

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.1>

**Тетяна ВАКАЛЮК**

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, Україна, індекс 10005 (tetianavakaliuk@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-6825-4697

**Сергій ІЛЮЩЕНКО**

здобувач, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, Україна, індекс 10005 (silliuschenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-1326-7711

**Юрій ЄФРЕМОВ**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, Україна, індекс 10005

ORCID: 0000-0002-1249-5560

**Олег ВЛАСЕНКО**

старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, Україна, індекс 10005 (oleg@ztu.edu.ua)

ORCID: 0000-0001-6697-2150

**Дмитро ЛИСОГОР**

аспірант, старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, Україна, індекс 10005 (lysogor@ukr.net)

ORCID: 0000-0001-5980-1708

**Tetiana VAKALIUK**

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, postal code 10005 (tetianavakaliuk@gmail.com)

**Serhiy ILIUSHCHENKO**

Applicant, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, postal code 10005 (silliuschenko@gmail.com)

**Iurii IEFREMOV**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Software Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, postal code 10005

**Oleh VLASENKO**

Senior Lecturer at the Department of Software Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, postal code 10005 (oleg@ztu.edu.ua)

**Dmytro LYSOGOR**

Postgraduate Student, Senior Lecturer at the Department of Software Engineering, Zhytomyr Polytechnic State University, 103 Chudnivska str., Zhytomyr, Ukraine, postal code 10005 (lysogor@ukr.net)

**Бібліографічний опис статті:** Вакалюк Т., Ілющенко С., Єфремов Ю., Власенко О., Лисогор Д. Теоретичні аспекти розробки системи розпізнавання людського обличчя. *Інформаційні технології та суспільство*. 2020. Вип. 1 (3). С. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.1>

**Bibliographic description of the article:** Vakaliuk, T., Iliushchenko, S., Iefremov, Yu., Vlasenko, O., Lysogor, D. (2022). Teoretychni aspekty rozrobky systemy rozpoznannia liudskoho oblychchia [Theoretical aspects of the development of the human face recognition system]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 1 (3), 6–15. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.1.1>

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ЛЮДСЬКОГО ОБЛИЧЧЯ

**Анотація.** Система розпізнавання обличчя – 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.

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 алгоритми розпізнавання людського обличчя: розпізнавання обличчя з використанням різних поверхонь обличчя, метод обличчя Фішера, метод аналізу головних компонентів та машина опорних векторів, метод каскадів Хаара. Наведено їх переваги та недоліки. Наведено застосування згорткової нейронної мережі до розпізнавання обличчя. Запропоновано реалізацію алгоритму роботи системи розпізнавання обличчя.

В даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання обличчя, зважені їх переваги та недоліки. Розглянуто використання згорткової нейронної системи з метою розпізнавання обличчя. Проаналізовано на практиці відсоток точності розпізнавання людського обличчя та продуктивність, враховуючи такі фактори як освітлення, якість зображення, кількість обличчя на зображенні використовуючи бібліотеку з відкритим вихідним кодом Face recognition із сімейства бібліотек DLib в основі якої лежить згорткова нейронна мережа.

**Ключові слова:** розпізнавання, нейронні мережі, методи розпізнавання.

## THEORETICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE HUMAN FACE RECOGNITION SYSTEM

**Abstract.** Face Detection System is a technology that compares a human face with 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. Facial recognition systems are used today by governments and private companies around the world, their effectiveness varies, and some systems have previously been written off because of their ineffectiveness. 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 developing a human face recognition system.

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

The main algorithms of human face recognition are considered: face recognition using different face surfaces, Fisher's face method, principal components analysis method and machine of reference vectors, Haar cascade method. Their advantages and disadvantages are given. The application of convolutional neural network to face recognition is presented. 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 use of convolutional neural system for facial recognition is considered. The percentage of human face recognition accuracy and performance were analyzed in practice, taking into account factors such as lighting, image quality, number of faces in the image using the face recognition library Face recognition from the DLib family of libraries based on convolutional neural network.

**Key words:** recognition, neural networks, recognition methods.

**Постановка проблеми.** Система розпізнавання обличчя – 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.

Розробка подібних систем почалася в 1960-х роках, почавшись як форма комп'ютерного додатка. З моменту свого створення системи розпізнавання осіб останнім часом стали ширше використовуватися на смартфонах і в інших технологіях, таких як Робототехніка. Оскільки комп'ютеризоване розпізнавання обличчя включає в себе вимірювання фізіологічних характеристик людини, системи розпізнавання обличчя класифікуються як біометричні. Хоча точність систем розпізнавання осіб як біометричної технології нижче, ніж розпізнавання райдужної оболонки ока і відбитків пальців, вона широко застосовується завдяки безконтактному процесу. 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.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи розпізнавання людського обличчя розглядали багато учених, зокрема вітчизняних: Антошук С.Г., Бурак Т.О., Даниленко О.І., Ділай В.І., Загородня Д.І., Крилов В.М., Ляшенко Г.Є., Орленко С.П., Палій І.О., Саченко А.О., Тимошин Ю.А., та зарубіжних: M.Ş. Bayhan, W.C. Cheng, G. Geng, M. Gökmen, A. Houacine, A.K. Jain, S. Kherchaoui, J. Kovac, C. Lin, X. Liu, P. Peer, F. Solina, C.C. Tsai, J.S. Taur, C.W. Tao, M. Taayab, X. Wang, W. Yun-qiong, M.F. Zafar, L. Zhi-fang, Y. Zhi-sheng, та ін.

