

ОРГАНІЗАЦІЯ МОДУЛІВ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ СИСТЕМ ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ

© Ваврук Є., Грос В., 2010

На основі аналізу механізмів забезпечення відмовостійкості програмних засобів запропоновано шляхи вдосконалення розподілених модулів відновлення. Визначено особливості побудови систем із використанням обраного механізму, запропоновано аналітичні вирази оцінки ефективності механізму розподілених модулів відновлення та досліджено його ефективність.

Ключові слова: система, сигнал, розподілені модулі, відновлення

Ways based on the analysis of mechanisms to ensure reliability of software were suggested to improve the distributed recovery blocks. Construction systems features were detected using the chosen mechanism. Analytical expressions for evaluating the effectiveness were proposed. Effectiveness of the mechanism of the distributed recovery blocks was investigated.

Keywords: system, alarm, distributed modules, recovery

Вступ

Умови експлуатації систем опрацювання сигналів (СОС) вимагають забезпечення відмовостійкої роботи в режимі реального часу. Шляхами побудови відмовостійких систем є введення в їх структуру різних типів надлишковості, розроблення спеціального програмного забезпечення та алгоритмів функціонування, організація взаємозв'язків між елементами системи при виникненні несправностей [1,2]. Це дає змогу виявити відмову, провести діагностування, ізоляцію чи локалізацію та забезпечити відновлення даних. Для цього використовуються механізми відновлення, які забезпечують функціонування системи після виникнення відмови шляхом відтворення результату резервним вузлом.

Огляд літературних джерел

Для виявлення несправностей і відновлення даних у відмовостійких СОС є безліч механізмів та методів. Для забезпечення відмовостійкості програмних засобів у [3–5] запропоновано використовувати:

- модуль відновлення (МВ);
- розподілені модулі відновлення (РМВ);
- консенсусний модуль відновлення (КМВ);
- N-версійне програмування (НВП);
- N-версійне програмування із самоконтролем (НВПС);
- вибірка серед достовірних (ВД).

Оскільки для СОС найважливішими є часові та частково структурні додаткові затрати, доцільно порівнювати вищенаведені механізми та методи саме за цими параметрами (див. таблицю).

Проаналізувавши дані [3], (таблиця) з'ясуємо, що використання механізму розподілених модулів забезпечує незначні додаткові часові затрати порівняно з іншими механізмами, але при цьому вимагає доволі значних структурних затрат.

Принцип відновлення з використанням механізму розподілених модулів полягає у використанні двох типів відновлення (зворотного та прогресивного) і передбачає конкурентне виконання двох аналогічних МВ.

Постановка задачі

Метою досліджень є вдосконалення алгоритму розподілених модулів відновлення, розроблення узагальненого підходу до побудови відмовостійких систем опрацювання даних із використанням цього механізму та аналіз його ефективності.

Вдосконалення алгоритму розподілених модулів відновлення

Алгоритм механізму розподілених модулів відновлення. Структурну схему розподілених механізмів відновлення наведено на рис. 1, де МВ – модулі відновлення; МТВ – модуль тесту відповідності; МК – модуль комутації; В – хибний результат (відмова); Д – достовірний результат.

Додаткові затрати механізмів відновлення при виникненні однієї помилки

Механізм відновлення	Структурні додаткові затрати		Часові додаткові затрати	
	Диверсифікація програмних рівнів		Систематичні	При виникненні відмови
Модуль відновлення	Один варіант і один тест відповідності		Доступ до точки відновлення, виконання тесту відповідності	Виконання одного варіанта і тесту відпов.
Розподілені модулі відновлення	Два варіанти і два тести відповідності			Нехтуються
N-версійне програмування з самокотр.	Виявлення помилок ТВ	Один варіант і два тести відповідності	Упорядкування вхідних даних і синхронізація виконання варіантів, виконання порівняння/голосування	Вибір можливого результату
	Виявлення помилок порівнянням	Три варіанти		
N-версійне програмування	Два варіанти			Нехтуються
Консенсусний модуль відновлення	Два варіанти і один тест відповідності		Упорядкування вхідних даних і синхронізація виконання варіантів, виконання голосування і тесту відповідності	Нехтуються
Вибірка серед достовірних	Два варіанти і один тест відповідності			Нехтуються

