



Э.А. Эшаров, А.В. Давыдов, А.В. Титов, В.С. Калиниченко

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОБИЛЬНЫХ ВИДЕОИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ФИКСАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВТОМОТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ<sup>2</sup>

(Томский государственный архитектурно-строительный университет)

Быстрый рост количества автотранспортных средств (АТС) в стране во много раз опережает темпы дорожного строительства, поэтому дорожная сеть работает с перенапряжением. Состояние автомобильных дорог, качество покрытия, видимость и радиусы закруглений, ширина проезжей части, обустроенность соответствующими знаками, светофорами, наличие разметки, ограждения – существенным образом влияют на безопасность дорожного движения и определяют в своей совокупности понятие «дорожные условия».

При расследовании дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в большинстве случаев считается, что основными их причинами являются небрежность или ошибки водителя, а также неисправность АТС. Статистические данные показывают, что из-за неудовлетворительных дорожных условий совершается от 8 до 15% всех ДТП. По оценке специалистов, реальное влияние дорожных условий на совершение ДТП значительно выше и составляет от 60 до 80% [1].

К наиболее распространенным классифицированным ДТП относятся: столкновение движущихся АТС, наезд на стоящий АТС и наезд на препятствие (неподвижное или внезапно возникшее).

Процедура фиксации и оформления ДТП в настоящее время предусматривает три варианта:

1. Европейский протокол, участники происшествия сами оформляют и фиксируют все обстоятельства, с обязательным использованием фото и видео аппаратуры.

2. Аварийный комиссар, оформляет и фиксирует все обстоятельства происшествия, с обязательным использованием фото и видео аппаратуры.

3. Инспектор ГИБДД, оформляет и фиксирует все обстоятельства происшествия, использование фото и видео аппаратуры не является обязательным.

Довольно часто возникают спорные ситуации, расследование и экспертиза которых производится по имеющимся материалам, к которым в том числе относятся фотографии и видеосъемка. В большинстве случаев, участник происшествия использует мобильное устройство при фиксации и оформлении сложившейся ситуации (Рис.1).

На рис.1, а – водитель мотоцикла зафиксировал общую дорожную ситуацию. На рис.1, б – с целью понимания масштаба и размера выбоин, водитель использовал перчатку как масштабный маркер. В данной ситуации, владельцу

<sup>2</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p\_a).



мотоцикла придётся доказывать, что дорожное покрытие не соответствует требованиям к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения [2].



Рис. 1 Фотографии выбоин в дорожном покрытии, а) общий вид дорожной обстановки, б) перчатка водителя мотоцикла в выбоине, в) перспективная проекция точки

В последние годы вычислительные возможности мобильных устройств существенно выросли, что позволяет поставить задачу диагностики повреждений по измерениям на серии последовательных кадров видеосъемки. 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.

*В данной работе мы анализируем известный алгоритм восстановления трехмерных координат точек объекта по двум смежным изображениям стереопары [3].*

Напомним, что с введением однородных геометрических координат преобразование линейной перспективы (рис. 1, в) представляется в виде матрицы

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

размера 4x4:  $[x \ y \ z \ 1][T'] = [x' \ y' \ z' \ h]$ , где

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

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

Композиция этих двух линейных преобразований дает

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

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



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

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

Если известны  $x^*, y^*, x, y, z$ , то уравнения (2a) и (2b) представляют два уравнения с 12 неизвестными элементами  $T'_{ij}$ . Применяя эти уравнения к  $n \geq 6$  некопланарным точкам в объектном пространстве и к их изображениям на перспективной проекции, получим однородную систему из  $2n$  уравнений с 12 неизвестными. Для решения полученной системы перенесем слагаемые, содержащие нормировочный коэффициент  $T'_{44}$ , в правую часть и зададим значение  $T'_{44} = 1$ . Таким образом, для нахождения решения  $[T]$  получается переопределённая система уравнений, матрица которой не может быть инвертирована, так как она не квадратная. Как известно из теории метода наименьших квадратов наилучшее усредненное решение можно вычислить, умножив обе части матричного уравнения на транспонированную матрицу системы известных с симметричной квадратной матрицей, для решения которой можно применить хорошо известный метод квадратного корня. Таким образом, по известным координатам находится преобразование, породившее данную перспективную проекцию, например, фотографию.

В случае [4], когда предполагаются известными  $[T], x^*, y^*$ , 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

$$\begin{aligned} (T'^1_{11} - T'^1_{14}x^{*1})x + (T'^1_{21} - T'^1_{24}x^{*1})y + (T'^1_{31} - T'^1_{34}x^{*1})z &= x^{*1} - T'^1_{41}, \\ (T'^1_{12} - T'^1_{14}y^{*1})x + (T'^1_{22} - T'^1_{24}y^{*1})y + (T'^1_{32} - T'^1_{34}y^{*1})z &= y^{*1} - T'^1_{42}, \\ (T'^2_{11} - T'^2_{14}x^{*2})x + (T'^2_{21} - T'^2_{24}x^{*2})y + (T'^2_{31} - T'^2_{34}x^{*2})z &= x^{*2} - T'^2_{41}, \\ (T'^2_{12} - T'^2_{14}y^{*2})x + (T'^2_{22} - T'^2_{24}y^{*2})y + (T'^2_{32} - T'^2_{34}y^{*2})z &= y^{*2} - T'^2_{42}, \end{aligned}$$

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.

Практическое применение заявленного алгоритма довольно широкое, при фиксации и определении реальных размеров выбоин в дорожном покрытии. С целью иллюстрации метода рассмотрим реальную стереопару (Рис. 1, б).

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 точки поверхности



кузовной детали 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.

Реализацию полученных алгоритмов предполагается осуществить на смартфоне под управлением ОС Андроид [5].

Экспертиза характера и перечня повреждений АМТС, предусматривает детальную фиксацию повреждений для определения возможности их образования и причастности к исследуемому событию. Безусловно, фотографический метод является веским аргументом при решении спорных ситуаций, а определение реальных размеров повреждений элементов АМТС по фотографиям (Рис. 2) и видеосъёмке актуальной задачей. Результаты визуального осмотра повреждённого транспортного средства и фотографирования (Рис. 2) оформляются соответствующим актом. Фотоматериалы и акт осмотра, повреждённого АМТС, являются обязательным приложением к экспертному заключению или отчёту об оценке стоимости восстановительного ремонта АМТС [6].



Рис. 2 Фотографии автомобиля: а) и б) повреждённого в ДТП, в) и г) повреждённого в результате падения снежной массы

В развитие данной темы ставится задача автоматизации процесса поиска графических маркеров и опорных точек на фотоизображениях, в том числе поврежденных АМТС.

### Литература

1. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.
2. ГОСТ Р 50597-93 «Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения».
3. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. – 604 с.
4. Slama, C. (ed.). Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 1980.
5. Проханов С.А., Шумилов Б.М., Кудуев А.Ж., Абдыкалыков К.А. / Девятая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. С. 102– 108.
6. Федотова М.А., Ковалёв А.П., Кушель А.А. [и др.]. Оценка машин и оборудования. М.: ИНФА-М, 2017. 324 с.