

УДК 681.3:004.93

В. П. Кожем'яко, д-р техн. наук, проф.;**В. І. Маліновський**, канд. техн. наук;**Р. М. Новицький**

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАЛЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ПОРІВНЯННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА БАЗІ КVP-ПЕРЕТВОРЕННЯ

Досліджено метод паралельного порівняння зображень на базі KVP-перетворення, а саме проведено комп'ютерне моделювання процесу порівняння в середовищі MATLAB, яке показало високу ефективність запропонованого методу і моделі та дозволило оцінити показники точності, відсоток збігу та вплив шумів на процес порівняння.

Вступ

Дослідження методів і засобів порівняння зображень, спрямовані на підвищення продуктивності, достовірності та розширення функціональних можливостей систем технічного зору око-процесорного типу для обробки і розпізнавання образної інформації, а також розроблення нових методів та алгоритмів паралельного порівняння зображень в режимі реального часу є актуальним завданням для сучасних систем технічного зору і штучного інтелекту [1—3].

Метою дослідження є оцінювання ефективності експериментальних показників та показників ефективності (точності та швидкодії) методів порівняння зображень на базі KVP-перетворення шляхом розробки програмного забезпечення для симуляції паралельних процесів порівняння зображень та оцінки їх реальних показників.

Для дослідження методів порівняння зображень на базі KVP-перетворення необхідно побудувати комп'ютерну модель інформаційної системи порівняння, яка б давала змогу оцінити ефективність цих методів та систем на їх основі. Враховуючи специфіку організації паралельних методів на базі KVP-перетворення, можна зробити апіорний висновок, що традиційні цифрові лінійні комп'ютерні моделі не можуть бути використані для задач прямого моделювання. Так само для безпосереднього моделювання не можуть бути використані й комп'ютерні середовища, оскільки всі вони працюють на послідовних алгоритмах з використанням цифрової форми сигналів, що не може описати систему числення і апарат ЛЧФ. Тому необхідним є застосування прийомів імітаційного моделювання. Імітаційні методи моделювання дозволяють провести симуляцію параметрів і процесів реальних систем паралельного порівняння на базі ЛЧФ на існуючих комп'ютерних інформаційних та апаратних платформах та отримати аналітичні дані для подальшої оцінки ефективності запропонованих методів.

Для проведення експериментальних досліджень методів KVP-перетворення та отримання максимально якісної аналітичної інформації доцільно використовувати пакет прикладних програм комп'ютерного моделювання MathLAB, оскільки запропоновані математичні моделі необхідно дослідити у вигляді аналітичних залежностей у гнучкому програмному середовищі. Існуючі модулі обробки зображень у середовищі MathLAB повною мірою можуть бути використані під час дослідження процесів шляхом імітаційного моделювання з достатньо високою точністю та достовірністю отриманих даних. Тому вони будуть розглядатись як базові в процесі побудови комп'ютерної моделі системи порівняння зображень на базі KVP-перетворення. Звісно, матимуть місце деякі обмеження у дослідженні представлення інформації у формі тривалостей часових інтервалів та застосування апарата перетворення цифрових інформаційних сигналів ЕОМ у логіко-часові функції. Але такі обмеження будуть враховуватись з конкретно визначеною долею імовірності випадкового процесу моделі.

Розроблені програмні модулі в комп'ютерному середовищі та MathLab, що дозволяють проводити моделювання процесу паралельного порівняння зображень на базі модифікованого методу KVP-перетворення та оцінку основних показників, можуть бути корисними під час інженерного проектування і розрахунків апаратних систем порівняння зображень в режимі реального часу.

Програмно-алгоритмічна реалізація методу і моделі порівняння зображень на базі модифікованого методу KVP-перетворення

Яскравість елемента (пікселя) зображення $Hbright(f_{ij})$ дозволяє найточніше провести фізичне перетворення інформаційних параметрів в аналогові рівні електричної напруги і струму в первинному тракті перетворювачів на фотоприймачах. Для такого перетворення може бути використаний перетворювач напруги в часовий інтервал [4].

Основною задачею імітаційної частини комп'ютерної моделі є перетворення значення яскравостей $Hbright(f_{ij})$, $Hbriht(fe_{ij})$, що відповідає елементам f_{ij} , fe_{ij} вхідного F та еталонного Fe зображень у відповідні значення псевдочасових тривалостей інтервалів t'_{ij} , та te'_{ij} ($Hbriht(f_{ij}) \rightarrow t'_{ij}$;), $Hbriht(fe_{ij}) \rightarrow te'_{ij}$) за правилом нормального закону розподілу. На основі сформованих числових значень псевдочасових тривалостей інтервалів t'_{ij} та te'_{ij} формуються їх масиви, що описують вхідне та еталонне зображення вже в контексті представлення логіко-часових функцій. Це відповідає першому етапу попередньої обробки у вдосконаленому методі KVP-перетворення [3].

