



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101958154 A

(43) 申请公布日 2011. 01. 26

(21) 申请号 201010110792. X

(22) 申请日 2010. 02. 11

(71) 申请人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六区

(72) 发明人 汤一平 王颖 汤晓燕 仇翔

俞立 宋鉷

(74) 专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公

司 33201

代理人 王兵 王利强

(51) Int. Cl.

G12B 5/00 (2006. 01)

G05D 3/00 (2006. 01)

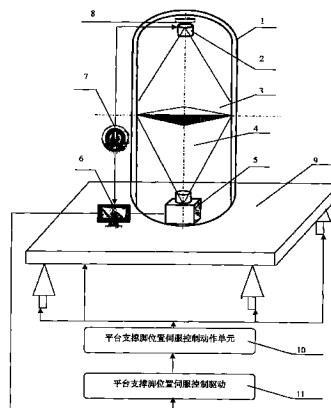
权利要求书 5 页 说明书 18 页 附图 11 页

(54) 发明名称

基于机器视觉的平台自动调平装置

(57) 摘要

一种基于机器视觉的平台自动调平装置,包括全方位倾斜传感器外壳、LED 照明光源、透明圆锥体容器、不透光液体、摄像头、嵌入式系统、电源和指南针,平台、平台支撑脚位置伺服控制动作单元和平台支撑脚位置伺服控制驱动单元,透明圆锥体容器是由两个同样大小的圆锥体以背靠背的方式结合成一个封闭容器,容器中注入了容器体积的二分之一不透光液体;对摄像头以正面体拍摄透明圆锥体容器的透光部分进行分析、判断和计算,得到被测平台的倾斜角度和倾斜方位角等测量参数,通过测量参数根据不同的调平策略进行平台的水平自动调整;本发明提供维护调整简单、测量和控制精度高、测量范围广、制造成本低、调平手段丰富、实时性和安全可靠性强。



1. 一种基于机器视觉的平台自动调平装置,其特征在于:包括全方位倾斜传感器外壳、LED 照明光源、透明圆锥体容器、不透光液体、摄像头、微处理器、电源、指南针、平台、平台支撑脚位置伺服控制动作单元和平台支撑脚位置伺服控制驱动单元,所述的电源与所述的照明光源和所述的微处理器连接,所述的微处理器与所述的摄像头连接,所述的透明圆锥体容器是由两个同样大小的圆锥体以背靠背的方式结合成一个封闭容器;所述的全方位倾斜传感器外壳中部固定着所述的透明圆锥体容器,上部固定着所述的 LED 照明光源,下部固定着所述的摄像头;所述的 LED 照明光源朝下正对着所述的透明圆锥体容器中心发出白色光,所述的摄像头朝上所述的透明圆锥体容器中心感应透过透明圆锥体容器后的透射光,所述的摄像头通过 USB 接口从所述的摄像头中读取图像数据,全方位倾斜传感器固定在所述的平台上,所述的平台由所述的平台支撑脚位置伺服控制动作单元支撑,所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元控制所述的平台支撑脚位置伺服控制动作单元上下移动,所述的微处理器发出移动控制信号给所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元;

所述的全方位倾斜传感器外壳呈圆柱型,圆柱型的两个平面,其中一个平面内侧固定着 LED 光源,平面外侧固定着指南针;在另一个平面上固定着摄像头,且方向都向内;圆柱型的中部固定着透明圆锥体容器;全方位倾斜传感器外壳采用不透光的材料,圆柱型的内壁采用吸光性的材料;圆柱型的外壁上标有一条与圆柱型的轴线相平行的直线,将该直线作为方位角的始点;使用全方位倾斜传感器时需要转动全方位倾斜传感器将指南针的指北的方向与该直线重合;

所述的不透光液体注入到所述的透明圆锥体容器中,在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体的状态将决定全方位水平检测的水平倾斜角和倾斜方位角;当全方位倾斜传感器处于水平状态时,所述的照明光源由于受到在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体遮光作用,所述的摄像头无法接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器透射光;当全方位倾斜传感器处于倾斜状态时,所述的不透光液体在所述的透明圆锥体容器中发生流动维持水平状态,这时在所述的照明光源和所述的摄像头之间的所述的透明圆锥体容器有一部分区域处于非遮挡状态,所述的摄像头接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器部分透射光。

2. 如权利要求 1 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置,其特征在于:所述的不透光液体,需要根据动态检测需求选择不透光液体的粘度,对于在垂直方向存在作用力的情况,采用粘度系数高的不透光液体;对于高动态检测水平状态情况,采用粘度系数低的不透光液体;对不透光液体选择范围,能很好吸收光的、没有腐蚀性、对温度不敏感、满足粘度范围的液体都能作为不透光液体。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置,其特征在于:所述的微处理器包括:

图像获取单元,用于读取从摄像头来的视频数据,主要包括系统初始化模块和图像读取模块;

系统初始化模块,用于读取存储在所述的系统数据存储单元中的一些系统数据,如透明圆锥体容器的半径 R 、透明圆锥体容器的圆锥角 α 、初始方位角 β_0 、摄像头的分辨率、倾斜角 θ 与透光部分的宽度值 δ 的计算表等数据;初始方位角 β_0 的确定是根据圆柱型的外壁上的直线与所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角;

图像读取模块,用于读取从摄像头来的视频数据,并将其保存在动态存储单元内;

倾斜角与倾斜方位角检测单元,用于检测和计算被测物体的倾斜角 θ 与倾斜方位角 β ,主要包括倾斜方位角 β 检测模块、倾斜角 θ 检测模块和倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块;

倾斜方位角 β 检测模块,用于检测被测物体的倾斜方位;本发明中倾斜方位角的定义是从正北方向开始以顺时针方向用 β 角度值进行表示,在图像平面上的检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示;因此在倾斜方位角 β 与检测倾斜方位角 β_x 之间存在着以下关系,如式 (1) 所示,

$$\beta = \beta_x + \beta_0 (1)$$

式中: β 为倾斜方位角, β_x 为检测倾斜方位角, β_0 为初始方位角;

初始方位角 β_0 在全方位倾斜传感器出厂检测时根据圆柱型的外壁上的直线与所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角来确定,并将初始方位角 β_0 写入到系统数据存储单元中;

检测倾斜方位角 β_x 是依据所获得图像中的透射光部分的几何形状来计算确定的,检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示;在被测物体发生倾斜状态时在透明圆锥体容器中的不透光液体在图像平面上的形状为半个圆与半个椭圆的组合,椭圆的长轴等于圆的半径,倾斜角与椭圆的短轴成函数关系,成像平面上的椭圆的短轴数据越小表明倾斜角度越大,而倾斜方位角则发生在椭圆短轴的负方向;这时在成像平面上将会出现月牙型的感光区域,椭圆短轴的角度位置必定会出现月牙型的中部,从成像图像上计算椭圆短轴的角度位置的计算方法如公式 (2) 所示,即从 X 轴开始以顺时针方向进行检索,具体算法如下:

步骤 1:从 X 轴方向上引一条直线以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果在 X 轴方向上没有光亮像素的话,就从 X 轴开始以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,反之跳转到步骤 3,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是光亮像素,就确定为该旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

步骤 2:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;然后跳转到步骤 5,

步骤 3:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;

步骤 4:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线逆时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

步骤 5:通过公式 (2) 计算椭圆短轴的角度 β_c ,

$$\beta_c = (\beta_1 + \beta_2) / 2 (2)$$

而检测倾斜方位角 β_x 必定出现在椭圆短轴的负向,倾斜方位角 β_x 计算方法用公式 (3) 表示,

$$\beta_x = \beta_c - \pi (3)$$

所述的倾斜角 θ 检测模块,用于检测被测物体的倾斜角;倾斜角 θ 可以通过公式 (4) 计算得到

$$\theta = \text{ctg}^{-1}[(R/\delta - 1) \times \text{ctg}(\alpha)] \quad (4)$$

上式中, R 为透明圆锥体容器的半径, α 为透明圆锥体容器的圆锥角, δ 为透光的月牙型的中部的宽度值, θ 为倾斜角;

这里,透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 从存储在系统数据存储单元中的系统数据中得到的,透光的月牙型的中部的宽度值 δ 是通过对图像的分析算法得到的,即通过成像图形中心点为放射线进行顺时针扫描,获得在轴心线方向上的最大透光值,具体算法如下:

根据公式 (2) 所得到的椭圆短轴的角度 β_c 和图像的圆心为中心为直线穿越透光的月牙型,计算其透光的像素值;如果摄像头的分辨率为 640×480 、透明圆锥体容器的半径 R 为 200mm 、每个像素代表 0.83mm ,如果计算得到的透光像素值为 5 个像素,那么透光的月牙型的中部的宽度值 δ 为 4.15mm ;

倾斜角 θ 的分辨率与透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 相关,根据公式 (4) 透明圆锥体容器的半径 R 越大倾斜角 θ 的分辨率越高,透明圆锥体容器的圆锥角 α 与倾斜角 θ 的分辨率成函数关系;一般来说,透明圆锥体容器的半径 R 是由摄像头的视觉范围确定,透明圆锥体容器的半径 R 为 200mm ,在成像平面上占 240 个像素;透明圆锥体容器的圆锥角 α 要根据实际水平测量范围来选择,对于小的倾斜角 θ 具有较高的分辨率;根据实际检测精度的需要选择或者设计透明圆锥体容器的圆锥角 α 。

4. 如权利要求 3 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置,其特征在于:所述的倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块,用于计算倾斜角速度、倾斜角加速度、倾斜方位角速度和倾斜方位角加速度;本发明计算倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 是建立在对图像的分析和处理的基础上的,摄采用每秒采集处理 10 帧图像,因此两帧图像处理间隔为 $\Delta t = 1/6$ 秒,用公式 (5) 来计算倾斜角速度和倾斜方位角速度,

$$\Delta \theta(t) = (\theta(t) - \theta(t-1)) / \Delta t \quad (5)$$

$$\Delta \beta(t) = (\beta(t) - \beta(t-1)) / \Delta t$$

式中, $\theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角度, $\theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角度, $\beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角度, $\beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角度, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度;

同样道理用公式 (6) 来计算倾斜角加速度和倾斜方位角加速度,

$$\Delta^2 \theta(t) = (\Delta \theta(t) - \Delta \theta(t-1)) / \Delta t \quad (6)$$

$$\Delta^2 \beta(t) = (\Delta \beta(t) - \Delta \beta(t-1)) / \Delta t$$

式中, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta \beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta^2 \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角加速度, $\Delta^2 \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角加速度。

5. 如权利要求 3 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置,其特征在于:所述微处理器还包括:平台水平控制单元,用于控制平台的水平度,主要包括平台支撑脚位置误差计算模块和平台支撑脚位置伺服控制模块;

所述的平台支撑脚位置误差计算模块,用于计算要将平台调整到水平位置状态下平台

各支撑点的移动距离；在所述的平台支撑脚位置误差计算模块中采用最高点调平算法、最低点调平算法、中间点调平算法和基准点调平算法；

所述的平台支撑脚位置伺服控制模块，通过输出接口将在所述的平台支撑脚位置误差计算模块中所计算得到的各支撑点的位移量和位移速度等转换成相应的控制电信号并输入到平台支撑脚位置伺服控制驱动单元，平台支撑脚位置伺服控制驱动单元驱动平台支撑脚位置伺服控制动作单元完成相应的调平动作；位置伺服控制采用机电位置伺服或者电液位置伺服来实现。

6. 如权利要求 5 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置，其特征在于：所述的最低点调平算法就是在调平时，保持最低点不动，其它支撑点向下运动与之对齐，当各点达到最低点位置时平台即处于水平状态；具体实现方法是：根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号，确定平台的最低点，并将其作为坐标系的原点，然后计算各支承点到最低点的位置误差；将这个误差值送给各自的伺服系统，驱动电机转过一定的角度，使支腿下降给定的距离，从而各点处于同一个高度，平台达到水平状态。

7. 如权利要求 5 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置，其特征在于：所述的中间点调平算法就是在调平时，根据支撑点与中间点的计算差值控制其运动方向和位移大小，与中间点对齐，当各点达到中间点位置时平台即处于水平状态；具体实现方法是：根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号，确定平台的最高点和最低点，并以最高点和最低点的中间点作为坐标系的原点，然后计算各支承点到中间点的位置误差；将这个误差值送给各自的伺服系统，驱动电机转过一定的角度，使支腿上升或者下降给定的距离，从而各点处于同一个高度，平台达到水平状态。

8. 如权利要求 5 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置，其特征在于：所述的基准点调平算法就是在调平时，根据支撑点与基准点的计算差值控制其运动方向和位移大小，与基准点对齐，当各点达到基准点位置时平台即处于水平状态；具体实现方法是：根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号，确定平台的最高点和最低点，并以基准点作为坐标系的原点，然后计算各支承点到基准点的位置误差；将这个误差值送给各自的伺服系统，驱动电机转过一定的角度，使支腿上升或者下降给定的距离，从而各点处于同一个高度，平台达到水平状态。

9. 如权利要求 3 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置，其特征在于：所述微处理器还包括：检测结果显示单元，用于实时显示被测物体水平倾斜角度和倾斜方位角度等测量结果；对于计算好的倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta\beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2\beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta\theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2\theta(t)$ 、当前的系统时间 t 以及视频图像等数据提交给检测数据存储单元进行保存，同时加工成显示页面送交给检测结果显示单元进行显示；在显示页面上即有实时的视频图像，又有各种检测数据以及全方位倾斜传感器的系统参数，以便于使用者能直观地确认检测结果。

10. 如权利要求 3 所述的基于机器视觉的平台自动调平装置，其特征在于：用于显示被测物体水平倾斜角度和倾斜方位角度等测量过程的变化曲线；由于保存在检测数据存储单元的检测数据是按照时间序列进行存储的，有时为了观察倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta\beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2\beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta\theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2\theta(t)$ 的变化过程，使用者通过页面上的选择菜单来显示倾斜方位角

度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta \beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2 \beta(t)$ 的变化曲线和倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta \theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2 \theta(t)$ 的变化曲线。

