

УДК 004.93'1

СПЕКТРАЛЬНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ШАБЛОННОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ І ПОШУКУ ОБ'ЄКТІВ

В. Парубочий, Р. Шувар

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна
eddragonwolf@ukr.net, shuwar@electronics.lnu.edu.ua*

Пошук об'єктів і їхнє розпізнавання є одними з найбільш поширених задач цифрової обробки зображень. У статті розглянуто спектральний підхід до реалізації шаблонної сегментації та пошуку об'єктів на основі двовимірного дискретного перетворення Фур'є. Досліджено його переваги та недоліки у порівнянні з класичними методами просторої шаблонної сегментації, оцінено швидкість та точність розпізнавання запропонованих методів. Окрім цього, розглянуто вплив просторових та текстурних модифікацій зображення на якість розпізнавання та пошуку об'єктів. На основі отриманих результатів зроблено висновки про доцільність використання спектрального підходу при реалізації шаблонної сегментації, а також запропоновано ряд підходів для оптимізації і покращення точності розпізнавання об'єктів на основі розглянутих методів.

Ключові слова: сегментація, спектр, дискретне двовимірне перетворення Фур'є, шаблонне порівняння, розпізнавання об'єктів, пошук об'єктів.

Сегментація зображення є одним з найпростіших, проте значною мірою високоефективних алгоритмів розпізнавання об'єктів на зображеннях. Хоча основною задачею сегментації є розбиття зображення на фрагменти, а не пошук об'єктів, у більшості задач різні об'єкти, зазвичай, відрізняються як текстурними, так і просторовими характеристиками, тому можуть бути достатньо ефективно виявлені таким методом. У зв'язку з цим існує значна кількість методів сегментації, зокрема [1-3] та ін., які використовують різноманітні підходи для реалізації процесу сегментації.

Проте, задача сегментації, зазвичай, потребує повного розбиття зображення на сегменти, що є дещо надлишковим для розпізнавання об'єктів, особливо у випадках, коли об'єктом розпізнавання є лише один клас об'єктів, а не усі об'єкти на зображенні. У таких випадках безпосередній пошук об'єктів може бути значно більш ефективним і точним, ніж сегментація.

Іншим частковим випадком сегментації є задача виділення об'єктів змінної форми, що володіють певними текстурними характеристиками. Найяскравішими прикладами таких об'єктів є природні об'єкти на зображеннях дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), такі як ліс, ріки, озера, дороги, поля тощо.

Так як, у більшості таких випадків можливо задати шаблон, який би описував шуканий об'єкт чи його текстурну характеристику, задачу сегментації можна вирішити за допомогою шаблонної сегментації зображення. Шаблонну сегментацію (англ. *template segmentation*), або шаблонне порівняння (англ. *template matching*) [4] можна вважати

частковим випадком сегментації, який застосовує критерій подібності для знаходження об'єктів, що відповідають певним текстурним характеристикам. Одним з найбільш відомих методів, що використовує принцип шаблонного порівняння, є метод Віоли-Джонса [5] для розпізнавання облич в реальному часі. Проте на відміну від простих методів шаблонного порівняння, метод Віоли-Джонса вимагає додаткового процесу навчання і використовує бінарні шаблони, а не текстурні дані в оригінальному вигляді.

У випадку загального підходу до просторового шаблонного порівняння, цільове зображення розбивається на блоки, розмір яких дорівнює розміру шаблонного зображення. Кожен з цих блоків порівнюється з шаблонним зображенням і визначається коефіцієнт подібності. Цей коефіцієнт присвоюють центральному пікселю блоку цільового зображення. Коефіцієнт подібності, зазвичай, оцінюють за допомогою квадратичної різниці або крос-кореляції [6]. В результаті утворюється зображення, що відображає зміну коефіцієнта подібності, яке можна використовувати для подальшого аналізу. У випадку, якщо ставиться задача пошуку одного об'єкта на зображенні, то аналіз зводять до пошуку мінімального чи максимального значення коефіцієнта подібності в залежності від того, яка метрика використовувалась для його обчислення. У випадку сегментації зображення, результатом аналізу є маска, що відокремлює фрагменти зображення, коефіцієнт яких менший чи більший за деякий поріг, що задається індивідуального для кожного шаблонного зображення. В подальшому ця маска може бути використана для відокремлення інформативних елементів на зображенні від іншої інформації на ньому.

