

ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

УДК 681.783.325(045)

¹М. П. Мухіна, канд. техн. наук, доц.,²Н. Ю. Баграновська,³Ю. І. ПочапськаАЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ЗА ШАБЛОНОМ
З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕТЕКТОРА ХАРРІСА¹Інститут електроніки та систем управління, НАУ, e-mail: m_mukhina@inbox.ru²Інститут електроніки та систем управління, НАУ, e-mail: geneous@ukr.net³Інститут електроніки та систем управління, НАУ, e-mail: pochapska@ua.fm

Розглянуто проблеми візуального розпізнавання рухомого об'єкта, втрати об'єкта, за яким ведеться відеоспостереження, у разі його зникнення з поля зору за перешкодою та повторного розпізнавання. Проведено аналіз методів розпізнавання зображень, зокрема за шаблонами та з використанням характерних ознак об'єкта. Запропоновано використання детектора Харріса для відновлення спостереження за об'єктом у разі його появи в полі зору. Результати розробленого алгоритму можуть бути використані для різних цілей та якостей відеопотоку.

Ключові слова: автосупроводження, детектор Харріса, центроїдний метод, кореляційний метод.

Вступ. Основними галузями застосування аналізу зображення є біомедичний аналіз зображень (томографія тканин, клітин, хромосом, біоінформатика), метеорологія, цифрова мікроскопія, перевірка підпису, дистанційне зондування, розпізнавання, діагностика техніки, ідентифікація особи тощо.

Розпізнавання об'єктів у комп'ютерному зорі є завданням знаходження певного об'єкта на зображенні або відеопослідовності. Люди розпізнають безліч об'єктів на зображенні без особливих зусиль, незважаючи на те, що образ об'єкта може дещо відрізнятися з різних точок зору, різними розмірами або масштабами, навіть коли об'єкти спотворені. Розпізнавання відбувається навіть тоді, коли об'єкти частково візуально недоступні. Проте для систем машинного зору ця проблема досі залишається не розв'язаною повністю.

Розпізнавання візуального об'єкта для завдань відеоспостереження загалом проводять двома основними способами: кореляційним та центроїдним. Проте жоден з них не в змозі розпізнати об'єкт у разі його тимчасового зникнення за перешкодою або за втрати об'єкта за інших умов (наприклад, при еволюції руху об'єкта та зміни його форми).

Для повторного захоплення та розпізнавання об'єкта для розв'язання завдання автосупроводження пропонується використовувати характерні ознаки об'єкта, такі, як, наприклад, контури об'єкта, що перетинаються під кутом, наближеним до прямого. Одним зі способів визначення таких особливостей є детектор Харріса, що і буде розглянуто далі.

Постановка завдання. Завдання, яке необхідно вирішити, полягає в такому: потрібно відстежити рухомий об'єкт за його характерними особливостями, беручи до уваги, що його візуалізації заважають перешкоди.

Відстежений об'єкт задається оператором як одна з точок, яка йому належить. Спочатку слід визначити всі пікселі зображення $I_m = \{p_1, p_2 \dots p_n\}$, що належать об'єкту, і створити модель для подальшого відстеження об'єкта. Далі будемо визначати всі об'єкти на зображенні та ідентифікацію необхідного об'єкта за його характерними особливостями у разі його зникнення за перешкодою та повторної появи у полі зору.

Зображення, перетворене у формат grayscale, являє собою набір пікселів 320×240 . Припустимо, що оператор задає точку на зображенні, яка належить об'єкту.

Будемо використовувати такі обмеження:

- розміри об'єкта не більші ніж 48×48 пікселів;
- розміри об'єкта не менші ніж 5×5 пікселів;
- контраст об'єкта не менший ніж 5 % насиченості фону;
- максимальна швидкість зміщення центра об'єкта не більша ніж 8 пікселів/кадр.

Завдання буде вважатися розв'язаним, якщо при повторному захопленні об'єкта той буде визначений як сукупність точок $I_{m0} = \{p_1, p_2 \dots p_n\}$, що йому належать, з похибкою, яка знаходиться як різниця координат центра об'єкта $\Delta x = |x - x_0|$, $\Delta y = |y - y_0|$. Тут x, y – координати центра об'єкта, визначеного людиною-оператором; x_0, y_0 – координати центра об'єкта, визначеного алгоритмом. Ці різниці не мають перевищувати половини лінійних розмірів відстежуваного об'єкта.

Огляд методів. Найбільш поширеними методами розпізнавання зображень є:

- кореляційний метод;
- метод Харріса;
- метод розпізнавання по шаблонах;

Розглянемо більш детально ці методи.

