

ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

УДК 621.397.7:621.396.933(045)

¹М. П. Мухіна, канд. техн. наук, доц.,²Н. Ю. Романович,³І. Д. Єременко

СТЕРЕОСИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ВІДЕОЗАХОПЛЕННЯ ОБ'ЄКТА

Інститут аерокосмічних систем управління, НАУ, e-mail: ¹m_mukhina@inbox.ru,
²geneous@ukr.net, ³yeremenko.i@bigmir.net

Розглянуто проблему розпізнавання, відстеження та захоплення невідомого об'єкта, зокрема, коли об'єкт є ідеально плоским і захоплення об'єкта відбувається за допомогою захоплювача. Кожен крок поставленого завдання проаналізовано окремо з урахуванням можливих варіантів його вирішення. Використано архітектуру і її три компоненти: датчики інформації, фільтри та приводи..

Ключові слова: стереосистема, бінаризація, позиціонування, відстеження об'єкта, порогове значення, В-сплайни, візуальне спостереження, афінні перетворення, маніпулятор, степінь вільності, датчик інформації.

Вступ. Маніпулювання об'єктами є однією з основних операцій в багатьох сферах робототехніки, таких, як промислове виробництво, медичні маніпуляції та ін.

Здатність робототехнічної системи працювати з невідомими об'єктами є дуже важливою, адже система має бути в змозі використати свої датчики для виявлення і вилучення необхідної інформації про об'єкт [6]. Загалом у ситуаціях, в яких робот повинен діяти у слабоструктурованому середовищі, необхідні характеристики об'єкта мають бути отримані з датчиків інформації, а не задані як готові моделі. Така інформація потім використовується для визначення найбільш зручного способу захоплення об'єкта.

Робототехнічна система потребує передусім інформації про об'єкт, отриману з бази даних шляхом візуального спостереження. У цьому разі пошук об'єкта захоплення ґрунтується на аналізі форми об'єкта. Тому виникає проблема в отриманні достовірних характеристик зображення чи набору зображень. Крім того, якщо відносне положення між об'єктом і камерою змінилось у зв'язку з рухом одного чи обох предметів, то щоб контролювати підхід до захоплення об'єкта, необхідно відслідковувати не тільки сам об'єкт, але й усі точки, відносно яких він змістився. Маніпулювання об'єктом вимагає не тільки розуміння пошуку, але й виконання усієї послідовності кроків, які можуть змінюватися залежно від способу маніпулювання, визначеному у завданні. Ця послідовність може включати вибір об'єкта та способу його захоплення, позиціонування інструменту для захоплення поряд з об'єктом, безпосереднє захоплення і, можливо, виконання деяких дій з об'єктом.

Постановка завдання. Необхідно визначити характерні особливості обраного невідомого об'єкта за серією кадрів відеоряду, відстежити зміни в його місцеположенні та спрямувати маніпулятор для захоплення цілі. Тут розглядається ідеально плоский об'єкт, який повинен бути захоплений за допомогою захоплювача з використанням зору як джерела інформації. Дві камери розміщені паралельно до об'єкта, приєднані до руки робота близько до захоплювача таким чином, що здатні рухатися синхронно. Для спрощення розв'язання завдань схожого типу складності треба розробити модульну архітектуру, котра міститиме три компоненти, а саме: датчики інформації, фільтри та приводи. Основною метою є розроблення алгоритму для наближення до об'єкта для його захоплення у непромисловому середовищі за допомогою маніпулятора.

