

А.Е. БАРИНОВ

**Алгоритм калибровки видеокамеры  
по найденным точкам схода**

УДК 65.011.56

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

*В данной работе рассмотрен алгоритм калибровки видеокамеры по найденным точкам схода. Описана проблема трехмерной реконструкции объекта на промышленном производстве. Указана необходимость произведения калибровки. Получены входные данные для нахождения параметров калибровки видеокамеры*

Автоматизация производства является приоритетным направлением в развитии промышленного комплекса в целом. Благодаря современным достижениям в области информационных технологий возможно повышение эффективности контроля качества выпускаемой продукции за счет внедрения систем технического зрения (СТЗ). Множество методик и алгоритмов позволяют решать различные задачи от распознавания маркировочных кодов до дефектоскопии различных поверхностей.

На сегодняшний день, в промышленности актуальной задачей является дефектоскопия, процесс обнаружения дефектов в изделиях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля. Она позволяет контролировать соответствие продукции нормам качества и ГОСТ. Ряд СТЗ, позволяющих осуществлять дефектоскопию, основаны на трехмерной реконструкции объектов. В качестве входных параметров, чаще всего, используется некоторый набор двумерных изображений [1, 2].

Задачи трехмерной реконструкции заключаются в отслеживании положения точек сцены, которые представляются некоторой последовательностью  $X_1, \dots, X_N \in R^3$ . При более детальной реконструкции, возможно определение не только формы объекта, но и вос-

становление его поверхности, с целью обнаружение мельчайших дефектов.

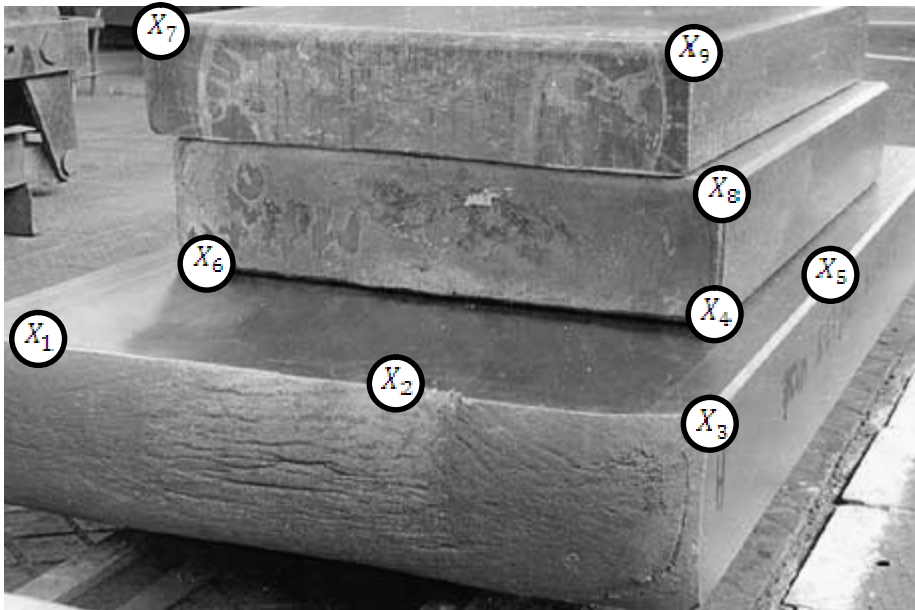


Рис. 1. Сцена разбивается на последовательность трехмерных точек.  
Обычно их в разы больше.

Так как положение исследуемого объекта может быть произвольным, а углы наклона камеры и необходимое фокусное расстояние неизвестным, процессу трехмерной реконструкции должна предшествовать калибровка камеры.

Калибровка видеокамер — одна из центральных задач в области машинного зрения. Задача заключается в определении параметров математической модели, описывающей реально используемую видеокамеру. Как правило, задачи калибровки разделяются на два класса: внешняя калибровка и внутренняя калибровка.

Цель внешней калибровки заключается в определении положения и ориентации видеокамеры в пространстве. Внутренняя калибровка ориентирована на определение таких характеристик камеры как: фокусное расстояние, размер пикселя, величина дисторсии.

Как правило, на каждом изображении можно выделить как минимум три основополагающих направления, в привычном понимании это оси «X», «Y», «Z» или «главные» направления. По аналогии с трехмерными точками, они описываются векторами  $v_1, \dots, v_D$ , где  $v_1 = [100]^T, v_2 = [010]^T, v_3 = [001]^T$  [3].

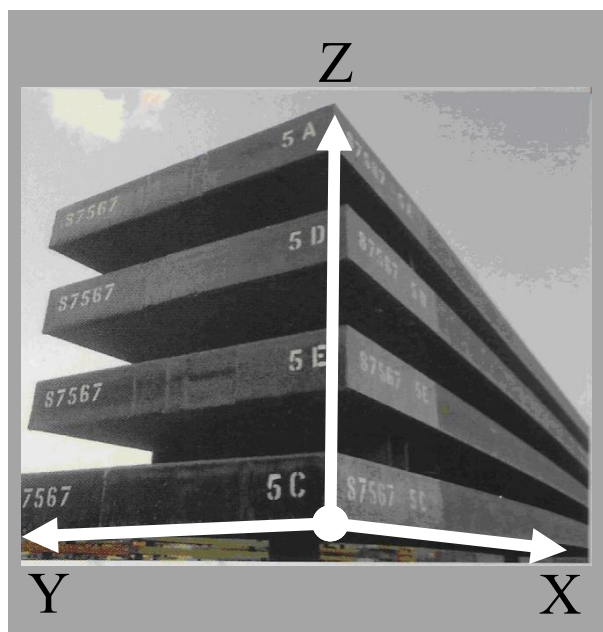


Рис. 2. Главные направления на сцене.

