

вертикального типу є порозрядне надходження та опрацювання вхідних даних і вагових коефіцієнтів, таблична реалізація функції активації і порозрядне формування результату.

3. За формуванням часткових результатів алгоритми обчислення скалярного добутку поділяються на дві групи: з прямим формуванням і з формуванням на основі попередніх обчислень

1. *Haykin S. Neural networks and learning machines. Third Edition. / S. Haykin. – New York: Prentice Hall, 2009. – 936 p.*
2. *Руденко О.Г., Бодяньський Є.В. Штучні нейронні мережі / О.Г. Руденко, Є.В. Бодяньський. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.*
3. *Цмоць І.Г. Методи та НВІС-структури пристроїв паралельно-вертикального обчислення сум парних добутків / І.Г. Цмоць, Б.І. Балич, О.В. Скорохода // Відбір і обробка інформації. – Львів, 2011. – № 33 (109). – С. 109–116.*
4. *Шальто А.А. Методы аппаратной и программной реализации алгоритмов / А.А. Шальто. – СПб.: Наука, 2000 – 780 с.*
5. *Бююн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения. / В.П. Бююн. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2001. – 326 с.*
6. *Цмоць І.Г. Принципи розробки і оцінка основних характеристик високопродуктивних процесорів на надвеликих інтегральних схемах / І.Г. Цмоць // Вісник Державного університету “Львівська політехніка”: Комп’ютерна інженерія та інформаційні технології. – Львів, 1998. – № 349. – С. 5–11.*
7. *Карцев М.А. Вычислительные системы и синхронная арифметика / М.А. Карцев, В.А. Брик. – М.: Радио и связь, 1981. – 358 с.*
8. Пат. № 66138, Україна, МПК G06F 7/38. Пристрій для обчислення сум парних добутків: Патент на корисну модель / І.Г. Цмоць, О.В. Скорохода; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u201106811; заявл. 30.05.2011; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 8 с.

*Поступила 14.02.2013р.*

УДК 004.451.7.031.43

І.Г. Цмоць, д.т.н., проф., Д.Д. Пелешко, д.т.н., проф., А.В. Шкодин, аспірант, Національний університет “Львівська політехніка”

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ТРИАНГУЛЯЦІЇ У РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ СТЕРЕОБАЧЕННЯ**

Адаптовано та використано класичний триангуляційний метод побудови карти глибин сцени спостереження для розробки ефективних програмно-апаратних засобів технічного зору в мобільних робототехнічних системах реального часу.

Адаптировано и использовано классический триангуляционный метод построения карты глубины сцены для разработки эффективных программно-

аппаратных средств технического зрения в мобильных робототехнических системах реального времени.

Adapted and used classical triangulation method of constructing scene depth map for use in effective software and hardware of real-time robotics computer vision systems.

## **Вступ**

Робототехнічні системи потребують більш досконалих методів та засобів опрацювання відеоінформації для подальшого прийняття рішень на основі результатів її інтелектуального аналізу. Для вирішення цієї проблеми розробляються різноманітні програмно-апаратні комплекси на базі відео давачів та сенсорів, які дозволяють отримати детальнішу інформацію про навколишні об'єкти. Одним із найбільш перспективним науковим напрямком розвитку систем технічного зору є побудова інтелектуалізованих систем цифрового бачення за принципом функціонування людського зорового центру. Реалізація комп'ютерних аналогів людських біологічних зорових процесів має назву цифровий стереоскопічний зір [1-8].

## **Постановка задачі**

На сьогоднішній день перспективним напрямком розвитку систем технічного зору є так званий стереозір, в основі якого лежить принцип роботи пари людських очей. Метою роботи є адаптація та використання класичного триангуляційного методу побудови карти глибин сцени спостереження для розробки ефективних програмно-апаратних засобів технічного зору в мобільних робототехнічних системах реального часу.

## **Основний матеріал**

Суть комп'ютерного стерео зору полягає у отриманні тривимірної інформації з двовимірних цифрових зображень реєстрованих двома, зазвичай, однаковими, камерами. Шляхом порівняння інформації про сцену з двох відповідних точок, дані про об'єкти спостереження (уваги) можуть бути отримані за допомогою дослідження їхнього відносного положення у двох цифрових кадрах [3-5].

У практичному використанні цієї ідеї найбільш раціональним і активно досліджуваним є застосування стерео зору в робототехнічних системах. Автономні мобільні роботи використовують стерео бачення для виявлення перешкод, вимірювання їх розмірів та відстані до пересувної платформи. Базуючись на отриманих даних постійно оновлюється маршрут, тобто топологічний образ руху.

Оскільки інші варіанти реалізації технічного зору в мобільних робототехнічних системах потребують додаткової інформації від сторонніх давачів, наприклад таких як сонари чи лазери, застосування запропонованого підходу дозволить суттєво здешевити вартість конструкції. В свою чергу зменшиться і кількість спожитої електроенергії, а саме даний показник є особливо важливим для забезпечення достатньої автономності в системах реального часу.

Підсумовуючи сучасний стан систем технічного зору для наземних

мобільних робототехнічних систем, варто зазначити наступне:

1. Трьома основними задачами таких систем є визначення перешкод, побудова карт місцевості (приміщення) та розпізнавання заданих об'єктів чи їх класів.

2. Доведена та втілена на практиці можливість визначення перешкод за допомогою лише стереокамери без додаткових датчиків. Проте недостатня точність та надійність таких систем досі не дозволяють використовувати їх окремо від інших, у першу чергу апаратних, засобів [5-8].

3. Більшість систем візуальної навігації використовують лазерні сканери та дальноміри. З одного боку, це суттєво підвищує точність та надійність таких систем, з іншого – на порядки підвищує їхню вартість.

4. Системи технічного зору здатні розпізнавати задані об'єкти, проте при погіршенні умов спостереження (інші кути обзору, розмиття, інше освітлення), ефективність їх роботи значно погіршується.

Ключова проблема вирішення задачі стереобачення полягає у тому, щоб знайти відповідні точки в стереозображенні, відповідні точки проекції одної трьохвимірної точки в різних ділянках зображення. Різниця в розміщенні проекції об'єкта уваги у зображеннях з двох давачів називається невідповідністю (рис 1).

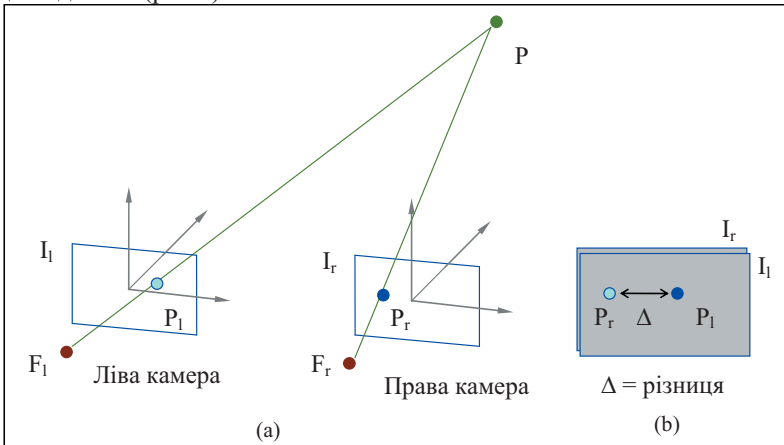


Рис.1 Система стереобачення на основі двох відеокамер

Невідповідність є функцією від позиції точки в тривимірному просторі сцени та позиції, орієнтації і фізичних характеристик стерео пристроїв (наприклад, камери). На додаток до функції, що відображає пари (стерео пари) відповідних точок зображення на сцені точок, модель камери може бути використана для обмеження пошуку відповідної точки зображення для одного виміру. Будь-яка точка в тривимірному просторі разом з центрами проекції двох камер системи визначає епіполярну площину. Перетин цієї площини з площиною зображення називається епіполярною лінією (рис. 2).

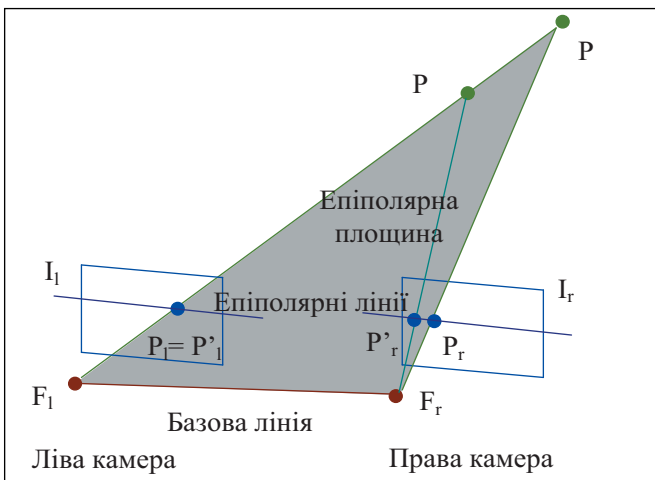


Рис. 2. Відображення епіполлярної площини та епіполярних ліній

Кожній точці на зображенні однієї камери відповідає епіполярна лінія на іншій камері. Тобто відповідна точка стерео пари лежить виключно на епіполярній лінії іншої камери. Це обмежує пошук точки стереопари одновимірним околom площині зображення іншої камери.

В системах стереозору з двома паралельно встановленими камерами, що знаходяться в нескінченості від об'єкту спостереження, проекція перетину їхніх ліній що з'єднують  $F$  і  $P$  повинна міститись у одній і тій же точці двохвимірному координатного простору вихідного кадру зображень обох відео давачів. І навпаки – об'єкт що близько розташований до камер знаходиться в різних точках. Як бачимо з рисунку нижче – чим ближче об'єкт тим більша відстань між координатами об'єкта у виводі одного давача від координат того ж об'єкту в виводі другого давача.

Класичний метод визначення відстані до об'єкта спостереження базується на триангуляції, тобто розбитті геометричного об'єкта на симплекси. Наприклад, на площині це розбиття на трикутники. Суть методу полягає у тому, що кожна камера захоплює зображення і ці зображення аналізуються на спільні риси. Над відносною позицією співпадаючих точок (пікселів) виконується триангуляція, як показано на рис.3.

Триангуляція вимагає наступних вхідних даних: фокусної відстань камери ( $F$ ), відстані між камерами ( $b$ ), і центральних точок зображення на площині ( $c_1$  і  $c_2$ ). Нерівність ( $d$ ) між відображеннями відстані до об'єктів спостереження ( $v_1$  і  $v_2$ ) на площині зображення від їхніх відповідних центрів. Використовуючи геометрію подібних трикутників, відстань від камери ( $D$ ) обчислюється наступною формулою:

$$D = b * \frac{f}{d} \quad (1),$$

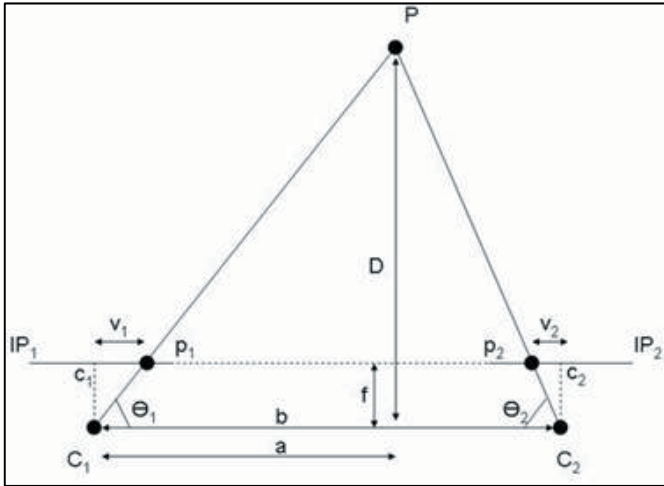


Рис.3. Використання триангуляції в стереобаченні

Результатом роботи даного методу є карта глибин, яка типово формується у вигляді напівтонового зображення у градаціях сірого. Кожен рівень градації відповідає відстані точки від камери. Приклад такого результату зображено на рис. 4.

