

Метод согласования графа проективных преобразований для задачи панорамирования плоских объектов*

Б.И. САВЕЛЬЕВ^I, И.Б. МАМАЙ^{I,II}, Д.П. НИКОЛАЕВ^{I,III}, В.Л. АРЛАЗАРОВ^{I,IV}, К.Б. БУЛАТОВ^{I,IV}, Н.С. СКОРЮКИНА^I

^I ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия

^{II} Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия

^{III} Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской Академии наук, г. Москва, Россия

^{IV} Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. Работа посвящена разработке метода согласования графа проективных преобразований для задачи панорамирования плоских объектов. Описывается существующий, широко используемый подход склейки панорамы плоских объектов. Предлагается метод согласования графа проективных преобразований для повышения качества склейки панорам плоских объектов, который проверен на экспериментальных данных, содержащих изображения поверхности Земли, Марса, рукописных и печатных текстовых документов, а также изображения, полученные с помощью микроскопа. Показано более чем двукратное снижение накапливаемой ошибки вычисления проективных преобразований на тестовом наборе данных при склейке панорамы.

Ключевые слова: проективное преобразование, панорамные изображения, видеопоток, обработка изображений.

DOI: 10.14357/20790279180514

Введение

Задача панорамирования состоит в построении одного составного изображения на основе набора исходных изображений (рис. 1). Она находит применение в решении таких практических задач, как:

- зондирование поверхности Земли со спутника или с дрона [1];
- склейка изображений, полученных с помощью микроскопа [2];
- склейка видео [3];
- получение изображения в супер-разрешении [4].

Важными задачами при склейке панорамы являются: поиск соответствий на изображениях и оценка параметров проективного преобразования между ними. Основное внимание в литературе по методам автоматического поиска соответствий между изображениями уделяется методам, основанным на поиске и описании особых точек, а также оптическому потоку.

В общем виде алгоритм склейки панорамы можно сформулировать следующим образом [5]

(рис. 2). В самом начале требуется извлечь из видеопотока достаточное количество кадров. Это можно делать в режиме «онлайн», последовательно считывая все кадры и выбирая отдельные из них с необходимой частотой.

После этого, последовательно перебирая пары изображений из набора, следует произвести детектирование особых точек и вычисление их дескрипторов на этих изображениях [6–8]. Именно эти особые точки позволяют построить геометрическое соответствие между двумя кадрами. Далее следует сопоставление особых точек на основе их дескрипторов. Стоит иметь в виду, что при этом не исключено получение ложных соответствий.

Далее, имея два набора особых точек, следует найти проективное преобразование, которое переводило бы точки одного кадра в соответствующие точки другого наилучшим образом. Для решения этой задачи может быть использован подход RANSAC [9]. Подробнее данный подход описан в работах [10, 11]

Для поиска проективного преобразования между кадрами также может использоваться оптический поток, который часто применяется в за-

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 17-29-03170, 17-29-03297).

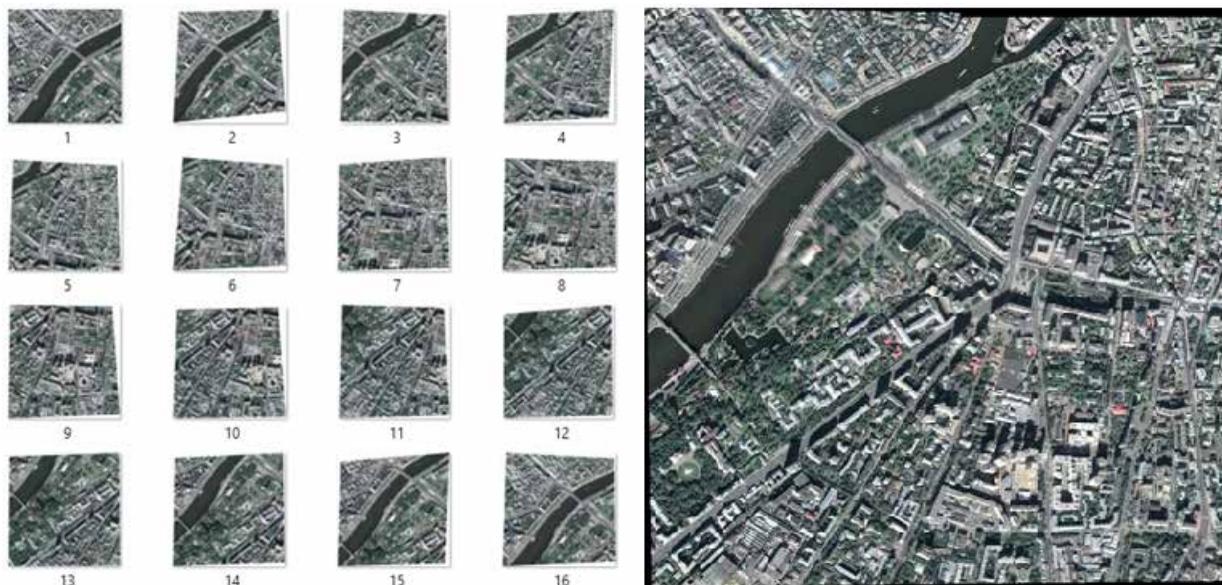


Рис. 1. Исходные изображения и панорама

даче склейки панорамы [12]. Метод оптического потока заключается в том, что для каждого пикселя изображения $I_1(x, y)$ находится такой сдвиг (dx, dy) , чтобы пикселю с одного изображения соответствовал пиксель на другом изображении $I_2(x + dx, y + dy)$. После этого проективное преобразование восстанавливается при помощи ме-

