

Виділення райдужної оболонки, кутів та форми ока на фронтальному зображенні обличчя

Олексій О. Киргизов, Сергій Є. Редько

Радіофізичний факультет
Дніпропетровський національний університет, Україна
kirgizov@mail.dnu.dp.ua

Анотація

У статті представлений швидкий і стійкий алгоритм виділення радужки, кутів та контуру людського ока на обмеженій області фронтального зображення обличчя. Точне визначення форми ока необхідно для задач розпізнавання та моделювання обличчя. У даній роботі область ока вважається визначеною і вона зверху обмежена районом брови, знизу – щокою, праворуч і ліворуч – переніссям і скронею, у залежності від сторони обличчя. Алгоритм виділення складається з декількох кроків. Спершу, визначається центр зіниці і радіус радужки, далі виділяється склера та визначаються кути ока. Вкінці, на основі визначеної інформації, апроксимується форма ока. Представлений алгоритм призначений для обробки кольорових зображень і дозволяє так само визначити напрямок, куди дивиться людині. Принцип роботи представленого алгоритму заснований на аналізі кольору, яскравості і форми ока.

1. Вступ

Визначення розташування ока важливо для наступного виділення інформаційних ознак обличчя, оскільки, як правило, щодо очей виконується пошук і розрахунок рис розглянутого обличчя. Більшість методів виділення ока використовують твердження, що область ока істотно відрізняється від навколишньої його шкіри по кольоровій складовій та його краї мають гострі кути [1], [2]. У даній статті вважається, що область ока виділена.

Автоматичне виділення ознак ока з фронтального зображення обличчя має широкі області застосування, таких як моделювання, розпізнавання, та анімація обличчя.

Представлений у даній роботі алгоритм виділення ознак ока складається з наступних етапів:

- 1) Визначення центру зіниці ока.
- 2) Виділення рогової оболонки ока.
- 3) Виділення склери ока.
- 4) Визначення кутів ока.
- 5) Виділення та апроксимація контуру ока.

2. Визначення центру зіниці ока

Первинно, зображення представлено в кольоровій моделі RGB. Як показали експерименти, для виявлення центру ока краще перевести зображення з колірної моделі RGB у СМΥК і надалі, для аналізу місця розташування райдужної оболонки, використовувати колірний канал Суан. Дана умова пов'язана з тим, що світло, випромінюване зіницею, містить у Red - каналі найбільшу інтенсивність. Цей факт пов'язаний з фізіологією ока. Оскільки око пронизане кровососними судинами, то відбите від очного дна світло містить червону складову. Виявлення положення зіниці виконується за допомогою пошуку круглої області різкої зміни інтенсивності світлового каналу Суан колірної моделі СМΥК.

Для порівняння приводяться три представлення одного зображення рис.1. Використання Суан каналу колірної моделі СМΥК зберігає різкий контраст між інтенсивностями пікселів райдужної оболонки і її оточення навіть для світлих очей (блакитних, зелених).

З рис.1 можна визначити, що використання Суан каналу для виділення райдужної оболонки дає кращий результат, у порівнянні з використанням Red каналу моделі RGB, оскільки дозволяє зменшити інтенсивність кольору вій і брів за рахунок вирахування значення каналу темного кольору.



Рис.1 Колірне представлення зображення ока. а) модель Gray Level, отримана з RGB; б) Red – канал моделі RGB; в) Суан – канал моделі СМΥК;

Процес переходу з моделі RGB у CMYK відбувається у два етапи:

1) спершу роблять перехід з RGB у CMY:

$$\begin{aligned} C &= 1 - R \\ M &= 1 - G \\ Y &= 1 - B \end{aligned} \quad (1)$$

2) потім переходять з CMY у CMYK:

$$\begin{aligned} K &= \min(C, M, Y) \\ C &= C - K \\ M &= M - K \\ Y &= Y - K \end{aligned} \quad (2)$$

Подальший пошук зіниці і роговиці ґрунтувався на апріорному знанні їхньої форми і кольорі – вони завжди мають круглу форму і на зображенні рис 1.в) представлені як сама темна окружність.

Для відшукування круглих областей темних пікселів, виконується згортка зображення з функцією (3) [3]:

$$W(x, y, c) = \frac{\sin((x^2 + y^2)/c)}{(x^2 + y^2)/c} \quad (3)$$

Параметр c контролює радіус фільтра і вибирається виходячи з наближеного співвідношення розмірів ока. Співвідношення розмірів ока передбачається робити в процесі виділення обличчя й у даній роботі не розглядалося. Як початковий центр зіниці ока береться мінімальне значення результату згортки рис.2.

