Комп'ютерна Система Стереозору для Візуального Визначення Відстаней

Олег Прокопчук
кафедра Автоматизованих систем обробки інформації
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Дніпро, Україна
neues.system@ukr.net

Михайло Церр
кафедра Автоматизованих систем обробки інформації
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Дніпро, Україна
azimutkappa@gmail.com

Сергій Вовк
кафедра Автоматизованих систем обробки інформації
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Дніпро, Україна
vovk_s_m@ukr.net

Computer Stereo Vision System for Visual Distance Determination

Oleh Prokopchuk
dept. of Automated data processing systems
Oles Honchar Dnipro National University
Dnipro, Ukraine
neues.system@ukr.net

Mykhailo Tserr
dept. of Automated data processing systems
Oles Honchar Dnipro National University
Dnipro, Ukraine
azimutkappa@gmail.com

Sergiy Vovk
dept. of Automated data processing systems
Oles Honchar Dnipro National University
Dnipro, Ukraine
vovk_s_m@ukr.net

***Анотація*—Пропонується комп'ютерна система для візуального визначення відстаней до об'єктів, поміж об'єктами та на об'єктах, яка працює на базі програмної платформи Microsoft .NET Framework і використовує бібліотеки OpenCV та Emgu CV. Робота системи передбачає отримання зображень безпосередньо від камер стереопари, підключених до комп'ютера, або з файлів на диску. Визначення шуканих відстаней здійснюється або в автоматичному режимі через відповідні функції бібліотеки OpenCV, які пов'язані з розпізнаванням об'єктів за їх шаблонами, або в інтерактивному режимі шляхом вказування на маркерні точки та використання додатково розроблених функцій, які пов'язані зі стереоскопічними обчисленнями. Наводяться результати експериментів з визначення відстані до обличчя людини та з обчислення відстаней між окремими точками на пласкому об'єкті.**

***Abstract*—A computer system for visual determination of distances to the objects, distances between and at the objects is proposed. The system is based on the software platform of Microsoft .NET Framework and used the OpenCV library and the Emgu CV library. The proposed system provides for receiving images directly from the stereo cameras connected to the computer or the files on the disk. Determining distances is obtained either in automatic mode through the appropriate functions of the OpenCV library related to the searching of objects by their templates, or in interactive mode by using developed functions associated with the marked points at the objects. The experimental results of determining the distance to the human face and distances between the different points at the flat object are presented.**

Ключові слова—стереозір, автоматичний, OpenCV, Emgu CV.

Keywords—stereo vision; automatic; OpenCV; Emgu CV.

I. Вступ

Однією з головних задач комп'ютерного стереозору є аналіз просторових сцен з оцінюванням значень геометричних параметрів об'єктів, що спостерігаються. Розв'язок цієї задачі ґрунтується на принциповій можливості систем стереозору визначати тривимірні просторові координати об'єктів [1], що надає можливість обчислювати відстані до об'єктів та поміж об'єктами, лінійні розміри об'єктів, положення та орієнтацію пласких частин об'єктів у просторі тощо. Зважаючи на стрімкий розвиток апаратних складових комп'ютерних систем та програмного забезпечення, слід очікувати на широке впровадження комп'ютерних систем стереозору у різні галузі промисловості, у побутову техніку та в навчальний процес. Основою цього є алгоритми та програмне забезпечення, що втілені у бібліотеку функцій OpenCV.

Проте використання існуючих алгоритмів стереозору з бібліотеки OpenCV спряжено з низкою проблем, які часто призводять до зниження якості результатів та їх непостійності навіть для однотипних зображень. Пропонується використання простих та ефективних алгоритмів стереоскопічних обчислень для нескладних задач стереозору для випадків, коли швидкість роботи та передбачувана точність результату є ключовими вимогами. Запропоновані алгоритми засновані на наближенні геометричної оптики із використанням моделі камери-обскура. На їх основі було запрограмовані основні функції стереоскопічних обчислень, які згуртовані в клас StereoScopic. Клас може бути застосований в якості базового для роботи стереозору або в поєднанні із традиційними алгоритмами з бібліотеки OpenCV.

II. Алгоритм роботи системи

Звичайно система комп'ютерного стереозору повинна передбачати роботу з зображеннями стереопари незалежно від шляху їх отримання (захоплення з цифрових камер, зчитування з файлів, отримання окремих кадрів з відео), а також можливість аналізу та обробки зображень для вибору бажаного алгоритму роботи. Для розробки такої системи можна використати програмну платформу Microsoft .NET Framework 4.0, а для обробки зображень - популярну бібліотеку OpenCV 3.0 з відкритим програмним кодом. В цьому випадку в якості мови розробки можна використати C#, що передбачає використання бібліотеки-обгортки Emgu CV для можливості звертання до функцій OpenCV.

