

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*Проведено дослідження методів розпізнавання облич, придатних для використання мобільних технологій. Розглянуті методи Віюли-Джонса, метод головних компонент та Eigenfaces, локальний бінарний шаблон та гістограма (LBPH). Розроблено інформаційно-аналітичний додаток до платформи iOS для розпізнавання людей по зображенню їх облич на мові Objective-C із застосуванням бібліотеки OpenCV.*

**Ключові слова:** розпізнавання облич; ознаки Хаара; метод Віюли-Джонса; метод головних компонент; власні обличчя; eigenfaces; локальний бінарний шаблон, LBPH.

**Вступ.** У зв'язку з тим, що в усьому світі почастішали випадки тероризму, для забезпечення безпеки на транспорті і в офісних приміщеннях, ідентифікація людини, особливо по обличчю, набуває важливого значення. Рішення завдання розпізнавання обличчя включає в себе етапи отримання зображення, попередньої обробки, виявлення обличчя і ідентифікація з урахуванням виявлених особливостей. Особливо важлива задача виявлення обличчя отриманих з мобільних пристроїв та відео потоку даних. На сьогоднішній день область застосування алгоритмів виявлення обличчя динамічно розвивається. Дані алгоритми знаходять застосування в різних вбудованих (embedded) системах, а умови застосування даних систем обумовлюють істотні відмінності в якості зображень. Вимоги обробки в режимі реального часу унеможливають пост обробку зображень або залучення операторів. Задача пошуку ефективних методів розпізнавання обличчя набуває своєї актуальності разом з поширенням мобільних пристроїв які, з одного боку не мають високої обчислювальної здатності, а з іншого – є платформою для впровадження нових методів людино-машинної взаємодії, а саме розпізнавання мобільним пристроєм обличчя користувача. Проблема полягає ще в тому, що одне і теж обличчя може бути сфотографоване при різних зовнішніх факторах, таких як світло, поза, емоції.

Завдання розпізнавання людини по зображенню обличчя діляться на три великі класи: пошук у великих базах даних, контроль доступу та контроль фотографій в документах [1]. Вони розрізняються як за вимогами, що надаються до систем розпізнавання, так і щодо способів вирішення. Нині існують багато готових програмних рішень різного призначення, що використовують розпізнавання обличчя. Більшість з них є комерційними розробками і інформація про алгорит-

мічне забезпечення цих систем не розповсюджується. Найбільш відомі VOCORD FaceControl 3D та DeepFace. Обидва продукти являються комерційними розробками і не доступні ні у вигляді програмного коду ні у вигляді формального опису алгоритмів. Розпізнавання в системі VOCORD FaceControl 3D засноване на синхронних знімках стереокамерами з різних ракурсів, побудові 3D-моделі обличчя і порівнянні 3D-моделі з 3D-моделлю у базі або з звичайною фотографією. В основу DeepFace покладено Convolutional Neural Network (згорточна нейрона мережа), яка є логічним розвитком такої архітектури нейронних мереж як когнітрон і неокогнітрон. Заявлена точність DeepFace складає 97.25% розпізнаних образів(це лише на 0.28% менше ніж розпізнає людина). Обидві системи потребують складних пристроїв та великого обсягу пам'яті та неможливі для застосування у мобільному зв'язку.

**Мета дослідження.** Проаналізувати методи та алгоритми пошуку об'єктів на зображенні, методи та алгоритми виділення основних ознак зображення та інтелектуальні алгоритми класифікації зображень придатні для використання мобільних технологій

- Дослідити інтелектуальні алгоритми класифікації зображень;
- Розробити мобільний додаток для розпізнавання людини по зображенню обличчя.

**Основний матеріал.** Процес розпізнавання людини по зображенню обличчя наведено на рис.1 та містить такі кроки [1, 2]:

1. Локалізація обличчя на зображенні (знаходження ділянки зображення, що містить обличчя, її розмірів і положення)
2. Вирівнювання знайденого обличчя (по геометрії і по яскравості)
3. Витяг основних ознак обличчя із зображення

4. Розпізнавання шляхом порівняння вилучених ознак із закладеними у базу даних.

