

文章编号: 1671-1513 (2010) 02-0066-05

# 基于 LabVIEW 开发的摄像机标定方法

罗智文, 林建龙, 于修洪

(北京工商大学 机械工程学院, 北京 100048)

**摘要:** 针对火车轮缘动态检测系统中的摄像机标定问题, 讨论了基于径向约束的摄像机标定, 选定了包含畸变因素的摄像机透视投影模型, 得出了以 LabVIEW 开发的摄像机标定方法. 该方法利用了 LabVIEW 的图形化开发环境, 内嵌 Matlab 语言编写的核心程序, 数据处理功能强大, 且具有良好的图形化互动界面.

**关键词:** LabVIEW; 摄像机标定; 视觉测量

**中图分类号:** TP311.56; TB872; TS976.9

**文献标志码:** A

摄像机标定是指在三维机器视觉领域中, 确定摄像机内外参数的过程. 摄像机内参数包括摄像机畸变系数及有效焦距, 外参数包括摄像机坐标系和世界坐标系之间的旋转矩阵和平移矩阵. 本文采用 Tsai 两步标定法, 以 Matlab 语言为工具编写主要程序, 完成标定过程<sup>[1]</sup>.

LabVIEW 是一种基于图形编程语言的开发软件, 具有开发方便、效率高等优点; 对于底层的软件驱动及复杂运算, 其他高级语言如 Matlab 具有更大优势<sup>[2]</sup>. 因此, 本文利用 LabVIEW 提供的对 Matlab 程序接口, 充分发挥 Matlab 语言的数学运算功能, 使得以 LabVIEW 开发的火车轮缘动态检测系统<sup>[3-4]</sup>界面简洁, 易操作, 且具有快速的执行和计算能力.

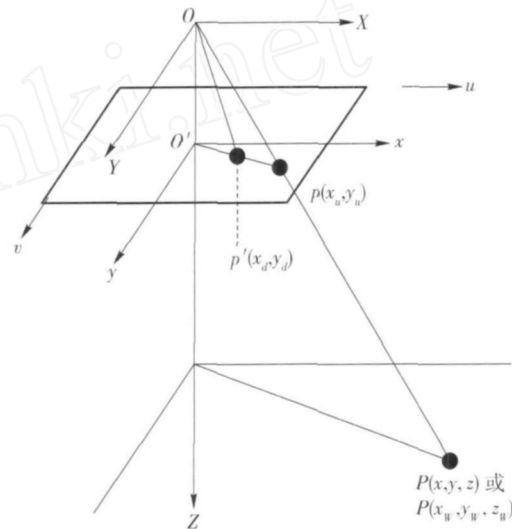


图 1 摄像机模型透视投影关系

Fig 1 Perspective projection of pinhole model

## 1 摄像机模型

摄像机模型包括以下几个坐标系: 摄像机坐标系  $oxyz$  以像素为单位的图像坐标系  $ouv$ , 毫米为单位的图像坐标系  $oxy$  和世界坐标系  $o_w x_w y_w z_w$ .

### 1.1 摄像机基本模型

摄像机模型采用小孔成像模型, 如图 1. 图像平面上的点  $(u, v)$  与世界坐标系中的点  $(x_w, y_w, z_w)$  对应关系如式 (1):

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} [R \quad T] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式 (1) 中,  $s$  为标量, 为  $u$  轴上的尺度因子, 为  $v$  轴上的尺度因子, 为  $u$  轴和  $v$  轴的不垂直因子,  $(u_0, v_0)$  为摄像机光轴与图像平面的交点, 这些参数只与摄像机内部参数有关, 称为摄像机内部参数.

收稿日期: 2009 - 12 - 14

作者简介: 罗智文 (1983—), 男, 江西抚州人, 硕士研究生, 研究方向为机械设计及理论;

林建龙 (1963—), 男, 江西上饶人, 教授, 主要从事机械学方面的研究. 通讯作者.

[R T]由摄像机相对于世界坐标系的方位决定,称为摄像机外部参数.

