

Информационная технология адаптивного совмещения изображений

Е.В. Гошин^{1,2}, М.В. Марчуков¹, А.П. Котов^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

²Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

Аннотация. Настоящая работа посвящена сравнению двух подходов для построения мозаики из отдельных изображений: первый основан на поиске и сопоставлении особых точек на изображениях, второй – на преобразование Фурье-Меллина. В исследовании показаны области применимости обоих подходов. Разработана простая методика для выбора предпочтительного подхода на основе характеристик изображений.

1. Введение

Одной из популярных задач компьютерного зрения является задача построения мозаики из нескольких снимков. Данная задача встречается в медицине [1], при получении фотографии большого разрешения, для повышения резкости фотографии, для вставки объекта на существующий снимок, при использовании VR или AR очков, для построения цифровых карт [2].

Также задача построения панорамы получила широкое распространение в робототехнике. Так, в [3] решается задача определения позиции робота, который делает снимки текущей позиции с определенным интервалом, за счёт сопоставления двух соседних изображений. По вычисленным данным воссоздается полная траектория движения робота.

Как правило, задача построения мозаики сводится к последовательному применению алгоритмов попарного совмещения изображений. Среди множества всех подходов к решению данной задачи [4][5] можно выделить две достаточно крупные категории: первая категория подходов предполагает поиск особых точек на паре изображений и их сопоставление посредством сравнения дескрипторов этих точек. Второй подход основан на вычислении частотных или статистических характеристик изображения и поиске преобразования между изображениями. В настоящей работе такой подход представлен методом совмещения изображений, основанном на преобразовании Фурье-Меллина. Основным достоинством подхода, основанного на поиске особых точек, является возможность задания искомого класса преобразований между совмещаемыми изображениями: аффинного или проективного. В свою очередь, достоинством метода, основанного на преобразовании Фурье-Меллина, является устойчивость к шумам, размытию и изменению яркости на изображениях. Целью настоящей работы является разработка методики и программного средства для определения предпочтительного подхода для совмещения изображений на основе их характеристик.

2. Описание подходов

Алгоритм, основанный на поиске ключевых точек, содержит следующие этапы:

1. Поиск значимых точек на двух изображениях.
2. Сопоставление найденных значимых точек.
3. Определение параметров поворота и смещения на основе сопоставленных точек.
4. Преобразование изображений.

В настоящей работе для поиска ключевых точек использовался алгоритм ORB [3] (Oriented FAST and Rotated BRIEF). Данный алгоритм основан на двух других алгоритмах поиска точек – FAST и BRIEF. Для сопоставления найденных точек использовался алгоритм полного перебора. Пример результата работы алгоритма ORB и сопоставления полученных точек методом полным перебором представлен на рисунке 1.

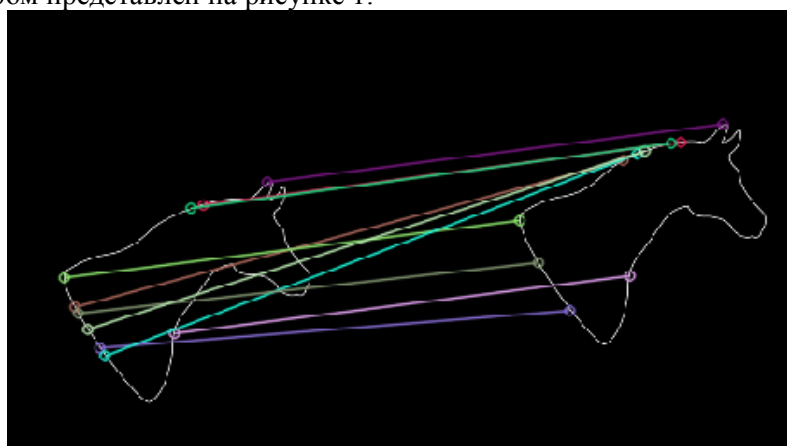


Рисунок 1. Пример работы ORB и полного перебора.

