

## УПРАВЛІННЯ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

## CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS

DOI: 10.20998/2079-0023.2024.02.03

УДК 004.93

**О. В. ПОЛЯРУС**, доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна; e-mail: poliarus.kharkov@ukr.net; Researcher ID: AАН-1197-2020; SCOPUS Author ID: 14024556800; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8023-5189>

**Ю. С. ХОМЕНКО**, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна; e-mail: khomenko.yura40@gmail.com; Researcher ID: GSD-3718-2022; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9242-1202>;

### МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ ДЛЯ НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ СЕРЕДНЬОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛЬОРІВ

Застосування відеокамер при навігації автономних мобільних роботів є один з можливих шляхів реалізації пасивних дистанційних методів виявлення наземних орієнтирів. Було запропоновано метод виявлення наземних орієнтирів при навігації автономних мобільних роботів, що ґрунтується на використанні особливостей розподілу середньої інтенсивності кольорів в стовпцях матриці відеокамери автономного мобільного робота. Головна особливість розподілу проявляється в тому, що при появі в зоні огляду відеокамери стовпоподібного об'єкту як можливого орієнтиру в ньому з'являється стрибок або провал, амплітуда яких може служити в якості критерію виявлення орієнтиру. В роботі показано, що цю операцію можна ефективно виконати на основі аналізу матриці зображення, якщо колір орієнтиру істотно відрізняється від кольору фонового зображення. В інших випадках запропоновано використовувати усереднення інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів по стовпцях матриці відеокамери. Вказаний метод для підвищення ймовірності виявлення орієнтиру в широких умовах застосування відеокамери автономного мобільного робота запропоновано в якості критерію виявлення застосовувати добуток модуля похідної від розподілу середніх кольорів в стовпцях матриці на модуль різниці зазначеного розподілу і його середнього значення по всім стовпцям. Було встановлено, що добуток модуля зазначеної похідної на модуль різниці між розподілом середніх кольорів і середнім значенням цього розподілу, який названо визначальним добутком, може служити в якості критерію для виявлення наземного орієнтиру. Показано, що перевищення максимального значення визначального добутку над пороговим значенням, яке визначають на основі аналізу статистичних даних, в будь-якому з каналів червоного, зеленого і синього кольорів свідчить про виявлення наземного орієнтиру. Дані дослідження показують, що визначальний добуток за своїм впливом на ймовірнісні характеристики виявлення схожий з відношенням сигнал-шум в радіолокації.

**Ключові слова:** автономний мобільний робот, наземний орієнтир, кольоровість, стрибки параметрів, розподіл інтенсивності кольору.

**Вступ.** При роботі по ліквідації наслідків катастроф і аварій на місцевостях, коли існує небезпека для життя і здоров'я людей, підвищується корисна роль автономних мобільних роботів (АМР), які можуть виконати частину робіт на зазначених місцевостях. Навігація роботів на місцевості здійснюється, як правило, з допомогою GPS. Однак, ефективність цієї навігаційної системи може значно знижуватися внаслідок перекриття області, істотної для поширення електромагнітних хвиль, зруйнованими елементами будівель, рельєфом місцевості тощо. Крім того, можлива постановка завдань приймальним елементам GPS, що розміщені на АМР. Отже, нагальною необхідністю стає використання автономних мобільних роботів, які здатні здійснювати навігацію без використання GPS. Автономна навігація роботів без GPS можлива по цифровій карті конкретної місцевості, яка, однак, при значних руйнуваннях об'єктів на місцевості може виявитися малоприматною. Оскільки ситуація на місцевості може піддаватися змінам внаслідок пожеж, вибухів та інших факторів, створення нової карти місцевості в умовах дефіциту

часу є недоцільним. Таким чином, АМР самостійно повинен знаходити нерухомі об'єкти на місцевості, до яких він може «прив'язуватися».

