электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

 # 06, июнь 2016

УДК 004

Фильтрация точечных особенностей и идентификация модели трансформации изображений с перекрытием

Беляева О. В., *студент*
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»

Научный руководитель: Филиппов М. В. к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии»
bauman@bmstu.ru

Введение

Задача фильтрации точечных особенностей изображений является неотъемлемой для адекватного построения трёхмерных моделей, на основе набора снимков с перекрытием, для склейки изображений и нахождения их общих элементов. В целях обеспечения устойчивого взаимного сопоставления пары перекрывающихся изображений и идентификации модели трансформации изображений (плоской гомографии) мы реализуем алгоритм фильтрации массива попарно соответствующих точек изображений.

Постановка задачи

Имеется пара изображений с перекрытием, на которых выделены и попарно сопоставлены характерные точки. Массив результатов сопоставления содержит значительное количество «выбросов», то есть заведомо ложных попарно сопоставленных точек. Суть задачи заключается в реализации алгоритма фильтрации «выбросов» с параллельной идентификацией модели трансформации.

Задача фильтрации точечных особенностей изображения

Обнаружение и сопоставление точечных особенностей на изображениях является важной задачей компьютерного зрения и находит применение в таких приложениях как 3D реконструкция, индексация в базах данных изображений и т.д. Наборы характерных точек на изображениях дают достаточно информации об изображениях и наблюдаемой сцене, необходимой для определения общих признаков нескольких изображений.

Например, если у нас есть несколько изображений одной сцены и наборы соответствующих точек на этих изображениях, мы можем определить настройки и положение камеры для каждого изображения. К сожалению, на данный момент нет универсального алгоритма, качественно решающего данную задачу. Именно поэтому задача фильтрации истинных характерных точек является необходимой.

Алгоритмы фильтрации точечных особенностей изображения

В практической работе было проанализировано несколько алгоритмов фильтрации характерных черт изображений.

Метрическое сопоставление

Для того чтобы проверить правильность составления пар кандидатов, привлекается дополнительная информация о взаимном пространственном расположении точек на плоскости изображения. Другими словами, пространственное расположение точек на правом и левом изображении должно быть в определенном смысле схожим. Пространственное расположение может быть описано как матрица расстояний.

Дан набор точек $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_N$ в плоскости изображения. Расстояния между точками могут быть записаны в виде матрицы расстояний следующим образом:

	A_1	A_2	$\dots$	A_i	$\dots$	A_N
A_1	0	r_{12}	$\dots$	r_{1i}	$\dots$	r_{1N}
A_2		0	$\dots$	r_{2i}	$\dots$	r_{2N}
$\dots$			$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
A_i				0	$\dots$	r_{iN}
$\dots$					$\dots$	$\dots$
A_N						0

где $r_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 - (y_i - y_k)^2}$ - евклидово расстояние между точками A_i и A_k,

x_i, y_i – координаты точки A_i на изображении,

x_k, y_k – координаты точки A_k на изображении.

Для проверки правильности формирования сопряженных пар точек сравниваются матрицы расстояний левого $\|r_{ij}^L\|$ и $\|r_{ij}^R\|$ правого изображений. Для количественной оценки ошибочного связывания вводится переменная δ_{ij}, $\delta_{ij} = r_{ij}^R - r_{ij}^L$.

Анализ гистограммы распределения δ_{ij} позволяет оценить величину порога отбраковки ошибочных пар Δ согласно критерию, описанному ниже. Заметим, что точка с номером i имеет N−1 связей, причем соответствующие расстояния в матрице $\|r_{ij}\|$ суть: r_{1i}, r_{2i},…, r_{ii}, $r_{i,i+1}$,…, r_{iN}. Соответственно, вектор расстояний, ассоциированный с парой номер i, есть $\delta_i = \{\delta_{1i}, \delta_{2i}, \ \ldots, \delta_{ii}, \delta_{i,i+1}, \ldots, \ \delta_{iN}\}$,

, где $\|\delta_i\| = max\{\delta_{1i}, \ \delta_{2i}, \ldots, \delta_{ii}, \ \delta_{i,i+1}, \ldots, \delta_{iN}\}$ - норма вектора δ_i.

Пара сопряженных точек принимается, если $\|\delta_i\| < \Delta$ и отклоняется в противоположном случае. Процедура проверки выполняется для каждого i от 1 до N. Важно, что предложенный критерий отбора на основе анализа матрицы расстояний инвариантен к вращению изображений.

Топологическое сопоставление

Топологическое сопоставление базируется на сравнении знаков векторных произведений каждой тройки характерных точек левого с соответствующей тройкой правого изображений. Тем самым, предельно точно анализируется положение каждой характерной точки по отношению к другим.

