

基于 GPS 定位的太阳能板自动追光系统设计

张屹, 胡盘, 刘成恒

(常州大学 机械工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 为了使太阳能电池板更好地吸收太阳光, 提出了一种基于 GPS 定位的太阳能电池板自动追光系统设计; 通过使用 GPS 定位功能为跟踪装置所在位置提供精确的经纬度和时间, 通过视日运动轨迹法计算当前时间太阳的高度角和方位角, 以及利用高度/方位传感器获得当前太阳能电池板转动的仰角和旋转角度, 根据间歇跟踪法计算出当前跟踪偏差值, 并通过主控制器输出相应的电脉冲信号; 以控制步进电机的跟踪装置驱动太阳能电池板; 综上所述, 通过实现主要参数包括地理位置与授时, 跟踪偏差以及太阳的位置, 从而能够准确提高太阳光的高精度自动跟踪, 也增加了太阳能电池板自动追光系统的稳定性, 且实用性更强。

关键词: GPS 定位; 间歇跟踪; 太阳能电池板

Design of Solar Panel Automatic Tracking System Based on GPS

Zhang Yi, Hu Pan, Liu Chengheng

(School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: In order to make solar panels absorb sunlight better, a design of solar panel automatic chasing system based on GPS positioning is proposed. By using the GPS positioning function to provide accurate latitude and longitude and time for the position of the tracking device, calculating the elevation angle and azimuth of the current time sun by the visual trajectory method, and obtaining the elevation angle and rotation of the current solar panel by using the height/orientation sensor angle, the current tracking deviation value is calculated according to the intermittent tracking method, and the corresponding electrical pulse signal is output through the main controller. The solar panel is driven by a tracking device that controls the stepper motor. In summary, by implementing the main parameters including geographic location and timing, tracking deviation and the position of the sun, it is possible to accurately improve the high-precision automatic tracking of sunlight, and also increase the stability of the solar panel automatic chasing system, and more practical.

Keywords: GPS positioning; intermittent tracking; solar panels

0 引言

太阳能作为一种新型清洁能源, 受到了世界各国的广泛关注^[1]。目前, 主要的太阳光跟踪模式包括光电式跟踪和视日运动轨迹跟踪^[2]。在实际的应用过程中, 存在风、沙等因素影响机械装置旋转的精度和稳定性, 不可能实现垂直照射的目的, 导致无法充分利用太阳能资源^[3]。

根据当前太阳能技术的发展特点, 国内外光伏发电系统的发展现状以及太阳能光伏发电系统的低效率发电问题^[4], 通过使用 GPS 全球定位系统, 基于视日运动轨迹跟踪方法的理论, 提供精确的相关信息, 例如当地经纬度和实时时间, 从而不再考虑时间和地点对于机械设备的安装问题的影响, 因此都不再需要人为干预调整太阳能板的追光角度, 从而实现一种高度灵活的智能化功能, 进而提高太阳能的利用效率, 从而映射到提高太阳能发电系统的应用价值, 促进其在日常生活中的应用。

1 系统总体方案设计

外形采用平行四边形折叠的方式, 它在抽屉式的外形基础上, 使抽屉三板减小为两板, 却把抽屉从一个变成两

个, 这样使面积变的更大。其中, 顶层太阳能板约为底层的 0.8 倍。与它主要相关的部件涉及包括减速电机、履带、传动轴、推杆电机、底座和太阳能电池板等。结构设计如图 1 所示。

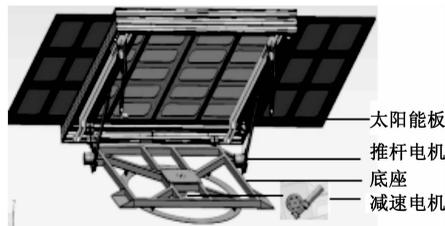


图 1 机械结构图

机械结构的设计优势是以常规双电机的传动系统为基础, 利用一个传动轴、两个履带和一个失电制动保护电机来实现, 这样既可以降低成本又提高电机同时带动太阳能电池板双向展开的稳定性。还有方位角传动机构采用的是自锁涡轮减速电机, 并进行轴向固定, 从而保证了涡轮减速机的传动精度。高度角传动机构使用双自锁电动机推杆同时像仰角方向进行驱动, 从而使在恶劣的天气情况下能够保证它的结构稳定性。

2 确定太阳位置的计算方法

2.1 太阳直射点的移动

地球自身的运动是自转和公转同时进行, 姿态运动存

收稿日期: 2019-06-24; 修回日期: 2019-07-30。

作者简介: 张屹(1976-), 男, 甘肃兰州人, 博士生导师, 教授, 主要从事控制算法优化领域方向的研究。

在于特定的黄赤交角。当地球自转时, 其轨道平面垂直地轴被称为赤道平面。当地球围绕太阳公转(四季的变化)时, 其轨道平面被称为黄道平面。当地球在地轴倾斜的位置公转时, 赤道面和黄道面的夹角不为 0, 即它们所形成的夹角称为黄赤交角(23°26′)。由于存在特定的黄赤交角, 使得太阳光线在地面上的直射点不断的发生变化, 且其运动范围不断的在南北回归线之间往复移动进行变化。所以太阳光线的直射点在最北端位置达到上限的位置是 23°26′N, 最南端位置达到上限的位置是 23°26′S。

2.2 坐标系

1) 时角坐标系:

时角坐标系是一种天球坐标系, 以定量的方式表示天体的位置, 以观测点所在的位置的天赤道面为基准平面^[5]。因此, 太阳的位置可以通过时角坐标系中的 δ 和 ω 来决定, 如图 2 所示。

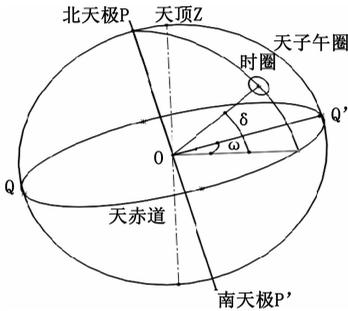


图 2 时角坐标系

太阳时角是从观测点至太阳所在时圈在天赤道的投影和观测点到天赤道与子午圈间的交点的夹角。时角角度从 0°到 180°, 以 OQ' 方向以 0°为基准, 向东为负, 向西为正。当中太阳赤纬角是以观测点到太阳所在时圈上与观测点所在的天赤道面之间的夹角^[6]。赤纬角以赤道平面为 0°, 从赤道往北为正, 相对为负。

2) 地平坐标系:

地平坐标系以观测点的位置为中心, 所在位置的平面当做参考平面, 如图 3 所示。

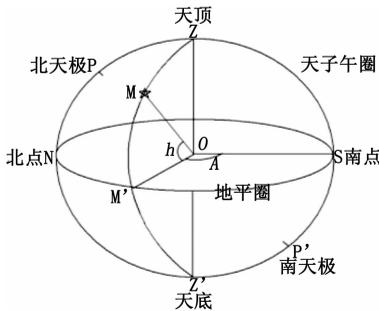


图 3 地平坐标系

图中的太阳高度角是从 0 点指向太阳的矢量与观察者位置的地平线之间的夹角。当太阳在地平线(地平圈)上时, 则仰角为 0°。若现在这个时候其使高度角增加, 则太阳升起; 若现在这个时候使高度角减少, 则太阳下降。同

时, 太阳方位角是从 0 点指向太阳的矢量在地平线上的投影与正南方的夹角, 其中它以正南向作为为 0°, 由南向西设定为正, 相反为负。

2.3 计算太阳的高度角和方位角

从上述中可以得出相关的结论, 太阳在天球上的位置将不断的发生变化。并且因为它是观测点所在的地平面, 则当观测点的位置相同但是时间不同时, 致使同一个太阳具有不同的高度和方位。所以确定太阳的位置,

通常需要把地平坐标系和时角坐标系相结合, 并且从不同的角度来表示。

根据在时角坐标系当中的 ω 和 δ 来决定太阳所在天球的位置。

1) 太阳时角公式:

$$\omega = \pi * (ST - 12) \times 15^\circ / 180 \quad (1)$$

式中, ST 为真太阳时, 以 24 小时计时。从每年 1 月 1 日起计天数。

2) 根据文献 [7] 可以更准确地计算太阳赤纬角。

公式:

$$\delta = \frac{\pi * (0.3723 + 23.2567 * \sin(b) + 0.1149 * \sin(2 * b) - 0.1712 * \sin(3 * b) - 0.758 * \cos(b) + 0.3656 * \cos(2 * b) + 0.0201 * \cos(3 * b))}{180} \quad (2)$$

式中, δ 单位为弧度, $\pi = 3.1415926$ 为圆周率; $b = 2 * \pi * (N - 1) / 365$, 单位是弧度, N 为日数, 自每年 1 月 1 日开始计。

使用 GPS 获取当前观测点的地理纬度与时间等信息, 以及通过公式 (1) 和 (2) 所得到的太阳时角和太阳赤纬角。太阳所在天球的位置由地平坐标系中的 h 和 A 决定。

1) 太阳高度角 h 的计算公式:

$$h = \frac{\pi * a \sin(\sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega))}{180} \quad (3)$$

式中, δ 为太阳赤纬角; φ 为当地纬度角; ω 为太阳时角/弧度。

2) 太阳的方位角 A 的计算公式:

$$A = \frac{\pi * a \cos(\frac{\sin(h) \sin(\varphi) - (\sin \delta)}{\cos(h) \cos(\varphi)})}{180} \quad (4)$$

式中, h 为太阳高度角/弧度; δ 为太阳赤纬角; φ 为当地的纬度角。

3 跟踪控制方案的设计

3.1 确定跟踪方案

用于视日运动轨迹方法的两种常见跟踪运动控制方法包括: 连续跟踪和间歇跟踪^[8]。其中, 当连续跟踪时, 因为地球自身类似曲椭圆, 所以太阳的高度角与方位角在发生变化时^[9]是不均匀的而且还随日期而变化。此外, 机械装置的连续性运转即消耗大量的电能, 不能达到实现太阳能利用的目的。因此, 系统采用间歇跟踪方法。通过给定

间间隔的方式来达到调整太阳能板的目的，并且调整的角度必须是由太阳能电池板的双角度调节的旋转角度与双跟踪误差值的角度一致。在时间间隔之内，太阳能板所在当前机构的位置固定不变。间歇跟踪方法使系统控制更加方便，不仅降低了跟踪装置的动作频率减少电能的能耗，而且还延长了它的使用寿命。

3.2 建立跟踪运动方程式模型

根据上述所确定的间歇跟踪法，建立跟踪运动方程式，假设当前所在位置的时间为 t_1 ，设此时太阳能电池板的当前倾角值为 h_1 和旋转角度为 A_1 ；当达到时间间隔 t_2 时，将当前太阳的高度角设为 h_2 和方位角设为 A_2 。根据间歇跟踪法设跟踪高度角误差变化量为 Δh ，以及相对应的高度电机的旋转角度记为 $\Delta\theta_1$ ；设跟踪方位角误差变化量为 ΔA ，以及相对应的方位电机的旋转角度记为 $\Delta\theta_2$ 。并且通过跟踪误差的正负来确定电机的正反转（顺逆方向转）。当 $\Delta\theta$ 为负值时，电机反转（逆转）；当 $\Delta\theta$ 为正值时，电机正转（顺转）。

函数关系如下：

$$\begin{cases} \Delta h = 90 - f(\varphi, \delta, t_2) - f(\varphi, \delta, t_1) \\ \Delta A = f(\varphi, \delta, h_2, t_2) - f(\varphi, \delta, h_1, t_1) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \Delta\theta_1 = \Delta h \\ \Delta\theta_2 = \Delta A \end{cases} \quad (6)$$

系统开启后，根据间歇跟踪法利用 (5) 和 (6) 公式计算当前跟踪误差，通过相应的脉冲信号实现电机的驱动来调整太阳能电池板的姿态。

4 系统硬件设计

通常系统硬件设计包括两个方面：硬件结构设计和硬件电路设计。

4.1 硬件结构设计

GPS 是一种地理位置和时间的高精确定位系统，适用于陆地，海洋和航空航天工业中的各种应用。因此将 GPS 定位原理应用到太阳跟踪领域是很有必要性。

太阳跟踪控制系统是一个完整的软硬结合系统，基于以微控制器为主，其辅助控制包括 GPS 定位传感器、MCGSE 触摸屏、方位/倾角传感器和步进电机驱动器等组成。如图 4 所示硬件结构图。

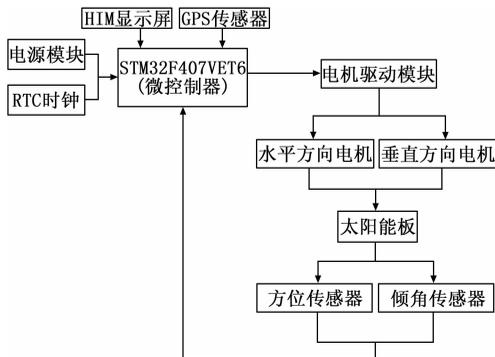


图 4 系统结构设计框架图

参数和太阳能板的旋转角和仰角等) 计算跟踪误差，电脉冲信号由 STM32 单片机输出，使电机驱动模块可以实现步进电机的正反转，并且通过高度/方位传感器将电池板的当前角度反馈到主控制器。以及通过触摸屏的人机交互界面，可以实时监控太阳的高度角和方位角以及 GPS 显示的经纬度，以确定系统是否处于良好的工作状态。

4.2 硬件电路设计

在硬件电路设计中，采用 STM32F407 单片机为主控机核心系统，通过信息采集模块，电源模块和运动系统控制模块等来实现整个控制电路的设计。

1) 信息采集模块电路设计：

由于主控制器接口与信息采集模块（倾角传感器、陀螺仪传感器等）之间的串口电气特性不同，因此需要使用 RS485 半双工收发器进行通信。本系统以 RSM485HL 芯片为主来实现 RS485 收发器的功能，以此进行它们之间的电平转换来实现串口通信。并且其中一些开关量的输入/输出，需要通过 TLP291-4 光电耦合芯片实现 A/D 转换，从而达到相应参数的转换。如图 5 所示。

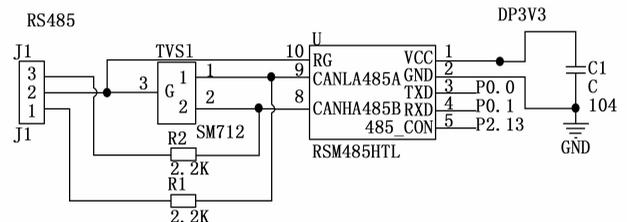


图 5 RS485 收发器接口原理图

2) 运动系统控制模块设计：

通过本系统控制模块来实现太阳能电池板的旋转姿态的变化。系统以光电耦合芯片 TLP291-4 为主来连接两个电机驱动器，并且通过驱动器连接执行机构的电机来实现对太阳能电池板的位置调整。如图 6 所示原理图接口。

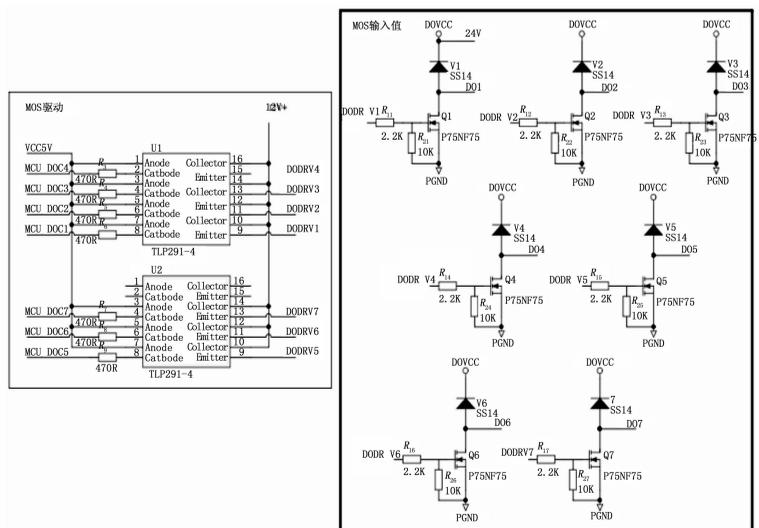


图 6 电机驱动系统接口原理

通电系统开始工作，采集的各种信号（当前 GPS

5 系统软件设计

跟踪装置和控制系统上电, 主程序系统开始初始化 (CPU, RTC, ADC, 看门狗等), 先用延时, 等待其他电路的启动。之后首先得到的信息是由 GPS 定位获得当前装置所在地点的经纬度和时间, 然后通过视日运动轨迹法计算出此时太阳的高度角和方位角。紧接着判断当前时刻太阳的高度角是否大于等于 0, 如果是则此时太阳能电池板回到初始位置并结束工作运转。如果不是则此时是由角度传感器获得当前太阳能板的倾角和旋转角, 并且把信息通过 A/D 转换器反馈到主控制器上。两者并运用间歇跟踪法计算跟踪误差值, 把获得的跟踪误差值通过主控制器的 A/D 赋值相应发生电脉冲信号并计数, 随机通过驱动器设备驱动安装在太阳能板上的方位角电机和高度角电机, 将太阳能板调整到相应的角位置。然后使用定时器判断是否已经达到时间间隔所需时间, 如果没有达到则继续等待, 如果达到时间间隔则更新当前时间并且计算当前时刻太阳的高度角和方位角, 然后接着判断太阳的高度角是否小于等于 0, 接着执行循环指令。流程图如图 7 所示。

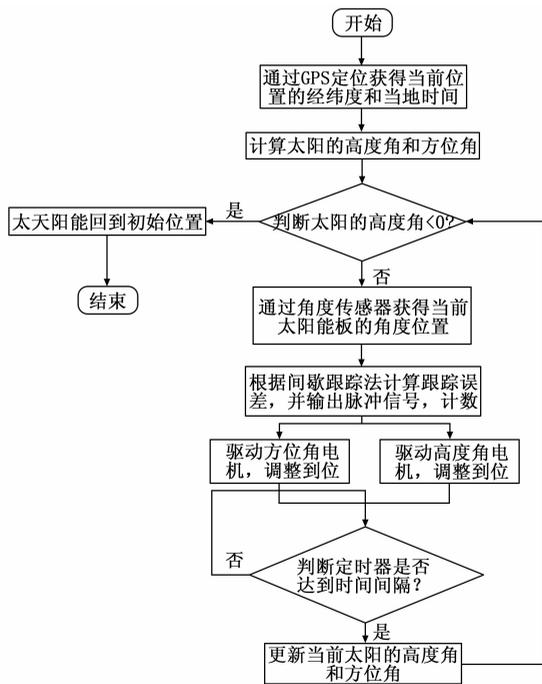


图 7 软件流程图

6 外部控制线路设计

为了实现系统结构之间的外部连接, 以及达到整个设计方案的控制, 因此, 外部控制电路设计对于保护设备正常运行至关重要, 如图 8 所示无过载保护的长期连续运行的控制电路。

1) 回路送电操作:

合上主回路中的断路器 QF; 合上主回路熔断器 FU1; 合上控制回路熔断器 FU2。

2) 工作原理:

由太阳能电池板吸收的太阳光线被转换成电能, 电能

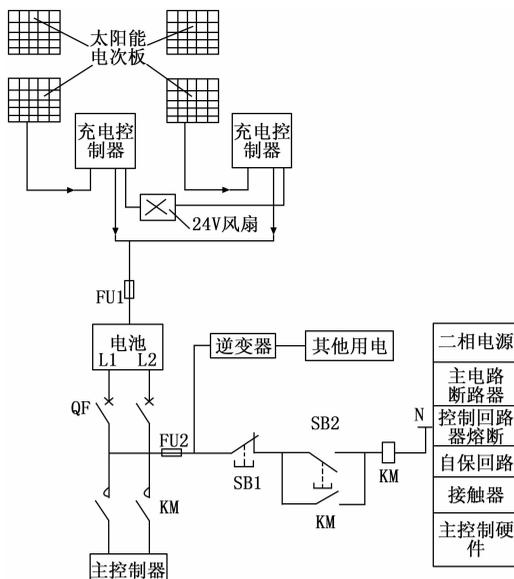


图 8 外部控制电路接线简图

通过充电控制器存储在电池中。在电源 L1 相位使用熔断器 FU2 对控制回路起到电流保护的作用, 首先通过逆变器 TC 进行变压, 从而为其他所需用电的设备装置提供相应的电压; 然后按下启动按钮 SB2 以关闭触点使其闭合, 并且在 KM 线圈的两端形成 24 V 的工作电压, 主电路中的接触器 KM 线圈主触头闭合, 实现主控制操作, 与此同时 KM 线圈自锁, 此时不论启动按钮 SB2 是否闭合都不会影响控制回路的正常工作。在主回路控制回路熔断器 FU2 后安装了一个常闭按钮 SB1, 这样就可以在设备正常运转时如果发生异常现象, 此时我们应该立即按下总停止按钮 SB1, 控制回路中的 KM 线圈断电, 自锁 KM 线圈断电, 同时主控制回路的 KM 线圈也断电, 则主控制器停止工作^[10] 即是控制太阳能跟踪设备停止运转工作。

7 系统调试

PC 机软件调试主要与串口调试助手结合进行系统测试^[11]。①选择连接串口号 COM2; ②选择通信地址 2 是 PC 机和控制器点对点连接, 其中控制器的通信地址, 同一总线上不能重复; ③将控制器切换到调试模式 (所有的参数修改都必须在调试模式下进行, 否则控制器会拒绝修改); ④切换完成后, 单击连续采集, 查看实时数据, 并注意运行模式切换是否成功; ⑤停止采集, 读取配置 (每次修改配置前, 都请读取配置, 以免修改到不必要修改的参数); ⑥修改参数到实际需要, 单击修改配置按钮, 以下载配置数据到控制器。如图 9 所示串口调试窗口。

通过上述串口调试窗口的一系列调试分析, 能够根据地理信息与授时的选配同步实现当前时刻的太阳位置以及太阳能板的双旋转角的确定, 并且结合参数设定在不同的环境下进行修正参数, 使通过间歇跟踪方法得到跟踪偏差值更为准确。

8 总结

基于提高太阳能利用率的考虑, 通过地平坐标系建立

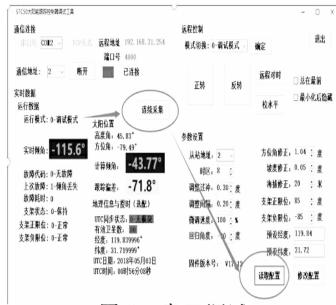


图 9 串口调试

太阳与观测点（太阳能板位置）之间的相对位置关系，以及利用 GPS 的定位原理，最终可以准确定位太阳在不同地点和时间时的位置。并且通过间歇跟踪法计算角度的跟踪误差即可通过主控制器驱动电机旋转相应角度达到自动跟踪。合理的结构设计即使在天气变化比较复杂的情况下该装置也能正常工作，并且通过串口调试助手进行系统测试分析，证明设计的可行性。以及在未来的应用当中，使太阳能跟踪装置的自动化程度将会更加准确、稳定和可靠。

参考文献:

[1] 王国龙. 基于单片机双轴太阳能跟踪系统设计 [J]. 电子设计工程, 2013 (8): 1.

(上接第 213 页)

时, 便能有效地躲避斜拉索障碍, 保证了旋翼 UAV 在进行斜拉索塔巡检时的飞行安全。

4 结束语

为进行安全、高效的索塔巡检, 提出了一种斜拉桥索塔外观巡检的无人机避障航迹规划算法。该方法以能量消耗最少为航迹优劣评价指标, 同时重点考虑了索塔环境下的斜拉索避障问题, 有效地解决了利用旋翼 UAV 进行索塔巡检时的图像采集航迹规划问题。仿真实例表明, 相比传统的“Z”字巡检航迹, 当高度能量损失因子 $\mu = 3$ 时本算法将航迹的能量消耗降低了 19.99%; 且当遇见斜拉索障碍物时, 能够进行有效避障。总之, 所提出的航迹规划方法可以有效地确保旋翼 UAV 进行斜拉桥索塔巡检时的飞行安全, 并最大限度减少其能量消耗, 在桥梁领域具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 金立新, 郭慧乾. 多塔斜拉桥发展综述 [J]. 公路, 2010 (7): 24 - 29.

[2] 马 晔, 邹露鹏, 张理轻. 无人机加载光学摄像及红外成像系统对海上特大索塔索质量检测的运用技术 [J]. 公路交通科技, 2018, 35 (8): 89 - 93.

[3] Seo J, Duque L, Wacker J. Drone - enabled bridge inspection methodology and application [J]. Automation in Construction, 2018, 94: 112 - 126.

[4] 刘 振, 史建国, 高晓光. Voronoi 图在航迹规划中的应用 [J]. 航空学报, 2008, 29 (S1): 15 - 19.

[2] Zhu Yuhua, Shi Fengliang, Li Limeng. Solar cells and photovoltaic power generation [J]. Journal of Chinese Modern Education Equipment, 2008: 54 - 55.

[3] 张国梁, 李 宏, 等. 基于视日运动轨迹的双轴能够跟踪系统 [J]. 太原科技大学学报, 2014 (8): 1 - 2.

[4] 傅开新, 彭 凯. 太阳能光伏 - 热光伏发电板的自适应追光系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017 (10): 224 - 227.

[5] 王国安, 米鸿涛, 等. 太阳高度角和日出日落时刻太阳方位角一年变化范围的计算 [J]. 气象与环境科学, 2007: 1 - 3.

[6] 张 床, 吕东辉, 项超静. 太阳实时位置计算及在图像光照方向中的应用 [J]. 电子测量技术, 2010 (11): 79 - 89.

[7] 王炳忠, 刘庚山. 日射观测中常用天文参数的再计算 [J]. 太阳能学报, 1991, 12 (1): 27 - 32.

[8] Chong K K, Wong C W. General formula for on - axis sun - tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector [J]. Solar Energy, 2009 (83): 298 - 305.

[9] 王虎成. 双轴独立自动太阳跟踪控制系统的设计 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011.

[10] 黄北刚, 黄义锋. 全国图解电气控制电路 100 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.

[11] 谈 敏. 温湿度监控系统设计. 计算机测量与控制 [J]. 2018 (11): 1 - 5.

[5] 邱 杰, 周成平, 杨朋举. 基于自由空间法的航迹规划方法 [J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37 (3): 61 - 64.

[6] Fu Y, Ding M, Zhou C, et al. Route planning for unmanned aerial vehicle on the sea using hybrid differential evolution and quantum - behaved particle swarm optimization [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2013, 43 (6): 1451 - 1465.

[7] 唐必伟, 方 群, 朱战霞, 等. 基于改进蚁群算法的无人飞行器二维航迹规划 [J]. 西北工业大学学报, 2013, 31 (5): 683 - 688.

[8] 任 敏, 沈林成. 基于 Hopfield 人工神经网络的飞行器快速航迹规划算法 [J]. 战术导弹技术, 2007 (5): 1 - 6.

[9] Eun Y, Bang H. Cooperative task assignment/path planning of multiple unmanned aerial vehicles using genetic algorithm [J]. Journal of Aircraft, 2009, 46 (1): 338 - 343.

[10] 陈 海, 王新民, 焦裕松, 等. 一种凸多边形区域的无人机覆盖航迹规划算法 [J]. 航空学报, 2010, 31 (9): 1802 - 1808.

[11] 方 旭, 刘金琨. 四旋翼无人机三维航迹规划及跟踪控制 [J]. 控制理论与应用, 2015, 32 (8): 1120 - 1128.

[12] Mo H, Qu H, Xu L, et al. UAV coverage path planning algorithm for bridge detection [A]. 2017 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence [C]. Honolulu, HI, 2017, 1 - 7.

[13] 敬家焱. 桥梁检测无人飞行器系统航迹规划初步研究 [D]. 长沙: 湖南科技大学, 2016.

[14] 袁 栋, 陈旭芳, 郁乐乐. 基于 PIXHAWK 和 IAPF 法桥检无人机避障 [J]. 低温建筑技术, 2017, 39 (2): 40 - 42.

[15] 于 飞, 马 慧, 陈斐楠. 三维海底栅格地形在潜器路径规划中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2016, 52 (5): 241 - 245.