

基于多线阵相机的空间定位方法与实现技术

Space-location Method and Realization Technology Research Based on Many One-Dimensional Cameras

刘艳梅 董再励 孙茂相 魏阳杰

(中国科学院沈阳自动化研究所机器人学开放研究实验室 沈阳110015)

(沈阳工业大学信息科学与工程学院 沈阳110023)

Abstract A new space-location vision system based on one-dimensional cameras is presented. The high speedness and high precision are the features of this position measurement system. In this paper, the measurement methods based on space geometry theory and the structure of the system are introduced. The line-correspondences method is used to calibrate the camera systems. Last, the experiments are given to show the efficiency of this system on position measurement of space targets.

Keywords Stereovision system, Camera calibration, Position measurement

1 引言

近年来,随着科学技术的发展,高精度空间定位与轨迹跟踪技术在先进制造、医疗服务、科学研究等领域所具有的应用价值日趋凸现。基于视觉的空间定位方式因其良好的环境与对象的适应性而受到各研究和应用领域的普遍重视,一直是感知传感技术的研究“热点”。视觉空间定位是通过摄像机观测目标物体,运用几何投影关系,计算其在参考系中的位姿状态与运动轨迹,可对作业过程实行各种位姿检测,为位姿控制与监控操作提供必要的信息,因而成为用途极为广泛的高新技术之一。常规的视觉空间定位方法采用投影几何机理,根据视觉系统的配置和检测对象的不同可使用结构光法、视角法、单目或双目立体视觉法等。

上述视觉定位方法主要采用面阵 CCD 相机,其主要特点为输出是图像信号,信息丰富,便于提取各种所需的信息。但由于易受环境光噪声的影响以及数据量与复杂性的影响,实际应用受到很大限制。因此,近年来有人采用线阵 CCD 构成位姿测量系统(典型应用为医疗导航系统)。线阵相机可以使用柱面镜头,由于柱面镜头曲面复杂程度低,因此畸变小,分辨率高,采样速率高,容易实现快速高精度检测的要求。因此对实现目标物体的实时高精度位姿测量具有更明显的实用意义。另一种视觉位置测量方式可采用 PSD 相机,PSD 是一种光电位置检测器件,可直接输出位置信号,因此在仅需空间点目标位置测量的应用场合,由 PSD 构成的视觉定位系统更具有实用意义。本文介绍了基于线阵相机的空间定位原理、系统结构及实现技术,并介绍了应用线阵 PSD 构成的位置测量系统及其实验结果。

2 多线阵相机的定位原理

2.1 柱面镜头光学定位机理

使用线阵摄像机做空间位置测量时,一般采用柱面镜头采集图像信号,故成像面上的任一点在镜头曲率方向上对应为一个投影面,即线阵镜头上的任一投影点都可以定义其相应的一个空间平面,见图1。

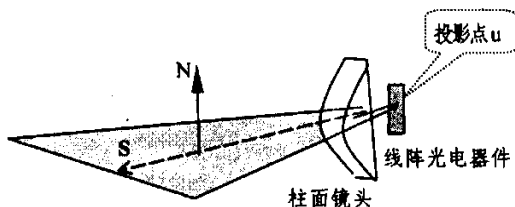


图1 成像点与投影面在柱面镜头作用下的成像关系

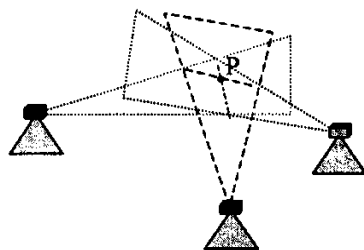


图2 定位原理图

图中, S 表示一空间平面,其位置由 S 的法向 N 和点 u 决定,在平面 S 上的任一点,其在柱面镜头上的投影点都落在 u 上。 S 的平面方程可写为:

$$A(x-x_0)+B(y-y_0)+C(z-z_0)=0 \quad (1)$$

或

$$Ax+By+Cz+D=0 \quad (2)$$

其中, A, B, C 为 S 的法向 N 的三个分量, x_0, y_0, z_0 是 S 所在的参考坐标系 W 的原点坐标, 当 N 和 W 确定后, S 就确定了。由几何定理可知, 若已知空间这样三个非平行的平面, 就可以计算出其交点(唯一)位置。因此, 利用多线阵摄像机确定空间目标点的位置, 就是建立三个这样定义的平面, 其系统结构见图2示意图。这样由图2所示的三个线阵相机所获取的点 P 的投影构成可解的几何关系和系统标定参数 M , 通过求交点解出空间目标点在 W 下的坐标。由式(2)三个这样的方程可写成 $BX=D$, 其中 X 为目标点的空间坐标, B, D 由三个测量装置的标定参数矩阵 M 和采集到的相机的输出数据 U 给出, 于是有

$$X = (B^T B)^{-1} B^T D \quad (3)$$

2.2 测量系统参数标定

摄像机参数标定过程就是确定摄像机的内部参数和摄像机坐标与世界坐标系间的位姿变换关系的过程。在使用多线阵摄像机建立的定位系统中, 同样需要对测量系统进行标定。其位姿关系如图3所示。定义摄像机坐标系 C , 图像坐标系 I , 参考坐标系 W , 参数标定矩阵 M 。则根据针孔映射原理和投影关系, 可推导出空间目标点 P 与其在相机成像面上的投影点 U 的关系可写成式(4), 整理后为 $AM=U$ 。当采样点足够时, 参数矩阵 M 可由(5)式求出

$$\begin{bmatrix} u \\ t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M = (A^T A)^{-1} A^T U \quad (5)$$

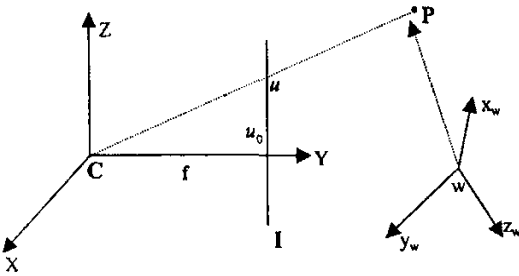


图3 空间点在各坐标中的位置关系

3 系统构成

本文介绍的基于多线阵相机的视觉定位系统由一个安装在三维移动平台上的LED红外调制信号源 P 、三个配置柱面镜头的线阵PSD像机、PSD信号处理电路、多路A/D数据采集板和数据处理计算机组成。整个系统安放在室内, 系统的稳定性主要取决于信号处理电路的质量, 其分辨率取决于A/D的分辨率, 如图4所示。

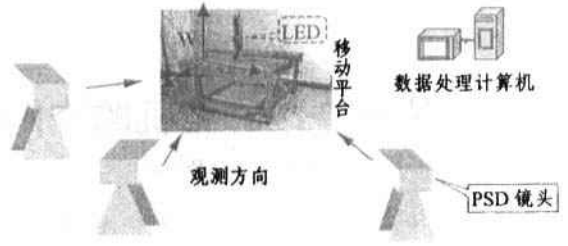


图4 实验中所用的空间定位系统

PSD的位置测量原理如下:

PSD是极化的半导体器件, 输出为点位置量。投影光投到PSD表层时, 在端点产生具有相应位置关系的电流, 这个电流可以被用以进行位置计算, 依据如图所示几何位置关系, 可得投影光在PSD投影点的位置(输入)与端点产生的相应位置关系电流(输出)转换关系可由一统一公式表示:

$$\frac{x_2 - x_1}{x_2 + x_1} = \frac{2x}{L} \quad (6)$$

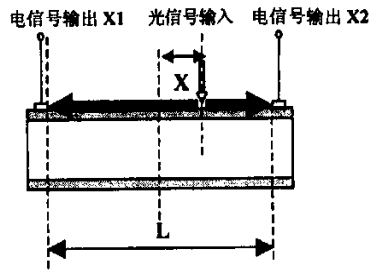


图5 PSD结构原理图

线阵PSD产生两路连续模拟量, 经信号处理后由式(6)可得检出的位置信号 x 即 U 。

由于PSD器件的输出是连续的模拟量信号, 有很高的分辨率, 由于输出单一, 响应速度快, 而且可以对目标光信号进行调制, 使系统具有很强的抗干扰能力和环境适应性。基于上述特点, 本系统采用线阵PSD作为视觉传感器的空间定位系统。线阵PSD接收信号光源的波长范围在320~1100nm, 当波长为920nm时, 响应达到峰值。因此本文介绍的系统采用波长为900nm的LED红外光源。

