

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 21/17 (2006.01)

G06F 19/00 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610040467.4

[43] 公开日 2007年5月30日

[11] 公开号 CN 1971246A

[22] 申请日 2006.5.9

[21] 申请号 200610040467.4

[71] 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院  
地址 230031 安徽省合肥市西郊董铺 1130 号  
信箱

共同申请人 合肥工业大学

[72] 发明人 高 隽 范之国 魏靖敏 钱乐乐

[74] 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有限责  
任公司  
代理人 赵晓薇

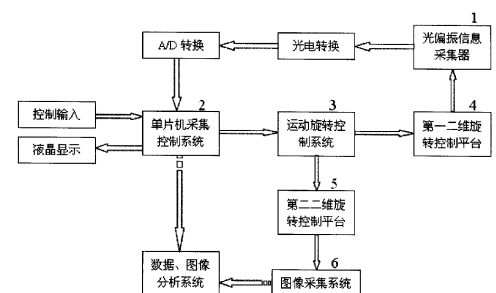
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 5 页

### [54] 发明名称

大气偏振模式检测装置及其检测方法

### [57] 摘要

一种大气偏振模式检测装置及检测方法，装置中单片机采集控制系统连接运动旋转控制系统，控制运动旋转控制系统连接第一二维旋转控制平台实现二维的运动旋转，完成全天空区域的扫描，第一二维旋转控制平台连接光偏振信息采集器，获得整个天空区域的大气偏振模式。运动旋转控制系统连接第二二维旋转控制平台实现二维的运动旋转并连接图像采集系统，图像采集系统采集全部天空区域的云层信息；检测方法包括接收光偏振信息采集器的模拟量信号和输出大气偏振模式的数字量信号以及云层信息的图像数字信息，单片机采集控制系统将其得到的天空偏振信息和云层的图像信息送至计算机，由数据、图像分析系统进行统计和分析，最终完成天空偏振模式分析。



1、一种大气偏振模式检测装置，包括光偏振信息采集器（1），所述的光偏振信息采集器（1）由两对偏振信息检测单元构成，所述的偏振信息检测单元模仿了沙蚁复眼的偏振神经元结构，偏振信息检测单元由一对光电管偏振检测器和一个对数放大器组成，所述的偏振信息检测单元中的光电管偏振检测对的两个偏振片的偏振化方向相互垂直，其特征在于：

大气偏振模式检测装置还包括相互电连接的单片机采集控制系统（2）、运动旋转控制系统（3）、第一二维旋转控制平台（4）、第二二维旋转控制平台（5）、图像采集系统（6），所述的偏振信息检测单元在偏振片的上方安装相应的干涉滤光片，使用中根据检测的需要选择不同响应波长的干涉滤光片，所述的偏振信息检测单元安装在一个深色的套筒中，使得检测单元对天空的感光区域被限制在一个固定的视角内；

所述的单片机采集控制系统（2）控制运动旋转控制系统（3）实现第一二维旋转控制平台（4）的旋转，控制光偏振信息采集器（1）的数据采集，以及控制数据的液晶显示和向计算机的数据传输，同时控制运动旋转控制系统（3）实现第二二维旋转控制平台（5）的旋转，并控制图像采集系统（6）的图像采集；

所述的运动旋转控制系统（3）设定扫描的步距和扫描的速度，用于实现对整个天空区域进行实时扫描，实现全天域的大气偏振模式检测；

所述的第一二维旋转控制平台（4）和第二二维旋转控制平台（5）包括横向和纵向旋转轴，横向旋转轴完成垂直于观察点和太阳子午线构成的平面方向的扫描，纵向旋转轴完成沿太阳子午线方向的扫描。

2、根据权利要求1所说的一种大气偏振模式检测装置，其特征是所说的光偏振信息采集器(1)中的偏振信息检测单元包括干涉滤光片、偏振片、和光电二极管。

3、根据权利要求1所说的一种大气偏振模式检测装置，其特征是所说的光偏振信息采集器(1)的偏振信息检测单元的固定视角为15度~30度。

4、根据权利要求1所说的一种大气偏振模式检测装置，其特征是所说的图像采集系统(6)包括滤光片、镜头、CCD、图像采集卡。

5、一种使用权利要求所述的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，包括接收光偏振信息采集器的模拟量信号和输出大气偏振模式的数字量信号以及云层信息的图像的数字信息，其特征在于：

选择光偏振信息采集器中干涉滤光片的型号，使得光电二极管感应固定波段的光；

选择扫描方式，设定运动旋转控制系统中第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台的扫描步长和扫描速度；

通过第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台中纵轴的旋转，完成对天空区域的分区扫描；再通过第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台中横轴的旋转，完成对每个区域的快速扫描；

单片机采集控制系统控制运动旋转控制系统实现第一二维旋转控制平台按照设定的运动模式对所观测的天空进行扫描，光偏振信息采集器完成空间偏振信息的采集，并送至单片机采集控制系统按照点偏振信息获取的数据处理方法的公式进行计算，得到相应区域的偏振信息；