Маніпулятор [4] являє собою незамкнену динамічну та кінематичну системи з декількох ланок, з'єднаних між собою призматичними і обертальними зчленуваннями. В динаміці розглядаються узагальнені сили f_i та моменти τ_i , що забезпечують необхідні силу f та момент τ у захоплювачі. Кількість незалежних переміщень, які може виконати маніпулятор, називають степенем вільності. Для маніпулятора з n степенями вільності визначення положення та орієнтації захоплювача, якщо відомий вектор переміщень зчленувань, розраховують так:

$$\theta_i = [\theta_1 \theta_2 \theta_3 \dots \theta_n]^T.$$

Однорідне кінематичне перетворення можна подати матрицею $\mathbf{H}$ розмірності 4×4 , яка в загальному випадку складається з 3×3 -матриці обертання $\mathbf{R}$ та 3×1 -вектора перенесення $\mathbf{p}$:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}(3 \times 3) & \mathbf{p}(3 \times 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Положення та орієнтація захоплювача задаються, як правило, у вигляді матриці $\mathbf{T}$ однорідних кінематичних перетворень, яка описує положення та орієнтацію системи координат захоплювача $0UVW$ відносно базової системи координат $0XYZ$ у вигляді:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_{xu} & \cos \alpha_{xv} & \cos \alpha_{xw} & dx \\ \cos \alpha_{yu} & \cos \alpha_{yv} & \cos \alpha_{yw} & dy \\ \cos \alpha_{zu} & \cos \alpha_{zv} & \cos \alpha_{zw} & dz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

що включає матрицю напрямних косинусів та вектор положення початку системи координат $[d_x \ d_y \ d_z]^T$.

Дані перетворення використовуються для подальшого знаходження зміни місця положення маніпулятора з двома вмонтованими камерами для візуального спостереження. Для пошуку подібних одна до одної ділянок зображення стосовно до обох камер було застосовано метод афінних перетворень. Нехай $P^{\text{п}}$ та $P^{\text{л}}$ – це зображення з правої та лівої камер, тоді $\mathbf{H}'$ – відповідна матриця переходу з кадру $\mathbf{H}$ у $\mathbf{H}'$. У загальному вигляді створена матриця має вигляд:

$$\mathbf{H}' = \begin{bmatrix} R'(3 \times 3) p'(3 \times 1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Використовуючи афінні перетворення, координати пікселів зображень, відзнятих за допомогою лівої та правої камер, подаємо у вигляді:

$$P^{\text{л}} = (U^{\text{л}}, V^{\text{л}}) \text{ і } P^{\text{п}} = (U^{\text{п}}, V^{\text{п}}).$$

Записуючи координати точки P у тривимірному просторі, маємо:

$$P^{\text{H}} = (X^{\text{H}}, Y^{\text{H}}, Z^{\text{H}}),$$

беручи до уваги, що

$$Z^{\text{H}} = b_{\text{л,п}} \frac{F_u^{\text{H}}}{d_u^{\text{H}} |(u^{\text{л}} - u_0^{\text{л}}) - (u^{\text{п}} - u_0^{\text{п}})|};$$

$$X^{\text{H}} = Z^{\text{H}} \frac{d_u^{\text{H}} (u^{\text{H}} - u_0^{\text{H}})}{F_u^{\text{H}}}, \quad Y^{\text{H}} = Z^{\text{H}} \frac{d_v^{\text{H}} (u^{\text{H}} - v_0^{\text{H}})}{F_v^{\text{H}}},$$

де $b_{л,п}$ – базова лінія, тобто відстань між початками координат поточних кадрів; u_0^H, v_0^H – координати точки, в якій оптична вісь перетинається з уявною площиною; d_u^H, d_v^H – довжина кожного пікселя.

Алгоритм афінних перетворень відомий здатністю в певних випадках досягати великих значень коефіцієнтів компресії за допустимих втрат якості зображення.

Для подальшої ідентифікації об'єкта необхідно визначити всі пікселі зображення $I = \{p_1, p_2 \dots p_n\}$, що належать об'єкту, для створення моделі подальшого його відстеження. Необхідний об'єкт вибирають з-поміж інших за його характерними особливостями за допомогою процесу сегментації, котра включає в себе перетворення зображення у відтінки сірого та його бінаризацію для пошуку порогового значення зміни контрасту між фоном та об'єктом. Процес сегментації є передусім складовою частиною цифрового оброблення зображень, що передбачає виділення потрібної інформації на зображенні за допомогою автоматизованих систем. При цьому важливо звернути увагу на велику кількість даних та надлишковість інформації.

