

Обнаружение и сопоставление областей, содержащих строения, на аэрофотоснимках*

Л. Новоторцев, А. Волобой

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

Институт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

Одной из основных задач фотограмметрии является обнаружение трёхмерных объектов на аэрофотоснимках. Особенно относится к задаче обнаружения строений. Алгоритмы, решающие данную задачу с наибольшей точностью, обрабатывают данные довольно долго. Это происходит из-за того, что необходимо выполнять сопоставление по нескольким снимкам. При анализе аэрофотоснимков это особенно критично из-за их больших размеров. В данной статье рассматривается метод нахождения участков изображения, где имеет смысл искать строения, и последующий анализ этих областей на основе информации о перекрытии изображений. Это позволит значительно уменьшить количество данных, необходимых для обработки более точными алгоритмами.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обнаружение прямых, обнаружение строений

1. Введение

На данный момент очень актуальна задача анализа изображений по аэро- и космоснимкам. Также в последнее время большое распространение получили данные, полученные с БПЛА (беспилотные летательные аппараты). Вызвано это необходимостью регулярного учёта и анализа освоенных территорий. Дело в том, что сейчас за счёт использования продвинутых технологий возможно очень быстрое освоение новых мест и изменение уже существующих. Это в свою очередь вызывает необходимость в ускорении учёта и отслеживания проведённых изменений. Особенно это касается таких задач, как отслеживание изменения рельефа, застройки и типов строений, вырубки лесов. Использование аэро-съемки значительно облегчает процесс, но ручной анализ очень дорогостоящий и занимает много времени даже для тривиальных задач. По этой причине большое внимание в современных исследованиях уделяется полуавтоматическому и автоматическому анализу снимков.

Решением такого рода задач занимается наука фотограмметрия. Фотограмметрия - наука занимающаяся определением формы, размера, положения и иных характеристик снимков и объектов на них. Одной из распространенных подзадач фотограмметрии является нахождение и трёхмерная реконструкция строений. Это используется для решения таких задач, как построение карт GIS, построение моделей городов и их развития, обнаружение незаконных или опасных застроек.

Основные источники данных, используемые фотограмметрии, – это, как упоминалось выше, космоснимки, аэрофотоснимки и снимки с БПЛА. На данный момент наиболее распространена аэрофотосъемка. Вызвано это тем, что аэрофотосъемка даёт снимки высокого качества при затратах зна-

чительно меньше, чем съёмка со спутника. Снимки, сделанные с БПЛА хоть и дешевле, но имеют низкое качество и точность автоматической обработки таких снимков заметно меньше. По описанным выше причинам в данной статье будут рассматриваться именно аэрофотоснимки.

Стоит отметить, что аэрофотоснимки обладают следующими свойствами:

- Надирная съёмка (съёмка ведётся перпендикулярно земле)
- Высокое разрешение снимков
- Съёмка ведётся маршрутами (один пролёт самолёта над интересующей областью)
- К снимкам прилагается информация о приблизительных координатах центра снимка и направлении съёмки (ориентации снимка)

Рассмотрим существующие подходы решения задачи обнаружения и реконструкции строений по аэрофотоснимкам.

2. Обзор существующих методов

На данный момент существует несколько подходов решения поставленной задачи.

Первый подход связан с обработкой данных, полученных при помощи специальных методов, таких как LiDAR (световое обнаружение и определение дальности). Алгоритмы, основанные на таком подходе [20, 23], дают высокий процент обнаружения объектов и низкую вероятность ложного срабатывания, однако во многих случаях подобные специальные данные недоступны.

Второй подход основан на использовании структурной, контекстной и спектральной информации об изображении [10, 13, 18, 22]. В данном подходе предполагается использование для обнаружения зданий только одного изображения. Для достижения результата используются алгоритмы обнаружения контуров. В основном применяются различные модификации фильтров Собеля [23] и Кэн-

ни [5], метода Хафа [12]. Также используется анализ цветности и яркости отдельных элементов для ещё большего увеличения точности. В некоторых подходах также предлагается находить и проводить анализ теней. Такие подходы могут давать высокую точность. Однако они всё равно уступают по точности методам, опирающимся на анализ нескольких изображений. Кроме того, использование такого рода алгоритмов не позволяет (или позволяет с очень малой точностью) выполнить трёхмерную реконструкцию строений.

