

Stable computational dynamics for a class of circuits with $O(N)$ interconnections capable of KWTa and rank extractions // IEEE Trans. on Cir. and Syst. I: Fundamental Theory and Applications 52 (2005) 949–959.

10. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. A Winner-take-all circuit based on second order Hopfield neural networks as building blocks, in: Proc. Int. Joint Conf. on Neural Networks, Vol. II (2003) 891–896.

11. Tymoshchuk P. and Kaszkurewicz E. A winner-take-all circuit using neural networks as building blocks, Neurocomputing 64 (2005) 375–396.

12. Urahama K. and Nagao T. K-Winner-take-all circuit with $O(n)$ complexity // IEEE Trans. on Neural Networks 6 (1995) 776–778.

13. Wolfe W.J., Mathis D., Anderson C., Rothman J., Gotler M., Bragy G., Walker R., Duane G. and Alaghband G. K-Winner networks // IEEE Trans. on Neural Networks 2 (1991) 310–315.

14. Yang J. F. and Chen C.M. A Dynamic K-Winners-Take-All Neural Network, IEEE Trans. on Syst., Man and Cyb. 27 (1997) 523–526.

15. Yen J.C., Guo J.I. and Chen H.-C. A new k-Winners-take all neural network and its array architecture, IEEE Trans. on Neural Networks 9 (1998) 901–912.

УДК 004.032.26

Т.В. Торубка, В.Я. Пуйда, І.І. Пищак
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронно-обчислювальних машин

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ КОРЕЛЯЦІЇ ДЛЯ СТЕЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ЗА ЇХ ВІЗУАЛЬНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ

© Торубка Т.В., Пуйда В.Я., Пищак І.І., 2010

Проведено моделювання модифікованого алгоритму виявлення об’єкта за його зображенням на основі розробленого програмного пакета та досліджено особливості його функціонування під час виявлення літальних апаратів на зображеннях сцени.

The modeling of object detection algorithm is modified by its image on the basis of the developed software package and the peculiarities of its functioning in an aircraft on the scene images.

Вступ. Базовими компонентами систем технічного зору є засоби виявлення та ідентифікації об’єктів. Відомо багато методів для розв’язання вказаної задачі. До найпоширеніших можна зарахувати згортку та її реалізацію за допомогою ШПФ, сегментацію, системи на основі штучних нейронних мереж тощо. У задачах виявлення об’єктів однією з головних складових, що впливають як на якість роботи системи виявлення, так і на швидкість обробки, є спосіб подання даних, що надходять безпосередньо на вхід систем, які здійснюють локалізацію та класифікацію, відповідно зображення будуть представлені у системі кольору ув.

Аналіз відомих рішень. До існуючих способів виявлення об’єктів на зображеннях сцени належать способи, що ґрунтуються на фільтрації в частотній чи просторовій областях, відніманні зображень, контурному опрацюванні зображень (фільтр Canny) тощо. Проте вони не дають змоги отримати зображення сцени, придатні для коректного автоматичного виявлення літальних апаратів зі складною структурою. Тому вирішення проблеми цифрового опрацювання зображень для ефективного виявлення літальних апаратів сьогодні є актуальним.

Постановка задачі. Дослідити та проаналізувати алгоритм виявлення об'єктів за їх візуальними зображеннями на основі розробленого програмного пакета.

Основна частина. Існує кілька способів виявлення об'єктів на зображенні. Методи кореляції та швидший його аналог на основі ШПФ ґрунтуються на згортці. Спосіб виконання згортки полягає у тому, що проводяться обчислення значення кожного відліку в результуючому сигналі як зважена сума деякої кількості сусідніх відліків вхідного сигналу. Коефіцієнти цієї суми збігаються з імпульсною характеристикою лінійної системи. У цьому випадку формула для одновимірного випадку виглядає так:

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n-k]h[k]. \quad (1)$$

Отже, будь-яка лінійна система здійснює згортку вхідного сигналу зі своєю імпульсною характеристикою. Це записується так: $y[n]=x[n]*h[n]$. Функція $h[n]$ називається ядром згортки (kernel), або імпульсною характеристикою лінійної системи.