4. 实验

本实验在实验室环境下进行, 三个线阵PSD摄像机固定分布如图4, 距移动平台为10~15m, 镜头视场角为22°。LED红外目标点在空间范围为80 * 80 * 35cm 三维移动平台(定义为 W)上移动。实验中, 采用本文介绍的系统构成和标定方法, 利用线阵PSD检出的位置信号 U , 构建测量面, 求出标定参数矩阵 M , 然后运用定位计算方法, 解出目标点在

W 下的空间位置。当目标点在平台上移动时,该测量系统可实时计算其在世界坐标系中的三维坐标。实验步骤如下:

1)系统标定:首先对每个 PSD 的光电信号进行满量程线性化处理,以建立线性投影关系。然后在 W 中移动 LED 目标多次,构成多个空间点对三个摄像机进行测量参数标定。利用公式(4)求得三个摄像机的标定参数矩阵 M 分别为:

$$m1 = \begin{bmatrix} 0.000308 & 0.000118 & -0.018361 \\ 0.529306 & 0.001391 & 0.002336 \\ -0.005310 \end{bmatrix}$$

$$m2 = \begin{bmatrix} -0.010895 & -0.009816 & -0.001183 \end{bmatrix}$$

$$m3 = \begin{bmatrix} 1.277766 & -0.005963 & 0.001785 \\ -0.001842 \\ 0.012507 & -0.007891 & 0.000400 \\ -0.284323 & 0.007915 & 0.002287 \\ -0.003795 \end{bmatrix}$$

2)定位计算:利用标定好的系统,观测目标点在三维移动平台上的随机移动,利用公式(3)对目标点进行静态定位,实际定位结果如图6所示(本图给出实测18个点的测量结果)。图中(x,y,z)分别为目标点在世界坐标系中的实际位置,(x',y',z')为对应目标点的实验定位结果。

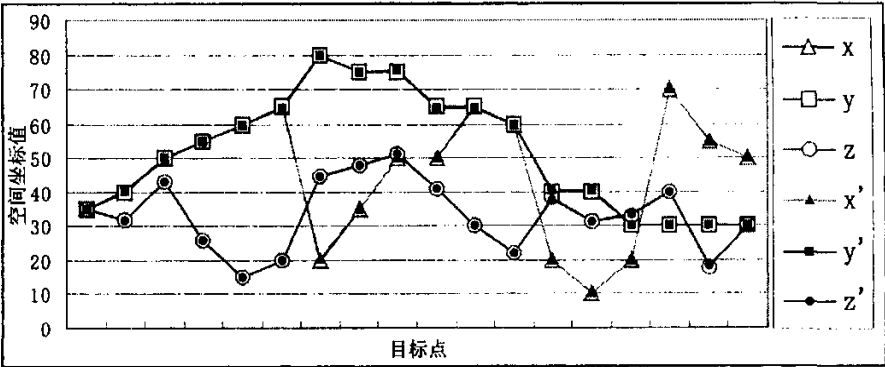


图6 定位误差检验结果

实验定位误差(单位 cm):X 方向最大偏差为 0.283, 最小为 0.047, 均方根误差为 0.031, Y 方向最大偏差为 0.310, 最小为 0.029, 均方根误差为 0.029, Z 方向最大偏差为 0.272, 最小为 0.0003, 均方根误差为 0.020, 合成位置偏差平均值为 0.273。由于信号采集处理基本是硬件实现,计算量很小,采样速率主要取决于数值滤波。

结论 上述研究表明,利用线阵 PSD 相机对目标点进行空间位置测量是可行的。其基本原理是使用目标点在光学测量装置的投影构建出三个非平行的测量面,以满足位置测量的几何关系。并通过对摄像机系统的参数标定,运用位姿变换关系完成空间

定位。实验验证了此类定位方法与实现技术解决空间定位问题上的有效性、合理性和可实现性。

参考文献

- 1 游素亚,徐光佑. 立体视觉研究的现状与进展. 中国图像图形学报,1997,2(1):17~23
- 2 马颂德,张正友. 计算机视觉. 科学出版社,1998
- 3 Polanski A, Wojciechowski K, Borek A. Stereo Calibration by Planar Grid Lines, CAIP'Proceedings, Springer-Verlag, 1995
- 4 Wei G Q, Ma S D. Implicit and Explicit Camera Calibration: Theory and experiments. IEEE Trans. PAMI, 1994, 16: 469~480
- 5 董再励,等. 一种基于视觉的移动机器人定位系统. 中国图像图形学报, 2000, 5(8): 688~692