

文章编号: 0253-2239(2008)01-0081-06

基于光学参考棒的立体视觉测量系统现场标定技术

徐巧玉 叶 东 车仁生

(哈尔滨工业大学自动化测试与控制系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 为实现大空间复杂工件的准确测量,精确标定立体视觉系统变得越来越重要。为了克服传统立体摄像机标定过程繁复、户外实现困难的弱点,提出了一种基于光学参考棒的灵活、有效的立体视觉测量系统标定技术。参考棒水平和深度方向各有三个距离已知的红外 LED 作为特征点。通过在测量范围内的不同位置和方位移动光学参考棒,两像机同时捕获参考棒上特征点的图像。基于匹配的特征像点以及对极线约束,利用线性算法和 Levenberg-Marquardt(LM)迭代算法快速地标定立体视觉测量系统。两像机之间平移量的比例因子由参考棒上特征点间的已知距离确定。参量标定过程中,自动地控制光强,优化曝光时间,使不同位置处光点图像的强度均一致,可以获得高的信噪比,提高标定精度。实验结果表明,该方法灵活、有效,在线标定能达到很高的精度,将现场标定过程应用到实际的大空间三维测量系统中,测量最大误差为 0.18 mm。

关键词 成像系统; 立体视觉; 光学参考棒; 摄像机标定; 本质矩阵

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

On-Line Calibration of Stereo Vision Measurement System Based on Optical Reference Bar

Xu Qiaoyu Ye Dong Che Rensheng

(Department of Automatic Measurement and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract To carry out the precise measurement of large-scale complex workpieces, accurately calibration of the stereo vision coordinate system has becoming more and more important. This paper presents a flexible and valid method for calibrating stereo vision coordinate system, which overcomes the complexity and difficulty of the traditional calibration methods. By moving the optical reference bar over the measurement volume, there are three horizontal infrared LEDs and three vertical infrared LEDs with known length which are as feature points, the two cameras capture the images of the feature points. Then, the relative orientation and position of two cameras can be quickly determined with epipolar constraint of the stereo camera through linear algorithm and Levenberg-Marquardt (LM) iteration method. The scale factor of the translation between the two cameras can be calculated by the distance between the two extremity feature points of the optical reference bar. By automatically controlling the light intensity and optimizing the exposure time, the feature points can get uniform intensity and obtain higher signal-to-noise ratio at different position, so the calibration accuracy is improved. The experimental results prove that the proposed calibration method is flexible, valid, and can obtain high calibration accuracy. The maximum error of the large-scale three-dimensional measurement system is 0.18 mm.

Key words imaging systems; stereovision; optical reference bar; camera calibration; essential matrix

收稿日期: 2007-03-21; 收到修改稿日期: 2007-08-10

基金项目: 国家自然科学基金(50275040)资助课题。

作者简介: 徐巧玉(1979—),女,河南驻马店人,博士研究生,主要从事计算机视觉,视觉测量和图像处理等方面的研究。

E-mail: xiaoyu0622@163.com

导师简介: 车仁生(1939—),男,黑龙江哈尔滨人,教授,博士生导师,主要从事视觉静态与动态三维测试技术,智能传感器和智能仪器,虚拟现实技术与仪器,计算机辅助测试与计算机辅助质量控制与管理等方面的研究。

E-mail: crs@hope.hit.edu.cn

1 引 言

人们已在立体视觉测量系统的标定方面做了大量研究。较为传统的标定方法大都通过获取已知三维坐标的固定点域的图像^[1,2]或采用立体靶标^[3]对两台摄像机的外参进行校准。此类方法虽然具有较高的校准精度,但是由于固定点域校准以及大尺寸靶标加工都比较困难,不适合立体视觉测量系统的现场校准。

