

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-10>

УДК 004.056:004.93

Медвінський Сергій Віталійович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-3017-7694>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

АВТОРИЗАЦІЯ КОРИСТУВАЧА У КОМП'ЮТЕРНІЙ СИСТЕМІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗЧИТУВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ КАПІЛЯРІВ СУДИННОЇ ОБОЛОНКИ ОКА

Медвінський С.В. Авторизація користувача у комп'ютерній системі за допомогою зчитування зображення капілярів судинної оболонки ока. У статті запропоновано метод авторизації користувача у комп'ютерній системі (КС) за допомогою відслідковування малюнку капілярів судинної оболонки ока, які знаходяться під датчиком у різні відрізки часу. Розроблено модуль сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока на основі 5-мегапіксельної камери з високою роздільною здатністю OmniVision OV5647 для одноплатного мінікомп'ютера Raspberry Pi, макролінзи та NIR-діода. Запропоновані метод та макет пристрою підвищують захист КС від несанкціонованого доступу або помилки з ідентифікацією клієнта КС у випадку використання спотворених статичних біометричних параметрів (виготовлених зліпку або макету з ключовими точками відбитку пальця, обличчя, райдужки тощо).

Ключові слова: комп'ютерна система, авторизація, біометричні показники, малюнок капілярів судинної оболонки ока, сканування, HQ-камера, одноплатний мінікомп'ютер

Medvynskiy S. The user authorization in computer system by tracking the image of choriocapillaris. The article proposes an algorithm for the user authorization in computer system by analyzing the pattern of choriocapillaris under the sensor at different time intervals. A module for scanning the choriocapillaris of the choroid was developed and based on a 5-megapixel OmniVision OV5647 high quality camera for a Raspberry Pi single-board minicomputer, a macro lens and an NIR diode. The proposed method and the device increase the computer system protection against unauthorized access or errors with the identification of the client in the case of using distorted static biometric parameters (made of a mold or a mockup with key points of a fingerprint, face, iris, etc.).

Keywords: computer system, authorization, biometrics, choriocapillaris image, scanning, HQ camera, single-board computer

Постановка наукової проблеми.

Розвиток технологій сприяв поширенню та популяризації використання біометричних показників у якості інструмента взаємодії з комп'ютерними системами (КС). Найчастіше біометричні показники (відбиток пальця, контур обличчя, райдужна оболонка ока тощо) використовуються для авторизації користувачів за допомогою сканерів, вбудованих або в телефон (першими з яких були Toshiba PORTEGE G500 та Motorola Atrix), або в технологічні системи для розблокування. На даний момент ці технології стали глибше інтегрованими в комп'ютерні операційні системи і використовуються у більшій кількості процесів, наприклад, для підтвердження банківських транзакцій або при оплаті торговельних операцій, отримання доступу до готельних послуг й т. і. [1; 2]. В такому разі біометричні показники використовуються як заміна або доповнення до методу авторизації за допомогою логіну та паролю. Такий біометричний показник, як відстеження руху очей все ширше використовується у медичних КС під час планування та виконання лікувальних процедур [3; 4]. Сканери очей (eyes scanner) та обличчя (face scanner) впроваджуються до інноваційних технологій, де скануючий апарат проводить всебічне зчитування важливих точок та у комбінації з планшетом дозволяє отриману інформацію обробляти і пересилати до спеціально розробленої бази даних CAD.

Але вищенаведені методи на жаль не виключають можливості несанкціонованого доступу до системи або помилки з ідентифікацією клієнта КС у випадку виготовлення зліпку або макету з ключовими точками, через те, що зазначені показники є статичними [5]. До того ж, в умовах загрози пандемій типу COVID'19 все більш актуальними стають безконтактні технології, які не потребують від пацієнта ні до чого торкатися і нічого не торкається до нього.

Технологія, що використовує авторизацію за допомогою очей працює тільки у випадку, якщо очі користувача відкриті, що сигналізує про те, що він притомний. Але зазначена технологія передбачає низку додаткових дій в процесі використання відповідного пристрою, що потребує певних досліджень. До того ж, потребують розроблення технологій, які можуть захоплювати зображення оболонок ока, що рухається, на відстані (до одного метра).

Аналіз досліджень.

На даний момент максимально поширеними методами відстеження позиції ока є:

- відстеження з прикріпленням до ока;
- оптичне відстеження;
- вимірювання електричного потенціалу.

Відстеження з прикріпленням до ока потребує використання спеціальних контактних лінз з вбудованих сенсором магнітного поля. Цей метод є найбільш точним в плані позиціонування і дозволяє отримувати дані щодо всіх можливих координат ока, але у деяких людей є протипоказання щодо використання контактних лінз, і цей метод є одним з найдорожчих у реалізації.

Вимірювання електричного потенціалу є доволі надійним методом, який також працює, коли очі закриті, але він не дає ніякої інформації щодо користувача і вимушує розташовувати сенсори безпосередньо на обличчі людини [6]. Це робить зазначений метод непридатним для авторизації та повсякденного використання.

Оптичне відстеження полягає у тому, що світло (зазвичай у інфрачервоному спектрі) відбивається від поверхні ока і повертається до сенсора [7]. Зазвичай для відстеження використовують перше зображення Пуркіньє, що являє собою відображення з зовнішньої частини рогівки. Цей метод відстеження є неінвазивним та дешевшим у реалізації, але й найменш точним. А також довгостроковий вплив інфрачервоного світла може призвести до погіршення зору. Тому цей метод, як найбільш зручний, потребує додаткового опрацювання.

При використанні малюнку капілярів судинної оболонки ока необхідно враховувати отримані результати вивчення динаміки судин ока, такі як спазм артеріол, розширення венул і закапілярних венул, утворення агрегатів з формених елементів крові, сповільнення кровоплину, збільшення проникності стінок мікросудин тощо, які можуть привести до суттєвої різниці між зразком зазначеного малюнка у базі даних КС та малюнком судин людини у реальному часі [8–10].

У 2009 році було вперше описано метод відстеження напрямку погляду в пристрої нічного бачення, що кріпиться на шоломі [11]. Для розробки компактної, легкої та надійної системи з покращеною якістю дисплею та точністю відслідковування напрямку погляду було запропоновано максимально зблизити оптичні маршрути дисплея та сенсора. Для підсвічування ока було використано декілька діодів, близьких до ближнього інфрачервоного спектру 780–3000 нм за стандартом ISO 20473 (англ. Near-Infrared Light-Emitting Diode, NIR LED), що були розташовані навколо оптики дисплея. В такому разі світло, що відбилось від ока, прямувало через оптику до гарячого дзеркала (англ. Hot Mirror), яким відбивалось на другорядну оптичну підсистему, що вела світло на фотоматрицю. Цей підхід дозволив одночасно зчитувати напрямок погляду і не перешкоджати спостереганню у процесі. Але зазначена технологія не дає достатньо точного зображення для подальшого використання у якості інструмента авторизації людини.

Виділення раніше невирішених питань.

Незважаючи на наявність великої кількості аналогічних розробок, все одно залишаються деякі невирішені проблеми, які не дають поєднати в одному пристрої зручність використання, доступність і надійний захист проти несанкціонованого доступу [12].

Підхід, запропонований нижче, відрізняється від описаних іншими дослідниками тим, що для відстеження позиції ока пропонує використовувати зображення капілярів замість зображень Пуркіньє [13]. У такому разі не буде блокуватися огляд під час використання і також з'явиться можливість для використання даного зображення у якості зразка для авторизації.

Формулювання мети і завдань дослідження.

Метою дослідження є висвітлення методів зчитування малюнку капілярів судинної оболонки ока з використанням різних типів датчиків та демонстрація того, що отримані з них дані можна використовувати для авторизації користувачів у комп'ютерних системах.

Методи.

Спочатку потрібно отримати зображення капілярної сітки з кутової частини ока користувача, так як вона є унікальною для кожної людини. Для порівняння отриманого зразку зі збереженим був розроблений алгоритм з використанням сіамської нейронної мережі та використанням методу контрастної втрати. Після чого для відстеження положення ока потрібно отримувати потік зображень і за допомогою субпіксельної крос-кореляції змінювати координати курсору або активної області.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Для того, щоб отримати зразок (зображення) малюнку капілярів з ока користувача, достатньо модуля 5-мегапіксельної камери OmniVision OV5647 для одноплатного мінікомп'ютера Raspberry Pi, макролінзи та NIR-діода (рис. 1). Після отримання зображення в обробнику буде створений новий запис.

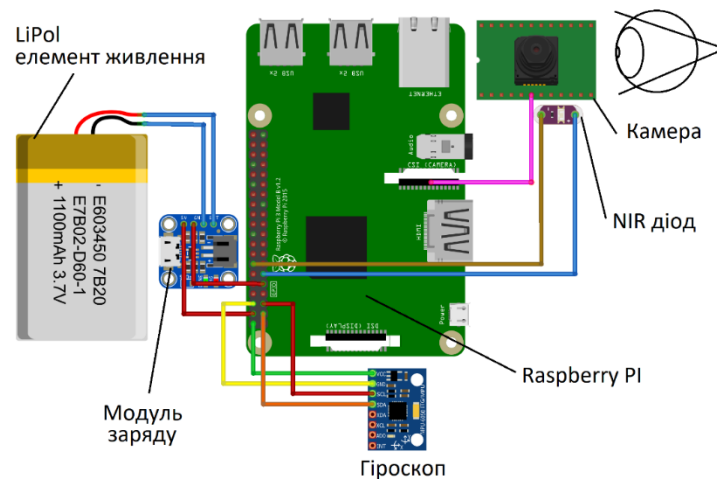


Рис. 1. Схема пристрою

На схемі зображені наступні модулі:

- плата мінікомп'ютера Raspberry Pi 3 (або аналог);
- Focusable NIR-діод 880 нм, 5 мВт, 3–5 В;
- камера високої роздільної здатності Raspberry Pi HQ Camera;
- гіроскоп-акселерометр GY-521 (MPU-6050);
- контролер заряду TP4056 (або аналог);
- літій-полімерний елемент живлення LiPo Battery.

NIR-діод призначений для підсвічування поверхні ока або безпосередньо, або при необхідності економії займаємого поля зору за допомогою системи дзеркал або світлопровідної трубки. Камера захоплює зображення підсвіченої ділянки ока і передає на обробник. У якості обробника на схемі рис. 1 виступає одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, на якому базується створений модуль сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока (Модуль CXCO). Обробник за допомогою модуля-гіроскопа буде коригувати координати і передавати їх за допомогою вбудованого у Raspberry Pi WiFi-модуля або на персональний комп'ютер, або у базу даних чи хмарне сховище для подальшого використання (рис. 2).

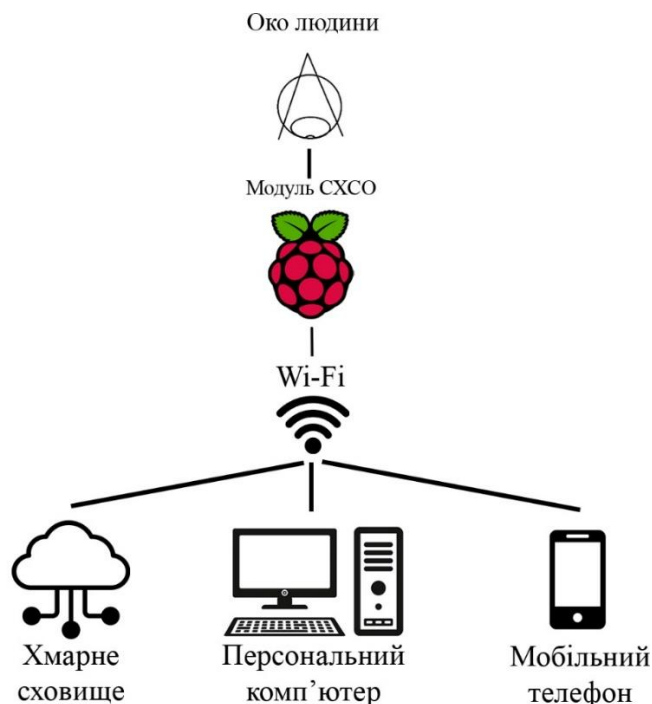


Рис. 2. Структурна схема КС з авторизацією за малюнком хоріокапілярів

За необхідності можна також у якості обробника використати персональний комп'ютер або інший смарт-пристрій (на кшталт телефону або смарт-годинника), під'єднаний за допомогою WiFi-мережі. Це надасть змогу ще більше зменшити вагу носимої частини модуля СХСО (рис. 2).

У якості системи керування базою даних (СКБД) для збереження результатів можна використати як реляційні СКБД (такі як MySQL, PostgreSQL або MariaDB), так і документоорієнтовані (як MongoDB).

У випадку використання Модуля СХСО у якості інструменту авторизації, перший запис під час кожного використання за допомогою сіамської мережі буде порівнюватись зі зразком з локальної бази даних і після порівняння надавати або забороняти доступ до персонального комп'ютеру (рис. 3).

Це штучна нейронна мережа, яка використовує однакову вагу при роботі з двома різними вхідними векторами для обчислення порівнянних вхідних векторів. Цей самий алгоритм використовується для порівняння відбитків пальців і може бути охарактеризований як функція розрахування відстані для хешування з урахуванням розташування. Для того, щоб виключити з масиву результатів дослідження помилкові виміри, був обраний метод контрастної втрати.

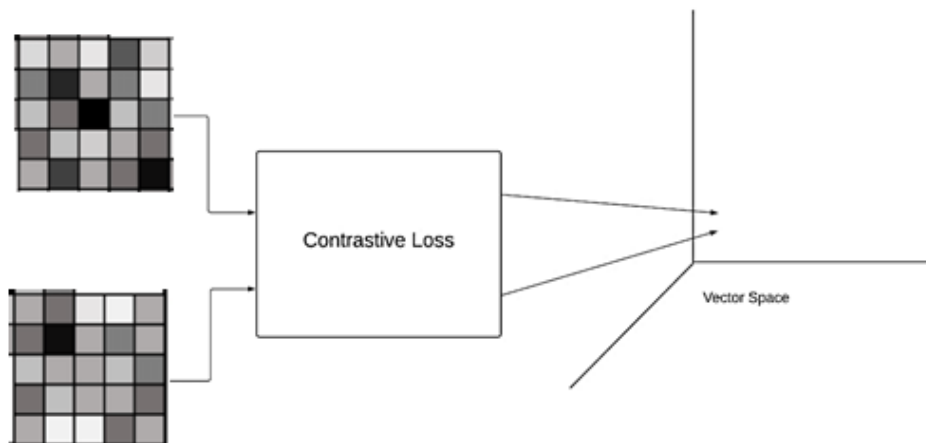


Рис. 3. Алгоритм сіамської нейронної мережі

Метод контрастної втрати, як і метод потрійної втрати, є функцією на основі дистанції, що зазвичай використовують для навчання векторних представлень і часто використовують у поєднанні з сіамськими нейронними мережами. Метод контрастної втрати можна описати виразом (1):

$$L = \frac{1}{2N} \sum_{n=1}^N yd^2 + (1 - y) \max(\text{margin} - d, 0)^2, \quad (1)$$

де d являє собою евклідову відстань між двома вибірками і дорівнює $|an - bn|^*$;

y відповідає за збігання, якщо $y = 0$ – це означає, що два зразки не відповідають один одному;

margin – встановлений поріг.

Функція втрат (1) була отримана з функції Яна ЛеКуна для зменшення розмірності шляхом дослідження інваріантного відображення [14].

При деякому часі використання отримані зображення буде можливо об'єднати в одне ціле за допомогою отриманих при крос-кореляції координат (рис. 4). Це можна розглядати як додатковий інструмент для відстеження і як допоміжний зразок при скануванні, котрий вилучає необхідність користувача дивитись в якусь конкретну точку під час сканування.

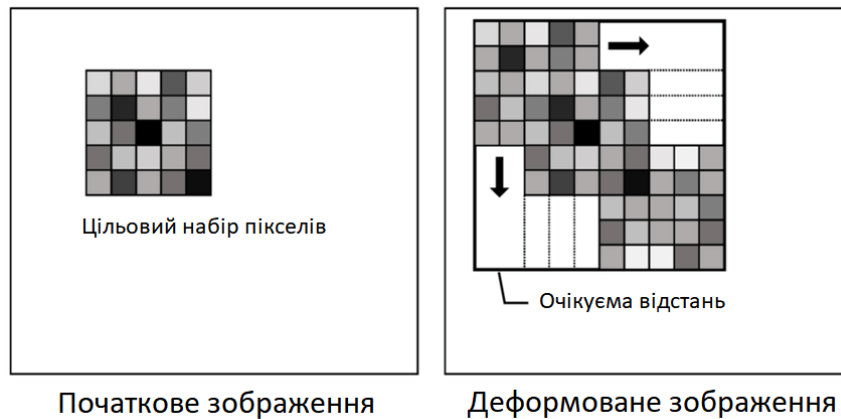


Рис. 4. Піксельна крос-кореляція поєднана з методом велосиметрії зображення

Для того, щоб провести крос-кореляцію двох зображень, потрібно виконати наступні кроки [15]:

- завантажити інформацію про пікселі до обробника;
- нормалізувати пікселі;
- виконати децимацію зображення.

Після отримання спрощеного набору пікселів після проведення децимації можна прорахувати крос-кореляцію. Для цього одновимірні масиви пікселів двох зображень необхідно перетворити на матриці за принципом колонок і рядків, які далі порівнюються за формулою (2):

$$\sum_n x[n+k] \cdot y^*[n], \quad (2)$$

де x – пікселі першого зображення;

y – пікселі зображення;

n – кількість пікселів у зображеннях;

y^* – спряжені числа y .

Даним способом можливо отримати графік кореляції двох зображень, за допомогою якого далі відстежити координати, на які дивиться користувач, і відповідно до яких рухати курсор по робочій області. Для прискорення роботи алгоритму є можливість підвищення ступеня децимації, оскільки в процесі роботи не потрібна така сама якість, як і при авторизації.

Таким чином, запропонований алгоритм може бути ефективно використаний для вирішення вищенаведених проблем.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Метод сканування капілярів судинної оболонки ока та відстеження погляду розширює можливості інтеракції з комп'ютерними системами для людей з обмеженими можливостями, у т. ч. з відсутністю рухів та обмеженнями мовлення. Такий біометричний показник як малюнок капілярів на судинній оболонці ока (хоріоїдеї) є унікальним та динамічним для кожної людини, що дає змогу використовувати цей метод для підвищення рівню захисту комп'ютерних систем від авторизації з використанням спотворених статичних біометричних даних (зліпків відбитків, фотографій обличчя, записів голосу й т. п.). Зазначений підхід має значний потенціал для поширення цифрової трансформації у будь-яких галузях, де використовуються персональні дані для авторизації в комп'ютерних системах. Розроблення бездротових модулів сканування хоріокапілярів судинної оболонки ока (СХСО) дозволяє виконувати авторизацію в КІС також осіб з обмеженими можливостями.

Список бібліографічного опису

1. Ключко А. М., Волченко Н. В. Біометричні технології для безпеки проведення банківських операцій в Україні та зарубіжних державах. *Часопис Київського університету права*. 2021. № 1. С. 299–304. DOI: 10.36695/2219-5521.1.2021.59.
2. Системи розпізнавання райдужної оболонки ока для контролю доступу. Опубл. 21.12.2013. *Worldvision: Інтернет-магазин систем безпеки*. URL: <https://worldvision.com.ua/articles/sistemi-raspoznvaniya-raduzhnoy-obolochki-glaza> (дата звернення: 28.12.2022).
3. Роботизована система Navilas® Laser System для лікування сітківки з функцією інтелектуального читування руху очей. *Новий зір*: вебсайт Всеукраїнської мережі офтальмологічних центрів. URL: https://www.zir.com.ua/uk/navilas_laser_system/ (дата звернення: 28.12.2022).
4. Face Scanner FREEDOM F – DOF. URL: <https://doflab.com/freedomf/> (Last accessed: 28.12.2022).

5. Mehrubeoglu M., Nguyen V. Real-time eye tracking for password authentication. 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Jan. 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICCE.2018.8326302.
6. Sims D. Biometric recognition: our hands, eyes, and faces give us away. *IEEE Computer Graphics and Applications*. Sept. 1994. Vol. 14, No. 5. P. 14–15. DOI: 10.1109/38.310718.
7. Plotkin A., Paperno E., Vasserman G., Segev R. Magnetic tracking of eye motion in small, fast-moving animals. *IEEE Transactions on Magnetics*. Nov. 2008. Vol. 44, No. 11. P. 4492–4495. DOI: 10.1109/TMAG.2008.2002187.
8. Чиж І. Г., Тимчик Г. С., Шиша Т. О., Афончина Н. Б. Аберометрія оптичної системи ока людини : моногр. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 292 с.
9. Герасимюк І. Є., Шкільнюк Н. М. Структурно-просторова перебудова артерій ока в динаміці підвищення внутрішньоочного тиску. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2010. Т. 9, № 4 (34). С. 45–49.
10. Степанов В. Г. Математическое моделирование ангиографических исследований структурно-функциональной организации кровеносных сосудов и кровоснабжения ими зон микроциркуляции. *Український морфологічний альманах*. 2004. Т. 2, № 1. С. 72–74.
11. Li X., Wee W. G. An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation. *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Nov. 2009. P. 2597–2600. DOI: 10.1109/ICIP.2009.5413997.
12. Griswold-Steiner I., Fyke Z., Ahmed M., Serwadda A. Morph-a-Dope: Using pupil manipulation to spoof eye movement biometrics. *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Nov. 2018. P. 543–552. DOI: 10.1109/UEMCON.2018.8796625.
13. Wang Y., Cai W., Gu T., Shao W. Your eyes reveal your secrets: An eye movement based password inference on smartphone. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Nov. 2020. Vol. 19, No. 11. P. 2714–2730. DOI: 10.1109/TMC.2019.2934690.
14. Zbontar J., Jing L., Misra I., LeCun Y., Deny S. Barlow twins: Self-supervised learning via redundancy reduction. *Proc. of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*, Jul. 2021. PMLR 139, P. 12310–12320.
15. Kwak T.-Yo., Park K.-H., Kim J., Chung C.-K., Baek S.-H. Shear band characterization of clayey soils with particle image velocimetry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 3. P. 1139. DOI: 10.3390/app10031139.

References

1. Klochko A. M., Volchenko N. V. Biometric technologies for the security of banking operations in Ukraine and foreign countries. *Journal of the Kyiv University of Law*. 2021. No. 1. P. 299–304. DOI: 10.36695/2219-5521.1.2021.59.
2. Iris recognition systems for access control. Publ. 21.12.2013. *Worldvision: Online store of security systems*. URL: <https://worldvision.com.ua/articles/sistemi-raspoznavaniya-raduzhnoy-obolochki-glaza> (Last accessed: 28.12.2022).
3. Navilas® Laser System robotic system for treating the retina with the function of intelligent reading of eye movements. *New sight* : web site of the All-Ukrainian network of ophthalmological centers. URL: https://www.zir.com.ua/uk/navilas_laser_system/ (Last accessed: 28.12.2022).
4. Face Scanner FREEDOM F – DOF. URL: <https://doflab.com/freedomf/> (Last accessed: 28.12.2022).
5. Mehrubeoglu M., Nguyen V. Real-time eye tracking for password authentication. *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, Jan. 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICCE.2018.8326302.
6. Sims D. Biometric recognition: our hands, eyes, and faces give us away. *IEEE Computer Graphics and Applications*. Sept. 1994. Vol. 14, No. 5. P. 14–15. DOI: 10.1109/38.310718.
7. Plotkin A., Paperno E., Vasserman G., Segev R. Magnetic tracking of eye motion in small, fast-moving animals. *IEEE Transactions on Magnetics*. Nov. 2008. Vol. 44, No. 11. P. 4492–4495. DOI: 10.1109/TMAG.2008.2002187.
8. Chizh I. H., Tymchuk H. S., Shysha T. O., Afonchyna N. B. Aberrometry of the optical system of the human eye : monogr. Kyiv : NTUU "KPI", 2013. 292 p.
9. Herasymuk I. E., Shkilniuk N. M. Structural and spatial rearrangement of the eye arteries in the dynamics of increased intraocular pressure. *Clinical anatomy and operative surgery*. 2010. Vol. 9, No. 4 (34). P. 45–49.
10. Stepanov V. H. Mathematical modeling of angiographic studies of the structural and functional organization of blood vessels and their blood supply to microcirculation zones. *Ukrainian morphological almanac*. 2004. Vol. 2, No. 1. P. 72–74.
11. Li X., Wee W. G. An efficient method for eye tracking and eye-gazed FOV estimation. *2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, Nov. 2009. P. 2597–2600. DOI: 10.1109/ICIP.2009.5413997.
12. Griswold-Steiner I., Fyke Z., Ahmed M., Serwadda A. Morph-a-Dope: Using pupil manipulation to spoof eye movement biometrics. *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Nov. 2018. P. 543–552. DOI: 10.1109/UEMCON.2018.8796625.
13. Wang Y., Cai W., Gu T., Shao W. Your eyes reveal your secrets: An eye movement based password inference on smartphone. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. Nov. 2020. Vol. 19, No. 11. P. 2714–2730. DOI: 10.1109/TMC.2019.2934690.
14. Zbontar J., Jing L., Misra I., LeCun Y., Deny S. Barlow twins: Self-supervised learning via redundancy reduction. *Proc. of the 38th International Conference on Machine Learning (ICML)*, Jul. 2021. PMLR 139, P. 12310–12320.
15. Kwak T.-Yo., Park K.-H., Kim J., Chung C.-K., Baek S.-H. Shear band characterization of clayey soils with particle image velocimetry. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 3. P. 1139. DOI: 10.3390/app10031139.