

УДК 004.93

Т.В. Юр, канд. техн. наук, доц.  
Запорізький національний технічний університет  
jur@zntu.edu.ua

## Аналіз методів розпізнавання облич на зображеннях

У роботі розглядається завдання розпізнавання людських облич на зображеннях. Це завдання є одним з найбільш популярних напрямків теорії розпізнавання образів, що стрімко розвивається. Через ряд проблем, що виникають при розв'язанні завдання розпізнавання облич на зображеннях (несталість візуальних образів через зміни освітлення, масштабів, ракурсів спостереження, виразу обличчя, перекриття іншими об'єктами), так і не було розроблено методів, які працювали би за будь-яких умов. Метою роботи є огляд існуючих методів розпізнавання облич на зображеннях, їх класифікація, аналіз переваг і недоліків, а також виділення напрямку подальших досліджень у даній області.

**Ключові слова:** розпізнавання образів, виділення облич, ідентифікація, виділення ознак, класифікація.

### Вступ

Комп'ютерний зір – це теорія створення машин, які можуть виконувати виявлення, спостереження й класифікацію об'єктів на зображеннях або у відеопотоках.

Завдання розпізнавання людських облич на зображеннях – це одне з перших практичних завдань, яке стимулювало розвиток теорії розпізнавання образів. Незважаючи на безліч досліджень в цій області, які проводяться по усьому світу протягом декількох останніх десятиліть, так і не було розроблено методів, що дозволяють надійно виявляти й розпізнавати обличчя людини за будь-яких умов.

Вагомою проблемою, що стоїть перед системами комп'ютерного зору в області розпізнавання облич, є велика залежність якості результату розпізнавання особи на зображенні від умов освітленості, масштабів, ракурсів спостереження, виразу обличчя, перекриття іншими об'єктами, наявності таких перешкод як окуляри або вуса [1].

Завдання розпізнавання облич складається із двох підзадач: автоматичного виділення обличчя на зображенні (face detection) і за необхідністю ідентифікації персони за обличчям (identification).

Обличчя, що було виділено на зображенні, може бути використане для подальшого аналізу, що включає такі завдання як моделювання обличчя, відстеження й розпізнавання виразу обличчя, розпізнавання статі й віку людини, для верифікації й аутентифікації.

Методи розпізнавання облич знаходять широке застосування в робототехніці, системах відеоспостереження й контролю доступу, в інтерфейсах взаємодії людина-комп'ютер, в індустрії розваг, у криміналістиці тощо.

Завдяки такій практичній популярності розпізнавання облич людей на зображеннях є дуже активною областю досліджень.

Необхідно зауважити, що наразі сучасні алгоритми розпізнавання облич мають досить велику обчислювальну складність, що обумовлює низьку продуктивність їх реалізацій на звичайних процесорах.

Завдяки такій практичній популярності розпізнавання облич людей на зображеннях є дуже активною областю досліджень.

Необхідно зауважити, що наразі сучасні алгоритми розпізнавання облич мають досить велику обчислювальну складність, що обумовлює низьку продуктивність їх реалізацій на звичайних процесорах.

**Метою даної роботи** є огляд методів розпізнавання облич на зображеннях, аналіз їх особливостей, переваг і недоліків, а також виділення напрямків подальших досліджень у даній області.

### Типовий процес розпізнавання облич

Розпізнавання облич належить до задач розпізнавання образів. Такі задачі не мають точного аналітичного розв'язку. Основна ідея розпізнавання обличчя людини полягає у виділенні інформативних ознак на зображенні, кодуванні й порівнянні закодованого обличчя з базою даних.

У самому загальному випадку алгоритм розв'язання завдання розпізнавання обличчя людини на зображенні складається з наступних кроків:

- виявлення факту присутності обличчя людини на зображенні й виділення цього обличчя;
- розпізнавання й опис ключових характеристик обличчя (наприклад, таких як очі, ніс, брови, рот, вуха тощо);

– подання обличчя в деякому просторі ознак (моделювання);  
– порівняння з еталонами й ідентифікація (класифікація).

Виділення обличчя на зображенні – це ключовий етап усіх методів, пов'язаних з аналізом обличчя людей. Його ціль полягає в наступному: визначити чи присутні на довільному зображенні обличчя, і якщо так, то вказати розташування й границі кожного знайденого обличчя [1].

