

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗТАШУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ОБЛИЧЧЯ НА ФОТОЗНІМКУ

Національний авіаційний університет

Проаналізовано моделі обличчя, які складаються з різних конфігурацій контрольних точок. Виявлено, що на сьогодні не побудовано єдиної моделі, яка б найбільш повно описувала обличчя та розташування окремих його компонентів і спрощувала б їх розпізнавання. Запропоновано алгоритм побудови математичної моделі обличчя, яка складається з областей можливого розташування контрольних точок, що дозволить обчислити імовірність належності точок з цих областей до границь обличчя та його компонентів

Вступ

Розпізнавання образів та інтерпретація, що базується на знаннях – одна з найважливіших задач штучного інтелекту. Як впливає з аналізу галузі штучного інтелекту і машинного зору, важливою частиною вирішення задачі розпізнавання образів є задача побудови їх моделей. Внаслідок швидкого розвитку технологій створення апаратного та програмного забезпечення, в комп'ютерній графіці і розпізнаванні образів були зроблені спроби реалізувати автоматичну побудову моделей об'єктів, які потрібно розпізнавати. Це також було зроблено і для облич людей шляхом моделювання сітки людського обличчя по відео чи фотознімках, які містять зображення особи. У рамках цих технологій, зображення облич осіб, за якими ведеться спостереження, порівнюються із зображеннями облич, що зберігаються в базі еталонів системи розпізнавання осіб. Для такого порівняння дуже важливо знати точні характеристики облич, положення осей симетрії обличчя і головне – антропометричних точок, за якими будуються моделі облич. Під антропометричними точками обличчя людини розуміються такі точки, які найбільш яскраво характеризують пропорції рис обличчя. Такими точками, наприклад, є кутики очей або губ, кінчик носа і т.д. У більшості випадків знаходження антропометричних точок є необхідним, але допоміжним етапом роботи більш складних алгоритмів і систем комп'ютерного зору, таких як ідентифікація або класифікація людини по зображенню обличчя, систем віртуальної реальності, систем технічного зору та інших. Технології розпізнавання осіб за зображенням обличчя є особливо привабливими, оскільки розпізнавання людей і спостереження за ними можна проводити "на відстані" – непомітно для людини і не вимагаючи від неї якихось дій.

Сьогодні існує велика кількість застосувань, в яких використовуються алгоритми розпізнавання облич, що базуються на побудові точко-

вих моделей об'єктів розпізнавання, але більшість сучасних автоматизованих систем не здатні забезпечити задовільну імовірність правильного розпізнавання через велику кількість можливих змін у поданні зображень обличчя і подібність рис облич різних осіб.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показав, що контрольні точки обличчя можуть обиратись різним чином, в залежності від алгоритму, за яким будується модель обличчя. Алгоритми можуть бути різної складності та швидкодії, але всі вони знаходять скінченну кількість ідентифікаційних точок на обличчі та його елементах.

В [1] модель обличчя (модельний граф) будується вручну за допомогою відмітки мишею контрольних точок на зображенні обличчя і має наступний вигляд (рис. 1)



Рис. 1. Точкова модель обличчя, побудована вручну

В [2] модель будується за алгоритмом "єдиного портрету". В цьому алгоритмі є дві стадії: стадія навчання і стадія роботи. На стадії навчання спочатку фіксується набір цікавлячих нас контрольних точок (саме цей етап визначає якість алгоритму розпізнавання), а потім для кожного зображення з колекції вказується, де знаходиться кожна з них, і обчислюється значення 40 фільтрів Габора в цих точках. Вектор, що складається з 40 значень фільтрів

Габора, обчислених в конкретній точці, називається джетом цієї точки. Після цього потрібно усереднити відстані між контрольними точками і усереднити джети. В результаті цього, ми отримуємо деякий граф, в якому вершинам відповідають контрольні точки, а довжини ребер дорівнюють середнім відстаням між даними контрольними точками. Крім того, в кожній вершині зберігається один середній джет. Отриманий таким чином граф називається "єдиним портретом" (рис. 2).

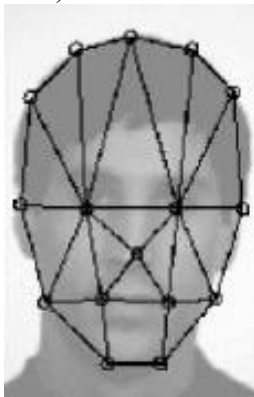


Рис. 2. Точкова модель обличчя, побудована за алгоритмом "єдиного портрету"

На стадії роботи після отримання на вхід нового обличчя шукається положення контрольних точок. Для кожної контрольної точки відомий її джет. Потрібно знайти такий вектор точок, щоб джет кожної точки вектора був якомога ближче до джету відповідної контрольної точки. При цьому потрібно також, щоб відстані між обраними точками були як можна більше пропорційні довжинам ребер графа "єдиного портрета". Тому далі в алгоритмі вводиться функція від вектору набору точок, і потім знаходиться такий вектор, на якому досягається мінімальне значення введеної функції. Даний вектор буде шуканим набором контрольних точок для поданого зображення.

