

А. А. Блинников, В. И. Бойков, В. В. Булатов,  
А. А. Кульчицкий, А. В. Спорягин

### **КОРРЕКЦИЯ ИСКАЖЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВОЙ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ\***

Предложен алгоритм устранения искажения в изображении, получаемом посредством системы технического зрения мобильного робота. Рассматриваемое искажение является результатом перспективной проекции пространства предметов на плоскость фотоприемной матрицы.

*Ключевые слова:* перспективная проекция, техническое зрение, коррекция искажений.

**Введение.** Системы технического зрения на базе видеокамер широко используются при управлении движением мобильных роботов. С их помощью решаются задачи локальной ориентации робота в ограниченном пространстве, обнаружения препятствий, определения расстояния до препятствия, формы препятствия и т.п. Видеокамера располагается так, что ее оптическая ось направлена не горизонтально, а под некоторым углом к горизонту. Такая ориентация видеокамеры позволяет использовать триангуляционный метод обработки изображения для анализа ближней и дальней зон прилегающего к роботу пространства [1].

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России“ на 2009—2013 гг. (соглашение № 14.В37.21.0659).



Этой точке на плоскости изображений соответствует точка  $\mu$  с однородными координатами  $\mu = [u \ v \ \lambda]$ , при этом связь между координатами задается матричным уравнением

$$\mu = mS(-d)R\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)S(d)P(r)C, \quad (1)$$

где  $S(\pm d) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm d & 1 \end{bmatrix}$  — матрица смещения координат вдоль оси  $Z$  на величину  $d$ ;

$R\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  — матрица разворота системы координат вокруг оси  $X$  на

угол  $\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)$ ;  $P(r) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  — матрица центральной проекции с параметром (кон-

стантой)  $r = \frac{f}{d} \sin \alpha$ ,  $f$  — расстояние от плоскости изображения до точки  $s$  схода лучей

вдоль оптической оси системы;  $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  — координатная матрица.

Сворачивание выражения (1) и раздельное вычисление координат точки изображения  $\mu$  дает:

$$u = \frac{x}{(z-d)r \sin \alpha + rd + 1}, \quad v = \frac{(z-d) \cos \alpha}{(z-d)r \sin \alpha + rd + 1}. \quad (2)$$

Полученные выражения (2) задают нелинейные зависимости координат  $u$  и  $v$  точки на изображении от координат  $x$  и  $z$  точки в пространстве предметов. Зависимости можно линеаризовать, если в (2) положить  $\alpha=\pi/2$ :

$$u_1 = \frac{x}{rd + 1}, \quad v_1 = \frac{(z-d)}{rd + 1}. \quad (3)$$

Реализовать условие  $\alpha=\pi/2$  можно, либо направив видеокамеру вертикально вниз, разместив ее над точкой  $z = d$  ( $x=0, y=0$ ), либо пересчитав координаты  $u, v$  точек исходного изображения в координаты  $u_1, v_1$  точек исправленного изображения. Так как реализация первого способа часто связана с техническими трудностями, то рассмотрим возможности второго способа.

Непосредственно из (2) и (3), исключив промежуточные переменные, нетрудно получить связь координат точек исходного и исправленного изображений:

$$u = \frac{u_1}{v_1 r \sin \alpha + 1}, \quad v = \frac{v_1 \cos \alpha}{v_1 r \sin \alpha + 1}. \quad (4)$$

На основании (4), учитывая, что  $\alpha$  и  $r$  — константы, получим достаточно простой алгоритм формирования исправленного изображения:

— путем последовательного перебора по строкам пикселей исправленного изображения вычисляются координаты  $u_1, v_1$  для каждого пикселя;

— по равенствам (4) для каждой пары  $u_1, v_1$  вычисляются соответствующие координаты  $u, v$  пикселя исходного изображения;

— если вычисленным координатам  $u, v$  соответствует реально существующий пиксел, то значение его сигнала приписывается пикселу с координатами  $u_1, v_1$  исправленного изображения, в противном случае пикселу исправленного изображения приписывается сигнал уровня черного.

На рис. 2 представлен результат применения алгоритма исправления изображения тестового „шахматного поля“. Исходное изображение получено при размещении видеокамеры под углом  $\alpha=40^\circ$  к вертикали и при  $d=1600$  мм (рис. 2, а). На этом изображении изначально одинаковые по размеру квадраты поля принимают различные размеры в зависимости от удаленности квадрата от видеокамеры. Применение алгоритма позволяет полностью исправить искажение перспективой и получить изображение (рис. 2, б), аналогичное наблюдаемому сверху. Особенно следует обратить внимание на сохранение резкости границ раздела „шахматных клеток“ на исправленном изображении.

а)



б)

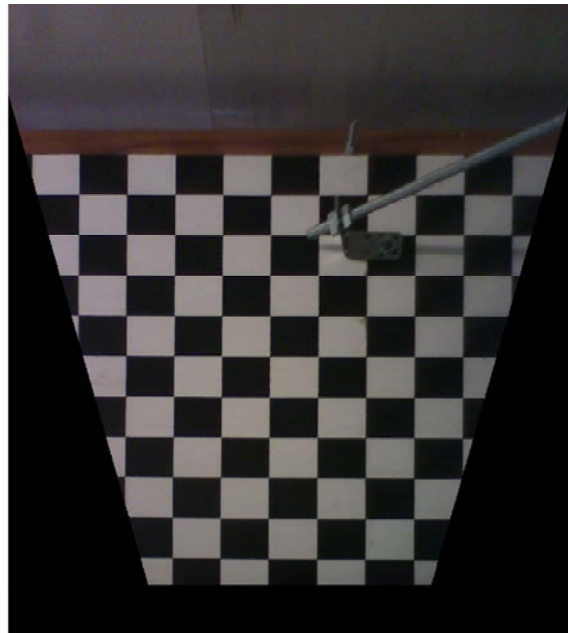


Рис. 2

**Свойства исправленного изображения** определяются параметрами используемой видеокамеры и места ее установки, однако можно выделить и общие свойства.

*Свойство 1.* Сохранение центра изображения. Действительно, как следует из (4), точке  $u_1=0, v_1=0$  исправленного изображения соответствует единственная точка  $u=0, v=0$  исходного изображения.

*Свойство 2.* Горизонтальные прямые  $v=\text{const}$  исходного изображения преобразуются в горизонтальные прямые  $v_1=\text{const}$  исправленного изображения.

*Свойство 3.* Вертикальные прямые  $u=\text{const}$  исходного изображения преобразуются в наклонные  $v_1 = a(u)u_1 + b(u)$ . В результате вертикальные границы исходного изображения отображаются наклонными линиями на исправленном изображении.

*Свойство 4.* Приращение дистанции в пространстве предметов, приходящееся на один пиксел изображения, на исправленном изображении постоянно. Данное свойство вытекает непосредственно из (3) при постоянных значениях параметров преобразования  $r$  и  $d$ .

Напомним, что выражения (4) и приведенные свойства справедливы для плоских предметов, расположенных на плоскости  $Y=0$ . Чтобы решить задачу для более общего случая, когда наблюдаемая плоскость неколлинеарна ни одной из координатных осей плоскости изображения, необходимо просто произвести аффинное преобразование поворота координат вокруг оси  $Z$  на угол, обеспечивающий соответствующую коллинеарность [2].

Для нахождения значения  $r$  необходимо воспользоваться калибровочной плоскостью с нанесенным на ней калибровочным рисунком (например, квадратами известного размера), расположенной ортогонально главной оптической оси.

**Заключение.** Из рис. 2 видно, что применение алгоритма коррекции изображения позволяет устранить искажения форм и соотношений размеров предметов, снимаемых видеокамерой системы технического зрения. После устранения искажений перспективной проекцией возможно наложение на изображение обычной евклидовой метрики с целью быстрого вычисления реальных размеров и дистанций в пространстве предметов. При использовании исправленного изображения решение задач локальной ориентации робота существенно упрощается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. М.: Физматкнига, 2010. 670 с.
2. Порев В. Н. Компьютерная графика. СПб: БХВ-Петербург, 2004. 432 с.

#### *Сведения об авторах*

**Андрей Алексеевич Блинников**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра систем управления и информатики; E-mail: goofinator@mail.ru

**Владимир Иванович Бойков**

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра систем управления и информатики; E-mail: viboikov@mail.ru

**Виталий Владимирович Булатов**

— Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Санкт-Петербург; старший преподаватель; E-mail: bulatov-vitaly@rambler.ru

**Александр Александрович Кульчицкий**

— канд. техн. наук, доцент; Национальный минерально-сырьевой университет „Горный“, кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Санкт-Петербург; E-mail: doz-ku@rambler.ru

**Анатолий Владимирович Спорягин**

— аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра систем управления и информатики; E-mail: avsporyagin@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
систем управления и информатики

Поступила в редакцию  
13.12.12 г.