Реальні сигнали, які опрацьовуються комп'ютерними системами, обмежені в часі. Розглянемо сигнал кінцевої тривалості, коли його «згортають» з ядром згортки. Нехай сигнал $x[n]$ відмінний від нуля тільки на відрізку від 0 до $N-1$ включно («має довжину N »). Нехай ядро згортки $h[n]$ відмінне від нуля на відрізку від $-m_1$ до m_2 включно, що складається з M точок ($M = m_1 + m_2 + 1$). Тоді, під час підстановки цих сигналів у формулу згортки, ми отримаємо сигнал $y[n]$, який відмінний від нуля на відрізку від $-m_1$ до $N-1+m_2$ включно. Отже, довжина результуючого сигналу дорівнює $N+M-1$, тобто сумі довжин вхідного сигналу і ядра згортки мінус один. Отже, операція згортки розширює сигнал на $M-1$ точку, де M – довжина ядра згортки.

Метод кореляції виконує завдання виявлення одного сигналу в іншому, його також можна застосувати для зображень. Нехай відеокамера видає зображення сцени f , на якому присутні кілька об'єктів і ми хочемо виявити в ньому певний об'єкт g . Для пошуку цього об'єкта обчислюють скалярний добуток зображень x і $g[k]$ для різних k , де k – відповідно можливі положення об'єкта на зображенні. Тобто ми ніби намагаємося «докласти» шуканий об'єкт в усіх можливих положеннях до зображення з відеокамери і знайти їх «ступінь подібності» (скалярний добуток) для кожного положення. У такий спосіб на виході ми отримаємо зображення y , що показує, наскільки зображення з відеокамери x в позиції k подібне до шуканого об'єкта g . Сенс отриманого зображення y або $\text{corr}(x, g)$ у тому, що його величини для кожного пікселя показують, наскільки зображення наколо цього пікселя у позиції k подібне до шуканого об'єкта. Якщо у вхідному зображенні присутній тільки шум, то й значення кореляції будуть шумом невеликої амплітуди. Але як тільки в шумі вхідного зображення з'явиться форма, подібна до шуканого об'єкта, тоді значення кореляції у цій точці стане високим. Формула обчислення кореляції для одновимірних даних:

$$\text{corr}(x, g)[k] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[k-n]g[k]; \quad (2)$$

$$\text{або } \text{corr}(x, g)[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[n+k]g[k]. \quad (3)$$

Для двовимірних сигналів формула кореляції матиме такий вигляд:

$$\text{corr}(x, g_N)[n] = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[m+kN]g[n+m]. \quad (4)$$

Проаналізувавши формули 1 і 3, дійдемо висновку, що формула обчислення кореляції дуже подібна на формулу обчислення згортки. Дійсно, якщо у формулі кореляції зробити заміну сумування, то отримаємо еквівалентну формулу кореляції. Ця формула збігається з формулою згортки, якщо припустити, що ядро згортки $h[k] = g[-k]$. Отже, кореляцію можна обчислювати як згортку, поклавши як ядро згортки шукане зображення, розгорнуте від нульової точки.

Інколи кореляцію називають крос-кореляцією, або перехресною кореляцією (cross-correlation). Термін «автокореляції» (autocorrelation) застосовується, коли є кореляція сигналу з самим собою. Сенс цієї операції полягає у тому, щоб знайти найімовірніші періоди повторення форми вихідного сигналу.

Швидка згортка – один з найважливіших процесів в цифровій обробці сигналів. Тому важливо уміти ефективно її обчислювати. Пряме обчислення згортки вимагає $N * M$ множень, де N – довжина вхідного сигналу, а M – довжина ядра згортки. Часто довжина ядра згортки сягає кількох тисяч точок, і кількість множень стає величезною. Однак існує алгоритм, який уможливує обчислити згортку значно швидше. Цей алгоритм ґрунтується на такій важливій теоремі: «згортка в часовій еквівалентна множенню в частотній області; множення в часовій області еквівалентне згортці в частотній області».

