



С.А. Оплачко, Е.В. Гошин

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ
МАТРИЦЫ В ЗАДАЧЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Введение

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к системам компьютерного зрения. Эти системы используются для решения задач безопасности, контроля продукции, автоматизации производства, наблюдения и анализа фоно-целевой обстановки и др. Реконструкция трёхмерных цифровых моделей сцен используется в перспективных системах мобильных роботов, беспилотных летательных аппаратов, автомобилей и др.

Реконструкция трёхмерной сцены по двум и более изображениям является одной из наиболее сложных задач компьютерной обработки изображений. Известно, что центральной проблемой в задаче стереозрения является нахождение соответствующих точек на различных видах сцены. Для упрощения поиска соответствующих точек обычно осуществляют ректификацию разноракурсных изображений – выравнивание эпиполярных линий путём проективного преобразования с использованием заданной или вычисленной по тестовым точкам фундаментальной матрицы, задающей связь между соответствующими точками на двух изображениях.

Способ получения информации о глубине состоит в фиксации пары изображений сцены под различными ракурсами и получении карты диспарантности. Карта диспарантности — изображение, яркости пикселов которого соответствуют значений диспарантности (сдвига) пикселов одного исходного изображения относительно другого. Поскольку при этом расстояние до точек сцены обратно пропорционально относительному сдвигу этих точек между двумя изображениями, карта диспарантности может быть использована как грубая оценка трёхмерной структуры сцены.

Целью работы является сравнение полученных карт диспарантности для различных способов определения параметров фундаментальной матрицы.

Постановка задачи

Данная работа была выполнена в рамках ограничений эпиполярной геометрии. Эта геометрия описывает два изображения одной сцены, полученных с разных ракурсов съёмки. Общая схема связи двух проекций точки трёхмерного пространства на плоскости двух камер приведена на рисунке 1.

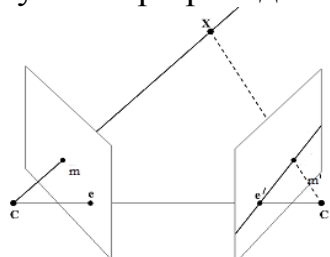


Рис. 1. Модель эпиполярной геометрии



На рисунке 1 точками C и C' представлены центры первой и второй камер, соответственно. Точка пространства трехмерного пространства X проецируется в точку m с координатами $(x, y, 1)$ на плоскость изображения левой камеры и точку m' с координатами $(x', y', 1)$ на плоскость изображения правой камеры. Если пара точек m и m' являются проекциями одной точки сцены, они называются соответствующими. При этом для них справедливо выражение

$$m'^T F m = 0, \quad (1)$$

где F – фундаментальная матрица [1]:

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Это выражение позволяет вычислить фундаментальную матрицу F без использования параметров камер по соответствующим точкам на изображениях.

Описание технологии

Рассмотрим технологию формирования карт диспаратности при неизвестных параметрах камер.

Для формирования фундаментальной матрицы требуются предварительно найденные соответствующие точки. Для их поиска был использован метод SURF [2]. На первом этапе поиска соответствий на сцене выбираются ключевые точки. Эти точки выбираются в местах резкого перепада градиента изображений. После этого находятся соответствующие друг другу точки на левом и правом изображениях сцены.

Для одной пары заданных соответствующих точек соотношение (1) является линейным однородным уравнением относительно коэффициентов $f_{ij}, i = \overline{1,3}, j = \overline{1,3}$:

$$x'x f_{11} + x'y f_{12} + x'f_{13} + y'x f_{21} + y'y f_{22} + y'f_{23} + x f_{31} + y f_{32} + 1 = 0. \quad (3)$$

Для отыскания всех неизвестных необходимо составить систему линейных однородных уравнений, взяв, по меньшей мере, восемь точек сцены. В случае выбора более восьми точек, система является переопределенной, а решение более точным. Такая система может быть решена с использованием метода наименьших квадратов, метода оценки параметров модели на основе случайных выборок (RANdom SAMple Consensus, RANSAC) [3] или метода оценки по наименьшей медиане (LMedS) [4].

После определения фундаментальной матрицы производится расчет матриц преобразования и производится ректификация посредством проективного преобразования [5]. Полученные ректифицированные изображения сопоставляются с использованием метода Semiglobal Block Matching (SGBM) [6] для сопоставления изображений. В результате выполнения метода SGBM, формируется карта диспаратности для первого изображения сцены относительно второго.

Результаты эксперимента



При моделировании использовались следующие параметры съемки:

- матрица внутренних параметров камеры: $K_1 = K_2 = \begin{bmatrix} 692,82 & 0 & 400 \\ 0 & 692,82 & 300 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$,
- поворот второй камеры относительно первой: $R = \begin{bmatrix} 0,99 & 0 & -0,04 \\ 0,03 & 0,7 & 0,7 \\ 0,03 & -0,7 & 0,7 \end{bmatrix}$,
- смещение центра второй камеры относительно первой: $t = \begin{bmatrix} -1,25 \\ 0 \\ -1,25 \end{bmatrix}$.

С использованием указанных выше параметров съемки получены следующие изображения (рисунок 2).

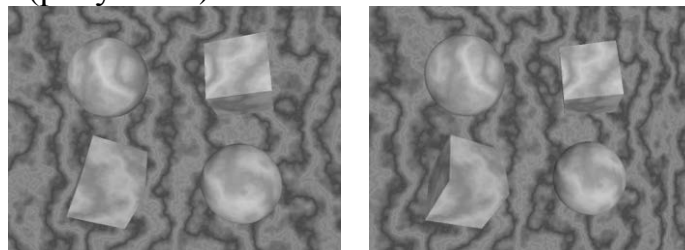


Рис. 2. Левое и правое изображения сцены

Точное значение фундаментальной матрицы было получено из внешних параметров камер с использованием выражения

$$F = K^{-T} [t]_x R K^{-1}, \quad (4)$$

где

$$[t]_x = \begin{bmatrix} 0 & -t_3 & t_2 \\ t_3 & 0 & -t_1 \\ -t_2 & t_1 & 0 \end{bmatrix}.$$

С использованием выражения (4) по параметрам съемки была рассчитана фундаментальная матрица.

На основе различного числа предварительно сопоставленных точек была оценена фундаментальная матрица.

С использованием точной и оцененных фундаментальных матриц было вычислено преобразование ректификации и сформированы карты диспарантности. Результаты формирования приведены на рисунке 3.

Выводы

Выбор достаточного числа точек и подходящего алгоритма формирования фундаментальной матрицы оказывается важной проблемой в случае, когда параметры съемки неизвестны. Поскольку при этом единственным основанием для проведения ректификации является фундаментальная матрица, качество ее оценки напрямую влияет на результат формирования трехмерной модели, в нашем случае – карты диспарантности. Проведенное исследование позволяет сравнить не только точность формирования самой фундаментальной матрицы,



но и результат последующего сопоставления. Можно заметить, что выбор значительно большего числа точек, чем это минимально необходимо, обеспечивает повышение качества сопоставления, вплоть до результата визуально сравнимого с использованием точной фундаментальной матрицы.

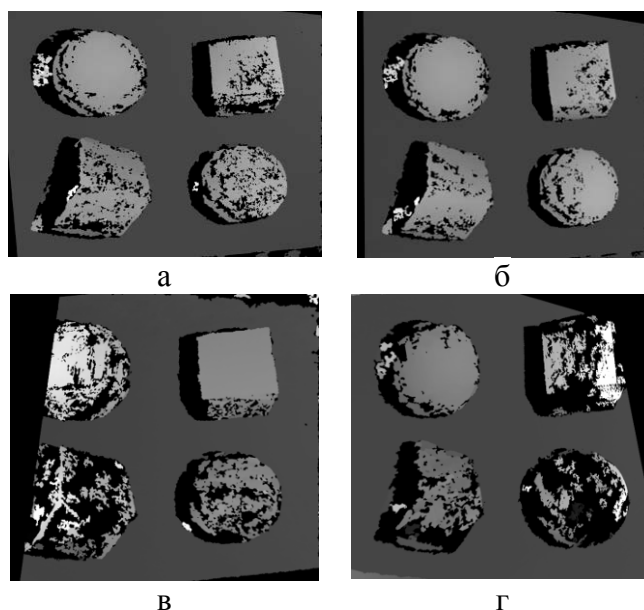


Рис. 3. Карты диспаратности: а) точная фундаментальная матрица, б) RANSAC для 100 точек, в) RANSAC для 40 точек, г) LMedS для 40 точек

Литература

1. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
2. Bay H. Surf: Speeded up robust features / Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. //Computer vision–ECCV 2006. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – С. 404-417.
3. Torr P.H.S. The development and comparison of robust methods for estimating the fundamental matrix / Torr P.H.S., Murray D. W. //International journal of computer vision. – 1997. – Т. 24. – №. 3. – С. 271-300.
4. Hartley R. Multiple view geometry in computer vision / Hartley R., Zisserman A. // Cambridge university press, 2003
5. Hartley R. I. Theory and practice of projective rectification / Hartley R.I. // International Journal of Computer Vision. – 1999. – Т. 35. – №. 2. – с. 115.
6. Birchfield S. Depth Discontinuities by Pixel-to-Pixel / Birchfield S., Tomasi C. // StereoIJC35(3), 1999– с. 269-293.