

文章编号 1004-924X(2009)01-0045-07

采用光学定位跟踪技术的三维数据拼接方法

韩建栋^{1,2}, 吕乃光^{2,1}, 王 锋², 娄小平², 祝连庆²

(1. 北京邮电大学 电子工程学院, 北京 100876;

2. 北京信息科技大学 光电信息与通信工程学院, 北京 100192)

摘要:为了实现大型自由曲面的三维面型测量,提出了采用光学定位跟踪技术的数据拼接方法。平面靶标作为中介,固定在测量系统上,靶标上的特征点在测量坐标系中的坐标通过中介坐标转换法获得。利用双目立体视觉构建跟踪定位系统,并以跟踪坐标系为全局坐标系,获取平面靶标上特征点的三维全局坐标,求得测量坐标系到全局坐标系的转换矩阵。将测量传感器在不同位置下所测的各子区域的三维数据统一到全局坐标系下,完成大型自由曲面的全局测量。实验结果表明:单次测量精度为 0.11 mm;对 10 cm×10 cm 的平面靶标上 100 个点进行两次测量,拼接均方误差为 0.34 mm。该方法操作简单、可行,并可满足要求。

关键词:光学面形测量;数据拼接;光学跟踪;结构光;四元数法

中图分类号: TB92; TP391 **文献标识码:** A

3D data registration method based on optical location tracking technology

HAN Jian-dong^{1,2}, LÜ Nai-guang^{2,1}, WANG Feng², LOU Xiao-ping², ZHU Lian-qing²

(1. *School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China*; 2. *School of Optoelectronic Information and Telecommunication Engineering, Beijing University of Information Science and Technology, Beijing 100192, China*)

Abstract: In order to realize 3D shape acquisition for large free surface, a data registration method using optical location tracking technology was proposed. A planar target was fixed on the measurement system as the intermediate, the coordinates of some feature points provided by the target in the measurement coordinate system were obtained by a intermediary coordinate transformation method. A location tracking system was constituted by binocular stereo vision, then, the tracking coordinate frame was used as the global coordinate frame to obtain 3D global coordinate of feature points on planar target to derive the transformation matrix from the measurement coordinate frame to the global coordinate frame. All the 3D data of sub-areas obtained by the measurement sensor were unified in the global coordinate frame, and the global measurement for a large object was accomplished. The registration experiment was conducted using 100 feature points on the planar target, and the results show that the single measurement precision is 0.11 mm, and the RMS error of 3D data registration is less than

收稿日期: 2008-03-13; **修订日期:** 2008-06-06.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(No. 50675015, No. 50475176); 北京市重点实验室(机电系统测控)开放课题资助项目(No. 82073011); 北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目(No. PXM2007-014224-044674)

0.34 mm. The presented method is simple and flexible, and can satisfy the precision requirements.

Key words: data registration; optical tracking; structured light; quaternion method

1 引言

三维视觉测量技术广泛应用于工业、科研、国防等领域中汽车车身、飞机机身、轮船船体、汽轮机叶片等加工制造中的在线检测,而大型工件的曲面检测一直是生产中的关键技术难题^[1]。结构光三维测量技术通过获取形变的条纹来解算物体的三维信息,具有非接触、测速快和精度高等优点,已成为三维面型测量最有效的途径^[2]。但对于大型曲面,受摄像机视场范围的限制,视觉测量系统单次测量范围较小,必须对其分块测量,将多次测量的局部数据统一到同一坐标系下。因此,三维拼接技术是实现大型工件形貌测量的关键技术。