Це означає, що для виконання згортки двох сигналів можна перевести їх в частотну область, помножити їх спектри та перевести їх назад у часову область. Така операція виглядає громіздко. Однак з появою алгоритмів ШПФ, що дають змогу швидко обчислювати перетворення Фур'є, обчислення згортки через частотну область стало широко використовуватися. За значних довжин ядра згортки такий підхід уможливує в сотні разів скоротити час обчислення згортки. Коротко опишемо алгоритм швидкого обчислення згортки. Спочатку вхідне зображення $N(x_1, y_1)$ і ядро згортки $M(x_2, y_2)$ доповнюються нулями до розширення (x_3, y_3) (x_3, y_3 – ступені двійки), причому так, що $x_3 \geq x_1 - 1$ і $y_3 \geq y_1 - 1$, та розширення ядра згортки або еталону відповідно менше за розширення вхідного зображення. Потім обчислюють ШПФ цих двох зображень. Потім спектри сигналів необхідно перемножити як комплексні числа, тобто утворити новий спектр з коефіцієнтів $fftR_re[i]$ і $fftR_im[i]$, за формулою:

$$\begin{aligned} kkk &= 1/\sqrt{(fftI_re[i]*fftI_re[i]+fftI_im[i]*fftI_im[i])*(fftT_re[i]*fftT_re[i]+ \\ &\quad fftT_im[i]*fftT_im[i])}); \\ buf &= kkk*(fftI_re[i] * fftT_re[i] - fftI_im[i] * fftT_im[i]); \\ fftR_im[i] &= kkk*(fftI_re[i] * fftT_im[i] + fftI_im[i] * fftT_re[i]); \\ fftR_re[i] &= buf; \end{aligned} \quad (5)$$

де $i=0, \dots, x_3*y_3$.

Коефіцієнт kkk використовується для нормалізації отриманого спектра та для підвищення рівня виявлення еталону на вхідному зображенні. Потім з отриманого спектра за допомогою зворотного ШПФ обчислюється вихідне зображення. Це зображення містить результат згортки вхідного зображення та еталону, розширення якого доповнено нулями до ступеня двійки. Часто виникає потреба обчислити згортку дуже великого зображення, яке не вміститься у пам'яті комп'ютера, з порівняно коротким ядром згортки. У таких випадках застосовується так звана секційна згортка. Суть її полягає у тому, що зображення розбивається на коротші частини і кожна з цих частин згортається з ядром окремо. Потім отримані частини об'єднуються для отримання остаточного результату. Для об'єднання отримані частини достатньо розмістити одну за одною з накладенням. У місцях перекриття необхідно виконати підсумовування. Зазвичай для прискорення обчислень розмір секції вхідного зображення вибирається одного порядку з довжиною згортки. Відзначимо, що оскільки кореляцію можна обчислювати за допомогою згортки, то розглянутий алгоритм підходить і для швидкого обчислення кореляції.

Результати. Для моделювання роботи алгоритмів був розроблений програмний пакет, який реалізує три функції: відкриває вхідне зображення і еталон та проводить пошук еталона на зображенні методом модифікованої кореляції за допомогою ШПФ. Параметр T показує час (603 мс) виконання алгоритму пошуку еталону на зображенні. Пошук еталону – це виконання алгоритму кореляції зображення, тобто пошук найподібніших зон на зображенні до еталону. Порівнянно з середовищем MATLAB розроблений програмний пакет проводить кореляцію зображення в 4,3 рази швидше, що свідчить про ефективну реалізацію алгоритму.

