

Калибровка стереокамер с помощью геодезического оборудования

И. А. Дейлид¹, С. А. Молодяков²

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

¹ivanov.dale@gmail.com, ²molod@ics2.ecd.spbstu.ru

Аннотация. Использование стереокамеры позволяет получить большое количество информации о препятствиях и трехмерной сцене. Одним из условий использования данного оборудования является предварительная калибровка. В докладе рассматривается стереокамера, установленная на локомотиве. Тормозное расстояние поездов большое, это условие требует использовать камеры с большим фокусом. Представлена система для вычисления внутренних и внешних параметров камеры с использованием тахеометра и маркеров, позволяющая производить точную калибровку камер. Приводятся результаты обработки реальных видеозаписей, полученных с локомотива.

Ключевые слова: компьютерное зрение; стереокамера; калибровка; тахеометр

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется автоматизации (цифровизации) железнодорожного транспорта. Одна из основных задач искусственного интеллекта цифрового локомотива связана с определением препятствий на пути движения. С этой целью разрабатываются и исследуются разные методы, связанные с применением целого набора датчиков [1].

В компании НИИАС создаются системы [2], в том числе с установкой на локомотивах, в которых применяются элементы, представленные на рис. 1. Две монокамеры дальнего (МКД, МКФ) и ближнего (МКБ, МКН) вида являются основными. Они используются диспетчерами для наблюдения за обстановкой движения поезда. Диспетчер может находиться на значительном расстоянии, и наблюдение проводится через интернет. Лидары и радары нужны для точного и всепогодного определения расстояний. Инфракрасная камера (ИК) дополняет работу видеокамер и обеспечивает более надежную работу системы. Стереокамера, включающая левую (СКЛ) и правую (СКП) камеры, предназначена для построения 3D изображения сцены и позволяет с большой точностью определить расстояние до препятствия и распознать вид препятствия. После каждой камеры стоят видеопроцессоры (видеопроцессоры монокамер дальнего (ВМКД) и ближнего (ВМКБ) вида, видеопроцессор стереокамеры (ВСК), процессоры инфракрасной камеры (ВИК), лидара (ПЛ) и радара (ПР)), которые обеспечивают предварительную обработку данных.

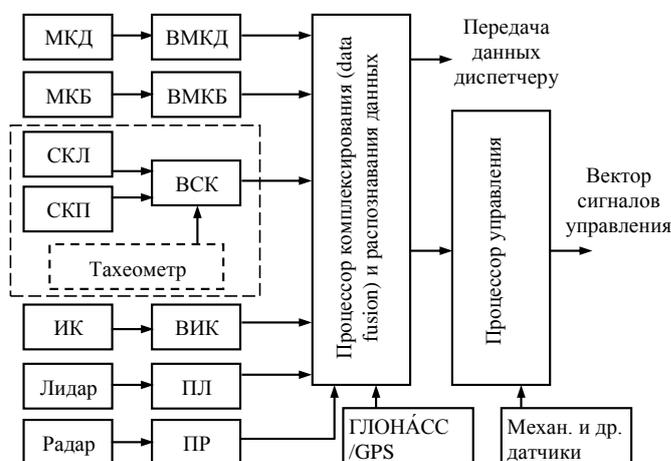


Рис. 1. Видео подсистема системы управления локомотивом

В статье приводится разработанный подход к калибровке с помощью тахеометра. Метод был необходим для обеспечения более точной калибровки в условиях эксплуатации стереокамеры. Для калибровки использовался тахеометр, который предварительно снял точные координаты опорных маркеров, выставленных заранее. Тахеометр – это геодезический инструмент для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов, он имеет определенные метрологические характеристики. Измерение расстояний и углов происходит с высокой точностью.

II. ЭТАПЫ РАБОТЫ СТЕРЕОЗРЕНИЯ И КАЛИБРОВКА КАМЕР

В классической версии алгоритма расчета внутренних параметров и калибровки стереопары используется специальный паттерн – шахматная доска под разными углами и смещениями, анализируемая камерой [3]. Этот метод позволяет рассчитать внутренние параметры камер, такие как фокус, принципиальная точка, коэффициенты искажения, а также параметры стереопары, такие как смещение и поворот между камерами. Затем выполняется выпрямление и ректификация на основе параметров стереопары, после чего выполняется алгоритм стереосопоставления. Использование классического алгоритма [3] проблематично из-за расположения камер на движущемся локомотиве.

Известен алгоритм расчета внутренних параметров стереопары по маркерам, которыми оснащаются наблюдаемые объекты [4]. Данный метод также использовать сложно, так как наблюдаемые объекты не возможно оснастить маркерами.

В рассматриваемой задаче обработки стереоизображений со стереокамеры (рис. 2), установленной на локомотиве, мы используем специализированные камеры и объективы для задач компьютерного зрения. Это позволяет установить принципиальную точку камеры в качестве центра кадра в пиксельном пространстве и установить коэффициенты искажения в виде нулей.

Рассмотрим основные этапы предложенного метода калибровки:

A. Определение координат камеры

С помощью тахеометра мы рассчитываем координаты камер, путь, на котором расположен локомотив, и несколько маркеров, которые находятся в зоне обзора камер. Все расчеты ведутся в собственной системе координат. На рис. 2 показаны ворота депо, рельсы и центральные точки маркеров, которые выделены цветом.

B. Преобразование координат

Координаты (x, y, z) преобразуются с помощью аффинных преобразований в систему координат (x', y', z'), где камера является нулевой точкой, а вектор глубины совмещен с рельсовым полотном, на котором стоит локомотив.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix}$$

На рис. 3 показаны координаты ориентиров (маркеров) и двух точек стены в проекции с видом сверху после преобразования координат [5]. Можно увидеть, что положение маркеров на рис. 2 и рис. 3 соответствуют.



Рис. 2. Левый и правый кадры от стереокамеры на локомотиве

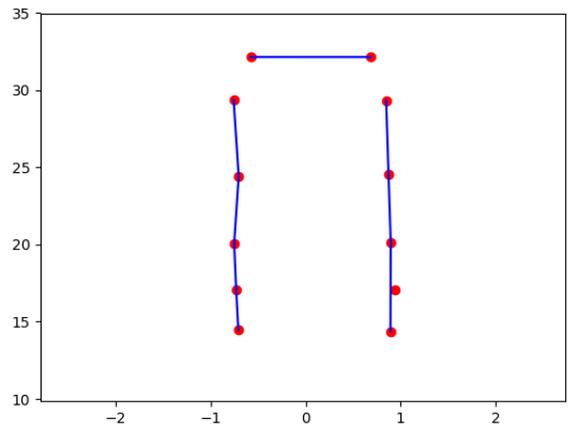


Рис. 3. Координаты маркеров и двух точек ворот в проекции bird view после преобразования координат

C. Получение кадров с левой и правой камер

Далее необходимо получить синхронизированные кадры с левой и правой камер (соответствуют рис. 2)

D. Поиск общих признаков

Выполняется признак общих признаков между кадрами. На рис. 4 показано соответствие точек для дальнейшего преобразования.

E. Вычисление матрицы гомографии, преобразование кадра правой камеры

Матрица гомографии H рассчитывается на основе тех самых признаков, описанных выше. Перспектива правой кадра преобразуется с использованием матрицы гомографии [6].

$$s \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$



Рис. 4. Same features between two frames



Рис. 5. Карта диспаратности без преобразования перспективы

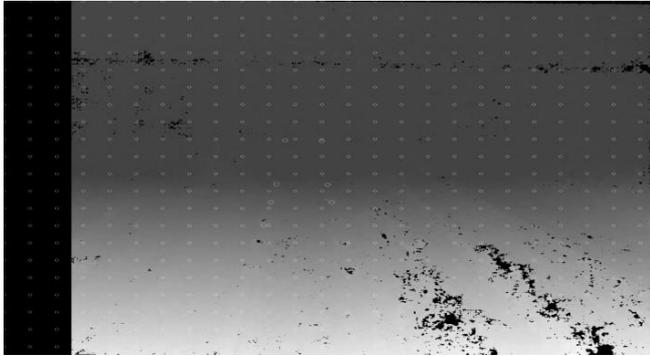


Рис. 6. Карта диспаратности с преобразованием перспективы правого кадра

F. Вычисление карты диспаратности

Карта диспаратности вычисляется с использованием левого и преобразованного правого кадра. Каждое значение этой карты – разница одних и тех же точек в пиксельном пространстве между левым и правым кадром. На рис. 5 и рис. 6 показаны карты диспаратности.

G. Вычисление матрицы реконструкции

Создается временная матрица реконструкции Q с некоторыми значениями базы и фокуса. Трехмерная координата каждой точки в пространстве может быть рассчитана с использованием карты диспаратности:

$$\begin{aligned} Z &= B \cdot f \cdot X / \Delta x; \\ X &= Z (x - \omega / 2) / f; \\ Y &= Z (y - h / 2) / f \end{aligned}$$

B – база стереокамеры; f – фокус; Δx – разница координат принципиальных точек камер; ω – абсцисса принципиальной точки; h – ордината принципиальной точки

H. Вычисление матрицы аффинных преобразований

Изначально происходит расчёт координат маркеров с использованием вычисленной временной матрицы реконструкции. Основываясь на формулах, показанных в пункте *G*, база и фокус влияют на координаты точек

линейно – мы можем преобразовать координаты из этой матрицы в реальные координаты, используя поворот, смещение и масштабирование. В этом случае мы найдем матрицу аффинных преобразований M , которая позволит выполнить точную реконструкцию.

Подготовительный этап завершен. Теперь мы получили три матрицы, необходимые для дальнейшей трехмерной реконструкции: матрица H -гомографии, матрица Q -реконструкции, матрица аффинного преобразования M .

Теперь для трехмерной реконструкции сцены необходимо выполнить преобразование правого кадра с использованием матрицы гомографии, вычислить временные координаты точек с использованием матрицы восстановления и умножить результат на матрицу аффинного преобразования, чтобы получить окончательный результат реконструкции.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ

Метод наименьших квадратов был использован для оценки точности. Ошибка представляет собой квадрат разности между координатой, рассчитанной с помощью реконструкции, и координатой, рассчитанной с помощью тахеметра. Средняя ошибка составляет 0,155 м.

Результат реконструкции изображения в депо показан далее.

На рис. 7 показан кадр исходного изображения. На рис. 8 показана карта диспаратности. Карта диспаратности показана в представлении цветовой палитры rainbow для лучшей визуализации. На рис. 9 и рис. 10 показан выбор объектов в зоне высот препятствий.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, был разработан новый метод калибровки, позволяющий использовать стереопару для трехмерной реконструкции видимой зоны, позволяющей обнаружить возможные препятствия на пути.



Рис. 7. Оригинальный кадр

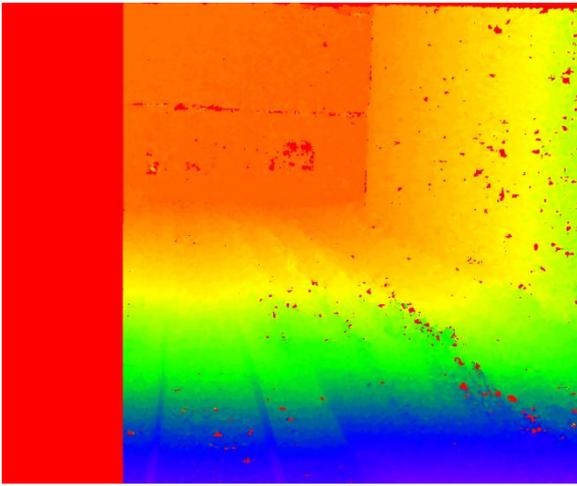


Рис. 8. Карта диспаратности

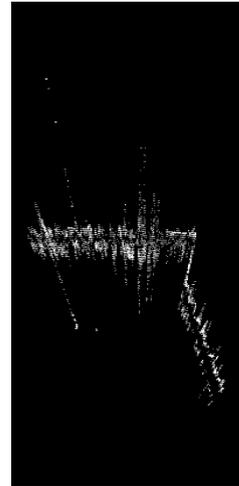


Рис. 10. Точки в виде сверху



Рис. 9. Препятствия в зоне интересов

Несколько ориентиров были использованы для высокоточной калибровки камер. Это требует измерения только нескольких опорных точек и камер. Точность разработанного алгоритма экспериментально показана на примере различных сцен. Основные преимущества этого алгоритма – быстрая и простая реализация.

REFERENCES

- [1] Ukai M., Nassu B.T., Nagamine N., Watanabe M., Inaba T. Obstacle Detection on Railway Track by Fusing Radar and Image Sensor // 9th World Congress on Railway Research (WCRR 2011), Proceedings PB003793.
- [2] Gavrilova N.M., Dailid I.A., Molodyakov S.A., Boltenkova E.O., Korolev I.N., Popov P.A. Application of computer vision algorithms in the problem of coupling of the locomotive with railcars // IEEE International Symposium on Consumer Technologies (ISCT). 2018, P.1-4. DOI: 10.1109/ISCE.2018.8408904.
- [3] Rathnayaka P., Seung-Hae Baek, Soon-Yong Park An Efficient Calibration Method for a Stereo Camera System with Heterogeneous Lenses Using an Embedded Checkerboard Pattern // Journal of Sensors 2017, Article ID 6742615, 12p. DOI: 10.1155/2017/6742615.
- [4] Abramov N.A., Bolsunovskaya M.V., Leksashov A.V., Barinov D.S. Algorithms for detecting and tracking of objects with optical markers in 3D space // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2016. art. no. 7519782 P. 362-364.
- [5] Liu YC., Lin KY., Chen YS Bird's-Eye View Vision System for Vehicle Surrounding Monitoring // Robot Vision. Lecture Notes in Computer Science. 2008. V.4931. DOI: 10.1007/978-3-540-78157-8_16
- [6] Malis E., Vargas M. Deeper understanding of the homography decomposition for vision-based control // Research Report RR-6303, INRIA. 2007, 90 p.