

Сопоставление изображений по согласованным оценкам гистограмм ориентированных градиентов

В.А. Фурсов^{1,2}, Е.В. Гошин², К.Г. Пугачев²

¹Институт систем обработки изображений РАН- филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Работа посвящена проблеме сопоставления изображений. Исследуется новый алгоритм поиска соответствующих ключевых точек на изображениях одной и той же сцены. Алгоритм строится на основе известного дескриптора НОГ, который реализуется путём разделения изображения на маленькие области и расчета для каждой области гистограммы направлений градиентов. Идея состоит в применении в качестве критерия близости векторов признаков вместо традиционно используемого евклидова расстояния меры близости, построенной на основе принципа согласованности. Эта мера близости исследовалась авторами в предыдущих работах в задаче сопоставления изображений по распределению функции на фрагментах изображений. Проведены экспериментальные исследования эффективности алгоритма сопоставления. В качестве критерия качества использовалось отношение верно определенных соответствующих точек, прошедших перекрёстную проверку, к общему количеству правильно найденных соответствующих точек. Приведены результаты экспериментов на тестовых изображениях.

1. Введение

Задача сопоставления изображения заключается в том, чтобы каждой точке одного изображения поставить в соответствие точку на другом изображении той же сцены. Используются как прямые, так и косвенные методы сопоставления.

Прямые методы работают непосредственно со значениями интенсивности изображения или их градиентами. В качестве примера прямых методов можно привести методы, основанные на площадном подходе. В данном случае каждой точке на обоих изображениях ставится в соответствие фрагмент в ее окрестности. Для каждой точки первого изображения задается область поиска, в которой выполняется поиск соответствующей точки. Соответствующей является точка области поиска, в которой достигается экстремум заданного критерия близости фрагментов. Косвенные методы [1-3] основаны на сопоставлении характерных особенностей сцены, например, особых точек, контуров и цвета объектов и др. Для выделенных особенностей формируются дескрипторы и также осуществляется сопоставление изображений с использованием какой-либо заданной меры близости.

В качестве критерия близости в обоих подходах обычно используются: сумма абсолютных разностей [4-5], сумма квадратов разностей [6-7], значение нормализованной взаимной корреляции фрагментов [8-9] и др. В работах [10-11] мы предложили и реализовали площадной

метод сопоставления, основанный на принципе согласованности фрагментов. В указанных работах показано, что показатель согласованности позволяет выполнять более точное сопоставление фрагментов изображений. Связано это с тем, что метод согласованного оценивания предполагает формирование большого количества точек даже на фрагментах малых размеров.

В настоящей работе мы развиваем это направление исследований. В частности, предлагаем критерий сопоставления изображений, основанный на принципе согласованности, в качестве меры близости гистограмм ориентированных градиентов.

2. Постановка задачи

Пусть F_1 и F_2 – два изображения, полученные при съемке одной сцены с разных ракурсов. Пусть также на каждом изображении каким-либо способом выделены характерные особенности сцены, например, особые точки. Обозначим количество найденных особых точек на первом и втором изображениях N и M соответственно. Для описания особых точек введем в рассмотрение векторы дескрипторов \mathbf{f}_i^1 и \mathbf{f}_j^2 , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, каждый из которых состоит из K элементов. Задача состоит в том, чтобы каждой точке первого изображения, дескриптор которой представлен вектором \mathbf{f}_i^1 , поставить в соответствие точку второго изображения, которая представлена вектором \mathbf{f}_j^2 .

Как указано выше, при сопоставлении векторов дескрипторов наиболее часто используются сумма абсолютных значений разностей или сумма квадратов разностей компонентов векторов. Эти меры близости обычно применяются при сравнении элементов, описывающих значения интенсивности пикселей самого изображения или значения градиентов интенсивности. Для бинарных дескрипторов, которые используются, например, при описании ORB-особенностей, в качестве меры близости применяют также расстояние Хэмминга.

Рассмотрим формулировку задачи сопоставления векторов дескрипторов с использованием меры близости, основанной на принципе согласованности. Важная особенность данной меры близости состоит в том, что осуществляется сравнение не только самих компонент вектора признаков, но и всех возможных сочетаний элементов дескриптора. При этом формируется большое количество новых значений даже при малом размере фрагментов, что позволяет повысить информативность данных и как следствие – вероятность правильного сопоставления особых точек.

