

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

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

ПРИСТРІЙ ОБРОБКИ ВІДЕОДАНИХ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО СУПРОВОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА, ВИЗНАЧЕНОГО У ЗОБРАЖЕННІ ОПЕРАТОРОМ



Наведено результати виконання проекту «Розробка пристрою обробки відеоданих для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором» (шифр ВК 200.18.14). Проаналізовані функції, які повинен виконувати пристрій, та вимоги до нього. Розроблено алгоритмічне, програмне та технічне забезпечення пристрою для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором.

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

Сучасна військова техніка неможлива без ефективних автоматизованих систем спостереження і супроводження цілей. Одними із засобів, що суттєво підвищують боєздатність сучасної спецтехніки, є якісні відеокамери денного та нічного відеоспостереження і пристрої, які дозволяють автоматично супроводжувати візуально вибрану ціль, суттєво полегшуючи роботу оператора та підвищуючи її ефективність.

Метою НДР, виконаної в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, було підвищення ефективності відеосистем спеціального призначення, зокрема для бронетанкової техніки, за рахунок розробки алгоритмів та пристрою обробки відеоданих для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором.

Останнім часом розроблено багато методів обробки зображень, зокрема цифрових фільтрів, які дозволяють суттєво зменшити вплив шумів, розмитості та покращити контрастність зображення і, завдяки цьому, підвищити виявну здатність телевізійного та тепловізійного кана-

лів спостереження, а також методів розпізнавання та слідування за об'єктами відеопослідовностей. Однак виникає безліч питань при впровадженні цих методів, при побудові конкретних алгоритмів для їх реалізації та пристроїв, в яких передбачено ці алгоритми використовувати.

Ця робота є продовженням попереднього проекту, виконаного у 2013 р. за темою ВК-200.16.13 «Розробка алгоритмів та програмних моделей для аналізу телевізійних та тепловізійних зображень» [1] і стосується прикладних аспектів розробки і оснащення спецтехніки (зокрема бронетанкової техніки) пристроями обробки відеоданих для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором.

У роботі були розглянуті та розроблені методи і алгоритми, що стали базою при розробці набору програмних засобів пристрою автоматичного супроводження цілі, з яких оператор може вибрати найбільш придатний для вирішення основних завдань у конкретній обстановці.

Фільтрація, підвищення різкості та контрастності дають змогу покращувати зображення. Алгоритми виділення контурів та порівняння за ними або за їх окремими ділянками, дозволяють

розпізнавати об'єкти за формою незалежно від афінних перетворень (зсуву, повороту, масштабу) та в умовах завад різної природи. Алгоритми відстеження дають можливість автоматично відслідковувати на зображенні об'єкти, вказані оператором, та видавати координати об'єктів на виконавчі пристрої.

Проведений аналіз сучасних сигнальних процесорів і процесорів на базі ядра ARM дозволив здійснити вибір комплектуючих для побудови пристрою обробки відеоданих з мінімальною кількістю компонентів. Були розроблені структурна і функціональна схеми пристрою обробки відеоданих та програми для перевірки запропонованих алгоритмів, зокрема оновлена комплексна програма для відпрацювання алгоритмів геометричного порівняння контурів об'єктів відеозображень в умовах афінних перетворень і завад різної природи та комплексна програма для слідування за окремими точками об'єктів відеопослідовностей, що включає також програми первинної обробки відеоданих.

При розробці і відпрацюванні алгоритмів враховувалась їхня реалізація у пристрої обробки відеоданих, побудованому на вибраному процесорі з використанням тільки внутрішньої швидкої пам'яті. Нижче надані також пропозиції щодо напрямків підвищення продуктивності пристроїв обробки відеоінформації для реалізації трудомістких алгоритмів в реальному часі.

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ ОБРОБКИ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

Для більшості задач систем слідування аналіз зображень — це такий процес, при якому проводиться обробка зображень з виділенням або заданням окремих точок об'єктів, обчислюються їх характеристики, і за цими характеристиками шукаються ці об'єкти чи точки на наступних кадрах відеопослідовності. Рішення задачі, як правило, розбивається на декілька етапів:

✦ фільтрація, покращення якості та, можливо, пірамідальне подання зображень з наступною поетапною обробкою окремих зображень піраміди;

- ✦ видобування ознак об'єктів або їх особливих ділянок (контурні лінії, області зображення чи особливі точки);
- ✦ перетворення в інші представлення цих ознак та обчислення їх характеристик;
- ✦ пошук за обчисленими характеристиками найбільш подібних об'єктів або точок на наступних кадрах відеопослідовності і обчислення їх координат;
- ✦ видача сигналів, що відповідають зміщенню координат, на виконавчі пристрої.

З урахуванням проведеного аналізу задач, які повинен виконувати пристрій, та вимог до нього пропонується на першому етапі включити до складу алгоритмічно-програмного забезпечення такі методи і алгоритми:

- ✦ методи і алгоритми попередньої обробки зображень (фільтрація від завад, підвищення контрастності та різкості зображень, підкреслення контурів об'єкта, нелінійного сприйняття яскравості);
- ✦ алгоритми слідування за об'єктом;
- ✦ способи задання початкових координат обраного об'єкта та видача координат об'єкта на виконавчі пристрої системи.