基于机器视觉的平台自动调平装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种水平自动调整装置,属于物理学、数字图像处理技术、LED 技术、嵌入式技术、网络通信技术、水平面可视化技术、计算机控制技术和机械设计技术在各种平台的水平控制方面的应用,主要适用于地球物理测量、地壳运动监控、油井 / 气井监测、大坝监控、重型摊铺机械、船身调整、偏差控制、连铸技术、武器平台调整等领域。

背景技术

[0002] 随着现代工业特别是军工行业的发展,需要调平的平台对象越来越多,范围也越来越广,对调平的可靠性、快速性和精确性要求越来越高。

[0003] 一般来说,水平自动调整平台主要由以下三个组成部分构成:1) 检测平台的水平度的全方位倾角传感器;2) 用于控制平台水平度的控制硬件和软件系统;3) 用于快速准确执行调平动作的伺服系统;因此任何一种性能优良的平台自动调平系统必须具备以下几个功能指标:1) 精确性:系统的精确性程度主要取决于倾角传感器的分辨率;2) 稳定性:为了适应现代武器装备高机动性和快速反应能力的需求,要求平台有更高的稳定性,采用电液伺服系统已经不能满足系统精度的要求,随之出现了用机电伺服系统来代替电液系统。加上单片机系统可靠性与抗干扰技术的不断发展,为单片机系统稳定、可靠的工作奠定了基础;3) 快速性:倾角传感器的响应速度显著提高和先进的控制算法;4) 可操作性:在自动调平系统中设计有人机交互显示面板,通过其图形界面显示系统的状态及各种实时参数,并根据需要对系统进行参数设置。面板设置有多个功能键,可根据需要自由定义,实现了调平系统的各种操作,同时设置有手动 / 自动操作的切换开关,可以在自动调平系统出现故障或其他特殊情况下,由人工来完成调平工作。

[0004] 在水平倾斜检测方面,目前测量两个方向上的水平倾角最常用的手段是采用双轴倾角传感器,其工作原理是利用加速度传感器倾斜后的角度与重力加速度成函数关系的原理来测量倾角的。加速度传感器是建造在硅晶片顶部的表面 MEMS 多硅结构。多晶硅簧片悬浮在晶片表面的结构,并提供一个克服加速度感应力的阻力。用包含两个独立的固定板和一个与运动质块相连的中央板形成的差动电容器机构来测量比例于加速度的多硅结构的偏转,从而产生电压输出信号。这种检测水平倾角的方式虽然有很多优点,但是也存在着以下几个方面的问题:1) 输出不直观,不能直接输出倾斜的方位角和倾斜角等重要测量数据;2) 制造工艺复杂,成本高;3) 输出的信息只能为偏离双轴的角度信息,要进行平台的水平动态调整受到限制;4) 属于间接测量,同时检测过程中环节多,相对容易产生检测误差和故障;5) 只能通过计算得到相对倾斜方位角,难以得到绝对倾斜方位角。

[0005] 在平台的动作支撑方面,目前对于要求能够升降运动并能够进行水平调节的系统多采用三点支撑、四点支撑和六点支撑,结构特点大多采用支杆与平台垂直的形式。三点支撑的好处是可以保证外力的作用中心靠近支撑杆的支撑中心,支撑相对稳定。而对于承载体大身重的物体的平台,为了提高平台的刚度需要采取四点支撑或六点支撑,对于四点支撑会出现一定超静定问题,而对于六点支撑则静不定次数相应提高了三次。对于承载更大

载荷的平台跨度较大,在工程中多采用六点支撑方式,平台调平问题也较为复杂。对于平台调平问题一般必须借助于水平传感器检测倾斜角和倾斜方位角。

[0006] 在平台调平的控制策略方面,目前四点支撑的平台调平问题在工程实际中有多种方法。一种方法是将四条调平支腿解耦为两个方向,在两个方向上分别布置水平仪,检测水平度,通过两个方向的调平实现平台调平。即在一个方向调平平台,然后锁定次方向的水平度,再调平另外一个方向,这是一种基于三点调平的调平方法;另外一种方法是通过建立平台调节控制的数学模型,同时调节四条支腿,实现对平台的水平调整。一般来说,同时调节四条支腿的方式具有较好的动态响应能力。

[0007] 在平台调平的动作驱动方式方面,随着计算机技术和控制技术的发展,目前应用微机控制已经非常普遍,一般使用单片机或 PLC 作为控制中心,以液压元件或机电元件作为执行机构,四点、六点支承的电液调平系统,比如用在导弹发射车平台的调平系统和车载雷达的调平系统,都是用微机(单片机或 PLC)来控制整个电液系统;而静力压桩机一般都是四点支承,其工作平台重达上百吨,调平系统采用电液伺服控制、机电伺服控制或电液比例控制。近年来,高科技激光武器的出现,要求车载平台有更高的调平精度和稳定性,采用电液伺服系统已经不能满足系统精度的要求,随之出现了用机电伺服系统来代替电液系统。特别是计算机技术、传感器技术和永磁同步交流伺服电动机传动技术的发展,使高精度、高稳定性的调平系统得以实现。

[0008] 任何系统的调平可以简化为对某一平台平面的调平。根据“三点或两条相交直线确定一个平面”,平台调平的实质是将平台上两条相交直线调成水平。而根据理论分析,平台上的两条直线只有相互垂直时,它们在各自的调平中才没有耦合。为此,在平台的 X、Y 两相互垂直的方向上各有一个倾角传感器(实际上是用一个两轴倾角传感器)来测量两个方向上的水平倾角。无论何种调平方法,都是通过倾角传感器采集的信号,以各自的调平方法计算控制量,再通过伺服系统来驱动支腿的上升或下降来达到调平的目的。

发明内容

[0009] 为了克服已有的自动调平系统制造成本高、机构比较复杂、可视性和可维护性差、使用环境要求高、测量参数单一等的不足,本发明提供一种可操作性好、测量精度高、稳定性好、制造成本低、实时性和安全可靠性强的基于机器视觉的平台自动调平装置。

[0010] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0011] 一种基于机器视觉的平台自动调平装置,包括全方位倾斜传感器外壳、LED 照明光源、透明圆锥体容器、不透光液体、摄像头、微处理器、电源、指南针、平台、平台支撑脚位置伺服控制动作单元和平台支撑脚位置伺服控制驱动单元,所述的电源与所述的照明光源和所述的微处理器连接,所述的微处理器与所述的摄像头连接,所述的透明圆锥体容器是由两个同样大小的圆锥体以背靠背的方式结合成一个封闭容器;所述的全方位倾斜传感器外壳中部固定着所述的透明圆锥体容器,上部固定着所述的 LED 照明光源,下部固定着所述的摄像头;所述的 LED 照明光源朝下正对着所述的透明圆锥体容器中心发出白色光,所述的摄像头朝上所述的透明圆锥体容器中心感应透过透明圆锥体容器后的透射光,所述的摄像头通过 USB 接口从所述的摄像头中读取图像数据,全方位倾斜传感器固定在所述的平台上,所述的平台由所述的平台支撑脚位置伺服控制动作单元支撑,所述的平台支撑脚位置

伺服控制驱动单元控制所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元上下移动,所述的微处理器发出移动控制信号给所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元;

[0012] 所述的全方位倾斜传感器外壳呈圆柱型,圆柱型的两个平面,其中一个平面内侧固定着 LED 光源,平面外侧固定着指南针;在另一个平面上固定着摄像头,且方向都向内;圆柱型的中部固定着透明圆锥体容器;全方位倾斜传感器外壳采用不透光材料,圆柱型的内壁采用吸光性的材料;圆柱型的外壁上标有一条与圆柱型的轴线相平行的直线,将该直线作为方位角的始点;使用全方位倾斜传感器时需要转动全方位倾斜传感器将指南针的指北的方向与该直线重合;

[0013] 所述的不透光液体注入到所述的透明圆锥体容器中,在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体的状态将决定全方位倾斜检测的水平倾斜角和倾斜方位角;当全方位倾斜传感器处于水平状态时,所述的照明光源由于受到在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体遮光作用,所述的摄像头无法接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器透射光;当全方位倾斜传感器处于倾斜状态时,所述的不透光液体在所述的透明圆锥体容器中发生流动维持水平状态,这时在所述的照明光源和所述的摄像头之间的所述的透明圆锥体容器有一部分区域处于非遮挡状态,所述的摄像头接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器部分透射光。

[0014] 作为优选的一种方案:所述的不透光液体,需要根据动态检测需求选择不透光液体的粘度,对于在垂直方向存在作用力的情况,采用粘度系数高的不透光液体;对于高动态检测水平状态情况,采用粘度系数低的不透光液体;对不透光液体选择范围,能很好吸收光的、没有腐蚀性、对温度不敏感、满足粘度范围的液体都能作为不透光液体。

[0015] 作为优选的另一种方案:所述的微处理器包括:

[0016] 图像获取单元,用于读取从摄像头来的视频数据,主要包括系统初始化模块和图像读取模块;

[0017] 系统初始化模块,用于读取存储在所述的系统数据存储单元中的一些系统数据,如透明圆锥体容器的半径 R 、透明圆锥体容器的圆锥角 α 、初始方位角 β_0 、摄像头的分辨率、倾斜角 θ 与透光部分的宽度值 δ 的计算表等数据;初始方位角 β_0 的确定是根据圆柱型的外壁上的直线与所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角;

[0018] 图像读取模块,用于读取从摄像头来的视频数据,并将其保存在动态存储单元内;

[0019] 倾斜角与倾斜方位角检测单元,用于检测和计算被测物体的倾斜角 θ 与倾斜方位角 β ,主要包括倾斜方位角 β 检测模块、倾斜角 θ 检测模块和倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块;

[0020] 倾斜方位角 β 检测模块,用于检测被测物体的倾斜方位;本发明中倾斜方位角的定义是从正北方向开始以顺时针方向用 β 角度值进行表示,在图像平面上的检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示;因此在倾斜方位角 β 与检测倾斜方位角 β_x 之间存在着以下关系,如式 (1) 所示,

$$[0021] \quad \beta = \beta_x + \beta_0$$

[0022] 式中: β 为倾斜方位角, β_x 为检测倾斜方位角, β_0 为初始方位角;

[0023] 初始方位角 β_0 在全方位倾斜传感器出厂检测时根据圆柱型的外壁上的直线与

所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角来确定,并将初始方位角 β_0 写入到系统数据存储单元中;

[0024] 检测倾斜方位角 β_x 是依据所获得图像中的透射光部分的几何形状来计算确定的,检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示;在被测物体发生倾斜状态时在透明圆锥体容器中的不透光液体在图像平面上的形状为半个圆与半个椭圆的组合,椭圆的长轴等于圆的半径,倾斜角与椭圆的短轴成函数关系,成像平面上的椭圆的短轴数据越小表明倾斜角度越大,而倾斜方位角则发生在椭圆短轴的负方向;这时在成像平面上将会出现月牙型的感光区域,椭圆短轴的角度位置必定会出现月牙型的中部,从成像图像上计算椭圆短轴的角度位置的计算方法如公式 (2) 所示,即从 X 轴开始以顺时针方向进行检索,具体算法如下:

[0025] 步骤 1:从 X 轴方向上引一条直线以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果在 X 轴方向上没有光亮像素的话,就从 X 轴开始以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,反之跳转到步骤 3,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是光亮像素,就确定为该旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

[0026] 步骤 2:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;然后跳转到步骤 5,

[0027] 步骤 3:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;

[0028] 步骤 4:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线逆时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

[0029] 步骤 5:通过公式 (2) 计算椭圆短轴的角度 β_c ,

$$[0030] \quad \beta_c = (\beta_1 + \beta_2) / 2 \quad (2)$$

[0031] 而检测倾斜方位角 β_x 必定出现在椭圆短轴的负向,倾斜方位角 β_x 计算方法用公式 (3) 表示,

$$[0032] \quad \beta_x = \beta_c - \pi \quad (3)$$

[0033] 所述的倾斜角 θ 检测模块,用于检测被测物体的倾斜角;倾斜角 θ 可以通过公式 (4) 计算得到

$$[0034] \quad \theta = \text{ctg}^{-1}[(R/\delta - 1) \times \text{ctg}(\alpha)] \quad (4)$$

[0035] 上式中,R 为透明圆锥体容器的半径, α 为透明圆锥体容器的圆锥角, δ 为透光的月牙型的中部的宽度值, θ 为倾斜角;

[0036] 这里,透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 从存储在系统数据存储单元中的系统数据中得到的,透光的月牙型的中部的宽度值 δ 是通过对图像的分析算法得到的,即通过成像图形中心点为放射线进行顺时针扫描,获得在轴心线方向上的最大透光值,具体算法如下:

[0037] 根据公式 (2) 所得到的椭圆短轴的角度 β_c 和图像的圆心为中心为直线穿越透光的月牙型,计算其透光的像素值;如果摄像头的分辨率为 640×480 、透明圆锥体容器的半

径 R 为 200mm、每个像素代表 0.83mm, 如果计算得到的透光像素值为 5 个像素, 那么透光的月牙型的中部的宽度值 δ 为 4.15mm;

[0038] 倾斜角 θ 的分辨率与透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 相关, 根据公式 (4) 透明圆锥体容器的半径 R 越大倾斜角 θ 的分辨率越高, 透明圆锥体容器的圆锥角 α 与倾斜角 θ 的分辨率成函数关系; 一般来说, 透明圆锥体容器的半径 R 是由摄像头的视觉范围确定, 透明圆锥体容器的半径 R 为 200mm, 在成像平面上占 240 个像素; 透明圆锥体容器的圆锥角 α 要根据实际水平测量范围来选择, 对于小的倾斜角 θ 具有较高的分辨率; 根据实际检测精度的需要选择或者设计透明圆锥体容器的圆锥角 α 。

[0039] 进一步, 所述的倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块, 用于计算倾斜角速度、倾斜角加速度、倾斜方位角速度和倾斜方位角加速度; 本发明计算倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 是建立在对图像的分析和处理的基础上的, 摄采用每秒采集处理 10 帧图像, 因此两帧图像处理间隔为 $\Delta t = 1/6$ 秒, 用公式 (5) 来计算倾斜角速度和倾斜方位角速度,

$$[0040] \quad \Delta \theta(t) = (\theta(t) - \theta(t-1)) / \Delta t \quad (5)$$

$$[0041] \quad \Delta \beta(t) = (\beta(t) - \beta(t-1)) / \Delta t$$

[0042] 式中, $\theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角度, $\theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角度, $\beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角度, $\beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角度, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度;

[0043] 同样道理用公式 (6) 来计算倾斜角加速度和倾斜方位角加速度,

$$[0044] \quad \Delta^2 \theta(t) = (\Delta \theta(t) - \Delta \theta(t-1)) / \Delta t \quad (6)$$

$$[0045] \quad \Delta^2 \beta(t) = (\Delta \beta(t) - \Delta \beta(t-1)) / \Delta t$$

[0046] 式中, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta \beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta^2 \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角加速度, $\Delta^2 \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角加速度。

[0047] 再进一步, 所述微处理器还包括: 平台水平控制单元, 用于控制平台的水平度, 主要包括平台支撑脚位置误差计算模块和平台支撑脚位置伺服控制模块;

[0048] 所述的平台支撑脚位置误差计算模块, 用于计算要将平台调整到水平位置状态下平台各支撑点的移动距离; 在所述的平台支撑脚位置误差计算模块中采用最高点调平算法、最低点调平算法、中间点调平算法和基准点调平算法;

[0049] 所述的平台支撑脚位置伺服控制模块, 通过输出接口将在所述的平台支撑脚位置误差计算模块中所计算得到的各支撑点的位移量和位移速度等转换成相应的控制电信号并输入到平台支撑脚位置伺服控制驱动单元, 平台支撑脚位置伺服控制驱动单元驱动平台支撑脚位置伺服控制动作单元完成相应的调平动作; 位置伺服控制采用机电位置伺服或者电液位置伺服来实现。

[0050] 所述的最低点调平算法就是在调平时, 保持最低点不动, 其它支撑点向下运动与之对齐, 当各点达到最低点位置时平台即处于水平状态; 具体实现方法是: 根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号, 确定平台的最低点, 并将其作为坐标系的原点, 然后计算各支承点到最低点的位置误差; 将这个误差值送给各自的伺服系统, 驱动电机转过一定的角度, 使支腿下降给定的距离, 从而各点处于同一个高度, 平台达到水平状态。

[0051] 所述的中间点调平算法就是在调平时,根据支撑点与中间点的计算差值控制其运动方向和位移大小,与中间点对齐,当各点达到中间点位置时平台即处于水平状态;具体实现方法是:根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号,确定平台的最高点和最低点,并以最高点和最低点的中间点作为坐标系的原点,然后计算各支承点到中间点的位置误差;将这个误差值送给各自的伺服系统,驱动电机转过一定的角度,使支腿上升或者下降给定的距离,从而各点处于同一个高度,平台达到水平状态。

[0052] 所述的基准点调平算法就是在调平时,根据支撑点与基准点的计算差值控制其运动方向和位移大小,与基准点对齐,当各点达到基准点位置时平台即处于水平状态;具体实现方法是:根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号,确定平台的最高点和最低点,并以基准点作为坐标系的原点,然后计算各支承点到基准点的位置误差;将这个误差值送给各自的伺服系统,驱动电机转过一定的角度,使支腿上升或者下降给定的距离,从而各点处于同一个高度,平台达到水平状态。

[0053] 所述微处理器还包括:检测结果显示单元,用于实时显示被测物体水平倾斜角度和倾斜方位角度等测量结果;对于计算好的倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta\beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2\beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta\theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2\theta(t)$ 、当前的系统时间 t 以及视频图像等数据提交给检测数据存储单元进行保存,同时加工成显示页面送交给检测结果显示单元进行显示;在显示页面上即有实时的视频图像,又有各种检测数据以及全方位倾斜传感器的系统参数,以便于使用者能直观的确认检测结果。

[0054] 用于显示被测物体水平倾斜角度和倾斜方位角度等测量过程的变化曲线;由于保存在检测数据存储单元的检测结果数据是按照时间序列进行存储的,有时为了观察倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta\beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2\beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta\theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2\theta(t)$ 的变化过程,使用者通过页面上的选择菜单来显示倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta\beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2\beta(t)$ 的变化曲线和倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta\theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2\theta(t)$ 的变化曲线。

[0055] 本发明的有益效果主要表现在:(1) 分辨力高、检测范围广,实现了全方位的水平检测;(2) 适应面广,测量精度和量程范围能定制;(3) 在恶劣外部环境的影响下(如:高温、高湿、沙尘、雷电等)能长期可靠工作;(4) 检测参数多,能同时测量倾斜角度、倾斜角速度、倾斜角加速度、倾斜方位角度、倾斜方位角速度、倾斜方位角加速度;(5) 低功耗型;(6) 具有远程访问能力,容易实现远程水平控制;(7) 误差检定所需设备简单,现场检定操作简便易行;(8) 人机界面友好,能将视频数据和检测数据同时显示在用户界面上,使得控制和检测结果更直观、确认故障更容易;(9) 配备有多种调平方案,用户可以根据需求选择适合自己的调平控制策略;(10) 能同时满足对三支撑点、四支撑点、六支撑点和八支撑点的平台调平控制。

附图说明

[0056] 图 1 为基于机器视觉的平台自动调平装置的结构图。

[0057] 图 2 为当被测物体发生倾斜时检测倾斜角度的示意图。

[0058] 图 3 为检测倾斜方位角的示意图。

- [0059] 图 4 为不同圆锥角度构成的透明圆锥体容器示意图。
- [0060] 图 5 为计算倾斜角的示意图。
- [0061] 图 6 为基于机器视觉的平台自动调平装置的软件结构框图。
- [0062] 图 7 为初始方位角确认示意图。
- [0063] 图 8 为 5° 圆锥角情况下透光宽度与倾斜角的关系曲线。
- [0064] 图 9 为基于机器视觉的平台自动调平装置的人机用户界面。
- [0065] 图 10 为基于机器视觉的平台自动调平装置的嵌入式系统构成框图。
- [0066] 图 11 为最低点调平过程说明图。
- [0067] 图 12 为中间点调平过程说明图。
- [0068] 图 13 为最高点调平过程说明图。
- [0069] 图 14 为 5° 圆锥角情况下透光宽度与倾斜角的关系曲线。
- [0070] 图 15 为 5° 圆锥角情况下小倾斜角时透光宽度与倾斜角的关系曲线。
- [0071] 图 16 为最高点调平算法计算说明。
- [0072] 图 17 为最低点调平算法计算说明。
- [0073] 图 18 为中间点调平算法计算说明。

具体实施方式

[0074] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0075] 实施例 1

[0076] 参照图 1 ~ 图 11、图 14、图 15、图 17，一种基于机器视觉的平台自动调平装置，包括全方位倾斜传感器外壳、LED 照明光源、透明圆锥体容器、不透光液体、摄像头、嵌入式系统、电源、指南针、平台、平台支撑脚位置伺服控制动作单元和平台支撑脚位置伺服控制驱动单元，所述的电源给所述的照明光源和所述的嵌入式系统供电，所述的嵌入式系统通过 USB 接口给所述的摄像头供电，所述的透明圆锥体容器是由两个同样大小的圆锥体以背靠背的方式结合成一个封闭容器；所述的全方位倾斜传感器外壳中部固定着所述的透明圆锥体容器，上部固定着所述的 LED 照明光源，下部固定着所述的摄像头；所述的 LED 照明光源朝下正对着所述的透明圆锥体容器中心发出白色光，所述的摄像头朝上所述的透明圆锥体容器中心感应透过透明圆锥体容器后的透射光，所述的摄像头通过 USB 接口从所述的摄像头中读取图像数据，全方位倾斜传感器固定在所述的平台上，所述的平台由所述的平台支撑脚位置伺服控制动作单元支撑，所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元控制所述的平台支撑脚位置伺服控制动作单元上下移动，所述的嵌入式系统发出移动控制信号给所述的平台支撑脚位置伺服控制驱动单元；

[0077] 所述的不透光液体注入到所述的透明圆锥体容器中，在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体的状态将决定全方位倾斜检测的水平倾斜角和倾斜方位角；当全方位倾斜传感器处于水平状态时，所述的照明光源由于受到在所述的透明圆锥体容器中的所述的不透光液体遮光作用，所述的摄像头无法接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器透射光，如附图 1 所示；当全方位倾斜传感器处于倾斜状态时，所述的不透光液体在所述的透明圆锥体容器中发生流动维持水平状态，这时在所述的照明光源和所述的摄像头之间的所述的透明圆锥体容器有一部分区域处于非遮挡状态，如附图 2 所示，所述

的摄像头接收到从所述的照明光源发出的并经所述的透明圆锥体容器部分透射光；所述的不透光液体，需要根据动态检测需求选择不透光液体的粘度，对于在垂直方向存在作用力的情况，就需要采用粘度系数高的不透光液体；对于高动态检测水平状态情况则希望采用粘度系数低的不透光液体；对不透光液体选择范围就更广，只要能很好吸收光的、没有腐蚀性、对温度不敏感、满足一定粘度范围的液体都能作为不透光液体；

[0078] 所述的全方位倾斜传感器外壳，形状为圆柱型，圆柱型的两个平面，其中一个平面内侧固定着 LED 光源，平面外侧固定着指南针；在另一个平面上固定着摄像头，且方向都向内；圆柱型的中部固定着透明圆锥体容器；为了屏蔽外界光的干扰，全方位倾斜传感器外壳采用不透光的材料，圆柱型的内壁采用吸光性的材料，以避免在圆柱型内壁出现光的折射所产生的干扰光；圆柱型的外壁上标有一条与圆柱型的轴线相平行的直线，将该直线作为方位角的始点；使用全方位倾斜传感器时需要转动全方位倾斜传感器将指南针的指北的方向与该直线重合；

[0079] 所述的嵌入式系统，包括嵌入式硬件和嵌入式软件，所述的嵌入式软件包括系统软件 and 用户软件，所述的用户软件包括图像获取单元、倾斜角与倾斜方位角检测单元、系统数据存储单元、平台水平控制单元、检测数据存储单元和检测结果显示单元；

[0080] 所述的图像获取单元，用于读取从摄像头来的视频数据，主要包括系统初始化模块和图像读取模块；

[0081] 所述的系统初始化模块，用于读取存储在所述的系统数据存储单元中的一些系统数据，如透明圆锥体容器的半径 R 、透明圆锥体容器的圆锥角 α 、初始方位角 β_0 、摄像头的分辨率、倾斜角 θ 与透光部分的宽度值 δ 的计算表等数据；初始方位角 β_0 的确定是根据圆柱型的外壁上的直线与所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角；

[0082] 所述的图像读取模块，用于读取从摄像头来的视频数据，并将其保存在动态存储单元内；

[0083] 所述的倾斜角与倾斜方位角检测单元，用于检测和计算被测物体的倾斜角 θ 与倾斜方位角 β ，主要包括倾斜方位角 β 检测模块、倾斜角 θ 检测模块和倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块；

[0084] 所述的倾斜方位角 β 检测模块，用于检测被测物体的倾斜方位；本发明中倾斜方位角的定义是从正北方向开始以顺时针方向用 β 角度值进行表示，在图像平面上的检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示，如图 3 所示；因此在倾斜方位角 β 与检测倾斜方位角 β_x 之间存在着以下关系，如式 (1) 所示，

$$[0085] \quad \beta = \beta_x + \beta_0 \quad (1)$$

[0086] 式中： β 为倾斜方位角， β_x 为检测倾斜方位角， β_0 为初始方位角；

[0087] 初始方位角 β_0 在全方位倾斜传感器出厂检测时根据圆柱型的外壁上的直线与所获得的视频图像的 X 轴方向之间的夹角来确定，并写入到系统数据存储单元中；

[0088] 检测倾斜方位角 β_x 是依据所获得图像中的透射光部分的几何形状来计算确定的，如图 3 所示，检测倾斜方位角是从 X 轴开始以顺时针方向用 β_x 角度值进行表示；根据物理学的原理，在被测物体发生倾斜时，不透光液体在透明圆锥体容器中发生流动维持水平状态，由于透明圆锥体容器是由两个相同大小的圆锥体构成的，流出某一个圆锥体的不透光液体量必定等于流入另一个圆锥体的不透光液体量，且水平面必定通过透明圆锥体容

器的中心点,如图 2 所示,换句话说,倾斜状态下的不透光液体量水平面是围绕着 Y 轴进行旋转的;从摄像头拍摄的角度来看,原来没有发生倾斜状态时在透明圆锥体容器中的不透光液体在图像平面上的形状为一个圆,在发生倾斜状态时在透明圆锥体容器中的不透光液体在图像平面上的形状为半个圆与半个椭圆,椭圆的长轴等于圆的半径,倾斜角与椭圆的短轴成函数关系,成像平面上的椭圆的短轴数据越小表明倾斜角度越大,而倾斜方位角则发生在椭圆短轴的负方向;这时在成像平面上将会出现月牙型的感光区域,椭圆短轴的角度位置必定会出现月牙型的中部,从成像图像上计算椭圆短轴的角度位置的计算方法如公式 (2) 所示,即从 X 轴开始以顺时针方向进行检索,具体算法如下:

[0089] 步骤 1:从 X 轴方向上引一条直线以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果在 X 轴方向上没有光亮像素的话,就从 X 轴开始以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,反之跳转到步骤 3,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是光亮像素,就确定为该旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

[0090] 步骤 2:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;然后跳转到步骤 5,

[0091] 步骤 3:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线顺时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_2 ;

[0092] 步骤 4:接着用旋转直线继续以图像的圆心为中心为直线逆时针旋转方向检索,如果旋转直线遇到的圆形外圈的像素是非光亮像素,前一个光亮像素的旋转直线与 X 轴方向的夹角为 β_1 ;

[0093] 步骤 5:通过公式 (2) 计算椭圆短轴的角度 β_c ,

$$[0094] \quad \beta_c = (\beta_1 + \beta_2) / 2 \quad (2)$$

[0095] 而检测倾斜方位角 β_x 必定出现在椭圆短轴的负向,倾斜方位角 β_x 计算方法用公式 (3) 表示,

$$[0096] \quad \beta_x = \beta_c - \pi \quad (3)$$

[0097] 所述的倾斜角 θ 检测模块,用于检测被测物体的倾斜角;如图 2 和图 5 所示,倾斜角 θ 可以通过公式 (4) 计算得到

$$[0098] \quad \theta = \text{ctg}^{-1}[(R/\delta - 1) \times \text{ctg}(\alpha)] \quad (4)$$

[0099] 上式中,R 为透明圆锥体容器的半径, α 为透明圆锥体容器的圆锥角, δ 为透光的月牙型的中部的宽度值, θ 为倾斜角;

[0100] 这里,透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 从存储在系统数据存储单元中的系统数据中得到的,透光的月牙型的中部的宽度值 δ 是通过对图像的分析算法得到的,具体算法如下:

[0101] 根据公式 (2) 所得到的椭圆短轴的角度 β_c 和图像的圆心为中心为直线穿越透光的月牙型,计算其透光的像素值;如果摄像头的分辨率为 $640 \times 480(\text{pixel})$ 、透明圆锥体容器的半径 R 为 20mm,每个像素约为 0.083mm,如果计算得到的透光像素值为 5 个像素,那么透光的月牙型的中部的宽度值 δ 为 0.415mm;

[0102] 倾斜角 θ 的分辨率与透明圆锥体容器的半径 R 和透明圆锥体容器的圆锥角 α 相

关,根据公式(4)透明圆锥体容器的半径 R 越大倾斜角 θ 的分辨率越高,透明圆锥体容器的圆锥角 α 与倾斜角 θ 的分辨率成函数关系;一般来说,透明圆锥体容器的半径 R 是由摄像头的视觉范围确定,在本发明中透明圆锥体容器的半径 R 为 200mm,在成像平面上占 240 个像素;透明圆锥体容器的圆锥角 α 要根据实际水平测量范围来选择,图 8 是在透明圆锥体容器的半径 R 为 20mm、圆锥角 α 分别为 5° 情况下,透光月牙型的中部的宽度值 δ 和倾斜角 θ 的曲线图;从图 8 中可以发现,在圆锥角 $\alpha = 5^\circ$ 的情况下,如图 14 所示,在 $0 \sim 100$ 像素范围内,透光像素值与倾斜角之间基本上是成线性关系,对于小的倾斜角 θ 具有较高的分辨率,如果图像分辨率为 640×480 (pixel) 的话,每个像素值能反映 0.02° 的倾斜角,也就是说,在圆锥角 $\alpha = 5^\circ$ 的情况下系统的最小分辨率为 0.02° ,如图 15 所示,这样的设计能满足高精度的平台水平控制要求;

[0103] 所述的倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 变化率计算模块,用于计算倾斜角速度、倾斜角加速度、倾斜方位角速度和倾斜方位角加速度;本发明计算倾斜角 θ 和倾斜方位角 β 是建立在对图像的分析和处理的基础上的,摄像头获取图像是一个离散化的过程,比如每秒获取 25 帧图像,而嵌入式系统处理图像也需要一定的时间,综合这些因素,在本发明中采用每秒采集处理 10 帧图像,因此两帧图像处理间隔为 $\Delta t = 1/6$ 秒,用公式(5)来计算倾斜角速度和倾斜方位角速度,

$$[0104] \quad \Delta \theta(t) = (\theta(t) - \theta(t-1)) / \Delta t \quad (5)$$

$$[0105] \quad \Delta \beta(t) = (\beta(t) - \beta(t-1)) / \Delta t$$

[0106] 式中, $\theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角度, $\theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角度, $\beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角度, $\beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角度, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度;

[0107] 同样道理用公式(6)来计算倾斜角加速度和倾斜方位角加速度,

$$[0108] \quad \Delta^2 \theta(t) = (\Delta \theta(t) - \Delta \theta(t-1)) / \Delta t \quad (6)$$

$$[0109] \quad \Delta^2 \beta(t) = (\Delta \beta(t) - \Delta \beta(t-1)) / \Delta t$$

[0110] 式中, $\Delta \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角速度, $\Delta \theta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜角速度, $\Delta \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta \beta(t-1)$ 为 $t-1$ 帧时的倾斜方位角速度, $\Delta^2 \theta(t)$ 为 t 帧时的倾斜角加速度, $\Delta^2 \beta(t)$ 为 t 帧时的倾斜方位角加速度;

[0111] 对于计算好的倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta \beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2 \beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta \theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2 \theta(t)$ 、当前的系统时间 t 以及视频图像等数据提交给检测数据存储单元进行保存,同时加工成显示页面送交给检测结果显示单元进行显示;显示页面如图 9 所示,在显示页面上即有实时的视频图像,又有各种检测数据以及全方位倾斜传感器的系统参数,以便于使用者能直观的确检测检测结果;

[0112] 进一步,保存在检测数据存储单元的检测数据是按照时间序列进行存储的,有时为了观察倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta \beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2 \beta(t)$ 、倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta \theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2 \theta(t)$ 的变化过程,使用者可以通过页面上(图 9)的选择菜单(显示)来显示倾斜方位角度 $\beta(t)$ 、倾斜方位角速度 $\Delta \beta(t)$ 、倾斜方位角加速度 $\Delta^2 \beta(t)$ 的变化曲线和倾斜角度 $\theta(t)$ 、倾斜角速度 $\Delta \theta(t)$ 、倾斜角加速度 $\Delta^2 \theta(t)$ 的变化曲线;

[0113] 所述的平台水平控制单元,用于控制平台的水平度,主要包括平台支撑脚位置误

差计算模块和平台支撑脚位置伺服控制模块；

[0114] 所述的平台支撑脚位置误差计算模块,用于计算要将平台调整到水平位置状态下平台各支撑点的移动距离,即调平算法;根据不同需求,本发明中采用了“最高点”调平算法、“最低点”调平算法、“中间点”调平算法和“基准点”调平算法;

[0115] 所述的“最低点”调平算法就是在调平时,保持最低点不动,其它支撑点向下运动与之对齐,当各点达到最低点位置时平台即处于水平状态,如图 11 所示;

[0116] 具体实现方法是:根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号,确定平台的最低点,并将其作为坐标系的原点,然后计算各支承点到最低点的位置误差;将这个误差值送给各自的伺服系统,驱动电机转过一定的角度,使支腿下降给定的距离,从而各点处于同一个高度,平台达到水平状态;

[0117] 图 11 中的最高点出现在 D 支撑点和 C 支撑点之间,最低点出现在 B 支撑点和 A 支撑点之间,最高点和最低点之间的连线与 XY 平面上顺时针方向的夹角为倾斜角 θ ,首先利用三角函数关系计算从倾斜角和最高点和最低点之间连线的长度计算最高点和最低点之间在 Z 轴投影方向上的距离 Δ ;用图 17 表示各支撑点到最高点的位置误差的计算方法,图 17 中的上图是采用圆柱型模型表示各位置误差的计算方法;从圆柱型模型来看,平台调平后的水平面与圆柱型相交线是一个圆,平台调平前的水平面与圆柱型相交线是一个椭圆;图 17 中的下图是以圆柱型模型的外径进行展开后计算各位置误差的方法;以 O 点为坐标原点,并以圆柱型模型的轴心为 Z' 轴;对平台调平后的水平面、平台调平前的水平面分别与圆柱型相交线以圆柱外径进行展开,平台调平后的水平面与圆柱外径的相交线为一条圆形曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条直线;平台调平前的水平面与圆柱外径的相交线为一条椭圆曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条椭圆展开曲线;由于本发明中将相邻各支承点之间的距离均取为 W,同时在平台调平情况下倾斜角 θ 会控制在很小的范围,因此可以用两条直线来近似椭圆展开曲线,从而简化计算各位置误差;在图 17 中的下图倾斜方位角定义在支撑点 B 和支撑点 D 的中间,用 Z'' 轴来表示倾斜方位角的起始坐标点,因此从 Z'' 轴到 Z' 轴之间的距离为 $(\pi - \beta)R$,从 Z'' 轴到 Z 轴之间的距离为 βR ,其中 $R = \sqrt{2} \times W$;接着根据三角函数关系用公式 (9) 计算各支承点到最低点的位置误差;

$$[0118] \quad \Delta = -\sqrt{2} \times W \times \sin \theta$$

$$[0119] \quad \Delta A = -\sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma A \quad (9)$$

$$[0120] \quad \Delta B = -\sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma B$$

$$[0121] \quad \Delta C = -\sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma C$$

$$[0122] \quad \Delta D = -\sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma D$$

[0123] 式中, θ 为平台的倾斜角,为平台的倾斜方位角(弧度),W 为相邻支撑点之间的距离, Δ 平台最高点到最低点之间的调平距离, ΔA 为支撑点 A 需要移动的距离, ΔB 为支撑点 B 需要移动的距离, ΔC 为支撑点 C 需要移动的距离, ΔD 为支撑点 D 需要移动的距离, σA 、 σB 、 σC 、 σD 分别为各支撑点在不同的倾斜方位角 β 情况下所需要调平的变量值,其计算方法如表 1 所示;

[0124] 在平台调平过程中,只要使得平台的倾斜方位角 β 保持恒定不变,假设原来平台的四个支撑点都是均匀受力的,理论上在调平过程中也能使得四个支撑点都能均匀受力,

不会出现“虚腿”现象；因此可以将公式 (9) 括号内的值作为不变量，对公式 (9) 进行求导，得到各支撑点的移动速度控制函数值，如公式 (10) 所示，

$$\begin{aligned}
 [0125] \quad \frac{d\Delta}{dt} &= -\sqrt{2} \times W \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0126] \quad \frac{d\Delta A}{dt} &= -\sqrt{2} \times W \times \sigma A \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0127] \quad \frac{d\Delta B}{dt} &= -\sqrt{2} \times W \times \sigma B \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0128] \quad \frac{d\Delta C}{dt} &= -\sqrt{2} \times W \times \sigma C \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0129] \quad \frac{d\Delta D}{dt} &= -\sqrt{2} \times W \times \sigma D \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt}
 \end{aligned} \tag{10}$$

[0130] 式中， θ 为平台的倾斜角， β 为平台的倾斜方位角（弧度）， W 为相邻支撑点之间的距离， $d\Delta/dt$ 平台最高点到底点之间的调平速度， $d\Delta A/dt$ 为支撑点 A 需要控制的调平速度， $d\Delta B/dt$ 为支撑点 B 需要控制的调平速度， $d\Delta C/dt$ 为支撑点 C 需要控制的调平速度， $d\Delta D/dt$ 为支撑点 D 需要控制的调平速度，根据公式 (10) 只要确定了平台的倾斜角 θ 的调平速度就能确定平台各支撑点的调平速度；

[0131] 实际调平过程中，首先确定倾斜角 θ 的调整速率，然后根据公式 (10) 确定各点的调平速度，当平台倾斜角 θ 调整到某一个阈值 V 内时就结束调平动作；阈值 V 的大小是根据平台的水平控制要求来确定的；

[0132] 位置误差控制调平法采用机电伺服控制，这种伺服控制具有调平精度高、调平速度快的优点；在以上各种调平方案中，对平台不同的初始预支承情况，平台离地面的高度都会改变；对于海上平台的调平控制则最好采用“中间点”调平算法；如果要求平台离地面的高度保持恒定，则需要对每个支撑点设定一个初始值，以该初始值为参考标准；

[0133] 进一步，给各个平台支撑脚位置伺服控制驱动单元发出位置控制信号给平台支撑脚位置伺服控制动作单元，平台支撑脚位置伺服控制驱动单元将伺服电机旋转变压器信号换算出的实际位置信号和实际速度信号分别作为位置环反馈信号和速度环反馈信号实现闭环控制，而使系统快速平滑地跟随位置设定值，实现平台的调平；

[0134] 更进一步，对于三脚支撑、六脚支撑和八脚支撑的平台调平，与四脚支撑平台调整原理一样，只要将支撑脚均匀的配置在一个园上；对三脚支撑在圆周上以相隔 120° 配置一个支撑脚，对四脚支撑在圆周上以相隔 90° 配置一个支撑脚，对六脚支撑在圆周上以相隔 60° 配置一个支撑脚，对八脚支撑在圆周上以相隔 45° 配置一个支撑脚；支撑点的位移和速度控制方法与四脚支撑平台调整水平方式雷同；

[0135] 更进一步，为了更精确的控制各支撑点的位移和速度，上述支撑点的位移和速度控制方法采用了用两条直线来近似一条椭圆的展开线，如图 16、图 17 和图 18 所示；如果采用椭圆的展开线来直接计算各支撑点的位移就能得到更精确的控制位移偏差量，从而达到更精确的水平控制精度；但是，椭圆的展开线是以倾斜角 θ 为变量的高次泰勒展开曲线，即每个倾斜角 θ 就有一条相对应的高次泰勒展开曲线，因此这种方式对于具备较大计算能力的控制设备是可以考虑的，但是对于存储能力和计算能力有限的嵌入式系统则难以胜任；

[0136] 所述的平台支撑脚位置伺服控制模块,通过输出接口将在所述的平台支撑脚位置误差计算模块中所计算得到的各支撑点的位移量和位移速度等转换成相应的控制电信号并输入到平台支撑脚位置伺服控制驱动单元,平台支撑脚位置伺服控制驱动单元驱动平台支撑脚位置伺服控制动作单元完成相应的调平动作;位置伺服控制采用机电位置伺服或者电液位置伺服来实现。

[0137] 实施例 2

[0138] 其余均与实施例 1 相同,所不同的是采用最高点的调平算法,如图 13、图 16 所示;所述的“最高点”调平算法就是在调平时,保持最高点不动,其它支撑点向上运动与之对齐,当各点达到最高点位置时平台即处于水平状态,如图 13 所示;具体实现方法是:根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号,确定平台的最高点,并将其作为坐标系的原点,然后计算各支承点到最高点的位置误差;将这个误差值送给各自的伺服系统,驱动电机转过一定的角度,使支腿上升给定的距离,从而各点处于同一个高度,平台达到水平状态;

[0139] 图 13 中的最高点出现在 D 支撑点和 C 支撑点之间,最低点出现在 B 支撑点和 A 支撑点之间,最高点和最低点之间的连线与 XY 平面上顺时针方向的夹角为倾斜角 θ ,首先利用三角函数关系计算从倾斜角和最高点和最低点之间连线的长度计算最高点和最低点之间在 Z 轴投影方向上的距离 Δ ;用图 16 表示各支撑点到最高点的位置误差的计算方法,图 16 中的上图是采用圆柱型模型表示各位置误差的计算方法;从圆柱型模型来看,平台调平后的水平面与圆柱型相交线是一个圆,平台调平前的水平面与圆柱型相交线是一个椭圆;图 16 中的下图是以圆柱型模型的外径进行展开后计算各位置误差的方法;以 O 点为坐标原点,并以圆柱型模型的轴心为 Z' 轴;对平台调平后的水平面、平台调平前的水平面分别与圆柱型相交线以圆柱外径进行展开,平台调平后的水平面与圆柱外径的相交线为一条圆形曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条直线;平台调平前的水平面与圆柱外径的相交线为一条椭圆曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条椭圆展开曲线;由于本发明中将相邻各支承点之间的距离均取为 W,同时在平台调平情况下倾斜角 θ 会控制在很小的范围,因此可以用两条直线来近似椭圆展开曲线,从而简化计算各位置误差;在图 16 中的下图中倾斜方位角定义在支撑点 B 和支撑点 D 的中间,用 Z'' 轴来表示倾斜方位角的起始坐标点,因此从 Z'' 轴到 Z' 轴之间的距离为 $(\pi - \beta)R$,从 Z'' 轴到 Z 轴之间的距离为 βR ,其中 $R = \sqrt{2} \times W$;接着根据三角函数关系用公式 (7) 计算各支承点到最低点的位置误差;

$$[0140] \quad \Delta = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta$$

$$[0141] \quad \Delta A = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma A$$

$$[0142] \quad \Delta B = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma B$$

$$[0143] \quad \Delta C = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma C \quad (7)$$

$$[0144] \quad \Delta D = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times \sigma D$$

[0145] 式中, θ 为平台的倾斜角,为平台的倾斜方位角(弧度),W 为相邻支撑点之间的距离, Δ 平台最高点到最低点之间的调平距离, ΔA 为支撑点 A 需要移动的距离, ΔB 为支撑点 B 需要移动的距离, ΔC 为支撑点 C 需要移动的距离, ΔD 为支撑点 D 需要移动的距离, σA 、 σB 、 σC 、 σD 分别为各支撑点在不同的倾斜方位角 β 情况下所需要调平的变量值,其

计算方法如表 1 所示；

[0146] 表 1 在不同的倾斜方位角 β 情况下的各支撑点的调平变量

[0147]

β 变量值	$0 \sim \pi/4$	$\pi/4 \sim 3\pi/4$	$3\pi/4 \sim 5\pi/4$	$5\pi/4 \sim 7\pi/4$	$7\pi/4 \sim 2\pi$
σA	$3/4 + \beta/\pi$	$5/4 - \beta/\pi$	$5/4 - \beta/\pi$	$\beta/\pi - 5/4$	$\beta/\pi - 5/4$
σB	$3/4 - \beta/\pi$	$3/4 - \beta/\pi$	$\beta/\pi - 3/4$	$\beta/\pi - 3/4$	$7/4 - \beta/\pi$
σC	$1/4 + \beta/\pi$	$1/4 + \beta/\pi$	$7/4 - \beta/\pi$	$7/4 - \beta/\pi$	$\beta/\pi - 7/4$
σD	$1/4 - \beta/\pi$	$\beta/\pi - 1/4$	$\beta/\pi - 1/4$	$9/4 - \beta/\pi$	$9/4 - \beta/\pi$

[0148] 倾斜方位角 β 是从支撑点 B 和支撑点 D 的中间点开始,并以顺时针方向进行计算的,其范围为 $0 \sim 2\pi$;

[0149] 在平台调平过程中,只要使得平台的倾斜方位角 β 保持恒定不变,假设原来平台的四个支撑点都是均匀受力的,理论上在调平过程中也能使得四个支撑点都能均匀受力,不会出现“虚腿”现象;因此可以将公式 (7) 括号内的值作为不变量,对公式 (7) 进行求导,得到各支撑点的移动速度控制函数值,如公式 (8) 所示,

$$\begin{aligned}
 [0150] \quad \frac{d\Delta}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0151] \quad \frac{d\Delta A}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \sigma A \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0152] \quad \frac{d\Delta B}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \sigma B \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0153] \quad \frac{d\Delta C}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \sigma C \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
 [0154] \quad \frac{d\Delta D}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \sigma D \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt}
 \end{aligned} \tag{8}$$

[0155] 式中, θ 为平台的倾斜角, β 为平台的倾斜方位角 (弧度), W 为相邻支撑点之间的距离, $d\Delta/dt$ 为平台最高点到最低点之间的调平速度, $d\Delta A/dt$ 为支撑点 A 需要控制的调平速度, $d\Delta B/dt$ 为支撑点 B 需要控制的调平速度, $d\Delta C/dt$ 为支撑点 C 需要控制的调平速度, $d\Delta D/dt$ 为支撑点 D 需要控制的调平速度,根据公式 (8) 只要确定了平台的倾斜角 θ 的调平速度就能确定平台各支撑点的调平速度;

[0156] 实际调平过程中,首先确定倾斜角 θ 的调整速率,然后根据公式 (8) 确定各点的调平速度,当平台倾斜角 θ 调整到某一个阈值 V 内时就结束调平动作;阈值 V 的大小是根据平台的水平控制要求来确定的。

[0157] 实施例 3

[0158] 其余均与实施例 1 相同,所不同的是采用中间点的调平算法,如图 12、图 18 所示;

所述的“中间点”调平算法就是在调平时,根据支撑点与中间点的计算差值控制其运动方向和位移大小,与中间点对齐,当各点达到中间点位置时平台即处于水平状态,如图 12 所示;

[0159] 具体实现方法是:根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号,确定平台的最高点和最低点,并以最高点和最低点的中间点作为坐标系的原点,然后计算各支撑点到中间点的位置误差;将这个误差值送给各自的伺服系统,驱动电机转过一定的角度,使支腿上升或者下降给定的距离,从而各点处于同一个高度,平台达到水平状态;

[0160] 图 12 中的最高点出现在 D 支撑点和 C 支撑点之间,最低点出现在 B 支撑点和 A 支撑点之间,最高点和最低点之间的连线与 XY 平面上顺时针方向的夹角为倾斜角 θ ,首先利用三角函数关系计算从倾斜角和最高点和最低点之间连线的长度计算最高点和最低点之间在 Z 轴投影方向上的距离 Δ ;用图 18 表示各支撑点到最高点的位置误差的计算方法,图 18 中的上图是采用圆柱型模型表示各位置误差的计算方法;从圆柱型模型来看,平台调平后的水平面与圆柱型相交线是一个圆,平台调平前的水平面与圆柱型相交线是一个椭圆;图 18 中的下图是以圆柱型模型的外径进行展开后计算各位置误差的方法;以 O 点为坐标原点,并以圆柱型模型的轴心为 Z' 轴;对平台调平后的水平面、平台调平前的水平面分别与圆柱型相交线以圆柱外径进行展开,平台调平后的水平面与圆柱外径的相交线为一条圆形曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条直线;平台调平前的水平面与圆柱外径的相交线为一条椭圆曲线,展开后在 Z' 轴上的投影是一条椭圆展开曲线;由于本发明中将相邻各支撑点之间的距离均取为 W,同时在平台调平情况下倾斜角 θ 会控制在很小的范围,因此可以用两条直线来近似椭圆展开曲线,从而简化计算各位置误差;在图 18 中的下图倾斜方位角定义在支撑点 B 和支撑点 D 的中间,用 Z'' 轴来表示倾斜方位角的起始坐标点,因此从 Z'' 轴到 Z' 轴之间的距离为 $(\pi - \beta)R$,从 Z'' 轴到 Z 轴之间的距离为 βR ,其中 $R = \sqrt{2} \times W$;接着根据三角函数关系用公式 (11) 计算各支撑点到中间点的位置误差;

$$[0161] \quad \Delta = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta$$

$$[0162] \quad \Delta A = \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma A - 0.5) \cdots \text{if}(\sigma A > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma A) \cdots \text{if}(\sigma A \leq 0.5) \end{cases}$$

$$[0163] \quad \Delta B = \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma B - 0.5) \cdots \text{if}(\sigma B > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma B) \cdots \text{if}(\sigma B \leq 0.5) \end{cases} \quad (11)$$

$$[0164] \quad \Delta C = \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma C - 0.5) \cdots \text{if}(\sigma C > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma C) \cdots \text{if}(\sigma C \leq 0.5) \end{cases}$$

$$[0165] \quad \Delta D = \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma D - 0.5) \cdots \text{if}(\sigma D > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma D) \cdots \text{if}(\sigma D \leq 0.5) \end{cases}$$

[0166] 式中, θ 为平台的倾斜角,为平台的倾斜方位角(弧度),W 为相邻支撑点之间的距离, Δ 平台最高点到最低点之间的调平距离, ΔA 为支撑点 A 需要移动的距离, ΔB 为支撑点 B 需要移动的距离, ΔC 为支撑点 C 需要移动的距离, ΔD 为支撑点 D 需要移动的距离, σA 、 σB 、 σC 、 σD 分别为各支撑点在不同的倾斜方位角 β 情况下所需要调平的变量值,其计算方法如表 1 所示;

[0167] 在平台调平过程中,只要使得平台的倾斜方位角 β 保持恒定不变,假设原来平台

的四个支撑点都是均匀受力的,理论上在调平过程中也能使得四个支撑点都能均匀受力,不会出现“虚腿”现象;因此可以将公式(11)括号内的值作为不变量,对公式(11)进行求导,得到各支撑点的移动速度控制函数值,如公式(12)所示,

$$\begin{aligned}
 [0168] \quad d\Delta/dt &= \sqrt{2} \times W \times \cos \theta \times d\theta/dt \\
 [0169] \quad d\Delta A/dt &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma A - 0.5) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma A > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma A) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma A \leq 0.5) \end{cases} \\
 [0170] \quad d\Delta B/dt &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma B - 0.5) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma B > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma B) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma B \leq 0.5) \end{cases} \\
 [0171] \quad d\Delta C/dt &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma C - 0.5) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma C > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma C) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma C \leq 0.5) \end{cases} \\
 [0172] \quad d\Delta D/dt &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma D - 0.5) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma D > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma D) \times \cos \theta \times d\theta/dt \cdots \text{if}(\sigma D \leq 0.5) \end{cases}
 \end{aligned} \tag{12}$$

[0173] 式中, θ 为平台的倾斜角, β 为平台的倾斜方位角(弧度), W 为相邻支撑点之间的距离, $d\Delta/dt$ 平台最高点 to 最低点之间的调平速度, $d\Delta A/dt$ 为支撑点 A 需要控制的调平速度, $d\Delta B/dt$ 为支撑点 B 需要控制的调平速度, $d\Delta C/dt$ 为支撑点 C 需要控制的调平速度, $d\Delta D/dt$ 为支撑点 D 需要控制的调平速度, 根据公式(12) 只要确定了平台的倾斜角 θ 的调平速度就能确定平台各支撑点的调平速度;

[0174] 实际调平过程中, 首先确定倾斜角 θ 的调整速率, 然后根据公式(12) 确定各点的调平速度, 当平台倾斜角 θ 调整到某一个阈值 V 内时就结束调平动作; 阈值 V 的大小是根据平台的水平控制要求来确定的。

[0175] 实施例 4

[0176] 其余均与实施例 1 相同, 所不同的是采用基准点的调平算法, 所述的“基准点”调平算法就是在调平时, 根据支撑点与基准点的计算差值控制其运动方向和位移大小, 与基准点对齐, 当各点达到基准点位置时平台即处于水平状态;

[0177] 具体实现方法是: 根据全方位倾斜传感器所检测的倾斜角和倾斜方位角的信号, 确定平台的最高点和最低点, 并以基准点作为坐标系的原点, 然后计算各支承点到基准点的位置误差; 将这个误差值送给各自的伺服系统, 驱动电机转过一定的角度, 使支腿上升或者下降给定的距离, 从而各点处于同一个高度, 平台达到水平状态;

[0178] 参照图 12, 平台的最高点出现在 D 支撑点和 C 支撑点之间, 最低点出现在 B 支撑点和 A 支撑点的之间, 最高点和最低点之间的连线与 XY 平面上顺时针方向的夹角为倾斜角 θ , 首先利用三角函数关系计算从倾斜角和最高点和最低点之间连线的长度计算最高点和最低点之间在 Z 轴投影方向上的距离 Δ ; 从 Z'' 轴到 Z' 轴之间的距离为 $(\pi - \beta)R$, 从 Z'' 轴到 Z 轴之间的距离为 βR , 其中 $R = \sqrt{2} \times W$; 然后根据基准点 Base 与中间点之间的距离 ξ 并依据三角函数关系用公式(13) 计算各支承点到基准点的位置误差;

$$[0179] \quad \Delta = \sqrt{2} \times W \times \sin \theta$$

$$\begin{aligned}
[0180] \quad \Delta A &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma A - 0.5) + \xi \cdots \text{if}(\sigma A > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma A) + \xi \cdots \text{if}(\sigma A \leq 0.5) \end{cases} \\
[0181] \quad \Delta B &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma B - 0.5) + \xi \cdots \text{if}(\sigma B > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma B) + \xi \cdots \text{if}(\sigma B \leq 0.5) \end{cases} \\
[0182] \quad \Delta C &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma C - 0.5) + \xi \cdots \text{if}(\sigma C > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma C) + \xi \cdots \text{if}(\sigma C \leq 0.5) \end{cases} \\
[0183] \quad \Delta D &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (\sigma D - 0.5) + \xi \cdots \text{if}(\sigma D > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times \sin \theta \times (0.5 - \sigma D) + \xi \cdots \text{if}(\sigma D \leq 0.5) \end{cases}
\end{aligned} \tag{13}$$

[0184] 式中, θ 为平台的倾斜角, 为平台的倾斜方位角 (弧度), W 为相邻支撑点之间的距离, Δ 平台最高点 to 最低点之间的调平距离, ΔA 为支撑点 A 需要移动的距离, ΔB 为支撑点 B 需要移动的距离, ΔC 为支撑点 C 需要移动的距离, ΔD 为支撑点 D 需要移动的距离, ξ 基准点 Base 与中间点之间的距离, σA 、 σB 、 σC 、 σD 分别为各支撑点在不同的倾斜方位角 β 情况下所需要调平的变量值, 为其计算方法如表 1 所示;

[0185] 在平台调平过程中, 只要使得平台的倾斜方位角 β 保持恒定不变, 假设原来平台的四个支撑点都是均匀受力的, 理论上在调平过程中也能使得四个支撑点都能均匀受力, 不会出现“虚腿”现象; 因此可以将公式 (13) 括号内的值作为不变量, 对公式 (13) 进行求导, 得到各支撑点的移动速度控制函数值, 如公式 (14) 所示,

$$\begin{aligned}
[0186] \quad \frac{d\Delta}{dt} &= \sqrt{2} \times W \times \cos \theta \times \frac{d\theta}{dt} \\
[0187] \quad \frac{\partial \Delta A}{\partial t} &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma A - 0.5) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma A > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma A) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma A \leq 0.5) \end{cases} \\
[0188] \quad \frac{\partial \Delta B}{\partial t} &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma B - 0.5) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma B > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma B) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma B \leq 0.5) \end{cases} \\
[0189] \quad \frac{\partial \Delta C}{\partial t} &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma C - 0.5) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma C > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma C) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma C \leq 0.5) \end{cases} \\
[0190] \quad \frac{\partial \Delta D}{\partial t} &= \begin{cases} \sqrt{2} \times W \times (\sigma D - 0.5) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma D > 0.5) \\ \sqrt{2} \times W \times (0.5 - \sigma D) \times \cos \theta \times \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial \xi}{\partial t} \cdots \text{if}(\sigma D \leq 0.5) \end{cases}
\end{aligned} \tag{14}$$

[0191] 式中, θ 为平台的倾斜角, β 为平台的倾斜方位角 (弧度), W 为相邻支撑点之间的距离, $d\Delta/dt$ 平台最高点 to 最低点之间的调平速度, $\partial \Delta A / \partial t$ 为支撑点 A 需要控制的调平速度, $\partial \Delta B / \partial t$ 为支撑点 B 需要控制的调平速度, $\partial \Delta C / \partial t$ 为支撑点 C 需要控制的调平速度, $\partial \Delta D / \partial t$ 为支撑点 D 需要控制的调平速度, 根据公式 (14) 首先根据平台的倾斜角 θ 的调平速度确定平台各支撑点的调平速度, 在调平后各支撑点以平均移动速度 $\partial \xi / \partial t$ 移动到基准点 ξ ;

[0192] 实际调平过程中,根据公式(14)首先确定倾斜角 θ 的调整速率,在平台调整到中间点后,并平台倾斜角 θ 调整到某一个阈值 V 内时就结束调平动作,阈值 V 的大小是根据平台的水平控制要求来确定的;接着各支撑点以相同的速率一起移动并到达基准点。

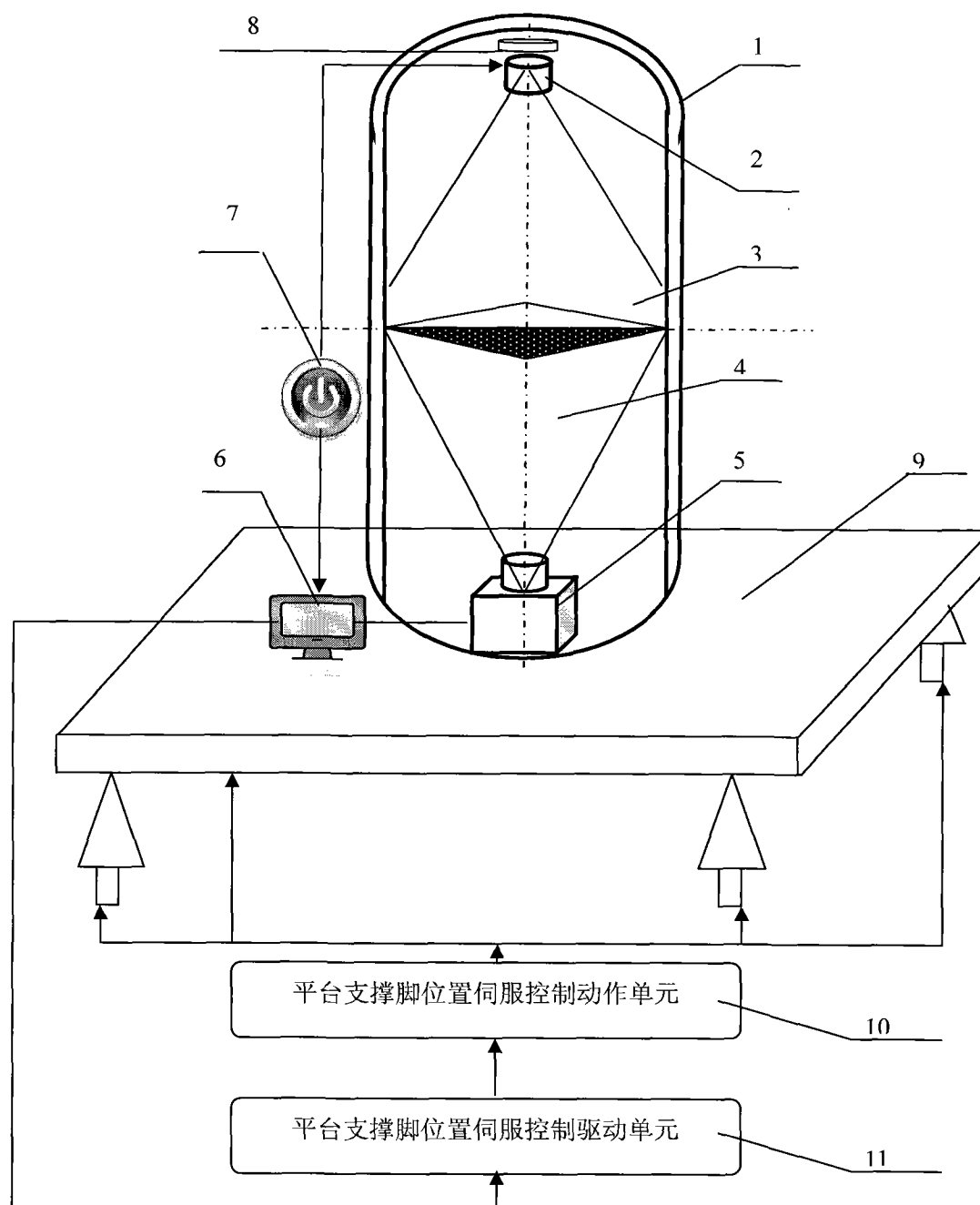


图 1

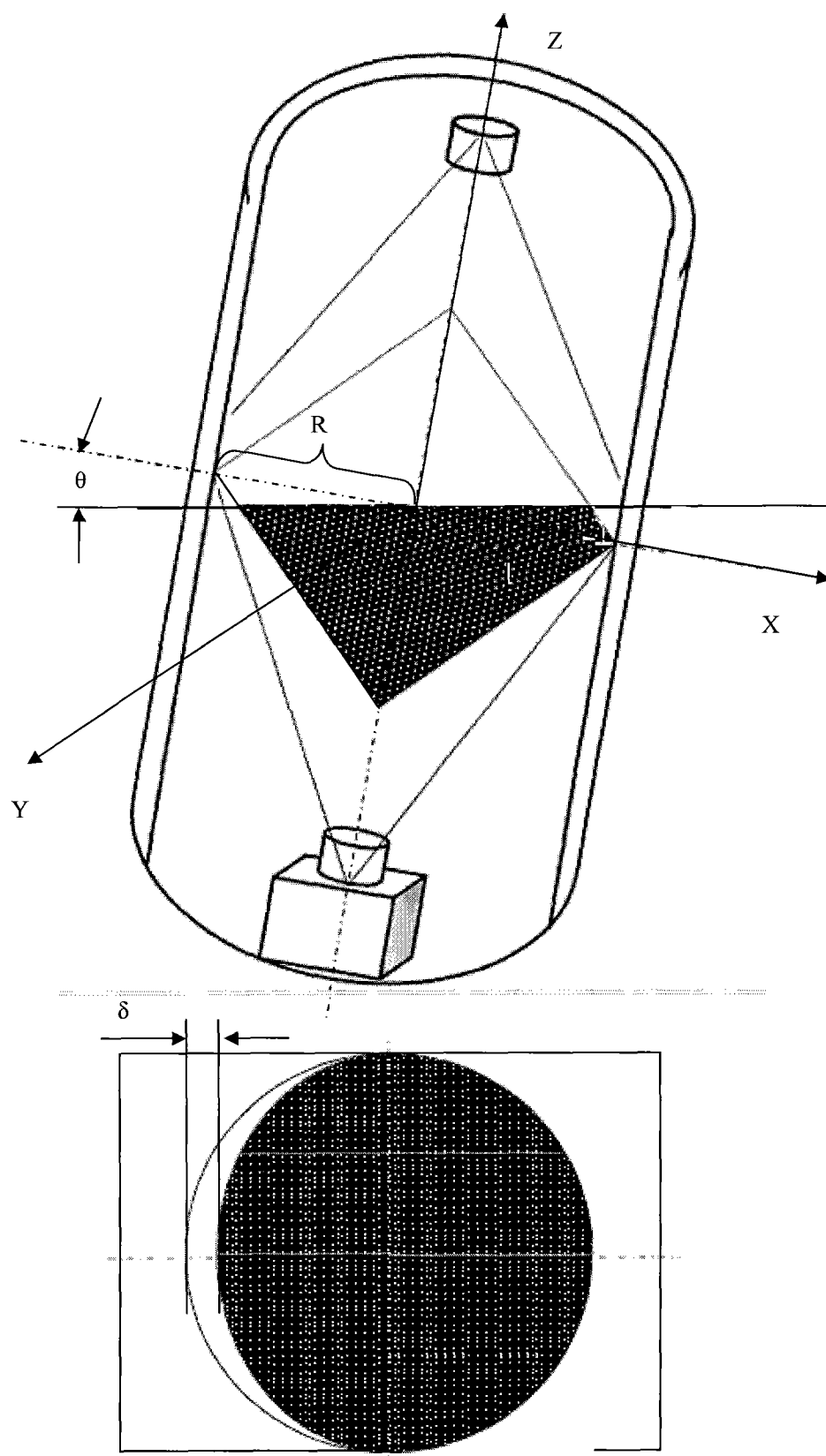


图 2

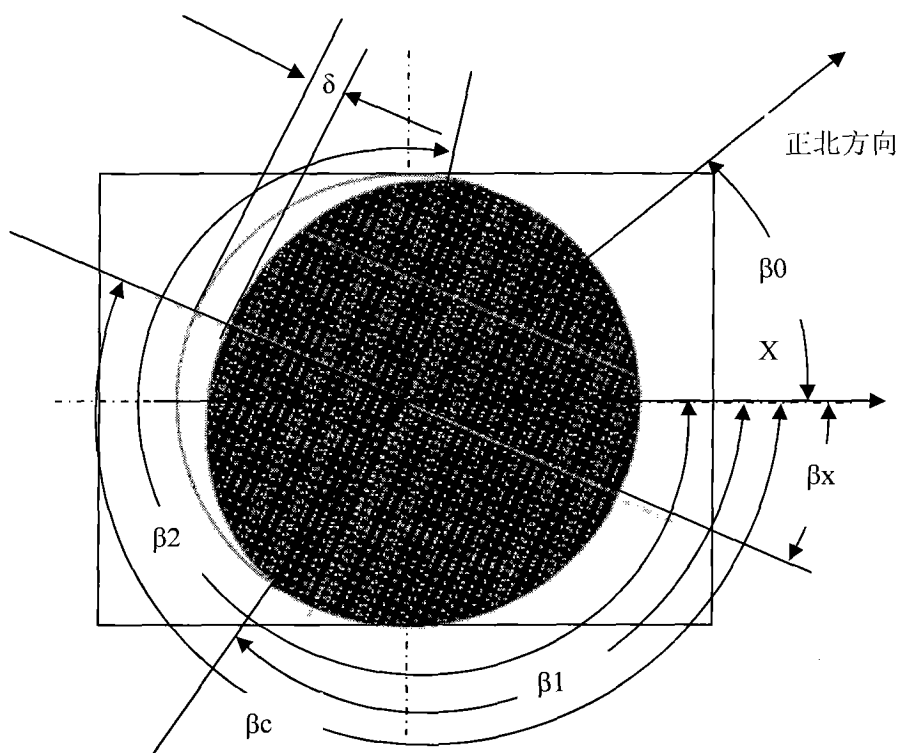


图 3

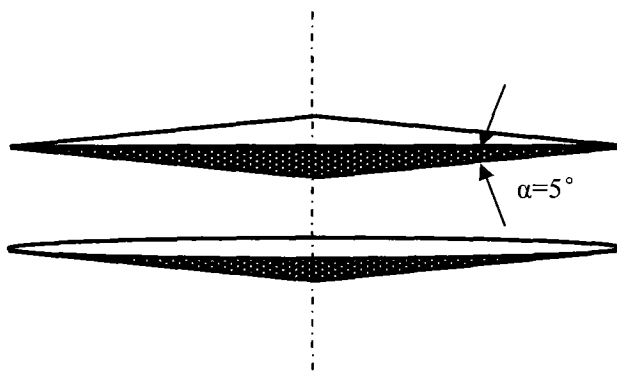


图 4

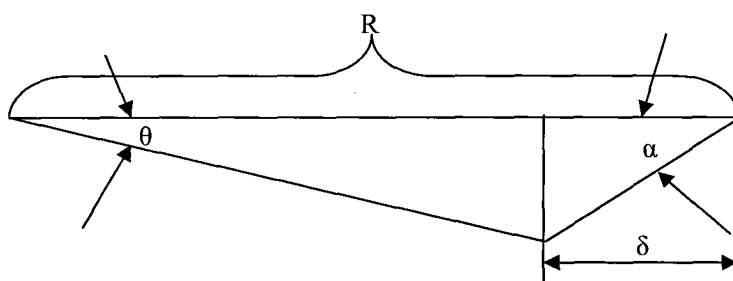


图 5

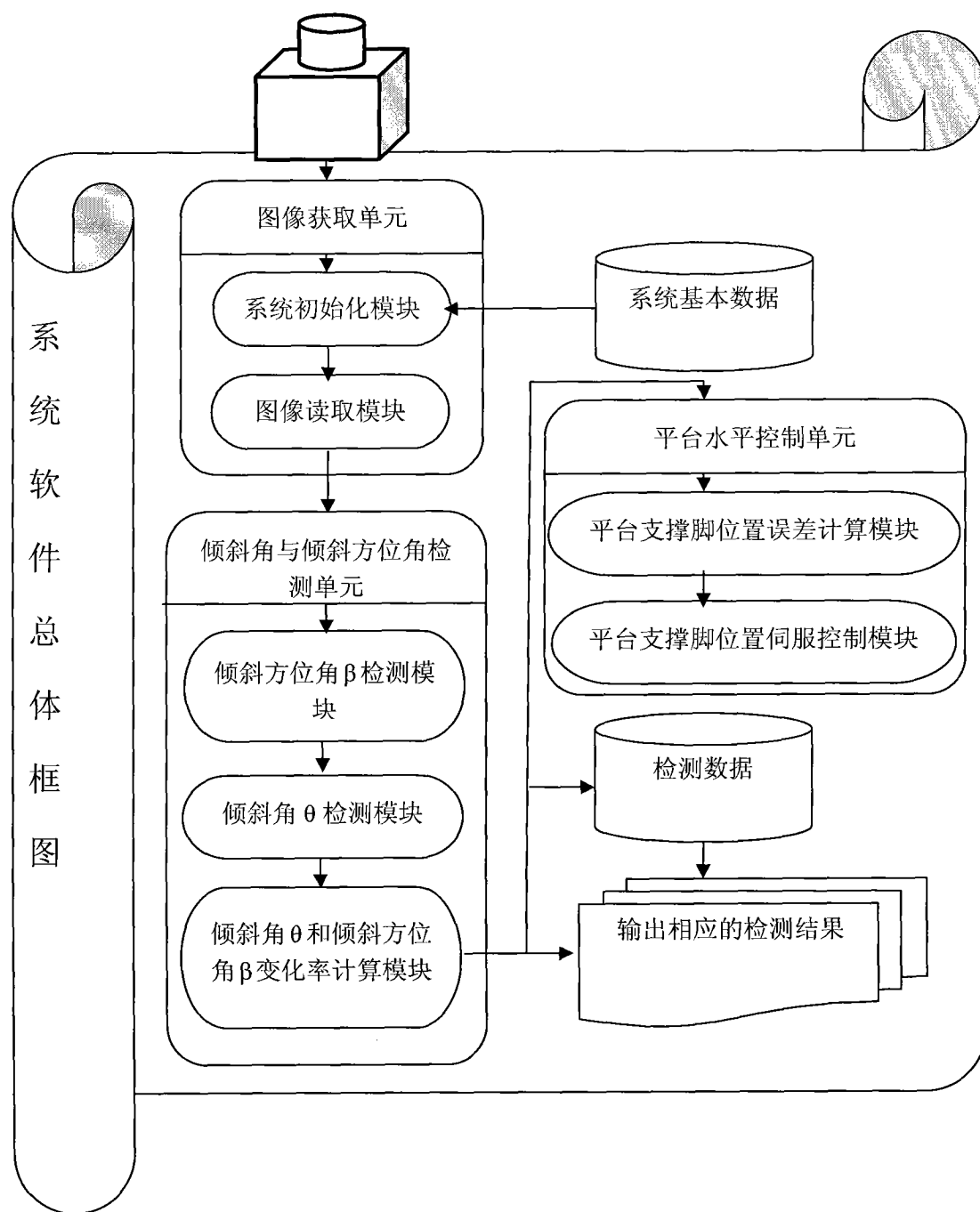


图 6

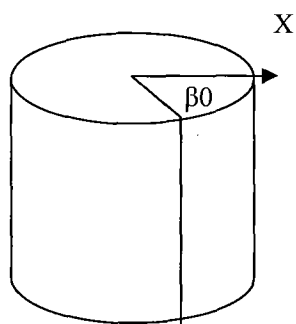


图 7

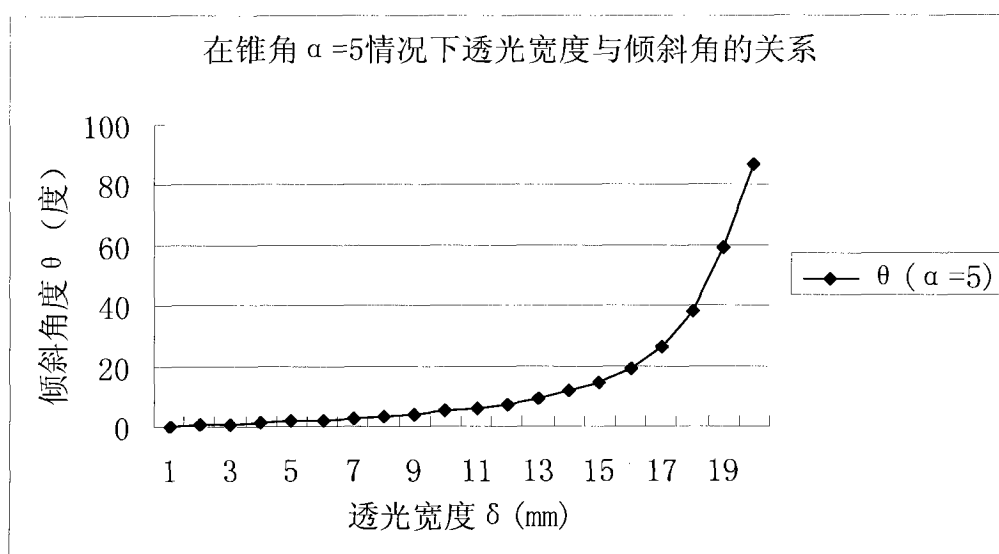


图 8

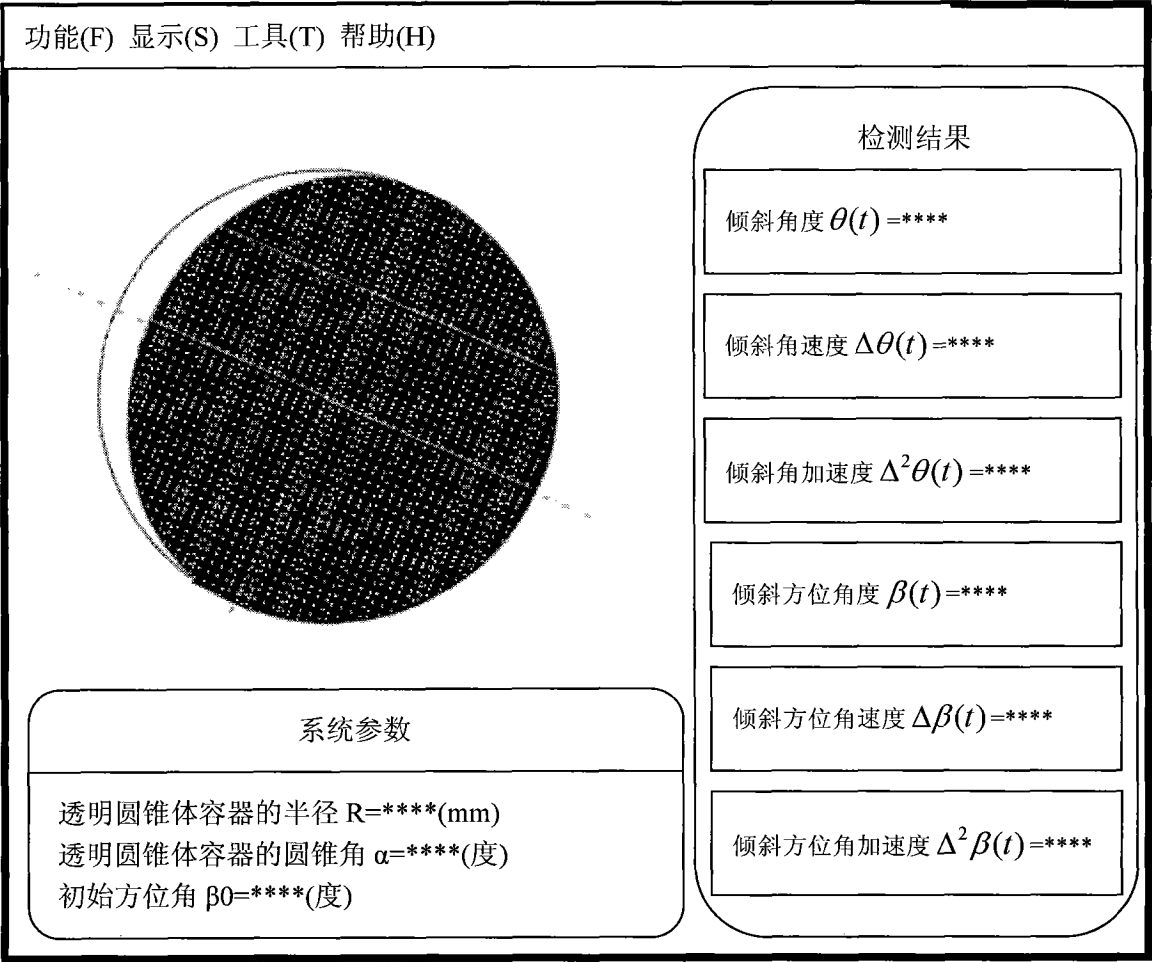


图 9

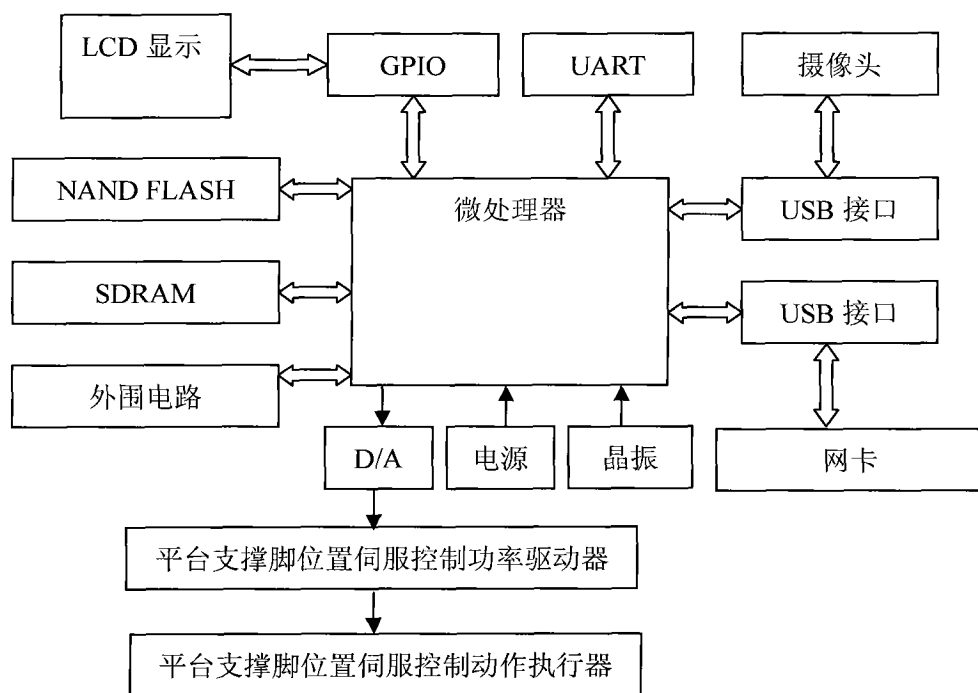


图 10

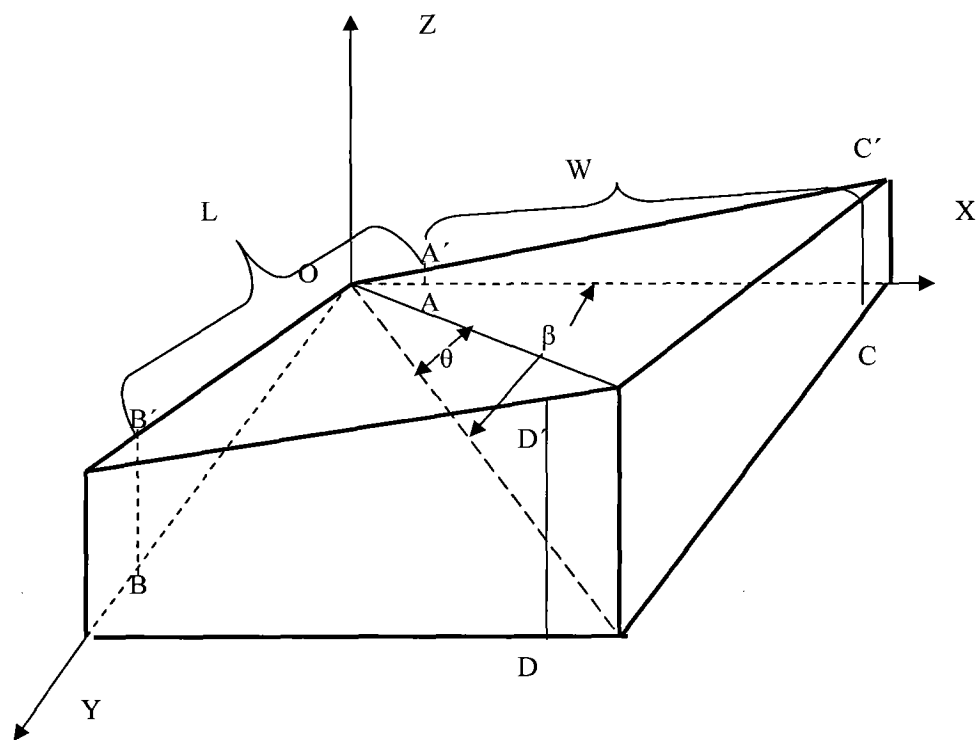


图 11

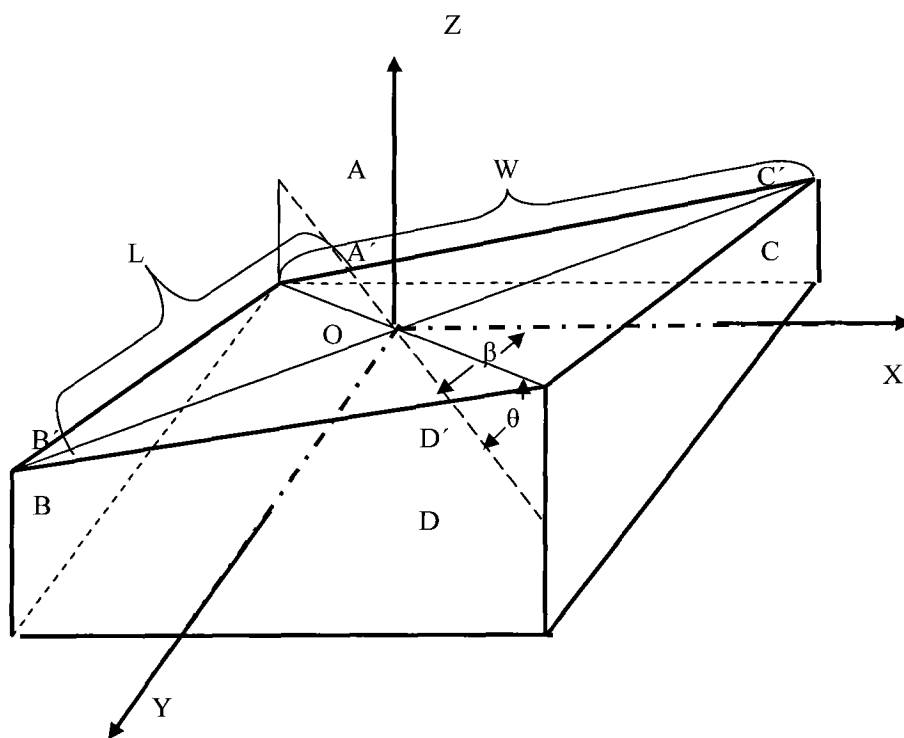


图 12

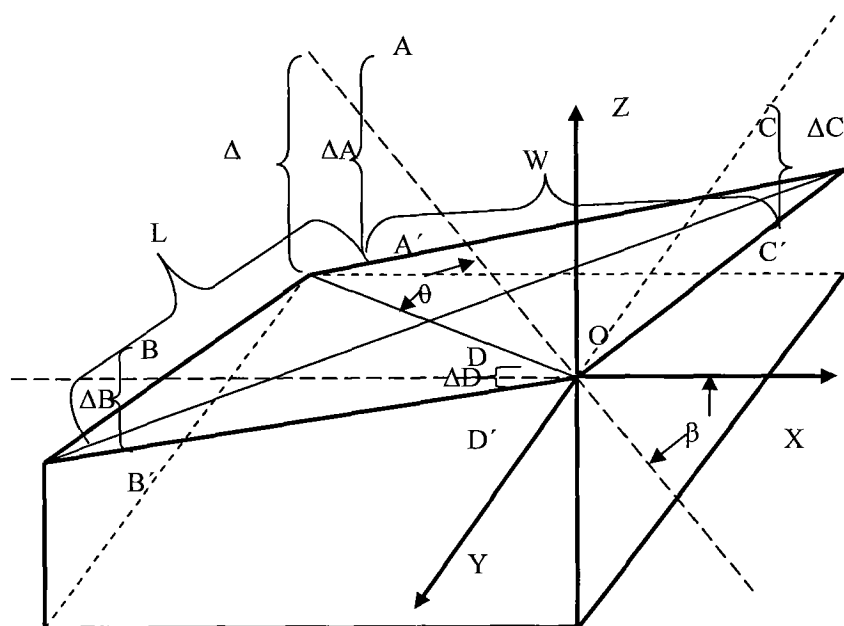


图 13

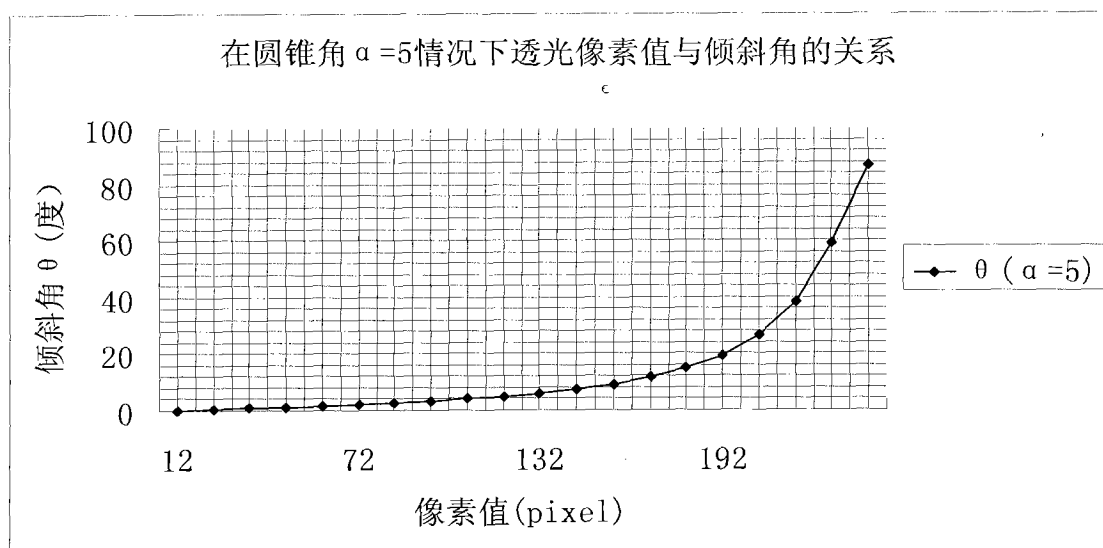


图 14

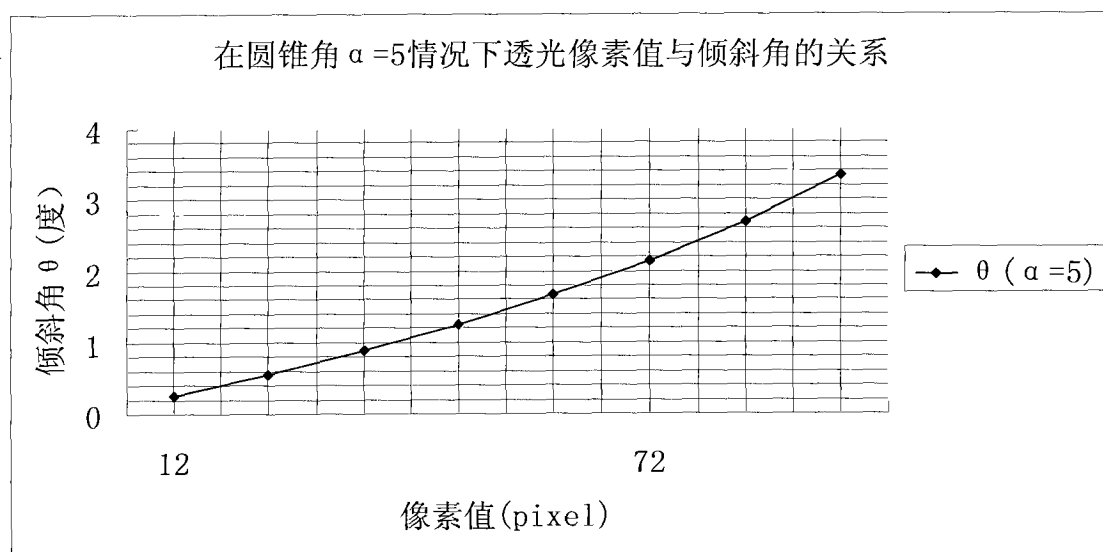


图 15

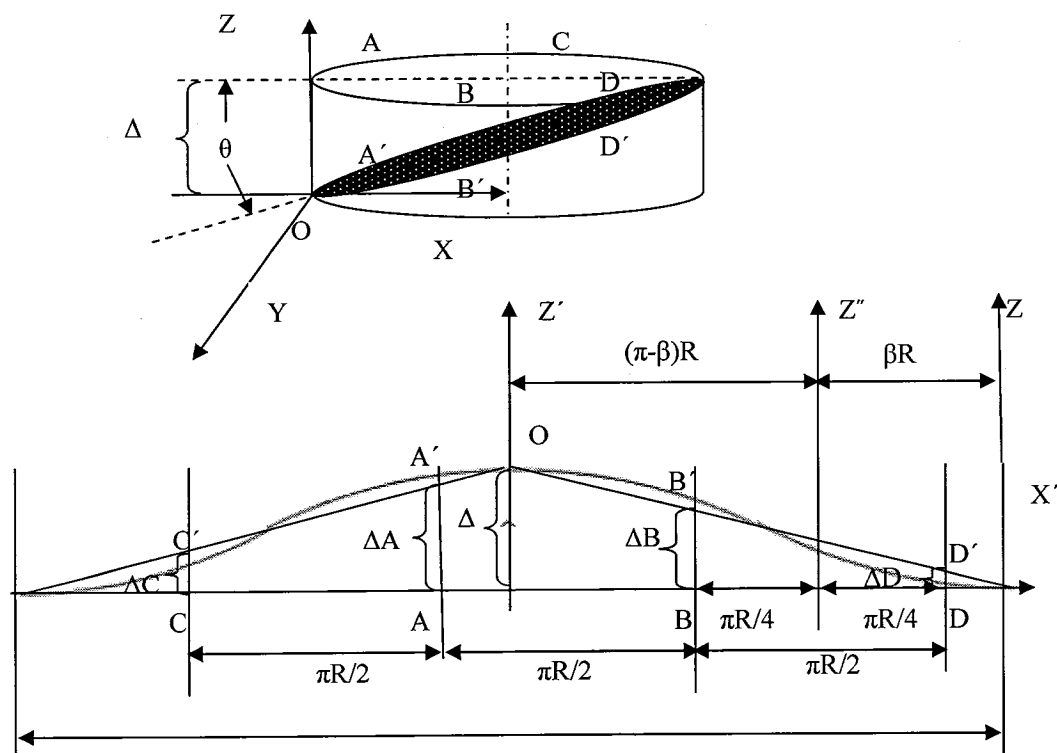


图 17

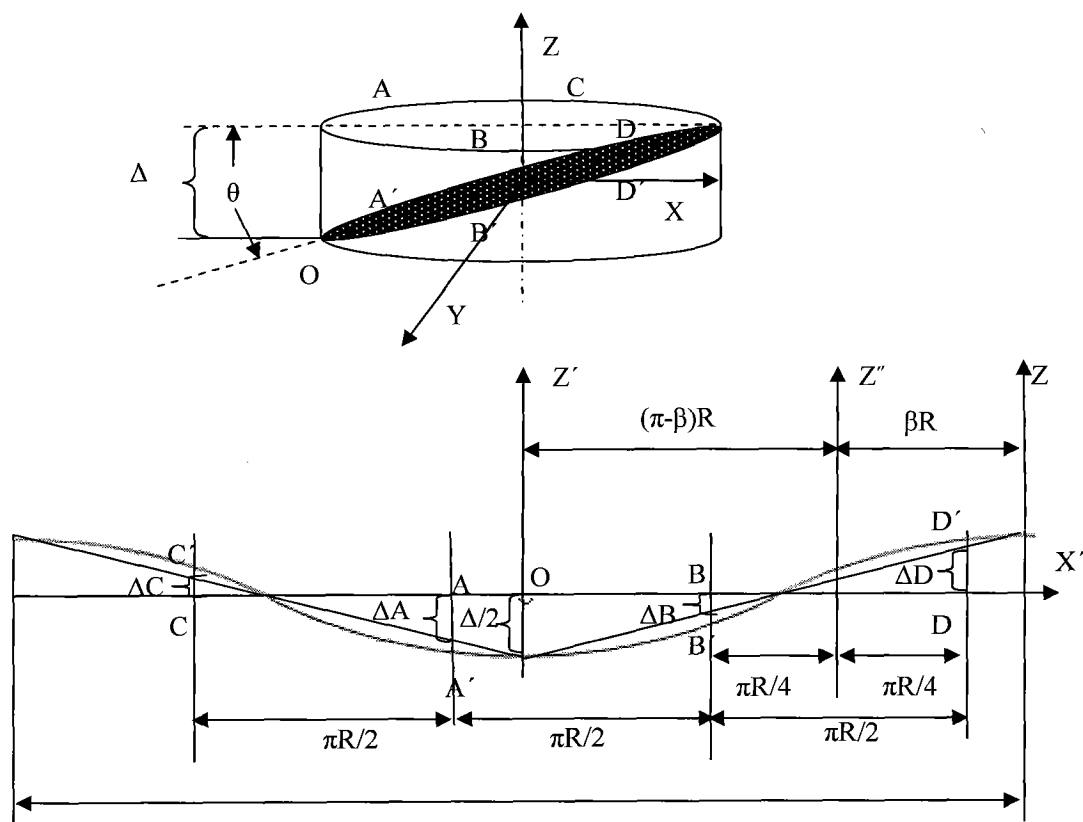


图 18