

РОЗШИРЕННЯ РОБОЧОГО ПРОСТОРУ ДО РОЗМІРІВ ПОЛЯ ЗОРУ КАМЕРИ В СИСТЕМАХ ІНТРАОПЕРАЦІЙНОЇ НАВІГАЦІЇ

Давидович Ілля Вікторович

магістр кафедри біомедичної кібернетики
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Алхімова Світлана Миколаївна

к.т.н., доцент кафедри біомедичної кібернетики
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація. Пристрої, що підтримують технологію доповненої реальності, надають можливості інформаційної підтримки лікарів щодо інтраопераційної навігації. Спеціальні координатні мітки (маркери), які використовують для правильного позиціонування віртуальної інформації щодо розміщених у полі зору камери об'єктів, мають бути розпізнані на зображеннях з камери. Оскільки розпізнавання маркерів ускладнене для випадків, коли маркер частково присутній на зображенні з камери, це призводить до зменшення робочого простору у порівнянні до фактичного розміру поля зору камери. У цій роботі пропонується підхід до покращення розпізнавання маркерів ArUco вбудованими засобами бібліотеки OpenCV для випадків, коли положення маркера наближене до границь зображення.

Ключові слова: доповнена реальність, розпізнавання маркерів, маркери, точність, інтраопераційна навігація, камера.

ВСТУП

Традиційним системам інтраопераційної навігації потребують від оператора переводити зір на окремий дисплей, на якому відбувається візуалізація сцени доповненої реальності. Це є доволі незручним. Звісно, що в якості пристроїв для візуалізації доповненої реальності можуть використовуватися навіть звичайні смартфони або планшети. Однак з огляду на задачі інтраопераційної навігації найзручнішим є застосування спеціальних головних дисплеїв, оскільки вони не займають руки і не потребують від оператора переводити зір на окремий дисплей. Це дозволяє оператору природно взаємодіяти як з реальними так і віртуальними об'єктами від першої особи [1].

Попри свої переваги, такі популярні головні дисплеї як Microsoft HoloLens 2, потребують розміщення у полі зору камери координатних міток (маркерів) з метою правильного позиціонування віртуальної інформації. Такі маркери мають добре розпізнаватися на зображеннях з камери пристрою. З цією метою пристрій має бути обладнаний камерою з гарною роздільною здатністю матриці і в той самий час такою, що буде забезпечувати великий робочий простір для можливої взаємодії з маркерами.

На сьогодні у якості координатних міток для задач доповненої реальності широко використовуються маркери ArUco [2]. Варто зазначити, що висока точність та швидкість розпізнавання обумовлюють їх використання в задачах інтраопераційної навігації [3, 4].

Основною проблемою розпізнавання згаданих маркерів ArUco за допомогою вбудованих засобів із бібліотеки OpenCV [5] є те, що тіло маркера має бути повністю розміщене у полі зору камери. Частковий вихід із поля зору камери навіть незначної частини тіла маркера унеможлиблює його розпізнавання. Важливим також є те, що вміст тіла маркера має бути контрастним щодо фону, на якому розміщений маркер. Для цього тіло маркера додатково розміщують всередині білої зони.

Метою даної роботи є розробка підходу для добудови фрагмента маркера ArUco, який частково вийшов із поля зору камери, у такий чин, щоб наявність маркера на зображенні була підтверджена його розпізнаванням вбудованими засобами із бібліотеки OpenCV. У результаті добудований фрагмент повинен відповідати масштабам, перспективі та змісту із урахуванням частини маркера на новому зображенні.

МКТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розроблений підхід працює на основі пошуку ключових точок.

Першим кроком з поточного зображення, яке отримують з камери, вирізається і зберігається фрагмент, що відповідає за розташуванням ділянки із розпізнаним маркером на попередньому зображенні. Координати кутів розпізнаного маркеру із допуском у 10 пікселів на розширення використовуються для визначення зони вирізання.

Наступним кроком відбувається виявлення та порівняння ключових точок об'єкта (у нашому випадку – маркера) на фрагменті поточного зображення із ключовими точками еталонного зображення маркера, що використовується. Для виявлення ключових точок та ідентифікації маркера за цими точками на фрагменті поточного зображення використовується алгоритм масштабно-інваріантного перетворення ознак SIFT [6].

У випадку, якщо кандидат із фрагмента поточного зображення було ідентифіковано як шуканий маркер, на наступному кроці відбувається добудова зображення маркера із урахуванням просторової відповідності. Для знаходження матриці геометричного перетворення за ключовими точками використовується алгоритм оцінки параметрів моделі RANSAC [7].

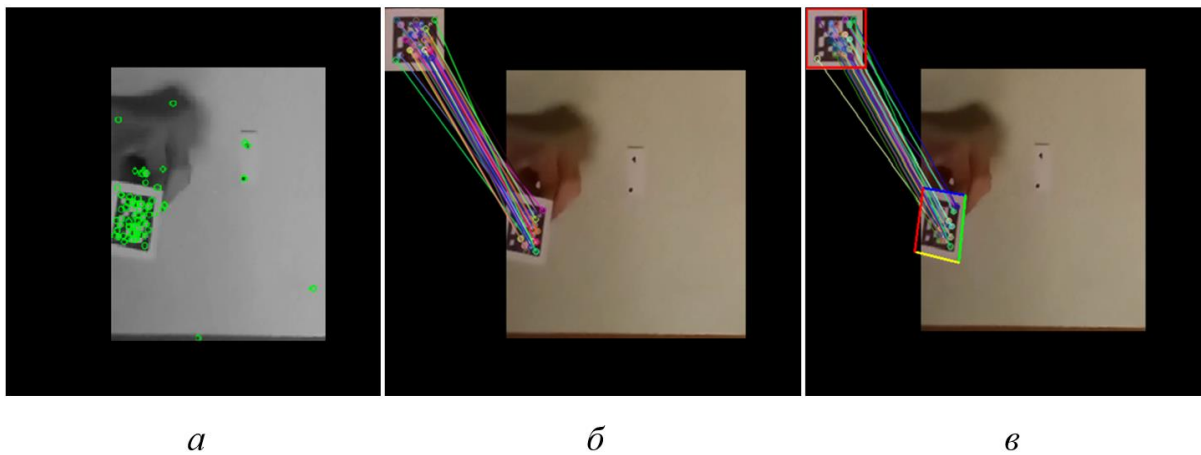


Рис. 1. Послідовність ключових перетворень зображення маркера у запропонованому підході на прикладі: *а* – виявлення ключових точок; *б* – ідентифікація маркера; *в* – встановлення просторової відповідності для виконання подальшого геометричного перетворення.

Після добудовування маркера нове зображення повторно відправляється на розпізнавання за допомогою вбудованих засобів з бібліотеки OpenCV.

Програмна реалізація алгоритму розпізнавання маркерів була створена за допомогою мови програмування Python версії 3.9.1 із застосуванням відкритої бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV версії 4.5.5, для роботи з маркерами використовувався модуль `cv2.aruco`.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для аналізу роботи запропонованого алгоритму була використана надширококутна камера 8 Мп з апертурою $f/2.2$, фокусною відстанню 13 мм (поле зору камери 120 градусів), діагонально світлочутливої матриці $1/4,0''$.

Шолом з камерою розташовувався на голові оператора. Значення відстані від камери до маркера було обране як середньостатистичне значення довжини витягнутої руки людини. За даними [8] ця величина складає 70 см і передбачає можливість оператора дотягнутися і взаємодіяти з об'єктом, на який нанесений маркер.

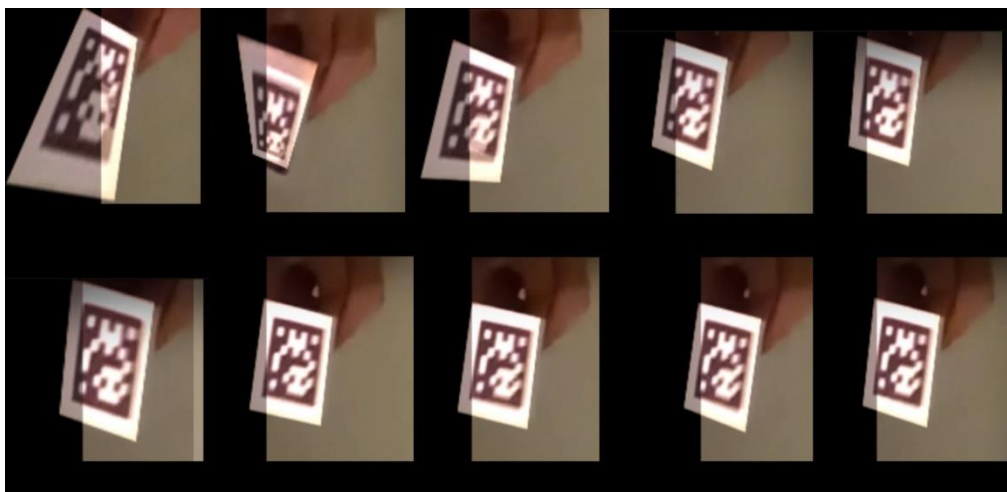


Рис. 2. Приклади добудови зображення маркера відповідно до запропонованого підходу.

Додатково була проаналізована якість розпізнавання добудованих маркерів в залежності від площі маркера, що присутня на оригінальному зображенні з камери.

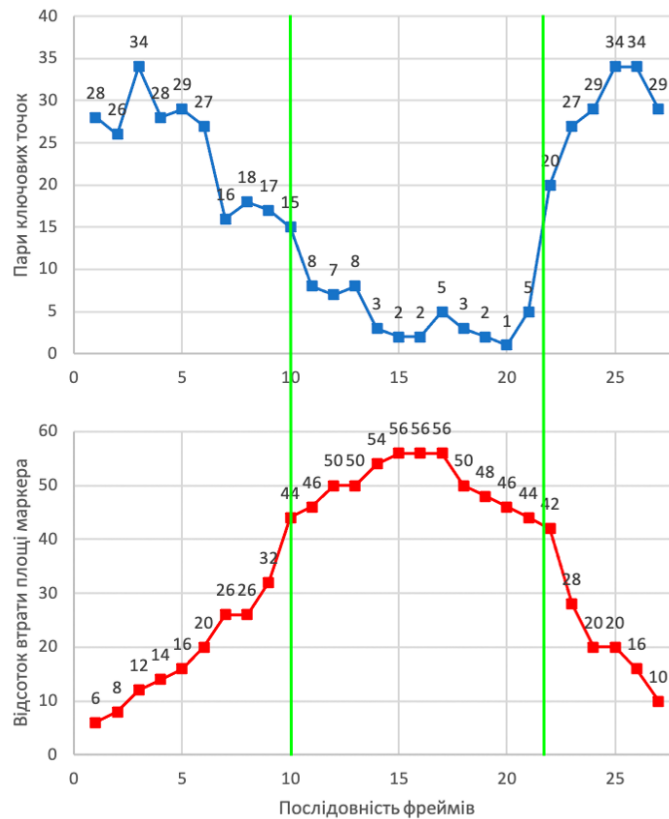


Рис. 3. Залежність наявної частини маркера, що присутня на оригінальному зображенні, від кількості знайденої пар ключових точок.

Поріг задовільної ідентифікації маркерів на фрагментах зображень був встановлений як такий, що потребує щонайменше 15 пар ключових точок. Менша кількість призводила для помітно гіршої добудови маркера із хибною геометрією останнього. З аналізу якості розпізнавання добудованих маркерів в залежності від площі маркера на оригінальному зображенні з камери за 15 парами ключових точок було встановлено, що критичною для розпізнавання є відсутність більше 43% площі маркера.

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід дозволяє розширити робочий простір для взаємодії з маркерами і наблизити його до фактичних розмірів поля зору камери. Стабільність отримана для випадків відсутності менше ніж 43% площі маркера.

Список літератури:

1. Thabit, A., Niessen, W. J., Wolvius, E. B., & van Walsum, T. (2022, April). Evaluation of marker tracking using mono and stereo vision in Microsoft HoloLens for surgical navigation. In *Medical Imaging 2022: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling*, 12034, 253-262.

2. Romero-Ramirez, F. J., Muñoz-Salinas, R., & Medina-Carnicer, R. (2018). Speeded up detection of squared fiducial markers. *Image and vision Computing*, 76, 38-47.
3. Liu, X., Plishker, W., & Shekhar, R. (2021). Hybrid electromagnetic-ArUco tracking of laparoscopic ultrasound transducer in laparoscopic video. *Journal of Medical Imaging*, 8(1), 015001.
4. Oščádal, P., Heczko, D., Vysocký, A., Mlotek, J., Novák, P., Virgala, I., ... & Bobovský, Z. (2020). Improved pose estimation of ArUco tags using a novel 3d placement strategy. *Sensors*, 20(17), 4825.
5. OpenCV: Tutorials for contrib modules. Detection of ArUco Markers. https://docs.opencv.org/4.x/d5/dae/tutorial_aruco_detection.html (2022).
6. Guo, F., Yang, J., Chen, Y., & Yao, B. (2018, April). Research on image detection and matching based on SIFT features. In *2018 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering*, 130-134.
7. Fischler, M. A., & Bolles, R. C. (1981). Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), 381-395.
8. Looker, J., & Garvey, T. (2015). Reaching for Holograms. In *Proceedings from International Design Congress*, 504-511.