

УДК 615.47: 616-072.7

*Романюк¹ О.Н. д-р, техн. наук, проф., Пивовар¹ М.А.,
Перун² І.В., Чехмestрук² Р.Ю.*

¹Вінницький національний технічний університет

²ТОВ «ЗД Джeнерейшн Юей»

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ ОСІ ДЗЕРКАЛЬНОЇ СИМЕТРІЇ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ

Під час аналізу бінарних зображень у задачах комп'ютерного діагностування важливу роль відіграє дзеркальна (осьова) симетрія. Очевидно, що реальні зображення обличчя практично ніколи не бувають ідеально симетричними, тому виникає задача високопродуктивного та ефективного пошуку наближеної симетрії з подальшою оцінкою ступеня симетричності зображення.

У роботі проаналізовано найпоширеніші методи визначення симетрії обличчя.

Епіфанцев Б. Н. та Архіпов А. А. [1] пропонують метод пошуку осі симетрії обличчя людини на базі ключових точок, який є оптимізацією алгоритму, запропонованого Й. Лі та К. Шмідтом [2]. Згідно нього, спочатку, виконується пошук ключових точок, а саме – зовнішніх і внутрішніх кутів очей людини та підносогового жолобка (philtrum) (рис. 1).



Рис. 1. Ключові точки для визначення осі симетрії

Потім, через внутрішні ключові точки проводиться пряма і виконується операція нормалізації зображення відносно нахилу голови шляхом повороту зображення на кут α , який є кутом між прямою між внутрішніми ключовими точками та віссю абсцис. Після цього, через середину відрізка, який з'єднує ключові точки, проводиться попередня лінія симетрії, для якої обраховується коефіцієнт симетрії за такою формулою:

$$r = \frac{\sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^N [B_{\mu}(-x_{\mu}, y_{\pi}) - \bar{B}_{\mu}] [B_{\mu}(x_{\mu}, y_{\pi}) - \bar{B}_{\mu}]}{\sqrt{\left\{ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^N [B_{\mu}(-x_{\mu}, y_{\pi}) - \bar{B}_{\mu}]^2 \right\} \left\{ \sum_{\mu=1}^M \sum_{\pi=1}^N [B_{\mu}(x_{\mu}, y_{\pi}) - \bar{B}_{\mu}]^2 \right\}}}$$

де $B_{\mu}((-x_{\mu}, y_{\pi}), B_{\mu}((-x_{\mu}, y_{\pi})$ – матриці значень інтенсивності пікселів лівої та правої частин зображення лица; $M = x_{\mu}/\Delta x$, $N = 3x_{\mu}/\Delta y$ – кількість пікселів на кожній з них; Δx , Δy – інтервали дискретизації по відповідним осям; \bar{B}_{μ} , \bar{B}_{π} – середнє значення інтенсивності порівнюваних зображень.

Після цього, початкова лінія симетрії поступово зміщується на k пікселів у кожную сторону і при кожному зміщенні обраховується поточний коефіцієнт симетрії. Максимальне значення r буде відповідати знайденій осі симетрії зображення. Швидкодія цього алгоритму залежить від розмірів інтервалів дискретизації.

Алгоритм визначення симетрії, запропонований Журавською О. В. [3], передбачає виконання таких дій. На вхід приймається послідовність чисел, які описують контур фігури. На виході отримують координати точки на контурі, яка знаходиться на одній з можливих осей симетрії, та кут нахилу цієї осі до осі абсцис.

Для кожної точки контуру обчислюється коефіцієнт дискретного перетворення Фур'є (ДФФ) за такою формулою (l – номер пікселя, p – кількість позицій, на яку зсувається контур):

$$f_l^p = \exp\left(i * \frac{2\pi}{N} * l * p\right), \quad l = \overline{0, N-1}.$$

Після цього обраховується кут нахилу осі симетрії та величина середнього квадратичного відхилення коефіцієнтів Фур'є від цієї осі за формулою

$$Q(p) = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N-1} \text{Im}(f_l^p * \exp(-i\alpha^p))^2}{N-1}}.$$

Після цього аналізується значення $Q(p)$. Чим ближче воно до нуля, тим більше задана пряма відповідає вісі симетрії.

Цей алгоритм має складність $O(N^2)$, тобто є квадратичним до кількості точок в контурі фігури. Він дозволяє отримувати точний дескриптор Фур'є за рахунок постійної кількості точок для кроку (1-2 пікселі), але має низьку швидкість роботи для контурів з великою кількістю точок і може зазнавати впливу шуму на границях фігури.

Гарет Лой [4] пропонує алгоритм визначення симетрії, який використовує ряд ключових точок на обличчі людини.

Спочатку, за допомогою будь-якого методу виявлення ознак, наприклад SIFT (scale-invariant feature transform) [5], визначаються локальні ключові точки зображення, які називають дескрипторами. Вони описуються координатами, положенням та інколи масштабом. Після цього, виконується нормалізація цих точок і для отриманих значень генерується масив віддзеркалених дескрипторів відносно певної осі, наприклад, осі ординат, які співвідносяться з початковим масивом дескрипторів.

Потім, для кожної пари точок обраховується рівень симетрії, оцінка масштабу та відстані між точками. Рівень симетрії кожної пари точок описується як $\Phi_{ij} \in [-1, 1]$, значення якого обраховується за формулою

$$\Phi_{ij} = 1 - \cos(\varphi_i + \varphi_j - 2\theta_{ij}).$$

Оцінка масштабу описується як $S_{ij} \in [0, 1]$ і обраховується за формулою

$$S_{ij} = \exp\left(\frac{-|s_i - s_j|}{\sigma_s(s_i + s_j)}\right)^2.$$

У цій формулі σ_s є коефіцієнтом, який контролює допустимий ступінь варіації масштабу.

Далі проводиться обрахунок оцінка Гаусівської відстані, яка описується як $D_{ij} \in [0, 1]$ і визначається за формулою

$$D_{ij} = \exp\left(\frac{-d^2}{2\sigma_d^2}\right).$$

Усі отримані значення комбінуються для отримання значення величини симетрії (symmetry magnitude) для кожної пари точок:

$$M_{ij} = \begin{cases} \Phi_{ij} S_{ij} D_{ij}, & \Phi_{ij} > 0, \\ 0, & \Phi_{ij} \leq 0. \end{cases}$$

Кожна пара точок є потенційною віссю симетрії, яка перпендикулярно проходить через середину відрізка, який з'єднує ці точки, як показано на рисунку 2.

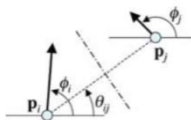


Рис. 2. Пара точок, отримана в результаті віддзеркалення

Цю пряму можна описати в полярних координатах:

$$r_{ij} = x_c \cos \theta_{ij} + y_c \sin \theta_{ij},$$

де (x_c, y_c) – це координати середини лінії, яка об’єднує цю пару точок, а θ_{ij} – це кут, який вона створює з віссю Ox .

Далі, використовується лінійне перетворення Хафмана для виявлення домінантної осі симетрії. Кожна пара симетричних точок аналізується в просторі Хафмана, зваженому по рівню її величини симетрії (M_{ij}). Отриманий простір значень фільтрується за допомогою Гаусівського згладжування, в результаті чого знаходиться максимум, який описує шукану вісь симетрії. Цей метод є досить швидким, але його недоліком є низька точність при роботі з зображеннями, які мають нечітку структуру.

Проведений аналіз дає можливість вибрати алгоритм визначення симетрії обличчя для конкретної галузі застосування.

Література:

1. Епифанцев Б. Н., Архипов А. А. Об информативности признака асимметрии лица в задачах распознавания операторов эргатических систем / Б. Н. Епифанцев, А. А. Архипов. – Автометрия, 2015.
2. Y. Liu., K. L. Schmidtel, Facial Asymmetry Quantification for Expression Invariant Human Identification. Computer Vision and Image Understanding, 2003
3. Журавская А. В. Геометрический поиск симметричных объектов на цифровом изображении / А. В. Журавская – Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018.
4. Loy G., Eklundh JO. Detecting Symmetry and Symmetric Constellations of Features. In: Leonardis A., Bischof H., Pinz A. (eds) Computer Vision – ECCV 2006. ECCV 2006. Lecture Notes in Computer Science, vol 3952. Springer, Berlin, Heidelberg
5. David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. Int. J. of Comp. Vis., 60 (2):91–110, 2004.