Рассмотрим тройку объектов (R_{11}, R_{21}, R_{31}) на изображении V_1 и соответствующую ей тройку объектов (R_{12}, R_{22}, R_{32}) на изображении V_2.

Пусть $c_{iv} = (x_{iv}\ ,\ y_{iv})$ – центр объекта (области) R_{iv}.

Функция $side(R_v^1, R_v^2, R_v^3) = sign((x_v^1 - x_v^2)(y_v^3 - y_v^2) - (x_v^3 - x_v^2)(y_v^1 - y_v^2))$,

где $side(R_v^1, R_v^2, R_v^3) = \begin{cases} -1, \text{если } c_1 \text{ лежит по левую сторону от } c_2c_3 \\ 1, \text{если } c_1 \text{ лежит по правую сторону от } c_2c_3 \end{cases}$.

Если для некоторой точки равенство $side(R_1^1, R_1^2, R_1^3) = side(R_2^1, R_2^2, R_2^3)$ (1) не выполняется, будем говорить, что точка нарушает отношение сторонности. Такое происходит в случае, когда по крайней мере один из трех объектов неверно привязан к своему аналогу в другом изображении или же если объекты не компланарны и имеется сдвиг камеры в направлении, перпендикулярном трехмерной плоскости, содержащей их центры.

Когда равенство (1) нарушается, можно сделать вывод о неверной привязке одного из объектов тройки, но на данном этапе неясно, какого именно. Одной тройки для такого

вывода недостаточно, однако, рассмотрев все возможные тройки, можно найти объекты, которые с большей вероятностью, чем остальные, привязаны неверно. Основная идея метода заключается в том, что неверно сопоставленные объекты чаще нарушают отношение сторонности.

Равенство (1) проверяется для всех троек областей (R_i, R_j, R_k), где $R_i, R_j, R_k \in$ Ф.

В начале алгоритма подсчитывается штраф

$$h(i) = \sum_{j,k\in\Phi\setminus i, j>k} \left| side\left(R_1^i, R_1^j, R_1^k\right) - side\left(R_2^i, R_2^j, R_2^k\right) \right|, \quad (2)$$

который равняется количеству раз, когда объект R^i нарушает отношение сторонности (1), для всех i ∈ Ф. В дальнейшем штраф (2) нормируется на максимальное количество всех возможных нарушений

$$h_N(i) = \frac{h(i)}{(n-1)(n-2)}, \; n = |\Phi|. \quad (3)$$

Исходя из (3) получаем, что $h_N(i) \in [0,1]$.

Пользователем выбирается порог $t_{topo} \in [0,1]$. Если $h_N(i) > t_{topo}$, то объект R^i считается неверно привязанным и удаляется из множества Ф. На каждой итерации штраф пересчитывается на основе оставшихся объектов в Ф и наиболее часто нарушающие отношение (1) пары удаляются. Процесс продолжается до тех пор, пока есть объекты для удаления, то есть пока максимальное значение штрафа на оставшихся объектах не станет меньше порога t_{topo}.

Метод RANSAC

RANSAC – это общий метод, который используется для оценки параметров модели на основании случайных выборок. При сопоставлении модель представляет собой матрицу преобразования (гомография). На входе алгоритма имеется два множества дескрипторов, полученных на предыдущем и текущем изображении.

Схема работы RANSAC состоит из многократного повторения следующих этапов:

1. Выбор точек и построение параметров модели. Из входных множеств характерных точек выбираются случайным образом и без повторений выборка фиксированного размера. На основании полученных наборов строится матрица преобразования (матрица гомографии).

2. Проверка построенной модели. Для каждой точки предыдущего кадра находится проекция на текущем кадре и выполняется поиск наиболее близкого дескриптора (точки) из множества дескрипторов текущего кадра. Характерная точка

помечается как «выброс», если расстояние между проекцией и соответствующим дескриптором текущего изображения больше заданного порога.

3. Замещение модели. Проверяется, является ли построенная модель лучшей среди набора предшествующих моделей.

В результате применения RANSAC строится наилучшая матрица гомографии, которая будет использоваться для поиска ложных соответствий.

Результаты работы алгоритмов

На рис. 1а, 1б изображены пары характерных точек, подающихся в качестве входных данных всем выше перечисленным алгоритмов.

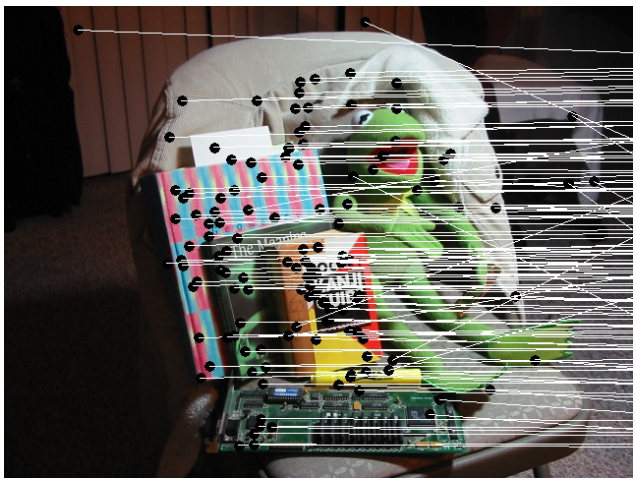


Рис. 1а. Набор характерных точек (левое изображение)



Рис. 1б. Набор характерных точек (правое изображение)

Метрическое и топологическое сопоставления сильно привязаны к своим пороговым значениям, в зависимости от того, как пользователь задаст значения Δ (для метрического сопоставления) и t_{topo} (для топологического сопоставления) будут получены соответствующие результаты работы программы.

Метрическое сопоставление нашло только одну пару ошибочных характерных точек и большое количество точек, являющимися верными при $\Delta = 250$, как показано на рис. 2а, 2б.

Топологическое сопоставление нашло больше пар ошибочных характерных точек в сравнении с предыдущим методом при $t_{topo} = 0.15$, как показано на рис. 3а, 3б.



Рис. 2а. Метрическое сопоставление (левое изображение)



Рис. 2б. Метрическое сопоставление (правое изображение)



Рис. 3а. Топологическое сопоставление (левое изображение)



Рис. 3б. Топологическое сопоставление (правое изображение)

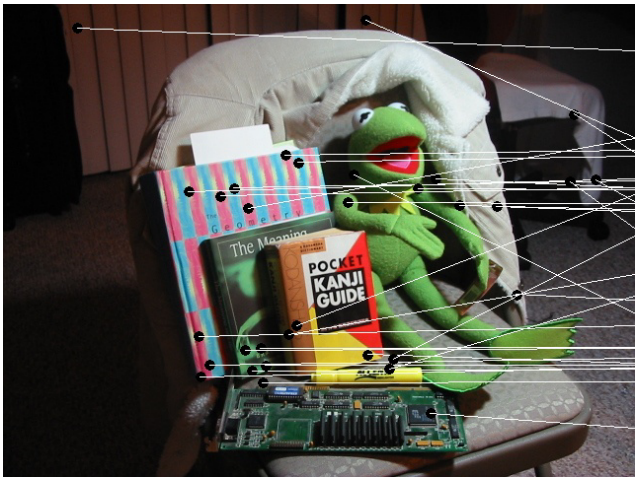


Рис. 4а. Метод RANSAC библиотеки OpenCV (левое изображение)



Рис. 4б. Метод RANSAC библиотеки OpenCV (правое изображение)



Рис. 5а. Метод RANSAC
(левое изображение)



Рис. 5б. Метод RANSAC
(правое изображение)

В данной работе применялся метод RANSAC, как уже реализованный в библиотеке OpenCV, так и написанный собственноручно. Результаты их работы, как показано на изображениях, не существенно различаются.

Заключение

В результате проделанной работы было реализовано и проанализировано несколько алгоритмов фильтрации точечных особенностей объектов изображения. Было выявлено, что какую бы сложную форму не имели алгоритмы сопоставления характерных особенностей, они все равно не в состоянии в 100% случаев уникально охарактеризовать объект. Именно поэтому, задача фильтрации является неотъемлемой в сопоставлении объектов на изображении. По проделанной работе видно, что благодаря идентификации модели трансформации изображений (плоской гомографии) из всего массива сопоставленных характерных точек можно выделить правдоподобные. Каждый из рассмотренных алгоритмов имеет недостатки, но стоит отметить, что по результатам проведенного анализа применение метода RANSAC обеспечивает наиболее качественное решение поставленной задачи.

Список литературы

[1]. Wikipedia. Электронная энциклопедия. Wikimedia Foundation, inc. Режим доступа: http://wiki.technicalvision.ru/ (дата обращения 26.02.2016).

[2]. Кудряшов А.П. Извлечение и сопоставление точечных особенностей // Электрон. науч. журнал «Исследовано в России». 2007. № 10. Режим доступа:

http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2012/iii/chigarev/library/article1.htm (дата обращения 26.02.2016).

[3]. Bradski G., Kaehler A. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. United States of America: O'Reilly Media, 2008. 543 p.

[4]. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, Москва, 2005. 1072 с.

[5]. Виктор Гаганов. Инвариантные алгоритмы сопоставления точечных особенностей на изображениях. Электрон. Журнал «Компьютерная графика и мультимедиа». 2009. № 7(1). Режим доступа: http://cgm.computergraphics.ru/issues/issue17/invariant_features (дата обращения 26.02.2016).