

УДК 629.7.051.83

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804162017114363>

Котвицький Р. С.¹, бакалавр, **Сарибога Г. В.²**, старший викладач, **Збруцький О. В.³**, професор, д.т.н.

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

En The article observes the method of determining the coordinates of a moving object using a system of technical vision (STV). STV performs image analysis on the basis of contour analysis of objects, which is a very effective and informative method.

The purpose of the work is to develop a method for determining the coordinates of a moving object using STV. Improve the algorithm of STV work on the basis of contour analysis (CA). The advantage of contour analysis of an object, in comparison with the method of object identification by color, is the possibility of transition from two-dimensional space to the contours, which reduces computational and algorithmic complexity. This allows you to effectively solve the main tasks of pattern recognition - transfer, rotation and zooming of an object's image. For the first time a method for determining the coordinates of the location of a moving object with the use of STV, which makes it possible to create an autonomous navigation system and its use in field conditions.

The CA-based algorithm is improved, which, unlike existing methods, allows to improve the process of image processing and increase the accuracy of object recognition. The efficiency of the methods is shown in the laboratory stand in real time.

Ru Работа посвящена разработке системы технического зрения с целью стабилизации и управления беспилотными летательными аппаратами. Приведены алгоритмы обработки изображения. Разработана общая архитектура ПО для реализации системы, а также описаны объект автоматизации и типичная задача для технического зрения.

¹ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет авіаційних і космічних систем

² НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», кафедра приладів та систем керування літальними апаратами

³ НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», факультет авіаційних і космічних систем

Вступ

Визначення координат рухомого об'єкту виконується завдяки інформації отриманої від системи технічного зору (СТЗ) [1]. СТЗ виконує аналіз зображень на основі контурного аналізу об'єктів, що є досить ефективним та інформативним методом.

Конттури зображень є області із високою концентрацією інформації, що не залежить від кольору та яскравості, внаслідок чого більшість інформації у повідомленні знаходиться у місцях зміни сигналу [2]. Контурний аналіз дозволяє описувати, зберігати, порівнювати і виявляти об'єкти, що знаходяться у формі зовнішніх контурів [3].

Перевагою контурного аналізу об'єкту, порівняно із методом ідентифікації об'єктів за кольором, є можливість переходу від двовимірного простору до простору контурів, що зменшує обчислювальну та алгоритмічну складність. Це дозволяє ефективно вирішувати головні завдання розпізнавання шаблонів – перенесення, поворот і масштабування зображення об'єкту. Методи контурного аналізу інваріантні щодо таких перетворень [4].

У СТЗ використовуються кілька форматів кодування контурів – найбільш відомі код Фрімана, двомірний код, полігональний код, алгоритм Кенні [5]. У нашому випадку ми будемо використовувати алгоритм Кенні.

Постановка задачі

Мета роботи – розробити метод визначення координат рухомого об'єкту із використанням СТЗ. Вдосконалити алгоритм роботи СТЗ на основі контурного аналізу(КА).

Алгоритм роботи СТЗ на основі контурного аналізу

Контуром об'єкту є межа, що відокремлює об'єкт від фону. У КА як формат кодування використовується найбільш ефективний алгоритм Кенні або алгоритм визначення кордонів [6] – оптимальний алгоритм, що задовольняє трьом критеріям: підвищення відношення сигнал/шум; вірне виявлення положення кордону; єдиний відгук на один кордон. Це означає, що детектор повинен реагувати на кордони об'єкту, але при цьому ігнорувати помилкові кордони, точно визначати лінію кордону (без його фрагментування) і реагувати на кожен кордон одноразово, що дозволяє уникнути сприйняття широких смуг у разі зміни яскравості як сукупності кордонів. У алгоритмі Кенні пікселями кордонів оголошуються точки, у яких досягається локальний максимум градієнту у напрямку вектору градієнта.

Використовуючи зазначений алгоритм Кенні, складемо алгоритм роботи СТЗ на основі КА:

1. Кадр із камери конвертуємо із кольорового зображення формату *RGB* у відтінки сірого, тому що значення має не колір зображення, а лише його інтенсивність.
2. Визначаємо контури об'єкту у кадрі за допомогою алгоритму Кенні.
3. Обробляємо та апроксимуємо контури контурними наближеннями.

