

结构光内参数和机器人手眼关系的同时标定

解则晓,牟楠,迟书凯,陈文柱
(中国海洋大学工程学院,山东 青岛 266100)

摘要:为实现对复杂工件的快速在线测量,构建了基于结构光的机器人视觉测量系统,提出一种该系统中结构光测头内参数和手眼关系同时标定的方法。标定时,在机器人工作空间内固定一个平面靶标作为参考物,精确控制机器人末端带动结构光测头做平移运动和变位姿运动,获取不同位姿下的靶标图像。通过平移运动,同时标定结构光测头内参数和手眼关系中的旋转矩阵;通过变位姿运动,同时标定摄像机内参数和手眼关系中的平移向量。考虑到旋转矩阵和平移向量分离标定会存在误差累积,采用非线性优化方法对手眼关系做进一步优化。对标准球及工件进行扫描测量实验,实验结果表明该标定方法简单高效,能保证测量系统具有较高的测量精度,适用于工业现场。

关键词:结构光测头;内参数;手眼关系;标定;机器人

中图分类号:TN249 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.09.016

Simultaneous calibration for the structured light intrinsic parameters and hand-eye relation of robot

XIE Ze-xiao, MU Nan, CHI Shu-kai, CHEN Wen-zhu
(Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: In order to realize rapid online measurement of complex workpiece, a robotic flexible optical measurement system based on structured light is established. A simultaneous calibration method for the intrinsic parameters of structured light sensor and hand-eye relation of robot is proposed. In the calibration process, a planar target is fixed as reference substance in the robot workspace. The robot end-effector is accurately controlled to perform translational motions and pose-changed motions, and the camera captures the image of the planar target in different poses. The intrinsic parameters of the structured light sensor and hand-eye rotation matrix are calibrated simultaneously by the translational motions. The camera intrinsic parameters and the hand-eye translation vector are calibrated simultaneously by the pose-changed motions. Considering the error propagation between the orientation and position calibration, the hand-eye relationship is further optimized. Scanning experiments are carried out for a standard sphere and a complex workpiece. The results show that the calibration method is simple, efficient and has high accuracy, and it is well suitable for the calibration work of on-line measurement system in industrial scenes.

Key words: structured-light sensor; intrinsic parameters; hand-eye relation; calibration; robot

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61571408)资助。

作者简介:解则晓(1968-),男,博士,主要从事机器视觉,机器人控制方面的研究。E-mail: xiezexiao@ouc.edu.cn

收稿日期:2017-02-07; **修订日期:**2017-02-23

1 引言

在航空、汽车、船舶等工业制造领域,外形复杂、由自由曲面构成的零部件不可或缺。对此类工业产品的质量检测,需要快速准确地获取其表面三维点云数据,并完成点云数据与计算机辅助设计(CAD)模型的比对^[1]。将结构光测头安装于串联机器人末端,构成基于结构光的机器人视觉测量系统。该系统具有灵活高效的特点,通过控制机器人运动,即可完成对目标物体的快速扫描测量。要实现上述测量过程,需要预先对结构光内参数和机器人手眼关系进行标定。现有的方法利用不同的标定装置,分别对结构光内参数和手眼关系进行求解。结构光内参数的标定方法主要有细丝散射法^[2]、锯齿靶标法^[3]、交比不变法^[4]等。手眼关系的标定按标定参考物可分为:有限场景点^[5]、平面靶标^[6]和标准球^[7-9]。上述方法均通过几次纯平移和旋转运动分别求解旋转矩阵和平移向量,两步法分离求解,会存在误差累积的问题。

分别标定结构光内参数和手眼关系的方法,其内参数在安装结构光测头前进行标定。后续的手眼关系标定和测量过程中,认为结构光内参数保持不变。但在实际应用中内参数会受振动、温度等因素的影响而改变,直接导致测量精度无法保证。因此在结构光测头安装后仍需进行内参数的标定。结构光内参数和手眼关系的同时标定方法,克服了内参数变化影响测量精度的问题,简化了系统标定过程。吉峰^[10]和郭新年^[11]等人在同时标定方面做出了尝试,但均采用有限个场景点进行标定,方法较复杂,没有达到简化标定过程的目的;同时也存在难以求解摄像机畸变系数的问题。

