

文章编号 1004-924X(2011)08-1787-07

基于机器人的柔性电子检具测量系统

郝继贵*, 郭磊, 刘常杰, 林嘉睿, 叶声华

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要:针对工业生产中常用的专用实物检具成本高、柔性差、自动化程度低的缺点,提出一种工业机器人柔性电子检具测量系统。以工业机器人为柔性自动化平台,将视觉传感器固定于机器人末端工具上,利用机器人示教功能规划测量路径,通过全局标定技术将局部测量结果统一到全局坐标系中。考虑测量过程中机器人重复定位误差是影响系统整体精度的主要因素之一,采用光学精密测量方法,将另一相机作为控制相机,利用摄影测量技术结合固定于支撑部件上的全局控制点测量机器人重复定位误差,实时补偿整体测量结果。将测量数据与CAD数模比对,构造虚拟柔性电子检具功能。实验显示,系统测量14个空间点的三维总体均方根误差为0.101 mm。结果表明,提出的方法原理正确,能够克服实物检具费用高、浪费严重、人为因素影响检测精度的局限。

关键词:精密工业测量;柔性电子检具;工业机器人;近景摄影测量;激光视觉测量

中图分类号:TP242.2;TP274.5 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20111908.1787

Measurement system of flexible electronic checking fixture on robot

ZHU Ji-gui*, GUO Lei, LIU Chang-jie, LIN Jia-rui, YE Sheng-hua

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments,
Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Correspondin author, E-mail: jiguizhu@tju.edu.cn

Abstract: A new measuring system of flexible electronic checking fixture on an industrial robot was proposed to overcome the shortcomings of the real special checking fixtures commonly used in industrial production with high costs, poor flexibility and low automation. A vision sensor was fixed on the terminal tool of the industrial robot taken as the flexible automation platform. By teaching the robot to run the programmed measuring path, the every local sensor system was unified to the global system by global calibration technology. As the repetitive position error of the robot in this process is an important influencing factor on the overall system accuracy, an optical precise measuring method was presented to compensate the whole measuring results in real-time via measuring the repetitive position error by taking another camera as a control camera and combining with global control points fixed on the supporting assembly. Finally, the obtained results were compared with CAD digital module in a computer to realize the virtual flexible checking fixture function. Experimental result indicates that the overall three-dimensional root mean square (RMS) error of fourteen space points is 0.101 mm, which shows that the principle of method is reasonable. It overcomes the limitation of real checking fixture

收稿日期:2010-11-16; **修订日期:**2011-01-15.

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(No. 50735003);国家自然科学基金资助项目(No. 50805105);天津市应用基础及前沿技术研究计划资助项目(No. 09JCZDJC26700);天津市科技支撑项目(No. 08ZCGYGX11800)

in high cost, heavy waste and accuracy affected by personal errors.

Key words: precision industrial measurement; flexible electronic checking fixture; industrial robot; close-range photogrammetry; laser-vision measurement;

1 引言

检具技术广泛应用于汽车工业,是控制汽车零部件和分总成制造装配精度最有效、最直观的手段。目前在汽车工业中普遍采用专用实物检具,根据被检测部件的理论模型,特别设计、制造与被测部件相匹配、外形理论值相差很小的刚性模型作为检具,将被测部件固定于检具上,利用标准塞规或其它精密标准检测工具,通过人工判读方法进行测量^[1]。

随着汽车制造向小规模、多样化方向发展,专用实物检具技术远远无法满足新的需求,表现出显著的局限性:(1)为了保证被检测部件的测量精度,对检具模型的加工精度要求很高,当检具尺寸较大时,需要将一套检具分块制造,然后进行精密装配,从而导致检具的制造成本很高;(2)一种检具只能实现一种特定部件的检测,一旦部件设计改变,旧检具无法与新设计相匹配,检具即失效,造成严重浪费;(3)测量结果依赖检测人员经验,人为因素影响测量精度^[2]。