第一二维旋转控制平台完成一定区域偏振信息获取之后，由单片机采集控制系统控制运动旋转控制系统实现第二二维旋转控制平台的运动，同时控制图像采集系统完成该区域的云层信息的图像采集；

第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台完成全部规定区域的扫描后，单片机采集控制系统将其得到的天空偏振信息和云层的图像信息送至计算机，由数据、图像分析系统进行统一的统计和分析，完成天空偏振模式分析。

6、根据权利要求5所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的运动旋转控制系统的步距和扫描的速度采用第一二维旋转控制平台的横向步距从5度~15度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度；第二二维旋转控制平台的横向步距从15度~45度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度。

7、根据权利要求5所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的选择光偏振信息采集器中的干涉滤光片的型号，是从红光~紫外光波段的干涉滤光片。

8、根据权利要求5所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的点偏振信息获取的数据处理方法的公式为：

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{\bar{P}_1(\phi) + 2\bar{P}_2(\phi) - \frac{3}{2}}{\sqrt{3}(\bar{P}_1(\phi) - \frac{1}{2})}\right) \quad d = \sqrt{\frac{4}{3}(2\bar{P}_2(\phi) + \bar{P}_1(\phi) - \frac{3}{2})^2 + (1 - 2\bar{P}_1(\phi))^2}.$$

## 大气偏振模式检测装置及其检测方法

**技术领域** 本发明属于智能信息获取和仿生机器人导航技术领域，特别涉及仿生机器人导航的大气偏振模式检测方法。

**技术背景** 太阳光是一种振动方向与传播方向相互垂直的横电磁波，在传输过程中被大气散射和吸收，会产生相应的偏振光。根据瑞利理论，如果散射角是零度，那么便得不到偏振光；但是如果是被 $O_2$ 和 $N_2$ 分子散射，会得到线偏振光。如果散射角是90度，那么可得到偏振度为100%的偏振光；其他的散射角度会得到不同偏振度的部分偏振光。这些具有不同偏振方向，不同偏振强度，不同偏振度的太阳光，便形成了所谓的大气偏振模式。偏振模式和地理位置、太阳位置、大气环境、天气情况，甚至和地面环境有着密切的联系，其规律非常复杂。虽然人类不能直接感受天空的大气偏振光模式，但是对于许多昆虫却是非常重要的。它们可以利用眼部特殊的感光结构感受天空偏振信息，为罗盘提供参考方向。有时甚至是一些昆虫唯一可靠的导航方式。这种能够高效地完成复杂的导航任务的方法，对仿生机器人的导航具有深远的指导意义，尤其是在陌生环境下的自主导航，有十分重要的应用前景。因而也得到国外众多科研机构的重视。另外，大气偏振特性的时空分布信息为反演大气的光学和物理参数、建立大气散射辐射偏振特性模型提供了必不可少的素材。因此，大气偏振信息的测量在大气光学和偏振遥感探测等研究中也有着广泛的应用。

大气偏振信息主要包括大气偏振度  $d$ 、偏振化方向等参数。在理想的大气环境下，大气的偏振模式可以通过瑞利散射理论直接演算得到。但是由于大气的偏振模式受到天气、气流、地面反射、云层等各种情况的影响，呈现出各种非理想状态。而且，其中偏振度受这些因素的影响最大，但是偏振模式有着固有的规律。那么要实现利用偏振模式完成自主导航任务或者探测大气相关信息，大气偏振信息的测量是必不可少的。

目前在研究大气光学中普遍采用偏振光谱检测仪等设备，这类设备体积大，结构复杂，不适合应用在机器人导航领域。该领域内的大气偏振模式方法主要集中在基于光电模型和偏振成像两大类。

### 一、 光电模型

此方法模仿了沙蚁等生物小眼中DRA区域的生物模型。苏黎世大学动物系的Rüdiger Wehner教授对此生物模型进行深入研究。他与同为苏黎世大学计算机系的Thomas Labhart等人合作提出了一种基于光电模型的检测装置，并对大气的偏振信息进行研究。该方法主要原理是：局部天空的光信息通过一对相互垂直的检偏器（偏振片），照射到一对光电转换器上，光电转换器的输出经对数放大器后输入到计算机中进行相应的运算，最后得到某个区域的偏振信息。但该方法不能很好地检测大气的偏振信息，主要有以下几个方面的不足：仅采用一对相互垂直的检偏器，不能精确地检测全部偏振信息；而且，现有的方法仅能实现一维的旋转，那就不可能对整个天空实现全方位的扫描，得到仅仅是天空某个带状区域的偏振信息。

