

基于棋盘格的线结构光平面标定方法

李瑞,熊显名

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林541004)

摘要: 线结构光的三维扫描测量系统中,除摄像机标定之外线结构光平面的标定也是至关重要的环节,因为其最终得到的三维坐标的准确性有直接的关系。由于传统的方法大多需要借助其它设备,且价格昂贵、步骤复杂、效率低下。因此,文章提出了一种全新的线结构光平面标定方法。该方法仅仅使用棋盘格作为平面靶标,在保证线结构光投射到棋盘格的前提下,平面靶标可自由移动位置。通过在摄像机坐标系中提取激光平面上的特征点,并利用这些特征点计算出激光平面的方程,从而得出激光平面与空间坐标系的位置关系。实验证明该方法成本低、步骤简单、效率高、具有很好的通用性。

关键词: 计算机视觉; 结构光平面; 三维扫描测量; 标定; 平面靶标

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1671-1041.2017.04.002
文章编号: 1671-1041(2017)04-0006-04

A Calibration Method of Line Structure Light Plane Based on Checkerboard

Li Rui, Xiong Xianming

(School of Electronic and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guangxi, Guilin, 541004, China)

Abstract: In addition to the calibration of the line structure, the calibration of the light plane is also very important because of its direct relationship to the accuracy of the resulting three-dimensional coordinate system. Most of the traditional methods need to use other equipment, and expensive, complex steps, inefficient. This paper presents a new calibration method for line structured light plane. This method only uses the checkerboard as the planar target, and it can move freely when the line structure light is projected onto the checkerboard. The laser point of the laser plane is extracted in the camera coordinate system and the equation of the laser plane is calculated by using these feature points to obtain the positional relation between the laser plane and the space coordinate system. The experimental results show that the method is simple, efficient, and cost-effective, and has good versatility.

Key words: computer vision; structured light plane; Three-dimensional scanning measurements; calibration; planar target

0 引言

近年来在计算机视觉测量领域中,借助光电传感器件的三维测量技术越来越成为人们关注的焦点,该技术通过计算机视觉测量原理和光电传感器对立体空间中的被测物体进行测量,进而得到其三维轮廓信息。该项技术具有非接触、快速、准确的特点。因此,在逆向工程、在线检测、医学、考古等领域中的应用越来越广泛^[1]。但是,在进行三维扫描之前,首先要对线结构光平面参数进行标定。目前,许多的专家学者都对线结构光平面参数标定进行了大量研究。R.Dewar和K.W.James在1988年提出了拉丝的标定方法。该方法使用几根细金属丝按照一定间距分别固定在支架上,

把线结构光投射到细金属丝上,计算出金属丝上的线结构光点的空间坐标,然后利用这些点拟合光平面的方程^[2],这种方法对标定物的精度和金属丝的定位精度要求非常高,不宜推广。徐光佑等人在1995年提出了交比不变法,是通过获取激光平面与标定靶上的3个以上已知的精确共线特征点所在的空间直线方程,并利用交比不变的原理求解光平面与靶标相交的点的坐标^[3]。然后把靶标移动多个位置后,可以获得多组非共线的点。最后根据这些坐标点拟合空间平面得到激光平面的参数。使用这种方法坐标提取精度不高,鲁棒性差。段发阶等人在2000年提出了齿形标靶法,该方法将线结构光投射到一个锯齿状的靶标上,激光平面与平行的棱边相交,交点在世界坐标系中的位置是唯一确