针对传统实物检具技术成本高、柔性差、自动化程度低的缺点,本文提出一种工业机器人柔性电子检具测量系统。以工业机器人为柔性自动化平台,利用机器人示教功能,结合摄影测量和激光视觉方法实现自动数字化测量,在 CAD 数模的支持下,构造虚拟柔性电子检具功能。提出的检具测量系统能够根据被检测部件的特定形状调整测量路径,检测结果在控制计算机上自动显示,柔性好,自动化程度高,成本低,具有适应汽车制造新需求的发展潜力^[3]。

由于系统依靠机器人在固定位置姿态间反复运动实现自动化测量,要求机器人具有很高的重复定位精度,而机器人运行过程中,模型参数受加工误差、装配误差、机械传动误差及环境温度等因素影响,变化显著^[4],使机器人重复定位精度不高,从而影响系统整体测量精度,因此实时补偿机

器人重复定位误差是柔性电子检具系统的重要关键技术之一。本文采用光学精密测量方法,利用单相机结合控制点技术实时测量机器人重复定位误差,修正传感器坐标系相对于全局坐标系的转换关系,补偿最终测量结果,使系统能够很好地满足检具测量的精度要求。

2 测量系统

机器人柔性电子检具测量系统由工业机器人和视觉传感器两部分组成,如图 1 所示。工业机器人作为柔性运动平台,将视觉传感器安装在机器人末端工具上,机器人按照预先规划的测量路径带动传感器到指定位置进行测量。

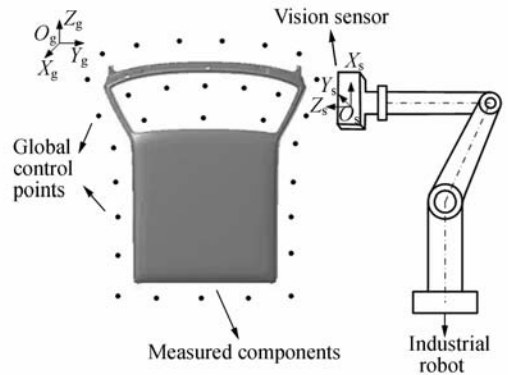


图 1 基于机器人的柔性电子检具测量系统

Fig. 1 Flexible electronic checking fixture on robot

视觉传感器由结构光传感器和控制相机两部分组成。结构光传感器用于局部测量,控制相机用于机器人定位误差补偿。测量前示教机器人,利用其它精密测量设备(如激光跟踪仪或摄影测量系统)结合全局标定技术^[5]精确标定各测量位置传感器局部坐标系($O_s-X_s-Y_s-Z_s$)与全局坐标系($O_g-X_g-Y_g-Z_g$)的转换关系,将各局部测量结果统一到全局坐标系中,获取被检工件整体三维数据。测量时,结构光传感器采集测量图像的同时控制相机对全局控制点成像,通过单相机模型测量机器人的重复定位误差,实时补偿当前位置局部坐标系到全局坐标系的转换关系,保证整体测量精度。

3 实现原理

3.1 局部测量

结构光视觉传感器实现局部测量的原理如图 2 所示。

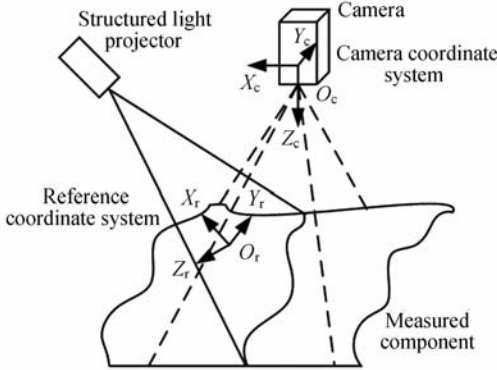


图 2 结构光视觉测量

Fig. 2 Structured light vision measurement

通常将相机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 作为传感器坐标系,以结构光平面上某点为原点,XY 平面与光平面重合,Z 轴满足右手法则建立辅助参考坐标系 $O_r-X_rY_rZ_r$,传感器数学模型如下^[6-8]:

$$\begin{cases} X_c = \frac{(x - C_x + \Delta x)}{c} Z_c \\ Y_c = \frac{(y - C_y + \Delta y)}{c} Z_c \\ Z_c = \frac{r_5 \cdot r_7 - r_4 \cdot r_8}{r_1 \cdot r_5 - r_2 \cdot r_4} \cdot X_c + \frac{r_1 \cdot r_8 - r_2 \cdot r_7}{r_1 \cdot r_5 - r_2 \cdot r_4} \cdot Y_c + \frac{r_4 \cdot r_8 - r_5 \cdot r_7}{r_1 \cdot r_5 - r_2 \cdot r_4} \cdot t_1 + \frac{r_2 \cdot r_7 - r_1 \cdot r_8}{r_1 \cdot r_5 - r_2 \cdot r_4} \cdot t_2 + t_3 \end{cases} \quad (1)$$

式中, (X_c, Y_c, Z_c) 为被测点在传感器坐标系下的三维坐标, (x, y) 为被测点图像观测值, c 为相机有效焦距, (C_x, C_y) 为相机主点, $(\Delta x, \Delta y)$ 为成像畸变, $r_1 \sim r_9$ 和 $t_1 \sim t_3$ 为参考坐标系到相机坐标系的转换矩阵元素。

包含 (C_x, C_y) 在内的相机内参及 $r_1 \sim r_9$ 和 $t_1 \sim t_3$ 通过预先精确标定获得^[9], (x, y) 从测量图像提取获得,均是已知量,利用 (x, y) 和相机内参数可求得图像畸变 $(\Delta x, \Delta y)$,将上述参数带入式 (1) 即可就得 (X_c, Y_c, Z_c) 。

3.2 全局标定

系统全局标定示意图如图 3 所示^[10]。每个

测量位置下,传感器视场内设置三维靶标 (Target),传感器测量靶标,建立传感器坐标系到靶标

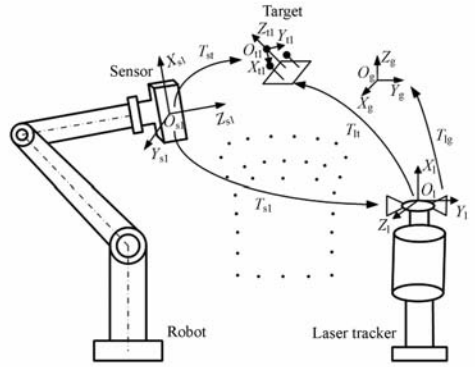


图 3 全局标定示意图

Fig. 3 Global calibration

坐标系的转换关系 T_{st} ,同时利用激光跟踪仪测量靶标,建立靶标坐标系到激光跟踪仪坐标系的转换关系 T_{tl} ,另外利用激光跟踪仪测量全局控制点,建立激光跟踪仪坐标系到全局坐标系的转换关系 T_{lg} ,则传感器坐标系到全局坐标系的转换关系 T_{sg} 为:

$$T_{sg} = T_{lg} \cdot T_{tl} \cdot T_{st} \quad (2)$$

每个测量位置下均建立传感器坐标系到全局坐标系的转换关系 T_{sg_i} ($i=1, 2, \dots, n; n$ 为测量位置数),实现全局标定。

3.3 机器人定位误差补偿

工业机器人由多连杆和关节组成,属于多自由度运动机构。运行过程中运动学模型参数受机械加工误差、装配误差、传动误差及环境温度等多种因素影响,不断发生变化,使机器人存在定位误差。系统测量过程是机器人在固定位置姿态间反复运动,要求机器人具有很高的重复定位精度,定位误差对系统整体测量精度产生严重影响。