### 1.2 摄像机畸变校正

实际上,由于实际的镜头并不是理想的透视成像,而是带有不同程度的畸变,使得空间点所成的像并不在线性模型所描述的位置 (x\_u, y\_u),实际成像点的坐标应由下面考虑了位置误差的模型取代:

$$\begin{cases} x_d = x_u + x \\ y_d = y_u + y \end{cases} \quad (2)$$

式 (2)中, x, y 是畸变值,与点在图像中的位置有关.

理论上镜头会同时存在径向畸变、切向畸变等两种畸变.

径向畸变由距图像中心的径向距离的偶次幂多项式模型来表示,即:

$$\begin{cases} x_1 = (u - u_0) (k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) \\ y_1 = (v - v_0) (k_1 r^2 + k_2 r^4 + \dots) \end{cases} \quad (3)$$

式 (3)表明, x 方向和 y 方向的畸变相对值与径向半径的平方成正比,即在图像边缘处的畸变较大.对一般计算机视觉,一阶径向畸变已足够描述非线性畸变,此时可写成:

$$\begin{cases} x_1 = (u - u_0) k r^2 \\ y_1 = (v - v_0) k r^2 \end{cases} \quad (4)$$

切向畸变是指由于透镜复合镜头中光学镜片组合装配时各镜片的节点不严格在一直线上所产生的像点差异,其在图像坐标系中表达式为:

$$\begin{cases} x_2 = 2p_1 (u - u_0) (v - v_0) + p_2 [r^2 + 2(u - u_0)^2] \\ y_2 = p_1 [r^2 + 2(v - v_0)^2] + 2p_2 (u - u_0) (v - v_0) \end{cases} \quad (5)$$

由于透镜切向畸变通常可以忽略,因此,我们通常只考虑径向畸变.

### 1.3 Tsai 两步标定法

首先在线性模型下求出摄像机旋转矩阵 R 和平移矩阵 T 的值,对于每个特征点,不考虑畸变有

$$\frac{Y_{di}}{f} = \frac{y_i}{z_i}, \text{再由式 (1)可得:}$$

$$[y_i - dy(v_{di} - v_0)] \begin{bmatrix} f \\ T_z \end{bmatrix} = w_i dy(v_{di} - v_0). \quad (6)$$

解由式 (6)组成的超定方程组即可求得焦距 f 令畸变系数 k 初始值为 0,解式 (7)非线性方程组,进行优化搜索即可得到畸变系数 k,焦距 f 的精确解.

$$\begin{cases} X_{di} (1 + k^2) = f (r_1 x_{wi} + r_2 y_{wi} + r_3 z_{wi} + T_x) / \\ \quad (r_7 x_{wi} + r_8 y_{wi} + r_9 z_{wi} + T_z) \\ Y_{di} (1 + k^2) = f (r_4 x_{wi} + r_5 y_{wi} + r_6 z_{wi} + T_y) / \\ \quad (r_7 x_{wi} + r_8 y_{wi} + r_9 z_{wi} + T_z). \end{cases} \quad (7)$$

两步标定法简洁明了,易于 Matlab 语言实现.

## 2 LabVIEW 对标定的实现

LabVIEW 实现的摄像机标定,分三个模块.第一模块,实现对标定图片,火车轮缘图片的读取;第二模块,利用 Harriss 算法实现对标定图片角点的提取;第三模块,根据提取到角点相应的像素坐标,在世界坐标系中计算摄像机内外参数.

