

27. Schifano, E. D. Online updating of statistical inference in the big data setting. Tech. Rep. [Text] / E. D. Schifano, J. Wu, C. Wang, J. Yan, M.-H. Chen. – University of Connecticut, Storrs, Connecticut, 2014.
28. Advanced Statistical Methods for the Analysis of Large Data-Sets [Text] / A. Di Ciaccio, M. Coli, J. M. Angulo Ibanez (Eds.). – Springer, 2012. doi: 10.1007/978-3-642-21037-2
29. Computational statistics [Electronic resource]. – Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_statistics
30. Wilkinson, L. The future of statistical computing [Text] / L. Wilkinson // Technometrics. – 2008. – Vol. 50, Issue 4. – P. 418–435. doi: 10.1198/004017008000000460
31. James, G. An Introduction to Statistical Learning with Applications in R [Electronic resource] / G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. – Available at: <http://www-bcf.usc.edu/>
32. Schibidberger, M. State of the art in parallel computing with R [Text] / M. Schibidberger, M. Morgan, D. Eddelbuettel et. al. // Journal of Statistical Software. – 2009. – Vol. 31, Issue 1. – P. 1–27.

Розглянуто розпізнавання стану структури прихованої частини складних мережеских об'єктів в умовах обмеженої інформації від їх важкодоступних елементів. Метод розпізнавання стану мережеских об'єктів ліг в основу побудови інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при експлуатації та реінжинірингу відновлюваних бездротових комп'ютерних мереж з недоступними для моніторингу елементами

Ключові слова: штучний інтелект, зорове відображення, мережескі структури, важкодоступні елементи

Рассмотрено распознавание состояния структуры скрытой части сложных сетевых объектов в условиях ограниченной информации от их труднодоступных элементов. Метод распознавания состояния сетевых объектов лег в основу построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений при эксплуатации и реинжиниринге восстанавливаемых беспроводных компьютерных сетей с недоступными для непосредственного мониторинга элементами

Ключевые слова: искусственный интеллект, зрительное отображение, сетевые структуры, труднодоступные элементы

УДК 004.08:005.8

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51186

ПЕРЕТВОРЕННЯ СТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ЧАСТКОВО НЕДОСТУПНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ДО ЗОРОВОГО ОБРАЗУ

С. А. Нестеренко

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: san@opi.ua

А. О. Становський

Кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж*

E-mail: redline@normaplus.ua

А. В. Торопенко

Кандидат технічних наук
Кафедра нафтогазового і хімічного машиностроєння**

E-mail: alla.androsyk@gmail.com

П. С. Швець

Кандидат технічних наук
Кафедра електропостачання і енергетичного менеджменту**

E-mail: pshvets@mail.ru

*Кафедра комп'ютерних інтелектуальних систем і мереж**

**Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченко, 1, г. Одеса, Україна, 65044

1. Вступ

Будь-яка система розпізнавання надійності пошкоджуваних під час зберігання та експлуатації мережеских 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 [1, 2].

В цьому випадку дослідник має змогу отримати лише обмежену інформацію про значення деяких характеристик *доступної* частини мережеского 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 характе-

ристик технічних систем (напруження, деформація, тощо), інформаційних складових комп'ютерних мереж та багато іншого.

Зрозуміло, що в цьому випадку наявності лише частини інформації про стан структури мережевого об'єкта, яку, тим не менш, необхідно відтворити, 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* [3, 4].

На цьому шляху перспективним виглядає не безпосередня оцінка стану частково недоступних систем по відгуках від її доступних елементів, а створення проміжного інтелектуального відображення таких відгуків – деякого зорового образу, з яким в подальшому і виконуються розпізнавальні дії. Все це робить розв'язання проблеми перетворення структури складної технічної системи із частково недоступними елементами до зорового образу надзвичайно актуальним.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Останнім часом все більшого поширення набувають бездротові комп'ютерні мережі (БКМ), які дозволяють значно краще пристосовуватись до потреб великої кількості користувачів інформаційних систем [5, 6]. Широке використання таких мереж призводить до росту вимог до їхньої надійності, відмовостійкості та продуктивності. Висока продуктивність 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 [7, 8]. При цьому істотним є час, затрачений на відновлення працездатності мережі.