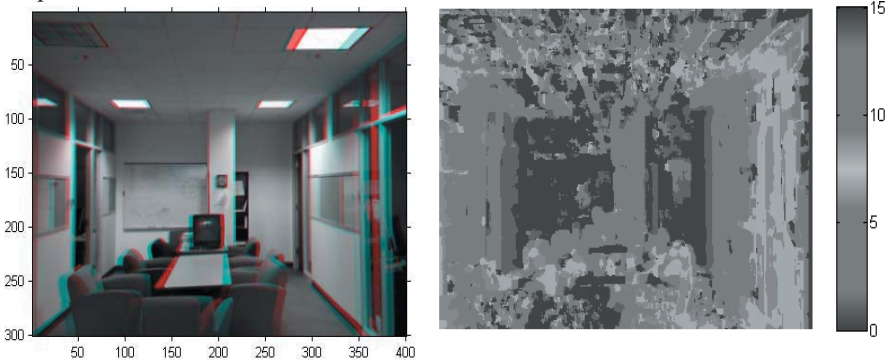


Рис.4. Карта глибин побудована на основі системи стереобачення

Обов'язковою умовою для роботи такого методу є встановлення точних параметрів розміщення точок спостереження однієї відносно другої та наявності достатніх обчислювальних ресурсів.

**Висновки.** Галузь технічного зору та застосування його для автоматизованого управління роботою автономних технічних систем є достатньо розвинутою та поступово втілюваною в діючі рішення. Проте залишається цілий ряд невирішених проблем, серед яких однією з найскладніших є створення систем або алгоритмів, які б дозволяли достотно

ефективно ідентифікувати об'єкт, незважаючи на зміну умов його спостереження, наприклад освітлення, перекриття його частин, зміни кута зору і ін. Розробка такої системи чи її окремих елементів є перспективним та актуальним напрямком наукових досліджень. Описаний метод триангуляції є перспективним з точки зору досліджень та дозволяє побудувати карту віддалей від точки спостереження до об'єкта для подальшого вирішення задач класифікації та розпізнавання зображення.

1. *J.Y. Aloimonos, I. Weiss and A. Bandopadhyay. "Active Vision", International Journal on Computer Vision, pp. 333-356, 1987.*
2. *R. Bajcsy. "Active Perception", IEEE Proceedings, Vol. 76, No 8, pp. 996-1006, August 1988.*
3. *Вудвортс Р. С. Зрительное восприятие глубины / Психология ощущений и восприятия. –М.: ЧеРо, 1999. –с.343-382.*
4. *Trucco E; Verri A. "Introductory Techniques for 3-D Computer Vision." Prentice Hall, 1998.*
5. *Hartley R; Zisserman A. "Multiple View Geometry in Computer Vision." Cambridge University Press, 2003.*
6. *Hartley R; Zisserman A. "Multiple View Geometry in Computer Vision." Cambridge University Press, 2003.*
7. *Moravec H. "Robot Spatial Perception by Stereoscopic Vision and 3D Evidence Grids" Carnegie Mellon University, 1996.*
8. National Instruments "Robotics Fundamentals Series: Stereo Vision", 2008.

*Поступила 21.02.2013р.*

УДК 621.391.24

Ю.М. Романишин<sup>1),2)</sup>, д.т.н., С.Р. Петрицька<sup>1)</sup>, Р.М. Якимів<sup>1)</sup>, Т.В. Копина<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Національний університет "Львівська політехніка"

<sup>2)</sup> University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Poland

<sup>3)</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ

## **МОЖЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ОРТОГОНАЛЬНОГО ВЕЙВЛЕТ-БАЗИСУ НА ОСНОВІ ЗАДАНОЇ ВЕЙВЛЕТ-ФУНКЦІЇ**

Розглянуто задачу синтезу ортогонального вейвлет-базису на основі заданої вейвлет-функції. Для її розв'язання використовуються кратномасштабні співвідношення та оптимізаційна задача найкращого наближення заданої функції вейвлет-функцією. Отримано рівняння для ітераційної процедури визначення масштабуючої функції та коефіцієнтів реконструкції.

*Ключові слова:* ортогональний вейвлет-базис, вейвлет-функція, масштабуюча функція, сімейство функцій Добеші