Основні труднощі у створенні програм розпізнавання об'єктів полягають у визначенні того, які пікселі розпізнавати, а які – ігнорувати. З рисунка важко визначити положення окремо взятого пікселя на якій-небудь поверхні. Для подолання цих труднощів варто знати компактне подання та виділити потрібні особливості зображення. Для сегментації об'єктів з фону зображення, перетвореного у відтінки сірого, використовують фільтр бінаризації (рис. 1).

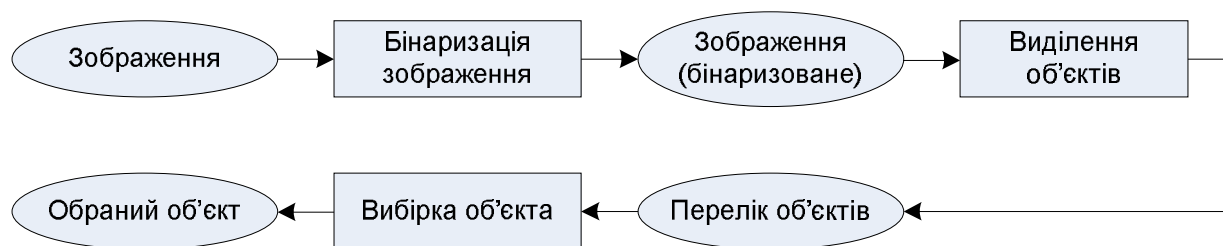


Рис. 1. Структура первинного оброблення зображення з використанням фільтрації

Зображення обробляють за допомогою фільтра (рис. 1). Процес оброблення складається з таких етапів:

- 1) бінаризації зображення (аналізу гістограми, що виділяє об'єкти з фону зображення);
- 2) виділення контурів об'єктів на зображенні (визначення характерних точок);
- 3) вибірка об'єкта з-поміж інших за даним критерієм.

Характеристичні точки об'єкта використовуються для позиціонування маніпулятора відносно нього. Саме тому необхідно відстежувати зміни положення об'єкта на зображеннях відеоряду, окремий кадр якого являє собою набір пікселів 320×240 , і в ході роботи до нього застосовують 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 10 пікселів/кадр.

Фільтр (рис. 2) використовує як основу бінарне зображення, перетворене у відтінки сірого, у якому набір пікселів, які відповідають об'єкту, значно відрізняються від фонових для визначення порогового значення (вони набувають значення: 0 або 1).

Огляд існуючих методів. Для того щоб робототехнічна система працювала з невідомими об'єктами, вона використовує датчики інформації для виявлення і вилучення

точної інформації про об'єкт. Саме тому кожен крок виконання поставленого завдання необхідно проаналізувати окремо, беручи до уваги декілька варіантів можливого вирішення.

Найбільш поширеними методами для відстеження обраного об'єкта захоплення є такі.

1. Метод, що базується на *B*-сплайнах [2], який характеризується відстеженням об'єкта на кадрах відеоряду для подальшого пошуку його характерних точок. *B*-сплайни – це зручне зображення контура, яке є основою для багатьох методів відстеження та сегментації об'єкта на зображеннях відеоряду. Загалом *B*-сплайн являє собою параметричну криву, що визначається набором основних точок і становить послідовність складових поліноміальної функції і відомі як вузли. Зазвичай *B*-сплайни визначаються вручну або за допомогою інструментів комп'ютерної графіки. У разі апроксимації контуру об'єкта цей метод не дозволяє отримати абсолютно точних результатів.