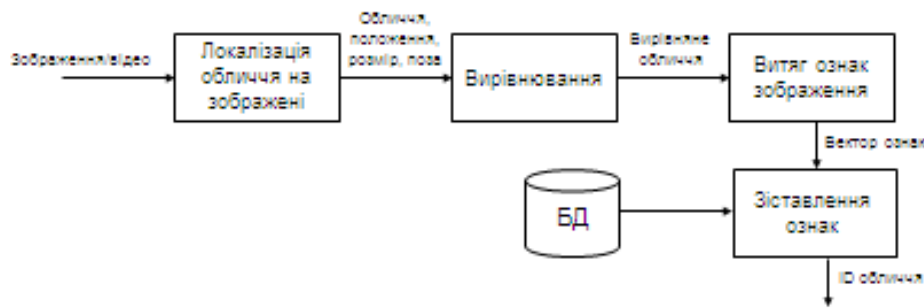


Рис. 1. Загальна схема процесу розпізнавання людини по зображенню обличчя

Нині існує величезна різноманітність підходів для виявлення облич. Найбільш досконалим методом розпізнавання на сьогоднішній день є згорточні нейронні мережі. Але вони досить складні у розробці, тому конкурентно спроможні рішення розробляються великими корпораціями (як, наприклад, розробка Facebook – DeepFace). У той же час існують алгоритми і рішення, які є сучасними і ефективними та можуть бути імплементовані без значних зусиль. У даній роботі досліджені ті методи, які можливо реалізувати у мобільних додатках при невеликих обсягах пам'яті. До них відносяться алгоритми Віюлі-Джонса для пошуку об'єктів на зображенні та алгоритми Eigenfaces і LBPН для розпізнавання облич на фотографіях.

**Метод Віюлі-Джонса та ознаки Хаара.** Метод, запропонований Віюлою і Джонсом в 2001 році, став справжнім проривом в цій області. Цей метод набув великої популярності завдяки високій точності і серйозній теоретичній основі [5, 11, 12]. Основні принципи, на яких базується метод:

- використовуються зображення в інтегральному уявленні, що дозволяє швидко обчислювати необхідні об'єкти;
- використовуються ознаки Хаара, за допомогою яких відбувається пошук потрібного об'єкта (в цьому контексті, обличчя і його рис);
- використовується бустінг для вибору найбільш підходящих ознак для шуканого об'єкта на цій частині зображення;
- всі ознаки надходять на вхід класифікатора, який дає результат «так» або «ні»;
- використовуються каскади ознак для швидкого відкидання вікон, де не знайдено обличчя.

$$L(x, y) = I(x, y) - L(x-1, y-1) + L(x, y-1) + L(x-1, y) \quad (2)$$

Інтегральне представлення зображення використовується для обчислення ознак Хаара. Ознаки Хаара – ознаки цифрового зображення, використовувані в розпізнаванні образів. Своєю назвою вони зобов'язані інтуїтивним схожістю з вейвлетами Хаара. Ознаки Хаара використовувалися в першому детекторі облич, що працював в реальному часі [9].

Ознака Хаара складається з суміжних прямокутних областей. Вони позиціонуються на зображенні,

Найбільш популярний цій метод для пошуку об'єктів у відео потоці. Також цей детектор має вкрай низьку ймовірність помилкового виявлення обличчя. Алгоритм навіть добре працює і розпізнає риси обличчя під невеликим кутом, приблизно до 30 градусів. При куті більше 30 градусів точність різко падає.

Для того, щоб проводити будь-які дії з даними в методі Віюлі-Джонса, використовується інтегральне представлення зображень. Однією з корисних особливостей інтегрального представлення є можливість дуже швидко вирахувати суму пікселів довільного прямокутника (або будь-який інший фігури, яку можна апроксимувати декількома прямокутниками). Інтегральне представлення зображення – це матриця, що збігається за розмірами з вихідним зображенням. У кожному елементі її зберігається сума інтенсивності яскравості всіх пікселів, що знаходяться лівіше і вище даного елемента. Елементи матриці розраховуються за формулою:

$$L(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(i, j), \quad (1)$$

де  $I(i, j)$  – яскравість пікселя вихідного зображення.

Кожен елемент матриці  $L(x, y)$  є сумою пікселів в прямокутнику від  $(0,0)$  до  $(x,y)$ , тобто значення кожного пікселя  $(x, y)$  дорівнює сумі значень всіх пікселів лівіше і вище даного пікселя  $(x, y)$ . Розрахунок матриці займає лінійний час, пропорційне числу пікселів в зображенні, тому інтегральне зображення прораховується за один прохід.