Попри простоту просторового шаблонного порівняння, він є достатньо ефективним і може з достатньою точністю виділяти як окремі об'єкти, так і їх скупчення. Проте підхід просторового шаблонного порівняння має ряд недоліків. В першу чергу, це повільність методу. Так як необхідно порівняти шаблон з кожним блоком зображення, складність методу залежить безпосередньо від кількості і розмірів блоку, а сам розмір блоку, зазвичай, визначається розміром шаблонного зображення, проте він може змінюватися лише в певних межах. Це пов'язано з тим, що надто маленькі шаблонні зображення будуть містити недостатньо інформації для ефективного виявлення об'єктів, в той час як надто великий шаблон за рахунок надлишковості інформації навпаки буде дуже чутливий до зміни текстурних характеристик блоку зображення. Кількість блоків, в свою чергу, залежить від розміру цільового зображення. Так як, зазвичай, зображення розбивається на блоки з кроком в один піксель, то загальну кількість блоків, які необхідно порівняти можна оцінити як $(W - w)(H - h)$, де (W, H) – розміри цільового зображення, а (w, h) – розміри шаблонного зображення. Як наслідок, при обробці великих зображень, таких як супутникові знімки, виділення об'єктів методом просторової шаблонної сегментації буде вкрай повільним, а його оптимізація можлива лише за рахунок використання паралельних методів обчислень, ефективність яких безпосередньо залежить від апаратних можливостей обчислювальної системи. Іншим недоліком просторового шаблонного порівняння є низька ефективність методу при просторових і текстурних модифікаціях зображення. Так як в більшості прикладних задач розташування і положення в просторі об'єкта є невідомими, як і якість самого зображення, використання просторової шаблонної сегментації стає можливим в дуже обмеженому діапазоні задач, де є інформація про ці модифікації. В іншому випадку, безпосередньо перед розпізнаванням об'єктів необхідно виконувати попередню обробку зображення. І якщо текстурні модифікації з достатньою ефективно можуть бути виправлені шляхом накладання різноманітних фі-

льтрів, то виправлення просторових модифікацій потребує більш складніших методів, які зазвичай вимагають деякої інформації про розташування об'єктів, що і є задачею, яку вирішує порогова просторова сегментація. Виправлення просторових модифікацій без попередньої інформації про розташування об'єктів може бути здійснено шляхом прямого перебору декількох варіантів шаблонів, кожен з яких може бути деякою модифікацією початкового шаблонного зображення. Проте такий підхід є обмежений, оскільки можливість врахування всіх можливих положень може бути досягнута лише при вирішенні дуже вузького завдання розпізнавання об'єктів. Крім того, збільшення кількості шаблонів на пряму впливає на швидкодію алгоритму.

Іншим шляхом подолання подолання просторових і текстурних модифікацій зображення є використання перетворень інваріантних до цих модифікацій. Одним з таких типів перетворень є перетворення Фур'є.

У роботі розглянуто спектральний підхід до реалізації шаблонної сегментації і пошуку об'єктів. Основною його відмінністю від класичного просторового підходу до шаблонної сегментації є порівняння шаблонного і цільового зображень не в просторовій області, а в частотній. Для цього, для шаблонного зображення і кожного блоку цільового зображення за допомогою дискретного двовимірного Фур'є-перетворення обчислюється Фур'є-спектр, який використовуються для обчислення коефіцієнта подібності. Основною складністю такого підходу є правильний вибір порогового значення, так як діапазон значень гармонік Фур'є-спектра є необмежений, на відміну від просторових значень пікселів зображення.

Для тестування розроблених методів порогової шаблонної сегментації та пошуку об'єктів на основі спектрального підходу були використані супутникові знімки дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), для яких було здійснено виділення основних елементів ландшафту, таких як ліс, водойми, дороги у випадку сегментації, та окремих об'єктів, таких як будівлі, мости, озера, поодинокі дерева у випадку пошуку об'єктів. Для спектральної шаблонної сегментації було використано дискретне двовимірне Фур'є-перетворення. А у якості методу для порівняння було обрано класичний метод просторової порогової сегментації, який реалізовується за допомогою безпосереднього по піксельного порівняння шаблонного зображення і блоків цільового зображення. В якості основних критеріїв при порівнянні розроблених методів і класичних просторових методів шаблонного порівняння обчислювалась швидкодія і точність виділення та пошуку елементів. Для оцінки впливу просторових і текстурних модифікацій було здійснено повороти шаблонного зображення на 45, 90 і 180 градусів, а також ряд текстурних модифікацій, таких як зміна яскравості, додавання шуму до зображення тощо. Для кожного тесту був створений набір з трьох зображень (Рис. 1-3): 1) Оригінальне зображення; 2) Шаблонне зображення заданого розміру; 3) Зображення-маска, що містить шукану область ландшафту чи цільовий об'єкт. Зображення-маска створювалось вручну оператором на основі оригінального зображення, при цьому у випадку задачі виділення інформативних елементів, таких як ліс, відкидалися поодинокі об'єкти, так як вони були використані в якості цільових об'єктів для пошуку окремих об'єктів на зображеннях.