Зокрема, група авторів (Палій І.О., Саченко А.О., Антошук С.Г., Бурак Т.О.) розглядали нейромережний підхід до комп'ютерного розпізнавання обличч [9]. Автори здійснили представлення підходу до розпізнавання обличч на основі комбінованого каскаду нейромережних класифікаторів, а також методу головних компонент і згорткової нейронної мережі [9]. Тимошин Ю.А. та Орленко С.П. запропонували алгоритм розпізнавання обличчя людей на базі згорткової нейронної мережі [10]. Окрім того, автори ще й розглянули інші методи детектування і розпізнавання обличч, а також проаналізовано можливість їх комбінацій [10]. Ляшенко Г.Є. та Даниленко О.І. досліджували різні методи розпізнавання обличч [11], аналізували методи біометричної автентифікації [11]. Загородня Д.І., Палій І.О. та Крилов В.М. запропонували метод розпізнавання обличч за характерними точками контуру [12]. Ділай В.І. провів огляд наявних методів розпізнавання обличч для конкретної області – для використання в системах контролю і управління доступом [13].

**Мета статті** – дослідження теоретичних аспектів розробки системи розпізнавання людського обличчя.

**Виклад основного матеріалу.** 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.

На відміну від інших рішень для ідентифікації, таких як паролі, перевірка по електронній пошті, Селфі або зображення або ідентифікація відбитків пальців, біометричне розпізнавання осіб використовує унікальні математичні і динамічні шаблони, які роблять цю систему однією з найбезпечніших і ефективних. Мета розпізнавання обличч полягає в тому, щоб по вхідному зображенню знайти серію даних одного і того ж особи в наборі навчальних зображень в базі даних. Велика складність полягає в забезпеченні того, щоб цей процес здійснювався в режимі реального часу, що недоступно всім постачальникам програмного забезпечення для біометричного розпізнавання осіб. Процес розпізнавання обличч може виконуватися в двох варіантах залежно від того, коли він виконується:

– Той, в якому вперше система розпізнавання осіб звертається до особи, щоб зареєструвати його і зв'язати з особистістю таким чином, щоб воно було записано в системі. Цей процес також відомий як цифрова адаптація з розпізнаванням обличчя.

– Варіант, в якому користувач проходить аутентифікацію до реєстрації. У цьому процесі вхідні дані з камери перетинаються з існуючими даними в базі даних. Якщо особа збігається з уже зареєстрованим посвідченням особи, користувачеві надається доступ до системи з його обліковими даними.

Розглянемо основні алгоритми розпізнавання людського обличчя.

**Розпізнавання обличчя з використанням різних поверхонь обличч.** Цей підхід до розпізнавання осіб використовує концепції зменшення розмірності і лінійної алгебри для розпізнавання осіб. Це метод виявлення і розпізнавання осіб, який визначає дисперсію осіб в наборах даних зображень. Він використовує ці відхилення для кодування та декодування осіб за допомогою машинного навчання [1]. Набір власних осіб являє собою набір «стандартизованих компонентів особи», що визначаються шляхом статистичного аналізу великої кількості зображень осіб рисам обличчя присвоюються математичні значення, так як цей метод використовує не цифрові зображення, а статистичні бази даних (рис. 1). Будь-яке людське обличчя являє собою комбінацію цих значень з різним відсотком.

Перевагою цього алгоритму є те, що власні поверхні були винайдені саме для цих цілей, що робить систему дуже ефективною. Недоліком є те, що він чутливий до умов освітлення і положення голови. Недоліки-пошук власних векторів і власних значень забирає багато часу.

**Метод обличч Фішера.** Обличчя є одним з найпопулярніших алгоритмів розпізнавання обличчя. Вважається, що він перевершує багато його альтернатив. В якості поліпшення алгоритму власних поверхонь його часто порівнюють з власними поверхнями і вважають більш успішним в розрізненні класів в процесі навчання [2]. Ключовою перевагою цього алгоритму є його здатність інтерполювати та екстраполювати зміни освітлення та виразу обличчя. Є повідомлення про 93% точності алгоритму обличч Фішера в поєднанні з методом АОК (Аналіз основних компонентів) на етапі попередньої обробки.

**Метод аналізу головних компонентів** – це універсальний статистичний метод, що має безліч практичних застосувань [3]. При використанні в процесі розпізнавання осіб АГК прагне зменшити розмір вихідних даних, зберігаючи при цьому найбільш актуальну інформацію. Він генерує набір зважених власних векторів (рис. 3), які, в свою чергу, створюють власні обличчя – великі набори різних зображень людського обличчя. Лінійна комбінація власних поверхонь представляє кожне зображення в навчальному наборі. АГК використовується для отримання цих власних векторів з коваріаційної матриці навчального набору зображень. Для кожного зображення розраховуються його основні компоненти (від 5 до 200). Інші компоненти кодують незначні відмінності між обличчями та шумом. Процес розпізнавання включає в себе порівняння основного компонента невідомого зображення з компонентами всіх інших зображень.



Рис. 1. Статистична база даних зображень людських облич

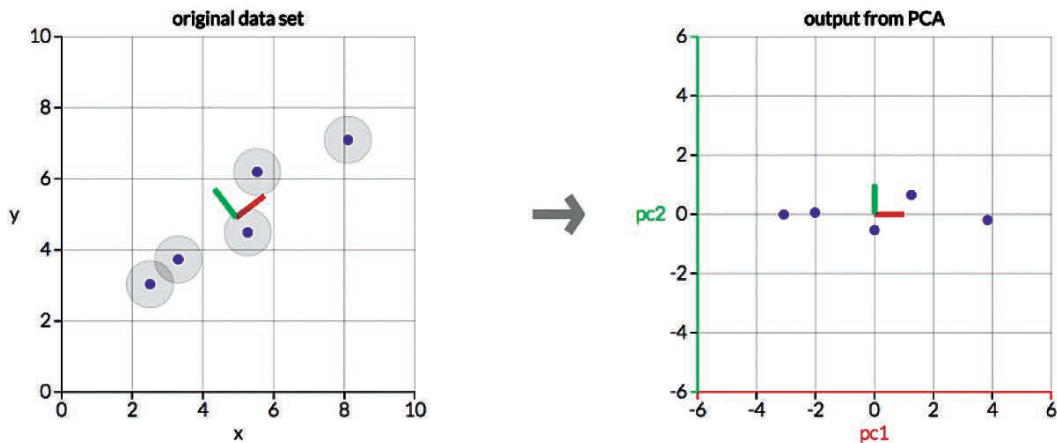


Рис. 2. Вхідні та вихідні дані аналізу головних компонентів

Наведемо основні переваги аналізу основних компонентів:

1. Видаляє корельовані об'єкти.

У реальному сценарії це дуже поширене явище, коли Ви отримуєте Тисячі об'єктів у вашому наборі даних. Ви не можете запустити свій алгоритм на всіх функціях, так як це знизить продуктивність вашого алгоритму, і буде нелегко візуалізувати таку кількість функцій в будь-якому вигляді графіка. Таким чином, ви повинні зменшити кількість об'єктів у вашому наборі даних. Вам потрібно з'ясувати кореляцію між функціями (корельованими змінними). Пошук кореляції вручну в тисячах функцій практично неможливий, розчаровує і забирає багато часу. АГК робить це для вас ефективно. Після реалізації АГК у вашому наборі даних всі основні компоненти незалежні один від одного. Між ними немає ніякої кореляції.

2. Підвищує продуктивність алгоритму.

З такою кількістю функцій продуктивність вашого алгоритму різко знизиться. АГК -це дуже поширений спосіб прискорити ваш алгоритм машинного навчання, позбувшись від корельованих змінних, які не беруть участь у прийнятті будь-яких рішень. Час навчання алгоритмів значно скорочується при меншій кількості функцій. Таким чином, якщо вхідні розміри занадто високі, то використання АГК для прискорення алгоритму є розумним вибором.

3. Зменшує перенавчання.

Переоснащення в основному відбувається, коли в наборі даних занадто багато змінних. Таким чином, АГК допомагає подолати проблему переоснащення за рахунок скорочення кількості функцій.



4. Покращує візуалізацію.

Дуже складно візуалізувати і розуміти дані у великих вимірах. АГК перетворює дані високої розмірності в дані низької розмірності (2 вимірювання), щоб їх можна було легко візуалізувати. Ми можемо використовувати 2D-графік Осипу, щоб побачити, які основні компоненти призводять до високої дисперсії і мають більший вплив в порівнянні з іншими основними компонентами. Навіть найпростіший набір даних райдужної оболонки ока є 4-мірним, що важко візуалізувати. Ми можемо використовувати АГК, щоб зменшити його до 2-х вимірювань для кращої візуалізації.

До недоліків аналізу основних компонентів можна віднести:

1. Незалежні змінні стають менш інтерпретованими. Після реалізації АГК в наборі даних ваші вихідні об'єкти перетворюються в основні компоненти. Основні компоненти-це лінійна комбінація ваших оригінальних функцій. Основні компоненти не так легко читаються і інтерпретуються, як оригінальні функції.

2. Стандартизація даних необхідна перед АГК. Ви повинні стандартизувати свої дані перед впровадженням АГК, в іншому випадку АГК не зможе знайти оптимальні основні компоненти. Наприклад, якщо набір об'єктів містить дані, виражені в одиницях кілограмів, світлових років або мільйонів, масштаб дисперсії в навчальному наборі величезний. Якщо АГК застосовується до такого набору функцій, результуючі навантаження для об'єктів з високою дисперсією також будуть великими. Отже, основні компоненти будуть зміщені в бік функцій з високою дисперсією, що призведе до помилкових результатів. Крім того, для стандартизації всі категоріальні характеристики повинні бути перетворені в числові характеристики, перш ніж можна буде застосувати АГК. На АГК впливає масштаб, тому вам необхідно масштабувати об'єкти у ваших даних перед застосуванням АГК.

3. Втрата інформації. Хоча основні компоненти намагаються охопити максимальну відмінність між об'єктами в наборі даних, якщо ми не будемо ретельно вибирати кількість основних компонентів, в ньому може бути відсутня деяка інформація в порівнянні з вихідним списком об'єктів.

