

УДК 004.021

С.И. Протасов, А.А. Крыловецкий, С.Д. Кургалин**ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ РЕКТИФИКАЦИИ
СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СЦЕНЕ БЕЗ КАЛИБРОВКИ КАМЕР**

Рассматривается метод предобработки изображений в системах стереозрения, основанный на модификации алгоритма стабилизации видео [1]. Метод описывает ректификацию изображений как набор последовательных преобразований, каждое из которых находится как решение оптимизационной задачи. В статье описана математическая модель, соответствующая основным положениям подхода к стабилизации видео, приводятся оптимизационные методы нахождения параметров преобразований и описываются статистические алгоритмы уточнения решения. Предлагаемый подход не требует предварительной калибровки камер и использует только изображения сцены. Практической областью применения данного решения являются персональные системы стереозрения.

Стереозрение; машинное зрение; стабилизация видео.

S.I. Protasov, A.A. Krylovetsy, S.D. Kurgalin**AN APPROACH TO SOLVE STEREOIMAGE RECTIFICATION PROBLEM
WITHOUT CAMERA CALIBRATION**

This article is devoted to the method of initial image processing to use in stereovision systems. It is based on a modification of video stabilization approach [1]. The method considers image rectification process as a sequence of transformations. Each transformation is found as a solution of optimization problem. The article describes mathematical model that fits main principles of video stabilization method, provides optimization techniques to find transformation parameters and describes statistical approach to solution refinement. The method provided does not require camera calibration and uses only scene images. This approach can be applied to create individual stereovision systems.

Stereo-vision; computer vision; video stabilization.

Под ректификацией изображений (image rectification) обычно понимают приведение набора изображений к общей координатной системе так, чтобы горизонтальные линии на изображениях соответствовали одной плоскости. В персональных системах стереозрения источником изображений могут быть камеры, установленные в мобильных телефонах, ноутбуках и др [2]. Предлагаемый подход позволит конечному пользователю получить ректифицированный стереопоток, например, подключив дополнительную веб-камеру к ноутбуку без предварительно калибровки.

Предлагаемая в статье модель решения является адаптацией задачи стабилизации видеопотока. Основой задачи является определение параметров перемещения камеры между последовательными кадрами или эквивалентная ей задача определения перемещения изображения. Под перемещением изображения понимаются трансформации, необходимые для превращения кадра в последующий. В общей постановке задачи учитываются все шесть степеней свободы камеры [3], однако на практике применяются упрощения: производится ограничение вариаций углов до малых значений, а также исключаются некоторые степени свободы. В предлагаемой нами модели из трёх поворотных степеней свободы рассматривается только малый поворот камеры вокруг оптической оси камеры. Упрощение правомерно в рамках практических применений: например, закрепление дополнительной камеры на крышке ноутбука.

В рамках модели четыре степени свободы можно трактовать как три линейных преобразования над точкой изображения $p \in R^2$: перемещение $T(p)$ вдоль осей, лежащих в плоскости изображения, вращение $R(p)$ камеры вокруг оптической оси и движение вдоль оптической оси $Z(p)$.

$$T(p) = p + \vec{v}_0 = p + (d_x, d_y)^T;$$

$$R(p) = p_c + \begin{pmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ -\sin\Theta & \cos\Theta \end{pmatrix} \cdot (p - p_c); \quad Z(p) = p_c + \begin{pmatrix} kx & 0 \\ 0 & ky \end{pmatrix} \cdot (p - p_c).$$

Результатом решения задачи ректификации является набор величин p_c , \vec{v}_0 , Θ , kx , ky . Линейность каждого из преобразований позволила нам разделить решение задачи на независимые этапы, каждый из которых является задачей оптимизации.

В задаче стабилизации видеопотока применяется расчёт векторного поля перемещения точек изображения. Для уменьшения вероятности некорректного определения перемещений мы используем в качестве опорных точки с максимальной локальной дисперсией яркости пикселей в малой окрестности, отфильтрованные через регулярную сетку. Для каждой опорной точки первого изображения найдём соответствие на втором изображении, предварительно произведя цветовую калибровку изображений [4]. Уменьшить влияние поворота на функцию подобия позволяет взвешенное средне-квадратичное отклонение (weighted MSE) [1], используемое в качестве критерия подобия. В результате для каждой опорной точки получили вектор перемещения T_p (рис. 1,а) и значение минимума wMSE, являющееся критерием достоверности результата. Для ускорения работы алгоритма мы применили модификацию алгоритма поиска соответствий с адаптивным окном [5].

Полученное поле по-прежнему содержит векторы, соответствующие ложным срабатываниям wMSE. Нами предложен способ фильтрации векторов: поле разбивается на достаточно крупные блоки, в рамках которых угол отклонения векторов перемещения от среднего вектора по блоку невелик. Задав порог для отклонения, мы можем избавиться от некорректных срабатываний wMSE. В эксперименте мы использовали шесть блоков (3x2) и порог $\pm \frac{\pi}{6}$, полученный в рамках численных экспериментов. На рис. 1,а отсеянные векторы изображены тонкими линиями. Смещение центра первого изображения на средний вектор перемещения T_{avg} позволяет найти предварительную оценку p'_c .

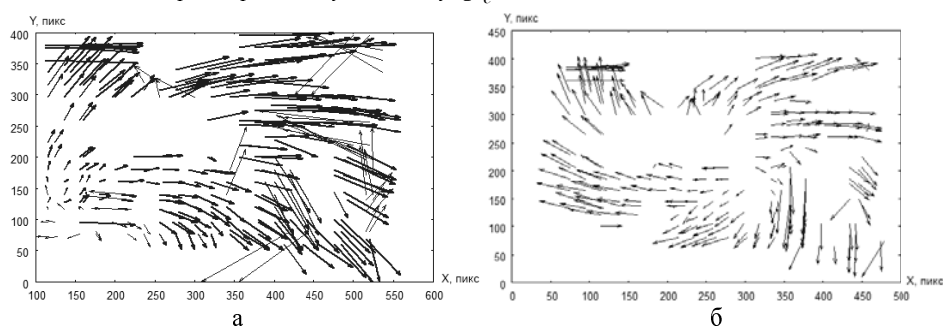


Рис. 1. Трансформация перемещения $T(p)$ векторного поля: а – векторное поле перемещения точек с указанием отфильтрованных векторов; б – векторное поле перемещения точек после смещения

Найденная оценка p'_c позволяет гарантировать то, что после прибавления ко всем векторам \vec{v}_p вектора $-T_{avg}$ искомая точка p_c будет находиться в пределах видимого изображения (рис. 1,б). Для нахождения очередного приближения точки

p_c'' воспользуемся гипотезой о малости угла поворота. Тогда верно предположение, что две прямые, параллельные осям координат и проходящие через искомую точку, разбивают поле на четыре квадранта знакопостоянства проекций векторов на оси координат. Используя численное интегрирование длин проекций вдоль осей, найдём координаты точки p_c'' как координаты экстремумов интегральных функций. Поиск угла поворота предлагается осуществлять максимизацией суммы модулей скалярных произведений векторов $\vec{nv}_p = \frac{\vec{v}_p}{|\vec{v}_p|}$ и $\vec{t}_p = \frac{p - p_c}{|p - p_c|}$, минимизируя при этом средний угол отклонения для малых значений угла, так как $\sum_n \left| \left(\vec{nv}_p \cdot \vec{t}_p \right) \right| = \sum_n |\cos \Theta_n|$. Найденный угол Θ вместе с оценкой p_c'' определяет преобразование поворота $R(p)$, одновременно уточняя преобразование перемещения $T(p)$.

Для нахождения коэффициентов kx и ky мы предлагаем минимизировать сумму модулей векторов перемещения, получаемых после трансформации изображения (1).

$$(kx, ky) = \arg \min_{(kx, ky)} \sum_n |Z(R(T(p_n))) - p_n^*|, \tag{1}$$

где p_n^* – координаты соответствующей точки изображения со второй камеры. На рис. 2,а приводится график функции (1), глобальный минимум которого соответствует оптимальному преобразованию $Z(p)$. На рис. 2,б изображено векторное поле перемещений после всех преобразований

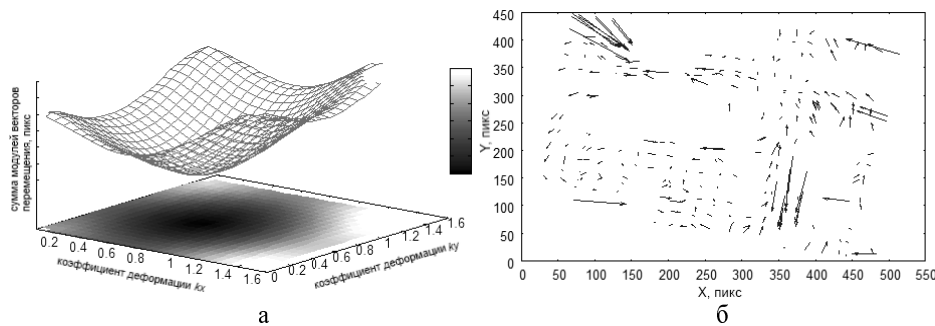


Рис. 2. Поиск преобразования масштабирования $Z(p)$: а – минимизация значения суммы модулей векторов в координатах (kx, ky) ; б – векторное поле перемещений точек после преобразования $Z(p)$

Для уточнения точки p_c найдём корректировку Δd_y для смещения d_y : $p_c = p_c'' + (0, \Delta d_y)$. Мы предлагаем использовать функцию суммы яркостей вдоль строчек изображений $I_s(y) = \sum_x I(x, y)$, а затем найти смещение, минимизирующее сумму средне-квадратичного отклонения функций обоих изображений: $\partial y = \arg \min_{dy} \sum_y [I_s'(y) - I_s''(y + \partial y)]^2$. На рис. 3 представлены результаты работы алгоритма.



а



б

Рис. 3. Входная и результирующая стереопары: а – исходная стереопара; б – стереопара после преобразований

После нахождения преобразований T , R и Z в первом приближении мы можем увеличить точность коэффициентов этих преобразований. Так, на рис. 2,б можно заметить векторы, существенно выделяющиеся длиной. Такие векторы являются следствием неисключённых ошибок алгоритма поиска точечных соответствий. Поскольку данные векторы легко отделить от прочих, исключим их из выборки и проведём поиск преобразований заново. Эксперимент показал, что в большинстве случаев для фильтрации достаточно одной итерации.

Ещё одним способом увеличения точности решения является поиск коэффициентов для нескольких независимых сцен. После исключения выбросов можно воспользоваться средним значением коэффициента как окончательным приближением.

Нами был разработан метод и алгоритм ректификации стереоизображений по сцене, основанный на модификации подхода к стабилизации камеры. Получаемые изображения могут применяться для создания стереовидеопотоков и стереоизображений. Предложенный метод содержит несколько ограничений: на уровне модели исключены две степени свободы, поворот изображения вокруг оптической оси камеры рассматривался в диапазоне $\pm \frac{\pi}{6}$. Мы предложили два статистических

улучшения, которые повышают точность найденного решения: фильтрация векторов с большими значениями нормы и выборка из нескольких решений, выполненных при одинаковой конфигурации камер.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ting Chen*. Video Stabilization Algorithm Using a Block-Based Parametric Motion Model. Winter 2000, Stanford University. – P. 3-4
2. *Бондаренко С., Бондаренко М.* Создание 3D-изображений: теория и практика [Электронный ресурс] // Сайт проекта 3Domen. 2011, 27 февраля. URL: <http://3domen.com/index.php?newsid=5794> (дата обращения 26.07.2012).
3. *Jesse S Jin, Zhigang Zhu, Guangyou Xu*. Digital Video Sequence Stabilization Based on 2.5D Motion Estimation and Inertial Motion Filtering. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles (2001) Volume 7, Issue 4, pp. 357-365.
4. *Протасов С.И., Крыловецкий А.А.* Использование web-камер как источника стереоизображений в реальном времени // Информатика: проблемы, методология и технологии: материалы XI Международной научно-методической конференции, Воронеж, 10-11 февраля 2011г.: В 3-х т. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2011. – Т. 2. – С. 229-232.
5. *Takeo Kanade, Masatoshi Okutomi*. A stereo matching algorithm with an adaptive window: theory and experiment // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Sep. 1994 – P. 920-932.
6. *Eddy Vermeulen*. Real-time Video Stabilization For Moving Platforms. 21st Bristol UAV Systems Conference – April 2007.

Статью рекомендовал к опубликованию к.ф.-м.н., доцент Н.А. Тюкачёв.

Протасов Станислав Игоревич – Воронежский государственный университет; e-mail: stanislav.protasov@gmail.com; 394062, Воронеж, ул. Южно-Моравская, 16, кв. 73; тел.: +79167434994; факультет компьютерных наук; кафедра цифровых технологий; аспирант.

Крыловецкий Александр Абрамович – e-mail: aakryl@sc.vsu.ru; факультет компьютерных наук; кафедра цифровых технологий; к.ф.-м.н.; доцент.

Protasov Stanislav Igorevich – Voronezh State University; e-mail: stanislav.protasov@gmail.com; 16, Yuzhno-Moravskaya street, apt. 73, Voronezh, 394062, Russia; computer science faculty; the department of digital technologies; postgraduate student.

Krylovetsky Alexander Abramovich – e-mail: aakryl@sc.vsu.ru; computer science faculty; the department of digital technologies; cand. of phis.-math. sc.; associate professor.

Кургалин Сергей Дмитриевич – e-mail: kurgalin@bk.ru; факультет компьютерных наук; кафедра цифровых технологий; зав. кафедрой; д.ф.-м.н.; доцент.

Kurgalin Sergey Dmitrievch – e-mail: kurgalin@bk.ru; computer science faculty; the department of digital technologies; head of department; dr. of phis.-math. sc.; associate professor.

УДК 004.93'14, 51-76, 57.087.1

И.В. Симоненко, И.А. Матвеев

**КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ЭТАЛОНОВ РАДУЖКИ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА В БОЛЬШИХ БАЗАХ***

В работе биометрических систем распознавания можно выделить два этапа: определение биометрических признаков (так называемого эталона) и сравнение полученного эталона с ранее зарегистрированными, содержащимися в базе данных. Для больших баз сравнение может занимать значительное, неприемлемое время. В работе предложен способ уменьшения времени поиска путём кластеризации некоторой выборки эталонов ра-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-07-00778-а).