

一种基于 PSD 的机器人动态轨迹测量系统的研制

王宏玉

(中国科学院沈阳自动化研究所, 110015)

摘要 本文介绍了一个基于 PSD 的机器人动态位置测量系统, 描述了系统的构成, 并对该系统中的标定方法, 数据处理方法和为提高系统的性能所采取的硬件措施进行探讨, 本系统通过长期考机和初步应用, 表明了它具有良好的可靠性和有效性。

关键词: PSD 内参数 外参数 系统标定

1 引言

本系统是基于 PSD 的相机交会式、非接触测量系统。相机交会式测量系统的原理是: 从两个视点测量目标的二维坐标, 然后再利用三角关系计算出目标点的三维空间坐标。两维坐标的测量精度和响应速度(测量元部件, 数据处理)是系统的核心问题。

CCD 摄像器件是常被应用的, 求取目标质心等图象处理技术可以利用。优点是不受测试现场环境中的杂散光目标影响, 缺点是其精度和响应速度要受器件分辨率、扫描速度等限制。应用图象处理技术要花费一定开销, 如果用线阵器件代替面阵器件, 可以提高分辨率, 但是, 要另外增加两套光学系统。

PSD 器件是一种新型光电位置传感器件, 在国外已被用于交会式测量系统中, 其特点是:

① PSD 不成象, 且光点的位置与聚焦无关, 这样处理电路比较简单, 但易受杂光的干扰。

② 宽的频谱响应, 波长为 300nm—1100nm; 快的响应速度, 上升时间为 10 μ s。这样, 可以采用调制光源-带通接受的方法, 减少杂光的干扰, 提高系统的抗干扰能力。

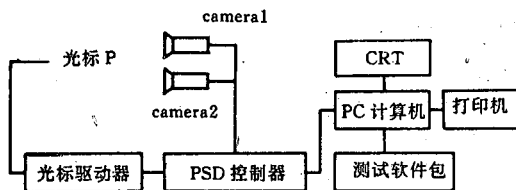
③ 高的位置线性度和位置分辨率, S1300 非线性度为 0.3%, 其位置绝对分辨率为 6nm, 相对精度可达 1/4000。

④ 能量和位置同步测量, 且位置与能量无关, 目标距离的变化, 不影响测试精度。

为了充分利用 PSD 器件的特点, 提高测试系统的性能, 这就要求在信号予处理电路、采样电路、信号处理方法, 相机和系统标定等方面解决一系列问题。

2 系统构成

由 PSD 构成的测试系统如图 1 所示。



系统的技术指标为:

分辨率: 1/4096

精度: 视场的 1/2000

视场角: 17' \times 17'

测量距离: 3—5m

采样频率: 6.25kHz

图 1 由 PSD 构成的测试系统

姿态采样频率: 300Hz

3 系统标定

标定的目的是建立目标点的三维空间坐标及与它们对应的计算机二维图象坐标之间的关系。一旦建立了这种关系, 三维坐标信息可以通过二维坐标信息推算出来, 反之亦然, 目前比较流行的标定方法, 大致上可分为两种, 即内外参数法和直接线性变换法, 内外参数法是将相机的参数分成两大类: 内参数和外参数, 内参数是透镜内部的几何和光学特性, 外参数是相机与被测目标以及两个相机之间的相对位置和姿态特性。直接线性变换法不区分相机的内外参数, 将它们看成是一体的, 只在测量前进行一次标定即可, 内外参数法对实验设备和技术要求较高, 可望取得较高的精度, 直接线性变换法比较简单易行, 但精度不如前者。

经典的直接变换法, 没有考虑透镜的畸变, 这是造成精度差的主要原因, 尤其选用 PSD 作为敏感元件, 畸变就更为突出, 因此我们提出了考虑透镜畸变的直接线性变换法, 即首先对透镜畸变和 PSD 畸变进行修正, 得到修正后的数据, 再用修正的数据进行直接线性变换法的参数标定。

在进行修正时, 需知道光轴在 PSD 平面上的位置坐标 (C_x, C_y) , 这个参数在内外参数法中是最关键的参数之一, 它直接影响系统的测试精度, 我们这里用它来修正, 求图象中心 (C_x, C_y) 的方法主要有直接光轴法, 变焦距法和径向对准与模型匹配技术, 基于我们的实验条件, 采用了“移动相机法”, 如图 2 所示:

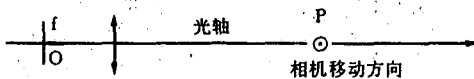


图 2 移动相机法

目标点 P 位于光轴上, 且相机移动方向与光轴平行, 这时前后移动相机, 则 P 点的象面坐标不变, 这时的象位置坐标即是图象中心 (C_x, C_y) , 如果不满足上述条件, 前后移动相机, P 点的象坐标就要发生变化, 根据变化趋势, 可调节相机姿态以及目标点 P 的位置, 直到满足上述条件。我们在坐标镗床上实现了上述的方法, 准确地找到了图象中心, 知道了图象中心后采用分区方法对整个象平面进行修正, 求得修正参数。

4 系统软件及数据处理方法

整个系统的软件是用 C 语言编写的, 全部采用菜单结构, 系统的软件主要由以下几个模块组成, 如图 3 所示:

系统标定: 建立目标三维空间坐标和相机二维平面坐标之间的关系。

系统构成: 用文字和图形介绍测量系统的硬件组成, 特点及使用方法。

实时显示: 显示目标在视场的位置和能量。

静态测量: 测量目标静止时的位置和姿态。

轨迹采样设置: 调整轨迹测量时的采样间隔, 点数和轨迹的条数。

轨迹跟踪: 在机器人控制器的触发下按采样的设置自动采集数据。

数据后处理: 对轨迹数据进行畸变修正, 滤波, 三维重构, 图形显示, 求速度与加速度等。

在实现上述功能的过程中, 采用了如下几种数据处理方法: 最小二乘法求方程组, 叠加滤波方法和平滑滤波方法。

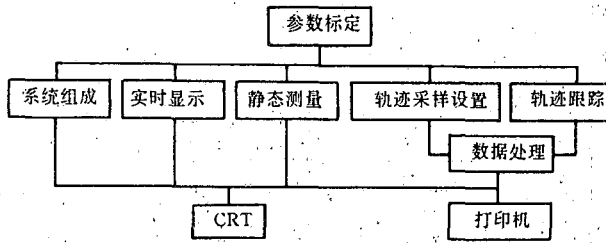


图3 软件模块

4.1 最小二乘法

为了获得可信赖的结果和得到相应的误差估计,测量的次数总是多于未知数的个数.最小二乘法可从一组相互“矛盾”的误差方程中求出最可靠的结果.这种方法用于系统参数的标定,修正参数的求解以及三维空间的重构.

4.2 迭加平均

物理量的测量常受到噪声的影响,如果噪声的频谱高于或低于信号的频谱,可以用一般模拟滤波技术把有用信号从噪声中分离出来.如果信号与噪声的频谱相重叠,一般模拟滤波技术不再适用,这时用信号迭加平均方法可以有效地改善信噪比,迭加平均方法适用于周期信号或重复信号,它将各个周期的信号与噪声同时迭加后平均,它要求信号具有随机性和重复性,且信号与噪声互不相关,迭加平均有三种形式:线性迭加,归一化和指数平均,它的有效性与其迭加次数有关.

混有噪声的信号: $f(t) = s(t) + n(t)$ 噪声的有效值为 $\overline{n(t)}$.

每 T 秒取样一次,对第 i 个点的第 k 次取样值为: $f(t_k + iT) = s(t_k + iT) + n(t_k + iT)$.

若对第 i 个点取样 m 次,利用隐性迭加平均则有:

$$\sum_{k=1}^m f(t_k + iT) = \sum_{k=1}^m [s(t_k + iT) + n(t_k + iT)] = ms(t_k + iT) + \sqrt{m} * \overline{n(t)}$$

信噪比改善 \sqrt{m} 倍.

这种方法适用于要求很大信噪比改善,或追求最大精度,本系统的静态测量满足上述条件,采用线性迭加平均后信噪比明显改善,静态测量空间分辨率可达到 0.1mm(目标与相机距离 3-4m,若距离小,分辨率还可以提高).

4.3 平滑滤波

信号的平滑处理也是一种去除噪声的有效方法,它要求被处理波形比较平滑.在信号平滑处理中,可以采用时域内直接处理信号波形的移动平滑法或先把信号通过付立叶变换到频率域再处理的频域平滑法.

在本系统的动态测试中,采用了移动平滑法,使动态测量精度达到 0.3mm.

把 n 个点组成的离散信号用 $X(i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 表示, $W(i)$ 表示由 $N=2m+1$ 点组成左右对称的函数 $j=-m, \dots, -1, 0, 1, \dots, m$. 在点 i 的平滑值 $Y(i)$ 用下式表示:

$$Y(i) = 1/W \sum_{j=-m}^m X(i+j)W(j) \quad i = m+1, m+2, \dots, n-m$$

其中

$$W = \sum_{j=-m}^m W(j)$$

平滑处理结果 $Y(i)$ 为观测信号滤形 $X(i)$ 与权函数的卷积, 显然移动平均法最重要的问题就是选择权函数 $W(j)$, 测量系统中采用多项式适合法又称最小二乘法, 求出权函数 $W(j)$.

5 硬件措施

为了提高测试系统的性能, 在硬件设计上采用了一些新的方法.

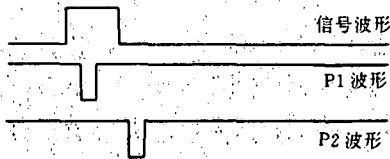
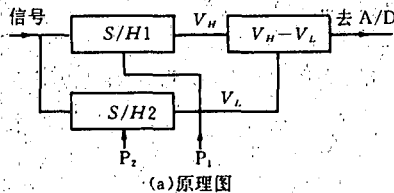


图 4 同步检波

传统的取数方式是采用 8 位并行 I/O, 由于 A/D 是 12 位的, 则要取两次, 先低 8 位后高 4 位. 最后再拼成一个数, 其程序如下:

```

...
K1 = INPORTB(0 × 320)    低 8 位
K2 = INPORTB(0 × 321)    高 4 位
K2 = K2 & OF           屏蔽
K = K2 * 256 + K1       拼成一个 0 - 4096 的数
...

```

若采用 16 位并行 I/O, 取一个数, 则一次可完成, 且不用拼接, 这样可大大提高数据传输率和采样频率. 其程序如下:

```

...
K = INPORT(0 × 320)      取 16 位
K = K & OFFF           屏蔽
...

```

16 位的并行 I/O 是基于 PC/AT、286 和 386, 16 位总线设计的, 主要用于高速的数据采集, 这种功能板有通用性, 目前已达到推广使用, 定型形成产品的水平.

6 结论

测量系统于 1991 年 9 月完成以来, 进行了长时间的运行考验. 系统硬软件的可靠性得到验证. 已实际用于实验室环境下机器人动力学补偿算法研究以及汽车装配焊线现场环境下点焊机器人精度指标测定等课题. 目前正在进行定型向商品化过渡的工作.

MOTION PLANNING FOR PICK-AND-PLACE OPERATIONS OF A MULTI-JOINT ROBOTIC ARM

LI Yongchen ZHANG Bo

(Dept of Computer Sci and Tech, Tsinghua Univ, Beijing 100084)

Abstract

In this paper, we present a topology-based approach to deal with pick-and-place operations for a robotic arm. The planning method and its algorithm are discussed. The final experimental results are presented to show the feasibility of the approach.

Key words: state space local planning global planning

(本文第一作者李永成:男,26岁,博士生)

(上接第23页)

参 考 文 献

- 1 Hamamatsu. Position-sensitive detector. User Manual.
- 2 Tsai R Y. An efficient and accurate camera calibration technique for 3D machine vision. In: Proc IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1986, 364-374
- 3 Sid-Ahmed M A, Boraie M. Photogrammetric aerotriangulation using matrix CCD cameras for close-range position sensing. Computer in Industry, 1989, 12: 307-311
- 4 沈兰孙. 数据采集与处理. 能源出版社, 1987

INVESTIGATION AND DESIGN OF A SYSTEM FOR ROBOT DYNAMIC TRACE MEASUREMENT

WANG Hongyu

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

This thesis introduces a kind of system for robot dynamic position measurement, and describes the construction of the system. Also, it analyses the ways of calibration. Data processing and hardware design for enhancing the performance. Long time tests and preliminary application show the system has high reliability and effectiveness.

Key words: PSD intrinsic parameters extrinsic parameters system calibration

(本文作者王宏玉,男,26岁,硕士)