自标定技术不使用复杂的三维标定结构,标定过程方便、灵活,在立体视觉测量系统的标定中变得越来越重要。该方法基于对极线约束,根据已知的匹配点对,在相差一个比例因子的情况下,确定两像机之间的旋转和平移变换,并且所求的变换矩阵是确定的,与控制点的个数无关。Hans-Gerd Mass^[4,5]和 P. Cerveri^[6]提出采用移动的参考棒作为图像目标,该参考棒上两特征点之间的距离已知。但是在大空间测量范围内,他们所采用的标定棒上两特征像点的尺寸大小和灰度图形均有很大的差异,这种差异不能通过增加曝光时间进行补偿,获得的特征点的质心的位置精度不高,限制了标定精度。同时两个特征点也不能为标定提供足够的约束以消除粗大误差或误匹配带来的不良影响。谭晓军^[7]采用面积为 $1.6\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ 的棋盘格图案标定立体像机参量,但由于受图案匹配点的精度限制,整个标定精度不高。

提出了一种基于光学参考棒的灵活、有效的立体视觉测量系统标定技术。该方法以光学参考棒为标定靶标,以参考棒上的红外 LED 作为特征点,通过在测量范围内不同位置对光学参考棒上特征点成像,实现两摄像机之间的外参标定。

2 立体视觉测量系统结构与测量原理

立体视觉坐标测量系统框图如图 1 所示,由两个高精度的内参已精确标定的 Kodak MegaPlus CCD 的像机,图像采集卡,工作站和测量软件,光学测棒和光学参考棒等构成。首先将两像机放置在被测范围内,通过在不同的方位移动光学参考棒标定两像机的外部方位参量。在线标定外参量后,两像机同时捕获光学测棒上特征点的图像,通过最小化空间点到投影射线距离的平方和确定特征点在世界坐标系下的坐标。由特征点在测棒坐标系下的坐标,以及它们之间的几何约束,采用四元数法获得测棒坐标系与世界坐标系之间的变换关系。最后根据

测棒坐标系与世界坐标系之间的变换关系,以及测尖与五个特征点之间在测棒坐标系中的约束,计算出测尖在世界坐标系下的坐标,即被测点坐标。

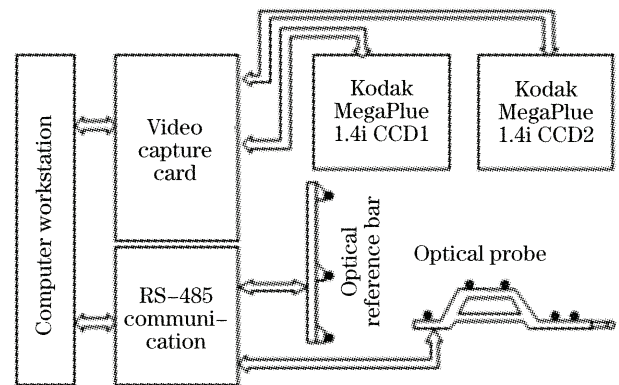


图 1 立体视觉坐标测量系统组成框图

Fig. 1 Structure of the stereo vision coordinate measurement system

3 立体视觉系统外参标定

图 2 是空间点 M 在左右两像机坐标系下的坐标分别为 $M_{cl}(X_{cl}, Y_{cl}, Z_{cl})^T$ 和 $M_{cr}(X_{cr}, Y_{cr}, Z_{cr})^T$, 外参标定所解决的问题就是根据两个摄像机坐标系下点的对应关系,确定它们之间的旋转以及平移变换:

$$M_{cr} = R \times M_{cl} + T, \quad (1)$$

式中旋转矩阵 R 以及平移量 T 是立体视觉系统外参标定所要求解的量。

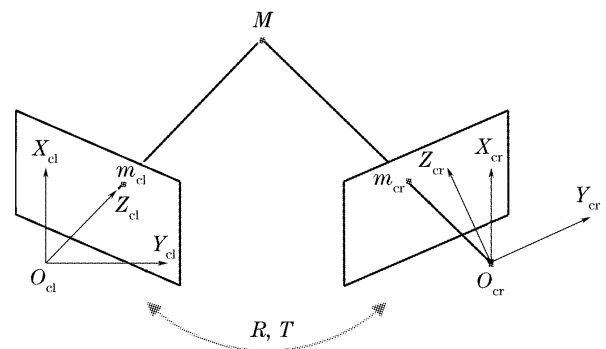


图 2 立体视觉系统模型

Fig. 2 Model of stereo vision system

3.1 对极线约束及基础矩阵

如图 3 所示,空间特征点在左右两像机下的图像点 $m_l(x_l, y_l, 1)^T$ 和 $m_r(x_r, y_r, 1)^T$ 满足对极线约束^[8],即一幅像平面上的图像点必然在对应像点所确定的对极线上,几何约束由一个 3×3 ,秩为 2 的基础矩阵表示,即

$$m_r^T F m_l = 0. \quad (2)$$

假设两摄像机的投影矩阵分别为 $\mathbf{P} = \mathbf{K}[\mathbf{I}|0]$ 和 $\mathbf{P}' = \mathbf{K}'[\mathbf{R}|\mathbf{T}]$, 基础矩阵的表达式为

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}'^{-\text{T}}[\mathbf{T}]_{\times} \mathbf{R} \mathbf{K}^{-1}, \quad (3)$$

式中 \mathbf{K} 和 \mathbf{K}' 分别是左右两摄像机的内参量矩阵, \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 是立体视觉系统两摄像机之间的旋转矩阵和平移量, $[\mathbf{T}]_{\times}$ 是平移量 $\mathbf{T} = [t_x \ t_y \ t_z]^{\text{T}}$ 的反对称矩阵, 满足等式 $[\mathbf{T}]_{\times} \mathbf{R} = \mathbf{T} \times \mathbf{R}$.

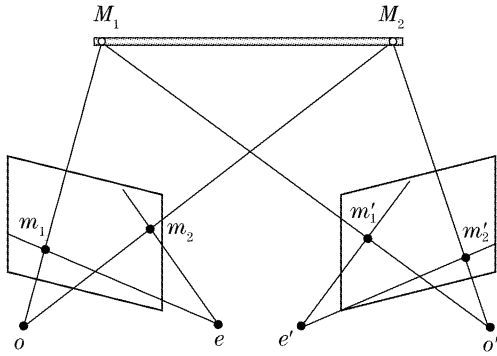


图3 对极约束

Fig. 3 Epipolar constraint

3.2 基础矩阵的求解

一对对应点 $\mathbf{m}_l(x_l, y_l, 1)^{\text{T}}$ 和 $\mathbf{m}_r(x_r, y_r, 1)^{\text{T}}$, (2)式可以表示为一个矢量的内积

$$(x_r x_l, x_r y_l, x_r, y_r x_l, y_r y_l, y_r, x_l, y_l, 1) \mathbf{f} = 0, \quad (4)$$

式中矢量 \mathbf{f} 表示由 \mathbf{F} 的元素组成并按行优先顺序排列的 9 维矢量, $\mathbf{f} = [F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{21}, F_{22}, F_{23}, F_{31}, F_{32}, F_{33}]^{\text{T}}$.

由 n 组匹配点 $\mathbf{m}_l \leftrightarrow \mathbf{m}_r$ 的集合, 得到如下的线性方程组:

$$\mathbf{A} \mathbf{f} = 0, \quad (5)$$

(5)式是一个齐次方程组, 即 \mathbf{f} 可以在相差常数因子的情况下被确定。如果存在一个解, 矩阵 \mathbf{A} 的秩必然为 8, 由于点坐标的噪声影响, 矩阵 \mathbf{A} 的秩可能大于 8。对于两幅图像上的对应点, 有多种基础矩阵的估计算法^[9~13]。首先采用代数最小化算法估计基础矩阵 \mathbf{F} 的初始值, 然后通过最大似然估计最小化几何距离优化 \mathbf{F} 。

