

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Механико-математический факультет

**ДЕВЯТАЯ СИБИРСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ
И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫМ
ВЫЧИСЛЕНИЯМ**

Томск, 10–12 октября 2017 года

Сборник статей

*Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук, профессора А.В. Старченко*

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2017

Использование алгоритмов обработки данных мобильных видеоизмерений для распознавания и классификации повреждений дорожной поверхности*

С.А. Проханов¹, Б.М. Шумилов², А.Ж. Кудуев³, К.А. Абдыкалыков³

¹ *Томский государственный университет,*

² *Томский государственный архитектурно-строительный университет,*

³ *Ошский государственный университет*

¹ *viking@math.tsu.ru, ² sbm05@yandex.ru, ³ altynbek_kuduev@mail.ru,*

⁴ *kun.abd@mail.ru*

Решение задачи разбивается на несколько этапов: 1) фильтрация и цветоделение последовательных кадров видеосъемки; 2) поиск локальных особенностей изображения на отдельных видеокдрах; 3) выявление устойчивых особенностей и формирование по ним опорных кадров; 4) обратное преобразование стереометрии; 5) создание пространственной триангуляционной сети; 6) получение трехмерной математической модели объекта. В данной работе мы анализируем известный алгоритм восстановления трехмерных координат точек объекта по двум смежным изображениям стереопары.

Ключевые слова: фильтрация изображений, мобильные видеоизмерения, фотограмметрия, 3D моделирование, автомобильные дороги.

Мобильная видеосъемка традиционно используется при «ручной» диагностике и паспортизации текущего состояния автомобильных дорог. В последние годы вычислительные возможности мобильных устройств существенно выросли, что позволяет поставить задачу диагностики повреждений дорожной поверхности по измерениям на серии последовательных кадров видеосъемки. В плоском случае решение обратной задачи фотограмметрии с помощью расстановки графических маркеров не встречает особых трудностей (см. [1]). В пространственном случае [2] решение задачи сводится к формированию по графическим меткам элементов матрицы геометрических преобразований и восстановлению трехмерных координат точек объекта по перспективным проекциям в каждой картинной плоскости.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

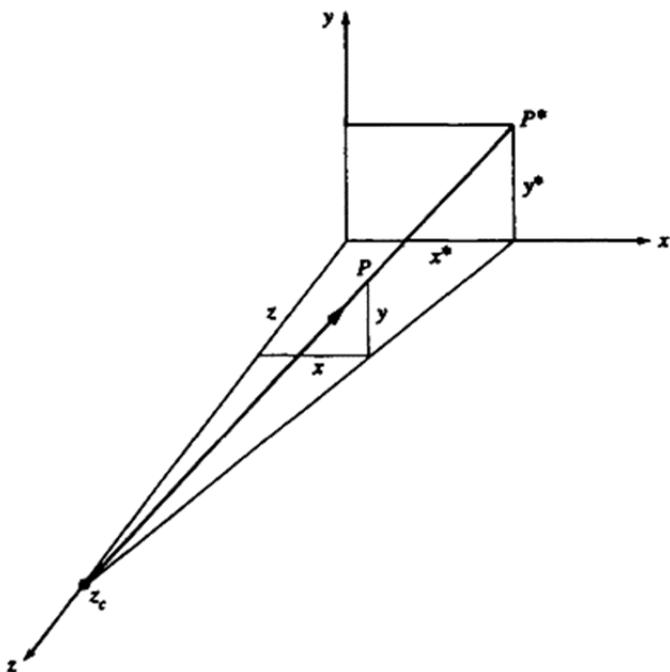


Рис. 1. Перспективная проекция точки

Напомним, что с введением однородных геометрических координат преобразование линейной перспективы (рис. 1) представляется в виде матрицы размера 4x4: $[x \ y \ z \ 1][T'] = [x' \ y' \ z' \ h]$, где

$$[T'] = \begin{bmatrix} T'_{11} & T'_{12} & T'_{13} & T'_{14} \\ T'_{21} & T'_{22} & T'_{23} & T'_{24} \\ T'_{31} & T'_{32} & T'_{33} & T'_{34} \\ T'_{41} & T'_{42} & T'_{43} & T'_{44} \end{bmatrix}.$$

