

К. Гжешчик, Д. Загородня, А. Саченко, Б. Русин

СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ВИДІЛЕННЯ КОНТУРІВ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

Проведено аналіз сучасних засобів автоматизованого відеоспостереження за різними класами об'єктів. На цій підставі приведена їх класифікація та вказані області ефективного використання. Детально описані три задачі, які виникають при опрацюванні та розпізнаванні об'єктів різної фізичної природи. Основну увагу приділено опису та порівнянню сучасних методів та інформаційних технологій виділення контурів об'єктів. Рис. 7, табл. 1, дж. 56.

Ключові слова: автоматизована система відеонагляду, контур, характерні точки, ідентифікація.

JEL C63

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток функціональних можливостей засобів обробки відеоінформації та відносно низька їх вартість привела до активного використання цифрових технологій у різних сферах людської діяльності. Зокрема, широкого розповсюдження набули системи комп'ютерного відеонагляду для спостереження в банках, офісах, аеропортах, супермаркетах, для пошуку суб'єктів в потоці людей за зовнішнім виглядом. В останні роки також спостерігається активне встановлення та використання відеокамер на зупинках громадського транспорту, в парках, скверах, площах, школах, прибудинковій території, тощо. Такі системи все частіше застосовують у криміналістиці, системах контролю доступу, охоронних системах.

В автоматизованих системах відеонагляду (АСВН) кількість камер постійно зростає і, відповідно збільшується ресурсоемність [1]. Проте суттєвим обмеженням таких систем є потреба великої кількості операторів для їх обслуговування. Це зумовило перехід до інтелектуальних АСВН. Проте, такі системи знижують оперативність АСВН і потребують значних обчислювальних ресурсів [2].

У таких системах, за допомогою прикладних інтелектуальних інформаційних технологій (ІТ), виділяються певні проблемні об'єкти чи ситуації [3-5]. Враховуючи специфіку таких систем, іноді інформації про проблемні ситуації не достатньо для вжиття заходів, тому необхідним є використання методів прийняття рішень за умов невизначеності, на які потрібно буде реагувати людині-оператору.

Надзвичайно важливою процедурою системи АСВН є виділення контурів зображень, що обробляються. Тому актуальною є оцінка існуючого стану в розробці методів виділення контурів зображень.

Мета статті. Огляд та аналіз сучасних систем відеоспостереження та методів виділення контурів об'єктів на зображеннях.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Аналіз систем відеоспостереження. Системи відеонагляду є одним з основних компонентів та займають важливе місце в загальній структурі комплексних систем безпеки об'єктів та фізичних осіб. У світі, де зростає рівень злочинності, бойових дій, нападів терористів та порушення безпеки, системи відеонагляду є відповідним рішенням для їх запобігання, виявлення та застереження [6].

На даний час, системи відеоспостереження все частіше інтегруються у різні аспекти повсякденного життя. Одним з варіантів класифікації таких систем є сфери їх використання [7]:

- відеонагляд за дорогами та автострадами: вимірювання швидкості автомобілів, виявлення проїзду на червоне світло світлофора, перетину розділювальної смуги та інших порушень правил дорожнього руху [8];
- громадська та комерційна безпека: моніторинг громадських місць для виявлення та попередження злочинності. Сюди включають як окремі об'єкти: школи, банки, супермаркети, театри, універмаги, автостоянки, стадіони так і цілі транспортні системи: аеропорти, залізниці, метро, морські порти та ін. [9];
- екологічний моніторинг та наукові дослідження: спостереження за лісовими пожежами та забрудненнями, місцями проживання та міграції тварин, гірськими хребтами, хворобами рослин, океанографічні дослідження, збереження історичних та археологічних пам'яток, культурної спадщини [10 - 11];
- військова сфера: патрулювання державних кордонів, вимірювання потоків біженців, моніторинг мирного населення, забезпечення безпеки військових баз, допомога та управління під час бойових дій та ін. [12];
- контроль якості: моніторинг промислових та автоматизованих процесів, виробничих майданчиків для виявлення несправностей та вторгнень в їхню інфраструктуру [13 - 14];
- розумні будинки та особиста безпека: спостереження за будинком для запобігання крадіжок та вторгнень, станом здоров'я хворих, дітьми, тваринами та ін. [15 - 17];
- аналіз відеоінформації: визначення закономірностей та аномалій у русі транспорту, пішоходів, спортивних показників, рух торгових центрів, парках розваг та ін. [18]

З технологічної точки зору системи відеонагляду поділяються на чотири основні покоління [7]. Вони еволюціонували від систем керованих операторами, до систем автоматизованого та інтелектуального спостереження. Кожне покоління базується на попередньому проте додає певні відмінності як в апаратному так і програмному забезпеченні.

Системи раннього спостереження, або телевізійні системи, що призначені для обмеженого кола глядачів (Close-Circuit Television, CCTV), беруть свій початок з 70-х років [6]. Вони складалися з однієї або кількох аналогових камер, підключених до відеомагнітофона (Video Cassette Recorder, VCR). У зв'язку з обмеженням часу запису на відеокасети, концепція режиму запису дозволяла відеомагнітофону записувати в кожну секунду: четверте, восьме або шістнадцяте зображення (генерація так званих кадрів на секунду, frames-per-second, fps). Цифрові відеореєстратори (Digital Video Recorders, DVRs) витіснили відеомагнітофони, замінивши відеокасети на жорсткі диски. Проте, незважаючи на покращення обладнання в таких системах відеоінформація, досі зберігалась як аналоговий сигнал.

Ера систем відеоспостереження другого покоління почалася з введення мережевих IP камер [19]. Такі системи є повністю цифровими, з високою якістю зображень та можливістю віддаленого управління: панорамування, нахил та масштабування. Для забезпечення постійного і якісного відеоспостереження, системи другого покоління [20 - 21] використовували методи комп'ютерного зору для відображення інформації. Ці методи включають виявлення та відстеження об'єктів, аналіз подій, щоб допомогти оператору зосередити увагу лише на аномальних ситуаціях.

Третє покоління систем відеонагляду розпочалось з приходом дешевих високопродуктивних обчислювальних мереж та мобільного і мультимедійного

зв'язку, де цифрова обробка інформації поширюється по всіх пристроях під'єднаних до мережі, відсутня єдина точка контролю та моніторингу яка замінена мережею розподілених камер і сенсорів. Інформація може бути зафіксована різнотипними сенсорами та різними способами (видимий, інфрачервоний, тепловий, аудіосигнал) [20, 22]. Найвища обчислювальна потужність досягається шляхом використання розподілених технологій, що дозволяє здійснювати обробку відео в режимі реального часу: виявлення, відстеження та аналізу поведінки об'єкта.

Четверте покоління характеризується переходом до вбудованих платформ з більш високою адаптивністю, ніж платформи на базі ПК. Тепер системи відеонагляду можна розділити на системи на базі ПК та на основі вбудованих платформ. Хоча діючі системи на базі ПК володіють великою ресурсоемісністю [23], вони не можуть використовуватись для спостереження в «польових» умовах через великі розміри, енергоспоживання і малу надійність в несприятливих умовах [24 - 25]. Починає розвиватись ринок спеціалізованих малопотужних акумуляторних вузлів [26 - 27], здатних до відеоспостереження. Вони включають в себе можливості збору, обробки та передачі відеоінформації. Для цього вони оснащуються різного типу сенсорами (видимий, термічний, інфрачервоний, стереозвуковий), реконфігурованими модулями обробки (DSP, FPGA), акумуляторними модулями та модулями сонячних батарей, комунікаційними модулями, зокрема (WiMAX/4G, WiFi, 3G, Edge/GPRS [28, 29]).

Задачі, що виникають при побудові інтелектуальних систем відеонагляду, можна віднести до декількох основних областей. Перша з них пов'язана з поданням вихідних даних, отриманих як результати вимірювань для об'єкта, що підлягає розпізнаванню. Кожна виміряна величина є деякою характеристикою образу або об'єкта.

