

В.П. Боюн, П.Ю. Сабельніков, Ю.А. Сабельніков

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ

АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ ТЕЛЕВІЗІЙНИХ І ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ВІДЕОПРИСТРОЯХ ТА СИСТЕМАХ СПЕЦПРИЗНАЧЕННЯ



Наведено результати виконання проекту «Розробка алгоритмів та програмних моделей для аналізу телевізійних та тепловізійних зображень» (шифр ВК 200.16.13). Проаналізовано відомі та запропоновано нові методи і алгоритми для обробки телевізійних та тепловізійних відеозображень, які дозволяють створювати більш ефективні пристрої та відеосистеми спеціального призначення.

Ключові слова: зображення, тепловізор, фільтрація, контур, порівняння об'єктів, системи реального часу.

Під час сучасних військових операцій, які проводяться у денний та нічний період, вирішальним є те, хто першим виявить об'єкт можливого супротивника на якомусь природному фоні за допомогою автоматизованої системи спостереження і представлення оператору більш якісного зображення. Це забезпечується за рахунок підвищення якості телевізійних і тепловізійних камер та використання технічних засобів і алгоритмів обробки зображень.

Метою виконуваної в Інституті кібернетики (ІК) ім. В.М. Глушкова НАН України науково-дослідницької роботи (НДР) було підвищення ефективності відеоприладів в системах озброєння (зокрема, для бронетанкової техніки) за рахунок розробки алгоритмів, призначених для обробки зображень у видимому та інфрачервоному діапазонах, що дозволить надавати необхідну комплексну інформацію оператору.

Останнім часом розроблено багато методів обробки зображень, зокрема цифрових фільтрів, які дозволяють суттєво зменшити вплив

шумів і розмитості та, покращивши контрастність зображення, підвищити виявну здатність телевізійного та тепловізійного каналів спостереження.

Загальної теорії поліпшення зображень не існує. Коли зображення обробляється для візуальної інтерпретації, остаточною суддею того, наскільки добре діє конкретний метод, є спостерігач. Візуальне оцінювання якості зображення — це вкрай суб'єктивний процес, який робить поняття «якісне зображення» деяким невловимим еталоном, за допомогою якого необхідно оцінювати ефективність алгоритму.

Нами були розглянуті та розроблені методи і алгоритми, що можуть стати базою при розробці набору програмних засобів для відеоприсроїв і систем, з яких оператор може вибрати необхідні для вирішення основних завдань у конкретній обстановці.

Фільтрація та сегментація дають можливість покращувати зображення чи виділяти окремі об'єкти. Алгоритми виділення контурів та порівняння за ними, або за їх окремими ділянками, дозволяють розпізнавати об'єкти за фор-

мою незалежно від зсуву, повороту і масштабу в умовах завад різної природи. Також за їх допомогою можна проводити юстировку телевізійного та тепловізійного зображень, якщо й не для їх суміщення, то хоча би для позначки на телевізійному зображенні замаскованих теплоенергетичних об'єктів. Панорамування може підвищити надійність спостереження за допомогою поворотної відеокамери. Алгоритми слідкування дадуть можливість автоматично відслідковувати на зображенні об'єкти, вказані оператором, та видавати координати об'єктів на виконавчі пристрої.

Крім того, в ІК ім. В.М.Глушкова НАН України були розроблені програми для перевірки запропонованих алгоритмів та архітектури перспективних обчислювачів і сенсорних пристроїв для реалізації трудомістких алгоритмів у реальному часі. Водночас в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України були проаналізовані похибки, що впливають на якість тепловізійних зображень та особливості їх обробки, та розроблені технічні, конструктивні рішення щодо приладів тепловізійного спостереження, підвищення їх виявної здатності, надійності та живучості.

Наведемо деякі результати щодо можливостей прискорення роботи алгоритмів первинної обробки зображень у відеопристроях, побудованих на базі сигнальних процесорів, та запропонований метод і алгоритм порівняння контурів об'єктів зображень.

