впливають з відомого визначення [153, 154]: він можливий практично, він можливий теоретично, він невідомий, він неможливий. Але ж об'єкт, за визначенням цього терміна завжди реальний!

Отже, віртуальний об'єкт завжди можливий за визначенням слова «віртуальний». Існуючий об'єкт не може бути неможливим, бо він завжди матеріальний. Звідси випливає, що віртуальний об'єкт можливий у двох видах: він існує (наприклад, композиційна деталь з дискретних ділянок з різними властивостями матеріалу в різних точках деталі) або його немає, але він можливий (наприклад, композиційна деталь з неперервно змінними властивостями матеріалу в різних точках деталі).

Інша справа – математична модель об'єкта! Вона може бути (і є!) у практично можливого об'єкта, у теоретично можливого об'єкта, але вона може бути поширена і на неможливі об'єкти (наприклад, деталь з різними властивостями матеріалу *в одній і тій же точці* цієї деталі). Тоді виходять такі варіанти математичних моделей об'єктів різного рівня реальності їхнього існування:

- можлива математична модель реального об'єкта (ММРО) (тривіальна);
- можлива математична модель теоретично можливого, але неіснуючого або невідомого об'єкта (ММТО);
- можлива математична модель (чому б і ні, адже модель нематеріальна!) неможливого матеріального об'єкта (ММНО).

Саме в цьому значенні будемо вживати далі поняття ММРО, ММТО та ММНО. Відповідно, замість відомого терміну «метод віртуального об'єкта» (МВО) будемо використовувати новий термін «метод теоретично можливого, але невідомого об'єкта (МНО)», де під цим терміном будемо розуміти метод створення та інформаційної обробки ММТО цього об'єкта, до яких безумовно відноситься пошкоджувана та частково недоступна ПБКМ.

Як впливає зі схеми (рис. 2.1), подальше використання ММТО $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$ може піти різними шляхами:

- перерозподіл функцій серед непошкоджених елементів ПБКМ;
- відновлення ПБКМ за рахунок елементів «гарячого» резервування;
- штатне або позаштатне припинення роботи ПБКМ.

2.1.2 Створення та інформаційна обробка математичної моделі теоретично можливого, але невідомого об'єкта – ПБКМ

Комп'ютерна часова складність існуючих методів розпізнавання за допомогою ММТО $\mathbf{H}(t_{\text{пот}})$, а отже обмеження на застосування їх в *on-line* режимі роботи ПБКМ, змушує користувачів пошкоджуваних частково недоступних ПБКМ не тільки прискорювати обчислення за рахунок застосування сучасних засобів обчислювальної техніки, але й шукати нові інтелектуальні підходи до методів розпізнавання.

Сучасні задачі розпізнавання пошкоджуваних та частино недоступних до моніторингу ПБКМ не можуть бути розв'язані «у чоло» відомими методами в прийнятний час, оскільки об'єкти, що розпізнаються, мають велику розмірність та «нерівномірність» властивостей, наприклад, елементи із зосередженими параметрами (вузли) сполучаються з елементами з розосередженими (зв'язки), протоколи роботи окремих вузлів не погоджені в часі, тощо, при цьому, кожна така особливість різко ускладнює розрахункові моделі об'єкта.

Складна система – система, що складається із множини взаємодіючих складових (підсистем), внаслідок чого складна система здобуває нові властивості, які відсутні на підсистемному рівні й не можуть бути зведені до властивостей підсистемного рівня. Суворе визначення складної системи ще не знайдено, але до деяких рис складної системи відносять: відсутність математичного опису або алгоритму; «зашумленість», що виражається в утрудненні спостереження та управління, обумовлена не стільки наявністю випадкових перешкод, скільки великою кількістю другорядних для цілей управління процесів; «нетерпимість» до управління – система існує не для того, щоб нею управляли; нестационарність, що виражається в дрейфі характеристик, зміні параметрів, еволюції в часі; невідтворюваність експериментів з нею, тощо [163].

Саме в складних системах найбільше яскраво проявляється такий системний ефект, як емергентність або синергія [164] – наявність у будь-якої

системи особливих властивостей, не існуючих у її елементів, а також суми елементів, не зв'язаних особливими системоутворюючими зв'язками; незводимість властивостей системи до суми властивостей її компонентів.

Виконаємо формалізацію кортежу <об'єкт, зовнішній вплив> для систем різної фізичної природи. Для початку розглянемо взаємодіючу із зовнішнім світом складну механічну систему $S_m(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{q})$, описувану векторами параметрів конфігурації (розмірів) $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$ і механічних властивостей $\boldsymbol{\lambda} \in \boldsymbol{\Lambda}$. На зовнішній механічний вплив $\mathbf{q} \in \mathbf{Q}$ система відповідає реакцією \mathbf{r} (рис. 2.3 а):

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\lambda}; \mathbf{q}), \quad (2.1)$$

яка являє собою напружено-деформований стан (НДС) об'єкта, де \mathbf{X} , $\boldsymbol{\Lambda}$ і \mathbf{Q} – множини, у межах яких при оптимізації системи допускаються зміни, відповідно, \mathbf{x} , $\boldsymbol{\lambda}$ і \mathbf{q} .

В електричних систем $S_e(\mathbf{x}, \boldsymbol{\rho}, \mathbf{u})$, крім загального вектора конфігурації, $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, маємо, відповідно, вектори електричних властивостей $\boldsymbol{\rho} \in \mathbf{P}$ і електричного навантаження $\mathbf{u} \in \mathbf{U}$, на які система відповідає реакцією \mathbf{i} (струмами в її ланцюгах) (рис. 2.3 б):

$$\mathbf{i} = \mathbf{i}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\rho}; \mathbf{u}). \quad (2.2)$$

Гідравлічні системи $S_g(\mathbf{x}, \boldsymbol{\mu}, \mathbf{p})$, крім загального вектора конфігурації, $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, описуються, відповідно, векторами гідравлічних властивостей $\boldsymbol{\mu} \in \mathbf{M}$ (щільність, в'язкість) і гідравлічного навантаження $\mathbf{p} \in \mathbf{P}$ (тиск), на які система відповідає реакцією $\boldsymbol{\eta}$ (потік, витрата) (рис. 2.3 в):

$$\boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{\eta}(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}; \mathbf{p}). \quad (2.3)$$

Тепер розглянемо в такому ж сенсі інформаційні системи $S_i(\mathbf{H}, \mathbf{V}, \mathbf{P})$, які крім загального вектора структури \mathbf{H} , описуються, відповідно, векторами

інформаційних властивостей V (продуктивність процесорів, ємність пам'яті, тощо) і навантаження P (обробка, звернення, тощо), на які система відповідає реакцією C (сигнал) (рис. 2.3 з):

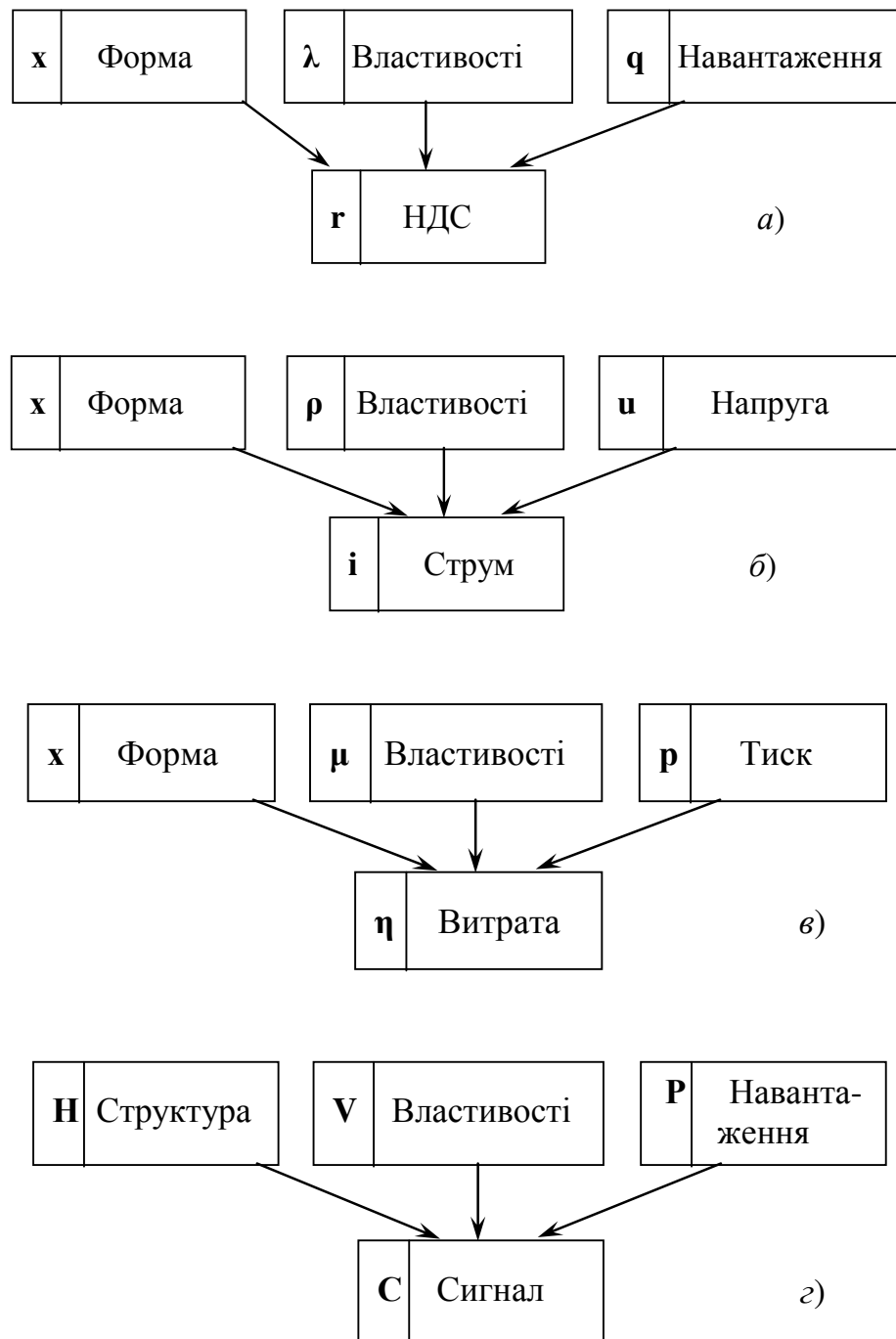


Рисунок 2.3 – Схема взаємодії векторів кортежу <об'єкт, зовнішній вплив> для механічних (а), електричних (б), гідравлічних (в) та інформаційних (з) систем

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}(\mathbf{H}; \mathbf{V}; \mathbf{P}). \quad (2.4)$$

Обчислювальна складність і точність визначення реакцій \mathbf{r} , \mathbf{i} , $\boldsymbol{\eta}$ та \mathbf{C} визначаються конкретними математичними моделями об'єктів розпізнавання, а також прийнятими методами моделювання. Розрахунки за (2.1) – (2.4) відносяться до прямих рішень, коли із причин – $(\mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{q})$, $(\mathbf{x}, \boldsymbol{\rho}, \mathbf{u})$, $(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}; \mathbf{p})$ та $(\mathbf{H}; \mathbf{V}; \mathbf{P})$ шукають наслідки – \mathbf{r} , \mathbf{i} , $\boldsymbol{\eta}$ та \mathbf{C} , які завжди однозначні. У той же час, у кожній прямої задачі (2.1) – (2.4) є три зворотні:

– для механічних систем: по відомій реакції \mathbf{r} , властивостям $\boldsymbol{\lambda}$ і впливу \mathbf{q} розрахувати конфігурацію \mathbf{x} ; по відомій реакції \mathbf{r} , конфігурації \mathbf{x} і впливу \mathbf{q} розрахувати властивості $\boldsymbol{\lambda}$; по відомій реакції \mathbf{r} , властивостям $\boldsymbol{\lambda}$ і конфігурації \mathbf{x} розрахувати вплив \mathbf{q} ;

– для електричних систем: по відомій реакції \mathbf{i} , властивостям $\boldsymbol{\rho}$ і впливу \mathbf{u} розрахувати конфігурацію \mathbf{x} ; по відомій реакції \mathbf{i} , конфігурації \mathbf{x} і впливу \mathbf{u} розрахувати властивості $\boldsymbol{\rho}$; по відомій реакції \mathbf{i} , властивостям $\boldsymbol{\rho}$ і конфігурації \mathbf{x} розрахувати вплив \mathbf{u} ;

– для гідравлічних систем: по відомій реакції $\boldsymbol{\eta}$, властивостям $\boldsymbol{\mu}$ і впливу \mathbf{p} розрахувати конфігурацію \mathbf{x} ; по відомій реакції $\boldsymbol{\eta}$, конфігурації \mathbf{x} і впливу \mathbf{p} розрахувати властивості $\boldsymbol{\mu}$; по відомій реакції $\boldsymbol{\eta}$, властивостям $\boldsymbol{\mu}$ і конфігурації \mathbf{x} розрахувати вплив \mathbf{p} ;

– для інформаційних систем: по відомих сигналах \mathbf{C} , властивостям \mathbf{V} і навантаженню \mathbf{P} розрахувати структуру \mathbf{H} ; по відомих сигналах \mathbf{C} , структурі \mathbf{H} і навантаженню \mathbf{P} розрахувати властивості \mathbf{V} ; по відомих сигналах \mathbf{C} , властивостях \mathbf{V} і структурі \mathbf{H} розрахувати вплив \mathbf{P} .

В практиці розпізнавання стану об'єктів типу ПБКМ найчастіше доводиться вирішувати перші зворотні задачі, тобто розпізнавати структуру.

В практиці перерозподілу функцій елементів ПБКМ актуальними є треті задачі по оптимізації зовнішніх цілеспрямованих впливів на об'єкт (власне перерозподіл).

При проектуванні відновлення працездатності складних ПБКМ результат

розрахунку не завжди очевидний, і оптимальне рішення виходить тільки після генерування та відхилення декількох проміжних варіантів.

Для усіх з перелічених варіантів застосування ММТО загальними є наступні кроки:

- формулювання задачі, мети її розв’язання та початкових даних;
- вибір методу розв’язання задачі в залежності від об’єкта перерозподілу або резервного відновлення;
- виявлення етапів (підсистем) обраного методу розв’язання;
- виявлення «незручного» (забороненого часом, фізичними або математичними законами, тощо) етапу k обраного методу розв’язання (рис. 2.4);

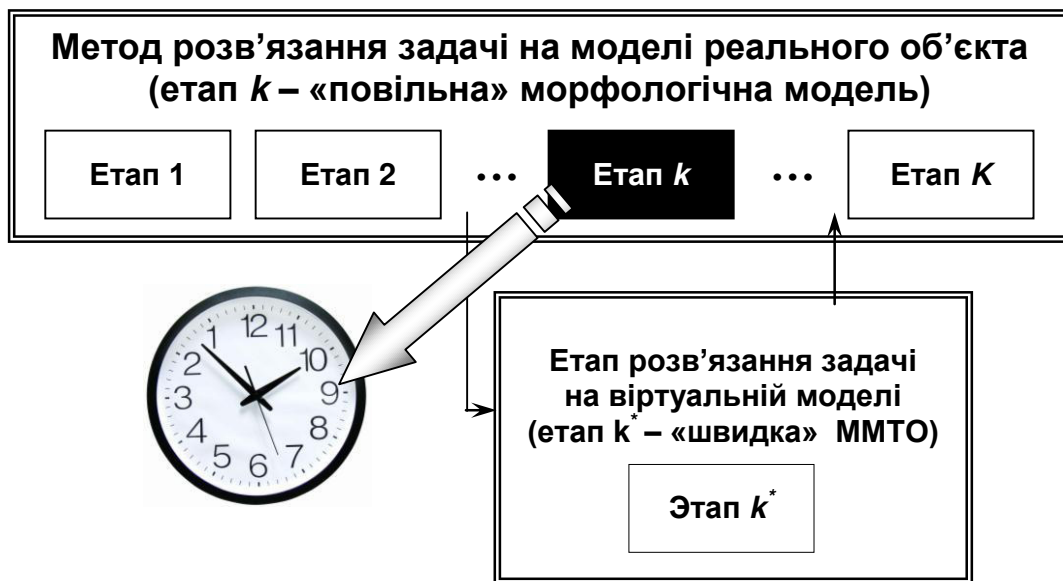


Рисунок 2.4 – Заміна «повільного» етапу k методу розв’язання задачі на моделі реального об’єкта на «швидкий» етап k^* використання віртуальної моделі у вигляді ММТО

- перетворення моделі реального об’єкта до ММТО;
- розв’язання етапу k^* за допомогою ММТО;
- повернення до основного методу.

Розглянемо застосування ММТО на прикладі механічної системи. Нехай

реакція \mathbf{r} чергового варіанта, розрахована за (2.1), визнана проектувальником неприпустимо далекою від ідеальної мети $\mathbf{r}_{\text{ід}}$, і було прийнято шляхом рішення першої зворотної задачі змінити вектор конфігурації \mathbf{x} на \mathbf{x}^* , так щоб вектор параметрів реакції отримав значення \mathbf{r}^* .

$$\mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}) \rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}^*; \lambda; \mathbf{q}); \quad \|\mathbf{r}^*(\mathbf{x}^*, \lambda, \mathbf{q}) - \mathbf{r}(\mathbf{x}, \lambda, \mathbf{q})\| \leq \frac{\delta}{2}, \quad (2.5)$$

де $\|\mathbf{r}\|$ – норма елемента \mathbf{r} , що належить векторному простору \mathbf{R} ;

δ – наперед заданий максимально припустимий «коридор», не обов'язково з кінцевими границями в просторі параметрів, що становлять \mathbf{r} .

Рішення задачі можна виконати двома методами: *безпосередній* метод застосуємо, коли перетворення \mathbf{X} , що задовольняє умові (2.5), дозволено. Тоді вектор \mathbf{x}^* , якщо він взагалі існує, шукають, вирішуючи першу зворотну задачу,

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{x}(\mathbf{r}^*; \lambda; \mathbf{q}). \quad (2.6)$$

При рішенні будь-яких зворотних задач по групі параметрів, що включають наслідок $(\mathbf{r}^*; \lambda; \mathbf{q})$, шукають одну із причин, у цьому випадку – вектор параметрів конфігурації \mathbf{x}^* . У класичній постановці під наслідком розуміють деякі параметри, обмірювані експериментально, у цьому випадку наслідок є прийняте на даному етапі проектування подання про «гарний» об'єкті. Обчислювальна складність такого пошуку досить велика.

Зворотні задачі ставляться до класу некоректно поставлених. Для даного випадку їхнє формулювання виглядає в такий спосіб. Нехай проектована система характеризується елементом $\mathbf{x} \in \mathbf{X}$, недоступним для прямого визначення, тому вивчається деякий його прояв $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$, $\mathbf{r} \in \mathbf{f}(\mathbf{X})$. Тут $\mathbf{f}(\mathbf{X})$ – образ множини \mathbf{X} при відображенні \mathbf{f} . Рівняння $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$ має рішення тільки для таких елементів \mathbf{r} , які належать множині $\mathbf{f}(\mathbf{X})$. Оператор \mathbf{f} у багатьох випадках є таким, що зворотний йому оператор \mathbf{f}^{-1} не є неперервним.

У цьому випадку як наближене рішення $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \mathbf{r}$ не можна брати елемент $\mathbf{x} = \mathbf{f}^{-1}(\mathbf{r})$, оскільки такого рішення може не бути, тому що \mathbf{x} може не належати множині $\mathbf{f}(\mathbf{X})$, тобто не буде виконуватися перша вимога коректності по Адамару. Більше того, навіть якщо рішення \mathbf{x} існує, воно не буде мати властивість стійкості, якщо оператор \mathbf{f}^{-1} не є безперервним. Вимоги коректності [165] у цьому випадку зводяться до наступного формулювання. Необхідно знайти рішення за вхідними даними $\mathbf{r}_{\text{ид}}$, $\mathbf{x} = \mathbf{G}(\mathbf{r})$, де \mathbf{G} – деякий оператор. Якщо \mathbf{r} й \mathbf{x} належать різноманіттям \mathbf{X} та \mathbf{R} , для елементів яких визначене поняття відстані (метрика) $\mathbf{g}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ і $\mathbf{g}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$, де $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \in \mathbf{X}$, $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2 \in \mathbf{R}$, тобто \mathbf{X} й \mathbf{R} – метричні простори, то повинні задовольнятися наступні три вимоги:

- існування: для всякого $\mathbf{r} \in \mathbf{R}$ існує рішення \mathbf{x} з \mathbf{X} ;
- однозначності: для всякого $\mathbf{r} \in \mathbf{R}$ існує тільки одне рішення \mathbf{x} з \mathbf{X} ;
- стійкості: рішення повинне неперервно залежати від вхідних даних, тобто для всякого $\varepsilon > 0$ можна вказати таке $\delta(\varepsilon)$, що якщо $\mathbf{g}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) \leq \delta$ і $\mathbf{x}_1 = \mathbf{G}(\mathbf{r}_1)$, $\mathbf{x}_2 = \mathbf{G}(\mathbf{r}_2)$, то $\mathbf{g}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) \leq \varepsilon$.

Якщо безпосереднє перетворення (2.5) заборонено будь-якою з перерахованих умов або з інших причин, то досягти \mathbf{r}^* можна за допомогою *методу віртуального об'єкта* за рахунок введення додаткової проміжної операції – попереднього перетворення λ і (або) \mathbf{q} :

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda^*; \mathbf{q}) \in \mathbf{r}_{\text{ид}} \pm \delta/2; \\ \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}^*) \in \mathbf{r}_{\text{ид}} \pm \delta/2; \\ \mathbf{r}(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}) &\rightarrow \mathbf{r}^*(\mathbf{x}; \lambda^*; \mathbf{q}^*) \in \mathbf{r}_{\text{ид}} \pm \delta/2. \end{aligned} \quad (2.7)$$

З (2.7) вирішуються друга і третя зворотна виразу (2.1) задача. У результаті цього рішення, обчислювальна складність яких також досить велика, створюється проміжний додатковий стан системи – $(\mathbf{x}; \lambda^*; \mathbf{q})$, $(\mathbf{x}; \lambda; \mathbf{q}^*)$ або $(\mathbf{x}; \lambda^*; \mathbf{q}^*)$, який називається *віртуальним об'єктом*, оскільки реальна реалізація цього стану «у металі» не передбачається, і тому значення його параметрів можуть приймати будь-які, іноді чисто гіпотетичні величини. Оскільки задачі (2.7)

також є зворотними, до них необхідно віднести всі перераховані вимоги коректності.

Нехай λ^* й (або) \mathbf{q}^* існують і на *першому* етапі методу віртуального об'єкта вони знайдені. Це значить, що вдалося досягти бажаного \mathbf{r}^* , але не за рахунок необхідної оптимізації форми, а шляхом віртуальної зміни властивостей λ^* й (або) зовнішніх впливів \mathbf{q}^* . Перейдемо тепер до *другого* етапу, на якому \mathbf{x}^* шукається як функція від розрахованих на першому етапі λ^* й (або) \mathbf{q}^*

$$\mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda^*; \mathbf{q}); \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda; \mathbf{q}^*); \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{f}(\lambda^*; \mathbf{q}^*). \quad (2.8)$$

Формули (2.8) у явному виді або інші методи розрахунку по цих рівняннях визначаються в кожному конкретному випадку залежно від об'єкта проектування, його фізичних моделей і прийнятих методів перетворень у його структурі й параметрах. Їхня обчислювальна складність на порядок менше складності рішення зворотних задач (2.6) і (2.7).

Як бачимо, в результаті одного з перетворень (2.8) виходить шуканий вектор \mathbf{x}^* . Сумарна обчислювальна складність обох етапів – (2.7) і (2.8) відрізняється від складності етапу (2.7). Саме на останньому й вигідно застосовувати швидкодіючі методи обчислень, які забороняють змінювати \mathbf{x} .

Таким чином, метод розпізнавання стану ППБКМ, пошкоджуваних під час експлуатації, за допомогою ММТО може бути організована, наприклад, у відповідності з наступною схемою. Одержавши технічне завдання на проект, метод оцінює необхідний об'єм оптимізаційних задач й їх часову складність. Якщо остання виявляється надмірно великою, виконується пошук можливості підстановки в ці задачі, замість моделі реального об'єкта, – ММТО. Далі ММТО створюється і виконується її оптимізація.

Остаточо, виконується зворотне перетворення оптимізованої ММТО в реальну, причому такий перехід супроводжується остаточним розрахунком параметрів останнього. Розглянемо приклади практичного застосування

методу. Нехай у процесі проектування був створений варіант машинобудівної деталі, у якої \mathbf{x} – вектор розмірів; $\boldsymbol{\lambda}$ – вектор механічних характеристик матеріалу деталі; \mathbf{q} – вектор параметрів зовнішнього механічного навантаження; і \mathbf{r} – напружено-деформований стан (НДС) деталі.

Якщо \mathbf{r} не задовольняє проектувальника по міркуваннях міцності, твердості або матеріалоемності, варіант проекту може бути дороблений з метою одержання НДС, що відповідає \mathbf{r}^* , тобто близького до заданого (або ідеальному – $\mathbf{r}_{\text{ид}}$).

Коли мова йде про розв’язання інформаційних задач, заборону на один з етапів такого розв’язання найчастіше ставить часова складність останнього, важлива взагалі, а у випадку ПБКМ, – особливо.

2.2 Часова складність побудови тривимірної ймовірнісної математичної моделі ПБКМ із швидкозмінною структурою

2.2.1 Морфологічний метод дистанційного розпізнавання двовимірної структури ПБКМ

Найближчим методом розпізнавання пошкоджуваних та частково недоступних до моніторингу ПБКМ є морфологічний, в якому для прийняття рішення про стан структури об’єкта порівнюються *два параметри*, отримуваних двома способами: переробкою сигналів, що надходять від об’єкта розпізнавання, наприклад, ПБКМ, та за допомогою морфологічної моделі, яка реалізується за допомогою комп’ютерного експерименту [10, 18, 42, 80, 97]. Близкість між цими параметрами означає в рамках методу близькість структури (морфології) мережевого об’єкта та його мережевої морфологічної моделі. Оскільки остання нам відома, її можна вважати, з деякою ймовірністю, поточною структурою об’єкта.

Візьмемо за основу метод визначення структури складної системи, який

працює за вказаною схемою та описаний в [166].

Автори [42, 44, 75] стверджують, що ними розроблено метод розпізнавання стану різноманітних об'єктів, структура яких зазнає пошкоджень на протязі їх життєвого циклу. Метод, таким чином, заснований на реалізації двох інформаційних моделей – прихованої марківської і морфологічної, він забезпечує дослідника систем додатковою інформацією, яка має високий ступінь достовірності. Це дозволило рекомендувати його для застосування в широкому спектрі додатків: від медицини до будівельної механіки.

Сформулюємо задачу методу: відомі початкова структура мережевого об'єкта $\mathbf{H}_{об}(0)$, наприклад, ПБКМ, а також початкова структура комп'ютерної мережевої моделі $\mathbf{H}_{мод}(0)$, яка їй морфологічно дорівнює, довільний ряд структур мережевої моделі на всіх ітераціях життєвого циклу $\mathbf{H}_{мод}(t)$, $1 \leq t \leq T$ і також певний тренд сигналів $\mathbf{C}(t)$ від мережевого об'єкта. Необхідно визначити, як змінювалася структура останнього $\mathbf{H}_{об t}$ при $1 \leq t \leq T$ (рис. 2.5).

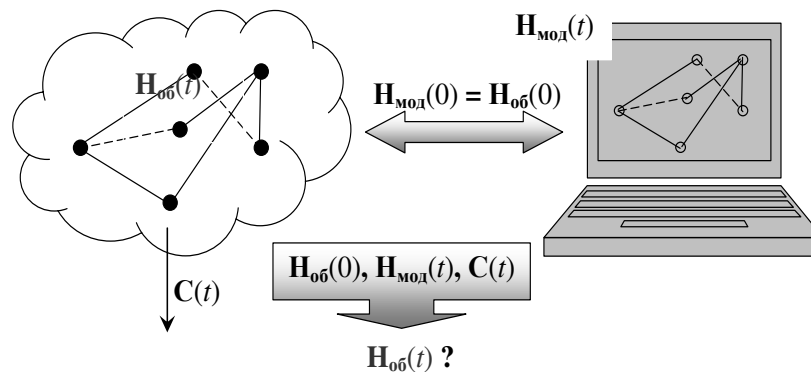


Рисунок 2.5 – До постановки завдання в рамках морфологічного методу дистанційного розпізнавання стану структури мереженого об'єкта

Логіка розв'язання задачі впливає з її постановки: необхідно на кожній t -й ітерації підібрати таку структуру морфологічної моделі, яка за деяким показником відповідала б тренду $\mathbf{C}(t)$, і в цьому разі визнати рівність $\mathbf{H}_{мод}(t) = \mathbf{H}_{об}(t)$ [96, 167].

В нашому випадку в якості такого показника можуть використовуватися

різні параметри ПБКМ та її моделі, зокрема, в [42, 44, 75] був обраний ентропійний критерій надійності $E_{\text{мод}}$, одержуваний на спеціальній комп'ютерній морфологічній моделі за допомогою статистичного експерименту (рис. 2.6).