如果 \mathbf{A} 的秩大于 8, 那么 (5) 式是一个超定方程, 此时要求最小二乘解。 \mathbf{F} 的最小二乘解是对应于 \mathbf{A} 的最小奇异值的奇异矢量, 即 \mathbf{A} 的奇异值 (SVD) 分解 $\mathbf{A} = \mathbf{U} \mathbf{D} \mathbf{V}^{\text{T}}$ ^[13] 中矩阵 \mathbf{V} 的最后一列矢量, 即在 $\|\mathbf{f}\| = 1$ 的条件下取 $\|\mathbf{A} \mathbf{f}\|$ 的最小值。由 \mathbf{A} 的奇异值分解得到的矩阵 \mathbf{F} 在一般情况下是非奇异的, 秩不为 2, 采取步骤来强迫这种约束。

由于代数最小化算法没有实际的物理意义, 采用最大似然 (ML) 估计, 即最小化几何距离 (重投影

误差) 的估计, 求得 \mathbf{F} 的最优值

$$\min_{\mathbf{F}, \hat{\mathbf{m}}_l, \hat{\mathbf{m}}_r} \sum_{i=1}^n [d^2(m_{li}, \hat{\mathbf{m}}_{li}) + d^2(m_{ri}, \hat{\mathbf{m}}_{ri})], \quad (6)$$

式中 $m_{li} \leftrightarrow m_{ri}$ 是测量得到的对应, $\hat{\mathbf{m}}_{li}$ 和 $\hat{\mathbf{m}}_{ri}$ 是待估计的“真”对应, 它们准确地满足 (2) 式, 其中 \mathbf{F} 为待估计的秩为 2 的基础矩阵。

3.3 利用基础矩阵标定两摄像机

本质矩阵是基础矩阵的特殊形式, 它的表达式为

$$\mathbf{E} = [\mathbf{T}]_{\times} \mathbf{R}. \quad (7)$$

基础矩阵与本质矩阵的关系是:

$$\mathbf{E} = \mathbf{K}'^{\text{T}} \mathbf{F} \mathbf{K}. \quad (8)$$

若两像机内参量 \mathbf{K} 和 \mathbf{K}' 已知, 根据基础矩阵 \mathbf{F} , 在相差一个比例因子的情况下, 可以确定本质矩阵 \mathbf{E} 。

(7) 式表明两台摄像机的相对位置关系与本质矩阵几乎是等价的, 本质矩阵 \mathbf{E} 可以分解为一个满秩的方阵和一个反对称阵的乘积, 因此把 \mathbf{E} 进行特征值分解 $\mathbf{E} = \mathbf{U} \mathbf{S} \mathbf{V}^{\text{T}}$, 其中 $\mathbf{S} = \text{diag}(k, k, 0)$, 可以在相差比例因子的情况下确定 \mathbf{R} 和 \mathbf{T} ^[14]:

$$\mathbf{R} \approx \mathbf{U} \mathbf{Q} \mathbf{V}^{\text{T}}, \quad \text{or} \quad \mathbf{R} \approx \mathbf{U} \mathbf{Q}^{\text{T}} \mathbf{V}^{\text{T}}, \quad (9)$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}}, \quad \text{or} \quad \mathbf{T} = -\mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}},$$

$$\text{式中 } \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

两像机的投影矩阵分别为 $\mathbf{P} = \mathbf{K}[\mathbf{I}|0]$ 和 \mathbf{P}' , 其中 \mathbf{P}' 为下列矩阵中的一个:

$$\begin{aligned} & [\mathbf{U} \mathbf{Q} \mathbf{V}^{\text{T}} | \mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}}] \\ & [\mathbf{U} \mathbf{Q} \mathbf{V}^{\text{T}} | -\mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}}] \\ & [\mathbf{U} \mathbf{Q}^{\text{T}} \mathbf{V}^{\text{T}} | \mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}}] \\ & [\mathbf{U} \mathbf{Q}^{\text{T}} \mathbf{V}^{\text{T}} | -\mathbf{U}(0, 0, 1)^{\text{T}}]. \end{aligned} \quad (10)$$

