

4. Gribit E. How to make fashion fit / Gribit. – London, 2014. – 50 с.
5. Raeve A. Smartfit / A. Raeve, J. Cools., 2014. – 245 с.
6. Papahristou. Can 3D Virtual Prototype [Електронний ресурс] / Papahristou. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://www.scitechnol.com/peer-review/can-3d-virtual-prototype-conquer-the-apparel-industry-1aG4.php?article_id=4791.
7. Schatz. Storts Ilustrated [Електронний ресурс] / Schatz. – 2002. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.velonews.com/>.
8. Eureka project. New Paradigm of progress and market [Електронний ресурс] / Eureka project. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.eurekanetwork.org/project/id/8056>.
9. Giachetti A. Automatic analysis of 3D scan [Електронний ресурс] / Giachetti A. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/283311456_Automatic_Analysis_of_3D_Scans_of_Professional_Athletes.
10. Vasile S. Adapted Perfomance Wear / Vasile. – Singapore, 2017. – 108 с.

*Романюк О.Н., д.т.н., професор, завідувач
кафедри програмного забезпечення
Романюк О.В., к.т.н., доцент
Кокушкін В.М., студент 4 курсу
спеціальності «Інженерія програмного
забезпечення»*

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОСІ СИМЕТРІЇ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДИНИ

Вінницький національний технічний університет, Україна

Масштабовано-інваріантна трансформація ознак (SIFT) – це метод визначення ключових точок, який був запропонований Д. Лоу в 2004 році, який базується на алгоритмі різниці по Гаусу (Difference-on-Gaussians, DoG) [1].

Цей метод складається з таких кроків [2]:

1. Пошук екстремумів масштабованого простору, отриманих за допомогою розмиття зображень по Гаусу.
2. Локалізація ключових точок.
3. Інтерполяція суміжних даних для підвищення точності визначення положень точок.
4. Відкидання точок з низьким контрастом.
5. Вилучення впливу ребер для підвищення стабільності.
6. Присвоєння орієнтації.
7. Формування дескрипторів ключових точок.

Метод SIFT є дуже стійким до повороту, масштабування та незначних афінних перетворень зображення, але потребує значних обчислювальних витрат.

Метод прискорених стійких ознак (Speeded Up Robust Features, SURF) був запропонований Г. Беєм в 2008 році як модифікація методу SIFT [3].

SURF використовує фільтри квадратної форми для апроксимації Гаусівського згладжування [4], в той час як SIFT використовує каскадні фільтри для виявлення незалежних від масштабу ключових точок, що потребує постійного обрахунку Гаусівської різниці для кожного з масштабованих зображень.

Використання фільтрів квадратної форми дозволяє значно підвищити швидкість виконання, оскільки обрахунки виконуються тільки на кутах зображення, а не кожному пікселі [5].

Перевагою цього методу, порівняно з SIFT, є значно вища швидкість, але є один недолік – нижча точність при незначних афінних перетвореннях.

Метод ознак KAZE – це метод пошуку та опису ознак, розроблений П. Аляконтаріля, Е. Бартолі та Е. Девідсоном у 2012 році, який знаходиться у вільному доступі та має відкритий вихідний код [6]. Він використовує нелінійний простір масштабування через нелінійне дифузійне фільтрування [6], що робить розмиття зображень локально адаптивним для ключових точок, в результаті чого зменшується кількість шумів на границях досліджуваного зображення.

KAZE детектор базується на масштабовано-нормалізованому детермінанті матриці Гессе [7], яка обраховується на декількох рівнях масштабування зображення.

Цей метод не зазнає впливу повороту та масштабування зображення та є більш точним для зображень різного масштабу, але має низьку швидкість.

Метод AKAZE є модифікацією методу KAZE за допомогою нового фреймворку Fast Explicit Diffusion (FED), який дозволив значно підвищити його швидкість у порівнянні з KAZE [7].

Метод ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) є поєднанням методу виявлення ознак FAST (Features from Accelerated Segment Test) та нормалізованого методу опису BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features), який був представлений І. Ріблі в 2011 році [8].

Цей метод складається з таких кроків [9]:

1. Виконується пошук ключових точок за допомогою деревовидного FAST алгоритму на базовому зображенні та декількох зображеннях з піраміди зменшених зображень.

2. Обраховується міра Харріса [10] для отриманих точок. Точки, для яких отримане значення є низьким, відкидаються.

3. Обраховується кут орієнтації ключової точки.

Для цього, виконується обчислення моментів яскравості навколо ключової точки за формулою

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y)$$

де x, y – піксельні координати, I – яскравість.

Після цього обчислюється кут орієнтації ключової точки за формулою

$$\theta = \text{atan2}(m_{01}, m_{10})$$

Отримане значення називають «центроїдом орієнтації», яке описує напрям для області навколо ключової точки.

4. Використовуючи отриманий кут орієнтації, виконується поворот послідовності точок для бінарних порівнянь в дескрипторі BRIEF згідно цього кута.

Нові координати точок обраховуються за формулою

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \end{pmatrix} = R(\theta) * \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}$$

5. По отриманим точкам обраховується бінарний дескриптор BRIEF.

Цей метод має високу швидкість та точність і є інваріантним для масштабування та обертання.

Метод BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) був представлений С. Лейтенгером в 2011 році та використовує метод AGAST для пошуку кутів зображення та фільтрує їх за допомогою FAST Corner score методу для пошуку максимумів в піраміді масштабованих зображень [11]. Опис BRISK базується на визначенні напрямку кожної ключової точки для досягнення інваріантності афінних перетворень.

Для тестування використовувався пакет прикладних програм MATLAB та бібліотека OpenCV, яка містить готову реалізацію розглянутих вище алгоритмів. Тестування проводилось з використанням 20 зображень різної якості та форматів, для кожного з яких

виконувався пошук ключових точок за допомогою кожного алгоритму пошуку ключових точок (рис. 1).



Рис. 1. Результати обробки зображення усіма методами

Отримані результати порівняння методів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Середні значення результатів роботи методів пошуку ключових точок

Алгоритм	Кількість знайдених точок	Тривалість роботи, с
SIFT	3424.9	0.2665
SURF	4143.1	0.1847
KAZE	1586.5	0.2820
AKAZE	1743.2	0.0994
ORB	9754.3	0.0393
BRISK	6375.8	0.1695

Аналіз отриманих результатів показав, що для підвищення ефективності методу Г. Лоя для визначення осі симетрії обличчя людини, доцільно замінити метод SIFT на ORB, так, як він знаходить найбільшу кількість ключових точок за найменший проміжок часу серед розглянутих методів, що дозволить значно підвищити його точність та швидкодію.

Література.

1. Scale-invariant feature transform – Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Scale-invariant_feature_transform. 29
2. H. Bay et al., “Speeded-up robust features (SURF),” Computer Vision and Image Understanding, vol. 110, no. 3, pp. 346-359, 2008. 30
3. Gaussian blur – Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_blur. 31
4. Масштабно-инвариантная трансформация признаков – Википедия [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Масштабно_инвариантная_трансформация_признаков. 32
5. P. F. Alcantarilla et al., “KAZE features,” in European Conference on Computer Vision, Berlin, ECCV, 2012, pp. 214-227. 33
6. Гессиан функции – Википедия [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гессиан_функции. 34
7. P. F. Alcantarilla et al., “Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces,” in British Machine Vision Conference, Bristol, BMVC, 2013. 35
8. E. Rublee et al., “ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF,” in IEEE International Conference on Computer Vision, Barcelona, ICCV, 2011, pp. 2564-2571. 36
9. Детекторы и дескрипторы особых точек FAST, BRIEF, ORB [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/p-ost/414459>. 37
10. Lidia Forlenza, Patrick Carton, Domenico Accardo, Giancarmine Fasano and Antonio Moccia. Real Time Corner Detection for Miniaturized Electro-Optical Sensors Onboard Small Unmanned Aerial Systems. 2012. 38
11. S. Leutenegger et al., “BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints,” in IEEE International Conference on Computer Vision, Barcelona, ICCV, 2011, pp. 2548-2555. 39