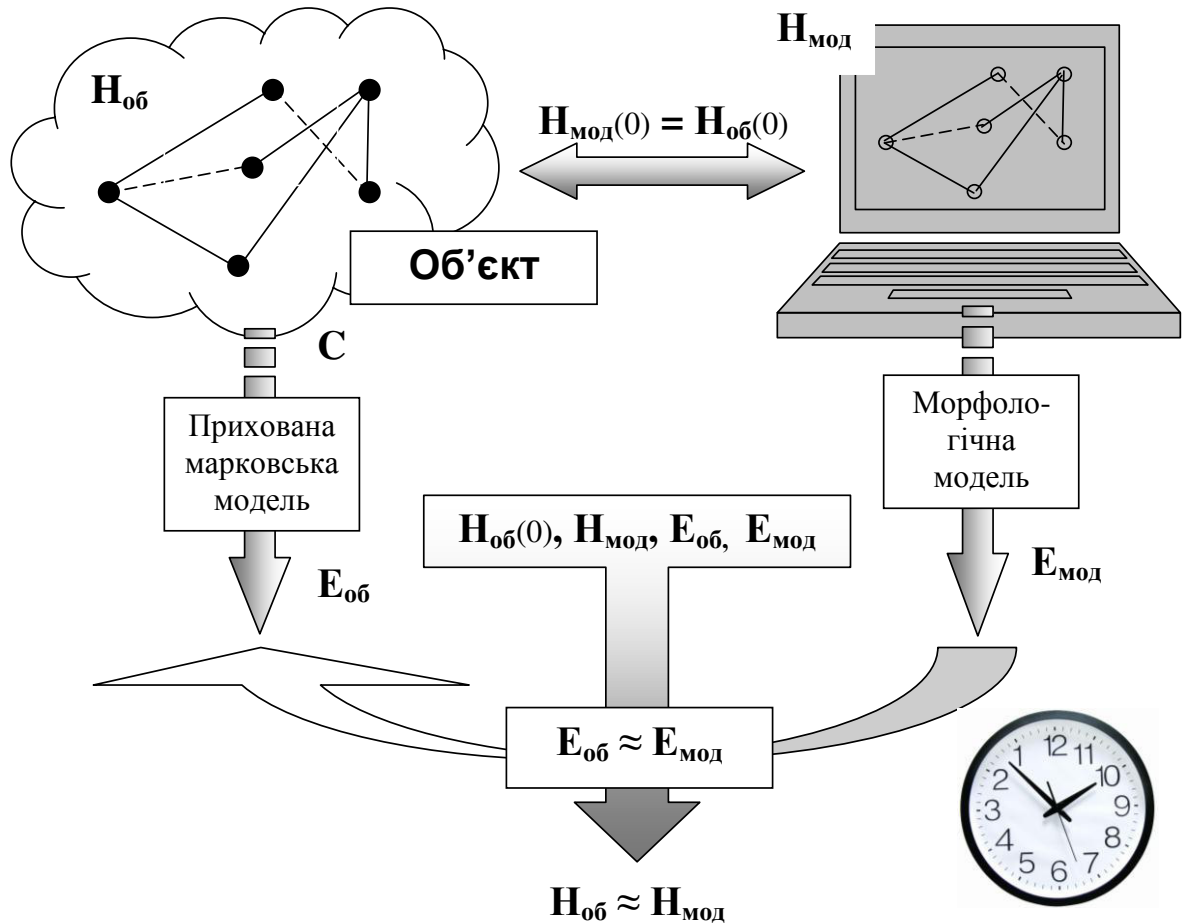


Рисунок 2.6 – Схема існуючого методу-прототипу дистанційного визначення стану структури частково недоступного об'єкта для довільного $t > 0$

Вираз для $E_{\text{мод}}$ має такий вигляд [80, 89, 97]:

$$E_{\text{мод}} = - \sum_{q=Q_1+1}^{Q_2-1} [P_q \log_2 P_q + (1 - P_q) \log_2 (1 - P_q)], \quad (2.9)$$

де Q_1 – максимальна кількість пошкоджень в резервированном об'єкті, при яких

ймовірність безвідмовної роботи об'єкта, розрахована з допомогою морфологічної моделі, ще дорівнює 1, Q_2 – мінімальна кількість пошкоджень в резервированном об'єкті, при яких ймовірність безвідмовної роботи об'єкта вже дорівнює 0, P_q – ймовірність безвідмовної роботи при q ушкодженнях.

Значення $E_{\text{мод}}(t)$ для довільного $t > 0$ порівнювали з числом $E_{\text{об}}(t)$, яке отримували з тренда $C(t)$ за допомогою прихованої марковської моделі (ПММ) – статистичної моделі, що імітує роботу процесу внесення пошкоджень в структуру дискретного об'єкта, схожого на марковський процес з невідомими параметрами. Завданням ПММ було визначення невідомих параметрів $\mathbf{H}_{\text{об}}$ на основі спостережуваних $C(t)$ [5, 43, 166].

В основі такого методу – наступна **гіпотеза** [166]. Якщо ентропійні критерії об'єкта $E_{\text{об}}(t)$ і моделі $E_{\text{мод}}(t)$ для довільного $t > 0$ в деякому сенсі східні, то по $\mathbf{H}_{\text{мод}}(t)$, що забезпечує цю східність, можна з певною ймовірністю судити про структуру (а отже, і про пошкодження!) прихованого об'єкта $\mathbf{H}_{\text{об}}(t)$.

Інформаційна технологія методу-прототипу викладена в [166]. У варіанті із ПБКМ її алгоритм виглядає таким чином.

Крок перший прототипу. З супроводжуючих документів отримуємо достовірну інформацію про початкову структуру ПБКМ (рис. 2.7, *а*) у вигляді, наприклад, матриці суміжності з 1 та 0, в якій 1 означає наявність зв'язку між відповідними елементами ПБКМ, а 0 – відсутність такого зв'язку у проекті ПБКМ.

Крок другий прототипу. Отримуємо інформацію про поточний стан доступної частини ПБКМ у вигляді, наприклад, матриць суміжності з 1, p та 0, в яких на місцях недоступних елементів послідовно, в міру їхнього пошкодження, з'являються літери « p », що означає лише деяку (поки невідому) ймовірність їхньої працездатності (рис. 2.7, *б*).

Крок третій прототипу. За допомогою одного з методів відтворення ймовірності (в [166] – це прихована марковська модель) визначаємо чисельне значення усіх ймовірностей, позначених в матрицях суміжності « p » (рис. 2.7 *в*).

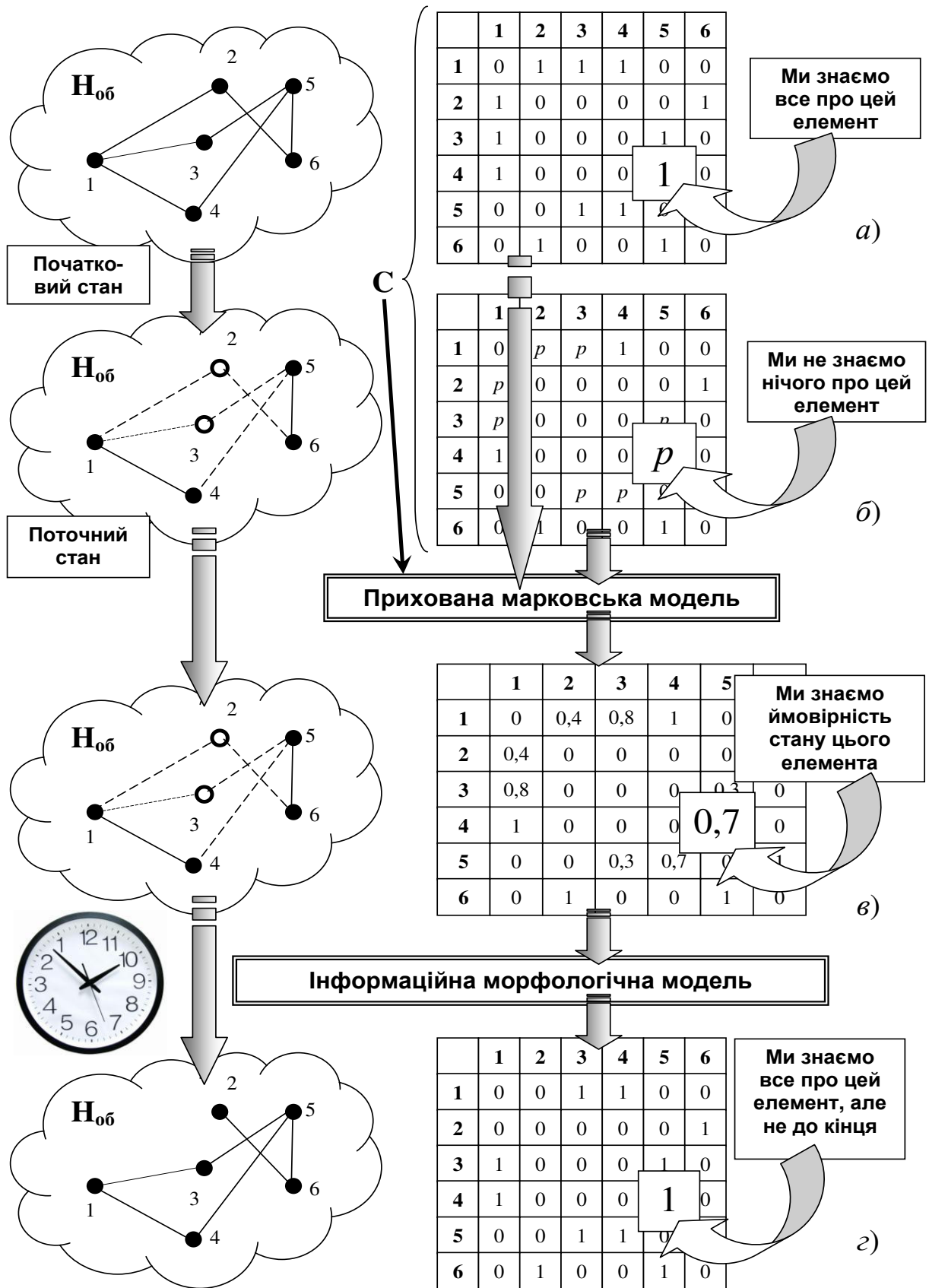


Рисунок 2.7 – Послідовність етапів методу-прототипу розпізнавання стану структури частково недоступної пошкодженої мережі [166]

Крок четвертий прототипу. За допомогою одного з методів відтворення структури (в [166] – це статистична морфологічна модель) чисельні значення ймовірностей, отримані на третьому кроці, перетворюється до бінарних «впевненостей» про працездатність (1) або пошкодженість (0) усіх недоступних елементів. При цьому отримується, нова матриця суміжностей, яка складаються лише з 1 та 0 (рис. 2.7, з).

Крок п'ятий прототипу. На підставі останньої (поточної) відтвореної структури будується проект та здійснюється практичне впровадження процесу відновлення пошкодженої ППБКМ або розраховуються зовнішні впливи для зміни функції елементів, які залишилися, щоб відновити функцію всієї мережі.

В табл. 2.2 наведені результати комп'ютерного експерименту (ПБКМ складається з 10 елементів та 18 зв'язків) з порівняльного визначення часової складності двох головних операцій методу-прототипу – часу роботи прихованої марковської моделі та часу роботи морфологічної моделі.

Таблиця 2.2 – Результат комп'ютерного експерименту

№№ з/п	Ітерація життєвого циклу ПБКМ	Час роботи прихованої марковської моделі	Час роботи морфологічної моделі
1	0 – 1 год	16 сек	3 хв 11 сек
2	1 – 2 год	14 сек	4 хв 27 сек
3	2 – 3 год	14 сек	2 хв 53 сек
4	3 – 4 год	17 сек	4 хв 02 сек
5	4 – 5 год	11 сек	3 хв 41 сек
6	5 – 6 год	15 сек	4 хв 12 сек
7	6 – 7 год	15 сек	3 хв 29 сек
8	7 – 8 год	14 сек	3 хв 45 сек
9	8 – 9 год	18 сек	2 хв 59 сек
10	9 – 10 год	13 сек	3 хв 08 сек
Всього:		2 хв 27 сек	38 хв 47 сек

Як видно з таблиці, «слабкою ланкою» методу є саме морфологічна модель. Її часова складність перевищує часову складність роботи прихованої марковської моделі майже в 20 разів! Саме тому в новому методі було запропоновано відмовитися від цього етапу та замінити його на віртуальну модель структури частково недоступної для моніторингу пошкодженої ПБКМ – поле інтенсивностей [6, 30, 31].

2.2.2 Метод розпізнавання стану «тривимірної» структури ПБКМ, пошкоджуваних під час експлуатації

В запропонованому для розпізнавання стану структури пошкоджуваних під час експлуатації ПБКМ методі завдання та його розв'язання розповсюджуються не тільки на поточний стан структури, але й на увесь тренд станів з початку життєвого циклу ПБКМ.

В цьому методі кроки перший та п'ятий збігаються з методом-прототипом, а другий – четвертий відрізняються саме тривимірністю моделі станів ПБКМ.

Крок другий новий. Отримуємо достовірну інформацію про тренд поточних станів доступної частини ПБКМ у вигляді, наприклад, матриць суміжності з 1, p та 0, в яких на місцях недоступних елементів послідовно, в міру їхнього пошкодження, з'являються літери « p », що означає лише деяку (поки невідому) ймовірність їхньої працездатності (рис. 2.8 б).

Крок третій новий. За допомогою одного з методів відтворення ймовірності (в [166] – це прихована марковська модель, але результат, на відміну від попереднього – тривимірний, оскільки ПБКМ має третю координату – час) на підставі вимірюваних характеристик «поведінки» пошкодженої ПБКМ в цілому, отриманих від елементів, що залишалися доступними, визначаємо чисельне значення усіх ймовірностей, позначених в матрицях суміжності на другому кроці літерою « p » (рис. 2.8 в).

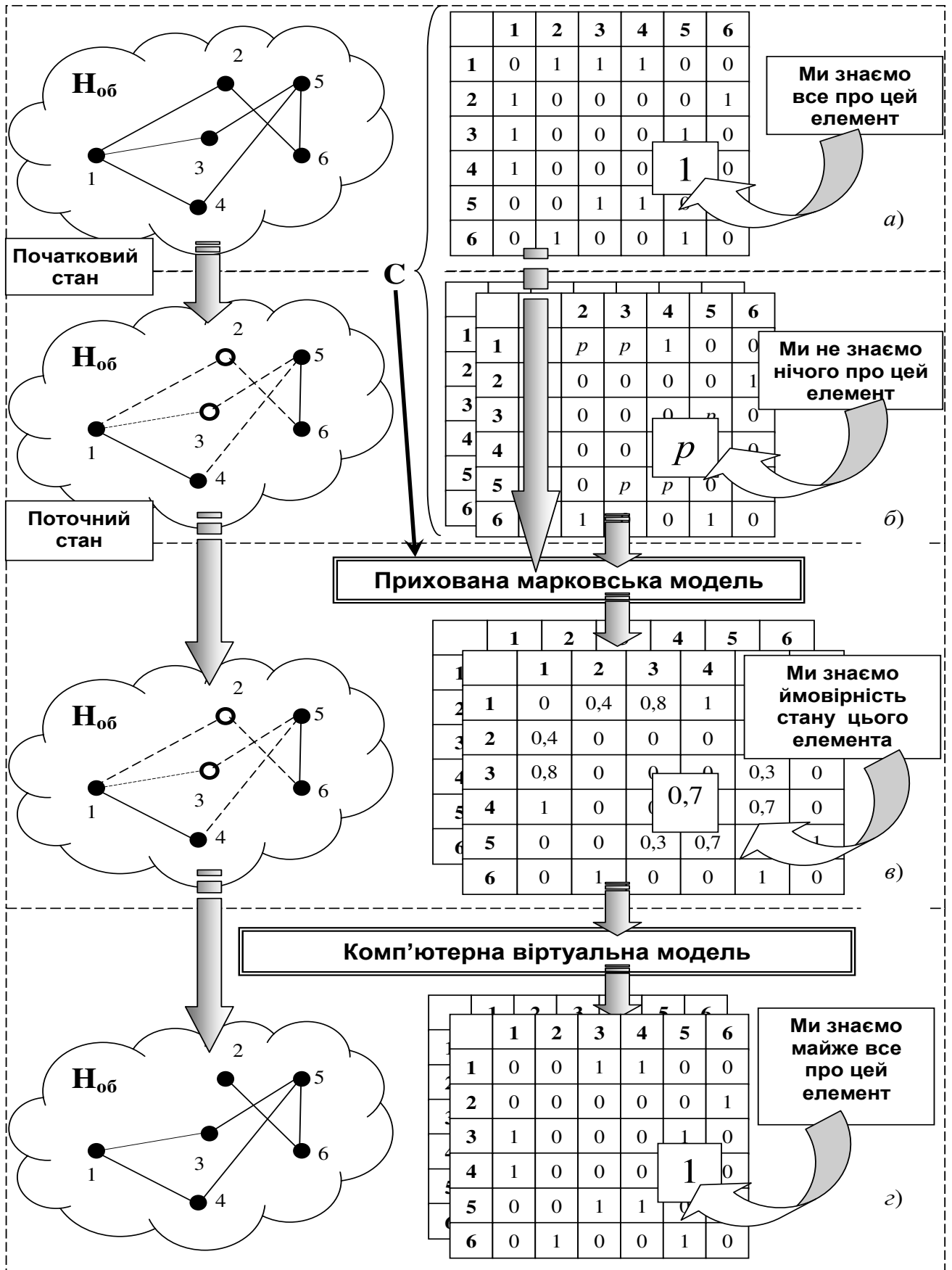


Рисунок 2.8 – Схема методу визначення етапів поточної структури складної пошкодженої системи

Крок четвертий новий. За допомогою одного з методів відтворення структури (в новому методі – це комп’ютерна віртуальна модель, яка, крім того, ще й на відміну від прототипу – тривимірна, оскільки має третю координату – час) чисельні значення ймовірностей, отримані на третьому кроці, перетворюються у бінарні «впевненості» про працездатність (1) або пошкодженість (0) усіх недоступних елементів.

Таким чином, знову отримуються матриці суміжності, які складаються лише з 1 та 0 (рис. 2.8, з).

В результаті, укрупнено, шлях від реальної пошкодженої ППБКМ відповідального призначення до проекту її відновлення (наприклад, за допомогою полегшеного резервування або перерозподілу функцій елементів) може виглядати таким чином.

1. Поєднуючи 1 – 3 кроки, та на підставі інформації від доступної частини мережі (яка накопичується, але об’єм надходження якої постійно зменшується) визначити «поле ймовірностей» (матриці на рис. 2.8, в) працездатності елементів ПБКМ, розглядаючи його як деякий змінний у часі образ мережі.

2. На підставі змінного «поля ймовірностей» працездатності елементів пошкодженої ПБКМ відтворити найбільш ймовірний варіант «поля поточного стану» мережі.

3. На підставі найбільш ймовірного варіанту поточного стану мережі створити проект відновлення ПБКМ.

Одне з головних обмежень на завершення циклу її відновлення – загальний час, який визначається умовами інформаційної підтримки. Тому час виконання кожної з кроків методу також має вирішальне значення при подальшому виборі інтелектуальних технологій визначення поля ймовірностей та відтворення поля поточних станів ПБКМ.

2.3 Метод побудови ММТО на основі спостережуваних сигналів за допомогою прихованих марковських моделей

2.3.1 Теоретичні основи методу

Як відомо, приховані марковські моделі (ПММ) можуть бути представлені як результат двох випадкових процесів [15, 76].

Перший – прихований процес – його ніяк не можна зареєструвати, але його можна охарактеризувати за допомогою іншого випадкового процесу, який надає набір сигналів – спостережувану послідовність. Значення прихованої змінної $s(t)$ у момент часу t залежить тільки від значення прихованої змінної $s(t-1)$ у момент $t-1$. Це називається властивістю Маркова.

У той же час, значення спостережуваної змінної $c(t)$ залежить тільки від значення прихованої змінної $s(t)$ (обидві в момент часу t). Імовірність побачити послідовність $C = c(0), c(1), \dots, c(M-1)$ довжини M дорівнює:

$$P(C) = \sum_S P(C|S)P(S). \quad (2.10)$$

Тут сума пробігає по всіх можливих послідовностях прихованих елементів $C = c(0), c(1), \dots, c(M-1)$. Розглянуті в роботі бездротові комп'ютерні мережі у зв'язку із цим можуть бути інтерпретовані таким чином.

Визначення 2.1.

1. Прихована змінна $\mathbf{H}(t)$ являє собою поточну (на t -й ітерації життєвого циклу) структуру *пошкодженої* бездротової комп'ютерної мережі, причому $\mathbf{H}(1)$ відома з початкового креслення ПБКМ.

2. Спостережувана змінна $\mathbf{C}(t)$ являє собою поточну (на t -й ітерації життєвого циклу) інформацію від *доступної для моніторингу* частини бездротової комп'ютерної мережі, що, як впливає з рис. 2.1 постійно накопичується, причому об'єм накопичення на кожній ітерації зменшується

відповідно до зменшення доступної для спостереження частини ПБКМ.

У роботі ПММ визначається такими компонентами [14, 17, 19, 21, 23].

1. N – загальна кількість станів прихованої частини бездротової комп'ютерної мережі $s(t)$. Позначимо загальну сукупність станів досліджуваної бездротової комп'ютерної мережі множиною $\mathbf{H} = \{H_1, H_2, \dots, H_i, H_j, \dots, H_N\}$, а поточну сукупність станів бездротової комп'ютерної мережі на ітерації t як $\mathbf{H}_t = \{H_{1t}, H_{2t}, \dots, H_{it}, H_{jt}, \dots, H_{nt}\}$.

Якщо мова йде тільки про структуру, то будь-який новий (відмінний від вихідного) стан виходить із попереднього видаленням деякої кількості елементів і (або) зв'язків між ними.

Розглянемо в якості прикладу ПБКМ, структура якої містить 12 зв'язків. Якщо вважати ушкодженнями тільки видалення зв'язків 1 – 12 у різних комбінаціях і кількостях, то сукупність можливих варіантів ушкоджень плюс вихідний неушкоджений стан цієї мережі має потужність:

$$N = 2 \cdot 12! \sum_{l=1}^6 \frac{1}{l!(12-l)!} + 1 = 5019. \quad (2.11)$$

Таким чином, з початкового стану можливий перехід до кожного з 5019 станів множини \mathbf{H} потужністю N . На практиці зв'язки можуть ушкоджуватися одночасно по два, три, аж до виходу з ладу всіх зв'язків за одну ітерацію. Це різко збільшує кількість можливих станів.

2. Розподіл ймовірностей початкового стану прихованої частини структури об'єкта $\boldsymbol{\pi} = \{\pi_i\}$, де

$$\pi_i = P[S_i], \quad 1 \leq i \leq N \quad (2.12)$$

є ймовірність того, що H_i – це початковий стан. У нашому випадку в якості єдиного ($i = N = 1$, $\mathbf{H}_0 = \{S_{10}\}$) початкового стану приймали його початковий, неушкоджений, «паспортний» стан, а ймовірність «досягнення» початкового

стану π_1 , природно, дорівнювала одиниці.

3. M – розмір алфавіту спостережуваної послідовності $C(t)$ (рис. 2.9). Як впливає з наведеного вище опису пошкодженої ПБКМ, спостережувана послідовність $C(t)$ є інформацією від доступної для моніторингу частини бездротової комп'ютерної мережі. Компоненти вектора $C(t)$ – суть числа, величина та розмірність яких визначається користувачем, фахівцем у комп'ютерній області.

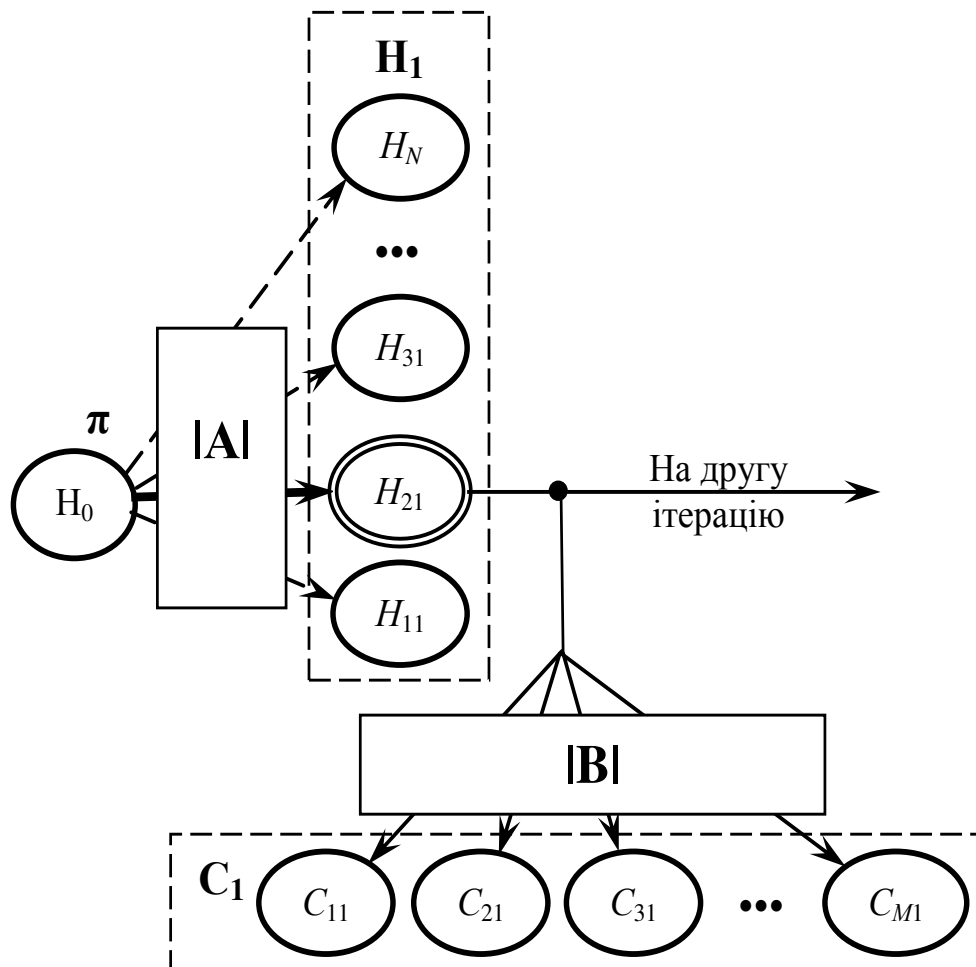


Рисунок 2.9 – Схема першої ітерації моделювання ($t = 1$) за допомогою ПММ

Це може бути, наприклад, деяка інформація, що зберігається на одному з доступних серверів мережі. Наприклад, можна прийняти одним з параметрів, що входять до $c(t)$, кількість звернень до відповідного елемента (пристрою):

$$C_i = K_{звi}, \quad (2.13)$$

де $K_{звi}$ – значення кількості звернень.

Користувач визначає також величину M и правило розбивки інтервалу значень $\mathbf{C}(t)$ у часі.

4. Алфавіт значень ентропійного критерію $\mathbf{E}_{об} = \{E_{об\ 1}, E_{об\ 2}, \dots, E_{об\ m}, \dots, E_{об\ M}\}$, підібраний в результаті навчання ПММ так, що його функціональна залежність ентропійного критерію від алфавіту спостережуваної послідовності $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_M\}$ відома.

5. Матриця ймовірностей переходів (або матриця переходів) $\mathbf{A} = \{a_{ij}\}$, де

$$a_{ij} = P[S_{t+1} = S_j | S_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (2.14)$$

суть ймовірність того, що бездротова комп'ютерна мережа, що перебуває в стані S_i , перейде до стану S_j (рис. 2.9). Якщо для будь-яких двох станів у моделі можливий перехід з одного стану до іншого, то $a_{ij} > 0$ для будь-яких i, j . В інших ПММ для деяких i, j ймовірність переходу $a_{ij} = 0$.

Матриця \mathbf{A} виходить в результаті попередніх досліджень ПБКМ.

6. Розподіл ймовірностей появи того або іншого сигналу з множини $\mathbf{C}_j = \{C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{mj}, \dots, C_{Mj}\}$, коли об'єкт перебуває в j -му стані, $\mathbf{B} = \{b_m(r)\}$:

$$b_m(t) = P[C_t | S_t = S_j], \quad 1 \leq j \leq N, \quad 1 \leq m \leq M, \quad (2.15)$$

де $b_m(t)$ – ймовірність того, що на ітерації t , бездротова комп'ютерна мережа, що перебуває в j -му стані (стан S_j), видасть m -й символ (символ C_m) у спостережувану послідовність.

Матриця \mathbf{B} виходить в результаті навчання ПММ.

Таким чином, новизна запропонованого підходу до розпізнавання полягає в розподілі частково пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі на дві частини: пошкоджена служить власне об'єктом розпізнавання, а доступна –

джерелом спостережуваної інформаційної послідовності для побудови і навчання ПММ.

Повний опис ПММ λ залишається незмінним і, як завжди, складається з двох параметрів моделі (N і M), опису символів спостережуваної послідовності і трьох масивів ймовірностей – \mathbf{A} , \mathbf{B} і $\boldsymbol{\pi}$: $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$.

ПММ будує спостережувану послідовність за наступним алгоритмом.

1. Вибирається початковий стан $S_1 = S_i$ у відповідності до $\boldsymbol{\pi}$.
2. Встановлюється $t = 1$.
2. Вибирається $C_t = C_m$ у відповідності до розподілу $b_j(m)$ в стані (S_i).
4. Модель переводиться до нового стану $S_{t+1} = S_j$ у відповідності до матриці переходів a_{ij} із врахуванням поточного стану S_i .
5. Встановлюється ітерація $t = t + 1$; далі повернення до шагу 3, якщо $t < R$; інакше – кінець.

Тривалість ітерацій визначається автоматично по мірі настання подій в об'єкті або примусово користувачем.

Для вирішення завдань даної роботи використовували два варіанти підходу до ПММ. *Перший підхід: навчання.* Підібрати параметри моделі $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$ таким чином, щоб максимізувати $P(\mathbf{C} | \lambda)$.

Навчання прихованої марковської моделі. Завдання навчання ПММ – найважливіша для більшості проєктованих ПММ, оскільки вона полягає в оптимізації параметрів ПММ на основі навчальної спостережуваної послідовності, тобто створенні моделі, що щонайкраще описує реальні процеси.

Розв'язок завдання навчання полягає в оптимізації параметрів \mathbf{A} , \mathbf{B} , $\boldsymbol{\pi}$ моделі λ таким чином, щоб вона якнайкраще описувала реальну спостережувану послідовність. Завдання навчання формулюється в такий спосіб: підібрати параметри моделі $\lambda = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$ таким чином, щоб максимізувати $P(\mathbf{C} | \lambda)$ (рис. 2.10).