**Постановка проблеми.** «Прив'язка» АМР повинна здійснюватися до об'єктів, які будемо називати наземними орієнтирами (НО). Як правило, наземний орієнтир повинен бути високим об'єктом з малими лінійними розмірами у горизонтальній площині. Він забезпечує при належних умовах високу кутову точність «прив'язки» робота в горизонтальній площині. Як правило, потрібно мати декілька НО для створення АМР своєї системи координат на місцевості, де робот виконує поставлене завдання. Дальність до НО може визначатися активними засобами випромінювання. При використанні роботом активних засобів (радар, ультразвуковий далекомір, лазерна система тощо) наземний орієнтир екранується ненавмисними завадами, що обумовлені відбиттям хвиль від об'єктів, що оточують НО [1]. Отже, при наявності фонового відбиття від елементів місцевості доцільно використовувати для автономної навігації АМР невипромінюючі системи,

© Полярус О. В., Хоменко Ю. С., 2024



**Дослідницька стаття:** Цю статтю опубліковано видавництвом *НТУ «ХПИ»* у збірнику «Вісник Національного технічного університету "ХПИ" Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Common Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). **Конфлікт інтересів:** Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



до яких належать, зокрема, відеокамери та камери нічного бачення. В статті аналізується ефективність використання в АМР відеокамер для світлого часу доби при наявності складних фонових зображень. Якщо ж за орієнтиром є фонові зображення, що близькі за кольором з НО, то завдання виявлення відеокамерою наземного орієнтиру не завжди може бути вирішено успішно. Отже, на цей час проблема виявлення і розпізнавання наземного орієнтиру відеокамерами робота при наявності щільних фонових зображень залишається вирішеною тільки частково і тому потребує розв'язання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато методів обробки кольору зображень [2] є ефективними в прикладних задачах, коли проведена попередня обробка зображення при належному виборі характеристик відео камери [3]. Для розпізнавання НО часто використовуються шаблони [4], а належність реальних зображень до шаблонів оцінюється з допомогою нечітких множин. Для підвищення показників розпізнавання застосовуються декілька відеокамер в одному полі огляду [5]. Істотно може покращити характеристики виявлення НО апріорна інформація про орієнтир [6]. Всі сучасні алгоритми оброблення зображень працюють, як правило, в реальному часі, причому навіть при обробці зображень від рухомих об'єктів [7]. У роботі [8] синтезована система диференціальних рівнянь для виявлення, розпізнавання орієнтирів і для оптимального визначення цих параметрів та їх дисперсій. Для задач виявлення і розпізнавання НО починають використовуватися інтелектуальні системи на основі нейронних мереж [9] та глибокого машинного навчання в хмарах точок [10]. У [11] запропоновано два методи виявлення стовпоподібних НО. Один з них ґрунтується на накопиченні зсунутих в часі сигналів кольоровості при скануванні відеокамерою в азимутальній площині, а другий використовує моди Гільберта – Хуанга, які містять інформацію про стрибки кольоровості.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для розпізнавання об'єктів на матриці зображення в [11] використовується двовірсна картина розподілу інтенсивності кольорів, в якій здійснюється усереднення інтенсивностей (або координат) кольорів по стовпцям матриці. Це означає, що здійснюється відображення двовірсного розподілу кольорів матриці зображення в одномірний розподіл складових червоного, зеленого та синього кольорів  $R(x), G(x), B(x)$ , тобто залежностей цих параметрів від горизонтальної координати  $x$  матриці відеокамери. Прийнятний наземний орієнтир, як правило, є витягнутим у вертикальній площині і має приблизно однаковий колір, інтенсивність якого майже співпадає з середнім по тим стовпцям, що охоплюють цей орієнтир. Усереднені значення кольорів  $R, G, B$  в інших стовпцях кадру з неоднорідним фоном у більшості випадків відрізняються від параметрів  $R, G, B$  орієнтиру. Ці усереднені значення інтенсивності або координат кольорів будемо називати параметрами кольоровості зображення.

При скануванні навколишнього простору відеокамерою в зону огляду, де є наземний орієнтир, для кожного моменту часу НО буде розміщений в різних частинах кадру [11]. При введенні відповідної затримки в розподіл кольоровості, який є функцією азимутальної координати та часу сканування, стрибки або провали кольоровості, що обумовлені наявністю орієнтира, будуть складатися в фазі, а в інших напрямках, де немає НО, – довільно. Така фізична картина спостерігається, якщо радіус кореляції флуктуацій кольоровості фонових зображень  $R(x), G(x), B(x)$  є невеликим [11]. В інших випадках накопичення стрибків чи провалів кольоровості також відбувається, але істотного перевищення стрибка чи провалу кольоровості над фоновією кольоровістю не відбувається. Складання параметрів кольоровості в кутових напрямках, де орієнтир відсутній є хаотичним і тому дає деяку усереднену амплітуду параметру кольоровості. Сума залежностей  $R(x)$  для різних кутових напрямків є функцією радіусу кореляції флуктуацій параметрів кольоровості. Звідси випливає необхідність розробки методу виявлення НО, що не залежить від зазначеного радіусу кореляції.