ПЕРВИННА ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

Важливим моментом для забезпечення оперативної роботи в реальному часі спеціалізованих пристроїв обробки зображень (СПОЗ) є прискорення процесу обробки відеоданих та зменшення часу запізнювання видачі управляючих сигналів у контурі зворотного зв'язку. Це можна зробити за рахунок суміщення процесів уведення та оброблення відеоінформації, замінивши введення зображення кадрами введенням його меншими порціями, наприклад рядками [1–4].

Сучасні сигнальні процесори, на яких в більшості випадків будуються СПОЗ, дозволяють організувати обчислювальний процес з використанням каналів прямого доступу до пам'яті, які забезпечують уведення нової порції інформації з відеосенсора в той час, коли процесор оброблює попередню порцію даних. При цьому процесор в значній мірі звільняється від процесів уведення, і його внутрішні ресурси для обробки інформації використовуються економно. Тобто при такій організації процесу обробки відеоданих потрібно одночасно мати в оперативній пам'яті не все зображення, а тільки його чергову частку. Для цього вистачає внутрішньої пам'яті процесора, яка значно швидша за зовнішню. Наприклад, процесори серії Blecfin фірми Analog Devices з тактовою частотою 600–800 МГц мають час зчитування внутрішнього оперативного запам'ятовуючого пристрою (ОЗП) 1,7–1,3 нс, в той час як зовнішній ОЗП типу SDRAM з тактовою частотою 133 МГц, призначений для підключення до цих процесорів, дозволяє зчитувати дані за 22 нс, тобто на порядок повільніше.

У зв'язку з цим постає питання пристосування або розробки нових алгоритмів, які дадуть можливість реалізувати вказаний режим послідовного вводу і обробки окремих рядків відеозображення.

Для більшості задач систем технічного зору аналіз зображень — це такий процес, коли проводиться обробка зображень з виділенням окремих об'єктів, обчислюються їх параметри і робляться логічні висновки щодо кількості, якості та інших характеристик вибраних об'єктів. Рішення задачі, як правило, розбивається на декілька етапів, одним з яких є первинна обробка зображень. Вона зазвичай включає:

- + фільтрацію зображень;
- + сегментацію;
- + виділення і перетворення в інші представлення контурів об'єктів;
- + обчислення первинних параметрів об'єктів зображення тощо.

У процесі фільтрації із зображення усуваються «шуми» і воно в цілому стає більш «чистим». Сегментація — це поділ зображення на області з однаковими властивостями, кожна з яких відповідає окремому елементу або групі елементів. Після сегментації здійснюється процес виділення й перетворення контурів об'єктів в інші представлення з обчисленням характеристик об'єктів для послідуєчого їх аналізу.

Розглянуті методи і алгоритми фільтрації відносяться до віконних способів обробки зображень. У основі цих способів лежить процедура вибірки окремого пікселя з деяким його оточенням у рамках заданого вікна та виконання над вибраними значеннями пікселів операцій, у результаті чого отримується нове значення цього пікселя. Для обробки можуть залучатися маски з різними коефіцієнтами. Обробку такого типу можна проводити двома способами, сумістивши її з вводом відеоданих:

1) організувати накопичення в пам'яті декількох введених рядків зображення та послідовно видавати результати для послідуєчих етапів обробки;

2) послідовно вводити відеодані і накопичувати кілька рядків результатів обробки в пам'яті для послідуєчих етапів обробки.

Кількість рядків відеоданих, які потрібно зберігати в пам'яті, а також час запізнення видачі результатів визначаються розміром маски по вертикалі.

Сегментацію зображень за текстурними і кольоровими ознаками можна умовно поділити на 2 групи:

1) сегментація за відомими ознаками і характеристиками зон чи областей, які відшукуються на зображенні;

2) сегментація з урахуванням характеристик цього зображення, які попередньо потрібно визначити.

Для першої групи алгоритмів характерний аналіз зображення способом його сканування ковзним вікном або аналіз окремого пікселя у випадку деяких задач кольорової сегментації. Тому для цієї групи алгоритмів природним

буде вести обробку в режимі послідовного вводу рядків зображення, зберігаючи в пам'яті кількість рядків, яка відповідає розміру ковзного вікна по вертикалі.