СЛІДУВАННЯ ЗА ОБ'ЄКТАМИ ЗОБРАЖЕНЬ

Постановка задачі слідування за об'єктами зображення можлива в декількох варіантах:

- ✦ об'єкт спостереження рухається, спостерігач з відеокамерою нерухомий;
- ✦ об'єкт спостереження нерухомий, спостерігач з відеокамерою рухається;
- ✦ об'єкт спостереження рухається, спостерігач з відеокамерою теж рухається.

Необхідно отримувати координати об'єкта спостереження відносно розташування і орієнтації спостерігача або напрямку на об'єкт відносно орієнтації спостерігача і відповідно визначати, в якому напрямку і з якою швидкістю рухаються визначені об'єкти уваги. У цілому задача комплексно вирішується шляхом розпізнавання об'єкта спостереження на отриманих зображеннях відеопослідовності за найбільш поширеними «візуальними ознаками» у

відстеженні об'єктів, такими, як рух, форма, колір та інтенсивність випромінювання.

Для аналізу було обрано такі найбільш часто використовувані алгоритми для захоплення і відстеження об'єктів:

- ✦ алгоритм шаблонів руху (Motion Templates) — заснований на пошуку меж об'єктів у кожному кадрі відеопотоку [2]. Зсув границі на новому кадрі щодо попереднього визначає вектор руху об'єкта. Даний алгоритм найбільш ефективний при русі великих об'єктів і часто використовується для розпізнавання динамічних жестів в людино-машинних інтерфейсах;
- ✦ алгоритм зсуву середнього (Mean-Shift) — заснований на математичній моделі, яка полягає в тому, що обчислюється локальний екстремум щільності розподілу набору характерних точок, тобто алгоритм відстежує зміщення центра мас точок, що визначають об'єкт стеження, отримуючи на виході вектор руху об'єкта [3]. Висока ефективність досягається при відмінності яскравостей об'єкта і фону;
- ✦ алгоритм безперервно адаптуючого зсуву (CamShift) — заснований на алгоритмі зсуву середнього, але відрізняється тим, що автоматично підлаштовує границі і розмір вікна, в межах якого розташовані характерні точки [4]. Таким чином проводиться більш точне відстеження об'єкта, що змінюється в розмірах;
- ✦ алгоритм Лукаса—Канаде (Lucas—Kanade) — заснований на диференційному обчисленні оптичного потоку за допомогою аналізу пікселів (передбачається, що оптичний потік однаковий для пікселів, що лежать в околі центра вікна стеження), при цьому зміщення пікселів між сусідніми кадрами має бути невеликим [5]. Даний алгоритм більше двадцяти років активно використовується в додатках комп'ютерного зору і вже довів свою високу ефективність для широкого кола застосувань;
- ✦ алгоритм Віоли—Джонса (Viola—Jones) — заснований на виявленні в кадрі наборів пікселів, що збігаються зі заздалегідь підібраними шаблонами, які складаються з білих і чорних

прямокутників [6, 7]. Для розпізнавання різних об'єктів потрібний свій унікальний набір шаблонів, який створюється шляхом навчання алгоритму на конкретному об'єкті. Правильно навчений алгоритм працює з високою ефективністю, проте сам процес навчання досить трудомісткий, вимагає від розробника-дослідника спеціальних знань про даний алгоритм і добре організованої навчальної вибірки.

Для початку роботи будь-якого алгоритму відстеження потрібно якимось чином ініціалізувати первісну область стеження або масив характерних точок. Існують алгоритми, які самостійно виявляють шуканий об'єкт в кадрі при його появі, а для решти об'єкт вказується вручну. Крім того, деякі алгоритми вимагають навчання перед їх використанням.

Для реалізації було вибрано метод Лукаса—Канаде з урахуванням того, що згідно з завданнями роботи точку на об'єкті слідкування задає оператор.

Алгоритм Лукаса—Канаде використовується досить широко в задачах оцінки руху об'єкта. Він відноситься до локальних методів обчислення оптичного потоку, тому що обробляє пікселі в околі певної точки.

Даний алгоритм припускає, що:

- а) зсув точок на поточному і попередньому зображеннях незначний;
- б) зсув точок в околі деякої точки однаковий;
- в) значення інтенсивностей пікселів не змінюються в часі:

$$I(x, y, t) - I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t) = 0, \quad (1)$$

де $I(x, y, t)$ — функція інтенсивності пікселя з координатами (x, y) в кадрі t і $(\delta x, \delta y)$ — зміщення пікселя між послідовними кадрами t і $t + \delta t$.

Припустимо, що $D = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ — набір точок в околі точки P .