**Метою статті** є розробка методу виявлення наземних орієнтирів відеокамерою автономного мобільного робота, що слабо залежить від радіусу кореляції флуктуацій кольоровості в широкому діапазоні умов фонових освітлення та кольорів, впливу заважаючих факторів тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз можливостей з виявлення наземного орієнтиру проведемо з використанням середнього значення кольорів в стовпцях матриці зображення, тобто кольоровості. Для зображення, що приведене на рис. 1, розподіл складових кольоровості  $R, G, B$  вздовж горизонтальної координати матриці, показано на рис. 2.



Рис. 1. Приклад зображення

Як впливає з рис. 2, складові кольору  $R, G, B$  мають близький за характером розподіл і тому далі будемо в багатьох випадках обмежуватися тільки розподілом одного з кольорів, найчастіше, червоного. В усіх трьох кривих є один великий провал розподілу і декілька менших. Порівняння рис. 2 з рис. 1 свідчить, що ці провали обумовлені наявністю окремих дерев, які в якості орієнтирів є не дуже зручними, оскільки не зосереджені в горизонтальній площині. Для створення моделей вузьких в цій площині НО розроблений код програми встановлення моделей стовпоподібних орієн-

тирів будь-який розмірів на будь-яке зображення. Щоб встановити фізичні закономірності процесів виявлення НО, моделі вибиралися різних розмірів і кольорів.



Рис. 2. Розподіл середніх червоного, зеленого та синього кольорів вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери

Приклад орієнтури червоного кольору, що накладений на зображення (рис. 1), приведено на рис. 3.



Рис. 3. Зображення з накладеною моделлю наземного орієнтури

Розподіл кольоровості для складової червоного кольору показано на рис. 4.



Рис. 4. Розподіл складової червоного кольору вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери

Порівняно з провалами кольоровості від дерев провал від моделі стовпа не спостерігається, а навпаки, замість провалу реєструється великий стрибок. Слід зазначити, що передбачити стрибок чи провал від НО важко, але це не потрібно, оскільки критерієм виявлення може бути як стрибок, так і провал, причому в розподілі трьох кольорів  $R, G, B$  деякі можуть мати стрибок, а інші кольори – провали, чи навпаки. Стрибок кольоровості на рис. 4, по-перше, майже повторює форму моделі стовпа, а, по-друге, він має велику амплітуду порівняно з кольоровістю фону. Для складових зеленого та синього кольорів спостерігаються аналогічні стрибки, хоча їх відносна амплітуда менша, ніж для червоного кольору. Причина цього зрозуміла: модель стовпа є червоною. Звідси випливає висновок про можливість використання стрибків або провалів кольоровості для виявлення НО, однак, на практиці перевищення кольоровості в місці розміщення НО над кольоровістю фону не завжди є великим. Ось чому потрібні інші підходи, які дозволяють досягти прийнятної ймовірності виявлення НО в умовах, коли стрибки або провали кольоровості мало відрізняються від фонові кольоровості.

Логічно припустити, що похідні в тих точках, в яких відбуваються різкі зміни кольоровості, мають бути великими, що підтверджує рис. 5.

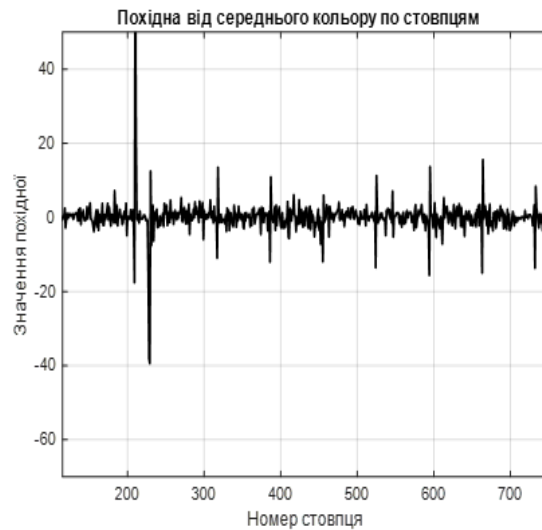


Рис. 5. Похідна від розподілу складової червоного кольору, яка показана на рис. 4