Вектори образів містять всю інформацію про образи, що піддається вимірюванню. Процес вимірювання, при якому об'єкти відносяться до певного класу образів, можна розглядати як процес кодування. Часто виявляється корисним розглядати вектори образів в якості точок n -мірного евклідового простору. Безліч образів, що належать одному класу, відповідають сукупності точок, розсіяних в деякій області простору вимірювань.

Друга задача - розпізнавання образів, пов'язана з виділенням характерних ознак або властивостей з отриманих даних і зниженням розмірності векторів образів. Цю задачу часто визначають як задачу попередньої обробки зображення і вибору ознак.

Ознаки класу образів представляють собою характерні властивості, загальні для всіх образів даного класу. Ознаки, що характеризують відмінності між окремими класами, можна інтерпретувати як міжкласові ознаки. Міжкласові ознаки, загальні для всіх розглянутих класів, не несуть корисної інформації з точки зору розпізнавання і можуть не прийматися до уваги. Вибір ознак вважається однією з важливих задач підсистем розпізнавання. Якщо результати вимірювань дозволяють отримати повний набір розпізнавальних ознак для всіх класів, то розпізнавання і класифікація образів не викличуть особливих труднощів. Автоматичне розпізнавання в такому випадку зводиться до процесу простого зіставлення або процедур типу перегляду таблиць. У більшості практичних задач розпізнавання як визначення повного набору розпізнавальних ознак є важкою задачею. Проте, з вихідних даних зазвичай вдається отримати певні дані з розпізнавальних ознак і використовувати їх для спрощення процесу автоматичного розпізнавання образів.

Третя задача - знаходження оптимальних процедур, необхідних для ідентифікації та класифікації. Після того як дані, зібрані про об'єкти, що

підлягають розпізнаванню, представлені точками або ідентифікаційними векторами в просторі образів, потрібно системі з'ясувати до якого класу образів ці дані належать. Нехай система призначена для розпізнавання M класів, позначених w_1, w_2, \dots, w_m . В такому випадку простір образів можна вважати таким, що складається з M областей, кожна з яких містить точки, що відповідають образу з одного класу. При цьому задача розпізнавання може розглядатися як побудова границь областей рішень, які ділять на M класів, виходячи з зареєстрованих векторів вимірювань. Нехай ці межі визначені, наприклад, функціями $d_1(x), d_2(x), \dots, d_M(x)$. Ці функції, звані також дискримінантними функціями, представляють собою скалярні і однозначні функції образу x . Якщо $d_i(x) > d_j(x)$ для всіх $i, j = 1, 2, \dots, M, i \neq j$, то образ x належить класу w_i . Іншими словами, якщо i -та вирішальна функція $d_i(x)$ має найбільше значення, то $x \in w_i$.

В загальному, система відеонагляду – це інформаційна система, яка складається з відеокамер, комплексу відображення і збереження відеоінформації, за допомогою яких здійснюється запис, перегляд та візуальний аналіз відеоінформації. Відеонагляд може проводитися як в режимі реального часу так і перегляду із збережених інших носіїв [6].

В свою чергу, інтелектуальна система відеонагляду – це система з власною операційною системою реального часу, яка забезпечує високу надійність в роботі і максимально ефективно використовує ресурси комп'ютера. Дозволяє добитися максимальної швидкодії, мінімального часу реакції на події і має довготривалу стабільність [6].

Такі системи характеризуються високою швидкістю роботи; великою кількістю камер; різними режимами відображення відеоінформації на екран; режимами контролю; автовізуалізація каналів; можливість масштабування; підтримка багатьох форматів запису; зміна параметрів зображення: яскравість, контрастність; інтелектуальний детектор руху; ведення журналу подій; робота за розкладом; каталог записаних кадрів.

Першим елементом інтелектуальної системи відеонагляду є відеодатчик. Прикладами відеодатчиків можуть бути цифрові або IP-камери. З відеодатчика зображення надходить на пристрій формування зображень. Після цього зображення проходить попередню обробку для покращення якості зображення і зменшення об'єму відеоінформації та потрапляє на кадровий накопичувач. Далі здійснюється локалізація області обличчя та проводиться контурна сегментація [30].

Контурна сегментація складається з: виділення контуру, прослідковування та виділення на ньому характерних точок. При виділенні контуру потрібно отримати зовнішній контур у вигляді замкнутої кривої, тому часто застосовують методи апроксимації [31]. Метод апроксимації кривих можна використовувати для контурної сегментації шляхом підбору аналітично заданої кривої до сукупності точок контурного препарату. Якщо є інформація про очікувану форму об'єкта, наприклад, як в нашому випадку (для ідентифікації облич), що це еліпс, то в якості апроксимуючої кривої потрібно взяти еліпс. Також можна спробувати застосувати апроксимацію поліномами, використовуючи ітеративні методи підбору.

Прослідковування контуру полягає у занесенні координат точок контуру у двовимірний масив. А власне сам алгоритм прослідковування контуру нагадує поведінку «жука» [32]. Для двійкового зображення уявний «жук» починає свій шлях на білому полі і рухається у напрямку до області чорних елементів

зображення. Після того, як «жук» перетне чорний елемент, він повертається ліворуч і переходить до наступного елементу. Якщо цей елемент чорний, «жук» знову повертається ліворуч, якщо ж елемент виявляється білим, то «жук» повертається направо. Ця процедура триває доти, доки «жук» не повернеться у вихідну точку (контур замкнеться). Координати точок переходу з чорного на біле або з білого на чорне будуть координатами точок контуру.

Після цього виділяються характерні точки контуру (точки на ділянках значної кривизни [33]). На основі інформації про характерні точки контуру будується ідентифікаційний вектор (процедура ідентифікації) на основі якого далі проводиться класифікація – процедура віднесення (присвоєння) досліджуваного об'єкта (зображення) до певного класу [34].

Для виконання своїх функцій система комп'ютерного розпізнавання облич використовує ряд апаратно-програмних засобів, серед яких основними є відеодатчик і комп'ютер. Інтелектуальні відеодатчики можуть бути запрограмовані на виконання таких високорівневих процедур як попередня обробка та сегментація зображення, частково або повністю замінюючи собою комп'ютер [35].

Комп'ютер у системі розпізнавання облич представляє собою комплекс апаратного (мікропроцесор, оперативна пам'ять, дискові накопичувачі та інші) та програмного забезпечення (програмна підсистема виявлення, розпізнавання облич, підсистема управління базою даних облич, вхідні та вихідні файли та інші) і виконує, як правило, високорівневі процедури сегментації та аналізу зображень. У системах розпізнавання також може бути задіяне спеціалізоване апаратне забезпечення: плати відеозахоплення, мережеве обладнання для розподілених систем розпізнавання та інші [36].

Більшість із запропонованих на ринку автоматизованих систем відеонагляду забезпечують підтримку розглянутих вище процедур за допомогою розроблених апаратних та програмних засобів. Серед існуючих систем та засобів підтримки функції розпізнавання облич можна виділити наступні: системи контролю доступу, набори засобів та бібліотек для розробки програм з підтримкою функцій розпізнавання облич та системи роботи із відеоінформацією. Нижче наведені приклади використання таких систем.

2. Аналіз відомих методів виділення контурів. При розпізнаванні об'єктів найбільш інформативною частиною зображення є контур. Контур об'єкта – це частина об'єкта, яка містить велику кількість інформації про форму об'єкта та мало залежить від кольору та текстури зображення [37 - 38].

За контуром можна проаналізувати форму об'єкта. В багатьох випадках інформації про форму об'єкта достатньо для організації автоматичних або автоматизованих систем. Крім того, перехід до розпізнавання об'єктів за їх контурами дозволяє на декілька порядків зменшити об'єм інформації, що обробляється, крім того, контури інваріантні до трансформацій яскравості [34].

Оскільки основна інформація про форму об'єкта міститься в контурі об'єкта, то виділення та опис контуру є важливою задачею аналізу зображень.

Після оцифрування кожен піксель однозначно відноситься або до фону, або до зображення. Існують різні види критеріїв прийняття рішення про приналежність кожного з пікселів до фону або контуру зображення.