Пусть \mathbf{f}_i^1 и \mathbf{f}_j^2 , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$ – два дескриптора, соответствующих точкам на первом и втором изображении соответственно. Если каждый дескриптор представляет собой вектор из K элементов, согласованная мера близости определяется как:

$$W_{i,j} = \sum_{\substack{s=1 \\ p=s+1}}^K (\Delta f_s^{i,j} - \Delta f_p^{i,j})^2, \quad (1)$$

где $\Delta f_s^{i,j}$, $\Delta f_p^{i,j}$ – s -й и p -й элементы вектора разностей $\Delta \mathbf{f}^{i,j}$:

$$\Delta \mathbf{f}^{i,j} = \mathbf{f}_i^1 - \mathbf{f}_j^2. \quad (2)$$

Значения функции согласованности (1) вычисляются для всех точек из области поиска второго изображения. Особая (j -я) точка второго изображения, для которой величина $W_{i,j}$, вычисленная в соответствии с (1) является минимальной, принимается в качестве соответствующей. Ставится задача построения алгоритма сопоставления изображений по особым точкам с использованием функции согласованности (1) в качестве критерия близости дескрипторов, составленных из гистограмм ориентированных градиентов (HOG).

3. Согласованная оценка HOG-дескрипторов

При построении алгоритма будем опираться на известные реализации HOG-дескрипторов в методе SIFT [1]. Будем строить дескриптор на квадратном фрагменте изображения размером

16×16 пикселей. В соответствии с работой [1] разделим фрагмент на 16 подобластей размером 4×4 пикселя. На каждой из этих подобластей будем строить гистограммы ориентированных градиентов, включающие по 8 ячеек, что соответствует 8-ми элементам дескриптора. Таким образом, каждый дескриптор содержит $4 \times 4 \times 8 = 128$ элементов.

Применение меры согласованности векторов к дескрипторам размерности 128×1 потребует огромных вычислительных ресурсов. Для сокращения объема вычислений предлагается алгоритм с вычислением мер близости отдельно для каждой из 16-ти подобластей дескрипторов, соответствующих гистограмме ориентированных градиентов. Для этого в рассмотрение вводится составная мера близости:

$$W_{i,j} = \sum_{\substack{q=1 \\ r=1}}^4 W_{i,j}^{q,r}, \quad (3)$$

где

$$W_{i,j}^{q,r} = \sum_{\substack{s=1 \\ p=s+1}}^8 (\Delta f_s^{i,j,q,r} - \Delta f_p^{i,j,q,r})^2.$$

Здесь $W_{i,j}^{q,r}$ – значение меры близости для одной из 16-ти подобластей, соответствующее q, r -му участку вектора дескриптора i -й и j -й особых точек соответственно, $\Delta f_s^{i,j,q,r}$, $\Delta f_p^{i,j,q,r}$ – s -й и p -й элементы вектора разностей $\Delta \mathbf{f}^{i,j,q,r} = \mathbf{f}_{i,q,r}^1 - \mathbf{f}_{j,q,r}^2$, $\mathbf{f}_{i,q,r}^1, \mathbf{f}_{j,q,r}^2$ – q, r -я гистограмма ориентированных градиентов i -й и j -й особых точек. В данном случае $K=8$, так как число элементов в гистограмме равно восьми.

Легко проверить, что при указанных выше размерах векторов дескрипторов использование составной меры близости (3) количество требуемых вычислительных операций сокращается более чем в 36 раз. Естественно, возникает вопрос не приведет ли предложенная модификация алгоритма сопоставления к снижению надежности определения соответственных точек. В следующем разделе мы приведем результаты экспериментальных исследований точности сопоставления особых точек.

4. Результаты экспериментов

Эффективность предложенного алгоритма сопоставления, основанного на использовании функции согласованности в качестве меры близости дескрипторов, проверялась на тестовых изображениях [12], приведенных на рисунке 1.



Рисунок 1. Тестовые изображения.

На указанных изображениях были выделены особые точки, и для них были построены дескрипторы с использованием функций из библиотеки компьютерного зрения OpenCV [13]. Далее для каждой точки первого изображения был проведен поиск соответствующей точки на втором изображении двумя методами: с использованием предложенной составной меры близости (3) и с использованием евклидовой метрики.

На втором изображении были выполнены те же операции: выделение особых точек и поиск соответствующих точек на первом изображении. Далее с целью исключения ложных точек

была проведена перекрестная проверка найденных на обоих изображениях соответствующих точек. На рисунках 2 и 3 показаны результаты поиска соответствующих точек и перекрестной проверки, полученные с использованием предложенной меры близости, основанной на принцип согласованности, и суммы квадратов разностей.



Рисунок 2. Результаты сопоставления с использованием суммы квадратов разностей.



Рисунок 3. Результаты сопоставления с использованием согласованной меры близости.

В таблице 1 приведены результаты экспериментов. Для обеих мер близости подсчитывалось количество правильно найденных соответствующих точек (первая строка таблицы 1), а также количество правильно найденных соответствующих точек, прошедших перекрестную проверку (вторая строка таблицы). В третьей строке приведены относительные показатели качества для обеих методов. В качестве меры качества метода вычислялось отношение количества правильно найденных соответствующих точек, прошедших перекрестную проверку, по отношению к общему количеству правильно найденных точек.