Як випливає з рис. 5, у місці розміщення НО похідна є великою для фронту і спаду розподілу кольоровості, але має різні знаки. Ця ознака може використовуватися для реєстрації початку і кінця стрибка чи провалу кольоровості. Похідні для кольоровості, що описує фонове зображення, є меншими, ніж в місці розміщення орієнтури. Це обумовлено усередненням кольорів в стовпцях, що привело до згладжування флуктуацій кольорів. В даному прикладі похідна від стрибка кольоровості від НО є великою, а в окремих ситуаціях вона може бути набагато меншою. Отже, логічно використати для виявлення НО як амплітуди стрибків (провалів) кольоровості, так і значення похідних від розподілу кольоровості. У

зв'язку з цим в якості критерію виявлення орієнтиру доцільно використати добуток модуля похідної від розподілу кольоровості на модуль різниці розподілу кольоровості і середнього значення цієї кольоровості по всім стовпцям. Для скорочення запису будемо називати цей добуток визначальним, оскільки при порівнянні його максимального значення з пороговим значенням визначається наявність НО в зоні огляду відеокамери. Для розглянутого прикладу залежність визначального добутку від номеру стовпця матриці зображення показано на рис. 6.

Тут створені умови для явного виявлення і виділення наземного орієнтиру на фоні зображення (рис. 1).



Рис. 6. Залежність визначального добутку від номеру стовпця матриці відеокамери

Якщо колір стовпа змінити на зелений, то визначальний добуток зміниться лише незначно (рис. 7), проте умови фіксації стрибка як по фронту, так і по спаду, помітно покращуються, що сприяє більшій стабільності системи.

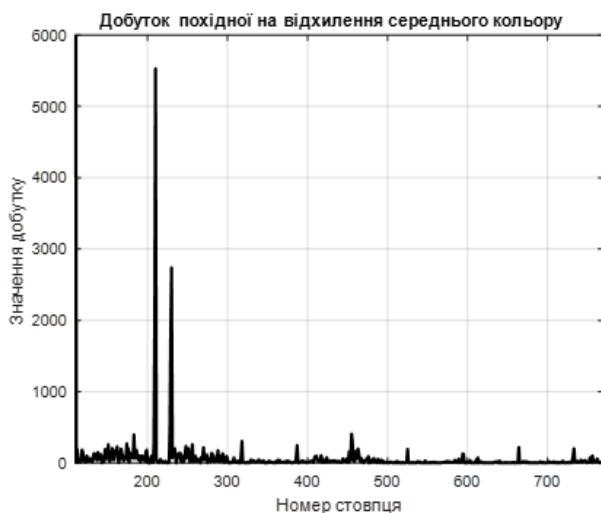


Рис. 7. Залежність визначального добутку від номеру стовпця матриці зображення для моделі стовпа зеленого кольору

Розглянемо тепер реальний стовп замість модельного (рис. 8).



Рис. 8. Зображення реального стовпа на фоні гірської місцевості

Розподіл визначального добутку для цього зображення має вигляд (рис. 9).

З рис. 9 випливають можливості виявлення наземного орієнтиру за критерієм перевищення максимального значення визначального добутку над пороговим значенням.

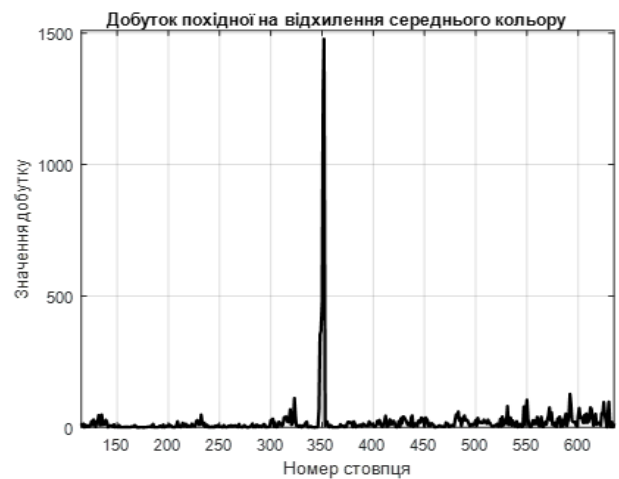


Рис. 9. Розподіл визначального добутку вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери для зображення (рис. 8)

Нарешті, розглянемо можливість виявлення багатьох дерев, які можуть слугувати надійними наземними орієнтирами завдяки своїй природній розташованості та візуальній помітності у різних умовах (рис. 10).