тода градиентного спуска, который находит такое проективное отображение, которое наилучшим образом соответствует набору найденных сдвигов пикселей. В данной работе для вычисления параметров проективного преобразования будет использован метод особых точек, поскольку группа алгоритмов вычисления оптического потока, основанная на вычислении уравнения переноса не устойчива к существенным смещениям камеры.

После получения нужного набора проективных преобразований имеет место техническая процедура склейки изображений, а именно: для каждого пикселя конечной панорамы (x, y) по каждому каналу (RGB) рассчитывается среднее арифметическое значение интенсивностей пикселей с координатами (x, y) всех кадров, включающих в себя пиксель с такими координатами.

С помощью методов поиска проективных преобразований можно определять смещение положения камеры относительно предыдущего положения в пространстве. В лабораторных условиях точности вычислений этих данных достаточно для построения панорамы плоского неподвижного объекта. В реальных условиях, при вычислении смещения положения камеры относительно предыдущего положения возникает погрешность вычислений (ошибка замеров/помехи/ограничения, накладываемые алгоритмами и т.п.). С течением времени аккумулятивная ошибка продолжает нарастать таким образом, что, несмотря на приемлемую точность определения смещения между соседними положениями, общая панорама объекта будет содержать уже серьезные отклонения (рис. 3).

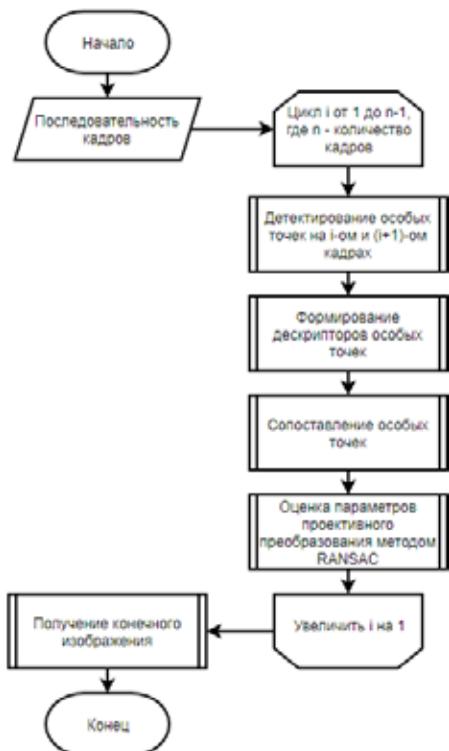


Рис. 2. Блок-схема работы алгоритма склейки панорамы, использующего особые точки

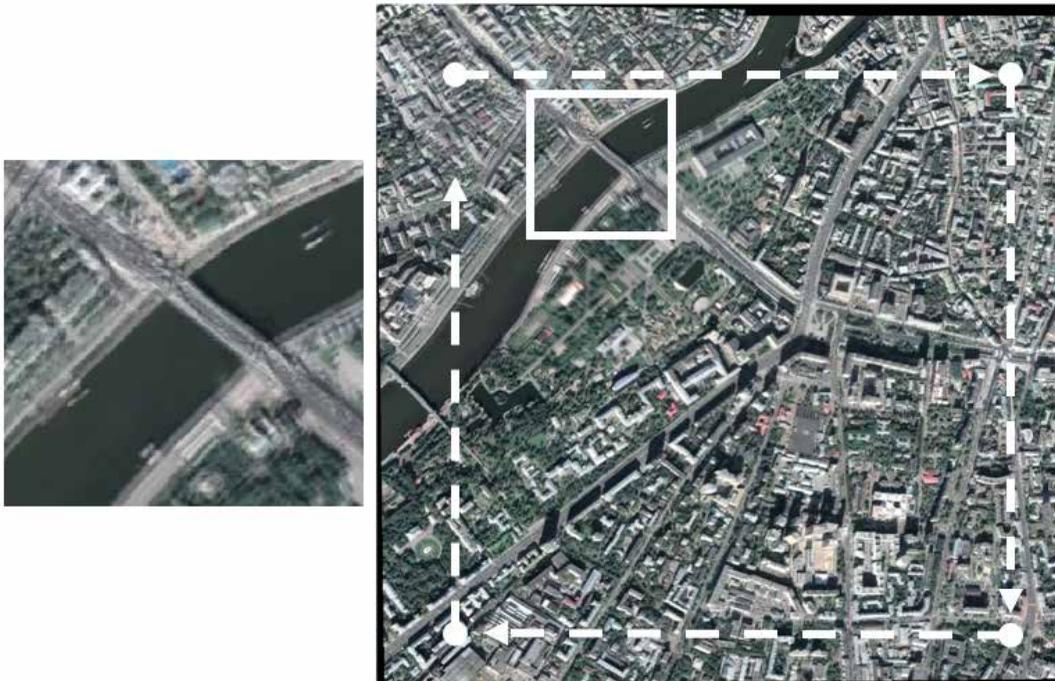


Рис. 3. Аккумулятивная ошибка

Целью работы является разработка метода согласования графа проективных преобразований для задачи панорамирования плоских неподвижных объектов, устойчивого к проблеме накопления ошибок. Еще одной целью является разработка метода таким образом, чтобы он не зависел от метода вычисления параметров проективного преобразования.

Обязательным условием является достаточное количество особых точек на изображениях для вычисления параметров проективного преобразования, а также должно выполняться одно из условий:

- ведется съемка неподвижного псевдоригидного объекта;
- ведется съемка объекта близкого к плоскому с достаточно большого расстояния;
- для всех положений камеры во время съемки выполнено требование: для всех точек изображения лучи, соединяющие эти точки с фокусом камеры, не совпадают друг с другом.

1. Описание алгоритма согласования графа проективных преобразований

Введем понятие единой системы координат, под которой будем понимать такую систему координат, где одни и те же точки объекта с разных изображений будут иметь одинаковые координаты. Это требование можно выразить следующей формулой:

$$f(x) = y, \tag{1}$$

где f – отображение определенное на общей части кадров и переводящее точки первого кадра в точки второго кадра;

x – координаты точки в системе координат первого кадра;

y – координаты точки в системе координат второго кадра.

В том случае, когда отображение f может быть корректно продолжено за область пересечения кадров, мы можем дополнить второй кадр информацией из первого. Таким образом будет получена карта, склеенная как мозаика, из двух или более кадров (рис. 4).

Точное приближение может не достигаться по многим причинам, например, из-за наличия

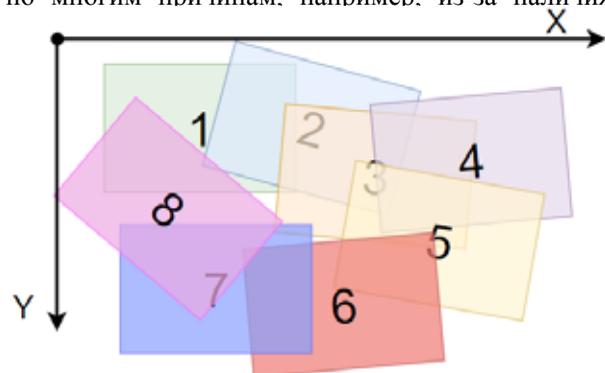


Рис. 4. Построенная карта

оптической дисторсии видеокамеры, смаза, расфокусировки, или нестрогом выполнении условий, которые были перечислены во введении.

Далее будем считать, что все отображения могут быть приближены проективными, а также что они корректно могут быть продолжены за область пересечения кадров, что позволяет не только поддерживать межкадровую систему координат, но и составлять карту.

После нахождения проективных преобразований между соседними кадрами имеется первоначальная склейка, задающая однозначное расположение кадров в единой системе координат (рис. 5).

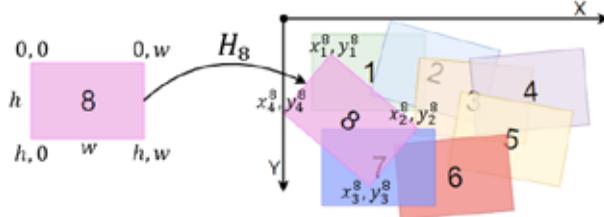


Рис. 5. Однозначное расположение кадра на карте

После построения первичной склейки изображений строится граф проективных преобразований G :

$$G = (V, E), \tag{2}$$

где V – множество четверок точек, являющихся вершинами проективно исправленных изображений $|V| = n$;

E – множество проективных преобразований между кадрами $|E| = m$;

Ребро между вершинами строится только в том случае, если кадры пересекаются не менее, чем на $T\%$ на первичной склейке (IoU – Intersection over Union) (рис. 6, 7):

$$\frac{S_{ij}}{S_i + S_j - S_{ij}} \cdot 100\% > T\%. \tag{3}$$

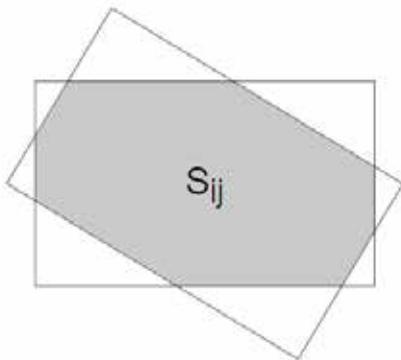


Рис. 6. Область пересечения кадров

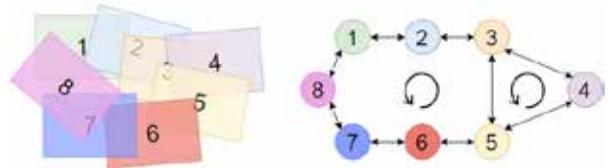


Рис. 7. Пример построения графа

Порог T подбирается в зависимости от используемого метода поиска проективного преобразования путем балансирования между обусловленностью задачи поиска проективного преобразования между двумя кадрами и желаемым количеством ребер и циклов в графе.