Перший крок алгоритму роботи відповідної системи полягає у зчитуванні пари зображень, отриманих за стерескопічним принципом. Такі зображення можуть бути отримані шляхом безпосередньої передачі з камер, виділені у відеоряді або зчитані з файлів на диску. Для типової системи стереозору з двома камерами(рис. 1) важливим є одночасне отримання інформації з обох камер. Якщо сцена, що спостерігається камерами, є статичною і рух камер не передбачається, тоді одночасна зйомка не є критичним параметром. Бібліотека OpenCV надає спеціалізований клас CvCapture, який дозволяє реалізувати роботу з камерами та відео, і клас IplImage для роботи з файлами зображень.

Другий крок алгоритму роботи передбачає попередні перетворення зображень з метою покращення їх якості для подальшої роботи, наприклад, шляхом зменшення шуму на зображеннях за допомогою просторової фільтрації [2]. За допомогою класу Mat бібліотеки OpenCV можна виконувати широкий спектр різних маніпуляцій над зображеннями, використовуючи існуючі чи власні алгоритми обробки [2].

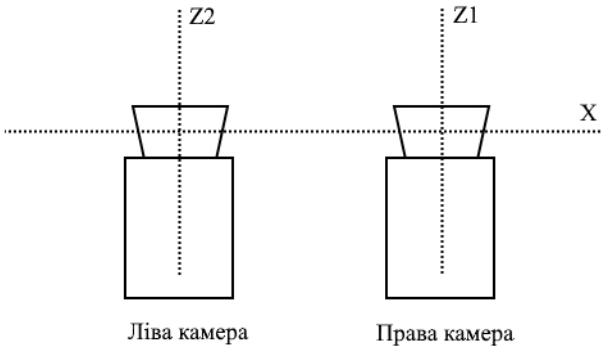

Рис. 1. Типове компонування системи стереозору

Для третього кроку алгоритму, який передбачає розпізнавання окремих об'єктів на зображенні для подальшого визначення відстані до них, застосовується клас Cascade Classification. Даний клас використовує каскад форсованих класифікаторів, що працюють з Хаар-подібними функціями. Робота Cascade Classification вимагає навчальної вибірки для формування пошукового шаблону або може використовувати готові файли з результатами навчання для аналізу зображення і виявлення об'єктів певного типу. Результати роботи формуються у вигляді масиву з інформацією про координати областей зображення, які класифіковані згідно пошукового шаблону.

На наступному кроці виконуються стереоскопічні обчислення для визначення відстані до виявлених на зображенні об'єктів. Бібліотека OpenCV надає реалізацію алгоритмів стереозору Block Matching (клас StereoBinaryBM) і Semi Global Block Matching.(клас StereoBinarySGBM) [1,3]. Для ефективної роботи даних алгоритмів необхідне виконання чотирьох послідовних етапів:

1)Стереокалібрування камер в спільній системі координат та отримання матриці проекцій для кожної з камер. Даний крок зазвичай робиться лише раз, після чого записані у файл результати використовуються повторно.

2)Захоплення і ректифікація зображень за епіполярними лініями. Даний крок передбачає використання власних матриць камер, отриманих на етапі калібрування, для обчислення фундаментальної матриці з наступним вирівнюванням зображень за епіполярними лініями. Це дозволяє мінімізувати спотворення, що пов'язані з неправильним розміщенням камер.

3)Обробка стереопари та побудова карти диспарантності. Даний етап передбачає використання алгоритму Block Matching або Semi Global Block Matching. Результатом роботи цих алгоритмів є карта диспарантності у вигляді зображення, де замість значень кольору в пікселях міститься інформація про розбіжність відповідних пікселів.

4)Побудова карти глибини для визначення відстані до точок. На основі карти диспарантності виконується тріангуляція і побудова зображення з картою глибини, де замість значень кольору кожен піксель зберігає обчислену до точки відстань.