В результаті роботи алгоритму для кожного тестового зображення було отримано маску, яка порівнювалась з вхідною маскою цільового зображення (Рис. 3). Отримана внаслідок порівняння маска (Рис. 4) містить виділення цільової і нецільової області зображення (зелена і чорна області відповідно), а також помилково виділену нецільову

область (червона область на масці). При цьому область на границі зображення, враховувалась як невиділена, так як не враховувалась можливість виходу шаблонного зображення за межі цільового зображення. Окрім цього, на основі порівняння вхідної і обчисленої масок зображення обчислювалась точність виділення області на зображенні. Для цього визначалась кількість пікселів, що співпадають на обох масках. Нормалізація отриманих значень була здійснена за допомогою їхнього ділення на загальну кількість пікселів на зображенні. Таким чином, точність виділення зростає при збільшенні нормованого значення, а 100% точність досягається при значенні 1.0. Результати наведені в таблицях не містять максимального значення, так як при оцінці не враховувалось неможливість виділення об'єктів на границі зображення.



Рис. 1. Оригінальне зображення.

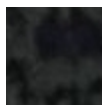


Рис. 2. Шаблонне зображення.

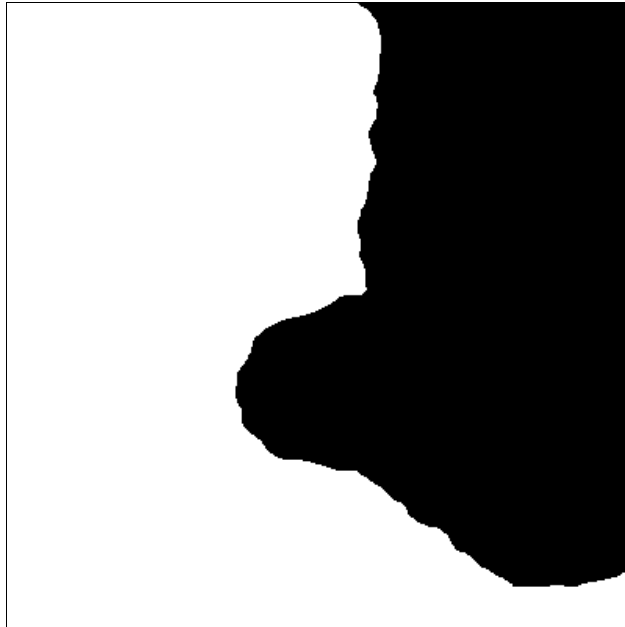


Рис. 3. Зображення-маска: (біле) — цільова область, (чорне) — нецільова область.

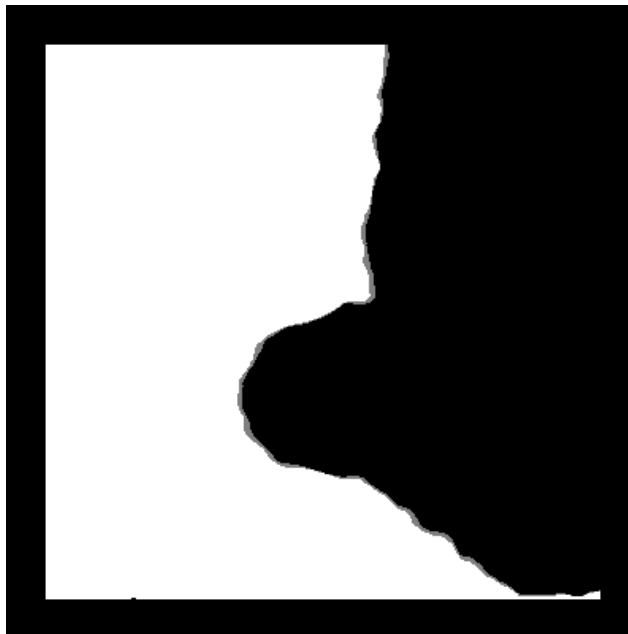


Рис. 4. Результат сегментації: (біле) — виділена цільова область, (чорне) — виділена нецільова область, (сіре) — помилково виділена нецільова область.

Результати наведені в табл. 1 показують, що спектральна шаблонна сегментація значною мірою краще справляється з просторовими модифікаціями, ніж просторова шаблонна сегментація. Окрім цього, отримані результати показують що спектральна шаблонна сегментація є інваріантною до дзеркального перетворення. Тим не менше, обидва методи значною мірою чутливі до зміни яскравості зображення. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що збільшення чи зменшення яскравості значною мірою впливає як на просторові, так і на спектральні властивості зображення. Тим не менше, підбором порогу є можливість досягти оптимального значення точності при зменшенні яскравості зображення, проте покращення результатів розпізнавання після збільшення яскравості досягнути простою зміною порогового значення не вдається і для цього необхідно використовувати додаткові методи, такі як методи вирівнювання яскравості на зображенні.

Таблиця 1.

Точність сегментації зображення при різних модифікаціях шаблонного зображення.

Модифікація шаблонного зображення	Просторова шаблонна сегментація	Спектральна шаблонна сегментація
Без модифікації	0.797475	0.840181
Поворот на 45 градусів	0.793837	0.839269
Поворот на 90 градусів	0.788206	0.840181
Поворот на 180 градусів	0.792675	0.839269
Збільшення яскравості	0.297556	0.159475
Зменшення яскравості	0.419925	0.418963
Зашумлення	0.82855	0.815412

Цікавим результатом з практичної точки зору є слабка чутливість методів до спотворення шумом. У випадку спектральної шаблонної сегментації спостерігається незначне зменшення точності, що може бути подолане зокрема фільтрацією високочастотних компонент Фур'є-спектрів шаблону і блоків цільового зображення. А у випадку просторової сегментації зашумлення дало змогу навіть підвищити рівень розпізнавання. Причиною цього може бути деяка надлишковість просторових шаблонів, що використовуються при сегментуванні та пошуку об'єктів. Це дає змогу припустити, що використання рандомізації при реалізації просторового сегментування може позитивно впливати на результати розпізнавання.

Іншим важливим критерієм при порівнянні методів є їхня швидкодія. Хоча метод шаблонного порівняння на основі спектрального підходу дає змогу отримати кращі результати, особливо при просторових модифікаціях зображення, він потребує додаткових перетворень шаблонного зображення і блоків цільового зображення. Тому у випадках, коли швидкодія є критичною, цей метод може програвати класичній просторовій шаблонній сегментації. В таблиці 2 наведено результати оцінки швидкодії обох методів. Цілком очевидно, що метод просторової сегментації значною мірою більш швидкий, ніж метод спектрального сегментування. Як наслідок, можна стверджувати, що метод спект-

рального шаблонного сегментування може бути менш ефективним у випадках систем, що працюють в умовах реального часу і потребує додаткових модифікацій, таких як розпаралелювання процесу обчислень, або підбір іншим типів перетворень, наприклад, вейвлет-перетворення чи перетворення Мелліна.

Останнім критерієм порівняння методів сегментування є визначення впливу зміни розміру шаблонного зображення на точність розпізнавання (Див. табл. 3). Зокрема, можна зробити висновок, що для просторового сегментування більш оптимальним є менший розмір шаблону (25x25 пікселів у наведеному випадку), тоді як спектральний метод краще працює при більших розмірах (50x50 пікселів). Хоча ці результати дають змогу зробити ряд висновків, їх не можна вважати абсолютними, так як оптимальний розмір шаблонного зображення залежить безпосередньо від просторових та текстурних характеристик об'єктів, що розпізнаються, і можуть відрізнятися в кожному конкретному випадку.

Таблиця 2.

Відносна швидкодія (*) алгоритмів шаблонної сегментації при різному розмірі шаблонного зображення.

Розмір шаблонного зображення	Просторова шаблонна сегментація	Спектральна шаблонна сегментація
25	0.019	0.102
50	0.062	0.394
75	0.119	0.666
100	0.189	1.000

(*) Так як швидкодія алгоритмів залежить не лише від розміру шаблонного зображення, а також від розміру цільового зображення та потужності обчислювальної системи, для більш зручного порівняння у таблиці наведено нормалізований час відносно максимального часу виконання алгоритму при тому ж розмірі цільового зображення. В якості максимального часу у цьому випадку було обрано час виконання спектральної сегментації при розмірі шаблонна 100x100 пікселів.