В процессе фотографирования результаты проецируются на двумерную плоскость, в данном случае, на плоскость $z = 0$ с помощью преобразования проекции

$$[T''] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Последовательное применение линейных преобразований векторного пространства можно рассматривать как произведение матриц. Таким образом, результирующее преобразование можно записать в виде

$$[x \ y \ z \ 1][T] = [x' \ y' \ 0 \ h] = h[x^* \ y^* \ 0 \ 1]. \quad (1)$$

Здесь

$$[T] = [T''] [T'] = \begin{bmatrix} T'_{11} & T'_{12} & 0 & T'_{14} \\ T'_{21} & T'_{22} & 0 & T'_{24} \\ T'_{31} & T'_{32} & 0 & T'_{34} \\ T'_{41} & T'_{42} & 0 & T'_{44} \end{bmatrix},$$

x^* и y^* – это координаты перспективной проекции на картинную плоскость фотоизображения $z=0$. После исключения масштабного коэффициента h получим два скалярных уравнения:

$$(T'_{11} - T'_{14}x^*)x + (T'_{21} - T'_{24}x^*)y + (T'_{31} - T'_{34}x^*)z + (T'_{41} - T'_{44}x^*) = 0, \quad (2a)$$

$$(T'_{11} - T'_{14}x^*)x + (T'_{21} - T'_{24}y^*)y + (T'_{31} - T'_{34}y^*)z + (T'_{41} - T'_{44}y^*) = 0, \quad (2b)$$

Наконец, в последнем подходе [3,4] полагаются известными $[T]$, x^* , y^* . В этом случае получается два уравнения от трех неизвестных пространственных координат x, y, z . Это – недоопределенная система уравнений, поэтому решить ее невозможно. Однако, если известны две перспективные проекции, скажем две фотографии, полученные с разных ракурсов, то уравнения (2) можно записать для обеих проекций. В результате получим

$$(T_{11}^1 - T_{14}^1 x^{*1})x + (T_{21}^1 - T_{24}^1 x^{*1})y + (T_{31}^1 - T_{34}^1 x^{*1})z = x^{*1} - T_{41}^1,$$

$$(T_{12}^1 - T_{14}^1 y^{*1})x + (T_{22}^1 - T_{24}^1 y^{*1})y + (T_{32}^1 - T_{34}^1 y^{*1})z = y^{*1} - T_{42}^1,$$

$$(T_{11}^2 - T_{14}^2 x^{*2})x + (T_{21}^2 - T_{24}^2 x^{*2})y + (T_{31}^2 - T_{34}^2 x^{*2})z = x^{*2} - T_{41}^2,$$

$$(T_{12}^2 - T_{14}^2 y^{*2})x + (T_{22}^2 - T_{24}^2 y^{*2})y + (T_{32}^2 - T_{34}^2 y^{*2})z = y^{*2} - T_{42}^2,$$

где верхние индексы 1 и 2 обозначают первую и вторую перспективные проекции. Эти уравнения представляют четыре уравнения от трех неизвестных пространственных координат x, y, z . Таким образом, снова получена переопределенная система уравнений, и для нахождения решения можно применить методы наименьших квадратов и квадратного корня.

С целью иллюстрации метода рассмотрим реальную стереопару (рис. 2).



Рис. 2. Стереопара из двух фотографий дорожного конуса на фоне повреждения дорожной поверхности

Решения отыскивались в системе MathCAD. Координаты вершин 3D-объекта измерялись линейкой. Координаты соответствующих точек на изображениях фиксировались в графическом редакторе с использованием манипулятора «мышь». Попытка восстановления 3D-координат вершин объекта дала неплохое совпадение с исходными значениями. Более того, в ходе расчетов удалось поправить измерения на фото и печатки при снятии отсчетов. Задаваясь измеренными значениями фиксированной точки поверхности дорожного полотна на левом и правом снимках, можно проверить выполнение теоремы Пифагора. В нашем случае вычисленное расстояние от вершины конуса до асфальтового покрытия составило 31,975 см, что на 0,078% отличается от паспортного значения 32 см.

В докладе предлагается следующий алгоритм создания интерфейса для реализации полученных алгоритмов на смартфоне под управлением ОС Андроид.

- Последовательно левый, а затем правый снимок стереопары сбрасываются на экран смартфона (рис. 3).

- На снимок накладывается изображение проволочной модели 3D объекта.

- На модели последовательно вспыхивают характерные точки объекта, и подается команда пользователю (дублируемая голосом) движением графического курсора выбрать соответствующую точку на фотографии.