Кореляційний метод. Кореляційний метод полягає в тому, що ділянка кожної ознаки першого зображення порівняно з ділянкою кожної ознаки на іншому зображенні визначається формулою

$$\rho = \frac{\lambda_{12}}{\sqrt{\lambda_{11}\lambda_{22}}} - \text{коефіцієнт кореляції, де } \lambda_{11} = M(x_1 - \xi_1)^2 = Dx_1, \lambda_{22} = M(x_2 - \xi_2)^2 = Dx_2;$$

$$\lambda_{12} = M(x_1 - \xi_1)(x_2 - \xi_2) = \text{cov}(x_1, x_2);$$

$$\xi_1 = Mx_1, \xi_2 = Mx_2;$$

x_1 – відтворення області першого зображення; x_2 – відтворення області другого зображення; $M(x)$ – математичне сподівання; $D(x)$ – дисперсія.

Для поліпшення алгоритму можна порівняти не всі ознаки іншого зображення, а тільки ознаки певної області першого зображення.

Теоретично коефіцієнт кореляції правильно порівнянних ознак повинен дорівнювати одиниці. Але насправді коефіцієнт кореляції буде меншим. В експериментах його значення зазвичай становить 0,75. Поріг зростання (коефіцієнт збільшення) дозволяє зменшити кількість помилкових порівнянь, проте кількість порівнюваних пар зменшується.

Якщо умови приймання нових зображень відповідають умовам отримання стандартних (освітлення, точка спостереження людини, нахил, поворот, масштаб, фон тощо), кореляція (відповідність) між ними близька до одиниці. Рівень розпізнавання досягає 96 %. Однак, якщо умови змінюються, лінійна кореляція стає ненадійною.

Метод Харріса. Кути – це важливі особливості зображень. Взагалі вони є точками, які мають високий рівень кривини і лежать на стику різних ділянок яскравості зображення. З поміж багатьох ознак зміни зображення освітлення не впливає на кути і вони мають властивість інваріантності обертання. Вони займають лише близько 0,05 % значення пікселів. Без втрати інформації графічних даних означені кути можуть звести до мінімуму обробку даних [3].

Таким чином, виявлення кута має практичне значення і може бути використане для повторного захоплення об'єкта при автосупроводженні.

Методи виявлення кута можна розділити на два основні етапи: виявлення контуру і виявлення інтенсивності. Методи, що ґрунтуються на виявленні контуру, спочатку відновлюють контури зображення, а потім відшуковують максимум кривини або точки перегину цих контурів. За методами, що ґрунтуються на виявленні інтенсивності, оцінюють міру, яка вказує на

наявність кута безпосередньо із півтонового зображення. Такий метод характеризується високою швидкістю обчислення та незалежністю від інших ознак, використовуючи власні ознаки для безпосереднього виявлення кутів. Один з алгоритмів такого роду – це алгоритм виявлення кутів методом Харріса – найбільш використовуваний алгоритм для виявлення кутів на практиці.

Детектор Харріса має найбільшу інваріантність до обертання, масштабування, зміни освітлення і рівня шумів. Він обчислює функцію відклику кута, що являє собою ступінь схожості точки на кут. При цьому обчислюється матриця частинних похідних від інтенсивності зображення:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 & \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \\ \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\partial I}{\partial x} & \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix}.$$

Якщо обидва власні значення цієї матриці великі, то навіть незначне зміщення точки (x, y) зумовить великі зміни її інтенсивності, що і буде відповідати особливості зображення. Функція відклику кута має вигляд

$$R = \det \mathbf{M} - k (\text{trace } \mathbf{M})^2.$$

Параметр k беруть зазвичай рівним 0,04, як запропонував дослідник Харріс. Точки, що відповідають локальним максимумам цієї функції, визнаються шуканими особливостями.

Метод розпізнавання зображень за допомогою шаблонів. Процес ідентифікації об'єктів ґрунтується на розпізнаванні образів і полягає в тому, що зображення невідомого об'єкта подається на вхід системи розпізнавання, в якій вона порівнюється із зображеннями відомих об'єктів, що зберігаються в базі даних зображень.

Процес ідентифікації можна розбити на три основні етапи:

- реєстрація та нормалізація зображень;
- розподіл особливостей;
- класифікація.

Останнім часом особлива увага дослідників, які вивчають розподіл особливостей зображень об'єкта, приділяється методам, у яких використовуються локальні бінарні шаблони (ЛБШ). Уперше ЛБШ були запропоновані в 1996 р. для аналізу структури півтонових зображень. Методи розпізнавання образів, які застосовують для розподілу особливостей ЛБШ та їх модифікацій, показують високі результати як за швидкістю, так і за точністю розпізнавання [1].