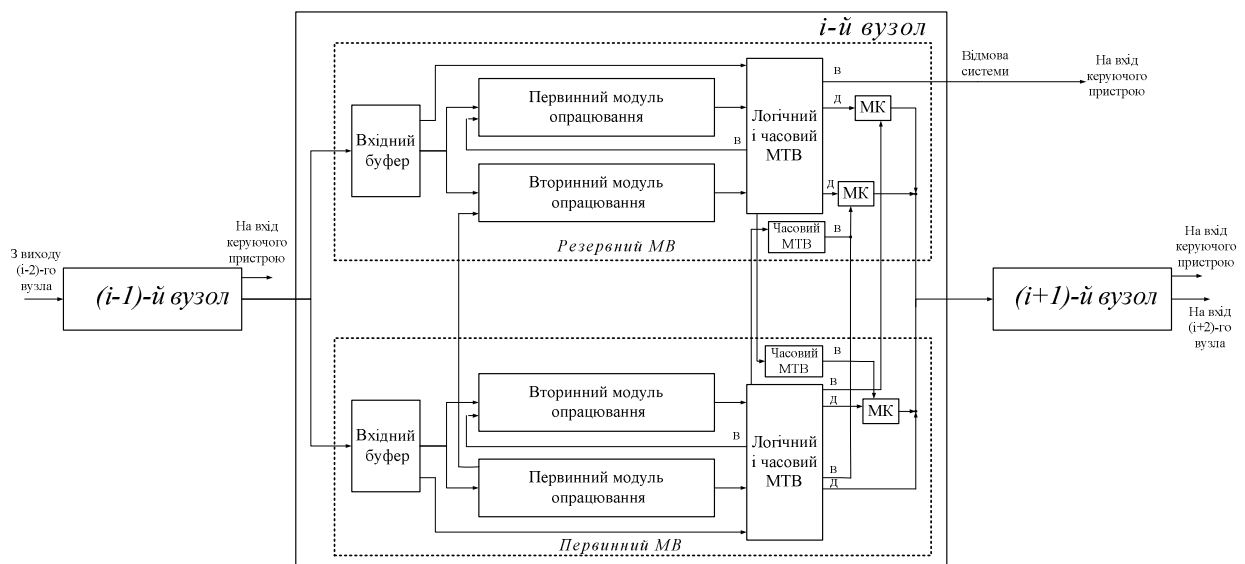


Рис. 1. Структурна схема розподілених модулів відновлення

У схемі РМВ використовується два однакові МВ, кожен з яких складається з: вхідного буфера (використовується для збереження вхідних даних на випадок необхідності їх використання у наступному циклі опрацювання, тобто зворотного відновлення системи), двох модулів

опрацювання (МО) і тестів відповідності. Логічний і часовий МТВ перевіряють тривалість та результат опрацювання відповідного МВ. Часовий МТВ (сторожовий таймер) контролює тривалість опрацювання даних у конкуруючому МВ. Під «конкуруючим» МВ необхідно розуміти інший МВ в парі розподілених модулів відновлення (відносно модуля, що розглядається).

У РМВ необхідно:

- забезпечити мінімальний обмін даними між конкуруючими МВ;
- синхронізувати обчислювальні компоненти при обміні повідомленнями.

Передбачається, що МВ обмінюються інформацією (так звані статус-повідомлення) про:

- момент прийому нових даних на опрацювання;
- результат опрацювання даних (достовірність чи хибність результату);
- момент виведення результатів на наступний вузол опрацювання.

Кожен з МВ може функціонувати в двох режимах роботи: основному та резервному. Але функціонування різних МВ в однакових режимах не допускається.

Режимом функціонування задаються пріоритети взаємодії МВ. Тобто МВ, що працює в основному режимі роботи, не очікує жодних статус-повідомлень від конкуруючого МВ і видає результати опрацювання одразу після їх одержання. Інший МВ, що функціонує в резервному режимі роботи, повинен очікувати одержання статус-повідомлень від іншого МВ і відповідним чином реагувати на них.

Оскільки в РМВ використовуються два однакові МВ і відмінними для них є лише початкові режими роботи, достатньо розглянути організацію роботи типового МВ. Граф-схему механізму функціонування типового МВ наведено на рис. 2, ключовими моментами якої є встановлення режиму функціонування та обмін статус-повідомленнями між конкуруючими МВ.

