

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

УДК 004.72

АНДРІЙ СОКОЛОВ, ОЛЕГ АВРУНІН

### ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ БІБЛІОТЕКИ ARCORE ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИСТАНЦІЇ ДО ОБ'ЄКТІВ У КАДРІ

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна,  
e-mail: andrii.sokolov@nure.ua, oleg.avrunin@nure.ua*

**Анотація.** Це дослідження вивчає потенціал ARCore для розробки систем навігації, призначених для мобільних додатків, які будуть працювати на швидкості пішохода, таких як допомога в навігації для людей з порушеннями зору. Оцінюючи продуктивність програми, ми виявили, що поточна точність вимірювань і похибка до 7,5% є прийнятними для цих умов. Навігаційна система на основі ARCore може значно покращити просторову орієнтацію, надаючи інформацію про відстань до об'єктів та перешкод у реальному часі. Інтеграція з аудіопідказками та тактильним зворотним зв'язком обіцяє інтуїтивну навігацію, дозволяючи людям з порушеннями зору самостійно та безпечно пересуватися як у приміщенні, так і на вулиці. Ці висновки підкреслюють потенціал ARCore для покращення якості життя за рахунок доступних та ефективних навігаційних рішень..

**Ключові слова:** доповнена реальність, здоров'я людини, мапа глибини, просторова орієнтація незрячих, фреймворк ARCore.

**Abstract.** This research investigates the potential of ARCore for developing navigation systems specifically designed for low-speed mobility scenarios, such as aiding navigation for visually impaired individuals. Our evaluation of the application's performance revealed that the current measurement accuracy and error margin of up to 7.5% are acceptable for these conditions. A navigation system utilizing ARCore could greatly enhance spatial orientation by providing real-time distance information to objects and obstacles. Integration with audio prompts and tactile feedback promises an intuitive navigation experience, enabling visually impaired users to navigate independently and safely both indoors and outdoors. These findings highlight ARCore's potential to improve quality of life through accessible and effective navigation solutions.

**Keywords:** augmented reality, human health, depth map, spatial orientation of the blind, ARCore framework.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-47-1-58-65

#### I. ВСТУП

Доповнена реальність – це технологія, яка покращує людське сприйняття шляхом комп'ютерного аналізу та візуалізації даних, які не сприймаються природними органами чуття. Вона дозволяє використовувати складні обчислення, не тільки для додавання віртуальних елементів до реальності, але й для вирішення більш простих, але важливих завдань.

Сучасні бібліотеки доповненої реальності, такі як ARCore від Google і ARKit від Apple, не тільки додають віртуальні об'єкти в навколишнє середовище, але й дозволяють створювати програми, орієнтовані на аналіз і взаємодію з реальним світом. Одним із прикладів такого використання є визначення відстані від камери пристрою до об'єктів навколишнього середовища, що має важливе значення для побудови різноманітних навігаційних систем[1,2].

Використовуючи інформацію про відстань і використовуючи штучний інтелект, можна розробляти різні навігаційні рішення, включаючи спеціалізовані засоби допомоги для людей з вадами зору. Ці системи можуть надавати інформацію про навколишнє середовище в реальному часі, допомагаючи користувачам без зору впевнено та безпечно орієнтуватися в навколишньому середовищі.

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

Таким чином, доповнена реальність не тільки розширює можливості віртуальної взаємодії, але й надає інструменти для вирішення конкретних практичних завдань, покращуючи якість життя та сприяючи незалежності людей з вадами зору.

### II. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ARCORE ТА СИСТЕМНИХ ВИМОГ ДЛЯ ОБЛАДНАННЯ

Основна мета цієї роботи полягає в тому, щоб розпочати початковий етап розробки навігаційної системи для людей з вадами зору. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), у світі налічується понад 39 мільйонів сліпих людей[3], які стикаються із серйозними проблемами мобільності. Мобільність у цьому контексті означає здатність вільно пересуватися без постійної допомоги.

Найцікавіші можливості ARCore у контексті розробки портативних навігаційних помічників для сліпих – це внутрішня реалізація SLAM алгоритмів, яка дозволяє отримати карту глибини та геопросторову навігацію, яка дозволяє використовувати прив'язки до Google Street View.

