

Отчет по проделанной работе в рамках НИРС

Руцкий Владимир Владимирович, гр. 5057/12, 10 семестр 2011 г.

Тема работы: Решение задачи построения ортофотоплана по аэрофотоснимкам с большим параллаксом

Место выполнения: ЗАО «Транзас Новые Технологии»

Руководитель: Ковалёв Антон Сергеевич, магистр прикладной математики и информатики, ведущий инженер-программист (руководитель группы) ЗАО «Транзас Новые Технологии»

1 Постановка задачи

Даны два аэрофотоснимка поверхности Земли, сделанных из камеры, установленной на низколетящем летательном аппарате (высота съёмки над поверхностью Земли находится в диапазоне от 800 до 1600 метров).

Углы зрения камеры лежат в диапазоне от 30° до 60° . Направление съёмки отклоняется от вертикального вниз не более чем на несколько градусов. Снимки получены с высоким пространственным разрешением от 15 до 40 см на точку.

Положения камеры в пространстве в момент съёмки известны с точностью до 50 метров, ориентация камер — с точностью до 30° . Снятые камерой области поверхности Земли пересекаются не менее чем половиной своей площади, и объекты, стоящие на снимаемой поверхности и снятые на обоих снимках, видны под разными углами.

На снимаемой поверхности Земли встречаются объекты, возвышающиеся над её поверхностью на высоту до 40 метров: строения, деревья; и объекты, опускающиеся на глубину до нескольких метров: канавы, рвы. В результате съёмки таких объектов из разных точек возникает явление параллакса: объекты, не лежащие на поверхности Земли, оказываются смещены относительно объектов, лежащих на поверхности Земли, на разных снимках на разное расстояние.

Требуется по данным снимкам выбрать точки привязки и построить ортофотоплан.

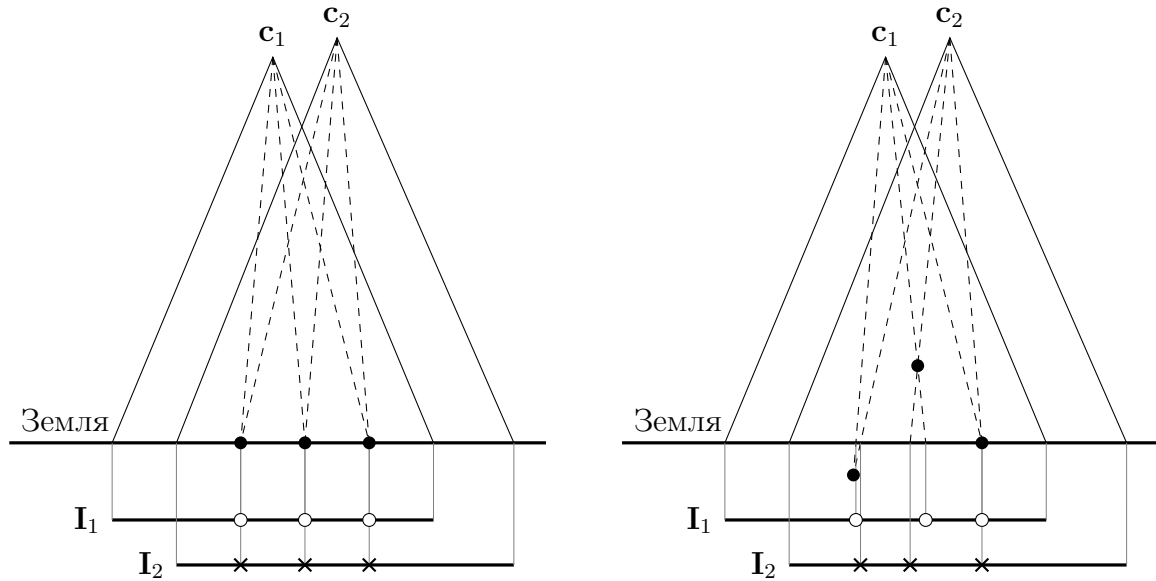
2 Элементы исследования и новизны

Из-за параллакса значительно усложняется задача совмещения снимков (см. Рис. 1). Например, при преобладании на снимках леса, снимки могут быть ошибочно совмещены не по плоскости Земли, а по плоскости верхушек деревьев леса, и тогда снятая на тех же снимках дорога может быть некорректно состыкована на результирующем изображении. Особенно эта проблема проявляется на снимках городов.