收稿日期: 2017-02-22

基金项目: 广西自然科学基金(2014GXNSFGA118003)。

作者简介: 李瑞(1989-),男,河南周口人,在读研究生,研究方向:计算机视觉、视觉测量。

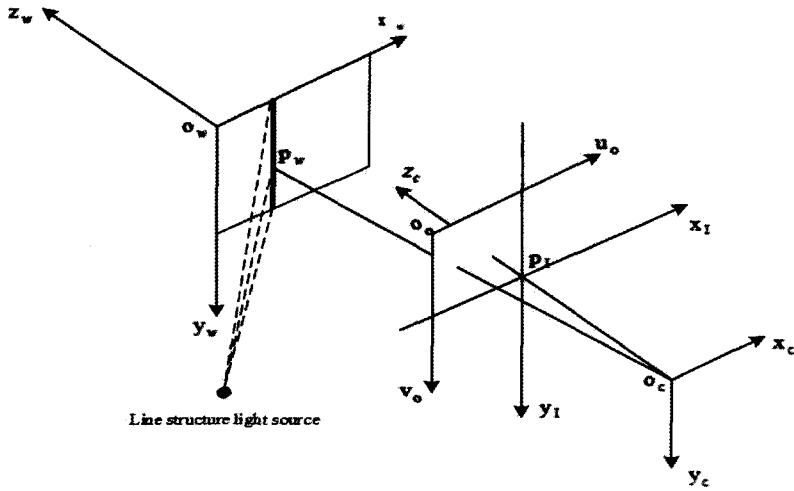


图1 摄像机小孔透视变换原理图

Fig.1 Pinhole perspective transformation schematic diagram of camera

定的。所以通过提取图像上的每个棱块两边的光条线的交点坐标,计算出交点在世界坐标系下的坐标,并拟合空间中的激光平面方程^[4]。由于投射激光散射等原因,导致了这种方法误差较大精度低。

文章结合张正友标定方法^[5],提出了一种全新的线结构光平面标定方法,该方法就像相机标定一样,只需要使用一个棋盘格来作为平面靶标。在保证线结构光与棋盘格相交的前提下,棋盘格可以在两台相机的可视范围内自由移动位置。

1 线结构光三维扫描系统建模

线结构光三维扫描系统的透视成像的过程通常是近似看作小孔成像模型来建立。图1为摄像机小孔透视变换原理图。在此基础之上,分别建立摄像机坐标系、图像坐标系、世界坐标系,图1中,棋盘格平面与世界坐标系中的坐标面 $x_w o_w y_w$ 重合且该坐标系中的 $o_w z_w$ 轴与其垂直。

图1中, $o_c x_c y_c z_c$ 是摄像机坐标系, $o_o u_o v_o$ 是图像坐标系, $o_w x_w y_w z_w$ 是世界坐标系。由线结构光源投射出的线结构光平面与棋盘格平面相交^[6],交线为直线 L 。 P_w 是直线上任意一点。根据机器视觉测量原理知,世界坐标系与图像坐标系之间的转换关系为:

$$s \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & c & u_o \\ 0 & \beta & v_o \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [R \quad T] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = A [R \quad T] \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 s 为比例系数。矩阵 A 称为内部参数, (u_o, v_o) 为理想情况下,图像坐标系原点 O_i 在计算机图像坐标系下的坐标, α 和 β 分别为摄像机在 x 、 y 方向上的归一化焦距, c 为摄像机在 x 轴和 y 轴之间的不垂直因子,矩阵 $[R, T]$

为外部参数^[7],其中 R 和 T 分别表示世界坐标系与摄像机坐标系之间的旋转和位移关系。

另外,由于棋盘格平面与世界坐标系中的 $o_w x_w y_w$ 坐标平面重合,所以棋盘格平面在世界坐标系下 z 轴坐标 z_w 为0。令 r_i 表示旋转矩阵 R 的第 i 列。因此,针对棋盘格上的任意一点,它的计算机图像坐标和世界坐标的转换关系可以^[8]为:

$$s \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 H 是一个 3×3 的矩阵,被称为从世界坐标系到计算机图像坐标系的单应矩阵。

2 线结构光平面的标定

基于线结构光的三维扫描测量系统中,在进行线结构光平面标定之前,首先要对双目相机做好标定。根据标定完成之后的参数,对畸变图像进行恢复、单应矩阵求解以及特征点坐标提取。

文中采用如图2所示的光平面标定方法,将线结构光投射到棋盘格的垂直方向的非边界区域。用左右两台摄像机分别采集图像,先提取线结构光条的中心点和棋盘格的角点坐标,这样左右图像中的交点分别相互对应,减少了特征点匹配带来的误差提高了标定精度,然后根据每一行的棋盘格角点坐标拟合每一行棋盘格角点所在的直线 l_1 ,根据提取的光条中心坐标里用最小二乘法拟合光条中心直线 l_2 。并把直线的左右对应的交点 P_{li} 和 P_{ri} 带入摄像机的非线性模型,计算出光条直线和每一行棋盘格角点所在直线的交点三维坐标 $P(x_i, y_i, z_i)$,计算不同位置处采集图像

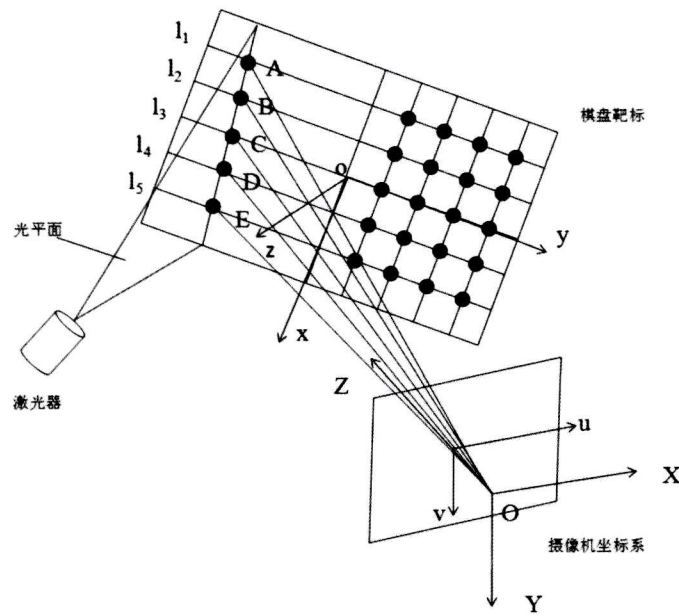


图2 基于双目视觉的激光平面标定
Fig.2 Laser plane calibration basing on binocular vision

中的交点坐标。

因为所有的交点都处于光平面上。因此,根据提取的多组交点坐标借助最小二乘法拟合光条点所在的激光平面方程为:

$$z_w = Ax_w + By_w + C \quad (3)$$

其中A, B, C为光平面方程参数。光平面参数确定以后,每次采集获得的光条图像,提取中心坐标(X, Y)以后,便可以根据摄像机内部参数和光平面方程求解出其对应的空间三维坐标(x_w, y_w, z_w)。

由于拍摄了多幅图像所以把所有的交点带入表达式中组成一个方程组为:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \dots \\ z_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

使用最小二乘法求解该方程组解得参数A, B, C的值,即可得到光平面的全部参数,完成激光平面的标定。

3 激光平面标定实验

采用大恒公司生产的DH-HV1310Fx型号的相机,分辨率为130万像素,镜头焦距12mm,线结构激光器搭建该系统进行试验。为了提高软件的运行速度,只使用棋盘格中的部分,每一格的间距为20mm。在光平面标定过程中,确保线结构光平面与棋盘格的相交线能都在图像上观测到,如图3所示。

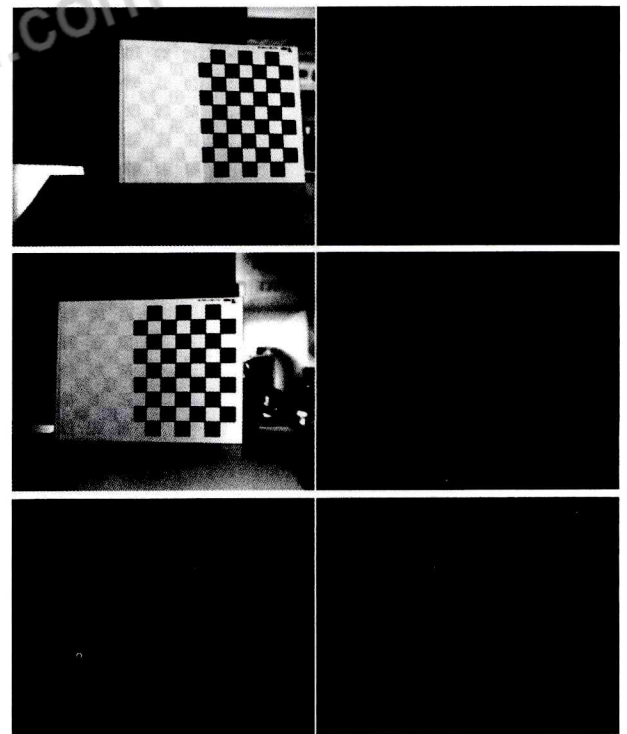


图3 激光平面的靶靶图像
Fig.3 Repeating the measurement of laser plane parameters

使用摄像机标定是使用的棋盘靶靶,左右相机同时拍摄多个位置处的棋盘格靶靶的图像,根据摄像机拍摄的图像,计算出线结构光平面与棋盘靶靶的角点坐标,根据张正友的方法对摄像机标定,再利用其结果计算出交点的空间坐标,再根据表达式建立线性方程组,求解光平面的方程为:

$$z=-8.0773x-0.10152y+1146.38 \tag{5}$$

光平面标定完成后，为了验证标定的精度如何，对激光平面进行多次重复标定，得到的结果如表 1 所示。

表 1 重复测量激光平面参数
Table 1 Repeat the measurement of laser plane parameters

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
A	-8.077	-8.019	-8.023	-8.101	-8.064	-8.075	-8.088	-8.096
B	0.104	0.117	0.098	0.120	0.099	0.128	0.097	0.101
C	1146.	1146.	1146.	1146.	1146.	1146.	1146.	1146.
	380	319	391	378	365	390	377	389

然后将棋盘格固定放置在可精确微调的微动装置上，打开激光器，将线结构光投射到棋盘格上，提取激光平面与棋盘格的交点，并计算出其空间坐标，然后通过微调微动装置使其移动一定的距离，如此反复计算不同位置处的交点空间坐标，计算出相应点的空间位移与实际的移动值进行比较。比较的结果如表 2 所示。

表 2 激光平面标定偏差
Table 2 Laser plane calibration deviation

移动	交点	空间坐标 (mm)	移动后坐标 (mm)	实际 位移 (mm)	误差 (mm)
棋 盘 格 移 动 2.1mm	P ₁₁	(45.175,-81.0 53,789.713)	(45.181,-81.0 10,791.781)	2.068	-0.032
	P ₁₂	(45.384,-61.3 87,786.016)	(45.397,-61.40 1,787.947)	1.931	-0.169
	P ₁₃	(45.597,-41.7 05,782.313)	(45.613,-41.7 26,784.217)	1.904	-0.196
	P ₁₄	(45.807,-22.0 14,778.610)	(45.829,-22.04 4,780.591)	1.981	-0.119
	P ₁₅	(46.017,-2.2 94,774.902)	(46.039,-2.31 4,776.884)	1.983	-0.117
	P ₁₆	(46.017,-2.29 4,774.902)	(46.271,17.4 05,773.120)	1.927	-0.173
	P ₁₇	(46.438,37.0 94,767.795)	(46.455,37.1 14,769.775)	1.980	-0.120
	P ₁₈	(46.649,56.7 74,763.795)	(46.689,56.8 11,765.731)	1.937	-0.163

通过分析可以看出，激光平面的标定误差在 0.2mm 以

内。该方法基于双目视觉利用棋盘格标靶对激光平面进行标定，操作简单，精度满足要求，可以适用于不同场合下的光平面标定。

4 结 论

建立了基于线结构光三维扫描测量系统的数学模型，提出了一种新的应用于结构光三维扫描测量系统中的光平面标定方法。该方法操作简便、成本低，而且对靶标无过高的要求。在标定过程中所需要的特征点全部为线结构光平面与棋盘格相交所成的点，此类点数量较多，因而会大大提高标定效率；另一方面，通过对大量特征点拟合而得到的结构光平面方程，在很大程度上可以减小测量误差。经过试验证明，该方法原理简单、操作简便、精度高，可以适用于不同场合下的结构光平面标定。

参考文献：

[1] 马颂德,张正友. 计算机视觉-计算理论和算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[2] 郭奎. 双目视觉在激光测量装置中的应用研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2014.

[3] 王颖, 张圆. 一种基于平面靶标的圆结构光标定方法[J]. 红外与激光工程, 2013.

[4] 刘剑, 石磊, 栾宝泉. 大尺寸空间线结构光视觉测量的多摄像机标定[R]. 深圳: 城市轨道交通技术和管理创新论坛, 2013.

[5] Zhengyou Zhang. A flexible New Technique For Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence,2000,22(11): 1330-1334.

[6] Lenz R K , Tsai R Y.Technique for calibration of scale factor and image center for high accuracy 3-D machine vision metrology, IEEE Trans on PA MI-10, 1988: 713-720 .

[7] Grosky W I, Tamburino L A. A unified approach to the linear camera calibration problem .IEEE Trans on PAMI -12, 1990, 663-671 .

[8] Dewar R. Self-generated targets for spatial calibration of structured light optical sectioning sensors with respect to an external coordinate system. Robots and Vision'88 Conf. Proceedings,1988:5-13.