Для другої групи алгоритмів потрібно спочатку визначити характеристики всього зображення (гістограми, статистичні параметри, спектральні ознаки тощо), тому формування ознак і відповідно проведення самої процедури сегментації можна тільки після отримання всього зображення і обчислення необхідних характеристик. При обробці відеопослідовностей більшість характеристик (напр., гістограми, статистичні параметри) можна, безумовно, обчислювати в процесі вводу чергового зображення і використовувати їх при обробці наступного зображення.

В [5] запропоновано алгоритм, який дозволяє на етапі кодування контурів їх перетворення та обчислення деяких первинних характеристик об'єктів проводити обробку відеоданих, отриманих на попередніх етапах, не чекаючи вводу всього кадру зображення. Це можливо завдяки тому, що алгоритми попередніх етапів (фільтрації та сегментації) також дозволяють реалізувати обробку зображень і отримувати результати в режимі суміщення вводу і обробки відеоінформації.

Отже, отримання первинних характеристик об'єктів, необхідних для подальшого аналізу з мінімальним запізненням відносно вводу останнього рядка відеокадру, має особливе значення для систем технічного зору, що застосовуються в режимі реального часу.

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗА ФОРМОЮ КОНТУРІВ

Нами запропоновано метод і алгоритм геометричного порівняння контурів об'єктів (з визначенням точного масштабу і орієнтації) за характеристиками неспотворених сегментів і більш точною чисельною оцінкою результатів порівняння [6].

Маючи оброблене і перетворене в бінарний вигляд зображення, проводиться процедура ви-

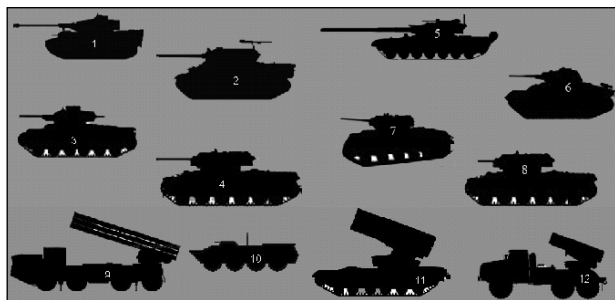
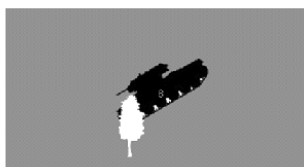
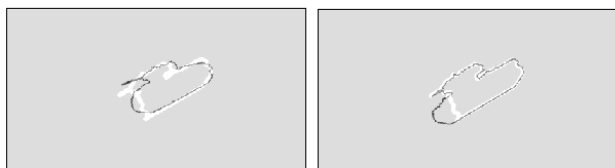


Рис. 1. Знімки, з яких сформована демонстраційна база еталонів військової техніки, що складається з 12 об'єктів



a



б

в

Рис. 2. Порівняння об'єкта і еталонів (в умовах завд 1 типу): *a* — силует об'єкту військової техніки, вибраний для порівняння; *б* — результат порівняння відомим методом; *в* — результат порівняння запропонованим методом



a



б

в

Рис. 3. Порівняння об'єкта і еталонів (в умовах завд 2 типу): *a* — силует об'єкту військової техніки, вибраний для порівняння; *б* — результат порівняння відомим методом; *в* — результат порівняння запропонованим методом

ділення контурів аналізованих об'єктів і порівняння їх з еталонами. Процедура проводиться в чотири етапи:

1) виділяються і перетворюються у векторну форму контури аналізованих бінарних об'єктів з обчисленням їх первинних параметрів, таких, як довжини контурів, моменти, координати центрів ваги. На даному етапі один або декілька виділених контурів з первинними параметрами можуть бути збережені як еталони для бази даних. Контур розбивається (вручну або автоматично) на декілька сегментів. Координати граничних точок сегментів також зберігаються;

