

空间电磁悬浮系统中样品监视系统的研制

阎兆立 陈佳圭 冯 稷

(中国科学院物理研究所 北京,100080)

摘要 在用于晶体生长的空间电磁悬浮系统研究中,本文研究了如何实时监测悬浮样品的位置。一种简单易行的方案是通过平行光把样品投影到摄像机上,用软件对采集到的图像数据进行处理,得到样品的质心的位置。但是其速度受到限制,不能满足闭环控制的需要。为此采用了硬件方案,即用FPGA(现场可编程门阵列)对图像数据快速处理,从而解决了数据处理的瓶颈问题,其响应频率可达上百兆赫兹。该方案还可应用于工业控制的其他方面。

关键词: 现场可编程门阵列(FPGA);空间电磁悬浮;图像处理

中图分类号: O353

Research of Sample's Monitor System in Space Electromagnetic Levitation System

Yan Zhaoli Chen Jiagui Feng Ji

(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences Beijing 100080, P. R. China)

Abstract During the research of space electromagnetic levitation system, how to watch the suspended sample is a very important part of this project. A versatile approach is to project the samples' shadows to cameras by using parallel lights and to process the picture's data by software to get the position of sample's centroid. But its collecting rate is limited. It is not equal to the need of loop control. So the hardware is applied, namely using FPGA (Field programmable gate array) to realize the fast data processing, which solves the bottleneck effect. Its response frequency can up to several hundred MHz. It can be adopted in other field of industry control.

Key words: field programmable gate array; space electromagnetic levitation system; image processing

1 原理说明

在空间电磁悬浮实验中,用一摄像系统实时地监测样品在空间的三维位置,以便主模块根据不同情况发出相应指令。如由于外界影响,样品位置出现

偏移时,加大线圈电流迫使其回位,并根据回位情况及时降低电流等。

把两台面阵摄像机垂直放置,另有两束平行光分别垂直照射到摄像机上,样品位于摄像机与平行光源之间,这样就把样品位置垂直投射摄像机上(如图1所示),并把此阴影的坐标作为样品的位置。

根据样品在各个摄像机上投影的数据,可以计

收稿日期:2001-04-26

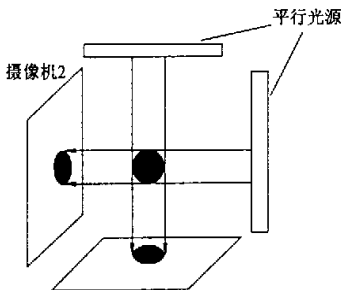


图1 摄像机监视系统

算出其投影的质心的位置,并把此质心位置作为样品三维空间的位置(其中某一维的值由两个摄像机同时测得)。我们知道,如果在二维平面上,假定某区域(在这而是指样品在摄像机上的投影面)的面密度是 $f(x,y)$,则有

$$S_x = \iint_{x,y} x \cdot f(x,y) \quad (1)$$

$$S_y = \iint_{x,y} y \cdot f(x,y) \quad (2)$$

$$S = \iint_{x,y} f(x,y) \quad (3)$$

$$x = \frac{S_x}{S} \quad (4)$$

$$y = \frac{S_y}{S} \quad (5)$$

x 和 y 就是此平面在 $X-Y$ 坐标系上的坐标。

以上公式是对模拟量进行处理的。我们需要把摄像机的输出信号进行量化,变成计算机易于处理的数字信号,数字信号的处理公式对应如下

$$S_x = \sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} x \cdot f(x,y) \quad (6)$$

$$S_y = \sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} y \cdot f(x,y) \quad (7)$$

$$S = \sum_{x=0}^{x_{\max}} \sum_{y=0}^{y_{\max}} f(x,y) \quad (8)$$

$$f(x,y) = \begin{cases} 0 & [h(x,y) > H] \\ 1 & [h(x,y) \leq H] \end{cases} \quad (9)$$

$$x = \frac{S_x}{S} \quad (10)$$

$$y = \frac{S_y}{S} \quad (11)$$

x,y 是摄像机图像中的位置坐标, $h(x,y)$ 是图像中

(x,y) 坐标处的亮度值, H 是亮度阈值,用来对图像进行二值化处理。最后由式(10,11)得到样品在摄像机上投影的二维坐标。

2 软硬件设计方案

初始阶段实验使用了一个模拟 PAL 制摄像机和 PCI 总线图像采集卡。PAL 制摄像机每秒钟传送 25 帧图像。由程序把数据通过图像采集卡采到内存,完成上述的积分和整除运算,即可得到样品在空间的三维相对位置。采集一幅图像需要 $1/25=0.04$ s(40 ms),数据处理需花费 5 ms。经过分析认为,这样处理的优点是容易实现,但却存在一些缺点:由于程序的单进程,在采集一帧数据的 40 ms 内,程序无法进行其他工作,这样连接两个摄像机后,各采集一帧图像将花费 80~120 ms,因为只有实现两个摄像机的场同步,才能连续采集。否则将有一个等待时间 T_{wait} ($0 \text{ ms} \leq T_{wait} \leq 40 \text{ ms}$),采集这两幅图像花费的时间是 $80+T_{wait}$ ms。然后处理两幅图像的数据再花费 10 ms,程序根据计算结果,发出控制指令。到这一步才完成一个采样控制周期。事实上,程序还将等待一段时间,直到摄像机的场同步信号出现为止。可见,这样做每秒只能监测 6~8 次样品位置,不能充分利用时间。采样频率过低,不宜采用。

因此,我们希望在采集数据的同时进行处理,这里要用到 FPGA(Filed programmable gate array,现场可编程门阵列)。FPGA 的结构类似于掩膜可编程门阵列由逻辑功能块排列成阵列组成,并由可编程的内部连线连接这些逻辑功能块或把设计存到 SRAM 以查表方式来实现不同的设计。它可以用原理图输入,也可用 VHDL, Verilog HDL 等硬件描述语言编程进行输入。目前选用的是 Altera 的 FLEX10K10。它以 SRAM 存储设计文件,可不限次数编程,为实验提供很多方便。将来的空间实验,可选用 Actel 的 ACT 系列的 FPGA,它属于反熔丝的多路开关类型,在空间不易被宇宙射线干扰,工作性能会更加稳定。

采用 FPAG 后的设计方案如图 2 所示。数字摄像机送出的数字信号进入积分器,完成一系列高速大量的运算,通过 ISA BUS 将结果输入计算机。另一方面,数字摄像机的模拟信号通过图像采集卡,实时的采到显示存储器。这样实验人员可从质心的计

算结果和图像两方面对样品进行观测。

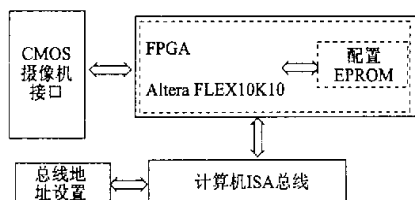


图2 采用FPAG后的设计方案

这是一ISA卡,直接插在总线ISA槽上。可用线路板上的拨码开关对总线地址进行设置,它包含8个内部地址。

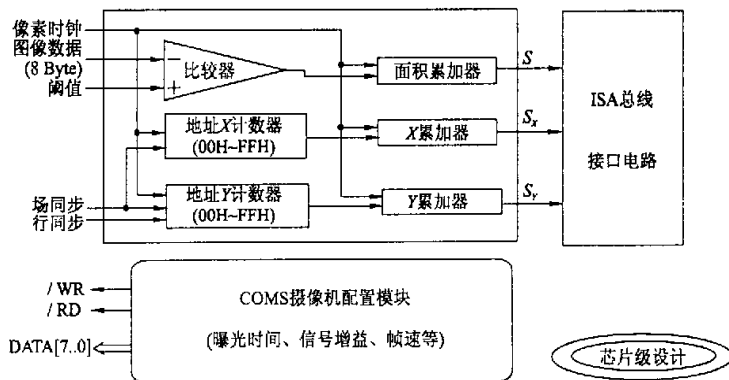


图3 FPGA芯片内部的设计原理图

使用FPGA后,可以认为本来由软件实现的数学积分,用硬件就完成了,因此它可以工作在很高的速度上对摄像机送来的数据进行实时处理。FPGA可以在每采完一幅图像后,实时地送出 S 、 S_x 、 S_y 的值,计算机通过ISA总线把数据采集到内存,并送到CPU进行除法运算,最后得到样品质心在空间的三维位置。两个FPGA各自独立地计算对应摄像机送来的数据送到接口处,计算机可及时读取两个FPGA的数据,不必关心两个摄像机的场同步问题,对每个摄像机可每秒各采集50帧的数据(摄像机的最高帧速),计算机在其他时间可进行别的工作。由此可见,使用FPGA后,大大减轻了CPU的负担,是一个恰当的解决方法。