Данная задача была изучена для съёмок с больших высот и более низкой детализацией снимков.

3 Ожидаемый результат

Решение поставленной задачи позволит улучшить качество ортофотопланов, получаемых из аэрофотоснимков, сделанных на низких высотах.



(a) Все снимаемые точки лежат в плоскости Земли.

(b) Не все снимаемые точки лежат в плоскости Земли, наблюдается параллакс.

Рис. 1: Съёмка поверхности Земли из двух точек c_1, c_2 без параллакса (a) и с параллаксом (b). Снятые камерой изображения обозначены как I_1, I_2 , снимаемые точки обозначены \bullet , их положения на снимках обозначены \circ, \times .

В случае (a) точки на снимках связаны преобразованием-гомографией, в случае (b) точки на снимках связаны значительно более сложными преобразованиями.

4 Среда разработки

Платформа: Microsoft Windows XP.

Языки программирования: C++, Python.

Среда разработки: Microsoft Visual Studio, NetBeans.

Используемые библиотеки: Boost¹, OpenCV², FLANN³.

5 Выполненная работа

5.1 Обзор литературы

Поставленная задача относится к области знаний компьютерного зрения, основные методы совмещения снимков описаны в [1, 2, 3]:

1. Метод прямого попиксельного совмещения (англ. *direct pixel-based alignment* [4]) — вычислительно сложный подход; при проявлении параллакса на значительной площади метод работает очень плохо; точности позиций камер недостаточно для получения корректного результата.
2. Метод восстановления плотного облака 3D точек (англ. *dense points cloud reconstruction* [5]) — очень перспективный, но вычислительно сложный подход.

¹<http://www.boost.org/>

²<http://opencv.willowgarage.com/>

³<http://people.cs.ubc.ca/~mariusm/index.php/FLANN/FLANN>

3. Метод восстановления информации о глубине пикселей, рассматривая исходные изображения как стереопару (англ. *stereo correspondence* [6]) — точности исходных данных недостаточно для построения модели эпиполярной геометрии и последующей ректификации изображений.
4. Метод совмещения снимков по особенным точкам изображения (англ. *feature-based alignment* [7, 8, 9]) — наиболее гибкий подход, на основе которого была решена поставленная задача, описание будет представлено ниже.

5.2 Выбранный метод решения

Для построения ортофотоплана был выбран метод, основывающийся на выборе и сопоставлении особенных точек изображения [7, 8, 9]. Общая схема алгоритма построения ортофотоплана состоит в следующем:

1. На снимках выбираются особенные точки $\{\mathbf{p}_i\}$ (англ. *feature points* [7]).
2. Между снимками ищется множество пар похожих особенных точек $\tilde{S} = \{(\mathbf{p}_i, \mathbf{p}_j)\}$, где \mathbf{p}_i из первого снимка, а \mathbf{p}_j из второго.
3. По найденным парам похожих особенных точек \tilde{S} производится оценка матрицы гомографии $\mathbf{H} \in \mathbf{R}_{3,3}$, задающей преобразование между точками снимков: $\mathbf{p}_1 \approx \mathbf{H} \cdot \mathbf{p}_2$, где \mathbf{p}_1 и \mathbf{p}_2 точки первого и второго снимков соответственно (в однородных координатах).

Строится множество пар соответствующих друг-другу особенных точек S , путём удаления из \tilde{S} пар точек изображений, явно не связанных преобразованием матрицей гомографии \mathbf{H} .

В случае отсутствия параллакса, найдённой матрицы гомографии было бы достаточно для построения ортофотоснимка: из матрицы гомографии можно извлечь нормаль плоскости Земли и взаимное положение камер с точностью до масштаба [10], далее изображения можно репроецировать на истинную плоскость Земли.

4. Производится оценка положений камеры в пространстве в момент съёмки $\mathbf{c}_1, \mathbf{c}_2 \in \mathbf{R}^3$ и положений точек снимаемой поверхности $\{\mathbf{x}_k\} \subset \mathbf{R}^3$, соответствующих особенным точкам из S , с помощью метода уравнивания связок (англ. *bundle adjustment* [11]). Положения находятся в системе координат связанной с одной из камер.
5. Из S выбираются точки \bar{S} , наиболее вероятно лежащие в плоскости Земли.
6. По \bar{S} оценивается истинная плоскость поверхности Земли.
7. Изображения репроецируются на найденную плоскость Земли.

Выбор особенных точек

На последовательных снимках, сделанных с летательного аппарата, масштаб изображений меняется незначительно, а ориентация камеры может измениться на угол до 45° , поэтому оказалось достаточно использовать детектор особенных точек не инвариантный к масштабу, но инвариантный к повороту. В качестве такого детектора был реализован модифицированный детектор Харриса [12].

Поиск похожих особенных точек

Для поиска похожих особенных точек, каждой особенной точке \mathbf{p}_i ставится в соответствие дескриптор $\mathbf{v}_i \in \mathbf{R}^n$, обладающий следующим свойством: фрагменты снимков, соответствующие особенным точкам $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$, тем больше похожи друг на друга, чем меньше евклидово расстояние в \mathbf{R}^n между их дескрипторами $d = |\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2|$.

Таким образом поиск похожих особенных точек сводится к поиску ближайших соседей для точек в пространстве \mathbf{R}^n . Данная задача приближённо решалась с помощью библиотеки FLANN [13].

Оценка матрицы гомографии и фильтрация ошибочных совмещений

Для оценки матрицы гомографии и выделения среди множества пар соответствующих точек S был реализован алгоритм MLESAC [14] — модификация RANSAC [15], разработанная специально для оценки матрицы гомографии.

Оценка положений камер и особенных точек

Для получения оценок положений камер и особенных точек в пространстве был использован метод уравнивания связок: формулировалась задача минимизации суммы квадратов ошибок репроекции [3], данная задача оптимизации решалась алгоритмом Левенберга-Марквардта [16, 17].

Выбор точек на истинной плоскости Земли и оценка плоскости Земли

Особенные точки в пространстве $\{\mathbf{x}_k\}$ можно разделить на следующие категории по распределению высот относительно истинной плоскости Земли:

1. особенные точки на изображении дорог, земли — точки, лежащие на плоскости Земли;
2. особенные точки на изображении леса, растительности — точки, высота которых распределена между нулём и высотой вершин растительности;
3. особенные точки на изображении крыш зданий — точки, лежащие группами в разных плоскостях, параллельных истинной плоскости Земли, выше плоскости Земли;
4. особенные точки на изображении канав, рек — точки, лежащие группами в разных плоскостях, параллельных истинной плоскости Земли, ниже плоскости Земли.

Эффективным способом выделения областей на изображении с точками, соответствующими лесу, растительности и точками канав, рек, оказалось выделение областей изображения с преобладанием наиболее тёмных пикселей исходных изображений. Наиболее тёмные пиксели исходных изображений выбирались как пиксели имеющие яркость из нижнего 0.3-квантиля гистограммы яркости.

После фильтрации точек, соответствующих лесу и растительности, оставшиеся точки соответствовали группам точек, лежащих в плоскостях параллельных истинной плоскости Земли, с преобладанием точек, лежащих дорогах и земле. На таких данных истинная плоскость Земли оценивалась с помощью алгоритма RANSAC с ограниченным штрафом за точки-выбросы.

5.3 Возникшие проблемы

Искажение изображения линзами

Аберрации оптической системы фотокамеры вносили искажения в исходные снимки и приводили к систематическим ошибкам. Аберрации были аппроксимированы полиномиальной моделью радиального искажения, описанной в [18] и [3], и убраны обратными преобразованиями.

6 Результаты

На основе алгоритмов представленных в [7, 8, 9] был разработан метод построения ортофотоплана по паре некалиброванных аэрофотоснимков высокого разрешения с автоматическим выбором плоскости проектирования.