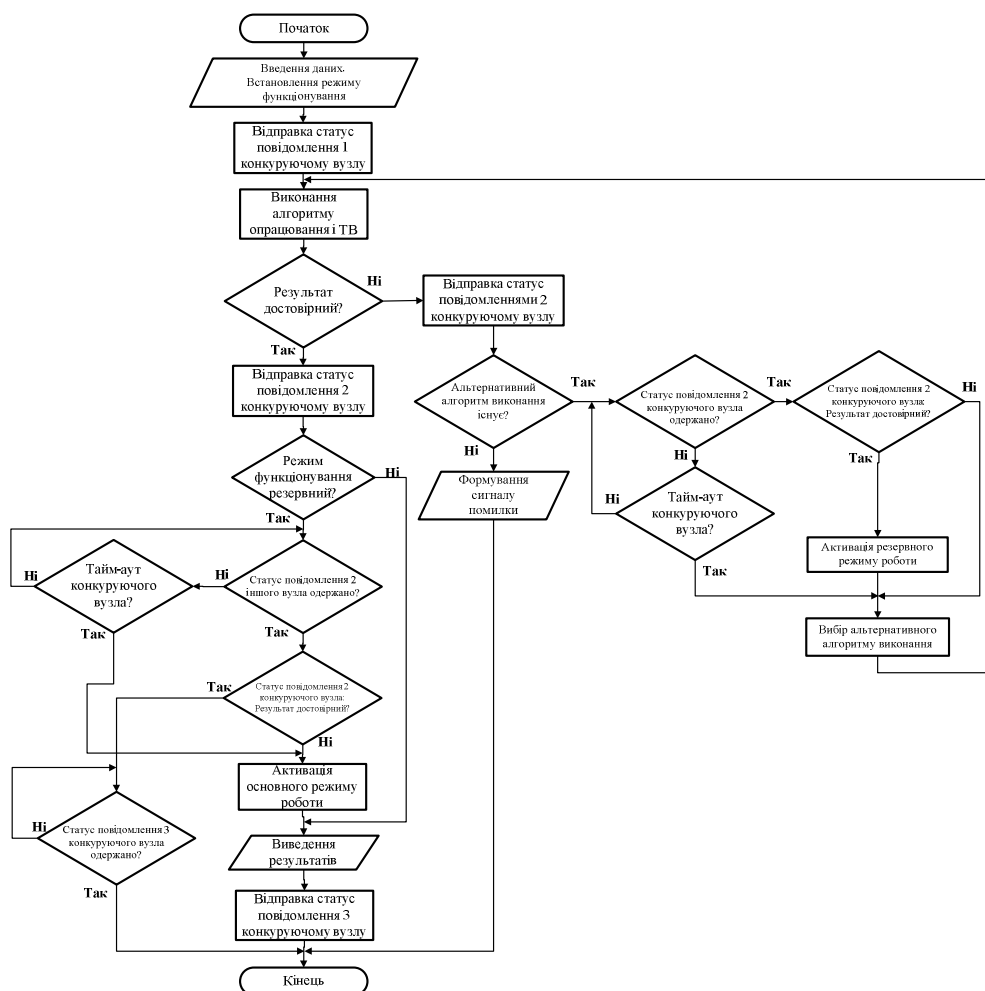


Рис. 2. Граф-схема механізму функціонування типового МВ

Реалізація системи відновлення даних

Розробляючи типову апаратну реалізацію механізму РМВ (див. рис. 1), необхідно врахувати структурну однотипність МВ та особливості їх організації, а саме, необхідність зберігання даних у вхідному буфері МВ до моменту одержання достовірного результату одним із модулів, що дає можливість їх повторного використання при зворотному відновленні. Відмовостійка система відновлення даних повинна складатись з однотипних вузлів, спроектованих на основі механізму РМВ і з'єднаних за конвеєрним принципом, і керуючого пристрою, призначеного для керування роботою вузлів.

Для забезпечення можливості відновлення системи, крім повідомлень про свою несправність, МВ у випадку неодержання перших двох статус-повідомлень від конкуруючого МВ повинен повідомити про відмову останнього керуючий пристрій. Але неодержання статус-повідомлень може також сигналізувати про несправність у каналах обміну, що може призвести до встановлення основного режиму на обох вузлах опрацювання (після виходу ліміту часу, відведеного на опрацювання МВ в основному режимі роботи) із подальшим асинхронним виведенням результатів на наступний вузол опрацювання. В таких ситуаціях рішення про тип відмови приймає керуючий пристрій.