Контурні пікселі відрізняються від внутрішніх пікселів зображення наявністю в якості однієї або декількох сусідніх фонових комірок. При цьому в якості сусідніх розглядаються тільки горизонтальні та вертикальні сусідні комірки, або тільки діагональні [38]. Контур бінарного зображення задається точками в центрах клітин що межують. Якщо змістити решітку на величину половини довжини

сторони квадрата вправо і вгору, то контурні точки зображення опиняться у вузлах решітки. В результаті сприйняття контуру спрощується.

Результатом виділення контурів є контурний препарат – вторинне зображення того ж розміру, що й вихідне. У початковий момент всі точки цього зображення мають чорний колір, а в процесі виділення контурів пікселі, що відповідають виявленим граничним точкам зображення, зафарбовуються білим кольором [39-44].

Контур на кольоровому зображенні відповідає перепаду інтенсивності. Проте, це визначення виключає контури, пов'язані з різкими змінами кольору тону та інтенсивності в областях з постійною яскравістю.

Представлення (кодування) контуру – це етап отримання дискретного сигналу, що описує границі оцифрованого зображення [45, 46].

Вимоги до алгоритмів представлення контурів:

1. зменшення обсягів використовуваної пам'яті, для зберігання;
2. зменшення часу та складності подальшої обробки;
3. отримання інформативних ознак об'єкта.

Біологічні системи зорового сприйняття, як показують дослідження, використовують головним чином контури для виділення об'єктів, а не розділяють об'єкти по яскравості. На практиці перепади не будуть різкими зважаючи на розмивання і обмеження, що вносяться відеореєструючою апаратурою. Інколи перепади яскравості уздовж границь краще прослідковуються у вигляді стрибків перших похідних яскравості, ніж по аналізу значень самої яскравості [40].

При вирішенні задачі виділення контурів намагаються знайти компроміс між числом помилкових контурів та числом і величиною розривів контуру. Відомо, що на результат операції прослідковування набагато менше впливають невеликі розриви. Їх легше усунути, ніж помилкові контури, в яких легко заплутатися [41]. Співвідношення між числом помилкових контурів та числом і величиною розривів визначається завадостійкістю методу виділення контурів.

Будь-яка область D площини комплексної змінної містить внутрішні точки і точки контуру (граничні точки). Перші з них мають ту властивість, що не тільки вони самі, а й їх деякий окіл цілком належить області D . Точки контуру не є внутрішніми, але в будь-якому малому околі таких точок знаходяться внутрішні точки області D і точки, які не належать області D , – зовнішні (фонові) точки. Область D має властивість зв'язності, яка полягає у тому, що будь-які її точки з'єднуються лінією, яка повністю знаходиться в середині D [45].

Лінія контуру Γ називається опуклою, якщо прямолінійний відрізок, що з'єднує дві її будь-які точки, цілком складається з внутрішніх точок області D . Ділянка контуру буде увігнутою, якщо такий відрізок буде включати зовнішні (фонові) точки (рис. 1).

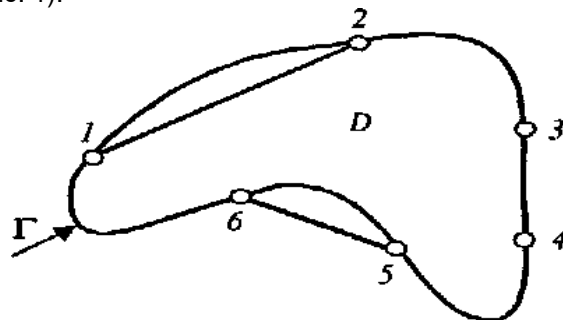


Рис. 1. Фрагменти контуру Γ : 1, 2 – опуклий; 3, 4 – увігнутий; 5, 6 – увігнутий

Внутрішній елемент (піксель) бінарного оцифрованого зображення $\omega(m_1, m_2)$ має властивість чотирьох-зв'язності, тобто суміжні з ним елементи – верхній, нижній, лівий і правий, теж належать $\omega(m_1, m_2)$.

Для обробки контуру аналітичним шляхом потрібно провести його кодування, тобто поставити у відповідність кожному контурному елементу певне число. Послідовність таких чисел називається кодом контуру.

На квадратній решітці можливі вісім різних стандартних розміщень. Розглянемо деякі способи кодування контурів [46].

1. Кодування за трьома ознаками: довжині поточного елементарного вектора, напрямку повороту при переході до наступного елементарного вектора і куту між сусідніми елементарними векторами.

2. Кодування поточного елементарного вектора трьохрозрядним двійковим кодом (числа від 0 до 7). Даний код був запропонований Фріменом і отримав широке поширення в задачах обробки зображень.

3. Кодування поточного елементарного вектора двома його проєкціями на осі координат з початком відліку, поєднаним з початком елементарного вектора – двовимірний код.

4. Полігональне представлення контуру, що отримується при його апроксимації лінійними сегментами (рис. 2).

Кодування полягає у фіксації координат кінців цих сегментів. Даний спосіб завдяки компактності одержуваних описів отримав широке поширення. При цьому виникає проблема сегментації, подібна з проблемою дискретизації сигналів. У реальних випадках вона зазвичай пов'язана з втратою інформації про форму зображень.

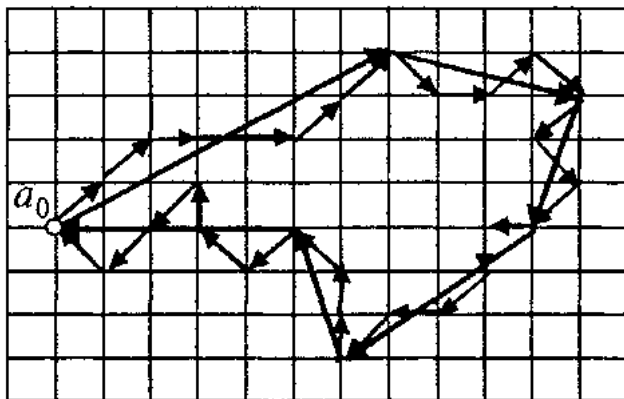


Рис. 2. Полігональне представлення контуру за допомогою апроксимації контуру лінійними сегментами

5. Подання лінії контуру полярним кодом [45]. На зображенні $\omega(m_1, m_2)$ вибирається полюс – початок відліку (т. Р) звичайної (власної) системи координат, тобто системи відліку, пов'язаної з цим зображенням. Центри всіх граничних точок зображення з'єднуються з т. Р. У результаті виходить послідовність радіус-векторів $B(n)$, що однозначно задають контур зображення (рис. 3). Часто центр суміщається з центром ваги зображення.

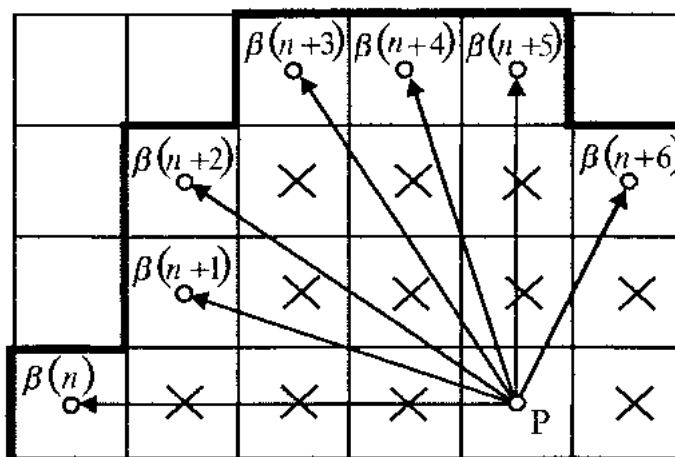


Рис. 3. Приклад задання фрагмента контуру в полярній системі і координат

Методи виділення контурів можна розділити на дві великі групи: диференціальні та кореляційно-екстремальні [43]. В диференціальних методах перепади інтенсивності підсилюються за допомогою чисельного диференціювання, потім виділяється контур за допомогою порогового пристрою, після чого бінарне зображення піддається вторинній обробці, мета якої – потоншення контуру до одного пікселя. Методи прості в реалізації і мають високу швидкість, але мають низьку завадостійкість. Головним критерієм при оцінці завадостійкості виділення контурів є положення перепаду яскравості.