Алгоритм, основанный на преобразование Фурье-Меллина описан в [6]. Этот метод основывается на теореме о смещении спектров, полученных преобразованием Фурье. Из данной теоремы следует, что для двух двумерных функций $f_1(x, y)$ и $f_2(x, y)$ таких, что:

$$f_2(x, y) = f_1(x - t_x, y - t_y),$$

где t_x и t_y – это смещение вдоль соответствующих координат, смещение можно найти с помощью преобразования Фурье. Для расчёта поворота и масштабирования изображений используются операции, основанные на преобразование Фурье-Меллина:

$$M_f(u, v) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \int_0^{2\pi} f(r, \theta) r^{-ju} e^{-jv\theta} d\theta \frac{dr}{r}.$$

3. Определение условий применимости подходов

Для определения предпочтительного подхода было проведено исследование по определению применимости подходов в различных условиях. Для эксперимента был использован алгоритм ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) из библиотеки OpenCV, а также был реализован алгоритм, основанный на преобразование Фурье-Меллина.

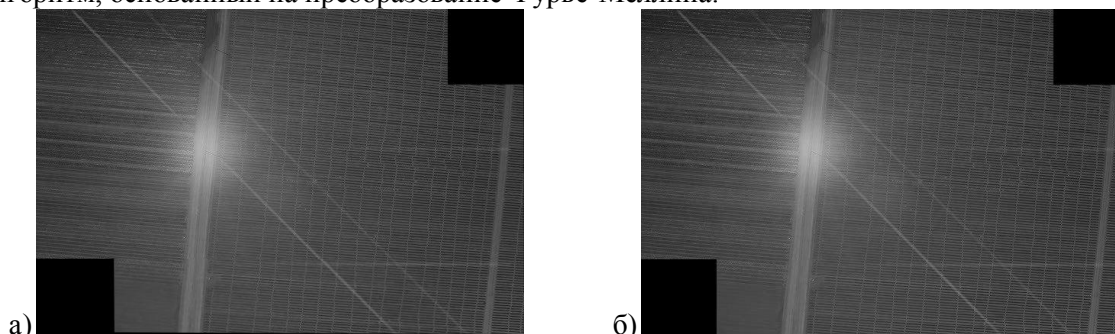


Рисунок 2. Совмещение изображений с изображениями с солнечным бликом: а) алгоритм ORB; б) преобразование Фурье-Меллина.

В качестве исходных данных для данного исследования использовались изображения, содержащие шумы и искажения различной степени. На рисунке 2 представлен результат работы алгоритма ORB и алгоритма, основанного на преобразовании Фурье-Меллина, для двух изображений с солнечными бликами.

Оба алгоритма продемонстрировали приемлемое качество совмещения. При усилении блика алгоритм ORB выдаёт неверный результат, в отличие от алгоритма, основанного на преобразовании Фурье-Меллина. На рисунке 3 представлены результаты сопоставления для сильного блика.

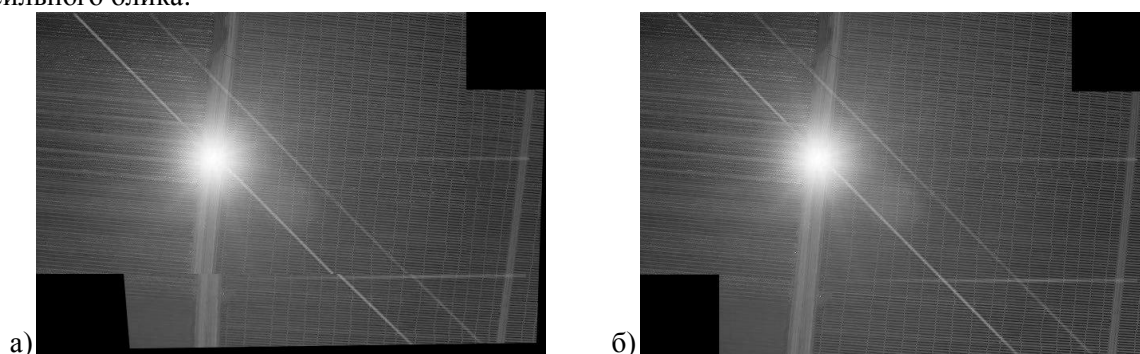


Рисунок 3. Совмещение изображений с изображениями с сильным солнечным бликом: а) алгоритм ORB; б) преобразование Фурье-Меллина.

Тот же результат можно наблюдать при сильном размытии на изображениях (рисунок 4).

