(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103235603 A
(43)申请公布日 2013.08.07

(21)申请号 201310160948.9

(22)申请日 2013.05.03

(71)申请人 沈阳航空航天大学
地址 110136 辽宁省沈阳市沈北新区道义南大街37号

(72)发明人 许谨 易明涵 胡立夫 刘晴

(74)专利代理机构 沈阳维特专利商标事务所（普通合伙） 21229
代理人 甄玉荃

(51)Int.Cl.
G05D 3/20(2006.01)
F24J 2/38(2006.01)

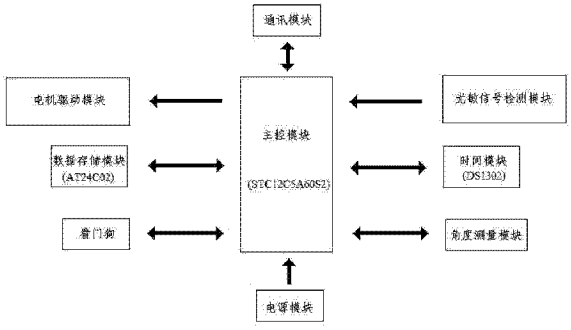
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

自动跟踪太阳装置及控制方法

(57)摘要

自动跟踪太阳装置及控制方法，主要解决单轴跟踪实现方法简单，但是跟踪误差大；而双轴跟踪虽然跟踪精度高，但结构复杂，技术难度较大的问题，而提供一种地平坐标系下的三自由度太阳自动跟踪装置。该装置包括三自由度运动平台，电路部分安装在平台上。上述电路部分由主控模块、姿态测量模块、时间模块、电机驱动模块、光信号检测模块、数据存储模块、通讯模块、电源模块及看门狗电路构成。所述主控模块负责整个设备的运算、处理、指挥、协调和管理工作，是设备的核心器件。本发明实现了对太阳的自动跟踪，具有产品结构合理、电路工作稳定，效率高及受外界条件影响较小等优点。



CN 103235603 A

1. 一种自动跟踪太阳装置，其特征在于：它包括三自由度运动平台，该平台分别由直流电机 A 及直流电机 B 驱动，实现调整采光设备的姿态，使其接近于太阳光线垂直方向，电路部分安装在平台的上面，上述电路部分由主控模块、姿态测量模块、时间模块、电机驱动模块、光信号检测模块、数据存储模块、通讯模块、电源模块及看门狗电路构成，所述主控模块负责整个设备的运算、处理、指挥、协调和管理工作，是设备的核心器件；所述光信号检测模块由四个光敏元件组成，分为上下和左右两组，检测太阳光照强度，当每组信号不同时产生运行控制信号，信号经转换电路变成单片机可处理的电压信号，单片机通过对数据的处理，计算出太阳的位置。

2. 如权利要求 1 所述的自动跟踪太阳装置的控制方法，其特征在于：其控制程序包括主程序模块、视日运动轨迹跟踪计算模块、角度计算模块、电机控制模块、模拟量计算模块和数据存储模块，所述的主程序模块是对装置进行初始化和协调各个模块之间的工作；视日运动轨迹跟踪计算模块计算出太阳在各个时刻的运动轨迹，在此装置中，就是对太阳高度角和方位角的跟踪，地球中心与太阳中心的连线与地球赤道平面的夹角，称为太阳赤纬角，用 δ 表示，该角度是一个以年为周期变化的量，每天的赤纬角可以由 Cooper 方程近似地计算：

$\delta=23.5\sin[360°\ (284+n)/365]$

式中，n 为从 1 月 1 日起一年中的第几天。计算太阳角度的公式中，所涉及到的时间都是太阳时，它与日常使用的标准时间并不一致，我国以北京时为标准时间，转换公式为：

太阳时 = 北京时 +E-4(120-L_{loc})

式中，L_{loc} 为当地经度；E 为时差（单位：min），可由公式：

$E=9.87\sin2B-7.53\cos B-1.5\sin B$ 作近似计算，其中 B=360(n-81)/364，太阳光线与地面上投影的夹角称为太阳高度角，用 α_s 表示，可由下式确定：