З іншого боку, для визначення та опису контуру використовують два підходи: виділення країв або виділення області точки якої утворюють об'єкт.

У літературі наведено і описано велику кількість алгоритмів виділення контурів і границь. До найбільш популярних методів відносять: оператор Робертса, Собеля, Превітта, Кірша, Робінсона, алгоритм Канні і LoG-алгоритм [33, 47, 38, 45, 40-44, 48]. Дані алгоритми базуються на підкресленні різких перепадів яскравості, які характерні контурам об'єктів.

Оператор Робертса [45] – один з перших алгоритмів виділення контурів, який обчислює суму квадратів різниць між діагонально-сусідніми пікселями. Це буде згортка зображення з двома ядрами:

$$\begin{bmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{і} \quad \begin{bmatrix} 0 & +1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Оператор Робертса все ще використовується заради швидкості обчислень, але він програє в порівнянні з альтернативами через значну чутливість до шуму. Він дає лінії тонші, ніж інші методи виділення контурів, що майже рівнозначно обчисленню кінцевих різниць уздовж координат X і Y. Іноді його називають «фільтром Робертса».

Дискретний оператор Лапласа [38] також часто використовується в обробці зображень для виділення контурів. Дискретний лапласіан визначається як сума других похідних і обчислюється як сума перепадів на «сусідах» центрального пікселя. Для одновимірного сигналу дискретний лапласіан можна записати як згортку із наступним ядром:

$$D_x^2 = [1 \quad -2 \quad 1] \quad (2)$$

А для двовимірного сигналу:

$$D_{xy}^2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ або } D_{xy}^2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Оператор Превіта [46] – метод виділення контурів в обробці зображень, який обчислює максимальне відхилення на безлічі ядер згортки для знаходження локальної орієнтації контуру в кожному пікселі. Він був створений доктором Джудіт Прюїтт (Джудіт Превіт) для виявлення контурів медичних зображень.

Оператор використовує два ядра 3×3 , згортаючи вихідне зображення для обчислення наближених значень похідних, одне по горизонталі, а друге – по вертикалі:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}; \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Оператор Собеля [46] – дискретний диференціальний оператор, який обчислює наближене значення градієнта яскравості зображення. Використовується в області обробки зображень, зокрема, часто застосовується в алгоритмах виділення контурів. Результатом застосування оператора Собеля в кожній точці зображення є або вектор градієнта яскравості в цій точці, або його норма, що обчислюються за формулами:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A; \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A \quad (5)$$

де A – вхідне зображення.

Оператор Канні [39] – оператор виявлення контурів зображення. Був розроблений в 1986 році Джоном Канні (Джон Канні), який використовує багатоступінчастий алгоритм для виявлення широкого спектра контурів на зображеннях. Канні вивчив математичну проблему отримання фільтра, за оптимальними критеріями виділення, локалізація і мінімізації. Він показав, що шуканий фільтр є сумою чотирьох експонент і може бути добре наближений першою похідною Гауссіана. Канні ввів поняття Non-Maximum, яке означає, що пікселями контурів оголошуються пікселі, в яких досягається локальний максимум градієнта в напрямку вектора градієнта. Хоча його робота була проведена на початках розвитку комп'ютерного зору, детектор контурів Канні досі є одним із кращих детекторів.

Результатом роботи описаних алгоритмів є набір незв'язних областей. Для отримання зв'язного контуру необхідно провести додаткову обробку, наприклад морфологічну для отримання зв'язного краю об'єкта, який і називається контуром об'єкта.

Проведено порівняльний аналіз описаних методів виділення контуру облич. У порівняльному аналізі широко використовують оцінку якості зображень. Ця оцінка характеризується низкою метрик, які показують наскільки точно збігається отримане зображення із оригіналом. Найвідомішими із метрик є

середньоквадратичне відхилення (MSE) та пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) [37].

Середньоквадратичне відхилення (MSE) – це показник розсіювання значень випадкової величини відносно її математичного сподівання:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1, j=1}^{m, n} (x_{i,j} - y_{i,j})^2}{mn} \quad (6)$$

де MSE – середньоквадратичне відхилення; $x_{i,j}$ – елемент вибірки; $y_{i,j}$ – середнє арифметичне вибірки; n, m – об'єм вибірки.

Пікове відношення сигналу до шуму (PSNR) – це відношення між максимумом можливого значення сигналу та потужністю шуму, що викривлює значення сигналу. Найпростіше визначити це відношення через середньоквадратичне відхилення:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

де MAX_I – максимальне значення інтенсивності пікселя по зображенню; MSE – середньоквадратичне відхилення.

Чим більше значення пікового відношення сигналу до шуму тим зображення вважається чіткішим та точнішим. Щоб оцінити якість отриманого зображення з виділеними контурами описаними методами та порівняти їх використано зображення із бази ORL [49]. Це зображення буде вважатись оригіналом, тобто в нашому випадку це ідеальне зображення. Оскільки досліджується робота детекторів виділення контуру, то це зображення було розмите та зашумлене за допомогою фільтра Гауса. Також, важливим показником роботи методів виділення контурів є швидкодія, яка вимірюється у секундах. У таблиці 1 наведені результати.

Таблиця 1

Порівняння швидкодії відомих методів виділення контурів

Метод виділення контуру зображення	Швидкодія, м/с
Робертса	0,60
Лапласа	0,86
Превіта	0,63
Собеля	0,76
Канні	2,45

Як видно із результатів, метод Канні дає найкращі результати за середньоквадратичним відхиленням та піковим відношенням сигнал/шум, проте він і працює найдовше із розглянутих методів

Таким чином показано, що основна інформація про об'єкт міститься в контурі, тому виділення та опис контуру є важливою задачею аналізу зображень, контури інваріантні до трансформацій яскравості, а перехід до розпізнавання

об'єктів за їх контурами дозволяє на декілька порядків зменшити об'єм інформації, що обробляється.

Також було проведено порівняльний аналіз методів виділення контурів. Аналіз швидкодії, середньоквадратичного відхилення та пікового відношення сигналу до шуму показали, що метод Канні має найнижчу швидкість виділення контурів, проте за критеріями середньоквадратичного відхилення та пікового відношення сигналу до шуму показує найкращі результати.

3. Аналіз методів виділення характерних точок. Точки контуру представляють незначну частину всього зображення, проте і серед них існують такі, за допомогою яких можна ефективно описувати контур зображення об'єктів, оскільки при їх сполученні відрізками форма фігури зберігається [33].

Нехай заданий гладкий контур (він може бути отриманий, наприклад, з допомогою процедури прослідковування контуру). Аттніву, в 1954 р., провів психологічний експеримент, який полягав в тому, щоб розбити криву в точках найбільшої кривизни і сполучити точки перегину прямими лініями [38]. Цінність цього методу підтверджується відомим малюнком Аттніву (сплячий кіт), який побудований згідно описаного правила.

Такі точки, які передають суть фігури, знаходяться на ділянках значної кривизни контуру називаються характерними точками (ХТ) контуру. Тому можна переходити до розпізнавання зображень використовуючи тільки інформацію про ХТ. Дослідження можливості ідентифікації зображень за допомогою набору ХТ почалися в минулому столітті з робіт по стереоприв'язці з використанням детектора кутів.

ХТ – це точки зображення, що володіють високою локальною інформативністю, тобто це точки максимуму, мінімуму, перегину і максимальної кривизни [33]. ХТ ще називають точками інтересу, ключовими точками, точками уваги, особливими точками, точковими особливостями, англійською мовою: salient, keypoints, representative, feature points, characteristic points, inflection points [50-54].

Прикладами ХТ будуть: кінці відрізка, вершини багатокутників, точки перегину ламаної, точки перегину сплайнів, кінцеві точки півосей еліпса.