2. Метод, в основу якого покладено пошук моменту об'єкта другого порядку [1]. Початковою системою відліку є його геометричні характеристики (площа, центр мас, момент інерції), які обчислюються за допомогою моментів об'єкта другого порядку. Цей метод є альтернативою до методу, що базується на *B*-сплайнах. Кожен контур об'єкта складається з набору точок, індивідуального для кожного зображення. Саме тому цей метод не дозволяє створити шаблон для пошуку положення характерних точок, оскільки їх кількість може бути різною. У зв'язку з цим необхідно аналізувати інші характеристики зображень.

3. Метод міжкадрової різниці, що ґрунтується на обчисленні відповідностей між парами зображень [3], яка допомагає відстежити зміщення характерних точок об'єкта на кожному кадрі відеоряду.

Запропоноване розв'язання завдань. Для розв'язання поставленого завдання в цій роботі було розроблено модульну архітектуру, котра включає в себе три компоненти, а саме: датчики інформації, фільтри та приводи (рис. 2) та розглянуто два методи розпізнавання контурів об'єкта на зображенні, а саме:

- метод сегментації;
- метод полігонної апроксимації.

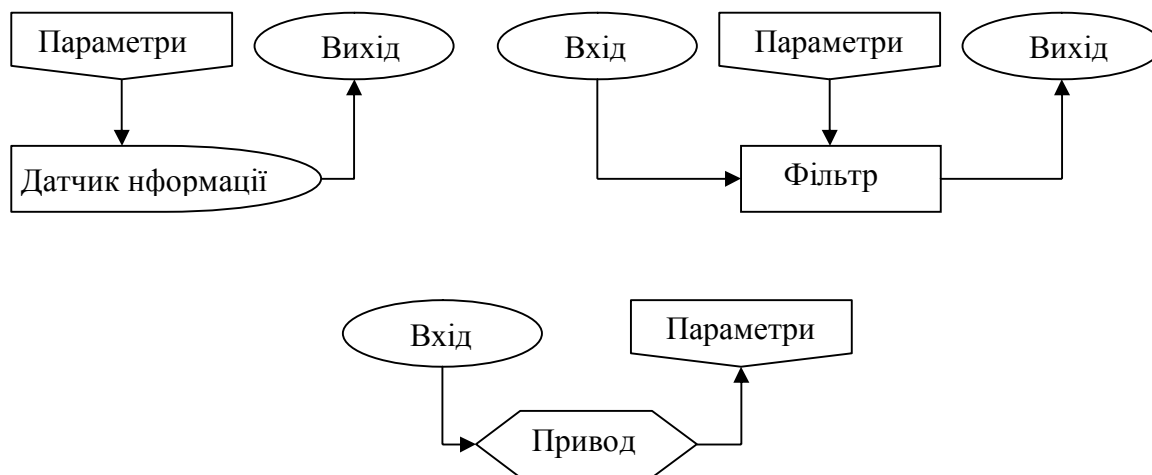


Рис. 2. Структура модульної архітектури оброблення зображення

Перший метод полягає у розбитті зображення на змістовні складові частини. Існує велика кількість алгоритмів сегментації зображення, але більшість з них можна поділити на дві групи, кожна з яких має фундаментальну властивість зображення – схожість і відмінність. Відповідно до цього використовують два основні підходи до сегментації:

- 1) метод пошуку однорідних областей [5];
- 2) метод виділення контурних ліній [7].

Сегментацію за методом пошуку однорідних областей можна виконувати за властивістю S , яка характеризує схожість елементів кожної області. Це може бути колір, текстура, рівень яскравості.

Сегментація деталізує зображення на складові частини та об'єкти. Ступінь деталізації залежить від завдання, що вирішується. Сегментацію зупиняють, коли шукані об'єкти вже виділені та ізольовані. Нехай R означає область зображення. Сегментацією називається процес розбиття області R на n підобластей $R_1, R_2, \dots, R_n$ відповідно до таких умов:

- $\bigcup_{i=1}^m R_i = R$ – сегментація має бути повною, тобто кожний піксел зображення належить певній області;
- $R_i \in \text{зв'язною областю}$ для будь-якого $i = 1, 2, \dots, n$, тобто точки кожної області мають бути зв'язними в деякому визначеному змісті (наприклад, вони 4- або 8-зв'язні);
- $R_i \cap R_j = \emptyset$ – області не повинні перетинатися;
- $i \neq j$ – ці властивості повинні виконуватись для кожного пікселя з однієї області, наприклад, $P(R_i) = \text{TRUE}$, якщо всі пікселі у R_i мають однакову яскравість;
- $P(R_i \cup R_j)$ – прилеглі області R_i та R_j розрізняються за значенням предиката P .

