

ПРОБЛЕМАТИКА МАТЕМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ У РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

Тетяна Кадильникова

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0817-9466>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Ілля Савчук

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0422-0712>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Валерій Некрасов

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9119-0529>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

В останні роки математичне розпізнавання образів знаходить все більше застосування в геоінформаційних системах: використання карт, дешифрування знімків, аналіз екранних відеозображень. Це завжди розпізнавання та аналіз графічних образів, їх вимірювання, перетворення, зіставлення. Дослідження, розробка, реалізація методів розпізнавання та оцінювання об'єктів на зображенні є провідним напрямом у розвитку сучасної робототехніки. Здатність сприймати зовнішній світ у формі образів дозволяє дослідити властивості об'єктів та моделювати процес їх розпізнавання. Звідки витікає, що розпізнавання графічних образів складається зі створення системи правил для їх ідентифікації, класифікації та інтерпретації, що стає головним завданням при орієнтуванні у просторі робототехнічних систем.

МЕТА І ЗАВДАННЯ

В даний час розроблено досить багато різноманітних методів розпізнавання об'єктів на зображенні, але універсального методу для всіх умов розпізнавання не існує. Вибір конкретного методу залежить від багатьох умов, реалізація яких край необхідна в автоматизованих системах, що використовують можливості штучного інтелекту, та призначені для вирішення завдань діагностики, моніторингу, прогнозування, управління складними системами. Такі методи теорії розпізнавання застосовуються для роботи з конкретним типом зображень, та, з точки зору конкретного завдання, доцільно обирати для цього найбільш оптимальний і досконалий метод.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Один з самих розповсюджених методів знаходження об'єкта на зображенні – шаблонний метод за простою відповідністю. Суть методу полягає в покроковому розпізнаванні вхідного зображення за шаблоном. При кожному кроці розпізнавання вимірюється ступінь відповідності ділянки зображення шаблону. Наприкінці розпізнавання виділяються частина зображення, яка найбільш відповідна шаблону. Відповідність може бути визначена також на базі характерних рис за умовами, що зображення і шаблон мають більше співпадінь за характерними рисами та контрольними точками ніж за цілим образом. В якості характерних рис можуть бути точки, криві або моделі поверхні, які порівнюються з шаблоном, для знаходження парних зв'язків.

Шаблонний метод може застосовуватися в комбінованому алгоритмі знаходженні характерних рис та відповідностей шаблонів, що передбачає порівняння на піксельному рівні. Оскільки шаблони не мають помітних загальних характеристик зображення, то встановлюється відповідність за показниками інтенсивності шаблону та зображення, але при цьому спостерігаються випадки, коли це встановити неможливо. В такому разі використовують власне значення та власний простір, які містять інформацію, що потрібна для порівняння образів при різних умовах освітлення і контрасту контуру. Для шаблонного методу можна використовувати кореляцію зображень за умови різної інтенсивності початкового зображення та шаблону. Порівняння проводиться за рівнем подібності на основі кореляцій між шаблоном та оригіналом.

До переваг шаблонного методу відносяться відносно проста реалізація, висока точність розпізнавання, швидкість, надійна робота при відсутності перешкод. До недоліків можна віднести сильну залежність від шаблонів і складність підбору оптимальних шаблонів, а також досить повільну роботу при великій кількості перешкод, чутливість до обертання, шумів і спотворень.

Якщо зображення об'єкта повернуте чи набагато більше шаблону, то метод співставлення з шаблоном буде малоефективним, й потрібно застосовувати методи, які засновані на особливих точках. Ці методи дозволяють співставити об'єкт зі схожими класами об'єктів, або співставити об'єкт сам з собою. Для кожного об'єкта на зображенні можна знайти особливі точки інтересу і описувати ними сам об'єкт, що досягається шляхом використання детектора та дескриптора. До вибору особливих точок були висунути наступні вимоги:

– відмінність - особлива точка повинна виділятися на тлі і бути

унікальною;

- інваріантність - визначення особливої точки повинно бути незалежним до афінних перетворень;
- стабільність - визначення особливої точки повинно бути стійким до шумів і помилок;
- унікальність - особлива точка повинна бути унікальною для поліпшення розрізнення повторюваних патернів;
- інтерпретованість - особливі точки повинні визначатися так, щоб їх можна було використовувати для аналізу відповідностей зображенням.

Одним з детекторів особливих точок зображення є детектор кутів Харріса. Детектор Харріса інваріантний до обертання, афінних змін яскравості, але чутливий до шумів та залежить від масштабів зображення, розглядає зображення, як функцію двох змінних $I(x, y)$. Для кожного пікселя зображення обчислюється значення особливої функції відгуку кута, для цього розраховується матриця Харріса.