У 1992 Haralick і Shapir виділили наступні вимоги до ХТ [53]:

- відмінність (distinctness) – ХТ повинна явно виділятися на фоні і бути унікальною у своїй околиці;
- інваріантність (invariance) – визначення ХТ повинно бути незалежне від афінних перетворень;
- стабільність (stability) – визначення ХТ повинне бути стійким до шумів і помилок;
- унікальність (uniqueness) – крім локальної відмінності, ХТ повинна володіти глобальною унікальністю для поліпшення розрізнення повторюваних елементів;
- інтерпретованість (interpretability) – ХТ повинні визначатися так, щоб їх можна було використовувати для аналізу відповідностей і виявлення інтерпретованої інформації із зображення.

Tuytelaars і Mikolaiczuk (2006) описали такі властивості, якими повинні володіти ХТ [54]:

- повторюваність (repeatability) – ХТ знаходиться в одному і тому ж місці сцени або об'єкта зображення, незважаючи на зміни точки огляду і освітленості;

– відмінність / інформативність (*distinctiveness / informativeness*) – повинен бути окіл ХТ, де вона повинні мати великі відмінності від решти точок в цьому околі, так, щоб можливо було виділити і зіставити особливі точки;

– локальність (*locality*) – ХТ повинна займати невелику область зображення, щоб зменшити ймовірність чутливості до геометричних і фотометрическим спотворень між двома зображеннями, знятих в різних точках огляду;

– кількість (*quantity*) – число виявлених ХТ має бути достатньо великим, так щоб їх вистачило для виявлення навіть невеликих об'єктів. Однак оптимальна кількість ХТ залежить від предметної області. В ідеалі кількість виявлених ХТ має адаптивно визначатися з використанням простого й інтуїтивного порога. Щільність розташування ХТ повинна відображати інформаційний вміст зображення, щоб забезпечити його компактне представлення;

– точність (*accuracy*) – виявлені ХТ повинні точно локалізувати, як у вихідному зображенні, так і взятому в іншому масштабі;

– ефективність (*efficiency*) – час виявлення ХТ на зображенні має бути допустимим в критичних за часом додатках.

В загальному, ці властивості перетинаються з попередніми, але по-різному інтерпретуються.

Виділення ХТ на зображенні відноситься до процедури КС. Основною перевагою використання ХТ для задач ідентифікації є відносна простота і швидкість їх виявлення.

Відомі наступні методи виділення ХТ:

- диференціальний;
- полігональний;
- інтерполяційний.

Диференціальний метод полягає в аналізі функції кривизни контуру, як диференціальної функція координат контуру, яка має властивості інваріантності до зсуву, повороту [33]. З математичної точки зору такий підхід пов'язаний з природнім рівнянням кривої, яке визначає її кривизну як функцію довжини дуги. Отже, описаний метод еквівалентний встановленню природного рівняння кривої її екстремальними точками. ХТ є точки перегину та екстремуми функції кривизни та кінцеві точки. Для пошуку ХТ диференціальним методом потрібно побудувати функцію кривизни та дослідити її на екстремуми. Проте, в силу своєї диференціальної природи цей метод має низьку завадостійкість (не стійкий до шумів), а також не можна регулювати кількість виділених ХТ.

Полігональний метод полягає у послідовному вписуванні багатокутників у контур зображення із наперед заданою точністю, а ХТ будуть вершини вписаного багатокутника.

Реймер [55] використовував метод, схожий до процедури ітеративного підбору кінцевих точок для полігональної апроксимації замкнутих кривих довільної форми. Павлідіс і Хоровіц [56] розробили алгоритм для полігональної апроксимації кривих.

На першому етапі роботи алгоритму полігонального методу, представлені кінцеві точки A і B з'єднуються прямою лінією (рис. 4). Потім шукається точка, відстань від якої до прямої що містить побудований відрізок є найбільшою (точка C). Якщо відстань велика (перевищує наперед задану точність), то ця точка відноситься до ХТ та береться в якості точки з'єднання двох відрізків (AC і CB). Дана процедура повторюється для кожного з відрізків до тих пір, поки всі

точки контуру будуть знаходитись на відстані, яка менша за наперед задану точність.

Проте алгоритм полігональної апроксимації складний в реалізації і не володіє достатньо великою швидкістю.

Інтерполяційний метод [33, 31, 55] виділення ХТ контуру зображення полягає в підборі найдовшого прямолінійного відрізка між двома точками контуру так, щоб відстань від проміжних точок контуру до прямолінійного відрізка не перевищувала наперед заданого порогу DELTA.

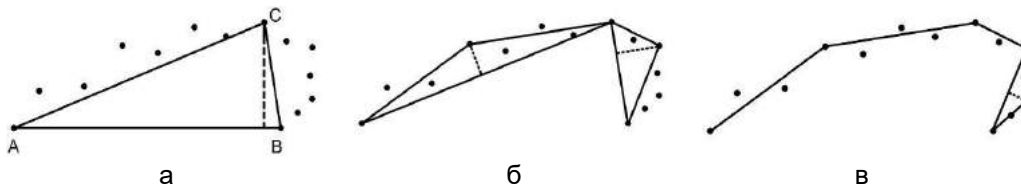


Рис. 4. Ітеративний підбір кінцевих точок
а – перший етап; б – другий етап; в – третій етап

Основні кроки алгоритму полягають в наступному (рис. 5):

1. Вводиться масив координат прослідкованих точок контуру (x та y), довжина інтерполяційного відрізка (n – кількість точок) та поріг ($DELTA$ – відстань від інтерполяційного відрізка до точки контуру).

2. Визначається кількість точок (N – довжина) вхідного масиву та оголошуються додаткові змінні.

3. Поки не пройдено усі точки контуру виконуються наступні операції:

3.1. Вибирається дві точки у вхідному масиві ($v1$ та $v2$), що є початком та кінцем інтерполяційного відрізка довжиною в n точок. Через даний відрізок проводиться промінь з початком в точці $v1$.

3.1.1. В циклі послідовно (починаючи з наступної точки, що знаходиться після точки – початку інтерполяційного відрізка $v1$) обчислюється відстань ($delta$) від поточної точки контуру до інтерполяційного променя.

3.1.2. Якщо відстань від поточної точки до інтерполяційного відрізка ($delta$) перевищує заданий поріг ($DELTA$), то дана точка визначається як характерна, і заноситься в масив характерних точок (ХТ).

3.1.3. Здійснюється перехід до обробки наступних точок контуру (крок 3.1), під час якого знайдена характерна точка стає початком наступного інтерполяційного відрізка ($v1$).

4. Для графічного представлення, шляхом нанесення ХТ на контур зображення та їх послідовного сполучення, для замикання контуру перша характерна точка заноситься в кінець масиву та здійснюється вихід з алгоритму.

На рис. 6 зображений чотирикутник (розмір вхідного зображення 92x76 пікселів): жирними точками позначено контур зображення (кількість точок – 82), інтерполяційні відрізки довжиною $n=2$ сполучені суцільною лінією, їх продовження зображено штриховою лінією. ХТ виділені даним алгоритмом додатково обведені (на представленому рисунку поріг $DELTA=2$).