为此,本文提出了一种基于平面靶标的同时标定结构光内参数和手眼关系的方法。该方法大大简化了机器人视觉测量系统的标定过程,仅通过机器人末端的平移、变位姿两组运动,同时得到摄像机内参数、结构光内参数和手眼关系,且能保证较高的测量精度。以 ER3A-C60 型机器人为实验平台进行标定和测量实验,验证了该方法的有效性。

2 结构光传感器和手眼关系模型

2.1 结构光传感器模型

结构光传感器的数学模型如图 1 所示。其中, $o_c x_c y_c z_c$ 为摄像机坐标系, OXY 为像面坐标系, ouv 为图像坐标系。激光平面 π_s 上一点 P 在像面上的理想投影点 P_u , 考虑镜头畸变影响, P 的实际成像点为 P_d 。

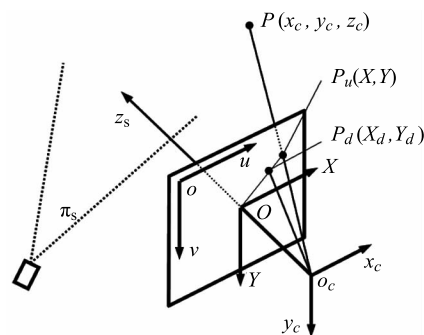


图1 结构光传感器数学模型

Fig. 1 Mathematical model of the structured light sensor

P_d 在像面坐标系下的坐标 (X_d, Y_d) 和其在图像坐标系下的坐标 (u_d, v_d) 满足以下关系:

$$\begin{cases} X_d = (u_d - u_0)/N_x \\ Y_d = (v_d - v_0)/N_y \end{cases} \quad (1)$$

式中, N_x, N_y 分别为像平面 X 轴和 Y 轴方向单位距离的像素数, (u_0, v_0) 为主点坐标。

根据以下畸变模型^[12]对畸变进行校正,则理想投影点 P_u 在像面坐标系下的坐标 (X, Y) 为:

$$\begin{cases} X = X_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) + 2p_1 X_d Y_d + p_2(r^2 + 2X_d^2) \\ Y = Y_d(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4) + p_1(r^2 + 2Y_d^2) + 2p_2 X_d Y_d \end{cases} \quad (2)$$

其中, k_1, k_2 分别为一阶、二阶径向畸变系数; p_1, p_2 为切向畸变系数; $r^2 = X_d^2 + Y_d^2$ 。

假设点 P 在摄像机坐标系下的坐标为 (x_c, y_c, z_c) , 摄像机焦距为 f , 根据透视投影模型有:

$$\begin{cases} X = f \frac{x_c}{z_c} \\ Y = f \frac{y_c}{z_c} \end{cases} \quad (3)$$

令 $X_n = \frac{X}{f}, Y_n = \frac{Y}{f}, (X_n, Y_n)$ 即为 P 点的归一化图像坐标, 根据式(3)有:

$$\begin{cases} x_c = X_n z_c \\ y_c = Y_n z_c \end{cases} \quad (4)$$

设光平面 π_s 在摄像机坐标系下的方程为:

$$z_c = Ax_c + By_c + C \quad (5)$$

其中, A, B, C 为方程系数。

由公式(4)、(5)可得 P 点在摄像机坐标系下的坐标为:

$$\begin{aligned} z_c &= \frac{-C}{AX_n + BY_n - 1} \\ x_c &= \frac{-CX_n}{AX_n + BY_n - 1} \\ y_c &= \frac{-CY_n}{AX_n + BY_n - 1} \end{aligned} \quad (6)$$