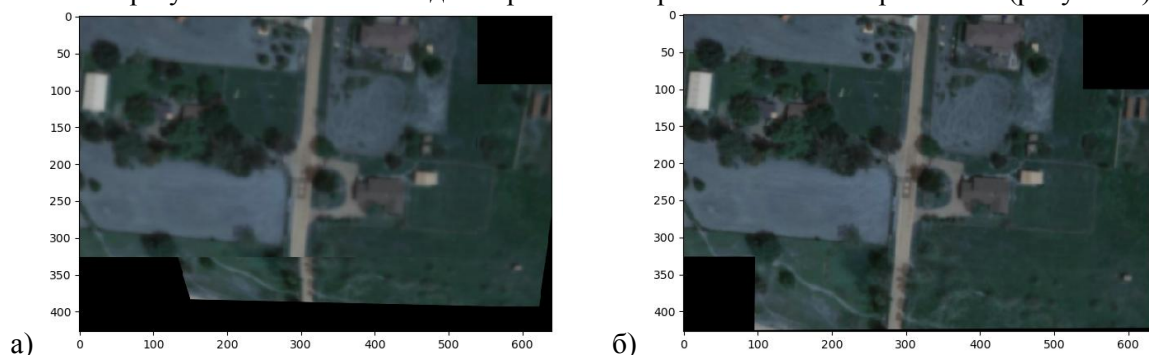


Рисунок 4. Совмещение изображений с изображениями с размытием: а) алгоритм ORB; б) преобразование Фурье-Меллина.

Далее были рассмотрены изображения, совмещение которых требует проективного преобразования. В этом случае ситуация противоположная: алгоритм, основанный на сопоставлении ключевых точек, показывает верный результат, а преобразование Фурье-Меллина – ошибочное совмещение (рисунок 5).

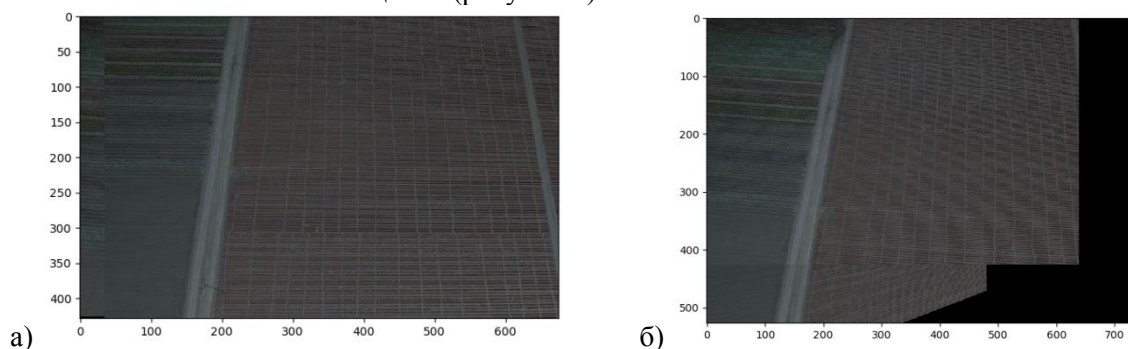


Рисунок 5. Совмещение изображений с изображениями с проективным преобразованием: а) преобразование Фурье-Меллина, б) алгоритм ORB.

4. Характеристики изображений

Для определения наиболее предпочтительного алгоритма была сгенерирована исходная выборка изображений с заранее известными параметрами преобразования между этими изображениями. В качестве характеристики качества изображения была использована оценка Гауссовского шума по изображению [7].

Исследование показало, что суммарная оценка шума на двух изображениях растет с увеличением зашумленности изображений и вместе с ней падает качество совмещения с использованием признаков.

В рамках настоящей работы было сделано предположение, что изображения могут быть надёжно совмещены с использованием алгоритма ORB, если сумма оценок шума на двух изображениях не превышает 0,8, иначе следует считать изображения сильно зашумленными и предпочтительнее использовать алгоритм, основанный на преобразовании Фурье-Меллина.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 6.