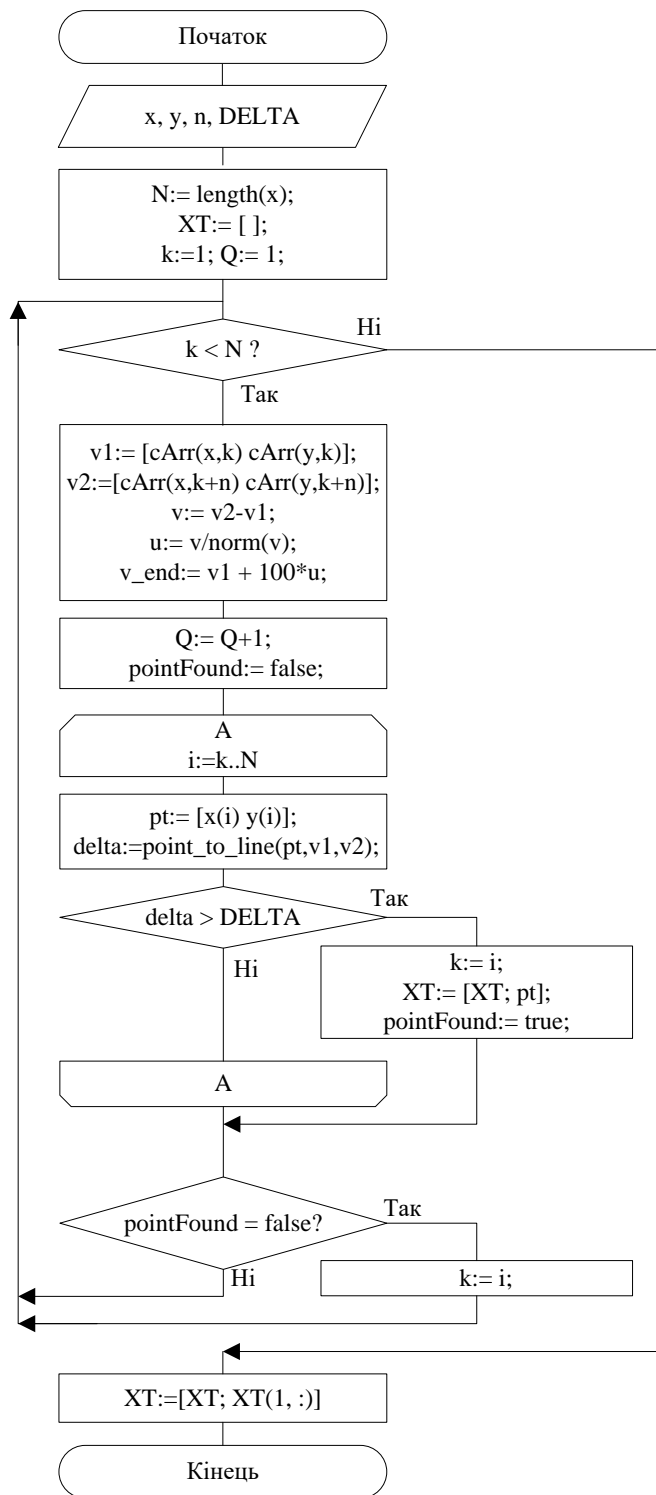


Рис. 5. Блок-схема алгоритму виділення характерних точок контуру зображення на основі інтерполяційного методу

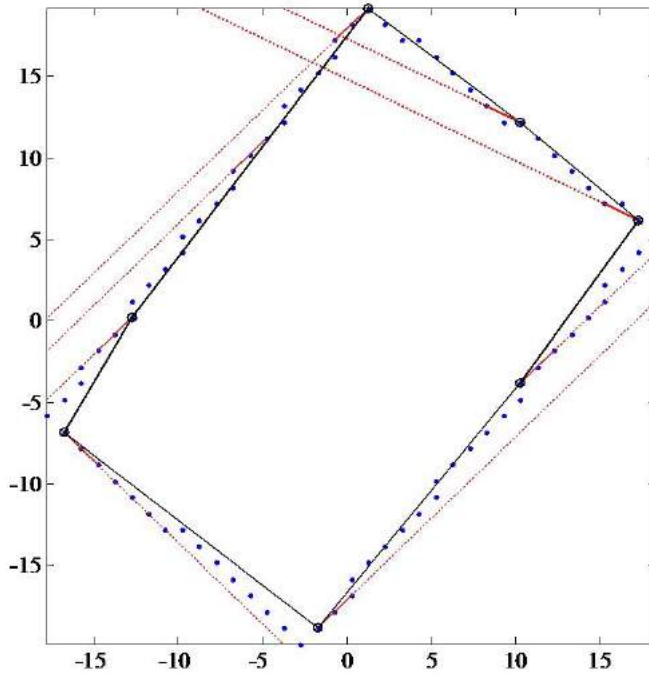


Рис. 6. Наочна демонстрація роботи інтерполяційного методу

Нехай $I = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)]$ – множина точок контуру зображення з центром $(0,0)$, впорядкована за їхнім кутом в полярних координатах $[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N]$, $\theta_i \leq \theta_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots, N-1$; I_{EXT} , I_{INT} – підмножини точок контуру, що мають максимальні і мінімальні значення полярного радіусу для певного полярного кута:

$$I_{EXT} = \left[(x_i, y_i) \mid i = \arg \max_i \rho_i, \theta_i = \theta, \forall \theta \in \Theta \right], \quad (8)$$

$$I_{INT} = \left[(x_i, y_i) \mid i = \arg \min_i \rho_i, \theta_i = \theta, \forall \theta \in \Theta \right], \quad (9)$$

де Θ – підмножина унікальних значень полярних кутів $\Theta \subseteq [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N]$; $\rho_i \in [\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N]$ – множина полярних радіусів точок I .

Введемо підмножину ХТ контуру Γ ($\Gamma \subseteq I$), тоді якість множини ХТ можна оцінити за формулами:

$$Q_1 = \int_{-\pi}^{\pi} (F_{EXT}(\theta) - C(\theta))h(F_{EXT}(\theta) - C(\theta))d\theta, \quad (10)$$

$$Q_2 = \int_{-\pi}^{\pi} (C(\theta) - F_{INT}(\theta))h(C(\theta) - F_{INT}(\theta))d\theta, \quad (11)$$

де $F_{EXT}(\theta)$ та $F_{INT}(\theta)$ – інтерполяційні функції, що апроксимують полярний радіус точок I_{EXT} , I_{INT} для аргументу $-\pi \leq \theta \leq \pi$; $C(\theta)$ – інтерполяційна функція, що апроксимує полярний радіус ХТ Γ для аргументу $-\pi \leq \theta \leq \pi$; $h(x)$ – функція Хевісайда:

$$h(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x > 0, \\ 0, & \text{при } x \leq 0. \end{cases} \quad (12)$$

Інтерполяцію функцій $F_{EXT}(\theta)$, $F_{INT}(\theta)$ та $C(\theta)$ можна виконати таким чином:

якщо $\theta > \theta_N$ або $\theta < \theta_1$, то шукаємо точку (x', y') перетину відрізка $(x_1, y_1) - (x_N, y_N)$ з бігучою прямою інтегрування $y = x \tan \theta$, тоді

$$\rho = \sqrt{(x')^2 + (y')^2}, \quad (13)$$

де ρ – це точкове значення однієї з функцій $F_{EXT}(\theta)$, $F_{INT}(\theta)$ чи $C(\theta)$;

інакше, якщо $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_N$, то знаходимо на множині полярних кутів $[\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N]$ інтервал $\theta_i \leq \theta \leq \theta_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots, N - 1$ і шукаємо точку (x', y') перетину відрізка $(x_i, y_i) - (x_{i+1}, y_{i+1})$ з бігучою прямою інтегрування $y = x \tan \theta$, причому $\tan \theta = \text{tg}(\theta + \pi)$, якщо $\text{tg}(x)$ – функція тангенсу для $0 \leq x \leq 2\pi$.

Рівняння прямої $(x_i, y_i) - (x_{i+1}, y_{i+1})$ записується так:

$$\begin{cases} y_i = ax_i + b, \\ y_{i+1} = ax_{i+1} + b, \end{cases} \quad (14)$$

де $(x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1})$ – відомі координати крайніх точок відрізка, a, b – невідомі коефіцієнти.

Віднімаємо від першого рівняння друге:

$$y_i - y_{i+1} = a(x_i - x_{i+1}), \quad (15)$$

Звідки

$$\frac{y_i - y_{i+1}}{x_i - x_{i+1}} = a, \quad (16)$$

$$y_i - \frac{y_i - y_{i+1}}{x_i - x_{i+1}} x_i = b, \quad (17)$$

Точка перетину (x', y') знаходиться з рівняння

$$ax' + b = x' \tan \theta, \quad (18)$$

$$b = x'(-a + \tan \theta), \quad (19)$$

$$\frac{b}{-a + \tan \theta} = x', \quad (20)$$

$$y' = a \frac{b}{-a + \tan \theta} + b. \quad (21)$$

У випадку, коли $x_i = x_{i+1}$, відрізок $(x_i, y_i) - (x_{i+1}, y_{i+1})$ є вертикальним, і тоді точка перетину обчислюється за такими формулами:

$$x' = x_i = x_{i+1}, \quad (22)$$

$$y' = x_i \tan \theta, \quad (23)$$

коли ж $\theta = \frac{\pi}{2}$ або $\theta = \frac{3\pi}{2}$, то бігуча пряма інтегрування є вертикальною і тоді точка перетину визначається так:

$$\begin{aligned} x' &= 0, \\ y' &= b. \end{aligned} \quad (24)$$

Поняття характерних точок та бігучої прямої інтегрування проілюстровано рисунком 7.