**Метод каскадів Хаара** – це метод виявлення об'єктів, який використовується для визначення місця розташування об'єктів на зображеннях (рис. 3) [10]. Алгоритм навчається на великій кількості позитивних і негативних зразків-перший містить об'єкт, що цікавить, а другий містить все, що завгодно, крім об'єкта, який ви шукаєте. Після навчання класифікатор може знайти цікавить об'єкт на нових зображеннях. Цей метод використовувався при ідентифікації злочинців у поєднанні з локальним алгоритмом бінарного шаблону для розпізнавання осіб. Каскадний класифікатор Хаара використовує 200 (з 6000) функцій, що забезпечує швидкість розпізнавання 85-95 % навіть при різних виразах.

Згорткові нейронні мережі схожі на звичайні нейронні мережі, але з явним припущенням, що вхідними даними є зображення, що дозволяє дизайнерам кодувати певні властивості в архітектуру [7]. Архітектура ЗНМ складається з послідовності рівнів з найпростішою архітектурою [INPUT-CONV-RELU-POOL-FC].

Вхідний шар містить необроблені значення пікселів зображень, шар CONV складається з ядра або фільтра фіксованого розміру, який ковзає у вигляді вікна для виконання операції згортки на віконному зображенні для вилучення об'єктів. Застосовується прокладка на розмір вхідного зображення, щоб подолати нерівномірне зіставлення з розміром фільтра. RELU розшифровується як випрямлені лінійні одиниці, що являє собою елементарну функцію активації, яка присвоює нульове значення прихованим одиницям. ПУЛ позначає шар об'єднання, який відповідає за зменшення вибірки і зменшення розмірності, що, в свою чергу, зменшує обчислювальну потужність, необхідну для обробки даних.

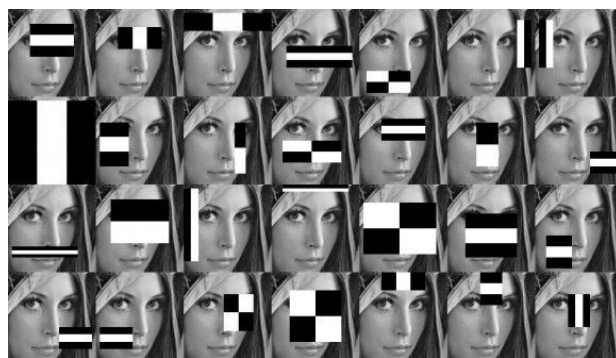


Рис. 3. Загальне уявлення навчання класифікатору Хаара

Шар об'єднання також має ядро або функцію, яка ковзає, як вікно, на вхід, щоб витягти домінуючі функції, які є обертальними і позиційно-інваріантними. Максимальне об'єднання і середнє об'єднання є використовуються дві загальні функції. FC-це повністю підключений шар, де кожен нейрон на вході підключений до кожного

нейрону на виході, і цей шар відповідає за обчислення оцінки певного класу, в результаті чого виходить  $N$  виходів, де  $n$  позначає кількість класів / категорій, що підлягають класифікації. Клас з максимальним балом визначається як прогнозований клас архітектури ЗНМ. Шар FC також називають щільним шаром.

Можна відзначити, що архітектура ЗНМ може бути змінена в залежності від вимог до дизайну і продуктивності системи. Деякі з інших шари, які використовуються в архітектурі ЗНМ, включають відсів і вирівнювання. Рівень відсіву - це метод регуляризації для запобігання надмірній підгонки ЗНМ, при якому частина вхідних даних (звана коефіцієнтом відсіву) відсівається, встановлюючи їх значення рівними 0 при кожному оновленні під час навчання. Значення збережених вхідних даних масштабуються, так що їх сума залишається незмінною під час навчання. Шари згладжування вводяться перед шаром FC для перетворення двовимірних об'єктів в один вимір.

Переваги згорткової нейронної мережі над звичайною нейронною мережею та її використання для розпізнавання людського обличчя.

Згорткові нейронні мережі повсюдно застосовуються для вирішення різних завдань навчання. Вони досить ефективні для вирішення завдань класифікації зображень. Ми побачимо, що відрізняє згорткові нейронні мережі або ЗНМ від повністю пов'язаних нейронних мереж і чому згорткові нейронні мережі так добре справляються з завданнями класифікації зображень.

Спочатку давайте подивимося на подібності. Як нейронні мережі згортки, так і нейронні мережі мають навчальні ваги і зміщення. В обох мережах нейрони отримують певний ввід, виконують точковий твір і слідує за ним за допомогою нелінійної функції, такої як ReLU (випрямлена лінійна одиниця).

Основна проблема з повністю підключеним шаром:

Коли справа доходить до класифікації зображень - скажімо, розміром  $64 \times 64 \times 3$  - повністю підключеним шаром потрібно 12288 ваг в першому прихованому шарі! Кількість ваг буде ще більшою для зображень розміром  $225 \times 225 \times 3 = 151875$ . Мережі з великою кількістю параметрів стикаються з низкою проблем, наприклад, з більш повільним часом навчання, ймовірністю перенавчання і т. д.

Основна функціональна відмінність нейронної мережі згортки полягає в тому, що основна матриця зображення зводиться до матриці меншої розмірності в найпершому шарі за допомогою операції, званої згорткою. Наприклад, зображення розміром  $64 \times 64 \times 3$  може бути зменшено до  $1 \times 1 \times 10$ . Після чого виконуються наступні операції.