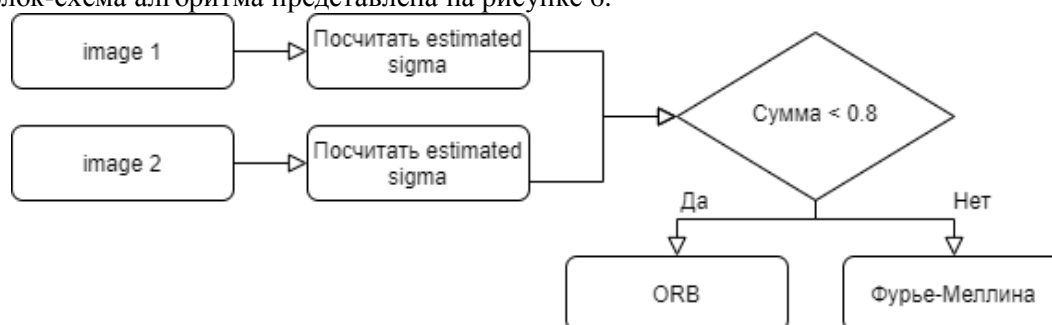


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма.

Предложенная схема, с одной стороны, обеспечивает более точное совмещение изображений при наличии проективных искажений и отсутствии шумов за счёт определения проективного преобразования по соответствующим точкам. С другой, при наличии сильного шума на изображениях используется более устойчивое к шумам преобразование Фурье-Меллина (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение методов совмещения.

Наличие шумов или бликов	Наличие проективных преобразований	Совмещение по особым точкам	Совмещения с использованием Фурье-Меллина	Совмещение с выбором алгоритма
-	-	Верное совмещение	Верное совмещение	Верное совмещение (по особым точкам)
-	+	Верное совмещение	Аппроксимация аффинным преобразованием	Верное совмещение (по особым точкам)
+	-	Высокая частота ошибочного совмещения	Верное совмещение	Верное совмещение (с использованием Фурье-Меллина)
+	+	Высокая частота ошибочного совмещения	Аппроксимация аффинным преобразованием	Аппроксимация аффинным преобразованием (с использованием Фурье-Меллина)

В качестве дальнейшего направления исследований предполагается выбор большего числа характеристик изображений для более надёжного определения предпочтительного алгоритма

5. Заключение

В ходе работы было проведено сравнительное исследование двух подходов к совмещению изображений. Разработана адаптивная технология, позволяющая выбрать предпочтительный

метод совмещения изображений в условиях априорной неопределённости по характеристикам самих изображений.

6. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме FSSS-2020-0017 при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-29-03112). Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору Фурсову В.А. за ряд ценных замечаний при подготовке настоящей работы.

7. Литература

- [1] Wang, Yu. Research on stitching technique of medical infrared images / Yu. Wang, M. Wang // International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM). – 2010. – Vol. 10. – P. 490-493.
- [2] Zhang, Y. Content-preserving image stitching with regular boundary constraints / Y. Zhang, L. Yu-Kun, Z. Fang-Lue // arXiv preprint arXiv:1810.11220, 2018.
- [3] Rublee, E. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G.R. Bradski // International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011. – P. 2564-2571.
- [4] Гошин, Е.В. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений / Е.В. Гошин, А.П. Котов, В.А. Фурсов // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 4. – С. 886-891.
- [5] Еремеев, С.В. Алгоритм совмещения пространственных объектов разномасштабных карт на основе топологического анализа данных / С.В. Еремеев, Д.Е. Андрианов, В.С. Титов // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 6. – С. 1021-1029. DOI: 10.18287/2412-6179-2019-43-6-1021-1029.
- [6] Kazik, T. Visual odometry based on the Fourier-Mellin transform for a rover using a monocular ground-facing camera / T. Kazik, Ali Haydar Goktogan // The University of Sydney, 2011. – P. 469-474.
- [7] Srahy, S. Robust wavelet denoising / S. Srahy, P. Tseng, A. Bruce // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2001. – Vol. 49(6). – P. 1146-1152.

Information technology for image stitching

E.V. Goshin^{1,2}, M.V. Marchukov¹, A.P. Kotov^{1,2}

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

²Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

Abstract. In this article we study two ways to create mosaic from images. First way is based on finding feature points on the images and aligning of them, second is based on Fourier-Mellin transform. This paper shows application areas for both ways and propose adaptive method for choosing better way for image stitching based on image's characteristics.