3 光路设计方案

光路设计如图4所示。

图3是FPGA芯片内部的设计原理图。

FPGA根据摄像机的行、场同步、像素时钟和像素灰度值完成三个积分运算。

当像素灰度值超过预设的阈值时,认为是光照部分;小于阈值时则认为是阴影部分。再根据像素时钟和行、场同步信号确定出像素的位置,就可完成对一个像素的积分。所有像素逐个积分得到最后结果。3个积分器将并行工作。其接口电路也设计在FPGA内部。第三个模块是摄像机配置模块,由它在加电复位时对CMOS摄像机的曝光模式、曝光时间、信号增益、帧速等参数进行配置。它是由FPGA自动完成的,无须程序干预。

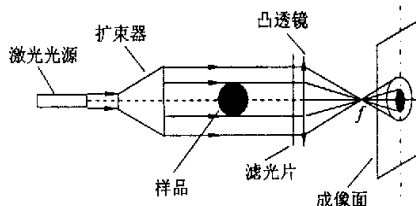


图4 光路设计

激光光源发出的光束经扩束器、滤光片(本实验不对样品加热,因此无须滤光片)、凸透镜成像到摄像机像敏面上。

COMS摄像机是美国Omnivision公司生产的OV5017。它是一种黑白数字摄像机,具有功耗低、体积小、可编程性等优点。

在光路设计中,如果增大分辨率,可提高成像放大倍数。但如果成像过大,阴影部分可能会充满或占

据大部分图像空间。这样物体稍有移动,就会超出摄像机的检测范围,所以对分辨率和检测范围要综合考虑。

4 系统的实时检测性能

假定扰动加速度为 a , 图像采集频率为 f 帧/s, 那么在两次连续采集的时间间隔内, 样品的位移是

$\frac{1}{2}a\left(\frac{1}{f}\right)^2$, 定义位置控制精度为 S , 则应有

$$\frac{S}{2} \geq \frac{1}{2}a\left(\frac{1}{f}\right)^2 \quad \text{即} \quad f \geq \sqrt{\frac{a}{S}}$$

由干扰加速度和要求的控制精度, 即可得到对监视系统采样率的要求。取 $S=0.1\text{ mm}$, 分析不同干扰加速度的情况。

由于本系统图像采集速度最高达 50 帧/s, 能满足 10^{-1}m/s^2 干扰加速度的情况。它能满足的最大干扰加速度可达 0.25 m/s^2 。如果换成更高速的摄像机, FPGA 仍然可以响应, 最高可达几百甚至上千帧/s。

参 考 文 献

1 Keisuke Yoshioka, Haruhiko Shimoji, Yuji Awa, *et al.*. Development of electrostatic levitation furnace. IAF-98-J, 1998
2 Altera 公司. MAX+PLUS II Guide

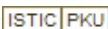
作者简介 阎兆立,男,博士研究生,1974 年 2 月生,研究方向:信号采集、电路设计、语音信号处理。

(责任编辑 熊春茹)

表 1 不同干扰加速度情况

干扰加速度 $a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	采集频率 $f/(\text{帧} \cdot \text{s}^{-1})$
1	100
10^{-1}	32
10^{-2}	10

空间电磁悬浮系统中样品监视系统的研制

作者: [阎兆立](#), [陈佳圭](#), [冯稷](#)
作者单位: [中国科学院物理研究所](#),
刊名: [数据采集与处理](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF DATA ACQUISITION & PROCESSING](#)
年, 卷(期): 2001, 16(z1)
被引用次数: 0次

参考文献(2条)

1. [Keisuke Yoshioka](#), [Haruhiko Shimoji](#), [Yuji Awa](#) [Development of electrostatic levitation furnace](#) 1998
2. [ALTERA公司](#) [查看详情](#)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_sjcjycl2001z1023.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: f7674646-a0a6-453f-9dc3-9df20117e086

下载时间: 2010年9月15日