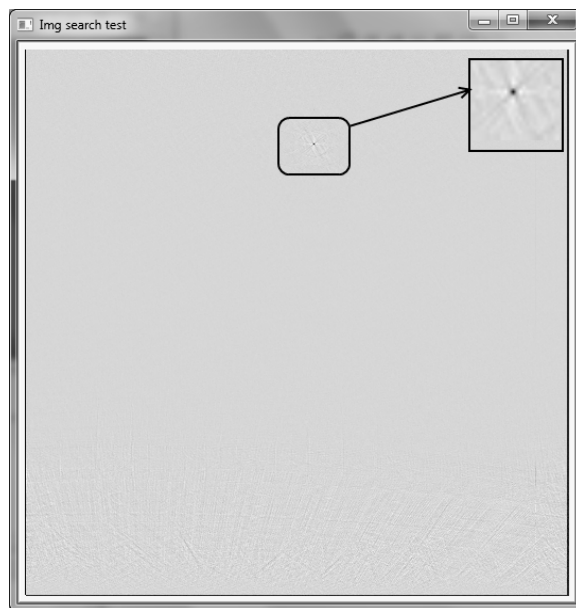
Програмний пакет має такі переваги:

- можливість знаходження кількох еталонів на вхідному зображенні;
- використання ШПФ значно зменшує часові затрати на виконання кореляції.

Реалізація алгоритму модифікованої кореляції на основі розробленого програмного пакета потребує $(3*((x3*y3)*8)+(x1*y1)+(x2*y2))$ МБ пам'яті для обчислень, де $(x3*y3)$ – розмір вихідного зображення, $(x1*y1)$ – розмір вхідного зображення та $(x2*y2)$ – розмір еталону. Складність реалізації алгоритму полягає в оптимізації його для обробки зображення з мінімальними затратами часу, оскільки від збільшення розміру зображення час обробки збільшується. Проведено моделювання роботи алгоритму кореляції на зображеннях літальних апаратів. Результати показано на рис 1, а, г, ж – вхідне зображення, на рис. 1, б, е, к – отримане зображення, на рис 1, б, д, з – еталон.



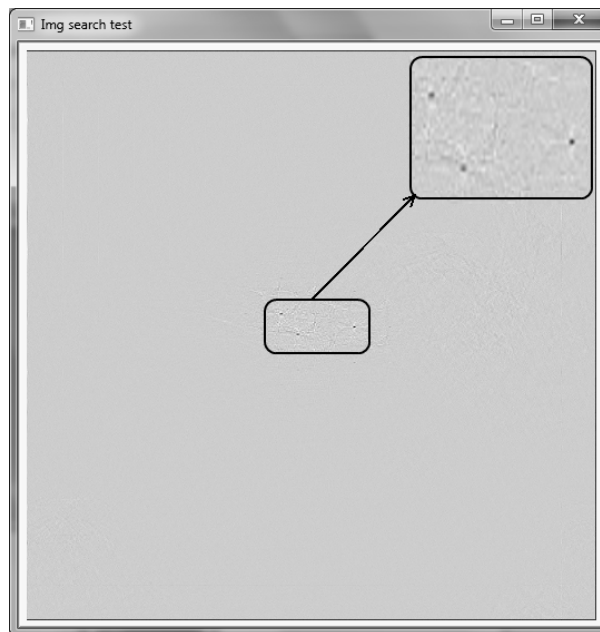
а



б



в



г

Рис. 1. Вхідне зображення (а, в); вихідне зображення (б, г)

