

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ НА ОСНОВЕ ИХ ФОРМ-ФАКТОРА И ГИСТОГРАММ ЛОКАЛЬНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ ФРАГМЕНТОВ В СИСТЕМАХ ДЗЗ

*О.Г. Шевчук, А.В. Костусев*

*Рассмотрены проблемы идентификации ключевых элементов на изображениях систем ДЗЗ. Описаны основные методы формирования дескрипторов для ключевых элементов изображения. Предложен метод формирования дескриптора на основе гистограммы локальных ориентаций фрагментов выделенной линии. Описан алгоритм идентификации линий на основе их форм-фактора и предложенного дескриптора в системах ДЗЗ.*

### **Введение**

В системах Дистанционного зондирования Земли, или ДЗЗ, ключевыми задачами являются сшивка изображения для получения фотоплана местности, а также параметризация и идентификация объектов на полученных изображениях.

Для решения поставленных задач, необходимо детектировать и описать по различным признакам ключевые объекты изображений. Ключевые объекты должны обладать следующими свойствами [1]:

- 1) уникальность относительно некоторой окрестности и изображению в целом;
- 2) инвариантность к аффинным преобразованиям;
- 3) стабильность относительно шумов;
- 4) эффективность при параметризации и идентификации объектов в совокупности анализируемых изображений.

В качестве ключевых объектов на изображении могут выступать: точка (пиксель), линия или сегмент изображения. Большинство методов идентификации и параметризации в качестве ключевых объектов используют точки (пиксели).

Для детектирования ключевых точек на изображении используются различные методы, такие как детекторы Моравеца [2], Харриса [2, 3], FAST[4], MSER[5], методы LSD[6] и Хафа[7].

Описание признаков детектированных ключевых объектов для описанных задачах осуществляется с помощью дескрипторов.

В общем случае, дескриптор – это набор различных признаков, уникально идентифицирующий ключевой объект. Некоторые дескрипторы, такие как SIFT [8], SURF [9] и ORB[10], могут осуществлять и поиск особых точек, и формирование их признаков.

Наиболее распространенными дескрипторами являются методы, основанные на вычислении градиента яркости точки и ее окрестности, что позволяет идентифицировать области, края и углы. Такими методами являются SIFT, SURF, BRIEF[11], ORB, CLON[12, 13], DAISY[14] и др.

Выбор дескриптора осуществляется в соответствии с поставленной задачей и видом изображения.

При выборе дескриптора для решения перечисленных выше задач обработки аэрокосмических изображений необходимо учитывать следующие условия:

1. резкая смена освещенности объекта съемки (изображения сформированы в разное время суток, например день и ночь, а также в разное время года, например зима лето);
2. подобие, или фрактальность, объекта съемки (море, пустыня, горы);
3. использование для формирования изображения бортовой аппаратурой ДЗЗ с различными характеристиками.

В данных условиях применение дескрипторов, основанных на вычислении градиента яркости невозможно, поэтому существует необходимость использования в качестве ключевых объектов выделенные линии, а в качестве дескрипторов – методы, основанные на расчете геометрических параметров детектированных линий таких изображений.

Цель работы – разработка метода формирования дескриптора на основе гистограммы локальных ориентаций фрагментов выделенной линии, а также определение условий его использования для идентификации линий в изображениях ДЗЗ.

## SIFT

Метод SIFT (Scale Invariant Feature Transform) является одновременно методом детектирования и вычисления дескрипторов ключевых точек.

В качестве метода детектирования SIFT использует наиболее известный метод, основанный на использовании пирамиды Гаусса, построенной для изображения, и дальнейшем вычислении разности ее гауссианов (рис. 1, а).

Ключевыми точками, детектированными с помощью метода SIFT, являются локальные экстремумы разности гауссианов (рис. 1, б). Далее происходит уточнение ключевой точки, используя вычисления экстремума многочлена Тейлора и матрицы Гессе.

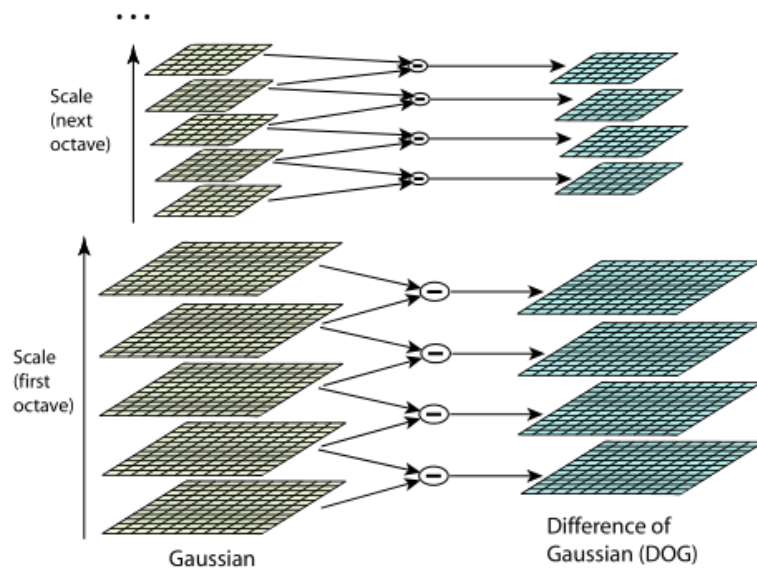
Для нахождения дескриптора заданной ключевой точки в данном методе необходимо рассчитать ее направление. Направление рассчитывается исходя из направлений градиентов яркости точек, расположенных в заданной окрестности, по формулам:

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y) + L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2},$$

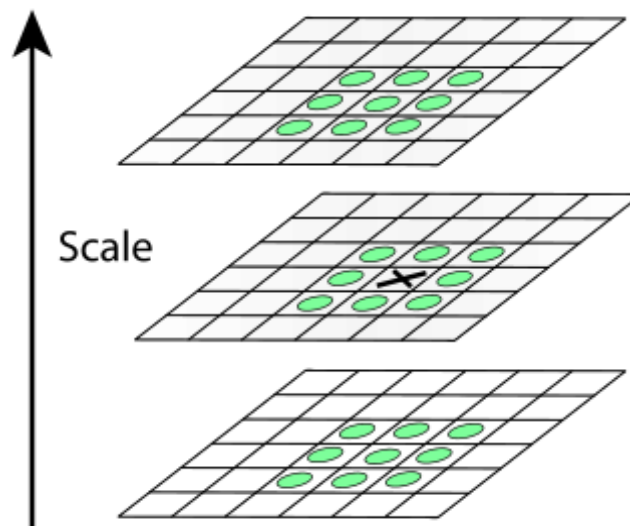
$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{L(x, y + 1) - L(x, y - 1)}{L(x + 1, y) - L(x - 1, y)} \right),$$

где  $m(x, y)$  - величина градиента,  $\theta(x, y)$  - его направление.

На основе расчета градиентов яркости каждой точки в окрестности ключевой строится взвешенная гистограмма градиентов. В гистограмме из 36 компонент, которые равномерно покрывают интервал в 360 градусов, выбирается максимальное значение компоненты  $m(\max)$ . Ключевой точке присваиваются все направления, больше либо равные  $0,8 * m(\max)$  (80 процентов). Обычно используется радиус окрестности в 5 пикселей.



а)



б)

Рис. 1. Дескриптор SIFT

а) построение пирамиды Гаусса; б) поиск локальных экстремумов

Для расчета основного дескриптора обычно используется окрестность  $16 \times 16$  пикселей. Данная окрестность разбивается на 4 квадрата размером  $4 \times 4$  пикселя, для каждого из которых строится локальная гистограмма градиентов, используя тот же алгоритм, что и при расчете направления ключевой точки, однако локальные гистограммы содержат не 36, а 8 компонент, равномерно распределенных на интервал в 360 градусов. В результате для каждой ключевой точки формируется дескриптор, состоящий из вектора направления ключевой точки и вектора из 128 компонент ( $4 \times 4 \times 8$ ). Чаще всего именно вектор из 128 компонент называют дескриптором ключевой точки.

Дескриптор SIFT инвариантен относительно масштаба, перемещения изображения объекта на сцене, вращение объекта или камеры.

Недостатком является большая вычислительная сложность [13], часть ключевых точек и их дескрипторы удаляются в результате фильтрации. Также

стоит отметить, применение метода SIFT неэффективно для решения описанных задач для аэрокосмических изображений ДЗЗ.

## **SURF**

Метод SURF, также как и SIFT, является методом детектирования ключевых точек и построения их дескрипторов.

SURF детектирует ключевые точки с помощью матрицы Гессе, детерминант которой достигает своего максимума в момент максимального изменения градиента яркости. Так как гессиан не инвариантен относительно масштаба, SURF использует разномасштабные фильтры для его нахождения.

Также для каждой точки рассчитывается направление градиента яркости, с помощью фильтра Хаара, и масштаб, равный масштабному коэффициенту матрицы Гессе.

Дескриптор SURF представляет собой вектор из 64 (или 128) чисел для каждой ключевой точки. Данный дескриптор отображает колебания градиента вокруг ключевой точки и рассчитывается с использованием фильтра Хаара для заданной окрестности. Размер окрестности для расчета задается масштабом матрицы Гессе.

Метод SURF не инвариантен к аффинным преобразованиям и не стабилен при изменении яркости, но применим при вращении и изменении масштаба изображения.

Также к недостаткам метода SURF относится то, что он работает не с объектами, в которых легко определить ключевые точки, а рассматривает изображение как единое целое, что влияет на обнаружение ключевых точек в изображениях с фрактальной структурой или смене времени года.

## **BRIEF**

BRIEF, или Binary Robust Independent Elementary Features – один из самых быстрых и простых детекторов, который требует мало места для хранения дескрипторов. В [11] показано, что его вычислительная сложность составляет всего 256 операций. Данный дескриптор представляет собой бинарный вектор, состоящий из 0 и 1, перед расчетом которого выполняется операция сглаживания.

Расчет каждого значения дескриптора происходит путем сравнения яркости пар пикселей, находящихся в окрестности  $s \times s$  ключевой точки  $p$ , используя следующее выражение:

$$\tau(p, x, y) := \begin{cases} 1, & \text{если } I(p, x) < I(p, y) \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

где  $I(p, x), I(p, y)$  – интенсивность сглаженного пикселя  $p$ .

Данный расчет производится не для всех возможных пар пикселей, а для заданного множества  $n_d$  пар пикселей. Исходя из количества  $n_d$ , строится бинарная строка:

$$f_{n_d} = \sum_{1 \leq i \leq n_d} 2^{i-1} \tau(P, X_i, Y_i),$$

где  $i = \overline{1..n_d}$  – порядковый номер итерации.

Сравнение BRIEF дескрипторов происходит путем простого расчета расстояния Хэмминга.

В [11] показано, что при одинаковых условиях проведения экспериментов на некоторых тестовых изображениях точность детектирования с помощью BRIEF почти в 1.5 раза выше, чем с использованием SURF-дескрипторов. Однако дескриптор BRIEF является не инвариантным к повороту, а также не эффективен для фрактальных изображений и не устойчив к резкой смене освещенности объекта.

## ORB

ORB, или Oriented FAST and Rotated BRIEF – метод, представляющий собой комбинацию детектора ключевых точек FAST и бинарных дескрипторов BRIEF, а соответственно данный метод является улучшенной альтернативой дескриптора BRIEF [10].

## GLOH

GLOH (Gradient location-orientation histogram) – модифицированный дескриптор SIFT, созданный для повышения устойчивости и точности описания ключевых точек. Технология расчета данного дескриптора идентична дескриптору SIFT, отличительной особенностью является использование полярной сетки для разбиения окрестности ключевой точки. Окрестность разбивается следующим образом (рис. 2): выделяются 3 радиальных блока с радиусами 6, 11 и 15 пикселей, каждый из которых делится на 8 секторов. В результате получается вектор размером 272 бина, который переносится в 128-размерное пространство, используя метод анализа главных компонент (PCA)[13]

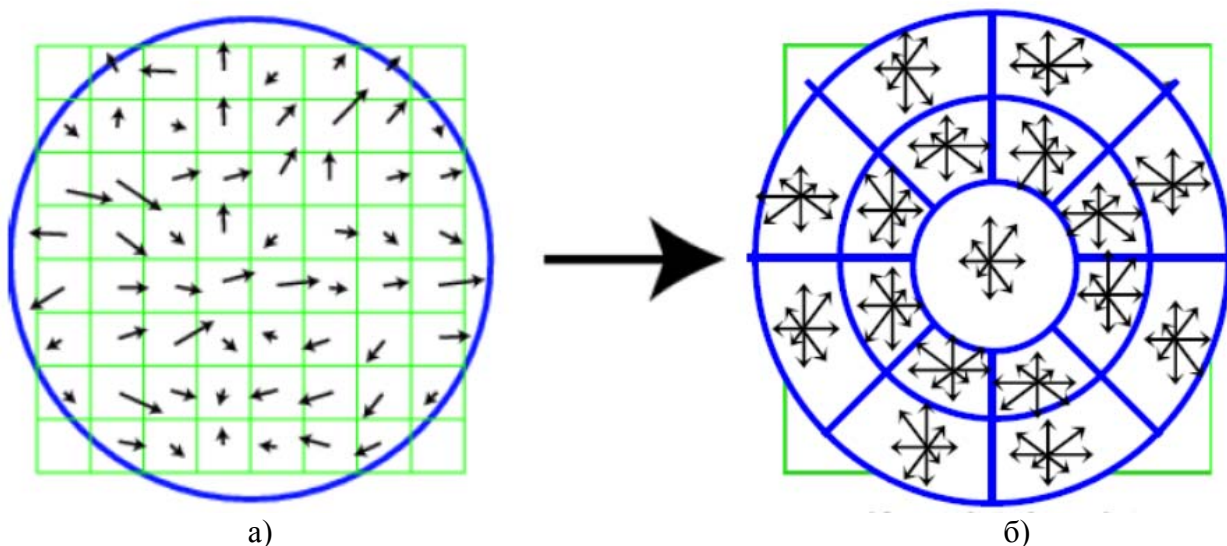


Рис. 2 – Разбиение окрестности ключевой точки:  
а) градиенты изображения; б) дескриптор ключевой точки.

GLOH, также как и SIFT неэффективен при решении описанных задач для аэрокосмических изображений ДЗЗ.

## DAISY

Этот дескриптор обладает близкими показателями с наиболее распространенными дескрипторами SIFT и GLOH, но при этом показывает более высокую скорость работы [14]. В DAISY использованы технологии SIFT и GLOH дескрипторов.

Как и в GLON, в данном дескрипторе используется круговая окрестность ключевой точки, однако используется полные окружности вместо секторов (рис. 3)

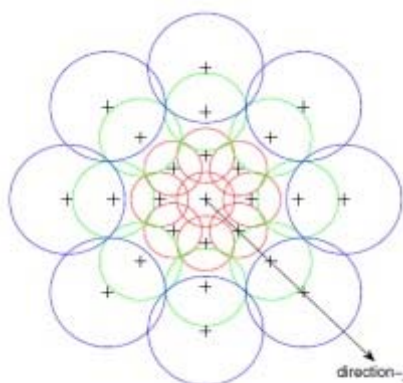


Рис. 3 – дескриптор DAISY

Для каждой окрестности выполняется последовательность действий, аналогичная дескриптору SIFT, однако при этом вместо взвешенной гистограммы градиентов используется свертка исходного изображения с производными фильтра Гаусса, взятыми по 8-ми направлениям.

Данный дескриптор разработан для работы на плотном множестве пикселей, например, на фрактальных изображениях. В данных условиях DAISY обладает теми же свойствами, что и SIFT с GLON, но в 66 раз превосходит дескриптор SIFT по скорости, что показано в [15].

### LOLF

LOLF, local orientation of lines fragments – метод формирования дескриптора на основе построения гистограммы локальных ориентаций фрагментов выделенной линии.

Представленный дескриптор применяется в случае, когда ключевым элементом является линия. В качестве ключевых линий могут выступать контурные или средние линии объектов. Обработываемая линия имеет две конечные точки и не имеет острых углов. LOLF состоит из вектора, являющегося гистограммой возможных локальных ориентаций каждого пикселя ключевой линии.

Локальная ориентация каждого пикселя линии, за исключением конечных точек, определяется путем установления соответствия окрестности точки линии размером  $3 \times 3$  пикселя одной из 12 масок, представленных на рисунке 4.

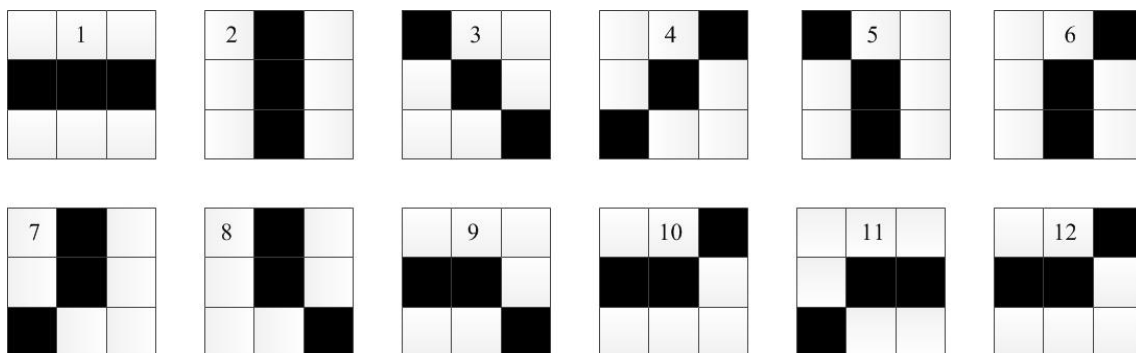


Рис. 4 – Маски определения локальной ориентации пикселя.

Для определения локальной ориентации концевых точек рассчитывается ориентация выделенной линии, используя следующее выражение:

$$O_L = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1},$$

где  $y_1, x_1$  и  $y_2, x_2$  – координаты концевых точек линии.

Принадлежность локальной ориентации концевых точек к одному из 12 значений гистограммы устанавливается в соответствии с рассчитанной ориентацией линии, исходя из следующего условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} |O_L| < 0.5 \rightarrow \text{маска 1,} \\ |O_L| > 2 \rightarrow \text{маска 2,} \\ 0.5 \leq O_L \leq 2 \rightarrow \text{маска 3,} \\ -2 \leq O_L \leq -0.5 \rightarrow \text{маска 4.} \end{array} \right.$$

Гистограмма дескриптора формируется путем подсчета количества совпадений для каждой из масок и состоит, соответственно, из 12 элементов.

Идентификация линий в системах ДЗЗ происходит в 2 этапа:

1. оценка отклонения значения форм-фактора [16] линий  $\Delta f$ , используя следующее выражение:

$$\Delta f \geq 0.1,$$

где  $\Delta f = |f_1 - f_2|$  – отклонение форм-фактора,  $f_1$  и  $f_2$  – значения форм-фактора выделенных линий первого и второго изображения соответственно, вычисленных на этапе детектирования.

2. если отклонение  $\Delta f$  удовлетворяет заданному условию, то происходит оценка гистограмм. При совпадении гистограмм линии считаются схожими.

## **Заключение**

В статье описаны основные задачи и проблемы обработки изображений систем ДЗЗ.

Представлен краткий обзор наиболее популярных из существующих методов формирования дескрипторов. Указаны их достоинства и недостатки. Основным недостатком приведенных дескрипторов является использование в расчетах яркостной составляющей пикселя, что приводит к невозможности их использований в системах ДЗЗ.

Предложен метод формирования дескриптора для выделенных линий на основе гистограммы локальных ориентаций их фрагментов.

Описан алгоритм идентификации линий на основе их форм-фактора и предложенного дескриптора в системах ДЗЗ.

## **Список литературы**

1. Rodehorst V., Koschan A. Comparison and evaluation of feature point detectors. // Proceedings 5th International Symposium Turkish-German Joint Geodetic Days TGJGD'06. Berlin, March 28-31 2006. - p. 8.
2. Papageorgiou C., Poggio T /A trainable system for object detection // Computer Vision. Vol.38. No.1, 2000. – pp. 15-33

3. C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference, 1988 - pp. 147-151.
4. Edward Rosten, Reid Porter, and Tom Drummond, "Faster and better: a machine learning approach to corner detection" in IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, vol 32 - pp. 105-119.
5. Matas, J., O. Chum, M. Urba, and T. Pajdla. "Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions." Proceedings of British Machine Vision Conference, 2002. – pp. 384-396
6. LSD: A Fast Line Segment Detector with a False Detection Control / R. Grompone von Gioi [et al.] // IEEE Transactions on Pattern. Analysis and Machine Intelligence. – 2010. – Vol. 32, № 4. – pp. 722–732.
7. Duda, R.O. Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R.O. Duda // Communication of the ACM. – 1972. – Vol. 15, № 1. – pp. 229–246.
8. Lowe D. Distinctive image features from scale invariant keypoints // Intern. J. of Computer Vision. 2004. Vol. 60, № 2. - pp. 91–110.
9. Bay H. SURF: Speeded up robust features // Proceedings 9th European Conference on Computer Vision. Graz, Austria, May 7 – 13 2006. - pp. 404–410.
10. Rublee E., Rabaud V., Konolige K., Bradski G. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF // In Proc. of the International Conf. on Computer Vision., 2011. - pp. 2564-2571
11. Michael Calonder, Vincent Lepetit, Christoph Strecha, Pascal Fua / BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features // ECCV'10 Proceedings of the 11th European conference on Computer vision: Part IV – pp. 778-792
12. Kalal Z., Matas J., Mikolajczyk K. Forward-backward error: automatic detection of tracking failures / ICPR'10, 2010. – pp. 2756-2759.
13. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, NY, 2002, XXIX, - 487 p.
14. Tola E, Lepetit V., Fua P. daisy: an efficient dense descriptor applied to wide baseline stereo // IEEE Trans. on pattern analysis and machine intelligence PAMI(32), May 2010, - № 5 - pp. 815 – 830.
15. Choudhury T, Pentland A. /Face Recognition for Smart Environments //IEEE Computer Vision. – 2000. – pp. 50-55.
16. Бородина О.Г., Цветков В.Ю. Выделение изолированных прямых линий на изображениях с использованием форм-фактора // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 1. – С.41 – 45

*Шевчук Оксана Геннадьевна, ассистент кафедры Сетей и устройств телекоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, oksborodina@rambler.ru*

*Костусев Алексей Владимирович, магистрант кафедры Сетей и устройств телекоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, ulvinnn@gmail.com*