В [3] виконується побудова точкової моделі обличчя, ґрунтуючись на криміналістичній практиці, згідно з якою необхідно виділити близько 30 особливих точок на зображенні обличчя людини для правильного його розпізнавання. Ці точки повинні бути максимально стійкими до невеликих змін зображення (ракурс, освітлення, міміка,

косметика, вікові зміни і т.п.). Але у процесі експериментів в джерелі [3] було відібрано дев'ятнадцять особливих точок, які є необхідними та достатніми для побудови моделі обличчя особи. Ці точки показані на рис. 3

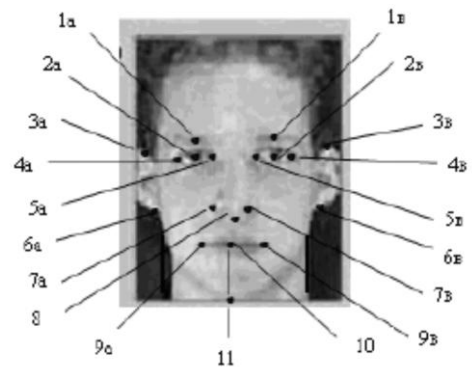


Рис. 3. Одна з можливих конфігурацій розташування контрольних точок обличчя

Як впливає з рис. 3, ідентифікаційні точки позначені наступним чином: центр брови (1а і 1в); центр зіниці (2а і 2в); верхні крайні точки вух (3а і 3в); правий кут правого ока (4а); лівий кут лівого ока (4в); лівий кут правого ока (5а); правий кут лівого ока (5в); нижні точки закінчення мочок вух (6а і 6в); крайні точки носа по горизонталі (7а і 7в); кінчик носа (8), який визначається як центральна точка між носовими отворами; кутки рота (9а і 9в); центр рота (10) як точка перетину лінії, що розділяє верхню і нижню губу об'єкта, і перпендикуляра, опущеного з точки, яка визначає кінець носа об'єкта; кінець підборіддя (11).

Постановка задачі

Як видно з аналізу останніх досліджень та публікацій, на сьогодні не існує єдиної моделі, яка б найбільш точно описувала обличчя та розташування окремих його компонентів. Існуючі моделі лише дозволяють прискорити процес розпізнавання зображення завдяки пошуку ідентифікаційних точок за допомогою спеціальних алгоритмів та обчислення відстаней між точками. Якщо для кожної ідентифікаційної точки буде відома прямокутна область, в межах якої вона може знаходитись, то це спростить та прискорить процес розпізнавання зображення обличчя та виділення окремих його компонентів. Далі така область буде називатися мінімаксною, оскільки координатами її є мінімальні та максимальні значення координат x , y ідентифікаційних точок. Тобто всі можливі положення цих точок знаходяться всередині цієї області. Задачею, яку потрібно розв'язати, є виділення мінімаксної області та знаходження імовірності належності кожної точки з неї до границі елемента обличчя. Побудована таким чином модель буде вміщувати в себе інформацію про границі розташування кожної ідентифікаційної точки обличчя на його зображенні, а також дасть можливість оцінити імовірність існування облич та їх елементів певного розміру.

Розв'язання задачі

Для розв'язання поставленої задачі потрібно мати навчальну вибірку облич, на основі якої можна буде побудувати узагальнену математичну модель для опису розташування окремих компонентів обличчя. Зображення кожного обличчя перетворюється таким чином, щоб його висота дорівнювала 1. Навколо обличчя описується одиничний квадрат, висота якого дорівнює відстані від найвищої точки лоба до кінця підборіддя і вона приймається рівною 1. Ширина обличчя буде змінена пропорційно до його висоти. В процесі побудови моделі вона буде різною, але завжди буде менше 1. Кожне обличчя, яке є в навчальній вибірці, центрується по горизонталі в одиничному квадраті. Для кожного обличчя в навчальній вибірці визначається його ширина, що дозволить знайти найменшу та найбільшу можливу ширину обличчя. Це дасть можливість узагальнити його математичну модель за співвідношенням висоти та ширини обличчя (рис. 4)

