

***Инструментальные  
средства  
информационных  
технологий***

*Предложено алгоритмический комплекс для поиска поворота камеры между снятыми кадрами. Решение базируется на алгоритме выделения границ и состоит из двух частей: выделение и сопоставление множества границ. Практически задача применяется для эффективного построения панорамных снимков.*

УДК 004.932.2:519.688

Ф.Г. ГАРАЩЕНКО, А.Ю.  
КОБЗАРЬ

## СОПОСТАВЛЕНИЕ СНИМКОВ ПАНОРАМЫ НА ОСНОВАНИИ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ

**Введение.** Ключевым моментом построения панорамных снимков является поиск изменений ориентации камеры при получении соседних кадров. Зная эти изменения, последующая обработка сводится к геометрическим расчетам и методам бесшовного соединения кадров. На данный момент наиболее актуальны алгоритмы на базе метода SIFT [1, 2]. Такую же схему использует метод SURF [3] и метод, предложенный в работе [4].

Все эти решения объединяет общая схема, состоящая из следующих подзадач:

- выделение ключевых точек;
- описание выделенных точек;
- построение пар ключевых точек на базе их описаний;
- фильтрация найденных пар;
- поиск взаимной ориентации камер.

Отличаются описанные методы алгоритмами, которые реализуют выделенные этапы.

В работе [4] описано метод оптимизации процедуры поиска благодаря использованию данных из датчика ускорения. Такой шаг позволяет сузить поиск второй точки пары с поверхности единичной сферы до горизонтального кольца на ней. Если рассмотреть смещение камеры между кадрами, которые сопоставляются – можно отметить, что из трех искомым углов датчик ускорения позволяет нам получить значение двух из них, правда с небольшой точностью. Таким образом остается перебрать все возможные варианты неизвестного угла и провести уточнение уже известных.



В этой работе предлагается алгоритмический комплекс, который будет состоять из двух частей: выделение границ на изображении и поиск смещения, которое наилучшим образом сопоставляет границы.

**Выделение границ.** Входными данными для этого этапа служит изображение в виде множества пикселей. Для уменьшения числа расчетов цветовая гамма изображения превращается в оттенки серого, теряя менее значимые хроматические компоненты. С этой же целью уменьшается и количество пикселей. В качестве компромисса между скоростью и качеством было найдено размер 320 на 240 пикселей.

На выходе этот алгоритм должен возвращать множество граничных точек с определенными параметрами, среди которых: координаты, нормали к границе, ссылка на соседние точки и величина вектора градиента в этой точке. Основным критерий качества результата – стабильность к шумам, поворотам камеры и незначительным ее смещениям. Именно из-за этих требований принято решение использовать именно граничные точки, поскольку они несут в себе наибольшее количество информации.

Процедура поиска границ тоже делится на определенное количество шагов, которые постепенно дают возможность выделить, уточнить и отфильтровать нужные точки.

Первый шаг – это размытие изображения. Оно помогает отсеять высокие, соизмеримые с размером пикселя, частоты. Образованные ими граничные точки не могут достаточно точно передать форму самой границы, что тянет за собой увеличение количества нестабильных данных. Алгоритмом размытия выбрана свертка с гауссианом с дисперсией 9.

На следующем шаге находится значение векторов градиентов, на базе которых в дальнейшем будут выбираться границы.

Дальше для каждой точки рассматриваем систему координат с абсциссой, направленной по направлению градиента, и перпендикулярной ей ординатой (рис. 1). На абсциссе отмечаются интервалы  $[-3; -2]$ ,  $[-2; -1]$ ,  $[-1; 0]$ ,  $[0; 1]$ ,  $[1; 2]$ ,  $[2; 3]$  и для каждого из них выделяется накапливаемое значение. Все точки с координатами  $(x, y)$  в новой системе координат, лежащие в прямоугольнике  $x \in [-3; 3]$ ,  $y \in [-1; 1]$ , проектируются на ось абсцисс вместе со своими градиентами. Величины проекций градиентов умножаются на  $1 - |y|$  и пропорционально