Розрахунок матриці можливий за формулою:

далі сумуються інтенсивності пікселів в областях, після чого обчислюється різниця між сумами. Ця різниця і буде значенням певної ознаки, визначеного розміру, певним чином позиціонованої на зображенні. Загальним для всіх зображень є те, що область в районі очей темніше, ніж область в районі щік. Отже загальною ознакою Хаара для облич є 2 суміжних прямокутних регіону, що лежать на очах і щоках (рис. 2.).



Рис. 2. Ознаки Хаара і приклад їх розташування на обличчі людини

Ключовою особливістю ознак Хаара є найбільша, в порівнянні з іншими ознаками, швидкість. Обчислюється значення такої ознаки за формулою:  $F = X - Y$ , де  $X$  – сума значень яскравості точок закриваються світлою частиною ознаки,  $Y$  – сума значень яскравості точок що закриваються темною частиною ознаки. Ознаки Хаара дають точкове значення перепаду яскравості по осі  $X$  і  $Y$  відповідно.

Алгоритм сканування вікна з ознаками виглядає так:

- обирається вікно сканування та використовуються ознаки для основних рис обличчя;
- вікно сканування послідовно просувається по зображенню з кроком в 1 клітинку вікна (припустимо, розмір самого вікна  $24 \times 24$  клітинки);
- при скануванні зображення в кожному вікні обчислюється приблизно 200 000 варіантів розташування ознак, за рахунок зміни масштабу ознак і їх положення в вікні сканування;
- сканування проводиться послідовно для різних масштабів скануючого вікна;
- всі знайдені ознаки потрапляють до класифікатора, який фіксує наявність рота, носа, та іншої ознаки певної розмірності у певному регіоні і знаходить найближчий зразок у базі.

Класифікатор повинен реагувати тільки на певну, підмножину всіх ознак, якою він навчається з навча-

льної вибірки. У якості класифікатора може бути перцептрон, ієрархічні алгоритми та інші алгоритми класифікації. Вхідні дані: розмір та розташування очей, розмір та розташування рота, розмір та розташування інших головних рис. Для поліпшення точності використовується технологія бустинга. Бустинг – комплекс методів, що сприяють підвищенню точності аналітичних моделей [5]. В його основі лежить побудова каскада класифікаторів, кожен з яких (крім першого) навчається на помилках попереднього. Наприклад, один з перших алгоритмів бустинга використовував каскад з 3-х моделей, перша з яких навчалася на всьому наборі даних, друга – на вибірці прикладів, в половині з яких перша дала правильні відповіді, а третя – на прикладах, де «відповіді» перших двох розійшлися. Таким чином, має місце послідовна обробка прикладів каскадом класифікаторів, причому так, що завдання для кожного наступного стає важче. Результат визначається шляхом простого голосування: приклад відноситься до того класу, який виданий більшістю моделей каскаду.

**Метод головних компонент та алгоритм eigenfaces (власних облич).** Метод головних компонент (principal component analysis) [4] – застосовується для витягу з потрібної інформації з даних великої розмірності. Геометрична інтерпретація зображена на рис.3.

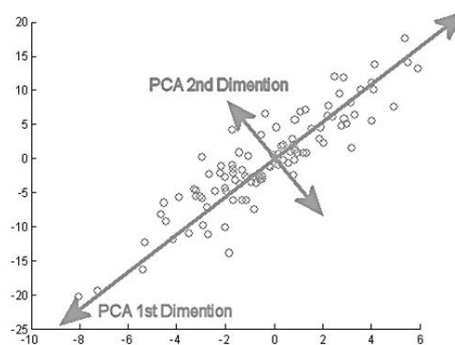


Рис. 3. Графічне представлення двовимірних даних

Мета методу головних компонент – це істотне зниження розмірності даних. Загалом, в багатовимірному випадку, процес виділення головних компонент відбувається так:

- шукається центр хмари з даними, і туди переноситься новий початок координат – це нульова головна компонента (PC0);

- обирається напрямок максимальної зміни даних – це перша головна компонента (PC1);
- якщо дані описані не в повному обсязі (шум великий), то вибирається ще один напрямок (PC2) – перпендикулярний до першого, так щоб описати зміни в даних що залишилися і т.д.

У результаті, ми переходимо до нового представлення, розмірність якого значно менше. Часто вдається спростити розмірність лише до двох. При розпізнаванні облич метод РСА дозволяє відобразити великий одновимірний вектор пікселів, побудований з двовимірного зображення одного обличчя у різних варіантах, в компактні основні компоненти простору ознак. Результат перетворення можна назвати підпростором проєкції. Підпростір розраховується шляхом визначення власних векторів коваріаційної матриці, отриманої з набору зображень об'єктів.