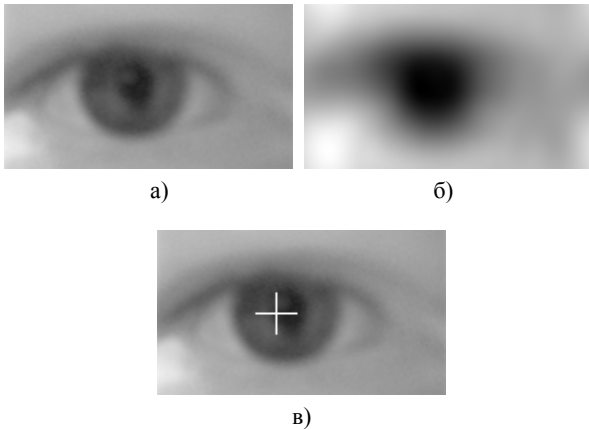


Рис. 2. Попередня оцінка центру зіниці: а) вихідне зображення; б) результат фільтрації; в) попередні координати центру зіниці.

Отримані координати центрів зіниць надалі повинні використовуватися для аналізу масштабу і нахилу зображення обличчя.

3. Виділення роговиці ока

Після попередньої оцінки центру зіниці і роговиці ока, виконується уточнення координат його центру й обчислення його радіусу.

Дана операція проводилася за допомогою представлення зіниці і райдужної оболонки у полярній системі координат рис. 3. Процес переходу растрового

зображення з декартової у полярну систему координат описаний у [4]. Для даного кроку дані представлялися в кольоровій моделі CMYK і для аналізу

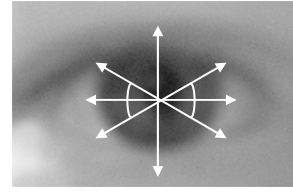


Рис.3. Визначення точних координат центра і радіуса роговиці ока.

використовувався канал Суан. У [5] для пошуку точних координат пропонується розглядати усю окружність роговиці. На наш погляд дане припущення невірне, оскільки, якщо є перекриття віками радужки ока, то воно, як правило, неоднаково. Виходячи з того, що центральна горизонтальна частина ока віками не перекривається нами запропоноване розглядати сектора ока в двох кутових діапазонах: $[-\pi/6, \pi/6]$ і $[\pi5/6, \pi7/6]$.

Пошук точних координат центра зіниці виконується спочатку по горизонталі, а потім - по вертикалі. Центр зіниці по горизонталі вважається знайденим, коли сума пікселів з першого діапазону буде дорівнювати сумі другого. Підсумовування пікселів з діапазонів виконується по кільцях від центра. Як тільки суми з діапазонів почнуть відрізнятися один від одного, необхідно скорегувати горизонтальний центр зіниці у бік меншої суми. Підсумовування припиняється, коли зі збільшенням радіусу сума значень по секторах не змінюється, а середнє значення суми зростає, це ознака переходу за темну границю роговиці ока.

Для визначення центру зіниці по вертикалі роблять підсумовування пікселів з верхніх і нижніх частин секторів. Якщо вертикальна координата центра зіниці буде знаходитися в дійсному центрі, то суми будуть однакові, в іншому випадку – вони будуть відрізнятися. Як і в пункті пошуку горизонтальної координати, робимо переміщення координати центру зіниці у бік меншої суми.

Етапи коректування координат центра зіниці по вертикалі і горизонталі можна робити по черзі доти, поки значення сум не стабілізуються.

Для обчислених координат центра (x_c, y_c) найбільш ймовірним значенням радіуса райдужної оболонки r буде величина, що відповідає максимальному значенню

$$\frac{d}{dr} F_{\Theta}$$

$$F_{\Theta}(x_c, y_c, r) = \int_{\theta \in \Theta} C(x_c + r \cos \theta, y_c + r \sin \theta) \quad (4),$$

де $C(x, y)$ - Суан компонента пікселя (x, y) , Θ - запропонований кутовий діапазон.

Отримані точні координати центрів зіниць використовуються для уточнення масштабу і нахилу зображення обличчя.