结构光三维数据拼接通常是基于测量系统与被测物体之间的相对运动来进行的。现有文献中提出了以下三种方法:一是使用精密的机械设备^[3],直接记录工件或视觉传感器在测量过程中的移动和旋转量,该方法拼接精度较高,但设备价格昂贵、测量范围有限且测量效率较低。二是三点法^[4-5],在被测物体上贴标记点,要求相邻子区域必须存在重叠区域,利用重叠区域至少 3 个公共标记点进行三维数据的拼接。三点法具有以下几个缺点:(1)当被测表面不连续,或者存在夹角很小的交面时,无法获取公共标记点;(2)不适合软质物体与易损物体的测量;(3)测量过程繁琐,且标记点处三维信息无法获取,需要对三维数据进行后期曲面拟合处理。三是引入经纬仪^[6-7]或者激光跟踪仪^[8]进行全局坐标的统一,但由于经纬仪以及激光跟踪仪价格昂贵,系统成本较高。

本文提出一种采用光学定位跟踪技术的结构光拼接方法,测量传感器围绕被测物体进行局部测量,用双目立体视觉构建光学跟踪系统,对测量系统进行定位跟踪,完成多次测量的数据统一。该方法拼接过程灵活、操作简单、精度较高。

2 采用光学定位跟踪技术的拼接方法

2.1 系统组成及拼接原理

总系统由结构光测量系统、跟踪定位系统、拼

接靶标以及系统软件组成。如图 1 所示,拼接靶标固定于测量系统上,因此测量传感器在不同位置对被测物体进行局部测量时,拼接靶标上的特征点在测量坐标系下的三维坐标始终保持不变,可以事先采用中介坐标转换法获得(见 2.3 节)。双目立体视觉作为跟踪定位系统,并以此建立全局坐标系。测量传感器移动到位置 k ,进行局部测量,跟踪定位相机通过检测拼接靶标上的特征点坐标,就可以获得测量坐标系到全局坐标系的转换矩阵 $H_{mw}^{(k)}$,那么在测量位置 k 所得到的局部测量数据 $P_k(x, y, z, 1)^T$ 经过变换 $H_{mw}^{(k)} \cdot P_k$ 就转换到全局坐标系下。同理,将多个测量位置下的数据统一到全局坐标系下,完成物体表面的全局测量。

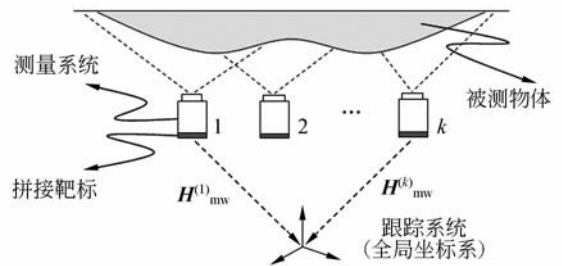


图 1 三维拼接示意图

Fig. 1 Schematic diagram of 3D registration

2.2 结构光测量系统

结构光测量系统采用空间二进制编码与光栅相移技术相结合的方法^[9-10]。两个摄像机构成双目立体视觉,选取一个摄像机坐标系为测量坐标系,投影仪置于双摄像机之间,将生成的图案投影在被测物体表面,摄像机依次采集图像,如图 2。二进制编码实现点的粗编码,采用光栅相移技术,对具有相同二进制编码的点区域进行细分,实现点的精确编码。

空间二进制编码需要满足一定的条件^[10]: (1)被测空间编码无二义性;(2)相邻两个编码间的 Hamming 距离为 1;(3)编码方案满足采样定理,二进制编码划分的最小区域宽度与一个像素的视野比 > 2 ;(4)二进制编码最小区域宽度要与光栅条纹周期相同。但由于二值化阈值选取不当以及背景、阴影等因素影响,使得采集到的图像中

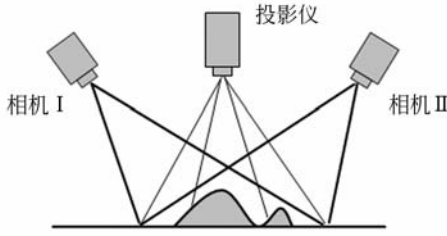


图 2 结构光测量系统

Fig. 2 Structured light measurement system

存在很多噪声点,从而降低了双目视觉的匹配精度。在满足以上四点前提下,本文采取以下两个措施来提高匹配精度:

(1)采用如图 3 所示的 4 幅二进制编码图案,将被测表面划分为 13 个条纹区域,保证被测区域每个点至少有一个亮条纹和一个暗条纹落在上面,便于二值化阈值的选取,自适应阈值选取方法为:

$$I_{th} = \frac{1}{2}(I_{min} + I_{max}), \quad (1)$$

其中 $I_{max} = \max\{I_i\}, I_{min} = \min\{I_i\}, i = 1 \sim 4$ 。

(2)一些物体表面存在不连续的区域,采集到的图像中存在大量的阴影和背景。为了消除阴影和背景,采用黑色背景,设定阈值 I_b ,满足 $I_{max} < I_b$ 的点区域认为是背景或阴影区域,因此可以不进行匹配运算,从而提高运算速度,有效降低误匹配率。实验中取 $I_b = 50$ 。



图 3 二进制编码图案

Fig. 3 Binary system code patterns

4 幅光栅条纹为:

$$f_i(x, y) = a + b \cos[\phi(x, y) - \phi_i], \quad (2)$$

其中 $\phi_i = \{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}, i = 1 \sim 4$ 。得到每个点的包裹相位:

$$\varphi(x, y) = \arctan\left(\frac{f_1 - f_3}{f_2 - f_4}\right), \quad (3)$$

获得每个点对应的二进制码与相位 $\varphi(x, y)$ 后,满

足极线约束及编码值相同的点为对应同名点,利用标定后的双目立体视觉,便可重构三维空间点的坐标。

2.3 系统标定

三维视觉测量系统的性能依赖于摄像机标定的精度^[11],测量系统与跟踪系统的立体视觉标定均采用文献[12]提出的标定方法来完成。完成全局测量,需要获得拼接靶标上的特征点在测量坐标系下的三维坐标,这里采用中介坐标转换算法。

首先在平面玻璃板上,精确加工黑白方格,制作两块平面靶标,分别作为拼接靶标和标定靶标,方格角点作为特征点,特征点的检测采用 Harris^[13]角点检测方法,精度为 0.1 pixel。

以标定好的跟踪系统作为中介。确保测量传感器与中介传感器能同时观测到标定靶标,并且中介传感器能观测到拼接靶标。设 $X_i(x_i, y_i, z_i, 1)^T, X_m(x_m, y_m, z_m, 1)^T$ 分别为标定靶标上的特征点在中介坐标系与测量坐标系下的齐次坐标。标定步骤如下:

(1)由标定好的双目立体视觉获得 X_i 与 X_m 。

(2)中介坐标系到测量坐标系的转换矩阵 H_{im} 满足等式:

$$X_m = H_{im} \cdot X_i, \quad (4)$$

由四元数法(见 2.4)计算转换矩阵 H_{im} 。

(3)测量拼接靶标上的特征点在中介坐标系中的三维坐标 X_i' ,利用已获得的 H_{im} ,得到拼接靶标上的特征点在测量坐标系中的三维坐标 X_m' :

$$X_m' = H_{im} \cdot X_i', \quad (5)$$

图 4 为中介坐标转换示意图,其中 O_i, O_m 分别为中介坐标系与测量坐标系原点

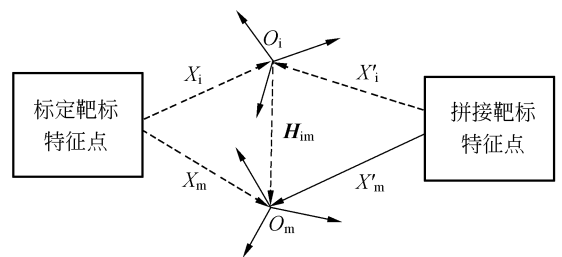


图 4 中介坐标转换法

Fig. 4 Intermediary coordinate transformation method

2.4 四元数法求取转换矩阵

四元数法^[14]利用两个坐标系下相互对应的两组三维坐标点集,求解两坐标系间的旋转矩阵 \mathbf{R} 和平移矢量 \mathbf{t} ,该方法将旋转矩阵 \mathbf{R} 等效为以单位矢量为轴 $[\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z]$,旋转角度 2θ 的单位四元数矢量:

$$\mathbf{q} = q_0 + q_1 \mathbf{i} + q_2 \mathbf{j} + q_3 \mathbf{k} = \cos \theta + \alpha_x \sin \theta + \alpha_y \sin \theta + \alpha_z \sin \theta, \quad (6)$$