Для цього в роботі використовували алгоритм «припущень і максимізацій» для пошуку максимальної ймовірнісної оцінки параметрів прихованої моделі Маркова при заданому наборі спостережень.

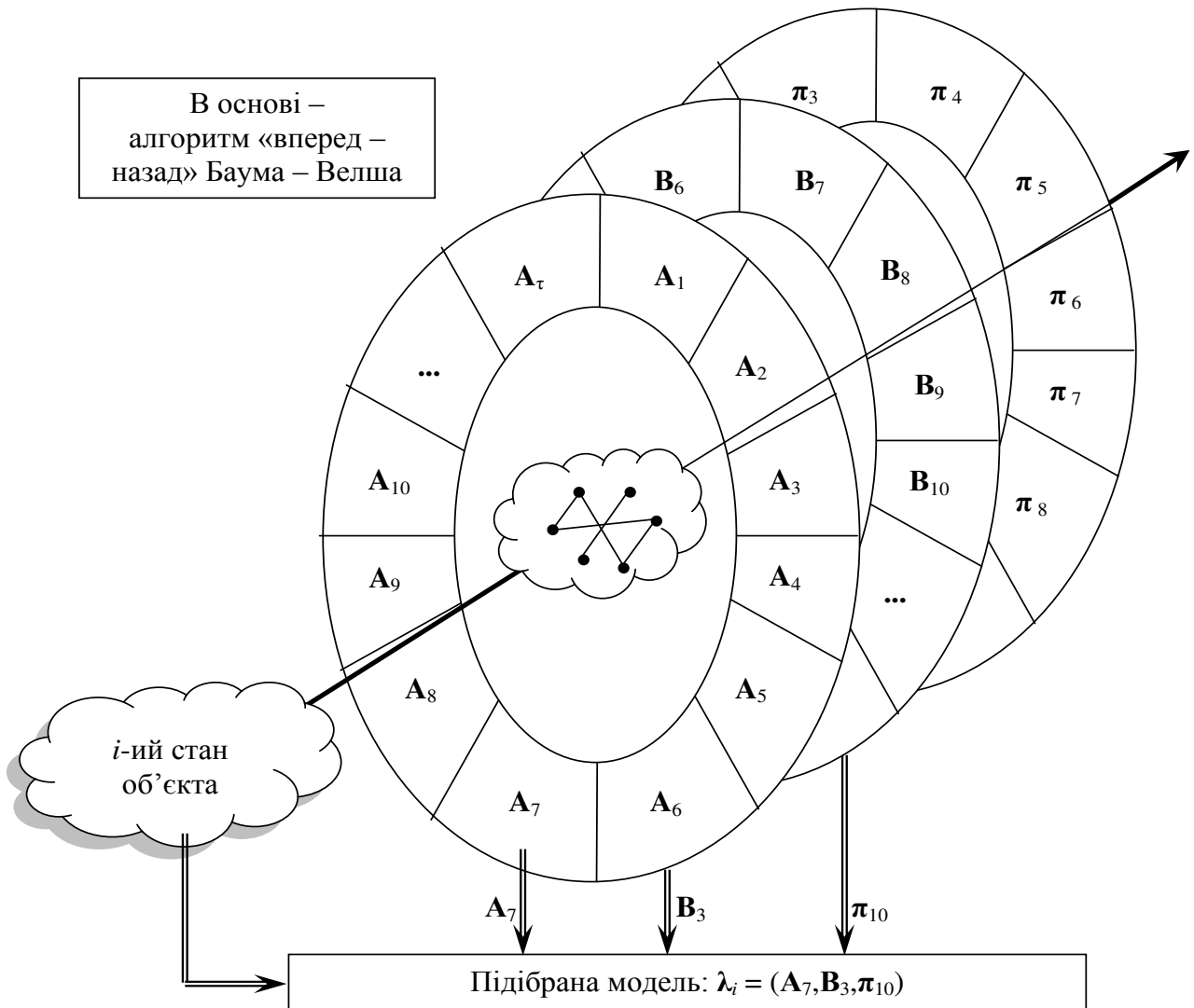


Рисунок 2.10 – Схема до постановки завдання навчання ПММ

Цей алгоритм відомий як алгоритм Баума – Велча. Отже, S_t – це дискретна випадкова змінна, що приймає одне з N значень $(1, \dots, N)$.

Будемо вважати, що дана модель Маркова, визначена як $P(S_t | S_{t-1})$, однорідна за часом, тобто незалежна від t . Тоді можна задати $P(S_t | S_{t-1})$ як незалежну від часу стохастичну матрицю переміщень комп'ютерної мережі в просторі її станів $\mathbf{A} = \{a_{ij}\} = p(S_t = j | S_{t-1} = i)$. Особливий випадок для часу $t = 0$ визначається початковим розподілом $\pi_i = P(S_0 = S_i)$.

Будемо також вважати, що об'єкт в стані J у момент часу t , якщо $S_t = J$. Послідовність заданих станів визначається як $\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_t)$, де $s_t \in \{1 \dots N\}$ є станом у момент t . Спостереження може мати одне з M можливих значень,

$C_t \in \{c_1, \dots, c_M\}$.

Ймовірність заданого вектора спостережень в момент часу t для стану J визначається як $b_j(c_t) = P(C_t = c_t | S_t = j)$ ($B = \{b_{ij}\}$ – це матриця M на N). Задана послідовність спостережень C виражається як $C = (C_1 = c_1, \dots, C_T = c_t)$.

Як сказано вище, приховану модель Маркова можна описати за допомогою виразу $\lambda = (A, B, \pi)$. При заданому векторі спостережень C алгоритм Баума – Велча знаходить $\lambda^* = \max_{\lambda} P(S|\lambda)$. Вектор λ^* максимізує ймовірність спостережень C .

Алгоритм виглядає таким чином.

Вихідні дані: $\lambda_0 = (A_0, B_0, \pi_0)$ з випадковими початковими умовами.

Пряма процедура. Визначимо $\alpha_i(t) = p(C_1 = c_1, C_t = c_t, C_t = i | \lambda)$, що є ймовірністю одержання заданої послідовності c_1, \dots, c_t для стану i у момент часу t . Величину $\alpha_i(t)$ можна обчислити рекурсивно:

$$\alpha_i(t) = \pi_i \cdot b_i(C_1); \quad (2.16)$$

$$\alpha_j(t+1) = b_j(C_{t+1}) \sum_{i=1}^N \alpha_i(t) \cdot a_{ij}. \quad (2.17)$$

Зворотна процедура. Дана процедура дозволяє обчислити ймовірність кінцевої заданої послідовності c_1, \dots, c_t за умови, що вона починається з вихідного стану i у момент часу t .

Для початку можна обчислити $\beta_i(t)$:

$$\beta_i(t) = 1; \quad (2.18)$$

$$\beta_i(t) = \sum_{j=1}^N \beta_j(t+1) a_{ij} b_j(C_{t+1}). \quad (2.19)$$

Використовуючи α і β , можна обчислити наступні значення:

$$\gamma_i(t) = p(S_t = i | C, \lambda) = \frac{\alpha_i(t)\beta_i(t)}{\sum_{j=1}^N \alpha_j(t)\beta_j(t)}; \quad (2.20)$$

$$\xi_{ij}(t) = p(S_t = i, S_{t+1} = j | C, \lambda) = \frac{\alpha_i(t)a_{ij}\beta(t+1)b_j(c_{t+1})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i(t)a_{ij}\beta(t+1)b_j(C_{t+1})}. \quad (2.21)$$

Маючи γ та ξ , можна визначити:

$$\bar{\pi}_i = \gamma_i(1); \quad (2.22)$$

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_{ij}(t)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_i(t)}; \quad (2.23)$$

$$\bar{b}_i(k) = \frac{\sum_{t=1}^T \delta_{C_t, c_k} \gamma_i(t)}{\sum_{t=1}^T \gamma_i(t)}. \quad (2.24)$$

Отримані на черговій ітерації значення \mathbf{A} , \mathbf{B} та $\boldsymbol{\pi}$ використовуються в наступній, і так далі до стабілізації значень елементів цих матриць.

Підхід другий: робота. **Розпізнавання резервованих бездротових комп'ютерних мереж с пошкодженими елементами за допомогою ПММ.** Завдання розпізнавання стану прихованої частини бездротової комп'ютерної мережі можна сформулювати таким чином.

Нехай дана спостережувана послідовність $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_M\}$ характеристик доступної частини, вихідний стан S_0 і моделі $\boldsymbol{\lambda} = (\mathbf{A}, \mathbf{B}, \boldsymbol{\pi})$, отримані в результаті навчання ПММ.

Необхідно підібрати послідовність станів прихованої частини бездротової комп'ютерної мережі $\mathbf{S} = \{S_1, S_2, \dots, S_m, \dots, S_M\}$, яка найкраще відповідає спостережуваній послідовності доступної частини $\mathbf{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_m, \dots, C_M\}$,

тобто «пояснює» спостережувану послідовність.

Це зворотна задача, в ній визначається, що ж відбувається в прихованій частині моделі, тобто шукається «правильна» послідовність, надана моделлю. Ясно, що абсолютно точно не можна визначити цю послідовність.

Тут можна говорити лише про припущення з відповідною ступенем достовірності. Ясно, що абсолютно точно не можна визначити цю послідовність. Тут можна говорити лише про припущення з відповідним ступенем вірогідності.

Процес розв'язання саме й полягає в тому, щоб «розкрити» цю ймовірність, виразити її конкретними числами, «пред'являючи» на кожній ітерації послідовності C набір «навчених» моделей λ (рис. 2.11).

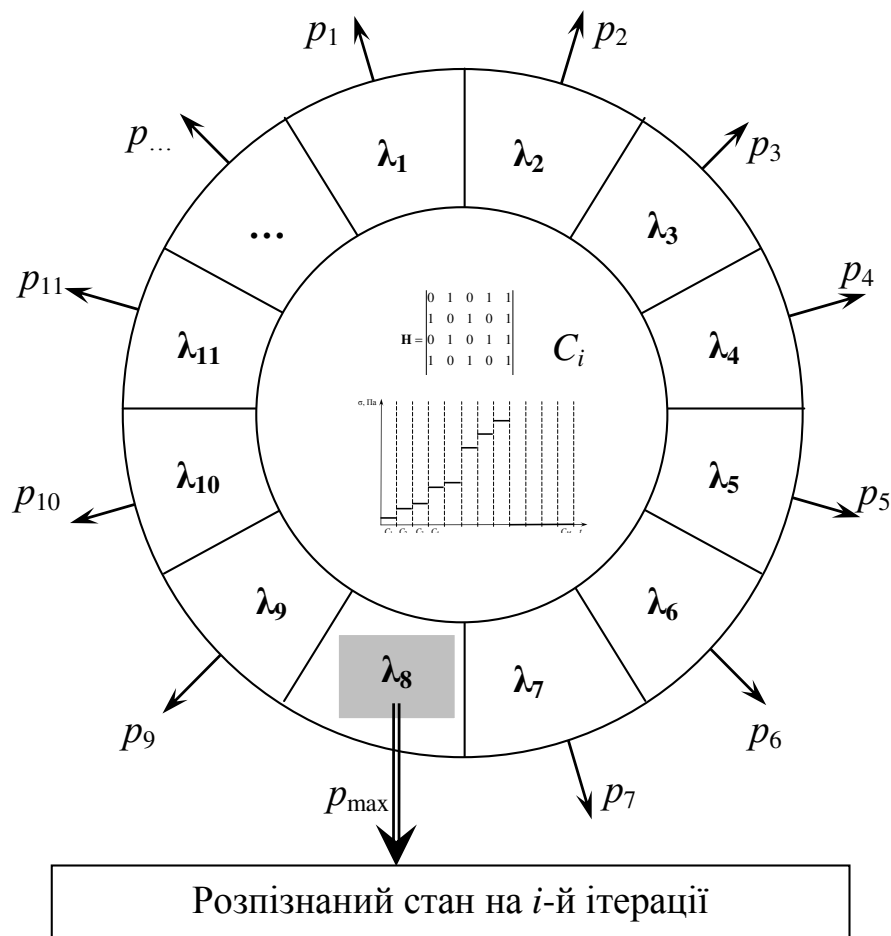


Рисунок 2.11 – Схема процесу розпізнавання стану структури ПБКМ на одній ітерації

Найбільш просте розв'язання полягає в тому, щоб порахувати ймовірність появи послідовності спостережень для кожної можливої послідовності станів комп'ютерної мережі, а потім скласти ці ймовірності. Нехай $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ – множина усіх можливих послідовностей станів тієї ж довжини, що послідовність C . Їхня кількість дорівнює $K = N^t$, де N – кількість станів, t – довжина послідовності.

Нехай i -а послідовність $S_i \in$ рядом станів $\{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{it}\}$, а послідовність породжених нею до поточного моменту спостережень дорівнюватиме c_1, c_2, \dots, c_t (рис. 2.12).

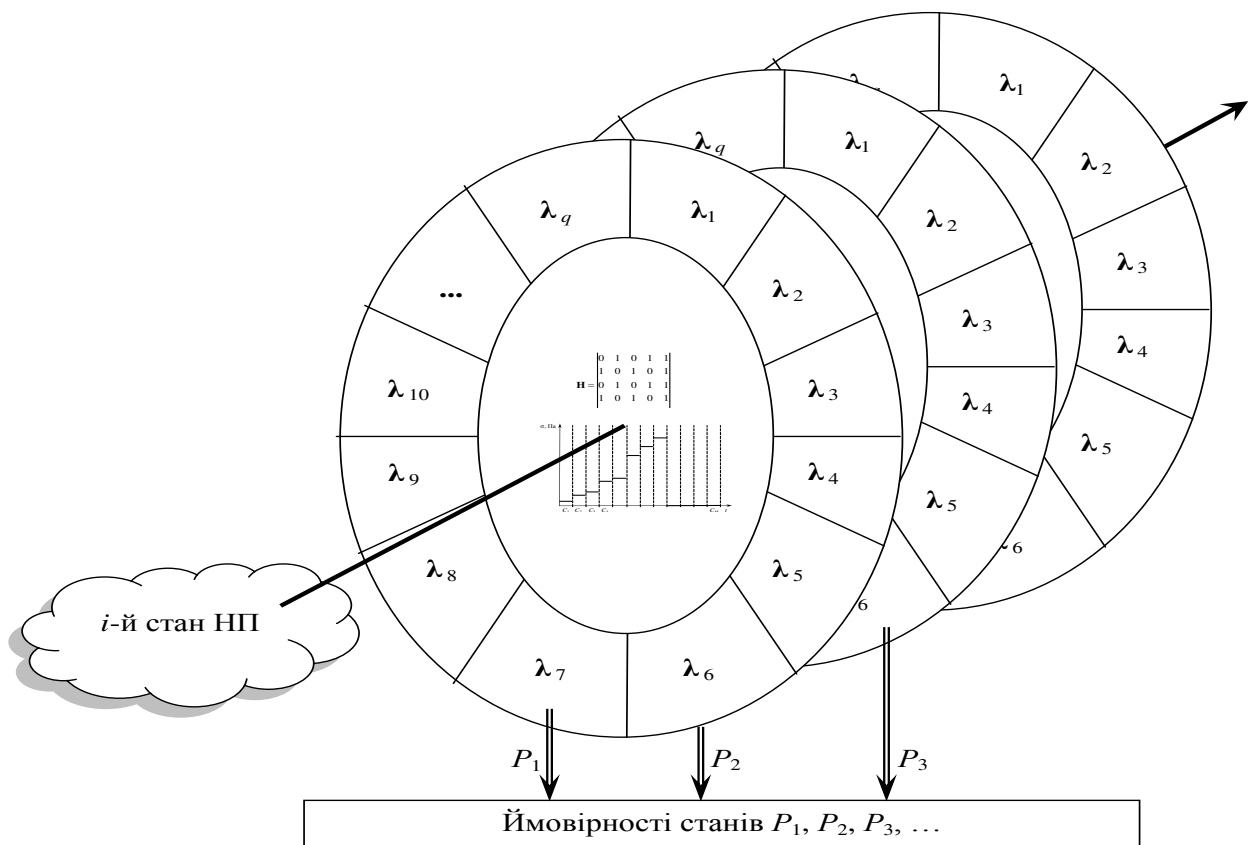


Рисунок 2.12. Схема завдання розпізнавання структури прихованої частини об'єкта,

Тоді для i -ї послідовності станів імовірність появи послідовності спостережень C дорівнює:

$$P(\mathbf{C}|\mathbf{C}_i, \lambda) = \prod_{j=1}^t P(c_j | s_{ij}, \lambda) = \prod_{j=1}^t b_{q_{ij}}(c_j) \quad (2.25)$$

Ймовірність же появи самої i -ї послідовності станів дорівнює:

$$P(\mathbf{S}_i | \lambda) = \pi_{q_{i1}} \prod_{j=2}^t a[q_{i,j-1} - q_{i,j}]. \quad (2.26)$$

За визначенням прихованої марковської моделі ймовірності спостереження в кожному зі станів залежать тільки від самого стану і не залежать від попередніх станів. Тому ймовірність появи зазначеної послідовності спостережень \mathbf{C} для нашої моделі можна розрахувати так:

$$P(\mathbf{C}|\lambda) = \sum_{i=1}^{N^t-1} P(\mathbf{C}|\mathbf{C}_i, \lambda) P(\mathbf{S}_i | \lambda) = \sum_{i=1}^{N^t-1} (\pi_{q_{i1}} b_{q_{i1}}(c_1) \prod_{j=2}^t a[q_{i,j-1} - q_{i,j}] b_{q_{ij}}(c_j)). \quad (2.27)$$

Очевидно, що для розв'язання цього завдання «у чоло» буде потрібно $(2^{t-1})N_t$ множень і $N_t - 1$ додавань, що вже для $N = 10$ станів і довжини послідовності спостережень $t = 10$ дає кількість обчислень, яка дорівнює $19 \cdot 1010 + 1010 - 1 = 2 \cdot 1011 - 1$.

Це дуже багато. Існують більш ефективні алгоритми розв'язання цього завдання. Найбільш відомі два – алгоритм прямого ходу й алгоритм зворотного ходу [76].

2.3.2 Результат моделювання структури ПБКМ за допомогою ПММ

Як впливає з опису методу розпізнавання структури ПБКМ (див. рис. 2.7, 2.8), результат розпізнавання ймовірностей перебування структури ПБКМ у працездатному стані за допомогою ПММ, представлений як матриця суміжностей для деякого графу стану ПБКМ, виглядає в загальному вигляді так (рис. 2.13).

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

Рисунок 2.13 – Загальний вигляд результату побудови за допомогою ПММ – матриця ймовірностей працездатності елементів ПБКМ на одній з ітерацій t .

Далі будуть наведені подібні матриці реальних ПБКМ із реальними значеннями ймовірностей.

Зауважимо що матриця, зображена на рис. 2.13 завжди квадратна, тобто I завжди дорівнює J . Елементи цієї матриці, як впливає з попереднього підрозділу, відносяться до однієї з чотирьох множин:

- 0 – відомо, що відповідний зв'язок пошкоджений;
- 1 – відомо, що відповідний зв'язок непошкоджений;
- p_{ij} – відомо із ймовірністю p_{ij} , що відповідний зв'язок непошкоджений;
- відсутній елемент – зв'язку не було в початковій структурі ПБКМ $\mathbf{H}(0)$.

Якщо значення p_{ij} змінюються в часі від ітерації до ітерації ($p_{ij} = p_{ij}(t)$), отримуємо змінну (тривимірну) ймовірнісну математичну модель, яка відбиває зміну стану ПБКМ під час її експлуатації.

Використання цієї моделі для безпосереднього розпізнавання край затруднене з таких, наприклад, причин:

- низька достовірність отриманої інформації і, як наслідок, низька точність розпізнавання у разі використання, наприклад, порогових моделей;
- велика тривалість розпізнавання у разі використання морфологічних моделей.

2.4 Висновки

1. В практиці дослідження надійності ПБКМ часто виникає необхідність *розпізнавання стану структури* латентної (непостережуваної, прихованої) частини останніх з метою виявлення кількості і дислокації структурних пошкоджень та оцінки працездатності мережі в цілому. Ця необхідність випливає з того, що окремі елементи ПБКМ в умовах ймовірного пошкодження, відносно швидко втрачають зв'язок із елементами, які залишаються доступними. При цьому ПБКМ з деякою ймовірністю потребує або перерозподілу функцій серед непошкоджених елементів, або відновлення пошкодження, тобто діяльності з заміни пошкоджених елементів на резервні на діючому об'єкті.

2. Аналіз морфологічного методу-прототипу розпізнавання стану структури пошкоджуваного мережевого об'єкта (зокрема, ПБКМ) встановив, що один з етапів методу має велику часову складність, неприйнятну, коли мова йде про розпізнавання структури ПБКМ із швидкозмінною структурою з метою її *on-line* відновлення

3. Останнім часом з'явився метод пришвидшення процесів розпізнавання, які містять повільний етап, за допомогою *віртуального об'єкта*. Такий об'єкт може фізично не існувати (навіть бути таким, існування якого взагалі неприпустиме), але при цьому його віртуальна модель дозволяє знайти прискорений шлях до розв'язання задачі. Віртуальна модель в запропонованому методі морфологічно пов'язана із ймовірнісною моделлю працездатності окремих елементів ПБКМ, яка отримується за допомогою прихованих марковських моделей.

4. Використання ймовірнісної матричної моделі для безпосереднього розпізнавання неможливе з різних причин: низька достовірність отриманої інформації і, як наслідок, низька точність розпізнавання у разі використання порогових моделей; велика тривалість розпізнавання у разі використання морфологічних моделей, тощо. Тому в подальшому необхідно розробити тау

модель стану структури ПБКМ, яка забезпечували би отримання достовірного результату розпізнавання в прийнятний час.

5. Для ПБКМ із швидкозмінною структурою з метою підвищення достовірності розпізнавання стану її структури запропоновано враховувати не окремий поточний стан останньої, а деякий часовий тренд структурних змін, що по суті перетворює структурні моделі, які використовуються при розпізнаванні у вигляді матриць суміжностей, у тривимірні.

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРИ ПБКМ У ВИГЛЯДІ ТРИВИМІРНОГО ПОЛЯ НАПРЯМКІВ ТА МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ СТАНУ СТРУКТУРИ МЕРЕЖІ

3.1 Метод дистанційного розпізнавання стану структури частково недоступної ПБКМ за допомогою віртуальної моделі у вигляді тривимірного поля інтенсивностей

Як виходить з висновків Розділу 2, метод дистанційного розпізнавання стану структури частково недоступного об'єкта, схема якого наведена на рис. 2.5, не може бути використаний в он-лайн умовах швидкоплинних дій, оскільки він потребує визначного машинного часу на виконання етапів «Моделювання за допомогою ММ» та «Порівняння». Тому, у відповідності до ідеології заміни «незручних» етапів методу розв'язання задачі на етапи методу ММТО (рис. 2.3), використаємо в цьому випадку віртуальну модель поточного стану структури ПБКМ у вигляді тривимірного поля інтенсивностей (ТПІ) (рис. 3.1) [16].

В цьому методі відсутні перелічені «незручні» етапи, що дозволяє, як буде показано нижче, суттєво знизити машинний, а отже, і загальний час розпізнавання АРЗО, а отже і час діагностування БКМ в цілому, що є вирішальним в швидкоплинних умовах використань мережі.

Новий метод, на відміну від існуючого, не містить циклів, та складних повторювань [20]. Отримувана від частково недоступної БКМ із реальною, але невідомою поточною структурою $\mathbf{H}_{об}$, змінна у часі інформація $\mathbf{C}(\tau)$ на першому етапі перетворюється за допомогою прихованої марковської моделі (див. Розділ 2) до тривимірного рухомого поля ймовірностей $\mathbf{P}(x, y, \tau)$, яке далі трансформується в рамках методу до віртуальної моделі у вигляді абстрактного рухомого зорового образу $\mathbf{z}(x, y, \tau)$ і далі, – в поточну структуру БКМ $\mathbf{H}_{об}^*$, але

вже не в невідомому реальному, а в відомому виключно як результат розпізнавання [32, 33, 35].

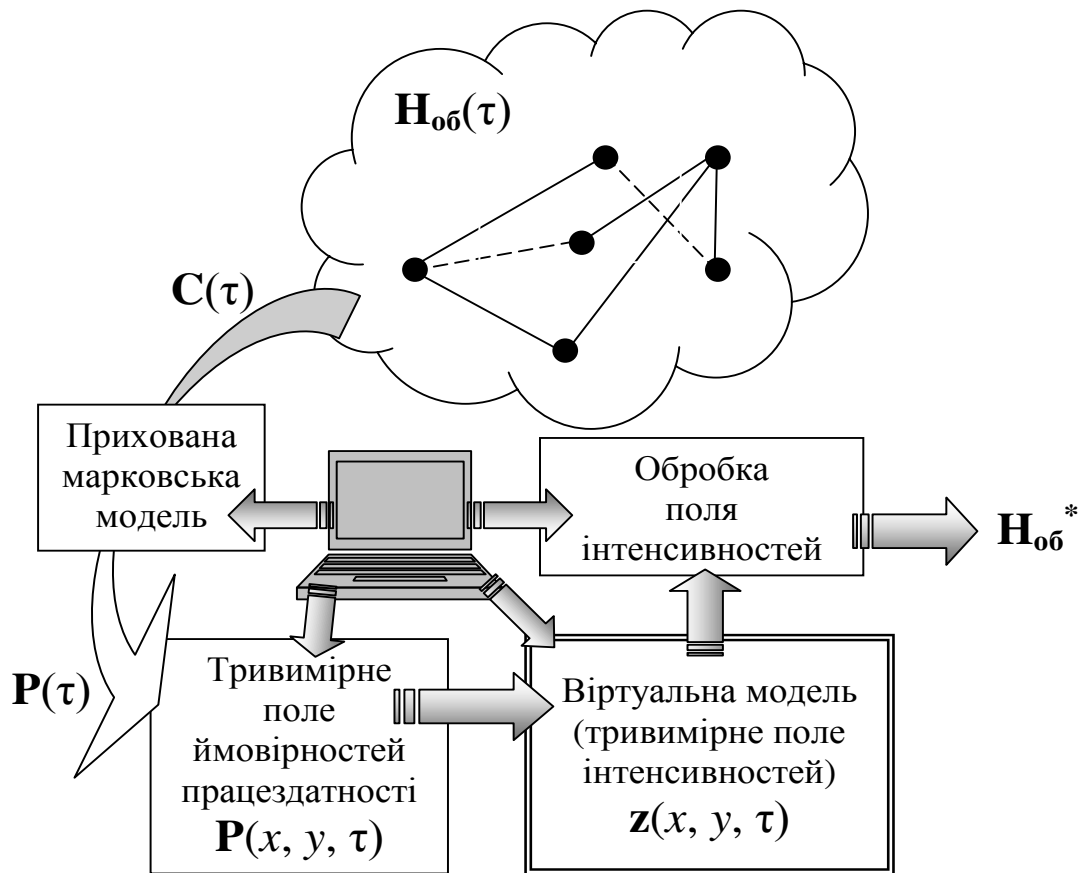


Рисунок 3.1 – Схема методу дистанційного розпізнавання стану структури частково недоступної ПБКМ за допомогою віртуальної моделі у вигляді ТПІ

Більш наочно запропонований інтелектуальний метод розпізнавання структури частково недоступного для моніторингу мережевого об'єкта, зокрема ПБКМ, доповнений блоком відновлення ПБКМ, виглядає таким чином (рис. 3.2). На початку поточного розділу маємо вхідну інформацію про тривимірне поле ймовірностей $P(x, y, \tau)$. Далі розглянемо перетворення, які входять до методу в такій послідовності:

- перетворення окремих «кадрів» тривимірного поля ймовірностей $P(x, y)$ до окремих «кадрів» тривимірного поля інтенсивностей $z(x, y)$;

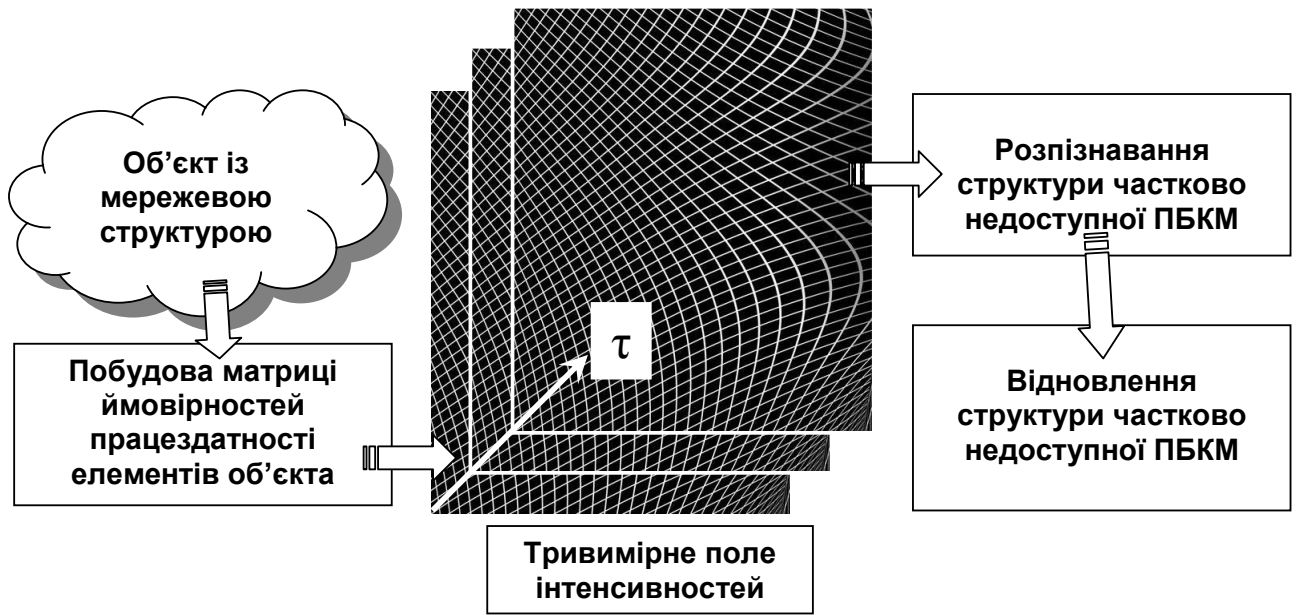


Рисунок 3.2 – Схема інформаційного методу розпізнавання та відновлення структури частково недоступного для моніторингу мережевого об'єкта

- перетворення тривимірного поля ймовірностей $P(x, y, \tau)$ до тривимірного поля інтенсивностей $z(x, y, \tau)$;
- перетворення тривимірного поля інтенсивностей $z(x, y, \tau)$ до розпізнаної структури ПБКМ $H_{об}^*$.