- После обработки обоих снимков стереопары в памяти смартфона формируются матрицы преобразований линейной перспективы (операция так называемой калибровки).

- Далее подается голосовая команда пользователю выбрать произвольную точку на каждом снимке стереопары.

- Предлагается выбрать из соответствующего меню режим тестирования, (если это – характерная точка, принадлежащая объекту), либо режим проверки выполнения теоремы Пифагора (если это – точка на дорожном основании), либо переход к продолжению работы.

- Далее подается голосовая команда пользователю выбрать вторую точку на каждом снимке стереопары.

- Вычисляется расстояние между выбранными точками (еще одно тестирование).

- Далее пользователю предлагается выбрать третью и так далее точки на каждом снимке стереопары.

- По мере пополнения массива точек программа строит триангуляцию интересующей пользователя геометрической фигуры, для которой затем вычисляются площадь и объем данного конкретного повреждения дорожной поверхности.

Дальнейшая задача состоит в подготовке заказа-наряда на выполнение ремонтных работ по ликвидации данного конкретного дорожного дефекта.

В развитие данной темы в докладе ставится задача автоматизации процесса поиска графических маркеров и опорных точек на фотоизображениях. В качестве предварительного вывода отметим, что на изображениях объектов искусственного происхождения, например, дорожного конуса, в вершинах которого располагаются графические маркеры, характерно наличие углов, образованных пересечениями направляющих линий (кривых либо прямых). Поэтому для анализа таких изображений целесообразно применение так называемых «угловых» фильтров [5–7].

Объектам естественного происхождения таким, как промоины, ямы и выбоины в асфальтово-бетонном покрытии, присуще наличие локальных неоднородностей, поэтому для поиска локальных особенностей изображений с точки зрения последующей корректной идентификации точек

интерполяции трехмерного объекта в большей степени пригодны детекторы блобов (blob – с англ. капля), основанные на методе Лапласа [8].



Рис. 3. Имитация работы с изображением на экране смартфона

При этом наличие прямоугольной таблицы изображений позволяет эффективно применить к решению поставленных задач современную теорию шеарлетов [9–16].

Литература

1. Marker Meter – измерение размеров по фотографии в лучших традициях криминалистики. URL: <http://4pda.ru/2015/06/04/224700> (дата обращения: 03.11.2016).
2. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М. : Мир, 2001. 604 с.
3. Sutherland I. E. Three Dimensional Data Input by Tablet // Proc. IEEE. 1974. Vol. 62, No. 2. Pp. 453–461.

4. Slama C. (ed.). *Manual of Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry, 1980.
5. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // *Fourth Alvey Vision Conference*. Manchester, UK, 1988. Pp. 147–151.
6. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Thomson, 2008. 866 p.
7. Harris affine region detector. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Harris_affine_region_detector (дата обращения: 03.11.2016).
8. Tinne Tuytelaars, Krystian Mikolajczyk. *Local Invariant Feature Detectors: A Survey*, 2008.
9. Dahlke S. et al. Shearlet coorbit spaces and associated Banach frames // *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 2009. V. 27, No. 2. P. 195–214.
10. Kittipoom P., Kutyniok G., Lim W. Q. Irregular shearlet frames: Geometry and approximation properties // *Journal of Fourier Analysis and Applications*. 2011. V. 17, No. 4. P. 604–639.
11. Kutyniok G. Construction of regular and irregular shearlets // *Affine Density in Wavelet Analysis*. 2007. P. 1–10.
12. Houska R. The nonexistence of shearlet scaling functions // *Applied and computational harmonic analysis*. 2012. V. 32, No. 1. P. 28–44.
13. Easley G., Labate D., Lim W.Q. Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform // *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 2008. V. 25, No. 1. P. 25–46.
14. Kutyniok G., Sauer T. Adaptive directional subdivision schemes and shearlet multi-resolution analysis // *SIAM Journal on Mathematical Analysis*. 2009. V. 41, No. 4. P. 1436–1471.
15. Han B., Kutyniok G., Shen Z. Adaptive multiresolution analysis structures and shearlet systems // *SIAM Journal on Numerical Analysis*, 2011. V. 49, No. 5. P. 1921–1946.
16. Kutyniok G., Shahram M., Donoho D. L. Development of a digital shearlet transform based on pseudo-polar FFT // *SPIE Optical Engineering Applications*. International Society for Optics and Photonics. 2009. P. 74460B-74460B-13.