Враховуючи мале зміщення при лінійному розкладанні функції для кожної з точок в ряд Тейлора, отримуємо систему рівнянь, яка розв'язується методом зважених найменших квадратів [5]. Для визначення вагових коефіцієнтів для пікселів на зображенні використовується функ-

ція $W(x, y)$. Згідно з цим методом для знаходження розв'язку необхідно мінімізувати помилку:

$$\varepsilon(\mathbf{v}) = \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot [I(x, y, t) - I(x + \delta x, y + \delta y, t + \delta t)]^2 = \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial x} v_x + \frac{\partial I}{\partial y} v_y + \frac{\partial I}{\partial t} \right)^2, \quad (2)$$

де $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$ – швидкість зсуву за відповідними координатами.

Для знаходження мінімуму помилки необхідно прирівняти до нуля $\frac{\partial \varepsilon(\mathbf{v})}{\partial v_x}, \frac{\partial \varepsilon(\mathbf{v})}{\partial v_y}$.

У результаті отримуємо рівняння:

$$\begin{cases} \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left[\left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 \cdot v_x + \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \cdot v_y + \frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial t} \right] = 0 \\ \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left[\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y} \cdot v_x + \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \cdot v_y + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{\partial I}{\partial t} \right] = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Ці рівняння можуть бути представлені в матричній формі $A \cdot \mathbf{v} + B = 0$, де

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 & \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial I}{\partial x} \right) \\ \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \right) & \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial t} \right) \\ \sum_{x,y \in D} W(x, y) \cdot \left(\frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial I}{\partial t} \right) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Отже, $\mathbf{v} = -A^{-1} \cdot B$.

Даний алгоритм є простим і швидким, тому у багатьох випадках досить ефективним. Серед недоліків алгоритму слід зазначити, що його можна використовувати тільки при невеликих зсувах об'єкта між кадрами. Для усунення цього недоліку на практиці використовується пірамідальний метод Лукаса–Канаде.

За базовий взято алгоритм слідування, розглянутий вище. Означимо цю процедуру в подальшому просто терміном «слідування», а алгоритм слідування з пірамідальним представленням зображень – терміном «пірамідальне слідування».

Отже, на вході процедури «слідування» маємо поточний і попередній кадри відеопослідовності, а також координати точки на попередньому кадрі, за якою слідуємо. На виході отримуємо координати цієї точки на поточному кадрі або не отримуємо, якщо слідування зірвало.

Представимо алгоритм «пірамідального» слідування крупними блоками:

1) організуємо цикл для послідовного отримання кадрів відеопослідовності;

2) отримуємо черговий кадр відеопослідовності;

3) будуємо з отриманого кадру чергову піраміду зображення з заданою кількістю рівнів k шляхом гауссової фільтрації і прорідження зображення по горизонталі і вертикалі для кожного з рівнів піраміди;

4) перевіряємо наявність координат точки (x, y) , за якою потрібно слідувати (якщо вона відсутня – переходимо до кроку 8, якщо вона є – продовжуємо дії далі);

5) обчислюємо координати точки для k -ого рівня піраміди $(x = x/2^k, y = y/2^k)$;

6) цикл за рівнями піраміди $(n = k, \text{поки } n \geq 0, n = n - 1)$;

7) процедура «слідування» (вхід: зображення n -ого рівня поточної і попередньої піраміди, координати (x, y) ; вихід: координати (x, y) ; $x = x * 2, y = y * 2$);

8) попередня піраміда = поточна піраміда;

9) перехід до кроку 2.

Пірамідальний алгоритм дозволяє слідувати за точками при їх більш значному зміщенні кадр від кадру, тобто слідувати за точкою об'єкта, що рухається з більшою швидкістю.

На даному етапі робіт була розроблена комплексна програма слідування для відпрацювання окремих блоків і в цілому алгоритму слідування за окремими точками об'єктів відеопослідовності, визначених оператором. Оболонку комплексної програми слідування представлено на рис. 1.

Згідно з Технічним завданням розроблені і реалізовані: інтерфейс користувача; загальна оболонка комплексної програми та блоки вводу ві-



Рис. 1. Оболонка комплексної програми слідкування

деозображень з відеопослідовності (відеофайл) і виводу на екран (можливий вивід кольорового або перетвореного сірого зображення, задається опцією «Вивід»); блоки попередньої обробки відеозображень (різноманітні фільтри, задаються опцією «Фільтрація»); програмний блок задання оператором точки на зображенні, за якою потрібно слідкувати; основна процедура слідкування за заданою оператором точкою.

На рис. 1 також наведено один з кадрів відеопослідовності при роботі програми «Слідкування» за точкою, вказаною оператором (хрестик на зображенні танка). Оператор задає точку наведенням на потрібне місце курсора та натисканням лівої клавіші миші.