Результати роботи зазначених алгоритмів не завжди мають коректні значення через вплив ряду негативних чинників (необхідність низки початкових припущень про зовнішнє світло, про перекриття частин об'єктів, про наявність великої кількості однакових за яскравістю областей на зображеннях тощо). Хоча дані алгоритми дозволяють достатньо швидко виконати оцінку відстані до точок на зображеннях [3], але вони не можуть бути використані для роботи в режимі реального часу на малопотужних комп'ютерах. Зіставлення даних про координати областей виявлених об'єктів та відстань до точок в цих областях дозволяє виконати оцінку відстані до об'єкта з усуненням впливу невалідних значень шляхом усереднення значень відстані, які потрапили в міжквартильний розмах. У наближенні геометричної оптики та на базі моделі камер-обскура стереоскопічні обчислення можна проводити за формулою [4]:

$$D = \frac{Bp_0}{2tg(\frac{\varphi_0}{2})\,|\,p_1 - p_2\,|}, \qquad (1)$$

де D – геометрична відстань між площиною камер та площиною, де знаходиться шукана просторова точка, B – відстань між оптичними осями камер (базова відстань), p_0– загальна ширина зображення в пікселях, φ_0 – кут огляду камер, p_1 – горизонтальна координата точки на першому зображенні в пікселях, p_2 – горизонтальна координата точки на правому зображенні в пікселях. Уведення системи координат з її початком, наприклад, в центрі лівої камери, дозволяє отримувати абсолютні значення відповідних просторових координат.

На основі даних про просторові координати виявлених об'єктів можна визначити точки, які вказують на їх геометричні центри. Обчислення відстані до центральних точок об'єктів згідно (1) дозволяє досить точно визначати відстань, якщо об'єкт має нескладну форму. Зрозуміло, що такий підхід забезпечує високу швидкість отримання результатів через значно менші вимоги до якості вхідних зображень, хоча й не дозволяє виконувати повний аналіз зображень стереопари. Таким чином, (1) можна вважати основою для інтерактивного режиму роботи системи. Зазначені алгоритми роботи системи втілено у вигляді Windows-додатку, який надає елементи управління для вибору вхідних файлів або пристроїв, методів попередньої фільтрації та обробки зображень стереопари, інтерфейс вибору файлів з даними для класифікації об'єктів, а також дозволяє обирати один із описаних алгоритмів стереоскопічних обчислень.

III. Експерименти та результати

Для проведення експериментів було використано апаратну платформу з двома однаковими веб-камерами Logitech C120 з горизонтальним кутом огляду та роздільною здатністю 640×480 пікселів, які були розміщені на відстані 76 мм одна від одної.

Для оцінювання ефективності автоматичного режиму роботи, в якому здійснювався пошук об'єктів, в якості шаблону було використано XML-файл з даними щодо контуру людських облич. В якості об'єкта, до якого вимірюється відстань, було використано надруковане на аркуші паперу графічне зображення обличчя людини. В процесі експерименту аркуш із зображенням обличчя послідовно розміщувався на відстані від 0,6 м до 1,5 м з кроком 0,1 м відносно площини камер, після чого проводилась статична зйомка і фіксувались обчислені значення відстані. На рис.1-2 наведені приклади зображень отриманих за допомогою камер системи для відстані 0,6м. Для набору статистики зазначені вимірювання виконувалися 10 разів поспіль.

Рис. 2. Зображення лівої камери для відстані 0.6м

Рис. 3. Зображення правої камери для відстані 0.6м.

Оцінювання ефективності роботи інтерактивного режиму було виконано за допомогою зйомки статичного

плаского об'єкта, розміщеного під певними просторовими кутами відносно оптичної осі лівої камери з наступним обчисленням відстаней між окремими точками об'єкта на основі зображень стереопари. Для зручності спеціальними маркерами позначались три пари опорних точок: A1, A2, B1, B2, C1, C2 (рис.3).

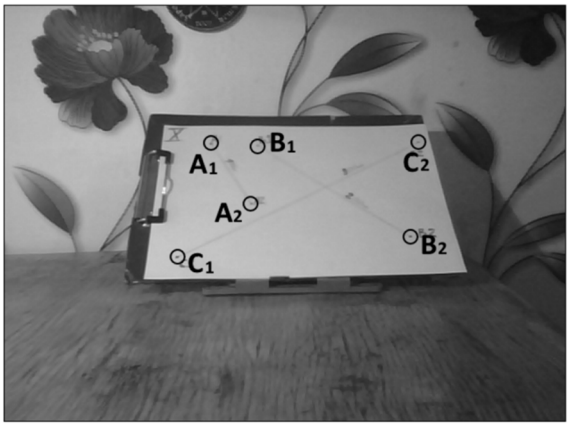

Рис. 4. Зображення лівої камери з точками позначеними маркерами.