ЗНМ зазвичай складається з наступних компонентів:

- Вхідний шар - в якості вхідного задається одне необроблене зображення. Для зображення RGB його розмір буде  $A \times B \times 3$ , де 3 представляє кольори червоний, зелений і синій.
- Шар згортки являє собою матрицю розмірності, меншою, ніж вхідна матриця. Він виконує операцію згортки з невеликою частиною вхідної матриці, що має той же розмір. Сума добутків відповідних елементів є результатом цього шару.

ReLU або випрямлена лінійна одиниця - ReLU математично виражається як  $\max(0, x)$ . Це означає, що будь-яке число менше 0 перетворюється в 0, в той час як будь-яке додатне число може передаватися як є (рис. 4).

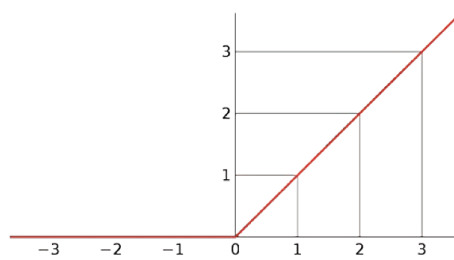


Рис. 4. Функція ReLU

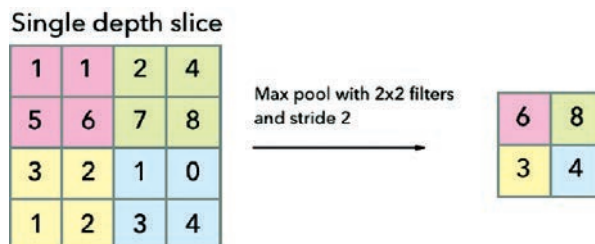


Рис. 5. Функція максимальний пул

Максимальний пул-передає максимальне значення з невеликої колекції елементів вхідної матриці на вихід. Зазвичай це квадратна матриця (рис. 5).

Повністю підключений шар – кінцевий вихідний шар являє собою звичайний повністю підключений шар нейронної мережі, який видає вихідні дані (рис. 6).

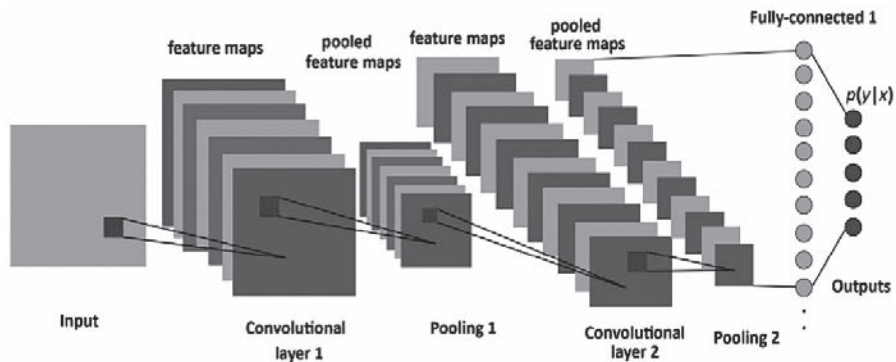


Рис. 6. Згорткова нейронна мережа

Наведемо алгоритм роботи системи розпізнавання обличчя (рис. 7), який включає:

- Захват фрейму(ів) обличчя з відеопотоку.
- Передача фрейму(ів) до згорткової нейронної системи.
- Порівняння обробленого фрейму(ів) обличчя з наявними в базі даних.

Вивід ім'я в рамці навколо обличчя розпізнаної особи чи «Невідомо» навколо обличчя нерозпізнаної особи.

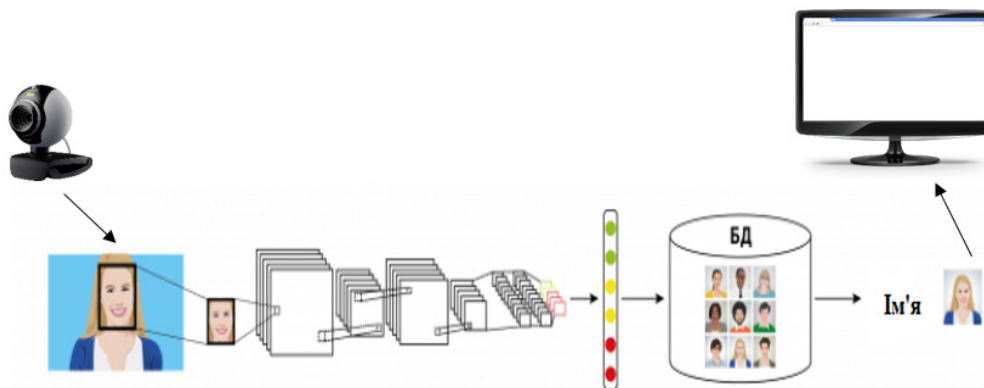


Рис. 7. Алгоритм роботи системи розпізнавання обличчя

Для розробки використовувалася Microsoft Visual Studio 2019. Для розробки внутрішньої логіки було використано мову програмування C# та .Net framework 4.6. Для захвату фрейму відеопотоку для збереження обличчя особи в базу даних була використана бібліотека EmguCV. Бібліотека EmguCV повністю написано на C#. Він може бути запущений на будь-якій платформі, що підтримується. Net, включаючи iOS, Android, Mac OS X, Linux і Windows. Було витрачено багато зусиль на створення чистої реалізації C#, так як заголовки повинні бути перенесені, в порівнянні з керованою реалізацією C++. Вся функціональність і простота використання збережена порівнюючи з бібліотекою OpenCV на C++.