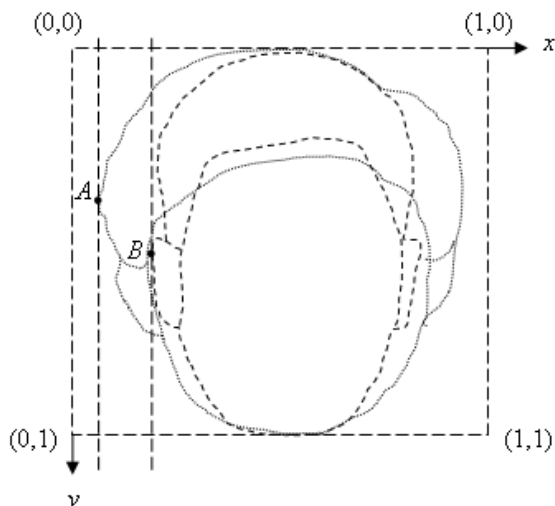


Рис. 4. Обличчя з максимальною та мінімальною шириною, вписані в одиничний квадрат

Як видно з рис. 4, обличчя з точковим контуром має найбільшу ширину, а з пунктирним – найменшу. В навчальній вибірці, яка використовувалась для побудови моделі, точки A і B означають крайню ліву точку контуру обличчя за максимальною та мінімальною шириною відповідно. Вони мають координати $A(0,06; 0,366)$ та $B(0,184; 0,533)$ і утворюють собою мінімаксну область, оскільки займають крайнє ліве положення на відповідному їм екземплярі зображення обличчя. Для взятої навчальної вибірки найширше обличчя має ширину 0,88, а найвужче – 0,632, хоча для іншої множини облич ці значення можуть відрізнитися від отриманих. Окрім контурів обличчя, мінімаксна область знаходиться також і для інших контроль

них точок компонентів обличчя, таких як ніс, рот та обидва ока. Зрозуміло, що ця інформація не є достатньою для побудови його моделі, оскільки наприклад найширший екземпляр якого-небудь компонента обличчя може значно відрізнитися від усіх інших, що спотворює модель та заважає подальшому розпізнаванню зображення. Те ж саме можна сказати і про найвужчий. Тому має сенс розробити алгоритм, який за заданими координатами x та y повертає ймовірність належності точки з мінімаксної області до границі відповідного їй компонента. Для всіх інших точок (які не належать мінімаксній області) алгоритм повинен повертати 0.

Нехай мінімаксна область має координати $A(x_1, y_1)$ та $B(x_2, y_2)$ і множину точок, які належать їй та границі обличчя або його елементу (рис. 5)

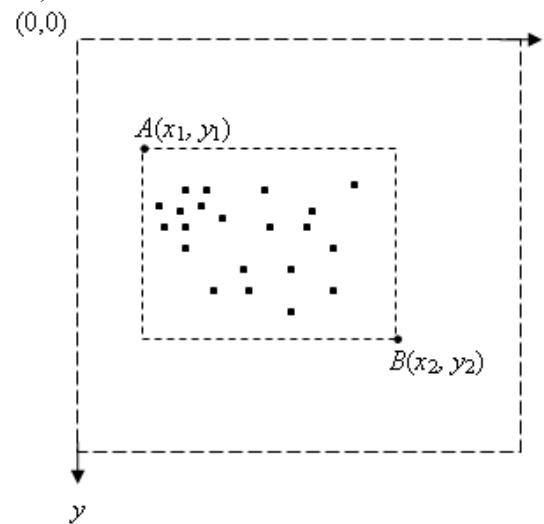


Рис. 5. Мінімаксна область та множина точок в ній

Оскільки зображення обличчя знаходиться на піксельній сітці, то точка на рисунку 5 – це насправді прямокутник, який має певну площу (позначимо її за S_p) і ширину та висоту (позначимо їх за N_p і M_p). Якщо з мінімаксної області виділити будь-яку прямокутну під-область, то ймовірність належності точки з неї до границі зображення обличчя буде наступною

$$P(x_{s1}, y_{s1}, x_{s2}, y_{s2}) = kS_p \times \frac{1}{(x_{s2} - x_{s1} + N_p)(y_{s2} - y_{s1} + M_p)},$$

де $x_{s1}, y_{s1}, x_{s2}, y_{s2}$ – координати під-області, k – кількість точок в ній. Оскільки для різних під-областей ймовірність належності однієї й тієї ж точки до границі буде різною, то має сенс знайти середнє значення цієї ймовірності. Припустимо, що для кожної точки області $A'(x_1, y_1)B'(x_2 - N_p, y_2 - M_p)$ відома ймовірність належності її до границі обличчя або його елементу. Тоді середня ймовірність належності точки