Апроксимація є алгоритмом зменшення кількості точок на кривій та заміну кривої серією коротких відрізків зі скороченим набором точок (алгоритм *Ramer-Douglas-Peucker* або просто алгоритм спліт-і-злиття) [7].

Виконання контурного наближення є найкращим способом для виявлення квадратних і прямокутних об'єктів на зображенні.

Визначення координат місцезнаходження об'єкту

Припустимо, що відомі координати місцезнаходження об'єкту 1 (X_r, Y_r) – квадрату і координати об'єкту 2 (X_c, Y_c) – кола. Необхідно визначити координати місцезнаходження шасі (x_s, y_s) (рис. 1).

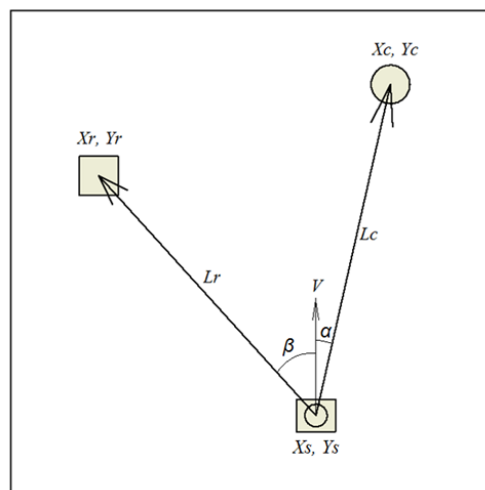


Рис. 1. Визначення координат об'єкту

L_r – відстань до першого об'єкту, L_c – відстань до другого об'єкту, α – кут, що визначає положення другого об'єкту відносно головної вісі шасі, β – кут, що визначає положення першого об'єкту відносно головної вісі шасі, V – головна вісь шасі.

Використовуючи формули знаходження відстані між двома точками для квадрату:

$$L_r = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2}, \quad (1)$$

для кола:

$$L_c = \sqrt{(x_s - x_c)^2 + (y_s - y_c)^2}, \quad (2)$$

знаходимо невідомі координати місцезнаходження шасі (x_s, y_s).

Параметри L_r , L_c , α і β визначаються завдяки СТЗ, яка передає керуючі сигнали системі управління шасі.

Для визначення координат L_r , L_c , α і β місцеположення СТЗ у польових умовах використовуються наступні об'ємні фігури: циліндр і куля (рис. 2). У вертикальній площі дані фігури у кадрі розпізнаються як квадрат і коло у разі будь-якого місцезнаходження СТЗ.

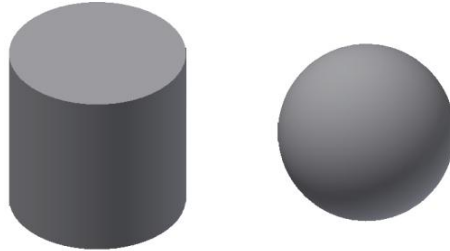


Рис. 2. Фігури для використання в польових умовах

Керуючі сигнали необхідні для управління рухомим об'єктом, у нашому випадку – це об'єкт, що переміщується на шасі. Таким чином здійснюється зв'язок між камерою та системою керування.

Алгоритм визначення координат місцезнаходження шасі (рис. 3):

1. Сканування місцевості для пошуку об'єктів. Двигун, на якому закріплена камера, здійснює керування оптичною віссю камери у певному діапазоні спостереження. Захоплюється кадр із камери.
2. Розпізнавання цільових об'єктів (коло чи квадрат). Визначення координат їх центрів.

Знаходження квадрату. Знаходимо закриті контури фігур, які мають від 4 до 6 кутів (оскільки зображення із камери не є ідеальним). Визначена фігура проходить перевірку на істинність:

- *solidity* – відношення площі контуру до опуклої площі контуру. Для квадрату це значення становить більше 0.9.
- *aspectRatio* – відношення ширини до довжини описаного прямокутника об'єкту. Для квадрату це значення коливається від 0.8 до 1.2.

Якщо всі критерії виконуються, знаходимо центр визначеної фігури.