对应的坐标旋转矩阵 \mathbf{R} 可以由 \mathbf{q} 表示为:

$$\mathbf{R}(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 & 2(q_1 q_2 - q_0 q_3) & 2(q_1 q_3 + q_0 q_2) \\ 2(q_1 q_2 + q_0 q_3) & q_0^2 + q_2^2 - q_1^2 - q_3^2 & 2(q_2 q_3 - q_0 q_1) \\ 2(q_1 q_3 - q_0 q_2) & 2(q_2 q_3 + q_0 q_1) & q_0^2 + q_3^2 - q_1^2 - q_2^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

设 n (n 至少大于 3) 个空间点在两个坐标系

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} s_{xx} + s_{yy} + s_{zz} & s_{yz} - s_{zy} & -s_{xz} + s_{zx} & s_{xy} - s_{yx} \\ s_{yz} - s_{zy} & s_{xx} - s_{yy} - s_{zz} & s_{xy} + s_{yx} & s_{zx} + s_{xz} \\ s_{zx} - s_{xz} & s_{xy} + s_{yx} & -s_{xx} + s_{yy} - s_{zz} & s_{yz} + s_{zy} \\ s_{xy} - s_{yx} & s_{zx} + s_{xz} & s_{yz} + s_{zy} & -s_{xx} - s_{yy} + s_{zz} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

式中 s_{kl} 为:

$$s_{kl} = \sum_{i=1}^n k_l^i \cdot l_k^i, \quad (12)$$

其中, k, l 代表 x, y, z 。

(4) 平移矢量可表示为:

$$\mathbf{t} = \bar{p}_2 - \mathbf{R}(\mathbf{q}) \cdot \bar{p}_1, \quad (13)$$

由此计算出来的旋转矩阵满足正交矩阵的要求,在三维数据存在误差的情况下,在最小二乘准则下,使得 r, t 计算误差最小。则两个坐标系之间的转换矩阵为:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} r & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

3 实验结果

如图 5 为系统装置,测量系统固定于水平导轨上,测量相机选用大恒数字摄像机 DH-HV3103UC,分辨率为 $1\,024 \times 768$,镜头焦距为

下对应点集 $p_1 = \{p_1^i\}, p_2 = \{p_2^i\}, i = 1 \sim n$, 计算四元数过程如下:

(1) 计算两个点集的矩中心:

$$\bar{p}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_1^i, \bar{p}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_2^i, \quad (8)$$

(2) 用矩中心与每一个点相减得到新的点集:

$$r_1^i = p_1^i - \bar{p}_1, r_2^i = p_2^i - \bar{p}_2, \quad (9)$$

(3) 下式取极大值时的解为四元数的解。对应于矩阵 \mathbf{A} 的最大特征值所对应的单位特征向量:

$$\chi = \sum_{i=1}^n r_2^i \cdot [\mathbf{R}(\mathbf{q}) \cdot r_1^i] = \mathbf{q}' \mathbf{A} \mathbf{q}, \quad (10)$$

其中,矩阵 \mathbf{A} 为实对称矩阵:

12 mm, 单次测量范围为 $30 \sim 40$ cm。跟踪定位相机选用大恒数字摄像机 DH-HV1 300FM,分辨率为 $1\,280 \times 1\,024$,镜头焦距为 8 mm,水平方向视场范围可达 $1.3 \sim 1.8$ m。

