

АЛГОРИТМ КОНТУРНОЇ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ІЄРАРХІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА БАЗІ МЕТОДУ КАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ

В. М. Крилов, Т. П. Кумар

Одеський національний політехнічний університет

Анотація. Для контурної сегментації ієрархічних об'єктів пропонується використовувати вейвлет-перетворення для отримання послідовності контурних препаратів об'єкта з регульованим рівнем деталізації. В якості базового методу обрано метод Канні. В ньому підкреслююче перетворення замінюється вейвлет-перетворенням.

Розроблений алгоритм дозволив отримувати контурний препарат із врахуванням ієрархічної структури об'єктів і збільшив завадостійкість за малих значень відношення сигнал/шум.

Ключові слова: системи розпізнавання образів, ієрархічна структура об'єктів, оперативність розпізнавання, регульована деталізація об'єктів, обробка зображень, розпізнавання облич.

Вступ

В автоматизованих системах обробки зображень та розпізнавання образів пред'являються високі вимоги до оперативності обробки інформації. Ці характеристики багато в чому визначаються процедурою контурної сегментації зображення, яка дозволяє зменшити обсяг оброблюваних даних, а отже й підвищити оперативність.

Значна частина об'єктів розпізнавання має ієрархічну структуру, тобто складається з ієрархії «об'єкт - деталь об'єкта» і т.д. Існуючі методи контурної сегментації ієрархічну структуру об'єкта не враховують, що призводить до зниження оперативності роботи системи розпізнавання образів.

В даній роботі для контурної сегментації ієрархічних об'єктів пропонується використовувати методи вейвлет-перетворення, які дозволяють отримати послідовність контурних препаратів об'єкта з регульованим рівнем деталізації. Для подальшої обробки використовуються лише обрані за прагматичним принципом рівні. В якості базового алгоритму для контурної сегментації було обрано метод Канні, оскільки він має високу завадостійкість і полегшує процедуру простежування контуру. В ньому пропонується замінити підкреслююче перетворення вейвлет-перетворенням.

Таким чином, актуальною є тема роботи: розробка алгоритмічного забезпечення для контурної сегментації зображень.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для підвищення завадостійкості контурної сегментації зображень зазвичай використовується морфологічна обробка. Тому дуже часто етап сегментації реалізується за допомогою метода Канні, який складається з наступних етапів [1]:

- Згладжування зображення за допомогою гауссівського фільтра з метою зменшення адитивних флуктуаційних перешкод;

- Оцінка градієнта як квадратного кореня з суми квадратів похідних за двома ортогональними напрямками з метою підкреслення перепадів інтенсивності зображення;

- Подавлення немаксимумів, яке полягає в тому, що величина стрибка інтенсивності в кожній точці контуру покладається рівною нулю, якщо вона не перевищує величину стрибка інтенсивності в двох сусідніх точках у напрямку градієнта зображення;

- Морфологічна обробка контуру зображення, при якій задаються два пороги на значення інтенсивності зображення, і до точок, значення інтенсивності в яких перевищує верхній поріг, приєднуються тільки сусідні з ними точки, значення інтенсивності в яких перевищує нижній поріг.

В роботі [2] також використовується вейвлет-перетворення для контурної сегментації зображень, але з метою виділення об'єктів заданого геометричного розміру, а не для врахування їхньої ієрархічної структури, процес якого буде описано далі.

2. Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Перевагою метода Канні є використання дилатації, тобто морфологічної операції нарощування точок контуру [1]. Використання її в поєднанні з подавленням немаксимальних стрибків інтенсивності зображення покращує завадостійкість методу контурної сегментації, а також підвищує візуальну якість контурного препарату (визначає контури товщиною в один піксель).