### 2.1 图片读取模块

图片读取模块程序<sup>[1-2]</sup>如图 2

主要节点说明如下:

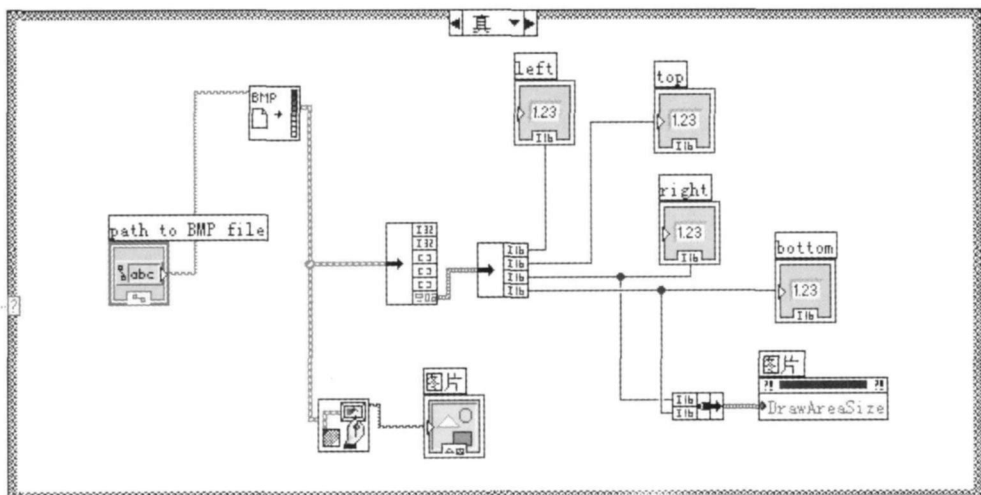


图 2 图片读取模块程序

Fig 2 Program layout of image reading module

- 1) "path to BMP file":读取 BMP图片路径.
- 2) "BMP":创建必要的文件.
- 3) "图片":由接收得到的数据在窗口显示图片.

4) "DrawAreaSize":控制显示图片窗口的大小.

### 2.2 角点提取模块

角点提取模块程序如图 3

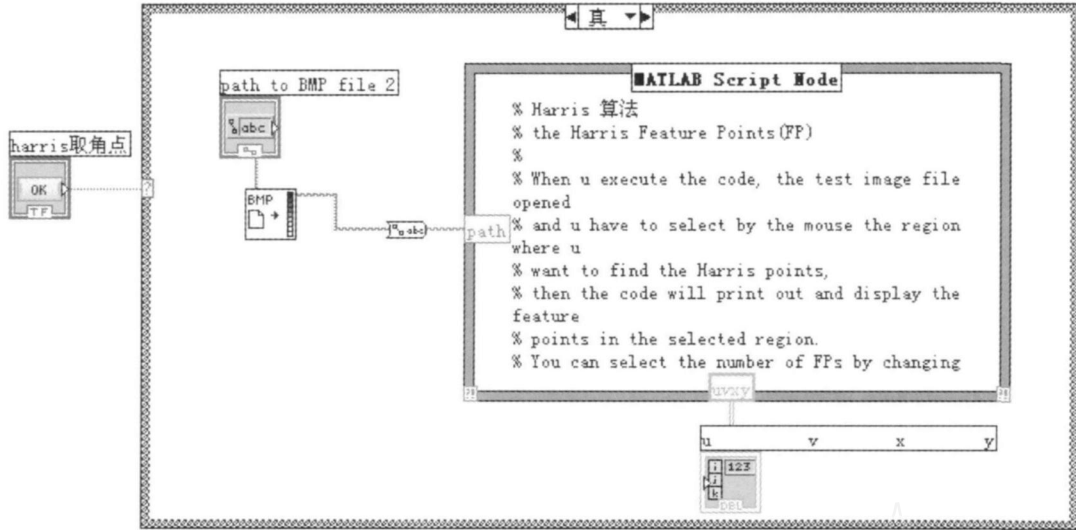


图 3 角点提取模块程序

Fig 3 Program layout of comer extraction module

Harris角点提取算法<sup>[5-7]</sup>由 Matlab语言编制完成,利用 LabV IEW 提供的 Matlab脚本节点 (Matlab ScriptNode)来调用 Matlab 语言程序,实现 Labview 与 Matlab的接口,通过这种方式在 LabV IEW 中使用 Matlab强大的数值计算功能.

换节点,把路径值赋予字符节点“path”,由 Harris角点算法调取待处理标定图片,提取后的角点像素坐标 (u, v)及世界坐标 (x, y)值赋予“uvxy”显示节点给予显示.

图 3 中 BMP文件路径通过“路径至字符串转

### 2.3 摄像机内外参数计算模块

摄像机内外参数模块程序如图 4



图 4 摄像机内外参数计算模块程序

Fig 4 Program layout of CCD parametric computation module

基于径向约束的两步标定法,由 Matlab语言编写完成,调用 LabV IEW 与 Matlab接口,将其嵌入程

序模块中. 模块以“uvxy”节点作为输入变量,其值为角点

提取模块中角点像素坐标及世界坐标矩阵。定义 4 个显示节点,分别显示求解后的旋转矩阵  $R$ , 平移矩阵  $T$ , 畸变系数  $K$ , 焦距  $f$

### 2.4 摄像机标定软件界面

摄像机标定软件界面如图 5, 图中显示图片为现场拍摄的火车轮缘照片。

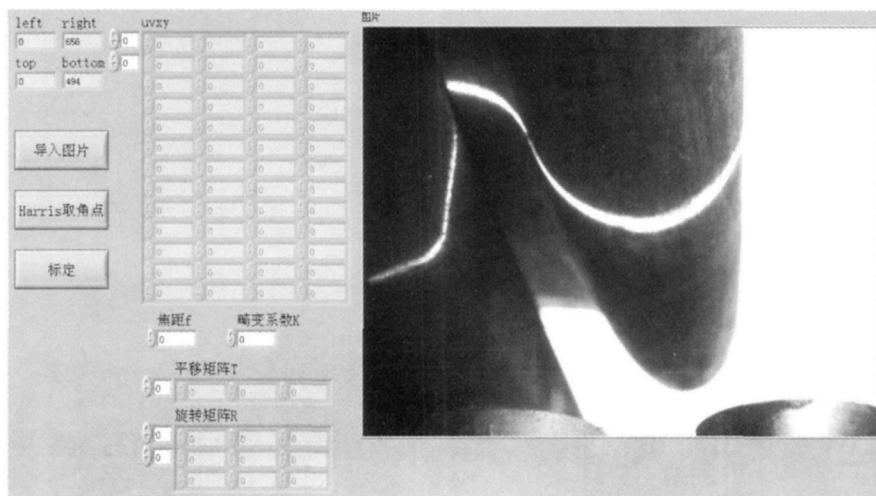


图 5 摄像机标定软件界面

Fig 5 Program interface of camera calibration

## 3 实验设计与计算结果

实验采用 DH-HV1303UM-T CCD 相机, 输出分辨率为  $656 \times 494$ , 像素间距为  $7.4 \mu\text{m}$ , 清晰度为 750 线, 帧率为 15 帧 / s. 采用标准阶梯形  $5 \times 5$  标定块。

通过 Harris 角点提取, 得出一组角点相关数据, 如表 1。

表 1 一组 Harris 提取角点后相关数据

Tab 1 A group of related data about comer extraction

角点序号	像素坐标 $(u, v)$	世界坐标 $(x, y)$
1	139, 326	0, 0
2	142, 285	0, 5
3	188, 283	5, 5
4	192, 242	5, 10
5	236, 239	10, 10
6	285, 197	15, 15
7	334, 197	20, 15
8	379, 239	25, 10
9	427, 280	30, 5
10	476, 323	35, 0
11	524, 322	40, 0
12	570, 275	45, 5
13	613, 232	50, 10

实验求得摄像机旋转矩阵为：

$$R = \begin{bmatrix} 0.9865 & 0.0574 & -0.1531 \\ -0.0236 & -0.8764 & -0.4810 \\ -0.1618 & 0.4781 & -0.8632 \end{bmatrix}$$

平移矩阵为：

$$T = \begin{bmatrix} -19.9698 \\ 8.3501 \\ 112.1277 \end{bmatrix}$$

畸变系数： $k=0.0137$ , 有效焦距  $f=8.1775 \text{ mm}$ 。

摄像机标定界面显示结果如图 6

## 4 结束语

利用 LabV IEW 开发的摄像机标定技术, 其主要程序由 Matlab 语言编写, 利用 LabV IEW 提供的 Matlab 脚本节点来调用, 实现 Labview 与 Matlab 之间的通信。充分利用了 LabV IEW 图形化设计语言的优点和 Matlab 的强大数据处理能力, 使其开发的摄像机标定技术具有更强的数据处理能力。

实验现场及结果表明, 以此开发的摄像机标定技术具有原理清晰, 过程简便, 响应速度、计算速度快等优点, 检测精度  $0.1 \text{ mm}$ , 能够达到铁路客车轮对检修规则标准。

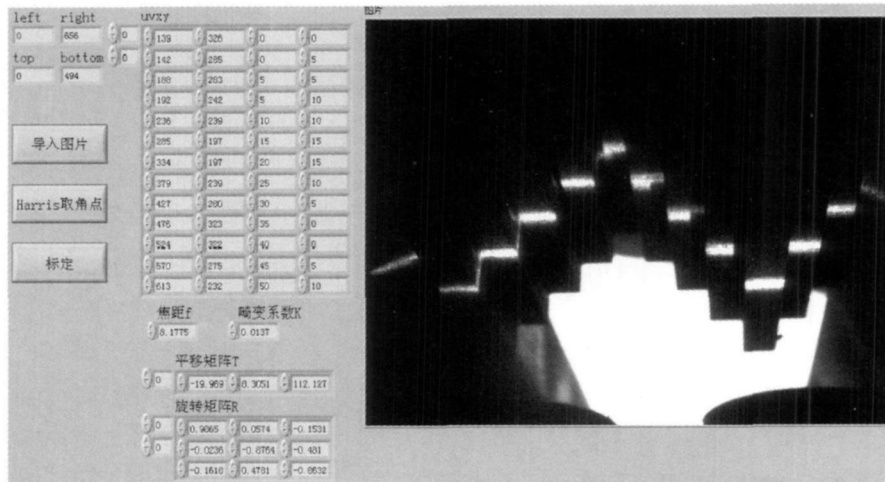


图 6 摄像机标定界面显示结果

Fig 6 Result of camera calibration

## 参考文献:

- [1] 马颂德,张正友. 机器视觉 [M]. 北京:科学出版社, 1998: 102 - 110
- [2] 刘刚,王立香,张连俊. LabVIEW 8.20 中文版编程及应用 [M]. 北京:电子工业出版社, 2008: 82 - 96
- [3] 李玉祥. 基于数字图像处理技术的火车轮缘动态检测系统研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2004: 38 - 41.
- [4] 郭琼. 激光视觉技术在轮对几何参数检测中的应用研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2007: 68 - 75.
- [5] 崔勇,袁冬,李殿璞. 计算机视觉系统的定标策略 [J]. 应用科技, 2000(8): 16 - 17.
- [6] 毛雁明,兰美辉. 一种改进的基于 Harris 的角点检测方法 [J]. 计算机技术与发展, 2009(5): 130 - 133.
- [7] 王建琦,邓雁萍,李介谷. 一种改进的角点提取方法 [J]. 上海交通大学学报, 2000(7): 913 - 916

## CAMERA CALIBRATION METHOD BASED ON LABVIEW

LUO Zhiwen, L N Jian-long, YU Xiu-hong

(College of Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Aim at the problems about camera calibration for train wheel flange of dynamic testing system, the paper discusses the radial constraint-based camera calibration, chooses the camera calibration which contains distortion factors and developed the method of it by LabVIEW. This method makes use of the LabVIEW graphical development environment, embed core programs written in Matlab, has powerful data processing and nice interactive interface

**Key words:** LabVIEW; camera calibration; vision measurement

(责任编辑:檀彩莲)