4. Виділення склери ока

Після визначення координат центру зіниці і розміру роговиці необхідно виділити склеру ока, яка в подальшому буде використовуватись для апроксимації контуру ока. Вважається, що область склери навколо роговиці однорідна по своїм характеристикам та може бути обмежена верхнім або нижнім віками. Також необхідно зазначити, що склера може бути відсутня справа або зліва, у залежності від напрямку погляду. Будемо вважати, що вище перелічені обмеження присутні.

Для виділення склери навколо ока запропоновано наступний алгоритм:

1) Зображення ока з колірної моделі RGB переводиться у модель CMYK, для подальшого аналізу вибирається колірний канал Magenta і виконується еквалізація його гистограми. Як показали експерименти, у результаті даного колірного перетворення результат найменше залежав від спектра, потужності і виду джерела освітлення обличчя.

2) Виконується виділення кільця навколо роговиці, його ширина приймається як третина радіуса роговиці. Вважається, що у частині або частинах кільця даних знаходиться склера ока, а у інших – віко рис.4. Для виділення оточуючу роговицю ока склеру, необхідно знати його характеристику. Для цього в кільці даних вибираються найбільш яскраві та однорідні за своїми статистичними характеристиками ділянки.

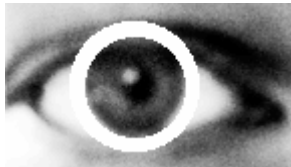


Рис 4. Виділення кільця даних навколо роговиці.

3) Подальше виділення склери відбувається як розширення виділених областей до границі, що проходить по локальному мінімуму яскравості в області границі ока рис.5. Щоб понизити помилку виділення локальних мінімумів, перед їхнім пошуком проводилася низькочастотна фільтрація зображення.

На рис.6 представлені результати виділення склери ока. Контур виділених областей у подальшому буде використовуватись для апроксимації форми ока.

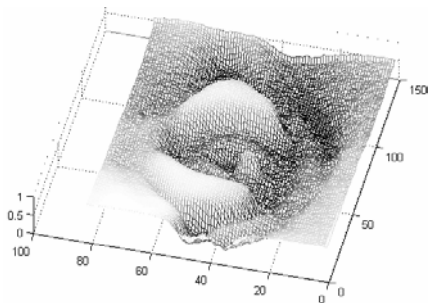


Рис. 5. Локальні мінімуми, як границя склери.



Рис 6. Виділена область склери.

5. Визначення кутів ока.

При аналізі форми ока, та визначенні напрямку, куди дивиться людина, важливим являється визначення кутів ока та розташування відносно них роговиці. Саме взаємне розташування кутів та радужки є суттєвим для аналізу, оскільки положення вік з часом змінюється, а форма та орієнтація кутів є стабільною для більшості випадків.

На основі вищезазначені властивості очей та роботи [6], для визначення місць положення кутів ока запропонований наступний алгоритм:

1) Враховуючи виділену склеру, координати та розмір роговиці, визначаємо регіони можливого знаходження та розміри кутів очей. Кути можуть знаходитись у регіонах починаючи від половини радіусу райдужної оболонки у відповідному напрямку. Регіони обмежені координатами, що визначаються як крайні координати з виділеної склери та райдужної оболонки.

2) Виконуємо двовимірну згортку визначених регіонів зі збільшеними до оціненого розміру шаблонними функціями пошуку лівого та правого кутів рис.7. Перед виконанням операції згортки сума елементів шаблонних функцій нормалізується до нуля. Нульове середнє значення дозволяє визначити саме форму кута, без врахування значень яскравості зображення.

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ \text{а)} & \text{б)} \end{matrix}$$

Рис. 7. Функції згортки для пошуку кутів ока а) лівого; б) правого.

3) Найвірогіднішими координатами кутів ока будуть відповідні координати максимумів на результаті згортки. На рис. 8 представлений результат згортки для пошуку правого кута ока.

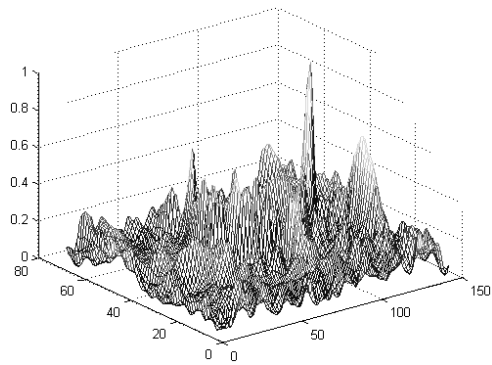


Рис. 8. Результат згортки при пошуку кута ока.

Результат запропонованого алгоритму виділення кутів очей представлений на рис. 9. Як видно, даний метод робе вірно виділення навіть при відсутності склери у кутку ока.

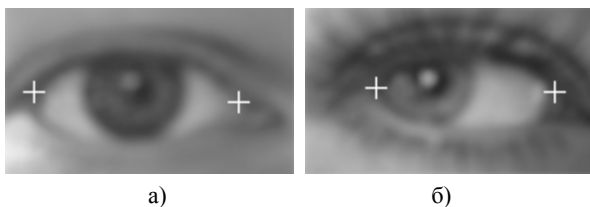


Рис.9. Результат виділення кутів очей з різними поглядами: а)погляд прямо; б) погляд праворуч;

6. Виділення та апроксимація контуру ока

З огляду на той факт, що криву кожного віка можна представити як частину окружності, нами запропоновано апроксимувати криві параболами (5), що проходять по верхніх і нижніх границях області виділеної склери ока та через виділені кути очей рис.10, а).

$$\begin{aligned} y_1 &= a_1(x - b_1)^2 + c_2 \\ y_2 &= a_2(x - b_2)^2 + c_2 \end{aligned} \quad (5)$$

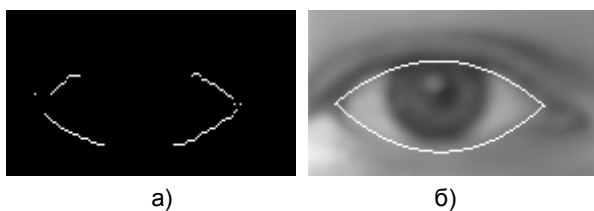


Рис.10. Результат виділення а) та апроксимації б) контурів ока.

Початкові умови для параметрів апроксимуючих парабол вибираються на основі попередньої обробки зображення ока: параметр a - повинний вибиратися таким, щоб ширина параболи відповідала умовній ширині ока, для верхнього віка параметр негативний, для нижнього - позитивний; параметр b - вибирається відповідно координаті центра зіниці по горизонталі; параметр c - дорівнює координатам крайній верхній і нижній крапкам виділеної навколо роговиці області.

Апроксимація виконується методом найменших квадратів. Отримані шість параметрів можна використовувати для чисельного опису форми ока.

Необхідно відзначити, що апроксимацію за допомогою парабол роблять тільки у випадку нормалізованого зображення обличчя по куту і масштабу. Нормалізацію обличчя передбачається робити по відстані між очима та їх взаємного розташування.

7. Висновки

Серед усіх ознак обличчя очі грають найголовнішу роль, оскільки відносно них проводяться операції масштабування та визначення кута нахилу голови.

У даній статті представлені алгоритми виділення райдужної оболонки, кутів та форми ока. Визначення центру зіниці та виділення роговиці ока досягається за рахунок розгляду даних у полярній системі координат. Виділення склери ока проводиться за статистичними характеристиками. Розташування кутів ока знаходиться за допомогою шаблонних функцій. Апроксимація контуру ока проводиться двома параболами.

Описані алгоритми обробки зображення очей є частиною майбутньої системи автоматичного аналізу зображення обличчя. До алгоритмів висувались вимоги стабільності, точності та швидкодії, оскільки передбачається їх використання у системі реального часу.

8. Література

- [1] Wang J.-G., Sung E., Venkateswarlu R. "Eye Gaze Estimation from a Single Image of One Eye", Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, Volume 2, 2003
- [2] Lam K.-M., Yan H. "Locating and extracting the eye in human face images" Pattern recognition, Vol. 29, No. 5, pp. 771-779, 1996
- [3] Tsekeridou S., Pitas I. Facial feature extraction in frontal views using biometric analogies. In *Proceedings of the IX European Signal Processing Conference*, vol. 1, 315–318. 1998
- [4] Ахметшин А.М., Киргизов А.А. "Нейросетевая класификация текстурных изображений на основе инвариантных дескрипторов преобразования Фурье-Меллина". Днепропетровск, сборник научных трудов НГУ № 14, Том 2, с.170-177, 2002.
- [5] Camus T., Wildes R. "Reliable and Fast Eye Finding in Close-up Images." In Proceedings of the IEEE International Conference on Pattern Recognition, 389-394, 2002.
- [6] Zhu J., Yang J.. "Subpixel Eye Gaze Tracking" *Proceedings of FG '02*, May, 2002