Для сховища даних, а саме для збереження інформації про особу використовується база даних SQLite. SQLite-це бібліотека на мові Сі, яка реалізує невеликий, швидкий, автономний, високонадійний, повнофункціональний механізм бази даних SQL. SQLite – найбільш часто використовуваний движок баз даних у світі. SQLite вбудований у всі мобільні телефони та більшість комп'ютерів і поставляється в комплекті з незліченними іншими додатками, якими люди користуються щодня.

Для розпізнавання людського обличчя у системі використовується Dlib. Dlib – це сучасний інструментарій C++, що містить алгоритми машинного навчання та інструменти для створення складного програмного забезпечення INC++ для вирішення реальних завдань. Він використовується як у промисловості, так і в наукових колах у широкому діапазоні областей, включаючи робототехніку, вбудовані

пристрої, мобільні телефони та великі високопродуктивні обчислювальні середовища. Ліцензування Dlib з відкритим вихідним кодом дозволяє вам безкоштовно використовувати його в будь-якому додатку. Саме для нашої системи із Dlib буде використовуватися інструмент розпізнавання обличчя.

В основі цього інструментарію лежить згортова нейронна система. При використанні dlib отримує точність 99,38% за стандартним тестом розпізнавання обличчя LFW порівняно з іншими сучасними методами розпізнавання осіб станом на Лютий 2021 року. Ця точність означає, що при наявності пари лицьових зображення, інструмент правильно визначить, чи належить пара одному і тому ж людина або від різних людей в 99,38% випадків. При цьому при використанні були ураховані такі показники як освітлення, якість зображення, дистанція до обличчя та кількість облич у фреймі. Також досягнута велика продуктивність роботи системи (рис. 8) в зв'язку з можливістю використання паралельних обчислень з використанням всіх ядер процесора або використання можливостями графічної карти, що демонструє ще кращу продуктивність.

Головне меню системи складається з форми для входу адміністратора, з кнопки входу користувача і кнопки виходу з системи.

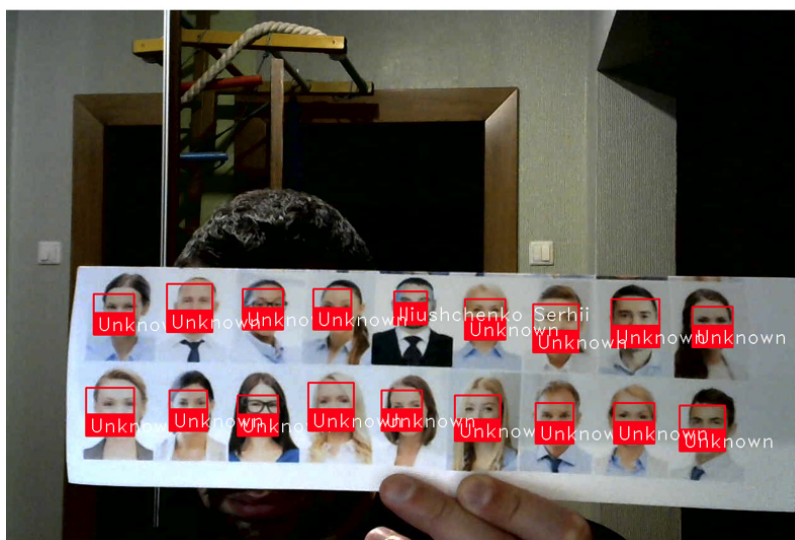


Рис. 8. Багато облич в фреймі при розпізнаванні

Користувацьке меню (рис. 9) складається з трьох кнопок для додавання фото в базу даних, видалення фото з бази даних та безпосередньо запуск системи визначення та розпізнавання обличчя з використанням веб камери комп'ютера. Слід зазначити, що кнопки додати та видалити фото увімкнені тільки для адміністратора, для користувача вони ввімкнені.

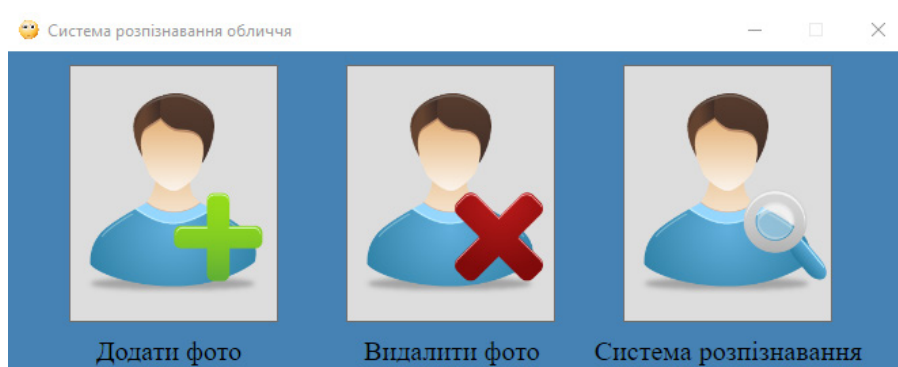


Рис. 9. Користувацьке меню системи розпізнавання обличчя

В вікні додавання фото (рис. 10) знаходиться форма для внесення даних про особу, фото якої буде додано в базу даних системи, також є кнопки «Зберегти», «Оновити», «Завантажити» та «Назад», що відповідно зберігають особу до бази даних, оновлюють фрейм для збереження, завантаження фото з будь-якого джерела даних та вихід в попереднє вікно.



