

УДК 004.93.1

Анатолій БАБАРИКА

*Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

Євгеній ПРОКОПЕНКО,

*кандидат технічних наук, доцент
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

Юлія БАБІЙ,

*кандидат технічних наук
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗПІЗНАВАННЯ В СИСТЕМІ ОПТИКО- ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

Одним із практичних застосувань теорії розпізнавання образів є задача розпізнавання обличчя, яка включає в себе завдання локалізації обличчя на заданому зображенні та проведення його ідентифікації (за необхідності). У статті досліджуються основні методи та алгоритми розпізнавання обличчя на зображеннях.

Ключові слова: біометрія, ідентифікація, розпізнавання облич, нейронна мережа, метод гнучкого порівняння на графах, приховані

© Бабарика А., Прокопенко Є., Бабій Ю.

Марківські моделі, метод головних компонент, метод Віоли-Джонса, метод порівняння шаблонів.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Необхідно відмітити, що упродовж останніх років Україна послідовно нарощує сили з облаштування та реконструкції державного кордону, формування інтегрованої системи його охорони відповідно до європейських стандартів і створення сприятливих умов для розвитку та використання транзитного потенціалу України. Ураховуючи виклики та загрози прикордонній безпеці: тероризм, торгівля людьми, незаконна міграція та транскордонна злочинність [5], гостро постає питання розвитку та впровадження адекватних заходів протидії. Одним з таких напрямів є застосування біометричних методів ідентифікації осіб за зображенням обличчя та перевірка їх за оперативними базами даних у режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Розробка та удосконалення наявних алгоритмів розпізнавання та ідентифікації особи за зображенням обличчя є одним із найскладніших напрямів біометрії. Постійне зростання інтересу до методу ідентифікації особи за зображенням обличчя спонукає вчених усього світу до розробки нових та удосконалення наявних алгоритмів. Серед останніх найвідоміших розробок [2; 3; 8]: у 2001 році Paul Viola та Michael Jones запропонували алгоритм, що дозволяє виявляти об'єкти на зображеннях у реальному часі, а пізніше такі науковці, як Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг і В. Г. Спицин удосконалили даний алгоритм; у 2010 році науковці компанії Facebook опублікували дослідження з проекту Deep Face, який дозволяє розпізнавати обличчя користувачів соціальної мережі (дана технологія базується на основі нейронних мереж, але деталі проекту є комерційною таємницею).

У Державній прикордонній службі України питаннями розпізнавання образів займалися такі вчені, як Б. В. Євдохович, А. В. Іванов, І. С. Катеринчук, Р. В. Рачок, І. І. Чесановський, О. М. Шинкарук.

Метою статті є проведення дослідження наявних алгоритмів розпізнавання облич на зображеннях та виокремлення їх основних характеристик, переваг і недоліків з метою вибору найоптимальнішого алгоритму відповідно до поставлених завдань, що покладаються на систему оптико-електронного спостереження охорони кордону.

Виклад основного матеріалу дослідження. У сучасній теорії розпізнавання широкого розповсюдження набувають різноманітні методи біометричної ідентифікації особи. Такі методи ґрунтуються на унікальних біометричних особливостях кожної людини. До них відносяться: відбитки пальців, форма долоні, візерунок райдужної оболонки ока, зображення сітківки ока, сітка кровоносних вен на руках, форма вуха тощо. Науковці дослідили навіть метод ідентифікації особи за статевими органами, що правда методика стосується лише чоловічої статі.

Дослідивши методи розпізнавання особи за зображенням обличчя, можна сформулювати такі переваги:

не потрібні дорогі спеціальні камери;

ідентифікацію можливо проводити без фізичного контакту з особою чи навіть приховано.

Використання систем автоматичного розпізнавання облич та ідентифікації особи у сфері охорони державного кордону можливо для вирішення таких задач як ідентифікація осіб, причетних до протиправної діяльності; ідентифікація пред'явника паспортного документа під час перетину Державного кордону України у пунктах пропуску.

Основним проблемним питанням, на вирішення якого орієнтуються науковці під час розробки чи удосконалення наявних алгоритмів розпізнавання облич, є те, що особи можуть змінювати зачіску, носити бороду, вуса, окуляри, одягати шапку, шарф та ін. Також важливими чинниками що утруднюють ідентифікацію особи за зображенням обличчя, є ракурс зйомки фотографії, рівень і напрям освітлення. Також форма обличчя набуває змін з віком людини.

На сьогоднішній день існує багато методик, спрямованих на вирішення питань розпізнавання особи за зображенням обличчя, але

алгоритм вирішення завдання щодо виявлення та ідентифікації особи для всіх методик повинен містити певні етапи [1]:

виявлення та локалізація на зображенні обличчя особи;

нормалізація зображення за масштабом, яскравістю, контрастом та ін.;

обчислення набору ознак зображення;

порівняння обчислених ознак з еталонною базою даних.

Розглянемо найпоширеніші методи розпізнавання обличчя.

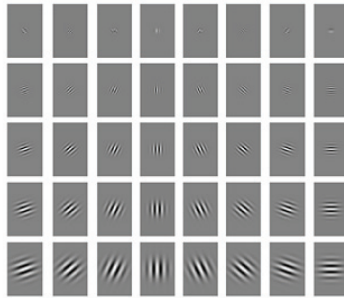


Рис. 1. Набір фільтрів Габора

Метод гнучкого порівняння на графах. Суть методу зводиться до еластичного порівняння графів, що описують зображення обличчя. Обличчя подані у вигляді графів зі зваженими вершинами та ребрами. На етапі розпізнавання один з графів – еталонний – залишається незмінним, у той час як інший деформується з метою найкращої підгонки до першого. У подібних системах розпізнавання графи можуть становити як прямокутну решітку, так і структуру, утворену характерними (антропометричними) точками особи. У вершинах графа обчислюються значення ознак, найчастіше використовують комплексні значення фільтрів Габора або їх упорядкованих наборів (рис. 1) – Габорівський вейвлет (строї Габора), які обчислюються в деякій окремій області вершини графа локальним шляхом згортки значень яскравості пікселів з фільтрами Габора (рис. 2). Деформація графа відбувається шляхом зсуву кожної з його вершин на деяку відстань у певних напрямках щодо її вхідного розташування і вибору такої її позиції, за якої

різниця між значеннями ознак (відгуків фільтрів Габора) у вершині деформованого графа та відповідної їй вершині еталонного графа буде мінімальною.


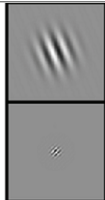
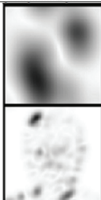
Вхідне зображення	Приклад двох фільтрів Габора	Результат згортки вхідного зображення обличчя та фільтрів Габора
		

Рис. 2. Приклад згортки зображення особи з двома фільтрами Габора

Дана операція виконується по черзі для всіх вершин графа до тих пір, поки не буде досягнута найменша сумарна відмінність між ознаками деформованого й еталонного графів.

Значення цінкової функції під час деформації графа і буде мірою відмінності між вхідним зображенням обличчя та еталонним графом. Дана релаксаційна процедура деформації повинна виконуватися для всіх еталонних осіб, закладених до бази даних системи. Результат розпізнавання системи – еталон з найкращим значенням цінкової функції деформації (рис. 3).



Рис. 3. Приклад деформації графа у вигляді регулярної решітки

В окремих публікаціях [4] вказується 95–97 %, а ефективність розпізнавання навіть за наявності різних емоцій і зміни ракурсу особи до 15°. До недоліків даного методу відноситься висока обчислювальна

складність процедури розпізнавання, а також низька технологічність під час запам'ятовування нових еталонів і лінійна залежність часу роботи від розміру бази комп'ютерного зображення особи.

Нейронні мережі. На даний час існує близько десятка різновидів нейронних мереж. Одним з найбільш широко використовуваних варіантів є мережа, побудована на багат шаровому перцептроні, яка дозволяє класифікувати подане на вхід зображення відповідно до станів попереднього навчання мережі. Навчаються нейронні мережі на наборі навчальних прикладів.

Суть навчання зводиться до налаштування ваг міжнейронних зв'язків у процесі рішення оптимізаційної задачі методом градієнтного спуску. Під час навчання нейронної мережі відбувається автоматичне формування ключових ознак, визначення їх важливості та побудова взаємозв'язків між ними. Передбачається, що навчена нейронна мережа зможе застосувати досвід, отриманий у процесі навчання, на невідомі образи за рахунок узагальнюювальних здібностей (рис. 4).

Найкращі результати в області розпізнавання осіб показала згортоква нейронна мережа, яка є логічним розвитком ідей таких архітектур нейронних мереж, як когнітрон та неокогнітрон [1; 5]. Успіх обумовлений можливістю обліку двовимірної топології зображення, на відміну від багат шарового перцептрона.

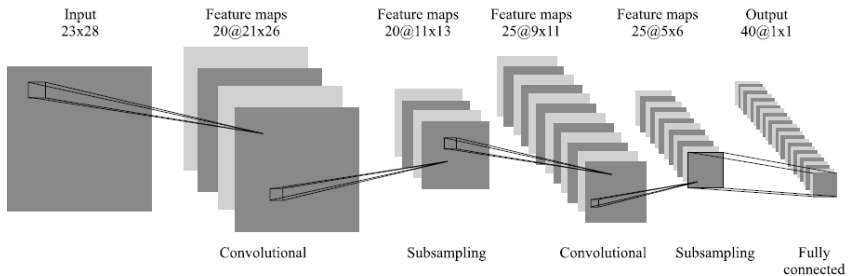


Рис. 4. Схематичне зображення архітектури згорткової нейронної мережі

Свій розвиток згорткові нейронні мережі отримали в розробці DeerFace, яку придбав Facebook для розпізнавання осіб користувачів своєї соцмережі.

До недоліків застосування нейронних мереж у процесі розпізнавання зображень можна віднести таке: додавання нового еталонного зображення особи до бази даних вимагає повного перенавчання мережі на всьому наявному наборі; проблеми математичного характеру, пов'язані з навчанням: потрапляння в локальний оптимум, вибір оптимального кроку оптимізації, перенавчання й т. і.; важко формалізується етап вибору архітектури мережі (кількість нейронів, шарів, характер зв'язків).

Приховані Марківські моделі. Одним зі статистичних методів розпізнавання осіб є приховані Марківські моделі [4] з дискретним часом. Елементами моделі є: безліч прихованих станів, безліч спостережуваних станів, матриця перехідних імовірностей, початкова ймовірність станів. Кожному з них відповідає своя Марківська модель. У процесі розпізнавання об'єкта перевіряються згенеровані для заданої бази об'єктів Марківські моделі та шукається максимальна зі спостережуваних імовірність того, що послідовність спостережень для даного об'єкта згенерована відповідною моделлю.

Недоліки: необхідність підбору параметрів моделі для кожної бази даних; моделі не володіють розрізнявальною здатністю – алгоритм навчання тільки максимізує відгук кожного зображення на свою модель, але не мінімізує відгук на інші моделі.

Метод головних компонент (principal component analysis (далі – PCA). Одним із найбільш відомих і опрацьованих є метод головних компонент, заснований на перетворенні Карунена-Лоева. Основною метою методу [6; 7] є значне зменшення розмірності простору ознак таким чином, щоб якомога краще описувати “типові” образи, що належать безлічі осіб. Використовуючи цей метод, можна виявити різні зміни в навчальній вибірці зображень облич і описати ці зміни в базисі декількох ортогональних векторів, які називаються власними (eigenface). Отриманий один раз на навчальній вибірці зображень облич набір власних векторів використовується для кодування всіх інших зображень осіб, які подаються зваженою комбінацією цих власних векторів. Використовуючи обмежену кількість власних векторів, можна отримати стислу апроксимацію вхідному зображенню особи, яку потім збері-

гають у базі даних у вигляді вектора коефіцієнтів, це і є ключем пошуку в базі даних осіб. Метод головних компонент добре зарекомендував себе в практичних додатках. Однак у тих випадках, коли на зображенні особи присутні значні зміни в освітленості або виразі обличчя, ефективність методу значно падає. Уся справа в тому, що РСА вибирає підпростір таким чином, щоб максимально апроксимувати вхідний набір даних, а не виконати дискримінацію між класами осіб.

Метод Віоли-Джонса. Основу методу Віоли-Джонса складають примітиви Хаара (рис. 5). В оригінальній версії алгоритму використовувалися тільки примітиви без поворотів, а значення ознаки обраховувалось, як проста різниця між сумою яркостей пікселів у різних областях зображення. Пізніше [2; 8] були запропоновані примітиви з нахилом 45° , а також несиметричних конфігурацій. Замість обчислення простої різниці було запропоновано приписувати кожній області зображення певне значення і обчислювати значення ознаки, як зважену суму пікселів різнотипних областей.

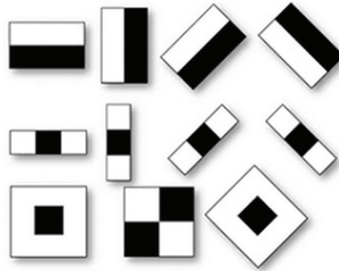


Рис. 5. Набір примітивів для опису об'єктів

Ознаки обчислюються в межах сканувального вікна змінного розміру, що переміщується по зображенню. Зображення у процесі обробки методом Віоли-Джонса зберігається в так званому інтегральному форматі (англ. Summed Area Table – SAT): у кожному пікселі зображення записана сума всіх пікселів лівіше та вище даного.

В алгоритмі Віоли-Джонса використовується так званий бустінг (англ. Boosting) – комплекс методів, що сприяють підвищенню точності аналітичних моделей, або посилення “слабких” моделей. Це

процедура послідовної побудови композиції алгоритмів машинного навчання, коли кожен подальший алгоритм прагне компенсувати недоліки композиції усіх попередніх. У даному випадку застосовується алгоритм бустінга AdaBoost. AdaBoost створює зважену комбінацію “слабких” класифікаторів з метою створення одного “сильного”. “Слабкими” вважаються ті класифікатори, які отримують правильну відповідь не набагато частіше випадкового вгадування, тобто більш ніж в 50 % випадків метод Віолі-Джонса використовує каскадну модель сильних класифікаторів.

Метод порівняння шаблонів (Template Matching). Основа цього методу полягає [3] у виділенні областей обличчя особи на зображенні та подальшому порівнянні цих областей для двох різних зображень. Кожна область, що збіглася, збільшує ступінь тотожності зображень. Для порівняння областей використовуються найпростіші алгоритми на кшталт попиксельного порівняння. Недолік цього методу полягає в тому, що він вимагає багато ресурсів як для зберігання ділянок, так і для їх порівняння. З огляду на те, що використовується найпростіший алгоритм порівняння, зображення повинні бути зняті у строго встановлених умовах: не допускається помітних змін ракурсу, освітлення, емоційного виразу тощо. Точність розпізнавання з використанням даного методу складає приблизно 80 %, що є гарним результатом.

Нейронна мережа Хопфілда. Алгоритм навчання мережі Хопфілда [5] істотно відрізняється від класичних алгоритмів навчання перцептронів тим, що замість послідовного наближення до потрібного стану з обчисленням помилок, усі коефіцієнти вагової матриці розраховуються за однією формулою, за один цикл, після чого мережа відразу готова до роботи.

Обмеження методу: образи, що запам'ятовуються, не повинні бути сильно схожі, зображення не повинно містити сильного зміщення.

Точність розпізнавання з використанням даного методу складає понад 90 %, а в ряді випадків наближається до 100 %, що є майже відмінним результатом [5].

Висновки. Порівнювати між собою якість розпізнавання різних методів достатньо важко, враховуючи, що у більшості випадків ми

можемо оперувати результатами досліджень, наданих різними авторами. А провести великомаштабне дослідження щодо реалізації більшості відомих методик і здійснити їх порівняння на єдиному наборі зображень є надзвичайно трудоміскою задачею. Тому можна зробити висновок, що здійснювати вибір методики для створення системи розпізнавання обличчя та ідентифікації осіб, виходячи лише із цифрових показників якості розпізнавання тієї чи іншої методики є недоцільним.

Проведений аналіз показав, що залежно від умов оперативно-службової діяльності, завдань, що покладаються на систему розпізнавання, на кожному етапі розпізнавання та ідентифікації доцільніше використовувати комбіновані методи, які мають кращі характеристики та нівелюють недоліки розглянутих вище окремих методів.

