

УДК 004.93'12

## АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ПЕРЕШКОД В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ТА ПОБУТОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Ржепішевський А.Л.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Досліджено існуючі підходи до виявлення перешкод. Запропоновано новий підхід до виявлення перешкод. Проведено порівняльний аналіз систем розпізнавання перешкод.

**Ключові слова:** розпізнавання перешкод, мобільні роботи, комп'ютерне бачення, обробка зображення, датчик положення.

**Постановка проблеми.** З кожним роком все більшого розповсюдження набувають системи комп'ютерного бачення, які застосовуються в промисловому виробництві, ігровій індустрії, системах забезпечення безпеки, системах керування автономними транспортними засобами, системах контролю якості товарів та ін.

Для певних задач комп'ютерного бачення необхідно не лише виявляти об'єкти на зображеннях, але і вимірювати відстань до об'єкта та його положення в просторі. Наприклад, виявлення відстані до об'єктів та їх положення може застосовуватися для задач керування автономними транспортними засобами, задач відслідковування траєкторії об'єкта, для задач доповнення реальності (ігри, засоби допомоги людям з вадами зору).

Використання камери в поєднанні з сенсорами обертання дозволить виявляти відстань до об'єкту стеження, а також дозволить виділяти об'єкту стеження місце в тривимірному просторі, яке не залежить від початкового нахилу пристрою.

Створення власної підсистеми розпізнавання та ідентифікації об'єктів робочого простору вимагає розгляду аналогічних систем, оскільки розробки в даній області повинні бути спрямовані на модифікацію існуючих методів або на створення абсолютно нових методів роботи підсистеми в цілому. При розгляді існуючих розробок виявляються характеристики класичних методів обробки зорової інформації, їх позитивні і негативні сторони.

Підсистеми подібного класу розробляються в більшості випадків великими корпораціями для власних промислових потреб. Такі розробки найчастіше є вузькоспеціалізованими. Цей факт являє собою значну проблему при перенесенні подібних систем в умови середніх і малих підприємств. На більшості підприємств досі використовуються старі моделі системи технічного зору, що зарекомендували себе як надійний засіб автоматизації виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однією із досить давно розроблених та такою, що з успіхом застосовується у робототехніці є система технічного зору «AUTOVIEW» фірми British Robotic Systems (Великобританія) [1]. Система побудована на базі спеціалізованого процесора Ixi 11-13, який здатний в реальному часі аналізувати зображення розміром 256x256 (256 градацій яскравості). Алгоритми роботи базуються на безпосередній взаємодії захоплюючого пристрою з розпізнаваним об'єктом, який переміщується перед об'єктивом статично закріпленою камери, з метою ідентифікації та подальшої обробки об'єкта. Система забезпечує позиціонування деталі з похибкою не більше  $\pm 0,5$  мм. Область застосування: ділянки автоматичного складання виробів. Недолі-

ком системи є статичне розташування камери, що позначається на вимогах, пропонованих до робочого простору системи технічного зору.

Іншим застосуванням системи технічного зору, є технологічні ділянки сортування об'єктів, що проходять по конвейєру. Системою технічного зору подібного класу є розробка фірми Optical Recognition Systems (США). Система використовується на ділянках сортування пачок сигарет. У системі використовується інформація про кольорову гаму пачок. Інформація піддається модифікованому алгоритму гістограмного згладжування, за рахунок якого забезпечується швидкісне виділення країв об'єктів, з подальшою ідентифікацією об'єктів за колірною гамою.

Застосування промислових роботів, оснащених системою технічного зору не обмежується виробничими приміщеннями підприємств. В інституті імені Келдиша розроблено експериментальний комплекс, який в реальному часі емулює захоплення космічного супутника за допомогою маніпулятора типу РМ-01 [1]. Система технічного зору є апаратно-програмним комплексом на базі персонального комп'ютера і двох статично закріплених відеокамер. У системі використовуються методи розпізнавання на основі особливих точок об'єкта. До недоліків системи слід віднести відсутність мобільних камер і як наслідок високі технічні вимоги до робочого простору.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Найбільш перспективна і багатобічна область застосування система технічного зору – це забезпечення зоровими якостями мобільних роботів. Тут позначаються відмінності мобільних роботів від статично встановлених роботів – можливість вільно переміщатися в виробничому приміщенні. Їх область застосування найбільш обширна: транспортні операції в межах цеху; підводні, космічні, геологічні дослідні роботи та інше. У таких системах швидкісні характеристики систем технічного зору є критичними, оскільки вони повинні забезпечувати розпізнавання та ідентифікацію об'єктів навколишнього простору за час менше, ніж 1/30 секунди.