Взаємодія вузлів системи відбувається так: з пристрою керування на вузли опрацювання, які з'єднані за конвеєрним принципом, подаються сигнали керування (початковий скид та ініціалізація, дозвіл на введення вхідних даних, дозвіл на виведення результатів опрацювання); на вхід керуючого пристрою з вузлів опрацювання надходять сигнали станів процесорів (готовність до читання вхідних даних, готовність результатів опрацювання, ознака відмови одного з МВ або вузла загалом). На початку роботи системи керуючий пристрій подає на вузли опрацювання сигнал скиду та початкову ініціалізацію (задається режим роботи МВ) і очікує повідомлення про їх стан (готовність/помилка). Пристрій керування для i -го процесора формує керуючі сигнали залежно від стану $i-1$ -го та $i+1$ -го вузла опрацювання. Наприклад, для видачі дозволу читання вхідних даних для i -го вузла, пристрій керування спочатку повинен одержати від $i-1$ -го вузла повідомлення про готовність результатів.

Інтерфейси взаємодії «МВ – керуючий пристрій» і «МВ – МВ» повинен забезпечувати необхідну швидкодію. Причому, для взаємодії «МВ – керуючий пристрій» доцільно використовувати зовнішні переривання, після встановлення яких передається необхідне повідомлення.

Для забезпечення відмовостійкості системи, у випадку відмови пам'яті для збереження даних у контрольній точці (вхідний буфер), використовують двопортові ОЗП, під'єднані до обох операційних пристроїв опрацювання.

Вимоги і структура МВ

Проаналізувавши структурну схему РМВ та вимоги до реалізації цього механізму, визначено такий склад типового МВ:

1. Сигнальний процесор для виконання алгоритмів опрацювання.
2. Зовнішній ОЗП для зберігання вхідних даних на випадок необхідності зворотного відновлення МВ.
3. Три зовнішні ПЗП для зберігання алгоритмів виконання механізму відновлення, опрацювання даних первинним та конкуруючим МО.

Обмін повідомленнями між компонентами РМВ, зокрема про стан вузлів опрацювання, дасть змогу виключити можливість повного виходу з ладу вузла опрацювання, а організація пам'яті забезпечує можливість проведення заміни ПЗП із алгоритмами виконання опрацювання в «гарячому» режимі.

Дослідження ефективності вдосконаленого механізму розподілених модулів

Одним із критеріїв порівняння механізмів відновлення є ймовірності отримання достовірного результату.

Для визначення ступеня ефективності відновлення РМВ порівняно ймовірності отримання достовірного результату цього механізму із двома базовими (МВ, НВП).

Ймовірність одержання достовірного результату на виході системи з'ясуємо за послідовно-паралельною схемою [6], за умови, що вузли, які відмовили, не замінюються справними. При

обчисленні ефективності механізм відновлення розглядається як з'єднання окремих його елементів (МО, механізму прийняття рішень (МПР), ТВ та ін.).

Існує три способи з'єднання елементів:

1) послідовне з'єднання. Ймовірність безвідмовної роботи (одержання достовірного результату) системи дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи складових елементів:

$$P_c(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t), \quad (1)$$

де $P_c(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи; $P_j(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи j -го елемента; n – кількість елементів у системі.

2) паралельне навантажене з'єднання. Ймовірність відмови системи дорівнює добутку ймовірностей відмов елементів. Функція ненадійності такої системи:

$$q_c(t) = \prod_{j=1}^k q_j(t),$$

де $q_c(t)$ – функція ненадійності системи; $q_j(t)$ – функція ненадійності j -го елемента; k – кількість елементів в системі.

Оскільки, $q_c(t) = 1 - P_c(t)$, то

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - P_j(t)]. \quad (2)$$

У цьому випадку мова йде про навантажене резервування, коли основні і резервні елементи знаходяться в однакових робочих умовах.

3) паралельне ненавантажене з'єднання.

Для механізму НВП ймовірність виходу з лану m вузлів з N становить:

$$P(N, m, q) = \sum_{i=0}^m \left(\frac{N!}{i!(N-i)!} \right) q^i (1-q)^{N-i}, \quad (3)$$

де N – кількість вузлів опрацювання; m – кількість вузлів опрацювання, за якої система продовжує працювати; q – ймовірність виходу з ладу вузла опрацювання.

Для механізму НВП потрібно врахувати і надійність схеми голосування (МПР). Оскільки ця схема під'єднується до вузлів опрацювання послідовно, то для виведення формули для визначення ймовірності отримання достовірного результату, використаємо формули (1) та (3). В результаті отримаємо формулу для визначення ймовірності отримання достовірного результату (4):

$$P_c(t) = R_{mnp} \sum_{i=0}^{N-M} \left(\frac{N!}{i!(N-i)!} \right) (1-R)^i R^{N-i}, \quad (4)$$

де R_{mnp} – надійність МПР; R_i – надійність вузла опрацювання.