根据以上推导过程,由 P 的实际成像点 P_d 在图像坐标系下的坐标 (u_d, v_d) 和焦距 f ,主点坐标 (u_0, v_0) ,畸变系数 k_1, k_2, p_1, p_2 ,可得 P 的归一化图像坐标 (X_n, Y_n) 。在此基础上,根据式(6),已知光平面在摄像机坐标系下的方程即可得知空间某一点 P 在摄像机坐标系下的坐标。 $f, (u_0, v_0), k_1, k_2, p_1, p_2$ 即为需要标定的摄像机内参数,光平面方程系数 A, B, C 即为待标定的结构光内参数。

2.2 手眼关系模型

将由摄像机和激光器组成的结构光测头安装于六自由度机器人末端,构成机器人视觉测量系统。按图2建立坐标系,其中 B 为机器人基坐标系, W 为世界坐标系, E 为机器人末端坐标系, C 为摄像机坐标系, T_6 表示由 B 到 E 的变换, T_x 表示 E 到 C 的变换。坐标系 W 与坐标系 B 重合。

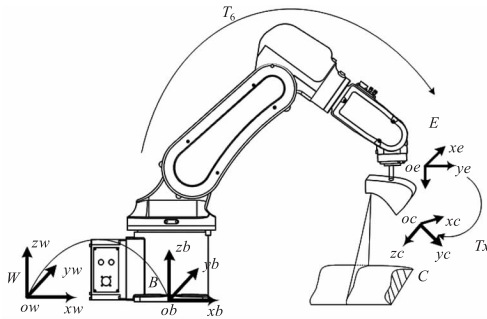


图2 测量系统坐标系

Fig. 2 The measurement system with its coordinate system assignment

由2.1节中的分析,激光器投射出的光平面与被测物体相交形成光条,根据摄像机内参数及结构光内参数即可得到被测点在摄像机坐标系 C 下的坐标 P_c 。控制机器人运动到不同位姿,通过式(7)将被测点的坐标统一到世界坐标系即机器人基坐标系下,便可获得被测物体的三维数据。

$$P_b = T_6 T_x P_c \quad (7)$$

式中, P_b 为被测点在坐标系 B 下的坐标; T_6 可由机器人正向运动学得到; T_x 为待标定的手眼关系。

用旋转矩阵和平移向量来表示坐标系间的转换关系,并采用非齐次坐标,式(7)可写成:

$$P_b = R_6(R_x P_c + t_x) + t_6 \quad (8)$$

其中, R_x 和 t_x 分别为手眼关系 T_x 中的旋转矩阵和平移向量; R_6 和 t_6 分别为转换关系 T_6 的旋转矩阵和平移向量。

3 结构光内参数和手眼关系同时标定方法

3.1 平移运动确定结构光内参数和旋转矩阵 R_x

本文采用如图3(a)所示的平面靶标,靶标上侧

110 mm × 20 mm 的长方形区域通过均匀喷涂白色哑光漆进行处理,用于投射激光条;下侧是光刻工艺制造的标定板,板上等间距分布有26行、31列的圆形标定点,圆点的直径均为2 mm,两点之间的间距为3.2 mm,使用时从标定板下面向上投射背光。将靶标固定于机器人工作空间内,控制机器人末端执行器带动结构光测头做平移运动,图3(b)为摄像机平移到某一位置时获取的图像,通过图像处理得到圆形标定点的图像坐标,并和其在靶标坐标系下的坐标一一对应;同时利用灰度重心法提取激光条中心。

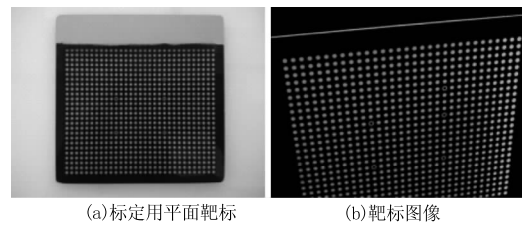


图3 靶标图

Fig. 3 The image of target

靶标上每一列点的连线和激光条形成了一系列交点,这些交点均为光平面上的点,将其作为标定结构光内参数的标定特征点。如图4所示, Q 是激光条直线 MN 和发光点连线 AC 的交点, q 是其在图像上的对应点。 A, B, C 均为靶标上的点,其在靶标坐标系 o, x_t, y_t, z_t 下的坐标已知, a, b, c 分别是 A, B, C 在图像上的对应点。 a, b, c, q 的图像坐标可以通过图像处理获得。根据交比不变原理^[4],可计算出 Q 点在靶标坐标系下的坐标。