Для вирішення проблем мобільності, з якими стикаються люди з вадами зору, вкрай важливо забезпечити доступність навігаційної системи для людей з різним рівнем доходу. Ефективна система навігації повинна бути доступна навіть тим, хто не має значних фінансових ресурсів.

Ми припускаємо, що така система може бути створена шляхом інтеграції даних про відстань, отриманих за допомогою бібліотек доповненої реальності ARCore, з можливостями штучного інтелекту для класифікації або сегментації зображень у кадрі [4,5]. Ці завдання є обчислювально інтенсивними, що накладає обмеження на апаратне забезпечення смартфона, де виконуватимуться обчислення. Не всі смартфони мають необхідну продуктивність і підтримують необхідні API. Тому важливо перевірити сумісність пристрою на відповідному веб-сайті[6].

Основна проблема при розробці системи полягає в забезпеченні її точності та надійності з обмеженими обчислювальними ресурсами. Сучасні методи машинного навчання та комп'ютерного зору забезпечують високу точність розпізнавання об'єктів та визначення відстані. Однак інтеграція цих можливостей у мобільні пристрої потребує оптимізації та врахування апаратних обмежень. Таким чином, одним із ключових завдань на початковому етапі розробки є аналіз продуктивності різних моделей смартфонів та їх сумісності із запропонованою системою..

### III. ОГЛЯД МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ARCORE

ARCore є запатентованою технологією, і її повний алгоритм, хоча й заснований на відомих методах, публічно не розголошується. Основні компоненти включають візуальну одометрію, оцінку руху на основі IMU (інерціальний вимірювальний пристрій) і нейронну мережу, розроблену Google для зменшення накопичення помилок IMU[4,5]. Розглянемо основні технології.

**1. Візуальна одометрія:** Основна ідея візуальної одометрії передбачає зіставлення зображень: визначення ключових точок на зображеннях, які можна знайти на інших зображеннях. Ключові точки характеризуються унікальними характеристиками, такими як кути, сильні градієнти, лінії тощо[7,8]. Зазвичай є чотири основні етапи:

а. Виділення ознак: ключові точки виявляються та відстежуються в кожному кадрі зображення. Зазвичай використовуються такі алгоритми, як SIFT, SURF, ORB.

б. Зіставлення функцій: об'єкти між послідовними кадрами зіставляються, щоб визначити, як вони рухаються відносно одна одної. Див. ілюстрацію на рис. 1

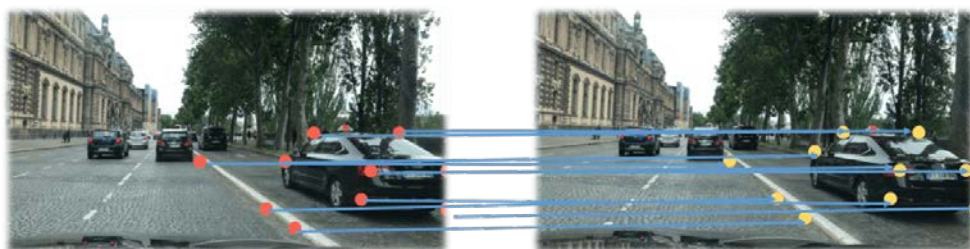


Рисунок 1 – Ключові точки з двох кадрів.

в. Оцінка руху: на основі цих збігів обчислюється відносний рух камери між кадрами.

г. Оновлення траєкторії: інтеграція послідовних відносних рухів для оцінки повної траєкторії.

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Алгоритми виявлення ключових точок добре відомі і заслуговують окремого розгляду, тому ми не будемо на них зупинятися. Вилучення інформації про рух між кадрами відбувається в кілька етапів.

Отримання інформації про рух між кадрами відбувається в кілька етапів:

Рух між кадрами можна представити як (1).

$$p'_i = Rp_i + t, \quad (1)$$

де  $p'_i$  і  $p_i$  — ключові точки на зображенні,  $R$  матриця повороту,  $t$  вектор переносу.

Фундаментальна матриця  $F$  — це матриця  $3 \times 3$ , яка описує епіполярний геометричний зв'язок між двома зображеннями однієї сцени, знятими двома камерами. Знаходження фундаментальної матриці  $F$  (2):

$$p'^T F p = 0, \quad (2)$$

Істотна матриця  $E$  — це матриця  $3 \times 3$ , яка описує епіполярні геометричні співвідношення між двома зображеннями однієї сцени, знятими двома камерами з ідентичними внутрішніми параметрами. Істотна матриця не залежить від внутрішніх параметрів камери, тобто для її обчислення не потрібно знати фокусну відстань, головну точку чи інші внутрішні параметри. Це спрощує процес перетворення [9,10] фундаментальної матриці в істотну матрицю  $E$  (3):

$$E = K^T F K, \quad (3)$$

де  $K$  — калібрувальна матриця внутрішніх параметрів камери.