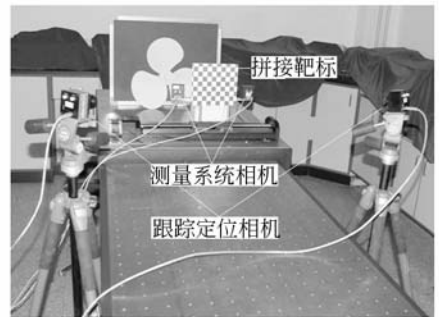
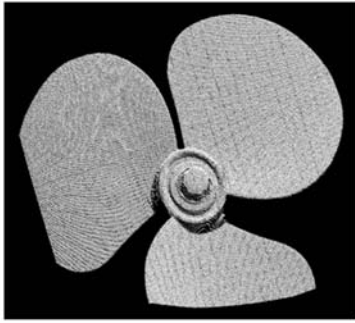


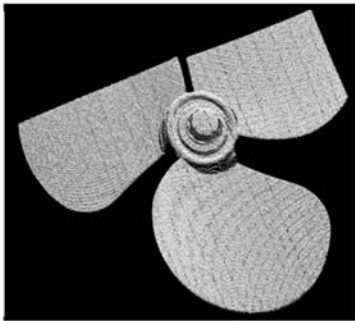
图 5 系统实物图

Fig. 5 Photograph of the system

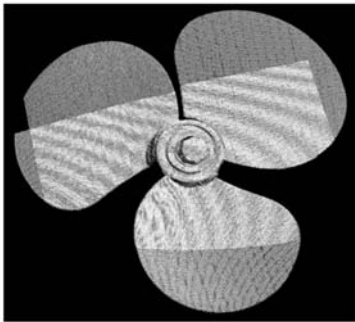
采用本文提出的拼接方法对风扇叶进行了两次测量,如图 6 所示,(a),(b)为两次不同方位测量得到的局部点云数据,(c)为拼接后的点云数据。



(a)子区域 1 数据
(a) 3D-data of sub-area 1



(b)子区域 2 数据
(b) 3D-data of sub-area 2



(c)拼接后的三维点云
(c) Registered 3D point cloud

图 6 风扇拼接实例

Fig. 6 Registration examples

结构光测量系统对大小约为 $12\text{ cm} \times 12\text{ cm}$ 的液晶平面进行单次测量,对测量数据进行最小二乘平面拟合,以测量数据到拟合平面的距离的均方差作为结构光系统的单次测量精度,测量精度为 0.11 mm 。

测量系统对大小约为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的平面靶标进行两次站位测量,选取 100 个点进行拼接。理论上,经过拼接后两次测量的三维坐标应完全重合^[15]。实验中,以拼接后靶标上 100 个对应点之间距离的均方差来评价拼接精度,拼接精度为 0.34 mm 。

用单相机两次站位测量代替跟踪系统的双目视觉进行上述拼接实验,计算得到的拼接 RMS 误差要比采用双目视觉方法得到的拼接误差大,主要原因是摄像机运动参数求解精度较差,以及拼接过程的存在累计误差。

表 1 两种方法优缺点定性比较

Tab. 1 Comparison between two registration methods

	多(双)目视觉拼接	单摄像机拼接
优点	精度较高 不需要基准尺度	灵活 成本低
缺点	需要标定摄像机之间的外部参数	精度较低 需要基准长度
拼接方式	组建多摄像机网络	通过摄像机移动

因此,从精度要求考虑,采用双目视觉的方法是必要、可行的。表 1 对两种方法进行定性比较。

另外,孙军华等^[15]采用基于平面基线靶标的拼接方法,拼接精度较高。与孙的方法相比较,本文方法由于存在一次坐标转换,降低了测量精度,但本文方法拼接过程更加灵活。

拼接误差来源有以下几个方面:双目视觉三维重建误差、坐标系转换带来的累积误差以及特征点的图像坐标的定位误差等。通过以下方法可以降低误差:

(1)对于对称摆放的双目视觉,在双相机光轴夹角一定的前提下,减少双相机之间的基线间距,可以提高系统测量精度^[16]。

(2)对相机镜头进行畸变校正,可尽量选用畸变较小的镜头,使用靠近镜头中心的区域。

(3)选用高分辨率摄像机,有利于降低量化误

4 误差分析

单次测量误差与拼接误差的分析结果与采用的评价准则以及选取的区域大小有关,本文采用以下方法进行误差分析。

差,提高像点坐标的定位精度,从而提高双目视觉匹配精度^[17]。

(4) 应采用精度更高的光学仪器获取靶标上的特征点在测量坐标系下的坐标。

5 结 论

本文针对现代工业领域对大型面形测量的需求,提出了采用双目跟踪定位技术的三维数据拼接方法。介绍了系统的组成与拼接原理,给出

了结构光测量系统的结构、测量原理以及整个系统的标定过程。该方法将拼接靶标与测量系统固定在一起,避免了贴标记点带来的局限性,拼接过程灵活、简单。在被测物体周围布置多个跟踪定位相机,各相机之间的方位信息精确标定,测量系统绕物体进行局部测量,可以实现大型曲面的 360° 测量。实验结果证明:单次测量精度为 0.11 mm,拼接精度为 0.34 mm,基本满足一般的测量要求,为大型面形的三维视觉测量提供了一种有效方法。

参考文献:

- [1] 陈晓荣,蔡萍,施文康. 光学非接触三维形貌测量技术新进展[J]. 光学精密工程, 2002, 10(5): 528-532.
CHEN X R, CAI P, SHI W K. The latest development of optical non-contact 3D profile measurement [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(5): 528-532. (in Chinese)
- [2] FRANK C, GORDON M B, MUMIN S. Overview of three-dimensional shape measurement using optical methods [J]. *Optical Engineering*, 2000, 39(1): 10-22.
- [3] 龙奎,钟约先,李仁举. 结构光三维扫描测量的三维拼接技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(4): 477-480.
LONG X, ZHONG Y X, LI R J. 3D surface integration in structured light 3D scanning [J]. *J. Tsinghua University (Sci & Tech)*, 2002, 42(4): 477-480. (in Chinese)
- [4] 张舜德,卢秉恒,丁玉成. 光学三维形面分区域测量数据的拼接研究[J]. 中国激光, 2001, 28(6): 533-536.
ZHANG SH D, LU B H, DING Y CH. Study on data registration of subdivided shaped in optical 3D profilometry [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2001, 28(6): 533-536. (in Chinese)
- [5] 邓文怡,桑新柱,董明利,等. 三维拼接在大尺寸视觉测量中的应用[J]. 光电子激光, 2002, 13(11): 1145-1147.
DENG W Y, SANG X ZH, DONG M L, *et al.*. 3D connection application in the large scale vision measurement [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2002, 13(11): 1145-1147. (in Chinese)
- [6] 吴斌. 大型物体三维形貌数字化测量关键技术研究

- [D]. 天津:天津大学, 2002.
WU B. *Study on the key technologies of 3D digital measurement of large-scale objects* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2002. (in Chinese)
- [7] 张广军,孙军华,魏振忠. 基于单经纬仪的视觉测量三维数据拼接方法[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(3): 441-445.
ZHANG G J, SUN J H, WEI ZH ZH. 3D data registration method based on single theodolite in vision measurement [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2007, 28(3): 441-445. (in Chinese)
- [8] 李喆,丁振良,袁峰. 基于共面点的多视觉测量系统的全局标定[J]. 光学精密工程, 2008, 16(3): 467-472.
LI ZH, DING ZH L, YUAN F. Global calibration method for multi-vision measurement system with coplanar targets [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(3): 467-472. (in Chinese)
- [9] JOAQUIM S, JORDI P, JOAN B. Pattern codification strategies in structured light systems [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(4): 827-849.
- [10] 叶海加,陈昱,邢渊. 双目 CCD 结构光三维测量系统中的立体匹配[J]. 光学精密工程, 2004, 12(1): 71-75.
YE H J, CHEN G, XING Y. Stereo matching in 3D measurement system using double CCD structured light [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(1): 71-75. (in Chinese)
- [11] 叶东,徐巧玉,车仁生. 视觉测量系统的相机校准[J]. 光学精密工程, 2006, 14(5): 883-890.
YE D, XU Q Y, CHE R SH. Camera calibration technique for vision measurement system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 883-890. (in Chinese)
- [12] 陈刚,陈华,车仁生. 空间点的立体视觉传感器标