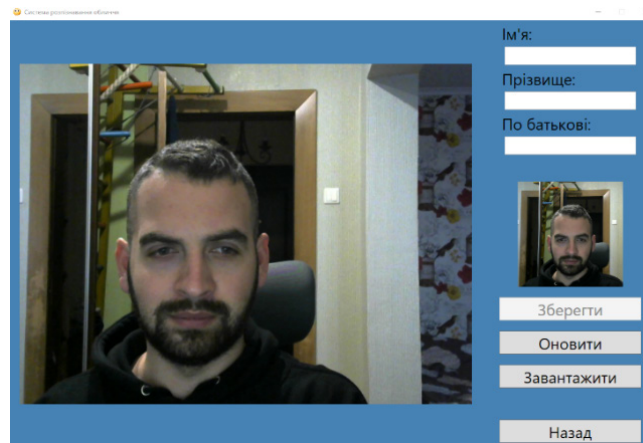


Рис. 10. Вікно додавання особи до бази даних

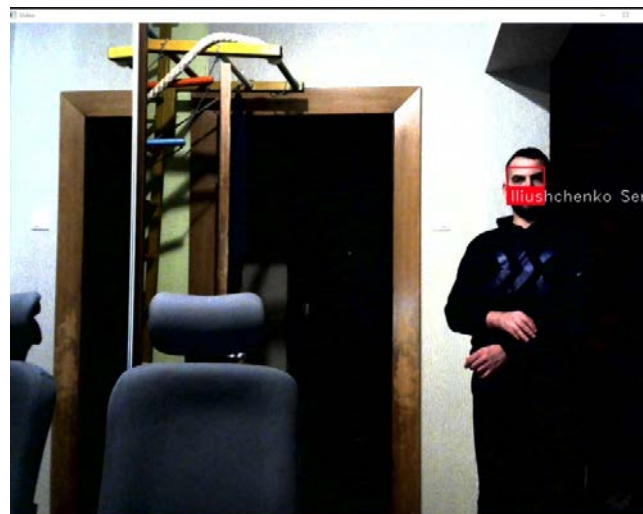


Рис. 11. Вікно розпізнавання обличчя

У вікні видалення фото знаходиться список збережених осіб та кнопки «Видалити» та «Назад», що відповідно означають видалити фото вибраної особи з бази даних та повернення в попереднє меню. У вікні система розпізнавання саме відбувається розпізнавання обличчя і виведення на дисплей даних про знайдену особу в виді рамки навколо обличчя з відеопотоку чи слова «Unkown», якщо особу не було знайдено в існуючій базі даних.

**Висновки.** В даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання обличчя, зважені їх переваги та недоліки. Розглянуто використання згорткової нейронної системи з метою розпізнавання обличчя. Проаналізовано на практиці відсоток точності розпізнавання людського обличчя та продуктивність, враховуючі такі фактори як освітлення, якість зображення, кількість облич на зображенні використовуючи бібліотеку з відкритим вихідним кодом Face recognition із сімейства бібліотек DLib в основі якої лежить згорткова нейронна мережа.

#### Список використаних джерел:

1. L. Zhi-fang, Y. Zhi-sheng, A.K.Jain and W. Yun-qiong, 2003, "Face Detection And Facial Feature Extraction In Color Image", Proc. The Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03), pp. 126-130, Xi'an, China.
2. C. Lin, 2005, "Face Detection By Color And Multilayer Feedforward Neural Network", Proc. 2005 IEEE International Conference on Information Acquisition, pp. 518-523, Hong Kong and Macau, China.
3. S. Kherchaoui and A. Houacine, 2010, "Face Detection Based On A Model Of The Skin Color With Constraints And Template Matching", Proc. 2010 International Conference on Machine and Web Intelligence, pp. 469-472, Algiers, Algeria.
4. P. Peer, J. Kovac and F. Solina, 2003, "Robust Human Face Detection in Complicated Color Images", Proc. 2010 The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering (ICIME), pp. 218-221, Chengdu, China.
5. M. Ş. Bayhan and M. Gökmen, 2008, "Scale And Pose Invariant Real-Time Face Detection And Tracking", Proc. 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences ISCIS '08, pp. 1-6, Istanbul, Turkey.

6. C.C. Tsai, W.C. Cheng, J.S. Taur and C.W. Tao, 2006, "Face Detection Using Eigenface And Neural Network", Proc. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 4343-4347, Taipei, Taiwan.
7. X. Liu, G. Geng and X. Wang, 2010, "Automatically Face Detection Based On BP Neural Network And Bayesian Decision", Proc. 2010 Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010), pp. 1590-1594, Shandong, China.
8. M. Tayyab and M. F. Zafar, 2009, "Face Detection Using 2D-Discrete Cosine Transform And Back Propagation Neural Network", Proc. 2009 International Conference on Emerging Technologies, pp. 35-39, Islamabad, Pakistan.
9. Палій І.О., Саченко А.О., Антошук С.Г., Бурак Т.О. Нейромережний підхід до комп'ютерного розпізнавання облич // Искусственный интеллект, Вип. 3, 2010. С. 378-387.
10. Тимошин Ю. А., Орленко С. П. Алгоритм розпізнавання обличчя людей на базі згорткової нейронної мережі // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління», Вип. 1 (32), 2018. С. 166-173.
11. Ляшенко Г.Є., Даниленко О.І. Дослідження методів розпізнавання облич // Міжнародна науково-практична конференція High-Technologies in infocommunications 23-25 травня 2019 р., Харків – Кам'янець-Подільський, Україна. С. 85-86.
12. Загородня Д. І., Палій І. О., Крилов В. М. Метод розпізнавання облич за характерними точками контуру в комп'ютерних системах відеоспостереження // МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології». Одеса, 27-31 травня 2013 р. С. 49-52.
13. Ділай В.І. Огляд методів розпізнавання облич для використання в системах контролю і управління доступом // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 28-29 листопада 2018. С. 48-49.

#### References:

1. L. Zhi-fang, Y. Zhi-sheng, A.K.Jain and W. Yun-qiong, 2003, "Face Detection And Facial Feature Extraction In Color Image", Proc. The Fifth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'03), pp. 126-130, Xi'an, China [in English].
2. C. Lin, 2005, "Face Detection By Color And Multilayer Feedforward Neural Network", Proc. 2005 IEEE International Conference on Information Acquisition, pp. 518-523, Hong Kong and Macau, China [in English].
3. S. Kherchaoui and A. Houacine, 2010, "Face Detection Based On A Model Of The Skin Color With Constraints And Template Matching", Proc. 2010 International Conference on Machine and Web Intelligence, pp. 469-472, Algiers, Algeria [in English].
4. P. Peer, J. Kovac and F. Solina, 2003, "Robust Human Face Detection in Complicated Color Images", Proc. 2010 The 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering (ICIME), pp. 218-221, Chengdu, China [in English].
5. M. Ş. Bayhan and M. Gökmen, 2008, "Scale And Pose Invariant Real-Time Face Detection And Tracking", Proc. 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences ISCIS '08, pp. 1-6, Istanbul, Turkey [in English].
6. C.C. Tsai, W.C. Cheng, J.S. Taur and C.W. Tao, 2006, "Face Detection Using Eigenface And Neural Network", Proc. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 4343-4347, Taipei, Taiwan [in English].
7. X. Liu, G. Geng and X. Wang, 2010, "Automatically Face Detection Based On BP Neural Network And Bayesian Decision", Proc. 2010 Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010), pp. 1590-1594, Shandong, China [in English].
8. M. Tayyab and M. F. Zafar, 2009, "Face Detection Using 2D-Discrete Cosine Transform And Back Propagation Neural Network", Proc. 2009 International Conference on Emerging Technologies, pp. 35-39, Islamabad, Pakistan [in English].
9. Paliy I.O., Sachenko A.O., Antoshchuk S.H., Burak T.O. (2010) Neiomerezhnyi pidkhid do kompiuternoho rozpoznavannia oblych [Neural network approach to computer facial recognition] *Iskusstvennyi intellekt – Artificial Intelligence*, Vyp. 3, S. 378-387 [in Ukrainian].
10. Tymoshyn Yu. A., Orlenko S. P. (2018) Alhorytm rozpoznavannia oblychchia liudei na bazi zghortkovoї neuronnoi merezhi [Algorithm for recognizing the face of people on the basis of convolutional neural network] *Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Adaptyvni systemy avtomatychnoho upravlinnia» – Interdepartmental scientific and technical collection "Adaptive automatic control systems"*, Vyp. 1 (32), S. 166-173 [in Ukrainian].
11. Liashenko H.Ie., Danylenko O.I. (2019) Doslidzhennia metodiv rozpoznavannia oblych [Research of face recognition methods] *Mizhнародna naukovo-praktychna konferentsiia High-Technologies in infocommunications – International scientific-practical conference High-Technologies in infocommunications 23-25 travnia 2019 r.*, Kharkiv – Kamianets-Podilskyi, Ukraina. S. 85-86 [in Ukrainian].
12. Zahorodnia D. I., Paliy I. O., Krylov V. M. (2013) Metod rozpoznavannia oblych za kharakternymy tochkamy konturu v kompiuternykh systemakh videosposterezhennia [Method of face recognition by characteristic contour points in computer video surveillance systems] *MNPK «Suchasni informatsiini ta elektronni tekhnologii» – MNPK "Modern information and electronic technologies"*. Odesa, 27-31 travnia 2013 r. S. 49-52 [in Ukrainian].
13. Dilai V.I. (2018) Ohliad metodiv rozpoznavannia oblych dlia vykorystannia v systemakh kontroliu i upravlinnia dostupom [Review of face recognition methods for use in access control and management systems] *Materialy VII Mizhнародnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv. Aktualni zadachi suchasnykh tekhnologii – Proceedings of the VII International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students. Actual problems of modern technologies* Ternopil 28-29 lystopada 2018. S. 48-49 [in Ukrainian].