

УДК 004.931

Э.С. Соколова, Д.В. Дмитриев, О.Н. Корелин,
Д.А. Кобляков, М.Б. Багиров, А.Д. Сачков
**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КАЛИБРОВКИ
АНАЛОГОВЫХ КАМЕР ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Работа посвящена калибровке камер в системах помощи водителю. Описываются распространенные проблемы, калибровки широкоугольных камер и возможные пути их решения. Обоснованы преимущества выбора в качестве объекта калибровки шаблона в виде шахматной доски, а также влияние расположения камер и окружающего пространства на результат работы предлагаемого алгоритма калибровки. Представлены основные этапы калибровки: оценка оптического искажения линзами получаемых изображений, внутренняя и внешняя калибровка.

Ключевые слова: калибровка камеры, многокамерные системы, система помощи водителю, ADAS, калибровочный шаблон, RANSAC, компьютерное зрение.

Сегодня все большее внимание уделяется интеллектуальным системам помощи водителю – ADAS (Advanced driver-assistance systems). В рамках ADAS перспективным направлением является решение задачи визуального информирования о дорожной ситуации, в частности – формирование панорамного обзора и уменьшение слепых зон автомобиля путем использования широкоугольных камер. Возникающая при этом проблема связана с радиальными оптическими искажениями в форме «рыбьего глаза» и тангенциальными искажениями. Данные искажения можно уменьшить путем калибровки широкоугольных камер с применением камеры-обскуры с учетом 3D-2D-соответствий. Калибровка камер проводится в два этапа: на первом устраняются внутренние искажения, на втором – внешние. При этом матрица внутренних параметров для устранения радиальных искажений вычисляется для камеры один раз и не зависит от наблюдаемой сцены. Входными данными для алгоритма вычисления параметров камеры является множество координат 3D точек и соответствующих им 2D координат (обычно для шахматной доски выбирают точки соприкосновения чёрных квадратов). Количество используемых для обучения изображений влияет на точность определения параметров камеры и, в дальнейшем, на точность распознавания. Изображения эталонов должны размещаться перед камерой с различным смещением относительно главной точки камеры и под разными углами [1].

Алгоритм калибровки включает следующие шаги:

- 1) захватить изображение с камеры;
- 2) проверить наличие на захваченном изображении эталона;
- 3) добавить заранее определённые 3D координаты углов калибровочного шаблона в список А;
- 4) определить пиксели изображения, соответствующие углам миры, и сохранить их в список В [2];
- 5) на основе сформированных списков А и В выполнить калибровку камеры (определить параметры фундаментальной матрицы камеры), для чего:
 - 5а) вычислить первоначальные значения параметров фундаментальной матрицы камеры (коэффициенты дисторсии задаются равными нулю);
 - 5б) оценить первоначальную позицию камеры, предположив, что значения параметров фундаментальной матрицы камеры известны;

5в) запустить оптимизационный алгоритм Левенберга-Марквардта [3] для минимизации ошибки проекции так, чтобы сумма квадратов расстояний между точками из списка А и проекций точек объекта из списка В была минимальна (проекция выполняется на основе известных оценок позиции камеры и значений параметров фундаментальной матрицы камеры).

При этом повторять шаги 1-4 следует необходимое количество раз. Результатом работы алгоритма калибровки является фундаментальная матрица камеры (рис. 1).

```
data.yml  x
1  %YAML:1.0
2  result: 1.0496276411773020e+00
3  cameraMatrix: !!opencv-matrix
4    rows: 3
5    cols: 3
6    dt: d
7    data: [ 4.0434062882721660e+03, 0., -1.4625007335679694e+01, 0.,
8           3.6476155690866299e+03, 1.4712431973635281e+01, 0., 0., 1. ]
9  distCoeffs: !!opencv-matrix
10   rows: 5
11   cols: 1
12   dt: d
13   data: [ 2.4750351788047089e+00, -6.3432185591647027e+01,
14          -4.7737332140934330e-01, 1.8204682484203996e-01,
15          8.4237040841240673e+02 ]
```

Рис. 1. Фундаментальная матрица камеры

Для нахождения углов наклона и поворотов камеры следует выполнить ее внешнюю калибровку. Внешняя калибровка камеры решает задачу определения ориентации и положения камеры в пространстве по изображению сцены. Процесс калибровки основан на получении данных об объектах, которые снимаются камерой – их ориентации, пропорций, а также пространственного положения. Для автоматизации нахождения внешних параметров в задачах ADAS применяется специальный маркерный объект или шаблон в виде шахматной сетки (рис. 2).

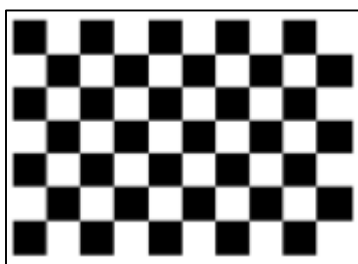


Рис. 2. Шаблон для автоматической внешней калибровки камеры

Изложим основные положения, на котором основан предложенный метод.