При проектуванні та експлуатації БКМ важливо вміти оцінювати стан їхньої структури також тому, що саме від нього залежить працездатність мережі на протязі запланованого життєвого циклу. На відміну від «звичайних» дротових мереж, бездротові позбавлені можливості постійного внутрішнього моніторингу своєї структури.

Проблема ускладнюється також тим, що елементи БКМ не мають сталих «сусідів» для взаємотестування, оскільки вони часто переміщуються в просторі, постійно змінюючи перелік найближчих серверів та вузлів іншого призначення [5, 6].

Розв'язок завдань структурного діагностування 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 діагностичного обладнання [9–11]. До цього слід додати, що надійність самих систем діагностування потребує постійної уваги дослідника [12, 13]. Пошук і усунення несправностей програмного забезпечення, як правило, не входить до завдання структурного діагностування 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-діагноста. У практиці автоматизованого структурного діагностування та синтезу БКМ використовуються різні способи їхнього представлення, кожний з яких має свої переваги і недоліки, але не є єдиним [14].

Відсутність формалізованого методу визначення області підозрюваних несправностей приводить до високих часових витрат на проведення діагностичного експерименту і, отже, на пошук несправності. Також наразі відсутня єдина формалізована методологія, теоретично обґрунтоване морфологічне середовище [15, 16], що дозволяє локалізувати кожного з видів несправностей.

Це призводить до необхідності наявності в діагноста досить високого рівня досвіду і знань в області морфологічного аналізу та прогнозування стану структури складних систем для забезпечення коректності постановки діагностичного експерименту [17–19]. Зазначені проблеми обумовлюють високі часові витрати на пошук несправності, а також звужують діапазон суб'єктів, що забезпечують коректне розв'язання завдання пошуку структурної несправності, що, в свою чергу, призводить до високої трудомісткості й складності розв'язання даної проблеми.

З іншого боку, в останній час значного поширення отримали методи обробки зорових зображень [20–23] та відеопотоків [24, 25], сучасних інтелектуальних методів розпізнавання образів [26–28], тощо, які надають можливості «витягнути» з навіть пошкодженого зображення суттєву інформацію, необхідну для діагностики поточного стану, відтворення або реінжинірингу БКМ. Залишається лише не до кінця розробленою проблема відображення складної структури на зорове зображення, тобто структурна візуалізація складних систем [29, 30].

3. Мета і задачі дослідження

Метою роботи було підвищення працездатності бездротових комп'ютерних мереж шляхом своєчасного їхнього відновлення або реінжинірингу за рахунок розробки та впровадження інтелектуального методу розпізнавання стану структури пошкоджуваних мережевих об'єктів із частково недоступними для моніторингу елементами за допомогою її морфологічного відображення на зоровий образ та наступної інтелектуальної обробки цього образу.

Для досягнення цієї мети необхідно було розв'язати наступні задачі:

- запропонувати загальну структуру методу перетворення структури до зорового образу;
- сформулювати теоретичні основи методу;
- провести випробування запропонованого методу в рамках загальної системи підтримки працездатності та реінжинірингу пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж.

4. Метод перетворення структури об'єкта до зорового образу

4. 1. Описання структури методу

Як відомо, на серверах бездротової мережі під час її роботи накопичується багато інформації, яка може взагалі не використовуватися користувачами 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 діагностики.

Такі знання носять ймовірнісний характер, але використання сучасних інтелектуальних методів «витагування» корисних знань з, на перший погляд, неінформативних трендів (нейронні мережі, марковські моделі, тощо) робить цей шлях до діагнозів структури БKM вельми актуальним.

В роботі запропонований інтелектуальний метод розпізнавання структури частково недоступного для моніторингу мережевого об'єкта, зокрема БKM, загальна схема якого наведена на рис. 1.