(i, j) для області $A(x_1, y_1) B(x_2, y_2)$ буде обчислюватись як

$$\begin{aligned} \bar{P}_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2) &= \Delta K S_p \times \\ &\times \frac{1}{(x_2 - x_1 + N_p)(y_2 - y_1 + M_p)} + \\ &+ \frac{C_{ij}(x_2 - N_p, y_2 - M_p)}{(x_2 - x_1 + N_p)(y_2 - y_1 + M_p)} + \\ &+ \frac{C_{ij}(x_2, y_2 - M_p)}{(x_2 - x_1 + N_p)(y_2 - y_1 + M_p)} + \\ &+ \frac{C_{ij}(x_2 - N_p, y_2)}{(x_2 - x_1 + N_p)(y_2 - y_1 + M_p)} \end{aligned}$$

де ΔK – кількість точок, в яких координата x або y є максимальною для їх під-області

В попередній формулі C_{ij} – означає площу, яку займають точки з відповідної під-області. Вони визначаються за наступними формулами

$$\begin{aligned} C_{ij}(x_2 - N_p, y_2 - M_p) &= (x_2 - x_1)(y_2 - y_1) \times \\ &\times \bar{P}_{ij}(x_1, y_1, x_2 - N_p, y_2 - M_p) \\ C_{ij}(x_2, y_2 - M_p) &= (x_2 - x_1 + N_p)(y_2 - y_1) \times \\ &\times \bar{P}_{ij}(x_1, y_1, x_2, y_2 - M_p) \\ C_{ij}(x_2 - N_p, y_2) &= (y_2 - y_1 + M_p)(y_2 - y_1) \times \\ &\times \bar{P}_{ij}(x_1, y_1, x_2 - N_p, y_2) \end{aligned}$$

Попередня формула є рекурентною і при $x_1 = x_2, y_1 = y_2$ та $i = 1, j = 1$ обчислюється наступним чином

$$\bar{P}_{11}(x_1, y_1, x_2, y_2) = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q P(x_1, y_1, x_2, y_2),$$

де q – кількість зображень в навчальній вибірці, а імовірність $P(x_1, y_1, x_2, y_2)$ може набувати значення 1 або 0 в залежності від того, чи проходить границя через точку (x_1, y_1) . Якщо проходить, то $P(x_1, y_1, x_2, y_2) = 1$, інакше $P(x_1, y_1, x_2, y_2) = 0$.

Обчисливши таким чином проміжні імовірності в рекурентній формулі, отримуємо імовірність належності кожної точки з мінімаксної області до границі обличчя чи його елемента. Побудована в результаті роботи алгоритму модель містить в собі не сітку ідентифікаційних точок обличчя, а сітку мінімаксних областей, в межах яких можуть знаходитися такі точки. Вона показана на рис. 6

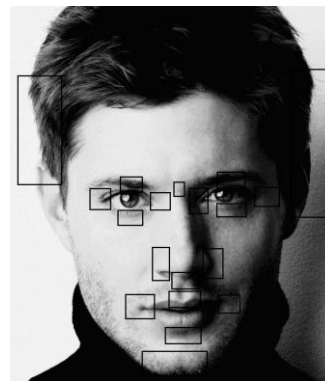


Рис. 6. Мінімаксні області для різних елементів обличчя

В побудованій моделі для точок з кожної мінімаксної області відомі значення імовірності проходження через неї границі обличчя або границі його елемента. Якщо таку модель використовувати в алгоритмі пошуку ідентифікаційних точок обличчя, то це дозволить прискорити його роботу, а також дасть можливість визначити імовірність існування елементів обличчя наперед заданого розміру.

Висновки

Отже, в даній статті виконано аналіз моделей обличчя, які складаються з різних конфігурацій контрольних точок. Незважаючи на те, що існує багато варіантів точкових моделей облич, на сьогодні ще не побудовано єдиної моделі, яка б найбільш повно описувала обличчя та розташування окремих його компонентів і спрощувала б їх розпізнавання. В даній статті запропоновано алгоритм побудови математичної моделі, яка складається не просто з характерних точок окремих елементів обличчя, а з мінімаксних областей, точки яких з певною імовірністю можуть належати до границь елементів. Побудована таким чином математична модель буде містити інформацію про розташування кожного компонента обличчя на його зображенні, а також дозволить оцінити імовірність існування облич з наперед заданими значеннями їх параметрів.

Список літератури

1. Конушин А. Распознавание и анализ лиц. / Конушин А. – Microsoft Research, 2011 г. – 74 с.
2. Лифшиц Ю. Современные задачи теоретической информатики / Ю. Лифшиц. – Изд: ИТМО, 2005 г. – 56 с. 93'1
- Волошин М.В. Моделі опису об'єкта та достовірність ідентифікації в системах комп'ютерного зору / М.В. Волошин. – ЧДТУ, 2010. – 8 с.