

СОЗДАНИЕ ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В. В. Панков, Н. А. Каплиева

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 30.11.2014 г.

Аннотация. Панорамные изображения активно используются во многих областях техники – геоинформационных системах, кинематографических системах, технологиях создания виртуальных туров. Для получения панорамного изображения могут быть использованы известные методы компьютерного зрения. В данной статье представлено описание создания панорамных изображений на основе алгоритмов SURF и RANSAC, алгоритма сшивки изображений в градиентной области GIST, а также метода построения проективного преобразования NDLT, позволяющих добиться высокого качества получаемых панорам.

Ключевые слова: панорамные изображения, компьютерное зрение, алгоритм SURF, алгоритм RANSAC, Normalized DLT, GIST.

Annotation. Panoramic images are used in the wide scope of technologies – geographic information systems, cinematographic systems, virtual tours technologies. Panoramic images can be created using well-known computer vision methods. This article describes the procedure of image stitching based on the SURF and RANSAC algorithms, GIST algorithm of image stitching in the gradient domain and the NDLT algorithm estimating projective transformation, which give an opportunity to achieve high quality of the panoramas created.

Keywords: panoramic images, Computer Vision, SURF algorithm, RANSAC algorithm, Normalized DLT, GIST.

ВВЕДЕНИЕ

Под панорамной фотографией понимается фотография с большим углом обзора, превышающим возможности обычных объективов (зачастую больше 180 градусов), или обычная фотография «длинного» формата, с соотношением сторон 1×2 , 1×3 и больше, или фотография, полученная путем технологии сборки панорам из отдельных кадров (при этом она может иметь небольшой угол обзора и стандартное соотношение сторон).

Панорамные изображения находят применение во многих областях современной техники – геоинформационных системах, кинематографических системах, технологиях создания виртуальных туров.

Создание панорамных изображений можно производить с помощью аппаратных средств (панорамных фотоаппаратов, объективов специального вида и др.), но это связано с большими финансовыми затратами и требует серьезных профессиональных навыков фотографии.

Цель статьи – показать, что методы компьютерного зрения SURF и RANSAC позволяют получить панорамные изображения достаточно высокого качества.

Получение панорамных изображений (процесс сшивки) включает следующие этапы:

- 1) обнаружение особых точек снимков и их сопоставление;
- 2) построение проективного преобразования для выравнивания изображений и их переноса в общую плоскость;
- 3) собственно, сшивка выровненных изображений.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСОБЫХ ТОЧЕК

Алгоритм SURF (Speeded-Up Robust Features) решает две задачи – находит особые точки изображения (точки, характеристики которых, например, яркость, значительно отличаются от аналогичных характеристик их соседей) и строит их дескрипторы (объекты, позволяющие уникально идентифицировать особую точку), инвариантные относительно изменений масштаба и ориентации объектов изображения, которым принадлежат особые точки.

Особые точки ищутся с помощью матрицы Гессе

$$H(x, y, \sigma) = \begin{pmatrix} L_{xx}(x, y, \sigma) & L_{xy}(x, y, \sigma) \\ L_{yx}(x, y, \sigma) & L_{yy}(x, y, \sigma) \end{pmatrix},$$

где

$$L_{xx}(x, y, \sigma) = I(x, y) * \frac{\partial^2 g_\sigma}{\partial x^2},$$

$$L_{yy}(x, y, \sigma) = I(x, y) * \frac{\partial^2 g_\sigma}{\partial y^2},$$

$$L_{xy}(x, y, \sigma) = I(x, y) * \frac{\partial^2 g_\sigma}{\partial x \partial y}.$$

Здесь $I(x, y)$ – исходное изображение, $g_\sigma(x, y)$ – функция Гаусса

$$g_\sigma(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}},$$

«*» обозначает оператор свертки.

Определитель матрицы H , называемый гессианом, достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Он хорошо находит пятна, углы и края линий, а также инвариантен относительно вращения.

Для эффективного вычисления свертки применяются интегральные изображения, элементы которых вычисляются по формуле:

$$I_\Sigma(x, y) = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i, j).$$

Гессиан вычисляется приближенно с помощью дискретной свертки интегрального изображения с матрицами-фильтрами Fast-Hessian, представленными на рис. 1.