Знайдене в результаті процесу виділення обличчя повинно бути подано у вигляді деякої моделі, яка може бути використана на наступних етапах аналізу.

### **Класифікація методів розпізнавання обличчя**

Розглянемо методи розпізнавання обличчя на статичних двовимірних зображеннях.

Усі методи розпізнавання обличчя за способом подання обличчя можуть бути розділені на наступні 3 класи.

#### **1. Методи зіставлення в цілому.**

Це найбільш широко використовуваний клас методів. Він розглядає всю область обличчя в якості вихідних даних для процесу розпізнавання. Компоненти або сегменти обличчя не розглядаються при цьому окремо. При цьому також не береться до уваги ракурс, з якого розглядається обличчя, і інші атрибути, такі як мімічний вираз.

Першим з даної групи методів і найбільш популярним на даний час став метод власних обличчя (Eigenfaces) [2,6]. Усі методи даної групи будують проєкцію вхідного зображення в деякому підпросторі, використовуючи метод головних компонентів (Principal Component Analysis) [2,3,4], лінійний дискримінантний аналіз (Fisherfaces) [5,6], аналіз незалежних компонентів [7] або вейвлет-перетворення (в основному вейвлети Габора) [8,9].

Головною перевагою методів даного класу є те, що вони не відкидають інформації в зображеннях обличчя, концентруючись тільки на обмежених областях або характерних точках. Однак це ж і обумовлює їхні недоліки: дані методи є обчислювально витратними, вимагають високого ступеня кореляції між тестовим і навчальними зображеннями й не є продуктивними при великій варіації поз, масштабів, освітлення.

#### **2. Методи зіставлення за ознаками або структурні методи.**

Методи даного класу в якості вхідних даних для розпізнавання використовують характеристики виділеного обличчя, його структуру.

У таких методах спочатку в знайденої області обличчя виділяються такі характерні об'єкти як очі, ніс, рот, брови, підборіддя. Потім роз-

раховуються деякі структурні характеристики обличчя (геометричні розміри, їхнє відношення або зовнішні особливості). У такий спосіб вихідне зображення представляється вектором структурних ознак.

Ознаки, які використовуються для розпізнавання, можуть бути різних типів: ключові області, ключові точки або контури [10].

Для даного класу методів великою проблемою є задача відновлення характеристик обличчя, які не можуть бути знайдені на зображенні, як наприклад у випадку, коли частина обличчя прихована [11].

У дану групу входять такі методи як, наприклад:

– гнучкі контурні моделі обличчя [12]: розпізнавання виконується на основі порівняння контурів обличчя для ліній голови, вух, губ, носа, брів і очей;

– порівняння еластичних (таких що деформуються) графів [13]: обличчя представляється у вигляді графа, вершини якого розташовані на ключових точках, таких як контури голови, губ, носа і їх крайніх точках;

– методи, засновані на геометричних характеристиках обличчя [14]: на обличчі виділяється набір ключових точок (або областей), після чого виділяється набір ознак, кожний з яких є або відстанню між ключовими точками, або відношенням таких відстаней (при цьому набір найбільш інформативних ознак виділяється експериментально).

Головною перевагою методів даного класу є те, що вони стійкі до зміни позиції обличчя на вхідному зображенні, інваріантні до розміру, орієнтації й освітлення. Ще однією перевагою є компактність подання зображення обличчя й висока швидкість зіставлення.

Головний недолік таких підходів у складності автоматичного виділення оптимального набору ознак для розпізнавання й велика обчислювальна складність.

#### **3. Гібридні методи.**

Ідея таких методів прийшла з аналогії з людським зором, який розглядає як локальні характеристики обличчя, так і все обличчя в цілому. Цей клас методів використовує комбінацію методів зіставлення в цілому й за ознаками.

Крім того, за підходом до розпізнавання всі методи можуть бути розбиті на дві групи: статистичні й інтелектуальні.

У статистичному підході розпізнавання вхідного зображення виконується шляхом обчислення статистичних порівнянь зразка з еталонними зображеннями в базі даних.

Методи другої групи для розпізнавання або виділення обличчя використовують нейронні мережі, приховані марковські моделі й методи машинного навчання.

## Аналіз методів розпізнавання облич

У даному розділі представлений огляд існуючих методів розпізнавання облич людей. В огляд включалися тільки ті методи, які, на думку автора, є найбільш успішними й широко використовуються в сучасних системах розпізнавання облич людей.