Внутренняя калибровка описывается матрицей внутренних параметров, которая имеет следующую форму:

$$K = \begin{bmatrix} p & 0 & u_0 \\ 0 & p & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Где  $p$  является фокусным расстоянием камеры, а  $(u_0, v_0)$  является главной точкой. Главной или принципиальной точкой принято считать пересечение плоскости изображения с оптической осью наблюдения. В некоторых случаях, когда ширина и высота полученного пикселя отличаются параметр  $p$  записывается как  $\alpha_x$  и  $\alpha_y$ , но обычно этим можно пренебречь.

Но чаще всего данная матрица принимает вид:

$$K = \begin{bmatrix} p_1 & \alpha & u_0 \\ 0 & p_2 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Где  $p_1/p_2$  являются соотношением сторон камеры, а  $\alpha$  смещением.

Чтобы вычислить относительную ориентацию камеры, необходимо использовать геометрическую информацию с полученных изображений, которая позволяет определить возможные точки сходимости. Точки схода для каждого главного направления получаются отдельно, как пересечение линий, лежащих в плоскостях парал-

лельных этим главным направлениям. Эти линии обозначаются как  $l_1, \dots, l_Q$ , где  $Q$  – количество таких линий (рисунок 4).

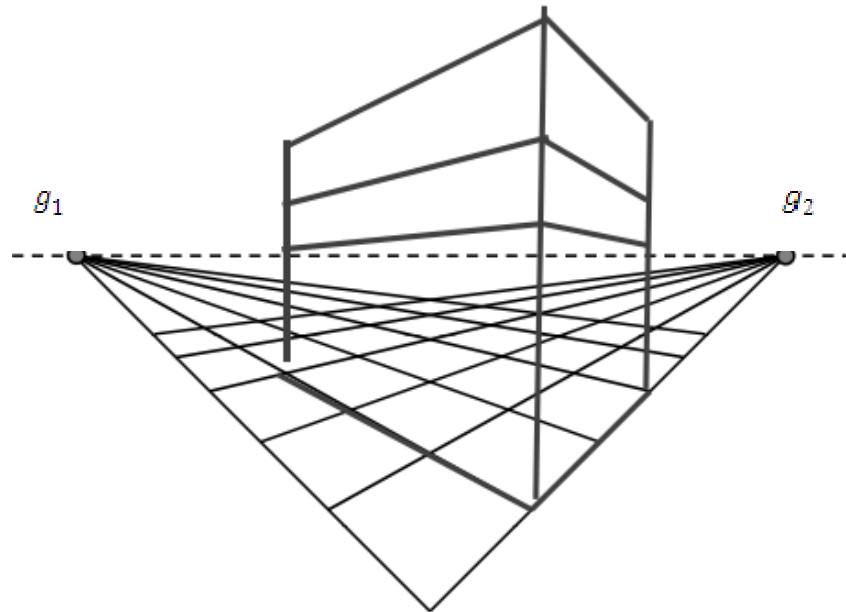


Рис. 4. Точки схода.

Имея линии параллельные главным направлениям  $l_1, \dots, l_Q$  и точки из которых они состоят  $x_n$  нахождение точек сходимости можно представить как:

$$g \sim l_1 \times l_2, \text{ где}$$

$$(l_1, \dots, l_Q) = \arg \min_{l_1, \dots, l_Q} \sum_{j=1}^Q \sum_{k=1}^n d(l_j, x_n)^2$$

По полученным точкам схода для каждого главного направления  $g_1, g_2$  и  $g_3$  можно определить параметры матрицы внутренней калибровки  $p, u_0$  и  $v_0$ :

$$[g_1 g_2 g_3] \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} = KR$$

Где  $[g_1 g_2 g_3]$  – полученные точки схода,  $R$  – транспонированная матрица внутренней калибровки,  $\lambda_i$  – неизвестные параметры. Путем упрощения можно получить:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^2 \end{bmatrix} = [g_1 g_2 g_3]^{-1} K K^T [g_1 g_2 g_3]^{-T} \quad (3)$$

Путем дифференцирования, исходя из значений по главной диагонали матрицы, можно получить  $p, u_0, v_0$  [4,5].

Данный алгоритм позволяет с высокой точностью получить параметры внутренней калибровки камеры.

У данного алгоритма есть ряд недостатков:

- проблема получения точек сходимости при сильно зашумленном изображении;

- если для одного или двух главных направлений точки схода стремятся к бесконечности, становится невозможным явным образом определить параметры калибровки.

Проблемы зашумленности изображения могут решаться путем использования более качественных видео сенсоров или настройкой окружающей обстановки на производстве.

## Литература

1. *Баринов А.Е., Фомин С.П.* Анализ проблемной ситуации контроля процесса производства слябов / Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. №1. С. 16-22

2. *Баринов А.Е.* Классификация алгоритмов и методов обнаружения областей интереса при работе с промышленной маркировкой / Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 4. С. 45-55

3. Grossmann E. Maximum Likelihood 3D Reconstruction From One or More Uncalibrated Views Under Geometric Constraints / Universidade Tecnica Lisboa Instituto Superior Tecnico. 2002. P. 112

4. Richard Szeliski, Computer Vision: Algorithms and Applications, 957, 2010

5. Press, WH; Teukolsky, SA; Vetterling, WT; Flannery, BP (2007). "Section 10.5. Downhill Simplex Method in Multidimensions". Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (3rd ed.). New York: Cambridge University Press

E-MAIL: [ALEXEY.BARINOV.MUROM@YANDEX.RU](mailto:ALEXEY.BARINOV.MUROM@YANDEX.RU)

Научный руководитель  
д.т.н. А.А. Орлов