机器人运动学模型通常采用 D-H 模型,设 A_i 表示两相邻关节坐标系 $i-1$ 和 i 间的变换矩阵,数学描述为^[11]:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & \alpha_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, θ_i, α_i 分别为相邻 X 轴, Z 轴间的转角; d_i, a_i 分别为相邻 X 轴, Z 轴间的距离。

连杆参数受影响变化连续, A_i 的全微分为:

$$d\mathbf{A}_i = \frac{\partial \mathbf{A}_i}{\partial \theta_i} \Delta \theta_i + \frac{\partial \mathbf{A}_i}{\partial d_i} \Delta d_i + \frac{\partial \mathbf{A}_i}{\partial a_i} \Delta a_i + \frac{\partial \mathbf{A}_i}{\partial \alpha_i} \Delta \alpha_i. \quad (4)$$

由式(4)可以看出:机器人定位误差由角度和位置两类参数误差决定。机器人运动过程中温度升高,连杆和关节热膨胀变形,角度码盘均匀膨胀,角度参数受温度影响很小,可以忽略;连杆长度受热膨胀,位置参数受温度影响较大,是导致重复定位误差的主要因素。

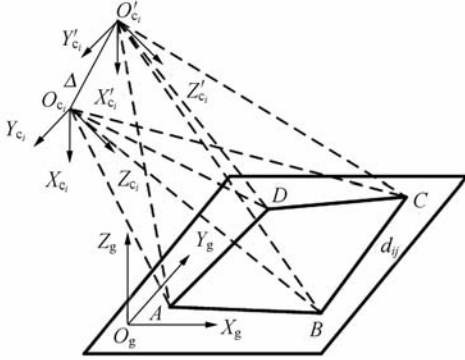


图 4 系统定位误差补偿

Fig. 4 Compensation of location error

机器人柔性电子检具系统定位误差补偿如图 4 所示, $O_g-X_g Y_g Z_g$ 为全局坐标系; A, B, C, D 为全局控制点; $O_{c_i}-X_{c_i} Y_{c_i} Z_{c_i}$ 为传感器示教位置坐标系; $O'_{c_i}-X'_{c_i} Y'_{c_i} Z'_{c_i}$ 为传感器实际位置坐标系; Δ 为位置误差; d_{ij} 表示控制点间的距离。

控制相机采集全局控制点图像,通过下式所述数学模型解算控制相机坐标系与全局坐标系的转换关系 \mathbf{R}_i 和 \mathbf{T}_i :

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} X_j^{(c_i)} \\ Y_j^{(c_i)} \\ Z_j^{(c_i)} \end{bmatrix} = \mathbf{R}_i \begin{bmatrix} X_j^{(g)} \\ Y_j^{(g)} \\ Z_j^{(g)} \end{bmatrix} + \mathbf{T}_i \\ \frac{X_j^{(c_i)}}{Z_j^{(c_i)}} = \frac{x_j - C_x + \Delta x_j}{f} \\ \frac{Y_j^{(c_i)}}{Z_j^{(c_i)}} = \frac{y_j - C_y + \Delta y_j}{f} \\ (X_j^{(c_i)} - X_k^{(c_i)})^2 + (Y_j^{(c_i)} - Y_k^{(c_i)})^2 + \\ (Z_j^{(c_i)} - Z_k^{(c_i)})^2 = d_{jk}^2 (j, k = 1, 2, \dots, n; j \neq k) \end{cases}, \quad (5)$$

式中, $(X_j^{(g)}, Y_j^{(g)}, Z_j^{(g)})$ 表示全局控制点 j 在全局坐标系下的三维坐标, $(X_j^{(c_i)}, Y_j^{(c_i)}, Z_j^{(c_i)})$ 表示测量位置 i 下控制点 j 在控制相机坐标系下的三维坐标, \mathbf{R}_i 和 \mathbf{T}_i 表示全局坐标系到测量位置 i 下控制相机坐标系的旋转矩阵和平移矩阵, (x_j, y_j)

表示控制点 j 的图像观测值, (C_x, C_y) 表示相机主点位置, $(\Delta x_j, \Delta y_j)$ 表示控制点 j 的图像畸变, f 表示相机有效焦距, d_{jk} 表示控制点 j 与控制点 k 间的空间距离, n 表示全局控制点数量。

全局控制点三维坐标 $(X_j^{(g)}, Y_j^{(g)}, Z_j^{(g)})$ 预先利用基于移动视觉的空间三维精密定位方法^[12]精确测得,相机内参数预先精确标定获得,图像坐标 (x_j, y_j) 通过测量图像提取获得,图像畸变由 (x_j, y_j) 和相机内参计算得到,上述参数均是已知量,带入式(5)求解 \mathbf{R}_i 和 \mathbf{T}_i 。

由于控制相机坐标系与结构光传感器坐标系间相对关系固定不变,传感器坐标系与示教位置的偏差与控制相机坐标系的偏差相等。示教机器人时,测量控制相机坐标系与全局坐标系的转换关系 $\mathbf{R}_i^{(0)}$ 和 $\mathbf{T}_i^{(0)}$ 作为零点,系统测量时实时测量控制相机坐标系与全局坐标系的转换关系 \mathbf{R}_i 和 \mathbf{T}_i ,比较两次结果的偏差,即可得到结构光传感器坐标系的偏差。然后,实时补偿传感器坐标系到全局坐标系的转换关系,控制系统整体测量精度。

4 实验

采用 ABB2400 型机器人作为柔性运动平台,将结构光传感器安装在机器人末端工具上,利用 Point Grey 公司 FL2G-50S5M/C 相机作为控制相机,固定于结构光传感器上,采用圆形定向反光标志(Retro-Reflective Target, RRT)设置全局控制点。测量车门覆盖件边缘 14 个关键点的空间三维坐标,测量结果与三坐标测量机(精度: $\pm 5 \mu\text{m}$)测量结果比对,如表 1 所示,其中 ΔD 是 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 的合成矢量大小。

由表 1 可知:系统测量 14 个关键点的空间三维坐标总体均方根误差(RMS)为 0.101 mm。

汽车覆盖件的尺寸公差一般为 $\pm 0.5 \text{ mm}$,传统检具方法通过插片式厚薄规或锥度尺进行人工判读,精度一般在 0.1 mm,单次测量一般耗时数分钟至数十分钟^[13];利用基于工业机器人的柔性电子检具系统其测量精度为 0.1 mm,能够满足实际应用对检测精度的要求,且单次测量节拍仅为几十秒,大大增强检具柔性,提高了测量自动化程度及测量速度。

表1 测量结果比对

Tab.1 Comparison of experiment results

(mm)

机器人柔性电子检具系统			三坐标测量机			对比结果			
X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔD
138.811	562.665	659.412	138.719	562.726	659.390	0.092	-0.061	0.022	0.113
207.317	805.187	512.336	207.386	805.132	512.296	-0.069	0.055	0.040	0.097
391.269	590.562	768.901	391.199	590.636	768.996	0.070	-0.074	-0.095	0.139
416.761	597.294	746.906	416.774	597.259	746.827	-0.013	0.035	0.079	0.086
497.071	825.542	351.909	497.048	825.528	351.817	0.023	0.014	0.092	0.095
577.229	529.120	258.930	577.207	529.024	258.998	0.022	0.096	-0.069	0.120
1046.844	589.011	1111.467	1046.929	589.013	1111.412	-0.085	-0.002	0.055	0.101
1047.369	-587.190	1111.303	1047.29	-587.236	1111.294	0.079	0.046	0.009	0.092
577.164	-528.902	258.180	577.137	-528.966	258.168	0.029	0.064	0.012	0.070
496.512	-825.032	351.942	496.591	-825.108	351.912	-0.079	0.076	0.030	0.113
416.133	-597.825	745.922	416.073	-597.837	745.933	0.060	0.012	-0.011	0.062
390.196	-590.590	767.416	390.110	-590.515	767.349	0.086	-0.075	0.067	0.132
206.833	-806.277	512.060	206.905	-806.117	512.035	-0.072	-0.016	0.025	0.078
138.745	-560.448	658.884	138.705	-560.500	658.931	0.040	0.052	-0.047	0.081

均方根误差:0.101

5 结 论

本文将视觉测量技术与工业机器人相结合,利用机器人柔性高、自动化程度高和视觉测量非接触、速度快、精度高、数字化程度高的特点,克服传统实物检具成本高、柔性差、自动化程度低的缺

点,实现了检具高精度、高柔性、高自动化测量。将摄影测量技术引入机器人柔性电子检具系统,利用单相机结合全局控制点技术实时测量机器人重复定位误差,补偿系统整体测量精度。实验表明:系统测量14个关键点空间三维坐标总体均方根误差为0.101 mm。

参考文献:

- [1] 江景涛,隋仁东.基于检测特征的车身覆盖件检具概念设计[J].机械设计与研究,2007,23(5):96-98.
JIANG J T, SUI R D. Concept design of checking fixtures for auto-body parts based on measuring features[J]. *Machine Design and Research*, 2007, 23(5):96-98. (in Chinese)
- [2] 胡彩旗,陈杰,林忠钦,等.车身零部件柔化测量检具的设计[J].轻型汽车技术,2002,(2):26-28.
HU C Q, CHEN J, LIN ZH Q, et al.. Design of flexible checking fixture for auto-body parts[J]. *Light Vehicle Technology*, 2002, (2):26-28. (in Chinese)
- [3] 刘常杰,杨学友,郝继贵,等.基于工业机器人白车身柔性坐标测量系统研究[J].光电子激光,2006,17

(2):207-210.

LIU CH J, YANG X Y, ZHU J G, et al.. Flexible coordinate measurement system based on industrial robot for car-body-in-white[J]. *Journal of optoelectronics Laser*, 2006, 17(2):207-210. (in Chinese)

- [4] 王一,任永杰,郝继贵,等.测量机器人在线动态温度误差补偿技术[J].光电子激光,2009,20(4):491-494.

WANG Y, REN Y J, ZHU J G, et al.. On-line and dynamic thermal error compensation for measuring robot[J]. *Journal of optoelectronics Laser*, 2009, 20(4):491-494. (in Chinese)

- [5] 王一,刘常杰,任永杰,等.通用机器人视觉检测系统的全局校准技术[J].光学精密工程,2009,17(12):3028-3033.

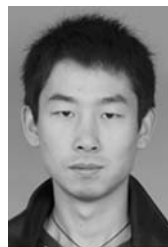
WANH Y, LIU CH J, REN Y J, et al.. Global