### Метод Віоли-Джонса (Viola-Jones).

На сьогодні метод Віоли-Джонса [15,16] є найбільш популярним методом для пошуку обличчя на зображеннях через його високу швидкість і ефективності.

Цей метод зробив можливим реалізацію виділення обличчя на зображеннях у реальному часі в практичних додатках, таких як, наприклад, цифрові камери й програмне забезпечення для керування фотоальбомами.

Детектор обличчя Віоли-Джонса базується на трьох основних принципах:

- інтегральне подання зображень за ознаками Хаара, яке дозволяє дуже швидко обчислювати необхідні ознаки;
- метод побудови класифікатора на основі алгоритму адаптивного бустинга (AdaBoost);
- метод комбінування класифікаторів у каскадну структуру.

Ці ідеї дозволяють швидко здійснювати пошук обличчя на зображенні в режимі реального часу.

#### Переваги:

- висока швидкість виявлення об'єктів;
- висока ймовірність точного виявлення обличчя (понад 90 %) для фронтальних зображень і спостережень об'єкта під невеликим кутом, приблизно до 30°;
- низька ймовірність помилкового виявлення обличчя.

#### Недоліки:

- дуже великий час навчання;
- при великому куті нахилу голови ймовірність виявлення обличчя різко падає;
- чутливість до умов освітлення.

### Метод власних облич (Eigenfaces).

Метод власних облич [2] використовує аналіз головних компонентів для зменшення розмірності даних без істотної втрати інформації.

Простір власних облич утворюється за допомогою застосування методу головних компонентів до навчальної множини зображень. Потім навчальні зображення проєктують на простір власних облич. Далі тестове зображення проєктується на новий простір і обчислюється відстань між спроєктованим тестовим зображенням і зображеннями з навчального набору. Розпізнаним приймається найближче навчальне зображення.

Також метод головних компонентів застосовується лише для виявлення обличчя на зображенні. Для обличчя значення компонент у влас-

ному просторі мають більші значення, а в доповненні власного простору - близькі до нуля. За цим фактом можна виявити, чи є вхідне зображення обличчям.

#### Переваги:

- при дотриманні ідеалізованих умов точність розпізнавання з використанням даного методу може досягати значення понад 90 %;
- зберігання і пошук зображень у великих базах даних, реконструкція зображень.

#### Недоліки:

- обчислення набору власних векторів виступає високою трудомісткістю;
- зображення повинні бути отримані в близьких умовах освітленості, однаковому ракурсі (вирішується додаванням у навчальну вибірку зображень у різних ракурсах);
- повинна бути проведена якісна попередня обробка, що приводить зображення до стандартних умов;
- відсутність таких перешкод, як окуляри або борода.

### Лінійний дискримінантний аналіз (Fisherfaces).

Лінійний дискримінантний аналіз (дискримінант Фішера) [5,6] використовує таку проєкцію простору зображень на простір ознак, яка групує якнайближче зображення з тим самим обличчям й одночасно віддаляє один від одного зображення з різними обличчями.

Цей метод як і попередній дозволяє скоротити кількість ознак, при цьому суттєво поліпшує кластеризацію образів (відділення друг від друга).

Алгоритм передбачає наявність множини фотографій людей за різних умов освітленості для кожної особи в базі даних.

#### Переваги:

- за рахунок множини фотографій кожної особи алгоритм виходить стійким до змін умов освітленості.

#### Недоліки:

- відсутність інваріантності щодо афінних перетворень.

Це дозволяє збільшити рівень розпізнавання до 99% навіть в умовах, що сильно відрізняються.

### Порівняння шаблонів (Template Matching).

Основа цього методу [17] полягає у виділенні областей обличчя на зображенні і наступному порівнянні цих областей для двох різних зображень. Кожна область, що збіглася, збільшує міру подібності зображень. Для порівняння областей використовуються найпростіші алгоритми як, наприклад, піксельне порівняння.

Недолік цього методу полягає в тому, що він вимагає багато ресурсів як для зберігання ділянок, так і для їхнього порівняння. Через те,

що використовується найпростіший алгоритм порівняння, зображення повинні бути зняті в строго встановлених умовах: не допускається помітних змін ракурсу, освітлення, емоційних виразів та ін.

Точність розпізнавання з використанням даного методу становить близько 80 %, що є гарним результатом.