Незважаючи на переваги, попереднє згладжування зображення і підкреслення перепадів інтенсивності зображення шляхом оцінки градієнта зображення негативно впливають на результат роботи метода Канні. Згладжування значень інтенсивності зображення підвищує завадостійкість будь-якого методу контурної сегментації за високих і середніх значень відносини сигнал/завада вхідного зображення. Тому можна застосовувати підкреслення перепадів інтенсивності зображення за допомогою вейвлет-перетворення, що зберігає завадостійкість методів контурної сегментації зображень зі згладжуванням, але менш залежить від значень відносини сигнал/завада [2].

Алгоритми методів на основі вейвлет-перетворення, на відміну від класичного метода Канні, забезпечують також регульовану деталізацію об'єктів зображення [2], що підвищує оперативність подальшої роботи із сегментованим зображенням в системі розпізнавання образів у випадку ієрархічної структури об'єктів. Під регульованою деталізацією розуміється залежність локальних екстремумів інтенсивності зображення не тільки від висоти перепаду, але і від геометричних розмірів об'єкта на зображенні.

Таким чином, пропонується алгоритм для контурної сегментації зображень на базі метода Канні з використанням вейвлет-перетворення, що підвищує завадостійкість виділення контурів за малих значень відносини сигнал/шум вхідного зображення і забезпечує регульовану деталізацію об'єктів зображення для врахування їх ієрархічної структури.

3. Мета статті

Метою даної роботи є розробка алгоритмічного забезпечення для контурної сегментації зображень на базі метода Канні з використанням вейвлет-аналізу для обробки зображень об'єктів ієрархічної структури з метою підвищення якості сегментації та оперативності подальшої роботи із контурним препаратом в системі розпізнавання образів.

3. Виклад основного матеріалу дослідження

Термін "вейвлет" (wavelet) в перекладі означає "маленька (коротка) хвиля". Вейвлети - це узагальнена назва сімейств математичних функцій певної форми, які є локальними у часі і за частотою, і в яких всі функції виходять з однієї базової за допомогою її зрушень і розтягувань по осі часу (простору).

Вейвлет-перетворення одновимірного сигналу полягає в його розкладанні за базисом, сконструйованим з володіючою певними властивостями функції (вейвлета) за допомогою масштабних змін і переносів [3].

Кожна з функцій цього базису характеризує як певну просторову (часову) частоту, так і її локалізацію в фізичному просторі (часі). Таким чином, вейвлет-перетворення забезпечує двовимірну розгортку досліджуваного одновимірного сигналу, при цьому частота і координата розглядаються як незалежні змінні. В результаті з'являється можливість аналізувати властивості сигналу одночасно в фізичному (час, координата) і в частотному просторах [3].

Загалом, вейвлет-перетворення може бути виражене такою формулою:

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \Psi_{(a,b)}^*(x) dx,$$

де $\Psi(x) = u(x) + iv(x)$ - деяка комплексна функція, $i^2 = -1$, $u(x)$, $v(x)$ - дійсні функції, * - символ комплексної спряженості функції, тобто

$$\Psi(x) = u(x) - iv(x)$$

$$\Psi_{(a,b)}^*(x) = \left| a^{-\frac{1}{2}} \right| \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right),$$

де $a, b \in R$.

Як видно, вейвлет-перетворення насправді є нескінченною безліччю різних перетворень в залежності від оціночної функції, використаної для його розрахунку.

В рамках контурної сегментації необхідно сказати про важливу перевагу вейвлет-перетворень, яка полягає в тому, що вони дозволяють отримувати послідовність контурних препаратів об'єкта з регульованим рівнем деталізації, під яким розуміється залежність локальних екстремумів інтенсивності зображення як від висоти перепаду, так і від геометричних розмірів об'єкта на зображенні.

В якості вейвлет-перетворення, яке буде використано в алгоритмі для контурної сегментації, було обрано одне з найвідоміших та найпростіших у реалізації вейвлет-перетворення – перетворення за допомогою вейвлета Хаара, який представляється вектором з рівною кількістю значень -1 та 1.