Алгоритм розпізнавання об'єктів при застосуванні РСА і вектора власних облич має наступний вигляд [9]:

Використовується набір зображень  $I_1 \dots I_M$ , що відображає варіації одного обличчя, представлені у вигляді векторів  $I_1 \dots I_M$ .

Обчислюється середнє зображення для кожного обличчя за формулою:

$$\vec{I}_{cp} = \frac{1}{M} * \sum_{i=1}^M \vec{I}_i \quad (3)$$

Нормалізується представлення обличчя, відняв середнє:

$$\vec{F}_i = \vec{I}_i - \vec{I}_{cp} \quad (4)$$

Обчислюється власні вектори (вони ж eigenfaces)

$v_{ik}$  і ваги  $U_i$  для кожного обличчя в навчальній вибірці.

$$\vec{U}_i = \sum_{k=1}^M v_{ik} * \vec{F}_k \quad i = 1 \dots M \quad (5)$$

де  $v_{ik}$  – власні вектори матриці  $W^T * W$ , де  $W = \{\vec{F}_1 \dots \vec{F}_M\}$

**Процес розпізнавання об'єктів:**

- Для кожного нового зображення невідомого об'єкта  $I_{ex}$  обчислюється проєкція  $\omega$  в просторі власних об'єктів  $Vp$ .  $\omega_i = U_i^T * (I_i - I_{cp})$

- Обчислюється відстань між вагами нового об'єкта і вагами об'єктів у базі. У якості міри відстані між даними у базі даних доцільно використовувати відстань Махаланабіса. Вона дозволяє розрахувати відстань між двома векторами не враховуючи масштабу, а враховуючи лише кореляцію між векторами

- Якщо відстань  $d = |w_k - \omega|$  більше деякого визначеного порога  $\epsilon_1$ , то класифікувати зображення як «інший об'єкт». Якщо мінімальна відстань  $d_k = |\omega_i - \omega_k|$  між проєкцією нового зображення і відомим представником набору об'єктів менше деякого заданого порогу  $\epsilon_2$ , то класифікувати зображення як «об'єкт номер k». У останньому випадку ( $d < \epsilon_1$  і  $d_k \geq \epsilon_2$ ) класифікувати зображення як «невідомий об'єкт» і якщо це необхідно, то додати нове зображення в БД і заново обчислити власні об'єкти.

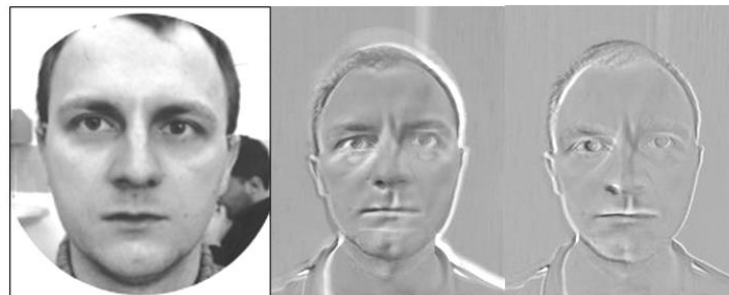


Рис. 4. Фото та власні обличчя зразка з бази розробленої системи

**Локальний бінарний шаблон (ЛБШ).** Локальний бінарний шаблон (ЛБШ) – це певний вид ознаки, що використовується для класифікації в комп'ютерному зорі, і представляє собою простий оператор. Локальні бінарні шаблони, як показали дослідження, є нечутливими до невеликих змін в умовах освітлення і невеликим поворотам зображення [3,4]. ЛБШ є описом околиці пікселя зображення в двійковому вигляді. Базовий оператор ЛБШ, застосовуваний

до пікселя зображення, використовує вісім пікселів околиці, приймаючи значення інтенсивності центрального пікселя в якості порогу. Пікселі зі значенням інтенсивності більшим чи рівним значенню інтенсивності центрального пікселя приймають значення рівні «1», інші приймають значення рівні «0». Таким чином, результатом застосування базового оператора ЛБШ до пікселя зображення є восьмибінарний код, який описує околицю цього пікселя [3,4].