МЕТОД ГЕОМЕТРИЧНОГО ПОРІВНЯННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МОМЕНТІВ ВІДРІЗКІВ КОНТУРНИХ ЛІНІЙ

У рамках даної роботи для задачі пошуку об'єкта при зриві слідкування пропонується метод і алгоритм [8], що дозволяють порівню-

вати поточні, розірвані ділянки контурів об'єктів, які спостерігаються, з еталонами об'єкта, отриманими при стійкому супроводженні. Для скорочення кількості прямих геометричних порівнянь контурів попередньо розраховують моменти відрізків контурних ліній як суму моментів ліній, що з'єднують сусідні пікселі по горизонталі, вертикалі та діагоналі, та порівнюють їх моментні інваріанти. При цьому враховується можливе масштабне відхилення.

Формула обчислення моментів контурних ліній до k -ого порядку:

$$M_{j,k-j} = \sum_{i=1}^{N-1} B_i \cdot x_i^j y_i^{k-j}, j = (0, k), \quad (5)$$

де $M_{j,k-j}$ — моменти контурних ліній; B_i — значення, які дорівнюють 1 для міжпіксельних ліній по горизонталі і вертикалі та $\sqrt{2}$ для міжпіксельних ліній по діагоналі; x_i, y_i — координати середини міжпіксельних ліній; N — кількість пікселів контурної лінії (кількість міжпіксельних ліній на одиницю менше).

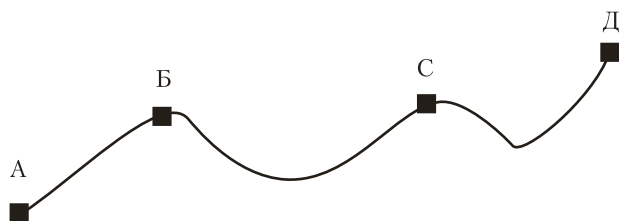


Рис. 2. Контурна лінія, розбита на відрізки

Розрахунок моментів відрізків контурних ліній буде простим і більш швидким, якщо при обході і векторизації контурних ліній для кожної з них буде обчислено вектор моментів розміром $N - 1$ (кількість міжпиксельних ліній). Кожен компонент вектора дорівнює моменту відрізка від його початку до відповідної точки контурної лінії.

Таким чином, момент $M(B-C)$ від точки B до точки C буде дорівнювати (дивись рис. 2):

$$M(B - C) = M(A - C) - M(A - B), \quad (6)$$

де A — початок контурної лінії; $M(A - C)$ — момент відрізка між A і C; $M(A - B)$ — момент відрізка між A і B.

Детальний опис методу і алгоритму надано в [8].

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ

Згідно з умовами застосування і передбаченими функціями роботи пристрій повинен включати такі блоки:

- ✦ процесор з КЕШ-пам'яттю;
- ✦ оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП);
- ✦ постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП);
- ✦ шинний комутатор;
- ✦ засоби аналогового відеовводу, відеодекодер та контролер прямого доступу до пам'яті для вводу відеоданих одночасно з обчисленнями;
- ✦ двоканальний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) для видачі аналогових сигналів управління виконавчим пристроєм;
- ✦ блок вводу—виводу цифрових сигналів для прийому сигналів управління та видачі сигналів стану пристрою;

- ✦ блок зв'язку з персональним комп'ютером (ПК) USB або UART для налаштування пристрою;

- ✦ блок енергоживлення для перетворення бортової напруги 27 В у необхідні стабільні напруги для живлення всіх блоків пристрою.

Сьогодні багато фірм, що виробляють цифрові сигнальні процесори (DSP), орієнтують їх на конкретні застосування. Сучасні DSP можна поділити на три категорії: 1) недорогі з фіксованою точкою; 2) високопродуктивні з фіксованою точкою і 3) процесори із плаваючою точкою. Це дуже приблизна класифікація, оскільки багато процесорів можна розмістити в двох категоріях. Для відеозастосувань в основному пропонується використовувати високопродуктивні процесори з фіксованою точкою. За оцінкою експертів Berkeley Design Technology, Inc (BDTI) основними виробниками таких сімейств DSP-процесорів на ринку є Analog Devices (ADI), Freescale та Texas Instruments (TI). Також існує безліч компаній-початківців, що пропонують високопродуктивні DSP-процесори з фіксованою точкою. Це багатоядерні пристрої, що мають архітектуру з масовим паралелізмом.

Вибір процесорної платформи при проектуванні відеопристроїв — досить складне завдання. Для того щоб він був правильним, необхідно проаналізувати ряд питань:

- ✦ оцінка продуктивності процесора;
- ✦ оцінка необхідної смуги пропускання системи;
- ✦ аналіз пристроїв вводу/виводу процесора;
- ✦ вибір арифметики процесора;
- ✦ врахування технічних характеристик;
- ✦ аналіз засобів розробки програмного забезпечення.

Згідно із зазначеними критеріями для побудови пристрою обробки відеоданих вибрано гібридний кристал фірми Freescale. Цей кристал об'єднує в собі практично всі основні компоненти пристрою обробки відеоданих, такі, як:

- ✦ два процесори на базі ядер ARM-Cortex™-A5 (500 MHz) і Cortex™-M4 (167 MHz) cores;
- ✦ оперативна пам'ять, достатньо великого розміру — 1,5 Мб;

- ✦ засоби для аналогового та цифрового вводу відеозображень з відеокамер;
- ✦ цифро-аналогові перетворювачі для виводу управляючих сигналів в аналоговій формі;
- ✦ швидкісні канали прямого доступу до пам'яті.