В тому числі для такої задачі використовується запропонований алгоритм виявлення перешкод, що буде розглянутий в даній статті.

Запропонований метод передбачає використання вбудованої курсової камери в сукупності з датчиком орієнтації, а також сенсором висоти. Загальна стереометрична схема роботи наведена на рис. 1. В даній статті буде розказано, як крок за кроком отримати зображення з камери, обробити його виділивши предмет, що може нести загрозу як перешкода, позначити його на зображенні та поррахувати кутову відстань від оптичної осі каме-

ри до цієї умовної перешкоди, після чого отримати кутову відстань до вертикальної осі. Знаючи висоту, можемо за стереометричною формулою знайти відстань до об'єкта [2].

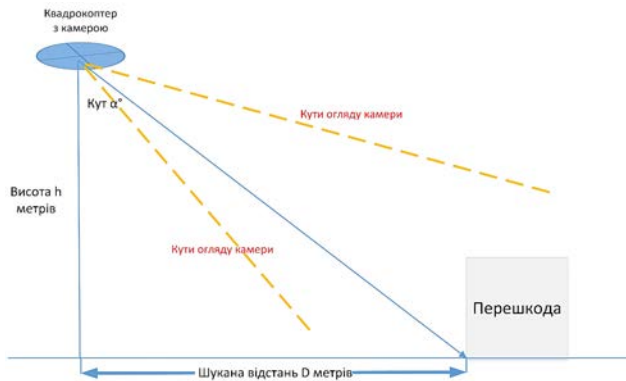


Рис. 1. Схема стереометричних обчислень

**Виклад основного матеріалу.** Пропонується алгоритм, що отримує зображення, представляє його у форматі 256 відтінків сірого, виділяє на ньому переходи між границями, після чого застовується лінійне представлення Хафа [3, 4], за допомогою якого знаходяться лінії на зображенні, серед таких ліній шукаються ті, що закінчуються на основі зображення, тобто лінії, що можуть означати нижні границі перешкод, вибирається точка стеження, як нижній кінець такої лінії та заміряється відстань до неї за висотою та кутовою відстанню до перешкоди.

Для обробки даних з камери нам знадобиться модифікований алгоритм Хафа:

Основна ідея

Нехай дана хмара точок у просторі  $R^m$ :

$$X = \{x_1, \dots, x_n\}$$

і сімейство параметрично заданих кривих:

$$F(\varphi, x) = 0$$

де  $F$  – деяка функція,  $\varphi$  – вектор параметрів сімейства кривих,  $x$  – координати точок з  $R^m$ . Кожне значення  $\varphi$  визначає одну криву, а все безліч значень  $\varphi$  утворюють фазовий простір  $\Phi$  кривих даного сімейства.

В силу обмеженого обсягу пам'яті і дискретного машинного подання не можемо розглядати кожне значення  $\varphi$  окремо, тому фазовий простір  $\Phi$  розбивається на осередки, для чого вводиться регулярна сітка з заданим кроком дискретизації. Кожній клітинці ставиться у відповідність лічильник. Набір всіх лічильників називається акумулятором. Будь-який осередок задає безліч кривих, а значення лічильника осередку визначається кількістю точок із хмари  $X$ , що лежать хоча б на одній з цих кривих. Тоді якщо всі крапки з  $X$  лежали на одній кривій з параметром  $\varphi_0$ , то у відповідній клітинці значення лічильника буде максимально.

Базовий алгоритм

Базовий алгоритм виділення кривих складається з наступних кроків:

1. Вибір сітки дискретизації.

На цьому етапі належить вибрати крок дискретизації для кожного параметра кривої. Від цього вибору залежатиме складність (~ швидкість) і ефективність алгоритму.

2. Заповнення акумулятора (матриці лічильників).

Найчастіше це найдовший крок алгоритму, оскільки заповнення проводиться шляхом повного перебору. Складність алгоритму безпосередньо залежить від першого кроку і становить  $O(N * M)$ , де  $N$  – кількість точок,  $M$  – кількість осередків акумулятора.

3. Аналіз акумулятора (пошук піків).

У матриці акумулятора шукається лічильник з максимальним значенням.

4. Виділення кривої.

Кожна комірка акумулятора є значення фазового простору, а значить, вона задає деяку (шукану) криву. Але оскільки значення на кроці 1 стало дискретним, може знадобитися уточнення кривої яким іншим методом по вже знайденим точкам кривої.

5. Віднімання з акумулятора.

Для точок виділеної кривої вважається тимчасовий акумулятор і поточечно віднімається з основного.

6. Перехід на крок 3.