3.2 Перетворення окремих «кадрів» тривимірного поля ймовірностей на двовимірне поле інтенсивностей

Хай об'єктом розгляду є ПБКМ із частково недоступними для будь-якого моніторингу елементами, яка під час експлуатації ще й частково пошкоджується (для спрощення подальших описів будемо без втрат для загальних розміркувань вважати, що будь-який елемент мережі може знаходитися лише в одному з двох станів: працездатному або непрацездатному).

Таким чином з однієї та тієї ж ПБКМ, тобто з усіх її елементів, виділяються дві підмережі: *частково недоступна моніторингу та частково пошкоджена* або дві множини елементів: недоступні (множина НМ) та пошкоджені (множина ПШ). Ці множини у загальному випадку можуть співпадати, частково перетинатися або не перетинатися взагалі [6]. Тобто в реальній БКМ після деякого часу експлуатації, в залежності від її початкового стану та подій, які відбувалися з нею під час експлуатації, можуть існувати чотири типи поточного стану елементів:

- доступний для моніторингу, працездатний;
- доступний для моніторингу, непрацездатний;
- недоступний для моніторингу, працездатний;
- недоступний для моніторингу, непрацездатний.

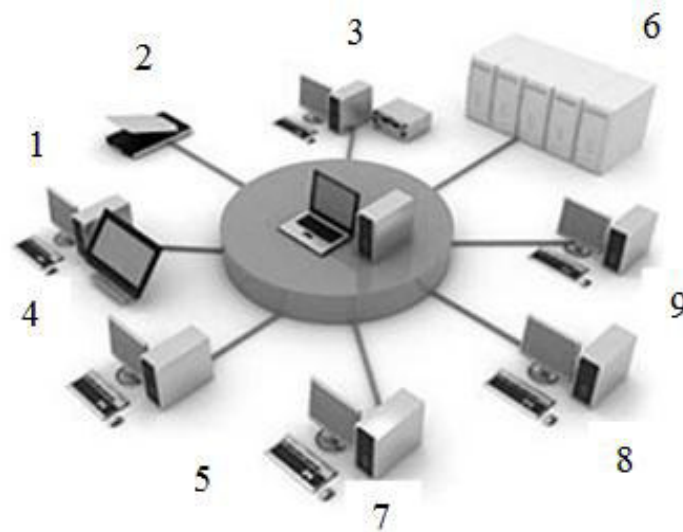
Візьмемо в якості прикладу деяку найпростішу ПБКМ із однією точкою доступу, схема якої представлена на рис. 3.3, а [6].

Хай елементи 3, 6 та 9 в ній недоступні для моніторингу (множина НМ). Побудуємо для структури цієї мережі матрицю суміжності (рис. 3.3, б), причому дискретну інтенсивність z_e фону кожного елемента (пікселя) цієї матриці оберемо в межах оцінки інтенсивності від 0 до 255 та пропорційно ймовірності p_e достовірності інформації про працездатність елемента:

$$z_e = [255 p_e]. \quad (3.1)$$

Як впливає з визначення матриці суміжності, для двонаправлених зв'язків між елементами вона завжди симетрична відносно головної діагоналі.

На рис. 3.3 наведені приклади такого співвідношення: якщо p_e дорівнює одиниці, тобто якщо елемент стовідсотково працездатний, яскравість його пікселя максимальна (255, білий), якщо стовідсотково непрацездатний, яскравість його пікселя мінімальна (0, чорний), якщо працездатність може бути оцінена лише з деякою дробовою ймовірністю $0 < p_e < 1$, то і колір відповідного пікселя буде «сірим» ($0 < z_e < 255$).



a

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0

б

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	p	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	p	0	1	1	1	1	p
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	p	0	0	0	0

в

Рисунок 3.3 – Схема приведення характеристик працездатності ПБКМ до поля інтенсивностей:

a – характеристики працездатності ПБКМ;

б – схема приведення на початку експлуатації;

в – схема приведення після пошкоджень під час експлуатації:

$p = 1$ – елемент на 100 % працездатний;

$p = 0$ – елемента не було в мережі спочатку або він повністю втратив працездатність;

$0 < p < 1$ – працездатність елемента достовірно не відома)

На рис. 3.3 також видно, що на початку експлуатації існують тільки два стани пікселів – білий (відповідний елемент існує і він повністю працездатний) і чорний (елемент з початку експлуатації ПБКМ взагалі не існував).

Для цього випадку поле інтенсивностей, яке відповідає початковому стану ПБКМ, чорно-біле, без напівтонів (рис. 3.3, б). По закінченню деякого часу експлуатації частина елементів ПБКМ виходить з ладу, причому для доступних елементів (які належать до множини ПШ, в даному прикладі – це елемент № 4) точно відомо, що тільки в цього доступного елемента p_e із одиниці перетворилася на нуль, при цьому відповідний «білий» піксель «почорніє», а для недоступних (вони усі «підозрілі» на пошкодження) можемо отримати лише приблизну інформацію (при цьому відповідний «білий» піксель стає «сірим»).

Для цього випадку поле інтенсивностей *частково* пошкодженої БКМ із *частково* недоступними елементами набуває напівтонів (рис. 3.3, в) [6].

Перейдемо далі до ПБКМ із складнішою структурою. Відомо, що для представлення структури об'єкта найчастіше використовуються моделі у вигляді графів [168 – 170]. Розглянемо тестову ПБКМ, граф структури якої наведено на рис. 3.4.

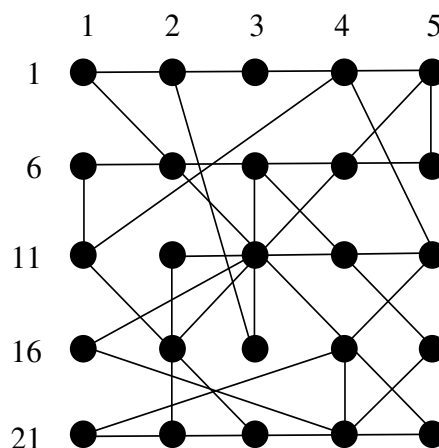


Рисунок 3.4 – Граф двовимірної структури двадцятип'ятиелементної ПБКМ

Відмітимо також таку особливість матриці суміжності: якщо всі зв'язки в ПБКМ двобічні, то така матриця буде симетричною відносно головної діагоналі [168].

Далі за допомогою нової комп'ютерної програми (Додаток А) побудуємо поле інтенсивності цієї, ще не пошкодженої бездротової комп'ютерної мережі, що може бути представлене у вигляді двовимірного розміром 25×25 пікселів цифрового зображення, в якому чорний колір (яскравість дорівнює 0) кожного з 625 пікселів відповідає випадку, коли відповідний зв'язок конструкцією ПБКМ не передбачений (в матриці суміжності на цьому місці знаходиться 0), а білий (яскравість дорівнює 255) – коли такий зв'язок у первинному стані ПБКМ передбачений, тобто в матриці суміжності на цьому місці знаходиться 1 (рис. 3.6).

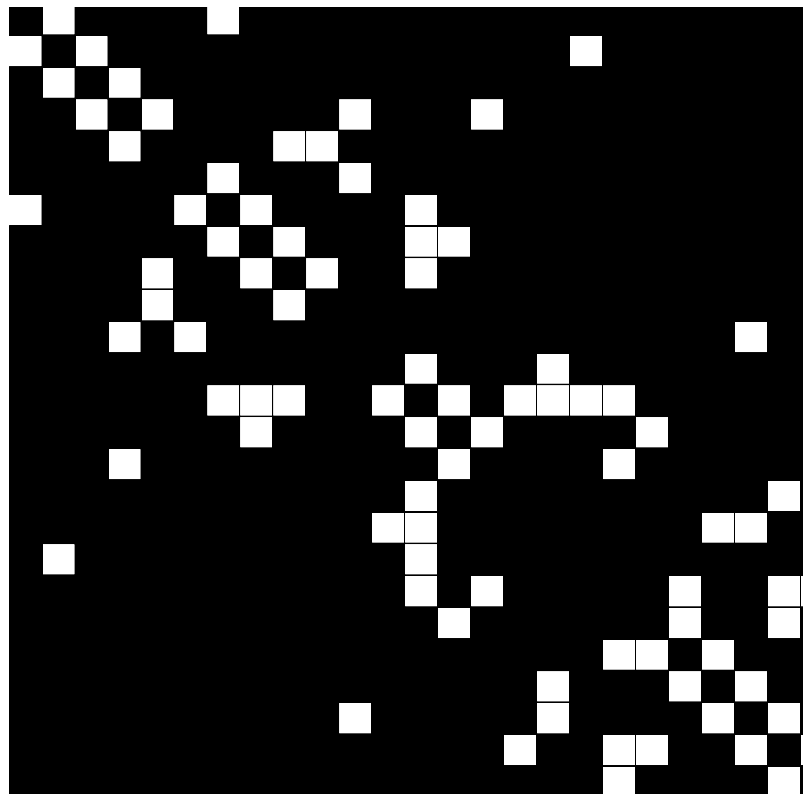


Рисунок 3.6 – Двовимірний зоровий образ поля інтенсивностей стану структури двадцятип'ятиелементної ПБКМ

В міру пошкодження деяких прихованих елементів, відповідні їм одиниці в матриці суміжності почнуть зменшуватися в проміжку від одиниці до нуля, відповідно до ймовірності їхнього знаходження у працездатному стані.

Зробимо ще один крок до ускладнення об'єкта і розглянемо тестову 100-елементну ПБКМ, початковий (відомий) граф структури якої наведено на рис. 3.7, *а*. Всього в мережі 100 вузлів, зв'язки між якими створюють матрицю суміжності по типу зображеної на рис. 3.5. На рис. 3.7, *б* виділена множина НМ, про яку точно відомо, що вона недоступна для моніторингу.

Після початку експлуатації мережі в ній з'являються структурні втрати (наприклад, вибуття з ладу транспортного засобу, на якому були розташовані деякі з елементів мережі). На рис. 3.7, *в*, *г* такі втрати позначені зірочками. У підсумку маємо ПБКМ із наявними пошкодженими та недоступними елементами, поле інтенсивностей якої відповідає її структурі і є придатним до подальшого використання в системах інтелектуального розпізнавання таких мереж.

Далі побудуємо ймовірнісну матрицю (рис. 3.8), яка відбиває початковий стан структури ПБКМ, наведеної на рис. 3.7 *а*. Матриця представлена у вигляді *Excel*-таблиці, отриманої за допомогою прихованих марковських моделей (див. Розділ 2).

На другому етапі експлуатації ($\tau = 1$ час) ймовірнісна двовимірна матриця, отримана за допомогою прихованих марковських моделей, має вже вигляд, наведений на рис. 3.9.

Використовуючи програму, наведену в Додатку А, отримуємо для ймовірнісної матриці з рис. 3.8 двовимірне поле інтенсивностей, яке відбиває початковий стан фрагменту ПБКМ або її стан після деякої експлуатації, під час якої пошкодження БКМ не відбувалося (рис. 3.10).

Відповідно, для ймовірнісної матриці з рис. 3.9 за допомогою Додатку А отримуємо двовимірне поле інтенсивностей, яке відбиває стан фрагменту ПБКМ після 1 години експлуатації, під час якої відбулося пошкодження (рис. 3.11).

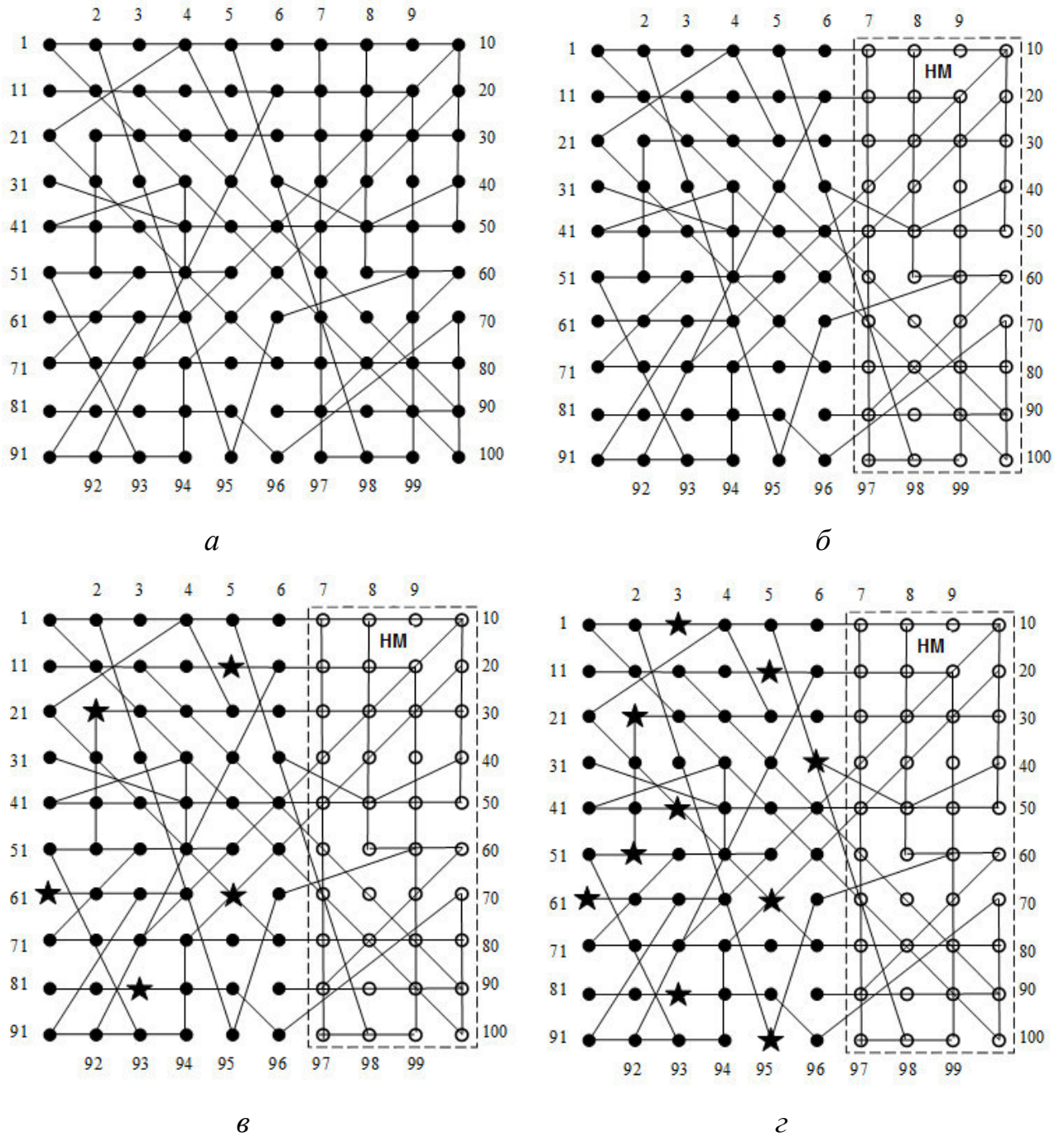


Рисунок 3.7 – Структура тестової 100-елементної ПБКМ:

а – початковий стан;

б – стан ПБКМ із частково недоступними елементами;

в – стан ПБКМ із частково недоступними елементами після першого періоду експлуатації;

г – стан ПБКМ із частково недоступними елементами після другого періоду експлуатації

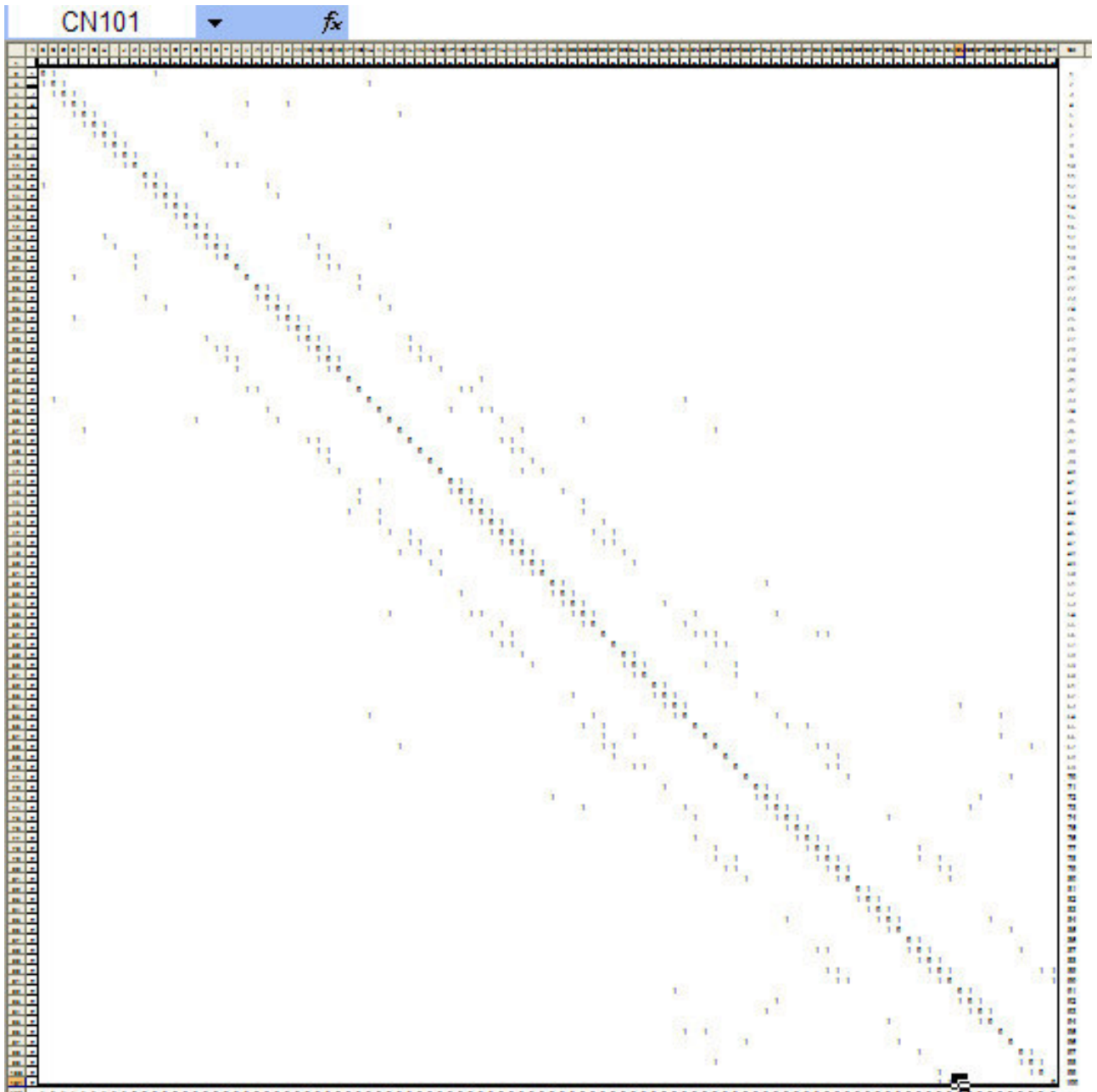


Рисунок 3.8 – Фрагмент *Excel*-таблиці із полем ймовірностей працездатності елементів, отриманим на початку експлуатації ПБКМ ($\tau = 0$) за допомогою прихованих марковських моделей

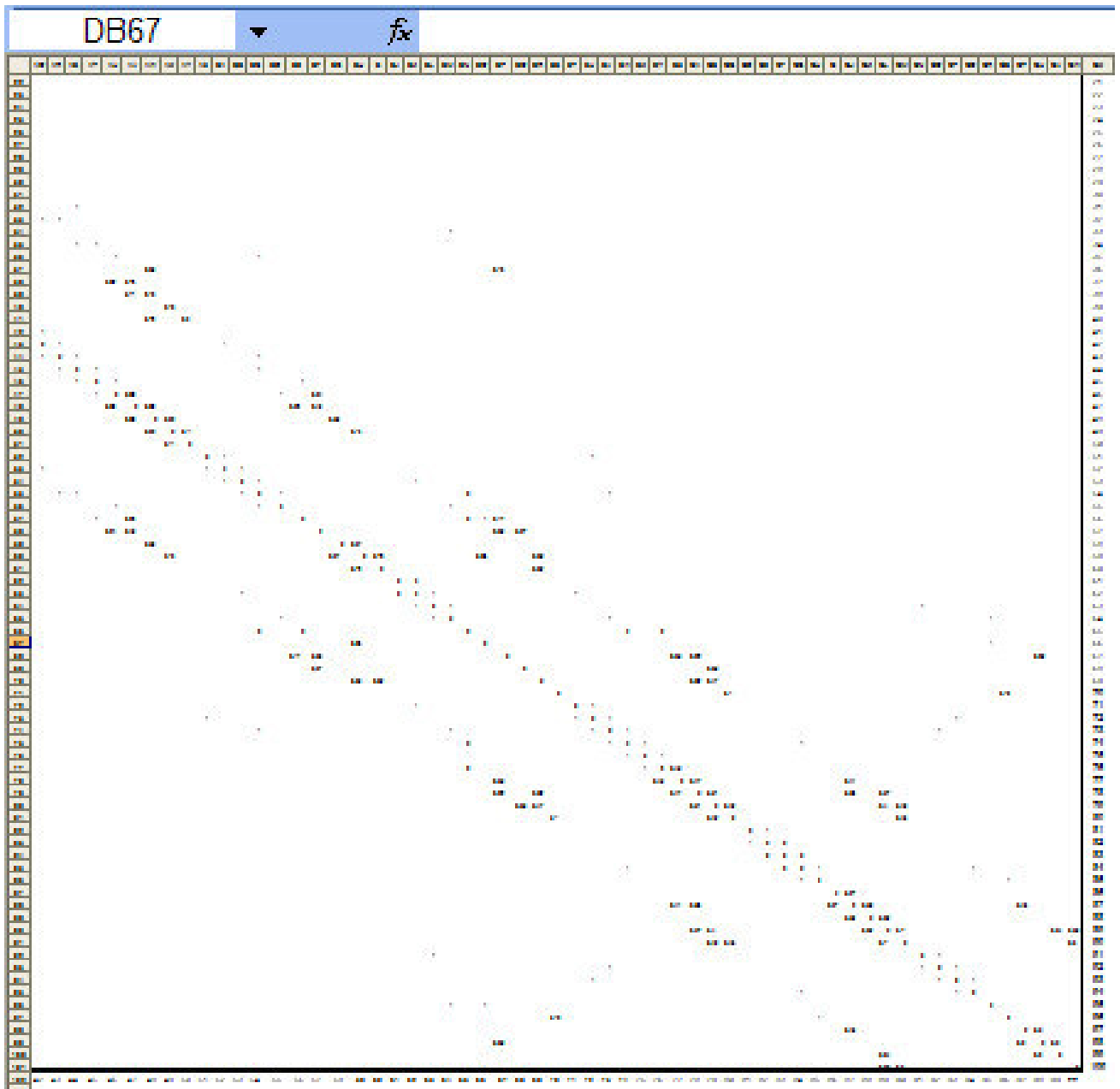


Рисунок 3.9 – Фрагмент *Excel*-таблиці із полем ймовірностей працездатності, отриманими на другому етапі експлуатації ПБКМ ($\tau = 1$ час) за допомогою прихованих марковських моделей

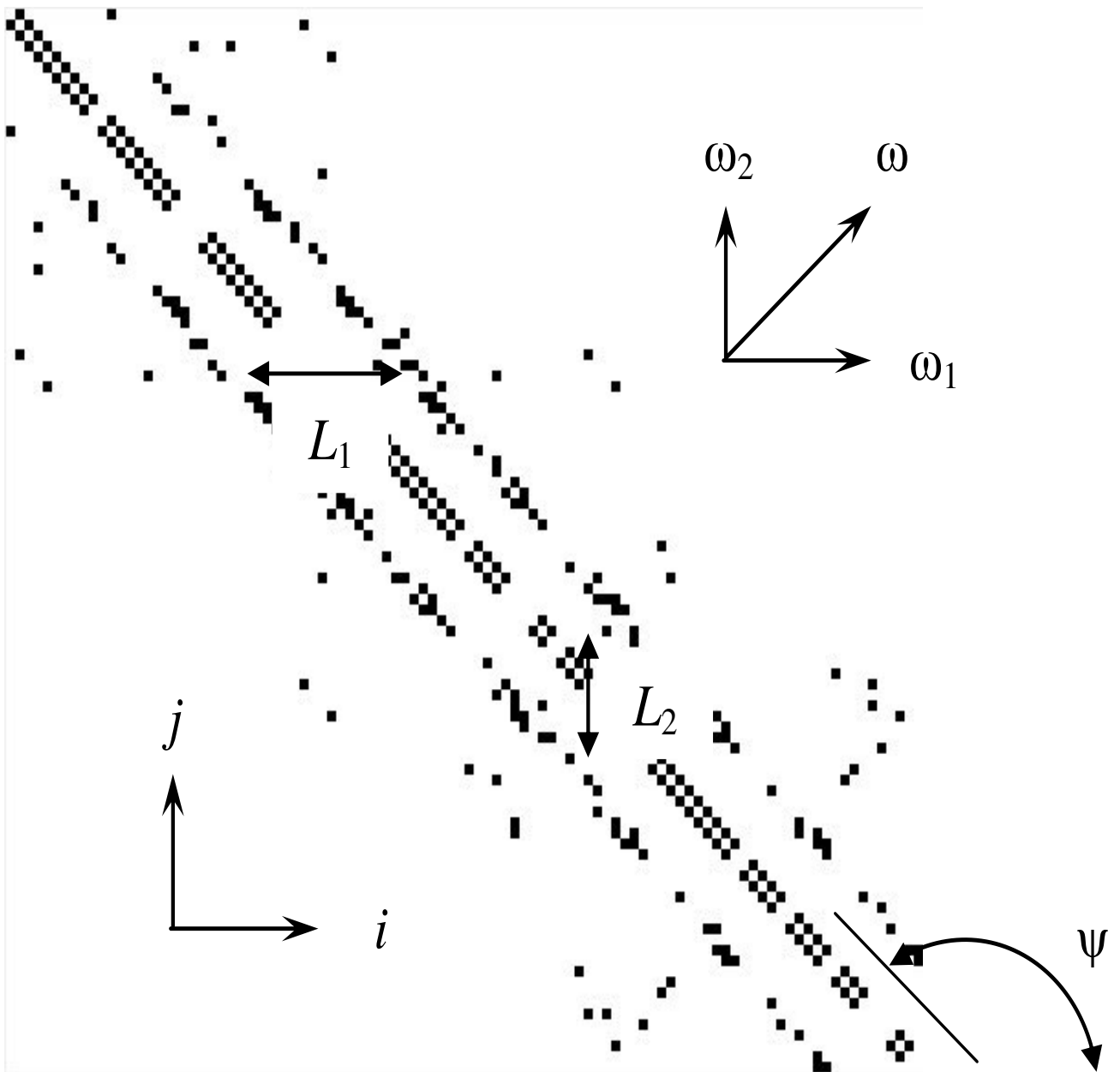


Рисунок 3.10 – Інвертоване двовимірне поле інтенсивностей – модель стоелементної тестової ПБКМ, яка знаходиться на початку експлуатації ($\tau = 0$)



Рисунок 3.11 – Інвертоване двовимірне поле інтенсивностей – модель стоелементної тестової ПБКМ, яка знаходиться на другому етапі експлуатації ($\tau = 1$ час)

В такому вигляді поточні двовимірні поля інтенсивностей придатні для подальшої інтелектуальної обробки з метою розпізнавання стану структури відповідних ПБКМ.

3.3 Розпізнавання стану структури ПБКМ за допомогою математичної теорії поля напрямків

3.3.1 Моделювання стану структури ПБКМ у вигляді двовимірного поля напрямків

3.3.1.1 Побудова поля напрямків для гладких функцій інтенсивностей

Як сказано вище, поля інтенсивностей, наведені на рис. 3.10 та 3.11, при візуалізації у зображення сприймаються як сукупність контурних ліній, що підкоряються деякому досить складному порядку.

Типовими представниками зображень зі структурною надмірністю є інтерферограми, дактилограми та багато інших, так званих, квазіперіодичних, зображень природного і штучного походження.

Якщо розглянути просторовий спектр таких зображень, він виявиться розташованим в досить вузькій смузі частот в області деякої характерної просторової частоти, яку називають несучою частотою [124].

Квазіперіодичні структури визначаються наявністю багатоконтурної впорядкованої текстури з вираженою орієнтацією. У кожній малій області квазіперіодичної структури функція яскравості є періодичною уздовж певного напрямку і візуально виражається в системі «паралельних» смуг. Основними параметрами таких зображень є переважний напрямок смуг та їх густина в кожній точці зображення. Крім того, на таких зображеннях виділяються особливі точки і лінії (сінгулярності), в яких порушується періодична структура.

Просторовий спектр таких зображень розташований в досить вузькій смузі частот в області деякої характерної просторової частоти, яку можна назвати несучою частотою [171]. Саме несуча частота, яка візуально сприймається як множина контурних ліній, є основним чинником надмірності зображень, аналогічних наведеним на рис. 3.10 та 3.11.

В будь-якому випадку, поле інтенсивностей як модель, яка відповідає поточній структурі ПБКМ, побудована за описаним вище методом, як і будь-яке зображення, що підлягає розпізнаванню, містить великий обсяг надлишкової інформації, яку необхідно «згорнути» без змістовних втрат.

Процес накладення інформаційної складової на несучу, як правило, є досить складним і не завжди відомим заздалегідь, що виключає застосування простих методів виділення інформації (демодуляції), застосовуваних, наприклад, у радіотехніці.

Найбільш зручним носієм згорнутої інформації для вирішення завдання розпізнавання по функціях інтенсивностей двох дискретних аргументів i та j зі структурною надмірністю є *поле напрямків* [128], тобто поле кутів $\psi(i, j)$ переважного напрямку смуг в локальній околиці точки функції (див. Розділ 1).

При цьому, кути напрямку смуги $\psi(i, j)$ в даній точці дорівнюють, за визначенням, кутам дотичної до лінії рівня функції інтенсивностей $y(i, j) = y_0$ [124].

Поле напрямків, при цьому, фактично є результатом «геометричного» інтегрування поля інтенсивностей [172]. Адже, як випливає з визначення, двовимірним полем напрямків є геометрична інтерпретація множини лінійних елементів, які відповідають звичайним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dj}{di} = g(i, j). \quad (3.2)$$

Двовимірним лінійним елементом називається набір чисел $i, j, g(i, j)$, який можна представити як сукупність точки $(i, j) \in G^2 \subset R^2$ та відповідного їй напрямку із направляючими косинусами:

$$\left(\frac{1}{\sqrt{1+g^2(i, j)}}, \frac{g(i, j)}{\sqrt{1+g^2(i, j)}} \right), \quad (3.3)$$

де G^2 – загальна множина точок; для двовимірного (R^2) розташування точок, – G^2 це й є, власне, функція інтенсивностей, яка у разі відтворення на будь-якому носії (екрані, папері, тощо), виглядає як деяке зображення.

Рівняння (3.2) та (3.3) можна розглядати як систему, розв’язання якої дозволяє знайти один з направляючих кутів в конкретній точці поля інтенсивностей і поле напрямків для всього поля інтенсивностей.

Розглянемо далі довільну двовимірну функцію інтенсивностей $y(x_1, x_2)$, яку будемо вважати гладкою, тобто такою, що має неперервні частинні похідні першого порядку. Розглянемо множину кривих на площині (x_1, x_2) , які відповідають лініям рівня функції інтенсивностей y_0 .

Множина напрямків дотичних до ліній, відповідно до визначення, утворює поле напрямків при

$$g(x_1, x_2) = -\frac{dy(x_1, x_2)/dx_1}{dy(x_1, x_2)/dx_2}. \quad (3.4)$$

Таким чином, класичне визначення поля напрямків призводить до функції $\psi(x_1, x_2)$, яка має фізичний сенс кута нахилу дотичної до лінії рівня функції яскравості зображення (рис. 3.10) і задається наступним рівнянням:

$$\operatorname{tg} \psi(x_1, x_2) = -\frac{dy(x_1, x_2)/dx_1}{dy(x_1, x_2)/dx_2}, \quad 0 \leq \psi(x_1, x_2) < \pi. \quad (3.5)$$

Очевидним є зв'язок поля напрямків з градієнтом функції інтенсивностей: кут $\psi(x_1, x_2)$ задає напрямок, перпендикулярний до вектора градієнта $(dy(x_1, x_2)/dx_1, dy(x_1, x_2)/dx_2)$.

Формула обчислення поля напрямків (3.5) може бути застосована лише до класу функцій інтенсивностей, які мають достатню гладкість для можливості їхнього диференціювання. Таким класом зображень є, зокрема, функції

інтенсивностей структури ПБКМ, для яких інтуїтивно поняття поля напрямків зв'язується з напрямком інтерференційних смуг і збігається з визначенням (3.5). У довільній локальній області досить малих розмірів функція інтенсивностей таких зображень може бути описана гармонійною функцією [124]:

$$y(x_1, x_2) = A \cos[\omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \varphi_0] + B, \quad (3.6)$$

де $\omega_1 = 2\pi/L_1$, $\omega_2 = 2\pi/L_2$ (див. позначення на рис. 3.10) – локальні просторові частоти, а φ_0 – локальна початкова фаза.

Можна визначити напрямок і просторову частоту смуг в цій локальній області:

$$\operatorname{tg} \psi = -\omega_1 / \omega_2, \quad 0 \leq \psi < \pi \quad \omega = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}. \quad (3.7)$$

Розглядаючи сукупність усіх точок функції інтенсивностей, отримуємо альтернативний опис поля напрямків $\psi(x_1, x_2)$ у вигляді рівняння:

$$\operatorname{tg} \psi(x_1, x_2) = -\frac{\omega_1(x_1, x_2)}{\omega_2(x_1, x_2)}, \quad (3.8)$$

а також поле просторових частот:

$$\omega(x_1, x_2) = \sqrt{\omega_1^2(x_1, x_2) + \omega_2^2(x_1, x_2)}, \quad (3.9)$$

яке описує щільність або густоту смуг в малій околиці заданої точки (x, y) на полі інтенсивностей. Співвідношення (3.8) задає альтернативний до формули (3.5) спосіб обчислення поля напрямків для «гладких» функцій інтенсивностей, що містять квазіперіодичні структури і задовольняють локальній моделі (3.6).

3.3.1.2 Побудова поля напрямків для довільних функцій інтенсивностей

Модель «гладкої» функції інтенсивностей (3.6) може бути узагальнена на випадок довільної функції з квазіперіодичною структурою, в тому числі, на функції, що містять перепади інтенсивностей (контури), і, навіть, на бінарні (двохградаційні) функції [133].

Так, наприклад, поля ймовірностей працездатності елементів ПБКМ не описуються гладкою функцією інтенсивності, і до них не може бути застосоване класичне визначення поля напрямків (3.5). Однак такі поля містять локальні періодичні структури і можуть бути описані, наприклад, такою локальною моделлю:

$$y(x_1, x_2) = A Q[\omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \varphi_0] + B, \quad (3.10)$$

де $Q[\cdot]$ – довільна періодична функція з періодом (для визначеності) 2π . Зокрема, поле інтенсивностей структури ПБКМ (рис. 3.10, 3.11) може бути описано локальною моделлю (3.10) з прямокутною функцією:

$$Q[z] = \text{sign}[\cos(z)]. \quad (3.11)$$

Таким чином, усунення структурної надмірності для розглянутого класу «смугастих» функцій інтенсивностей $z(x_1, x_2)$ призводить до заміни таких полів парою інших у вигляді поля напрямків $\psi(x_1, x_2)$ і поля просторових частот $\omega(x_1, x_2)$ [143].

Двовимірне поле напрямків зображується градаціями сірого, причому нульовим значенням відповідних кутів ($\psi = 0$) відповідає чорний колір, а значенням $\psi = \pi$ – білий. Поле просторових частот також представляється градаціями сірого в діапазоні від мінімального до максимального значення.

На практиці використовують численні завадостійкі методи побудови поля

напрямоків засновані на апроксимації та усередненні [133]. 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: $\psi = \arg \min_{\varphi} |y'_{\varphi}|$. Основною перевагою диференціальних методів є їхня оперативність, тобто максимально можлива швидкодія серед усіх відомих класів методів побудови поля напрямків [124, 133].

При використанні чисельного диференціального методу обчислення «похідної» в диференціальному методі побудови одновимірного поля напрямків з маскою 1×3 (два сусіди у центрального елемента маски i) по відліках усередині вікна обчислюємо чисельну «похідну» уздовж єдиного напрямку, який проходить крізь центри відповідних клітин (рис. 3.12).

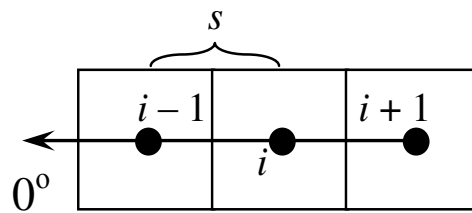


Рисунок 3.12 – Схеми обчислення чисельної «похідної» в диференціальному методі побудови одновимірного поля напрямків при масці 1×3

При цьому замість неперервного аргументу x_1 використовується дискретна змінна (номери відповідних пікселів) i та симетрична різницева схема:

$$z'(i) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{z(i+h) - z(i-h)}{2h}, \quad (3.12)$$

де h – величина кроку за напрямком. Відзначимо, що величина кроку h не

завжди збігається із розміром сітки, тобто відстанню між сусідніми пікселями (центрами сусідніх клітин сітки s на рис. 3.12). Можливо, щоб крок h дорівнював кільком цілим s або, навіть, їх дробовим значенням.

При використанні двовимірного чисельного диференціального методу з маскою 3×3 (вісім сусідів у центрального елемента маски ij) по відліках усередині вікна обчислюємо «похідні» уздовж чотирьох не колінеарних напрямків, які проходять крізь центри сусідніх квадратних клітин та обумовлені кутами $\varphi = 0; 45; 90$ та 135 градусів (рис. 3.13, *a*).

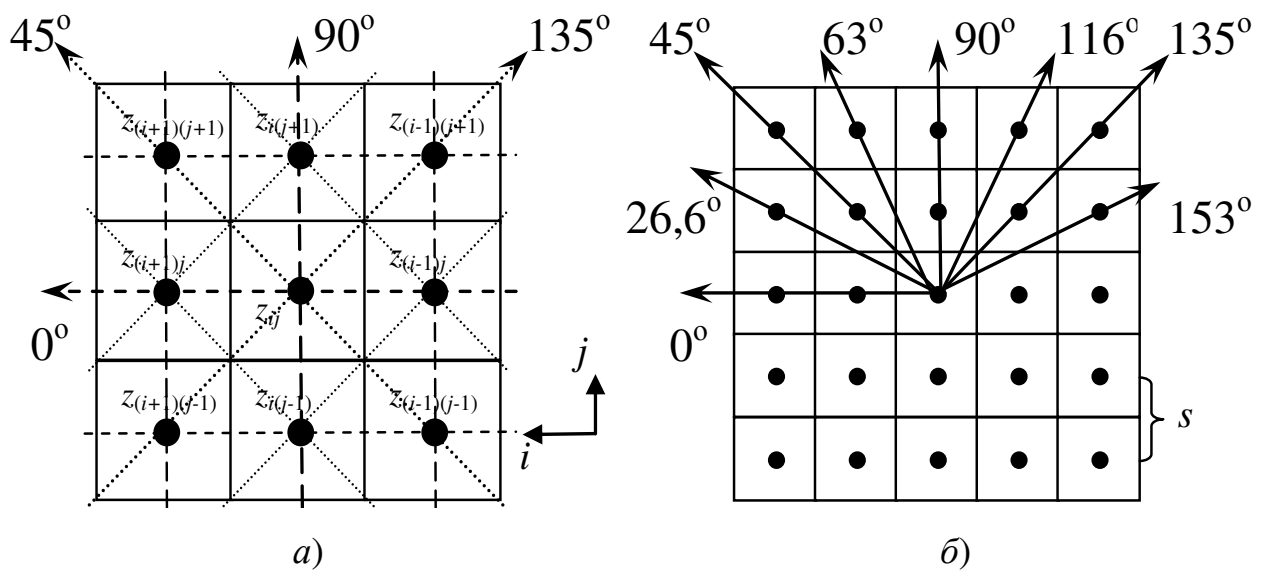


Рисунок 3.13 – Схеми обчислення чисельних «похідних» в диференціальному методі побудови двовимірного поля напрямків:

a – маска 3×3 ;

б – маска 5×5

В цьому випадку на масці 3×3 існує більш, ніж один, напрямок, колінеарний до одного з кутів φ . Так, на рис. 3.13, *a* таких напрямків для кожного з чотирьох кутів $\varphi = 0; 45; 90$ та 135 градусів чотири. Тому далі обчислювали похідну z'_α за напрямком α за формулою середнього арифметичного (приклад для нульового кута):

$$z'_0 = \frac{z_{(i+1)(j+1)} - z_{(i-1)(j+1)} + z_{(i+1)j} - z_{(i-1)j} + z_{(i+1)(j-1)} - z_{(i-1)(j-1)}}{6}. \quad (3.13)$$

Для інших кутів при чисельному наближенні «похідних» для різних напрямків в диференціальному методі з маскою 3×3 (позначення елементів z_{ij} див. на рис. 3.13, а) вираз (3.13), отримує такий вигляд [124]:

$$z'_{45} = \frac{z_{i(j+1)} - z_{(i-1)(j+1)} + 0,5[z_{(i+1)(j+1)} - z_{(i-1)(j-1)}] + z_{(i-1)j} - z_{i(j-1)}}{3\sqrt{2}}; \quad (3.14)$$

$$z'_{90} = \frac{z_{(i-1)(j+1)} - z_{(i+1)(j+1)} + z_{i(j-1)} - z_{i(j+1)} + z_{(i-1)(j-1)} - z_{(i-1)(j+1)}}{6}; \quad (3.15)$$

$$z'_{135} = \frac{z_{(i-1)j} - z_{i(j+1)} + 0,5[z_{(i-1)(j-1)} - z_{(i+1)(j+1)}] + z_{i(j-1)} - z_{(i+1)j}}{3\sqrt{2}}. \quad (3.16)$$

При використанні більшої маски, розміром 5×5 (двадцять чотири сусіди у центрального елемента маски) обчислюються наближення похідних за восьми не колінеарними напрямками, обумовленим кутами: $\varphi = 0; 26,6 = \arctg 0,5; 45; 63 = \arctg 2; 90; 116; 135$ та 153 градуси (рис. 3.13, б).

Чисельні наближення похідних для різних напрямків в цьому випадку при позначеннях елементів x_{ij} , аналогічних позначенням в матриці 3×3 , мають такий вигляд:

$$f'_0 = \frac{x_{15} - x_{11} + x_{25} - x_{21} + x_{35} - x_{31} + x_{45} - x_{41} + x_{55} - x_{51}}{20}; \quad (3.17)$$

$$f'_{26} = \frac{x_{11} - x_{35} + x_{21} - x_{45} + x_{31} - x_{55}}{6\sqrt{5}}. \quad (3.18)$$

$$f'_{45} = \frac{1,5(x_{13} - x_{31}) + x_{14} - x_{41} + 0,75(x_{15} - x_{51}) + x_{25} - x_{52} + 1,5(x_{35} - x_{53})}{15\sqrt{2}}; \quad (3.19)$$

$$f'_{63} = \frac{x_{13} - x_{51} + x_{14} - x_{52} + x_{15} - x_{53}}{6\sqrt{5}}; \quad (3.20)$$

$$f'_{90} = \frac{x_{51} - x_{11} + x_{52} - x_{12} + x_{53} - x_{13} + x_{54} - x_{14} + x_{55} - x_{15}}{20}; \quad (3.21)$$

$$f'_{116} = \frac{x_{11} - x_{53} + x_{12} - x_{54} + x_{13} - x_{55}}{6\sqrt{5}}; \quad (3.22)$$

$$f'_{135} = \frac{1,5(x_{31} - x_{53}) + x_{21} - x_{54} + 0,75(x_{11} - x_{55}) + x_{12} - x_{45} + 1,5(x_{13} - x_{35})}{15\sqrt{2}}; \quad (3.23)$$

$$f'_{153} = \frac{x_{15} - x_{32} + x_{25} - x_{41} + x_{35} - x_{51}}{6\sqrt{5}}; \quad (3.24)$$

Вагову функцію визначають за допомогою такого співвідношення [133]:

$$\omega = \frac{\max_{\varphi} |z'_{\varphi}| - \min_{\varphi} |z'_{\varphi}|}{\max_{\varphi} |z'_{\varphi}|}. \quad (3.25)$$

Істотним недоліком диференціальних методів побудови поля напрямків є велика чутливість до шумів, що дає більш низьку якість оцінки в порівнянні з іншими методами. Однак поля інтенсивностей в якості моделей структури ПБКМ, як правило, не містять шумів, завдяки методам їхніх отримань та обробки, тому цей недолік в виборі методу не є вирішальним.

Значно суттєвішим виявився той недолік, який впливає із постійної мінливості стану ПБКМ із швидкозмінною структурою, що робить оцінку, отриману за невеликий час до поточного моменту, наразі застарілою. Якщо робити такі часові «зрізи» якнайчастіше, то окремі двовимірні поля інтенсивностей перетворяться на тривимірні. Під «найчастіше» розуміли найбільшу швидкість, яку забезпечує метод, та наявні засоби його реалізації.

Що торкається інтерпретації серії послідовних полів інтенсивностей стану структури ПБКМ в якості відеопотоку, то такий підхід призводить до побудови вже тривимірних моделей, які, ускладнюючи обчислювальну складову розпізнавання, надають значно більших можливостей в ефективній інтерпретації поточного стану структури ПБКМ [113].

3.3.2 Побудова моделі стану структури ПБКМ у вигляді тривимірного поля напрямків

На жаль, існуючі методи створені лише для обробки двовимірних зображень (в нашій трактовці – полів інтенсивностей) [173, 174], що, природно, звужує межі використання полів напрямків для моделювання структури динамічних систем.

Адже, розглядаючи лише двовимірне поле інтенсивностей, тобто часовий переріз життєвого циклу ПБКМ, ми губимо всю «історію» переходу мережі від початкового «справного» стану до поточного «пошкодженого». Це створює головну проблему для фахівців в галузі комп'ютерних мереж, – зробити сучасні інтелектуальні методи, зокрема, метод поля напрямків, придатним для обробки як єдиного цілого низки послідовних полів інтенсивностей, тобто в зоровій інтерпретації – відеопотік.

Дійсно, попередні висновки виходили з того, що поле інтенсивностей в комп'ютерному представленні є двовимірною матрицею пікселів, атрибутами кожного з яких є його дискретна адреса $x_1 = i \in I$, $x_2 = j \in J$ та інтенсивність $0 \leq z \leq 255$, незмінна для ij -го пікселя в цілому [175], тобто $z = z(i, j)$.

Якщо до двох координат – i та j додати залежність інтенсивності z ще й від часу $x_3 = k$, тобто покласти $z = z(i, j, k)$, то отримаємо *тривимірне* поле інтенсивностей (рис. 3.14), яке після описаної обробки перетворюється на *тривимірне поле напрямків* [34, 36, 37] (рис. 3.15).

У тривимірній моделі при використанні маски розмірів $3 \times 3 \times 3$ (двадцять шість найближчих сусідів у центрального елемента маски) обчислюються чисельні «похідні» вже за тринадцятьма не колінеарними напрямками (рис. 3.16).

В тривимірному дискретному просторі ці напрямки однозначно описуються вже тринадцятьма парами кутів: $(0; 0)$; $(0; 90^\circ)$; $(90^\circ; 0)$; $(45^\circ; 0)$; $(135^\circ; 0)$; $(45^\circ; 45^\circ)$; $(135^\circ; 45^\circ)$; $(45^\circ; -45^\circ)$; $(135^\circ; -45^\circ)$; $(90^\circ; 90^\circ)$; $(90^\circ; -90^\circ)$; $(135^\circ; 90^\circ)$; $(135^\circ; -90^\circ)$.

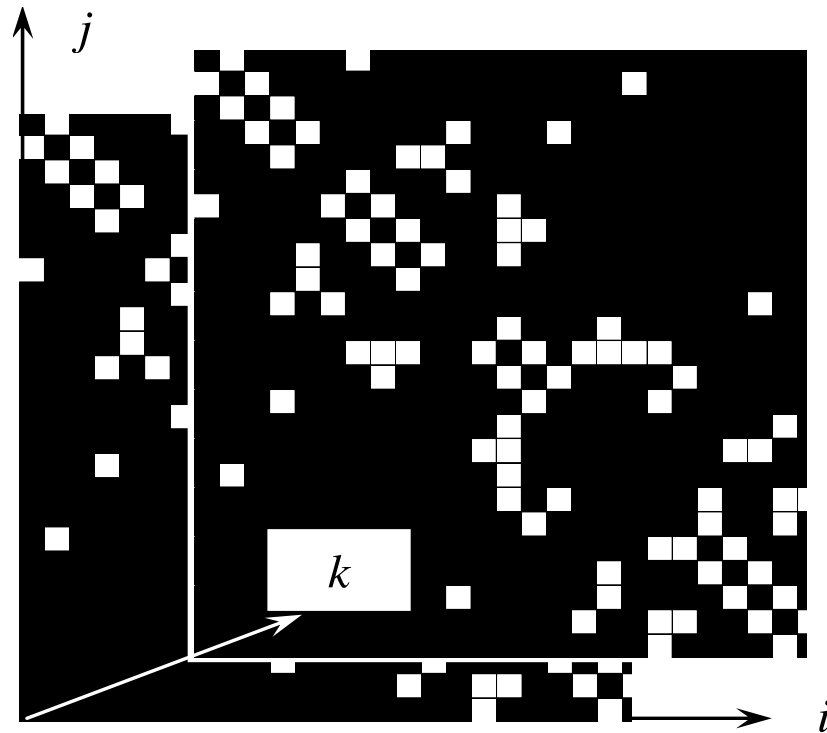


Рисунок 3.14 – Тривимірне поле інтенсивностей, яке є моделлю структури двадцятип'ятиелементної ПБКМ

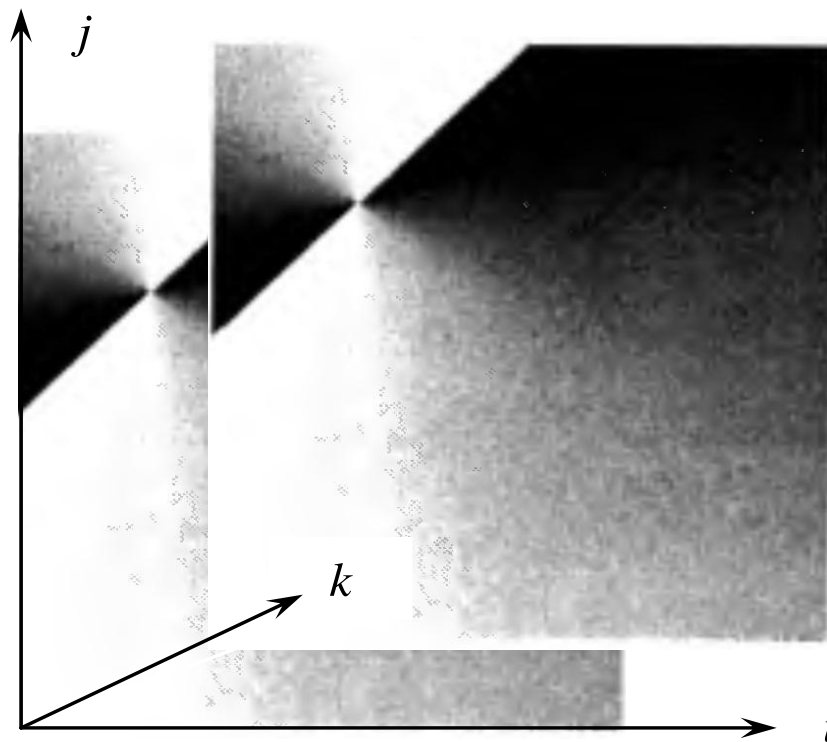


Рисунок 3.15 – Тривимірне поле напрямків, яке є моделлю структури двадцятип'ятиелементної ПБКМ

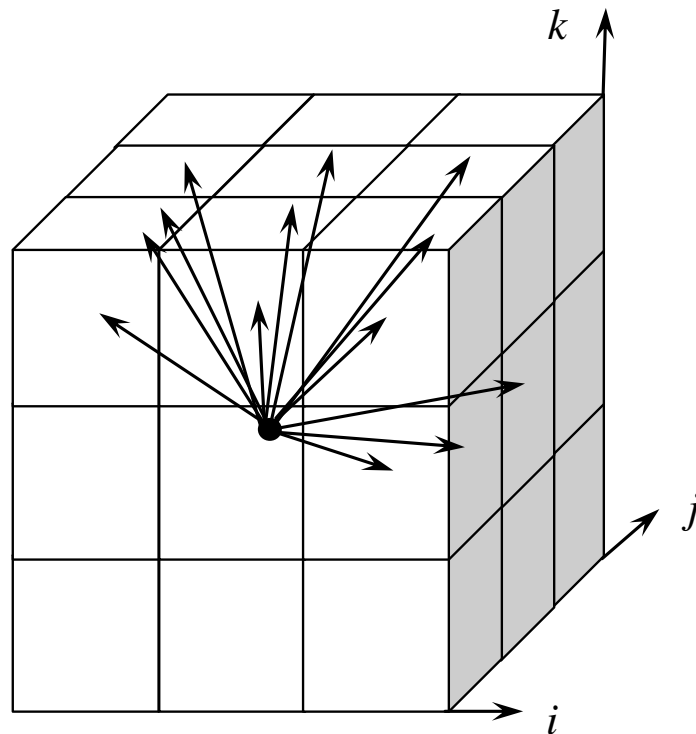


Рисунок 3.16 – Схеми обчислення чисельних «похідних» (скінченних різниць) в диференціальному методі побудови тривимірного поля напрямків: маска $3 \times 3 \times 3$

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.

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

Тривимірне поле просторових частот:

$$\omega(i, j, k) = \sqrt{\omega_1^2(i, j, k) + \omega_2^2(i, j, k) + \omega_3^2(i, j, k)}, \quad (3.26)$$

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

При цьому, кути напрямку смуги $[\psi(i, j, k), \xi(i, j, k)]$ в даній точці дорівнюють кутам дотичної до відповідної поверхні рівня тривимірної функції інтенсивностей $y(i, j, k) = y_0$ [124].

Як і в двовимірному випадку, тривимірне поле напрямків, при цьому, фактично є результатом «геометричного» подвійного інтегрування поля інтенсивностей [172].

Адже, тривимірним полем напрямків є геометрична інтерпретація множини плоских елементів, які відповідають системі диференціальних рівнянь у часткових похідних:

$$\frac{\partial j}{\partial i} = g(i, j, k); \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial k}{\partial i} = g(i, j, k). \quad (3.27)$$

Тривимірним лінійним елементом в цьому випадку називається набір чисел $i, j, k, g(i, j, k)$, який можна представити як сукупність точки $(i, j, k) \in G^3 \subset R^3$ та відповідного їй де G^3 – загальна множина точок (пікселів); для тривимірного (R^3) розташування точок, – G^3 це й є, власне, тривимірна функція інтенсивностей, яка у разі відтворення на будь-якому носії (екрані, папері, тощо), виглядає як деякий відеопотік.

Оцінки чисельних «похідних» для різних напрямків (трьох з тринадцяти) в цьому випадку мають такий вигляд:

$$f_{0,0} = \frac{[z_{(i-1)(j-1)(k+1)} - z_{(i-1)(j+1)(k-1)}] + [z_{i(j+1)(k+1)} - z_{i(j+1)(k-1)}] + [z_{(i+1)(j+1)(k+1)} - z_{(i+1)(j+1)(k-1)}]}{36} + \frac{[z_{(i-1)j(k+1)} - z_{(i-1)j(k-1)}] + [z_{ij(k+1)} - z_{ij(k-1)}] + [z_{(i+1)j(k+1)} - z_{(i+1)j(k-1)}] + [z_{(i-1)(j-1)(k+1)} - z_{(i-1)(j-1)(k-1)}]}{36} + \frac{[z_{i(j-1)(k+1)} - z_{i(j-1)(k-1)}] + [z_{(i+1)(j-1)(k+1)} - z_{(i+1)(j-1)(k-1)}]}{36} \quad (3.28)$$

$$\begin{aligned}
f_{0,90} = & \frac{[z_{(i-1)(j+1)(k-1)} - z_{(i+1)(j+1)(k-1)}] + [z_{(i-1)j(k-1)} - z_{(i+1)j(k-1)}] + [z_{(i-1)(j-1)(k-1)} - z_{(i+1)(j-1)(k-1)}] +}{36} \\
& + \frac{[z_{(i-1)(j+1)k} - z_{(i+1)(j+1)k}] + [z_{(i-1)jk} - z_{(i+1)jk}] + [z_{(i-1)(j-1)k} - z_{(i+1)(j-1)k}] + [z_{(i-1)(j+1)(k+1)} - z_{(i+1)(j+1)(k+1)}] +}{36} \quad (3.29) \\
& + \frac{[z_{(i-1)j(k+1)} - z_{(i+1)j(k+1)}] + [z_{(i-1)(j-1)(k+1)} - z_{(i+1)(j-1)(k+1)}]}{36}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{90,0} = & \frac{[z_{(i-1)(j+1)(k-1)} - z_{(i-1)(j-1)(k-1)}] + [z_{i(j+1)(k-1)} - z_{i(j-1)(k-1)}] + [z_{(i+1)(j+1)(k-1)} - z_{(i+1)(j-1)(k-1)}] +}{36} \\
& + \frac{[z_{(i-1)(j+1)k} - z_{(i-1)(j-1)k}] + [z_{i(j+1)k} - z_{i(j-1)k}] + [z_{(i+1)(j+1)k} - z_{(i+1)(j-1)k}] + [z_{(i-1)(j+1)(k+1)} - z_{(i-1)(j-1)(k+1)}] +}{36} \quad (3.30) \\
& + \frac{[z_{i(j+1)(k+1)} - z_{i(j-1)(k+1)}] + [z_{(i+1)(j+1)(k+1)} - z_{(i+1)(j-1)(k+1)}]}{36}
\end{aligned}$$

Блок-схему алгоритма розрахунку тривимірних полів напрямків та просторових частот наведено на рис. 3.17, а комп'ютерна програма для його реалізації – в Додатку Б. Суть їх в наступному.

1. Користувачем вводяться значення I, J та K в пікселях (блок 1).
2. Користувачем вводиться тривимірне поле інтенсивностей $z(i, j, k)$ для кожного з $I \times J \times K$ пікселів поля (блок 2).
3. З банку даних (блок 3) вводяться маска (наприклад, $3 \times 3 \times 3$) та розрахункові формули відповідно до обраної маски (блок 4).
4. Із загального поля інтенсивностей $z(i, j, k)$ для поточного пікселя $z_{i,j,k}$ розраховуються інтенсивності «сусідніх» пікселів (двадцять шість для кожного), відповідно до обраної маски.
5. Виконується розрахунок тринадцяти градієнтів $f_{0,0}, f_{0,90} \dots f_{90,0}$ (блок 6) за формулами (3.28) – (3.30) для всіх пікселів (блок 6).
6. Визначається найбільший і найменший з градієнтів по кожному пікселю (блок 7).
7. Виконується розрахунок кутів напрямків по кожному пікселю (блок 8).
8. Поєднання напрямків по кожному пікселю складає загальне поле напрямків – результат роботи алгоритму.
9. Аналогічно (попільсьовно) розраховується загальне поле просторових частот.