定方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1439-1444.

CHEN G, CHEN H, CHE R SH. Calibration method for stereo vision sensor based on spatial points [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(9): 1439-1444. (in Chinese)

[13] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]. *Proc. of the 4th Alvey Vision Conference*, 1988:147-151.

[14] HORN B K P. Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternion [J]. *Journal of the Optical of Society American A: Optics Image Science and Vision*, 1987, 4(4): 629-642.

[15] 孙军华, 张广军, 魏振忠, 等. 基于平面基线靶标的视觉测量数据拼接方法[J]. 机械工程学报, 2006, 42(7): 192-194.

SUN J H, ZHANG G J, WEI ZH ZH, *et al.*. Vi-

sion measurement data registration method based on planar baseline target [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2006, 42(7): 192-194. (in Chinese)

[16] 王建华, 韩红艳, 王春平, 等. CCD 双目立体视觉测量系统的理论研究[J]. 光电与控制, 2007, 14(4): 94-96.

WANG J H, HAN H Y, WANG CH P, *et al.*. Theoretic research on double-CCD stereoscopic measurement system [J]. *Electronics Optics and Control*, 2007, 14(4): 94-96. (in Chinese)

[17] 刘佳音, 王忠立, 贾云得. 一种双目立体视觉系统的误差分析方法[J]. 光学技术, 2003, 29(3): 354-360.

LIU J Y, WANG ZH L, JIA Y D. Error analysis of binocular stereo vision system [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(3): 354-360. (in Chinese)

作者简介:



韩建栋(1980—),男,山西文水人,博士研究生,主要从事计算机视觉及图像处理等方面的研究。E-mail: zhchmin2002@yahoo.com.cn

吕乃光(1944—),男,安徽临泉人,教授,博士生导师,主要从事光信息处理及视觉测量等方面的研究。E-mail: nglv2002@yahoo.com.cn

王 锋(1985—),男,湖北洪湖人,硕士研究生,主要从事机器视觉测量等方面的研究。E-mail: donerboy@163.com

娄小平(1970—),女,河南临颖人,副教授,硕士生导师,主要从事计算机测控技术方面的研究。E-mail: lou_xp@bim.edu.cn

祝连庆(1963—),男,浙江人,教授,硕士生导师,主要从事精密测试技术等方面的研究。E-mail: zhulianqing@sina.com

●下期预告

基于平面移动的车灯配光检测系统

凌 铭¹, 金光勇¹, 刘义生², 庞 博¹, 梁 柱¹

(1. 长春理工大学, 吉林 长春 130022; 2. 国家汽车零部件产品质量监督检验中心, 吉林 长春 130012)

研制了一种新型的平面移动式车灯配光检测系统。首先,同国内通用的转台式车灯配光测试系统比较,建立了误差传递函数,分析了两种系统的误差;与标准照度计比较,测试出测试点的光照度值误差;最后,由多点残差法计算信号灯最佳测试距离。用 JT200 和 AD100 车灯进行测试,结果表明,该测试系统的理论定位误差为 0.14 mm,最低是转台式系统 31 倍,照度测试误差为 0.02 lx,提高了 2 倍;该测试系统信号灯发光强度测试误差与测试距离成正比,转台式测试系统的最佳测试距离为 2 m,而不是国内通用的 3.16 m。该检测系统精度高,车灯测试距离可调,易于控制,能满足国际标准测试要求。