- calibration of visual inspection system based on universal robots[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(12):3028-3033. (in Chinese)
- [6] 薛婷, 孙梅, 张涛, 等. 线结构光视觉传感器测圆(类圆)孔中心两步法[J]. *机械工程学报*, 2008, 44(10): 206-209.
- XUE T, SUN M, ZHANG T, *et al.*. Two-step method for measuring center coordinates of spatial hole based on the structured light stripe vision sensor[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2008, 44(10):206-209. (in Chinese)
- [7] 薛婷, 吴斌, 张涛, 等. 基于线结构光视觉传感器的圆孔定位误差分析[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(4):624-629.
- XUE T, WU B, ZHANG T, *et al.*. Analysis on round-hole orientation error based on structured light stripe vision sensor[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(4):624-629. (in Chinese)
- [8] 邹媛媛, 赵明扬, 张雷, 等. 结构光视觉传感器误差分析与结构分析[J]. *仪器仪表学报*, 2008, 29(12): 2605-2610.
- ZOU Y Y, ZHAO M Y, ZHANG L, *et al.*. Error analysis and structural analysis of structured-light visual sensor for seam tracking[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2008, 29(12): 2605-2610. (in Chinese)
- [9] 孙军华, 吴子彦, 刘谦哲, 等. 大视场双目视觉传感器的现场标定[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(3): 633-640.
- SUN J H, WU Z Y, LIU Q ZH, *et al.*. Field calibration of stereo vision sensor with large FOV[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(3): 633-640. (in Chinese)
- [10] 刘震, 张广军, 魏振忠. 一维靶标的多视觉传感器全局校准[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(11):2274-2280.
- LIU ZH, ZHANG G J, WEI ZH ZH. Global calibration of multi-vision sensor based on one dimensional target[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11):2274-2280. (in Chinese)
- [11] 刘常杰, 段宇, 王一, 等. 机器人柔性坐标测量系统现场校准技术研究[J]. *机械工程学报*, 2010, 46(18):1-6.
- LIU CH J, DUAN Y, WANG Y, *et al.*. Study on the field calibration technology of robot flexible coordinate measurement system[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2010, 46(18):1-6. (in Chinese)
- [12] 郝继贵, 郭磊, 叶声华. 现场条件下大空间三维精密定位原理与方法[J]. *光学学报*, 2009, 29(7): 1872-1876.
- ZHU J G, GUO L, YE SH H. Principle and implementation method of three-dimensional precision positioning in large field working space[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(7): 1872-1876. (in Chinese)
- [13] 朱正德. 汽车覆盖件检具的原理及应用[J]. *工具技术*, 2000, 3(1):30-34.
- ZHU ZH D. Principle and application of testing fixtures for covering parts of cars[J]. *Tool Engineering*, 2000, 3(1):30-34. (in Chinese)

作者简介:



郝继贵(1970—),男,安徽无为,人,博士,教授,博士生导师,1991年、1994年于国防科技大学分别获得学士、硕士学位,1997年于天津大学获得博士学位,主要从事激光及光电检测技术方面的研究。E-mail:jiguizhu@tju.edu.cn



郭磊(1984—),男,吉林辉南人,博士研究生,2006年、2008年于天津大学分别获得学士、硕士学位,主要从事激光及光电检测技术方面的研究。E-mail:guolei@tju.edu.cn



刘常杰(1973—),男,山东人,副教授,硕士生导师,1996年、1999年、2002年于天津大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事视觉检测技术方面的研究。E-mail:liuchangjie@tju.edu.cn



叶声华(1934—),男,湖北沙市人,教授,博士生导师,院士,主要从事激光及光电测量技术方面的研究。E-mail:shhuaye@tju.edu.cn



林嘉睿(1984—),男,福建泉州人,博士研究生,2006年于天津大学获得学士学位,主要从事激光及光电检测技术方面的研究。E-mail:linjr@tju.edu.cn

●下期预告

基于相机阵列获取元素图像的集成 成像抗串扰参数设计

袁小聪,徐于萍,杨 勇,赵 星,步 敬

(南开大学 现代光学所光电信息技术教育部重点实验室,天津 300071)

集成成像中通常是用微透镜阵列来记录场景的三维信息,但微透镜阵列却无法保证高质量成像,若用相机阵列代替微透镜阵列获取元素图像,则要对元素图像的大小、间距等参数优化处理,才能得到理想的抗串扰三维显示。本文通过分析集成成像原理,讨论了元素图像间距,微透镜阵列间距,焦距等几个重要参数之间的关系,证明了对于固定的微透镜阵列,元素图像间距是场景重构时的重要因素,系统分析了元素图像阵列放置在焦面或焦面以外的物像关系,以及元素图像间距的作用,针对上述因素对成像串扰及景深的影响,结论为在焦面成像时的串扰最小,景深最大。