

М.С. Граф, доктор філософії  
К.Р. Колос, д.пед.н., проф.  
О.В. Кузьменко, ст. викладач

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Математичний підхід у системі розпізнавання вільних паркомісць з використанням геометричних параметрів та двовимірних форм

*Стратегія розпізнавання вільних та зайнятих місць паркування полягає у вивченні об'єктів на зображенні, їх розпізнаванні та зіставленні їх з об'єктами, збереженими у базі даних. Існує багато алгоритмів, ефективних для розпізнавання, наприклад, такі: аналіз головних компонентів, дискретне косинусне перетворення, 3D-методи розпізнавання, метод вейвлетів Габора тощо. При виборі методу розпізнавання об'єктів необхідно враховувати такі фактори, як: точність, часові обмеження, швидкість процесу та доступність. Завданнями, що розглядаються в цій статті, є виявлення об'єктів на стоп-кадрах з відеопотоку та їх сегментація. У цій статті пропонується новий підхід до розпізнавання вільних та зайнятих паркомісць. Запропонований метод полягає в тому, що за допомогою тривимірної геометрії параметри об'єктів поєднуються з їхніми інваріантними ознаками для розпізнавання. В дослідженні авторами описано метод вилучення приблизної тривимірної інформації про об'єкти із зображення та розглянуто систему машинного зору для розпізнавання плоского вигляду вільних та зайнятих паркомісць. Результати проведених експериментів показують, що запропонований підхід гарно розпізнає спотворені форми плоских об'єктів.*

**Ключові слова:** машинний зір; розпізнавання; геометричні параметри; математичне моделювання; двовимірні методи.

**Актуальність теми.** Однією з важливих промислових застосованих областей машинного зору є розпізнавання вільних та зайнятих паркомісць. Типові сфери застосування – це виробничі системи, навчальні системи, системи безпеки міст та інше. Наразі актуальною є проблема розпізнавання деяких об'єктів, що не мають спотворення форми, яка може бути спричинена проведенням масштабування, зсуву, переміщенням або обертанням, особливу важливість набуває в динамічних системах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Такі проблеми можна розглядати як незначні. Однак особливості розпізнавання окремих об'єктів з викривленою формою або закритим іншим об'єктом формою залишаються неповністю вирішеними [1]. Проводяться дослідження для розв'язання таких завдань [2–5]. Основними пропозиціями для вирішення таких проблем є використання двовимірних інваріантних ознак форми для розпізнавання [6–8], що також мають назву 2D-методів. Аналіз показників ефективності та проведення оцінки моделей для виявлення об'єктів за допомогою комп'ютерного зору описано в [9]. Основними недоліками 2D-методів є те, що, коли два об'єкти мають однакову форму, але різний розмір, такі методи є незадовільними для правильного розпізнавання. Описану проблему можна вирішити за допомогою поєднання двовимірних зображень об'єктів з їхніми тривимірними геометричними параметрами в процесі розпізнавання. Спираючись на запропоновані ідеї, авторами представлено новий підхід до розпізнавання об'єктів. Основний принцип базується на використанні ефективного методу для отримання приблизної тривимірної інформації про об'єкти на зображенні, обчислення геометричних параметрів з наявної тривимірної інформації та поєднання з інваріантними ознаками форм для розпізнавання. Запропонований підхід є доволі простим, ефективним і практичним. Як систему машинного зору для розпізнавання плоских вільних та зайнятих паркомісць на основі цього підходу використовують дані з камер, розміщених навколо парковок у вигляді відеопотоку та стопкадрів. Для тестування методу використовується двадцять різних вільних та зайнятих паркомісць з різними формами та розмірами, що розташовано на обраній парковці. В результаті проведених експериментів було зроблено висновок, що запропонований підхід дозволяє досягти високі показники точності запропонованого методу.

**Мета роботи** – запропонувати математичний підхід для розпізнавання вільних та зайнятих паркомісць на парковках міста.

**Викладення основного матеріалу. Виділення інваріантних ознак зі стоп-кадрів.** В запропонованому підході до обробки зображень потрібно отримати 2D-інваріантні за формою характеристики контурів. Пропонований алгоритм рішення пропонується розділити на два етапи. Спочатку проводиться процедура попередньої обробки багатокутників контурів для можливості апроксимації. Далі з вершин отриманих багатокутників відбувається отримання двовимірних інваріантних ознак.

Припустимо, що увігнутість або випуклість вершин визначених багатокутників є інваріантними відносно спотворень їх форми, та це може бути наслідком, що спричинюється у зв'язку зі зміною напрямку огляду

камери. Тому пропонується використовувати такі викривлення багатокутників як ознаку інваріанта форми. На рисунку 1 показано контур двовимірного об'єкта.  $P_2, P_3$  і  $P_4$  – це увігнуті вершини, всі інші вершини – випуклі. На рисунку видно увігнутість та випуклість контуру інваріантною при будь-якому розгляді об'єкта.