2) проводиться відбір пар кандидатів (об'єкт—еталон) за характеристиками, обчисленими на основі первинних параметрів, шляхом порівняння з аналогічними характеристиками еталонів для подальшого геометричного порівняння. Слід мати на увазі, що для одного аналізованого об'єкта за характеристиками можуть підійти декілька еталонів. Для кожної обраної пари обчислюються приблизне масштабне співвідношення і приблизна взаємна орієнтація;

3) проводиться перебір всіх відібраних пар. Для кожного з сегментів контуру еталона вибраної пари з урахуванням приблизного масштабу і орієнтації за заданими критеріями відшукуються тотожні йому сегменти на контурі аналізованого об'єкта. Тобто проводиться пошук початкової та кінцевої точок сегмента. Як критерії тотожності сегментів використовується приблизна рівність (із заданою похибкою) довжин сегментів контурів об'єкта та еталона, а також відношення відстані між крайніми точками і довжиною кожного з цих сегментів. При порівнянні довжин враховується приблизний масштаб, а відношення є величинами, інваріантними до зсуву, повороту і масштабу;

4) обчислюються ймовірний масштаб, зміщення і взаємна орієнтація об'єктів за характеристиками тотожних сегментів контурів. Після чого проводиться накладення контуру еталона на шаблон контуру об'єкта з обчисленням

оцінки їх відповідності. За результат для ухвалення рішення або виконання наступної обробки береться накладення з найкращою оцінкою. Передбачається, що воно було отримано внаслідок знаходження неспотвореного сегмента контуру об'єкта, тотожного відповідному сегменту контуру еталона. Відповідно вважаються точними і використовуються для подальшого аналізу отримані при даному накладенні параметри — масштаб, зміщення і взаємна орієнтація.

Зменшити кількість накладень і, відповідно, час, необхідний для отримання кінцевого результату, можна, визначивши приблизно взаємну орієнтацію і масштабне співвідношення об'єкта та еталона, тим самим звузивши зону пошуку тотожних сегментів їх контурів, а також проводячи проміжні перевірки, які спростують або підтверджують доцільність проведення процедури накладення для шойно обраного сегмента. Це можливо за рахунок використання моментів бінарних зображень об'єктів [7, 8], кількість пікселів в яких практично не залежить від орієнтації на відміну від контурів.

На рис. 1 наведено знімки, з яких сформована демонстраційна база еталонів військової техніки, що складається з 12-и об'єктів. На рис. 2, *а* наведено силует об'єкта військової техніки в умовах завод 1 типу (вирізається частина зображення об'єкта) для порівняння з еталонами, які знаходяться в базі даних.

Порівняння об'єкта і еталонів проводилося двома методами:

1) *відомим* (рис. 2, *б*), коли суміщення об'єктів проводиться за центрами ваги (взаємна орієнтація розраховується за моментами другого порядку, а масштабне співвідношення — за моментами нульового порядку);

2) *запропонованим* (рис. 2, *в*), коли контур еталона розбивається на 4 сегменти та шукаються тотожні сегменти на контурі аналізованого об'єкта.

З рис. 2, *б* видно, що порівняння відомим методом приводить до хибного результату. Для аналізованого об'єкта було ідентифіковано зо-

всім інший еталон (номер 7), а порівнянням запропонованим методом було ідентифіковано саме той еталон (номер 8), який потрібен, що видно з рис. 2, *в*.

На рис. 3, *а* наведено силует об'єкта військової техніки в умовах завод 2 типу (до зображення об'єкта, що ідентифікується, додається зображення іншого об'єкта).

Порівняння проводилося тим же відомим методом (рис. 3, *б*) і запропонованим (рис. 3, *в*), як і для порівняння об'єктів військової техніки в умовах завод 1 типу.

Як і в попередньому випадку, порівняння відомим методом не дало правильних результатів. Об'єкт ідентифіковано з іншим еталонем за номером 2 (рис. 3, *б*). Навпаки, порівняння запропонованим методом було виконано правильно і об'єкт ідентифіковано з потрібним еталонем за номером 1 (рис. 3, *в*).

