

О.М. Прокопчук, С.М. Вовк

## КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА СТЕРЕОЗОРУ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ДО ОБ'ЄКТІВ

*Анотація. На основі бібліотеки OpenCV та додатково розроблених функцій пропонується комп'ютерна система стереозору для візуального визначення відстаней до об'єктів, поміж об'єктами та на об'єктах. Система працює на базі програмної платформи Microsoft .NET Framework і використовує бібліотеку Emgu CV в якості бібліотеки-обгортки для OpenCV. Під час її роботи зображення отримуються або безпосередньо від камер стереопари, підключених до комп'ютера, або з файлів на диску. Визначення 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 використання додатково розроблених функцій, які пов'язані з виокремленням точок на об'єктах.*

*Ключові слова: стереозір, автоматичний, OpenCV, Emgu CV.*

### Вступ

Автоматичний аналіз і обробка візуальних даних, отриманих від систем стереоскопічного зору, є важливою галуззю інформаційних технологій. Розвиток даної галузі обумовлює можливість створення досконалих систем навігації для автономних роботів, розширення можливостей відеоспостереження для цивільних та військових потреб, а також дає поштовх для інновацій в промисловості та сфері розваг. В поданій роботі пропонується комп'ютерна система стереозору, яка надає можливість роботи як в автоматичному режимі за допомогою функцій бібліотеки OpenCV, які пов'язані з розпізнаванням шуканих об'єктів за їх шаблонами, так і в інтерактивному режимі шляхом використання додатково розроблених функцій, які пов'язані з виокремленими точками (маркерами) на об'єктах. При цьому функціонал бібліотеки OpenCV використовується через бібліотеку-обгортку Emgu CV.

### Постановка завдання

Постановка задачі полягає у створенні комп'ютерної системи стереозору на базі відповідних бібліотек з відкритим програмним кодом та з можливостями автоматичного й інтерактивного аналізу зображень стереопари, пошуку об'єктів і обчислення відстаней до них, відстаней поміж ними та відстаней на них.

### Основна частина

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 стереоскопічним принципом. Такі зображення можуть бути отримані шляхом безпосередньої передачі з камер, виділені у відеоряді або зчитані з файлів на диску [1]. 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.

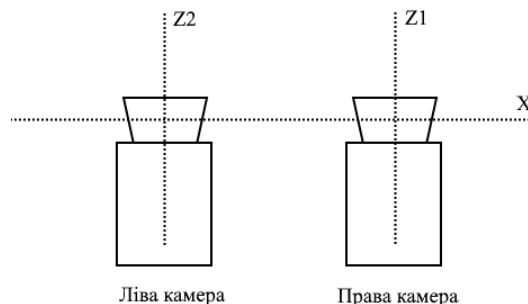


Рисунок 1 - Типове компонування системи стереозору;  
Z1, Z2 – оптичні осі; X - спільна горизонтальна площина

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. За допомогою класу Mat бібліотеки OpenCV можна виконувати широкий спектр різних маніпуляцій над зображеннями, використовуючи існуючі чи власні алгоритми обробки [2].

Для третього кроку алгоритму, який передбачає розпізнавання окремих об'єктів на зображенні для подальшого визначення відстані до них, використовується клас Cascade Classification. Даний клас використовує каскад форсованих класифікаторів, що працюють з Хаар-подібними функціями. Клас Cascade Classification вимагає навчальної вибірки для формування пошукового шаблону або може використовувати уже 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). Для ефективної роботи даних алгоритмів необхідне виконання чотирьох послідовних етапів:

1) стереокалібрування камер в спільній системі координат та отримання матриці проєкцій для кожної з камер;

2) ректифікація вхідних зображень стереопари за епіполлярними лініями на основі даних про стереокалібрування камер;

3) побудова карти диспарантності (розбіжності) зображення, де замість значень кольору зберігається інформація про розбіжність відповідних пікселів;

4) на основі карти диспарантності виконується триангуляція та визначається відстань в просторі до кожної з точок зображення.

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 дозво-

ляють достатньо швидко виконати оцінку відстані до багатьох 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]:

$$D = \frac{Bp_0}{2tg\left(\frac{\phi_0}{2}\right) |p_1 - p_2|}, \quad (1)$$

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,  $\phi_0$  – 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. Він 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. В залежності від вибору і ресурсів апаратури

тної платформи, на якій працює додаток, можлива реалізація всіх етапів в режимі реального часу.

На рис.2 наведено приклад зображень стереопари, отриманих в автоматичному режимі роботи під час обчислення відстані до обличчя людини шляхом послідовного виконання операцій захоплення зображень з двох камер, їх попередньої обробки та пошука об'єкта за шаблоном з позначенням відповідного результату.

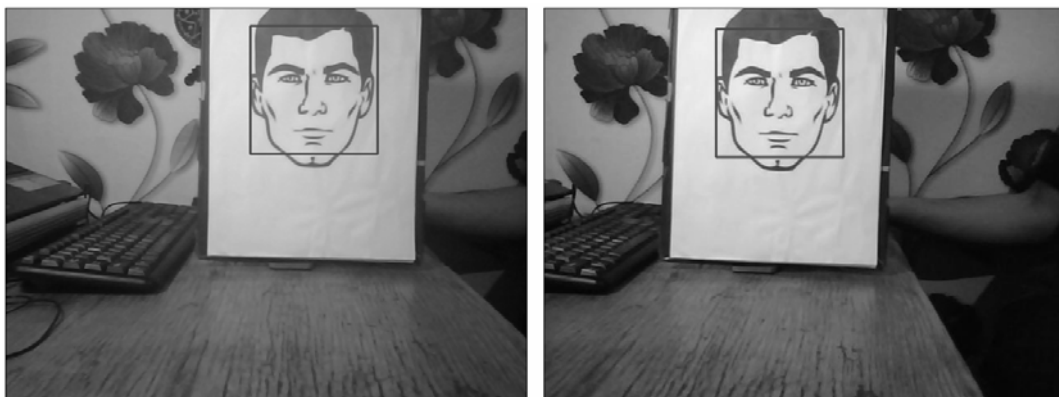


Рисунок 1 - Зображення стереопари

### 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. Розвиток розробленої системи спрямований на вдосконалення та оптимізацію процесу її роботи, зокрема перехід на архітектуру CUDA для підвищення ефективності та прискорення обробки зображень за допомогою графічних процесорів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Tippetts B. 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. Vizil'ter Ju.V. Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zrenija: kurs lekcij i prakticheskikh zanjatij / Ju.V.Vizil'ter, S.Ju. Zheltov, A.V. Bondarenko, M.V. Ososkov, A.V. Morzhin. – М.:Fizmatkniga, 2010. – 672 s.
3. Stefano M. Stereo Vision Algorithms for FPGAs /Stefano Mattocchia // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2013, pp. 636-641.
4. Vovk S.M. Metody obrobky zobrazen ta kompiuterni zir / S.M. Vovk, V.V. Hnatushenko, M.V. Bondarenko. – D. : LIRA, 2016. –148 s.