На рис. 3 наведена функціональна схема пристрою обробки відеоданих.

Пристрій включає такі блоки:

- ✦ процесор сімейства Vybrid MVF61NS151CMK50 з процесорними ядрами Cortex — A5 (500 МГц) і Cortex — A4 (167 МГц) та широким набором периферії (можлива заміна на кристали MVF61NNS151CMK50, MVF60NS151CMK50, MVF60NN151CMK50);
- ✦ постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), підключений до інтерфейсу QSPI;
- ✦ імпульсний блок енергоживлення для перетворення напруги з 5 у 3,3 В та інші напруги, необхідні для живлення процесора та ПЗП;
- ✦ імпульсний блок енергоживлення для перетворення напруги з 27 В у 5 В.

Робота пристрою здійснюється в двох режимах:

1. Занесення в ПЗП програми після виготовлення пристрою. У цьому режимі пристрій підключається до персонального комп'ютера (інтерфейс USB) та за рахунок спеціальної програми здійснюється занесення програми в ПЗП. Вхід блоку живлення перемикається на 5В від USB.

2. Робота в штатному режимі у складі системи відеоспостереження для слідкування за об'єктом, визначеним оператором. Оператор наводить лінію візування відеокамери (центр зображення) на необхідну точку об'єкта та подає сигнал пристрою. Після цього виконується слідкування за вказаною точкою та видаються на виконавчі пристрої аналогові сигнали, що відповідають зміні координат об'єкта, та звукові або візуальні сигнали, що сповіщають оператора про стан пристрою (невпевнене стеження або зрив стеження). Крім того, за рахунок цифрових входів, підключених до органів керування

оператор може задати режим попередньої обробки зображень згідно з зовнішніми умовами.

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРИСТРОЇВ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Колосальним резервом для прискорення процесів обробки зображень є розробка і використання засобів паралельної обробки інформації. Ще від 1970-х років існує велика кількість робіт, присвячених цим питанням (напр., [9, 10]). Але тільки сьогодні технологічний рівень електронної промисловості дозволив реалізувати елементну базу для ефективної побудови паралельних обчислювачів і систем. До таких засобів відносяться процесори, що реалізують систему команд SIMD (Cortex-A5 NEON MPE розширює функціональність Cortex-A5 для забезпечення підтримки множини команд ARM v7 Advanced SIMD v2), програмовані логічні інтегральні схеми (наприклад, ПЛІС фірми Xilinx [11]) або спроектовані заказні великі інтегральні схеми, на яких можна реалізувати обчислювачі, що дозволять в одному чіпі зберігати мільйони та паралельно обробляти сотні, навіть тисячі пікселів відеозображень.

Для пояснення принципу паралельної обробки інформації типу «один потік команд, декілька потоків даних» на рис. 4 наведено варіант структурної схеми універсального мультипроцесора, побудованого на ПЛІС сімейства FPGA фірми Xilinx.

Представлений мультипроцесор може бути побудований на одному чіпі ПЛІС і включає:

- ✦ управляючий RISC-процесор «PowerPC 405»;
- ✦ цифрові сигнальні процесори (ЦСП) «DSP 48 Slices»;
- ✦ двохпортові секції запам'ятовуючого пристрою (СЗП) «RAM».

Для приведеної структури мультипроцесора при реалізації алгоритму КІХ-фільтра для обробки зображень з розміром $k \times n$ отримаємо підвищення швидкості обчислень приблизно в k раз, прийнявши час виконання векторних операцій над рядком відеоданих (читання даних із СЗП, множення і накопичення, зсув) за 1 такт.