Материнська вейвлет-функція з нульовим значенням інтеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(x) dx = 0,$$

яка визначає деталі сигналу, задається наступним чином [3]:

$$\Psi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < \frac{1}{2}, \\ -1, & \frac{1}{2} \leq x < 1, \\ 0, & x < 0, x \geq 1. \end{cases}$$

Обробка зображення вейвлетом Хаара полягає у проведенні лінійної згортки зображення з вейвлетом. Виходячи з того, що такий підхід усереднює зображення в апертурі обробки (ступінь усереднення залежить від розміру фільтра), тобто зменшує вплив адитивних флуктуаційних перешкод, то використання вейвлет-перетворення Хаара замінює собою одночасно два перших етапи методу Канні: згладжування зображення за допомогою гауссівського фільтра та оцінку градієнта за допомогою похідних за двома ортогональними напрямками.

Таким чином, вдосконалений алгоритм методу Канні складається з наступних етапів:

- Виконання для кожного рядка вхідного зображення вейвлет-перетворення (в результаті отримуємо зображення $I_x(x, y)$, де x - номер рядка, y - номер стовпця, такого ж розміру, як вхідне зображення);

- Обчислення значень інтенсивності перепаду $R(x, y)$ вхідного зображення за формулою

$$R(x, y) = \sqrt{(I_x(x, y))^2};$$

- Виконання морфологічної обробки отриманого результату згідно з методом Канні. Отримуємо зображення із вертикальними контурами;

- Виконання для кожного стовпця вхідного зображення вейвлет-перетворення (в результаті отримуємо зображення $I_y(x, y)$ такого ж розміру, як вхідне);

- Обчислення значень інтенсивності перепаду $R(x, y)$ вхідного зображення за формулою

$$R(x, y) = \sqrt{(I_y(x, y))^2};$$

- Виконання морфологічної обробки отриманого результату згідно з методом Канні. Отримуємо зображення із горизонтальними контурами;

- Знаходження суми отриманих контурів (горизонтальних і вертикальних) за логічною схемою «або».

При цьому морфологічна обробка згідно з методом Канні містить в собі такі етапи:

- Подавлення немаксимумів, тобто знаходження локальних максимумів вздовж напрямку градієнта зображення;

- Якщо знайдений локальний максимум перевищує нижній поріг, він записується у створений масив слабких контурів;

- Якщо знайдений локальний максимум перевищує верхній поріг, він записується у створений масив сильних контурів;

- Виконання операції гістерезису: до сильних контурів приєднуються тільки сусідні з ними слабкі контури.

Однією з найголовніших переваг запропонованого алгоритму контурної сегментації є здатність регулювання рівня деталізації об'єктів на зображенні та, як наслідок, враховувати їхню ієрархічну структуру. Це досягається наступним чином. Спочатку задається довжина носія для вейвлета така, щоб вона була більшою за довжину кожного з об'єктів, які мають бути проігноровані в процесі отримання контурного препарату. Виконуються етапи запропонованого алгоритму. В результаті отримуємо контур лише великого об'єкта, наприклад, форми голови в системі розпізнавання облич. Якщо після цього системі для розпізнавання необхідно отримати контурний препарат внутрішніх, менших деталей (наприклад, очей або носа), проводиться простежування отриманого контуру і відносно зображення, обмеженого простеженим контуром, за умови задання довжини носія, яка не перевищує довжину шуканого внутрішнього об'єкта, знову проводяться етапи запропонованого алгоритму. В результаті отримуємо контур шуканого об'єкта.

Експериментальним шляхом було зроблено оцінку якості виділення контурів запропонованим алгоритмом контурної сегментації зображення та порівняно із оцінкою для класичного методу Канні, яка представлена в [2].

В процесі оцінки завадостійкості враховувались три основні види похибок, пов'язаних з визначенням положення перепадів інтенсивності: пропуск справжніх перепадів, похибка у визначенні положення перепаду, прийняття завади за

перепад [4]. В якості показника завадостійкості алгоритму використовувався критерій Претта R [4].