Для получения дескрипторов, инвариантных относительно изменения масштаба, при-

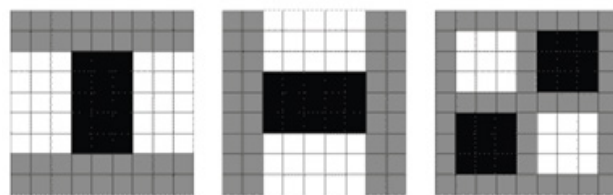


Рис. 1. Фильтры Fast-Hessian размерности 9×9

меняются фильтры Fast-Hessian различного размера. Множество масштабов (размеров) разбито на группы, называемые октавами.

Особые точки соответствуют пикселям, где гессиан достигает локального максимума. Такие пиксели ищутся с помощью метода Non-Maximum Suppression 3×3×3. Найденные значения могут быть уточнены с помощью метода Ньютона для нахождения минимума функции многих переменных.

После того как особые точки изображения найдены, вычисляются их дескрипторы. Процесс построения дескриптора заключается в формировании вокруг обрабатываемой точки квадратной области, ориентируемой в соответствии с найденным ранее вектором ориентации особой точки, которая разбивается на подобласти. В узлах сетки подобласти вычисляются градиенты с применением фильтров Хаара (см. рис. 2). Компоненты градиентов формируют величины $\sum dX$, $\sum |dX|$, $\sum dY$, $\sum |dY|$, которые затем заносятся в дескриптор.

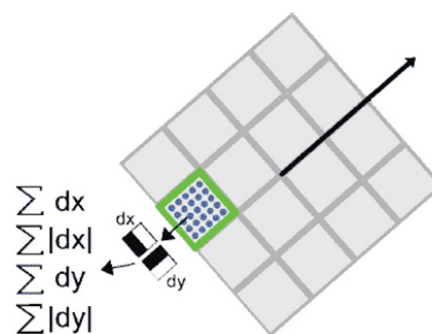


Рис. 2. Вычисление дескриптора особой точки

Дескрипторы используются для сопоставления особых точек двух изображений: точке одного изображения сопоставляется точка другого изображения, если евклидово расстояние между их дескрипторами минимально.

2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Метод NDLT (Normalized Direct Linear Transformation) строит гомографию – преобразование координат точек одного изображения в координаты соответствующих точек другого изображения. Метод основан на составлении и решении системы линейных алгебраических уравнений на основе установленных соответствий точек двух изображений.

Имея четыре установленных соответствия между точками изображений $\{X_i \leftrightarrow X'_i\}$, необходимо преобразовать X_i и X'_i так, чтобы геометрический центр наборов точек имел координаты $(0, 0)$, а среднее расстояние до него было равно $\sqrt{2}$. Матрица H размером 3×3 определяется из уравнения:

$$\overline{X'_i} = H \overline{X_i} \Leftrightarrow [\overline{X'_i}, H \overline{X_i}] = 0.$$

Данное уравнение сводится к задаче оптимизации

$$\frac{\|Ah\|}{\|h\|} \rightarrow \min,$$

где оператор A составляется из операторов вида

$$A_i h = \begin{pmatrix} 0^T & -w'_i \overline{X_i}^T & y'_i \overline{X_i}^T \\ w'_i \overline{X_i}^T & 0^T & -x'_i \overline{X_i}^T \\ -y'_i \overline{X_i}^T & x'_i \overline{X_i}^T & 0^T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h^1 \\ h^2 \\ h^3 \end{pmatrix}.$$

Задача решается применением сингулярного разложения матрицы A . В результате получается матрица проективного преобразования

$$H = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix}.$$

Алгоритм RANSAC – устойчивый к выбросам метод оценки параметров математических моделей на основе случайных выборок. Применение RANSAC требуется для того, чтобы исключить из наборов установленных соответствий особые точки изображений мнимые соответствия (так называемые выбросы). Например, если рассматривать не

особые точки изображений, а просто точки на плоскости, RANSAC позволяет вписать прямую в заданное множество точек так, чтобы расстояние до как можно большего количества точек было наименьшим.

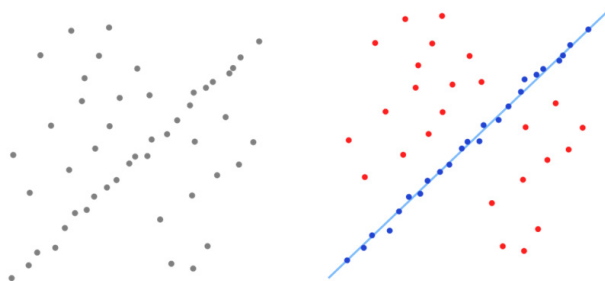


Рис. 3. Результат применения RANSAC к заданному множеству точек

Алгоритм RANSAC дает возможность вычислить гомографию так, чтобы после применения ее к одному изображению координаты соответствующих особых точек двух изображений отличались незначительно, т. е. имеет место процесс минимизации статистик вида

$$d_i = d(X_i, H^{-1} X'_i)^2 + d(X'_i, H X_i)^2.$$

3. СШИВКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Существует два основных способа программной сшивки изображений:

1) в общей области изображений ищется кривая, вдоль которой различия между сшиваемыми изображениями минимальны, а затем части различные части изображений копируются в результирующий снимок по соответствующие стороны от найденной кривой;

2) переход между сшиваемыми изображениями сглаживается для устранения артефактов сшивки.

В работе [6] представлены два варианта алгоритма сшивки изображений в градиентной области, получивших отсюда названия GIST1 и GIST2 (Gradient-domain Image Stitching). Сшивка осуществляется на основе решения задачи оптимизации, использующей градиенты сшиваемых изображений. В частности, алгоритм GIST2 вычисляет производные изображений

$$\frac{\partial I_1}{\partial x}, \frac{\partial I_1}{\partial y}, \frac{\partial I_2}{\partial x}, \frac{\partial I_2}{\partial y},$$

затем полученные изображения сшиваются одним из стандартных способов по одноименным переменным, по которым проводилось дифференцирование. Итоговое изображение строится с помощью минимизации функционала специального вида, принимающего в качестве параметров вычисленные ранее производные сшиваемых снимков.

Проведенный в [6] анализ результативности данного алгоритма подтверждает, что сшивка изображений в градиентной области значительно улучшает качество получаемых панорам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы компьютерного зрения позволяют решать на качественно новом уровне известные задачи, открывая новые грани используемых алгоритмов и расширяя области применения многих алгебраических методов, методов вычислительной математики и цифровой обработки изображений.

Панков Владимир Владимирович – студент 2 курса магистратуры кафедры вычислительной математики и прикладных информационных технологий факультета ПММ Воронежского государственного университета.
E-mail: pankovfam@mail.ru

Каплиева Наталья Алексеевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры математического обеспечения ЭВМ факультета ПММ Воронежского государственного университета.
E-mail: kaplieva@amm.vsu.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bay H. Speeded-Up Robust Features (SURF) / H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars // Computer Vision and Image Understanding (CVIU) – 2008. – V. 110, № 3. – С. 346-359.
2. Oyallon E. An analysis and implementation of the SURF method, and its comparison to SIFT / E. Oyallon, J. Rabin // IPOL – 2013. – 31 с.
3. Neubeck A. Efficient Non-Maximum Suppression / A. Neubeck, L.V. Gool // ICPR. – 2006. – 6 с.
4. Hartley R. Multiple View Geometry in Computer Vision. Second Edition / R. Hartley, A. Zisserman // NY: Cambridge University Press. – 2004. – 668 с.
5. Zuliani M. RANSAC for Dummies / M. Zuliani. – 2013. – 101 с.
6. Levin A. Seamless Stitching in the Gradient Domain / A. Levin, A. Zomet, S. Peleg, Y. Weiss // ECCV. – 2004. – V. 4. – С. 377-389.
7. Панков В. В. Алгоритм SURF в задачах цифровой обработки изображений / В. В. Панков, Н. А. Каплиева // Сборник материалов Воронежской зимней математической школы «Современные методы теории функций и смежные проблемы», 2013. – С. 176-177.

Pankov Vladimir Vladimirovich – 2nd year postgraduate student of the Division of Computational Mathematics and Applied Information Technologies of the Department of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University.
E-mail: pankovfam@mail.ru

Kaplieva Natalia Alekseevna – Ph. D. in Physics and Mathematics, associate professor of the Division of the Software for Electronic-Calculating Machines of the Department of Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, Voronezh State University.
E-mail: kaplieva@amm.vsu.ru