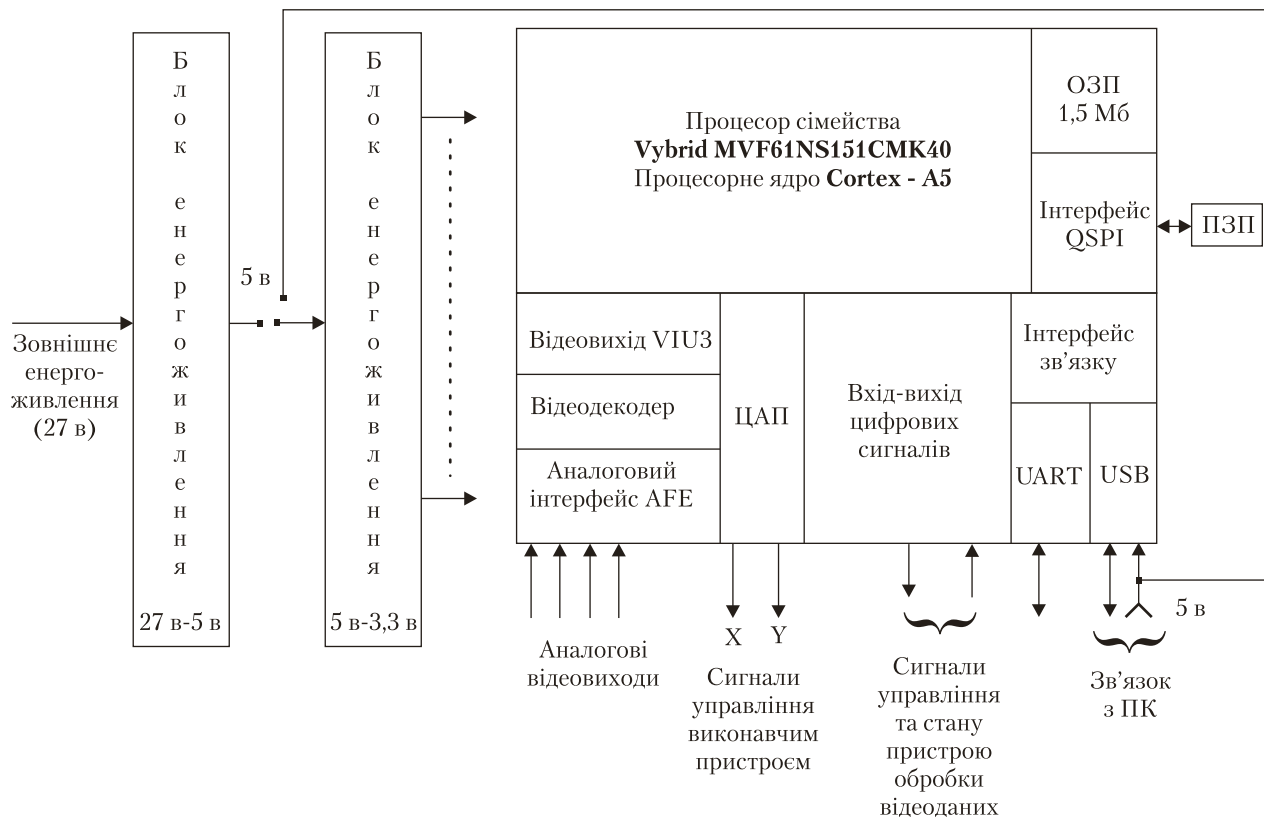


Рис. 3. Функціональна схема пристрою обробки відеоданих

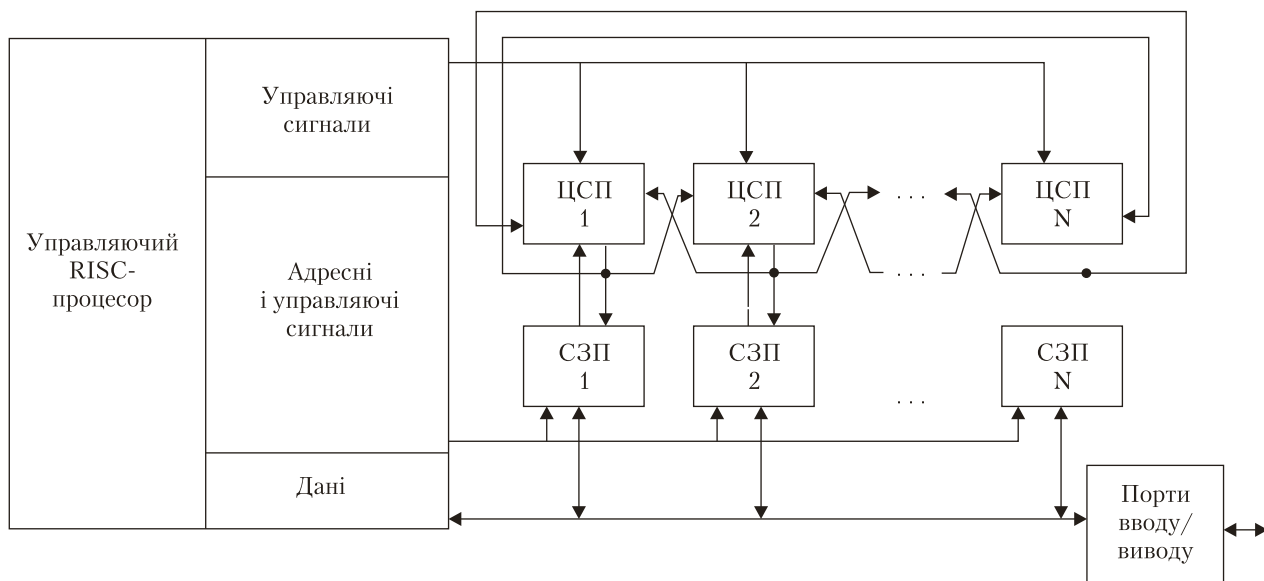


Рис. 4. Структурна схема універсального мультипроцесора

Традиційно визначення місцеположення, параметрів та моментів інерції об'єкта слідкування здійснюється шляхом послідовного зчитування в комп'ютері значень яскравості пікселів з відеосенсора для послідувочої обробки зображення, що приводить до зниження частоти кадрів, та унеможливує слідкування за рухом високодинамічних об'єктів. Тому для підвищення швидкодії пристроїв обробку відеоінформації суміщають з її сприйняттям відеосенсором, розміщуючи пристрій обробки безпосередньо на сенсорі [12, 13]. Це дозволяє розпаралелити процес обробки та сприяє значному підвищенню частоти відеозйомки. У рамках даної роботи були розроблені: сенсорний пристрій для визначення місцеположення і параметрів об'єкта [14] та сенсорна матриця з обробкою зображень [15].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання НДР були отримані такі основні науково-практичні результати:

