

## Нахождение областей, содержащих здания, на аэрофотоснимках

*Л.В. Новоторцев, А.Г. Волобой*

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

Институт Прикладной Математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

*Одной из основных задач фотограмметрии является обнаружение трёхмерных объектов на аэрофотоснимках. Особенно это касается задачи обнаружения строений. Алгоритмы, решающие данную задачу с наибольшей точностью, обрабатывают данные довольно долго (в основном из-за того, что необходимо выполнять сопоставление по нескольким снимкам). При анализе аэроснимков это особенно критично из-за их больших размеров. В данной статье рассматривается метод нахождения участков изображения, где имеет смысл искать строения, тем самым отбраковывая области, заведомо не представляющие интереса. Таким образом, значительно уменьшается количество данных, обрабатываемых точными алгоритмами.*

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, обнаружение прямых, обнаружение зданий, аэрофотоснимки.

## Detection of areas containing buildings on aeroimages

*L. V. Novotortsev, A. G. Voloboy*

Keldysh Institute of Applied Mathematic RAS, Moscow, Russia

*One of the challenging problems in photogrammetry is extracting of three-dimensional objects from aero images, especially different kinds of buildings. Methods which provide satisfactory results are rather time consuming and process data quite long (basically because there is need to match objects in different images). It is even more crucial for processing aeroimages, because of their large sizes. In the paper we propose a method that detects areas on aero images, which may contain buildings. This way we filter regions of image that possess no interest for our task and lessen amount of data to be processed by complex precise method.*

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

### Введение

Фотограмметрия занимается обработкой различного рода снимков, а именно определением формы, размера положения и иных характеристик объектов. Одним из основных направлений этой дисциплины на данный момент является анализ снимков, сделанных с воздуха (аэрофотосъёмка, съёмка с беспилотников) и с орбиты (космосъёмка). Наиболее распространённым на данный момент является аэрофотосъёмка за счёт высокого качества и доступности. Данное направление имеет широкий спектр применения: создание топографических карт, геологические изыскания, проектирование и строительство различных сооружений, автоматизированное построение пространственных моделей объекта по снимкам. В рамках этого направления часто встречается задача обнаружения и реконструкции (получение размеров и других параметров) различных строений. На данный момент существует несколько подходов решения данной задачи.

Первый подход ориентирован на построение плодотворной модели ЦМР (Цифровая Модель Рельефа) и последующую обработку этой модели с целью обнаружения и трёхмерной реконструкции зданий. Обобщённые методы выделения изображений [4, 6, 9] дают довольно неточные результаты. По этой причине часто используются методы, использующие априорную информацию об искомым объектах.

К примеру, существует метод, ориентированный на обнаружение только плоских крыш [3].

Второй подход основан на использовании структурной, контекстной и спектральной информации об изображении [8, 11, 14, 17]. В данном подходе предполагается использование для обнаружения зданий только одно изображение, и накладываются ограничения на форму объектов. Помимо этого для обнаружения используются тени, отбрасываемые зданиями, что также накладывает ограничения на входные данные.

Третий подход связан с обработкой данных, полученных при помощи специальных методов, таких как LiDAR (световое обнаружение и определение дальности). Алгоритмы, основанные на таком подходе [16, 19] дают высокий процент обнаружения объектов и низкую вероятность ложного срабатывания, однако во многих случаях подобные специальные данные недоступны.

Последний подход, представляющий для нас наибольший интерес, связан с обнаружением линейных черт на различных изображениях, последующем сопоставлением этих черт и построении трёхмерной модели на основе результатов сопоставления [1]. Такой подход обеспечивает хорошие результаты за счёт сбора информации с нескольких изображений, но довольно долго обрабатывает данные за счёт того, что необходимо выполнить сопоставление. Данный недостаток можно компенсировать,

ограничив область каждого изображения, которую обрабатывает алгоритм.

Основная идея алгоритма представленного в данной статье заключается в обнаружении отрезков на изображении и их последующем объединении в замкнутые контуры.

## Основная идея

В данной статье мы предлагаем использовать тот факт, что большинство строений имеют линейные черты. По этой причине мы выбрали метод выделения отрезков на изображении в качестве основы предложенного метода. Использование этой особенности позволит увеличить точность определения необходимых объектов и облегчит вычисления. Весь алгоритм может быть разделён на следующие подзадачи:

- 1) Обнаружение границ
- 2) Выделение прямых линий и отрезков
- 3) Объединение отрезков в замкнутые контуры

## Обнаружение границ

Первым шагом представленного алгоритма является обнаружение границ на изображении. Основным подходом к решению этой задачи является построение карты градиентов яркости изображения в каждой точке и использования значений вычисленных градиентов в качестве показателя границы. На этом подходе основывается фильтр Собеля [18]. В тех случаях, когда задача обнаружения границ подразумевает двоичное решение (есть граница в точке или нет границы в точке), то используется фильтр Кэнни [5]. Этот метод помимо того, что производит бинаризацию границы ещё и такие операции, как сужение границы. В нашей работе предлагается использовать модифицированный вариант метода Кэнни, дающий ещё более точные результаты [2].

## Выделение отрезков

Далее по полученной карте границ производится векторизация и обнаружение отрезков. Наиболее распространённым методом решением этой задачи является алгоритм Хафа [10]. Основная идея заключается в том, чтобы построить дискретную матрицу, в которой каждая ячейка соответствует прямой: строка и колонка соответствуют длине нормали и углу её наклона. Далее для каждой точки, помеченной, как граница на предыдущем этапе, производятся следующие вычисления:

- 1) Для каждого из значений угла наклона из таблицы вычисляется длина нормали.
- 2) Для всех пар «угол-длина» в соответствующей ячейке матрицы инкрементируется её значение

Из заполненной матрицы выделяются ячейки, содержащие значения, являющиеся локальными максимумами. Значения угла и длины нормали берутся как параметры найденной прямой. Из-за дискретизации параметров в процессе поиска прямых методом Хафа может возникнуть погрешность. Изучению этой проблемы и методов её решения посвящено немало научных работ [7, 12, 13, 15].

В данной работе для решения этой задачи предлагается использовать следующий подход. Вначале мы разделяем изображение на равные квадратные области (за исключением границ изображения). Для каждой области применяется модификация метода Хафа, оперирующая с окрестностями отрезков [7]. Отрезки, найденные на соседних сегментах, объединяются, если они лежат на одной прямой.

После применения такого подхода мы получим набор отрезков, являющихся частью линейных объектов на изображении. Эти отрезки необходимо объединить для получения единых контуров.

## Объединение отрезков

Для решения этой задачи было решено использовать два входных параметра для алгоритма слияния отрезков. Первый параметр – «ожидаемое расстояние между строениями» (ОРМС). Если расстояние между отрезками меньше этого значения, то считается, что они принадлежат одному объекту сцены. Вторым параметром является «ожидаемый размер строений» (ОРС). Если расстояние больше этого значения, то предполагается, что несвязанные отрезки принадлежат разным объектам. Возможность вычислять данные параметры автоматически будет исследована в дальнейших работах.

Далее поочерёдно рассматриваются пары ближайших друг другу отрезков, и решается надо ли их соединять. Существует три варианта взаимного расположения отрезков, каждый из которых обрабатывается отдельно:

- 1) Отрезки лежат на одной прямой
- 2) Отрезки лежат на пересекающихся прямых
- 3) Отрезки лежат на параллельных прямых

После того, как все отрезки рассмотрены, то проводится замыкание получившихся ломаных линий. Рассмотрим эти операции подробнее.

**Отрезки, лежащие на одной прямой** Иногда отрезок, соответствующий одной из сторон здания прерывается. Это может быть связано с плохим качеством изображения, тенями, перекрывающим объектом или малым контрастом. Необходимо иметь возможность восстанавливать такие разрывы.

Использование для этих целей порогового значения недостаточно эффективно, поскольку величина

на разрывов может сильно варьироваться. В данной статье предлагается использовать подход, основанный на использовании двух пороговых значений (ОРМС и ОРС).

Если при рассмотрении двух отрезков расстояние между ними меньше, чем ОРМС, то эти отрезки сливаются в один. Если расстояние больше, чем ОРС и больше каждого из отрезков, то отрезки не соединяются. Если не выполнено ни одно из этих условий, то производится более детальное области между отрезками.

Вначале на эту область применяется локальное растяжение яркости. Потом используется алгоритм Кэнни. После этого считается количество граничных пикселей, попавших на отрезок между рассматриваемыми отрезками. Если полученное число незначительно отличается от предполагаемой длины дополнительного отрезка, то рассматриваемые отрезки сливаются в один.

**Отрезки, лежащие на пересекающихся прямых** Если два отрезка находятся на пересекающихся прямых, то для каждого из них возможны два варианта положения точки пересечения.

Первый вариант – точка пересечения находится на самом отрезке. В этом случае от резок разделяется на два точкой пересечения.

Второй вариант – точка пересечения находится на продолжении отрезка. Рассмотрение этого варианта идентично рассмотрению случая с отрезками на одной прямой за тем исключением, что анализу подлежит не расстояние между отрезками, а расстояние от конца отрезка до точки пересечения.

**Отрезки, лежащие на параллельных прямых** При таком расположении отрезков рассмотрению подлежат следующие варианты: отрезки сдвинуты относительно друг друга, отрезки мало отличаются по длине и их концы на небольшом расстоянии друг от друга. В остальных случаях отрезки остаются как есть. В первом варианте предлагается провести проверку, описанную в разделе 5.1 для отрезка, соединяющего ближайшие концы рассматриваемых отрезков. Если проверка прошла, то они соединяются.

Во втором варианте рассматривается расстояние между отрезками. Если оно незначительно (не больше, чем 10% от ОРС), и если один из отрезков является частью контура, то тогда контур расширяется до второго отрезка. В противном случае всё остаётся как есть.

### Объединение контуров

На предыдущем этапе мы получили набор ломаных линий, которые могут и не быть замкнутыми. Поэтому их необходимо замкнуть, чтобы получить замкнутый контур. Отрезок, построенный для замыкания ломаной, будем называть «замыкающим».

На данном этапе ломаные линии могут получиться разветвлёнными и иметь больше двух концов. Поскольку в данной статье описывается метод обработки данных, то гораздо важнее не допустить пропуск объектов, чем выделение лишнего. Поэтому соединяться будут все концы, соединение которых не приведёт к пересечению замыкающего отрезка с остальной ломаной. После этого проводится повторный анализ замыкающих отрезков.

Если некоторые замыкающие отрезки имеют пересечения друг с другом (согласно условию построения они не могут пересекаться с другими частями ломаной), то они разбиваются точкой пересечения на разные отрезки (каждый из них тоже считается «замыкающим»). После этого удаляются те замыкающие отрезки, что оказались внутри контуров.

В результате данной операции мы получаем набор контуров, которые ограничивают зоны, в которых могут находиться здания. В дальнейшем более сложный алгоритм будет обрабатывать только эти зоны.

### Результаты

На изображении 1 представлено исходное изображение, полученное в ходе аэросъёмки. К этому изображению мы применили предложенный метод. Результаты выделения областей представлены на изображении 2.



Рис. 1: Исходное изображение.



Рис. 2: Результат работы алгоритма.

Средняя точность обнаружения зданий представленным алгоритмом достаточно мала: около 71%.



Но поскольку, этот метод разработан как предобработка снимков для алгоритма, обрабатывающего снимки снятых с разных ракурсов, то это не так важно. Дело в том, что если на одном снимке строение не обнаружено, то оно будет обнаружено на другом, снятым с более удобного ракурса. Таким образом, точность обнаружения будет примерно такой же, как и в сложном методе (к примеру [1]). При этом количество данных, обрабатываемых этим алгоритмом, будет значительно меньше. На аэрофотоснимках данный алгоритм выделял 20%-60% от общей площади (в зависимости от типа местности). Это позволяет рассчитывать на ускорение порядка 30%-60%, поскольку данные, полученные на всех этапах, кроме анализа полученных отрезков и соединения их в контуры используются в алгоритме реконструкции зданий по набору аэроснимков. Дополнительные вычислительные затраты малы, поскольку обработка векторных данных вычислительно проще, чем анализ растров.

## Выводы

Алгоритм, приведённый в данной статье, представляет из себя метод выделения зон, где могут располагаться строения, на основе поиска и анализа замкнутых полилиний. Этот алгоритм может быть использован, как самостоятельный метод поиска строений. Однако, результаты такого применения заметно уступают современным методам поиска изображений [8, 14, 17]. С другой стороны, рассмотренный алгоритм хорошо показывает себя в качестве предобработки изображений для последующей передачи полученных результатов алгоритму, обрабатывающему группу изображений сцены [1].

## Литература

- [1] *Baillard C., Zisserman A.* A plane-sweep strategy for the 3D reconstruction of buildings from multiple image // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000. – Vol.33(B2), Part 2. – pp. 56-62.
- [2] *Bao P., Zhang D., Wu X.* Canny edge detection enhancement by scale multiplication // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2005. – Vol. 27(9). – pp. 1485-1490.
- [3] *Berthod M. et al.* High-resolution stereo for the detection of buildings. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images // Birkhäuser Basel, 1995. – pp. 135-144.
- [4] *Brunn A., Weidner U.* Extracting buildings from digital surface models // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1997. – Vol. 32(3), sect. 4W2. – pp. 27-34.
- [5] *Canny J.* A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986. – Vol. 6. – pp. 679-698.
- [6] *Cord M., Paparoditis N., Jordan M.* Dense, reliable and depth discontinuity preserving DEM computation from HRV urban stereopairs // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1997. – Vol. 32. – pp. 49-56.
- [7] *Du S., van Wyk B. J., Tu C., Zhang X.* An improved Hough transform neighborhood map for straight line segmentss // IEEE Transactions on Image Processing, 2010. – Vol. 19(3). – pp. 573-585.
- [8] *Ghaffarian S.* Automatic building detection based on supervised classification using high resolution Google Earth images // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014. – Vol. 40(3). – pp. 101-106.
- [9] *Girard S. et al.* Building detection from high-resolution color images // Remote Sensing – International Society for Optics and Photonics, 1998. – pp. 278-289.
- [10] *Hough P.* Method and Means for Recognizing Complex Patterns // U.S. Patent 3069654, Dec. 18, 1962
- [11] *Jin X., Davis C. H.* Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information // EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005. – pp. 2196-2206.
- [12] *Li H., Lavin M. A., Le Master R. J.* Fast Hough transform: A hierarchical approach // Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986. – Vol. 36(2). – pp. 139-161.
- [13] *Nguyen T. T., Pham X. D., Jeon J.* An improvement of the Standard Hough Transform to detect line segments // IEEE International Conference on Industrial Technology, 2008. – pp. 1-6.
- [14] *Ok A. O.* Automated Extraction of Buildings and Roads in a Graph Partitioning Framework // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2013. – Vol. II-3/W3 – pp. 79-84.
- [15] *O'Rourke J.* Dynamically Quantized Spaces for Focusing the Hough Transform // IJCAI, 1981. – pp. 24-28.
- [16] *Rottensteiner F., Briese C.* A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data // International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2002. – Vol. 34(3/A). – pp. 295-301.
- [17] *Singhal S., Radhika S.* Automatic Detection of Buildings from Aerial Images Using Color Invariant Features and Canny Edge Detection // International Journal of Engineering Trends and Technology, 2014. – Vol. 11(8). – pp. 393-396.
- [18] *Sobel I., Feldman G.* A 3x3 isotropic Gradient Operator for Image Processing // Pattern Classification and Scene Analysis, 1973. – pp. 271-272.
- [19] *Sohn G., Dowman I.* Data fusion of high-resolution satellite imagery and LIDAR data for automatic building extraction // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007. – Vol. 62(1). – pp. 43-63.