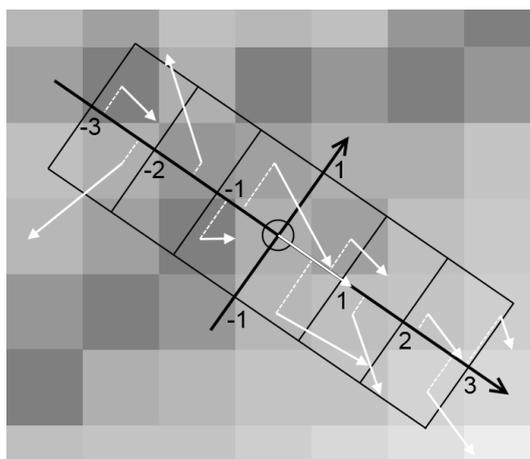


РИС. 1. Третий этап выделения границ

распределяются между накапливаемыми значениями выбранных интервалов. После обработки соседей, среди накопленных значений выбирается максимальное. Если оно соответствует интервалам  $[-2;-1]$ ,  $[-1;0]$ , тогда точка отмечается знаком «-», если интервалам  $[0;1]$ ,  $[1;2]$ , тогда – знаком «+». Выбранные отметки представляют направление в котором следует двигаться для достижения середины границы, «+» – по направлению градиента, «-» – против. Если ж максимум накопленных значений достигается на крайних интервалах, значит середина границы находится на расстоянии больше двух пикселей от точки.

Параллельно предыдущему этапу проводятся расчеты, которые субпиксельно уточняют положение отмеченных точек. Для этого накопленные значения интервалов  $[-3;-2]$  и  $[-2;-1]$ ,  $[-1;0]$  и  $[0;1]$ ,  $[1;2]$  и  $[2;3]$  объединяются. Обозначим их как  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$ . Новое положение точки в пространстве находится как:

$$(x', y') = (x, y) + \alpha \frac{(g_x, g_y)}{|g_x, g_y|},$$

где  $\alpha$  – точка максимума параболы, проходящей через точки  $(-2, a_1)$ ,  $(0, a_2)$  и  $(2, a_3)$ .

Если выполняется неравенство  $|\alpha| > 2$ , значит точка не рассматривается при дальнейшей обработке.

Границы изображения проходят в тех местах, где касаются противоположно отмеченные точки. На базе этого свойства строится список граничных точек, элементы которого получаются из границ точек с разными знаками. Субпиксельные положения точек списка определяются на базе уточненных на предыдущем этапе соответствующих точек изображения.

Слишком близкое расположение точек может отрицательно сказаться на функциональности следующих этапов алгоритма. Поэтому они объединяются в одну.

В рамках следующего этапа для каждой точки границы находятся две соседние. Кандидатами на соседство рассматриваются точки, расстояние которых к текущей меньше двух. Среди всех возможных пар потенциальных соседей выбирается та, элементы которой находятся ближе всего к рассматриваемой точке и угол под которым

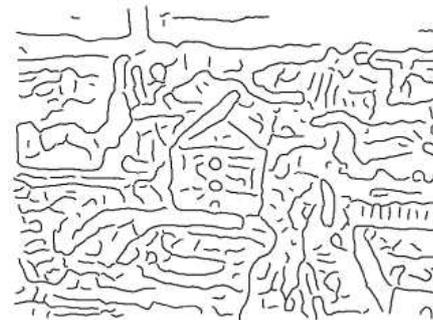


РИС. 2. Изображение и выделенные на нем границы

мальный. Также вводится условие, ограничивающее минимальное значение этого угла отметкой  $120^\circ$ .

На основании найденных связей строим линии. Для этого удаляем связи, не являющиеся двухсторонними. В результате точки границ можно сгруппировать в ломаные линии или циклы, но нет необходимости делать это в явном виде.