Додамо декілька визначень.

Визначення 1. Вершина багатокутника, що має одну з суміжних вершин увігнуту, а іншу – випуклу, буде мати назву характерної точки.

Згідно з визначенням, точки  $P_1, P_2, P_4$  та  $P_5$  на рисунку 1 є характерними точками.

Визначення 2. Ребро будемо вважати випуклим або увігнутим, якщо одна з вершин є такою самою, визначення використовується для будь-якого ребра існуючого багатокутника.

Визначення 3. Якщо сегмент має усі послідовні ребра увігнуті, то він також є увігнутим. Те саме стосовно вигнутого сегмента.

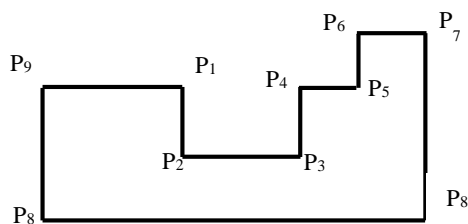


Рис. 1. Приклад контуру двовимірного об'єкта

Можна виділити характерні точки, аналізуючи увігнутість і випуклість вершин багатокутників.

Розглянемо систему машинного зору, в якій є одна камера. За таких умов можна визначити та перетворити матрицю  $T$  між точками на парковці та відповідними пікселями на зображенні. Якщо розпізнаваний об'єкт знаходиться на парковці, тривимірні координати точки такого об'єкта можуть бути приблизно розраховані за допомогою матриці перетворення  $T$ .

Матриця перетворення  $T$  між точками на парковці та відповідними їм піксельними точками на зображенні може бути визначена через калібрування камери. Коли орієнтація та положення камери змінилася, потрібно провести повторне калібрування камери перед розпізнаванням чи моделюванням. У запропонованому методі використовується прямий метод калібрування. Нехай  $x, y, z$  – це точка на парковці. Площина, що задовольняє рівняння:

$$z = ax + by + c \tag{1}$$

Де  $a, b$  і  $c$  – відомі константи. Припустимо,  $u, v$  – відповідна точка  $x, y, z$  на стоп-кадрі автівки,  $t$  – відповідне значення часу на стоп-кадрі. Потім матриця перетворення  $T$  між  $x, y, z$  і  $u, v$  може бути визначена за допомогою рівняння (1) та таких рівнянь:

$$u \cdot t = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}; \tag{2}$$

$$v \cdot t = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}; \tag{3}$$

$$t = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}. \tag{4}$$

Об'єктна модель становить собою плаский об'єкт (рис. 2). Коли необхідно провести калібрування, модель розміщується в спеціальному положенні.

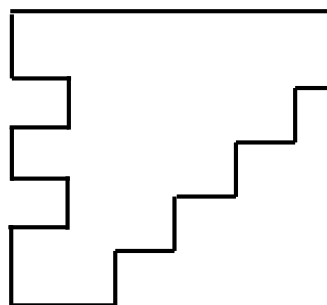


Рис. 2. Об'єктна модель для калібрування

Програма спочатку отримує контур багатокутника об'єкта шляхом обробки зображення низького рівня. Потім алгоритм відповідності використовується для визначення відповідності між кутовими точками об'єкта на площині зображення та вершинами моделі. Нарешті, коефіцієнти  $a$  ( $i, j = 1, \dots, 3$ ) обчислюються за допомогою методу найменших квадратів.

Після отримання матриці перетворення  $T$  тривимірні координати вершин контуру багатокутника можна приблизно розрахувати за їх піксельними точками на зображенні та матрицею перетворення  $T$ . Геометричні параметри об'єктів можуть бути розраховані за їх тривимірними координатами. Зрозуміло, що ми можемо розрахувати різні геометричні параметри для різних розпізнаваних об'єктів. Проте лише кілька ефективних геометричних параметрів можуть бути використані для практичного розпізнавання з метою скорочення часу роботи алгоритму розпізнавання. У запропонованому методі для розпізнавання використовуються лише геометричні параметри, що описують контури деталей. Після перетворення вершин площини зображення в точки на площині парковки для побудови моделі об'єкта розраховуються такі параметри:

$OL$ : довжина контуру об'єкта;

$CL_1$ : максимальна довжина випуклих сегментів багатокутника;

$CL_2$ : максимальна довжина увігнутих сегментів багатокутника;

$CN$ : кількість характерних точок;

$VL_i$ : Нехай  $V_i$  ( $i = 1, \dots, CN$ ) – перетворені точки характерних точок багатокутника за допомогою  $T$ . Тут всі  $V_i$  впорядковані за годинниковою стрілкою, і  $V_1$  – це початкова вершина випуклого відрізка, який має максимальну довжину (не існує особливої точки, коли всі вершини багатокутника є випуклими). Тоді  $VL_i$  ( $i = 1, \dots, CN - 1$ ) – це довжина часткового контура від  $V_i$  до  $V_{i+1}$ .