Рис. 10. Зображення дерев як можливих наземних орієнтирів

Розподіл кольоровості для цього зображення характеризується стрибками для зеленого і синього кольорів та провалами для червоного кольору (рис. 11).

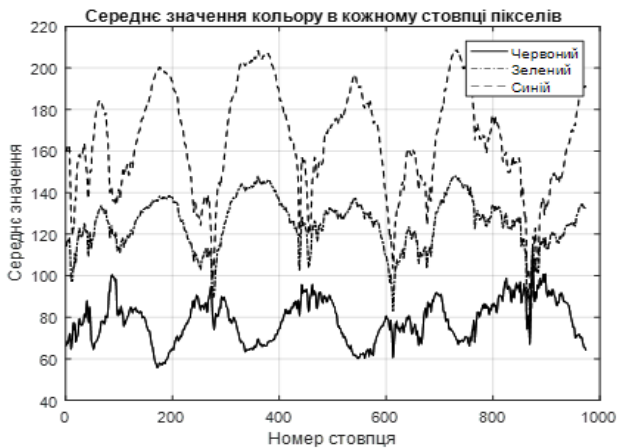


Рис. 11. Розподіл середніх по стовпцях складових червоного, зеленого і синього кольорів вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери

Визначальний добуток для зображення (рис. 10) має вигляд, наведений на рис. 12. Він характеризується піковим розподілом, а кількість локальних максимумів розподілу приблизно співпадає з кількістю дерев.

Оскільки один з піків набагато перевищує інші (глобальний максимум), то дерево, що йому відповідає, можна прийняти в якості наземного орієнтиру, якщо амплітуда цього максимуму перевищує поріг виявлення. Зображення з багатьма орієнтирами показано на рис.13.

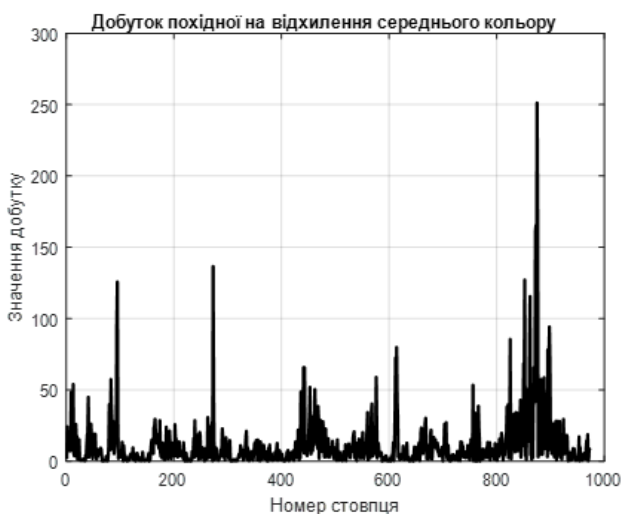


Рис. 12. Розподіл визначального добутку вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери для зображення (рис. 10)



Рис. 13. Зображення з багатьма можливими наземними орієнтирами

Для зображення (рис. 13) кількість можливих наземних орієнтирів стає великою і визначальний добуток (рис. 14) характеризується збільшеною кількістю піків, що в свою чергу породжує складність у виборі необхідного наземного орієнтиру.

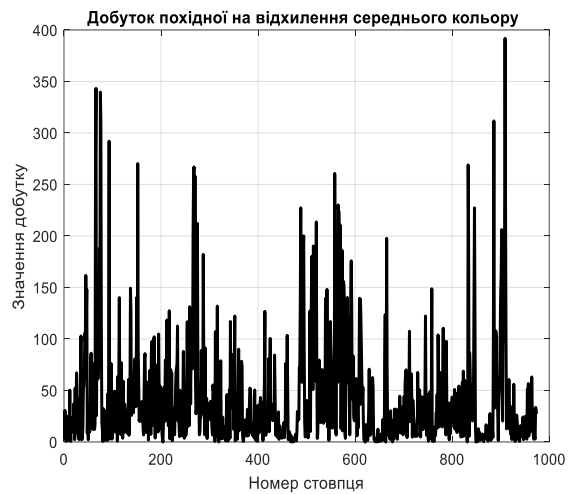


Рис. 14. Розподіл визначального добутку вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери для зображення (рис. 13)

Зрозуміло, що для підвищення надійності запропонованого методу можуть застосовуватися додатково інші засоби виявлення, в тому числі інтелектуальні.