Локальний бінарний шаблон являє собою опис області пікселів зображення в двійковій формі. Оператор ЛБШ стосовно пікселів зображення використовує 8-піксельну область, беручи центральний піксел за порогове значення. Пікселі, значення яких більші ніж центральний піксел (або йому рівні) – набувають значення «1», а ті, що менші, ніж центральні, – значення «0». Таким чином, з'являється 8-розрядний двійковий код, що описує область пікселів. Прикладом роботи оператора ЛБШ із півтоновим зображенням показано на рис. 1.

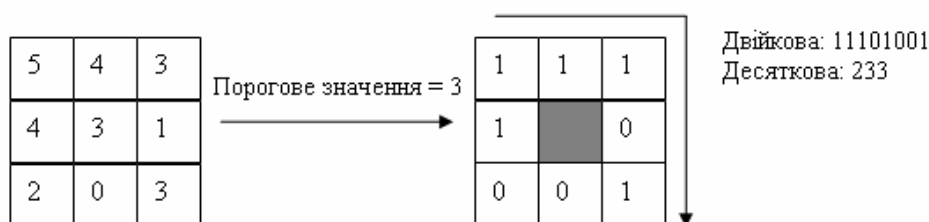


Рис. 1. Приклад роботи ЛБШ оператора

Відстеження об'єкта на відеоряді відбувається за алгоритмом, запропонованим у праці [3].

Для вибору конкретної ділянки, на якій розміщено необхідний об'єкт, відбувається кадрівання фрагменту зображення розміром 100×100 пікселів з центром у точці, що належить об'єкту. Для поточного кадру відеоряду розміром 320×240 пікселів (рис. 2) буде визначена PIP₁ матриця (містить індекси пікселів в точках особливостей – price interest points), яку буде використано для знаходження рухомого об'єкта після його зникнення за перешкодою та повторній появі у полі зору.

Сумісно з визначенням морфологічних особливостей об'єкта пропонується обробити кадрований фрагмент зображення, що містить ідентифікований об'єкт, за детектором Харріса. На рис. 3 показано кадроване зображення після візуалізації точок його особливостей, тобто точок, в яких краї перетинаються під кутом, близьким до прямого.



Рис. 2. Поточний кадр відеоряду



Рис. 3. Відстежений об'єкт на кадрованому зображенні

Для реалізації алгоритму Харріса необхідно виконати такі кроки:

- 1) розрахувати градієнт кожного пікселя;
- 2) розрахувати частинні похідні $I_u(x, y)$, $I_v(x, y)$ значень відтінків сірого в обох напрямках заданої точки $A(x, y)$;

- 3) визначити 2×2 матрицю $\mathbf{M} = \sum_{x,y} w(x,y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$, розраховану з похідних зображення;

- 4) визначити білінійне наближення для незначної середньої зміни інтенсивності кольору в будь-якому напрямку $E(u, v) \cong [u, v] \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$;

- 5) визначити зміну інтенсивності кольору:

– розрахувати значення $\mathbf{M}$ -матриці λ_1 , λ_2 , за такої умови: якщо λ_1 , λ_2 мають великі або майже однакові значення, E зростає в усіх напрямках;

– розрахувати відповідність кутів $R = \det \mathbf{M} - k(\text{trace} \mathbf{M})^2$, якщо значення R більше від порогового значення;

- 6) знайти кут перетину контурів зображення, близький до 90° .

Таким чином, після обробки зображення формується PIP-матриця, що містить індекси елементів масива зображення, які відповідають точкам перетину країв під прямим кутом. Приклад такої матриці:

$PIP_1 = \begin{bmatrix} 57 & 60 \\ 116 & 77 \\ 111 & 79 \\ 87 & 81 \\ 30 & 157 \\ 43 & 155 \\ 42 & 168 \\ 30 & 149 \\ 157 & 141 \\ 110 & 88 \\ 42 & 168 \\ 42 & 179 \end{bmatrix}$

Надалі пропонується обчислювати RIP-матрицю постійно на всіх кадрах, де об'єкт однозначно розпізнаний. У разі зникнення об'єкта з поля зору (наприклад, за перешкодою) його пошук буде виконуватися по всьому зображенню послідовним порядковим порівнянням RIP-матриці об'єкта з RIP_i -матрицями фрагментів зображення, які визначаються, як показано на рис. 4.