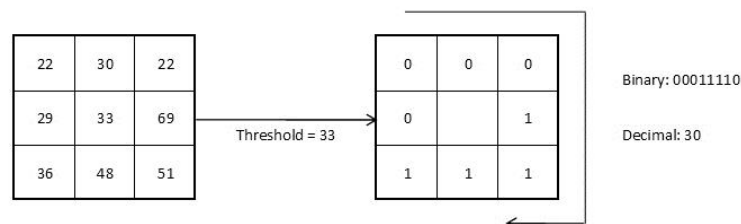


Рис. 5. Схема обчислення ЛБШ

Деякі бінарні коди несуть в собі більше інформації, ніж інші. Так, локальний бінарний шаблон називається рівномірним, якщо він містить не більше трьох

серій «0» і «1» (наприклад, 00000000, 001110000 і 11100001). По-перше, рівномірні ЛБШ визначають тільки важливі локальні особливості зображення, такі

як кінці ліній, межі, кути і плями (рис. 6). На рис. 7 наведено результат застосування оператора ЛБШ до

зображення обличчя. Обхід пікселів відбувався по годинниковій стрілці починаючи з «шостої години».

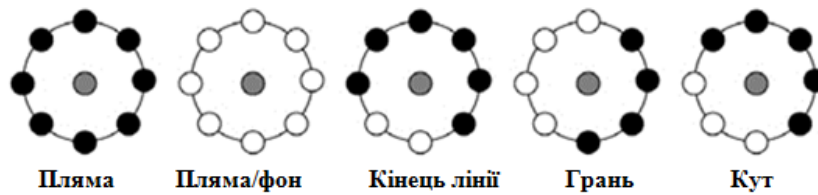


Рис. 6. Приклади локальних особливостей, визначених ЛБШ



Рис. 7. Результат застосування оператора ЛБШ

**Гістограма ЛБШ.** Застосовуючи оператор ЛБШ до кожного пікселя зображення, дозволяє побудувати гістограму, в якій кожному рівномірному коду ЛБШ відповідає окремий стовпець. Також є ще один додатковий стовпець, який містить інформацію про всі нерівномірні шаблони.

Зображення обличчя можуть розглядатися як набір всіляких локальних особливостей, які добре описуються за допомогою локальних бінарних шаблонів. Для врахування їх розташування на зображенні воно розбивається на підобласті, в кожній з яких обчислюється своя гістограма ЛБШ. Шляхом конкатенації цих гістограм може бути отримана загальна гістограма, що враховує як локальні, так і глобальні особливості зображення [3,4]. При такому підході для кращого вилучення ознак можна варіювати параметри оператора ЛБШ і число розбиття зображення на підобласті. Класифікація зображення зводиться до порівняння гістограм ЛБШ вхідного зразку з ЛБШ базових зразків.

Для реалізації та дослідження наведених вище методів була розроблено програмне забезпечення на мові програмування Objective-C, відомої також як ObjC або Obj-C. Це компільована об'єктно-орієнтована мова програмування корпорації Apple, побудована на основі мови C і парадигм Smalltalk. Мова використовується для програмування під платформи Mac OS X та iOS. Також була використана бібліотека OpenCV у розробці під iOS у середовищі XCode[13]. OpenCV – de facto найпопулярніша бібліотека комп'ютерного зору. Існують бібліотеки, більш удосконалені по функціональності, наприклад, Halcon. Є бібліотеки більш спеціалізовані, що роблять

акцент на будь-якої конкретній задачі, наприклад, libmv. OpenCV – найбільша бібліотека по широті тематики. Бібліотека розповсюджується за ліцензією BSD, що означає, що її можна вільно і безкоштовно використовувати як у відкритих проектах з відкритим кодом, так і в закритих, комерційних проектах. Бібліотеку не обов'язково копіювати цілком в свій проект, можна використовувати частини коду. Єдина вимога ліцензії – наявність в супроводжуючих матеріалах копії ліцензії OpenCV. Через ліберальності ліцензії бібліотека використовується багатьма компаніями, організаціями, університетами, наприклад, NVidia, Willow Garage, Intel, Google, Stanford University. Компанії NVidia і WillowGarage частково спонсорують її розробку.

Із застосуванням бібліотеки OpenCV було розроблено додаток для платформи iOS для розпізнавання людей по зображенню їх обличчя, який включає 8 класів: три з них це наслідники класу UIViewController (по одному на кожен екран додатку), 2 класи-обгортки для функцій OpenCV, один клас для роботи з базою даних (через фреймворк CoreData) та два entity-класи. UML схема класів розробленого ПЗ наведена нижче.

На рис. 9 наведено вигляд головного екрану ПЗ – екрану камери з результатами розпізнавання зображення. Зліва під видом з камери розміщується назва класу (ім'я особи) до якого було віднесене знайдене обличчя. Справа під видом камери розміщено обчислену відстань між векторами ознак вилучених із знайденого обличчя і вектором ознак, що зберігається у базі даних класифікатору.