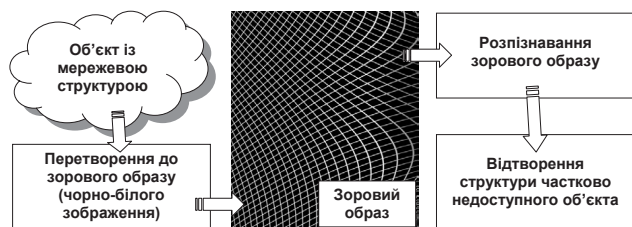


Рис. 1. Схема інтелектуального методу розпізнавання структури частково недоступного для моніторингу мережевого об'єкта

4. 2. Теоретична основа методу

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

Тобто в реальній БKM після деякого часу експлуатації можуть існувати чотири типи поточного стану елементів:

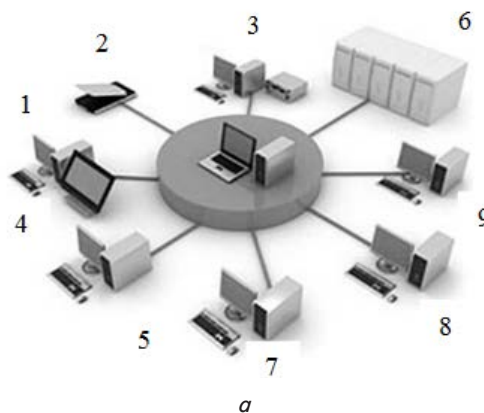
- доступний для спостереження, працездатний;
- доступний для спостереження, непрацездатний;
- недоступний для спостереження, працездатний;
- недоступний для спостереження, непрацездатний.

Візьмо в якості прикладу найпростішу БKM (рис. 2, а).

Хай елементи 3, 6 та 9 в ній недоступні для моніторингу (множина НМ). Побудуємо для структури цієї мережі матрицю суміжності (рис. 2, б), причому

дискретну яскравість z_e фону кожної клітинки (пікселя) цієї матриці оберемо в межах 8-бітової оцінки яскравості від 0 до 255 та пропорційно ймовірності p_e достовірності інформації про працездатність поточного елемента:

$$z_e = [255p_e]. \tag{1}$$



| | 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 |

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

Рис. 2. Схема приведення характеристик працездатності БKM до зорового образу: а – характеристики працездатності БKM; б – схема приведення на початку експлуатації; β – схема приведення після пошкоджень під час експлуатації ($p=1$ – елемент на 100 % працездатний; $p=0$ – елемент не було в мережі спочатку або він повністю втратив працездатність; $0 < p < 1$ – працездатність елемента не відома достовірно)

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

На рис. 2 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» ($0 < z_e < 255$). На рис. 2 видно, що на початку експлуатації існують тільки два стани пікселей – білий (відповідний елемент існує і він повністю працездатний) і чорний (елемент з початку експлуатації БKM взагалі не існував). Для цього випадку зоровий образ початкового стану БKM чорно-білий, без напівтонів (рис. 2, б). По закінченню деякого часу експлуатації частина елементів БKM виходить з ладу, причому для доступних елементів (які належать до множини

5. Обговорення результатів дослідження

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 зоровий образ *частково* пошкодженої БКМ із *частково* недоступними елементами набуває напівтонів (рис. 2, в).

Відомо, що для представлення структури об'єкта найчастіше використовуються моделі у вигляді графів [31–33]. Розглянемо тестову БКМ, граф структури якої наведено на рис. 3, а. Всього в мережі 100 вузлів, зв'язки між якими створюють матрицю суміжності по типу зображеної на рис. 2. На рис. 3, б виділена множина НМ, про яку точно відомо, що вона недоступна для моніторингу.

Після початку експлуатації мережі в ній з'являються структурні втрати (наприклад, знищення літака, на якому були розташовані деякі з елементів мережі). На рис. 3, в, г такі втрати позначені зірочками. У підсумку маємо БКМ із наявними пошкодженими та недоступними елементами та зоровий образ її структури, придатний до подальшого використання в системах відновлення таких мереж.

Таким чином, запропонований метод відрізняється від відомих тим, що містить додатковий етап перетворення інформації від БКМ на зоровий образ, а суть дослідження полягає у розробці технології такого перетворення.

