

# Выделение отрезков на аэроснимках в рамках задачи обнаружения строений

Л.В. Новоторцев<sup>1</sup>, А.Г. Волобой<sup>1</sup>

torets13@gmail.com|voloboy@gin.keldysh.ru

<sup>1</sup>Институт Прикладной Математики им. Келдыша РАН, Москва, Россия

*В рамках фотограмметрии часто возникает задача обнаружения строений на аэрофотоснимках для последующей обработки. Один из эффективных способов обнаружения строений - выделение отрезков на снимке. Существующие способы, опирающиеся на данный подход, очень чувствительны к точности нахождения отрезков. Поэтому необходимо предоставить максимально точный метод обнаружения отрезков.*

**Ключевые слова:** аэроснимки, выделение прямых, обнаружение строений, компьютерное зрение.

## Extracting straight line segments from aeroimages in the context of building detection task

L.V. Novotortsev<sup>1</sup>, A.G. Voloboy<sup>2</sup>

torets13@gmail.com|voloboy@gin.keldysh.ru

<sup>1</sup>Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow, Russia

*One of the tasks of photogrammetry is building detection for further processing. An efficient way to approach this task is straight line detection based algorithms. But existent methods which use that scheme are sensitive to lost segment errors. That is way it is important to propose method for detecting most of straight line segments.*

**Keywords:** aeroimages, straight line detection, building detection, computer vision.

### 1. Введение

Задача распознавания и реконструкции строений на снимках, полученных при помощи аэро- или космосъемки, является довольно распространенной в рамках фотограмметрии. Одна из сфер, где активно используются результаты этой задачи, - автоматическое создание или обновление электронных карт, где наличие трёхмерных моделей значительно увеличивает наглядность продукта. Другая сфера - анализ застройки как в коммерческих (нахождение выгодных и пригодных мест для новой застройки), так и в природоохранных (обнаружение нелегальной застройки) целях.

При решении этого типа задач используются три вида источников изображений: космосъемка, аэросъемка и съемка БПЛА (Беспилотный Летательный Аппарат). Космосъемка позволяет получить наиболее качественные снимки, более того, часто полученные снимки имеют большее количество каналов, чем 3 цветовых (RGB). Однако космоснимки очень дорогие, что ограничивает их применение. Снимки, полученные с самолетов и с БПЛА, отличаются качеством снимающей камеры (на БПЛА обычно ставят более простые и дешевые) и калибровкой камеры. Кроме того, аэросъемка близка к надирной (иными словами, направление съемки близко к перпендикуляру к земле).

В данной статье рассматривается обработка данных, полученных с помощью аэросъемки, поскольку такой тип данных наиболее распространен на текущий момент из-за оптимального соотношения стоимости данных и их качества и доступности.

Одним из распространенных подходов к решению задачи обнаружения и трехмерной реконструкции строений является выделение отрезков на снимке и последующий их анализ [1, 4, 8]. В отличие от космосъемки, рассматриваемые снимки не обладают такой высокой четкостью, поэтому необходимо обеспечить наибольшую точность и полноту полученных результатов. Существующие методы нахождения строений и их

реконструкции, опирающиеся на выделенные отрезки, довольно сильно чувствительны к найденным отрезкам и хорошо справляются с шумовыми "ложными" сигналами (однако они значительно замедляют скорость работы этих методов).

По этой причине в данной статье предлагается использовать алгоритм, основанный на максимально чувствительном выделении отрезков в сочетании с последующей фильтрацией шума. При этом акцент ставится на минимизацию найденных отрезков и уже второстепенно на минимизацию шума.

### 2. Обзор существующих методов

Основными подходами к решению задачи выделения отрезков на изображениях являются метод Хафа [11], алгоритм LSD [10] и метод EDLines[7].

Метод Хафа опирается на результаты, полученные после применения двоичного фильтра нахождения границ. Наиболее распространенным примером такого фильтра является фильтр Кэнни [5] и его модификации [4, 8].