1. На принтере распечатывается калибровочный шаблон.
2. Сохраняется несколько стоп-кадров, на которых присутствует калибровочный шаблон (чем больше кадров, тем выше точность калибровки).
3. С помощью детектора Харриса [4] на каждом изображении выполняется поиск калибровочного объекта.
4. Выполняется перспективное преобразование плоскости калибровочного объекта в плоскость камеры (гомография).

Проведенный эксперимент включает два этапа. В первом случае на поверхности пола помещен шаблон таким образом, чтобы он попадал в поле зрения камеры. В качестве начала координат использован один из углов калибровочного шаблона. В процессе съемки ориентация и положение камеры относительно мировой системы координат изменялись (рис. 3).

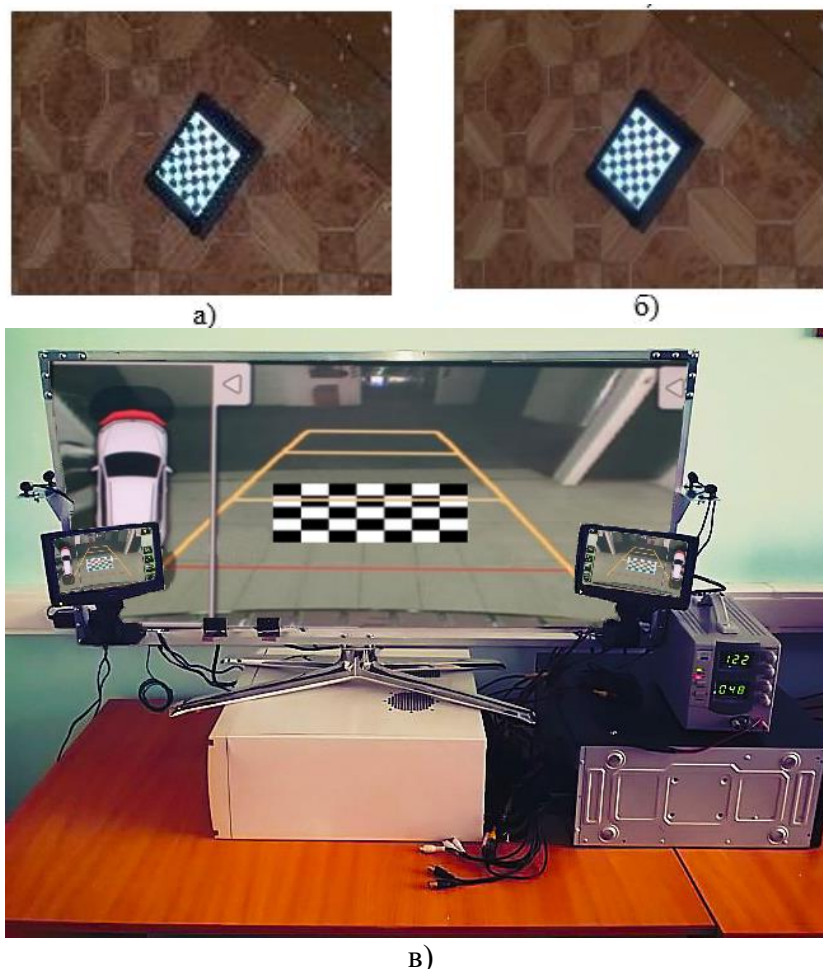
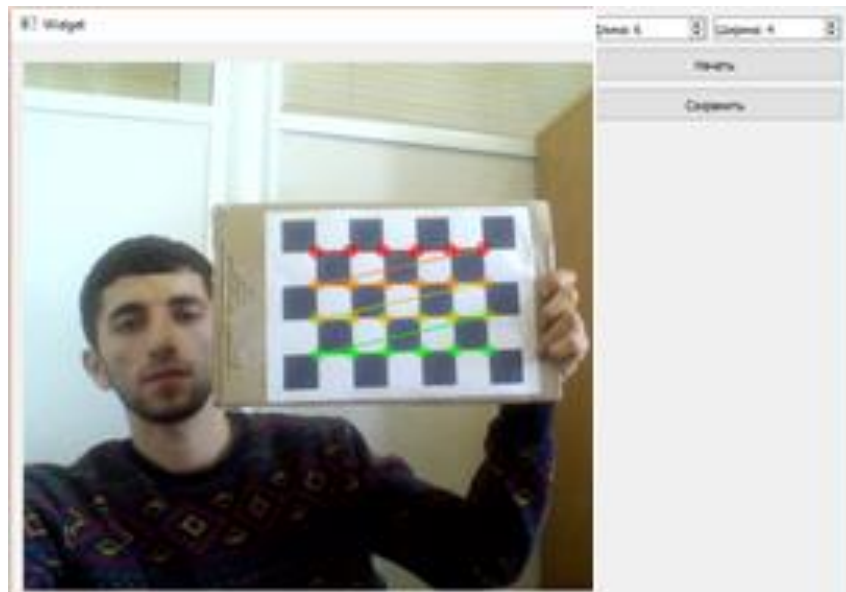