Для механізму МВ ймовірність одержання достовірного результату на виході системи становить:

$$P_c = \sum_{i=1}^n \left[\frac{sf}{r} \right]^{i-1} \left[(1-f) - (1-r) \frac{sf}{r} \right] = \frac{1 - \left(\frac{sf}{r} \right)^n}{1 - \frac{sf}{r}} \left[(1-f) - (1-r) \frac{sf}{r} \right], \quad (5)$$

де f – ймовірність відмови вузла опрацювання; r – характеристика чутливості ТВ – умовна ймовірність того, що ТВ проголосить помилку при одержанні хибного результату опрацювання; s – характеристика особливості – умовна ймовірність того, що ТВ проголосить помилку при достовірному результаті опрацювання.

Формули (3)–(5) запозичені в [5]. Для розрахунку ймовірності одержання достовірного результату РМВ умовно розіб'ємо структуру механізмів відновлення на компоненти. Для РМВ ймовірність

безвідмовної роботи можна розрахувати як при паралельному навантаженому з'єднанні двох МВ (з кількістю МО n). Тоді з (2) і (5) одержимо формулу для обчислення безвідмовної роботи РМВ (6):

$$P_c = 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - \frac{1 - \left(\frac{sf}{r}\right)^n}{1 - \frac{sf}{r}} \left[(1-f) - (1-r) \frac{sf}{r} \right] \right). \quad (6)$$

Графіки зміни ймовірностей отримання достовірного результату РМВ порівняно з МВ та НВП залежно від надійності одного варіанта і характеристик механізмів наведені на рис. 3, 4.

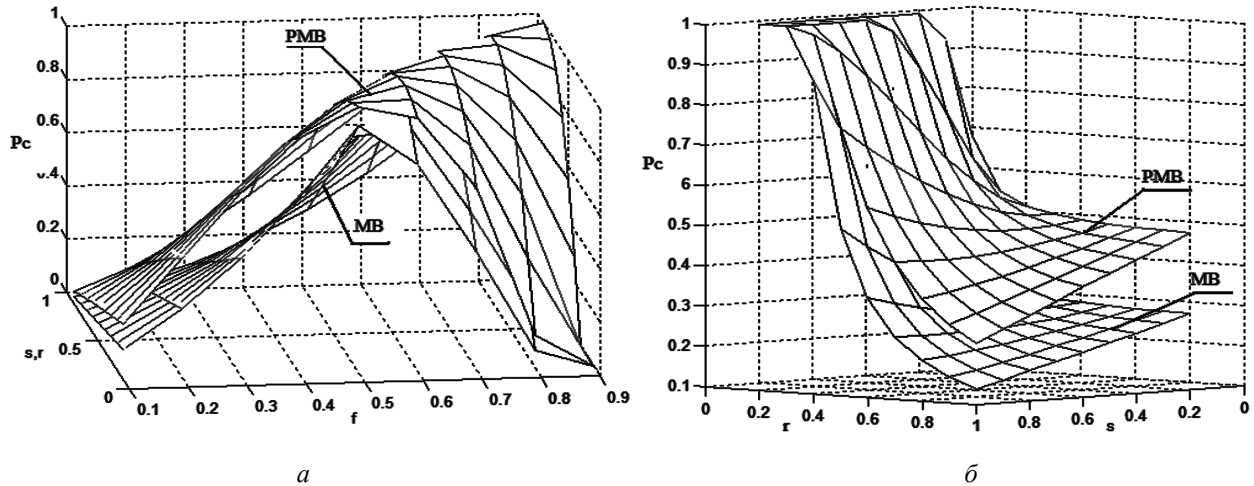


Рис. 3 Графіки залежностей ймовірності отримання достовірного результату механізмів РМВ та МВ від: а – надійності одного варіанта f та характеристик ТВ ($s=r$); б – зміни характеристик ТВ s і r при надійності одного варіанта $f=0.3$