Метод Хафа основан на методе голосования. Общий подход заключается в том, что для каждого пикселя, относящегося к грани, строятся всевозможные прямые, проходящие через этот пиксель. Использование оригинального метода Хафа в общем случае не годится из-за "глобальности" этого алгоритма (ищутся прямые, а не отрезки). Поэтому чаще используются модификации метода, такие как иерархический [13] или вероятностные подходы [14]. Помимо этого существует большое количество модификаций, направленных на уменьшение ошибок дискретизации, подбору критерия определения выделения прямой по таблице и скорости работы метода в целом [9, 15, 16].

Метод LSD является более новым алгоритмом, который обеспечивает большую скорость работы и для большинства случаев более качественными результатами [10]. Этот алгоритм работает с градиентным полем (получаемым при помощи фильтра Собеля [12]), а не с двоичной картой границ, что дополнительно увеличивает скорость работы.

Основным недостатком метода LSD в рамках поставленной задачи является пропуск некоторых отрезков, в том числе и явных на больших снимках. Этот недостаток можно компенсировать, применяя LSD к сегментам изображения и объединяя полученные отрезки исходя из информации о градиентах.

Метод EDLines является еще одним распространенным алгоритмом нахождения отрезков на изображениях. Идея данного подхода схожа с методом LSD, только гораздо большее внимание уделяется скорости алгоритма (позиционируется как алгоритм реального времени) и неразрывности нахождения прямых [7].

К недостаткам этого алгоритма относится большое количество близлежащих параллельных прямых. К примеру, прямые, образованные коньком крыши. В рамках задачи обнаружения строений, данный недостаток является существенным, поскольку осложняет обнаружение и реконструкцию крыш.

### 3. Основная идея

Чувствительность метода LSD увеличивается при уменьшении размера изображения, поэтому в данной работе предлагается использовать следующий алгоритм:

- 1) разбить изображение на сегменты и применить метод LSD к каждому сегменту;
- 2) выполнить объединение отрезков между сегментами;
- 3) выполнить более тщательное слияние отрезков на основе карты градиентов.

Рассмотрим каждый из этих пунктов подробнее.

### 4. Разбиение изображения на сегменты

Как уже было сказано выше, чувствительность LSD увеличивается при уменьшении изображения [10]. Но при этом есть ограничение на размер сегмента, связанное с погрешностью обнаружения угла прямой в сегменте.

На таблице 1 приведены соответствие размера сегмента и ошибки расчёта угла прямой в нём [2].

$\Delta\theta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	82	41	28	21	17	14	12	11	10	9

**Таблица 1.** Погрешность определения угла и минимальные размеры сегмента для обеспечения этой погрешности, где  $\Delta\theta$  - погрешность расчета угла, L - размер сегмента.

В этой работе был выбран размер 100x100 пикселей на сегмент для достижения высокой точности определения угла и чувствительности алгоритма.

### 5. Объединение отрезков между сегментами

После получения отрезков в каждой области необходимо выполнить объединение отрезков.

В первую очередь все найденные отрезки помечаем как необработанные. Далее последовательно проходим по всем сегментам, на которые было разбито изображение. В каждом сегменте обрабатываем полученные в нём отрезки, которые всё ещё помечены как необработанные.

Для каждого отрезка выполняем проверку на наличие его продолжений в соседних областях. При выполнении проверки необходимо учитывать, что концы отрезков и углы их наклона могут не совпадать. Поэтому объединение выполняется при условии, если концы находятся не далее, чем на 10 пикселей и углов наклона отрезков отличаются не более чем на 1 градус. Величины подобраны исходя из

выбранного размера сегмента и погрешности определения угла (таблица 1). В этом случае выполняется слияние отрезков.

Слияние проводится в несколько этапов.

- 1) Усредняются параметры прямых на которых лежат отрезки. При усреднении в качестве весов используются длины объединяемых отрезков. Это делается для избегания существенного искажения, вызванного отрезками малой длины, которые имеют большую погрешность определения угла.
- 2) Концы отрезков определяются на основе дальних концов объединяемых отрезков и их проекции на полученную в результате усреднения прямую.

### 6. Детальное объединение отрезков

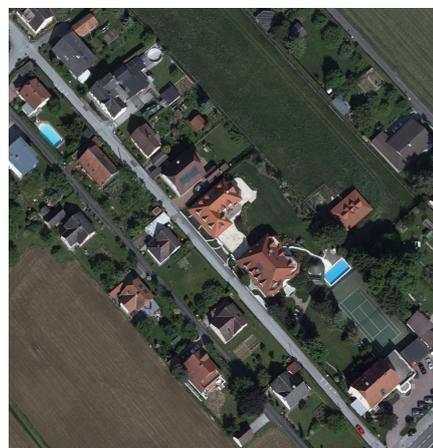
Несмотря на уже выполненное объединение отрезков между областями, результат может быть неудовлетворительным, поскольку отрезки в некоторых областях могут быть не найдены из-за низкого контраста или особенностей алгоритма LSD.

Для устранения подобного рода ошибок необходимо произвести дополнительные проверки на возможные объединения прямых.

Для каждого необработанного отрезка проверяется наличие отрезков на заданном расстоянии (в данной работе предлагается ставить это расстояние равным средним размерам строений на снимке). Расстояние между отрезками определяется минимальным расстоянием между их концами. Для того чтобы выполнилось объединение необходимо, чтобы было выполнены следующие условия.

- 1) Углы прямых, определяемых отрезками, должны отличаться не более чем на допустимую погрешность. Допустимая погрешность определяется при помощи таблицы 1 по длине наименьшего отрезка.
- 2) Выполняется проверка, насколько изменится угол объединенной прямой по сравнению с прямой, образованной большим из отрезков. Если этот угол превышает значение из таблицы 1 для соответствующей длины, то объединение не выполняется.
- 3) Между ближайшими концами рассматриваемых отрезков выполняется проверка поля градиентов. Слияние выполняется, если в рассматриваемой области находится градиент имеющий направление, совпадающее с нормалью рассматриваемой прямой. Отрезки, для которых выполнены эти три условия объединяются по тому же принципу, описанному в разделе 5.

### 7. Результаты



**Рис 1.** Исходное изображение.



Рис 2. Результаты, полученные алгоритмом LSD.



Рис 3. Результаты, полученные алгоритмом EDLines.

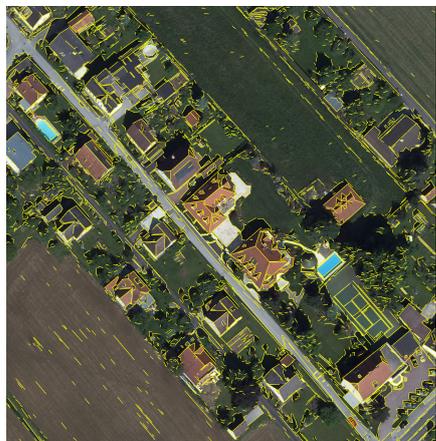


Рис 4. Результаты, полученные рассматриваемым алгоритмом.

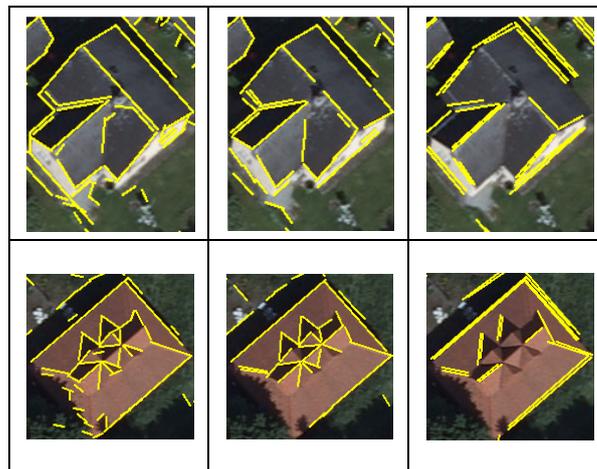


Таблица 2. Сравнение результатов выделения отрезков на участках изображения.

	LSD	EDLines	Предложенный метод	
			Получение отрезков	Объединение отрезков
T	2.68	1.56 с	2.79	0.67
N	2511	1467	4817	4289

Таблица 3. Сравнение методов на скорость работы и на количество найденных отрезков (T – время, затраченное на выполнение, N – Количество найденных отрезков).

На рисунке 1 приведено исходное изображение, на рисунке 2 изображение с линиями, найденными алгоритмом LSD, на рисунке 3 представлен алгоритм EDLines, а на рисунке 4 приведён результат применения описываемого метода. Более подробное сравнение участков изображений приведено в таблице 2. Также в таблице 3 приведены основные численные данные рассматриваемых методов.

На рисунке 3 видно, что по сравнению с результатами алгоритма LSD получено гораздо больше шума, но при этом некоторые прямые не найденные методом LSD были успешно выделены предложенным алгоритмом. Именно это и являлось целью данного исследования, поскольку дальнейшая обработка при обнаружении и реконструкции строений легко отбракует лишние шумы. Так же представленный алгоритм позволяет избежать дублирования обнаружения одних и тех же граней дома. Предложенный алгоритм работает медленнее обоих методов, представленных в сравнении, однако выигрывает в обнаружении отрезков, как это видно на рисунках в таблице 3.

Предложенный метод	LSD	EDLines
		

### 8. Дальнейшие исследования

Данный алгоритм также можно модифицировать для нахождения пропущенных отрезков. Для этого необходимо искать отрезки между концами найденных отрезков, аналогично исследуя градиенты.

## 9. Список литературы

- [1] Дьяконова С. В., Зайченко Ю. П. Подход к решению задачи автоматизированного обнаружения зданий на спутниковых изображениях. Вісник Національного технічного університету України КНУ. Інформатика, управління та обчислювальна техніка, 58, С 51-55, 2013.
- [2] Новоторцев Л., Волобой А. Улучшенный алгоритм обнаружения отрезков для реконструкции строений по аэрофотоснимкам. Приволжский научный журнал, № 4, 2014. С. 49-53.
- [3] Baillard C., Zisserman A. A plane-sweep strategy for the 3D reconstruction of buildings from multiple images. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B2) part 2, pp 56-62, 2000.
- [4] Bao P., Zhang D., Wu X. Canny edge detection enhancement by scale multiplication. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 27(9), pp. 1485-1490, 2005.
- [5] Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6, pp. 679-698, 1986.
- [6] Cohen J. P. et al. Rapid building detection using machine learning. arXiv preprint arXiv:1603.04392. – 2016.
- [7] Cunejt Akinlar, Cihan Topal, EDLines: A real-time line segment detector with a false detection control, Pattern Recognition Letters, 32(13), pp. 1633-1642, 2011.
- [8] Dollár P., Zitnick C. L. Fast edge detection using structured forests. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 37(8), pp. 1558-1570, 2015.
- [9] Du, S., van Wyk, B. J., Tu, C., & Zhang, X. An improved Hough transform neighborhood map for straight line segments. IEEE Transactions on Image Processing, 19(3), pp. 573-585, 2010.
- [10] von Gioi R. G. et al. LSD: a line segment detector //Image Processing On Line, 2, 35-55, 2012.
- [11] Hough P. V. C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns, U.S. Patent 3069654, Dec. 18, 1962.
- [12] I. Sobel and G. Feldman. A  $3 \times 3$  Isotropic Gradient Operator for Image Processing. R. Duda and P. Hart (Eds.), Pattern Classification and Scene Analysis, pp. 271–272, 1973.
- [13] Li H., Lavin M. A., Le Master R. J. Fast Hough transform: A hierarchical approach. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 36(2), pp. 139-161, 1986.
- [14] Matas, J. and Galambos, C. and Kittler, J.V., Robust Detection of Lines Using the Progressive Probabilistic Hough Transform. CVIU 78 1, pp 119-137, 2000.
- [15] Nguyen T. T., Pham X. D, and Jeon J. An improvement of the Standard Hough Transform to detect line segments. IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 1-6, 2008.
- [16] O'Rourke J. Dynamically Quantized Spaces for Focusing the Hough Transform. IJCAI, 81, pp. 24-28, 1981.