## 二、偏振成像测量

Wehner教授以及迈阿密大学物理学的Kenneth J. Voss等人提出了基于偏振成像的方法。此方法主要有两种实现形式。第一种是采用小视角的镜头有规律的对天空的不同区域拍摄局部偏振图像,每个区域拍摄三个不同角度的偏振图像。然后对偏振图像进行处理,得到相应的大气偏振信息。尽管这种方法实现了对更大天空区域的观察、统计,但是还是不能实现对整个天空的连续扫描;同一区域的三个不同角度的偏振图像的获得,也是通过人工旋转偏振片来完成的,效率较低。而且要完成整个测量,需要先拍摄所有的偏振图像,然后处理。完成这样一次测量的时间较长,在整个测量过程中,由于偏振信息受环境影响较大,较长的测量周期会使得测量结果的精度大大降低。第二种是全局偏振成像方法。此方法采用鱼镜头代替普通的镜头,一次完成整个天空的偏振图像的拍摄。大大缩短了测量的周期,提高了测量的准确度。但是光学系统和成像系统本身存在的干扰给测量带来很大的不确定性。由于采用了鱼镜头,当对有太阳的天空拍摄偏振图像时,过强的太阳光会使得成像系统过曝光,甚至得不到所需要的偏振图像。那么就必须在镜头前另加一个能够遮挡太阳的装置,从现有的资料来看,这种方法也不能很好地消除这种过曝光的影响。而且,要实现自动对太阳所在位置的遮挡是相当复杂的,目前仍没有这方面的报道。另外,由于全局成像系统存在较大的非线性,这给最终的测量结果带来较大的非线性系统偏差。

**发明内容** 发明目的 基于现有技术存在的上述不足,不能满足

对大气偏振信息的自动、及时的获取，很难为自主导航机器人同步提供准确的罗盘方向信息。针对这种情况，本发明的目的是：提出一种大气偏振模式检测装置及其检测方法。

本发明的技术方案是：一种大气偏振模式检测装置，包括光偏振信息采集器，所述的光偏振信息采集器由两对偏振信息检测单元构成，所述的偏振信息检测单元模仿了沙蚁复眼的偏振神经元结构，偏振信息检测单元由一对光电管偏振检测器和一个对数放大器组成，所述的偏振信息检测单元中的光电管偏振检测器的两个偏振片的偏振化方向相互垂直，其特征在于：

大气偏振模式检测装置还包括相互电连接的单片机采集控制系统、运动旋转控制系统、第一二维旋转控制平台、第二二维旋转控制平台、图像采集系统，所述的偏振信息检测单元在偏振片的上方安装相应的干涉滤光片，使用中能够根据检测的需要选择不同响应波长的干涉滤光片，所述的偏振信息检测单元统一安装在一个深色套筒中，使得检测单元对天空的感光区域被限制在 15 度 ~ 30 度的视角内；

所述的单片机采集控制系统控制运动旋转控制系统实现第一二维旋转控制平台的旋转，控制光偏振信息采集器的数据采集，控制数据的液晶显示和向计算机的数据传输，同时控制运动旋转控制系统实现第二二维旋转控制平台的旋转，并控制图像采集系统的图像采集；

所述的运动旋转控制系统设定扫描的步距和扫描的速度，用于实现对整个天空区域进行实时扫描，实现全天域的大气偏振模式检测；

所述的第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台包括横



向和纵向旋转轴，横向旋转轴完成垂直于观察点和太阳子午线构成的平面方向的扫描，纵向旋转轴完成沿太阳子午线方向的扫描；

所说的光偏振信息采集器中的偏振信息检测单元包括干涉滤光片、偏振片、和光电二极管，所说的图像采集系统包括滤光片、镜头、CCD、图像采集卡。

一种大气偏振模式检测装置的检测方法，包括接收光偏振信息采集器的模拟量信号和输出大气偏振模式的数字量信号以及云层信息的图像的数字信息，其特征在于：

选择光偏振信息采集器中干涉滤光片的型号，使得光电二极管感应固定波段的光，以便研究不同波段光的偏振模式及其受云层影响的情况；

选择扫描方式，设定运动旋转控制系统中第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台的扫描步长和扫描速度；

通过第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台中纵轴的旋转，完成对天空区域的分区扫描；再通过第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台中横轴的旋转，完成对每个区域的快速扫描；

单片机采集控制系统控制运动旋转控制系统实现第一二维旋转控制平台按照设定的运动模式对所观测的天空进行扫描，光偏振信息采集器完成空间偏振信息的采集，并送至单片机采集控制系统，按照点偏振信息获取的数据处理方法的公式进行计算，得到相应区域的偏振信息；

第一二维旋转控制平台完成一定区域偏振信息获取之后，由单片

机采集控制系统控制运动旋转控制系统实现第二二维旋转控制平台的运动，并控制图像采集系统完成该区域的云层信息的图像采集；

第一二维旋转控制平台和第二二维旋转控制平台完成全部规定区域的扫描后，单片机采集控制系统将其得到的天空偏振信息和云层的图像信息送至计算机，由数据、图像分析系统进行统一的统计和分析，完成天空偏振模式分析。

所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的运动旋转控制系统的步距和扫描的速度采用第一二维旋转控制平台的横向步距从5度~15度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度；第二二维旋转控制平台的横向步距从15度~45度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度；

所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的选择光偏振信息采集器中的干涉滤光片的型号，是从红光~紫外光波段的干涉滤光片。

所说的一种大气偏振模式检测装置的检测方法，其特征是所说的点偏振信息获取的数据处理方法的公式为：

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{\bar{P}_1(\phi) + 2\bar{P}_2(\phi) - \frac{3}{2}}{\sqrt{3}(\bar{P}_1(\phi) - \frac{1}{2})}\right) \quad d = \sqrt{\frac{4}{3}(2\bar{P}_2(\phi) + \bar{P}_1(\phi) - \frac{3}{2})^2 + (1 - 2\bar{P}_1(\phi))^2}$$

发明的有益效果是：

其一，现有技术不能满足对大气偏振信息的及时获取，很难实现在机器人自主导航中及时地提供准确方向信息。本发明中，大气偏振模式检测装置包括相互电连接的单片机采集控制系统、运动旋转控制

系统、第一二维旋转控制平台、第二二维旋转控制平台、光偏振信息采集器、图像采集系统。其中单片机采集控制系统连接运动旋转控制系统，控制运动旋转控制系统连接第一二维旋转控制平台实现二维的运动旋转，完成全天空区域的扫描，第一二维旋转控制平台连接光偏振信息采集器，这就保证了整个天空区域的大气偏振模式的获得。同时运动旋转控制系统连接第二二维旋转控制平台的二维运动旋转，第二二维旋转控制平台连接图像采集系统，使得图像采集系统可以获得全部天空区域的云层信息；本发明设计的两维的扫描平台，对整个天空区域实现不间断的扫描，避免了现有光电模型和局部偏振成像模型中对天空测量的不连续性，大大提高了偏振信息的测量精确度。

其二，现有技术中小视角的镜头的偏振成像法不能实现连续的扫描，并且需要先拍摄所有必须的偏振图像，然后处理，完成这样一次测量时间较长。另外，现有技术中全局偏振成像方法受太阳影响较大，容易使得成像系统产生过曝光现象，并且存在较大的非线性误差，给最终的测量结果带来较大的非线性系统偏差。本发明中，采用两对相互垂直且具有不同偏振化角度的检偏装置的检测方法，完成对天空局部区域的偏振信息的瞬间采集，来弥补现有光电模型对同一区域的旋转测量，使得原本要几分钟的测量在很短的时间即能完成，大大缩短一次测量的周期，减小了时间因素对测量结果的影响。另外，由于本发明方法基于光电模型的方法，而不采用偏振成像的方法，完全克服了全局偏振成像的方法中由于太阳造成的过曝光，使得对整个天空任意区域的测量都是准确的，同时也避免了全局偏振成像的方法中的非

线性偏差。

其三，相对现有技术而言，大气偏振模式检测装置及其检测方法的发明可以完全脱机工作这使得测量设备简单，成本低，体积小。

其四，由于大气偏振信息中的偏振化方向受天气、云层等影响较小，鲁棒性较好，偏振化方向可以用于机器人的自主导航中的方向定位。通过对同一区域的天空偏振信息的测试，我们选择第一二维旋转控制平台的横向步距为5度，实际检测到的旋转角度基本也是5度，测试一周360度得到73个采样点结果的均值为4.985405度，标准差为0.449118。从实验结果来看由本发明装置和方法所获得的偏振化方向完全可以为自主导航机器人提供可靠的罗盘信息，与现有的机器人自主导航技术有很好的互补性，而且在特殊情况下偏振导航技术是现有其他导航技术所不能企及的。

**附图说明** 下面结合附图对本发明作进一步的说明。

图1是大气偏振模式检测装置电路原理图；

图2是第一二维旋转控制平台与光偏振信息采集示意图；

图3是第二二维旋转控制平台与图像采集系统示意图；

图4是大气偏振模式示意图；

图5是沙蚁复眼中的偏振神经元模型；

图6是偏振信息检测单元示意图；

图7是大气偏振模式检测方法流程图；

图8是偏振化方向部分检测结果；

图9是偏振度部分检测结果。

## 具体实施方式

参见图 1，一种大气偏振模式检测装置，该装置包括 1 为光偏振信息采集器，2 为单片机采集控制系统、3 为运动旋转控制系统、4 为第一二维旋转控制平台、5 为第二二维旋转控制平台、图像采集系统 6 等。

单片机采集控制系统 2 电连接控制运动旋转控制系统 3 实现第一二维旋转控制平台 4 的旋转；光偏振信息采集器 1 获得的天空偏振信息的数据由单片机采集控制系统 2 进行处理和显示。同时单片机采集控制系统 2 连接控制运动旋转控制系统 3 实现第二二维旋转控制平台 5 的旋转，并由图像采集系统 6 完成对天空云层信息的图像采集。

其中，运动旋转控制系统 3 实现扫描的步距和扫描的速度以及扫描方式的控制，用于实现对整个天空区域进行不同方式的实时扫描，实现全天域的大气偏振模式检测。

参见图 2、图 3 和图 4，第一二维旋转控制平台 4 和第二二维旋转控制平台 5 由相互横向旋转轴和纵向旋转轴组成，横向轴负责完成垂直于观察点和太阳子午线构成的平面方向的扫描，纵向旋转轴负责完成沿太阳子午线方向的扫描。其中，图像采集系统 6 包括滤光片、镜头、CCD、图像采集卡。

参见图 5 和图 6，光偏振信息采集器 1 主要由两对偏振信息检测单元构成。偏振信息检测单元模仿了沙蚁复眼的偏振神经元结构，偏振信息检测单元由一对光电管偏振检测器和一个对数放大器组成。偏振信息检测单元包括两个偏振化方向相互垂直的偏振片、光电二极管

和干涉滤光片。为研究不同波段的光的偏振模式受云层影响的情况，在偏振片的上方安装相应的干涉滤光片，使用中能够根据检测的需要选择不同响应波长的干涉滤光片，使得光电二极管感应固定波段的光。其中，干涉滤光片的型号是从红光~紫外光波段。偏振信息检测单元被统一安装在一个黑色的套筒中，使得检测单元对天空的感光区域被限制在一个15度~30度的视角内。

参见图7，一种大气偏振模式检测装置的检测方法，首先启动系统（步骤100），对整个系统进行相应的初始化（步骤110），并选择扫描方式（步骤120），设定运动旋转控制系统3中第一二维旋转控制平台4和第二二维旋转控制平台5的扫描步长和扫描速度。其中，第一二维旋转控制平台4的横向步距从5度~15度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度；第二二维旋转控制平台5的横向步距从15度~45度，纵向步距从10度~30度，扫描的速度为每秒18度~36度。

接着，单片机采集控制系统2控制运动旋转控制系统3实现第一二维旋转控制平台4和第二二维旋转控制平台5中纵轴的旋转，实现对天空区域的分区扫描（步骤130）；再通过第一二维旋转控制平台4和第二二维旋转控制平台5中横轴的旋转，完成对每个区域的快速扫描（步骤140）。第一二维旋转控制平台4按照设定的运动模式对所观测的天空进行扫描的过程中，光偏振信息采集器1完成空间偏振信息检测与转换（步骤150），并送至单片机采集控制系统2按照点偏振信息获取的数据处理方法进行数据计算（步骤160），得到相

应区域的偏振信息，结果送至液晶显示器显示（步骤 170）。若区域扫描没有结束（步骤 180），继续快速区域扫描（步骤 140），若结束，则单片机采集控制系统 2 控制运动旋转控制系统 3 实现第二二维旋转控制平台 5 的运动，控制图像采集系统 6 完成该区域图像采集（步骤 190）。

若分区扫描没有结束（步骤 200），继续分区扫描（步骤 130），若结束，即第一二维旋转控制平台 4 和第二二维旋转控制平台 5 完成全部规定区域的扫描后，单片机采集控制系统 2 将其得到的天空偏振信息和云层的图像信息送至计算机，由数据、图像分析系统进行数据与图像处理（步骤 210），一次全天域的偏振信息测量结束（步骤 220），最终完成天空偏振模式分析。

参见图 6，步骤 160 所述的点偏振信息获取的数据处理方法的计算公式为：

光电管偏振检测器 1 的输出：

$$S(\phi) = KI (1 + d \cos(2\phi - 2\phi_{\max})) \quad (1)$$

其中  $I = I_{\max} + I_{\min}$ ， $I_{\max}$ 、 $I_{\min}$  分别表示光强的最大最小值； $d$  为偏振度； $\phi$  为太阳方位角； $\phi_{\max}$  是使  $S$  最大的  $\phi$ ； $K$  是常数。光电管偏振检测器的输出经对数放大器后得偏振信息检测单元的输出：

$$P_1(\phi) = \log\left(\frac{1 + d \cos(2\phi)}{1 - d \cos(2\phi)}\right) \quad (2)$$

令另一对偏振信息检测单元的偏振片（检偏器）的偏振化方向（以其中一个为参考）和第一组检测单元相应的偏振化方向呈 60 度夹角，那么，这组偏振信息检测单元的输出为：

$$P_2(\phi) = \log\left(\frac{1 + d \cos\left(2\phi - \frac{2\pi}{3}\right)}{1 - d \cos\left(2\phi - \frac{2\pi}{3}\right)}\right) \quad (3)$$

再由 S 型函数对 (2)、(3) 式进行去对数处理, 即:

$$\overline{P}(\phi) = \frac{1}{10^{\overline{P}(\phi)} + 1}, \text{ 那么, (2)、(3) 式变成:}$$

$$1 - 2\overline{P}_1(\phi) = d \cos(2\phi) \quad (4)$$

$$1 - 2\overline{P}_2(\phi) = d \cos\left(2\phi - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (5)$$

由 (4) 式得:

$$d = \frac{1 - 2\overline{P}_1(\phi)}{\cos(2\phi)} \quad (6)$$

再将 (6) 式带入 (5) 式得:

$$\phi = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{\overline{P}_1(\phi) + 2\overline{P}_2(\phi) - \frac{3}{2}}{\sqrt{3}(\overline{P}_1(\phi) - \frac{1}{2})}\right) \quad (7)$$

同理可得:

$$d = \sqrt{\frac{4}{3}(2\overline{P}_2(\phi) + \overline{P}_1(\phi) - \frac{3}{2})^2 + (1 - 2\overline{P}_1(\phi))^2} \quad (8)$$

通过两组偏振信息检测单元就可以实现大气中具体局部小区域的偏振信息获取。

参见图 8, 由于大气偏振信息中的偏振化方向受天气、云层等影响较小, 鲁棒性较好, 偏振化方向可以用于机器人的自主导航中的方向定位。在测试过程中, 地点选择在合肥工业大学逸夫楼 13 楼楼顶, 经度为 117.27, 纬度为 31.86; 时间选择为 2006 年 3 月 29 日 17 点 30 分; 天气情况为晴并有少量浮云。将光偏振信息采集器 1 对准天空某个区域, 即由第一二维旋转控制平台 4 的纵向旋转轴选择一个固



定的天空区域；设定第一二维旋转控制平台4横向轴的步距为5度，即光偏振信息采集器1每旋转5度采样一次。单片机采集控制系统2检测到的光偏振信息采集器1的标准方向与太阳方位角的夹角基本按照5度的间隔变化。测试一周360度得到73个采样点，其均值为4.985405度，标准差为0.449118。从实验结果来看，本发明装置和方法所获得的大气偏振模式所提供的方向信息完全可以为自主导航机器人提供可靠罗盘信息，与现有的机器人自主导航技术有很好的互补性，而且在特殊情况下偏振导航技术是现有其他导航技术所不能企及的。

参见图9，大气偏振信息中的偏振度受天气、云层等影响较大，实验的方式同图8，从实验结果中可以看出偏振度受天气、云层以及周边环境等影响确实较大，并不能呈现出明显的瑞利散射的理论分布。

显然，本领域的技术人员可以对本发明的大气偏振模式检测装置及其检测方法进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

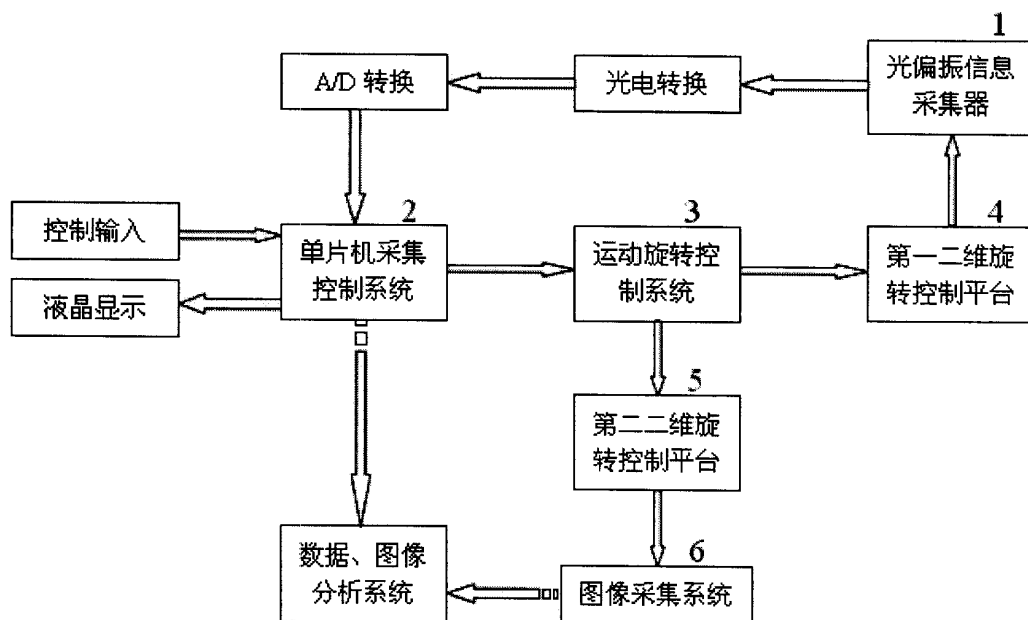


图 1

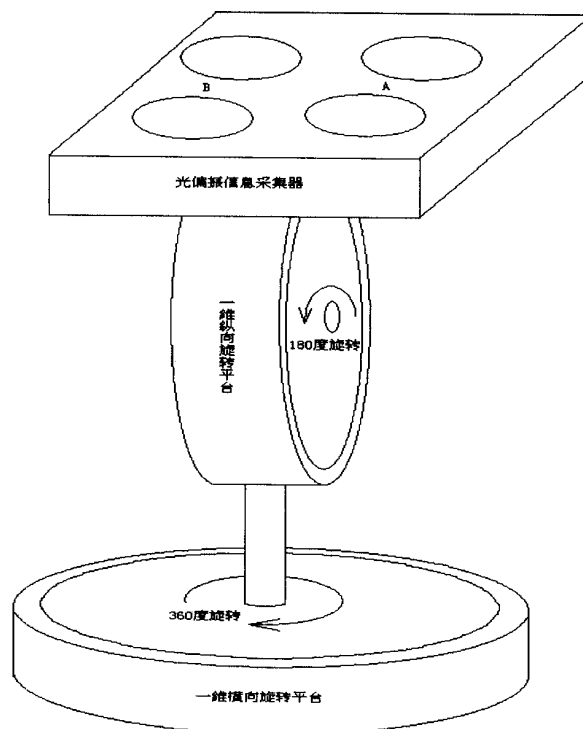


图 2

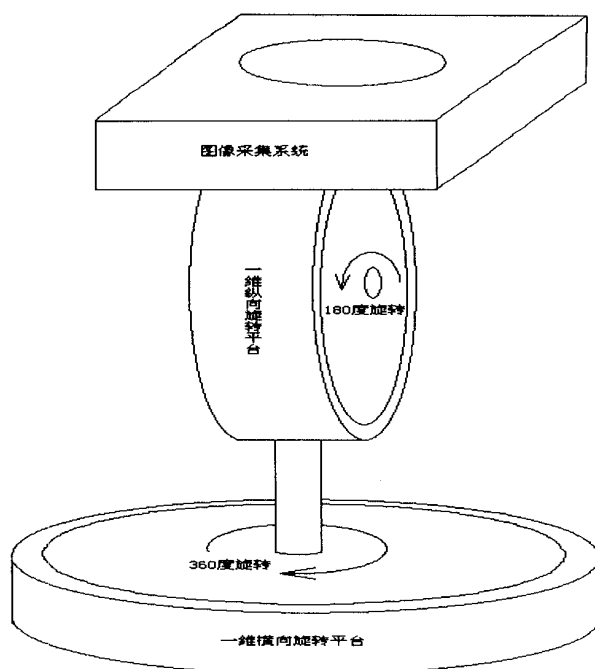


图 3

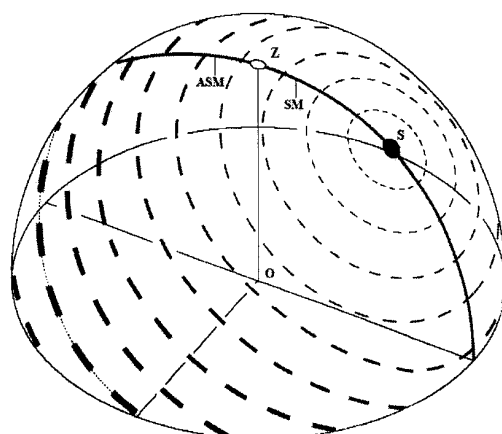


图 4

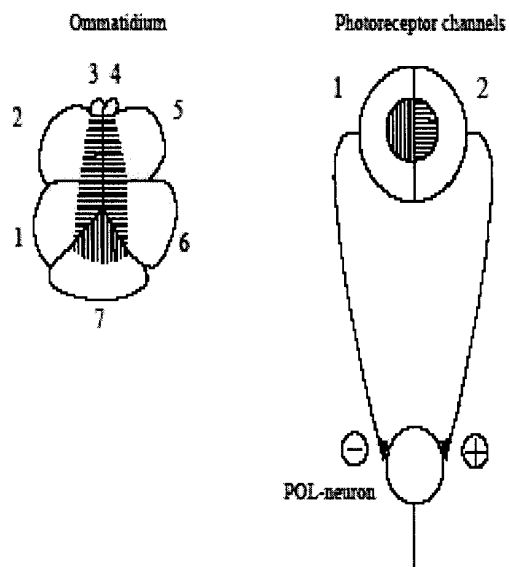


图 5

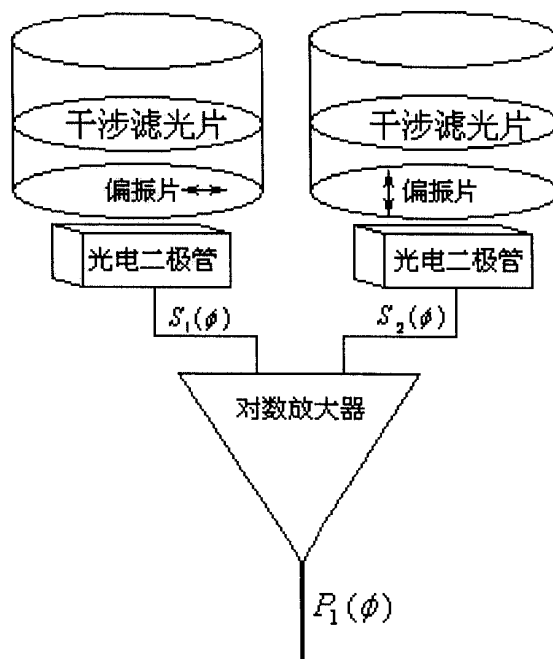


图 6

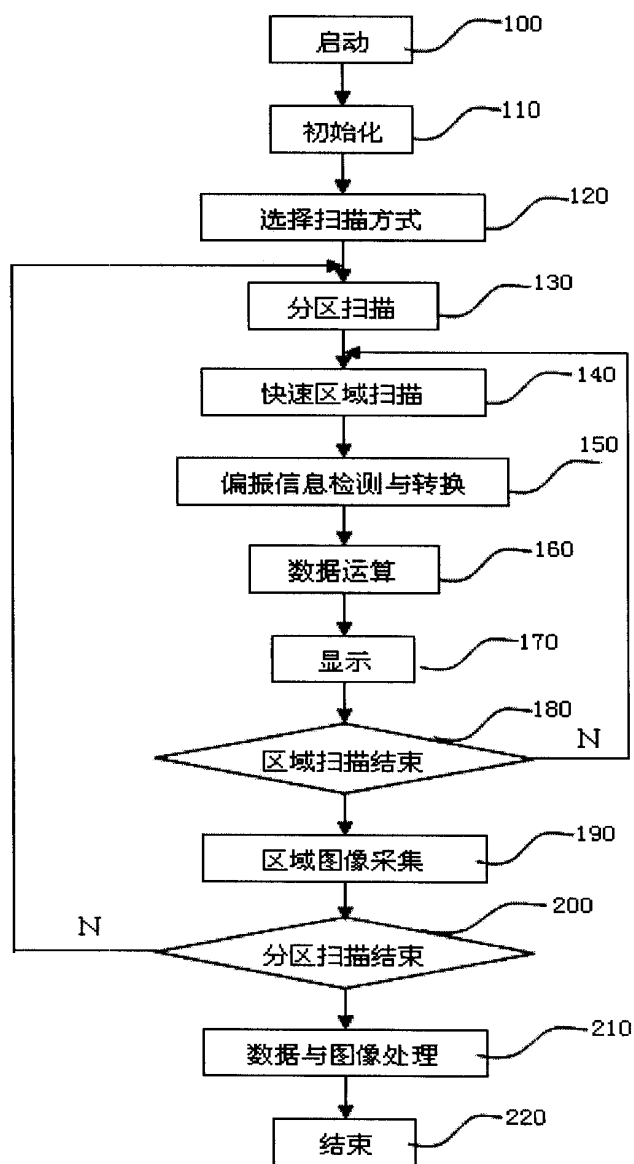


图 7

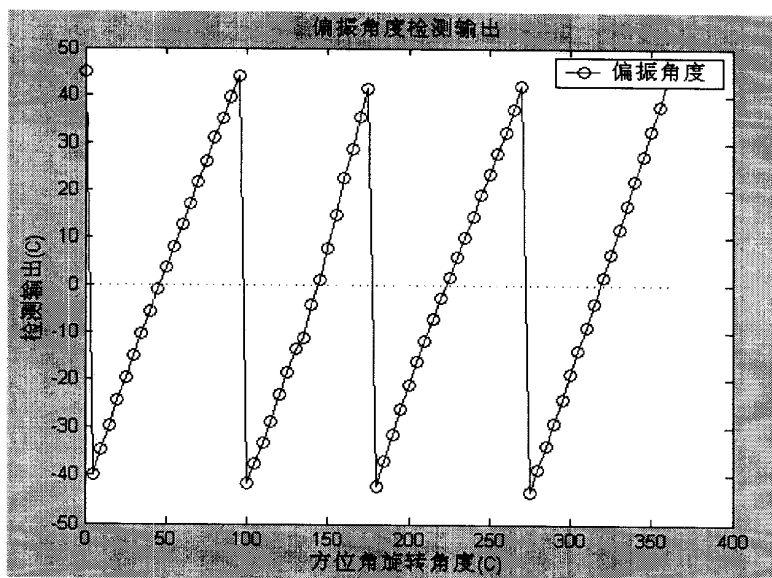


图 8

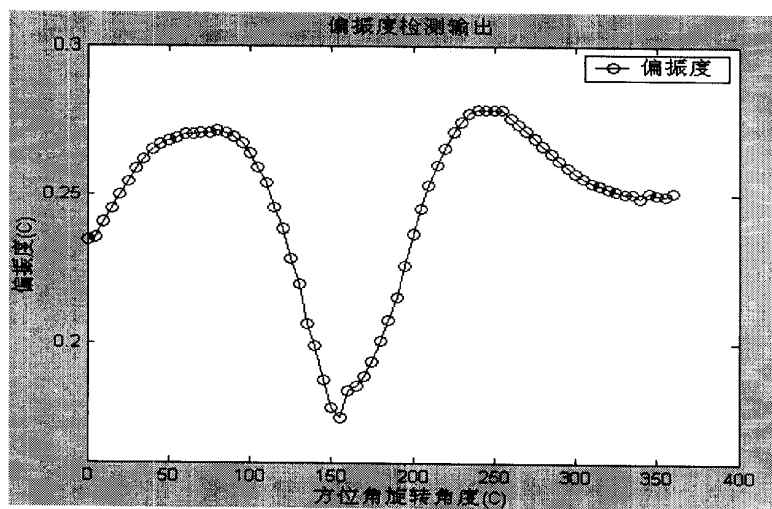


图 9