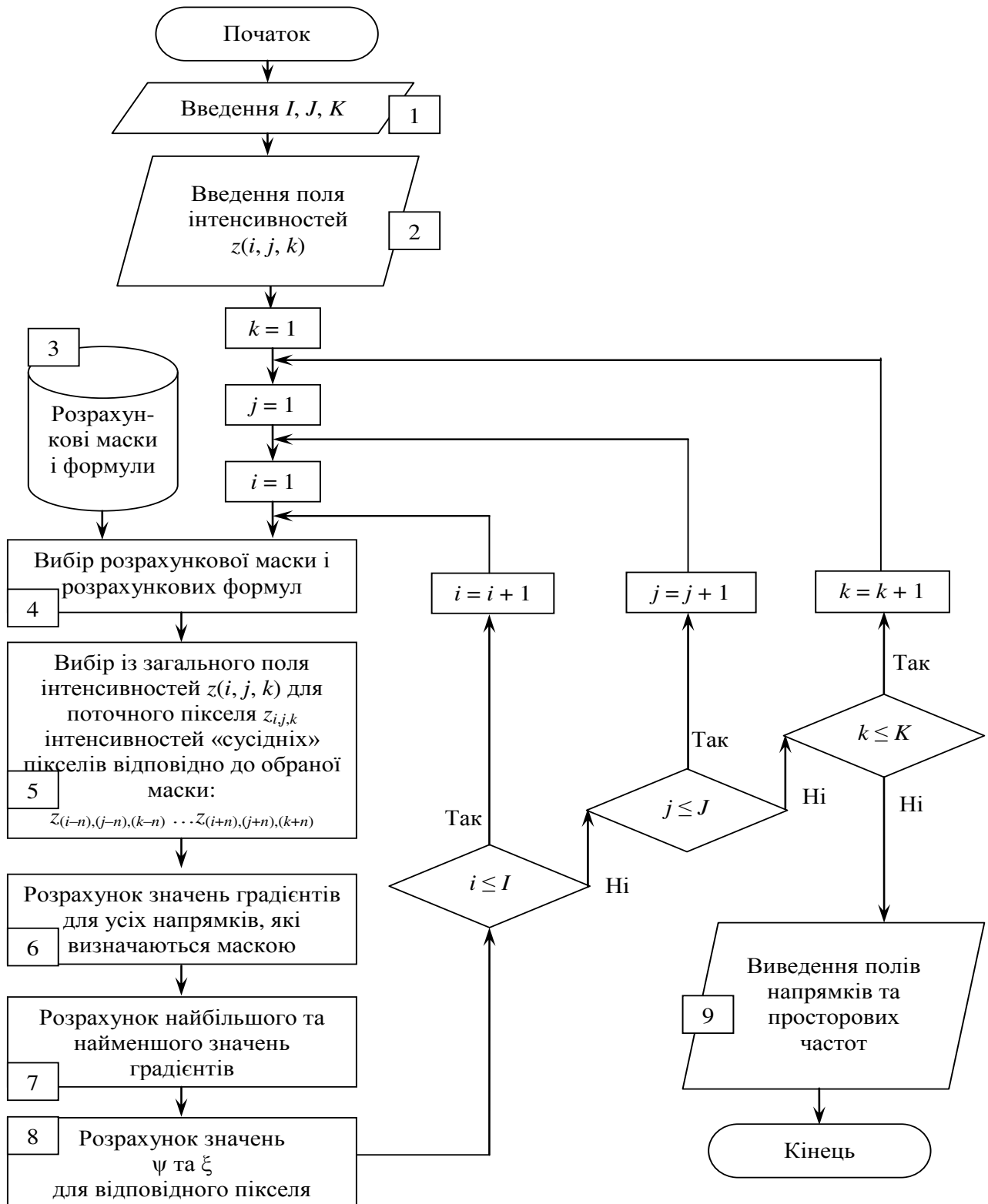


Рисунок 3.17 – Блок-схема алгоритма розрахунку тривимірних полів напрямків та просторових частот

3.3.3 Розпізнавання стану ПБКМ із швидкозмінною структурою за допомогою тривимірних полів напрямків та просторових частот

Отримані таким чином тривимірні поля напрямків та просторових частот кодуються щодо наявності глобальних та локальних особливостей та їх геометричного розташування на полі так, як це робиться в «двовимірній» дактилоскопії [124].

Розглянемо приклад розпізнавання стану ПБКМ із швидкозмінною структурою за допомогою тільки тривимірного поля напрямків.

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 (рис. 3.18).

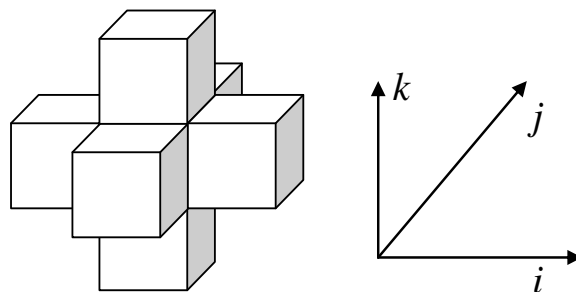


Рисунок 3.18 – Схема до кодування порядку зміни діапазонів кутів для окремих пікселів поля напрямків

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. 3.19). Крім того, кожна глобальна особливість відрізняється геометричними характеристиками, а саме, – кутами нахилу ліній розподілу між діапазонами відповідних кутів.

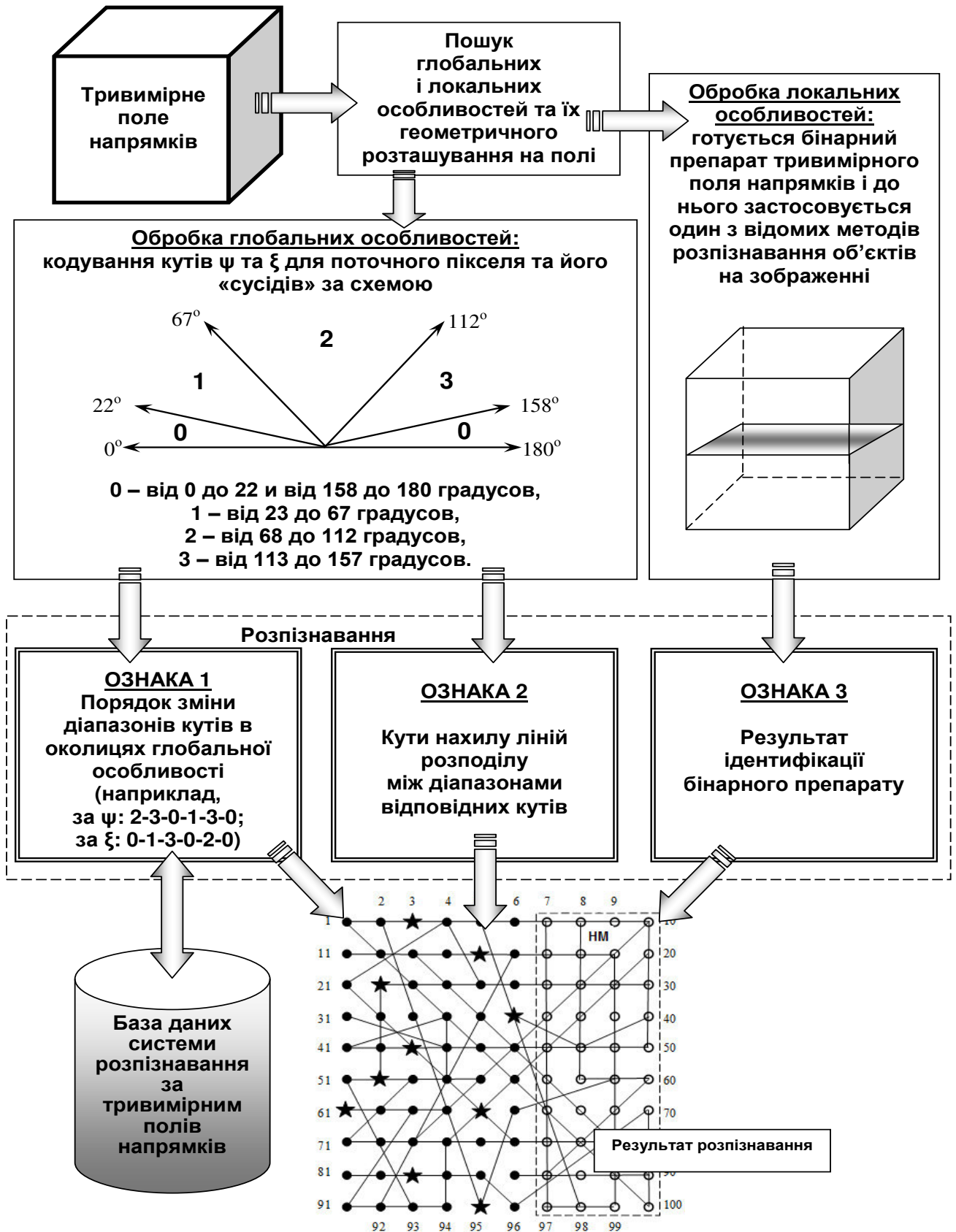


Рисунок 3.19 – Схема методу розпізнавання стану ПБКМ із швидкозмінною структурою за допомогою тривимірних полів напрямків

Для пошуку локальних особливостей готується двовимірний переріз тривимірного поля напрямків та до нього застосовується один з відомих методів ідентифікацій зображень [122, 123, 175].

Опис готових локальних та глобальних особливостей порівнюється з описами аналогічних моделей в банку даних станів ПБКМ (рис. 3.19) і при наявності співпадіння останнє вважається закінченням процесу розпізнавання. Для цього в банку даних формуються та постійно поповнюються відповідні моделі пошкоджень БКМ.

3.4 Висновки

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

2. Модель «гладкої» функції інтенсивностей з точки зору її перетворення до «гладких» полів напрямків може бути узагальнена на випадок довільної функції з квазіперіодичною структурою, в тому числі, на функції, що містять перепади інтенсивностей (контури), і, навіть, на бінарні (двохградаційні) функції. 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 пікселі. Основною перевагою диференціальних методів є їхня оперативність, тобто максимально можлива швидкодія серед усіх відомих класів методів побудови поля напрямків.

3. 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.

4. 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.

РОЗДІЛ 4
ПОБУДОВА ЗАГАЛЬНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ
РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПБКМ ІЗ
ШВИДКОЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ «ОВМІН»

4.1 Система «ОВМІН» розпізнавання та відновлення структури частково недоступних до моніторингу ПБКМ

Загальна структура системи «ОВМІН» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) розпізнавання та відновлення структури частково недоступних для моніторингу пошкодженої БКМ наведена на рис. 4.1 [7, 8, 30].

Система містить такі підсистеми:

- підсистема накопичення початкових даних про бездротову комп'ютерну мережу (креслення, перелік елементів та зв'язків між ними, характеристики, властивості, тощо) та поточних сигналів від працюючої ПБКМ;
- підсистема побудови ймовірнісних матриць поточного стану структури частково недоступної ПБКМ на базі прихованої марковської моделі;
- підсистема створення тривимірного поля інтенсивностей як моделі стану структури частково недоступної ПБКМ;
- підсистема створення тривимірних полів напрямків та просторових частот як моделей стану структури частково недоступної ПБКМ;
- підсистема розрахунку глобальних та локальних особливостей тривимірних полів напрямків і просторових частот та структурної ідентифікації змінного стану ПБКМ;
- допоміжні підсистеми, які виконують оптимізацію процесів відновлення ПБКМ [12, 29] та оцінювання їхньої якості.

Результати розпізнавання структури БКС можуть бути використані, в залежності від конкретних умов їх застосування.



Рисунок 4.1 – Структура системи «OBMIN» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) розпізнавання та відновлення структури частково недоступної для моніторингу пошкодженої БКМ

4.2 Розрахунки параметрів відновлення структури ПБКМ

Як було зазначено в попередніх розділах, найкращою схемою відновлення пошкодженої БКМ є оптимальне поєднання процесів перерозподілу функцій працездатних елементів мережі, а також заміни вибувчих елементів на їхній полегшений резерв [5, 22].

Таким чином, процес відновлення природно розбивається на два підпроцеси, які взаємодіють один з одним, маючи в рамках єдиної ПБКМ деякі спільні параметри та обмеження.

Відповідно, математичні завдання оптимізації мають дві або більше цільових функцій, а їхні аргументи так або інакше пов'язані, що створює додаткові проблеми при їх розв'язанні, але й додаткові переваги з точки зору ефективності та глибини оптимізації.

Дійсно, системи ПБКМ стають все більше складними, до них на етапах проектування, виготовлення та експлуатації пред'являються техніко-економічні вимоги, які характеризуються деякою сукупністю взаємозалежних показників якості.

Найчастіше, показники якості є антагоністами в боротьбі за ресурси, що різко ускладнює й без того непрості проблеми пошуку оптимальних рішень. У цих умовах розширення можливостей відомих математичних методів оптимізації, яке ґрунтується на тих або інших властивостях систем, є задачею перспективною та актуальною [27, 28, 31].

У класичній теорії оптимізації усі змінювані аргументи за умовчужанням вважаються сильнозв'язаними (суворо загальними для всіх цільових функцій), тому на множині D_X припустимих значень векторних аргументів X кожен такий вектор являє собою точку в n -мірному просторі.

Введемо на множині аргументів D_X відношення переваги \succ . Будемо вважати, що вектор аргументів $X^1 \in D_X$ переважніше вектора аргументів $X^2 \in D_X$, і $X^1 \succ X^2$, якщо серед рівностей і нерівностей $\Phi(X^1) \geq \Phi(X^2)$ є хоча б одна суворона нерівність.

Введемо далі на множині D_Φ відношення домінування: будемо вважати, що векторна функція оптимальності $\Phi(\mathbf{X}^1) \in D_\Phi$ домінує над векторною функцією оптимальності $\Phi(\mathbf{X}^2) \in D_\Phi$, тобто $\Phi(\mathbf{X}^1) \geq \Phi(\mathbf{X}^2)$, якщо $\mathbf{X}^1 \succ \mathbf{X}^2$. Виділимо із множини цільових функцій D_Φ підмножину точок $D_\Phi^* \in D_\Phi$, для яких немає точок, що домінують над ними. Множина аргументів $D_X^* \in D_X$, що відповідає множині функцій D_Φ^* , називається множиною Парето [176 – 178]. Оскільки множина D_Φ є опуклою, то множина D_Φ^* – є частиною границі множини D_Φ . Серед точок $\Phi(\mathbf{X}^1) \in D_\Phi^*$ і $\Phi(\mathbf{X}^2) \in D_\Phi^*$ немає більше кращих, оскільки $\Phi^1(\mathbf{X}^1) > \Phi^1(\mathbf{X}^2)$, але й $\Phi^2(\mathbf{X}^1) > \Phi^2(\mathbf{X}^2)$. Таким чином, якщо $\mathbf{X} \in D_\Phi^*$, то $\Phi(\mathbf{X}) \in D_\Phi^*$.

Нехай тепер аргументи, що входять до множини $D_X \in R^n$, слабкозв'язані і являють собою деяку «розширену множину» «не зовсім співпадаючих» аргументів $D_X^{\text{РОЗШ}} \in R^n$ [179]. Побудуємо (рис. 4.2 а) на його лівій частині множину, яка складається із двох аргументів: x_1 і x_2 , причому перший з них є слабкозв'язаним.

Це означає, що він може приймати різні значення в межах множини точок \mathbf{S} , розташованої на відрізку прямої між $x_{1\min}^s$ та $x_{1\max}^s$, паралельної осі $0x_1$. За допомогою векторної цільової функції $\Phi(\mathbf{X})$, яка входить до завдання на оптимізацію, точка \mathbf{X}^0 із множини слабкозв'язаних аргументів \mathbf{S} відображається на точку із множини значень цільових функцій $\Phi(\mathbf{X}^0)$; множина точок слабкозв'язаного аргументу \mathbf{S} відображається на множину значень цільових функцій $\Phi(\mathbf{X}^0)$.

Розширена множина $D_X^{\text{РОЗШ}} \in R^n$ припустимих умовою задачі значень n -вимірного простору змінюваних слабкозв'язаних аргументів $\{\mathbf{S}\}$ відображається на розширену множину $D_\Phi^{\text{РАСШ}} \in R^s$ s -вимірних просторів цільових функцій $\{\Phi(\mathbf{S})\}$ [2, 7].

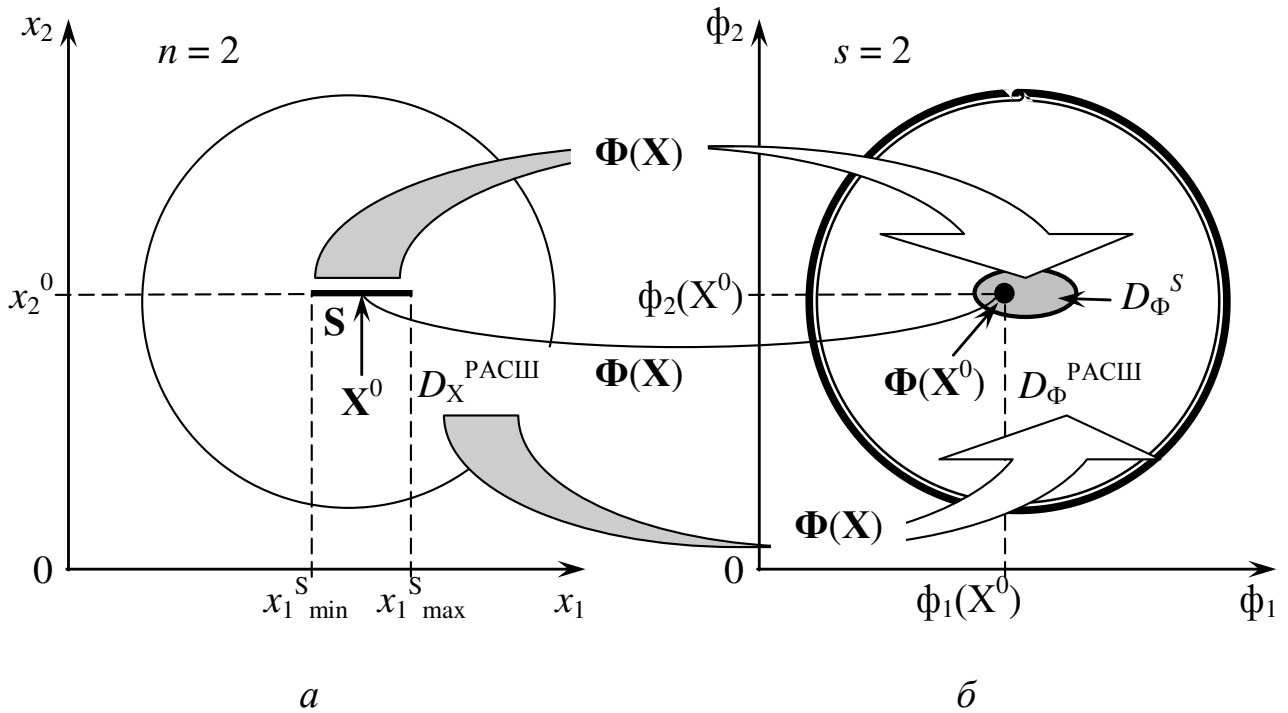


Рисунок 4.2 – Схема відображення за допомогою векторної цільової функції $\Phi(\mathbf{X})$: точки \mathbf{X}^0 із множини слабкозв'язаних аргументів S на точку із множини значень цільових функцій $\Phi(\mathbf{X}^0)$; множини точок слабкозв'язаного аргументу S на множину значень цільових функцій $\Phi(\mathbf{X}^0)$; розширеної множини $D_X^{\text{PACS}} \in R^n$ припустимих умовою задачі значень n -вимірного простору змінюваних слабкозв'язаних аргументів $\{S\}$ (а) на розширену множину $D_\Phi^{\text{PACS}} \in R^s$ s -вимірних просторів цільових функцій $\{\Phi(S)\}$ (б)

Для зв'язаних аргументів цей зв'язок можна представити як фіксоване значення x_1 одного аргументу і деякий діапазон $x_{2\min} - x_{2\max}$ існування другого [180, 181]. Якщо виконується остання умова $x_{2\min} \leq x_2 \leq x_{2\max}$, то аргумент x_2 завжди можна зафіксувати на одному значенні (зробити константою) без порушення умов зв'язності, переходячи при цьому до звичайної задачі багатоцільової оптимізації. Нехай вектор \mathbf{X}^* не оптимальний за Парето. Тоді існує такий вектор оптимізуючих аргументів $\mathbf{X} \in D_X$, що

$$\phi_k(\mathbf{X}) \leq \phi_k(\mathbf{X}^*), \quad k \in [1, s], \quad (4.1)$$

причому хоча б одна з нерівностей сувора. Множачи кожен з нерівностей (4.1) на λ_k , $k \in [1, s]$ і додаючи, одержимо

$$\sum_{k=1}^s \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}) < \sum_{k=1}^s \lambda_k \phi_k(\mathbf{X}^*). \quad (4.2)$$

Таким чином, ситуація, коли досягнута ефективність за Парето – це ситуація, коли всі вигоди від змін аргументів вичерпані [182, 183]. Проте, оскільки слабкозв'язані системи оптимізуються практично по різних (хоча й близьких) оптимізуючих векторах аргументів (4.2), з'являється додаткова парадоксальна можливість виконати віртуальну багатокритеріальну розширену Парето оптимізацію, тобто оптимізацію «глибше, ніж за Парето».

Діапазон значень оптимальних за Парето рішень в області припустимих значень надає корисну інформацію про досліджувану задачу, якщо цільові функції обмежені областю визначення. Верхні границі оптимальної за Парето множини представлені в «ідеальному цільовому векторі» $\mathbf{z} \in R^k$. Його компоненти z_i одержують шляхом максимізації кожної цільової функції в межах області визначення.

Розглянемо для простоти двокритеріальну задачу оптимізації двох функцій одного (одновимірного) аргументу.

Двокритеріальний Парето-оптимум для цільових функцій $f_1(x)$ і $f_2(x)$ може бути поліпшений, звичайно, у переносному значенні, оскільки фактично один з компонентів x_2 оптимізуючого вектора \mathbf{x} фактично «роздвоюється» на нерівні один одному x_{21} і x_{22} .

Рішення задач такого типу здійснювалося за допомогою еволюційного методу генетичної оптимізації, адаптованого до слабкозв'язаних систем [98, 180, 181].

Запропоновані методи універсальної еволюційної оптимізації й моделі, створені для реалізації цих методів, були використані при побудові підсистеми оптимізації процесу відновлення структури ПБКМ.

Для одновимірного аргументу існують три випадки оптимізації, залежно від зв'язності цього єдиного параметра для різних цільових функцій. Якщо аргументи у функцій не зв'язані, то це дає незалежні оптимуми для обох функцій і, одночасно, верхні (при максимізації) оцінки можливих оптимумів при незалежній оптимізації. Якщо аргументи сильно зв'язані, то багатоцільова задача оптимізації вирішується «за Парето».

Одночасно це дає нижню оцінку можливих оптимумів при сильно зв'язаних аргументах.

Можливо також виконати багатокритеріальну розширену Парето оптимізацію глибше, ніж за Парето. Розширений Парето оптимум розташовується нижче верхньої та вище нижньої оцінок для крайніх випадків оптимізації.

4.3. Метод та результати оцінювання якості розпізнавання

Підвищення оперативності розпізнавання стану структури ПБКМ не повинне супроводжуватись різким погіршенням його якості, тобто, за нашим визначенням, достовірності. Оскільки запропонований метод розпізнавання математично складний, безпосереднє оцінювання цієї достовірності вельми утруднене. Тому в роботі було запропоновано виконувати оцінку достовірності за допомогою теорії взаємної ентропії.

4.3.1 Метод оцінювання якості роботи системи розпізнавання структури ПБКМ

Розглянемо частково недоступну для моніторингу пошкодзовану БКМ у вигляді чорного ящика, інформація про стан структури якого частково прихована від спостерігача. Нехай на виході об'єкта є деяка довільна (не обов'язково прямо пов'язана з його структурою) інформація, перетворюючи яку

за допомогою деякого «Методу розпізнавання» можна одержати відображення структури об'єкта у вигляді деякого зваженого графа (рис. 4.3) [3, 11].

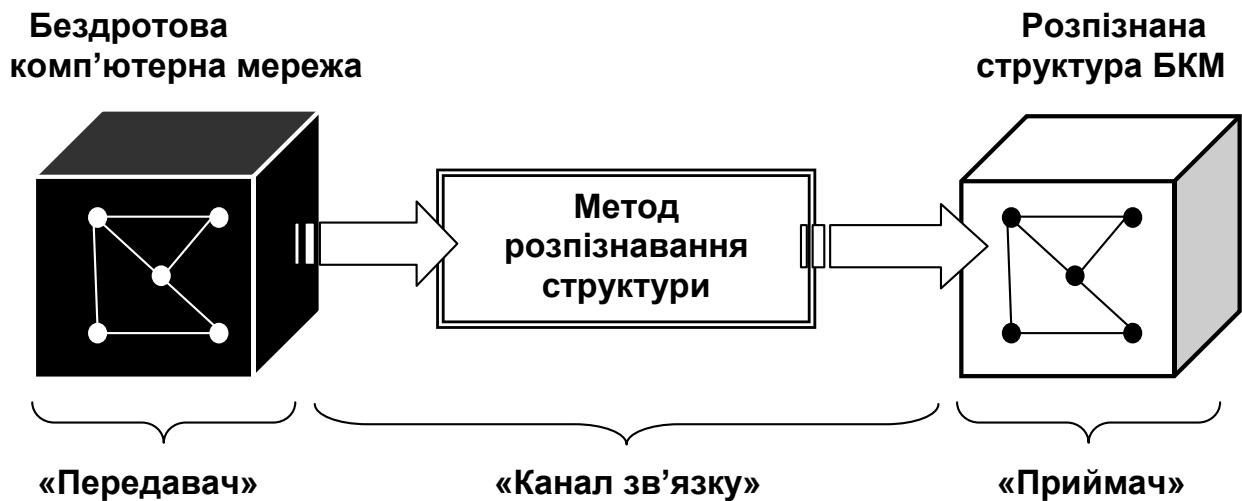


Рисунок 4.3 – Представлення методу розпізнавання структури ПБКМ в якості умовного «каналу зв'язку»

Точність розпізнавання – це якість вимірювань, яка відображає близькість їх результатів до істинного значення вимірюваної величини. В даному випадку мова йде про близькість деякого графу структури ПБКМ, отриманого в результаті роботи системи розпізнавання «OBMIN», до істинного стану структури реальної вимірюваної ПБКМ [184].

Звісно, порівнювати стани можна тільки тоді, коли вони відомі досліднику, тому для цього в роботі застосовували комп'ютерний експеримент, в якому «невідому» структуру чорного ящика (див. рис. 4.6) задавали примусово, а розпізнана структура отримувалася із заданої за допомогою системи «OBMIN».

Застосуємо для вимірювання точності роботи системи розпізнавання теорію взаємної ентропії або ентропії об'єднання [25, 26]. Вона призначена для розрахунків ентропії взаємозалежних систем (ентропії спільної появи статистично залежних повідомлень) і позначається $H(A,B)$, де A характеризує передавач, а B – приймач [21, 185]. Для представимо процес моделювання

прихованої структури у вигляді ланцюжка «Передавач → Канал зв'язку → Приймач» (див. рис. 4.6) [4, 18, 24]

Взаємозв'язок переданих і отриманих сигналів описується ймовірностями спільних подій $p(a_i b_j)$, і для повного опису характеристик «каналу», тобто достовірності розпізнавання структури ПБКМ за його допомогою, потрібна тільки одна матриця:

	b_1	b_2	...	b_j	...	b_m
a_1	$p(a_1 b_1)$	$p(a_1 b_2)$	...	$p(a_1 b_j)$	...	$p(a_1 b_m)$
a_2	$p(a_2 b_1)$	$p(a_2 b_2)$	...	$p(a_2 b_j)$	...	$p(a_2 b_m)$
...
a_i	$p(a_i b_1)$	$p(a_i b_2)$	...	$p(a_i b_j)$	...	$p(a_i b_m)$
...
a_m	$p(a_m b_1)$	$p(a_m b_2)$	...	$p(a_m b_j)$	...	$p(a_m b_m)$

(4.6)

Очевидно, сума всіх елементів стовпця з номером j в (4.3) дає $p(b_j)$, сума рядка з номером i є $p(a_i)$, а сума всіх елементів матриці (4.3) дорівнює 1. Спільна ймовірність $p(a_i b_j)$ подій a_i і b_j обчислюється як добуток вихідної та умовної ймовірностей:

$$p(a_i b_j) = p(a_i) \cdot p(b_j | a_i) = p(b_j) \cdot p(a_i | b_j). \quad (4.4)$$

Умовні ймовірності розраховуються за формулою Байеса. Вона дозволяє «переставити причину та наслідок»: по відомому факту події обчислити ймовірність того, що вона була викликана даною причиною.

Події, що відбивають дію «причин», у цьому випадку звичайно називають *гіпотезами*, оскільки вони – *передбачувані* події, що обумовили дані.

Безумовну ймовірність справедливості гіпотези називають *ап'юріорною* (наскільки ймовірна причина *взагалі*), а умовну – з урахуванням факту події, що відбулася, – *апостеріорною* (наскільки ймовірною причина виявилася з

урахуванням даних про подію).

Формула Байєса є важливим наслідком з формули повної ймовірності події, що залежить від декількох неспільних гіпотез (і тільки від них!):

$$P(B) = \sum_{i=1}^N P(A_i)P(B|A_i). \quad (4.5)$$

де $P(B)$ – імовірність настання події B , що залежить від ряду гіпотез A_i , якщо відомі ступені вірогідності цих гіпотез (наприклад, виміряні експериментально).

В неідеальній моделі про ізоморфність подій A и B можна судити тільки з деякою ймовірністю, меншою за 1. Більше того, різниця між 1 та цією ймовірністю – $(1 - P(B))$ – може служити мірою адекватності моделі та точності всього методу розпізнавання.