#### **Алгоритми на основі штучних нейронних мереж.**

Перевагою використання штучних нейронних мереж для виявлення облич є можливість навчання системи для виділення ключових характеристик облич на навчальних вибірках. Нейронні мережі забезпечують можливість одержання класифікатора добре моделюючого складну функцію розподілу зображень облич.

У завданнях класифікації при цьому відбувається неявне виділення ключових ознак усередині мережі, визначення значимості ознак і системи взаємних залежностей між ними.

Серед нейронних мереж для розв'язку завдань розпізнавання образів найчастіше застосовуються багат шарові перцептрони зі зворотним поширенням помилки, мережі з радіально-базисною функцією й згорточні нейронні мережі (Convolutional Neural Networks) [18].

Нейронні мережі можуть бути з успіхом застосовані для виділення облич на зображеннях, і верифікації персони за обличчям. При цьому якість розпізнавання знижується при збільшенні кількості класів, які необхідно передбачити.

Недоліки:

- додавання нового еталонної обличчя в базу даних вимагає повного перенавчання мережі на всьому наявному наборі;
- досить тривала процедура навчання,

- етап вибору архітектури мережі (кількість нейронів, шарів, характер зв'язків) важко формалізується.

#### **Методи колірної сегментації шкіри людини.**

Для локалізації обличчя також застосовуються методи, що використовують колірну сегментацію зображення для виділення ділянок зображення, що мають колір, подібний з кольором шкіри людини [19]. Основною метою таких методів є створення набору правил, які розрізняють «звичайні» піксели зображення й піксели шкіри.

#### **Висновки**

У статті наведено огляд існуючих методів, що використовуються для розпізнавання облич на зображеннях. Технології розпізнавання облич стрімко розвиваються й реалізуються в реальних практичних застосуваннях.

Як можна побачити з наведеного аналізу всі існуючі методи мають свої слабкі сторони й вимагають подальшого розвитку.

Так ознаки Хаара, які використовуються в методі Віюлі-Джонса дуже прості, але ефективні для фронтального виділення облич. Цікавим є напрямок дослідження можливості застосування інших типів вейвлетів для поліпшення роботи методу по детектуванню облич у різних положеннях.

Серед нейронних мереж найбільш обіцяючи показники у згорточних нейронних мереж.

Враховуючи вищевикладене, представляється, що перспективним може бути створення гібридних методів, що використовують переваги й зменшують недоліки розглянутих вище різних підходів.

#### **Список використаної літератури**

1. Yang M.-H. Detecting faces in images: a survey / M.-H. Yang, D.J. Kriegman, N. Ahuja // IEEE Trans. on PAMI. – 2002. – № 24(1). – P. 34–58.
2. Turk M. Eigenfaces for recognition / M. Turk, A. Pentland // Journal of Cognitive Neuroscience. – 1991. – Vol. 13, No. 1. – P. 71–86.
3. Vaswani N. Principal components null space analysis for image and video classification / N. Vaswani, R. Chellappa // IEEE Trans. Image Process. – 2006. – Vol. 15, No. 7. – P. 1816–1830.
4. Suhas S. Face recognition using principal component analysis and linear discriminant analysis on holistic approach in facial images database / S. Suhas, A. Kurhe, Dr.P. Khanale // IOSR Journal of Engineering. – 2012. – Vol. 2, Is. 12. – P. 15-23.
5. Belhumeur P.N. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection / P.N. Belhumeur, J.P. Hespanha, D.J. Kriegman // IEEE Trans. On PAMI. – 1997. – Vol. 19, No. 7. – P. 711–720.
6. Yang M.H. Kernel Eigenfaces vs. Kernel Fisherfaces: face recognition using kernel methods / M.H. Yang // 5th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition. – 2002. – P. 215-220.
7. Bartlett M.S. Face recognition by independent component analysis / M.S. Bartlett, J.R. Movellan, T.J. Sejnowski // IEEE Trans. Neural Netw. – 2002. – Vol.13, No. 6. – P. 1450–1464.
8. Shen L. A review on Gabor wavelets for face recognition / L. Shen, L. Bai // Journal of Pattern Analysis and Applications. – 2006. – Vol. 9, No. 2-3. – P. 273- 292.
9. Imtiaz H. A face recognition scheme using waveletbased dominant features / H. Imtiaz, S.A. Fattah // Signal & Image Processing : An International Journal. – 2011. – Vol.2, No.3. – P. 69-80.
10. Zhao W. Face recognitions literature survey / W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Phillips, A. Rosenfeld // ACM Computing Surveys. – 2003. – Vol. 35, No. 4. – P. 399–458.