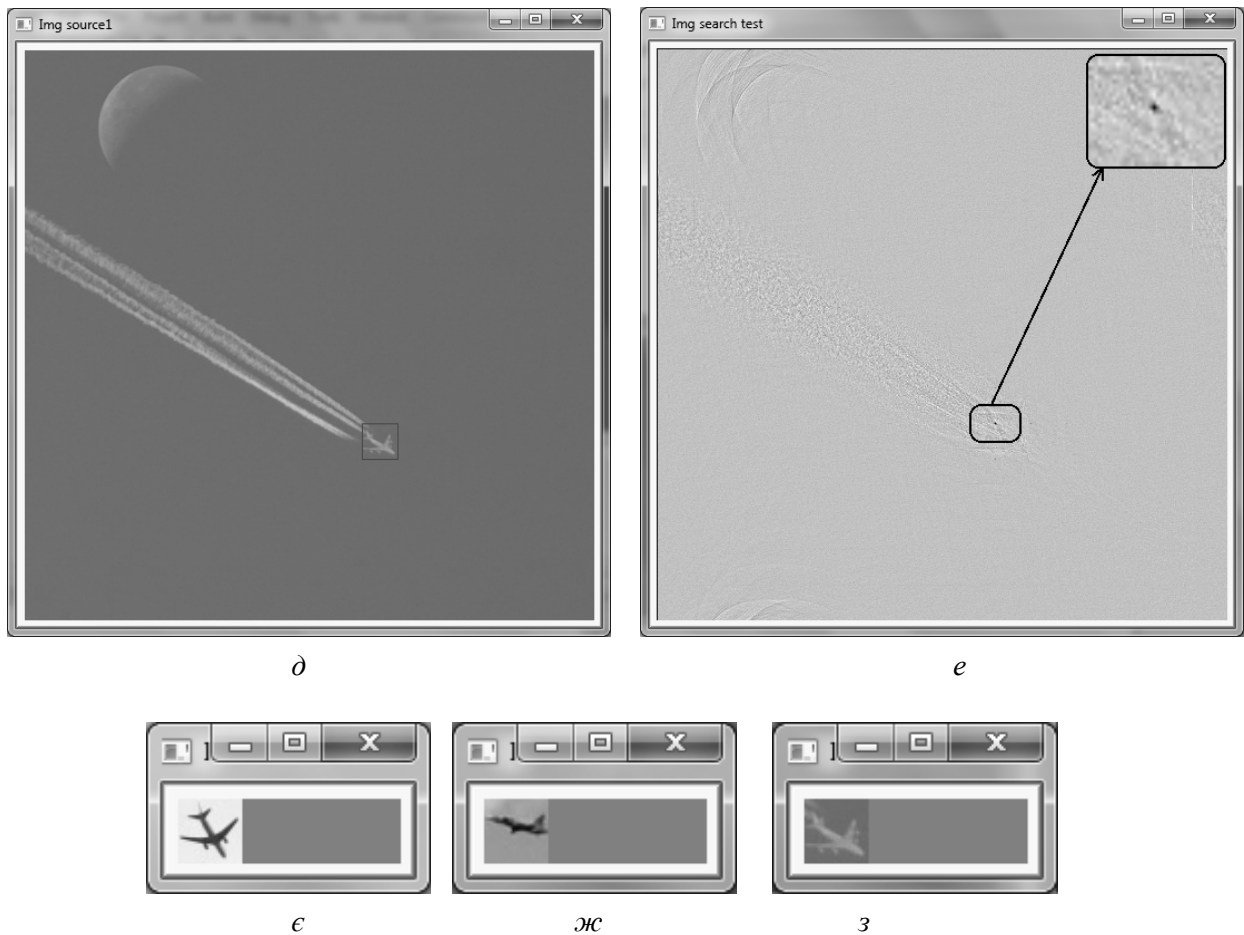


Рис. 1. (Продовження). Вхідне зображення (д); вихідне зображення (е); е, ж, з – еталонні зображення

Висновки. У роботі наведено результати функціонування розробленого програмного пакета для моделювання модифікованого алгоритму виявлення на основі згортки та ШПФ об'єктів літальних апаратів за їх зображеннями з використанням еталонного зображення об'єкта. Цей пакет можна застосовувати під час проектування спеціалізованих комп'ютерних систем технічного зору, систем відеоспостереження тощо.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В. *Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности*. – 2005.
3. Хуанг Т.С. *Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: преобразования и медианные фильтры*. – М.: Радио и связь, 1984. – 318 с.
4. Сойфер В.А. *Компьютерная обработка изображений*.
5. Роджерс Д., Адамс Дж. *Математические основы машинной графики*. – 2001. –
6. Шикин Е.В., Боресков А.В. *Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения*. – 1995.
7. Аммерал Л. *Принципы программирования в машинной графике*. – 1992.
8. Лукин А. *Введение в цифровую обработку сигналов (математические основы)*. – 2007. – 54 с.