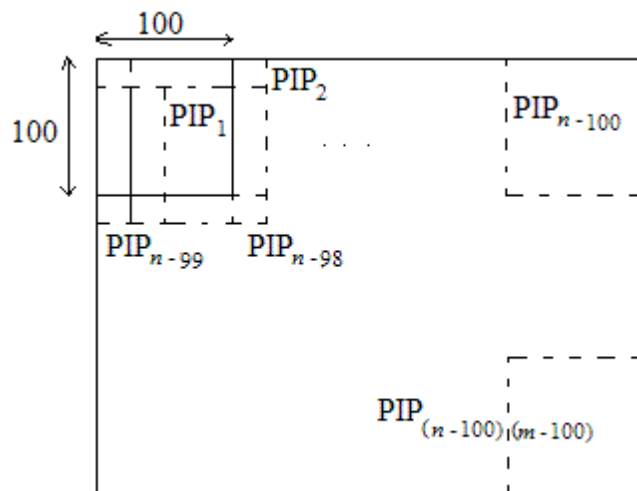


Рис. 4. Ілюстрація порядкового порівняння RIP-матриці об'єкта з RIP_i -матрицями фрагментів зображення

Для того щоб уникнути обчислень власних значень матриці M , краще розраховувати відповідність кутів для визначення зміни інтенсивності зображення.

Алгоритм порівняння RIP-матриць буде включати такі блоки:

- блок ідентифікації. Він буде захоплювати кожен поточний кадр відеоряду та фрагмент кадрованого зображення, заданий оператором, на якому буде розміщений об'єкт, у вигляді RIP-матриць;

- блок порівняння у вигляді циклу – для порівняння всіх фрагментів кожного наступного кадру відеоряду з фрагментом кадрованого зображення, на якому буде розміщений об'єкт, на наявність збіжності елемент RIP-матриць. Якщо RIP-матриця об'єкта не збігається з RIP-матрицею фрагмента на зображенні, цикл повторюватиметься знову, а якщо збігається – буде перевірений кожен наступний фрагмент зображення для подальшого відстеження рухомого об'єкта;

- блок виведення. Після перевірки всіх зображень відеоряду буде виведено фрагмент зображення з розпізнаним об'єктом.

У результаті використання алгоритму пошуку подібності індексів RIP_M -матриці з RIP-матрицями кадрованого відеоряду для відстеження рухомого об'єкта було встановлено, що

ефективність захоплення об'єкта після його зникнення за перешкодою становить 92 % (для серії досліджень зі 100 випадків). Значення похибки захоплення для проведених досліджень не перевищувало вказані значення, тобто половини лінійних розмірів об'єкта для випадків, де захоплення відбувалось успішно.

Висновки. Розроблено алгоритм розпізнавання рухомого об'єкта для завдань авто-супроводження, який ґрунтується на детекторі кутів Харріса. Цей алгоритм успішно був застосований для повторного захоплення відстежуваного об'єкта при його зникненні з поля зору та повторній появі. Можливе подальше удосконалення алгоритму при комплексному використанні інших детекторів особливостей зображення.

Список літератури

1. *Хуанг Т.* Обробка зображень і цифрова фільтрація – М.: Мир, 1979 – 318 с.
2. *Шаркоф Р.* Цифрова обробка зображення та комп'ютерний зір – Мир, 1989 – 489 с.
3. *Mukhina M. P.* Algorithm of visual tracking of contrast moving objects // Aviation in the XXI-st century: Proceedings of the third world congress. – К.: NAU, 2008. – Vol. 2. – September 22–24. – 2008. – P. 32.33 – 32.37.

М. П. Мухина, Н. Ю. Баграновская, Ю. И. Почапская

Алгоритм распознавания подвижного объекта по шаблону с использованием детектора Харриса

Рассмотрены проблемы визуального распознавания подвижного объекта, потери объекта, за которым ведется видеонаблюдение, при его исчезновении из поля зрения за препятствием и повторном распознавании. Проведен анализ методов распознавания изображений, в частности по шаблонам и с использованием характерных черт объекта. Предложено использование детектора Харриса для возобновления наблюдения за объектом при его появлении в поле зрения. Результаты разработанного алгоритма могут быть использованы для разных целей и качеств видеопотока.

M. P. Mukhina, N. Yu. Bagranovska, Yu. I. Pochapska

Recognition algorithm of movable object with the help of a template using Harris' detector

The problem of visual recognition of movable object is considered. The problem of object loss under video observation is considered, at its passing out of sight after an obstacle and repeated recognition. The analysis of recognition methods is conducted, in particular with the help of templates and using of object characteristics. The usage of Harris' detector is offered for object observation retrieval at its appearance at sight. The results of the developed algorithm can be used for different aims and qualities of video stream.