



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109559314 A

(43)申请公布日 2019.04.02

(21)申请号 201910047374.1

(22)申请日 2019.01.18

(71)申请人 西南交通大学

地址 610031 四川省成都市二环路北一段  
111号西南交通大学科技处

(72)发明人 靖永志 张晨昊 廖珍贞 彭涛  
孔杰 郝建华 龚倩文 钱程  
张昆仑

(74)专利代理机构 成都信博专利代理有限责任  
公司 51200

代理人 舒启龙

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 7/13(2017.01)

H04N 5/232(2006.01)

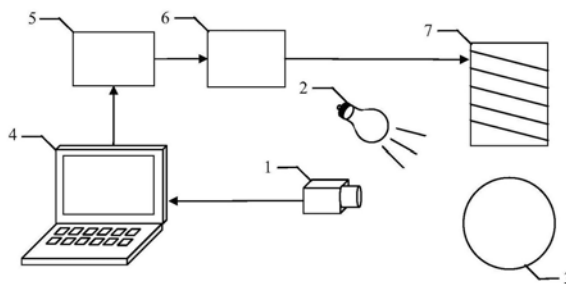
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54)发明名称

一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统及其  
图像处理方法

(57)摘要

一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统及其  
图像处理方法,本发明通过使用高速工业相机对  
悬浮球悬浮间隙图像进行采集,将图像传输到PC  
机,PC机对图像进行处理提取到磁悬浮球的实际  
悬浮间隙值,再将实际悬浮间隙值发送给悬浮控  
制器,悬浮控制器通过比较实际间隙值与给定间  
隙值的大小,判断需要增大还是减小电流,通过  
斩波器调节电磁铁绕组电流的大小,完成对于磁  
悬浮球的悬浮控制,使悬浮球稳定在额定间隙。  
本发明能对悬浮球实现较为稳定的控制,悬浮间  
隙检测结果不受温度、被测物体表面粗糙程度影  
响,悬浮间隙输出值为数字量可以直接接入控制  
系统,不需要进行传感器的标定与校正。



1. 一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统,包括,斩波器(6),其特征在于,高速工业相机(1)捕捉光源(2)照射下悬浮球(3)的悬浮间隙图像,图像传输到PC机(4),PC机对图像进行处理,通过相应的特征提取计算出悬浮球的悬浮间隙值,悬浮间隙值发送至所述悬浮控制电路(5),悬浮控制电路将实际悬浮间隙值与给定的悬浮间隙值比较,确定需要增大还是减小电磁铁电流,其信号输出至所述斩波器(6),斩波器(6)调节电磁铁(7)绕组电流,调节电磁吸力,从而调节悬浮球的悬浮间隙大小,使悬浮球稳定在额定间隙。

2. 根据权利要求1所述的一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统,其特征在于,高速工业相机(1)固定安装在电磁铁与悬浮球的侧面,使得采集到的图像中电磁铁(7)底面为一条水平直线。

3. 根据权利要求1所述的一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统,其特征在于,所述PC机对图像作如下处理:PC机通过相应的特征提取计算出悬浮球的悬浮间隙值,其计算流程为:图像输入PC机后,对图像进行边缘检测,确定悬浮球上顶点以及电磁铁下边界的坐标值,求出悬浮间隙在图像中的长度,依据像素与实际长度的对应关系求出悬浮球的实际悬浮间隙值。

4. 一种如权利要求1所述的电磁悬浮球系统的悬浮间隙图像处理方法,其特征在于,PC机对悬浮间隙图像处理的流程为:图像输入PC机后,对图像进行边缘检测,确定悬浮球上顶点 $P_1(x_1, y_1)$ 以及电磁铁下边界 $y_2$ 的坐标值,求出悬浮间隙在图像中所占的像素长度 $L$ ,依据像素与实际长度的对应关系求出悬浮球的实际悬浮间隙值;像素与实际长度的对应关系计算方法如下:

悬浮球未悬浮时的位置也就是初始位置,确定此时悬浮球上顶点 $P_0(x_0, y_0)$ ,则悬浮球初始位置与电磁铁下边界在图中的像素长度: $L_0 = y_2 - y_0$ ,由于悬浮球的初始位置是固定的,故其与电磁铁下边界距离也是固定的,通过在实物系统中测量悬浮球未悬浮时悬浮球顶端到电磁铁下边界的距离即可得到 $L_0$ 所对应的实际长度 $x$  mm,从而得到在图像中一个像素与实际长度的对应关系: $P = \frac{x}{L_0} (\text{mm} / \text{pixel})$ ,当悬浮球上升至某一位置时,悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度: $L = y_2 - y_1$ ;根据图像中一个像素与实际长度的比例关系 $P$ 以及悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度 $L$ ,得到悬浮球与电磁铁下边界的实际距离也就是实际悬浮间隙值 $L_1$ : $L_1 = L \times P = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{L_0} = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{y_2 - y_0}$ 。

5. 根据权利要求4所述的一种电磁悬浮球系统的悬浮间隙图像处理方法,其特征在于,悬浮控制电路将PC机对悬浮间隙图像处理得到的实际悬浮间隙值与给定的额定悬浮间隙值比较,若是实际悬浮间隙值小于额定悬浮间隙值,悬浮控制电路控制所述斩波器使电磁铁绕组电流减小,电磁吸力减小,从而使实际悬浮间隙变大;反之,若是实际悬浮间隙值大于额定悬浮间隙值,悬浮控制电路控制斩波器使电磁铁绕组电流增大,电磁吸力增大,从而使实际悬浮间隙变小,通过不断调整,使得悬浮球稳定在额定悬浮间隙,使悬浮球能在平衡位置悬浮;悬浮控制电路(5)的信号输出至斩波器(6),斩波器(6)调节电磁铁(7)绕组电流,调节电磁吸力,从而调节悬浮球的悬浮间隙大小,使悬浮球稳定在额定间隙。

## 一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统及其图像处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理以及自动控制领域,更具体地,涉及一种通过机器视觉识别磁悬浮球悬浮间隙并用该间隙值来完成悬浮球悬浮控制的系统。

### 背景技术

[0002] 磁悬浮球系统主要包括电磁铁、悬浮球、间隙传感器、悬浮控制电路以及斩波器组成。磁悬浮球系统是一个闭环控制系统,由间隙传感器来检测钢球与电磁铁之间的距离变化,当钢球受到扰动下降,钢球与电磁铁距离增大,传感器输出电压发生变化,电压信号经过模数转换,发送到悬浮控制器处理,再经过斩波器调节电磁铁电流,使得电磁铁绕组电流增大,电磁吸力增大,钢球被吸回平衡位置,反之同理,故能使钢球能在平衡位置悬浮。为了保证悬浮球能实现稳定的悬浮,间隙传感器必须为悬浮控制系统提供可靠、实时的间隙值,因此间隙传感器在悬浮控制系统中占据着重要的地位。目前对于磁悬浮球的悬浮间隙测量多数采用电涡流间隙传感器。它的工作原理是,根据法拉第电磁感应原理,金属导体置于变化的磁场中或在磁场中作切割磁力线运动时,导体内将产生呈涡旋状的感应电流,此电流叫电涡流,以上现象称为电涡流效应。当悬浮间隙值变化时,电涡流的大小会随之变化,导致间隙传感器检测线圈等效电感的变化,且电感值与间隙值为一一对应的关系,依据以上原理完成悬浮间隙值的测量。

[0003] 电涡流传感器虽然使用广泛,但还存在很多缺点与不足,比如测量精度受温度和被测物体表面粗糙度影响很大,成本高,安装工艺复杂,输出值为模拟量需要进行模数转换变为数字量之后才能接入控制系统,必须经过严格的标定才能正常工作等。