Подходы, оперирующие анализом областей по нескольким снимкам, имеют большую точность обнаружения и позволяют проводить реконструкцию объектов. Однако такие алгоритмы требуют больших вычислительных затрат.

Один из подходов, использующий несколько снимков, ориентирован на построение плотной матрицы высот: ЦММ (Цифровая Модель Местности) и ЦМР (Цифровая Модель Рельфа). ЦММ представляет собой матрицу с данными о высоте земной поверхности, включая здания, растительность и другие высотные объекты. ЦМР же учитывает исключительно рельеф. После ЦММ и ЦМР обрабатывается с целью обнаружения и реконструкции зданий. Обобщённые методы выделения изображений [4, 7, 11] дают довольно неточные результаты. По этой причине часто применяются методы, использующие априорную информацию об искомым объектах [3]. Кроме того построение точной матрицы высот подразумевает выполнение полного ориентирования снимков (задание соответствия всех точек между снимками). Это всё приводит к значительным временным затратам.

Другой подход опирается на обнаружение линейных черт на различных изображениях, последующее сопоставление этих черт и построение трёхмерной модели на основе результатов сопоставления [1]. Такой подход обеспечивает хорошие результаты за счёт сбора информации с нескольких изображений. Большая скорость работы обусловлена отсутствием необходимости выполнять полное уравнивание.

3. Основная идея

Недостаток, связанный с длительным временем сопоставления отрезков, можно компенсировать, ограничив область каждого изображения, которую обрабатывает алгоритм, и выполнить сопоставление выделенных областей по наиболее характерным элементам внутри них. Достаточно выполнить небольшое количество сопоставлений, чтобы выбрать коррелирующие между собой области на разных снимках. Это позволит более точным методам работать быстрее, поскольку для сопоставления отрезков придётся гораздо меньше обрабаты-

вать отрезков-кандидатов. Полный алгоритм можно разбить на следующие подзадачи:

1. Обнаружение границ
2. Выделение прямых линий и отрезков
3. Объединение отрезков в замкнутые контуры и отбраковка контуров
4. Выполнение сопоставления областей
5. Выполнение точного алгоритма сопоставления отрезков и построение трёхмерной модели

Предложенный алгоритм выполняют подзадачи 1-4, в то время как пункты 5 выполняются одним из точных алгоритмов сопоставления прямых и в данной статье не рассматриваются. Также стоит обратить внимание, что пункты 1-3 выполняются для каждого из изображений, а пункты 4-5 подразумевают выполнение сопоставления примитивов между изображениями.

4. Обнаружение границ

Первым шагом представленного алгоритма является обнаружение границ на изображении. Основным подходом к решению этой задачи является фильтр Кэнни [5] и его модификации [2, 8].

5. Выделение отрезков

Далее по полученной карте границ производится векторизация и обнаружение отрезков. Наиболее распространённым методом решением этой задачи является алгоритм Хафа [12] и его модификации [9, 14, 16, 19].

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 [9]. Отрезки, найденные на соседних сегментах, объединяются, если они лежат на одной прямой.

6. Объединение отрезков в замкнутые контуры

Следующим важным этапом является объединение отрезков, полученных на предыдущем этапе в замкнутые контуры [17].

Общий принцип заключается в следующем. Поочерёдно выполняются этапы:

1. Объединение отрезков, лежащих на одной прямой
2. Объединение отрезков, лежащих на пересекающихся прямых
3. Объединение отрезков, лежащих на параллельных прямых.
4. Замыкание полученных ломанных и фильтрация

В каждом этапе выполняются проверки, основанные на геометрических особенностях рассматриваемого случая и решения о необходимости выполнения объединения. В сложных случаях выполняется повторная фильтрация спорной области методом Кэнни, но с более чувствительными настройками.