- ✦ розроблені алгоритми функціонування пристрою для автоматичного супроводження точки об'єкта, визначеної на зображенні оператором, зокрема алгоритми лінійної та нелінійної фільтрації зображення від завад, підвищення контрасту та різкості зображень, виділення контурного зображення та обчислення статичних характеристик об'єктів, пошуку і розпізнавання об'єктів з частково спотвореною формою, слідкування за окремими точками рухомих об'єктів;
- ✦ розроблені структурна, функціональна та електрична схеми пристрою обробки відеоданих для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором;
- ✦ надані для впровадження алгоритми та схеми пристрою, розроблені з врахуванням використання їх у діючій системі управління реального об'єкта оборонного призначення, що дозволить розширити функціональні можливості та підвищити ефективність системи управління;
- ✦ вказані напрямки підвищення продуктивності пристроїв обробки відеоданих, які до-

звolyть проводити більш складну обробку зображень у реальному часі.

Отримані результати роботи, зокрема метод і алгоритми пошуку і розпізнавання об'єктів з частково спотвореною формою, послужать базою для подальших теоретичних і прикладних досліджень з метою розширення кола застосувань та підвищення їх ефективності при роботі в реальному часі (наприклад, для систем контролю форми, розмірів і якості продукції в промисловості).

Результати роботи будуть використані при розробці відеоприладів і систем спостереження спеціального призначення, що серійно виробляються на Державному підприємстві НВК «Фотоприлад» для оснащення бронетанкової та іншої військової техніки, на що отримано відповідний акт використання результатів роботи.

За результатами НДР опубліковано 2 статті, отримано 2 патенти.

Роботу виконано за підтримки Програми науково-технічних проектів (розпорядження Президії НАН України від 05.03.2014 №142) відповідно до теми «Розробка пристрою обробки відеоданих для автоматичного супроводження об'єкта, визначеного у зображенні оператором» (шифр ВК 200.18.14). Партнером виступало Державне підприємство «Науково-виробничий комплекс "Фотоприлад"» м. Черкаси.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Богун В.П., Сабельніков П.Ю., Сабельніков Ю.А.* Алгоритми аналізу телевізійних і тепловізійних зображень у відеопристроях та системах спецпризначення // Наука та інновації. — 2014. — Т.10, № 6. — С. 19–25.
2. *Müller M., Röder T.* Motion templates for automatic classification and retrieval of motion capture data // In Proc. ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation (SCA). Vienna, Austria, 2006. — P. 137–146.
3. *Comaniciu D., Meer P.* Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI). — 2002. — V. 24, №5. — P. 603–619.
4. *Wang Z., Yang X., Xu Y., Yu S.* CamShift guided particle filter for visual tracking // Pattern Recognition Letters (PRL). — 2009. — V. 30, №4. — P. 407–413.