Таким чином, є всі дані для обчислення ентропій джерела та приймача:

$$H(A) = -\sum_i \left(\sum_j p(a_i b_j) \log \sum_j p(a_i b_j) \right), \quad (4.6)$$

$$H(B) = -\sum_j \left(\sum_i p(a_i b_j) \log \sum_i p(a_i b_j) \right). \quad (4.7)$$

Взаємна ентропія обчислюється послідовним підсумовуванням по рядках (або по стовпцях) усіх ймовірностей матриці, помножених на їхній логарифм:

$$H(AB) = -\sum_i \sum_j p(a_i b_j) \log p(a_i b_j). \quad (4.8)$$

Одиниця вимірювання – біт/два символи, це пояснюється тим, що

взаємна ентропія описує невизначеність на парі символів: відправленого й отриманого. Шляхом нескладних перетворень також одержуємо:

$$H(AB) = H(A) + H(B|A) = H(B) + H(A|B). \quad (4.9)$$

Таким чином, якщо розпізнана структура ПБКМ повністю відтворює структуру чорного ящика (тобто якщо розпізнаний образ структури ізоморфний об'єкту розпізнавання), то можна вважати, що «канал зв'язку», який відіграє роль метода розпізнавання працює без помилок. В цьому випадку ймовірність відсутності елемента образу дорівнює ймовірності відмови ізоморфного йому елемента ПБКМ, а матриця взаємної ентропії буде діагональною:

$$H(AB) = \begin{array}{c|cccccc} & b_1 & b_2 & \dots & b_j & \dots & b_m \\ \hline a_1 & p(a_1b_1) & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ a_2 & 0 & p(a_2b_2) & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_i & 0 & 0 & \dots & p(a_ib_j) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & p(a_mb_m) \end{array}. \quad (4.10)$$

Відповідно, у цьому випадку:

$$p(a_1b_1) + p(a_2b_2) + \dots + p(a_mb_m) = 1, \quad (4.11)$$

і точність розпізнавання теж буде прийнята за 1.

Якщо розпізнаний образ неідеальний («канал зв'язку» має завади), то діагональ матриці (4.13) «розмивається» тим більше, чим менш точний процес розпізнавання.

Подібне розмиття, таким чином, є мірою адекватності образу та точності всього методу розпізнавання. Оскільки, як було зазначено вище, сума усіх

елементів матриці $\mathbf{H}(\mathbf{AB})$ завжди дорівнює одиниці, будь-яке «розмиття» діагоналі в (4.10) призведе до зменшення суми (4.10) нижче 1, а отже і точність буде, відповідно, меншою.

Таким чином пропонується вираз для обчислення точності (достовірності) розпізнавання:

$$\Delta = p(a_1b_1) + p(a_2b_2) + \dots + \Delta p(a_mb_m). \quad (4.12)$$

Якщо експериментально встановлено, що образ в деякому сенсі (допустимої точності відтворення) адекватний відповідній структурі ПБКМ об'єкту, то можна рекомендувати до використання засновану на цьому методі систему розпізнавання та відтворення «OBMIN».

4.3.2 Результати оцінювання якості роботи системи розпізнавання та відновлення структури БКМ

Для вимірювання точності запропонованого методу виконували експерименти на реальних, але пошкоджуваних «вручну» шляхом «виключення» у випадковому порядку окремих елементів, бездротових комп'ютерних мереж.

Така методика надавала можливість використовувати для розпізнавання «поточного» стану структури мережі такі ж реальні сигнали $\mathbf{C}(t)$, які отримували від елементів мережі, що в експерименті умовно залишалися працездатними.

Натурні експерименти на реальних бездротових комп'ютерних мережах показали, що точність розпізнавання при використанні запропонованого методу (за формулою 4.12), у порівнянні з прототипом, який детально описаний в Розділі 2, дещо знижується (рис. 4.4).

Однак ця втрата з лишком окупається швидкістю роботи запропонованого методу.

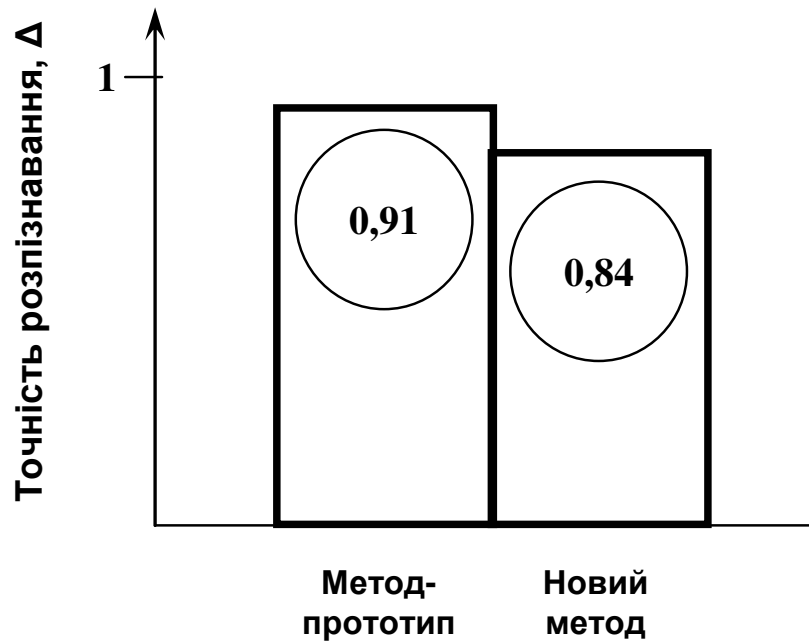


Рисунок 4.4 – Порівняння точності розпізнавання за допомогою методу-прототипу та запропонованого методу

Це дозволяє вчасно «включати» процес відновлення пошкодженої мережі і не допускати, в результаті, дуже глибокого «просідання» її працездатності (рис. 4.5), що надзвичайно важливо в умовах роботи саме пошкодженої мережі.

Як бачимо з рис. 4.5, зменшення терміну розпізнавання на три ітерації життєвого циклу БКМ дозволяє на 25 % знизити величину «просідання» працездатності.

4.3.3 Практичні випробування запропонованих систем

Для моніторингу оперативної обстановки та отримання відео-фото даних для протиповітряної оборони в Збройних силах України застосовується безпілотний літальний апарат – квадрокоптер, на яких була встановлена ПБКМ.

Науково-технічна комісія, визначена рішенням начальника Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України в період з 14 березня 2015 року до 25 березня 2015 року провела

аналіз використання результатів дисертаційного дослідження в Розвідувальному управлінні штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України.

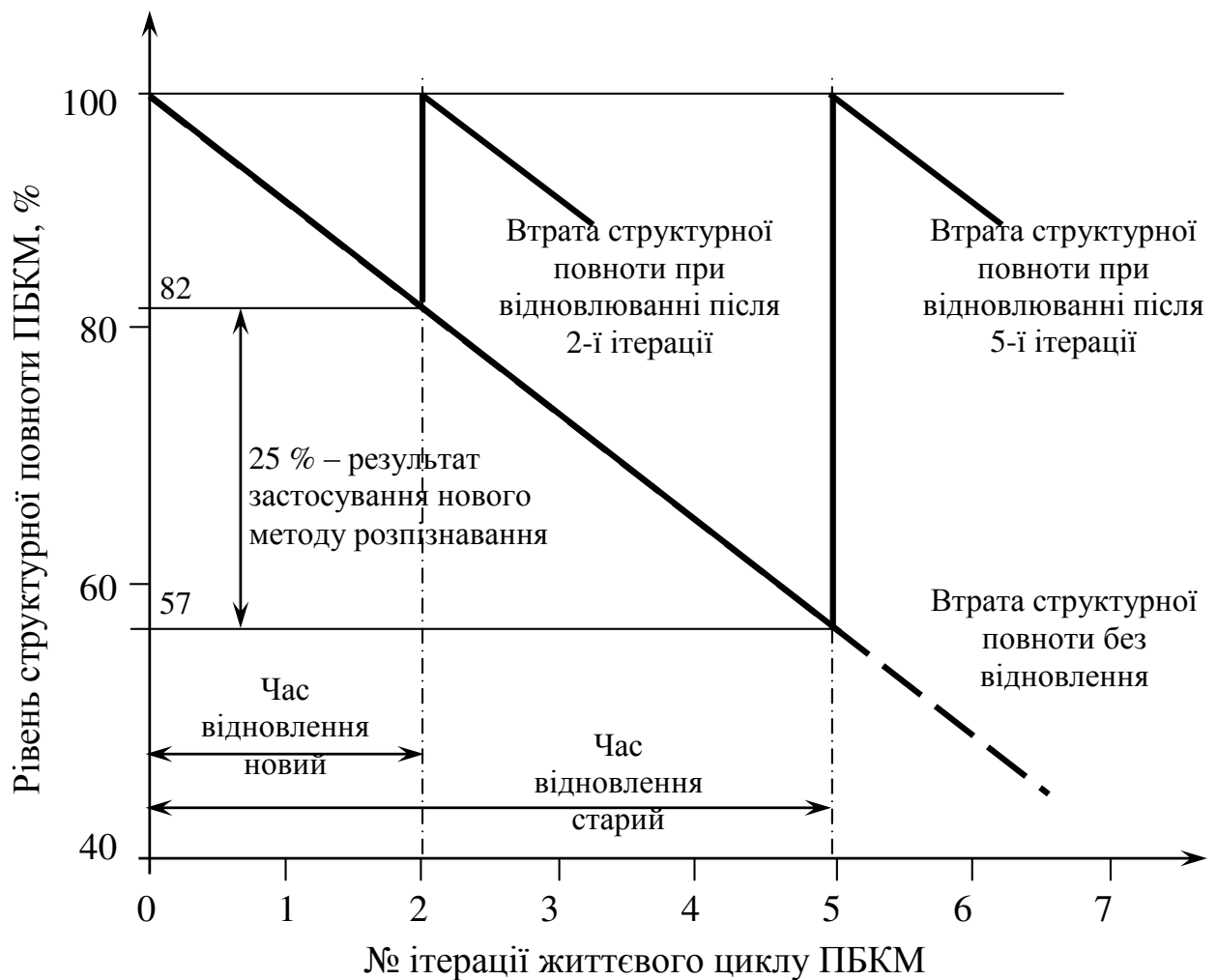


Рисунок 4.5 – Схема підвищення рівня структурної повноти ПБКМ при використанні нового методу розпізнавання

Практичним результатом дослідження є складові інтелектуальної системи «ОВМІН» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) 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 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 позитивний вплив нового методу на можливість прискорення своєчасного ремонту та заміни пошкоджених елементів бездротової комп'ютерної мережі, що гарантує підвищення загального рівня працездатності останньої на 22,3 – 26,3 %.

Під час роботи комісії з'ясовано, що результати дисертаційного дослідження використовувались в повсякденній діяльності Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України під час обґрунтування можливостей комплексу сил та засобів розвідки оперативних командувань (Додаток В).

4.4 Висновки

1. 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, до яких слід, зокрема, віднести пошкодзовані бездротові комп'ютерні мережі із швидкозмінною структурою, частково встановлені на безпілотних літальних апаратах – дронах.

2. У задачах підтримки прийняття оптимальних рішень з відновлення ПБКМ часто виникає необхідність в розв'язанні подібних задач одночасно по декільком функціям оптимальності (цільовим функціям). Звичайно, ці функції суперечливі, і оптимізація по кожній з них призводить до різних оптимальних значень вектора оптимізаційних аргументів. Але, якщо аргументи різних

цільових функцій повністю або частково зв'язані між собою, задача пошуку оптимального рішення, з одного боку, ускладнюється, а з іншого, – надає нові можливості з відновлення ПБКМ.

3. 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.

4. Підвищення оперативності розпізнавання стану структури ПБКМ не повинне супроводжуватись різким погіршенням його якості, тобто, за нашим визначенням, достовірності. Оскільки запропонований метод розпізнавання математично складний, безпосереднє оцінювання цієї достовірності вельми утруднене. Тому в роботі було запропоновано виконувати оцінку достовірності за допомогою теорії взаємної ентропії.

5. Натурні експерименти на реальних, але пошкоджуваних «вручну» бездротових комп'ютерних мережах показали, що якість (точність, достовірність) розпізнавання при використанні запропонованого методу, у порівнянні з прототипом, дещо знижується. Однак ця втрата повністю окупається оперативністю роботи запропонованого методу, що дозволяє вчасно запускати процес відновлення пошкодженої комп'ютерної мережі і не допускати, в результаті, значного зниження її структурної повноти, що надзвичайно важливо в умовах роботи мережі із швидкозмінною структурою.

6. В повсякденній діяльності Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України під час обґрунтування можливостей комплексу сил та засобів розвідки оперативних командувань використовувались результати дисертаційного дослідження. Встановлено, що за рахунок оперативного визначення поточного стану структури резервованої

ПБКМ та своєчасного відновлення елементів, які системою «OBMIN» під час розпізнавання були визначені як пошкоджені, вдалося підвищити мінімальний рівень працездатності, до якого опускається під час експлуатації пошкоджувана БКМ, 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 пошкодженої 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 пошкодженої 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 кожній 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.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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.

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.

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. Розпізнавання стану бездротових комп'ютерних мереж за допомогою тривимірному поля напрямків / С. А. Нестеренко, А. О. Становський, О. О. Оборотова // Технологічний аудит та резерви виробництва. – Харків, 2015. – № 6/2(26). – С. 28 – 35.

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.

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 діагностики стану структури 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 // Матеріали 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 // Матеріали 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. Савельєва, 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 // Материалы XX научно-технического семинара «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 // Материалы XIX-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 // Материалы XXI научно-технического семинара «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 // Материалы XXI научно-технического семинара «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 XX 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 // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «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 // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании «ИНФОТЕХ – 2013»» – Севастополь: СевНТУ, 9 – 13 сентября 2013. – С. 21 – 22.

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 // Материалы международной научно-технической конференции «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 // Материалы XXII научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 4 – 5 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 – 5 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 Осама // 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. 51 – 53.

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-семінару «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі МіЗД ТС-2015». – Івано-Франківськ, 16 – 19 листопада 2015 року.

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. __ – __.

36. Становский, Ан. А. Информационная система «OBMIN» компьютерной диагностики структуры сложных повреждаемых объектов с частично недоступными для мониторинга элементами // Материалы XXIV научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 11 – 12 января 2016.

37. Нестеренко, С. А. Распознавание трехмерного зрительного образа с помощью трехмерного поля направлений / С.А. Нестеренко, Ан.А. Становский, Е.А. Оборотова // Материалы XXIV научно-технического семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса, 11 – 12 января 2016.

38. Беспроводные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://xreferat.com/33/466-1-besprovodnye-seti.html>>. – 14.08.2015.

39. Понятие и виды беспроводных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://informatika.ru/lectures/ponyatie_i_vidy_besprovodnyh_setei.html>. –

13.07.2015.

40. Пахомов, С. Беспроводные сети: ломаем, чтобы защищать. Методы защиты беспроводных сетей [Электронный ресурс] / С. Пахомов, М. Афанасьев // Режим доступа: <<http://compress.ru/article.aspx?id=19154>>. – 11.07.2015.

41. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб: СПбГУ, 2007. – 326 с.

42. Савельева, О. С. Морфологические модели отказоустойчивости сложных технических систем / О.С. Савельева, О.Е. Плачинда, Д.А. Пурич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2011. – 3/2 (51). – С. 39 – 42.

43. Пурич, Д. А. Экспресс-анализ структурной надежности сложных технических систем с нагруженным резервированием / Д. А. Пурич, О. С. Савельева, В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – Вип. 8. – С. 272 – 280.

44. Налева, Г. В. Интеллектуальные методы повышения надежности телеметрической диагностики оборудования / Г.В. Налева, О.С. Савельева, Д.А. Пурич // Теорія і практика процесів. Подрібнення, розділення, змішування і ущільнення: зб. наук. праць. – Вип.14. – Одеса ОНМА. – 2009. – С. 95 – 103.

45. Савельева, О. С. Підвищення надійності систем дистанційного діагностування / О. С. Савельева, О. Л. Становський, Д.О. Пурич // Наукові вісті «Галицька академія». – Івано-Франківськ. – 2009. – № 15 (1). – С. 58 – 63.

46. Акимов, С. В. Компьютерные модели для автоматизированного структурно-параметрического синтеза / С. В. Акимов // Компьютерное моделирование 2004: Труды 5-й международной конференции. Ч. 1 – СПб.: Нестор, 2004. – С. 191 – 197.

47. Четвериков, Г. Г. Формальное описание логического пространства / Г. Г. Четвериков, И. Д. Вечирская. – Штучний інтелект. – 2008.– № 3. – С. 781 – 789.

48. Зінько, Р. В. Морфологічне середовище для дослідження технічних

систем: монографія / Р. В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 386 с.

49. Ивченко, Б. П. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко, М. Л. Монастырский. – СПб.: Лань, 1997. – 320 с.

50. Панкратова, Н. Д. Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ» – 2009. – № 2. – С. 35 – 44.

51. Зінько, Р. В. Морфологічне середовище для моделювання технічних систем / Р. В. Зінько // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2012. – Вип. № 38. – С. 61 – 66.

52. Беспилотные летательные аппараты (БЛА) зарубежных стран [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [<http://www.modernarmy.ru/article/152>]. – 11.11.2015.

53. Зарубежные военные беспилотные летательные аппараты и перспективы их развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://aviation.gb7.ru/UAVs.htm>>. – 4.01.2016.

54. «Укроборонпром» разрабатывает беспилотник, способный уничтожить танк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <<https://news.mail.ru/politics/24742692/?frommail=1>>. – 4.01.2016.

55. Беляев, Ю. К. Надежность технических систем. Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. // М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

56. Райншке, К. Модели надежности и чувствительности систем / К. Райншке. – М.: Мир, 1979. – 454 с.

57. Barlow R.E., Proschan F. Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1974.

58. Coit, D. W. Reliability Optimization of Series-Parallel Systems Using a Genetic Algorithm / D. W. Coit, A. E. Smith // IEEE TRANSACTIONS ON RELIABILITY, 1996, VOL. 45, NO. 2, P. 254 – 266.

59. Павский, В. А. Расчет показателей живучести распределенных

вычислительных систем / В.А. Павский, С.А. Иванова // Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии: Кемерово: ИНТ, 2007. - С. 334 - 338.

60. Павский, В. А. Вычисление показателей живучести распределенных вычислительных систем и осуществимости решения задач / В. А. Павский, К. В. Павский, В. Г. Хорошевский // Искусств. интеллект. – 2006. – № 4. – С. 28 – 34.

61. Jensen U. Stochastic Models of Reliability and Maintenance: An Overview. – In the book: Reliability and Maintenance of Complex Systems / S.Özekici (Ed.). – Berlin: Springer, 1996. – P. 3 – 35.

62. Обратная задача. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Обратная_задача>. – 10.08.2012.

63. Усов, А. В. Математичні методи моделювання / А.В. Усов, О.С. Савельєва, І.І. Становська, А.О. Перпері // Одеса: ПАЛЬМІРА, 2011. – 500 с.

64. Хорошевский, В. Г. Архитектура вычислительных систем / В.Г. Хорошевский. – М.: МГТУ им. Баумана, 2005. – 511 с.

65. Соловьев А.Д. Резервирование с быстрым восстановлением // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1970. – № 1. – С. 56 – 71.

66. Кривулец, В. Г. Квазиупаковочные оценки характеристик надежности сетей / В.Г. Кривулец, В.П. Полесский // Информационные процессы. – 2001. – № 2. – Т. 1. – С. 126 – 146.

67. Скворцов, М. С. Методика оптимизации надежности систем с сетевой структурой. Труды СПИИРАН. 2011. Вып. 1(16). – С. 231 – 242.

68. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно сложных систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1988. – 68 с.

69. Trivedi K.S. Probability and Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications. – New York: Wiley, 2002. – 830 p.

70. Gertsbakh I. Reliability Theory with Applications to Preventive Maintenance. – Berlin: Springer, 2000.

71. Гнеденко Б.В. О ненагруженном дублировании // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. – 1964. – № 4. – С. 3 – 12.

72. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного

структурно-логического моделирования сложных систем // Труды Международной Научной Школы «Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах». – СПб: ООО НПО «Омега», 2001. – С. 56 – 61.

73. Можаяев, А. С. Автоматизация моделирования систем ВМФ. Учебник для слушателей ВМА. СПб, 2006.

74. Ильясова, Н. Ю. Компьютерный анализ изображения кристаллов слезы / Н. Ю. Ильясова, А. В. Устинов // Тезисы доклада на 2-ой международной конференции «Распознавание-95». – Курск, 1995. – С. 248 – 250.

75. Оценка сетевой надежности при структурном проектировании сложных технических систем / Т.В. Бибик, Л.В. Бовнегра, Д.А. Пурич, О.С. Савельева // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць НТУ «ХП». – Харків, 2010. – Вип. 1(20). – С. 18 – 21.

76. Скрытые марковские модели. – Режим доступа: <http://ru.wikibooks.org/wiki/%D1%EA%F0%FB%F2%FB%E5_%EC%E0%F0%EA%EE%E2%F1%EA%E8%E5_%EC%EE%E4%E5%EB%E8>. – 08.08. 2012.

77. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. – К.: Наук. думка, 1976. – 184 с.

78. Анисимов В.В., Война А.А. Марковские и полумарковские процессы. – К.: Киевский государственный университет им. Т.Г.Шевченко, 1986.

79. Сильвестров Д.С. Полумарковские системы со счетным пространством состояний. Оценка функциональных и надежностных характеристик стохастических систем. – М.: Сов. Радио, 1980.

80. Савельева, О. С. Метод дистанционной структурной диагностики низкочастотной аналоговой сети, частично недоступной мониторингу / О.С. Савельева, В.Г. Максимов, Д.А. Пурич // Праці Одеського політехнічного університету. – Одеса: ОНПУ. – 2012. – Вип. 2 (39). – С. 208 – 213.

81. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А.

Гаврилова, В. Ф. Хорошевский – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

82. Бондаренко, М. Ф. Теория интеллекта: учебник / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. – Харьков: СМІТ, 2006. – 576 с.

83. Блюхер, В. Г. Обеспечение надежности и живучести измерительной сети датчиков / В.Г. Блюхер, В.С. Ситников // Труды Одесского политехнического университета. – 1997. – Вып.

84. Оборский, Г. А. Построение эффективных систем управления надежностью сложных технических систем // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1. – С. 17 – 19.

85. Ястребенецкий, М. А. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская и др. – К.: Техніка, 2004. – 472 с.

86. Сетевая надежность [электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/network/algoprotnet/17/3.html>.

87. Aho A.V. Foundation of Computer Science / A.V. Aho, J.D. Ullman. – Computer Science Press, 1992.

88. Leeuwen V.V. Algorithms and Complexity. – The MIT Cambridge, Massachusetts: Elsevier Science Publishers, 1990.

89. Становский, А. Л. Моделирование отказоустойчивости в САПР сложных технических систем / А.Л. Становский В.М. Тонконогий, О.С. Савельева и др. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 2007. – Вып. 73. – С. 133 – 138.

90. Fisher, R. Dictionary of Computer Vision and Image Processing [Text] / R. Fisher, K. Dawson-Howe, A. Fitzgibbon, C. Robertson, E. Trucco. – John Wiley. – 2010. – 521.

91. Оптико-структурны машинный анализ изображений / Под ред. К.А. Яновского. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

92. Томіна, Н. В. Обробка зображень поверхневих неоднородностей об'єктів / Н.В. Томіна, В.И. Мещеряков, В.М. Тонконогий // Наукові нотатки (міжвузівський збірник). – Луцьк, 2003. – Вип. № 13. – С. 348 – 356.

93. Нейрмак, Ю. И. Распознавание образов и медицинская диагностика / Ю.И. Нейрмак, З.С. Баталов, Ю.Г. Васин. – М.: Наука, 1972.

94. Самошкин, М. А. Автоматизация преобразования и обработки графической информации. – М.: Мир, 1991.

95. Хермен, Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. – М.: Мир, 1983. – 352 с.

96. Пурич, Д. А. Оценка сетевой надежности при структурном проектировании сложных технических систем / Д. А. Пурич, О. С. Савельева, А. В. Малый // Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XVIII семинара. – Одесса: ОНПУ, (17 – 18 марта). – 2010. – С. 9 – 12.

97. Савельева, О. С. Нетрадиционная математическая экспресс-модель надежности сложных систем с резервированием / О. С. Савельева // Сучасні технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – Вип. 7. – С. 232 – 242.

98. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М: Горячая линия-Телеком, 2008. – 452 с.

99. Бодянский, Є. В. Адаптивне виявлення розладнань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж / Є.В. Бодянский, О.І. Михальов, І.П. Плісс. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с.

100. Назаров, А. В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А.В. Назаров, А.И. Лоскутов. – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.

101. Бодянский, Е. В. Обнаружение изменений свойств стохастических последовательностей на основе искусственных нейронных сетей / Е. Бодянский, С. Воробьев, Н. Ламонова // АСУ приборы и автоматики. – Харьков, 1997. – Вып. 106. – С. 75 – 79.

102. Bodyanskiy, Ye. Multi-layer neural networks for nonlinear dynamic system modelling and identification / Bodyanskiy Ye., Pliss I., Stephan A. // Материалы 3-й Международной конференции «Теория и техника передачи,

приёма и обработки информации». – Харьков – Туапсе, 1997. – С. 150.

103. Venkatasubramanian, V. Diagnosing noisy process data using neural networks / Venkatasubramanian V., Vaidyanathan R. // Preprint IFAC/IMACS Symp. «SAFEPROCESS'91». – Baden-Baden, 1991. – P. 375 – 380.

104. Sountausta, Y. Radial base network for dynamic fault detection / Sountausta Y., Sorsa T., Koivo H.N. // Proc. Int. Conf. «ICANN'91». – Brighton, 1992. – P. 1495 – 1498.

105. Solomon, C. J. Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab [Text] / C. J. Solomon, T. P. Breckon. – Wiley-Blackwell. – 2010.

106. Burger, W. Digital Image Processing: An Algorithmic Approach Using Java [Text] / W. Burger, Mark J. Burge. – Springer. – 2007.

107. Bhat, P. Gradientshop: A gradient-domain optimization framework for image and video filtering [Text] / P. Bhat, C. L. Zitnick, M. Cohen, B. Curless // ACM Transactions on Graphics. – 2010. – Vol. 29, Issue 2. – P. 1 – 14.

108. Налева, Г. В. Интеллектуальные методы повышения надежности телеметрической диагностики оборудования / Г.В. Налева, О.С. Савельева, Д.А. Пурич // Теорія і практика процесів. Подрібнення, розділення, змішування і ущільнення: зб. наук. праць. – Вип.14. – Одеса ОНМА. – 2009. – С. 95 – 103.

109. Оценка сетевой надежности при структурном проектировании сложных технических систем / Т.В. Бибик, Л.В. Бовнегра, Д.А. Пурич, О.С. Савельева // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць НТУ «ХП». – Харків, 2010. – Вип. 1(20). – С. 18 – 21.

110. Савельева, О. С. Морфологические модели отказоустойчивости сложных технических систем / О.С. Савельева, О.Е. Плачинда, Д.А. Пурич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2011. – 3/2 (51). – С. 39 – 42.

111. Скрытые марковские модели. – Режим доступа: <http://ru.wikibooks.org/wiki/%D1%EA%F0%FB%F2%FB%E5_%EC%E0%F0%EA%EE%E2%F1%EA%E8%E5_%EC%EE%E4%E5%EB%E8>. – 08.08.

2012.

112. Малахов, Е. В. Кодирование информации для поиска видеопотоков в хранилищах данных / Е. В. Малахов, П. А. Становский // Труды ОНПУ. – 2008. – Вып. 2(30). – С. 156 – 159.

113. Становский, П. А. Кодирование и поиск подвижных и неподвижных изображений в хранилищах данных / П. А. Становский // Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск «Комп'ютерні системи та мережі». – Київ: Техніка. – 2009. – Вип. 72. – С. 231 – 234.

114. Wolfram Language Artificial Intelligence: The Image Identification Project [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://blog.stephenwolfram.com/2015/05/wolfram-language-artificial-intelligence-the-image-identification-project/>. – 14.05.2015.

115. Fooprateepsiri, R. A Highly Robust Approach Image Identification based-on Hausdorff-Trace Transform / R. Fooprateepsiri, W. Kurutach // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. – 2010. – Vol. 4, № 1. – P. 26 – 31.

116. Srisuk, S. A General Framework for Image Retrieval using Reinforcement Learning / S. Srisuk, R. Fooprateepsiri, M. Petrou, S. Waraklang and K. Sunat // The Image and Vision Computing. – Massey University, New Zealand. – Nov. 26 – 28, 2003. – P. 36 – 41.

117. Белозерский, Л. А. Основы построения систем распознавания образов. Часть 1. / Л. А. Белозерский // Донецк: Донецкий государственный институт искусственного интеллекта, 1997. – 149 с.

118. Барсегян, А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод // Спб: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

119. Дюк, В. Data Mining. Учебный курс / В. Дюк, А. Самойленко // Спб: Питер, 2001. – 386 с.

120. Физика визуализации изображений в медицине. Т. 1, 2. – М.: Мир,

1991. – 156 с.

121. Harel D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems [Text] / D. Harel // Science of Computer Programming. – 1987. – Vol. 8, №. 3. – P. 231 – 274.

122. Сойфер В.А., Котляр В.В., Хонина С.Н., Скиданов Р.В. Оптические методы идентификации дактилограмм // Компьютерная оптика, 1996. – Вып. 16. – С. 78 – 89.

123. Скиданов, Р. В. Устойчивость к сдвигу метода идентификации дактилограмм по полю направлений // Компьютерная оптика. – 1997. – Вып. 17. – С. 130 – 134.

124. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИЗ, 2003. – 784 с.

125. Ильясова, Н. Ю. Методы анализа дактилоскопических изображений на основе поля направлений / Н.Ю. Ильясова, А.В. Устинов, А.Г. Храмов // Научное приборостроение. – 1993. – Т. 3. – С. 89 – 101.

126. Ченцова, О. Б. Кристаллографический метод обследования при некоторых заболеваниях глаз / О. Б. Ченцова, Г. Л. Прокофьева – М.: Методические рекомендации, 1998.

127. Дворянова, Т. П. Компьютерная система анализа диагностических кристаллограмм / Т. П. Дворянова, Н. Ю. Ильясова, А. В. Устинова // Компьютерная оптика. – 1996. – Вып.16. – С. 90 – 96.

128. Hozman J. Automatic computer evaluation of blood serum crystallograms [Text] / J. Hozman, R. Kubinec, J. Trnka, J. Varenka // Publishing House of the Czech Technical University. – Praha, 1995. – P. 424 – 426.

129. Hozman, J. Automatic computer evaluation of blood serum crystallograms / J. Hozman, R. Kubinec, J. Trnka, J. Varenka // Biomedical Image Processing Applications in Biomedical Engineering and Biotechnology. – Praha: CTU, 1995.

130. Giumov N. I. The Fast Algorithm of Image Approximation in a Sliding Window [Text] / N. I. Giumov, N. I. Krainukov, V. V. Sergeyev, A. G. Khramov //

Pattern Recognition and Image Analysis. – 1991. – № 4. – p. 424 – 426.

131. Крылов, В. Н. Автоматизированная система распознавания / В. Н. Крылов, М. В. Максимов, В. О. Давыдов // Искусственный интеллект. – 2002. – № 4. – С. 462 – 469.

132. Glumov N.I., Krainkov N.I., Sergeyev V.V., Khramov A.G. Pattern Recognition and Image Analysis 4 424 (1991).

133. Ильясова, Н. Ю. Метод поля направлений в анализе и интерпретации диагностических изображений / Н.Ю. Ильясова, А.Г. Храмов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006. – 160 с.

134. The Method of the Directional Field in the Interpretation and Recognition of Images with Structure Redundancy [Text] / Soifer. V. A., Kotlyar V. V., Khonina S. N., Khramov A. G. // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1996. – № 4. – pp. 710 – 724.

135. Ильясова, Н. Ю. Численные методы и алгоритмы построения полей направлений квазипериодических структур / Н.Ю. Ильясова, А.В. Устиглов, А.Г. Храмов // Компьютерная оптика. – 1998. – Вып. 18. – С.150 – 165.

136. Тихонова, Н. В. Использование метода поля направлений и алгоритмов нечеткой логики для анализа и классификации медицинских изображений [Электронный ресурс] / Одесская государственная академия холода. – Режим доступа: <http://www.rusnauka.com/NIO/Informatica/tihonova%20.doc.htm>. – 10.08.2015.

137. Вишик, М. И. Поля направлений и соответствующие им траектории [Электронный ресурс] / МГУ им. М.В. Ломоносова. – Режим доступа: <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/48.html>. – 14.07.2015.

138. Никонов, А. В. Когерентность сигналов в фазовых системах контроля и диагностики недоступных объектов / А.В. Никонов // Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы. Омский научный вестник. – 2011. – № 3 (103). – С. 246 – 248.

139. Никонов, А. В. Информативность фазовой компонентной волны при контроле и диагностировании свойств объектов / А. В Никонов, В. А. Никонов

// Системы управления и информационные технологии. – 2010. – № 2 (40). – С. 86 – 91.

140. Soifer, V.A. Pattern Recognition and Image Analysis / V.A. Soifer, V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, A.G. Khramov. – 6(4) 710 (1996).

141. Налимов, А. Г. Метод поиска особых точек дактилоскопических изображений с использованием поля направлений [Электронный ресурс] / А.Г. Налимов, Р.В. Скиданов // Институт систем обработки изображений РАН. – Самарский государственный аэрокосмический университет. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-poiska-osobyh-tochek-daktiloskopicheskikh-izobrazheniy-s-ispolzovaniem-polya-napravleniy>. – 13.08.2015.

142. M. Seth, A.K. Datta Optical implementation of a connectionist model of Hough transform // Opt. Eng., 1996. – Vol. 35. – N 6. – P. 1779 – 1794.

143. Устинов, А. В. Компьютерная оптика. – 19 (1999). – 156.

144. H. Huh, J.K. Pan Optical digital invariant recognition of two dimensional patterns with straight links. // Opt. Eng., 1996. – Vol. 35. – N. 4. – P. 997 – 1002.

145. Соифер В.А., Котляр В.В., Хонина С.Н. Оптический метод построения поля направлений // Автометрия, 1996. – Вып. 1. – С. 31 – 36.

146. Soifer, V. A. The Method of the Directional Field in the Interpretation and Recognition of Images with Structure Redundance / V.A. Soifer, V.V. Kotlyar, S.N. Khonina, A.G. Khramov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1996. – V. 6. – № 4. – P. 710 – 724.

147. Glumov, N. I. The Fast Algorithm of Image Approximation in a Sliding Window / N.I. Glumov, N.I. Krainukov, V.V. Sergeyev, A.G. Khramov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1991. – № 4. – P. 424 – 426.

148. Гончарова, О. Е. Нечувствительный к асимметрии численный метод оптимизации конструкций / О. Е. Гончарова, В. Г. Максимов, А. Л. Становский / Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 1999. – Вып. 2(8). – С. 41 – 44.

149. Балан, С. А. Метод виртуального объекта в проектировании / С. А.

Балан, Т. П. Становская, О. Е. Гончарова / Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1(9). – С. 32 – 35.

150. Рузавин Г. И. Виртуальность // Новая философская энциклопедия. – 2-е изд. – М.: Мысль, 2010.

151. Virtual / Online Etymology Dictionary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etymonline.com/index.php?term=virtual>.

152. Виртуальная реальность Энциклопедия социологии / Сост. А. А. Грицанов, В. Л. Абушенко, Г. М. Евелькин, Г. Н. Соколова, О. В. Терещенко. – Мн.: Книжный Дом, 2003. – 131 с.

153. Багдасарьян, Н. Г. Виртуальная реальность: попытка типологизации / Н. Г. Багдасарьян, В. Л. Силаева // Философские науки. – 2005. – № 6. – С. 39 – 58.

154. Носов, Н. А. Манифест виртуалистики. – М.: Путь, 2001. – 246 с.

155. Грин, Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории: Пер. с англ. / Общ. ред. В. О. Малышенко. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

156. Колесникова, Е. В. Фрактальная размерность как мера трансформации серийной проектной деятельности в операционную / Е. В. Колесникова, И. И. Становская // Праці Одеського політехнічного університету, 2013. – Вип. 2(41). – С. 282 – 288.

157. Чуриков, В. А. Внутренняя алгебра операторов дробного интегродифференцирования // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 2. – С. 12 – 15.

158. Максимов, В. Г. Расчёт параметров НДС металлоконструкций методом виртуального объекта / В.Г. Максимов, О.Е. Гончарова, Т.П. Становская // Моделирование в прикладных научных исследованиях. – Одесса: ОГПУ, 1999. – С. 16 – 17.

159. Максимов В.Г., Гончарова О.Е. Расчёт параметров НДС металлоконструкций методом виртуального объекта // Труды VI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОГПУ. –

1999. – С. 16 – 17.

160. Балан С.А., Становская Т.П., Гончарова О.Е. Применение метода виртуального объекта в машиностроении // Труды VII семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОГПУ, 2000. – С. 12 – 16.

161. Балан С.А., Становская Т.П., Опарин А.В. Метод виртуального объекта в управлении тормозными системами с внутренней виброзащитой // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 2 (11). – С. 29 – 32.

162. Балан С.А., Становская Т.П., Гончарова О.Е. Метод виртуального объекта в проектировании // Труды Одесского политехнического университета. – 2000. – Вып. 1 (10). – С. 32 – 35.

163. Лоскутов, А. Ю. Основы теории сложных систем / А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. – М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и стохастическая динамика», 2007. – 612 с.

164. Жилин, Д. М. Теория систем. – М.: УРСС, 2004. – С. 183.

165. Балан, С. А. Автоматизированная система управления торможением автотранспортных средств / С. А. Балан, В. Г. Максимов, Т. П. Становская / Труды Одесского политехнического университета. – 1999. – Вып. 2(8). – С. 95 – 97.

166. Пурич, Д. А. Математическое моделирование и анализ частично недоступных для мониторинга технических объектов в САПР. – Дис. ... канд. техн. наук. – 05.13.12 – Системы автоматизации проектных работ. – Одесса: ОНПУ, 2014. – 161 с.

167. Савельева, О. С. Метод дистанционной структурной диагностики низкочастотной аналоговой сети, частично недоступной мониторингу / О. С. Савельева, В. Г. Максимов, Д. А. Пурич // Праці Одеського політехнічного університету. – Одеса: ОНПУ. – 2012. – Вип. 2 (39). – С. 208 – 213.

168. Кузьо, І. В. Застосування графів при дослідженні функціонування транспортних засобів з пружно зчленованими елементами / І. В. Кузьо, Р. В.

Зінько, І. С. Лозовий // Науковий вісник НЛТУ. – 2010. – Вип. 20.12. – С. 111 – 116.

169. Черевко, Ю. М. Використання графів структури зв'язків для аналізу механічних систем з пружно зчленованими елементами / Ю. М. Черевко, Р. В. Зінько, І. С. Лозовий // Автошляховик України. – 2009. – № 4. – С. 12 – 15.

170. Зінько, Р. В. Методика використання графів при дослідженні роботи машини з гусеничним рушієм / Р. В. Зінько // Науковий вісник НЛТУ. – 2011. – Вип. 21.13. – С. 117 – 122.

171. Ильясова, Н. Ю. Методы анализа дактилоскопических изображений на основе поля направлений / Н. Ю. Ильясова, А. В. Устинов, А. Г. Храмов // Научное приборостроение. – Санкт-Петербург, 1993. – С. 89 – 101.

172. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1976. – 872 с.

173. Антощук, С. Г. Гибридная линейно-ранговая фильтрация сигналов и изображений / С. Г. Антощук, В. Н. Крылов, В. О. Давыдов // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2000. – Вып. 3(12). – С. 140 – 142.

174. Крылов, В. Н. Ранговая обработка двумерных изображений в пространстве оценок и решений / В. Н. Крылов, С. Г. Антощук, А. А. Бодалевский // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 1998. – Вып. 1(5). – С. 105 – 108.

175. Горобець, С. М. Основи комп'ютерної графіки. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 232 с.

176. Становский, А. Л. Оптимизация слабосвязанных производственных систем / А.Л. Становский, П.С. Швец, Д.А. Монова // Материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Севастополь, 3 – 7 сентября 2012. – С. 121 – 123.

177. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 256 с.

178. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде. – СПб.: Физматлит, 2002. – 176 с.

179. Становский, А. Л. Оптимизация слабосвязанных систем в автоматизированном проектировании и управлении / А.Л. Становский, П.С. Швец, И.Н. Щедров. – Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Вип. 6. – Харків, НТУ «ХП», 2011. – С. 129 – 134.

180. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами / А.Л. Становский, П.С. Швец, А.В. Торопенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2013. – № 4/3 (64). – С. 36 – 40.

181. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация слабосвязанных технических систем в САПР / А.Л. Становский, П.С. Швец, Д.А. Желдубовский // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – 2011. – Вип. 2(36). – С. 234 – 238.

182. Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М: Радио и связь, 1981. – 560 с.

183. Петросян, Л. А. Теория игр / Л.А. Петросян, Н.А. Зенкевич, Е.В. Шевкопляс. – СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с.

184. Гугнін, В.П. Основи метрології та вимірювальної техніки / В.П. Гугнін, Г.О. Оборський. – Одеса: Астропринт, 2003. – 200 с.

185. Энтропия сигналов [электронный ресурс]. – Режим доступа: <<http://xreferat.ru/33/686-1-entropiya-signalov.html>>. – 11.10.2012.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ПРОГРАМА ПОБУДОВИ МОДЕЛІ СТРУКТУРИ ПБКМ
У ВИГЛЯДІ ПОЛЯ ІНТЕНСИВНОСТЕЙ

```
import java.awt.*;
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.util.Scanner;

/**
 * Created by astanovskiy on 12/3/2015.
 */
public class Main {
    public static void main(String[] args) throws
FileNotFoundException {
        Picture pic = new Picture(100, 100);
        Scanner scanner = new Scanner(new
File("D:\\temp\\Book1.csv"));
        int line = 0;
        while (scanner.hasNextLine()) {
            String s = scanner.nextLine();
            String[] split = s.split(",", 100);
            for (int i = 0; i < split.length; i++) {
                String s1 = split[i];
                pic.set(line, i, generateColor(s1));
            }
            line++;
        }
        pic.show();
    }

    private static Color generateColor(String str) {
        if (str == null || str.isEmpty())
            return Color.WHITE;
        int i = Integer.parseInt(str);
        if (i == 1)
            return Color.BLACK;
        if (i == 0)
            return Color.WHITE;
        throw new RuntimeException("Unknown color " +
str);
    }
}
```

```

    }
}
import java.awt.*;
import java.io.File;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.util.Scanner;

/**
 * Created by astanovskiy on 12/9/2015.
 */
public class Main2 {
    public static void main(String[] args) throws
FileNotFoundException {
        Picture pic = new Picture(100, 100);
        Scanner scanner = new Scanner(new
File("D:\\temp\\phd\\Book2.csv"));
        int line = 0;
        while (scanner.hasNextLine()) {
            String s = scanner.nextLine();
            String[] split = s.split(",", 100);
            for (int i = 0; i < split.length; i++) {
                String s1 = split[i];
                pic.set(line, i, generateColor(s1));
            }
            line++;
        }
        pic.show();
    }

    private static Color generateColor(String str) {
        if (str == null || str.isEmpty())
            return Color.WHITE;
        float f = 1.0f - Float.parseFloat(str);
        return new Color(f, f, f);
    }
}
import java.awt.*;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.awt.event.KeyEvent;
import java.awt.image.BufferedImage;
import java.io.File;
import java.io.IOException;
import java.net.URL;
import javax.imageio.ImageIO;

```

```

import javax.swing.ImageIcon;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.JLabel;
import javax.swing.JMenu;
import javax.swing.JMenuBar;
import javax.swing.JMenuItem;
import javax.swing.KeyStroke;

public final class Picture implements ActionListener {
    private BufferedImage image;           // the
rasterized image
    private JFrame frame;                 // on-
screen view
    private String filename;              // name of
file
    private boolean isOriginUpperLeft = true; //
location of origin
    private final int width, height;      // width
and height

    /**
     * Initializes a blank <tt>width</tt>-by-
<tt>height</tt> picture, with <tt>width</tt> columns
     * and <tt>height</tt> rows, where each pixel is
black.
     *
     * @param width the width of the picture
     * @param height the height of the picture
     */
    public Picture(int width, int height) {
        if (width < 0) throw new
IllegalArgumentException("width must be nonnegative");
        if (height < 0) throw new
IllegalArgumentException("height must be nonnegative");
        this.width = width;
        this.height = height;
        image = new BufferedImage(width, height,
BufferedImage.TYPE_INT_RGB);
        // set to TYPE_INT_ARGB to support transparency
        filename = width + "-by-" + height;
    }

    /**
     * Initializes a new picture that is a deep copy of
the argument picture.

```

```

*
* @param picture the picture to copy
*/
public Picture(Picture picture) {
    width  = picture.width();
    height = picture.height();
    image = new BufferedImage(width, height,
BufferedImage.TYPE_INT_RGB);
    filename = picture.filename;
    for (int col = 0; col < width(); col++)
        for (int row = 0; row < height(); row++)
            image.setRGB(col, row, picture.get(col,
row).getRGB());
}

/**
 * Initializes a picture by reading from a file or
URL.
 *
 * @param filename the name of the file (.png, .gif,
or .jpg) or URL.
 */
public Picture(String filename) {
    this.filename = filename;
    try {
        // try to read from file in working directory
        File file = new File(filename);
        if (file.isFile()) {
            image = ImageIO.read(file);
        }

        // now try to read from file in same
directory as this .class file
        else {
            URL url =
getClass().getResource(filename);
            if (url == null) {
                url = new URL(filename);
            }
            image = ImageIO.read(url);
        }
        width  = image.getWidth(null);
        height = image.getHeight(null);
    }
    catch (IOException e) {

```

```

        // e.printStackTrace();
        throw new RuntimeException("Could not open
file: " + filename);
    }
}

/**
 * Initializes a picture by reading in a .png, .gif,
or .jpg from a file.
 *
 * @param file the file
 */
public Picture(File file) {
    try {
        image = ImageIO.read(file);
    }
    catch (IOException e) {
        e.printStackTrace();
        throw new RuntimeException("Could not open
file: " + file);
    }
    if (image == null) {
        throw new RuntimeException("Invalid image
file: " + file);
    }
    width = image.getWidth(null);
    height = image.getHeight(null);
    filename = file.getName();
}

/**
 * Returns a JLabel containing this picture, for
embedding in a JPanel,
 * JFrame or other GUI widget.
 *
 * @return the <tt>JLabel</tt>
 */
public JLabel getJLabel() {
    if (image == null) return null; // no
image available
    ImageIcon icon = new
ImageIcon(image.getScaledInstance(500, 500,
Image.SCALE_DEFAULT));
    return new JLabel(icon);
}

```



```

/**
 * Sets the origin to be the upper left pixel. This
is the default.
 */
public void setOriginUpperLeft() {
    isOriginUpperLeft = true;
}

/**
 * Sets the origin to be the lower left pixel.
 */
public void setOriginLowerLeft() {
    isOriginUpperLeft = false;
}

/**
 * Displays the picture in a window on the screen.
 */
public void show() {

    // create the GUI for viewing the image if needed
    if (frame == null) {
        frame = new JFrame();

        JMenuBar menuBar = new JMenuBar();
        JMenu menu = new JMenu("File");
        menuBar.add(menu);
        JMenuItem menuItem1 = new JMenuItem(" Save...
");

        menuItem1.addActionListener(this);

menuItem1.setAccelerator(KeyStroke.getKeyStroke(KeyEvent.
VK_S,

Toolkit.getDefaultToolkit().getMenuShortcutKeyMask()));
        menu.add(menuItem1);
        frame.setJMenuBar(menuBar);

        frame.setContentPane(getJLabel());
        //
f.setDefaultCloseOperation(JFrame.EXIT_ON_CLOSE);

```

```

frame.setDefaultCloseOperation(JFrame.DISPOSE_ON_CLOSE);
    frame.setTitle(filename);
    frame.setResizable(true);
    frame.pack();
    frame.setVisible(true);
}

// draw
frame.repaint();
}

/**
 * Returns the height of the picture.
 *
 * @return the height of the picture (in pixels)
 */
public int height() {
    return height;
}

/**
 * Returns the width of the picture.
 *
 * @return the width of the picture (in pixels)
 */
public int width() {
    return width;
}

/**
 * Returns the color of pixel (<tt>col</tt>,
<tt>row</tt>).
 *
 * @param col the column index
 * @param row the row index
 * @return the color of pixel (<tt>col</tt>,
<tt>row</tt>)
 * @throws IndexOutOfBoundsException unless both 0
&le; <tt>col</tt> &lt; <tt>width</tt>
 *         and 0 &le; <tt>row</tt> &lt;
<tt>height</tt>
 */
public Color get(int col, int row) {

```

```

        if (col < 0 || col >= width()) throw new
IndexOutOfBoundsException("col must be between 0 and " +
(width()-1));
        if (row < 0 || row >= height()) throw new
IndexOutOfBoundsException("row must be between 0 and " +
(height()-1));
        if (isOriginUpperLeft) return new
Color(image.getRGB(col, row));
        else return new
Color(image.getRGB(col, height - row - 1));
    }

/**
 * Sets the color of pixel (<tt>col</tt>,
<tt>row</tt>) to given color.
 *
 * @param col the column index
 * @param row the row index
 * @param color the color
 * @throws IndexOutOfBoundsException unless both 0
&le; <tt>col</tt> &lt; <tt>width</tt>
 *         and 0 &le; <tt>row</tt> &lt;
<tt>height</tt>
 * @throws NullPointerException if <tt>color</tt> is
<tt>>null</tt>
 */
    public void set(int col, int row, Color color) {
        if (col < 0 || col >= width()) throw new
IndexOutOfBoundsException("col must be between 0 and " +
(width()-1));
        if (row < 0 || row >= height()) throw new
IndexOutOfBoundsException("row must be between 0 and " +
(height()-1));
        if (color == null) throw new
NullPointerException("can't set Color to null");
        if (isOriginUpperLeft) image.setRGB(col, row,
color.getRGB());
        else image.setRGB(col, height -
row - 1, color.getRGB());
    }

/**
 * Returns true if this picture is equal to the
argument picture.
 *

```

```

    * @param other the other picture
    * @return <tt>>true</tt> if this picture is the same
dimension as <tt>other</tt>
    *         and if all pixels have the same color;
<tt>>false</tt> otherwise
    */
    public boolean equals(Object other) {
        if (other == this) return true;
        if (other == null) return false;
        if (other.getClass() != this.getClass()) return
false;

        Picture that = (Picture) other;
        if (this.width() != that.width()) return false;
        if (this.height() != that.height()) return false;
        for (int col = 0; col < width(); col++)
            for (int row = 0; row < height(); row++)
                if (!this.get(col,
row).equals(that.get(col, row))) return false;
        return true;
    }

    /**
     * This operation is not supported because pictures
are mutable.
     *
     * @return does not return a value
     * @throws UnsupportedOperationException if called
     */
    public int hashCode() {
        throw new
UnsupportedOperationException("hashCode() is not
supported because pictures are mutable");
    }

    /**
     * Saves the picture to a file in a standard image
format.
     * The filetype must be .png or .jpg.
     *
     * @param name the name of the file
     */
    public void save(String name) {
        save(new File(name));
    }

```

```

/**
 * Saves the picture to a file in a PNG or JPEG image
format.
 *
 * @param file the file
 */
public void save(File file) {
    filename = file.getName();
    if (frame != null) frame.setTitle(filename);
    String suffix =
filename.substring(filename.lastIndexOf('.') + 1);
    suffix = suffix.toLowerCase();
    if (suffix.equals("jpg") || suffix.equals("png"))
{
        try {
            ImageIO.write(image, suffix, file);
        }
        catch (IOException e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    else {
        System.out.println("Error: filename must end
in .jpg or .png");
    }
}

/**
 * Opens a save dialog box when the user selects
"Save As" from the menu.
 */
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    FileDialog chooser = new FileDialog(frame,
        "Use a .png or .jpg extension",
FileDialog.SAVE);
    chooser.setVisible(true);
    if (chooser.getFile() != null) {
        save(chooser.getDirectory() + File.separator
+ chooser.getFile());
    }
}

/**
 * Unit tests this <tt>Picture</tt> data type.

```

```

    * Reads a picture specified by the command-line
argument,
    * and shows it in a window on the screen.
    */
    public static void main(String[] args) {
        Picture picture = new Picture(args[0]);
        System.out.printf("%d-by-%d\n", picture.width(),
picture.height());
        picture.show();
    }
}

/*****
*****
* Copyright 2002-2015, Robert Sedgewick and Kevin
Wayne.
*
* This file is part of algs4.jar, which accompanies the
textbook
*
* Algorithms, 4th edition by Robert Sedgewick and
Kevin Wayne,
* Addison-Wesley Professional, 2011, ISBN 0-321-
57351-X.
* http://algs4.cs.princeton.edu
*
*
* algs4.jar is free software: you can redistribute it
and/or modify
* it under the terms of the GNU General Public License
as published by
* the Free Software Foundation, either version 3 of the
License, or
* (at your option) any later version.
*
* algs4.jar is distributed in the hope that it will be
useful,
* but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied
warranty of
* MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
See the
* GNU General Public License for more details.
*

```

* You should have received a copy of the GNU General
Public License

* along with algs4.jar. If not, see
<http://www.gnu.org/licenses>.

*****/

ДОДАТОК Б
ФРАНМЕНТ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ТРИВИМІРНОГО ПОЛЯ
НАПРЯМКІВ

```

import java.nio.file.Files;

import java.nio.file.Paths;

import java.util.Scanner;

public class SlopeField3D {

    private static int i;
    private static int j;
    private static int k;
    private static char[][][] colors;

    public static void main(String[] args) {
        checkArgs(args);
        readInputs(args[0]);
        int[][][] f1 = calculateAllF1();
    }

    private static int[][][] calculateAllF1() {
        int[][][] ints = new int[i][j][k];
        for (int a = 0; a < i; a++)
            for (int b = 0; b < j; b++)
                for (int c = 0; c < k; c++)
                    ints[a][b][c] = calculateF1(a, b, c);
        return ints;
    }

    private static int calculateF1(int x, int y, int z) {
        if (x >= i || x < 0 ||
            y >= j || y < 0 ||
            z >= k || z < 0)
            throw new IllegalArgumentException("Some of
the XYZ is out of range");

        int result = 0;
        int currentPixelColor = (int) colors[x][y][z];

        //1
        if ((x - 1) >= 0 && (y - 1) >= 0 && (z + 1) < k)

```



```
        result += colors[x - 1][y - 1][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//2
if ((x - 1) >= 0 && (y + 1) < j && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x - 1][y + 1][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//3
if ((y + 1) < j && (z + 1) < k)
    result += colors[x][y + 1][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//4
if ((y + 1) < j && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x][y + 1][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//5
if ((x + 1) < i && (y + 1) < j && (z + 1) < k)
    result += colors[x + 1][y + 1][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//6
if ((x + 1) < i && (y + 1) < j && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x + 1][y + 1][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//7
if ((x - 1) >= 0 && (z + 1) < k)
    result += colors[x - 1][y][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//8
if ((x - 1) >= 0 && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x - 1][y][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;
```

```
//9
if ((z + 1) < k)
    result += colors[x][y][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//10
if ((z - 1) >= 0)
    result -= colors[x][y][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//11
if ((x + 1) < i && (z + 1) < k)
    result += colors[x + 1][y][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//12
if ((x + 1) < i && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x + 1][y][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//13
if ((x - 1) >= 0 && (y - 1) >= 0 && (z + 1) < k)
    result += colors[x - 1][y - 1][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//14
if ((x - 1) >= 0 && (y - 1) >= 0 && (z - 1) >= 0)
    result -= colors[x - 1][y - 1][z - 1];
else
    result -= currentPixelColor;

//15
if ((y - 1) >= 0 && (z + 1) < k)
    result += colors[x][y - 1][z + 1];
else
    result += currentPixelColor;

//16
if ((y - 1) >= 0 && (z - 1) >= 0)
```

```

        result -= colors[x][y - 1][z - 1];
    else
        result -= currentPixelColor;

    //17
    if ((x + 1) < i && (y - 1) >= 0 && (z + 1) < k)
        result += colors[x + 1][y - 1][z + 1];
    else
        result += currentPixelColor;

    //18
    if ((x + 1) < i && (y - 1) >= 0 && (z - 1) >= 0)
        result -= colors[x + 1][y - 1][z - 1];
    else
        result -= currentPixelColor;

    return result / 36;
}

private static void readInputs(String inputPath) {
    try (Scanner scanner = new
Scanner(Paths.get(inputPath))) {
        readIJK(scanner);

        colors = new char[i][j][k];
        while (scanner.hasNextLine()) {
            int x = scanner.nextInt();
            int y = scanner.nextInt();
            int z = scanner.nextInt();
            int color = scanner.nextInt();
            colors[x][y][z] = (char) color;
        }
    } catch (Exception e) {
        throw new IllegalStateException("Wrong
input!", e);
    }
}

private static void readIJK(Scanner scanner) {
    i = Integer.parseInt(scanner.nextLine());
    j = Integer.parseInt(scanner.nextLine());
    k = Integer.parseInt(scanner.nextLine());
}

private static void checkArgs(String[] args) {

```

```
        if (args.length != 1 ||
            !Files.exists(Paths.get(args[0])))
            throw new IllegalArgumentException("Wrong
input format");
    }
}
```

ДОДАТОК В

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник розвідувального управління – заступник начальника штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України з розвідки
полковник



А.О. ШЕВЧЕНКО
2015 р.

А К Т

про реалізацію результатів дисертаційного дослідження СТАНОВСЬКОГО АНДРІЯ ОЛЕКСАНДРОВИЧА в повсякденну діяльність розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України

Науково-технічна комісія, визначена рішенням начальника Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України в складі голови комісії: начальника відділу планування – заступника начальника розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України полковника САДЧЕНКА М.М., членів комісії: начальника відділу спеціальної розвідки розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України полковника ДІДИКА Є.П., начальника групи технічного забезпечення розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України підполковника ГОДЗЯ А.І., старшого офіцера відділу планування розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України підполковника СМІРНОВА А.С. в період з 14 березня 2015 року до 25 березня 2015 року провела аналіз використання результатів дисертаційного дослідження аспіранта СТАНОВСЬКОГО А.О. в Розвідувальному управлінні штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України.

Практичним результатом дослідження є складові інтелектуальної системи «ОВМІН» (*objects with elements, inaccessible to monitoring*) 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 підвищення можливості своєчасного ремонту та заміни пошкоджених елементів бездротової комп'ютерної мережі, що гарантує підвищення загального рівня працездатності останньої на 22,3 – 26,3 %.

(суть роботи)

Під час роботи комісії з'ясовано, що результати дисертаційного дослідження використовувались в повсякденній діяльності Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України під час обґрунтування можливостей комплекту сил та засобів розвідки оперативних командувань.

ЗАПРПОНОВАНО: результати дисертаційного дослідження СТАНОВСЬКОГО А.О. вважати такими, що впроваджені та використовувались в повсякденній діяльності Розвідувального управління штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України.

(висновки комісії)

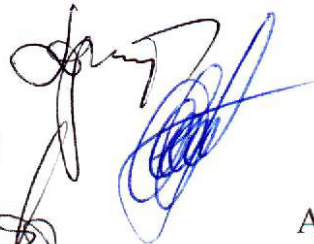
Відповідний Акт не є підставою для фінансових розрахунків.

ГОЛОВА КОМІСІЇ: полковник



М.М.САДЧЕНКО

ЧЛЕНИ КОМІСІЇ: полковник



Є.П.ДІДИК;

підполковник

А.І.ГОДЗЬ;

підполковник



А.С.СМІРНОВ;