В итоге граф проективных преобразований G выглядит как показано на рис. 8.

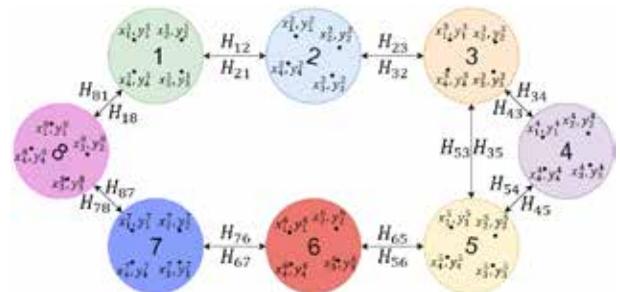


Рис. 8. Итоговый граф проективных преобразований

Пусть мы имеем видеопоток или некоторую совокупность кадров, не обязательно упорядоченную по времени. Пусть для некоторых пар кадров мы имеем проективное отображение, которое обеспечивает единую систему координат для этой пары. Рассмотрим граф, вершины которого будут соответствовать кадрам, а ребра – проективным отображениям между кадрами. Без ограничения общности можно считать, что граф является связным, так как всегда можно перейти к рассмотрению его связных компонент.

Граф проективных отображений обеспечивает единую систему координат уже не для пары кадров, а для всей совокупности кадров, соответствующих его вершинам. Отметим, что для обеспечения единой системы координат совокупности кадров достаточно задать граф проективных отображений, являющийся деревом. Для произвольного графа можно взять любое его остовное дерево, и оно будет обеспечивать единую систему координат.

Если граф содержит циклы (см. рис. 7), то в нем появляется избыточная информация, которая к тому же может содержать противоречия. Чтобы определить, какого рода противоречия могут возникнуть, рассмотрим некоторый цикл графа (рис. 9). Пусть этот цикл состоит из вершин i_1, i_2, \dots, i_k . Тогда мы

имеем серию проективных отображений вдоль этого цикла:

$$\begin{aligned} H_{i_1 i_2}: i_1 &\rightarrow i_2 \\ H_{i_2 i_3}: i_2 &\rightarrow i_3 \\ &\dots \\ H_{i_k i_1}: i_k &\rightarrow i_1 \end{aligned} \quad (4)$$

Рассмотрим композицию этих отображений:

$$H_{i_k i_1} * \dots * H_{i_2 i_3} * H_{i_1 i_2} = H_{i_1 i_1}. \quad (5)$$

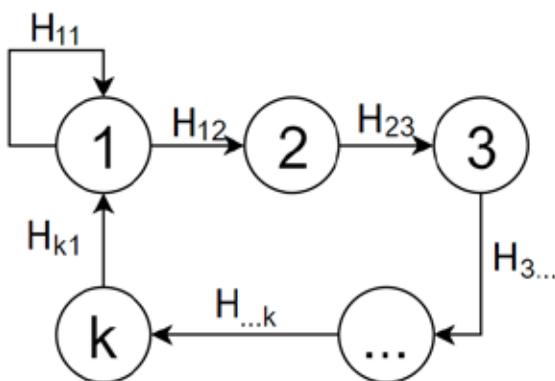


Рис. 9. Цикл графа

Отображение $H_{i_1 i_1}$ должно быть тождественным отображением. Если отображение $H_{i_1 i_1}$ отличается от тождественного, то мы говорим, что получено противоречие. Цикл в таком случае будем называть несогласованным. Таким образом, существует проблема, связанная с наличием несогласованных циклов в графе проективных отображений, поскольку при идеальной склейке противоречия в графе проективных преобразований G должны отсутствовать.

Опишем алгоритм согласования графа проективных преобразований, т. е. согласования всех его циклов. Для минимизации аккумулятивной ошибки, которая проявляется при замыкании цикла в графе проективных преобразований, применяется концепция метода SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) [13].

Рассмотрим в каждом кадре четверку точек общего положения. Пусть кадры пронумерованы от 1 до n , тогда четверки точек будем обозначать через p_{is} , где $1 \leq i \leq n, 1 \leq s \leq 4$. Такой набор четверок однозначно задает единую систему координат, так как для любых двух кадров можно единственным образом найти проективное отображение, переводящее одну четверку точек в другую.