Разработанный метод был протестирован на реальных данных, в полученных ортофотопланах снимки корректно состыкованы по плоскости Земли. Результат работы разработанного метода получился более точным, чем результат построения ортофотоплана в автоматическом режиме по тем же аэрофотоснимкам с помощью популярных программ для создания ортофотопланов ERDAS IMAGE AutoSync⁴ и Hugin⁵.

7 Дальнейшие исследования

Вычисления, производимые в разработанном методе, можно частично перенести на GPU, что значительно ускорит конечную скорость работы метода.

Вызванные параллаксом нестыковки на границе между совмещаемыми снимками можно убрать используя специальные алгоритмы [19, 20].

Построив плотное облако точек и восстановив геометрию объектов на поверхности Земли [5], возможно практически полностью убрать эффекты параллакса и построить геометрически точный ортофотоплан.

Список литературы

- [1] B. Zitová, J. Flusser, *Image registration methods: a survey*. Image and Vision Computing, 21, стр. 977–1000, Elsevier, 2003.
- [2] R. Szeliski, *Image Alignment and Stitching: A Tutorial*. Now Publishers Inc, 2006.
- [3] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.
- [4] J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, R. Hingorani, *Hierarchical model-based motion estimation*. Second European Conference on Computer Vision (ECCV'92), стр. 237–252, Springer-Verlag, 1992.
- [5] Y. Furukawa, J. Ponce, *Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis*. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009.

⁴<http://www.erdas.com/products/ERDASIMAGE/IMAGEAutoSync/Details.aspx>

⁵<http://hugin.sourceforge.net/>

- [6] D. Scharstein, R. Szeliski, *A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms*. International journal of computer vision, 47 (1), стр. 7–42, Springer, 2002.
- [7] T. J. Cham, R. Cipolla, *A Statistical Framework for Long-Range Feature Matching in Uncalibrated Image Mosaicing*. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, стр. 442–447, 1998.
- [8] M. Brown, D. G. Lowe, *Recognising panoramas*, Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, стр. 1218–1225, 2003.
- [9] P. F. McLauchlan, A. Jaenicke, *Image mosaicing using sequential bundle adjustment*. Image and Vision Computing, 20 (9–10), стр. 751–759, Elsevier, 2002.
- [10] E. Malis, M. Vargas, *Deeper understanding of the homography decomposition for vision-based control*. INRIA, 2007.
- [11] B. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley, A. Fitzgibbon, *Bundle adjustment — a modern synthesis*. Vision algorithms: theory and practice, стр. 153–177, Springer, 2000.
- [12] C. Harris, M. Stephens, *A combined corner and edge detector*. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, 15, стр. 147–151, 1988.
- [13] M. Muja, D. G. Lowe, *Fast Approximate Nearest Neighbors with Automatic Algorithm Configuration*. International Conference on Computer Vision Theory and Application VISSAPP'09, стр. 331–340, INSTICC Press, 2009.
- [14] P. H. S. Torr, A. Zisserman, *MLESAC: A new robust estimator with application to estimating image geometry*. Computer Vision and Image Understanding, 78 (1), стр. 138–156, Elsevier, 2000.
- [15] M. A. Fischler, R. C. Bolles, *Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*. Communications of the ACM, 24 (6), стр. 381–395, 1981.
- [16] K. Levenberg, *A method for the solution of certain problems in least squares*. Quarterly of Applied Mathematics, 2, стр. 164–168. 1944.
- [17] D. W. Marquardt, *An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters*. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11 (2), стр. 431–441, 1963.
- [18] Д. Форсайт, Ж. Понс, *Компьютерное зрение. Современный подход*. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
- [19] H. Y. Shum, R. Szeliski, *Systems and experiment paper: Construction of panoramic image mosaics with global and local alignment*. International Journal of Computer Vision, 36 (2), стр. 101–130, Springer, 2000.
- [20] S. B. Kang, R. Szeliski, M. Uyttendaele, *Seamless stitching using multi-perspective plane sweep*. Microsoft Research, 2004.