Список використаної літератури

1. Grother P. Face Recognition Vendor Test (FRVT). Performance of Face Identification Algorithms. / Patrick Grother, Mei Ngan. – Information Access Division National Institute of Standards and Technology. – May 26, 2014 – P. 138.
2. Viola P., Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features / P. Viola, M. J. Jones // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Kaia, Hawaii. – USA, 2001. – Vol. 1. – P. 511–518.
3. Face Recognition [Електронний ресурс] / NIST Subcommittee on Biometrics and Identity Management Room. – 7 August, 2006. – Режим доступу : <http://www.biometrics.gov/documents/>
4. Lades M. Distortion Invariant Object Recognition in the Dynamic Link Architecture. [Електронний ресурс] / Martin Lades, Jan C. Vorbruggen, Joachim Buhmann, Jorg Lange, Christoph v.d. Malsburg, Rolf P. Wurtz, Wolfgang Konen. – IEEE Transactions on Computers, vol. 42, No. 3, March 1993. – Режим доступу : <http://www.cse.psu.edu/~rtc12/CSE597E/papers/objrecLadesMarlsberg93.pdf>
5. Андрощук О. С. Інформаційні технології інтелектуалізації підтримки прийняття рішень у діяльності Державної прикордонної служби України : монографія / О. С. Андрощук. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2011. – 222 с.
6. Коломиец В. Анализ существующих подходов к распознаванию лиц [Електронний ресурс] / В. Коломиец. Блог компании Синезис. – Режим доступу : <http://habrahabr.ru/company/synesis/blog/238129>

7. Мальцев А. Использование каскада Хаара для сравнения изображений [Электронный ресурс] / А. Мальцев. – Режим доступа : <https://habrahabr.ru/post/198338/>

8. Буй Т. Т. Распознавание лиц на основе применения метода Виолы-Джонса, вейвлетспреобразования и метода главных компонент / Известия Томского политехнического университета / Тхи Тху Чанг Буй, Хоанг Фан Нгок, В. Г. Спицын. – № 5. – Том 320.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Андрощук О. С.

Бабарика А., Прокопенко Е., Бабий Ю. Исследование алгоритмов распознавания в системе оптико-электронного наблюдения охраны государственной границы

Одним из практических применений теории распознавания образов является задача распознавания лица, которая включает в себя задачу локализации лица на заданном изображении и проведение идентификации личности (при необходимости). В статье описываются и анализируются основные методы и алгоритмы распознавания лиц на изображениях. Дается краткая характеристика каждому из методов.

Проведенный анализ показал, что в зависимости от условий и задач, которые полагаются на систему распознавания лица и идентификации личности, для каждого этапа распознавания и идентификации целесообразнее использовать комбинированные методы, которые показывают наилучшие характеристики.

Ключевые слова: *биометрия, идентификация, распознавания лиц, нейронная сеть, метод гибкого сравнения на графах, скрытые Марковские модели, метод главных компонент, метод Виолы-Джонса, метод сравнения шаблонов.*

Babaryka A., Prokopenko Y., Babi J. Research recognition algorithms in the optical-electronic system surveillance of the state border

In recent years, around the world there is a growing interest in biometric identification methods people. Widespread these methods have in the area of the state, public and commercial security. One of the methods that is constantly being improved method for image identification face.

The use of automatic face recognition and identification in the area of border possible to solve problems such as the identification of persons involved in illegal activities, identification document holder passport when crossing the state border of Ukraine at checkpoints.

The article describes and analyzes the main methods and algorithms for face recognition in images. A brief description of each of the methods.

Compare the quality of different detection techniques is difficult enough given that in most cases we can handle the research provided by different authors. A big conduct research on the implementation of the majority of known techniques and make comparisons on a single set of images is extremely hard task. We can therefore conclude that the selection exercise techniques to create a system of face recognition and identification of persons on the basis only of the number of quality indicators recognition of a method is inappropriate. As the conditions that influence the choice of methods for solving the problem are the following:

- alleged variety faces (limited number of people faces types: race, vegetation on the face, glasses, etc.);

- focus on face images;

- the resolution and image quality;

- light conditions (fixed known about known any);

- background (fixed, contrasting solid, weak contrast, any);

- system requirements concerning the erroneous recognition (most importantly – do not miss a single person, or minimize the incidence of false triggering).

The analysis showed that depending on the conditions and tasks imposed on the system of recognition for each stage of recognition and identification expedient to use the combined methods that show the best performance and negate the advantage and disadvantages of the above various individual methods.

Keywords: *Biometrics, identification, face recognition, neural network, a flexible method of comparison graph, hidden Markovski model, method of principal, components, method Viola-Jones, method of comparing patterns.*