Таблица 1. Результаты исследования.

Используемая мера близости	Сумма квадратов разностей	Функция согласованности
Количество правильно найденных точек	571	535
Количество точек, после перекрестной проверки	396	377
Относительное число правильно найденных точек	0,693	0,70

Из таблицы нетрудно заметить, что при использовании меры близости на основе функции согласованности (3) найдено меньшее количество верных особых точек. Вместе с тем относительный показатель числа правильно найденных точек по отношению к числу всех точек

выше. Для многих приложений это может иметь решающее значение, т.к. появление даже небольшого числа «ложных» точек часто приводит к нарушению работоспособности технологий, основанных на использовании соответствий на изображениях.

5. Заключение

Предложенная модификация алгоритма сопоставления изображений с использованием в качестве меры близости составной функции согласованности гистограмм ориентированных градиентов позволяет существенно (более чем в 36 раз) снизить вычислительную сложность. Установлено также, что построенный алгоритм обеспечивает высокое качество сопоставления изображений. Несмотря на то, что количество соответствующих точек, найденных с использованием критерия, основанного на составной функции согласованности, немного меньше по сравнению с использованием среднеквадратического критерия, относительное число точек, прошедших перекрестную проверку и признанных верными, выше при использовании меры близости, основанной на принципе согласованности. Это может иметь важное значение в ряде приложений.

6. Благодарности

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-07-01390) и Министерства образования и науки (госзадание).

7. Литература

- [1] Lowe, D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints / D.G. Lowe // *Int. J. Comp. Vis.* – 2004. – Vol. 60(2). – P. 91-110.
- [2] Bay, H. SURF: Speeded Up Robust Features / H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool // *Computer Vision Lecture Notes in Computer Science.* – 2006. – Vol 3951.
- [3] Rublee, E. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // *International Conference on Computer Vision – Barcelona, 2011.* – P. 2564-2571.
- [4] Lee, S.H. Real-time disparity estimation algorithm for stereo camera systems / S.H. Lee, S. Sharma // *IEEE Transactions on Consumer Electronics.* – 2011. – Vol. 57(3). – P. 1018-1026.
- [5] Gupta, R.K. Window-based approach for fast stereo correspondence / R.K. Gupta, S. Cho // *IET Computer Vision.* – 2013. – Vol. 7(2). – P. 123-134.
- [6] Fusiello A. Relaxing Symmetric Multiple Windows Stereo Using Markov Random Fields / A. Fusiello, U. Castellani, V. Murino // *Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition – Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.* – Vol. 2134.
- [7] Yang, R. Multi-resolution real-time stereo on commodity graphics hardware / R. Yang, M. Pollefeys // *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition – Madison, WI, USA, 2003.* – P. I-I.
- [8] Satoh, S. Simple low-dimensional features approximating NCC-based image matching / S. Satoh // *Pat. Rec. Let.* – 2011. – Vol. 32(14). – P. 1902-1911.
- [9] Cheng, F. Stereo matching by using the global edge constraint / F. Cheng, H. Zhang, D. Yuan, M. Sun // *Neurocomputing.* – 2014. – Vol. 131. – P. 217-226.
- [10] Fursov, V.A. The technology of image matching by the criterion of conformity of image fragments samples / V.A. Fursov, A.V. Gavrilov, Ye.V. Goshin, K.G. Pugachev // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2018. – Vol. 1096(1). – P. 10.
- [11] Fursov, V.A. Adaptive algorithm of conforming image matching / V.A. Fursov, Ye.V. Goshin, K.G. Pugachev // *CEUR Workshop Proceedings.* – 2019. – Vol. 2416. – P. 26-33.
- [12] Middlebury Stereo Datasets [Electronic resource]. – Access mode: <http://vision.middlebury.edu/stereo/data/> (15.12.2019).
- [13] Библиотека обработки изображений OpenCV [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opencv.org> (15.12.2019).

Conformed Estimates of Histogram of Oriented Gradients

V.A. Fursov^{1,2}, Ye.V. Goshin², K.G. Pugachev²

¹Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

²Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. In this paper we propose a new image matching algorithm based on the scene feature points matching. The algorithm is based on the well-known HOG descriptor, which divide the image into small areas and calculate histogram for each gradient direction. The idea is to use a proximity measure based on conformity principle as a proximity criterion for the feature descriptors instead of the traditionally used Euclidean distance. Efficiency of this measure of proximity in image matching problem based on image fragments' intensity was researched in our previous papers. We use ratio of correctly found feature points' number after cross-checking to total number of correctly found feature points as a quality criterion of image matching results. The results of experiments on test images are presented.