Знаходження кола. У середовищі програмування *OpenCV* реалізовано алгоритм *HoughCircles* для знаходження кола. У разі визначення об'єкту використовується градієнтний метод Хафа, що зберігає градієнтну інформацію контурів[8].

Функція *cv2.HoughCircles* – видає нам значення визначених кіл (*circles*) разом із розрахованими параметрами їх центрів і радіусом.

3. Знаходження відстані до об'єкту (L_r , L_c).

Визначивши площу об'єктів на зображенні (у пікселях):

$S'_{r,c} = cv2.contourArea(c)$), а також їх істинні розміри на місцевості S_r і S_c , знаходимо відстані:

$$\frac{S}{S'} \times K = L, \quad (3)$$

Розділ 1. Інформаційні системи

де K – коефіцієнт перетворення площ, що визначається для кожної камери окремо за первинну калібровку із відомими площами і відстанню до об'єкту.

4. Визначення орієнтації шасі відносно об'єктів (α , β).

Значення кутів отримуємо за умови обертання крокових двигунів, які спрямовують оптичну вісь камери на об'єкт. Ефективність алгоритму підтверджена на лабораторному стенді у режимі реального часу.

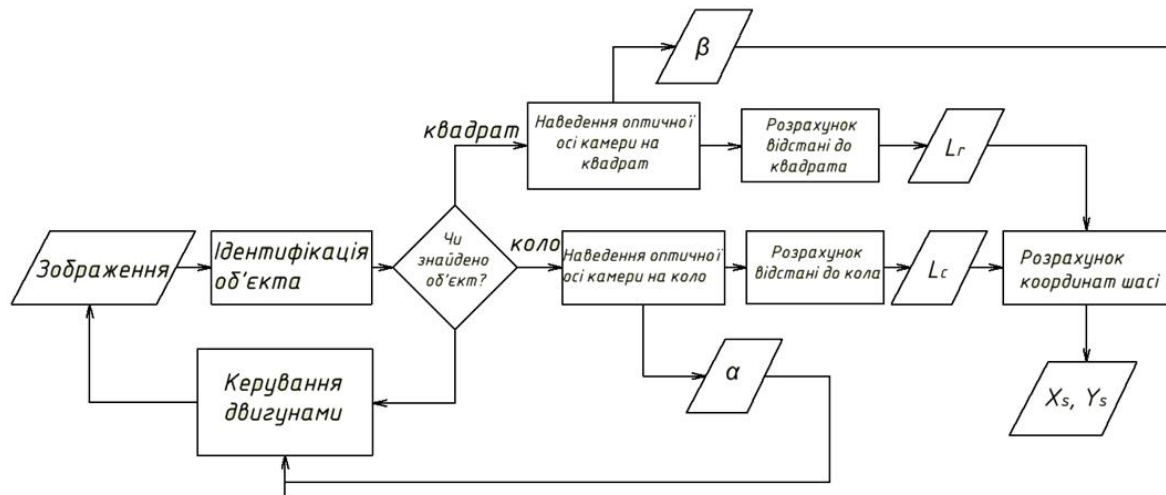


Рис. 3. Загальний алгоритм визначення координат місцезнаходження шасі

Точність визначення координат рухомого об'єкту

Точність визначення координат місцезнаходження шасі залежить від точності визначення відстані від СТЗ до об'єктів-орієнтирів (квадрат і коло). Припустимо, що камера має наступні параметри: оптичне збільшення об'єктиву – D ; розмір кадру – $A \times B$ пікс.; розмір матриці камери – $a \times b$ мм.

Розмір пікселя R визначається як відношення розміру матриці b (мм) до розміру кадру B (пікс.). При визначенні обирається менший розмір.

$$R = b / B \text{ [мм]}. \quad (4)$$

Фокусна відстань F визначається, виходячи із оптичного збільшення:

$$F = b / D \text{ [мм]} \quad (5)$$

у пікселях

$$F_{\text{пікс}} = (b / R) \times D \text{ [пікс]}. \quad (6)$$

Для визначення відстані від СТЗ до об'єкту необхідно визначити розмір пікселя цифрової камери наземного шагу сканування GSD (*ground sample distance*) [9]:

$$GSD = H / F \text{ [пікс]}, \quad (7)$$

де L – відстань до об'єкту (см); F – фокусна висота.

у нашому випадку оптичне збільшення $D = 1$, тоді:

$$L/GSD = B \quad (8)$$

Права частина нерівності визначається згідно параметрів камери і є сталим значенням. Ліва частина нерівності відображає зміну розмірів об'єкту на зображенні у разі зміни відстані до нього.

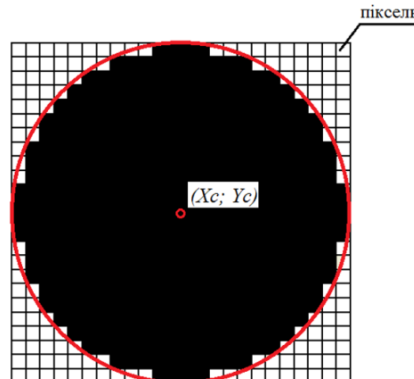


Рис. 4. Зображення кола у кадрі

Джерелом похибки визначення відстані до об'єкту є неточність за контурним аналізом даного об'єкту, яка у свою чергу призводить до помилкового визначення площі фігури на зображенні (рис. 4). Оскільки у даній роботі контур об'єкту визначається за алгоритмом Кенні, то похибка визначення площі фігури на зображенні у першому наближенні має наступне значення:

$$\Delta S = (\pi \times (M/2)^2 - S'_{r,c})/2, \text{ [пікс]} \quad (9)$$

де $S'_{r,c}$ – площа фігури, обмежена контуром Кенні,

M – головний момент фігури на зображенні,

ΔS – похибка визначення площі фігури за алгоритмом Кенні.

Залежність визначення площі об'єкту за алгоритмом Кенні від значення площі об'єкту на зображенні дає наступні висновки: при збільшенні відстані до об'єкту розмір пікселя на місцевості збільшується, а розмір фігури у кадрі зменшується (рис. 5).

Виходячи із формул (3) та (9), похибка визначення відстані до об'єкту має наступний вигляд:

$$\left(\frac{1}{S'_{r,c} + \Delta S} - \frac{1}{S'_{r,c}} \right) \times S \times K = \Delta L \quad (10)$$

Дана похибка є мультиплікативною і збільшується у разі віддалення об'єкту. У даному випадку об'єкт дослідження – коло радіусом 15 мм. Похибка визначення відстані до об'єкту має значення 345 мм у разі віддалення об'єкту на 3700 мм (рис. 6).

Для підвищення точності виміру відстані до об'єкту необхідно збільшити істинні розміри об'єкту для збільшення його розмірів у кадрі камери.

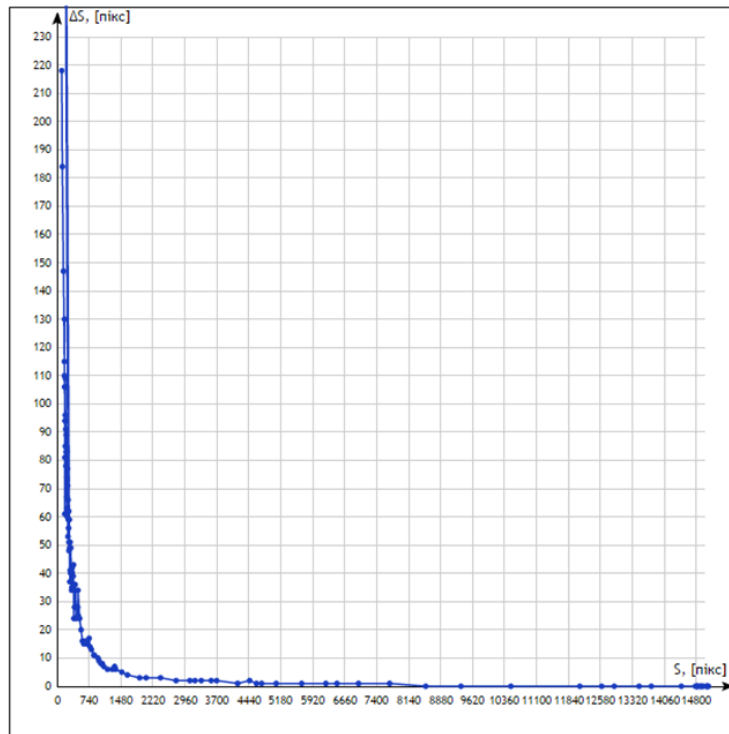


Рис. 5. Графік залежності визначення площі об'єкту за алгоритмом Кенні від значення площі об'єкту на зображенні

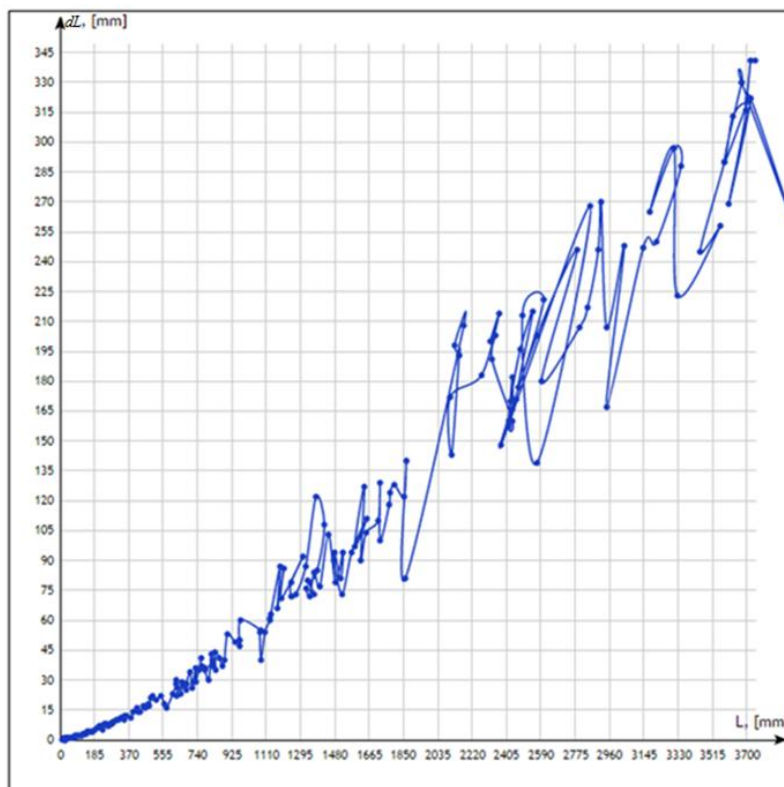


Рис. 6. Графік залежності значення похибки виміру відстані до об'єкту від зміни відстані до відповідного об'єкту

Висновки

Вперше розроблено метод визначення координат місцезнаходження рухомого об'єкту із використанням СТЗ, що дає можливість створення автономної навігаційної системи та її використання у польових умовах.

Вдосконалено алгоритм роботи СТЗ на основі КА, що на відміну від існуючих методів дозволяє покращити процес обробки зображень та підвищити точність розпізнавання об'єктів.

Ефективність методів показана на лабораторному стенді в режимі реального часу.

Список використаної літератури

1. Адаптивные системы технического зрения / В. Н. Гридин, В. С. Титов, М. И. Труфанов].– М.: Наука, 2009.– 442 с.
2. Введение в контурный анализ. Приложения к обработке изображений и сигналов/ А. В. Кревецкий [и др.]; ред. Я. А. Фурман.–2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
4. Збруцкий А. В. Навигация космического аппарата дистанционного зондирования Земли по съемке земной поверхности/ А. В. Збруцкий, А. П. Ганжа – К.: НТУУ «КПИ», 2011.–160 с.
5. John Hershberger, Jack Snoeyink, "Speeding Up the Douglas–Peucker Line-Simplification Algorithm", Proc 5th Symp on Data Handling, 134–143 (1992). UBC Tech Report TR-92-07/
6. Хорн Б. К. П. Зрение роботов./ Б. К. П. Хорн – М.: Мир. – 1989. – 400 с.
7. Дэвид А. Форсайт Компьютерное зрение. Современный подход/ Форсайт Дэвид А., Понс Джин/–М.: Вильямс., 2004.–928 с.
8. Gary B. Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library/ Gary Bradski, Adrian Kaehler.–USA: O'Reilly Media, 2008.–580 p.
9. Ron G. Digital Aerial Survey: Theory and Practice 1st Edition/ Ron Graham, Alexander Koh.–USA: CRC Press LLC, 2002.–352 p.