Обґрунтування порогу виявлення являє собою окреме завдання, яке використовує статистичні дані щодо визначального добутку. На цей час таких даних не існує. Їх отримання не є складним завданням, однак воно вимагає витрат часу на збір та обробку результатів. Статистичні дані можуть також використовуватися для машинного навчання з використанням штучних нейронних мереж, що підвищить в майбутньому ефективність рішень щодо виявлення та розпізнавання наземних орієнтирів для АР.

З проведених досліджень випливає, що визначальний добуток за своїм впливом на ймовірнісні характеристики виявлення орієнтиру схожий з відношенням сигнал-шум в радіолокації. У [11, 12] аналогічним показником є відношення значення кольоровості в області стрибка чи провалу до фонового значення і розраховані ймовірності виявлення НО при фіксованому значенні хибної тривоги. В даній статті розрахунки є аналогічними з єдиною різницею, що аналогом відношення сигнал-фон використовується визначальний добуток. Він використовує добуток модуля похідної на параметр, що схожий з енергетичним показником, тобто модуль різниці між розподілом середніх кольорів і середнім значенням цього розподілу по всім стовпцям. Отже, результати розрахунків ймовірності виявлення орієнтирів можна вважати такими ж, як в [11, 12], однак за рахунок використання визначального добутку вдається розширити область застосування методу, зокрема в умовах, коли радіус кореляції кольорів фону в пікселях є сумірним з горизонтальними розмірами матриці відеокамери. Крім того, запропонований метод є простішим

для технічної реалізації, ніж метод, що приведений в [11, 12]. Отже, метод не залежить від радіусу кореляції флуктуацій кольоровості і є універсальним в широкому діапазоні умов застосування АМР.

**Висновки.** Застосування відеокамер при навігації автономних мобільних роботів є один з можливих шляхів реалізації пасивних дистанційних методів виявлення наземних орієнтирів. В статті показано, що цю операцію можна ефективно виконати на основі аналізу матриці зображення, якщо колір орієнтиру істотно відрізняється від кольору фонового зображення. Для інших випадків запропоновано використовувати усереднення інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів по стовпцям матриці відеокамери. Встановлено, що чим ближче об'єкт схожий з циліндром або стовпом за формою, тим краще він виділяється на розподілі середніх кольорів вздовж горизонтальної координати матриці зображення. При цьому в місці розміщення орієнтиру на розподілах середніх кольорів виникає стрибок або провал і кожний з них може використовуватися в якості ознаки для виявлення орієнтиру. Для фіксації положення фронту та спаду стрибка або провалу рекомендовано застосовувати похідну від розподілу середніх кольорів. Встановлено, що добуток модуля зазначеної похідної на модуль різниці між розподілом середніх кольорів і середнім значенням цього розподілу, який названо визначальним добутком, може служити в якості критерію для виявлення наземного орієнтиру. Показано, що перевищення максимального значення визначального добутку над пороговим значенням, яке визначають на основі аналізу статистичних даних, в будь-якому з каналів червоного, зеленого і синього кольорів свідчить про виявлення наземного орієнтиру. Проведені дослідження показують, що визначальний добуток за своїм впливом на ймовірнісні характеристики виявлення схожий з відношенням сигнал-шум в радіо-локації.