Анализируя связи находим и расформировываем линии, состоящие менее чем с пяти точек. Можно заметить, что именно такие линии являются случайными и как следствие – нестабильными.

Основным критерием при построении алгоритма и подборе его параметров была его эффективность на практике. В частности он тестировался на мобильном телефоне и обрабатывал данные, поступающие из камеры. Окончательные выводы относительно эффективности алгоритма следует делать в связке со следующим этапом, поскольку самостоятельно данное решение не представляет интереса конечному пользователю.

**Поиск смещения.** В результате работы первого этапа получено множество граничных точек, объединенных в линии. Также известными считаются приближенные значения двух из трех эйлеровых углов. Их величины могут варьироваться в рамках  $\pm 5^\circ$  от истинного значения.

Цель следующей части алгоритмического комплекса – это определение единственного неизвестного угла или заключение о том, что определить угол невозможно.

Основывается алгоритм на том факте, что при корректно найденном угле множество границ обрабатываемых изображений находятся очень близко одна к другой (рис. 3).

Поиск неизвестного угла поворота вокруг вертикальной оси осуществляется на гистограмме, которая показывает количество совпадающих границ в зависимости от искомого угла. Для заполнения значений элементов гистограммы последовательно рассматриваются все точки второго изображения. Каждая из них сопоставляется со всеми точками первого изображения, находящимися в той же горизонтальной плоскости. Среди всех точек первого изображения выбираются только те, нормаль которых не сильно отличается от нормали точки второго изображения. Процесс

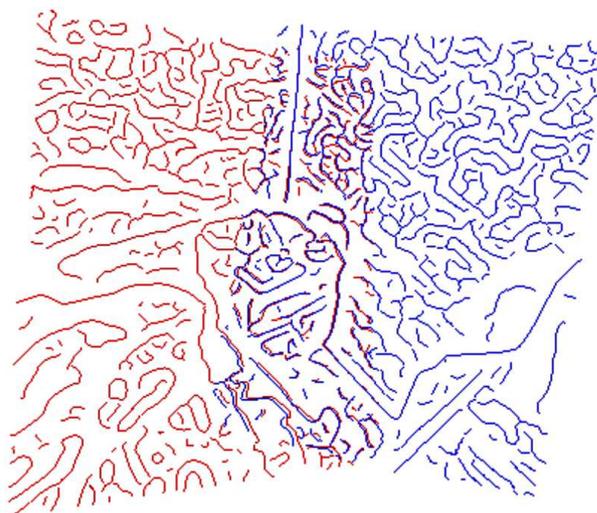


РИС. 3. Результат сопоставления границ

сопоставления проводится путем поворота одного из изображений (пусть это будет второе) вокруг вертикальной прямой. Несложными геометрическими преобразованиями находится нужный угол поворота и увеличивается соответственный элемент гистограммы.

После нахождения гистограммы стоит учесть следующее:

- каждый элемент гистограммы являет собой суммарную величину общих границ на пересечении изображений. В нее входят как действительно общие границы, так и случайно определенные как общие. Зависимо от угла поворота площадь пересечения изображений отличается. Это может привести к ситуации, когда количество случайных границ для большего пересечения будет больше количества настоящих соответствий при малой площади пересечения. Во избежание такой ситуации следует делить величину элемента гистограммы на соответствующее значение площади пересечения;

- решение проблемы из предыдущего пункта влечет за собой обратную проблему. Теперь случайные совпадения при малых площадях пересечения могут стать больше настоящих границ при больших площадях. Для компенсации эффекта вводится ограничение минимальной площади;

- благодаря таким искажениям как шумы и неточность датчика ускорения появляется необходимость в компенсации малой точности положений границ. Для этого значения гистограммы циклически размываются гауссианом;

- те же искажения вносят в вертикальные положения точек некоторые погрешности. Это означает что во время построения гистограммы для точек второго изображения следует брать точки первого, положение по вертикали которых совпадает не точно, а приближенно. Такая модификация значительно увеличивает стабильность результата, но при этом увеличивает продолжительность расчетов;

- для ускорения работы, статистику будем накапливать не для каждой пары точек, а выборочно, пропуская большое их количество. Это возможно благодаря большому количеству точек, которое так же увеличилось после предыдущего пункта. Таким образом можно полностью нивелировать потерянную ранее скорость работы и при желании увеличить ее за счет небольшой потери точности.

На построенной, с учетом ранее описанных уточнений, гистограмме (рис. 4) выделяется максимальное значение, принимаемое единственным возможным кандидатом на роль искомого смещения. Остается убедиться в том, что найденное значение принципиально отличается от других. Для этого будем искать такой, отличный от выбранного, локальный максимум, расстояние от значения которого к среднему значению элементов гистограммы было бы больше трети расстояния от значения глобального максимума к тому же среднему. Если такой элемент существует, то максимум гистограммы не считается стабильным и результатом работы алгоритмического комплекса является невозможность поиска смещения.

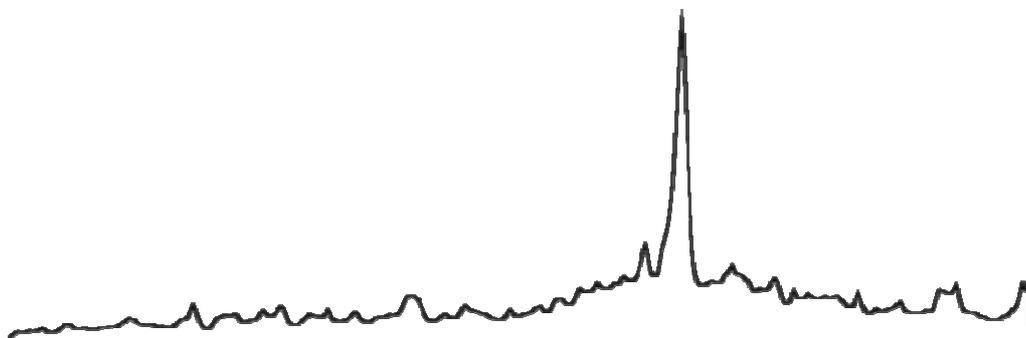


РИС. 4. Гистограмма суммарной величины границ в зависимости от смещения

Заметим, что в реальных условиях для пересекающейся пары изображений невозможность определения смещения бывает только при достаточно малой площади пересечения. Ослабление предложенного критерия увеличивает количество ошибочно определенных значений смещений, это хуже чем совсем не найденное смещение. В частности такое утверждение правильное для программного комплекса построения панорамных снимков, для которого изначально разрабатывался данный алгоритм.

**Компенсация погрешности датчика ускорения.** Выше описанный двух шаговый алгоритм позволяет найти один неизвестный угол имея два изображения и приближенные значения двух других углов. В результате точность найденного угла будет больше известных. Для увеличения точности первых двух углов, поочередно выбирается каждый из них, для него выполняется преобразование системы координат таким образом, чтобы искомый угол стал углом поворота вокруг вертикальной оси и повторяются выше описанные части алгоритма.

Из-за неточности акселерометра даже правильно определенный поворот может быть отвергнут схемой проверки корректности. Во избежание этой проблемы проверка корректности осуществляется только при последнем использовании описанного алгоритмического комплекса, когда все известные углы имеют достаточную точность.

**Использование описанного метода.** Предложенный метод разрабатывался для увеличения эффективности работы алгоритмического комплекса по построению панорамных снимков при наличии датчика ускорения. Далее будет описано схему алгоритма построения панорамных снимков с использованием разработанного метода.

Процесс интерактивного построения панорамных снимков состоит из двух частей. Одна из них – поиск положения снимка (или кадра видеокамеры) в множестве уже отснятых изображений, другая – добавление снятого изображения в базу.

При наличии датчика ускорения для поиска последовательно перебираются сохраненные в базе снимки и каждый с них сравнивается с новым, положение которого находится. Если хотя бы с помощью одного из снимков удалось опреде-

лительное положение – то поиск прекращается. Иначе, перебрав все изображения, констатируется невозможность найти положение. Для увеличения эффективности порядок сравнения базируется на предыдущем положении камеры. При успехе это значительно сокращает процесс поиска, при отрицательном результате скорость обновления положения не является принципиальным моментом.

Без датчика ускорения работа описанного алгоритма невозможна и поэтому положение надо искать с помощью метода, описанного в [4], или же использовать гироскоп.

Процесс добавления изображения в базу начинается с поиска его положения по описанному ранее принципу. Далее остается только уточнить найденное положение и интегрировать его в базу изображений. Несмотря на использованный алгоритм поиска положения, уточнение осуществляется предложенным методом для достижения наилучшего результата.

Добиться бесшовного объединения изображений не получится из-за того, что обычно пользователь не сохраняет фиксированное положение центра проекции во время съемки. Сгладить этот недостаток можно рассматривая отдельные области на пересечении изображений и калибровать их предложенным методом. Таким образом получаются локальные коррекции положений во всех местах перекрытия. Для учета найденных коррекций, изображения рассматриваются не как прямоугольники фиксированной формы, а вводится возможность небольшого изменения их геометрии, что в целом не будет заметным в пределах целого панорамного снимка.

**Заключение.** В данной работе предложена методика быстрого, точного и стабильного поиска изменения положения камеры за снятыми кадрами. Этот метод зарекомендовал себя гораздо эффективнее используемых ранее, однако для его работы нужен датчик ускорения. Этот факт еще раз подтверждает, что имея больше данных об обрабатываемом объекте можно значительно сэкономить время работы алгоритма и увеличить его точность.

Использование описанного метода не ограничивается построением панорамных снимков. Его использование возможно в любой области, где нужно совершать поиск или калибровку изображений. Например, можно компенсировать эффект скользящего затвора для камер из КМОП сенсорами [5] и проводить стабилизацию видеоряда в режиме реального времени.

*Ф.Г. Гаращенко, А.Ю. Кобзар*

#### СПІВСТАВЛЕННЯ ЗНІМКІВ ПАНОРАМИ НА БАЗІ ГРАНИЦЬ ОБ'ЄКТІВ

Запропоновано алгоритмічний комплекс для пошуку повороту камери між знятими кадрами. Рішення базується на алгоритмі виділення границь і складається з двох частин: виділення і співставлення множини границь. Практично задача застосовується для ефективної побудови панорамних знімків.

*F.G. Garashchenko, A.Yu. Kobzar*

STITCHING PANORAMA FRAGMENTS USING BORDERS OF OBJECTS CONTAINED

A complex of algorithms for determining the relative camera rotation between capturing images is proposed. The solution is based on the border recognition algorithm and consists of two parts: recognition and matching of the sets of borders. It is applicable to efficient construction of panoramic images.

1. *Lowe D.* Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. – 2004. – Vol. 60, Issue 2. – P. 91 – 110.
2. *Brown M., Lowe D.* Automatic panoramic image stitching using invariant features // International Journal of Computer Vision. – 2007. – Vol. 74, Issue 1. – P. 59 – 73.
3. *Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Gool L.* SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). – 2008. – Vol. 110, N 3. – P. 346 – 359.
4. *Гаращенко Ф.Г., Кобзарь А.Ю.* Интерактивное построение панорамных снимков с помощью портативных компьютеров // Проблемы управления и информатики – 2013. – № 6. – С. 90 – 102.
5. *Forssen P.E., Ringaby E.* Rectifying rolling shutter video from hand-held devices // CVPR. – 2010. – P. 507 – 514.

Получено 20.02.2014

**Об авторах:**

*Гаращенко Федор Георгиевич,*

доктор технических наук, заведующий кафедрой моделирования сложных систем  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,

*Кобзарь Андрей Юрьевич,*

аспирант кафедры моделирования сложных систем  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко.