

МЕТОД КАЛИБРОВКИ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ ФОТОГРАММЕТРИИ

Иванов Д.В., Иванова М.Ю.

Научный руководитель – профессор Коловский Ю. В.

Сибирский федеральный университет

В данной статье рассмотрен способ дополнительной калибровки систем компьютерного стереозрения, основанный на коррекции статических характеристик системы при помощи многопараметрической регрессии, известной также как нейронная сеть.

Системы ближней фотограмметрии способны обеспечивать сочетание высокого быстродействия с высокой точностью измерений, однако, для достижения высокой точности измерений необходимо использовать специальную фотоаппаратуру, с объективами, имеющими слабую дисторсию, либо усложнять методику расчета, используя более сложные модели для учета дисторсии. Использование же сложных моделей принуждает к сложной многопараметрической оптимизации, в результате чего, мы либо утрачиваем высокое быстродействие, либо упрощаем модель и утрачиваем высокую точность измерений. В то же время, разработка методов и средств ближней фотограмметрии, позволяющих использовать фотокамеры с сильной дисторсией, позволит в дальнейшем снизить стоимость и повысить применяемость систем ближней фотограмметрии.

Кроме того, использование обычных цифровых фотокамер налагает ряд особенностей. Происходит это из-за наличия в таких камерах объективов с переменным фокусным расстоянием (т.н. зумом). С одной стороны, применение таких камер позволяет существенно варьировать поле зрения и угловое разрешение системы, с другой стороны, если не отходить от принципов фотограмметрии, то используемые камеры должны быть многократно откалиброваны для всего диапазона изменения фокусных расстояний, что также представляет определенную проблему. Ранее, мы были вынуждены использовать такие фотокамеры только в одном положении объектива.

Однако у фотограмметрии есть смежная область науки, называемая компьютерным зрением. Принципиальное отличие между фотограмметрией и компьютерным зрением заключается в спектре решаемых ими задач, что накладывает разные ограничения по точности и быстродействию. Однако развитие компьютерного зрения в ряде аспектов все более и более приближает ее к фотограмметрии.

Для решения задачи высокоточной калибровки стереофотограмметрической системы, состоящей из двух камер, с переменными фокусными расстояниями, воспользуемся широко используемой в компьютерном зрении эпиполярной геометрией.

Первым шагом нашего алгоритма будет статическая коррекция фотограмметрической дисторсии для разных фокусных расстояний камеры с использованием нейросети. Обучение нейросети будет происходить на основе учебника, входными параметрами которой будут исходные (искаженные) координаты изображения, а выходными – координаты изображений, скорректированные с учетом дисторсии. Для того, чтобы статическая коррекция учитывала изменение параметров дисторсии при изменении фокусного расстояния, во входные параметры также добавляется значение фокусного расстояния для текущего снимка.

Для создания учебника воспользуемся точечной моделью камеры:

$$\begin{aligned}
u - u_0 &= -C_u \left[\frac{m_{11}(x - x_c) + m_{12}(y - y_c) + m_{13}(z - z_c)}{m_{31}(x - x_c) + m_{32}(y - y_c) + m_{33}(z - z_c)} \right], \\
v - v_0 &= -C_v \left[\frac{m_{21}(x - x_c) + m_{22}(y - y_c) + m_{23}(z - z_c)}{m_{31}(x - x_c) + m_{32}(y - y_c) + m_{33}(z - z_c)} \right].
\end{aligned}
\tag{1}$$

Где u, v – координаты точек на изображении, x, y, z – координаты точек в пространстве, параметры внутреннего ориентирования камеры: u_0, v_0 – координаты центральной точки, $C_u = f / \lambda_u$ и $C_v = f / \lambda_v$ – коэффициенты отношения эффективного фокусного расстояния f к горизонтальному и вертикальному масштабным коэффициентам λ_u и λ_v ; параметры внешнего ориентирования камеры: x_c, y_c, z_c – координаты центра проекции камеры, m_{ij} – коэффициенты матрицы поворота камеры.

Используется плоский тестовый объект, координаты маркированных точек поверхности которого определены заранее (рисунок 1). Объект размещается неподвижно вертикально, так чтобы горизонтальные линии, образуемые маркерами, оставались горизонтальными. Фотоаппарат размещается горизонтально, так чтобы оптическая ось объектива совпадала с нормалью к поверхности тестового объекта и проходила через его геометрический центр. Расстояние между объективом фотоаппарата и тестовым объектом измеряется доступным бесконтактным средством измерения. Далее, изменяя фокусное расстояние камеры, проводим фотографирование тестового объекта.

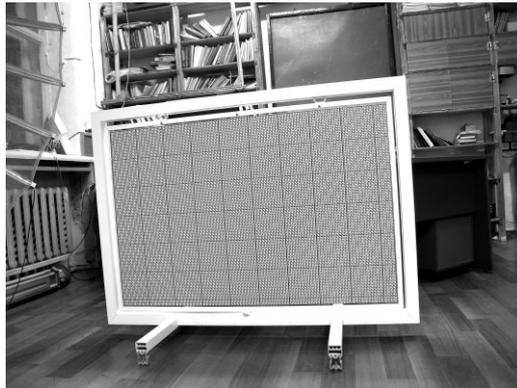


Рис. 1. Тестовый объект

Для определения фокусного расстояния составляется система уравнений (1), для каждого изображения маркера, для разных снимков отдельно. Также, используя все то же выражение (1), находим координаты изображений маркеров без дисторсии и формируем учебник. Подробнее методика расчета координат изображений без дисторсии рассмотрена в нашей предыдущей работе, но в том случае мы калибровали камеры с постоянным фокусным расстоянием, однако метод, описанный там, подходит и для данного случая, меняется лишь алгоритм фотографирования, и в учебник добавляется значение фокусного расстояния.

Проведенная работа в дальнейшем позволяет нам использовать точечную модель камеры для определения параметров взаимного ориентирования камер и реконструкции сцены без существенного увеличения погрешности.

При проведении измерения и реконструкции измеряемого объекта проведем двухстадийную калибровку стереопары, используя фундаментальную матрицу по 8-ми точечному алгоритму. В первой стадии определяются параметры взаимного ориентирования и фокусные расстояния камер без учета статической коррекции дисторсии. Во второй стадии, скорректировав дисторсию для каждой камеры с учетом определенного

фокусного расстояния, уточняем параметры взаимного ориентирования и фокусные расстояния.

Завершающим этапом было проведение оценки производительности полученного алгоритма, критерием выступала среднеквадратическая погрешность реконструкции сцены.

Оценка производилась путем вычислительного эксперимента, используя модель камеры, описанную выше. Камера имела матрицу размером в $\frac{1}{2}$ с эффективным разрешением 1024x768 и диапазоном изменений фокусного расстояния 5-8 мм. Тестовый объект представлялся набором маркеров, расположенных на плоском прямоугольнике с размерами 1.2x0.8 м по сетке с шагом 20 мм. Для оценки влияния погрешностей локализации маркеров на снимках к координатам изображений маркеров добавлялся шум в 0.1, 0.25, 0.5, 1 пиксель (обозначим как Δ_p), к координатам маркеров тестового объекта также добавлялся шум в 0.5, 1, 2, 5 мм (обозначим как Δ_x). Среднеквадратическая погрешность реконструкции сцены рассчитывалась с учетом изменения координат маркеров при добавлении шума, однако, при проведении калибровки использовались исходные незашумленные координаты, реконструкция производилась по изображениям тестового объекта, полученным с ракурсов отличных от использованных при калибровке. Размеры нейронной сети задавались следующие: 3 слоя – 3 нейрона, 3 слоя – 5 нейронов, 3 слоя – 7 нейронов, 3 слоя – 11 нейронов.

Результаты моделирования показаны на рисунках 2-3.

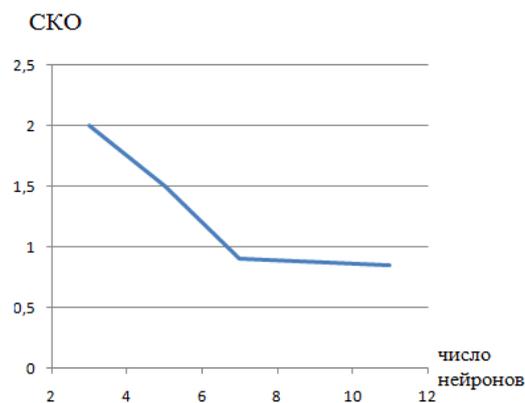


Рис. 2. Зависимость среднеквадратического отклонения от числа нейронов в скрытом слое нейронной сети, при $\Delta_p=0.25$ пикс. и $\Delta_x=1$ мм

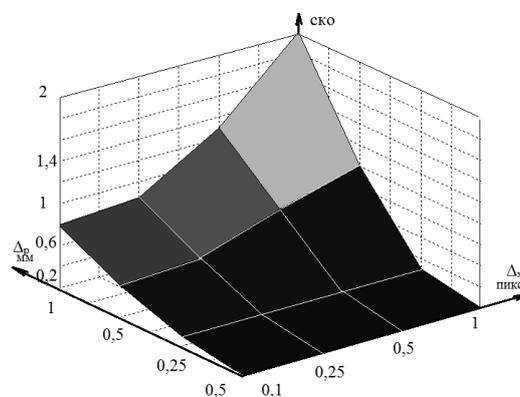


Рис. 3. Зависимость среднеквадратического отклонения реконструкции сцены от погрешности локализации маркеров (Δ_p), и погрешности координат плоского тестового объекта (Δ_x), при размере нейронной сети 3 слоя 11 нейронов

Из рисунка 2 видно, что оптимальными можно было бы назвать 11 нейронов в скрытом слое сети, однако небольшой размер использованной выборки, говорит о необходимости дополнительных экспериментов. Из рисунка 3 видно, что до определенного момента шум в координатах тестового объекта (Δ_x) не оказывает такого влияния на среднеквадратическую погрешность реконструкции сцены, как шум в координатах изображений маркеров (Δ_p). Это может объясняться тем, что до данного момента, смещение координат изображений маркеров вследствие погрешности координат маркеров существенно меньше, чем смещение координат изображений маркеров вследствие шума (Δ_p).