Перевагою даного дослідження є те, що завдяки проміжному перетворенню відбитків стану структури БКМ до зорового образу з'являється додаткова можливість застосування до діагностики БКМ великої кількості існуючих на сьогодні методів обробки останнього.

Раніше використовуваний метод, в основу якого покладені інформаційні структурні статистичні моделі [1], не передбачав створення та обробку проміжних зорових зображень, а результат тестування частково недоступних мереж цим методом не задовольняв потреби в підтримці працездатності систем відповідального призначення.

В рамках запропонованого методу використовували способи фільтрації, які ґрунтуються на раціональному використанні даних як з робочої точки, так і з її околиці [22]. При вирішенні задач фільтрації використовували імовірнісні моделі зображення і застосовували статистичні критерії оптимальності.

Це пов'язано з випадковим характером можливих завод і прагненням отримати мінімальну в середньому різницю між результатом обробки та деякого «ідеального» сигналу, який відбиває невідомий реальний стан структури БКМ.

Це робить запропонований метод корисним для широкого застосування при проектуванні та експлуатації БКМ відповідального призначення: таких, що розташовуються на пілотованих та безпілотних літаках, космічних апаратах, атомних електростанціях, тощо.

В подальшому метод може бути вдосконалений з урахуванням конкретних архітектур БКМ, з одного боку, і нових методів обробки зображень та відеопотоків, з іншого.

Науково-технічна комісія провела аналіз використання результатів дослідження в Розвідувальному управлінні штабу Командування Сухопутних військ Збройних Сил України.

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 слід,

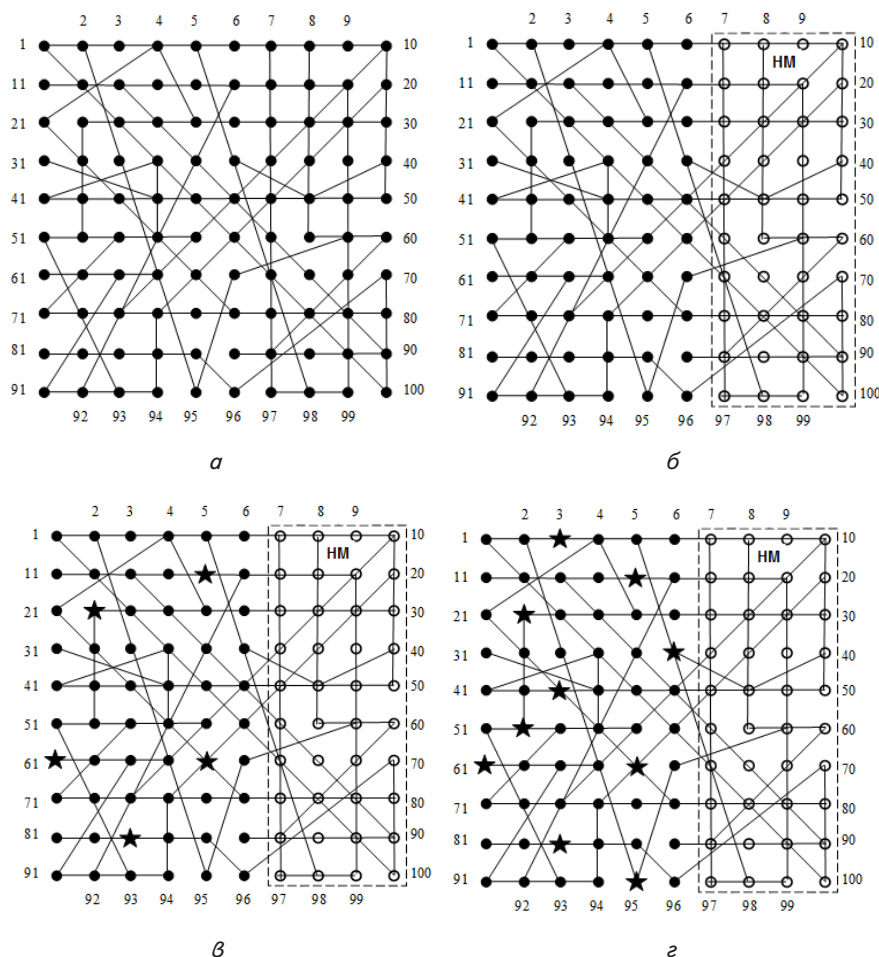


Рис. 3. Структура тестової 100-елементної БКМ: а – початковий стан; б – стан БКМ із частково недоступними елементами; в – стан БКМ із частково недоступними елементами після першого періоду експлуатації; г – стан БКМ із частково недоступними елементами після другого періоду експлуатації

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 %.

6. Висновки

Встановлено, що використання зорового відображення структури бездротової комп'ютерної мережі дозволяє покращити показники надійності таких систем за рахунок вчасного виявлення та відновлення (реінжинірингу) втрачених елементів.

Сформульовані теоретичні основи методу, які полягають у створенні та обробки проміжних зорових зо-

бражень структури БКМ, з подальшим застосуванням способів фільтрації, які ґрунтуються на раціональному використанні даних як з робочої точки, так і з її околиці. При вирішенні задач фільтрації використовували ймовірнісні моделі зображення і застосовували статистичні критерії оптимальності, що дозволило використовувати останній в реальних умовах практичного застосування.

В роботі метод використовували для інтелектуальної діагностики БКМ в рамках загальної системи підтримки працездатності та реінжинірингу пошкоджуваних бездротових комп'ютерних мереж частково встановлених на борту безпілотних літальних апаратів із позитивним тактико-технічним результатом.

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 %.

Література

1. Савельева, О. С. Метод дистанционной структурной диагностики низкочастотной аналоговой сети, частично недоступной мониторингу [Текст] / О. С. Савельева, В. Г. Максимов, Д. А. Пурич // Праці Одеського політехнічного університету. – 2012. – Вип. 2 (39). – С. 208–213.
2. Нестеренко, С. А. Структурная диагностика частично недоступных мониторингу нефтегазовых объектов [Текст]: матер. міжн. наук.-прак. конф. / С. А. Нестеренко, Д. А. Пурич, Ан. А. Становский // Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 181–183.
3. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем [Текст] / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
4. Бондаренко, М. Ф. Теория интеллекта: учебник [Текст] / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко. – Харьков: СМІТ, 2006. – 576 с.
5. Беспроводные сети [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xreferat.com/33/466-1-besprovodnye-seti.html> – 14.08.2015.
6. Понятие и виды беспроводных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://informatika.ru/lectures/ponyatie_i_vidy_besprovodnyh_setei.html – 13.07.2015.
7. Нестеренко, С. А. Оценка состояния сетевых структур с латентными элементами с помощью скрытых марковских моделей [Текст]: міжн. конф. з управління / С. А. Нестеренко, Д. А. Пурич, Ан. А. Становский // Автоматика – 2012. – Київ: НУХТ, 2012. – С. 231.
8. 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.
9. Савельева, О. С. Морфологические модели отказоустойчивости сложных технических систем [Текст] / О. С. Савельева, О. Е. Плачинда, Д. А. Пурич // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – 2011. – Т. 3, № 2 (51). – С. 39–42. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1496/1394>
10. Пурич, Д. А. Экспресс-анализ структурной надежности сложных технических систем с нагруженным резервированием [Текст] / Д. А. Пурич, О. С. Савельева, В. М. Тонконогий // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 8. – С. 272–280.
11. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб: Политехника, 2000. – 248 с.
12. Савельева, О. С. Підвищення надійності систем дистанційного діагностування [Текст] / О. С. Савельева, О. Л. Становський, Д.О. Пуріч // Наукові вісті «Галицька академія». – 2009. – № 15 (1). – С. 58–63.
13. Налева, Г. В. Интеллектуальные методы повышения надежности телеметрической диагностики оборудования [Текст]: зб. наук. пр. / Г. В. Налева, О. С. Савельева, Д. А. Пурич // Теорія і практика процесів. Подрібнення, розділення, змішування і ущільнення. – 2009. – Вип. 14. – С. 95–103.