从几何意义上讲 $\mathbf{U} \mathbf{Q} \mathbf{V}^{\text{T}}$ 和 $\mathbf{U} \mathbf{Q}^{\text{T}} \mathbf{V}^{\text{T}}$ 所表示的旋转矩阵相差 180° , 根据要求被测点放置在像机前方, 以及对应点对反投求得的空间点之间的距离, 由 (10) 式中可以确定另一个像机的投影矩阵 \mathbf{P}' ^[8]。

对极约束不能确定 3D 信息的比例因子, (7) 式的解是在假设 $\|\mathbf{T}\| = 1$ 的前提下获得的, 与真正的平移向量相差一个比例因子 $\mathbf{T}' = s \mathbf{T}$ 。理论上讲, 一个测量长度就足以确定比例因子, 但由于测量误差的影响, 通过多次测量采样确定比例因子。为了确保测量精度, 采用测棒上的两对最远的特征点来确定比例因子 s :

$$s = \frac{n_1 \times d_w + n_2 \times d_d}{\sum_{i=1}^{n_1} d_{wi} + \sum_{i=1}^{n_2} d_{di}}, \quad (11)$$

式中 n_1 为测棒宽度采样的次数, d_w 为宽度方向最远的两特征点之间的距离, d_{wi} 为第 i 次宽度采样在 $\|T\| = 1$ 的前提下所计算出来的宽度方向最远两点之间的距离; n_2 为测棒深度采样的次数, d_d 为深度方向最远的两特征点之间的距离, d_{di} 为第 i 次深度采样在 $\|T\| = 1$ 的前提下所计算出来的深度方向最远两点之间的距离。

3.4 外参量的非线性校正

理想情况下, 根据上述线性方法所求得的像机外参量满足(1)式和(2)式, 但是由于图像噪声的影响, 所求结果并不能满足三角测量, 因此提出了基于最大似然估计的参量校正。通过最小化特征点之间的距离与由参量得到的距离估计值之间的误差获得外参量的最优解

$$\min_{R, T} \sum_{i=1}^n \|d_i - \hat{d}_i(\mathbf{K}, \mathbf{K}', \mathbf{R}, \mathbf{T}, m_{li}, m_{ri})\|^2, \quad (12)$$

式中 d_i 是光学参考棒上两特征点之间的标准距离, $\hat{d}_i(\mathbf{K}, \mathbf{K}', \mathbf{R}, \mathbf{T}, m_{li}, m_{ri})$ 是根据所求参量的距离估计值。

最小化(12)式是一个非线性最小化问题, 本文采用莱文伯-马克特(Levenberg-Marquardt)迭代算法^[13,15]获得此函数的最优解。最大似然迭代过程中, 用一个三维向量 r 参量化旋转矩阵 \mathbf{R} , 它的方向就是转轴的方向, 它的模等于旋转角。 \mathbf{R} 和 r 的关系可由罗德里格斯(Rodrigues)公式获得^[16]。最大似然迭代过程中 \mathbf{K}, \mathbf{K}' 和 $[\mathbf{R}, \mathbf{T}]$ 的初始值由线性方法给出。

4 实验结果

4.1 仿真数据

假设左像机坐标系为世界坐标系, 两像面尺寸

表 1 不同图像噪声水平下反投距离误差

Table 1 Anti-preprojected distance error versus the noise level of the image points

Noise level / pixel	Anti-preprojected distance error								Standard error / mm
0.005	-0.003	0.005	0.008	-0.003	-0.001	0.004	-0.001	0.003	0.004
0.010	-0.010	0.012	0.014	-0.013	-0.007	0.021	-0.005	0.015	0.013
0.015	-0.018	0.013	0.020	-0.022	-0.013	0.027	-0.009	0.016	0.019
0.020	-0.025	0.015	0.026	-0.026	-0.019	0.033	-0.012	0.043	0.028
0.025	-0.033	0.016	0.032	-0.036	-0.025	0.040	-0.016	0.042	0.033
0.050	-0.058	0.045	0.070	-0.072	0.063	0.052	0.057	0.071	0.059
0.100	-0.062	0.091	-0.097	-0.089	0.092	0.077	0.085	-0.068	0.089

由两像机的外参量结果和表 1 数据可知, 当处于低噪声水平时, 该算法能达到很高的测量精度。但是系统的测量精度受噪声影响, 随着噪声水平的

均为 $1316 \text{ pixel} \times 1015 \text{ pixel}$, 左像机焦距为 $f_1 = 12.096 \text{ mm}$, 主点坐标为 $u_{10} = 646 \text{ pixel}$, $v_{10} = 508.5 \text{ pixel}$; 右像机焦距为 $f_2 = 12.145 \text{ mm}$, 主点坐标为 $u_{20} = 650 \text{ pixel}$, $v_{20} = 527.5 \text{ pixel}$; 外参量 \mathbf{R} , \mathbf{T} 仿真值分别为

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.80689 & -0.25585 & -0.53241 \\ 0.5907 & 0.34799 & 0.72799 \\ -0.0009787 & -0.9019 & 0.43193 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} -450.19 \\ -953.81 \\ 1915.60 \end{bmatrix}.$$

根据已知的像机内外参量, 假设参考棒被放置在 8 个不同的位置, 分别获取参考棒上宽度方向和深度方向上距离最远的两组特征点的图像, 并在图像点中加入均值为 0、标准差为 s 的高斯噪声。将这些图像点代入本文算法, 获得外参的估计值为

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.806889 & -0.255855 & -0.532416 \\ 0.590701 & 0.347999 & 0.7279897 \\ -0.000979 & -0.90191 & 0.43193 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} -450.185 \\ -953.80 \\ 1915.58 \end{bmatrix}.$$

为了验证算法精度, 改变不同的噪声水平。由于特征点为红外 LED, 采用基于双线性插值的高斯曲面多次拟合定位算法定位质心, 质心定位精度可达 0.02 像素以上, 所以只给出 0.1 像素以内噪声水平的影响。对不同的噪声水平进行独立实验, 获得不同噪声水平下的旋转矩阵和平移量的估计值, 根据它们计算出特征点之间的反投距离, 并将其与真实的仿真距离比较, 结果如表 1 所示。

增加, 反投的空间距离误差增大。

4.2 实际标定过程

根据上述标定原理, 实际标定的具体步骤如下:

1) 将内参精确标定的两台摄像机^[17]放置在被测物周围,在测量范围内,分别对参考棒宽度和深度方向进行多个位置的图像采集。

2) 提取影像像素的质心,根据特征光点之间的比例约束,确定左右影像的匹配像素对。依照 3.2 节确定基础矩阵。匹配点的空间位置没有严格要求,但力求分布均匀。同时,因为方程的求解用了最小二乘法以及最大似然迭代算法,所以匹配点的数量一般不能少于 16 组。为了提高整个系统的测量精度,改善了图像点的质心坐标。由于采用红外 LED 作为特征点,自动地控制光强,优化曝光时间,

保证不同位置时光点图像强度的一致,提高信噪比,并采用基于双线性插值的高斯曲面多次拟合定位算法定位质心,质心提取精度可以达到 0.02 pixel 以上,从而保证系统的外参校准精度。

3) 根据 3.3 节和 3.4 节的原理求出两个摄像机的相对位置 \mathbf{R}, \mathbf{T} 。

4) 最后,根据参考棒上宽度和深度方向最远两点之间的已知精确距离,以及通过 \mathbf{R}, \mathbf{T} 反推所求出距离估计值,由(11)式确定比例因子 s 。

最终标定结果为

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.5480594255 & -0.0295111421 & 0.8359186316 \\ 0.0483744854 & -0.9988229472 & -0.0035461754 \\ -0.8350393855 & -0.0384936188 & -0.5488419317 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} 3263.09588036 \\ 20.24467554 \\ -2008.97106920 \end{bmatrix}.$$