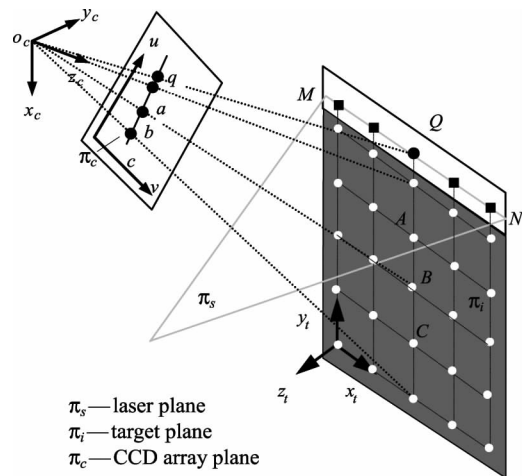


图4 根据交比不变原理获取共线点

Fig. 4 Generating collinear points according to the rule of cross-ratio invariance

同理,可计算出其他交点在靶标坐标系下的坐标。通过张^[13]的方法获得摄像机外参数—靶标坐

标系与摄像机坐标系的转换矩阵后,得到一组共线点在摄像机坐标系下的坐标。控制机器人带动结构光测头平移到不同位置,获得光平面上若干组标定特征点在摄像机坐标系下的坐标,便可拟合摄像机坐标系下的光平面方程,得到结构光内参数。

在本文标定过程中,靶标固定,靶标坐标系原点在世界坐标系下的坐标保持不变。改变机器人的位姿,多次测量靶标坐标系原点在世界坐标系下的坐标,机器人运动到第 i 个和第 j 个位置时,根据式(8),有:

$$\begin{cases} P_b = R_{6i}(R_x P_{ci} + t_x) + t_{6i} \\ P_b = R_{6j}(R_x P_{cj} + t_x) + t_{6j} \end{cases} \quad (9)$$

将式(9)消去 P_b ,得到关于旋转矩阵 R_x 和平移向量 t_x 的矩阵方程:

$$R_{6i}(R_x P_{ci} + t_x) + t_{6i} = R_{6j}(R_x P_{cj} + t_x) + t_{6j} \quad (10)$$

基于此,平移运动中获取的图像数据可以用于标定旋转矩阵 R_x 。由于机器人末端做平移运动,则有 $R_{6i} = R_{6j}$,此时式(10)可转换为仅关于旋转矩阵 R_x 的矩阵方程:

$$R_x(P_{ci} - P_{cj}) = R_{6i}^T(t_{6j} - t_{6i}) \quad (11)$$

式中, R_{6i}, t_{6i}, t_{6j} 可从机器人控制器直接读出; P_{ci}, P_{cj} 分别为机器人末端运动到第 i 和第 j 个位置时,靶标坐标系原点在摄像机坐标系下的坐标,即此时靶标坐标系与摄像机坐标系转换矩阵中的平移向量。

平移多次构成形如 $R_x A = B$ 的矩阵方程,用奇异值分解的方法可求出 R_x 。为避免求解 R_x 时出现奇异性,至少应控制机器人运动到4个位置,且不能仅沿一个方向平移。

3.2 变位姿运动确定平移向量 t_x 和摄像机内参数

通过3.1节中的方法求解 R_x 后,控制机器人末端做变位姿运动,式(10)可转换为

$$(R_{6i} - R_{6j}) t_x = R_{6j} R_x P_{cj} - R_{6i} R_x P_{ci} + t_{6j} - t_{6i} \quad (12)$$

机器人末端改变位姿,运动到多个位置,构成形如 $A t_x = B$ 的方程,用最小二乘法可求出 t_x 。

利用变位姿运动中获取的图像数据,通过张正友标定法^[13]同时求解摄像机内参数:焦距 f ;主点坐标 (u_0, v_0) ;畸变系数 k_1, k_2, p_1, p_2 。

3.3 手眼关系的非线性优化

旋转矩阵 R_x 和平移向量 t_x 分离标定,容易产生误差累积的问题。为解决这个问题,采用非线性优化算法对手眼关系进行优化。当靶标固定于机器人工

作空间某个位置,结构光测头随机器人末端运动时,靶标坐标系与机器人基坐标系之间的转换关系固定不变。由此,当靶标位于工作空间中第 k 个位置时,可得式(13):

$$T_{6i}^k T_x T_{ci}^k = T_{6j}^k T_x T_{cj}^k \quad (13)$$

式中, T_{ci}^k 和 T_{cj}^k 分别为测头运动到第 i 和第 j 个位置时,摄像机坐标系和靶标坐标系之间的转换关系; T_{6i}^k 和 T_{6j}^k 分别为测头运动到第 i 和第 j 个位置时,机器人基坐标系和末端坐标系之间的转换关系。

将靶标在机器人工作空间内移动 m 个位置,针对每个靶标位置,结构光测头做 n 次变位姿运动,共可建立 $m \times (n-1)$ 个形如式(13)的方程。优化问题转换为:通过这 $m \times (n-1)$ 个方程,确定 R_x 和 t_x 的最优解。建立如下目标函数:

$$F(R_x, t_x) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m \sum_{j=2}^n \|T_{6i}^k T_x T_{ci}^k - T_{6j}^k T_x T_{cj}^k\|_F^2 \quad (14)$$

式中, $\|T_{6i}^k T_x T_{ci}^k - T_{6j}^k T_x T_{cj}^k\|_F$ 为矩阵的 F -范数,优化的目标使 $F(R_x, t_x)$ 最小。

以3.1、3.2节中求出的手眼关系为初值,采用Levenberg-Marquardt算法进行非线性优化,即可得到手眼关系的最优解。

4 实验

本实验使用安徽埃夫特智能装备有限公司ER3A-C60型六轴工业机器人;结构光测头中摄像机选用Watec公司生产的WAT-902B模拟摄像机,并搭配焦距为12 mm的工业镜头。搭建完成的机器人视觉测量系统实物图如图5所示。

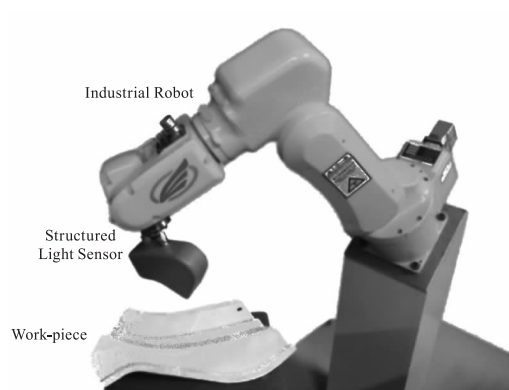


图5 测量系统实物图

Fig. 5 Measuring system

4.1 标定实验

本文对基于结构光的机器人视觉测量系统进行标定的实验步骤如下:

(1)在关闭激光的情况下,控制机器人带动结

构光测头做变位姿运动 15 次,使其姿态可以适应摄像机内参数标定。拍摄 15 幅图像,得到标定点的图像坐标和对应的靶标坐标系坐标;

(2)控制机器人带动结构光测头平移 10 次:前 6 幅在打开激光的情况下进行,摄像机可以同时看到靶标和激光条;后 4 幅关闭激光,仅看到靶标即可。拍摄 10 幅图像,得到标定点的图像坐标和对应的靶标坐标系坐标以及光条中心的图像坐标;

(3)利用第(1)步中获取的数据,标定摄像机内参数;

(4)根据摄像机内参数,利用第(2)步中获取的前 6 幅图像数据标定结构光内参数;10 幅图像数据标定旋转矩阵 R_x ;

(5)根据 R_x 和摄像机内参数,利用第(1)步中获取的数据标定平移向量 t_x ;

(6)在关闭激光的情况下,将靶标移动到其他 4 个位置,每个位置机器人末端做 10 次变位姿运动,获取 10 幅靶标图像,利用 3.3 节中的优化方法对手眼关系进行优化。

按照上述标定步骤,得到摄像机内参数为:

$$f = 12.4989, u_0 = 365.0376, v_0 = 286.0954$$

$$k_1 = -0.1257759034, k_2 = 0.111218445003$$

$$p_1 = 0.0004272930, p_2 = -0.00157248612959;$$

结构光内参数为:

$$A = 0.002896; B = 1.471076; C = 146.28873;$$

优化后的手眼关系为:

$$T_x = \begin{bmatrix} 0.576470 & 0.662199 & -0.478722 & 3.397666 \\ -0.817108 & 0.470121 & -0.333647 & 12.285740 \\ 0.004117 & 0.583505 & 0.812099 & 124.273756 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.2 精度验证实验

完成系统标定工作后,对如图 6 所示半径为 20.0357 mm 的标准球进行测量,验证结构光内参数和手眼关系的标定结果。

为验证系统参数的标定结果,在机器人工作空间内,将标准球放置在 8 个不同位置进行扫描测量。测量时先对机器人进行示教,记录扫描的起始点和终止点,确定扫描路径,然后完成自动扫描。图 7(a)和图 7(b)分别为标准球放置在其中某一位置时获得的三维点云数据和点云偏差分布图。

图 8(a)和图 8(b)为 8 个位置下测得的点云到拟合球面的最大偏差。由此可以看出,点云到拟合球面的最大误差在 ± 0.25 mm 以内,平均误差在 $\pm$

0.05 mm 以内。这说明文中标定出的结构光内参数和手眼关系能够在不同位置,以不同姿态扫描的球面均同心。

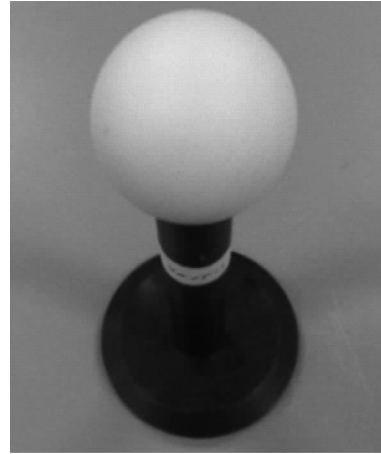
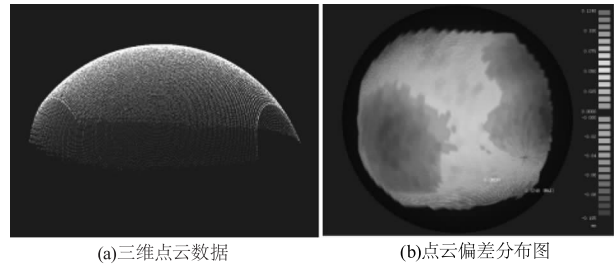


图 6 实验用标准球

Fig. 6 Standard ball in experiment

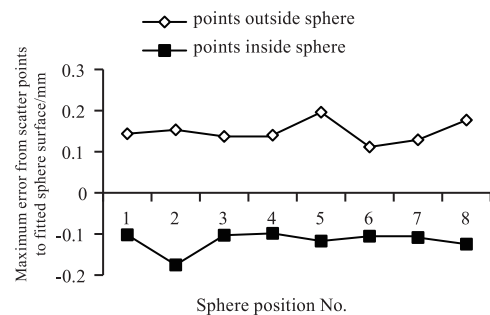


(a)三维点云数据

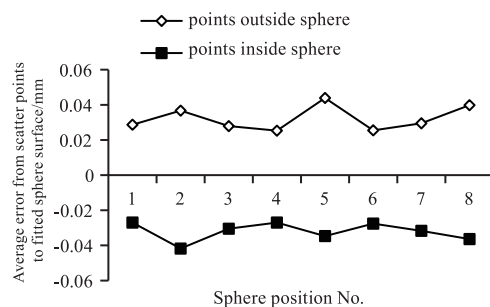
(b)点云偏差分布图

图 7 点云数据及偏差分布图

Fig. 7 Point cloud data and deviation distribution



(a)不同位置下的点云偏差最大值



(b)不同位置下的点云偏差平均值

图 8 点云到拟合球面的最大偏差

Fig. 8 The max deviation of point cloud to fitted sphere surface

图9为8个位置下测得的点云拟合球体半径与标准球真实半径的对比。由图可以看出测量标准球半径的绝对误差在0.25 mm以内,参数标定后,系统测量精度较高,可以满足应用需求。

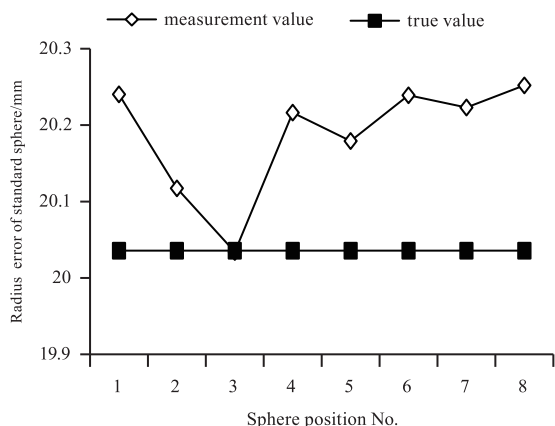
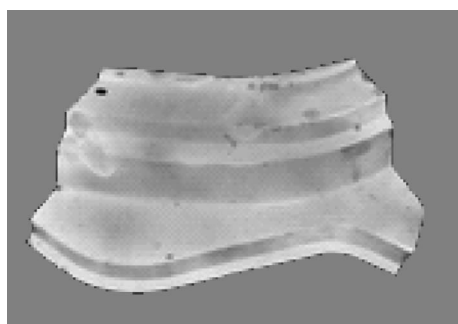


图9 不同位置下测得的标准球半径

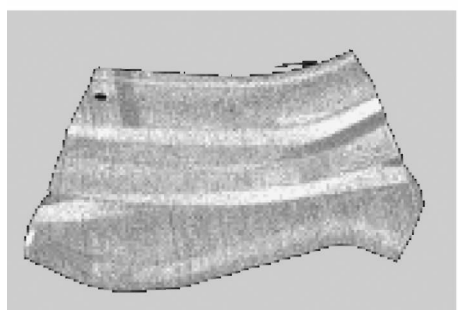
Fig. 9 Standard ball radius measurement in different poses

4.3 工件扫描测试

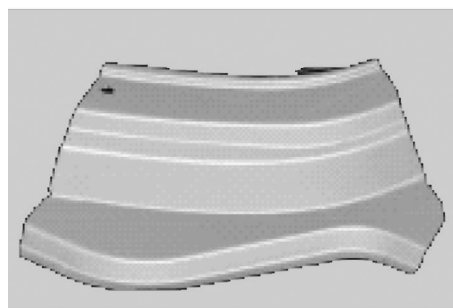
对如图10(a)所示的工件进行扫描测量,其大小约为400 mm × 200 mm × 50 mm。在机器人示教模式下,规划合理的扫描路径,之后进行自动扫描,整个扫描过程在3 min之内完成,测得工件的三维点云和渲染效果图如图10(b)和图10(c)所示。通过上述实验,说明此种测量方式具有灵活高效的特点,可以适用于汽车钣金件等工业产品的现场扫描测量。