Таблиця 3.

Точність сегментації зображення при різних розмірах шаблонного зображення.

Розмір шаблонного зображення	Просторова шаблонна сегментація	Спектральна шаблонна сегментація
25	0.845031	0.747406
50	0.797475	0.840181
75	0.731406	0.711969
100	0.67425	0.528462

Окрім оцінки оптимального розміру шаблонного зображення, результати наведені в таблиці 3, дають змогу зробити висновок, що спектральна сегментація значною мірою

більш чутлива до зміни розміру шаблонного зображення, так як точність методу значною мірою зменшується при збільшенні шаблонного зображення. Враховуючи значне зменшення швидкодії спектральної сегментації при збільшенні розміру шаблонного зображення, можна зробити висновок, що використання спектральної сегментації та пошуку об'єктів потребує ретельного вибору розмірів шаблонного зображення. У випадку просторової сегментації спостерігається значно менша чутливість до розміру шаблонного зображення, але також значно краща точність при меншому розмірі шаблонного зображення. В поєднанні з результатами отриманими при зашумленні шаблонного зображення, можна зробити висновок, що просторові шаблони володіють деякою надлишковістю і можуть бути оптимізовані як підбором оптимального розміру шаблонного зображення, так і більш складними методами, зокрема рандомізацією. Ці припущення будуть перевірені у майбутніх роботах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Leo Grady*. Random Walks for Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1768–1783, Vol. 28, No. 11, 2006.
2. *Leo Grady and Eric L. Schwartz*. Isoperimetric Graph Partitioning for Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 469–475, Vol. 28, No. 3, 2006.
3. *Manisha Bhagwat, R. K. Krishna & Vivek Pise*. GSimplified Watershed Transformation. International Journal of Computer Science & Communication, Vol. 1, No. 1, January-June 2010, pp. 175–177.
4. *R. Brunelli*. Template Matching Techniques in Computer Vision: Theory and Practice, Wiley, ISBN 978-0-470-51706-2, 2009.
5. *Paul Viola and Michael J. Jones*. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. IEEE CVPR, 2001.
6. *Bracewell R*. Pentagram Notation for Cross Correlation. The Fourier Transform and Its Applications. New York: McGraw-Hill, pp. 46 and 243, 1965.

Стаття: надійшла до редакції 06.10.2017,
доопрацьована 23.10.2017,
прийнята до друку 24.10.2017.

SPECTRAL APPROACH FOR THE TEMPLATE SEGMENTATION AND OBJECT SEARCH

V. Parubochyi, R. Shuwar

*Ivan Franko National University of Lviv,
50 Drahomanov St., Lviv, Ukraine, 79005
eddragonwolf@ukr.net, shuwar@electronics.lnu.edu.ua*

The objects search and recognition are one of the most common tasks of digital image processing. Since they require high costs of computing, they are the slowest and most resource-consuming parts in a large number of image processing and recognition systems. It creates the need for simple and effective image recognition methods. Unfortunately, the most of the simple methods are also less effective. On the other hand, not all systems require extremely high accuracy and they can use more simple methods with the same success as complex ones.

The article deals with the spectral approach to the implementation of template segmentation and the object search based on a two-dimensional discrete Fourier transform. The spectral template segmentation is a simple modification of the spatial template segmentation which uses Fourier spectrums of the template image and blocks of the analyzed image in the same way as the template image and blocks of the analyzed image are used in the spatial template segmentation. The implemented methods of the spectral template segmentation and object search were compared with the original methods of the spatial template segmentation and object search. On the basis of this comparison, the advantages and disadvantages of the proposed methods were investigated; the speed and accuracy of recognition and search of objects were estimated. Also, the influence of image spatial and texture modifications on the quality of the recognition and object search was considered. For spatial modifications of the image the image rotation at 45, 90 and 180 degrees was considered, and for texture modifications of the image the noise was added, the brightness was increased and decreased.

As a result, conclusions about the possibility of using the proposed methods in practical systems were drawn. Also, a number of approaches to optimize and improve the accuracy of the object recognition based on these methods were proposed.

Key words: segmentation, spectrum, discrete two-dimensional Fourier transform, DFT, template matching, object recognition, object search.