Основна ідея алгоритму відповідності полягає в тому, що спочатку ми отримуємо вибірку  $\overline{PM}$ , яка складається з параметрів, що описують частину сцени методом, а потім порівнюємо зразок з базою кожної моделі  $PM$ , щоб знайти оптимальну відповідність.

Нехай  $\overline{CN}$ ,  $\overline{OL}$ ,  $\overline{CL}_1$ ,  $\overline{CL}_2$ ,  $\overline{VL}_i$  ( $i = 1, \dots, \overline{CN} - 1$ ) є параметрами  $\overline{PM}$ , і  $CN$ ,  $OL$ ,  $CL_1$ ,  $CL_2$ ,  $VL_i$  ( $i = 1, \dots, CN - 1$ ) є параметрами моделі. Тоді  $\overline{PM}$  і  $PM$  можуть бути представлені таким чином:

$$\overline{PM} = \{\overline{CN}, \overline{OL}, \overline{CL}_1, \overline{CL}_2, \overline{VL}_i (i = 1, 2, \dots, \overline{CN} - 1)\}; \quad (5)$$

$$PM = \{CN, OL, CL_1, CL_2, VL_i (i = 1, 2, \dots, CN - 1)\}. \quad (6)$$

Припустимо, що  $T_1$  і  $T_2$  – два порогові значення,  $ER$  визначається за такою формулою:

$$ER = S_1 \times (OL - \overline{OL}) + S_2 \times (CL_1 - \overline{CL}_1) + S_3 \times (CL_2 - \overline{CL}_2) + S_4 \times (\sum_{i=1}^{\overline{CN}-1} (VL_i - \overline{VL}_i)), \quad (7)$$

де  $S_i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) – вагові коефіцієнти. Модель  $\overline{PM}$  є найкращим відповідником для  $PM$ , якщо вона відповідає таким умовам:

$$\begin{cases} \overline{CN} = \overline{CN} \\ |\overline{OL} - \overline{OL}| < T_1 \\ |\overline{CL}_1 - \overline{CL}_1| < T_2, |\overline{CL}_2 - \overline{CL}_2| < T_2 \\ \overline{ER} = \min(ER) \end{cases} \quad (8)$$

Для оцінки ефективності підходу в експерименті використовується двадцять п'ять плоских зображень у вигляді стоп-кадрів з відеопотоку. Правильна відповідність може бути отримана, якщо камеру піддають 3D масштабуванню, переміщенню та обертанню у великій площині.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У дослідженні пропонується новий підхід до розпізнавання вільних та зайнятих паркомісць на парковках міста, на основі якого планується навчити нейронну мережу для розпізнавання зайнятості паркомісць. Головний принцип описаного підходу полягає в тому, що спочатку застосовується матриця перетворення  $T$  між точками на парковці та відповідними точками пікселів на площині зображення для приблизного розрахунку тривимірних координат точок контуру об'єктів, а потім обчислюється група геометричних параметрів контурів об'єктів. Ці геометричні параметри поєднуються з інваріантами форми для розпізнавання. Результати експериментів підтверджують правильність цього підходу.

#### Список використаної літератури:

1. Varifocalnet: An iou-aware dense object detector / H.Zhang, Y.Wang, F.Dayoub, N.Sunderhauf // In Proceedings of the IEEE CVF conference on computer vision and pattern recognition. – 2021. – P. 8514–8523.
2. Improved Design Based on IoU Loss Functions for Bounding Box Regression / Z.Liu, J.Cheng, Q.Wang, L.Xian // IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC). – Beijing, China, 2022. – P. 452–458. DOI: 10.1109/IAEAC54830.2022.9929938.
3. Multiscale IOU: A Metric for Evaluation of Salient Object Detection with Fine Structures / A.Ahmadzadeh, D.J. Kempton, Y.Chen, R.A. Angryk // IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – Anchorage, AK, USA, 2021. – P. 684–688. DOI: 10.1109/ICIP42928.2021.9506337.
4. Марчук Д.К. Види архітектур нейронних мереж для вирішення задач комп'ютерного зору / Д.К. Марчук, М.С. Граф // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : XIII Міжнародна науково-практична конференція, 25–26 травня. – Чернігів, 2023. – С. 270–272.
5. Граф М.С. Система обходу навчальних перешкод безпілотним повітряним судном / М.С. Граф // Технічна інженерія. Серія : Інженерія програмного забезпечення. – 2020. – Вип. 2 (86). – С. 81–85.
6. Yang J.Y. Automatic Recognizing Tools and Parts Using Structure Features / J.Y. Yang, Q.Hu // Proc. of Int. Workshop on Industrial Application of Machine Vision and Intelligence. – 1988.
7. Yang J.Y. Recognition of Shape Distorted and Occluded Parts by Using Shape Invariant Features / J.Y. Yang, Q.Hu // Robots (in chinese ). – 1989. – Vol. 2, No. 2.

8. Hu Q. A Method of Establishing Pattern Database for Machine Vision System / Q.Hu, J.Y. Yang // IEEEESMC. – 1988.
9. Марчук Д.К. Методи оцінки ефективності моделей виявлення об'єктів у комп'ютерному зорі / Д.К. Марчук, М.С. Граф // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2023. – № 2 (85). – С. 181–186.

**References:**

1. Zhang, H., Wang, Y., Dayoub, F. and Sunderhauf, N. (2021), «Varifocalnet: An iou-aware dense object detector», *In Proceedings of the IEEE CVF conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 8514–8523.
2. Liu, Z., Cheng, J., Wang, Q. and Xian, L. (2022), «Improved Design Based on IoU Loss Functions for Bounding Box Regression», *IEEE 6th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, Beijing, China, pp. 452–458, doi: 10.1109/IAEAC54830.2022.9929938.
3. Ahmadzadeh, A., Kempton, D.J., Chen, Y. and Angryk, R.A. (2021), «Multiscale IOU: A Metric for Evaluation of Salient Object Detection with Fine Structures», *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Anchorage, AK, USA, pp. 684–688, doi: 10.1109/ICIP42928.2021.9506337.
4. Marchuk, D.K. and Hraf, M.S. (2023), «Vydy arkhitektury neuronnykh merezh dlia vyrishennia zadach kompiuternoho zoru», *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system, XIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia*, 25–26 travnia, Chernihiv, pp. 270–272.
5. Hraf, M.S. (2020), «Systema obkhotu navchalnykh pereshkod bezpilotnym povitrianyim sudnom», *Tekhnichna inzheneriia. Seriia. Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia*, Issue 2 (86), pp. 81–85.
6. Yang, J.Y. and Hu, Q. (1988), «Automatic Recognizing Tools and Parts Using Structure Features», *Proc. of Int. Workshop on Industrial Application of Machine Vision and Intelligence*.
7. Yang, J.Y. and Hu, Q. (1989), «Recognition of Shape Distorted and Occluded Parts by Using Shape Invariant Features», *Robots (in chinese)*, Vol. 2, No. 2.
8. Hu, Q. and Yang, J.Y. (1988), «A Method of Establishing Pattern Database for Machine Vision System», *IEEEESMC*.
9. Marchuk, D.K. and Hraf, M.S. (2023), «Metody otsinky efektyvnosti modelei vyavleniia ob'iektiv u kompiuternomu zori», *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, No. 2 (85), pp. 181–186.

**Граф** Марина Сергіївна – доктор філософії з комп'ютерних наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-4873-548X>.

Наукові інтереси:

- інформаційні системи; веборієнтовані системи;
- обробка інформації; аналіз даних;
- нейронні мережі; нечітка логіка;
- математичне моделювання.

**Колос** Катерина Ростиславівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-1038-8569>.

Наукові інтереси:

- дистанційне навчання;
- проектування і використання комп'ютерно орієнтованого навчального середовища освітнього закладу;
- прикладна математика;
- математичне моделювання.

**Кузьменко** Олександр Вікторович – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-4937-3284>.

Наукові інтереси:

- інтерактивні навчальні курси; вебтехнології;
- прикладна математика;
- фізика ігрових процесів.

**Graf M.S., Kolos K.R., Kuzmenko O.V.**

**Mathematical approach in the system of free parking spaces recognition using geometric parameters and two-dimensional shapes**

The strategy of recognising free and occupied parking spaces is to study the objects in the image, recognise them and compare them with the objects stored in the database. There are many algorithms that are effective for recognition, such as principal component analysis, discrete cosine transform, 3D recognition methods, Gabor wavelet method, etc. When choosing an object recognition method, factors such as accuracy, time constraints, process speed, and accessibility should be taken into account. The tasks considered in this article are object detection in freeze frames from a video stream and their segmentation. This paper proposes a new approach to recognising free and occupied parking spaces. The proposed method is based on combining the parameters of objects with their invariant features for recognition using three-dimensional geometry. In the study, the authors describe a method for extracting approximate three-dimensional information about objects from an image and consider a machine vision system for recognising the flat appearance of free and occupied parking spaces. Experimental results show that the proposed approach is good at recognising distorted shapes of flat objects.

**Keywords:** machine vision; recognition; geometric parameters; mathematical modelling; two-dimensional methods.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2024.