Для запропонованого методу аналізу проводилися за чотири сегментами, на які випадковим чином були розбиті контури еталонів. Порівняння за тотожними сегментами добре спрацьовує також при значних спотвореннях контурів об'єктів.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання НДР отримано основні науково-практичні результати:

1) проаналізовано похибки, які впливають на якість тепловізійних зображень, розглянуто особливості використання алгоритмів для обробки тепловізійних зображень, запропоновано рекомендації щодо їх застосування, також запропоновано і обґрунтовано використання кольорових палітр (особливо високо-контрастних) для покращення розпізнавання тепловізійних зображень;

2) розглянуто алгоритми попередньої обробки зображень (передискретизації, фільтрації, сегментації за різними ознаками, виділення і кодування контурів об'єктів зображення та обчислення їх первинних характеристик), запропоновано способи скорочення часу та підвищення продуктивності алгорит-

мів за рахунок суміщення процесів уводу і обробки інформації з використанням тільки внутрішньої пам'яті сигнального процесора відеопристроїв;

3) запропоновано оригінальний метод і алгоритми геометричного порівняння частково спотворених контурів об'єктів, виділення зон, де вони не співпадають, та чисельної оцінки результатів порівняння з еталоном, а також способи прискорення порівняння об'єктів з еталоном за рахунок обчислення і використання моментів інерції бінарних зображень об'єктів. Ці рішення дозволяють розпізнавати об'єкти за формою незалежно від зсуву, повороту і масштабу в умовах завод різної природи. Також за їх допомогою можна проводити юстировку телевізійного та тепловізійного зображень, для позначки на телевізійному зображенні замаскованих теплоенергетичних об'єктів;

4) запропоновано алгоритми створення панорамних зображень з відеопослідовностей, що підвищує надійність спостереження за допомогою поворотної відеокамери;

5) запропоновані алгоритми слідкування можуть бути основою для побудови систем візуального спостереження за рухомими об'єктами (крім того, вони дозволяють досягти значних ступенів стиску відеоінформації). Запропоновані способи поліпшення алгоритмів обчислень дозволяють значно зменшити кількість операцій, необхідних для пошуку об'єктів, що рухаються. Алгоритми слідкування дають можливість автоматично відслідковувати положення на зображенні об'єктів, вказаних оператором, та видавати їх координати на виконавчі пристрої;

6) запропоновано конструктивно-технологічні рішення для покращення тепловізійних зображень. Зокрема, запропоновано використання двоканальної системи тепловізійного спостереження (перший — в діапазоні 3–5 мкм та другий — в діапазоні 8–14 мкм), що забезпечить переваги у виявленні, розпізнаванні об'єктів зображення та слідкуванні за ними. Показано також, що одним з конструктивних рішень, які можуть забезпечити зменшення по-

хибки, може бути створення системи стабілізації температури для вхідного вікна;

7) запропоновано архітектуру паралельного мультипроцесора, який може бути реалізований на серійних програмованих логічних інтегральних схемах, що випускаються сьогодні, а також структури перспективних сенсорних пристроїв [9, 10, 11] з паралельною обробкою відеоінформації безпосередньо на сенсорній матриці (зокрема, бінаризація зображення, виділення об'єкта, визначення його первинних характеристик, моментів інерції тощо). Ці рішення дадуть можливість створювати відеопристрої для обробки зображень у реальному часі.

Розробка алгоритмів обробки та аналізу зображень з урахуванням їх специфіки дозволить створити сучасні, більш якісні відеопристрої та системи для забезпечення оборонної промисловості вітчизняними відеозасобами, що є актуальною задачею. Такі пристрої цифрової обробки зображень можуть знайти застосування і в багатьох інших сферах діяльності: промисловості, транспорті, робототехніці, медикобіологічних та наукових дослідженнях.

За результатами роботи отримано три патенти, опубліковано вісім робіт, результати доповідались на трьох Міжнародних конференціях.