14. Акимов, С. В. Компьютерные модели для автоматизированного структурно-параметрического синтеза [Текст]: тр. 5-й междунар. конф. / С. В. Акимов // Компьютерное моделирование 2004. Ч. 1. – СПб.: Нестор, 2004. – С. 191–197.
15. Четвериков, Г. Г. Формальное описание логического пространства [Текст] / Г. Г. Четвериков, И. Д. Вечирская // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 781–789.
16. Зінько, Р. В. Морфологічне середовище для дослідження технічних систем: монографія [Текст] / Р. В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 386 с.
17. Ивченко, Б. П. Теоретические основы информационно-статистического анализа сложных систем [Текст] / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко, М. Л. Монастырский. – СПб.: Лань, 1997. – 320 с.
18. Панкратова, Н. Д. Стратегія застосування методу морфологічного аналізу в процесі технологічного передбачення [Текст] / Н. Д. Панкратова, І. О. Савченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ» – 2009. – № 2. – С. 35–44.
19. Зінько, Р. В. Морфологічне середовище для моделювання технічних систем [Текст] / Р. В. Зінько // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2012. – Вип. 38. – С. 61–66.
20. 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. – 328 p. doi: 10.1002/9780470689776
21. Burger, W. Digital Image Processing: An Algorithmic Approach Using Java [Text] / W. Burger, Mark J. Burge. – Springer, 2007. – 565 p.
22. Fisher, R. Dictionary of Computer Vision and Image Processing [Text] / R. Fisher, K. Dawson-Howe, A. Fitzgibbon, C. Robertson, E. Trucco. – John Wiley, 2010.
23. 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. doi: 10.1145/1731047.1731048
24. Малахов, Е. В. Кодирование информации для поиска видеопотоков в хранилищах данных [Текст] / Е. В. Малахов, П. А. Становский // Труды ОНПУ. – 2008. – Вып. 2 (30). – С. 156–159.
25. Становский, П. А. Кодирование и поиск подвижных и неподвижных изображений в хранилищах данных [Текст] / П. А. Становский // Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск «Комп'ютерні системи та мережі». – 2009. – Вип. 72. – С. 231–234.
26. Wolfram Language Artificial Intelligence: The Image Identification Project [Electronic resource]. – Available at: <http://blog.stephenwolfram.com/2015/05/wolfram-language-artificial-intelligence-the-image-identification-project/> – 14.05.2015.
27. Fooprateepsiri, R. A Highly Robust Approach Image Identification based-on Hausdorff-Trace Transform [Text] / R. Fooprateepsiri, W. Kurutach // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. – 2010. – Vol. 4, Issue 1. – P. 26–31. doi: 10.4156/jdcta.vol4.issue1.3
28. Srisuk, S. A General Framework for Image Retrieval using Reinforcement Learning [Text] / S. Srisuk, R. Fooprateepsiri, M. Petrou, S. Waraklang and K. Sunat // The Image and Vision Computing. – 2003. – P. 36–41.
29. Физика визуализации изображений в медицине. Т. 1, 2 [Текст]. – М.: Мир, 1991. – 156 с.
30. Harel, D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems [Text] / D. Harel // Science of Computer Programming. – 1987. – Vol. 8, Issue 3. – P. 231–274. doi: 10.1016/0167-6423(87)90035-9
31. Кузьо, І. В. Застосування графів при дослідженні функціонування транспортних засобів з пружно зчленованими елементами [Текст] / І. В. Кузьо, Р. В. Зінько, І. С. Лозовий // Науковий вісник НЛТУ. – 2010. – Вип. 20.12. – С. 111–116.
32. Черевко, Ю. М. Використання графів структури зв'язків для аналізу механічних систем з пружно зчленованими елементами [Текст] / Ю. М. Черевко, Р. В. Зінько, І. С. Лозовий // Автошляховик України. – 2009. – № 4. – С. 12–15.
33. Зінько, Р. В. Методика використання графів при дослідженні роботи машини з гусеничним рушієм [Текст] / Р. В. Зінько // Науковий вісник НЛТУ. – 2011. – Вип. 21.13. – С. 117–122.