为确定测量系统对空间尺寸测量的不确定度,采用量块作为长度标准分别对公称长度为 400 mm、600 mm、700 mm、800 mm 及 1000 mm 的 1 级标准量块沿平行于 X_c 轴、 Y_c 轴及立体空间内的 4 个对角线方向进行 8 次测量。测量值与量块本身的标称值的误差如表 2 所示。

表 2 测量长度误差结果

Table 2 Length test error results

Standard length /mm	Length test error /mm								Standard error /mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	
400	0.02	0.06	0.07	-0.05	0.01	-0.04	-0.07	0.08	0.0581
600	0.03	0.02	0.05	-0.06	0.06	-0.10	0.02	-0.09	0.0642
700	0.05	0.15	-0.09	0.02	0.01	0.11	-0.07	0.02	0.0811
800	-0.04	0.05	0.15	-0.04	0.05	0.18	-0.06	0.09	0.090
1000	0.18	-0.16	-0.04	-0.15	-0.12	-0.03	0.08	0.05	0.1182

5 结 论

从仿真实验结果可以看出,摄像机标定过程受噪声水平的影响。提出以红外 LED 作为特征点,并自动地控制光强,优化曝光时间,有效保证了不同位置光点图像的强度都一致。并采用基于双线性插值的高斯曲面多次拟合定位算法定位质心,质心提取精度可以达到 0.02 pixel 以上,保证了系统标定精度。将现场标定过程应用到实际的大空间三维测量系统中,测量最大误差为 0.18 mm。

参 考 文 献

1 Heikkila J. Geometric camera calibration using circular control points[C]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, **22**: 1066~1077

2 Wang Yongqinag, Lu Naiguang, Deng Wenyi *et al.*. The new online calibration method in large-scale videogrammetry system [J]. *Optical Technology*, 2007, **33**(1): 86~88

王永强,吕乃光,邓文怡等.大尺寸视觉测量系统在线标定的新方法[J].*光学技术*,2007,**33**(1):86~88

3 Wu Bin, Xue Ting, Zhu Jigui *et al.*. Novel high-precision calibration method for stereo visual measurement [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, **32**(12): 66~70

吴斌,薛婷,郑继贵等.一种立体视觉测量高精度标定新方法[J].*光电工程*,2005,**32**(12):66~70

4 Maas H.-G.. Dynamic photogrammetric calibration of industrial robots[C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3174**: 106~112

5 Maas H.-G.. Image sequence based automatic multi-camera system calibration techniques[J]. *ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sensing*, 1999, **54**(5,6): 352~359

6 Cerveri P., Borghese N. A.. Complete calibration of a stereo photogrammetric system through control points of unknown coordinates[J]. 1998, **31**(10): 935~940

7 Tan Xiaojun. An improved method of stereo camera calibration [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2006, **35**(2): 138~142

谭晓军,余志,李军.一种改进的立体摄像机标定方法[J].*测绘学报*,2006,**35**(2):138~142

8 Longuet-Higgins H. C.. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections[J]. *Nature*, 1981, **293**(10): 133~135

9 Hartley R. I.. In defense of the eight-point algorithm[C]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, **19**(6): 580~593