Від Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України та Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України роботу було виконано за підтримки Програми науково-технічних проектів (розпорядження Президії НАН України від 27.02.2013 № 133) відповідно до теми «Розробка алгоритмів та програмних моделей для аналізу телевізійних та тепловізійних зображень» (шифр ВК200.16.13). Партнером виступало Державне підприємство «Науково-виробничий комплекс "Фотоприлад"», м. Черкаси.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Боюн В.П.* Сприйняття і обробка зображень в системах реального часу // Штучний інтелект. — 2013. — № 3(61). — С. 114–125.
2. *Боюн В.П.* Особливості обробки сигналів та зображень в системах реального часу // Тези доповідей Між-

- народної наукової конференції «Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку». — Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. — 2013. — С. 298—299.
3. *Боюн В.П., Сабельников П.Ю.* Системний підхід до оптимізації процесів уведення, сприйняття та обробки сигналів та зображень // Праці міжнародної наукової конференції «Питання оптимізації обчислень» ПОО-XL, 2013. — С. 43—44.
 4. *Боюн В.П.* Интеллектуальные видеосистемы реального времени // Матер. междунар. конф. «Украина—Россия—Сколково. Единое инновационное пространство». — Киев. — 2013. — С. 54.
 5. *Сабельников П.Ю.* Суміщення вводу і обробки зображень в інтелектуальній відеокамері // Міжнародна наукова конференція «Сучасна інформатика проблеми досягнення та перспективи розвитку» (тези доповідей). — Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. — 2013. — С. 286—288.
 6. *Сабельников П.Ю.* Сравнение контуров объектов с частично искажённой формой / П.Ю. Сабельников // J. of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. (Baku) — 2012. — № 34. — С. 47—58.
 7. *Сабельников П.Ю.* Вычисление и использование моментов бинарных изображений при геометрическом сравнении объектов // Научно—теоретический журнал «Искусственный интеллект. Artificial intelligence» (Донецк) — 2013. — № 3(61). — С. 223—232.
 8. *Сабельников П.Ю.* Вычисление и использование моментов бинарных изображений при геометрическом сравнении объектов // Материалы Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2013». — Казивели, АР Крым: Институт проблем штучного інтелекту МОН України і НАН України. — 2013. — С. 124—127.
 9. *Патент* на винахід № 104347. Пристрій для визначення місцеположення та параметрів об'єкта в зображенні. Боюн В.П., заяв. 19.06.2012, опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2, 2014. — 7 с.
 10. *Патент* на корисну модель №81142. Сенсорний пристрій для визначення місцеположення та центра ваги об'єкта. Боюн В.П., заяв. (17.12.2012, опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12, 2013. — 11 с.
 11. *Патент* на корисну модель № 82936. Сенсорний пристрій для визначення місцеположення та моментів інерції об'єкта. Боюн В.П., заяв. 21.01.2013, опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16, 2013. — 11 с.

В.П. Боюн, П.Ю. Сабельников, Ю.А. Сабельников
 Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова
 НАН України, Київ

АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВИДЕОУСТРОЙСТВАХ И СИСТЕМАХ СПЕЦНАЗНАЧЕНИЯ

Представлены результаты выполнения проекта «Разработка алгоритмов и программных моделей для анализа телевизионных и тепловизионных изображений» (шифр ВК 200.16.13). Проанализированы известные и предложены новые методы и алгоритмы для обработки телевизионных и тепловизионных видеоизображений, которые позволят создавать более эффективные устройства и видеосистемы специального назначения.

Ключевые слова: изображение, тепловизор, фильтрация, контур, сравнение объектов, системы реального времени.

V. Boyun, P. Sabelnikov, Yu. Sabelnikov
 V.M. Glushkov Institute of Cybernetics
 NAS of Ukraine, Kyiv

ALGORITHMS FOR ANALYSIS OF TELEVISION AND THERMAL IMAGES IN SPECIAL PURPOSE VIDEO DEVICES AND SYSTEMS

Results of the research project «Development of algorithms and program models for the analysis of television and thermal images» (code VC 200.16.13) are presented. The known methods and algorithms for television and thermal imaging video processing were analyzed and new ones that will allow to create more effective devices and systems for special purposes were offered.

Key words: image, thermal imager, filtration, contour, objects comparing, real-time systems.

Стаття надійшла до редакції 06.06.14