#### Список використаних джерел

1. Poliarus O., Poliakov Y. The Methods of Radar Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots. *Machine Vision and Navigation*. 2020. P. 171–196. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2\_6.
2. Yang J., Liu L., Li S. Z. Separating specular and diffuse reflection components in the HSI color space. *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*. 2013. P. 891–898. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2\_6.
3. Anuncia S. M., Joseph J. G. Approaches for Automated Object Recognition and Extraction from Images a Study. *Journal of Computing and Information Technology*. 2009. Vol. 17, no. 4. P. 359–370. DOI: doi.org/10.2498/cit.1001363.
4. Fukuda T., Ito S., Arai F., Yokoyama Y., Abe Y., Tanaka K., Tanaka Y. Navigation system based on ceiling landmark recognition for autonomous mobile robot-landmark detection based on fuzzy template matching (FTM). *1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots*. 1995. Vol. 2. P. 150–155. DOI: doi.org/10.1109/iros.1995.526153.
5. Novak G., Bais A., Mahlknecht S. Simple stereo vision system for real-time object recognition for an autonomous mobile robot. *Second IEEE International Conference on Computational Cybernetics*. 2004. P. 213–216. DOI: doi.org/10.1109/ICCCYB.2004.1437710.
6. Zhengt J. Y., Barth M., Tsuji S. Autonomous Landmark Selection for Route Recognition by A Mobile Robot. *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 1991, vol. 3, pp. 2004–2009. DOI: doi.org/10.1109/robot.1991.131922.

7. Abdullah Q., Shah N., Mohamad M., Ali M., Farah N., Salh A., Aboali M., Mohamad M., Saif A. Real-time Autonomous Robot for Object Tracking using Vision System. *Solid State Technology*. 2020. Vol. 63. P. 16278–16294. DOI: doi.org/10.48550/arXiv.2105.00852.
8. Poliarus O. V., Poliakov Y. O. Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots Based on Estimating the Color Parameters of the Surrounding Area. *Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0*. 2021. P. 224–257. DOI: doi.org/10.4018/978-1-7998-6522-3.ch008.
9. Thin K., Zaw N. Object Detection System of an Autonomous Mobile Robot by using Artificial Neural Network. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2019. Vol. 9. P. 374–380. DOI: doi.org/10.29322/ijrsp.9.03.2019.p8758.
10. Zhou Z., Li L., Fürsterling A., Durocher H., Mouridsen J., Zhang X. Learning-based object detection and localization for a mobile robot manipulator in SME production. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2022. Vol. 73, no. 102229. P. 1–12. DOI: doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102229.
11. Poliarus O., Poliakov Ye., Lebedynskiy A. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. *IEEE Sensors Journal*. 2021. Vol. 21. P. 11443–11450. DOI: doi.org/10.1109/JSEN.2020.3010883.
12. Kriegl H., Kroger P., Schubert E., Zimek A. Outlier Detection in Arbitrarily Oriented Subspaces. *IEEE 12th International Conference on Data Mining*. 2012. P. 379–388. DOI: https://doi.org/10.1109/icdm.2012.21.

#### References (transliterated)

1. Poliarus O., Poliakov Y. The Methods of Radar Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots. *Machine Vision and Navigation*. 2020, pp. 171–196. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2\_6.
2. Yang J., Liu L., Li S. Z. Separating specular and diffuse reflection components in the HSI color space. *IEEE International Conference on Computer Vision Workshops*. 2013, pp. 891–898. DOI: doi.org/10.1007/978-3-030-22587-2\_6.
3. Anuncia S. M., Joseph J. G. Approaches for Automated Object Recognition and Extraction from Images a Study. *Journal of Computing and Information Technology*. 2009, vol. 17, no. 4, pp. 359–370. DOI: doi.org/10.2498/cit.1001363.
4. Fukuda T., Ito S., Arai F., Yokoyama Y., Abe Y., Tanaka K., Tanaka Y. Navigation system based on ceiling landmark recognition for autonomous mobile robot-landmark detection based on fuzzy template matching (FTM). *1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots*. 1995, vol. 2, pp. 150–155. DOI: doi.org/10.1109/iros.1995.526153.
5. Novak G., Bais A., Mahlknecht S. Simple stereo vision system for real-time object recognition for an autonomous mobile robot. *Second IEEE International Conference on Computational Cybernetics*. 2004, pp. 213–216. DOI: doi.org/10.1109/ICCCYB.2004.1437710.
6. Zhengt J. Y., Barth M., Tsuji S. Autonomous Landmark Selection for Route Recognition by A Mobile Robot. *Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 1991, vol. 3, pp. 2004–2009. DOI: doi.org/10.1109/robot.1991.131922.
7. Abdullah Q., Shah N., Mohamad M., Ali M., Farah N., Salh A., Aboali M., Mohamad M., Saif A. Real-time Autonomous Robot for Object Tracking using Vision System. *Solid State Technology*. 2020, vol. 63, pp. 16278–16294. DOI: doi.org/10.48550/arXiv.2105.00852.
8. Poliarus O. V., Poliakov Y. O. Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots Based on Estimating the Color Parameters of the Surrounding Area. *Examining Optoelectronics in Machine Vision and Applications in Industry 4.0*. 2021, pp. 224–257. DOI: doi.org/10.4018/978-1-7998-6522-3.ch008.
9. Thin K., Zaw N. Object Detection System of an Autonomous Mobile Robot by using Artificial Neural Network. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2019, vol. 9, pp. 374–380. DOI: doi.org/10.29322/ijrsp.9.03.2019.p8758.
10. Zhou Z., Li L., Fürsterling A., Durocher H., Mouridsen J., Zhang X. Learning-based object detection and localization for a mobile robot manipulator in SME production. *Robotics and Computer-Integrated*