7. Сопоставление областей

После выполнения операций, описанных в разделах 4-6, для всех рассматриваемых изображений, мы получаем набор областей на каждом из снимков и набор связанных отрезков внутри этих областей.

В первую очередь стоит отметить, что за счёт того, что для аэрофотоснимков также поставляются координаты, где и как эти снимки сняты, то возможно выполнить примерное сопоставление пикселей между снимками. В общем случае информация о положении снимков предоставляется в виде координат углов снимков в общей системе координат. Стоит заметить, что такое сопоставление имеет грубый характер, как из-за погрешности приборов измерения, так и за счёт отсутствия учёта высот (строений и рельефа).

Рассмотрим случай обработки одной области и попытки сопоставить её с одной из областей на снимке, имеющий перекрытие с первым снимком на интересующем нас сегменте.

В первую очередь строим приблизительную проекцию рассматриваемой области на второй снимок. Это выполняется при помощи двух последовательных преобразований вершин области. Напомним, что область представляет собой многоугольник. Сначала преобразовываем координаты вершин из пиксельной системы координат первого снимка в общую систему координат всех изображений. После этого полученные координаты преобразуются в пиксельную систему координат второго снимка. Существует несколько способов выполнения подобного преобразования. В данной статье использовался следующий подход. Для первого снимка вычисляются пиксельные расстояния от рассматриваемой точки до углов изображения R_1, R_2, R_3, R_4 . После этого эти величины нормируются путём деления каждой на сумму всех четырёх расстояний и получаются величины $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$. Глобальные координаты рассматриваемой точки рассчитывается как взвешенная сумма глобальных координат с весами $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$. Далее вычисляется расстояния от точки до глобальных координат углов второго снимка и их нормировка $\rho'_1, \rho'_2, \rho'_3, \rho'_4$. Эти параметры используются как веса для пиксельных координат углов второго снимка при их суммировании для получения пиксельных координат рассматриваемой точки на втором снимке.

Теперь, когда мы получили приблизительную проекцию рассматриваемой области на второй снимок

необходимо найти коррелирующую с ней область на втором снимке. Сначала для ускорения вычислений ограничим количество областей-претендентов. Для этого введём параметр - допуск на расстояние между центрами областей. Данный параметр рассчитывается на основе информации о съёмке: масштаб, примерная разница высот местности и т.д., поэтому будем его рассматривать просто как входной параметр алгоритма. Таким образом попытаемся сопоставить рассматриваемую область будем только с теми областями, центры которых удалены от центра текущей области не более чем на заданную величину.

После этого области-претенденты отсортируем согласно двум критериям: площадь пересечения с рассматриваемой областью и расстояние между центрами областей. Сортировка по второму параметру ведётся только в случае совпадения по первому.

Дальнейшую обработку будем проводить перебирая области- претенденты по порядку, согласно проведённой сортировке. Это обуславливается тем, что области, расположенные ближе друг к другу с большей вероятностью окажутся коррелирующими.

Выбираем на исходной области 3 особые точки следующим образом:

- точки находятся в вершинах ломанных, построенных на этапе, описанном в разделе 6.
- точки находятся в разных концах области. Если выбранные точки окажутся сгруппированы, тогда с большой вероятностью они могут быть не найдены на коррелирующей области другого снимка из-за того что эти точки просто пропали при съёмке из-за перекрытия объектом.

Для каждой из этих трёх точек выполняем сопоставления [6, 15, 21] с тройками "особых" точек, аналогично связанных отрезками, рассматриваемой области второго снимка. Важно отметить, что на втором снимке не ищется угол, а ищутся пары точек, связанные отрезком, поскольку одна из точек, как упоминалось ранее, может пропасть.

Среди рассмотренных областей выбирается та, в которой произошло наилучшее сопоставление. Также для ускорения возможно прерывать перебор областей, при сопоставлении близком к идеальному. Подобный алгоритм необходимо выполнить для всех снимков на которые попадает рассматриваемая область и для всех областей (дважды перебирать уже сопоставленные области смысла нет).

Данные полученные в результате сопоставления областей, такие как сопоставление "особых" точек, можно использовать как начальные данные для сложных алгоритмов сопоставления отрезков и выделения объектов.

8. Результаты

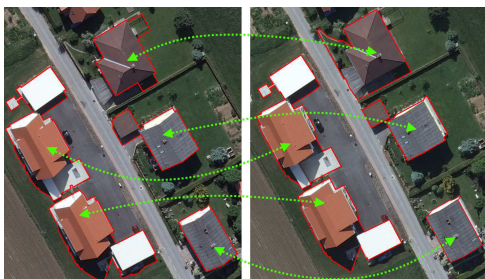


Рис. 1: Выделенные области и их сопоставление

На рисунке 1 показаны результаты выделения областей и их сопоставления. Из данного примера легко заметить, что на правом снимке одна из областей не была ни с чем сопоставлена из-за того, что на левом изображении она включена в одну область со зданием.

Описанный алгоритм даёт точность сопоставления в среднем 93% на тестовом проекте аэрофотосъёмки. В большинстве случаев ошибки вызваны включением нескольких объектов в одну область на одном из снимков и в разные области на другом. Также ошибки сопоставления возникают на плоских однотонных объектах, таких как плоские крыши, сильно засвеченные при съёмке (такие присутствуют на изображении).

9. Заключение

В данной статье рассмотрен алгоритм предварительной обработки изображений и нахождения соответствующих областей на разных снимках, сделанных при помощи аэрофотосъёмки в контексте задачи обнаружения строений. Описанный алгоритм нельзя рассматривать как самостоятельный алгоритм обнаружения строений, поэтому сравнение с существующими методами сделать невозможно. Тем не менее, можно сделать заключение на основе полученных данных, что уменьшено количество данных для последующей обработки (примерно на 40-80%), при незначительных дополнительных расходах. Помимо этого, большую часть промежуточных результатов, таких как найденные отрезки, ломаные, и результаты сопоставления точек, можно использовать в дальнейшей точной обработке снимков.

Точность сопоставления алгоритма страдает из-за ошибок, связанных с построением областей. Анализ существующих ошибок показывает, что в большинстве случаев эти ошибки можно устранить путём исключения теней из выделения.

Литература

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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, pp. 135-144, 1995.
- [4] Brunn A., Weidner U. Extracting buildings from digital surface models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(3) sect. 4W2, pp. 27-34, 1997.
- [5] Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 6, pp. 679-698, 1986.
- [6] Chen Y., Wang J. Z. A region-based fuzzy feature matching approach to content-based image retrieval. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 24(9), pp. 1252-1267, 2002.
- [7] 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*, 32, pp. 49-56, 1997.
- [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] Ghaffarian S., 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*, 40(3), pp 101-106, 2014.
- [11] Girard S. et al. Building detection from high-resolution color images. *Remote Sensing – International Society for Optics and Photonics*, pp 278-289, 1998.
- [12] Hough P. V. C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns, U.S. Patent 3069654, Dec. 18, 1962.
- [13] 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, 2005.
- [14] 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.
- [15] Miksik O., Mikolajczyk K. Evaluation of local detectors and descriptors for fast feature matching. *Pattern Recognition (ICPR), IEEE International Conference on*, pp. 2681-2684, 2012.

- [16] 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.
- [17] Novotortsev,L., Voloboy,A. Automated Detection of Buildings on Aero Images. WSCG Posters Proceedings, Vol. 23, pp. 23-28. 2015.
- [18] Ok A. O. Automated Extraction of Buildings and Roads in a Graph Partitioning Framework. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3/W3, pp 79-84, 2013.
- [19] O'Rourke J. Dynamically Quantized Spaces for Focusing the Hough Transform. IJCAI, 81, pp. 24-28, 1981.
- [20] 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, 34(3/A), pp 295-301, 2002.
- [21] Roux M., McKeown D. M. Feature matching for building extraction from multiple views. Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94. IEEE Computer Society Conference on, pp. 46-53, 1994.
- [22] 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(IJETT) 11(8), pp 393-396, 2014
- [23] 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, 62(1), pp. 43-63, 2007.