

· 电路与控制 ·

## 太阳能板自动对准装置的设计

夏江涛

(南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 构建了基于四象限探测器的双轴机械式自动跟踪定位装置, 以低功耗单片机 MSP430 为核心, 设计了使太阳能板始终保持与太阳光垂直的自动跟踪系统, 大大提高了太阳能的利用效率. 采用高性能的放大电路、滤波电路、A/D 转换电路及精密步进系统, 控制精度高, 直线跟踪精度达到  $0.25 \mu\text{m}$ , 视场的跟踪角精度为  $0.25 \text{ mrad}$ , 满足设计要求, 对于太阳能的应用技术具有较大的参考价值, 具有广泛的应用潜力.

**关键词:** 太阳能; 自动跟踪; 四象限探测器; 二维转台

**中图分类号:** TN215; TP273

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2010)01-0045-04

## Design of Autotrack Equipment for Solar Panel

XIA Jiang-tao

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on four-quadrant photodetector, a double axle autotrack machinery equipment is designed with the low-power MSP430 SCM as its core. It enables the sun panel to keep being vertical to sunlight, so the utilization efficiency of solar energy was greatly improved. The equipment consists of the amplifying circuit, filter circuit, integrating circuit, A/D converter and precise stepping system. The linear tracking precision is up to  $0.25 \mu\text{m}$ , and the tracking precision of coverage angle is  $0.25 \text{ mrad}$ . The research is helpful to the applications of solar energy.

**Key words:** solar energy; autotrack; four-quadrant photodetector; 2-D revolving platform

随着社会经济的发展, 能源和资源的消耗速度越来越快, 节约能源和开发利用可再生能源已经成为人类可持续发展的必要条件. 太阳能作为一种清洁无污染的能源, 发展前景非常广阔, 太阳能发电技术已引起世界各国高度关注. 然而, 其间歇性、光照方向和强度随时间变化的问题对太阳能的收集和利用提出了更高的要求. 目前, 大多数太阳能电池板阵列采用位置固定的安装方式, 此方法不能充分利用太阳能资源, 整体发电效率较低. 据实验数据表明, 在相同条件下, 采用自动跟踪式太阳能发电设备要比固定方式的发电量提高 35% 以上. 因此在太阳能资源的利用中, 自动跟踪技术是十分重要的研

究方向<sup>[1]</sup>.

提出了一种新型的太阳光自动跟踪系统设计方案. 太阳能板固定在自主设计的二维转台上, 系统能自动根据太阳光方向来调整太阳能板朝向, 以使其光敏面始终与太阳光保持垂直, 进而有效提高系统工作效率. 该系统结构简单、成本低, 在跟踪过程中能实时自动更正坐标位置, 不必人工干预, 有效地提高了太阳能的利用率, 有较好的推广应用价值.

### 1 系统的结构

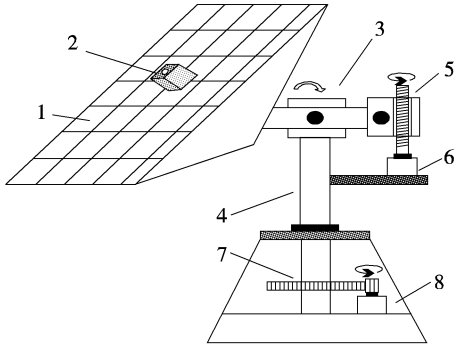
二维自动转台的机械结构如图 1 所示. 系统主

收稿日期: 2010-12-24

基金项目: 江苏省高等学校大学生实践创新训练计划(2008-230); 南京信息工程大学科研基金(S8107239001)

作者简介: 夏江涛(1979-), 男, 讲师, 博士, 主要从事光电系统及自动控制技术研究.

要由光电传感器、步进电机、传动机械、控制系统和电源系统组成. 基于步进电机的精密传动机构, 具有很好的自锁功能, 能够根据系统的控制指令动作和维持状态, 有效地减少外界的干扰对支架位置的影响<sup>[2-4]</sup>.



1—太阳能板;2—探测器模块;3—俯仰角支架;  
4—方位角转轴;5—滚珠丝杆;6—步进电机 A;  
7—齿轮组;8—步进电机 B

图1 二维转台结构图

## 2 系统的工作原理

### 2.1 系统工作过程

系统的工作原理如图2所示. 太阳光透过光孔, 由透镜汇聚到四象限探测器的感光表面, 受光面的4个电极就产生电压信号, 这些信号依次经过前置放大电路、滤波电路以及 A/D 转换电路后, 转换成数字量, 并由控制器从 A/D 转换器的寄存器中读取4个通道的采样数据. 如果入射光斑的位置在受光面的中心, 则受光面的各个电极的输出信号相等, 此时入射光线与固定平面垂直. 如果入射光斑的位置不在受光面的中心, 受光面的输出信号不相等, 通过下列步骤调整旋转平面:(1)通过数据运算可以确

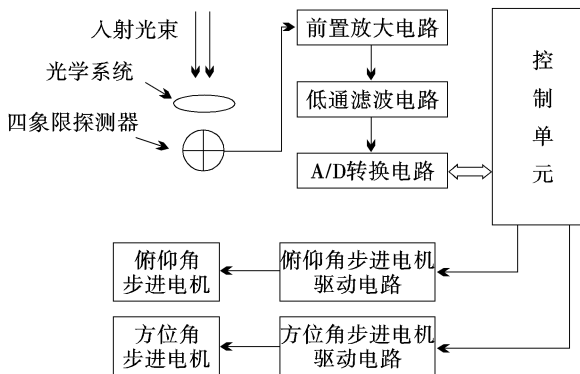
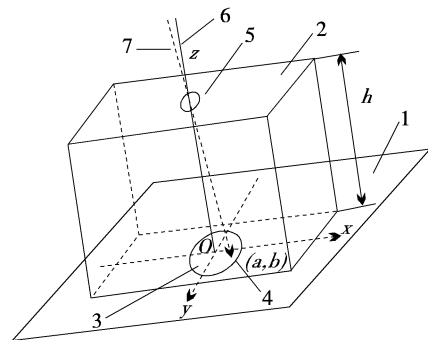


图2 系统工作原理图

定入射光斑中心与受光面中心的相对偏移量, 从而计算出入射光线与固定平面法线的夹角;(2)计算出控制方位角转动的步进电机和控制俯仰角旋转的步进电机的旋转角度, 以使入射光线与固定平面法线之间的夹角为 0°;(3)计算出步进电机的旋转步数和旋转方向, 通过接口电路输出控制指令, 驱动步进电机动作. 为了减小功耗, 在步进电机停止转动期间, 通过控制器关闭步进电机的电源.

### 2.2 传感器工作原理

采用 EOS S-010-QD 硅四象限探测器来检测太阳光的入射光线与固定平面法线的夹角, 该探测器是在一块芯片上封装了4个单独的感光面(共阴极), 敏感面直径为 10 mm, 工作波长为 0.3~1.1 μm, 可以提供4路模拟电压输出, 因此系统中选择探测器的输出电压作为有效测量信号. 安装时, 遮光罩的顶部平面以及受光面均要与转台的固定平板面平行, 如图3所示<sup>[5]</sup>.



1—太阳能板平面;2—遮光罩;3—四象限探测器;  
4—入射光斑位置;5—透光孔及物镜;6—平面的法线;  
7—入射光线

图3 传感器工作原理图

四象限探测器是一种基于四象限分解法设计的位敏器件, 目标光信号经光学系统后在四象限探测器上成像, 当目标成像不在光轴上时, 4个象限上输出的信号幅度不相同. 根据各象限上能量分布的比例可计算出目标的亮度中心位置, 以确定目标的空间位置, 即检测目标具体方位可以归结为像斑相对于探测器中心的偏移量大小和方向的计算. 文中使用四象限加减求解法来提取目标偏移量, 基本公式如下

$$\begin{cases} E_x = \frac{S_A + S_D - S_B - S_C}{S_A + S_D + S_B + S_C} \\ E_y = \frac{S_A + S_B - S_C - S_D}{S_A + S_B + S_C + S_D} \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $E_x$  和  $E_y$  分别为  $x$ 、 $y$  轴上的偏移量;  $S_A$ 、 $S_B$ 、

$S_C$ 、 $S_D$  分别为像斑在 4 个象限上的分布面积。

设光斑的中心坐标为  $(a, b)$ , 如图 3 所示, 则入射光线在  $zox$  和  $zoy$  平面中的投影线与平板法线的夹角  $\varphi_x$  及  $\varphi_y$  分别为

$$\begin{cases} \varphi_x = \arctan(\frac{a}{h}) \\ \varphi_y = \arctan(\frac{b}{h}) \end{cases} \quad (2)$$

### 3 系统的电路设计

系统硬件电路采用高性能集成电路芯片为核心来设计, 如图 4 所示. 系统采用实时工作方式. 在工作过程中, 四象限光电探测器的 4 路输出信号分别经过各通道的放大电路、滤波电路之后, 由 16 位 A/

D 转换电路对 4 路模拟信号同时进行采样, 然后由控制单元处理器依次从 A/D 转换器的寄存器中读取转换结果, 根据程序逻辑和处理算法, 对前端光斑的接收位置进行判断, 以输出相应的控制信号, 驱动执行机构的步进电机动作, 对太阳能板的接收角度进行实时调整.

在整个工作过程中, 可以实现完全的自动化控制. 但考虑到人员的可控性, 系统设置了几个人工操作键, 并可以进行自动/手动模式切换, 满足某些情况下人工操作的需要. 系统的手动模式切换端、方位角加减控制端、俯仰角加减控制量和系统复位端均为开关量. 在自动工作模式中, 系统对 4 路输入信号实时采集, 自动调整接收位置, 以保证入射光垂直作用于太阳能板, 整个工作过程自动实现, 实时循环执行<sup>[6]</sup>.

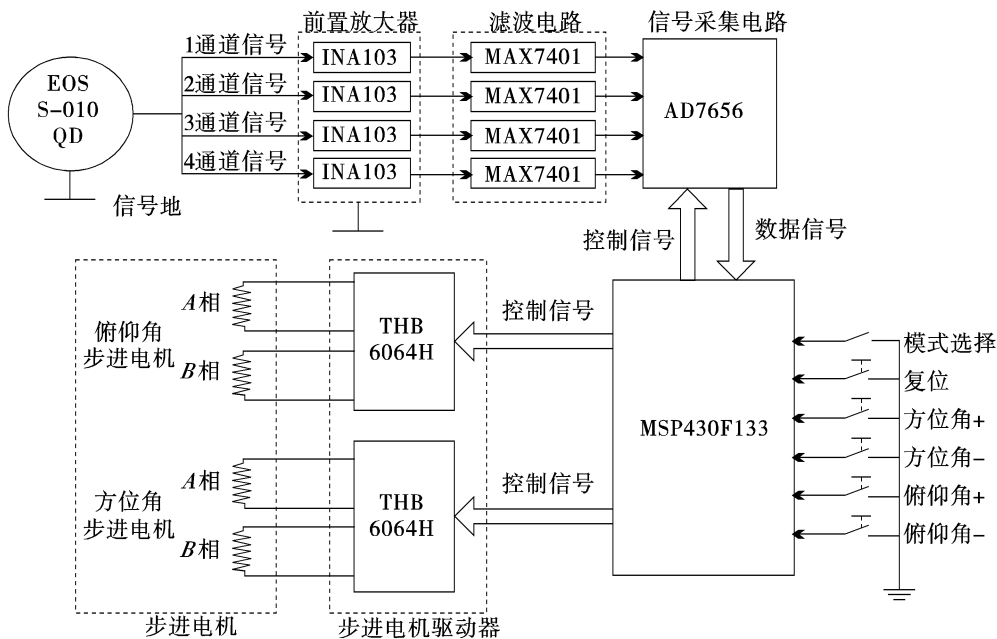


图 4 硬件电路结构图

### 4 系统控制程序的设计

由于在一定时间内, 太阳光线偏离平面法线的角度很小, 同时考虑减少系统损耗, 经实验, 系统的信号采集时间间隔确定为 15 min, 时间间隔是通过调用延时子程序来实现的, 可以随时根据需要进行调整. 为了能够在初始上电时快速地捕获太阳位置, 系统设计了预扫描子程序以实现快速粗跟踪, 可以对整个范围进行快速扫描, 以确定太阳的初始位置, 然后才进入到精确跟踪的控制程序.

系统采用 MSP430F133 单片机作为控制核心, 该单片机采用精简指令集, 只有 27 条核心指令, 指令周期可达 125 ns, 开发环境采用的是 IAR 公司提供的 Embedded Workbench 集成环境, 使用 C 语言编程. 程序流程如图 5 所示<sup>[7]</sup>.

### 5 结束语

系统采用四象限探测器作为前端探测单元, MSP430 单片机作为核心控制单元, 利用光电技术、电子技术、自动控制技术以及精密的步进系统实现

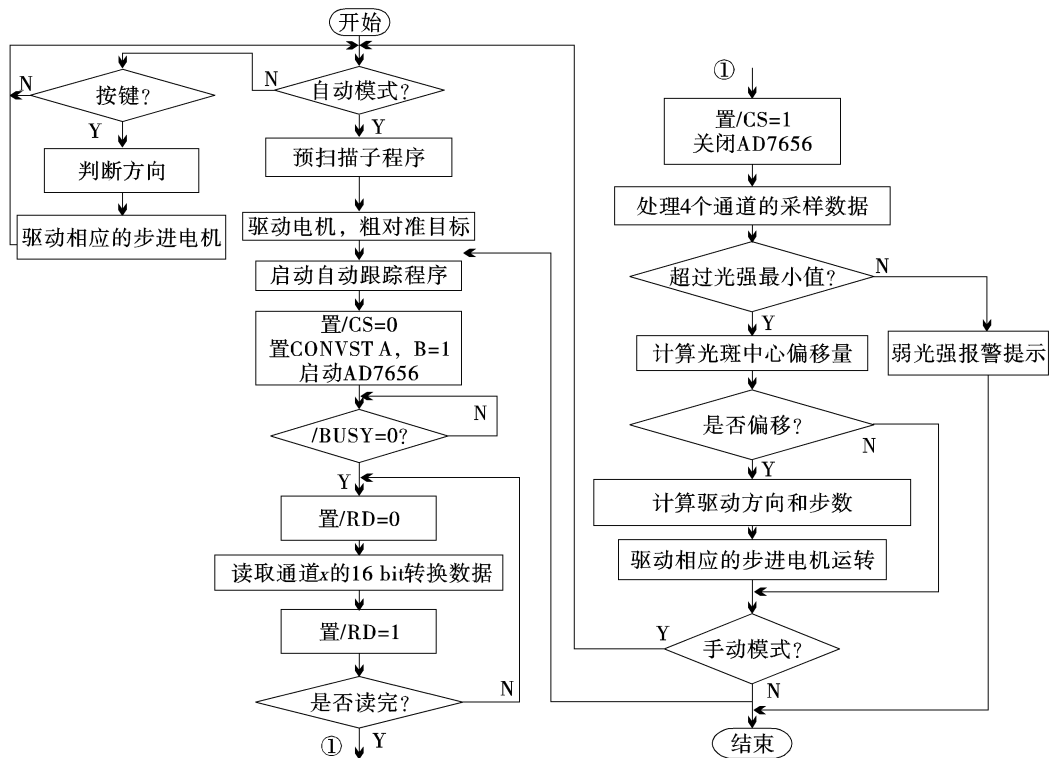


图5 程序流程图

了太阳能板自动跟踪瞄准系统的设计.文中给出了完整的系统设计方案,采用高性能的专用集成电路,优化了程序流程,大大提高了系统的性能.在实际工作中,可以根据需要,修改部分电路参数,使系统适用于新的工作环境,也可以通过修改程序,方便地调整系统的控制流程.利用VB程序语言和串口通讯,可以实现上位机的控制及监视,利用网络通信技术,可以实现远程控制.在此系统基础上,可以方便地增加自动跟踪系统的功能,以应用在更复杂的系统中.同时,可以方便地将系统的设计思路移植到类似的控制系统中.

该系统已调试成功,并进行了应用试验.在试验中,太阳移动时,控制系统可以有效地驱动二维转台动作,自动对准目标.系统的直线跟踪精度达到 $0.25\ \mu\text{m}$ ,视场的跟踪角精度为 $0.25\ \text{mrad}$ ,工作效果达到预期的开发目的.该系统对于太阳能的高效利用,有重要的应用价值.

#### 参考文献

- [1] 岑幻霞. 太阳能热利用[M]. 北京:清华大学出版社, 1997.
- [2] 沈乐年,刘向锋. 机械设计基础[M]. 北京:清华大学出版社, 1997:90-91.
- [3] 李建英,吕文华,贺晓雷,等. 一种智能型全自动太阳跟踪装置的机械设计[J]. 太阳能学报, 2003, 24(3):1-3.
- [4] Soteris A Kalogirou. Design and construction of one axis sun tracking system[J]. Solar Energy, 1996, 57(6):465-469.
- [5] 王春雷. 五点法自动跟踪太阳装置[J]. 太阳能学报, 2005(5):30-31.
- [6] 陈维,李戡洪. 太阳能利用中的跟踪控制方式的研究[J]. 能源工程, 2003(3):18-21.
- [7] 王德银. MSP430系列单片机实用C语言程序设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 2005:17-100.

欢迎订阅! 欢迎赐稿! 欢迎刊发广告!