Другий метод характеризується визначенням властивостей контурів об'єкта у кожній заданій точці порівняно з першим методом, що ґрунтується на повному аналізі зображення. Метод полігонної апроксимації є оптимальним завдяки точному визначенню морфологічних характеристик заданої ділянки зображення. Контур зображення визначається як послідовність точок, для пошуку яких необхідно знайти полігональну апроксимацію, мінімальна похибка якої має бути:

- визначена для заданої кількості точок;
- розрахована таким чином, що її величина не перевищує задане порогове значення.

У ході вирішення поставленого завдання розглянуто набір об'єктів різної форми. За розробленим алгоритмом кожен окремо взятий предмет досліджень проаналізовано декілька разів для отримання більш точних результатів. Відзначено, що зі збільшенням кількості експериментів похибка суттєво зменшується, а час досліджень лінійно зростає разом зі збільшенням характерних точок початкового контуру. Саме тому запропонований метод може бути ефективним для розпізнавання контурів великих об'єктів. Незважаючи на те, що метод полігонної апроксимації суттєво спрощує описання кожного окремого контуру, він потребує порівняно великих матеріальних затрат. У зв'язку з цим було розглянуто альтернативний метод виділення контурів – метод B -сплайнів [4], який полягає у розпізнаванні та відстеженні об'єкта (рис. 3) на кадрах відеоряду через порівняння характерних точок.

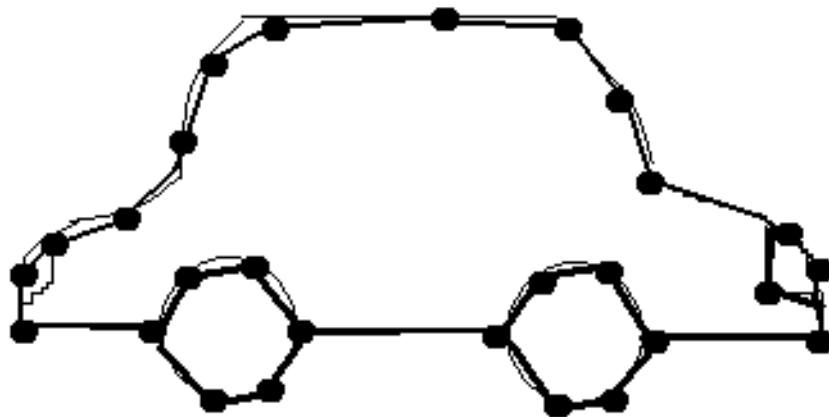


Рис. 3. Розпізнавання контурів об'єкта за допомогою методу B -сплайнів

Загалом B -сплайн являє собою зображення контуру у вигляді параметричної кривої і є основою для декількох методів відстеження та сегментації об'єктів на певній послідовності зображень. Для спрощення реалізації цього методу використано апроксимацію зовнішніх контурів, оскільки для виявлення внутрішніх контурів цю процедуру необхідно повторювати декілька разів. Вибірка характерних точок у цьому випадку ґрунтується на аналізі кривизни контуру, визначеної відповідним вектором, за розрахунком першої та другої похідних якого буде визначатися набір точок. Кривизну контуру у точці [6] розраховано за формулою

$$K \cos(p_i) = \overrightarrow{p_i p_i - k} \overrightarrow{p_i p_i + k},$$

де p_i – кут між векторами $\overrightarrow{p_i p_i - k}$ та $\overrightarrow{p_i p_i + k}$.