Використання змінних випадкових величин x дозволяє максимально точно наблизити імітаційну модель порівняння зображень до реального процесу компарації, оскільки передбачає врахування випадкових змін тривалостей апаратними перетворювачами. Процес перетворення яскравості в тривалість імпульсів залежить від температури, параметрів елементів та багатьох інших чинників, що враховує коливання значень тривалостей коефіцієнтом перетворення $k_p(x)$ [3].

Отже, алгоритм комп'ютерної моделі процесу порівняння передбачає такі етапи:

1. На початковому етапі передбачається введення вхідного F та еталонного Fe напівтонових зображень у середовище MATLAB за допомогою влаштованих функцій.

2. Формування масивів псевдочасових тривалостей інтервалів (ПЧТІ) у вигляді простих логіко-часових функцій ЛЧФ (проста ЛЧФ — це функція квантована за рівнем зі значимістю 2 — набуває значення «0» або «1»). Формування відбувається за отриманими цифровими масивами даних вхідному F та еталонному Fe зображень із певним допуском в комп'ютерній та математичній моделях [3]. На цьому етапі необхідне обов'язкове попереднє задання параметрів: $k_p(x)$, K_A , та $p(x)$. Густина розподілу $p(x)$ визначається за заданими значеннями математичного сподівання, дисперсії та межами змін випадкової змінної x . Утворення значень ПЧТІ відбувається за принципом: чим вища яскравість елемента матриці зображення — тим більше значення даних в масивах ПЧТІ.

3. Організація самого процесу порівняння сформованих масивів ПЧТІ та прийняття кінцевого рішення за допомогою модульно-кореляційної функції МКФ.

4. Точність порівняння оцінюється похибкою процесу порівняння ξ і кількістю елементів зображення, для яких значення МКФ = 1. Похибка порівняння ξ визначається за кількістю відповідних елементів масиву, які збіглися або ні, оскільки МКФ — дискретна булева функція і може приймати тільки значення «0» або «1».

Для середовища MATLAB обчислення МКФ може бути виконане з паралелізмом процесу зіставлення масивів ПЧТІ, тобто за одну машинну операцію: $MKF = \neg \uparrow a_{ij} [LGF(f'_{ij}) \oplus LGFe(fe'_{ij})]$, де $a_{ij} [LGF(f'_{ij}) \oplus LGFe(fe'_{ij})]$. — результат операції «сума за модулем 2 над масивами ПЧТІ $LGF(t'_{ij})$ і $LGFe(te'_{ij})$ », \oplus — знак операції «сума за модулем 2»; \neg — знак операції інверсії; \uparrow — символ паралелізму виконання порівняння.

5. Враховуючи удосконалений метод KVP-перетворення, для підвищення точності результату порівняння моделі (відповідне зменшення похибки ξ) необхідним є визначення координат центру мас вхідного та еталонного зображень XC і YC за нормами $\|H_{mn}\|$ їх матриць H_{mn} [5]. Вже після цього, якщо результат порівняння МКФ для цих координат XC і YC є позитивним, то проводиться порівняння для всіх масивів зображень.

Для перевірки ефективності алгоритму порівняння растрових зображень на базі модифікованого KVP-перетворення було створено функцію для середовища MATLAB, яка забезпечує наочне представлення результатів у вигляді графіків. Для створення масивів простих логіко-часових фун-

кцій ЛЧФ зображень, проводилась попередня обробка даних зображень [6]. Оскільки під час побудови масивів ЛЧФ необхідна інформація про яскравість кожного пікселя зображення, необхідно перетворити вхідні кольорові компоненти зображень в градації сірого. У функції перевірки алгоритму цей етап реалізується за допомогою функції *rgb2gray* такою послідовністю команд:

$$\begin{aligned} firstImageGray &= rgb2gray(firstImage); \\ secondImageGray &= rgb2gray(secondImage). \end{aligned}$$

Для врахування такої особливості значення пікселів кожного з вхідних зображень попередньо спотворювались гаусівським шумом за допомогою вбудованої в MATLAB функції *imnoise* з параметрами: тип — *gaussian*, математичне очікування — 0, та змінною дисперсією *disp*, для перевірки ефективності алгоритму за різних ступенів спотворення зображень шумами у вигляді функцій:

$$\begin{aligned} firstImageGrayNoised &= imnoise(firstImageGray, 'gaussian', 0, disp); \\ secondImageGrayNoised &= imnoise(secondImageGray, 'gaussian', 0, disp). \end{aligned}$$

Створення масивів ЛЧФ функцій для порівнюваних зображень виконується за допомогою процесу бінаризації даних зображень та задається такою формулою:

$$LGF(t_{ij}) = \begin{cases} 1, & f_{ij} \geq binLvl; \\ 0, & f_{ij} < binLvl, \end{cases} \quad (1)$$

де f_{ij} — значення пікселів вхідного та еталонних зображень.

Отриманий масив ЛЧФ-функцій має таку ж розмірність, як і вхідне зображення, та набуває значення 1 для тих елементів зображення, яскравість яких вища або дорівнює порогу бінаризації *binLvl*, та 0 — для елементів, яскравість яких менша порога. Це здійснюється за допомогою такої команди в MATLAB:

$$firstImageLGF = (firstImageGrayNoised \geq binarisationLevel),$$

де *firstImageGrayNoised* — зображення в градаціях сірого після накладання шумів, а *binarisationLevel* — поріг бінаризації. На рис. 1 наведено демонстраційне зображення та створений на основі нього масив ЛЧФ функцій для значення порога бінаризації, рівного 60.

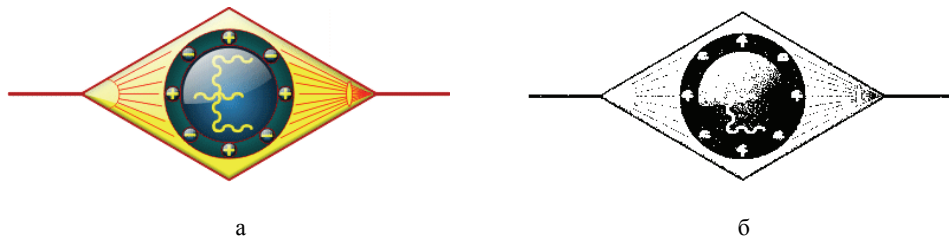


Рис. 1: а — демонстраційне зображення; б — його масив простих ЛЧФ у вигляді зображення

Порівняння масивів сформованих ЛЧФ проводилось на базі модульно-кореляційної функції [3, 4]. Результатом застосування МКФ буде кількість однакових елементів ЛЧФ обох зображень. Реалізацію модульно-кореляційної функції можна здійснити в MATLAB за допомогою циклу *for* та змінної *matchedPixels*, в якій зберігається кількість однакових елементів масивів ЛЧФ функцій зображень:

```
for i = 1:r*c
    if secondImageLGF(i) == firstImageLGF(i),
        matchedPixels = matchedPixels + 1;
    end
end,
```

де *r* — висота зображень; *c* — ширина; *secondImageLGF* та *firstImageLGF* — масиви ЛЧФ функцій зображень.

Маючи такий результат, можна провести розрахунок відсотка подібності двох зображень (ви-значення похибки) як $R = \frac{Matched}{Total} \cdot 100\%$, де *Matched* — кількість однакових елементів обох зображень; *Total* — загальна кількість елементів еталонного зображення.

Для застосування функції в середовищі Matlab необхідно попередньо завантажити в середовище порівнювані зображення за допомогою функції *imread*. Послідовність команд, яку необхідно ввести для застосування функції моделювання алгоритму порівняння растрових зображень на базі модифікованого KVP перетворення для вищенаведених зображень, порога бінаризації 120 та дисперсії шуму 0,01 має такий вигляд:

```
>> firstImage = imread('logoFull.bmp');
>> secondImage = imread('logoPart.bmp');
>> LGF(firstImage, secondImage, 120, 0,01).
```

У разі введення послідовності вищенаведених команд середовище Matlab створить змінну *ans* та присвоїть їй значення відсотка збігу обох зображень. Застосування середовища Matlab для перевірки ефективності алгоритму дає можливість провести комплексне дослідження ефективності алгоритму залежно від дисперсії шуму, порога бінаризації та розміру зображень.

Дослідження ефективності методів і моделей порівняння зображень на базі модифікованого методу KVP-перетворення шляхом комп'ютерного моделювання

Для визначення залежності відсотка збігу зображень від їх розміру вищенаведений алгоритм послідовно застосовувався до серії однакових зображень розміром від 100×100 пікселів до 2000×2000 з кроком розміру в 100 пікселів. Оскільки ефективність алгоритму не залежить від значень пікселів зображення, графічні файли для цього дослідження автоматично генерувались таким чином:

```
firstGeneratedImage = randi([0, 255], newSize, newSize, 'uint8');
secondGeneratedImage = firstGeneratedImage,
```

де *newSize* — розмір нового зображення.

Для цього дослідження значення дисперсії шуму зазначалось рівним 0,01, а поріг бінаризації — 60. На рис. 2 показані графіки, отримані після чотирьох серій дослідів.

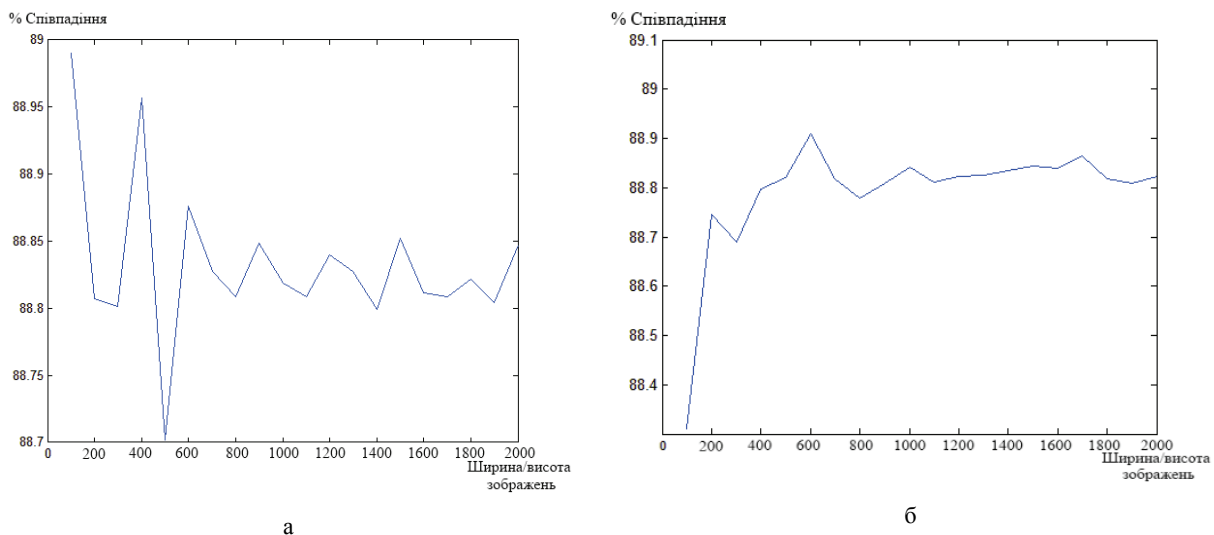


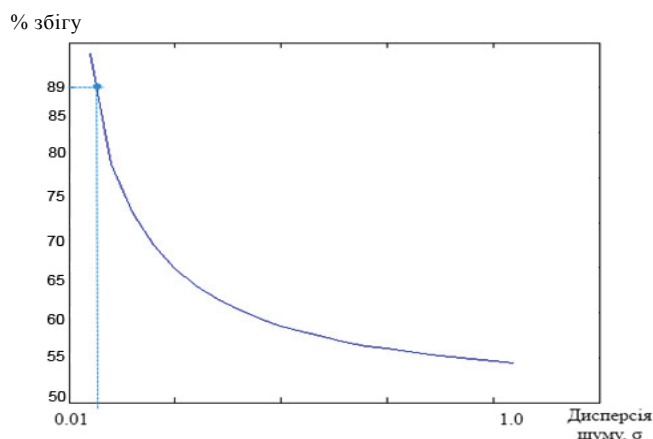
Рис. 2. Графіки залежності відсотку збігу зображень від їх розміру

Наведені графіки наочно показують слабку залежність відсотка збігу зображень від їх розміру. Всі відмінності між однаковими зображеннями створюються лише шумами, тому наступним етапом дослідження ефективності алгоритму є аналіз залежності відсотка збігу зображень від дисперсії шумів. Для цього однакові зображення розмірами 2000×2000 пікселів, одне з яких зображено на

рис. 3а, послідовно порівнювалися при дисперсії шумів від 0,01 до 1,01 з кроком 0,05 та порога бінаризації 60. Отриманий графік залежності відсотка збігу зображень від рівня шумів показаний на рис. 3б.



а



б

Рис. 3. Експериментальне зображення для визначення залежності відсотка збігу елементів від дисперсії шуму: а — використане вхідне зображення; б — результатний графік залежності

Наведений вище графік (див. рис. 3б) дозволяє стверджувати про експонентну залежність відсотка збігу зображень від дисперсії шуму. Для дисперсії 0,01 однакові зображення збігаються на 89 %, а для 1,0 — на 55 %, тому для побудови систем порівняння на базі модифікованого методу KVP-перетворення важливо максимально зменшити рівень шумів на етапі отримання вхідних зображень. Якщо припустити, що у реальних систем дисперсія шуму буде складати 0,05 [7], то можна очікувати результат порівняння однакових зображень у 85 %.

Використовуючи функцію MatLab — «*gpuArray*», перевірено швидкість алгоритму на відеокартах з підтримкою технології *Nvidia CUDA* (nVidia GeForce GTX460), оскільки найближчим комп'ютерним аналогом оптико-електронних паралельних систем є саме відеопроецесори з високим ступенем паралелізму обчислень. Дані часу порівняння показали, що метод KVP-перетворення для порівняння зображень проявляє пріоритетні переваги з ростом числа паралельних каналів, тобто зі збільшенням паралелізму обчислень.

Для точної оцінки виграшу за швидкістю і точністю процесу порівняння на базі модифікованого методу KVP-перетворення в ідеальному випадку необхідна реалізація апаратного дослідного макету або експериментального зразка паралельного оптоелектронного пристрою для порівняння образів. Це б дало змогу повною мірою оцінити реальний виграш, на відміну від моделювання паралельних алгоритмів на послідовних обчислювальних платформах персональних ЕОМ. В ідеальному випадку в апаратній моделі оптоелектронного пристрою порівняння зображень має бути також реалізований запропонований алгоритм компаративності з утворенням реальних логіко-ключових ідентифікаторів зображень, а не їх імітаційних аналогів — псевдо-часових тривалостей інтервалів, це дозволить оцінити переваги реального виграшу за швидкістю за рахунок глибшого паралелізму процесу порівняння.

Висновок

Проведене комп'ютерне моделювання паралельного порівняння зображень на базі модифікованого методу KVP-перетворення в середовищі MATLAB показало переваги методу перед традиційними алгоритмами, зокрема слабку залежність відсотка збігу зображень від їх розміру та експонентну залежність відсотка збігу зображень від дисперсії шуму. Тобто у системах порівняння на базі модифікованого методу KVP-перетворення всі відмінності між однаковими зображеннями створюються лише шумами, тому будуючи такі системи порівняння, важливо максимально зменшити рівень шумів на етапі отримання вхідних зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожем'яко В. П. Аналіз паралельних методів та засобів оптико-електронної обробки та порівняння зображень / В. П. Кожем'яко, Р. М. Новицький, К. В. Кожем'яко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2012. — № 1 — С. 40—50.
2. Кожемяко В. П. Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа / С. В. Свечников, В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко. — К. : Наукова думка, 1987. — 256 с.
3. Кожем'яко В. П. Методи і математичні моделі паралельного порівняння зображень логіко-часового типу на оптико-електронній елементній базі для задач реального часу / В. П. Кожем'яко, Р. М. Новицький, В. І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — Вінниця. — 2011. — № 2(22) — С. 5—24.
4. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень : моногр. / [В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна]. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. — 126 с. — ISBN 978-966-641-219-8 .
5. Кожемяко В. П. Архітектура геоінформаційно-енергетичної системи управління потоками транспорту з використанням розпізнавання образів за ознаками / В. П. Кожем'яко, Р. М. Новицький, В. І. Маліновський // Штучний інтелект. — 2011. — № 1. — С. 56—63.
6. Оптоэлектронные логико-временные информационно-вычислительные среды / [В. П. Кожемяко и др.]. — Тбилиси : Ганатлеба, 1984. — 357 с.
7. Оптоэлектронные параллельные вычислительные устройства / [В. П. Кожемяко, О. Г. Натрошвили, Л. И. Тимченко и др.] — Тбилиси: изд-во Тбилисского университета, 1985. — 248 с.

Рекомендована кафедрою лазерної та оптоелектронної техніки

Стаття надійшла до редакції 11.06.2013
Рекомендована до друку 19.11.2013

Кожем'яко Володимир Прокопович — завідувач кафедри, **Маліновський Вадим Ігоревич** — асистент, **Новицький Руслан Михайлович** — здобувач.

Кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця