

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

Ольга ЧОЛИШКІНА

кандидат технічних наук, доцент, директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (greenhelga5@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0681-0413

Дарина ЯРЕМЕНКО

здобувач, провідний фахівець Центру дистанційного навчання, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6294-9698

Валентин ЛЮДВИЧЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 ([ljudo2@ukr.net](mailto:ljudvo2@ukr.net))

Лариса КОМАРОВА

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор, директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України, вулиця Михайла Максимовича, 22, Київ, Україна, індекс 03022 (komarova.it@journals.maup.kiev.ua)

ORCID: 0000-0002-9776-0879

Володимир БРОДКЕВИЧ

кандидат економічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-4282-8888

Olha CHOLYSHKINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of Institute of computer information technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (greenhelga5@gmail.com)

Daryna YAREMENKO

Education Applicant, Leading Specialist of the Center for Distance Learning, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

Valentin LJUDVICHENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Computer and Information Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 ([ljudo2@ukr.net](mailto:ljudvo2@ukr.net))

Larisa KOMAROVA

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine, Mykhailo Maksymovycha str., 22, Kyiv, Ukraine, postal code 03022 (komarova.it@journals.maup.kiev.ua)

Volodymyr BRODKEVYCH

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Computer and Information Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Чолишкіна, О., Яременко, Д., Людвиченко, В., Комарова, Л., Бродкевич, В. (2022). Розпізнавання облич на потоковому відеоряді за допомогою бібліотеки OpenCV. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), ?-?. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

Bibliographic description of the article: Cholyskhina, O., Yaremenko, D., Ljudvichenko, V., Komarova, L., Brodkevych, V. (2022). Rozpiznavannya oblych na potokovomu videoryadi za dopomogoyu biblioteki OpenCV [Face recognition on streaming video using the OpenCV library]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), ?-?. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ НА ПОТОКОВОМУ ВІДЕОРЯДІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІБЛІОТЕКИ OPENCV

Система розпізнавання облич – це технологія, здатна зіставляти людське обличчя з цифровим зображенням або відеокадром з базою даних осіб, зазвичай використовується для автентифікації користувачів за допомогою служб перевірки особистості, працює шляхом точного визначення і вимірювання рис обличчя по даному зображенню. Системи розпізнавання обличчя використовуються сьогодні в усьому світі урядами та приватними компаніями, їх ефективність різна, і деякі системи раніше були списані через їх неефективність. Отже, створення програми для розпізнавання людського обличчя є актуальною темою. Метою статті є дослідження теоретичних аспектів розробки системи розпізнавання людського обличчя та практична реалізація відповідного програмного комплексу.

Процедура розпізнавання обличчя просто вимагає, щоб будь-який пристрій, оснащений цифровою фотографічною технологією, генерував і отримував зображення та дані, необхідні для створення та запису біометричного малюнка обличчя людини, якого необхідно ідентифікувати.

Розглянуто основні методи розпізнавання обличчя: геометричні методи, метод головних компонент, метод гнучкого порівняння на графах, метод Віоли-Джонса, бінарні шаблони, нейронні мережі. Запропоновано реалізацію алгоритму роботи системи розпізнавання обличчя.

У даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання обличчя, зважені їх переваги та недоліки. Проаналізовано на практиці відсоток точності розпізнавання людського обличчя та продуктивність, враховуючи такі фактори як освітлення, якість зображення, кількість облич на зображенні, реалізовано розпізнавання облич людей з використанням локальних бінарних шаблонів (Local Binary Patterns – LBP) за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Ключові слова: потоковий відеоряд, бази даних, розпізнавання образів, класифікація, комп'ютерний зір, Python, OpenCV, LBP.

FACE RECOGNITION ON A STREAMING VIDEO SERIES USING THE OPENCV LIBRARY

Face Detection System is a technology that can match a human face to a digital image or video frame to a database of individuals, commonly used to authenticate users through identity verification services, and works by accurately identifying and measuring facial features in a given image. Face recognition systems are used today by governments and private companies around the world, their effectiveness varies, and some systems have previously been written off due to their inefficiency. Thus, the creation of a program for human face recognition is a topical issue. The aim of the article is to study the theoretical aspects of the development of the human face recognition system and the practical implementation of the relevant software package.

The face recognition procedure simply requires that any device equipped with digital photographic technology generate and receive the images and data necessary to create and record a biometric image of the person to be identified.

The main methods of face recognition are considered: geometric methods, principal components method, flexible comparison method on graphs, Viola-Jones method, binary templates, neural networks. The implementation of the algorithm of the face recognition system is proposed.

This paper analyzes the existing algorithms and systems for face detection and recognition, weighing their advantages and disadvantages. The percentage of human face recognition accuracy and performance were analyzed in practice, taking into account such factors as lighting, image quality, number of faces in the image, human face recognition using Local Binary Patterns (LBP) using the OpenCV computer vision library.

Key words: video streaming, databases, image recognition, classification, computer vision, Python, OpenCV, LBP.

Постановка проблеми. У сучасному світі трекінг об'єктів на відео є невід'ємною частиною більшості прикладних задач, серед них: побудова систем відеоспостереження, відстеження транспортного та людського трафіку, автоматичний контроль. Кожна з них має свою особливість, вимоги до надійності розпізнавання, масштаб дії і т. д. Навіть такий фактор, як бажання самого об'єкта (в даному випадку людини) бути розпізнаним – може значно вплинути на роботу того чи іншого алгоритму розпізнавання.

У зв'язку з цим сучасне життя збільшує вимоги для все новіших і досконалих методів локалізації та розпізнавання людей. Інтерес до них досить значний, оскільки вони мають широке практичне застосування. До даних областей можна віднести охоронні системи, системи забезпечення безпеки в місцях масового перебування людей.

Автоматичний підрахунок числа людей необхідний не тільки в цілях суспільної безпеки. Його можна використовувати для оцінки числа відвідувачів, регулювання кількості відкритих кас, планування місць встановлення рекламних носіїв, у сфері організації роздрібною торгівлі.

Для ідентифікації людини використовуються біометричні методи. У зв'язку з простотою розпізнавання особи і великою кількістю камер у всіх аспектах життя людини, все більш актуальним стають розробки в розпізнаванні осіб. У зв'язку з даною затребуваністю розробкою алгоритмів розпізнавання осіб працюють великі компанії, але серед продуктів з відкритим вихідним кодом можна виділити OpenCV. Це бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення

Розпізнавання обличчя можна розбити на три пункти:

- 1) визначити особи в режимі реального часу;
- 2) порівняти знайдену особу з особами, що зберігаються в базі даних;
- 3) порівняти знайдену особу з еталонним в базі даних.

Але якщо людина може визначити і порівняти особу з особами, що зберігаються в пам'яті, за частки секунди, то без належної технології розпізнавання машина не зможе відрізнити людину від стовпа. Людина впізнає знайоме обличчя, орієнтуючись на індивідуальні риси, а саме відстань між очима, їх колір, висота губ, їх ширина. Для початку комп'ютер повинен не просто розпізнати людину, але і зрозуміти, що знаходиться перед ним, особа чи звичайний об'єкт. При тому ракурсі, з якого камера приймає обличчя людини, гра світла або ж зайві предмети на обличчі людини відіграють величезну роль.

У даній роботі розглядається розпізнавання обличчя людей з використанням локальних бінарних шаблонів (Local Binary Patterns – LBP). Оператор LBP може бути використаний для пошуку об'єкта на зображенні (наприклад особи), а також перевірки цього об'єкта на приналежність певного класу (верифікація, розпізнавання емоцій, статі по обличчю).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз відома велика кількість уже реалізованих методів для роботи систем розпізнавання за зображенням обличчя людини, звичайно в кожного є свої недоліки та переваги, які проявляються при певних факторах і немає одного найкращого. На даному етапі більшість систем розпізнавання обличчя застосовують при роботі все ті ж методи для обробки даних.

Технології розпізнавання осіб дозволяють виробляти автоматичний пошук і розпізнавання осіб в графічних файлах і відеопотоці. Як зазначено у статті [2], усі системи складаються з трьох програм: основне розпізнавання обличчя; faceId – збереження даних лиця; визначення – порівняння лиця з базою даних. У роботі [3] представлено підхід до розпізнавання обличчя на основі комбінованого каскаду нейромережних класифікаторів, методу головних компонент та згорткової нейронної мережі. Наведено результати експериментальних досліджень етапів виявлення, визначення ракурсу та розпізнавання обличчя. В роботі [4] розглянуто використання штучного інтелекту для розпізнавання обличчя у рамках роботи органів правопорядку; вони добиваються високої точності розпізнавання за допомогою використання дерев, які зберігають у собі перелік спеціальних ознак обличчя, потрібних для підвищення точності розпізнавання. Також, подано методи позбавлення зображення від шумів, тому що вони заважають у певній мірі досягати точності. У статті [5] представлений метод розпізнавання осіб з низькою роздільною здатністю, заснований на дискримінантному кореляційному аналізі (DCA). Пропонований метод обчислювально ефективний і може застосовуватися для складних додатків реального часу, таких як розпізнавання декількох осіб, що з'являються в перевантаженому кадрі відеоспостереження.

Аналізуючи існуючі методи, можна визначити загальний підхід для роботи при розпізнаванні, який складається з наступних етапів: створення бази даних осіб; подача на вході максимально якісного зображення/відеопотоку з обличчями; порівняння обличчя з наявними; ідентифікація обличчя.

Мета статті – опис розробленої системи розпізнавання обличчя в реальному часі за використанням бібліотеки OpenCV.

Виклад основного матеріалу. Розпізнавання обличчя є актуальним та використовується в багатьох сферах життя. Системи розпізнавання не потребують дороговартісного обладнання. Для прикладу розглянемо систему-контролера, що дозволяє або забороняє доступ особі до секретного об'єкту чи офісу. Необхідною умовою отримання зображення є наявність веб камери та реалізація завантаження зображення до спеціального програмного забезпечення. Програмне забезпечення оброблятиме отримані зображення та «вирішуватиме» згідно заданого методу та алгоритму роботи чи потрібно надати доступ певній особі. Алгоритм роботи таких систем часто повторюються, а от методи зазвичай суттєво відрізняються [5]. На даний час відомо та використовується велика кількість методів розпізнавання та їх модифікацій.

До основних методів розпізнавання обличчя належать: геометричні методи, метод головних компонент, метод гнучкого порівняння на графах, метод Віоли-Джонса, бінарні шаблони, нейронні мережі.

Геометричні методи. Геометричні методи були одними із перших методів розпізнавання обличчя, що полягають у виборі ключових точок на обличчі особи й формуванні набору ознак [7]. Дані точки

являються собою губи, ніс, кутики очей, центр ока тощо. Геометричні методи забезпечують низьку достовірність, але для їх використання не потрібно дорого обладнання.

Метод головних компонент (МГК). Метод зменшення розмірності даних при втраті найменшої кількості інформації. Широко застосовується в таких областях, як розпізнавання образів, комп'ютерний зір, стиснення даних тощо. Процес обчислення основних компонентів зводиться до обчислення власних векторів та власних значень підступної матриці вихідних даних або до сингулярного розкладання матриці даних [9]. МГК є статистичним і оперує не зображеннями, а векторами у лінійному просторі.

Метод гнучкого порівняння на графах. Метод гнучкого порівняння на графах полягає у еластичному зіставленні графів, що описують зображення облич. Особи представлені у вигляді графів зі зв'язаними вершинами та ребрами. Під час розпізнавання один з графів – еталонний – залишається незмінним, тоді як інший змінюється з метою найкращого припасування до першого. Деформація графа відбувається шляхом почергового зміщення кожної з його вершин на деяке відстань у певних напрямках щодо її вихідного розташування та вибору такої її позиції, при якій різниця між значеннями ознак у вершині деформованого графа та відповідної їй вершині еталонного графа буде мінімальною [12]. Ця операція виконується до того часу, доки знайдено мінімальну різницю між ознаками деформуючого і еталонного графів. Процедура виконується з усіма особами, які закладені в базу даних системи, внаслідок чого швидкість роботи алгоритму зростає пропорційно до розміру бази даних з особами.

Метод локальних бінарних шаблонів. Метод, що описує межі приймаючи значення інтенсивності центрального пікселя в якості порогу. Пікселі зі значенням інтенсивності більшими або рівними значенню інтенсивності центрального пікселя приймають значення «1» інші значення «0». В результаті використання методу локальних бінарних шаблонів значенням пікселя є восьмирозрядний бінарний код, який описує область навколо пікселя [8]. Перевагою даного методу є можливість роботи із обличчями з різною мімікою, освітленням, поворотами голови, масштабністю. Серед недоліків є необхідність високоякісної попередньої обробки зображень.

Метод Віоли – Джонса. В основу методу Віоли – Джонса покладено: інтегральне подання зображення за ознаками Хаара, побудова класифікатора на основі алгоритму адаптивного бустингу та спосіб комбінування класифікаторів у каскадну структуру. Даний метод демонструє високу ефективність при вирішенні задачі пошуку об'єктів на зображеннях та відеоряді в режимі реального часу. Алгоритм Віоли – Джонса має низьку ймовірність помилкового виявлення обличчя. Метод дозволяє виявляти обличчя, що зафіксовані під кутом до 30°. Точність ідентифікації може досягати значень понад 90 %. Метод був розроблений у 2001 році, має велику кількість реалізацій і широко застосовується на практиці, як простий та ефективний [6]. Алгоритм Віоли-Джонса має реалізацію у вільно розповсюдженій бібліотеці OpenCV, що дозволяє використовувати цей алгоритм у системі відеоспостереження, що розробляється.

Нейронні мережі. Методи основані на використанні нейронних мереж дають одні з найкращих результатів розпізнавання образів. Така успішність досягається за допомогою використання згорткових нейронних мереж, що базуються на архітектурних рішеннях когнітрон та неокгнітрон. Даний метод характеризується стійкістю до змін масштабу, зсувів, поворотам, переміні ракурсу тощо. Результати тестувань показують рівень успішного розпізнавання та правильності рішення на рівні 96 % при дії спотворюючих факторів [11]. Основними недоліками даного методу є необхідність тренування нейронної мережі кожен раз коли необхідно додати нову особу для розпізнавання. Час тренування збільшується пропорційно кількості осіб в базі облич. Хоча недолік необхідності тренування мережі іноді є значущим, попри це даний метод являється одним з найефективніших на даний час.

Основні проблеми, пов'язані з розробкою систем розпізнавання осіб.

Кожне відображення будь-якого об'єкта на відеокамери, незалежно від його положення, прийнято називати зображенням об'єкта, а безлічі таких зображень, об'єднані певними загальними властивостями, являють собою образи. При вирішенні проблем, пов'язаних з розпізнаванням і ідентифікацією осіб по відеофіксації, в режимі реального часу, методами розпізнавання образів замість терміну «зображення» застосовують термін «стан». Стан можна визначити, як відображення вимірюваних поточних (або миттєвих) характеристик особи. Сукупність станів визначає ситуацію. Поняття «ситуація» є аналогом поняття «образ». Ситуацією прийнято називати деяку сукупність станів складного об'єкта, кожна з яких характеризується одними і тими ж або схожими характеристиками об'єкта [14]. Для того, щоб система ефективно розпізнавала і ідентифікувала особи по відео-фіксації в режимі реального часу необхідно враховувати різні фактори, які впливають на якість. Наведемо головні з них:

1. *Освітлення.* Особа має правильно розпізнаватися незалежно від місця розташування, кількості і інтенсивності джерел світла.

2. *Положення голови у просторі.* Залежно від майбутньої завдання розпізнавання, потрібна інваріантність до різних кутів повороту голови вправо-вліво або вгору-вниз. так, наприклад, в ідеальних умовах при пошуку людини в натовпі потрібна інваріантність до повороту голови до кута $\pm 90^\circ$.

3. *Фон.* Особа має розпізнаватися незалежно від заднього фону, він може бути як однорідним, так і довільним.

4. *Міміка особи.* Система повинна розпізнавати людину як у нейтральному стані так і з мікровиразами обличчя.

5. *Масштаб зображення особи.*

6. *Часткове заслонення* (окуляри, волосся, вуса, борода і т. д.).

Загальний опис реалізації програмного забезпечення. Розробка програмного забезпечення велась на інтерпретованій мові програмування Python з використанням бібліотеки OpenCV. Задача розпізнавання облич зіставила ряд завдань: створення бази осіб, проведення навчання класифікатору, вивід ідентифікації з точністю.

Оскільки в алгоритмі відбувається навчання класифікаторів, то потрібна підготовлена вибірка з позитивних та негативних зображень. Потрібно зауважити, що OpenCV постачається разом із тренажером, а також детектором. Дана бібліотека дозволяє створити власний класифікатор для навчання будь-яких об'єктів, наприклад автомобіль чи літак. Також OpenCV вже містить багато попередньо навчених класифікаторів для обличчя, очей, посмішки тощо.

OpenCV був розроблений для обчислювальної ефективності та з сильним акцентом на додатки реального часу. Отже, він ідеально підходить для розпізнавання обличчя в режимі реального часу за допомогою камери.

Створення бази даних осіб. Модуль програми face_taker.py містить алгоритм створення бази осіб. Користувач повинен ввести ідентифікатор, під номером якого буде збережено 30 фотографій. Саме завдяки їм в подальшому програма зможе розпізнавати конкретну людину.

Кожен раз, визначивши особу, алгоритм збереже зображення як Users.id.count.jpg, де id користувач вводить самостійно, а count – номер зображення. Як тільки алгоритм обробить 30 зображень, він завершить роботу.

Після завершення роботи буде створена база зображень, зображена на рисунку 1.

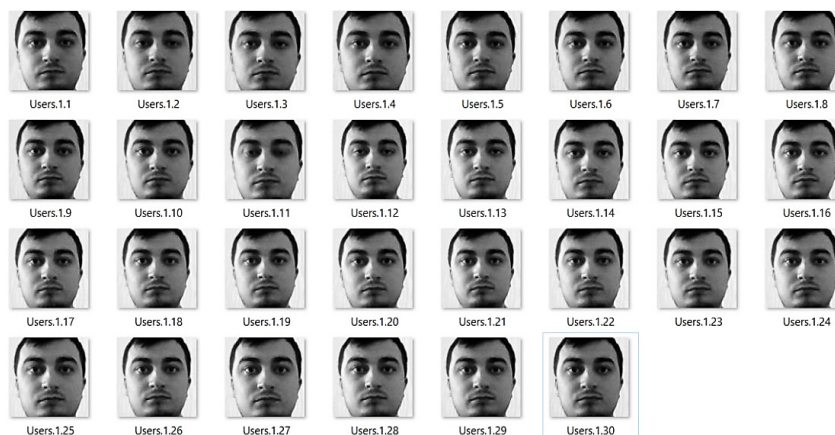


Рис. 1. Приклад бази зображень користувача

Варто зазначити, що алгоритм не ставить обмеження по кількості осіб наповнення бази даних.

Навчання класифікатору. В OpenCV використовуються три алгоритми розпізнавання облич: Eigenfaces, Fisherfaces, LBPН.

Кожен з цих алгоритмів підтримує навчання на основі заданого масиву зображень, передбачення знайденої особи, а також завантаження та збереження стану моделі у форматі XML або YAML. Алгоритм LBPН, який було обрано у даній роботі підтримує оновлення моделі, інакше кажучи, дозволяє оновлювати існуючу модель новими зображеннями. А це в свою чергу впливає на якість розпізнавання.

Ідентифікація особи. Тестування. Для ідентифікації облич осіб в реальному часу необхідно реалізувати доступ до веб-камери/відеопотоку. Доцільно використовувати функцію VideoCapture() простою OpenCV, яка обробляє читання відео. Класифікатор приймає в якості параметра захоплену частину обличчя і повертає ідентифікатор розпізнаної особи і ступінь точності розпізнавання в зв'язку з цим збігом (рис. 2).

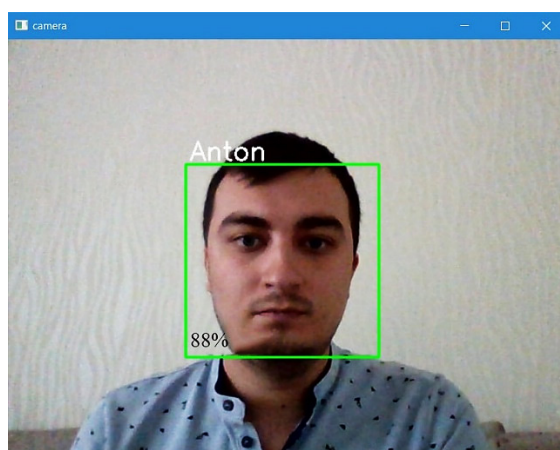


Рис. 2. Приклад виявлення особи

Згідно проведеного тестування, у середньому точність ідентифікації особи відповідає 89 %. Тестування проводилось на вибірці обсягом 400 зображень, зафіксованих з веб камери комп'ютера.

Висновки. В даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання облич, наведено основні положення реалізації програмного забезпечення, проведено тестування на реальних даних з інформуванням точності розпізнавання. Розроблена система може бути використана при вирішенні різних задач відео-аналітики, зокрема в системах контролю та ідентифікації особистості при включенні робочого комп'ютера, або надання доступу до онлайн конференції засідання ради директорів тощо. Досліджувана система має перспективи для подальшого розвитку, які передбачають реалізації більш ширшого списку алгоритмів.

Список використаних джерел:

1. Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M. Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2006. Vol. 28. Issue 12. P. 2037–2041.
2. Andrew Heinzman. How Does Facial Recognition Work? URL: <https://www.howtogeek.com/427897/how-does-facial-recognition-work/>
3. Нейромережний підхід до комп'ютерного розпізнавання облич / І. О. Палій, А. О. Саченко, С. Г. Антощук, Т. О. Бурак. *Штучний інтелект*. 2010. No. 3. С. 378–387.
4. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0139827
5. Haghghat M., Abdel-Mottaleb M. Low Resolution Face Recognition in Surveillance Systems Using Discriminant Correlation Analysis. 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017). 2017. Pp. 912–917. DOI: 10.1109/FG.2017.130
6. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. Mode of access: DOI: 10.1371/journal.pone.0139827
7. About OpenCV. URL: <http://opencv.org/about.html>
8. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching Laurenz Wiskott, Jean-Marc Fellous, Norbert Kruger and Christoph von der Malsburg. Computer Society Washington. DC, 1997. 23 p.
9. Fischer A., Bunke H. Character prototype selection for handwriting recognition in historical documents with graph similarity features : proc. 19th European Signal Processing Conference. 2011. Pp. 1435–1439.
10. Hiromichi Fujisawa, Yasuaki Nakano и Kiyomichi Kurino. «Segmentation methods for character recognition: from segmentation to document structure analysis». В: Proceedings of the IEEE 80.7 (1992), p. 1079–1092.
11. Gary Bradsky and Adrian Kaler. Learning OpenCV.
12. Maad M. M. Handwriting Recognition Methods. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2005. Pp. 1–3.
13. Брилюк Д. В., Старовойтов В. В. Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами. Минск, 2002. 54 с.
14. Броневиц А. Н. Лекции по методам машинного обучения. URL: http://window.edu.ru/resource/800/73800/files/lect_Lepskiy_Bronevich_pass.pdf
15. Вежневцев В., Дегтярева А. Обнаружение и локализация лица на изображении. *Компьютерная графика и мультимедиа*. 2003. № 1 (3).
16. Герасимов Б. М., Тарасов В. А., Токарев И. Б. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. Київ : Наукова Думка, 1993. 184 с.
17. Згорткові нейронні мережі. 2017. URL: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/>

References:

1. Ahonen, T., Hadid, A., Pietikainen, M. (2006). Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 28. Issue 12. P. 2037–2041. [in English]
2. Andrew Heinzman. How Does Facial Recognition Work? Retrieved from: <https://www.howtogeek.com/427897/how-does-facial-recognition-work/> [in English]
3. Pali, I. O., Sachenko, A. O., Antoshchuk, S. H., Burak, T. O. (2010). Neiromerznyi pidkhd do komp'iuternoho rozpiznavannia oblych [Neural network approach to computer face recognition]. *Shtuchnyi intelekt – Artificial Intelligence*, 3, 378–387. [in Ukrainian]
4. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. (2015). Vol. 10 (10). Pp. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0139827 [in English]
5. Haghghat, M., Abdel-Mottaleb, M. (2017). Low Resolution Face Recognition in Surveillance Systems Using Discriminant Correlation Analysis. 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017), 912–917. DOI: 10.1109/FG.2017.130 [in English]
6. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. Mode of access: DOI: 10.1371/journal.pone.0139827 [in English]
7. About OpenCV. Retrieved from: <http://opencv.org/about.html> [in English]
8. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching Laurenz Wiskott, Jean-Marc Fellous, Norbert Kruger and Christoph von der Malsburg. Computer Society Washington. DC, (1997). 23 p. [in English]
9. Fischer, A., Bunke, H. (2011). Character prototype selection for handwriting recognition in historical documents with graph similarity features : proc. 19th European Signal Processing Conference, 1435–1439. [in English]
10. Hiromichi, Fujisawa, Yasuaki, Nakano, Kiyomichi, Kurino (1992). «Segmentation methods for character recognition: from segmentation to document structure analysis». B: Proceedings of the IEEE 80.7, p. 1079–1092. [in English]
11. Gary, Bradsky and Adrian, Kaler. Learning OpenCV. [in English]
12. Maad, M. M. (2005). Handwriting Recognition Methods. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1–3. [in English]
13. Bryliuk, D. V., Starovoitov, V. V. (2002). Raspoznavanye cheloveka po yzobrazheniyu lytsa neirosetevymy metodamy [Recognition of a person from a facial image using neural network methods]. Mynsk. [in Russian]
14. Bronevych, A. N. Lektsyy po metodam mashynnoho obuchenyia [Lectures on machine learning methods]. Retrieved from: http://window.edu.ru/resource/800/73800/files/lect_Lepskiy_Bronevich_pass.pdf [in Russian]
15. Vezhnevets, V., Dehtiareva, A. (2003). Obnaruzhenye y lokalyzatsiya lytsa na yzobrazhenyy [Face detection and localization in an image]. *Kompiuternaia hrafyka y multymedya – Computer graphics and multimedia*, № 1 (3). [in Ukrainian]
16. Herasymov, B. M., Tarasov, V. A., Tokarev, Y. B. (1993). Cheloveko-mashynnye systemy pryniatyia reshenyi s elementamy yskusstvennoho yntellekta [Human-machine decision-making systems with elements of artificial intelligence]. Kyiv : Naukova Dumka. [in Russian]
17. Zghortkovi neironni merzhi [Convolutional neural crests]. (2017). Retrieved from: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/> [in Ukrainian]