



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **125329** (13) **C2**  
(51) МПК (2022.01)  
**H04N 1/56** (2006.01)  
**G06T 1/00**  
**G01C 21/00**  
**G06K 9/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

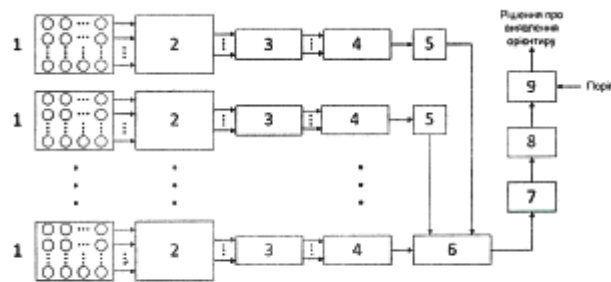
<p>(21) Номер заявки: <b>а 2020 06059</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>22.09.2020</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>17.02.2022</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>24.02.2021, Бюл.№ 8</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>16.02.2022, Бюл.№ 7</b></p> <p>(72) Винахідник(и): <b>Полярус Олександр Васильович (UA), Поляков Євген Олександрович (UA), Лебединський Андрій Володимирович (UA), Медведовська Яна Сергіївна (UA), Коваль Олександр Андрійович (UA), Богатов Олег Ігоревич (UA), Купко Олександр Данилович (UA)</b></p>	<p>(73) Володілець (володільці): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA), <b>Полярус Олександр Васильович,</b> вул. Наталії Ужвій, 86, кв. 81, м. Харків, 61195 (UA), <b>Поляков Євген Олександрович,</b> вул. Тракторобудівників, 102-а, кв. 57, м. Харків, 61118 (UA), <b>Лебединський Андрій Володимирович,</b> вул. Державінська, 2, кв. 310, м. Харків, 61001 (UA), <b>Коваль Олександр Андрійович,</b> вул. Красnodарська, 171-а, кв. 28, м. Харків, 61176 (UA), <b>Медведовська Яна Сергіївна,</b> вул. Маршала Батицького, 20, к. 259, 260, м. Харків, 61038 (UA), <b>Богатов Олег Ігоревич,</b> вул. Цілиноградська, 48-в, кв. 7, м. Харків, 61202 (UA), <b>Купко Олександр Данилович,</b> вул. Маршала Рибалка, 24/17, кв. 80, м. Харків, 61099 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: CN 102269595 A, 07.12.2011 CN 106826815 A, 13.06.2017 CN 107256635 A, 17.10.2017 CN 107390681 B, 20.08.2019 CN 108981713 A, 11.12.2018 CN 110044358 A, 23.07.2019 CN 110400349 A, 01.11.2019 CN 110842918 A, 28.02.2020 CN 111144427 A, 12.05.2020 CN 111462231 A, 28.07.2020</p>
---	---

**(54) СПОСІБ ВИЯВЛЕННЯ ЦИЛІНДРОПОДІБНИХ НАЗЕМНИХ ОРІЄНТИРІВ ПРИ НАВІГАЦІЇ АВТОНОМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ**

(57) Реферат:

UA 125329 C2

Винахід належить до галузі навігації автономних мобільних роботів на незнайомій місцевості в умовах відсутності або обмежених можливостях GPS. Спосіб виявлення циліндроподібних наземних орієнтирів при навігації автономних мобільних роботів за рахунок використання особливостей розподілу параметрів кольоровості орієнтира та навколишнього фону полягає у встановленні на автономному мобільному роботі відеокамери, з пікселів матриці зображення якої знімають сигнали, що пропорційні кольоровості червоного, зеленого та синього кольорів. Також передбачене усереднення цих кольорів в кожному стовпці матриці і отримання середніх розподілів параметрів кольоровості вздовж горизонтальної координати матриці відеокамери. Після цього визначають радіус кореляції цих розподілів та формують зображення в заданому кутовому секторі відеокамери через кут, що відповідає радіусу кореляції. Також проводять затримання розподілів параметрів кольоровості на визначені дискрети часу та їх підсумовування і порівняння стрибків або провалів сумарного розподілу з заданим порогом виявлення. Технічним результатом винаходу є можливість виявляти циліндроподібні наземні орієнтири за параметрами кольоровості орієнтира та фону для випадків, коли останні слабо відрізняються між собою.



Фіг. 10

Винахід належить до дистанційних методів виявлення об'єктів і може застосуватися при навігації автономних мобільних роботів (AMP) на незнайомій місцевості в умовах відсутності або обмежених можливостях GPS за рахунок використання особливостей розподілу параметрів кольоровості орієнтира та навколишнього фону.

5 GPS відсутня на інших планетах, а в земних умовах існують чисельні області, де сигнали GPS практично не доходять до споживача внаслідок перекриття зони поширення сигналів, наприклад, горами, а об'єкти, що знаходяться під землею, взагалі не отримують такі сигнали. Крім того, на практиці можлива постановка навмисних та ненавмисних завад GPS, що може істотно зменшувати її ефективність.