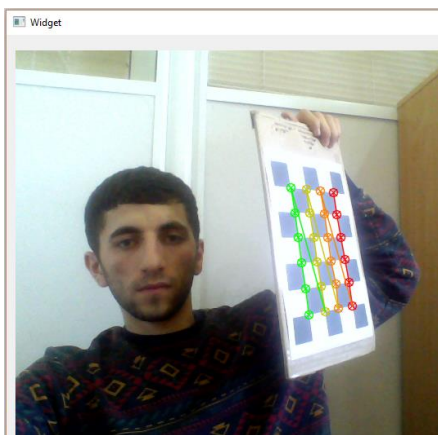
Рис. 3. Внешняя калибровка при неподвижном объекте;
а), б), в) – изображения сцен

Во втором случае за точку отсчета принят оптический центр камеры. В процессе съемки изменялось положение шаблона и углы наклона калибровочного шаблона (рис. 4). С помощью рассмотренного алгоритма удалось определить внешние параметры камеры и вычислить положение и наклон маркерного объекта относительно камеры. Работа алгоритма была оценена с помощью визуального оценивания смоделированного изображения.

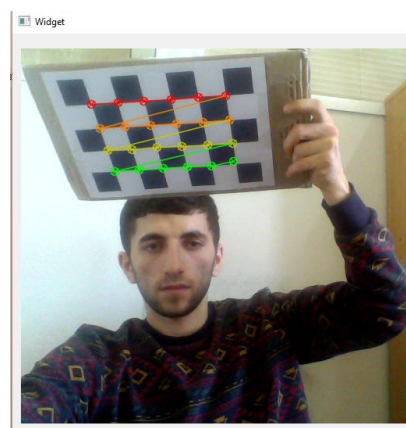
На основании проведенных экспериментов для оптической системы с автофокусом и электронной матрицей разрешением 3 Мп, величина погрешности определения расстояния составила 3-11%, предельный угол, при котором выполняется определение положения и углов наклона калибровочного шаблона составляет $\pm 75^\circ$, предельное расстояние, на котором калибровочный шаблон определялся – 18 м.



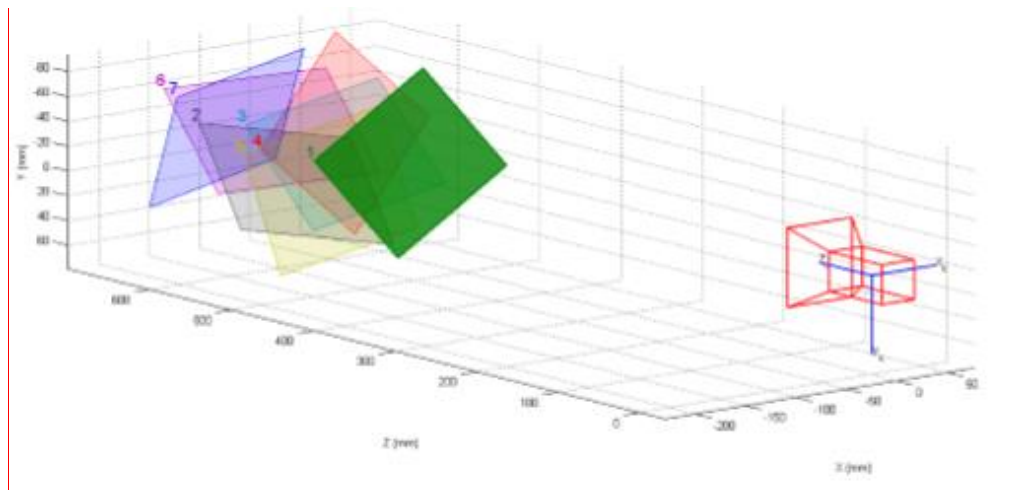
а)



б)



в)



г)

Рис. 4. Внешняя калибровка при неподвижной камере;
а), б), в) – изображения сцены, г) – смоделированное изображение

Библиографический список

1. Багиров, М.Б. Разработка и исследование алгоритмов многокамерной калибровки для систем помощи водителю [Текст] // Материалы I Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности». – Н. Новгород, 2018. С. 157-161.
2. Багиров, М.Б. Метод определения характеристических точек маркерных изображений / М.Б. Багиров, О.В. Андреева [Текст] // Сборник материалов XV Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Н. Новгород: НГТУ, 2017. С. 69-70.
3. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.11, pp. 1330-1334, 2000.
4. Борисенко, Д.И. Методы поиска угловых особенностей на изображениях [Текст] // Молодой ученый. 2011. № 5. Т.1. С. 120-123.