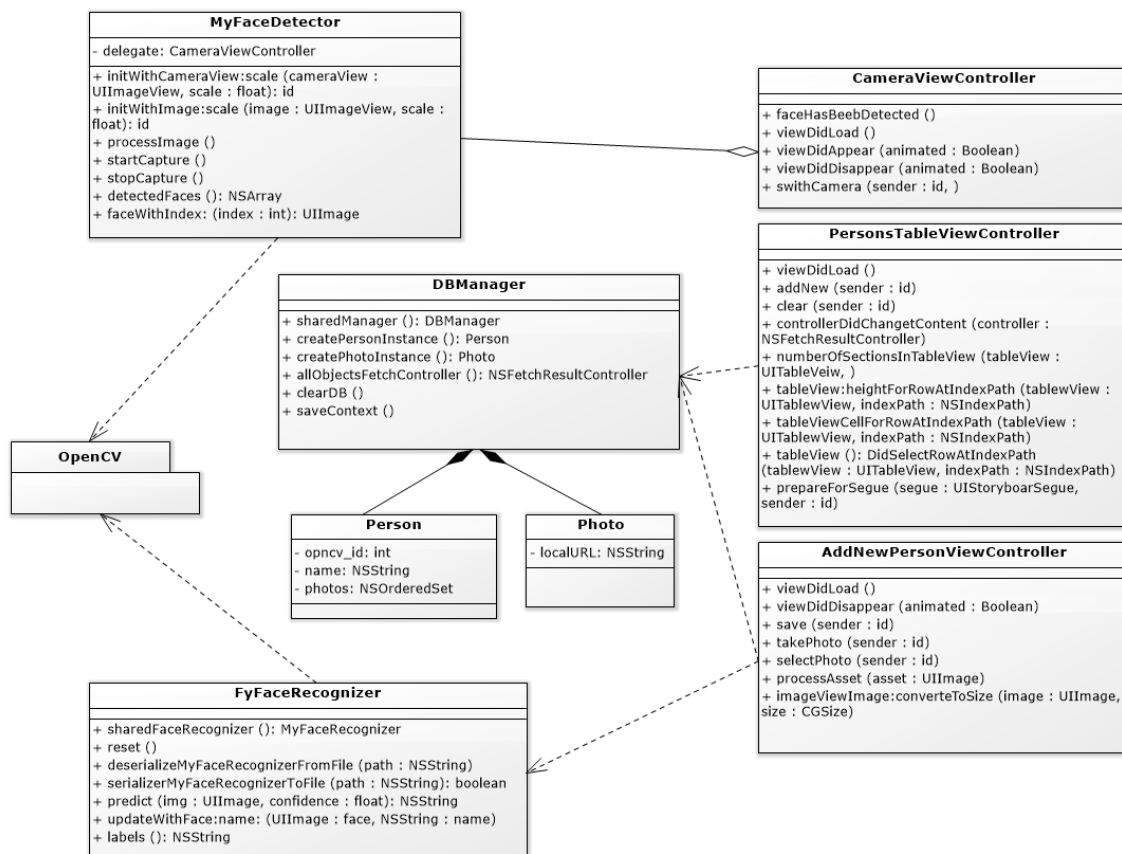


Рис. 8. UML схема класів розробленого додатку

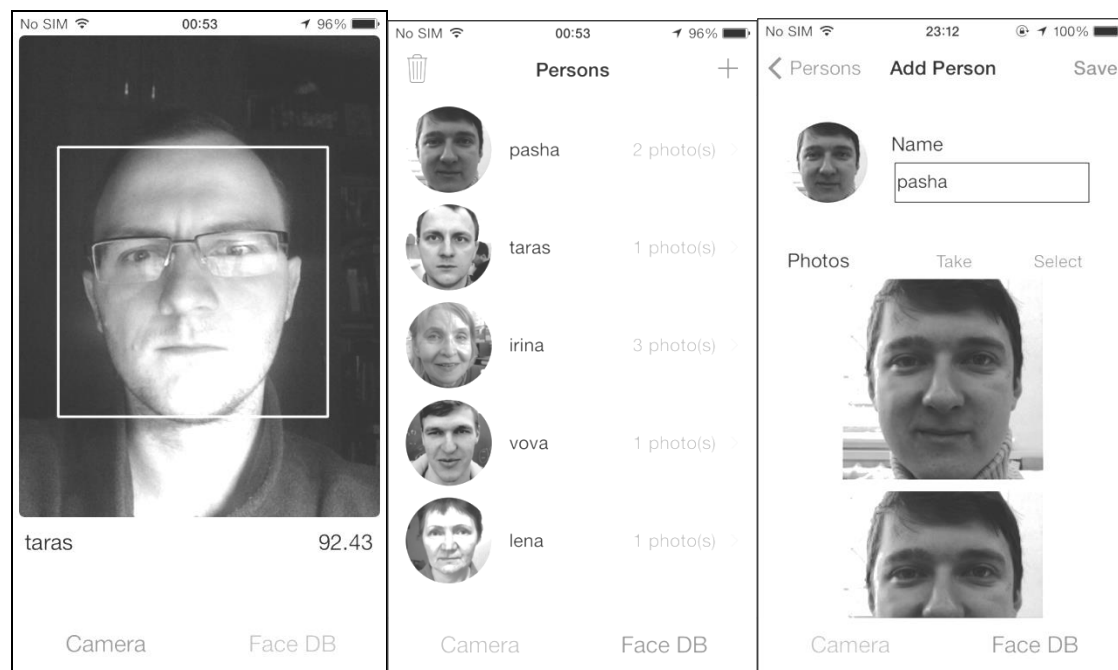


Рис. 9. Результати роботи розробленої інформаційної аналітичної системи розпізнавання облич (результат розпізнавання зразка, база класів, екран додавання нового зразка)

Фотографії можна як вибрати із галереї так і зробити безпосередньо у додатку. При натисненні кнопки Save у базу даних додатку додається новий запис, фотографії зберігаються у папці додатку, а класифікатор поповнюється новими еталонними зразками.

Було проведено дослідження алгоритмів Віолі-Джонса, Eigenfaces та LBPН та порівняно результати їх роботи з роботою перцептрону. Алгоритм Віолі-Джонса показав стабільно гарний результат пошуку об'єктів на зображенні (96%). Алгоритми Eigenfaces та LBPН мають точність розпізнавання близько 85%.

Перцептрон демонструє точність близько 65% навіть при незначному спотворенні вхідного образу і не практичний у використанні через необхідність довгого перенавчання при доданні кожного нового зразку.

**Висновки.** Для розпізнавання обличчя при використанні мобільних технологій найкращі результати показали наступні алгоритми і методи:

- Ознаки Хаара і алгоритм Віоли-Джонса, бустінг;
- Метод головних компонент та алгоритм eigenfaces (власних обличчя);
- Локальний бінарний шаблон (LBPН) та гістограма LBPН.

Було проведено дослідження алгоритмів Віоли-Джонса, Eigenfaces та LBPН. Алгоритм Віоли-Джонса показав стабільно гарний результат результатів пошуку об'єктів на зображенні. Алгоритми Eigenfaces та LBPН мають схожу точність і швидкість роботи. У той же час багатосаровий перцептрон демонструє погані результати навіть при незначному спотворенні вхідного образу

Інструментом для реалізації інформаційно-аналітичної системи для розпізнавання обличчя було обрано бібліотеку OpenCV з відкритим кодом, та мову Objective-C. Із застосуванням бібліотеки OpenCV було розроблено додаток для платформи iOS для розпізнавання людей по зображенню їх обличчя.

## ЛІТЕРАТУРА

1. DeepFace: Closing the Gap to Human-Level Performance in Face Verification [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://research.facebook.com/publications/deepface-closing-the-gap-to-human-level-performance-in-face-verification/>
2. Bruce, V. Human Face Perception and Identification. Face Recognition: From Theory to Applications / V. Bruce, P.J.B. Hancock, A.M. Burton. H. Wechler, P.J. Phillips, F.F. Soulie, T. S. Huang (eds.) – Springer-Verlag, Berlin, 1998. – P. 51–72.
3. C. Shan, S. Gong, P.W. McOwan. Facial expression based on Local Binary Patterns: A comprehensive study. Image and Vision Computing, (27), 2009.
4. Mohammad, A.K. Face Recognition System Based on Principal Component Analysis (PCA) with Back Propagation Neural Networks (BPNN) / A.K. Mohammad, Md. Nasim Akhter, Shamim Ahmed, Md. Mahub Alam // Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision, 2011. – Vol. 2. – Issue 6. – P. 1–10.
5. Ole, H.J. Implementing the Viola-Jones face detection algorithm: Master's thesis / H.J. Ole. – DTU, 2008. 94. OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.kv.by/index2001513402.htm>. Дата звернення: 19.04.2012.
6. ORL Face Databases AT&T (Olivetti) Research Laboratories, Cambridge [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uk.research.att.com/pub/data/orl\\_faces.zip](http://www.uk.research.att.com/pub/data/orl_faces.zip). Дата звернення: 05.01.2016
7. Sochman, J. AdaBoost with totally corrective updates for fast face detection [Електронний ресурс]. / J. Sochman, J. Matas. – Center for Machine Perception, Czech Technical University, Prague, 2004. – Режим доступу: <http://cmp.felk.cvut.cz/~sochmj1/>. Дата звернення: 05.01.2016.
8. Spacek L. Description of the Collection of Facial Images [Електронний ресурс]. / L. Spacek. – 2008. – Режим доступу: <http://cswww.essex.ac.uk/mv/allfaces/index.html>. Дата звернення: 05.01.2016. 107. Stergiopoulou, E. Hand gesture recognition using a neural network shape fitting technique / E. Stergiopoulou, N. Papamarkos // Engineering Applications of Artificial Intelligence 22, 2009. – P.1141–1158.
9. Turk, M.A. Face Recognition Using Eigenfaces / M.A. Turk, A.P. Pentland // In: Proc. IEEE, 1991. – P. 586–591. 114. Vapnik, V. Support-vector networks / V. Vapnik, C. Cortes // Machine Learning, 1995. – Vol. 20. – Issue 3. – P. 273–297.
10. T. Maenpaa. The Local Binary Pattern Approach to Texture Analysis – Extensions and Applications. Oulu University Press, 2003.
11. Viola, P. Fast and Robust Classification Using Symmetric AdaBoost and a Detector Cascade / P. Viola, M. Jones. // In: Proc. Neural Information Processing Systems, Vancouver, 2001. – P. 1311–1318.
12. Viola, P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M.J. Jones // IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, Hawaii, USA, 2001. – V. 1. – P. 511–518.
13. Бовырин, А.В. Введение в разработку мультимедийных приложений с использованием библиотек OpenCV и IPP / А.В. Бовырин, А.В. Сысоев, А.Н. Половинкин, В.Д. Кустикова, В.Л. Ерухимов, В.Н. Писаревский, И.Б. Мееров, И.Д. Лысенков, Н.Ю. Золотых, П.Н. Дружков // Электронная книга.
14. Ole, H.J. Implementing the Viola-Jones face detection algorithm: Master's thesis / H.J. Ole. – DTU, 2008. 94. OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://old.kv.by/index2001513402.htm>. Дата звернення: 19.04.2012.
15. ORL Face Databases AT&T (Olivetti) Research Laboratories, Cambridge [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.uk.research.att.com/pub/data/orl\\_faces.zip](http://www.uk.research.att.com/pub/data/orl_faces.zip). Дата звернення: 05.01.2016.



**Т. В. Левенец,**

**И. А. Кравец,**

Черноморский национальный университет

им. П. Могилы,

г. Николаев, Украина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОБИЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Проведено исследование методов распознавания лиц, пригодных для использования мобильных технологий. Рассмотрены методы Виолы-Джонса, метод главных компонент и Eigenfaces, локальный бинарный шаблон гистограмма (LBPH). Разработано информационно-аналитическое приложение к платформе iOS для распознавания людей по изображению их лиц на языке Objective-C с применением библиотеки OpenCV.*

**Ключевые слова:** распознавание лиц; признаки Хаара; метод Виолы-Джонса; метод главных компонент; собственные лица; eigenfaces; локальный бинарный шаблон; LBPH.

**T. V. Levenets,**

**I. O. Kravets,**

Petro Mohyla Black Sea National University,

Mykolaiv, Ukraine

## **THE ANALYSIS OF FACES' RECOGNITION METHODS SUITABLE FOR MOBILE TECHNOLOGIES**

*The analysis of faces' recognition methods suitable for mobile technology is done. There are examined the Viola-Jones method, the method of principal components and Eigenfaces, the local binary patterns histogram(LBPH). The information analytical application for the iOS platform for faces' recognition is developed. The program's environment is Objective-C and the OpenCV library.*

**Key words:** face detection; Haar features; the Viola-Jones method; principal component method; eigenfaces; local binary patterns histogram; LBPH; computer vision.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **І. І. Коваленко;**

к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Левенець Т. В., Кравець І. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 20.04.16*