Загалом, виділення ХТ в даний час залишається предметом активних досліджень. Основним алгоритмічним апаратом, що застосовується для виділення ХТ, є аналіз функції кривизни контуру. В силу своєї диференціальної природи вона має низьку завадостійкість. До недоліків полігонального методу відносять складність в реалізації та високі вимоги до обчислювальних затрат, а в інтерполяційному методі – низька точність виділення ХТ.

Тому актуальною залишається задача розробки методу виділення ХТ, який володіє наступними властивостями:

- завадостійкий;
- простий в реалізації;
- висока швидкодія;
- точний у визначенні координат характерних точок.

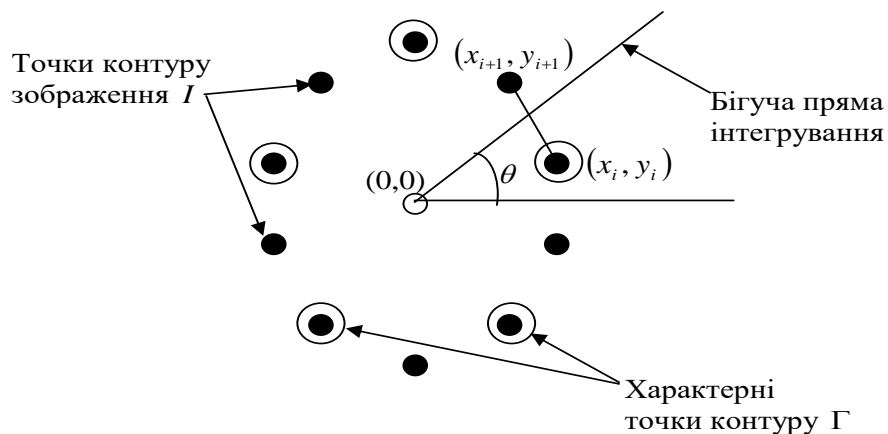


Рис. 7. Поняття ХТ та бігучої прямої

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямку. У результаті аналізу існуючих систем відеонагляду, областей їхнього застосування, відомих методів виділення контурів та методів виділення характерних точок, отримано наступні висновки:

1. Застосування різнотипних засобів відеоспостереження стає все більш популярним в зв'язку із збільшеннями їхніх функціональних можливостей. Це дає змогу організувати відповідну безпеку як приватної особи чи майна, так і безпеку особливо важливих об'єктів чи об'єктів підвищеної небезпеки.

2. Збільшення відеопотоків веде до потреби додаткового їх опрацювання, що, в свою чергу, вимагає додаткових затрат на обчислювальні чи людські ресурси. Тому, методи, що дозволяють зменшити об'єми оброблюваної інформації стають все більш актуальними.

3. У контурі зображення міститься інформація про його форму, що є важливим фактором для сприйняття та розпізнавання образів. Перехід до розпізнавання об'єктів за їх контурами дозволяє на декілька порядків зменшити об'єм інформації, що обробляється, внаслідок чого розпізнавання зображень буде проводитись набагато швидше.

4. Точки контуру представляють незначну частину всього зображення, проте і серед них існують такі характерні точки, за допомогою яких можна ефективно описувати контур зображення об'єктів, оскільки при їх сполученні відрізками форма фігури зберігається (теорема Аттніва). Тому доцільно використовувати методи виділення характерних точок, що, в свою чергу, зменшить об'єм інформації, що обробляється.

5. На базі проведеного аналізу сформовано наступні завдання, які необхідно вирішити у майбутньому для покращення швидкодії роботи автоматизованих система відеонагляду в умовах обмежених обчислювальних ресурсів:

- розробити та експериментально дослідити метод та базу інформаційну технологію контурної сегментації;
- розробити та експериментально дослідити метод та базу інформаційну технологію виділення характерних точок;
- розробити та експериментально дослідити метод та базу інформаційну технологію ідентифікації;
- розробити базові інформаційну технологію контурної сегментації, виділення характерних точок та ідентифікації ієрархічних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Abderrahmane, Ez-Zahout. A framework for big data analytics in secure network of video surveillance systems based on images indexation / Abderrahmane Ez-Zahout, Jawad Oubaha // Proceedings of the 3rd International Conference of Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech) — 2017.
2. Lingchao, Kong. Object-Detection-Based Video Compression for Wireless Surveillance Systems / Lingchao Kong, Rui Dai // IEEE MultiMedia, Apr.-June 2017, Volume 24 , Issue 2 — P. 76 - 85.
3. Abderrahmane, Ezzahout. Conception and development of a video surveillance system for detecting, tracking and profile analysis of a person / Abderrahmane Ezzahout, Rachid Oulad Haj Thami // 3rd International Symposium ISKO-Maghreb — 2013.
4. Le Dao Thi Hue. HEVC based distributed scalable video coding for surveillance visual system / Le Dao Thi Hue, D.T. Duong, Xiem HoangVan // 2017 4th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science — 2017.
5. Jinsol Ha. Violence detection for video surveillance system using irregular motion information / Jinsol Ha, Jinho Park, Heegwang Kim, Hasil Park, Joonki Paik // 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC) — 2018.
6. Дамьяновски, В. CCTV. Библия охрального телевидения / Дамьяновски В. – М.: ООО «ИСС», 2002. – 352с.
7. Wang J., Qimei C., De Z., Houjie B. Embedded Wireless Video Surveillance System For Vehicle // International Conference on Telecommunications, Chengdu, China, 2006.
8. Beymer, D., McLauchlan, P., Coifman, B., Malik, J. A Real-Time Computer Vision System for Measuring Traffic Parameters // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997.
9. Micheloni, C., Foresti, G. L., Snidaro, L. A Co-Operative Multicamera System for Videosurveillance of Parking Lots // IEEE Symposium on Intelligent Distributed Surveillance Systems, London, 2003.
10. Barrenetxea, G., Ingelrest, F., Schaefer, G., Vetterli, M. Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring: The SensorScope experience // IEEE International Zurich Seminar on Communications, Zurich, 2008.
11. Chen, T. H., Wu, P. H. and Chiou, Y. C. An Early Fire-Detection Method Based on Image Processing // IEEE International Conference on Image Processing, Singapore, 2004.
12. Cutrona, L., Vivian, W., Leith, E., Hall, G., "A high-resolution radar combat-surveillance system," IRE Transactions on Military Electronics, Vols. MIL-5, no. 2, pp. 127-131, 2009.
13. Norris, C., McCahill, M., Wood, D. The growth of CCTV: a global perspective on the international diffusion of video surveillance in publicly accessible space // Surveillance and Society, vol. 2, no. 2/3, 2004, pp. 110-135.
14. Fleck, S., Strasser, W. Smart camera based monitoring system and its application to assisted living // Proceedings of the IEEE, vol. 96, no. 10, 2008, pp. 1698-1714.
15. Brezovan, M. A review on vision surveillance techniques in smart home environments / M. Brezovan, C. Badica // Proceedings of the 19th International Conference on Control Systems and Computer Science/ - 2013/ - P. 471 – 478.
16. Patrick, R. Surveillance systems for smart homes: A comparative survey / R. Patrick, N. Bourbakis // 21st IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence. – 2009. – P.248 – 252.
17. Kale, P.V. Review of Securing Home Using Video Surveillance / Kale P.V., Sharma S.D. // International Journal of Science and Research (IJSR). – Volume 3. – Issue 5. – May 2014. – P.1150-1154.
18. Krumm, J., Harris, S., Meyers, B., Brumit, B., Hale, M., Shafer, S. Multi-camera multiperson tracking for easy living // IEEE International Workshop on Visual Surveillance, Dublin, 2000.
19. IP surveillance: the next generation security camera application, July 2005. IP Surveillance Solutions [Online]. URL: ftp://ftp10.dlink.com/pdfs/products/IP_Surveillance_Solutions_Brief.pdf.
20. Foresti, G. L., Regazzoni, C. S. and Visvanathan, R. Scanning the issue/technology: Special issue on video communications, processing and understanding for third generation surveillance systems. Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 10, pp. 1355-1367, October 2001.
21. Diehl, C. P., Toward efficient collaborative classification for distributed video surveillance, Pittsburgh, 2000.