$\sin\alpha_s=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos\omega$

式中，ϕ 为当地纬度，ω 为太阳时角，太阳方位角是太阳聚光器与太阳连线在地面上的投影与南北方向线之间的夹角，用 γ_s 表示，可由下式确定：$\cos\gamma_s=(\sin\alpha_s\sin\phi-\sin\delta)/(\cos\phi\cos\alpha_s)$ 或 $\sin\gamma_s=\cos\delta\sin\omega/\cos\alpha_s$ 太阳在出没地平线的瞬间太阳高度角 $\alpha_s=0$，由下式即可求得日出日落时角 ω_0，$\cos\omega_0=\tan\phi\tan\alpha_s$，通过对此算法的分析，建立有效地太阳轨迹跟踪模型；角度计算模块将光敏信号检测模块和视日运动轨迹跟踪计算的数据换算成控制电机运行的执行数据；电机控制模块根据角度计算模块计算的数据控制电机运行；模拟量计算模块将光敏信号检测模块采集的数据计算生成太阳的方位值；数据存储模块将视日运动轨迹跟踪计算的数据进行存储。

3. 如权利要求 1 所述的自动跟踪太阳装置，其特征在于：所述四个光敏元件采用 LXD7526；主控模块选用 STC12C5A60S2 单片机；时间模块选用 DS1302 计算出当前的年月日和时间；电源模块选用高性能芯片 LM2596 和 AMS1117 将直流 12V 转换为 5V 和 3.3V；角度测量模块选用 ADXL345 芯片，测量当前设备的角度；数据存储模块选用 AT24C02 芯片存储数据；电机驱动模块选用电机驱动的大电流半桥高集成芯片 BTS7960，并用光耦和二极管实现隔离驱动和续流保护；选用芯片 MAX813 实现看门狗电路。

自动跟踪太阳装置及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种自动跟踪太阳装置及控制方法，特别是一种地平坐标系下的三自由度太阳跟踪为目标的自动跟踪太阳装置，属于太阳能应用技术领域。

背景技术

[0002] 目前，对太阳能的开发利用备受人们的关注，如何提高太阳能利用率成为人们研究的焦点。除了提高太阳能设备对光能的转换效率外，跟踪太阳是提高太阳能利用率的有效手段。据实验，采用太阳自动跟踪的设备要比固定角度设备的太阳能利用率提高 35％。因此，使太阳能设备跟踪太阳在太阳能开发利用上十分必要。

[0003] 对于太阳自动跟踪技术，人们已经做了许多研究。很多专利和文章介绍了利用各种类型传感器，设计各种机械结构，来实现跟踪太阳的目的。在太阳跟踪方面，单轴跟踪装置投资相对较少，跟踪设备结构简单。但由于入射光线不能始终与主光轴平行，收集太阳能的效果并不十分理想。

[0004] 美国 Bicalace 在 1997 年研制了单轴太阳能跟踪，完成了东西方向的自动跟踪，而南北方向则通过手动调节，使接收器的热接收率提高了 15％。Kalogirou SA 设计的单轴跟踪装置可使接收器与太阳光线的偏差小于 0.5 度。

[0005] 在有些太阳能设备中，如点聚焦式接收装置，则只能采用双轴跟踪装置。双轴跟踪装置可用于任何一种太阳能装置来提高其运行效率。有关双轴跟踪装置研究和应用也是比较多的。

[0006] 1998 年美国加州成功的研究了 ATM 双轴跟踪器，并在太阳能面板上装有集中阳光的涅耳透镜，这样可以让小块的太阳能面板收集更多的能量，使热接收进一步提高。国家气象计量站研制的 FST 型全自动太阳跟踪器采用传感器定位和太阳运行轨迹定位相结合的设计弥补了赤道架型太阳跟踪器的缺点，具有全自动、全天候、跟踪精度高等优点，充分保证了太阳辐射观测的需要，大大减轻了观测人员的劳动强度。但是此跟踪器采用步进电机驱动方式，对跟踪器的当前位置没有反馈，步进电机是恒功率输出，当转速高时扭矩就会小，在低速时易出现低频振动现象，其控制为开环控制，启动频率过高或负载过大易出现丢步或堵转的现象。

发明内容

[0007] 本发明是以解决上述问题为目的，主要解决单轴跟踪实现方法简单，但是跟踪误差大；双轴跟踪虽然跟踪精度高，但结构复杂，技术难度较大的问题。本发明提供一种在地平坐标系下，具有实时姿态反馈的直流电机驱动三自由度太阳自动跟踪装置及控制方法。

[0008] 为实现上述目的，本发明采用下述技术方案：自动跟踪太阳装置，包括三自由度运动平台，该平台分别由直流电机 A 及直流电机 B 驱动，实现调整采光设备的姿态，使其接近于太阳光线垂直方向，达到最大限度接收太阳能的目的。电路部分安装在平台上。上述电路部分由主控模块、光信号检测模块、时间模块、电源模块、姿态测量模块、数据存储模块、

电机驱动模块、通讯模块及看门狗电路构成。

[0009] 主控模块负责整个设备的运算、处理、指挥、协调和管理工作，是设备的核心器件。

[0010] 光信号检测模块由四个光敏元件组成，分为上（北）下（南）、左（东）右（西）两组，检测太阳光照强度，当每组信号不同时，产生运行控制信号，信号经转换电路变成单片机可处理的电压信号，单片机通过对数据的处理，计算出太阳的位置。该装置工艺设计优劣对整套设备太阳跟踪精度和有效性有至关重要影响。设计原则：一、排它性，某一方向光敏传感器只能检测该方向太阳光，排除检测到反方向光线；二、捕捉性，当任何一方的光线都不能照射到光敏元件时，光敏元件能有效检测到光照的来源方向。经单片机处理给出运行控制信号。

[0011] 时间模块通过 SPI 接口为主控模块提供实时时钟；电源模块选用高性能芯片将直流 12V 转换为 5V 和 3.3V；姿态测量模块通过 I^2C 接口为主控模块提供当前设备三自由度的姿态；数据存储模块用于数据记录，特别是对某些具有特殊意义的数据点的记录；电机驱动模块运用隔离驱动和续流保护实现对直流电机的驱动；通讯模块提供 RS485 通讯的物理连接；为了提高装置的可靠性，选用芯片 MAX813 实现看门狗电路。

[0012] 自动跟踪太阳装置的控制方法：为了达到快速准确跟踪太阳的目的，本装置采用视日运动轨迹跟踪粗调，光信号跟踪细调的跟踪方法。装置上电后通过视日运动轨迹计算出当前太阳的高度角和方位角，通过直流电机驱动设备使其运行至正对太阳的位置，然后在 ±5° 的范围内，通过光信号检测模块采集的数据对设备进行调整，此方法可以有效的提高太阳跟踪的快速性，并减弱环境因素对太阳跟踪精度的影响。

[0013] 在硬件设计的基础上进行软件设计，其控制程序包括主程序模块、视日运动轨迹跟踪计算模块、模拟量计算模块、角度计算模块、电机控制模块、数据存储模块和通讯处理模块。

[0014] 主程序模块主要对装置进行初始化和协调各个模块之间的工作。

[0015] 视日运动轨迹跟踪计算模块主要计算出太阳在各个时刻的运动轨迹。在此装置中，所谓的跟踪，就是对太阳高度角和方位角的跟踪。地球中心与太阳中心的连线与地球赤道平面的夹角，称为太阳赤纬角，用 δ 表示。该角度是一个以年为周期变化的量。每天的赤纬角可以由 Cooper 方程近似地计算：

[0016] $\delta=23.5\sin[360°\ (284+n)/365]$

[0017] 式中，n 为从 1 月 1 日起一年中的第几天。计算太阳角度的公式中，所涉及到的时间都是太阳时，它与日常使用的标准时间并不一致，我国以北京时为标准时间，转换公式为：

[0018] 太阳时 = 北京时 +E-4(120-L_{loc})

[0019] 式中，L_{loc} 为当地经度；E 为时差（单位：min），可由公式：

[0020] E=9.87sin2B-7.53cosB-1.5sin B 作近似计算，其中 B=360(n-81)/364。

[0021] 太阳光线与地面上投影的夹角称为太阳高度角，用 α_s 表示，可由下式确定：

[0022] $\sin\alpha_s=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos\omega$

[0023] 式中，ϕ 为当地纬度，ω 为太阳时角。

[0024] 太阳方位角是太阳聚光器与太阳连线在地面上的投影与南北方向线之间的夹角，用 γ_s 表示，可由下式确定：

[0025] $\cos\gamma_s=(\sin\alpha_s\sin\phi-\sin\delta)/(\cos\phi\cos\alpha_s)$ 或 $\sin\gamma_s=\cos\delta\sin\omega/\cos\alpha_s$ 太阳在出没地平线的瞬间太阳高度角 $\alpha_s=0$，由下式即可求得日出日落时角 ω_0，

[0026] $\cos\omega_0=\tan\phi\tan\alpha_s$

[0027] 通过对此算法的分析，建立有效地太阳轨迹跟踪模型。

[0028] 模拟量计算模块将光敏信号检测模块采集的数据计算生成太阳的高度角值和方位角值。

[0029] 角度计算模块将模拟量计算模块的数据和视日运动轨迹跟踪计算的数据进行比较，然后换算成控制电机运行的执行数据。

[0030] 电机控制模块将控制电机运行的执行数据生成 PWM 信号，控制电机运行。

[0031] 数据存储模块实现数据的记录。

[0032] 通讯处理模块通过 RS485 总线实现此装置与上位机的通讯，并可实现设备的在线设置和多台设备组网功能。

[0033] 本发明的有益效果及特点：

[0034] 1、通过对现有视日运动轨迹跟踪方法的分析，建立以时间、经纬度为参数的高精度太阳位置，辅以光敏传感器主动寻找太阳位置，通过视日运动轨迹跟踪与主动跟踪相结合，消除环境对跟踪的影响，实现对太阳的自动跟踪，而且具有产品结构合理、电路工作稳定，受外界条件影响较小等优点。

[0035] 2、利用光耦隔离和续流电路，设计可靠的直流电机驱动电路。

[0036] 3、利用单片机和角度传感器，形成设备姿态的反馈回路，设计高精度的电机控制策略。

[0037] 4、利用 E^2PROM 对太阳的运动轨迹存储，当装置复位时实现快速对太阳位置跟踪。

[0038] 5、利用看门狗电路和休眠策略，提高装置的可靠性，具有精度高，稳定性好等特点。

附图说明

[0039] 图 1 是本发明的硬件结构框图。

[0040] 图 2 是图 1 中光敏信号检测模块的结构示意图。

[0041] 图 3 是本发明的控制软件框图。

[0042] 图 4 是本发明的结构示意图。

具体实施方式

[0043] 实施例

[0044] 参照图 1、2 及图 4，自动跟踪太阳装置，包括三自由度运动平台 4，该平台分别由直流电机 A1 及直流电机 B2 驱动，实现调整采光设备的姿态，使其接近于太阳光线垂直方向，达到最大限度接收太阳能的目的。电路部分 3 安装在平台 4 的上面。上述电路部分 3 由主控模块、姿态测量模块、时间模块、电机驱动模块、光信号检测模块、数据存储模块、通讯模块、电源模块及看门狗电路构成。

[0045] 上述三自由度运动平台光信号采集主要是由四个光敏元件 LXD7526 组成，它包括底板，底板的上、下、左、右四个位置上焊接有光敏元件 A3、光敏元件 B4、光敏元件 C5 及光敏

元件 D6；上述底板上还固定有遮光板 A1 及遮光板 B2。包括三自由度运动平台，分别由直流电机驱动，实现对采光设备姿态的空间位置调整，使其接近于太阳光线垂直方向，达到最大限度接收太阳能的目的。

[0046] 主控模块负责整个设备的运算、处理、指挥、协调和管理工作，是设备的核心器件。装置选用 STC12C5A60S2 单片机，该单片机是宏晶科技生产的单时钟 / 机器周期 (1T) 的单片机，是高速 / 低功耗 / 超强抗干扰的新一代 8051 单片机，指令代码完全兼容传统 8051，但速度是传统 8051 的 8-12 倍，其内部集成 MAX810 专用复位电路，2 路 PWM，8 路高速 10 位 A/D 转换 (250K/S)，针对电机控制的强干扰场合。

[0047] 姿态测量模块选用 ADXL345 芯片测量当前设备的姿态，ADXL345 是一款小而薄的超低功耗 3 轴加速度计，分辨率高 (13 位)，测量范围达 ±16g。

[0048] 时间模块选用 DS1302 计算出当前的年月日和时间。

[0049] 电机驱动模块选用电机驱动的大电流半桥高集成芯片 BTS7960，并用光耦和二极管实现隔离驱动和续流保护。

[0050] 光信号检测模块中光敏元件 B4 和光敏元件 D6 上（北）下（南）为一组；光敏元件 A3 和光敏元件 C5 左（东）右（西）为一组，检测太阳光照强度，当每组信号不同时，产生运行控制信号，信号经转换电路变成单片机可处理的电压信号，单片机通过对数据的处理，计算出太阳的位置。该装置工艺设计优劣对整套设备太阳跟踪精度和有效性有至关重要影响。

[0051] 通讯模块选用 RS-485 通信的低功耗收发芯片 MAX485，可以实现最高 2.5Mbps 的传输速率。

[0052] 电源模块选用高性能芯片 LM2596 和 AMS1117 将直流 12V 转换为 5V 和 3.3V。

[0053] 为了提高装置的可靠性，选用芯片 MAX813 实现看门狗电路。

[0054] 如图 3 所示，在硬件设计的基础上进行软件设计，其控制程序包括主程序模块、视日运动轨迹跟踪计算模块、模拟量计算模块、角度计算模块、电机控制模块、数据存储模块和通讯处理模块。

[0055] 主程序模块主要对装置进行初始化和协调各个模块之间的工作。

[0056] 视日运动轨迹跟踪计算模块主要计算出太阳在各个时刻的运动轨迹。在此装置中，所谓的跟踪，就是对太阳高度角和方位角的跟踪。地球中心与太阳中心的连线与地球赤道平面的夹角，称为太阳赤纬角，用 δ 表示。该角度是一个以年为周期变化的量。每天的赤纬角可以由 Cooper 方程近似地计算

[0057] $\delta = 23.5\sin[360° (284+n)/365]$

[0058] 式中，n 为从 1 月 1 日起一年中的第几天。计算太阳角度的公式中，所涉及到的时间都是太阳时，它与日常使用的标准时间并不一致，我国以北京时为标准时间，转换公式为：

[0059] 太阳时 = 北京时 $+E-4(120-L_{loc})$

[0060] 式中，L_{loc} 为当地经度；E 为时差（单位：min），可由公式：

[0061] $E=9.87\sin 2B-7.53\cos B-1.5\sin B$ 作近似计算，其中 $B=360(n-81)/364$。

[0062] 太阳光线与地面上投影的夹角称为太阳高度角，用 α_s 表示，可由下式确定：

[0063] $\sin\alpha_s=\sin\Phi\sin\delta+\cos\Phi\cos\delta\cos\omega$

[0064] 式中，Φ 为当地纬度，ω 为太阳时角。

[0065] 太阳方位角是太阳聚光器与太阳连线在地面上的投影与南北方向线之间的夹角，用 γ_s 表示，可由下式确定：

[0066] $\cos\gamma_s=(\sin\alpha_s \sin\Phi-\sin\delta)/(\cos\Phi\cos\alpha_s)$ 或 $\sin\gamma_s=\cos\delta\sin\omega/\cos\alpha_s$ 太阳在出没地平线的瞬间太阳高度角 $\alpha_s=0$，由下式即可求得日出日落时角 ω_0，

[0067] $\cos\omega_0=\tan\Phi\tan\alpha_s$

[0068] 通过对此算法的分析，建立有效地太阳轨迹跟踪模型。

[0069] 模拟量计算模块将光敏信号检测模块采集的数据计算生成太阳的高度角值和方位角值。角度计算模块将模拟量计算模块的数据和视日运动轨迹跟踪计算的数据进行比较，然后换算成控制电机运行的执行数据。电机控制模块将控制电机运行的执行数据生成 PWM 信号，控制电机运行。数据存储模块实现数据的记录。通讯处理模块通过 RS485 总线实现此装置与上位机的通讯，并可实现设备的在线设置和多台设备组网功能。

[0070] 本装置采用太阳主动跟踪与四象限光平衡检测两方面技术实现对太阳的自动跟踪，使太阳光垂直照射到太阳能采集设备台面，保证跟踪架上太阳能采集设备获得最大太阳辐射能量。装置在 0:00 时自动启动太阳运行角度计算模块，将当天太阳运行的角度数据存至 E^2PROM，结束后装置进入休眠状态，这些数据作为主动跟踪时的数据，以保证装置在各种环境条件下的稳定运行。

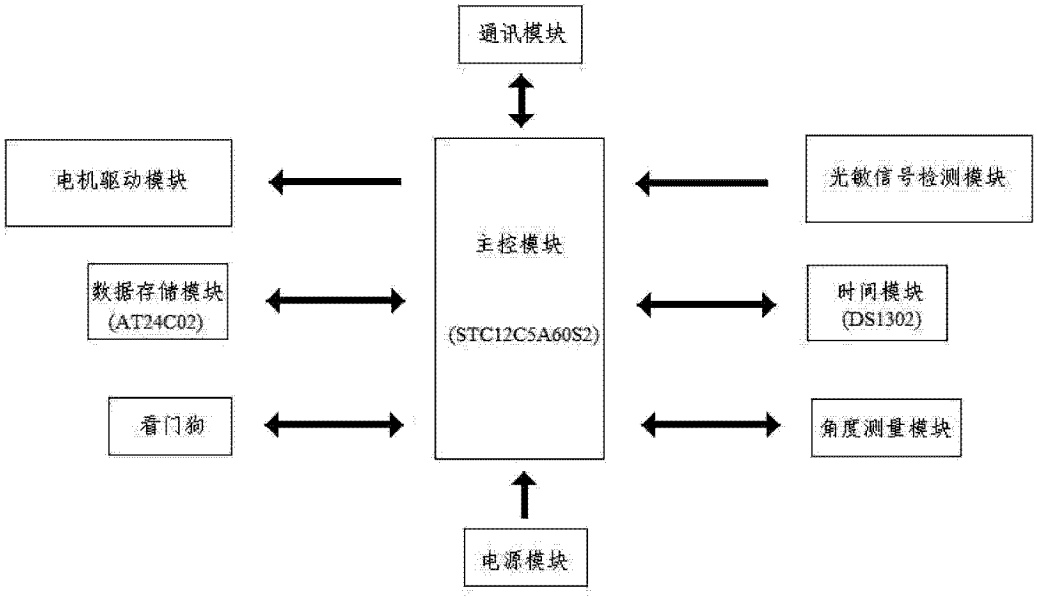

通讯模块
电机驱动模块
主控模块
(STC12C5A60S2)
光敏信号检测模块
数据存储模块
(AT24C02)
时间模块
(DS1302)
看门狗
角度测量模块
电源模块

图 1

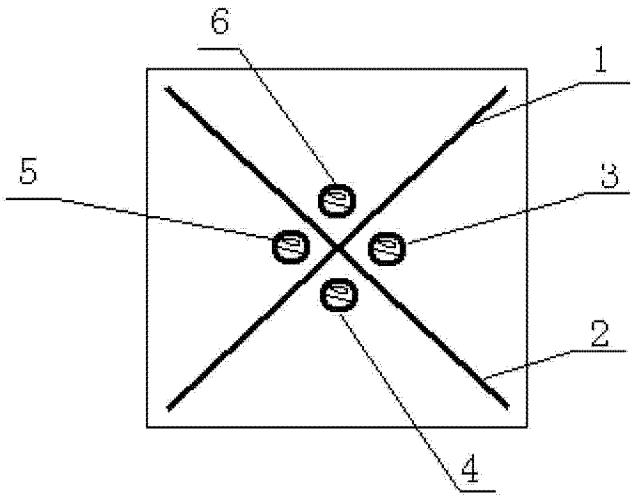

6
1
5
3
2
4

图 2

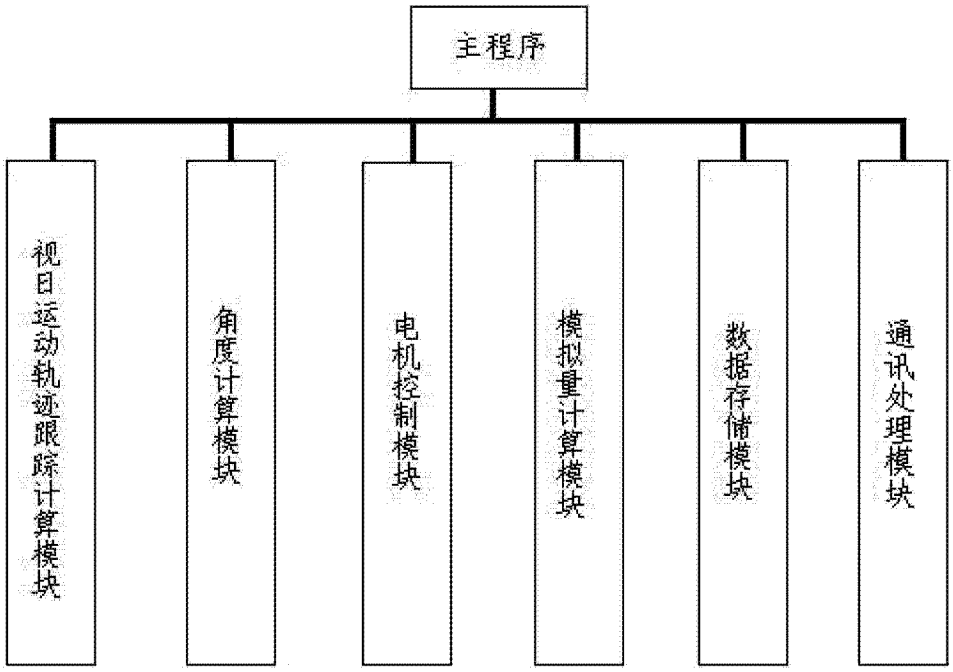

主程序
视日运动轨迹跟踪计算模块
角度计算模块
电机控制模块
模拟量计算模块
数据存储模块
通讯处理模块

图 3

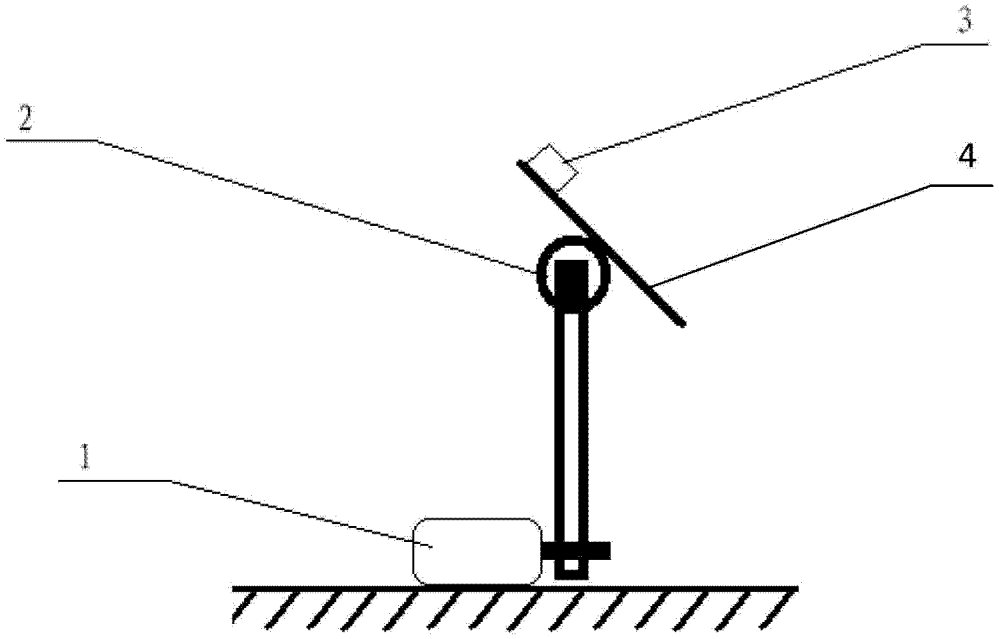

3
2
4
1

图 4