У процесі дослідження було отримано графіки, які відображають залежність значення критерія Претта від відносини сигнал/завада за потужністю та від довжини носія (далі s) для запропонованого алгоритму та для класичного методу Канні для тестового зображення розміром 201x201, яке являє собою чорно-білий перепад з нанесеним на нього адитивним гауссівським шумом (рис. 1)

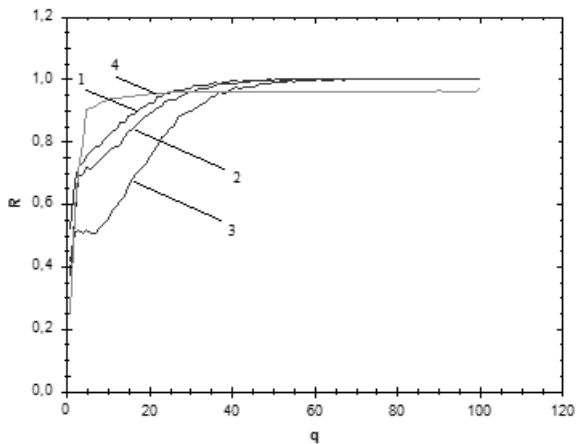


Рис. 1. Залежність критерія Претта від відношення сигнал/завада від 1 до 100 для $s_1=30$ (1), $s_2=70$ (2), $s_3=140$ (3) для запропонованого алгоритму контурної сегментації та класичного методу Канні (4)

Найбільший інтерес представляє ділянка, яка відповідає відношенню сигнал/завада від 1 до 5, оскільки за значень у цьому інтервалі метод Канні дає найгірший результат. Більш детально результати експерименту на зазначеній ділянці представлені на рис.2.

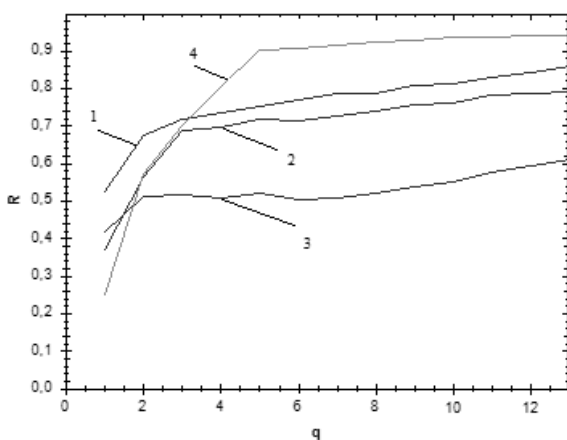


Рис. 2. Масштабована версія рис. 1

Результати дослідження показали, що за умови довжини носія $s \leq 30$ та значення відно-

шення сигнал/завада 1 запропонований алгоритм перевищує за завадостійкістю класичний метод Канні у 2,1 рази, при умові значення відношення сигнал/завада 2 – у 1,2 рази. За інших значень відношення сигнал/завада отримана завадостійкість є близькою до завадостійкості класичного методу Канні.

Також було зроблено порівняльну оцінку роботи запропонованого алгоритму та методу Канні на протяжному перепаді інтенсивності (рис. 3).