На кроці 1 вибирається сітка дискретизації. У зв'язку з цим вибором можливі наступні проблеми:

– Сітка обрана занадто дрібною. Тоді, якщо у вихідному хмарі точок був присутній шум, то навіть точки однієї кривої будуть потрапляти в різні осередки сітки, а значить, потенційний максимум акумулятора (відповідний цією кривою) буде <розмитий> і його буде складніше або взагалі неможливо знайти.

– Сітка встановлені надто великою. Тоді існує ймовірність того, що в одну клітинку потраплять точки, що лежать на різних кривих.

– При будь-якій сітці дискретизації, якщо точки хмари  $X$  утворюють криву з параметром  $\varphi_0$ , лежачим на межі осередку, то через шум точки цієї кривої будуть потрапляти в сусідні осередки і спостерігатиметься розмиття піку в акумуляторі. Це взагалі фундаментальна проблема дискретизації.

Складність алгоритму

Заповнення акумулятора на кроці 2 є найбільш трудомісткою частиною алгоритму, складність якої залежить від: розмірності фазового простору і сітки дискретизації. Чим більше розмірність  $\Phi$  і менше сітка, тим більше осередків в акумуляторі. Значить, тим більше потрібно пам'яті і часу для його зберігання та заповнення. Саме тому на практиці найчастіше фазовий простір є площиною, а перетворення Хафа застосовується в основному для пошуку прямих на площині (зображеннях).

Так отримуються всі необхідні дані про перешкоди з камери (рис. 2.), та можемо за стереометричними обчисленнями визначити відстань до об'єкта.

Таким чином, отримується система розпізнавання перешкод та засоби визначення відстані до неї, за умови, що поверхня, над якою знаходиться камера та перешкода є достатньо рівною [2].



Рис. 2. Схема обробки даних

Проведемо порівняння запропонованої системи з існуючими системами розпізнавання об'єктів (табл. 1):

Порівняння систем розпізнавання об'єктів

Система розпізнавання об'єктів	AUTOVIEW	ORS	PM-01	Запропонований алгоритм
Датчики, що використовуються	Камера, обертальна платформа	Закріплена камера	Дві статично закріплені камери	Вбудовані: камера, датчики орієнтації та висоти
Швидкодія	В реальному часі	В реальному часі	В реальному часі	В реальному часі
Якість розпізнавання динамічних предметів	Не застосовується	Відмінна	Не застосовується	Задовільна
Якість розпізнавання статичних предметів	Відмінна	Відмінна	Відмінна	Добра
Можливість швидко змінювати середу роботи	Ні	Ні	Ні	Так
Можливість вести обробку даних на літальному апараті	Ні	Ні	Так	Так
Вірогідність фальшивого спрацювання	Неможлива	Низька	Низька	Висока

**Висновки і пропозиції.** Отже, запропонована система не є достатньо точною для визначення форми та розміру перешкоди, проте працює в широкому спектрі зовнішніх умов, є мобільною та невимогливою до обчислювальних ресурсів. В той же час, система допускає достатню кількість помилок визначень перешкод, зокрема зображення перешкоди на дорозі буде визначено як справжня

перешкода, а також оскільки визначення перешкод відбувається за даними з камери – то різкий перехід колірної гами також може бути розпізнаний як перешкода.

Загалом, система підходить для таких застосувань, де середа передбачає часту зміну умов, таких як керування літальними апаратами та автомобілями, та ін.

#### Список літератури:

1. Путятин Е.П., Аверин С.И. / Обработка изображений в робототехнике. / М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Master Thesis LiTH-ISY-3132 / Computer Vision Classification of Leaves from Swedish Trees / Oskar J.O. / Söderkvist September 20, 2001. – P. 45-48.
3. R. O. Duda and P. E. Hart/ Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures/ Communications of Association for Computing Machinery/ 15(1):11-15, 1972.
4. D. H. Ballard / Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes / Pattern Recognition, 13(2):111-122, 1981.

#### Ржепишевский А.Л.

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»

## АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К СИСТЕМАМ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО И БЫТОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

#### Аннотация

Исследованы существующие подходы к выявлению препятствий. Предложен новый подход к выявлению препятствий. Проведен сравнительный анализ систем распознавания препятствий.

**Ключевые слова:** распознавание препятствий, мобильные роботы, компьютерное зрение, обработка изображения, датчик положения.

#### Rzhepishevskiy A.L.

National Technical University of Ukraine  
«Kiev Polytechnic Institute»

## APPROACHES TO THE RECOGNITION OF OBSTACLES IN INDUSTRIAL AND CONSUMER USE OF MOBILE ROBOTS

#### Summary

The existing approaches to detecting obstacles. A new approach to detect obstacles. A comparative analysis of the recognition of obstacles.

**Keywords:** obstacles detection, mobile robots, computer vision, image processing, orientation sensor.