Для виявлення похибок, що виникають під час визначення дійсних контурів об'єкта, необхідно скористатись такими формулами:

1) середньоквадратична похибка: $E_2 = \sum_{i=2}^N e_i^2$;

2) максимальна похибка: $\sum_{\infty} = \max_{1 \leq i \leq N^e}$;

3) похибка оптимізації: $\sum_0 = \begin{cases} n_m / N \\ E_2 \cdot n_m / N^2 \end{cases}$, якщо $E_2 = 0$, де N – кількість точок

контуру; n_m – кількість точок полігональної апроксимації; e_i – відстань від кожного контуру до найближчого сегмента апроксимації.

Критерії ідентифікації ключових точок:

- усі точки повинні лежати на перетині B -сплайнів;
- залежно від наявності точок перегину та випуклості має бути визначена область, у якій виявляється контур.

Послідовність сплайнів, що описують складну форму об'єкта як єдине ціле, включає набір ключових точок, які несуттєво відрізняються від визначених точок за допомогою методу полігональної апроксимації, і цією похибкою можна знехтувати.

Висновки. Розглянуто проблему розпізнавання, відстеження та захоплення невідомого об'єкта. Кожен крок поставленого завдання проаналізовано окремо з урахуванням можливих варіантів його вирішення; використано архітектуру, котра містить три компоненти: датчики інформації, фільтри та приводи. Ця архітектура є модульною, що значно спрощує вирішення завдання і може бути основою для завдань такого ж типу складності. Аналіз зони спостереження та пошуку об'єкта виконується за його характерними точками, автоматично визначеними на серії кадрів відеоряду з використанням методів полігонної апроксимації та B -сплайнів. Результати алгоритму можуть бути використані для різних цілей та якостей відеопотоку, зокрема для завдань, пов'язаних з відстеженням об'єкта та автосупроводженням.

Список літератури

1. Яне Б. П. Цифрова обробка зображень / Б. П. Яне – М.: Техносфера, 2007 – 584 с.
2. Гонсалес Р. В. Цифрова обробка зображень / Р. В. Гонсалес, Р. С. Вудс – М.: Техносфера, 2006 – 1072 с.
3. Хуанг Т. М. Обробка зображень і цифрова фільтрація / Т. М. Хуанг – М.: Мир, 1979 – 318 с.
4. Конушин М. І. Курс робототехники / М. І. Конушин, В. Н. Шахинпур – М: Мир, 1990. – 527 с.
5. Юревич Е. И. Основы робототехники / Е. И. Юревич – К.: ВНУ-СПб.: 2005. – 408 с.

6. Воротников С. А. Информационные устройства робототехнических систем / С. А. Воротников – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 384 с.
7. Зенкевич С. Л. Основы управления манипуляционными роботами / С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко – изд.2, испр. и доп. М.: МГТУ, – 2005. 480 с.

М. П. Мухина, Н. Ю. Романович, И. Д. Еременко

Стереосистема автоматического видеозахвата объекта

Рассмотрена проблема распознавания, отслеживания и захвата неизвестного объекта, в частности случай, когда объект является идеально плоским и захват объекта происходит с помощью захватчика. Каждый шаг поставленной задачи проанализирован отдельно, принимая во внимание все возможные варианты ее решения. Использована архитектура, которая включает у себя три компонента: датчики информации, фильтры и приводы.

M. P. Mukhina, N. Yu. Romanovych, I. D. Ieremenko

Stereo system of target automatic video capture

Was considered the problem of recognizing, tracking and grabbing of unknown object. In particular case when the object is perfectly flat and grabbing of an object is done by the gripper. Every step of the task is analyzed separately, taking into account all the possible options for solving it. To solve the problem an architecture that includes a host of three components, namely the sensor information, filters and actuators is used.

Роботу виконано за підтримки Гранта Президента України для молодих вчених.