Якщо об'єкт складний, але чітко виділяється, то застосувати можна контурний аналіз. Контурний аналіз дає змогу розпізнавати об'єкти на зображенні, маючи всю необхідну інформацію про форму об'єкта, при цьому до уваги не беруться внутрішні точки. Контурний аналіз базується на властивості яскравості та розривності, для пошуку яких використовують матрицю коефіцієнтів відповідно до пікселів вхідного зображення. При цьому градієнт рівня яскравості обраховується у кожній точці, і, якщо зображення простору однотонне, то градієнт рівня яскравості низький. У вихідному положенні такі простори зображення темнішають, і, якщо рівень градієнта високий, на вихідному зображенні вони будуть яскраві.

Для знаходження контурів об'єктів на зображенні використовують метод лінійної фільтрації. У цьому випадку використовують наступні фільтри:

- різницевий амплітудний фільтр;
- максимальний різницевий амплітудний фільтр;
- фільтр Робертса.

Для знаходження контуру використовують ланцюговий код Фрімана. При використанні кода Фрімана будується матриця напрямків, або матриця зв'язності центральної точки з усіма сусідніми точками. Кожний з восьми напрямків переходу від точки до точки кодується трьохбітним кодом, а початкова точка задається, і з неї починається виділення контуру. Контурний аналіз дозволяє вирішити основні проблеми розпізнавання образів – перенесення, поворот, зміна масштабу в зображенні об'єктів.

Ефективні результати в розпізнаванні об'єктів на зображенні та

відео дають згорткові нейронні мережі (CNN). Для організації згорткової нейронної мережі застосовується згортки, підвибіки, повноз'язні шари. Першим кроком є вхідні данні "Input", які містять інформацію про зображення, другий крок - шар згортки "Convolution", в якому відбувається поелементний добуток, після чого всі ці добутки підсумовуються і записуються у нову структуру даних.

Згорткова нейронна мережа має велику кількість фільтрів, завдяки яким відбувається пошук характеристик, а кожна унікальна позиція введеного зображення виробляє число, яке записується у структуру даних. Наступний крок "Pool" - зменшення розміру зображень виконується за рахунок нелінійного ущільнення картки ознак, а саме, із частини пікселів обираються ті, що мають найбільше значення. Далі вступає наступний крок - блок нормалізації «Rectified linear units», який анулює ознаки які не грають важливої ролі у розпізнаванні образів, та блок "Fully connected layer", що виводить N-вимірний вектор класів. В останньому кроці дані із попереднього кроку зрівнюються з тими типами об'єктів, які нейронна мережа навчилася розпізнавати. Така структура дає змогу нейронній мережі розпізнавати різні об'єкти та показувати високий результат. По суті кожен шар нейронної мережі використовує власне перетворення, в результаті якого опрацювання правильно класифікують картинку або потрібний об'єкт на зображенні.

Для розпізнавання об'єктів на зображенні найбільшого поширення отримав метод Віоли-Джонса, в якому використовується принцип сканованого вікна. Цей метод характеризується тим, що пошук об'єктів здійснюється за допомогою ознак Хаара, основою для яких є вейвлети Хаара.

Основні принципи методу Віоли-Джонса:

- інтегральне представлення зображень;
- використання ознаки Хаара;
- обробка класифікатором всіх вхідних даних та видача результатів «вірно» або «невірно»;
- використання каскадів ознак для швидкого відкидання вікон, в яких не знайдено об'єктів.

Особливості, що використовуються у цьому методі, є прямокутні хвилі однакової довжини, які представляють собою 2 інтервали: один високий і один низький. Прямокутна хвиля при цьому представляє собою пару сусідніх прямокутників - один світлий і один темний.

Наявність функції Хаара визначається за допомогою вирахування середнього значення області світлих пікселів з середнього значення області темних пікселів і, якщо різниця перевищує поріг, тоді говорять, що функція Хаара існує.

Інтегральне представлення зображення - це матриця, розмір якої дорівнює розміру вихідного зображення. Елементи матриці розраховуються за формулою:

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j), \quad (1)$$

де $I(i, j)$ - яскравість пікселя вихідного зображення.

Інтегральне зображення прораховується за один прохід, тому що розрахунок матриці займає лінійний час, пропорційний числу пікселів в зображенні.

Розрахунок матриці як сума пікселів довільного прямокутника довільної площі здійснюється за формулою:

$$L(x, y) = I(x, y) - L(x - 1, y - 1) + L(x, y - 1) + L(x - 1, y). \quad (2)$$

Сама найпоширеніша реалізація цього метода належить бібліотеці комп'ютерного зору OpenCV .

При застосуванні нейромережевих методів потрібно велика кількість обчислювальних ресурсів та часу, а це ускладнює застосування при швидкому розпізнаванні об'єкту. Отже, задача розпізнавання об'єктів може бути вирішена лише за конкретних умов. І тому на сьогодні дуже важливою і актуальною є розробка таких методів розпізнавання об'єктів на зображенні, що можуть швидко і ефективно обробляти образи. Сфера застосування даних технологій вкрай велика і продовжує збільшуватися в робототехнічних системах.