菲尼克斯电气集团领导访问中国仪器仪表学会

2017年3月10日，德国DKE主席、菲尼克斯电气集团CTO-Roland Bent，菲尼克斯电气中国公司总裁顾建党、研发副总裁杜品圣、战略副总裁杨斌、行业合作部经理张冠伟等领导到访中国仪器仪表学会。中国仪器仪表学会常务副理事长吴幼华、常务副秘书长张彤、副秘书长李明远等人员接待了菲尼克斯访问团的来访。

会议围绕着双方在2017年的多项合作进行了深层次、多方面的讨论。会议首先由学会常务副理事长吴幼华向到访人员做学会的简单介绍。其次，双方就一带一路项目对接、国际交流合作等问题进行交流与探讨，并就菲尼克斯参加多国仪器仪表展以及同期活动、世界智能制造大会等的细节问题进行商榷。

本次会谈在既定目标、计划实施等方面达成了共识，在学会常务副理事长吴幼华的总结中圆满结束。此次会议促进了双方友好合作，并为开展后续工作奠定了良好的基础！



知网查重限时 7折 最高可优惠 120元

本科定稿，硕博定稿，查重结果与学校一致

立即检测

免费论文查重：<http://www.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

阅读此文的还阅读了：

1. [线结构光标定方法综述](#)
2. [基于点阵标定板的视觉测量系统的标定方法](#)
3. [采用棋盘格靶标的全自动相机标定方法](#)
4. [一种基于棋盘格的高精度分区域相机标定方法（英文）](#)
5. [基于主动视觉的手眼矩阵和光平面标定方法](#)
6. [基于激光追踪仪的精密转台角度标定方法](#)
7. [采用棋盘格模板的摄像机标定新方法](#)
8. [基于线结构光的视觉系统标定方法改进研究](#)
9. [基于棋盘格的摄像机和多普勒雷达标定方法](#)
10. [基于PLC控制的标定功能及实现方法](#)
11. [基于MATLAB的相机标定方法](#)
12. [线结构光参数的简易标定方法](#)
13. [基于线阵CCD的光谱标定方法研究](#)
14. [钢轨匹配中的线结构光平面标定方法研究](#)
15. [基于视觉测量的多光平面的再标定](#)
16. [基于激光追踪仪的精密转台角度标定方法](#)
17. [视觉测量中光平面的标定方法研究](#)
18. [基于平面棋盘格标定板的三维空间标定新方法](#)
19. [基于Labview的图像测量技术标定方法](#)
20. [基于ADAMS/View的虚拟振动台的标定方法研究](#)
21. [基于MATLAB的相机标定方法](#)
22. [基于线纹尺的线结构光视觉传感器标定新方法](#)
23. [基于消失点约束的多相机标定方法](#)
24. [基于棋盘格的线结构光平面标定方法](#)
25. [连铸坯视觉定重线结构光平面调整方法研究](#)

- [26. 一种基于线结构光的标定方法](#)
- [27. 基于RSSI测距的室内目标定位方法](#)
- [28. 基于几何方法的CT系统参数标定](#)
- [29. 线结构光双目传感器钢坯轮廓测量标定方法](#)
- [30. 棋盘格标定对于二维平面比例尺标定的影响](#)
- [31. 一种基于棋盘格模板单目摄像机高精度标定方法](#)
- [32. 基于标准棋盘格的图像校准方法](#)
- [33. 基于MATLAB的DPF再生速率模型及标定方法的研究](#)
- [34. 线结构光三维建模相机标定方法](#)
- [35. 三维空间中线结构光与相机快速标定方法](#)
- [36. 基于可达阵的一种Q矩阵标定方法](#)
- [37. 新型三维视觉测量结构光平面标定方法](#)
- [38. 基于精密运动的激光平面标定方法](#)
- [39. 基于主动视觉标定线结构光传感器中的光平面](#)
- [40. 一种基于摄像雷达的雷达标定实现方法](#)
- [41. 基于线纹尺的线结构光视觉传感器标定新方法](#)
- [42. 简易棋盘格图像标定系统应用](#)
- [43. 基于 TOA 和 TDOA 的三维无源目标定位方法](#)
- [44. 基于MATLAB的相机标定方法](#)
- [45. 基于梯形棋盘格的摄像机和激光雷达标定方法](#)
- [46. 基于线结构光的视觉系统标定方法改进研究](#)
- [47. 基于三线结构光的相机平面标定方法研究](#)
- [48. 一种改进棋盘格的相机全自动标定算法研究](#)
- [49. 基于LCD和改进棋盘格模板的摄像机标定](#)
- [50. 一种基于双目视觉的手眼标定方法](#)