

一种新型太阳跟踪器的设计^{*}

王志超¹, 韩 东¹, 徐贵力², 毛建国¹, 沈 峒¹

(1 南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016;

2 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016)

摘 要: 设计了基于位置敏感探测器 (PSD) 的太阳跟踪器, 实现对太阳的自动跟踪。该跟踪器能够适应各种天气, 晴天时启动光电跟踪, 阴雨天时启动日历跟踪, 能够实现方位角在 360° 范围内, 高度角在 90° 范围内自动跟踪。进行了系统误差分析与实验, 实验结果表明: 该方法的跟踪精度在 $\pm 12^\circ$ 视场角度内为 0.1° ; 各种天气情况下, 跟踪器均能稳定地工作, 能够达到预期的设计性能。

关键词: 太阳能; 太阳跟踪; 单片机; 光电检测

中图分类号: TK513.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2009)02-0091-03

Design of new sun-tracking device^{*}

WANG Zhi-chao¹, HAN Dong¹, XU Gui-li², MAO Jian-guo¹, SHEN Huan¹

(1 College of Energy & Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and

Astronautics, Nanjing 210016, China; 2 College of Automation Engineering,

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: A new sun-tracker based on a PSD sensor is developed. Two stepper motors are used to achieve the track of sun. It can achieve the track under any kind of weather and light-electric track is used in sunny day, and calendar-check track in rainy day. It can realized the automatic tracking in any direction angle of 360° and any height angle of 90°. Analysis of the system error and some experiments are done, experiment results show that the accuracy of this sun-tracker can be limited in 0.1° in $\pm 12^\circ$ inspect angle. This device can run stably under all weather.

Key words: solar energy; sun-tracking device; single chip microcomputer; photo electricity examination

0 引 言

太阳能作为一种新兴的绿色能源正得到迅速的发展和运用。由于辐射到地面的阳光受到气候、纬度、经度等自然条件的影 响, 存在着间歇性、光照方向和强度随时间不断变化的问题, 对太阳能的收集和利用提出了更高的要求。香港大学建筑系研究了太阳光角度与太阳能接收率的关系, 理论分析表明: 太阳的跟踪与非跟踪, 能量的接收率相差 37.7%, 精确地跟踪太阳可使接收器的热效率大大提高, 进而提高了太阳能发电系统的太阳能利用率, 拓宽了太阳能的利用领域^[1]。

在太阳能跟踪方面, 美国亚利桑那大学推出了新型太阳能跟踪装置, 该装置通过光传感器和光电检测电路将光信号转换为电信号输入单片机, 单片机经过处理后输出控制信号控制电机完成跟踪^[2]。捷克科学院物理研究所则以形状记忆合金调节器为基础, 通过日照温度的变化实现单轴被动式太阳跟踪, 中国科学院上海物理技术研究所研

制了二维程控太阳跟踪器控制系统, 该装置是通过通过对太阳运行轨迹理论的分析和研究, 确定了太阳跟踪器的运动数学模型, 通过微机程控控制, 实现太阳的跟踪^[3]。赵志刚等人设计了基于 CMOS 图像传感器 ADC-2121 的全自动便携式太阳辐射计, 此方法具有定位精度高、可自由规定零点等优点, 具有很好的应用性^[4]。赵丽伟设计了光电跟踪和太阳角度跟踪相结合的方式, 在晴天时系统采用光电跟踪, 阴天时进入太阳角度进行跟踪。这种方式跟踪精度高, 跟踪范围大, 容易受到其他光线的干扰, 不能很好地判断太阳被遮挡的情况启用哪种跟踪方式^[5]。

本文在上述研究的基础上, 提出了其于位置敏感探测器 (PSD) 的太阳跟踪器, 实验验证了该太阳跟踪器能够达到预期的性能指标。

1 太阳跟踪器的设计

1.1 结构设计

为了更好地实现太阳能应用中对太阳的自动跟踪, 采

收稿日期: 2008-08-13

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50675099)

用光电跟踪与地球绕太阳运行规律计算跟踪(以下简称日历查询跟踪)相结合的方式,加强系统的稳定性。光电跟踪的方式是首先把光信号通过 PSD 后输出光电流,经过 I/V 转换电路,再经过检测电路,把电压信号输入单片机,单片机经过处理后,输出控制信号进而控制电机转动,从而实现高精度跟踪太阳。日历查询跟踪方式,系统从外部时钟芯片读取当前时间,根据时间计算当前的太阳高度角和太阳方位角,每隔一段时间读取一次时间,计算一次太阳高度角和方位角,同时,计算出两次之间的角度差,利用这个角度差来控制电机的转动时间。

太阳跟踪装置包括 PSD、保护罩、透镜、光孔、遮光桶、光强调节机构、高度角调节机构、方位角调节机构、电机、支架,如图 1 所示。通过采集电路采集 PSD 的输出信号,把采集的信号输入单片机,单片机根据采集的信号通过对步进电机的控制来实现对太阳高度角和方位角进行跟踪。同时,根据采集的 PSD 的光强信号,以使 PSD 探测器工作在合理的范围内。光强调整机构采用一个步进电机控制一个带有不同大小孔径的圆盘,用来调节采集光信号光孔的大小,这个根据单片机采集的光强电压大小来控制的,当电压值大于规定值时就像孔径小的一方旋转,旋转角度是固定的,孔径在圆盘上也是按照等间距安排的。当检测到阴雨天气时启动日历查询跟踪,实时地跟踪太阳的运行,出现太阳光后,当达到光电跟踪的光强时重新启动光电跟踪。

PSD 在太阳光下,可以实现高精度的位置探测,PSD 感受太阳光的位移最小为 $10\mu\text{m}$,配上遮光桶的高度,由三角函数可以确定最小的测量精度达到 0.1° ;适用于各种太阳能跟踪设备,精度要求达到 0.1 以及更高的情况下(可以通过更改遮光桶的高度来提高测量精度,这个是以视场角度牺牲为代价,但视场角度可以由日历跟踪来提供)。

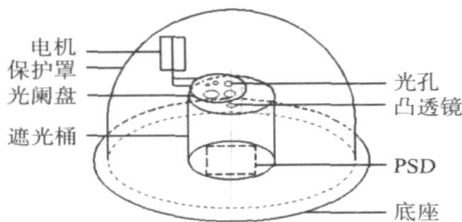


图 1 太阳位置测量装置

Fig 1 Measuring device for sun position

1.2 PSD 工作原理

PSD 的工作原理是基于横向光电效应。PSD 是一块大面积的 PN 结敏感器,在 PN 结四周设有电极,当 PSD 的敏感面受到光斑局部非均匀照射时,在敏感面上将建立与光斑位置相关的平行于敏感面的横向电动势,如光斑持续照射,并在 PSD 的电极上外接电路,则将形成向四周电极流动的电。电流的大小与光斑的位置有关,从而根据电流

的大小可计算出光斑的位置^[6]。二维 PSD 在方形机构上有两对互相垂直的输出电极。一对用来确定 x 方向位置坐标,另一对用来确定 y 方向位置坐标,如图 2 所示。

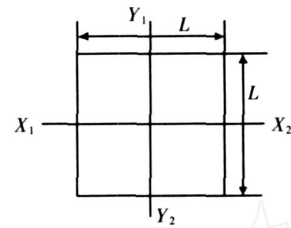


图 2 二维 PSD 结构

Fig 2 Structure of 2D PSD

二维 PSD 输出与入射光电位置的关系为

$$P_x = \frac{(X_2 - X_1) + (Y_1 - Y_2)}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2},$$

$$P_y = \frac{(X_2 - X_1) - (Y_1 - Y_2)}{X_1 + X_2 + Y_1 + Y_2},$$

式中 X_1, X_2, Y_1, Y_2 为各信号的输出电流(光生电流); P_x, P_y 为入射光点的位置坐标(坐标原点在光敏面中心); L 为 PSD 光敏有效区域边长。

2 系统硬件设计

系统硬件框图如图 3 所示,包括信号输入与处理电路、微处理器、执行器、显示电路、键盘电路、时钟电路。

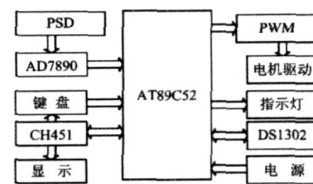


图 3 系统硬件框图

Fig 3 Block diagram of system hardware

单片机选用低功耗、高性能、CMOS 8 位微处理器 AT89C52,片内有 8k 字节的可擦写存储器,4 组 I/O 口,通过单片机 AT89C52 对整个系统进行控制。PSD 输出的电流信号经过信号调理后输出 V_x, V_y 两路电压,AD7890 对 V_x, V_y 和光强信号产生的电压进行采集输入单片机,单片机根据电压的大小输出对步进电机的控制信号,实现对太阳的自动跟踪。日历查询跟踪方式通过 DS1302 芯片读取当前的时间,根据太阳高度角和方位角的计算公式计算当前太阳的高度角和方位角,根据计算的结果,单片机输出控制信号实现对步进电机的控制,实现日历查询跟踪。

CH451 芯片是一个整合了数码管驱动和键盘扫描控制以及 μp 监控的多功能外围芯片。可以驱动 8 位数码管或 64 位 LED,具有 BCD 译码、闪烁、移位等功能;同时,可以进行 64 键的键盘扫描;CH451 实现对键盘的控制和数码管的驱动。数码管用来显示当前的时间或日期,键盘主要用来调整日期和时间。

3 测控软件设计

如图 4 所示,开机后,首先判断是否在正常的工作时间(6:00~18:00),如果不在正常的工作时间不启动跟踪,如果在正常的工作时间进行上电初始化,初始化到基准位置,以太阳光方位角 -90°高度角 0 时为基准。计算当前时刻的太阳高度角和方位角,启动日历查询跟踪运行到当前时刻的太阳高度角和方位角后,判断光强电压是否达到光电跟踪的范围,如果达到光电跟踪的范围启动光电跟踪,使其方位角和高度角达到精度要求的范围,如果没有达到光强跟踪一直采用日历查询跟踪,当达到光电跟踪的光强时启动光电跟踪,能够实现对太阳高度角和方位角的实时跟踪。

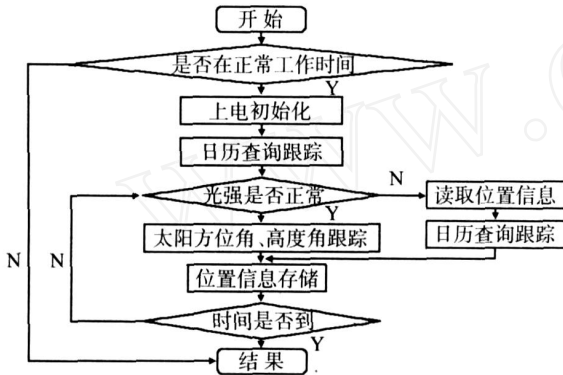


图 4 软件流程图

Fig 4 Flow chart of software

4 实验

将探测器和长 1m 的竖直杆安装在跟踪器的机械装置

上同一水平面上,使其保持与水平面垂直,设备置于太阳光下。当跟踪器确定太阳位置时,通过测量竖直杆产生的阴影长度的方法验证跟踪精度。设影子长度为 l ,则有跟踪误差角度

$$= \arctan \frac{l}{1000}$$

要达到 0.1 的精度, $l < 1.5\text{mm}$ 。此外,通过 PSD 输出的 V_x, V_y 的电压值也可以得到一组推算跟踪误差。即 PSD 在偏离中心时,每偏差 $1\mu\text{m}$ 产生 1mV 电压。实验测得当跟踪上太阳时,产生的电压偏差在 $0.01 \sim 0.05\text{V}$ 或者 $-0.05 \sim -0.01\text{V}$, PSD 感受太阳光的位移最小为 $10\mu\text{m}$, 0.01V 时对应 PSD 偏离中心的距离为 $10\mu\text{m}$,满足 PSD 感受太阳光强的最小位移 $10\mu\text{m}$ 的要求。遮光桶的高度为 35mm ,由于跟踪上太阳时 PSD 产生的最大电压偏差控制在对应偏离 PSD 的中心距离为 $50\mu\text{m}$,所以,跟踪的精度为 $\arctan 50/35000 = 0.082^\circ$,可以推算达到 0.1 的精度要求。通过以上 2 种方法对比,即可验证太阳跟踪器达到了 0.1 的精度要求。

实验数据中的 10 个典型测量结果,如表 1 所示。通过对实验结果进行处理,从图 5 可以看出:太阳的高度角和方位角均在 0.082 的范围之内,从图 6 可以看出:太阳跟踪器的精度在 0.074 的范围之内,跟踪误差和实验测量误差均在 0.1 的范围之内,2 种验证方法证实跟踪器都达到了 0.1 的精度。

表 1 实验数据

Tab Experiment data

实验次数	方位角方向	方位角方向	高度角方向	高度方向	影子长度 (mm)	太阳光线 偏差角度 (°)	是否达到 0.1° 的精度要求
	电压偏差 (V)	偏转角度 (°)	电压偏差 (V)	偏转角度 (°)			
1	0.04	0.065	0.03	0.049	1.2	0.068	是
2	0.05	0.082	0.04	0.065	1.3	0.074	是
3	-0.02	0.033	0.05	0.082	1.1	0.063	是
4	0.03	0.049	0.05	0.082	1.2	0.068	是
5	-0.01	0.016	0.02	0.033	0.9	0.052	是
6	-0.03	0.049	-0.04	0.065	1.1	0.063	是
7	0.04	0.065	-0.04	0.065	1.3	0.074	是
8	-0.05	0.082	-0.02	0.033	1.2	0.068	是
9	-0.03	0.049	-0.02	0.033	1.1	0.063	是
10	0.01	0.016	-0.04	0.065	1.0	0.057	是

5 结论

本文设计了一种基于 PSD 的太阳跟踪器,能够实现各种天气下的大范围跟踪,通过自动跟踪实验证明:

- 1) 传感器跟踪精度不低于 0.1°;
- 2) 跟踪过程中即使出现阴雨天气系统也能实现自动跟踪,无需人工调节;

3) 具有结构简单、运行可靠、安装方便、跟踪精度高、成本低廉等特点;

4) 适用于太阳能灶、太阳能热水器、太阳能电池、太阳能车、太阳能热发电系统等各种需要太阳跟踪器的装置。

(下转第 96 页)

然后,继续对酒精传感器进行数据采集;若大于标定值,不执行继电器动作,继续对传感器信号进行采集,同时,语音报警器提示驾驶员“酒后驾车危险,请注意安全”。

4 仿真检验

本文选用 DP-51PROC 单片机综合仿真实验仪进行仿真。

将应用程序装载到外部 SRAM 中,将 TKSMonitor 51 的仿真头插入到 DP-51PROC 单片机综合仿真实验仪的 U13 锁紧座上,调入程序编入运行,观察继电器的动作。

观察结果表明:当程序中的设定值是 10 g/100L,即小于标定值 20 g/100L,控制端输出为高电平,继电器常开触点吸合,绿色 LED 灯被点亮,能够实现预期的设计要求。在此过程中,可以由对应的 LED 的亮灭判断继电器开关动作。实际仿真结果表明:该自动控制能够实现设计的智能控制动作。

表 1 为各种情况下的仿真结果,测试环境温度为 -5~+40,大气压 86~106 kPa,空气相对湿度 20%~95% RH。

表 1 仿真结果

Tab 1 Simulation results

血液中酒精浓度 (g/100L)	继电器状态	LED 灯显示
5.00	闭合	绿灯亮
10.00	闭合	绿灯亮
15.00	闭合	绿灯亮
20.00	断开	红灯亮
30.00	断开	红灯亮
50.00	断开	红灯亮

5 结束语

本文采用 89C51 芯片构成的智能控制系统对汽车引擎

进行智能化控制,能够在干扰性较小的状态下接收传感器的信号,并进行处理和逻辑判断控制执行器继电器的动作,当检测到驾驶员体内酒精含量超过安全驾驶的标定值时,能够自动切断启动系统电源,使汽车无法启动。

基于 CAN 技术在汽车电子领域应用日益广泛,如果将这种自动控制单元串入到汽车 CAN 总线系统架构中,可以使汽车安全系统要求数据传输具有较高的安全性,从而提高驾驶员驾车的安全性^[9]。

参考文献:

- [1] 张新龙. 酒后驾车与交通事故的法医学探讨 [J]. 道路交通管理, 2007 (12): 60 - 61.
- [2] 梁集贤, 杨青, 荆莹. 驾驶员血液中酒精浓度 (BAC) 与交通事故相关性研究 [J]. 现代交通技术, 2007 (4): 63 - 65.
- [3] 刘军民. 国外对驾驶员酒后开车的管理对策 [J]. 道路与安全, 2003 (3): 30 - 31.
- [4] 潘祖军, 朱文胜, 岳睿. 汽车用酒精传感器的分析 [J]. 北京汽车, 2007 (1): 39 - 41.
- [5] 岳睿. 警用呼气式酒精传感器的研究进展 [J]. 化学传感器, 2006 (3): 6 - 9.
- [6] 万吉高, 张国庆, 黄炳醒. 燃料电池型酒精传感器的制备 [J]. 贵金属, 2004 (3): 36 - 38.
- [7] 何立民, 张俊谋. 单片机中级教程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [8] 张培仁, 孙占辉, 张村峰. 基于 C 语言编程 MCS-51 单片机原理及应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [9] 王轶, 张凡. CAN 总线技术在智能汽车系统中的应用 [J]. 微计算机信息, 2005 (21): 48 - 50.

作者简介:

陈丽 (1982 -), 女, 河南安阳人, 硕士, 研究方向为智能检测与监控。

(上接第 93 页)

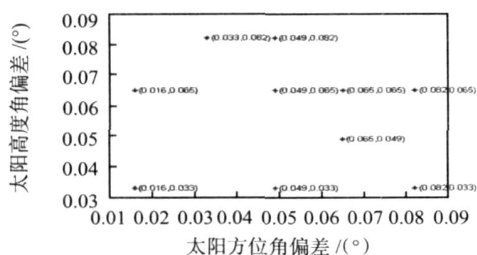


图 5 探测器实验结果

Fig 5 Experiment results of detector

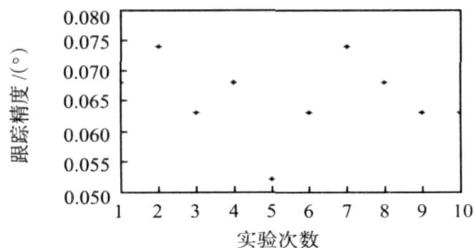


图 6 太阳跟踪器实验结果

Fig 6 Experiment results of sun-tracking

参考文献:

- [1] 夏小燕. 大范围太阳光线跟踪传感器及跟踪方法的研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006: 487 - 489.
- [2] Marlett Wentzel, Anastassios Pouris. The development impact of solar cookers: A review of solar cooking impact research in South Africa [J]. Energy Policy, 2007, 35 (3): 1909 - 1919.
- [3] 饶鹏, 孙胜利, 叶虎勇. 二维程控太阳跟踪器控制系统的研究 [J]. 控制工程, 2004, 11 (6): 532 - 536.
- [4] 赵志刚, 毕晓麟. CMOS 图像传感器在光电自动跟踪系统中的应用 [J]. 科学技术与工程, 2006, 6 (3): 312 - 314.
- [5] 赵丽伟. 太阳自动跟踪系统的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2007: 32 - 36.
- [6] 王青直, 徐进. 基于 PSD 传感器的太阳自动跟踪系统的研究与实现 [J]. 自动化技术与应用, 2007, 26 (10): 123 - 125.

作者简介:

王志超 (1983 -), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事太阳自动跟踪方面的研究。