(a)被测工件实物图



(b)被测工件三维点云



(c)使用Imageware软件生成的渲染效果图

图10 实验结果

Fig. 10 The experimental results

5 结论

本文构建了一种基于结构光的机器人视觉测量系统,并针对系统标定问题提出了手眼关系和结构光内参数同时标定的方法,减小了因结构光内参数变化对整体测量精度的影响。该方法基于机器人的平移和变位姿运动标定手眼关系中的旋转矩阵和平移向量。在平移过程中,通过平面靶标,基于交比不变性同时标定结构光内参数;变位姿运动中,同时获得摄像机内参数。因此大大简化了标定过程,通过两组运动即可标定出所有的系统参数,方便快捷。通过测量标准球的实验结果可以看出该方法具有较高的测量精度;对具有典型特征的工件进行测量实验,整个过程简单高效,说明本文提出的标定及扫描方法适用于工业现场,对实现面向制造现场的在线自动化测量有重要意义。

参考文献:

- [1] LIU Xiaoli, PENG Xiang, YIN Yongkai, et al. 3D auto-inspection for large thin-wall object[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(3): 120-126. (in Chinese)
刘晓利, 彭翔, 殷永凯, 等. 大尺寸薄壳物体表面的三维光学自动检测[J]. 光学学报, 2011, 31(3): 120-126.
- [2] R Dewar. Self-generated targets for spatial calibration of structured-light optical sectioning sensors with respect to an external coordinate system[C]. Robots and Vision '88 Conference Proceedings, 1988: 5-13.
- [3] DUAN Fajie, LIU Fengmei. A new accurate method for the calibration of line structured light sensor[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2000, 21(1): 108-110. (in Chinese)

- 段发阶,刘凤梅.一种新型线结构光传感器结构参数标定方法[J].仪器仪表学报,2000,21(1):108-110.
- [4] Zhou F Q,Zhang G J. Complete calibration of a structured light stripe vision sensor through planar target of unknown orientations[J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(1):59-67.
- [5] XU Haixia,WANG Yaonan,WAN Qin, et al. A self-calibration approach to hand-eye relation of robot[J]. Robot, 2008,30(4):373-378. (in Chinese)
许海霞,王耀南,万琴,等.一种机器人手眼关系自标定方法[J].机器人,2008,30(4):373-378.
- [6] Sung H,Lee S,Kim D. A robot-camera hand/eye self-calibration system using a planar target[C]. 44th International Symposium on Robotics, 2013:1-4.
- [7] LI Aiguo,MAZi,WANG Wenbiao. Calibration for robot-based measuring system[J]. Control Theory and Applications, 2010,27(5):663-667. (in Chinese)
李爱国,马孜,王文标.结构光视觉测量机器人的标定[J].控制理论与应用,2010,27(5):663-667.
- [8] YANG Shourui,YIN Shibin,REN Yongjie, et al. Improvement of calibration method for robotic flexible visual measurement systems [J]. Opt. Precision Eng, 2014, 22(12):3239-3246. (in Chinese)
杨守瑞,尹仕斌,任永杰,等.机器人柔性视觉测量系统标定方法的改进[J].光学精密工程,2014,22(12):3239-3246.
- [9] YinS B,Ren Y J,Guo Y, et al. Development and calibration of an integrated 3D scanning system for high-accuracy large-scale metrology [J]. Measurement, 2014, 54(6):65-76.
- [10] JI Feng, GUO Xinnian, CAO Qinjie, et al. Self-calibration approach for structured light eye-hand system based on active vision [J]. Process Automation Instrumentation, 2015,36(2):8-11. (in Chinese)
吉峰,郭新年,曹沁婕,等.基于主动视觉的结构光手眼系统自标定方法[J].自动化仪表,2015,36(2):8-11.
- [11] GUO Xinnian, BAI Ruilin, WANG Xiuping. Calibration approach for hand-eye matrix and light plane based on active vision [J]. Computer Engineering and Applications, 2015,51(19):56-60. (in Chinese)
郭新年,白瑞林,王秀平.基于主动视觉的手眼矩阵和光平面标定方法[J].计算机工程与应用,2015,51(19):56-60.
- [12] M Ahmed, A Farag. Nonmetric of calibration of camera lens distortion; differential methods and robust estimation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005,14(8):1215-1230.
- [13] Zhang Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000,22(11):1330-1334.