11. Bedre J.S. Comparative study of face recognition techniques: a review / J.S. Bedre, S. Sapkal // Emerging Trends in Computer Science and Information Technology. – 2012. – № 1. – P. 12-15.
12. Zheng N. Image coding based on flexible contour model / N. Zheng, S. Wenwei, W. Li // Graphics Vision. – 1999. – No. 1 (8). – P.83-94.
13. Wiskott L. Face recognition by elastic bunch graph matching / L. Wiskott, J.-M. Fellous, N. Kruger, C. von der Malsburg // Intelligent Biometric Techniques in Fingerprint and Face Recognition. – 1999. – Ch. 11. – P. 355-396.
14. Brunelli R. Face recognition through geometrical features / R. Brunelli, T. Poggio // 2<sup>nd</sup> European Conf. on Computer Vision. – 1992. – P. 792-800.
15. Viola P. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features / P. Viola, M. Jones // Proc. of CVPR. – 2001. – Vol.1. – P. 511-518.
16. Viola P. Robust real-time face detection / P. Viola, M.J. Jones // International Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 57, No. 2. – P. 137-154.
17. Perveen N. An overview on template matching methodologies and its applications / N. Perveen, D. Kumar, I. Bhardwaj // International Journal of Research in Computer and Communication Technology. – 2013. – Vol. 2, Is. 10. – P. 988-995.
18. AL-Allaf O.N.A. Review of face detection systems based artificial neural networks algorithms / O.N.A. AL-Allaf // The International Journal of Multimedia & Its Applications. – 2014. – Vol.6, No.1. – P. 1-16.
19. Ghimire D. A Robust Face Detection Method Based on Skin Color and Edges / D. Ghimire, J. Lee // J Inf Process Syst. – 2013. – Vol. 9, No.1. – P. 141-156.

Надійшла до редакції 21.09.2015

#### **T.V. Юр**

Запорожский национальный технический университет

#### **АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

В данной работе рассматривается задача распознавания человеческих лиц на изображениях. Данная задача является одним из наиболее популярных и развивающихся направлений теории распознавания образов. Из-за ряда проблем, возникающих при решении задачи распознавания лиц на изображениях (переменчивость визуальных образов из-за изменений освещения, масштабов, ракурсов наблюдения, выражения лица, перекрытия другими объектами) так и не были разработаны методы, надежно работающие в любых условиях. Целью работы является обзор существующих методов распознавания лиц на изображениях, анализ их достоинств и недостатков, а также выделение направления дальнейших исследований в данной области.

**Ключевые слова:** распознавание образов, выделение лиц, идентификация, выделение признаков, классификация.

#### **T.V. Yur**

Zaporizhzhya National Technical University

#### **ANALYSIS OF METHODS OF FACE RECOGNITION IN IMAGES**

In this paper the problem of recognition of human faces in images is considered. The task of face recognition is one of the most popular and growing areas of pattern recognition theory. Due to a number of problems arising in solving the problem of face recognition on the images (caused by variability of visual patterns) no methods have been developed to work perfectly in all conditions. The quality of the result of face recognition on the image is strongly dependent on the lighting conditions, scales, observation angles, facial expressions, the presence of such interference as glasses or a mustache. The typical process of facial recognition can be divided into the following steps: detection of the fact of the presence of a human face on the image and face allocation, identification and description of key features of the face, representation of a face in a feature space (modeling), comparison with the stored faces and identification (classification). The aim of the work is to review existing methods of face recognition on still images. All methods of facial recognition by the way of face presentation can be classified into 3 groups: holistic methods (matching a whole image), feature matching or structural methods, hybrid methods. Depending on the approach to the recognition all the methods can be divided into two groups: statistical and intelligent (using neural networks and machine learning techniques). This paper analyzes the advantages and disadvantages of the most successful and popular methods used to recognize faces: Viola-Jones method, Eigenfaces based on principal component analysis, Fisherfaces based on linear discriminant analysis, template matching, algorithms based on artificial neural networks and methods of human skin color segmentation. Given the results of the analysis areas for further research are picked out. It is concluded that the perspective may be the creation of hybrid method that uses the advantages and decreases disadvantages of reviewed various methods.

**Keywords:** pattern, recognition, image detection, identification, feature extraction, classification.