10 Hartley R. I.. Projective reconstruction and multiple images

- [C]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, **16**: 1036~1041
- 11 Torr P. H. S., Zisserman A.. Robust computation and parameterization of multiple view relation[J]. *International J. Computer Vision*, 1999, **32**(1): 27~44
- 12 Zhang Zhengyou. Determining the epipolar geometry and its uncertainty a review[R]. *International J. Computer Vision*, 1998, **27**(2): 161~195
- 13 Hartley R. I., Zisserman Andrew. *Multiple View Geometry in Computer Vision* [M]. Vambridge: Cambridge University Press, 2000
- 14 Hartly R. I.. Estimation of Relative Positions for Uncalibrated Cameras[R]. *Lectures Notes in Computer Vision*, 1992, **588**: 579~587
- 15 J. More. The Levenberg-Marquardt algorithm; implementation and theory [C]. In: *Proc. Dundee Conference on Numerical Analysis*, Berlin:Springer-Verlag, 1977. 105~116
- 16 Ma Songde, Zhang Zhengyou. *Computer Vision* [M]. Beijing, Science Press, 1998
马颂德,张正友. 计算机视觉[M]. 北京: 科学出版社, 1998
- 17 Xu Qiaoyu, Ye Dong, Che Rensheng. Accurate camera calibration with new minimizing function [C]. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2006, 1~3. 779~784

德国激光与光电特别展 2008 年 3 月在上海举行

近日,将于 2008 年 3 月亮相上海的德国激光与光电特别展再次引起中国媒体的注意,该展会展商主席将由德国肖特集团先进材料部执行副总裁 Johannes Hain 博士担任。

Johannes Hain 博士长期活跃于德国光学工业界,在众人眼中,这位德高望重的博士代表了品质、可靠性、专业、权威,此次德国联邦政府授予 Johannes Hain 博士主席一职,主要是看重了他在中国能够沟通政治和经济事宜,连接光学、半导体和太阳能等高新技术领域,而且其背后拥有一个强大的技术团队——全球领先的光学玻璃巨头德国肖特。

众所周知,德国是激光、光电子行业技术发达的国家,其产品及研究成果在国际上享有很高的声誉与地位。近年来,中国光学发展迅速,对高科技产品及光学系统需求量逐年上升,已经成为德国重要的贸易伙伴。一大批嗅觉灵敏的德国企业纷纷把目光投向中国市场。其中,肖特集团已在中国建立了先进材料部的生产基地,20% 营业额来自于中国。Johannes Hain 博士表示,肖特今后的目标是不断致力于产品研发,大力开拓中国市场,此次展会对所有致力于发展光电技术的德国企业来说是个不错的机会。

据悉,德国激光与光电展由德国联邦经济与技术部和德国经济展览委员会共同主办,由慕尼黑国际博览集团承办,并得到德国精密机械及光学工业协会提供的赞助,每两年在慕尼黑举办,该展会是世界光学产业的顶级专业展会,在欧洲享有盛誉。

为了促进中德贸易关系,加快中德企业进一步

交流与合作的步伐,2006 年慕尼黑国际博览集团将目光投向在中国经济最发达的城市之一上海。自从 2006 年首次举办以来,短短两年时间,该展会已经成为行业内顶尖级展会。据介绍,去年慕尼黑上海激光与光电展就吸引了 11 个国家的 144 家展商。

Johannes Hain 博士接受记者采访时指出:“现在正是将德国高科技产品引入中国市场的最好时机。光学技术将为创造优质,一流的产品,提高生产效率,节约能源提供重要保障。”

据悉,明年的特别展作为慕尼黑上海激光、光电展的组成部分,将于 2008 年 3 月 18~20 日在上海新国际博览中心举行。

此外,Johannes Hain 博士表示,太阳能作为可再生能源的重要应用领域,展会将重点将德国太阳能技术介绍到中国。在前不久由科技部与国家发改委启动的“可再生能源与新能源国际科技合作计划”中,将太阳能作为优先发展领域,通过开展国际合作,寻求国际能源企业的支持,推进其规模化发展。在此背景下,展会将吸引来自更多中德双方专业人士的目光,据介绍,展会届时将组织专业学术交流会,将就这些话题展开充分的阐述与讨论。

德国肖特是全球行业内综合型制造企业的领导者,产品包括太阳能光伏晶片、电池片、太阳能组件等,曾参与中国甘肃“光明工程”,为偏远地区的 26 个村庄送去太阳能。此次该公司副总裁出任在上海举办的激光与光电特别展商主席,将进一步推动肖特开拓中国市场,在激光与光电技术领域寻求更大的合作发展机会。