[0004] 目前,随着硬件设备与智能算法的快速进步,机器视觉技术也得到了越来越广泛的应用。其中,运用机器视觉技术进行距离或长度测量的应用均取得了良好的效果,测量速度快、结果精确。

### 发明内容

[0005] 针对现有电涡流间隙传感器存在的不足,本发明提出一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统及其图像处理方法,能控制悬浮球稳定悬浮在额定间隙,且控制过程不受温度以及被测物体表面粗糙度的影响。

[0006] 本发明的目的是这样实现的:一种基于机器视觉的电磁悬浮球系统,包括斩波器,高速工业相机捕捉光源照射下悬浮球的悬浮间隙图像,图像传输到PC机,PC机对图像进行处理,通过相应的特征提取计算出悬浮球的悬浮间隙值,悬浮间隙值发送至所述悬浮控制电路,悬浮控制电路将实际悬浮间隙值与给定的悬浮间隙值比较,确定需要增大还是减小电磁铁电流,其信号输出至所述斩波器,斩波器调节电磁铁绕组电流,调节电磁吸力,从而调节悬浮球的悬浮间隙大小,使悬浮球稳定在额定间隙。

[0007] 高速工业相机固定安装在电磁铁与悬浮球的侧面,使得采集到的图像中电磁铁底面为一条水平直线。

[0008] 所述PC机对图像作如下处理:PC机通过相应的特征提取计算出悬浮球的悬浮间隙值,其计算流程为:图像输入PC机后,对图像进行边缘检测,确定悬浮球上顶点以及电磁铁下边界的坐标值,求出悬浮间隙在图像中的长度,依据像素与实际长度的对应关系求出悬浮球的实际悬浮间隙值。

[0009] PC机对悬浮间隙图像处理的流程为:图像输入PC机后,对图像进行边缘检测,确定悬浮球上顶点 $P_1(x_1, y_1)$ 以及电磁铁下边界 $y_2$ 的坐标值,求出悬浮间隙在图像中所占的像素长度 $L$ ,依据像素与实际长度的对应关系求出悬浮球的实际悬浮间隙值;像素与实际长度的对应关系计算方法如下:

[0010] 悬浮球未悬浮时的位置也就是初始位置,确定此时悬浮球上顶点 $P_0(x_0, y_0)$ ,则悬浮球初始位置与电磁铁下边界在图中的像素长度: $L_0 = y_2 - y_0$ ,由于悬浮球的初始位置是固定的,故其与电磁铁下边界距离也是固定的,通过在实物系统中测量悬浮球未悬浮时悬浮球顶端到电磁铁下边界的距离即可得到 $L_0$ 所对应的实际长度 $x$  mm,从而得到在图像中一个

像素与实际长度的对应关系: $P = \frac{x}{L_0} (mm / pixel)$ ,当悬浮球上升至某一位置时,悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度: $L = y_2 - y_1$ ;根据图像中一个像素与实际长度的比例关系 $P$ 以及悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度 $L$ ,得到悬浮球与电磁铁下边界的实际距离也就是实际悬浮间隙值 $L_1$ : $L_1 = L \times P = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{L_0} = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{y_2 - y_0}$ ;

[0011] 悬浮控制电路通过将PC输入的实际悬浮间隙值与给定的额定悬浮间隙值比较,若是实际悬浮间隙值小于额定悬浮间隙值,悬浮控制电路控制所述斩波器使电磁铁绕组电流减小,电磁吸力减小,从而使实际悬浮间隙变大;反之,若是实际悬浮间隙值大于额定悬浮间隙值,悬浮控制电路控制斩波器使电磁铁绕组电流增大,电磁吸力增大,从而使实际悬浮间隙变小,通过不断调整,使得悬浮球稳定在额定悬浮间隙,使悬浮球能在平衡位置悬浮;悬浮控制电路的信号输出至斩波器,斩波器调节电磁铁绕组电流,调节电磁吸力,从而调节悬浮球的悬浮间隙大小,使悬浮球稳定在额定间隙。

[0012] 本发明的有益效果是:本发明通过使用高速工业相机对悬浮球悬浮间隙图像进行采集,将图像传输到PC机,在PC机对图像进行处理提取到磁悬浮球的实际悬浮间隙值,再将实际悬浮间隙值发送给悬浮控制器,悬浮控制器通过比较实际间隙值与给定间隙值的大小,判断需要增大还是减小电流,通过斩波器调节电磁铁绕组电流的大小,完成对于磁悬浮球的悬浮控制,使悬浮球稳定在额定间隙。

[0013] 按照本发明实现的电磁悬浮球系统,能对悬浮球实现较为稳定的控制,悬浮间隙检测结果不受温度、被测物体表面粗糙程度影响,悬浮间隙输出值为数字量可以直接入控制系统,不需要进行传感器的标定与校正。

## 附图说明

[0014] 附图1是本发明的整体结构示意图。

[0015] 附图2是在PC机上对图像进行处理的步骤。

[0016] 附图3是图像中悬浮间隙值测量方法的示意图。

[0017] 附图4是采用机器视觉的磁悬浮球闭环控制系统结构示意图。

### 具体实施方式

[0018] 本发明提出的基于机器视觉的电磁悬浮球系统可以实现闭环控制,整个发明的结构如图1所示。由高速工业相机1捕捉光源2照射下悬浮球3的悬浮间隙图像,图像传输到PC机4,在PC机上经过对图像的处理,计算出悬浮球的实际悬浮间隙值,将实际悬浮间隙值发送至悬浮控制电路5,悬浮控制电路将实际悬浮间隙值与给定的悬浮间隙值比较,确定需要增大还是减小电磁铁电流,再通过斩波器6调节电磁铁7绕组电流,调节电磁吸力,从而调节悬浮球的悬浮间隙大小。

[0019] 具体地,在PC机上对悬浮间隙图像处理的流程如图2所示。将图像输入PC后,对图像进行边缘检测,确定悬浮球上顶点 $P_1(x_1, y_1)$ 以及电磁铁下边界 $y_2$ 的坐标值,求出悬浮间隙在图像中所占的像素长度 $L$ ,依据像素与实际长度的对应关系求出悬浮球的实际悬浮间隙值。其中,像素与实际长度的对应关系计算方法如图3所示,虚线圆表示悬浮球未悬浮时的位置也就是初始位置,确定此时悬浮球上顶点 $P_0(x_0, y_0)$ ,则悬浮球初始位置与电磁铁下边界在图中的像素长度: $L_0 = y_2 - y_0$ 。由于悬浮球的初始位置是固定的,故其与电磁铁下边界距离也是固定的,通过在实物系统中测量悬浮球未悬浮时悬浮球顶端到电磁铁下边界的距离即可得到 $L_0$ 所对应的实际长度 $x$  mm。可以得到在图像中一个像素与实际长度的对应关系:

$P = \frac{x}{L_0} (\text{mm} / \text{pixel})$ 。当悬浮球上升至实线圆位置时,悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度:

$L = y_2 - y_1$ 。根据图像中一个像素与实际长度的比例关系 $P$ 以及悬浮球与电磁铁下边界在图中的像素长度 $L$ ,得到悬浮球与电磁铁下边界的实际距离也就是悬浮间隙值:

$$L_1 = L \times P = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{L_0} = (y_2 - y_1) \times \frac{x}{y_2 - y_0}。$$

[0020] 得到实际间隙值后,将悬浮间隙值发送至悬浮控制器,悬浮控制器通过将PC输入的实际悬浮间隙值与给定的额定悬浮间隙值比较,若是实际悬浮间隙值小于额定悬浮间隙值,悬浮控制器控制斩波器使电磁铁绕组电流减小,电磁吸力减小,从而使实际悬浮间隙变大;反之,若是实际悬浮间隙值大于额定悬浮间隙值,悬浮控制器控制斩波器使电磁铁绕组电流增大,电磁吸力增大,从而使实际悬浮间隙变小。通过不断调整,使得悬浮球稳定在额定悬浮间隙,使悬浮球能在平衡位置悬浮。整个系统的工作流程如图4所示。图4中悬浮控制器即悬浮控制电路,悬浮球为钢质悬浮球。

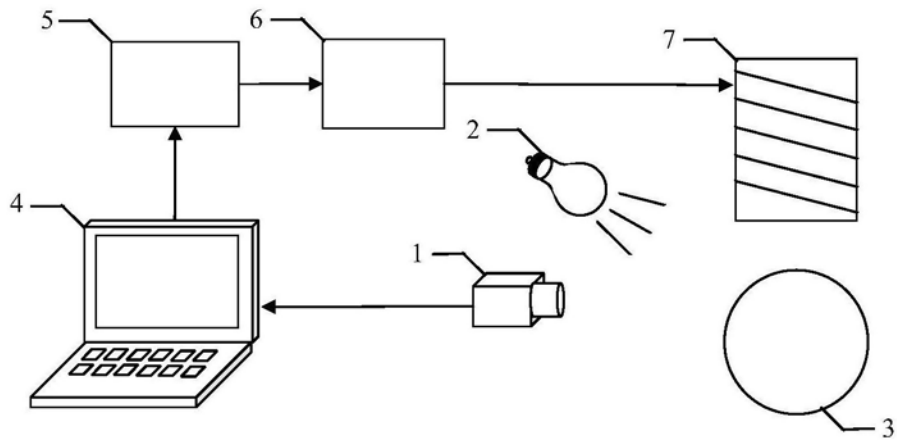


图1

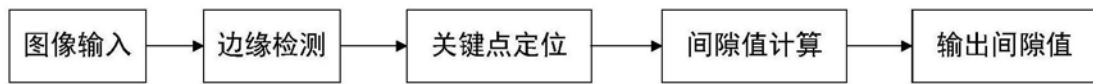


图2

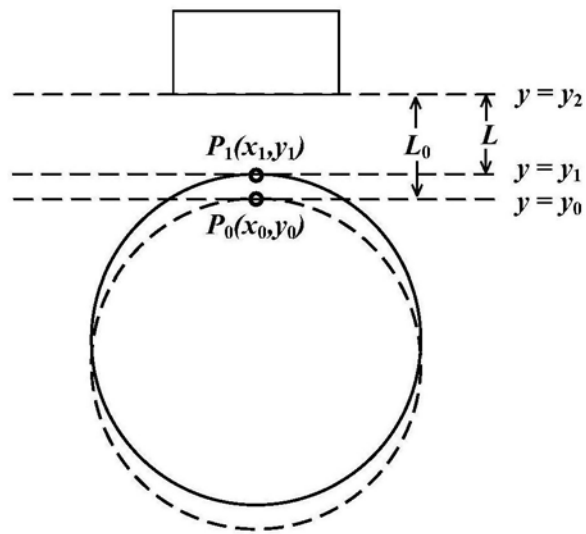


图3

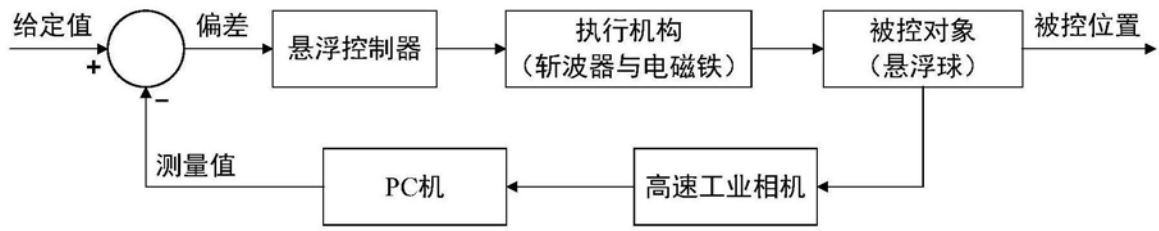


图4