22. Green, M. W., "The appropriate and effective use of security technologies in U.S. schools. A guide for schools and law enforcement agencies," 1999.
23. Dramatically Reduce the Cost and Complexity of Video Surveillance Storage. Oracle white paper. February 2015. – 10 p. [Online]. Available: <http://www.oracle.com/us/solutions/oos/tiered-storage-infrastructure/wp-video-surveillance-storage-2288409.pdf>.
24. Guan, Y., Zhang, J., Shang, Y., Wu, M. and Liu, Y. Special environment embedded surveillance platform in China-Japan Joint Microwave Conference, Shanghai, 2008.
25. Rahimi, M., Baer, R., Iroezi, O. I., Garcia, J. C., Warrior, J., Estrin, D. and Srivastava, M., Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks, in International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, New York, 2005.
26. Dias, F., Chalimbaud, P., Berry, F., Serot, J. and Marmoiton, F. Embedded early vision systems: implementation proposal and hardware architecture, in Cognitive System for Interactive Sensors, Paris, 2006.
27. Downes, I., Baghaei, L., Aghajan, Rad and H., Development of a mote for wireless image sensor networks, in Cognitive systems for Interactive Sensors, Paris, 2006.
28. K. Lu and et al., "Wireless broadband access: WIMAX and beyond - a secure and serviceoriented network control framework for WIMAX networks," IEEE Communication Magazine, no. 45, 2007
29. Cao Z. Y., Ji, Z. Z. and Hu, M. Z. An image sensor node for wireless sensor networks, in International Conference on Information Technology: Coding and Computing, Las Vegas, 2005.
30. Загородня, Д.І. Алгоритми прослідковування контурів та виділення характерних точок в процедурі сегментації системи комп'ютерного розпізнавання / Д.І. Загородня, І.О. Палій, В.М. Крилов // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів (АСІТ'2013). – Тернопіль: ТНЕУ, 17-18 травня 2013. – С.129-130.
31. Загородня, Д.І. Метод розпізнавання облич за характерними точками контуру в комп'ютерних системах відеоспостереження. / Д.І. Загородня, І.О. Палій, В.М. Крилов // Труды XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» («СІЕТ-2013»). – Одеса, 27-31 травня 2013. – С. 49-52.
32. Загородня, Д.І. Алгоритм контурної сегментації в системах відеоспостереження / Д.І. Загородня, К.Ю. Ковалок, А.О. Саченко, В.М. Крилов // Всеукраїнська наукова Інтернет-конференція «Економічна кібернетика – інженерія економіки (випуск 24)» / Збірник тез доповідей: випуск 24. – Тернопіль: Тайп, 29-30 листопада 2013. – С. 3-5.
33. Крылов, В.Н. Вторичные преобразователи сигналов изображений / Крылов В.Н., Максимов М.В. – Одесса: Астропринт, 1997р. – 176 с.
34. Русин, Б.П. Системы распознавания образов з малими базами даних / Б.П. Русин, Б.О. Капустій, В.А. Таянов. – Львів: СПОЛОМ, 2006. – 152 с.
35. Гороховатский, В.А. Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек / В.А. Гороховатский, Е.П. Путятин // Реестрация, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т.10. - № 4. – С. 75-85.
36. Грицик, В. Методи та високопродуктивні паралельні системи для обробки та розпізнавання зображень у реальному часі / В.В. Грицик, О.М. Березький // International Journal of Computing. – 2014. – Том 2 – Вип. 1 (№ 3) – С. 25-34.
37. Білинський. Й.Й. Метод виділення контуру на слабконтрастних розмитих зображеннях / Й.Й. Білинський, І.В. Микулка // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. - № 3. – С. 164-169.
38. Прэт, У. Цифровая обработка изображений: в 2-х книгах / Прэт У.; пер. с англ. Д.С. Лебедев. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с., ил.
39. Canny, J.E. A computational approach to edge detection / J.E. Canny // IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679 - 698.
40. Анисимов, Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. – М.: Высшая школа, 1983р. - 295 с.
41. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт; пер. с англ. Г.Г. Вайнштейна и А.М. Васьковского под. ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1976. – 511с.
42. Полякова, М.В. Контурная сегментация изображений с использованием вейвлет-анализа / М.В. Полякова, В.В. Любченко // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. - № 1 (21). – С. 1-5.

43. Нгуен, К.М. Алгоритмы контурной сегментации и распознавания образов объектов систем технического зрения / Нгуен К.М., Колючкин В.Я. // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана «Наука и образование». – 2013. - № 4. – С. 187-200.
44. Фомин, Я.А. Статистическая теория распознавания образов / Я.А. Фомин, Г.Р. Тарловский. – М.: РиС, 1986. – 264 с.
45. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing, 3rd Edition, // R. C. Gonzalez, R.E. Woods - Pearson, 2007. – 976 p.
46. Фурман, Я. А. Введение в контурный анализ: приложения к обработке изображений и сигналов [Текст] / Я. А. Фурман, А. В. Кревецкий, А. А. Роженов, Р. Г. Хафизов, И. Л. Егошина, А. Н. Леухин ; под ред. Я. А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
47. Путятін, Є.П. Методи та алгоритми комп'ютерного зору: навчальний посібник / Є.П. Путятін, В.О. Гороховатський, О.О. Матат. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 236 с.32
- Загородня Д.І. Аналіз інтерполяційного методу виділення характерних точок контуру / Д.І. Загородня // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. –2015. – Том 6, Випуск 2. – С. 88-92.
48. Clark, J.J. Authenticating edges produced by zero-crossing algorithms / J.J. Clark // IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence. – 1989. – Vol. 12. – No. 8. – P. 830-831.
49. База зображень: AT&T Laboratories Cambridge. – <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/attarchive/facesatagance.html>.
50. Ian-Jiun, Ding. Compression for the Feature Points with Binary Descriptors / Ian-Jiun Ding, Szu-Wei Fu, Ching-Wen Hsiao, Pin-Xuan Lee, Yen-Chun Chen // Proceedings of the 19th International Conference on Digital Image Processing. – 2014, Taiwan. – P. 651-656.
51. Daguang, Jiang. Comparion and Study of Classic Feature Point Detection Algorithm / Daguang Jiang, Junkai Yiy // Proceedings of the International Conference on Computer Science and Service System. – 2012. – P. 2307-2309.
52. Neeta, Nain. Fast Feature Point Detector / Neeta Nain, Vijay Laxmi, Bhavitavya Bhadviya, Deepak B. M., Mushtaq Ahmed // IEEE International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems – 2008. – P. 301 - 306.
53. Rodehorst, V. Comparison and Evaluation of Feature Point Detectors [Text] / V. Rodehorst, A. Koschan // In Proc. of 5th Int. Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days "Geodesy and Geoinformation in the Service of our Daily Life". – Tech. Univ. of Berlin, Germany. – March 2006. – P. 8.
54. Tuytelaars, T. Local Invariant Feature Detectors: A Survey [Text] / T. Tuytelaars, K. Mikolajczyk // Found. and Trends in Computer Graphics and Vision. – 2008. – Vol. 3, No. 3, – P. 177-280.
55. Козина, Ю. Ю. Применение алгоритма веерной интерполяции для выделения характерных точек контуров реперных знаков на печатных платах / Ю.Ю. Козина // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - 2014. - Вип. 46. - С. 25-28.
56. Alok Kumar Singh Kushwaha. Performance evaluation of various moving object segmentation techniques for intelligent video surveillance system / Alok Kumar Singh Kushwaha, Rajeev Srivastava // International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 2014. - P. 196-201.

Рецензент статті
д.т.н., проф. Рач В.А.

Стаття рекомендована до
публікації 18.09.2018 р.