10 Існують два типи орієнтирів: розподілені та зосереджені у просторі. Для точного визначення координат робота відносно орієнтира розміри останнього повинні бути малими в горизонтальній площині, тобто бажано використовувати зосереджені наземні орієнтири, що витягнуті у вертикальній площині. Типовим представником такого типу орієнтирів є дерев'яний, пластмасовий чи металевий стовп і навіть дерево з високо розміщеними гілками з листям. Такі  
15 об'єкти можна назвати циліндроподібними наземними орієнтирами. Приведені назви є некоректними для схожих орієнтирів на інших планетах, оскільки вони не є наземними і штучно створеними, однак там існують виділені у вертикальній площині скелі чи пагорби природного характеру, як показують фотографії, що вже зроблені на Місяці та інших космічних об'єктах і планетах.

20 Якщо наземний орієнтир розміщений а степу або на іншій рівнинній місцевості, то він легко виявляється багатьма активними засобами (радарями, ультразвуковими далекомірами, лазерними сканерами) тощо [Oleksandr Poliarus, Yevhen Poliakov, Lars Lindner. Determination of landmarks by mobile robot's vision system based on detecting abrupt changes of echo signals parameters. - The 44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Washington D. C, USA, October 21-23, 2018, pp. 3165...31 70]. Наявність будь-яких об'єктів біля наземного орієнтира істотно знижує ефективність його виявлення активними засобами, що обумовлено  
25 ненавмисними завадами, тобто відбитими хвилями від фонові місцевості, на якій знаходиться наземний орієнтир [Poliarus O., Poliakov Y. The Methods of Radar Detection of Landmarks by Mobile Autonomous Robots. In: Sergiyenko O., Flores-Fuentes W., Mercorelli P. (eds) Machine Vision and Navigation. Springer, Cham., 2020, pp. 171-196]. Отже, відбиття електромагнітних та звукових хвиль від лісу, чагарнику, пагорбів, розподілених у просторі об'єктів штучного характеру "екранує" наземний орієнтир і він стає "невидимим" для активного засобу виявлення, оскільки  
30 ніяких відмінностей між параметрами сигналів, відбитих від орієнтира і фону немає. Головна причина – відсутність доплерівського зсуву частоти відбитих сигналів, що обумовлено нерухомістю як наземного орієнтира, так і фонові місцевості.

Отже, для виявлення наземних орієнтирів апаратурою робота необхідно використовувати пасивні засоби виявлення наземних орієнтирів, до яких можна віднести інфрачервоні засоби та  
35 відеокамери. Між цими системами є схожість, але основна відмінність - вимоги до навколишньої обстановки. Інфрачервоні системи мають переваги при застосуванні в нічний час, а відеокамери - в денний. Такі системи добре вивчені, розроблені чисельні алгоритми розпізнавання образів, наприклад, [S. K. Nayar, X. - S. Fang, and T. Boulton. Separation of reflection components using color and polarization. - International Journal of Computer Vision, 1997, vol. 21, no. 3, pp. 163-186], [J. Yang, L. Liu, and S. Z. Li. Separating specular and diffuse reflection components in the HSI color space. - IEEE International Conference on Computer Vision Workshops, 2013, pp. 891-898]. Для  
45 кожного об'єкта, що розпізнається, як правило, створюється окремий алгоритм розпізнавання. Для AMP не є надто важливою операція розпізнавання. Більш важливим є виявлення наземного орієнтира. Дійсно, якщо робот виявив наземний орієнтир, то немає різниці, чи цей орієнтир є стовпом, чи стовбуром дерева. Головним є "прив'язка" робота до орієнтира, що здійснюється за рахунок визначення координат ЛМР відносно орієнтира. Методи такої "прив'язки" представлені в [Oleksandr Poliarus; Yevhen Poliakov; Oleg Sergiyenko; Vera Tyrsa; Wilmar Hernandez; Julia  
50 Nechitailo. Azimuth estimation of landmarks by mobile autonomous robots using one scanning antenna. Proceedings of IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2019), Vancouver, BC, Canada, 12-14 June 2019, pp. 1682-1687].

Таким чином, застосування активних методів виявлення наземних орієнтирів є недоцільним при наявності фонові відбиття електромагнітних або звукових хвиль. В цих умовах переваги мають пасивні засоби виявлення, зокрема, відеокамери.

Найбільш близьким за суттю до заявленого є спосіб, що приведений в [Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. - М.: Техносфера, 2005. - 1072 с.]

60 Суть способу, який вибрано за найближчий аналог, зводиться до того, що з пікселів (датчиків) матриці відеокамери знімають три сигнали в цифровому вигляді R, G, B, що

пропорційні відповідно інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів зображення. Для практичних застосувань використовують значення відносних координат кольоровості [H Guo. Modern Mathematics and Applications in Computer Graphics and Vision, 2014, doi:10.1038/nn949.], які в комп'ютерах для кожного з трьох кольорів можуть бути рівними числам від 0 до 255. Багато інших кольорів також створюють, вибравши координати червоного, зеленого та синього кольорів. Орієнтир і координати кольорів фону визначають датчиками (пікселями) на основі відеокамери. Інформацію про ці координати (три числа R, G, B) беруть від кожного датчика. Відеокамера іншого виробника може надати інші значення координат кольоровості для того ж зображення. На практиці порівняння таких координат орієнтира та фону здійснюють однією камерою, тому результати виявлення орієнтира не залежать від виробника. Координати кольоровості фону і орієнтира є випадковими і змінюються не тільки в просторі, але і в часі, внаслідок хаотичного руху листя, зміни умов світла через перекриття сонячного світла хмарами тощо. Тому вимірювані значення - це реалізація випадкових процесів координат кольоровості.

Після отримання координат кольоровості R, G, B шляхом порівняння інтенсивності кольорів виділяють області у вертикальній площині матриці пікселів, в яких є істотна відмінність інтенсивності кольору від інших областей. Наявність двовірної картини розподілу інтенсивності кольорів зображення на матриці є основою для розпізнавання елементів зображення. Такі алгоритми є складними і мають вузьку область застосування, тобто придатні для розпізнавання вузького кола об'єктів зображення. Реально стовп може бути частково перекритий, наприклад, гілками дерев з листям і тоді виявлення і розпізнавання наземних орієнтирів стає проблематичним.

Недолік найближчого аналогу обумовлений тим, що він має низьку ефективність, тобто малу ймовірність виявлення наземних орієнтирів у вигляді стовпа в нестандартних умовах його перекриття іншими зображеннями, оскільки в алгоритмі аналізується двовірною картина зображення, яка практично завжди не є стандартною, а найчастіше є випадковою.

Задачею винаходу є забезпечення заданої ймовірності виявлення наземних циліндроподібних орієнтирів при фіксованому рівні ймовірності хибної тривоги в широкому діапазоні умов освітлення, кольорів зображення, впливу заважаючих факторів тощо.

Суть винаходу. Поставлену задачу вирішують тим, що замість обробки двовірного зображення, тобто залежностей R, G, B від горизонтальної та вертикальної координат матриці відеокамери використовують більш прості одномірні розподіли залежностей координат кольоровості R(x), G(x), B(x) від горизонтальної координати матриці X. Оскільки навігаційним завданням робота є виявлення вертикально розміщеного орієнтира, то має сенс визначити середнє значення координат кольоровості пікселів у стовпцях матриці. Колір пікселів стовпців матриці камери, що належить орієнтиру, майже однаковий, особливо коли зображення орієнтира займає більшу частину кадру вздовж вертикальної координати. Усереднення координат кольорів R, G, B в інших стовпцях кадру дає деякі значення, які часто відрізняються від параметрів R, G, B орієнтира. Це забезпечує основу для виявлення орієнтирів на фоні довільної місцевості. Значення координат R, G, B, усереднених всередині кожного стовпця, називають параметрами кольоровості зображення.

Якщо параметри кольоровості орієнтира та фону суттєво відрізняються, то ймовірність виявлення орієнтира є близькою до одиниці. У винаході розглядається випадок слабкої відмінності параметрів кольоровості орієнтира та фону навіть людським оком, а за рахунок спеціальних рішень досягається для таких умов висока ймовірність виявлення наземного циліндроподібного орієнтира. Суть зазначених рішень зводиться до наступного.

Відеокамера II з метою виявлення орієнтира I, виконує сканування по горизонтальній координаті з кутовою швидкістю  $\Omega$  і протягом часу  $t_c = \frac{V}{\Omega}$ .

Проходить через зону огляду III з кутовою шириною  $\theta_c$  (V) (фіг. 1). Кожна дискрета часу  $t_k = k \cdot \Delta t$ ,  $k = 0, 1, \dots, m-1$  завдяки скануванню камери I відповідає розподілу параметрів кольоровості R, G, B по горизонтальній координаті X матриці відеокамери, а число m дорівнює цілій частині співвідношення  $\frac{\theta_c}{\Delta t}$  де  $\Delta t$  - малий дискретний час.

Для узагальнення кожен поточний розподіл R(x), G(x), B(x) для k-го зображення позначається вектором  $Y_k$ , який містить n чисел, що відповідають кількості пікселів уздовж горизонтальної координати. Орієнтир на зображенні займає кілька (приблизно 30) стовпців пікселів залежно від ширини орієнтира та відстані до нього. На фіг. 2 та на фіг. 3 показані приклади фотографій із орієнтирами, характерними для першого та другого типів місцевості (за класифікацією авторів), а нижче розподіл параметрів кольоровості R, G, B. Аналіз показує, що

для першого типу місцевості розподіл випадкових параметрів кольоровості часто є стаціонарним, а для другого - нестаціонарним. Залежності трьох параметрів кольоровості  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$  від розташування орієнтира схожі.

Тому аналізувати потрібно не всі три залежності, а лише ту, де різка зміна параметра кольоровості є найбільшою. Далі ця залежність позначається як  $Y_k(x)$  для  $k$ -го моменту часу сканування камери, тобто вона визначається положенням пікселя в рядку матриці камери, кількість яких дорівнює  $n$ . Векторний символ означає, що кожен з пікселів пов'язаний зі значенням параметра кольоровості, що призводить до залежностей  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$ . Поява провалу або стрибка параметру кольоровості залежить від співвідношення кольору орієнтира та кольорів фону, рівня освітленості та інших причин.

Як впливає з аналізу реалізацій випадкових процесів  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$ , наявність орієнтирів призводить до різких змін цих реалізацій у певному просторовому секторі або в певній частині зображення, тобто до їх "стрибків" чи "провалів". Тому критерієм виявлення орієнтира може бути вибраний поріг, перевищення якого стрибком або провалом вказує на позитивний результат. Такі висновки можна зробити лише в статистичному сенсі. Якщо процес випадкової кольоровості має велику дисперсію, то навіть при великому порозі можна зробити висновок, що об'єкт, який не знаходиться в зоні огляду відеокамери, може бути неправильно виявлений як орієнтир. Це випадок помилкового або хибного виявлення. Пороговий рівень суттєво впливає на ймовірність виявлення орієнтира та хибної тривоги, і ці характеристики можуть відрізнитися для камер різних виробників. Приклад, що пояснює процес виявлення орієнтира для випадку фіг. 3 з двома різними порогоми виявлення (3-сигма (штрихова лінія) і 4-сигма (штрих-пунктирна лінія)), показано на фіг. 4. Перевищення порогу за параметром кольоровості за статистичним критерієм Граббса [H. Kriegel, P. Kroger, E. Schubert and A. Zimek. Outlier Detection in Arbitrarily Oriented Subspaces. - 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining, 2012] та рівнем значущості 0,01 означає наявність стрибка (провалу) або орієнтира.

Аналіз розподілу параметрів кольоровості для різних фонів показує, що виявлення орієнтирів за критерієм наявності стрибка (провалу) на фоні довільної місцевості не завжди можливо, оскільки цей стрибок часто малий порівняно з флуктуаціями параметрів кольоровості фону. Велика дисперсія цих флуктуацій не дає змоги вибрати невеликий поріг, перевищення якого буде ознакою виявлення орієнтирів. Звідси впливає ідея вирівнювання флуктуацій параметрів кольоровості фону в процесі кутового сканування простору камерою.

У процесі згладжування параметра кольоровості можна знищити сам стрибок цього параметра. Щоб цього не сталося, краї параметрів кольоровості біля стрибка не слід згладжувати. Припустимо, що після сканування простору камерою отримані  $m$  векторів  $Y_k(x)$ . Спочатку орієнтир знаходиться у правій частині області огляду камери (фіг. 5). Перший вектор  $Y_1(x)$ , який описує перше зображення, затримується на час  $(m-1) \cdot \Delta t$ , другий - на час  $(m-2) \cdot \Delta t$  і т. д., а останній вектор  $Y_m(x)$  зовсім не затримується. Затримка означає збереження вектора (набору  $n$  чисел) у пам'яті комп'ютера протягом певного часу. З часом  $m \cdot \Delta t$  усі зміщені в часі вектори додаються. Якщо стрибок від орієнтира з'явився на першому зображенні, то очікують, що він буде на всіх або більшості зображень. Завдяки затримці розподілу параметрів кольоровості досягається приблизне вирівнювання часу, коли в кожному зображенні є стрибок (або провал) цих параметрів. В результаті загальний стрибок (провал) може бути великим, хоча це не завжди означає, що завдання виявлення стрибка вже вирішено. Поряд із підсумовуванням невеликих стрибків від орієнтира параметри кольоровості  $R$ ,  $G$ ,  $B$ , що описують фон зображення, також підсумовуються, а тому збільшення амплітуди стрибка або провалу відносно фону може не відбуватися. Це типова ситуація для зображень (векторів  $Y_k(x)$ ), які мають високий радіус кореляції флуктуацій параметрів кольоровості. Цей метод вибору стрибків (провалів) відносно фону неприйнятний у більшості практичних випадків. Для того, щоб параметри кольоровості фону формувалися хаотично, необхідно підсумовувати не сусідні вектори, а вектори, зміщені в просторі вздовж горизонтальної координати на значення радіуса кореляції або більше для випадкових залежностей  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$ . Зсув цих залежностей забезпечує ефект додавання стрибків приблизно в один і той же момент часу, тому ці стрибки не складаються хаотично. Це нагадує узгоджене накопичення імпульсів у радіолокаційному приймачі, але суттєвою відмінністю є те, що стрибки або провали все одно будуть різними для кожного вектора  $Y_k(x)$ , а час, за який досягається максимальний стрибок, буде незначно відрізнитись. Після підсумовування амплітуд залежностей результат ділиться на число  $n_0$ , що дорівнює цілій частині виразу

$$n = \frac{n}{n_{\text{cor}}}, \quad (1)$$

де  $n_{\text{cor}}$  - радіус кореляції флуктуацій параметрів кольоровості в кількості пікселів по горизонтальній координаті  $x$ . Величина середнього стрибка параметра кольоровості слабо залежить від його амплітуди. Основним ефектом є зменшення дисперсії флуктуацій параметрів кольоровості  $y_k(x)$  фону. Дисперсія флуктуацій цих значень значно залежить від  $n_0$ , а значить, від типу місцевості, на якій знаходиться орієнтир. Це накладає обмеження на практичне застосування методу. Припустимо, що система виявляє стрибок (провал) параметра кольоровості, але не може вирішити, чи дійсно цей стрибок (провал) пов'язаний з орієнтиром. Після обертання камери під кутом на попередньому місці матриці камери з'явиться ще одне зображення, параметри кольоровості якого можуть бути покорельовані з попереднім розподілом. Підсумовування зміщеного попереднього розподілу параметра кольоровості з новим відбувається хаотично, якщо стрибок не обумовлений орієнтиром, тобто він хибний або дійсно не існує. Слід очікувати, що в інший час  $t_k$  стрибок або провал зникне, і тоді буде згладжуватися параметр кольоровості хибного орієнтира. Для збільшення швидкості роботи автономної навігаційної системи робота бажано надійно виявити орієнтир, який вимагає встановлення порогу виявлення. Запропонований спосіб дозволяє знизити цей поріг за рахунок описаного усереднення. Слід зазначити, що перший етап усереднення параметрів кольоровості відбувається на етапі отримання середнього значення цих параметрів у кожному стовпчику пікселів. Тут виконується попередня операція вибору орієнтира, яка слабо чутлива до усереднення на відміну від усереднення параметрів кольоровості фонових об'єктів. Отже, якщо стрибок параметрів кольоровості не виявлено при застосуванні методу, основними причинами цього є відсутність орієнтира в зоні огляду камери, малий стрибок параметрів кольоровості або (і) великий радіус кореляції флуктуацій параметрів кольоровості фону.

Ілюстрація процесу згладжування параметрів кольоровості фону з майже однаковим стрибком цього параметра показана на фіг. 5-7. Оцінимо ефективність запропонованого способу на прикладі розподілу параметра  $R(x)$ , що описує червоний колір. На чотирьох перших фотографіях (фіг. 5) показано зміщення положення орієнтира (стовпа) у часі, що відповідає радіусу кореляції параметра кольоровості в пікселях на рівні 0,37 нормованої кореляційної функції, розподіл параметрів кольоровості уздовж кадру показано на фіг. 6 різними лініями, і кожен з кольорів відповідає одному з положень орієнтира на фіг. 5. Якщо кутова швидкість камери та час вимірюється з високою точністю, відстань між провалами кривих  $R(x)$ , які зумовлені тим самим орієнтиром, є однаковою, що дає підстави визначати середню суму розподілів, зміщених на цю відстань. Ця сума показана на фіг. 7, з чого випливає, що дисперсія флуктуацій параметрів кольоровості фону значно зменшилася, а амплітуда стрибка (провалу) залишилася майже незмінною. В таких умовах є причини для зменшення порогу і збільшення ймовірності виявлення орієнтира без збільшення ймовірності хибної тривоги. Для фону радіус кореляції флуктуацій параметрів кольоровості високий, і тому неможливо значно зменшити дисперсію цих коливань і, таким чином, зменшити поріг. Застосування методу усереднення (фіг. 7) дозволяє знизити поріг та збільшити ймовірність виявлення орієнтира, що видно із порівняння фіг. 4 та фіг. 7, і визначається за допомогою критерію Граббса [H. Kriegel, P. Kroger, E. Schubert and A. Zimek. Outlier Detection in Arbitrarily Oriented Subspaces. - 2012 IEEE 12th International Conference on Data Mining, 2012], [V. Hodge and J. Austin. A Survey of Outlier Detection Methodologies. - Artificial Intelligence Review, vol. 22, no. 2, pp. 85-126, 2004].

Метод вимагає попереднього виявлення стрибка (провалу) в розподілі параметрів кольоровості, і для цього встановлюється поріг виявлення орієнтира. Він може навіть трохи перевищувати стандартне відхилення флуктуацій параметрів, яке легко обчислюється з отриманого розподілу на зображенні.

Перевищення цього порогу означає наявність орієнтира, але значення ймовірності хибної тривоги може бути високою. Після усереднення зміщених залежностей  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$  фонових значень аналогічні розподіли в місцях стрибків (провалів) також усереднюються. Якщо останні не спричинені орієнтиром, амплітуда в цілому зменшується. Це є процесом селекції хибних орієнтирів, які сприймаються роботом як справжні.

Отже, винахід доцільно застосовувати до барвистої фонові області з невеликим радіусом кореляції флуктуацій параметрів кольоровості. Цей радіус повинен бути меншим від приблизно третини частини пікселів, розташованих уздовж горизонтальної координати кадру. Чим більший радіус кореляції, тим менше шансів зменшити дисперсію флуктуацій параметрів кольоровості, і це накладає обмеження на поріг виявлення орієнтира. Зниження порогу означає збільшення

ймовірності хибної тривоги. Оскільки дисперсія флуктуацій параметрів кольоровості під час усереднення зменшується, певний рівень хибної тривоги буде існувати при нижньому пороговому значенні.

5 Аналіз 100 розподілів параметрів кольоровості для різних зображень дозволив провести статистичну оцінку цих параметрів окремо для фону та орієнтирів. Приклад законів розподілу параметрів кольоровості для фону (суцільна лінія) та орієнтирів (штрих-пунктирна лінія) для другого типу рельєфу місцевості наведено на фіг. 8. Важливо зазначити, що ймовірність виявлення орієнтирів не залежить від середніх значень параметрів кольоровості фону та орієнтирів, а залежить тільки від співвідношення між цими середніми значеннями. Оскільки вони 10 на різних зображеннях одного типу могли суттєво відрізнятись, то доцільно їх зменшувати до одного середнього значення, що не впливає, таким чином, на дисперсію закону розподілу, який виявився близьким до нормального (фіг. 8).

На фіг. 8 представлені закони розподілу  $W_{\phi}(y)$  флуктуацій параметрів кольоровості для фону другого типу (суцільна крива до застосування запропонованого способу штрихова крива - 15 після його застосування) та орієнтирів  $W_{\phi}(y)$  з найближчим фоном. Криві  $W_{\phi}(y)$  до та після застосування запропонованого способу близькі та майже збігаються на фіг. 8. Ці закони виявились нормальними за критерієм Колмогорова з критичним рівнем значущості 0,95. Середнє значення параметрів кольоровості для орієнтирів визначалося як середнє значення абсолютних значень провалів і стрибків цих параметрів від різних типів орієнтирів (стовпів 20 різного кольору, висоти та діаметра, окремих дерев тощо). Провали в розподілі параметрів кольоровості були перевернуті, а їх максимальні значення в більшості випадків перевищували значення параметрів для фону. Інверсія провалів та їх перетворення у стрибки параметра кольоровості зумовлені методом оцінки ймовірності виявлення орієнтирів за встановленим порогом. Без цієї процедури потрібно було б окремо будувати закони розподілу для провалів та 25 стрибків. Пунктирна вертикальна лінія на фіг. 8 позначає поріг. Перевищення порогу за параметром кольоровості призводить до виявлення орієнтира. Для визначення ймовірності виявлення орієнтира  $D$  та хибної тривоги  $F$  встановлюється поріг стрибка (провалу)  $y_0$  для прийняття рішення. У цьому випадку бажано використовувати формули, що є загальноприйнятими в радіолокації [Под ред. Ширмана Я. Д. Теоретические основы радиолокации. - М.: Сов. радио, 1970. - 560 с.]:

$$D = \int_{y_0}^{\infty} W_{\phi}(y) dy, \quad (2)$$

$$F = \int_{y_0}^{\infty} W_{\phi}(y) dy, \quad (3)$$

Залежності ймовірності виявлення орієнтиру  $D$  від відношення  $g$  середнього значення 35 параметрів кольоровості від орієнтира до такого ж самого значення від фону для першого (трійка лівих кривих) та другого (трійка правих кривих) типів місцевості показані на фіг. 9. Суцільна лінія відповідає ймовірності хибної тривоги  $F$ , що дорівнює 0,01, пунктирна - 0,05 і штрихпунктирна - 0,1.

З фіг. 9 випливає, що надійне виявлення орієнтирів (наприклад,  $D \geq 0.9$ ) у розглянутих 40 умовах можливе, якщо  $g \geq 1.7 \dots 2.2$ . Застосування запропонованого способу дозволяє значно зменшити  $g$  (середня трійка блідих кривих). Невеликі значення  $g$  також можна отримати, збільшивши ймовірність хибної тривоги  $F$ .

Він визначається з важливості завдань, які ставлять перед роботом. З фіг. 9 випливає велика чутливість кривих виявлення до виду фону, на якому знаходиться орієнтир. Це видно з 45 порівняння положень різних ліній по осі абсцис на фіг. 6. Вибравши пороговий рівень для конкретного типу фону, можна забезпечити необхідні значення ймовірності виявлення орієнтира  $D$  та хибної тривоги  $F$ . Тому проблема налаштування адаптивного порогу  $y_0$  є важливою та актуальною.

50 Схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб, приведена на фіг. 10. З матриці відеокамери 1 з пікселів кожного стовпця сигнал, що пропорційний інтенсивності червоного (R), зеленого (G) або синього (B) кольору, подають на перший суматор 2. На фіг. 10 показана схема

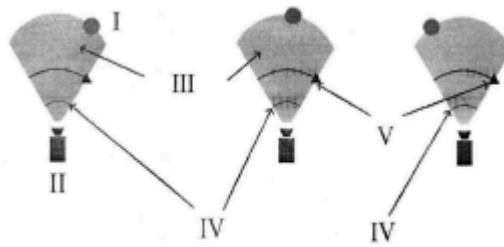
- підсумовування тільки для одного стовпця одного з кольорів R, G, B. Далі сумарну інтенсивність одного кольору ділять на кількість пікселів у стовпці, використовуючи перший подільник 3, і результат подають на вхід додаткової матриці 4, який відповідає номеру стовпця. На інші входи додаткової матриці 4 подають середню інтенсивність відповідного кольору з інших стовпців,
- 5 внаслідок чого на додатковій матриці встановлюється розподіл середньої інтенсивності кольору, наприклад,  $R(x)$  або  $(i) G(x)$ , або  $(i) B(x)$ . На фіг. 10 приведена багатоканальна система з декількома матрицями відеокамери 1. Реально це одна матриця, але показана в різні моменти часу, що обумовлені кутовим скануванням відеокамери. Кількість таких квазіканалів дорівнює числу  $n_0$ , яке дорівнює кількості радіусів кореляції в пікселях середньої інтенсивності кольорів
- 10  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$ , які поміщуються в межах горизонтального розміру матриці відеокамери. З виходів кожного каналу розподіли середньої інтенсивності  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$  затримуються в лініях затримки 5, причому в першому каналі найбільша затримка, а в останньому затримка дорівнює нулю. Затримані розподіли складають в другому суматорі 6 і далі ділять в другому подільнику 7 на число  $n_0$ .
- 15 В отриманому розподілі визначають максимальне або мінімальне значення розподілу  $R(x)$ ,  $G(x)$ ,  $B(x)$  в блоці 8 визначення екстремуму параметрів кольоровості, яке в схемі порівняння 9 порівнюють з наперед встановленим порогом. Перевищення останнього свідчить про виявлення наземного орієнтира.
- Отже, головною перевагою винаходу є можливість забезпечення заданого рівня ймовірності виявлення циліндроподібного орієнтира при фіксованому рівні ймовірності хибної тривоги на фоні місцевості, що слабо відрізняється по кольору від орієнтира. Якщо колір орієнтира значно відрізняється від кольорів фону, ймовірність виявлення такого орієнтира наближається до одиниці. При відсутності відмінностей між кольорами орієнтира та фону ймовірність виявлення орієнтира близька до нуля. Ймовірність виявлення наземного циліндроподібного орієнтира з використанням запропонованого способу залежить, однак, від радіуса кореляції флуктуацій параметрів кольоровості зображення. Чим більше цей радіус кореляції, тобто фон є
- 25 одноманітнішим по кольору, тим менше ймовірність виявлення орієнтира. На практиці не часто зустрічаються одноманітні кольорові фони, бо навіть, наприклад, одноманітний зелений ліс змінює свою кольоровість під дією освітлення, яке часто змінюється під дією природних факторів (відблиски). Існує можливість зовсім не враховувати радіус кореляції параметрів кольоровості зображення. Для цього розподіли цих параметрів складають через фіксований малий проміжок часу. Кількість таких розподілів обчислюється завчасно з урахуванням зони огляду відеокамери та швидкості її обертання. Недоліком такого підходу є виконання зайвих обчислень більшої кількості розподілів. В більшості практичних випадків досягається необхідна
- 30 ймовірність виявлення орієнтирів запропонованим способом та реалізованим на його принципах пристроєм.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

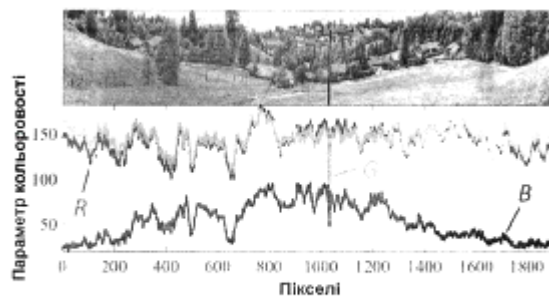
- 40 Спосіб виявлення циліндроподібних наземних орієнтирів при навігації автономних мобільних роботів, який полягає в тому, що з пікселів матриці відеокамери, яка встановлена на роботі, знімають три сигнали в цифровому вигляді, що пропорційні інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів зображення, шляхом порівняння інтенсивності кольорів в схемах порівняння виділяють вузькі області у вертикальній площині матриці пікселів, в яких є істотна відмінність
- 45 інтенсивності кольору від інших областей, тобто існує деяка ймовірність наявності наземного орієнтира, який **відрізняється** тим, що зображення відеокамери, яка обертається в азимутальній площині, складають в першому суматорі і ділять на кількість пікселів у стовпці матриці в першому подільнику, отримані середні значення інтенсивності трьох кольорів подають на відповідні стовпці додаткової матриці, яку встановлюють окремо від відеокамери, створений
- 50 розподіл середньої інтенсивності червоного, зеленого та синього кольорів вздовж горизонтальної координати додаткової матриці, що відповідає конкретному зображенню відеокамери, фіксують через дискрету часу, що дорівнює вибраній частині ширини кутового сектора огляду відеокамери, поділеній на кутову швидкість обертання відеокамери, перший з
- 55 початку обертання відеокамери розподіл середньої інтенсивності кольорів затримують в лінії затримки на час, що дорівнює дискреті часу, помноженій на кількість фіксованих розподілів інтенсивності кольору, що зменшена на одиницю, другий розподіл середньої інтенсивності кольору з початку обертання камери затримують на час, що дорівнює дискреті часу, помноженій на кількість фіксованих розподілів інтенсивності кольору, що зменшена на дві одиниці і т. ін., а останній розподіл середньої інтенсивності кольору зовсім не затримують, і його разом з
- 60 затриманими розподілами підсумовують в другому суматорі і отриманий сумарний розподіл



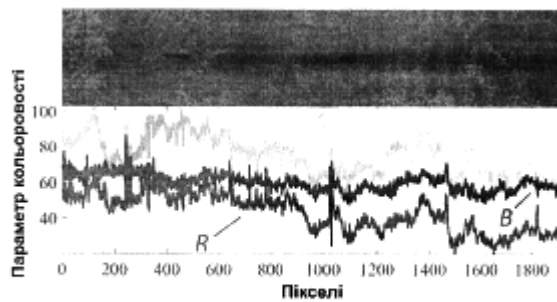
середньої інтенсивності трьох кольорів ділять в другому подільнику на кількість розподілів, шляхом порівняння значень середньої інтенсивності кольорів в стовпцях в блоці визначення екстремумів оцінюють амплітуди стрибка або провалу в розподілі інтенсивності кольорів, вибирають сумарний розподіл середньої інтенсивності того з кольорів, у якого амплітуда стрибка або провалу буде найбільшою для стрибка або найменшою для провалу, а потім найбільше чи найменше значення середньої інтенсивності вибраного кольору порівнюють в схемі порівняння з наперед встановленим порогом, що вибирають з урахуванням порогових значень ймовірності виявлення наземного орієнтира та хибної тривоги і при перевищенні встановленого порогу приймають рішення про виявлення наземного циліндроподібного орієнтира.



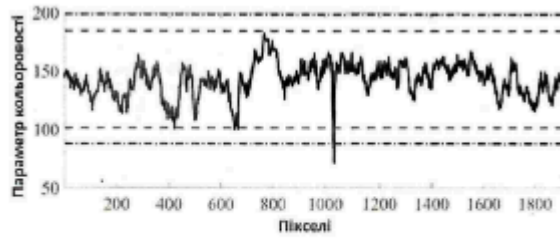
Фіг. 1



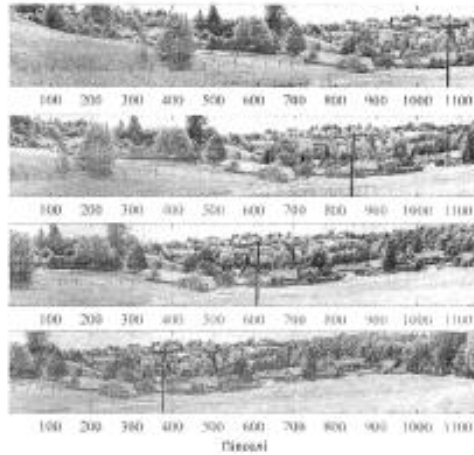
Фіг. 2



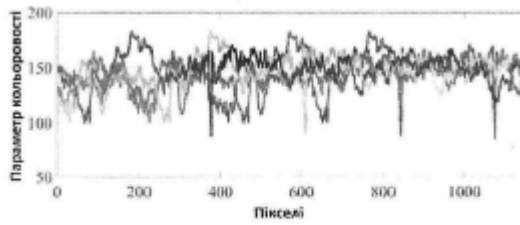
Фіг. 3



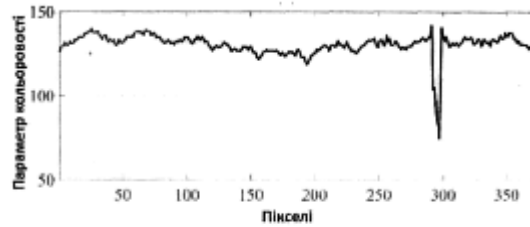
Фиг. 4



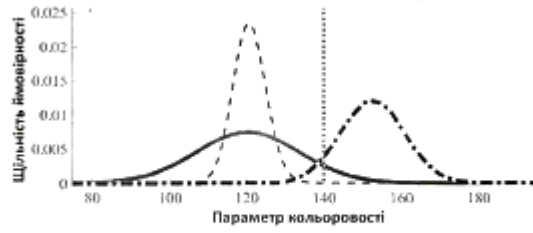
Фиг. 5



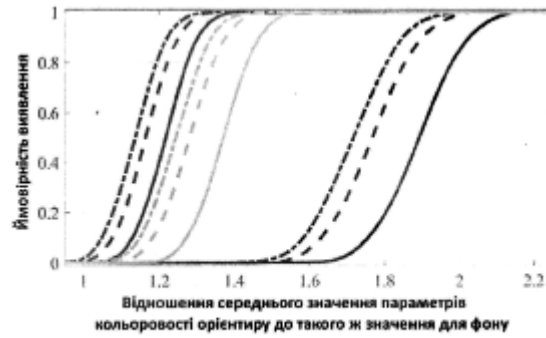
Фиг. 6



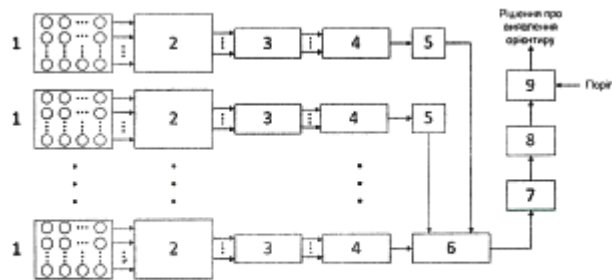
Фиг. 7



Фіг. 8



Фіг. 9



Фіг. 10