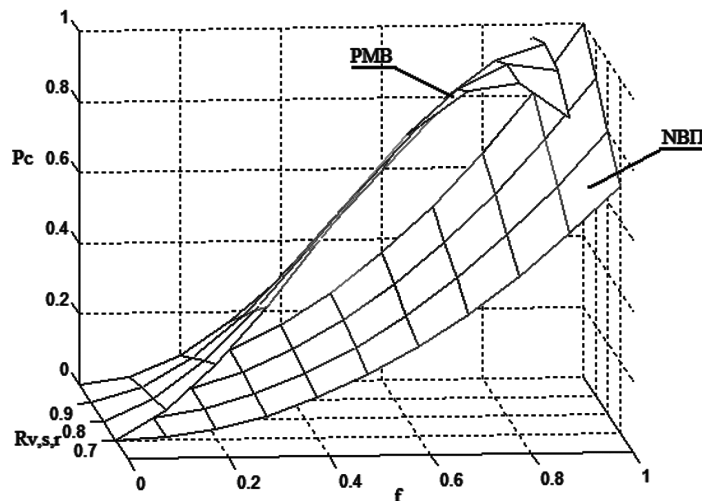


Рис. 4. Графіки залежностей ймовірності отримання достовірного результату механізмів РМВ та НВП від надійності одного варіанта f та характеристик ТВ і МПП ($Rv=s=r$)

З рис. 3а, 3б та рис. 4 видно, що ефективність механізму РМВ вища від МВ в середньому на 50%, а від НВП на 70–80%.

Надійність програмного забезпечення змінюється залежно від надійності версій, характеристик ТВ, надійності схеми голосування і числа версій.

Збільшення характеристики чутливості може бути досягнуто звуженням границь допустимих значень ТВ. Але це одночасно зменшить характеристику особливості і збільшить ймовірність одержання хибно-достовірних результатів. Тому значну увагу необхідно приділити збалансуванню взаємозалежних характеристик чутливості та особливості.

Висновки

В роботі наведено існуючі механізми забезпечення відмовостійкості, вибрано РМВ за критерієм мінімальних додаткових часових затрат, вдосконалено алгоритм функціонування обраного механізму. Також розроблено узагальнений підхід до побудови відмовостійких систем опрацювання даних із використанням даного механізму та проведено порівняльний аналіз ймовірності одержання достовірного результату. Проведені дослідження показали, що ефективність РМВ порівняно з двома базовими механізмами забезпечення відмовостійкості на 50–80% є вищою.

1. Ваврук Є., Грицик І. Організація відмовостійкості обчислень в системах опрацювання сигналів // *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції "Комп'ютерні технології: наука та основи"*. – Луцьк: ЛІРоЛ, 2009. – С. 85–88. 2. Ваврук Є. Організація відмовостійкості в системах опрацювання сигналів // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології"*. – 2006. – № 565. – С. 36–43. 3. Laura L. Pullum, *Software Fault Tolerance Techniques and Implementation*, Artech House, 2001. 4. J.C. Laprie, J. Arlat, C. Beounes and K. Kanoun, "Definition and Analysis of Hardware-and-Software Fault-Tolerant Architectures," *IEEE Computer*, vol. 23, no. 7, pp. 39–51, 1990. 5. Koren I., Krishna C.M. *Fault-tolerant systems*. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco-USA, 2007. – P. 399. 6. <http://www.reliability-theory.ru/topics/t3r1part1.html>.

УДК 007;519.7

Г. Дмитрів, *Р. Камінський

Львівський коледж ДУІКТ,

*ПВНЗ Буковинський університет,
кафедра комп'ютерних систем і технологій

ГРАДУЮВАННЯ РОЗПІЗНАВАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕСТОВИХ ОБ'ЄКТІВ УВАГИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

© Дмитрів Г., Камінський Р., 2010

Наведено технологію побудови шкали розпізнавальної складності зображень об'єктів уваги, які локалізують на зображеннях-тестах. Технологія ґрунтується на перетвореннях Фур'є, є експериментально підтверджена і може використовуватися для тестового контролю систем розпізнавання візуальної інформації.

Ключові слова: градуювання, зображення, складність, перетворення Фур'є.

The article presents the technology of the scale construction of complexity recognition images of target objects that on Localizing Image-tests. This technology is based on Fourier transform, is experimentally verified and can be used to test control systems of recognition of visual information.

Keywords: calibration, image complexity, Fourier transformation.

Вступ

Розпізнавання образів як один із пріоритетних напрямків розвитку систем штучного інтелекту найбільшою мірою проявляється під час розроблення різноманітних засобів і пристроїв розпізнавання зорових образів. Задачі, які підлягають розпізнаванню, охоплюють майже всю гаму предметних областей, а отримана в результаті розпізнавання інформація переважно є основою для прийняття рішень. Цілком природним є те, що системи та засоби розпізнавання мають значний попит, який значно підвищується в результаті рекламування.