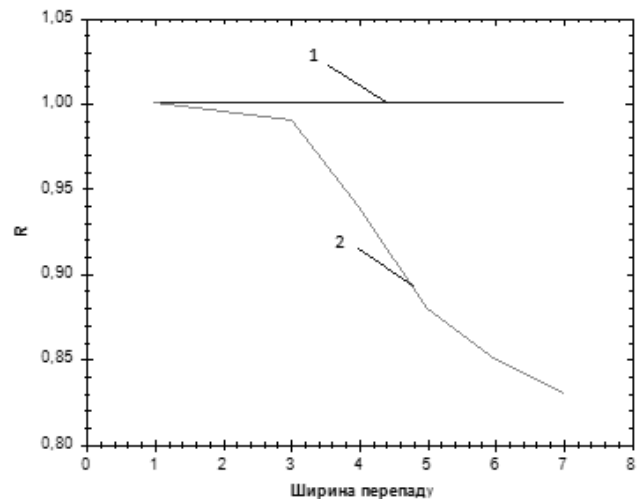
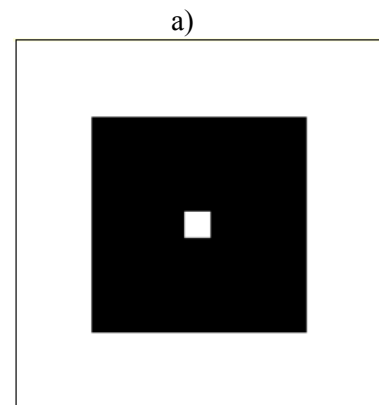
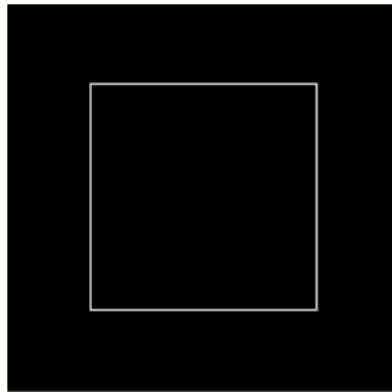


Рис. 3. Залежність критерія Претта від протяжності перепаду інтенсивності від 1 до 7 для запропонованого алгоритму контурної сегментації (1) та класичного методу Канні (4)

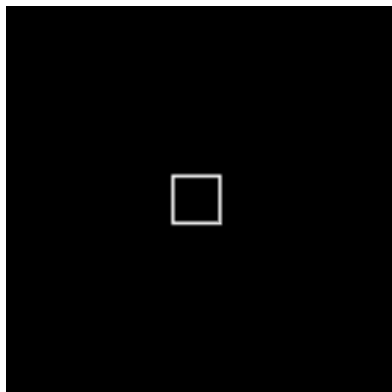
При цьому такий ідеальний результат роботи запропонованого методу буде отримано лише за умови роботи з зображенням, на якому перепад має лінійну функцію розмиття.

Також було проведено апробацію запропонованого алгоритму на тестовому зображенні «квадрат у квадраті» (рис. 4), в результаті чого було підтверджено здатність алгоритму розбивати зображення на структуру «об'єкт – деталь об'єкта», тобто враховувати ієрархічну структуру об'єктів на зображенні.





б)



в)

Рис. 4. Контурний препарат, отриманий в процесі обробки тестового зображення «квадрат у квадраті» розміром 211x211 (а) запропонованим алгоритмом контурної сегментації із довжиною носія 40 (б) та послідувочої обробки із довжиною носія 10 (в)

Висновки

Комбінування вейвлет-перетворення з методом Канні дозволило розробити алгоритмічне забезпечення для контурної сегментації зображень, яке забезпечує високу завадостійкість та регульовану деталізацію об'єктів зображення. Таким чином, на базі розробленого алгоритму

можна виділяти ієрархічну структуру об'єктів і, отже, підвищити оперативність роботи системи розпізнавання образів.

Список використаної літератури

1. Canny, J. E. A computational approach to edge detection [Text] / J. E. Canny. // *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1986. – №8. – P.679-698.
2. Крылов, В. Н. Контурная сегментация в пространстве гиперболического вейвлет-преобразования с использованием математической морфологии [Текст] / В. Н. Крылов, М. В. Полякова, Н. П. Волкова // *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. – 2006. – № 2 (18). – С. 57 – 63.
3. Астафьева, Н. М. Вейвлет-анализ: Основы теории и примеры применения [Текст] / Н. М. Астафьева // *Успехи физических наук*. – 1996. Т.166. – № 11. – С. 1145 – 1170.
4. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт – М : Мир, 1982. – Т. 2 – С. 204

References

1. Canny, J. E. (1986). A computational approach to edge detection. *IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6), pp. 679-698.
2. Krylov, V., Polyakova, M., Volkova, N. (2006). “Contour segmentation in the space of a hyperbolic wavelet transform using mathematical morphology” [Konturnaya segmentatsiya v prostranstve giperbolicheskogo veyvlet-preobrazovaniya s ispol'zovaniyem matematicheskoy morfologii], *Automation. Automation process. Electrotechnical complexes and systems*, - 2(18). - pp. 57-63.
3. Astafieva, N. M. (1996). “Wavelet-analysis: The bases of the theory and the examples of application” [Veyvlet-analiz: Osnovy teorii i primery primeneniya], *The success of physical science*, - 166(11). pp. 1145-1170.
4. Pratt, W. (1982). *Digital image processing*. Moscow: Mir, 2, p.204.

THE ALGORITHM FOR CONTOUR SEGMENTATION OF IMAGES WITH HIERARCHICAL OBJECTS ON THE BASIS OF THE CANNY METHOD WITH USE OF WAVELET-TRANSFORMATION

V. M. Krylov, T. P. Kumar

Odessa National Polytechnic University

Abstract. The existing methods for contour segmentation don't take into consideration the hierarchical structure of the objects what leads to decrease in efficiency of a pattern recognition system. The purpose of this work is to develop an algorithm for contour segmentation of images with hierarchical structured objects in order to improve the quality of segmentation on the lower values of SNR and to increase the efficiency of

further work with the received edges in the pattern recognition system. The study results can help increase the efficiency in such a way. The first length of the wavelet being set must be bigger than the length of each of the objects that are desired to be ignored in the edge. After applying the proposed algorithm, we obtain the edge of the large object only. If then the system requires internal, smaller parts for further recognition process, an edge tracking must be made and after choosing the new length of the wavelet again the stages of the proposed algorithm should be applied – now on the image limited by the traced edge. As a result, the system obtains the edges of the desired object instead of getting all the unwanted object details and searching for the desired one among them. Canny edge detection method was chosen as the basis for the algorithm being developed. It was proposed to replace its first two steps with a wavelet-transformation, what allowed to develop the algorithm, which provides high noise immunity and adjustable level of detail.

Keywords: pattern recognition system, hierarchical structure of objects, efficiency of recognition, adjustable detailing of objects, image processing, face recognition.

АЛГОРИТМ КОНТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ МЕТОДА КАННИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В. Н. Крылов, Т. П. Кумар

Одесский национальный политехнический университет

Аннотация. Для контурной сегментации иерархических объектов предлагается использовать вейвлет-преобразование для получения последовательности контурных препаратов объекта с регулируемым уровнем детализации. В качестве базового метода выбран метод Канни. В нем подчеркивающее преобразование заменяется вейвлет-преобразованием.

Разработанный алгоритм позволил получать контурный препарат с учетом иерархической структуры объектов и увеличил помехоустойчивость при малых значениях отношения сигнал/шум.

Ключевые слова: системы распознавания образов, иерархическая структура объектов, оперативность распознавания, регулируемая детализация объектов, обработка изображений, распознавание лиц.

Отримано 00.00.0000



Крылов Віктор Миколайович, доктор технічних наук, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна, E-mail: viktor.krjylov@gmail.com, тел. +38-066-480-22-61

Victor Krylov, Dr. of Science, Professor of the Department of applied mathematics and information technologies, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-1950-4690



Кумар Тетяна Пардіпівна, магістрант кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Одеського національного політехнічного університету. Просп. Шевченка, 1, Одеса, Україна, E-mail: tanya.kumar11.02@gmail.com, тел. +38-067-180-01-73

Tanya Kumar, Student of the Department of applied mathematics and information technologies, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-4202-4484