5. Baker S., Matthews I. Lucas–Kanade 20 Years On: A Unifying Framework // *International Journal of Computer Vision (IJCV)*. – 2004. – V. 56, №3. P. 221–255.
6. Алфимцев А.Н., Лычков И.И. Метод обнаружения объекта в видеопотоке в реальном времени // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 44–55.
7. Kasinski A., Schmidt A. The architecture and performance of the face and eyes detection system based on the Haar cascade classifiers // *Pattern Analysis and Applications (PAA)*. – 2010. V. 13, №2. – P. 197–211.
8. Sabelnikov P.Y. Algorithm geometric comparison of contour images of objects // *J. of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. (Baku)*. – 2014. – V. 2, № 2. – С. 166–175.
9. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы. – М.: Наука, 1980. – 520 с.
10. Фет Я.И. Параллельные процессоры для управляющих систем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 160 с.
11. Палагин А.В. Проектирование реконфигурируемых цифровых систем: монография / А.В. Палагин, А.А. Баркалов, В.Н. Опанасенко, Л.А.Титаренко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2011. – 432 с.
12. Боюн В.П. Сприйняття і обробка зображень в системах реального часу // *Штучний інтелект (Донецьк)*. – 2013. – №3(61). – С. 114–125.
13. Боюн В.П. Інтелектуальні відеосистеми реального часу // *Матеріали п'ятої Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія» (ІТКІ–2015), 27–29 травня 2015, Івано-Франківськ. – Вінниця: Прикарпатський національний університет. – С. 112–114.*
14. Пат. України на винахід №106301, БВ №15. Сенсорний пристрій для визначення місцеположення та моментів інерції об'єкта / Боюн В.П. Опубл. 11.08.2014.
15. Пат. України на винахід №109335, БВ №15. Сенсорна матриця з обробкою зображень / Боюн В.П. Опубл. 10.08.2015.
5. *SIGGRAPH Symposium on Computer Animation (SCA)*. Vienna, Austria, 2006: 137–146.
3. Comaniciu D., Meer P. Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*. 2002. 24(5): 603–619.
4. Wang Z., Yang X., Xu Y., Yu S. CamShift guided particle filter for visual tracking. *Pattern Recognition Letters (PRL)*. 2009. 30(4): 407–413.
5. Baker S., Matthews I. Lucas–Kanade 20 Years On: A Unifying Framework. *International Journal of Computer Vision (IJCV)*. 2004. 56(3): 221–255.
6. Alfimcev A.N., Lychkov I.I. Metod obnaruzhenija obekta v videopotoke v real'nom vremeni. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta*. 2011. 17(1): 44–55 [in Russian].
7. Kasinski A., Schmidt A. The architecture and performance of the face and eyes detection system based on the Haar cascade classifiers. *Pattern Analysis and Applications (PAA)*. 2010. 13(2): 197–211.
8. Sabelnikov P.Y. Algorithm geometric comparison of contour images of objects. *J. of Qafqaz University. Mathematics and Computer Science. (Baku)*. 2014. 2(2): 166–175.
9. Golovkin B.A. *Parallel'nye vychislitel'nye sistemy*. Moskva: Nauka, 1980 [in Russian].
10. Fet Ja.I. *Parallel'nye processory dlja upravljajushchih sistem*. Moskva: Jenergoizdat, 1981 [in Russian].
11. Palagin A.V. *Proektirovanie rekonfiguriruemih cifrovih sistem: monografija*. A.V. Palagin, A.A. Barkalov, V.N. Opanasenko, L.A.Titarenko. Lugansk: Izd-vo VNU im. V. Dallya, 2011 [in Russian].
12. Bojun V.P. Sprynjattja i obrobka zobrazhen' v systemah real'nogo chasu. *Shtuchmyj intelekt*. 2013. No 3(61): 114–125 [in Ukrainian].
13. Bojun V.P. Intelektual'ni videosystemy real'nogo chasu. *Materialy p'jatoi' Mizhnarodnoi' naukovo-praktychnoi' konferencii' «Informacijni tehnologii' ta komp'juterna inzhenerija» (ITKI–2015), 27–29 travnja 2015, Ivano-Frankivs'k. Vinnycja: Prykarpats'kyj nacional'nyj universytet*, 2015: 112–114 [in Ukrainian].
14. Пат. України на винахід №106301, БВ №15. Сенсорний пристрій для визначення місцеположення та моментів інерції об'єкта. Bojun V.P. [in Ukrainian].
15. Пат. України на винахід №109335, БВ №15. Сенсорна матриця з обробкою зображень. Bojun V.P. [in Ukrainian].

REFERENCES

1. Bojun V.P., Sabel'nikov P.Ju., Sabel'nikov Ju.A. Algoritmy analizu televizijnyh i teplovizijnyh zobrazhen' u videoprystrojah ta systemah specpryznachennja. *Nauka innov*. 2014. 10(6): 19–25 [in Ukrainian].
2. Müller M., Röder T. Motion templates for automatic classification and retrieval of motion capture data. *In Proc. ACM*

В.П. Бояун, П.Ю. Сабельников, Ю.А. Сабельников

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова
НАН Украины, Киев

**УСТРОЙСТВО ОБРАБОТКИ ВИДЕОДАНЫХ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ
ОБЪЕКТА, ОПРЕДЕЛЁННОГО
НА ИЗОБРАЖЕНИИ ОПЕРАТОРОМ**

Представлены результаты выполнения проекта «Разработка устройства обработки видеоданных для автоматического сопровождения объекта, определенного на изображении оператором» (шифр ВК 200.18.14). Проанализированы функции, которые должно выполнять устройство и требования к нему. Разработано алгоритмическое, программное и техническое обеспечение устройства для автоматического сопровождения объекта, определенного на изображении оператором.

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

V. Boyun, P. Sabelnikov, Yu. Sabelnikov

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics,
the NAS of Ukraine, Kyiv

**VIDEO PROCESSING DEVICE
FOR AUTOMATIC OBJECT TRACKING
DEFINED IN THE IMAGE
BY OPERATOR**

Results of the research project «Developing video processing device for automatic object tracking defined in the image by operator» (code VC 200.18.14) are presented.

The functions the device should fulfil and requirements to it are analyzed. Algorithms, software and hardware for automatic tracking of the object specified in the image by the operator are developed.

Keywords: image, filtration, object comparing, object tracking, real-time systems.

Стаття надійшла до редакції 12.06.15