- Manufacturing*, 2022, vol. 73, no. 102229, pp. 1–12. DOI: doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102229.
11. Poliarus O., Poliakov Ye., Lebedynskiy A. Detection of landmarks by autonomous mobile robots using camera-based sensors in outdoor environments. *IEEE Sensors Journal*. 2021, vol. 21, pp. 11443–11450. DOI: doi.org/10.1109/JSEN.2020.3010883.
12. Kriegel H., Kroger P., Schubert E., Zimek A. Outlier Detection in Arbitrarily Oriented Subspaces. *IEEE 12th International Conference on Data Mining*. 2012, pp. 379–388. DOI: https://doi.org/10.1109/icdm.2012.21.

Надійшла (received) 17.07.2024

UDC 004.93

**O. V. POLIARUS**, doctor of engineering science, professor, Kharkiv national automobile and highway university, Kharkiv, Ukraine; e-mail: poliarus.kharkov@ukr.net; Researcher ID: AAH-1197-2020; SCOPUS Author ID: 14024556800; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8023-5189

**Y. S. KHOMENKO**, graduate student, Kharkiv national automobile and highway university; Kharkiv, Ukraine; email: khomenko.yura40@gmail.com; Researcher ID: GSD-3718-2022; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9242-1202

### METHOD OF DETECTING LANDMARKS FOR NAVIGATION OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS USING FEATURES OF AVERAGE COLOR INTENSITY DISTRIBUTION

The use of video cameras in the navigation of autonomous mobile robots is one of the possible ways of implementing passive remote methods of detecting ground landmarks. A method for detecting ground landmarks during the navigation of autonomous mobile robots was proposed, which is based on the features of the distribution of average color intensity in the columns of the video camera matrix of the autonomous mobile robot. The main feature of the distribution is manifested in the fact that when a pillar-like object appears in the field of view of the video camera as a possible landmark, a jump or dip appears in it, the amplitude of which can serve as a criterion for landmark detection. The work shows that this operation can be effectively performed on the basis of the image matrix analysis, if the color of the landmark is significantly different from the color of the background image. In other cases, it is proposed to use the averaging of the intensity of red, green, and blue colors along the columns of the video camera matrix. The specified method to increase the probability of landmark detection in the broad conditions of application of a video camera of an autonomous mobile robot is proposed to use as a detection criterion the product of the modulus of the derivative of the distribution of average colors in the columns of the matrix by the modulus of the difference of the specified distribution and its average value across all columns. It was established that the product of the module of the specified derivative by the module of the difference between the distribution of average colors and the average value of this distribution, which is called the determining product, can serve as a criterion for identifying a landmark. It is shown that exceeding the maximum value of the determining product above the threshold value, which is determined based on the analysis of statistical data, in any of the channels of red, green, and blue colors indicates the detection of a ground landmark. Research data show that the determining product in its influence on the probabilistic characteristics of detection is similar to the signal-to-noise ratio in radar.

**Keywords:** autonomous mobile robot, landmark, parameter jumps, color intensity distribution, color intensity distribution.

*Повні імена авторів / Author's full names*

**Автор 1 / Author 1:** Полярус Олександр Васильович / Poliarus Oleksandr Vasyliovych

**Автор 2 / Author 2:** Хоменко Юрій Сергійович / Khomenko Yurii Serhiiovych