

**ВЫДЕЛЕНИЕ КАЛИБРОВОЧНОГО ШАБЛОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ
ЕГО РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК**

¹Чемезов В.О., ¹Любутин П.С.

Научный руководитель: ^{1,2}Панин С.В. д.т.н., доцент.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия

e-mail: vpointc@rambler.ru

**CALIBRATION PATTERN DETECTION AND FEATURE POINTS COORDINATES
DETERMINATION**

¹Chemezov V.O., ¹Lyubutin P.S.

Scientific Supervisor: Docent, Dr. ^{1,2}Panin S.V.

¹Institute of strength physics and materials science SB RAS, Tomsk, Russia

²National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

e-mail: vpointc@rambler.ru

An algorithm of calibration pattern's feature points detection was proposed for stereo vision systems calibration tasks. The principle of this work is the analysis of the form of feature points and their spatial arrangement. Test results shows a significant detection in conditions of noise and rotation relative to the camera in a wide range (up to 45 degrees) without loss of accuracy. That is achieved by the following detailed calculations and statistical analysis (geometric or spatial) of feature points. When using the pixel accuracy of the coordinates of points of the calibration pattern in the plane of projection proposed algorithm provides an average error of 1.2 pixel.

Введение. Множество задач машинного зрения зависит от точности обнаружения реперных точек на специально подготовленных изображениях (калибровочных шаблонах), так как данные точки обычно применяются для калибровки камер, используемых в качестве основного источника информации. Известные на данный момент методы либо требуют вмешательства оператора, либо имеют недостаточную точность определения узловых точек. Вмешательство оператора неприемлемо для автоматизированных систем ввиду низкой скорости его действий, а неверно определенные точки могут привести к некорректной обработке полученной информации.

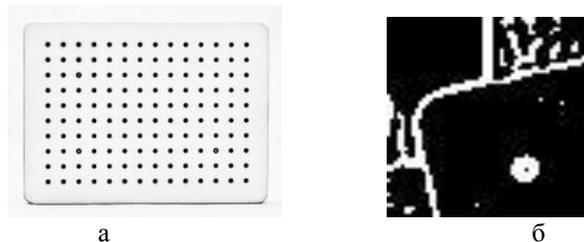


Рис. 1. Калибровочные шаблоны системы VIC 3D (а), фрагмент исследуемого изображения после замыкания границ.

В работе рассмотрены черные круги на белом фоне в качестве реперных точек (рис. 1. а), за основу взят шаблон аппаратно-программного комплекса VIC 3D (Correlated Solutions, США) [1]. Применение реперных точек, в задачах трехмерной реконструкции, требует достоверной информации об

их расположении. Для таких задач процесс извлечения характеристических точек должен иметь высокие скорость и степень автоматизации.

Представлен алгоритм устойчивого распознавания предложенного калибровочного шаблона, обеспечивающий среднюю ошибку в 1.2 пиксела при проведении расчетов с пиксельной точностью.

Алгоритм. Задачу выделение калибровочного шаблона можно разделить на четыре этапа:

1. выделение области на рабочей сцене, соответствующей известному калибровочному шаблону, или использование полного (всего) изображения;
2. поиск точек, соответствующих характеристическим точкам калибровочного шаблона в пределах области, выделенной при выполнении п. 1;
3. определение принадлежности точек, выделенных в п. 2, собирающим линиям сетки шаблона;
4. корректировка местоположения (координат) характеристических точек, принадлежащих узлам сетки, и удаление ложно выделенных точек.

Для выполнения первых двух этапов был выбран алгоритм граничной сегментации, предложенный в [2, 3], поскольку он имеет достаточно простую реализацию и позволяет достоверно определяет границы объектов, характеризуемые малым перепадом яркости. Сегментация исходного изображения состоит из следующих шагов:

1. выделение границ объектов на всем изображении с использованием оператора Лапласа (Лапласианы) [4], представленного в виде матрицы коэффициентов $L(1)$;
2. замыкание границ в случае возникновения разрывов (замыкание разорванных границ – наращивание границ до замыкания, при анализе в малой окрестности – не более 10 пикселей) и выделение контуров этих объектов;
3. выбор объекта, соответствующего (наиболее близко подходящего) калибровочному шаблону («объект-шаблон»);
4. выбор объектов, соответствующих характеристическим точкам калибровочного шаблона («объект-точка»), принадлежащих «объекту-шаблону», выделенному выше в п. 3.

$$L = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для замыкания разорванных границ объектов (пункт 2.) в работе использовано одноименное бинарное морфологическое преобразование «замыкание» [5], обеспечивающее получение изображения с явно выраженными объектами, имеющими выделенные замкнутые границы (рис. 1.б). Далее каждая замкнутая граница по принципу восьмисвязности преобразуется в контур объекта. Затем, каждый контур анализируется на предмет принадлежности объекта калибровочному шаблону или характеристическим точкам на нем. Зная геометрические и пространственные свойства калибровочного шаблона, «объект-шаблон» выбирается исходя из соотношения (2), а «объекты-точки» фильтруются [6] по (3) и (4).

$$\begin{cases} S_p/S_i * 0.75 < S_{pf}/S_{if} \\ S_p/S_i * 1.25 > S_{pf}/S_{if} \end{cases} \quad (2)$$

$$S_i/S_{ic} = 1, \quad (3)$$

$$S_i/S_{ir} = 0,785, \quad (4)$$

где N - количество реперных точек, S_i – их площадь, S_{pf} и S_{if} – площадь области и площадь текущей реперной точки, соответственно, S_{ic} – площадь выпуклой фигуры, описанной вокруг него, S_{ir} – площадь наименьшего прямоугольника, описанного вокруг него.

Группировка характеристических точек шаблона с использованием методов математической статистики. Задача третьего и четвертого этапов формулируется следующим образом: разделить «объекты-точки» на группы в зависимости от принадлежности параллельным вертикальным и горизонтальным собирающим прямым (рис. 2).

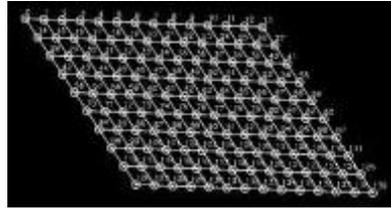


Рис. 2. Изображение сетки на «объекте-шаблоне».

Для определения и оценки принадлежности точек собирающим линиям использованы метод последовательных приближений и метод наименьших квадратов (МНК). Таким образом, влияние каждой точки на параметры собирающей прямой уменьшается по мере удаления точки от прямой.

После группировки прямых в одном направлении (вертикальном или горизонтальном), проводится дополнительная проверка по второму направлению, для выравнивания прямых по узлам сетки и восстановления неучтенных («потерянных») характеристических точек шаблона (рис. 3.в).

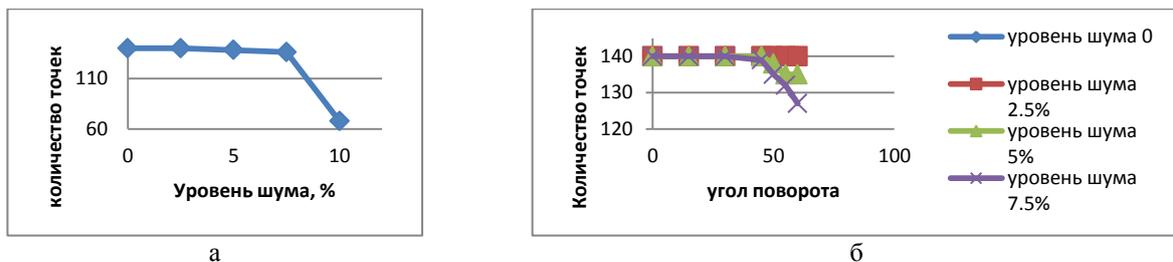


Рис. 3. Графики зависимости верно определенных точек от: уровня шума (а); угла поворота (б).

Заключение. Результаты тестирования показали устойчивое выделение калибровочного шаблона в условиях зашумленности в диапазоне 0-5% и изменении угла поворота в диапазоне 0-45 ° без потерь в точности за счет детального анализа статистических свойств калибровочного шаблона и отдельно взятых реперных точек. Средняя ошибка определения координат характеристических точек составляет 1.2 пикселя в условиях округления координат до целого значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Correlated Solutions, Inc., “The VIC-3D System”, 2013, [Online]. Available: <http://www.correlatedsolutions.com/vic-3d/>
2. R.M. Haralick, L.G. Shapiro, “Image Segmentation Techniques,” Computer Vision, Graphics, and Image Processing, Vol. 29, No. 1, 1985
3. А. Вежнев, О. Барина, «Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация», Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск №4(4) / 2006
4. Р. Гонсалес, Р. Вудс, «Цифровая обработка изображений», Москва: Техносфера, 2005, -1072 с.
5. Л. Шапиро, Дж. Стокман. Компьютерное зрение. изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.
6. С.В. Панин, В.О. Чемезов, П.С. Любутин, «Применение фильтрации в задаче распознавания узловых точек калибровочного шаблона», Вычислительные технологии, Том 19, №4, 2014, С. 61-68.