Основне завдання в теорії розпізнавання образів зрозуміти, чи відповідають дані на зображенні шуканому об'єкту, при цьому необхідно не лише виділити об'єкт, а точно вказати його положення та розмір в системі зображення.

При розпізнаванні виникає ряд труднощів, які обумовлені наступними чинниками:

- перешкоди та шум;
- складний текстурований фон, на якому відбувається виявлення об'єкту;
- ефекти загороджування одних об'єктів іншими об'єктами;
- оптичні ефекти: розфокусування, дисторсії об'єктивів, ракурсні спотворення та інші;
- різноманітність і змінність самих об'єктів, зміна структури зображень;
- ефекти різкої зміни освітлення: відблиски, тіні;
- дефекти та тимчасові зміни форми об'єктів;
- зміна середовища розповсюдження світла:пил, дим, опади;
- несинхронність реєстрації та обробки даних, збої в комп'ютерних програмах обробки.

Для вирішення задачі розпізнавання об'єктів на зображенні на різних етапах застосовують різні методи і прийоми.

Задача розпізнавання складається з наступних етапів:

- попередня обробка;
- сегментація;
- фільтрація;
- розпізнавання об'єктів.

Основна мета попередньої обробки - зниження перешкод на зображенні та зовнішніх шумів.

Сегментація – це спрощення зображення через поділ його на сегменти. Спрощення відбувається на основі двох принципів: розривності та подібності. Розривність базується на визначенні контурів, а подібність - на визначенні порогового рівня та нарощування областей.

Фільтрація зображення проводиться з метою усунення різних шумів, що можуть причинити неточності та спотворення, які призводять до ускладнення процесу розпізнавання зображення та отримання бажаного результату.

Виділяють частотну і просторову фільтрацію. Частотна базується на методі Фур'є. Просторова фільтрація застосовується для покращення зображень і задач відновлення зображень. Покращення зображення – це видалення із зображення перешкод та шуму, підкреслення границь, зміна контрасту та надання зображенню форми, яка придатна для подальшої обробки. Відновлення зображення – це отримання зображення, близького до ідеалу. При рішенні цього завдання застосовуються фільтри, засновані на обчисленні середнього арифметичного; середнього геометричного; середнього гармонійного; на порядкових статистиках; на виборі середньої точки; на обчисленні максимуму і мінімуму, а також федійний фільтр.

РЕЗУЛЬТАТИ

Розпізнавання об'єктів – це кінцевий етап обробки зображень. Для вирішення задач розпізнавання використовують кореляційні, ознакові, синтаксичні, нормалізаційні методи. Кореляційні методи використовують при спостереженні за роботою роботів, виявлення і розпізнаванні зображень в системі навігації, охоронній системі та системі розпізнавання.

Ознакові методи засновані на виділенні та зіставленні характерних ознак шуканого об'єкта з областю зображення, яка має ці ознаки. Синтаксичні методи полягають в отриманні структурно-лінгвістичних ознак, однакових для еталону і вхідного зображення. Методи нормалізації складаються з автоматичного обчислення невідомих параметрів перетворень за допомогою операторів, які призводить до того, що вхідні зображення доводяться до вигляду еталона.

Існує велика кількість методів обробки зображень, що дає змогу поліпшити якість аналізу і прискорити його, при цьому не існує універсального методу обробки, тому доцільно використовувати той чи інший метод саме під конкретні види зображень, що підвищить ефективність при обробці зображень.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено та впроваджено алгоритм комп'ютерного зору для встановлення відповідності відеокадрів, отриманих з борту БПЛА під час польоту, фрагментам існуючої карти із зображенням місцевості.

2. Розроблено та реалізовано новий алгоритм позиціонування БПЛА за отриманими зображеннями, в якому для пошуку елемента зображення на карті місцевості використано метод пошуку відповідності шляхом створення шаблонів, що дозволило збільшити швидкість обчислень, а також зменшити ймовірність помилки пошуку та значно підвищити точність алгоритму.

3. Метод пошуку за шаблоном дозволяє знайти необхідну ділянку на карті з майже 100 % збігом, що робить цей метод більш точним, ніж матричний та інші.

4. Результати дослідження можуть бути використані як складова частина навігаційної системи БПЛА, що забезпечить роботу такої системи в умовах втрати сигналу глобальної супутникової навігаційної системи або в умовах активної радіоелектронної протидії.

ПОСИЛАННЯ

1. Шаповалов, О. Л., та ін. (2018). Аналіз конструктивних особливостей і технічних характеристик основних типів силових установок для безпілотних літальних апаратів. *Технічні науки та технології*, 2(8), 57–65.

2. Dowing, E. (2015). *Fundamentals of Machine Vision with NI myRIO*. Department of Electrical and Computer Engineering, Rose-Hulman Institute of Technology.

3. Szeliski, R. (2022). Structure from motion and SLAM. *Computer vision: algorithms and applications*, 543–594. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9_11