Чтобы найти набор четверок точек, который будет задавать искомым согласованный граф, можно воспользоваться методом наименьших квадратов. Будем минимизировать функционал, который равен сумме по всем m ребрам графа G , а для каждого ребра – сумме по четырем точкам величин $\|H_{ij} p_{is} - p_{js}\|$. Для нахождения решения минимизирующего функционала предлагается использовать метод сопряженных градиентов [14]:

$$\sum_m \|H_{ij} p_{is} - p_{js}\| \rightarrow \min_p \quad (6)$$

После того, как для каждого кадра имеется проективное преобразование, однозначно задающее положение кадра на карте, можно получить изображение панорамы.

2. Экспериментальные результаты

На сегодняшний день не существует универсального метода оценки качества склейки изображений. Как правило качество склейки оценивается экспертами органолептически, но для научных исследований предпочтительней иметь количественную, автоматически вычисляемую оценку качества.

Для того, чтобы оценить качество склейки без участия человека-эксперта необходимо иметь эталонную склейку, с которой будет сравниваться результат. Подход, при котором склейка была получена из реального видео, а эталонной склейкой считается фотография всего объекта, требует хороших лабораторных условий с использованием манипулятора, который способен физически фиксировать (с помощью датчиков) положение камеры в пространстве. Однако данный метод оценки качества является высокочувствительным.

В работе [15] для количественной оценки качества склейки панорамы авторы предлагают, имея изображение высокого разрешения, создать искусственное видео, кадрами которого являются проективно искаженные области исходного изображения (рис. 10). Проективно искажаются все кадры, за исключением первого, поскольку единая система координат задается относительно первого кадра. Далее эти кадры искусственного видео склеиваются в панораму, которая в дальнейшем сравнивается с исходным эталонным изображением. При данном подходе удастся избежать проблем разницы яркости полученной и эталонной склеек, а также искажений сцены.

Для сравнения качества склейки до и после согласования графа была подготовлена тестовая выборка из 50 изображений, создано 50 искусственных видео из исходных изображений, по которым

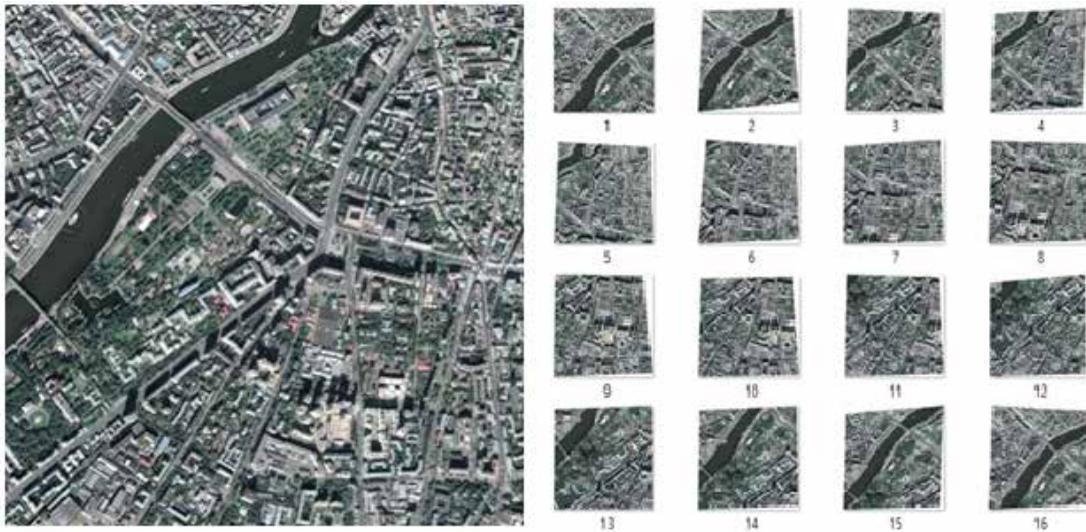


Рис. 10. Исходное изображение и кадры искусственного видео

производилась склейка (рис. 11). Все полученные панорамы приводились к размерам исходных изображений и для каждой панорамы рассчитывалась мера ошибки:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w ((I_{ij}^R - \bar{I}_{ij}^R)^2 + (I_{ij}^G - \bar{I}_{ij}^G)^2 + (I_{ij}^B - \bar{I}_{ij}^B)^2)}{h \cdot w \cdot 3}}, \quad (7)$$

где h – высота изображения,
 w – ширина изображения,

I_{ij}^R – интенсивность пикселя (i, j) полученной панорамы на красном канале (G – зеленый канал, B – синий канал),

\bar{I}_{ij}^R – интенсивность пикселя (i, j) полученной панорамы на красном канале (G – зеленый канал, B – синий канал).

В графическом представлении RMSE на тестовой выборке выглядит следующим образом (рис. 12):

В соответствии каждому значению корня среднеквадратичной ошибки до согласования представ-

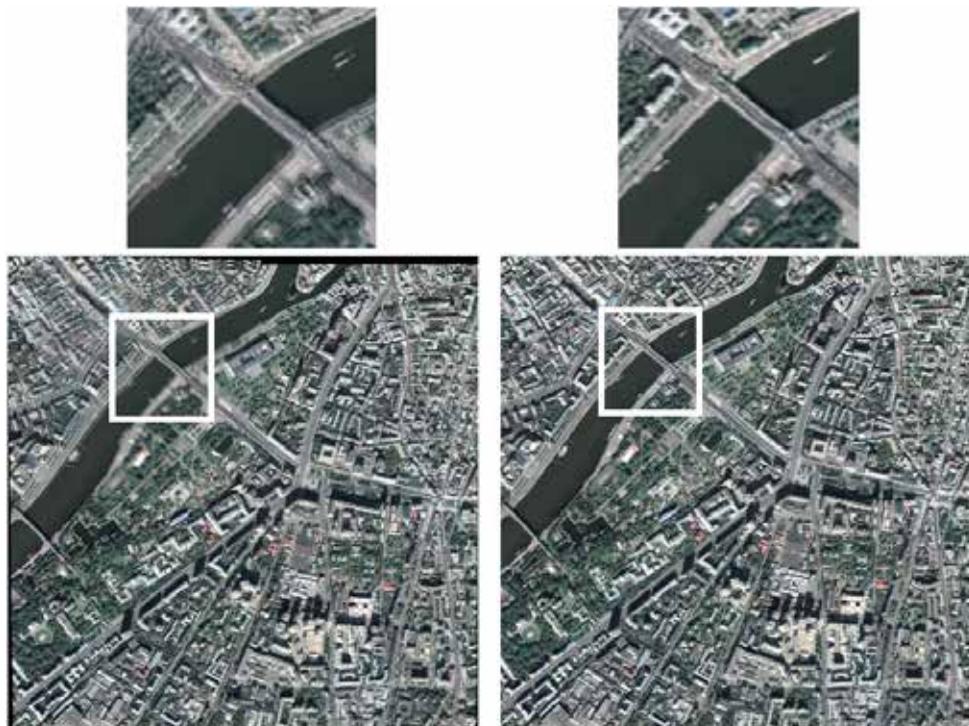


Рис. 11. Панорама до согласования графа (RMSE = 35.3) и после (RMSE = 14.2)

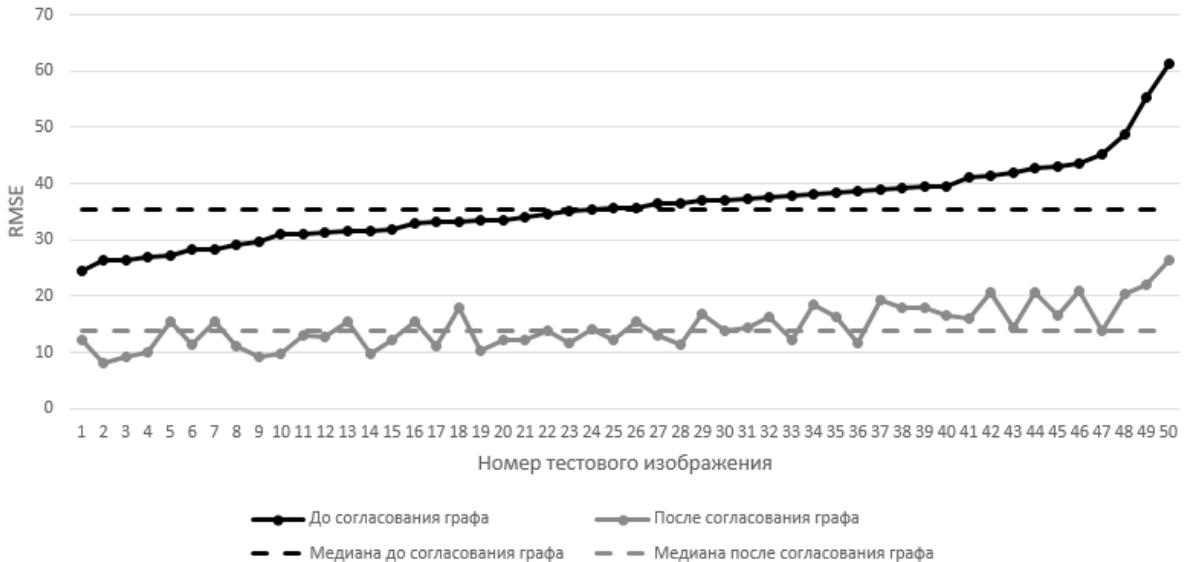


Рис. 12. RMSE на тестовой выборке. Кадры отсортированы в порядке возрастания RMSE до согласования графа

лены значения корня среднеквадратичной ошибки после согласования графа. Медианное значение RMSE на тестовой выборке до согласования графа составляет **35.5**, после согласования графа – **13.9**.

Заключение

Исходя из результатов сравнения качества склейки можно сделать вывод, что согласование графа существенно снижает накопленную ошибку и повышает качество склейки панорамы. Однако, надо иметь в виду, что согласование графа может помочь только в том случае, если в графе проективных преобразований имеются циклы. При отсутствии циклов в графе проективных преобразований модуль согласования графа не ухудшает качество склейки панорамы.

Для достижения представленного результата склейки панорамы использовались методы нахождения проективных преобразований между изображениями, численные методы минимизационных задач для согласования графа проективных преобразований и проективная геометрия.

Стоит отметить, что данный метод согласования графа работает с набором проективных преобразований и способ, которым были найдены эти проективные преобразования, для данного метода роли не играет.

В рамках дальнейшей работы планируется улучшение робастности предложенного алгоритма. Для решения этой задачи планируется осуществить поиск и отбраковку найденных проектив-

ных соответствий, которые являются выбросами. Осуществить такого рода отбраковку можно подходом подобным RANSAC.

Литература

1. *Botterill T., Mills S., Green R.* Real-time aerial image mosaicing // Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 2010 25th International Conference of. – IEEE, 2010. – P. 1-8.
2. *Cheng B.* Automated multi-frame image capture for panorama stitching using motion sensor: U.S. Patent Application No. 11/246,943 – 2007.
3. *Jiang W., Gu J.* Video stitching with spatial-temporal content-preserving warping // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2015. – P. 42-48.
4. *Semwal A., Chamoli A., Mukesh C.A., Salman A.* “A Survey: The Methods & Techniques of Super-Resolution Image Reconstruction” // International Journal for Scientific Research & Development. – 2017. – V. 4. – I. 12. – P. 243-249.
5. *Губин А.Ю., Ковин П.В.* Простой подход к задаче склейки перекрывающихся изображений в панораму. // X Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». – 2012. – С. 79-81.
6. *Drummond T., Rosten E.* Machine Learning for high-speed corner detection // 9th European Conference on Computer Vision (ECCV 2006), 2006. – P. 430-443.

7. *Lowe D.G.* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – P. 91–110.
8. *Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L.* SURF: Speeded up robust features // Computer Vision and Image Understanding. – 2008. – V. 110. – P. 346–359.
9. *Martin A. Fischler and Robert C. Bolles:* «Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography». Comm. Of the ACM24: pp. 381–395, 1981.
10. *Арлазаров В.Л., Булатов К.Б., Чернов Т.С.* Метод нечеткого поиска изображений в больших объемах видеоданных // Системы высокой доступности. – 2016. – V. 12. – №. 1. – P. 53-58.
11. *Skoryukina N. et al.* Screenshot: TV-stream frame search with projectively distorted and noisy query // Ninth International Conference on Machine Vision (ICMV 2016). – International Society for Optics and Photonics, 2017. – V. 10341. – P. 103410Y. – doi: 10.1117/12.2268735.
12. *Bouguet J.Y.* Pyramidal implementation of the affine lucas kanade feature tracker description of the algorithm // Intel Corporation. – 2001. – V. 5. – №. 1-10. – P. 4.
13. *Newman P., Ho K.* SLAM-loop closing with visually salient features // Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on. – IEEE, 2005. – P. 635-642.
14. *Nocedal J., Wright S.J.* Conjugate gradient methods // Numerical optimization. – 2006. – P. 101-134.
15. *Paalanen P., Kämäräinen J.K., Kälviäinen H.* Image based quantitative mosaic evaluation with artificial video // Scandinavian Conference on Image Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. – P. 470-479.

Савельев Борис Игоревич. ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия. Научный сотрудник – программист. Количество печатных работ: 4. Область научных интересов: искусственный интеллект, машинное обучение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: bsavelev95@gmail.com

Мамай Игорь Борисович. ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия. Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник – программист. Количество печатных работ: 6. Область научных интересов: проективная геометрия, компьютерное зрение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: ibmamay@gmail.com

Николаев Дмитрий Петрович. Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, г. Москва, Россия. Кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией зрительных систем ИППИ РАН. Количество печатных работ: 158. Область научных интересов: машинное зрение, распознавание образов, быстрые алгоритмы обработки изображений. E-mail: dimonstr@iitp.ru

Арлазаров Владимир Львович. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Заведующий отделением. Чл.– корр. РАН, профессор. Количество печатных работ: более 100 статей и монографий. Область научных интересов: теория графов, распознавания образов, программирование. E-mail: arl@isa.ru

Булатов Константин Булатович. Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Программист 1-й категории. Количество печатных работ: 14. Область научных интересов: машинное обучение, компьютерное зрение, системы распознавания, информационные технологии. E-mail: hpbuko@yandex.ru

Скорюкина Наталья Сергеевна. ООО «Смарт Энджинс Сервис», г. Москва, Россия. Научный сотрудник – программист. Количество печатных работ: 8. Область научных интересов: анализ изображений, компьютерное зрение. E-mail: skleppy.inc@gmail.com

A method of projective transformations graph adjustment for panorama stitching problem for images of planar objects

B.I. Savelyev^I, I.B. Mamay^{II,III}, D.P. Nikolaev^{I,III}, V.L. Arlazarov^{I,IV}, K.B. Bulatov^{I,IV}, N.S. Skoryukina^I

^I LLC "Smart Engines Service", Moscow, Russia

^{II} National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

^{III} Institute for information transmission problems (Kharkevich Institute) RAS, Moscow, Russia

^{IV} Institute for Systems Analysis, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This paper proposes an improvement for an existing and widely spread approach of panorama stitching for images of plane objects. The proposed method is based on projective transformations graph adjustment. Evaluation is presented on a heterogeneous dataset which contains images of Earth's and Mars's surfaces, images taken using a microscope, as well as handwritten and printed text documents. Quality enhancement of panorama stitching method is illustrated on this dataset and shows more than twofold reduction in the accumulated computation error of projective transforms.

Keywords: *projective transforms, panoramic images, video stream, image processing.*

DOI: 10.14357/20790279180514

References

1. Botterill T., Mills S., Green R. Real-time aerial image mosaicing //Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ), 2010 25th International Conference of. – IEEE, 2010. – P. 1-8.
2. Cheng B. Automated multi-frame image capture for panorama stitching using motion sensor: U.S. Patent Application No. 11/246,943 – 2007.
3. Jiang W., Gu J. Video stitching with spatial-temporal content-preserving warping //Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. – 2015. – P. 42-48.
4. Semwal A., Chamoli A., Mukesh C.A., Salman A. "A Survey: The Methods & Techniques of Super-Resolution Image Reconstruction" // International Journal for Scientific Research & Development. – 2017. – V. 4. – I. 12. – P. 243-249.
5. Gubin A.Yu., Kovin R.V. Simple consensus of image stitching for intersected images into panorama. // X International scientific and practical conference of students, postgraduate and young scientists "Youth and modern information technology". – 2012. –P. 79-81.
6. Drummond T., Rosten E. Machine Learning for high-speed corner detection // 9th European Conference on Computer Vision (ECCV 2006), 2006. – P. 430-443.
7. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – P. 91-110.
8. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded up robust features // Computer Vision and Image Understanding. – 2008. – V. 110. – P. 346-359.
9. Martin A. Fischler and Robert C. Bolles: «Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography». Comm. Of the ACM24: pp. 381-395, 1981.
10. Arlazarov V.L., Bulatov K.B., Chernov T.S. A method of fuzzy image search in large streams of videodata //Systems of high availability. – 2016. – V. 12. – №. 1. – P. 53-58.
11. Skoryukina N. et al. Screenshot: TV-stream frame search with projectively distorted and noisy query //Ninth International Conference on Machine Vision (ICMV 2016). – International Society for Optics and Photonics, 2017. – V. 10341. – P. 103410Y. – doi: 10.1117/12.2268735.
12. Bouguet J.Y. Pyramidal implementation of the affine lucas kanade feature tracker description of the algorithm //Intel Corporation. – 2001. – V. 5. – №. 1-10. – P. 4.
13. Newman P., Ho K. SLAM-loop closing with visually salient features //Robotics and Automation, 2005. ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on. – IEEE, 2005. – P. 635-642.
14. Nocedal J., Wright S.J. Conjugate gradient methods //Numerical optimization. – 2006. – P. 101-134.
15. Paalanen P., Kämäräinen J. K., Kälviäinen H. Image based quantitative mosaic evaluation with artificial video //Scandinavian Conference on Image Analysis. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. – P. 470-479.

B.I. Savelyev. LLC “Smart Engines Service”, Moscow, Russia. Researcher-programmer. Number of publications: 4. Scientific interests: artificial intelligence, machine learning, recognition systems, information technology. E-mail: bsavelev95@gmail.com

I.B. Mamay. LLC “Smart Engines Service”, Moscow, Russia. Researcher-developer, PhD. Number of publications: 6. Scientific interests: projective geometry, computer vision, recognition systems, information technology. E-mail: ibmamay@gmail.com

D.P. Nikolaev. The Institute for Information Transmission Problems of Russian Academy of Sciences, Bolshoy Karetny per. 19, build.1, Moscow 127051, Russia. E-mail: dimonstr@iitp.ru

V.L. Arlazarov. Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. Head of the department, Corresponding member. RAS, Professor. Number of publications: great than 100 papers and books. Scientific interests: artificial intelligence, recognition systems, information technology, programming. E-mail: arl@isa.ru

K.B. Bulatov. Institute for Systems Analysis, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia, I-st category programmer. Number of publications: 14. Scientific interests: machine learning, computer vision, recognition systems, information technologies. E-mail: hpbuko@yandex.ru

N.S. Skoryukina. LLC “Smart Engines Service”, Moscow, Russia. Researcher-programmer. Number of publications: 8. Scientific interests: image processing, computer vision. E-mail: skleppy.inc@gmail.com