Вилучення параметрів  $R$  і  $t$  відбувається за допомогою SVD-розкладу (4) істотної матриці та фіксованої матриці  $W$  (5), і знаходимо  $R$  і  $t$  наступним чином (6-9):

$$E = U \Sigma V^T, \quad (4)$$

$$W = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

$$R_1 = U W V^T, \quad (6)$$

$$R_2 = U W^T V^T, \quad (7)$$

$$t_1 = u_3, \quad (8)$$

$$t_2 = -u_3, \quad (9)$$

де  $u_3$  третій стовпець матриці  $U$ .

**2. Інерційна одометрія:** Алгоритм для оцінки положення та орієнтації об'єкта (наприклад, камери, робота чи транспортного засобу) за допомогою даних інерційних вимірювальних одиниць (IMU), таких як акселерометри та гіроскопи. Основна ідея полягає в тому, щоб інтегрувати вимірювання IMU для відстеження рухів і обертань об'єкта з часом [11,12,13]. Структура IMU показана на рис. 2.

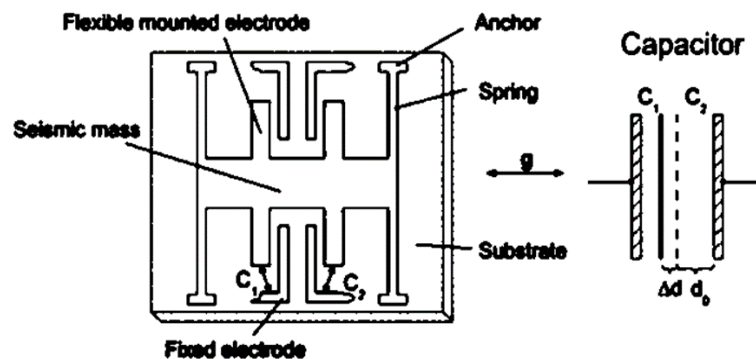


Рисунок 2 – Структура IMU

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

Алгоритм інерційної одометрії працює наступним чином:

а. Збір даних від IMU: акселерометри вимірюють лінійне прискорення  $a$ ; гіроскопи вимірюють кутову швидкість  $\omega$ .

б. Калібрування IMU: Налаштування зсувів і шуму в показаннях IMU.

в. Обробка даних: видалення гравітаційної складової з показань акселерометра, інтегрування кутової швидкості для визначення орієнтації, інтегрування прискорень для визначення швидкості та положення.

г. Виправлення помилок.

Положення камери визначається її координатами в певній системі координат. Як правило, для опису положення використовуються три координати  $p=(x,y,z)$ . Зв'язок між гіроскопом і акселерометром формується через обчислення орієнтації (кутового положення) і лінійного руху камери [14,15]. Позиція оновлюється шляхом інтегрування швидкості, яка оновлюється шляхом інтегрування скоригованого гравітаційного прискорення (10,11).

$$p(t) = p(t_0) + \int_{t_0}^t v(\tau) d\tau, \quad (10)$$

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t R(\tau) a_{lin} d\tau, \quad (11)$$

де  $v(t)$  – швидкість камери,  $R(\tau)$  – матриця обертання, що відповідає орієнтації камери в момент часу  $\tau$ ,  $a_{lin} = a - g$  – прискорення вільне від сили тяжіння.

Оновлення орієнтації за допомогою кутової швидкості  $\omega$ (12):

$$R(t + \Delta t) = R(t) \exp([\omega(t)\Delta t]_{\times}), \quad (12)$$

де  $\exp([\omega(t)\Delta t]_{\times})$  – матрична експонента кососиметричної матриці кутової швидкості.

Інерційна одометрія страждає від накопичення таких помилок, як дрейф, який виникає через інтеграцію шумових даних. Для виправлення цих помилок часто використовуються додаткові методи, наприклад, фільтр Калмана (13-15).

$$K_{k|k-1} = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1}, \quad (13)$$

$$x_k = x_{k|k-1} + K_{k|k-1} (z_k - h(x_{k|k-1})), \quad (14)$$

$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}, \quad (15)$$

де  $h$  – функція спостереження,  $H_k$  – якобіан функції  $h$  на момент часу  $k$ ,  $R_k$  – коваріаційна матриця шуму спостереження в момент часу  $k$ ,  $K_{k|k-1}$  матриця Калмана або коефіцієнт Калмана в час  $k-1$ .

Поєднання даних інерційної та візуальної одометрії дає нам інформацію про рух, яку можна використовувати далі [11,12]. Приблизний алгоритм візуально-інерційної одометрії зображено на рис. 3.

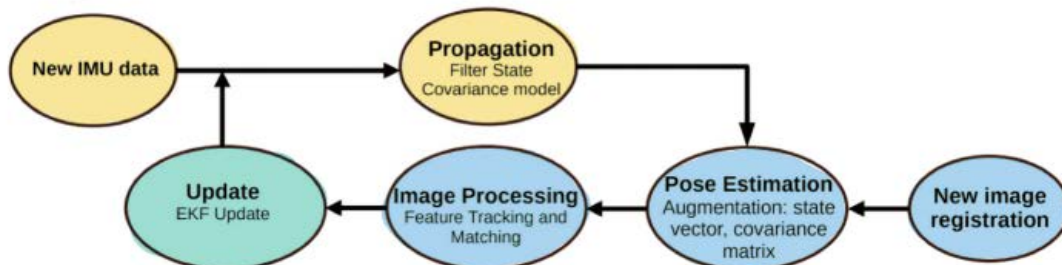


Рисунок 3 – Алгоритм візуально-інерційної одометрії

Ми обговорили фундаментальні принципи ARCore, розуміючи це як пропріетарну технологію з закритим повним алгоритмом. Тепер переходимо до аплікації.

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

### IV. РОЗРОБКА ДОДАТКУ

ARCore виконує багато обчислень «під капотом». Крім того, слід зазначити, що відповідно до специфікації отримане зображення глибини може не завжди відповідати розміру екрана та може бути обрізане. Фактичний розмір зображення глибини залежить від пристрою та співвідношення сторін його дисплея. Зазвичай розмір глибинного зображення становить приблизно 160x120 пікселів, хоча на деяких пристроях він може досягати 640x480 пікселів.

Щоб визначити відстань, ми використали модель, у якій ми маємо дві точки: позицію камери та позицію ключової точки, яка може бути в місці дотику, як показано на рис. 5. Якщо ключової точки немає розташування, замість нього використовується найближча точка. У таких випадках вимірювання відстані зводиться до обчислення евклідової відстані між двома точками[16,17,18].

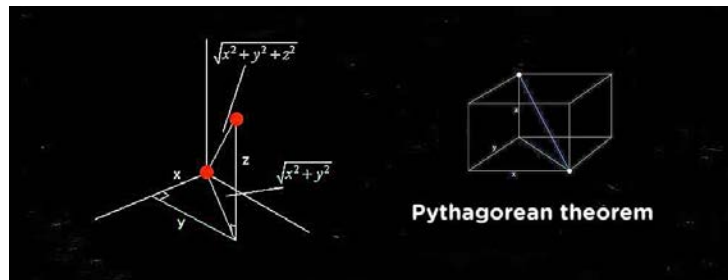


Рисунок 5 – Позиція камери та ключової точки

Основу для цього було взято з прикладу Google Codelab, до якого були додані необхідні функції [19].

### V. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ

Використовуючи розроблений додаток, ми провели ряд експериментів, щоб оцінити його точність. Методологія вимірювання передбачала визначення відстані до різних об'єктів у кадрі та перевірку вимірної відстані за допомогою рулетки. Приклад застосування показано на рис. 5.

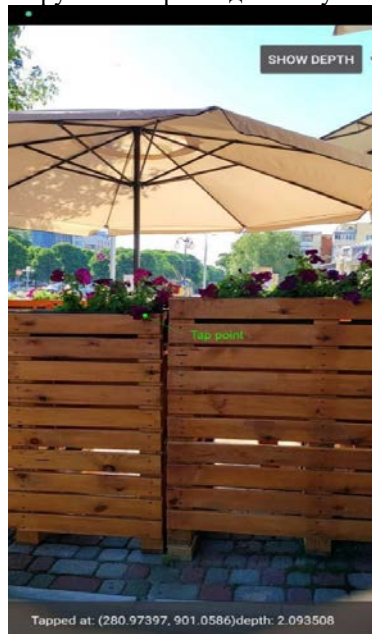


Рисунок 5 – Приклад роботи програми

Тестовий пристрій POCO X5 Pro. Розмір вибірки складався з приблизно 25 вимірювань на різних відстанях. У середньому ми спостерігали похибки вимірювань до 10% у найгіршому випадку із середнім рівнем похибок 7,5%.

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

### ВИСНОВКИ

Оцінюючи результати застосування, ми дійшли висновку про доцільність створення навігаційних систем на базі ARCore, адаптованих до умов повільного пересування, таких як засоби навігації для людей із вадами зору. Наше припущення полягає в тому, що передбачуваний користувач не буде рухатися швидше, ніж середній пішоход, що робить поточну точність вимірювання та похибку до 7,5% прийнятними для таких умов.

Навігаційна система, побудована на основі ARCore, може значно розширити можливості орієнтації в просторі для сліпих людей. Вона надасть точну інформацію в реальному часі про відстані до об'єктів і перешкод, тим самим підвищуючи безпеку та впевненість під час пересування. Крім того, інтеграція такої системи з аудіосигналами та тактильними сигналами може запропонувати комплексну підтримку, роблячи процес навігації інтуїтивно зрозумілим і зручним для користувачів. Це відкриває можливості для широкого спектру застосувань, від помічників орієнтування в приміщенні до навігаційних систем на вулиці, що дозволяє користувачам з вадами зору стати більш незалежними та мобільними[20,21].

Підсумовуючи, результати наших тестів показують, що ARCore має перспективу розробки навігаційних рішень, які можуть значно покращити якість життя людей із вадами зору. Виходячи з отриманих даних, подальші дослідження та розробки в цьому напрямку є вирішальними для створення доступної та ефективної навігаційної підтримки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sokolov A., Avrunin O. and Sokolov A., "Theoretical Foundations for Designing Portable Systems for Oriented Blind People," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 379-382, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238588.
2. Селиванова, К. Г., Maksym Tymkovych, & Maksym Tymkovych. (2021). Conception of a Mixed Reality Eyesight Training System Based on the Parallel Robot. <https://doi.org/10.1109/picst54195.2021.9772244>.
3. World Health Organization: WHO, "Blindness and vision impairment," Who.int, Oct. 11, 2018. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
4. Lupton T. and Sukkarieh S., "Visual-Inertial-Aided Navigation for High-Dynamic Motion in Built Environments Without Initial Conditions," IEEE Transactions on Robotics, vol. 28, no. 1, pp. 61-76, Feb. 2012, doi: 10.1109/TRO.2011.2163433.
5. Sokolov A, Shushliapina Nataliia, A. Sokolov, and K. Selivanova, "Overview Of Modern Augmented Reality Capabilities For Creating A Navigation Aid For The Blind," Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10311579>.
6. "Geospatial quickstart for Android | ARCore," Google for Developers. <https://developers.google.com/ar/develop/java/geospatial/quickstart> (accessed Jul. 05, 2024).
7. Семеренко Ю., Селіванова К. «Можливості використання сучасних графічних бібліотек у спеціалізованих онлайн віртуальних імітаційних тренажерах». Електронна, лазерна та біотехнічна інженерія, м. Харків, 7 квіт. 2024 р. – 9 квіт. 2020 р. 2020. С. 179–180.
8. "How Visual Inertial Odometry (VIO) Works," Welcome to The Library!, Apr. 03, 2024. <https://www.thinkautonomous.ai/blog/visual-inertial-odometry/> (accessed Jun. 22, 2024).
9. Sokolov A. A. and Avrunin O. H., "Можливості бібліотеки для доповненої реальності Arcore при розробці засобів навігації для незрячих," in Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Modern State and Prospects of Biomedical Engineering, dedicated to the 125th anniversary of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, Dec. 13-14, 2023, pp. 202.
10. Selivanova K. H. and Tymkovych M. Yu., "Проектування телемедичної системи об'єктивізованої оцінки тремору рук із зовнішнім кінестетичним впливом," in Medico-Psychological and Information Aspects of Human Rehabilitation and Habilitation: Collection of Scientific Papers, edited by O. A. Panchenko, Kyiv, Ukraine: KVITS, 2020, pp. 255-257.
11. Li M. and Mourikis A. I., "High-precision, consistent EKF-based visual-inertial odometry," International Journal of Robotics Research, vol. 32, no. 6, pp. 690-711, May 2013. doi: 10.1177/0278364913481251.
12. Соколов А. А. Особливості просторового сприйняття в тренінгових системах, Авіація, промисловість, суспільство : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Кременчук, 18 трав.

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

- 2023 р.) / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Кременчуц. льотний коледж., Наук.парк «Наука та безпека». – Харків : ХНУВС, 2023. – С. 358-361.
13. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O. (2019, October 1). Application of Modern Internet Technologies in Telemedicine Screening of Patient Conditions. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061252>.
  14. Аврунін, О., & Белянінова, Г. (2023). МІЩНЕ ЗДОРОВ'Я І БЛАГОПОЛУЧЧЯ – ПРИОРИТЕТ ХНУРЕ. *Grail of Science*, 28, 83–87. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.09.06.2023.11>.
  15. Avrunin O., Nosova T., and Semenets V.. "Experience of Developing a Laboratory Base for the Study of Modern Microprocessor Systems." *Proceedings of I International Scientific and Practical Conference "Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs" MC&FPGA-2019, Kharkiv, Ukraine, 2019*. pp. 6–8.
  16. Tymkovych Maksym, Avrunin Oleg, Selivanova K., A. Kolomiets, etc. "CORRESPONDENCE MATCHING IN 3D MODELS FOR 3D HAND FITTING," *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, vol. 14, no. 1, pp. 78–82, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.35784/iapgos.5498>.
  17. Tymkovych Maksym et al., "3D scanning technologies by optical RealSense cameras for SIREN-based 3D hand representation," Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1117/12.3022737>.
  18. Yusuke S., "Measuring distance with ARCore," *Medium*, Feb. 16, 2020. <https://shibuiyusuke.medium.com/measuring-distance-with-arcore-6eb15bf38a8f>.
  19. "Use the ARCore Depth API for immersive augmented reality experiences," *Google Codelabs*. <https://codelabs.developers.google.com/codelabs/arcore-depth/#0> (accessed Jun. 22, 2024).
  20. Місоченко С. Ю., Селіванова К. Г., і Аврунін О. Г., "Дослідження використання вірогіднісних методів у сфері обробки біомедичних зображень," в *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022, Харків, Україна, 19-21 жовтня 2022 р.*, с. 902.
  21. "Improving Monocular Visual Odometry Using Learned Depth," *ar5iv*. <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2204.01268> (accessed Jul. 05, 2024).

### REFERENCES

1. Sokolov A., Avrunin O. and Sokolov A., "Theoretical Foundations for Designing Portable Systems for Oriented Blind People," 2022 *IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 379-382, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238588.
2. Maksym Tymkovych, etc. (2021). Conception of a Mixed Reality Eyesight Training System Based on the Parallel Robot. <https://doi.org/10.1109/picst54195.2021.9772244>.
3. World Health Organization: WHO, "Blindness and vision impairment," *Who.int*, Oct. 11, 2018. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
4. Lupton T. and Sukkarieh S., "Visual-Inertial-Aided Navigation for High-Dynamic Motion in Built Environments Without Initial Conditions," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 28, no. 1, pp. 61-76, Feb. 2012, doi: 10.1109/TRO.2011.2163433.
5. Sokolov A, Shushliapina Nataliia, A. Sokolov, and K. Selivanova, "Overview Of Modern Augmented Reality Capabilities For Creating A Navigation Aid For The Blind," Oct. 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10311579>.
6. "Geospatial quickstart for Android | ARCore," *Google for Developers*. <https://developers.google.com/ar/develop/java/geospatial/quickstart> (accessed Jul. 05, 2024).
7. Semerenko Yu., Selivanova K. "Possibilities of using modern graphic libraries in specialized online virtual simulation simulators." *Electronic, laser and biotechnical engineering, Kharkiv, April 7. 2024 - April 9 2020*. P. 179–180.
8. "How Visual Inertial Odometry (VIO) Works," *Welcome to The Library!*, Apr. 03, 2024. <https://www.thinkautonomous.ai/blog/visual-inertial-odometry/> (accessed Jun. 22, 2024).
9. Sokolov A. A. and Avrunin O. H., "Можливості бібліотеки для доповненої реальності Arcore при розробці засобів навігації для незрячих," in *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on Modern State and Prospects of Biomedical Engineering, dedicated to the 125th anniversary of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*, Kyiv, Ukraine, Dec. 13-14, 2023, pp. 202.

---

---

## СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

---

---

10. Selivanova K. H. and Tymkovych M. Yu., "Проектування телемедичної системи об'єктивізованої оцінки тремору рук із зовнішнім кінестетичним впливом," in *Medico-Psychological and Information Aspects of Human Rehabilitation and Habilitation: Collection of Scientific Papers*, edited by O. A. Panchenko, Kyiv, Ukraine: KVITS, 2020, pp. 255-257.
11. Li M. and Mourikis A. I., "High-precision, consistent EKF-based visual-inertial odometry," *International Journal of Robotics Research*, vol. 32, no. 6, pp. 690-711, May 2013. doi: 10.1177/0278364913481251.
12. Sokolov A. A. Peculiarities of spatial perception in training systems, *Aviation, industry, society: materials IV International. science and practice conf. (Kremenchuk, May 18, 2023) / Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kharkiv. national University of Internal Affairs affairs, Kremenchuts. Flight College, Science Park "Science and Safety". - Kharkiv: KhNUVS, 2023. - P. 358-361.*
13. Kolisnyk, K., Deineko, D., Sokol, T., Kutsevlyak, S., & Avrunin, O. (2019, October 1). Application of Modern Internet Technologies in Telemedicine Screening of Patient Conditions. *IEEE Xplore*. <https://doi.org/10.1109/PICST47496.2019.9061252>.
14. Avrunin, O., & Bel'aninova, G. (2023). STRONG HEALTH and WELL-BEING are KHNURE'S PRIORITY. *Grail of Science*, 28, 83–87. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.06.09.2023.11>.
15. Avrunin O., Nosova T., and Semenets V.. "Experience of Developing a Laboratory Base for the Study of Modern Microprocessor Systems." *Proceedings of I International Scientific and Practical Conference "Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs" MC&FPGA-2019, Kharkiv, Ukraine, 2019. pp. 6–8.*
16. Tymkovych Maksym, Avrunin Oleg, Selivanova K., A. Kolomiets, etc. "CORRESPONDENCE MATCHING IN 3D MODELS FOR 3D HAND FITTING," *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, vol. 14, no. 1, pp. 78–82, Mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.35784/iapgos.5498>.
17. Tymkovych Maksym et al., "3D scanning technologies by optical RealSense cameras for SIREN-based 3D hand representation," Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1117/12.3022737>.
18. Yusuke S., "Measuring distance with ARCore," *Medium*, Feb. 16, 2020. <https://shibuiyusuke.medium.com/measuring-distance-with-arcore-6eb15bf38a8f>.
19. "Use the ARCore Depth API for immersive augmented reality experiences," *Google Codelabs*. <https://codelabs.developers.google.com/codelabs/arcore-depth/#0> (accessed Jun. 22, 2024).
20. Misochenko S. Yu., Selivanova K. G., and Avrunin O. G., "Research on the use of probabilistic methods in the field of biomedical image processing," in *Information technologies: science, technology, technology, education, health: theses of reports XX of the international scientific and practical conference MicroCAD-2022, Kharkiv, Ukraine, October 19-21, 2022, p. 902.*
21. "Improving Monocular Visual Odometry Using Learned Depth," *ar5iv*. <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2204.01268> (accessed Jul. 05, 2024).

*Надійшла до редакції 05.04.2024р.*

**СОКОЛОВ АНДРІЙ** – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: andrii.sokolov@nure.ua](mailto:andrii.sokolov@nure.ua),

**АВРУНІН ОЛЕГ** – д.т.н., професор, зав. кафедри біомедичної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, Kharkiv, 61166, Ukraine, [e-mail: oleh.avrunin@nure.ua](mailto:oleh.avrunin@nure.ua)

ANDRII SOKOLOV, OLEH AVRUNIN

**EVALUATION OF ARCORE LIBRARY CAPABILITIES FOR DETERMINING THE  
DISTANCE TO OBJECTS IN THE FRAME**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine