

太阳辐射计自动跟踪系统的设计

Design of Automatic-Follow System of the Solar Irradiance Monitor

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 杨东军^{1,2} 方伟¹ 叶新¹

YANG Dong-jun FANG Wei YE Xin

摘要: 本文介绍了一种基于硅光电池的太阳自动跟踪系统的设计,该系统结构简单,性能稳定,有效提高了太阳辐射计跟踪太阳的实时性和准确性。

关键词: 太阳辐射计; 光电池; 自动跟踪

中图分类号: TP368 **文献标识码:** A

Abstract: The paper introduces the design of solar automatic-follow system which based on the photoelectric. This system has simple structure and stable performance, and this system makes the solar irradiance monitor following the sun more real time and accurate.

Key words: solar irradiance monitor; photoelectric; automatic-follow

1 引言

星载太阳辐射计的主要任务是通过测量太阳辐照度的变化,为分析气候变化提供数据。太阳辐射计具有测量视场宽,高精度(测量精度小于 2‰)和能长期稳定工作的特点。仪器工作时,辐射计对太阳进行跟踪测量。在工作过程中,太阳辐射计微小的跟踪偏差将产生远大于 2‰ 的系统偏差。在新型超高精度测量技术的研究过程中,为了消除系统跟踪误差的影响,以及在辐射计地面定标过程中,为保证定标数据的可靠性,都要求辐射计能够实时、快速、可靠的跟踪太阳。

本文以光电池为光电转换器件,以 DSP 为控制核心,设计了一种响应快速、跟踪准确的太阳跟踪系统,实现了太阳绝对辐射计对太阳的实时跟踪,试验证明系统性能可靠,响应迅速。

2 系统组成及工作原理

太阳辐射计的太阳跟踪系统由太阳辐射计、跟踪器、步进电机、微处理器系统以及机械部分组成,结构如图 1。其中,太阳辐射计主要用于测量太阳辐照度;跟踪器主要用于太阳的对准,其顶部有滤光片防止灰尘的进入,底部为光电池组成的光电传感器;电机主要用于实现水平和俯仰方向的跟踪定位;微处理器用于系统的控制。

光电传感器用以把太阳光能转化为电能,众多光电转换器件中像四象限光二极管、激光、CCD 等均可以用于太阳的实时跟踪,但用这些器件实现成本较高,结构复杂。

光电池是利用半导体光伏效应制成的光电转换器件。硅光电池重量轻,可靠性高,使用寿命长,能承受各种环境变化,光照灵敏度高,响应时间短,光谱响应宽,线性度好,工作时不需要外加偏压,因此本系统的光电传感器选用硅光电池。代表四个方位的四块硅光电池 A、B、C、D 呈十字分布,每块光电池两端接导

线,负电极共地,导线的材料是绝缘铜丝。

当有太阳光进入跟踪器,微处理系统采集跟踪器的四块光电池的值,如果跟踪器已经对准太阳,则光电池 A 和 C 正极之间的电压差 $V_{AC}=0$,光电池 B 和 D 正极之间的压差 $V_{BD}=0$,电机不动。当跟踪器跟踪偏离时, V_{AC} 或 V_{BD} 有压差,压差被 AD 采样,经过 DSP 的控制算法决定电机 A(控制水平旋转)或电机 B(控制俯仰方向)的旋转方向和步数,电机动作后再次进行采样和控制,如此反复直到 V_{AC} 和 V_{BD} 的压差均接近于零,此时光电传感器的定位光孔所形成光斑与参考光孔重合,由于设计中 A 轴、B 轴和 C 轴相互平行,此时太阳辐射计对准太阳。转台实现对太阳的跟踪。

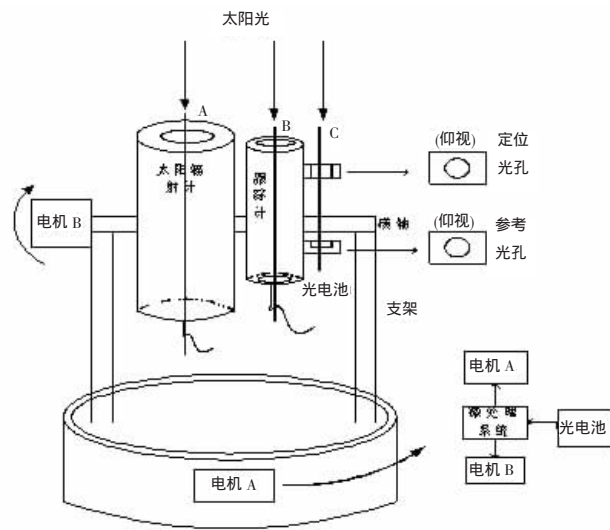


图 1 太阳跟踪系统结构图

3 软硬件设计

整个硬件系统可分为两部分:光电探测部分和 DSP 控制部分。光电探测部分将系统接受的光信号转换成为可用于 DSP 通讯的数字信号,包括光电池的结构,前置放大和 A/D 采样。DSP 控制算法分析比较采样信号和反馈信号后控制电机 A 和电机 B 的旋转方向和角度,是整个系统的关键所在。原理框图如图 2

杨东军:在读博士

基金项目:基金申请人:方伟;项目名称:新型超高精度绝对辐射测量技术研究;基金颁发部门:国家自然科学基金委(40675083)

所示。

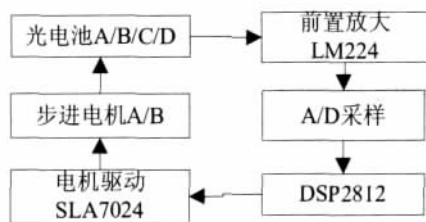


图2 跟踪计原理图

3.1 控制器

由于DSP(Digital Signal Processor)具有高性能及日趋低价位的特点而越来越广泛地应用于控制系统中,因此系统选用DSP320TM2812作为处理器,DSP2812有大量的I/O口可供应用,而且有片内AD可供进行四光电池信号的采样,从而使整个系统结构简单。

3.2 前置放大器

太阳辐照度常数为 $1376\text{W}/\text{m}^2$,但受大气云层和气溶胶等多种因素影响,地面观测太阳的辐照度值大约在 $850\sim 1100\text{W}/\text{m}^2$ 。该范围内太阳光照射时,光电池两端电压为 $350\sim 600\text{mV}$,而DSP内部A/D采样的输入电压范围为 $0\sim 3\text{V}$ 。为保证AD采样的准确性,对光电池的输出电压进行放大,系统选用LM224芯片,采用同相比例放大,同时实现四路信号的放大,放大倍率为4.5倍。

3.3 A/D 转换电路

DSP2812内部A/D是12位分辨率、具有16个通道,可进行同时采样和顺序采样,可进行软件触发、事件管理器EVA或EVB触发、也可外部引脚触发,转换精度满足系统要求,程序编写简单。

3.4 步进电机

目前,可用于该转台的电机有许多,例如直流电机、步进电机等。由于步进电机易于计算机跟其他数字元件接口,适用于数字控制系统,其接受为数字控制信号(电脉冲信号),易于转换成与之对应的角位移,具有开环控制无累计误差的优点,控制系统简单。因此本系统控制水平方向转动的电机A和控制俯仰方向转动的电机B选用的是SANYO公司的RM2424S,1.5A,1.8DEG/STEP的四相步进电机。

口电流,需要单独进行驱动,我们选择应用驱动芯片SLA7024进行电机的驱动。该芯片可以选择工作在单四拍、双四拍和八拍方式,本系统工作在四相八拍方式,输出引脚受四个输入引脚状态的控制,驱动电路如图3所示。

驱动电流 $I_{outA} \approx \frac{V_{Re/A}}{R_1}$ 而 $V_{Re/A} = (\frac{R_3}{R_5 + R_3}) \times 5 = 0.95\text{V}$,取 $R_1 = 0.8\Omega$,则 $I_{outA} = 1.19\text{A}$ 。

驱动电流 $I_{outB} \approx \frac{V_{Re/B}}{R_2}$ 而 $V_{Re/B} = (\frac{R_6}{R_6 + R_7}) \times 5 = 0.95\text{V}$,取 $R_2 = 0.8\Omega$,则 $I_{outB} = 1.19\text{A}$ 。

3.5 控制流程

图4为电机的控制流程图,其中 U_A 、 U_B 、 U_C 和 U_D 分别为硅光电池A、B、C和D的采样电压值,当辐射计跟踪偏离超过系统设定的阈值时,电机快速跟踪,当采样电压偏差 U_{AC} 和 U_{BD} 接近零时,电机微调跟踪。

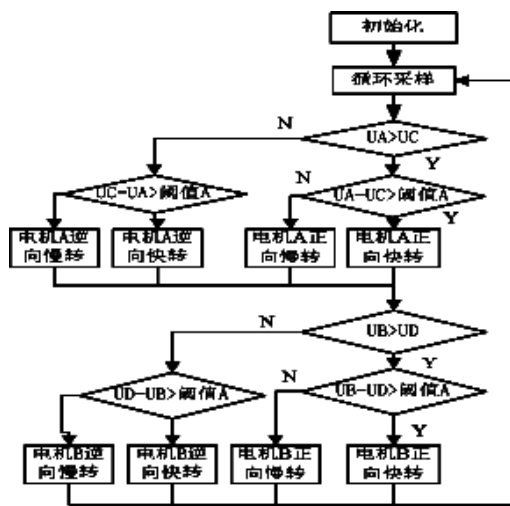


图4 电机控制流程图

4 系统测试

在一天的同一时段,本系统所测太阳辐照度值与通过国际辐射基准(WRR)标定的辐射计SIAR-1A及其跟踪系统所测的值进行比较,所得曲线如图5左侧图。由于本系统太阳辐射计和SIAR-1A之间有固定偏差,修正后的结果如图5右侧图。

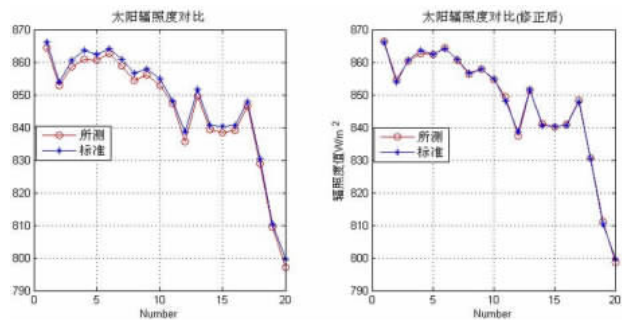


图5 测量数据曲线

试验测试表明,该系统所测辐照度值与标准系统所测辐照度值的一致性良好,表明系统的跟踪效果良好,满足太阳辐射监测仪地面定标试验的跟踪太阳要求。

6 结束语

该转台利用四块硅光电池作为光电探测器,利用DSP微处
(下转第3页)

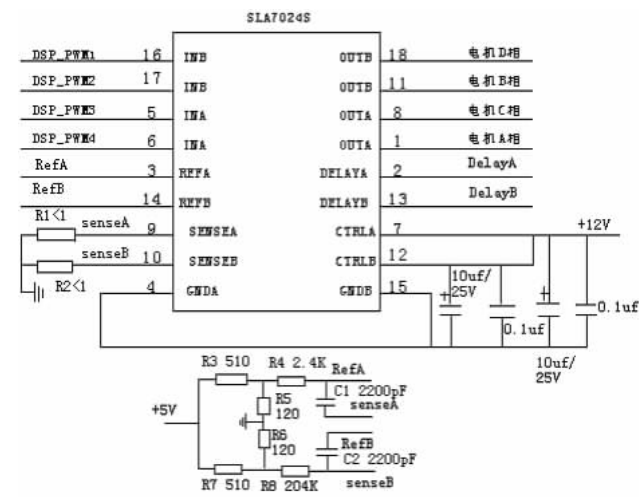


图3 步进电机驱动电路

信号在经过DSP采样和处理后,通过I/O口或者PWM口对外部电机进行控制。由于电机的驱动电流远大于DSP的I/O

围选择的大一些,有助于加快系统动态响应的速度,PS与NS的变化范围小,有助于提高系统响应的稳态精度。

由模糊控制规则观测器确定各个量化等级的输出,编程后进行实验,实验结果如图4(a)、(b)所示:

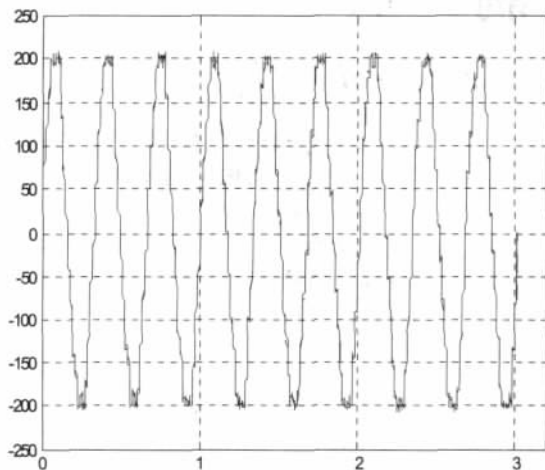


图4(a) 新控制策略下的输出曲线

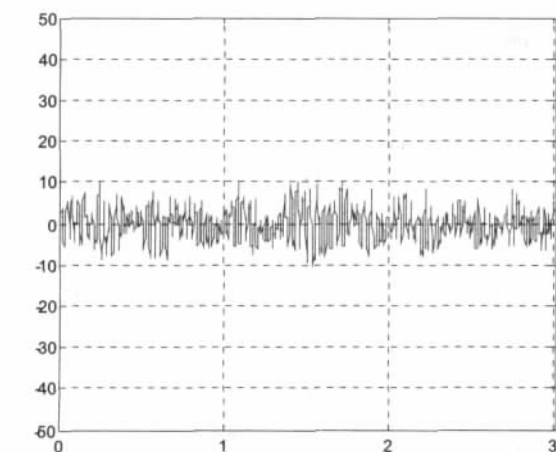


图4(b) 新控制策略下的跟踪误差曲线

对比图3和图4可以发现,在峰值附近,图4中输出曲线的拟合度要高于图3,说明系统延迟较小,而且新控制策略下的最大跟踪误差为10,优于PD控制策略下的最大值31。

4 结论

本文所提出的“带有位置误差预测的PD反馈控制与小偏差范围内的模糊逻辑控制相结合”的控制策略,是对PD控制策略的一个修正,通过实验表明,位置误差预测可以有效抑制时间延迟,采用模糊逻辑控制,可以有效地降低跟踪误差,提高控制精度。

本文创新点:针对控制平台的特点,合理运用各种常见的跟踪控制算法,提出了“带有位置误差预测的PD反馈控制与小偏差范围内的模糊逻辑控制相结合”的控制策略。并给出了实验验证结果。

参考文献

- [1]杨艳姿,殷华,冯军.基于最优预见控制的轨迹跟踪系统的研究[C].中国自动化学会华东地区第十七届学术年会议论文集,2004:79—83.
- [2]金芳,李君波,杨勇.基于模板匹配与运动预测的跟踪算法研

究[J].微计算机信息,2007,7-1:313—314.

[3]林贵斌,路英杰,陆秋海.大型射电望远镜馈源1/30模型的轨迹跟踪控制[J].清华大学学报(自然科学版),2003,43-2:238—241.

[4]李晓丹.模糊PID控制器的设计研究[D].天津:天津大学,2005:28—30.

[5]张国良,曾静,柯熙政,等.模糊控制及其MATLAB应用[M].西安:西安交通大学出版社,2002:88—96.

作者简介:李煊(1982—),男,汉族,在读硕士研究生,专业:控制科学与工程,研究方向:光机电一体化设计与控制;李泽湘(1961—),男,汉族,教授,博士生导师,研究方向:并联机器人、运动控制等。

Biography: LI Xuan (1982—), male, Han, Master, Major: science and engineering of control, Research: design and control of optical electromechanical integration.

(518055 深圳 哈尔滨工业大学深圳研究生院自动控制与机电工程学科部) 李 煊 刘冠峰

(Division of Control and Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen, 518055, China) LI Xuan LIU Guan-feng

通讯地址: (518055 广东省深圳市 南山区西丽镇深圳大学城哈尔滨工业大学校区 D 栋 205) 李 煊

(收稿日期:2009.06.25)(修稿日期:2009.7.25)

(上接第17页)

理器,选择SLA7024驱动芯片和少量的元件就可组成一个完整稳定的多相步进电机控制的转台系统,该方法成本低、容易实现、性能稳定、定位精度高、反应快,实现了太阳的实施跟踪定位,在太阳能热水器等太阳能利用领域具有广泛的应用前途。

本文作者创新点:以DSP控制为主,用光电池组成光电转换器,以简单的机械和硬件结构,解决了太阳辐射监测仪难于实时、快速、稳定跟踪太阳的问题。

参考文献

- [1]李翔.基于硅光电池的光电自动跟踪系统的实现[J].湘潭师范学院学报(自然科学版),2006,28-4:51—54.
- [2]汪龙祺.基于单片机控制的增益自动转换设计[J].微计算机信息,2007,6-2:89—91.
- [3]梁清华等.硅光电池温度补偿方法的研究[J].仪表技术,2002,4:24—25.

作者简介:杨东军(1979.8—),男,汉族,光学工程专业,在读博士,中科院长春光机所实习研究员,主要从事微弱信号监测及太阳辐射计量领域的研究;方伟(1965.1—),女,汉族,中科院长春光机所研究员,博导,主要从事空间辐射计量研究。

Biography: YANG Dong-jun (1979.8 -), male, Han, optical engineering profession, doctoral candidate, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, practices research worker, Mayor Research field: weak signal detect and Solar Radiation Measurement.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室) 杨东军 方伟 叶新

(100190 北京市海淀区 中国科学院研究生院) 杨东军

通讯地址: (130033 吉林省长春市东南湖大路16号长春光机所应光室 247) 杨东军

(收稿日期:2009.06.25)(修稿日期:2009.7.25)