Дані пари точок утворювали три відрізки A1A2, B1B2 та C1C2. Експеримент проводився для 10 різних конфігурацій шести точок, випадково обраних на пласкому об'єкті. Фізична відстань між точками залишалась однаковою і становила A1A2=100 мм, B1B2=200 мм, C1C2=300 мм. В процесі експерименту незначним чином змінювались кути нахилу об'єкта, а середня відстань від площини камер до його найближчої частини становила 650 мм. Під час експерименту просторові кути нахилу об'єкта не вимірювались.

Для експериментів з оцінювання ефективності автоматичного режиму роботи, в якому виконувався пошук обличчя людини та оцінювалась відстань до нього, розпізнавання умовного обличчя людини було вірним в усіх випадках як для лівої, так і для правої камери. Усереднення значень відстаней до обличчя за результатами 10 експериментів призвело до таких результатів. Для фактичної відстані 0,6 м усереднена відносна похибка обчислення відстані склала 0,3%, для відстаней від 0,7 м до 0,9 м – 0,4%, для відстані 1 м – 0,6%, для відстаней від 1,1 м до 1,2 м – 0,8%, а для відстаней від 1,3 м до 1,5 м – 1,5%.

Результати експериментів з оцінювання ефективності інтерактивного режиму роботи мали наступний зміст. Для кожної пари точок за результатами 10 експериментів обчислювались відстані між цими точками, потім отримані значення арифметично усереднювалися та обчислювалось їх середнє значення, яке для відрізка A1A2 склало 100,7 мм, для відрізка B1B2 – 201,3 мм, а для відрізка C1C2 – 301,3 мм.

Результати проведених експериментів доводять ефективність розробленої системи комп'ютерного стереозору. В цілому, реалізований варіант системи забезпечує обчислення відстані в діапазоні від 0,5м до 1,5м з відносною похибкою не більше 1,5%. Оцінювання відстаней на пласкому об'єкті забезпечується в середньому з абсолютною похибкою до 1,5 мм на відстані 0,65 м від об'єкта. Але ця похибка зростає із збільшенням відстані до об'єкта.

Керування роботою системи та візуалізація результатів здійснювались через розроблений графічний інтерфейс. Перед початком роботи заповнювалась інформація про апаратну частину системи, після чого обирався автоматичний або інтерактивний режим. Завантаження автоматичного режиму роботи відбувалось шляхом активізації програмного методу AutoMode(), після чого робота з обчислення відстані до знайдених об'єктів тривала безупинно до натискання відповідної кнопки зупинки роботи. Інтерактивний режим роботи активізувався через програмний метод InteractiveMode() і вимагав уведення інформації про обрані просторові точки та їх зміст (поодинока точка, дві точки належать прямій, три точки належать площині), після чого виводилась відповідна інформація про відстані до них та поміж ними, а також про просторові кути нахилу визначених прямих та площин.

Використання спрощених алгоритмів стереозору має певні переваги над алгоритмами побудови карт диспарантності з бібліотеки OpenCV. Це стосується тих випадків, коли повний стереоскопічний аналіз сцени, яка спостерігається, не є потрібним. Також до переваг можна віднести невисокі вимоги до зображень сцени, що дозволяє однаково успішно працювати з вхідними зображеннями, які є різними за якістю та за змістом.

IV. Висновки

На основі функціоналу бібліотеки OpenCV та з використанням бібліотеки-обгортки Emgu CV розроблена комп'ютерна система стереозору у вигляді Windows-додатку, що функціонує на персональному комп'ютері, та двох камер. Алгоритм роботи системи передбачає гнучкий вибір варіантів її функціонування залежно від потреб користувача. Для покращення якості отриманих результатів апаратна частина системи може вдосконалюватися камерами кращої якості та розширюватися додатковою кількістю камер, а програмна частина може доповнюватися новими функціями, які є необхідними.

Література References

[1] B. Tippetts, Review of stereo vision algorithms and their suitability for resource-limited systems / Beau Tippetts, Dah Jye Lee, Kirt Lillywhite, James Archibald // Journal of Real-Time Image Processing January 2016, Volume 11, Issue 1, pp. 5–25.

[2] Ju.V. Vizil'ter, Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zrenija: kurs lekcij i prakticheskih zanjatij / Ju.V.Vizil'ter, S.Ju. Zheltov, A.V. Bondarenko, M.V. Ososkov, A.V. Morzhin. – M.:Fizmatkniga, 2010. – 672 s.

[3] M. Stefano, Stereo Vision Algorithms for FPGAs /Stefano Mattoccia // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2013, pp. 636-641.

[4] S.M. Vovk, Metody obrobky zobrazhen ta kompiuternyi zir / S.M. Vovk, V.V. Hnatushenko, M.V. Bondarenko. – D. : LIRA, 2016. –148 s.