

基于嵌入式的太阳自动跟踪系统设计

赵培梅 王日宏

(青岛理工大学计算机工程学院 青岛 266033)

摘要 随着近年来太阳能光伏发电技术的发展,高精度太阳位置跟踪技术越来越重要。但是一般传感器在保证高精度情况下往往忽略了跟踪范围因素,导致传感器经常出现因跟踪范围小而搜索不到太阳的情况。为了保证光电传感器在跟踪范围、跟踪精度等方面同时达到要求,提出了一种基于 S3C2410 开发板为控制核心的跟踪控制系统设计方法,采用光电跟踪和视日运动轨迹跟踪互补的光筒式传感器结构。该系统使用数据库记录晴天情况下每天的太阳运动轨迹,更加有效地提高对太阳能的收集和利用的效率并能扩大对太阳的跟踪范围,有较好的应用前景。

关键词 嵌入式,光电跟踪,视日运动轨迹跟踪,数据库

中图分类号 TP273+.5 **文献标识码** A

Design of Solar Auto-tracking System Based on Embedded Technology

ZHAO Pei-mei WANG Ri-hong

(College of Computer Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China)

Abstract With the development of the solar photovoltaic technology in recent years, high-precision position of the sun tracking technology is more and more important. But general sensors under the condition of guarantee the high precision tracking range is ignored, it results in that the tracking range of sensors often appear small search less than the sun. In order to guarantee the photoelectric sensors in such aspects as scope of tracking, tracking accuracy and meet the requirements, the paper put forward a kind of design method as the control core of tracking control system based on S3C2410 development board, it adopted photoelectric tracking and sun angle tracking, complementary cylinder sensor structure. Using database is used for recording the daily weather condition's solar trajectory, the system can effectively improve the solar energy collection and utilization efficiency, it can expand the tracking range of the sun. It has good application prospect.

Keywords Embedded, Photoelectric tracking, Sun angle tracking, Database

与常规能源相比较,太阳能资源的优点很多,并且都是一般的常规能源所无法比拟的。概括起来,可以归纳为数量巨大、时间长久、普照大地、清洁安全 4 个方面。因此太阳能的利用有广阔的前景。但是,由于太阳能的能量密度小,光照过程不连续,使太阳能的利用有着间歇性、光照方向和强度随时间不断变化的问题,从而阻碍了太阳能的广泛性和普适性应用。研究表明:跟踪系统应用到平板光伏发电阵列,可以比固定模式提高 33% 的效率。所以采用跟踪系统虽增加了建设成本但获得的效益是相当可观的。本文的设计是一种提高太阳跟踪范围的高精度双轴跟踪系统。该设计使用基于 32 位 ARM 嵌入式芯片 S3C2410 作处理器,采用步进电机作为动力执行机构,能够实现各种天气情况下的高精度的太阳实时跟踪。

矢量分析方法,通过对地平坐标系和时角坐标系上光线角度情况分析,利用坐标系转换公式,得到双轴跟踪运动控制方程。

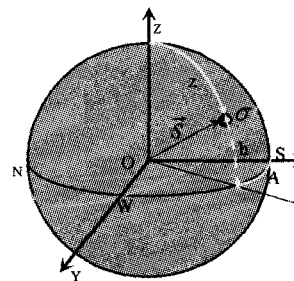


图 1 地平坐标系

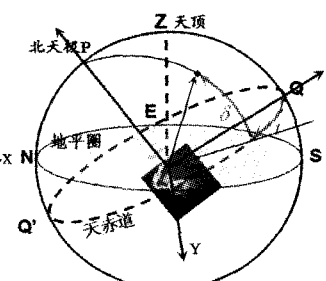


图 2 时角坐标系

如图 1 所示,在地平坐标系中太阳光线以单位矢量 \vec{S} 表示,可得公式:

$$\vec{S}(h, A) = \begin{bmatrix} \cosh \cos A \\ \cosh \sin A \\ \sinh \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, h 为太阳高度角, A 为太阳方位角。

如图 2 所示,在时角坐标系中太阳光线同样以单位矢量

1 光跟踪技术

1.1 视日运动轨迹跟踪及其太阳高度角、方位角的计算原理

视日运动轨迹跟踪方式就是通过计算太阳每一时刻的位置来控制机械完成跟踪。此类跟踪控制的优点是控制简单、不受天气影响、可靠性强,缺点是采用开环式控制,长时间工作后会出现累积误差,严重影响系统的发电效率。现在采用

\vec{S} 表示,可得公式:

$$\vec{S}(\delta, t) = \begin{bmatrix} \cos\delta \cos(\frac{\pi}{2}-t) \\ \cos\delta \sin(\frac{\pi}{2}-t) \\ \sin\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta \sin t \\ \cos\delta \cos t \\ \sin\delta \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, δ 为太阳的赤纬角; t 为时角。

进行地平坐标系与时角坐标系的转换,如图3所示,建立地平坐标系与时角坐标系之间的转换关系。

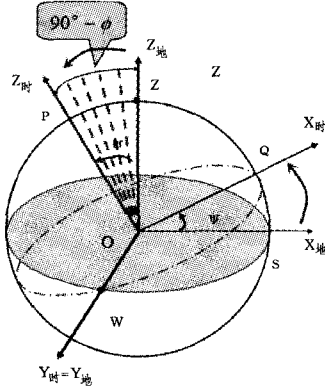


图3 地平坐标系与时角坐标系之间的转换

左手系是指用左手握住旋转轴,拇指指向旋转轴的正向,如果旋转方向与弯曲的四指方向一致,则旋转角为正;否则为负。根据图3所示, $Z_{时}$ 与 $Z_{地}$ 的夹角为 $90^\circ - \phi$ 。显然,若将地平坐标系的 X 轴和 Z 轴绕 Y 轴旋转一个 $\psi = -(90^\circ - \phi)$ 角,即可转换为时角坐标系。可得公式:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{t, \delta} = R_y(\phi - 90^\circ) \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A, h} \quad (3)$$

或

$$\vec{r}_{时} = R_y(\phi - 90^\circ) \cdot \vec{r}_{地}$$

经过计算,可得到:

$$\sin h = \sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos t \cdot \cos\phi \quad (4)$$

$$\sin A = \cos\delta \cdot \sin t / \cos h \quad (5)$$

进一步计算得:

$$h = \arcsin(\sin\delta \cdot \sin\phi + \cos\delta \cdot \cos t \cdot \cos\phi) \quad (6)$$

$$A = \arcsin(\cos\delta \cdot \sin t / \cos h) \quad (7)$$

1.2 光电跟踪及其入射角计算原理

光电跟踪原理是使用光电传感器作为探测元件,实时探测太阳位置并将信号送达核心处理芯片进行处理后来完成对太阳位置的探测和跟踪。首先,它的跟踪方式属于闭环控制方式,可以时刻检测太阳位置,对系统的初始安装精度要求较低,不会受到累积误差的影响。其次这种传感器信号少,运算处理简单,嵌入式完全可以完成信号处理及运动控制,使得系统的成本降低。缺点就是跟踪的稳定性问题,即这种反馈式的工作方式较容易受到干扰光的影响,并且受到天气的影响也较大。本设计使用光筒式传感器的工作原理:当光功率密度在短时间看为固定值时,光电池的电流与其光照面积成正比。因为光筒上表面的透光孔片横截面是圆形的,当太阳光线垂直于透光孔片照射时,所产生的光斑会均匀分布在4个象限中。光斑总面积始终不变,设总面积为 S ,半径为 r 。4个象限中对称分布的硅光电池产生的电流值分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 ,总电流为 I 。假如如图4所示,当 Y 方向的光斑偏离原

点于正向 ΔY 时,设光斑在 Y 轴上下的面积差为 ΔS ,当 ΔY 很小时,可近似计算得到:

$$\Delta S \approx 2 \cdot r \cdot \Delta Y$$

根据光电池的电流与其光照面积成正比,可得:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta S}{S}$$

即

$$\frac{I_1 + I_2 - I_3 - I_4}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} = \frac{2 \times \Delta Y \times 2 \times r}{\pi r^2} \quad (8)$$

通过计算可得:

$$\Delta Y = \frac{\pi r^2}{4} \cdot \frac{I_1 + I_2 - I_3 - I_4}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (9)$$

当光筒的高度为 h 时,所对应的入射角 α 如下:

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta Y}{h} \quad (10)$$

同理,

$$\Delta X = \frac{\pi r^2}{4} \cdot \frac{I_3 + I_4 - I_1 - I_2}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (11)$$

入射角

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta X}{h} \quad (12)$$

当两个方向同时出现偏角时,只需将其分解为 X 、 Y 轴两个方向分别进行如上计算即可。

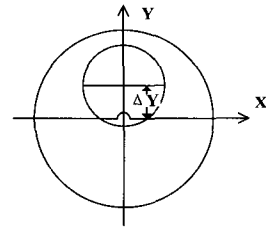


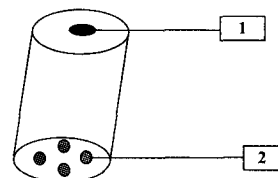
图4 光筒式四象限光电池光斑图

1.3 视日运动轨迹跟踪与光电跟踪相结合模式

视日运动轨迹跟踪方式和光电跟踪方式各有优缺点,因此实际运用中有很多系统都是综合采用了两种方式来工作,取各自的优点来实现光伏发电系统的高效率工作。本设计也采用这种方式来提高效率。

2 太阳位置传感器结构设计

鉴于各种传感器的特点,在精度要求比较高的情况下,一般应用光筒式太阳位置传感器。它的结构也比较简单。当电池的精度足够时,可以完成很高精度的跟踪控制。而且这种方式可以根据采集到的各电池信号来计算出太阳的具体位置,从而达到快速准确跟踪的目的。另外,因为有光筒式结构来保护,外界干扰光线影响比较小,对系统的稳定性有很大的作用。为了得到高精度的跟踪系统,系统选择光筒式结构作为传感器的精确感应部件。设计的光筒式结构传感器如图5所示。



[1]透光孔片;[2]四象限硅光电池

图5 太阳位置传感器简略图

本传感器内部设有精确跟踪组件。精确跟踪组件由通光孔片和四象限硅光电池两部分组成,太阳光线通光孔片的光斑孔位于四象限硅光电池的正上方,光斑孔中心与四象限硅光电池原点均位于传感器的中心轴线上。四象限硅光电池的安装要求是四象限中的 X 轴线对应于东西方向, Y 轴线对应于南北方向。

3 控制系统硬件组成

3.1 整体设计

控制系统是一个机械系统的核心部分,其作用是根据要求检测相关信号并根据信号的不同做出相应的运算处理,并控制执行机构做出相应的运动,完成系统相应需要的工作。设计的传感器可以检测到太阳入射角情况,但是信号的采集和处理需要用到相应的硬件和软件来实现,然后控制执行机构以及相关的辅助模块,各组成部分如图 6 所示。

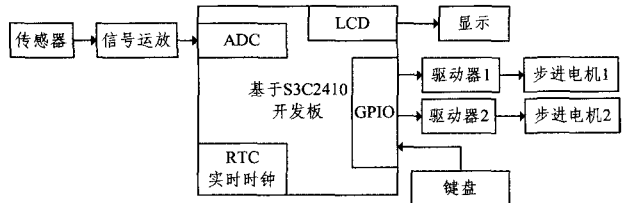


图 6 硬件部分组成

传感器输出的光线偏差信号首先经过信号放大和信号运算处理电路,再由模数转换电路将模拟信号转换成数字信号传入基于 S3C2410 的开发板。开发板通过相应软件对采集到的信号进行一定的处理后,由 GPIO 口控制电机驱动器完成两个步进电机的控制工作。另外,LCD 显示模块是对太阳位置信号进行相应的显示,以方便人机对话。如上图所示,本系统的硬件设计分为 3 部分:处理器控制单元,传感信号单元,电机驱动单元。处理器控制单元是整个系统中最为重要的部分,它主要由 A/D 转换、GPIO、LCD 显示并触摸控制等部分组成。

3.2 嵌入式主控板介绍

本文采用 S3C2410 为 MCU(Micro Controller Unit,微控制器)。它是三星公司推出的针对嵌入式应用的 32 位嵌入式处理器,集成了多种外围部件。以 S3C2410 为核心构成的 ARM 主控板,配备丰富的资源和通用设备接口,能够实现与 PC 通讯,完成系统运行程序的调试;实现彩色液晶屏显示;通过接口实现步进电机的控制。

4 系统软件设计

前一节阐述了系统中的主要硬件部分,硬件的驱动及具体工作方式则需要通过软件来实现,采集到的信号也是通过程序来计算分析。整个程序的设计包括系统初始化、系统主程序设计、中断程序模块设计、步进电机驱动模块设计、太阳运动轨迹追光模式、光电传感追踪模式。

软件设计方案:该系统使用了数据库来只对晴天轨迹进行保存。首先系统初始化,包括芯片 I/O 端口的初始化、时钟初始化、显示初始化、串口初始化等。然后复位起始位置并读取系统时间来判断是否为白天,白天的判断则是通过第二节中介绍的太阳日出日落算法得到。如果通过判断得出是黑天(即日落时间),系统不启动,若时间早于日出时间,则休眠 10 分钟之后再继续进行判断。如果通过判断得出是白天(即日出时

间),系统启动运行,默认首先进入太阳追光运动模式。之后,检测是否为阴天或者多云天气,如果是晴天,系统转入光电检测追踪模式,并对该模式轨迹做相应时间段的保存;如果是阴天或多云天气,首先到数据库中检测是否有去年该天轨迹的保存,若有,则使用该天轨迹进行运行,若没有,则在太阳运动轨迹追光模式下运行。最后,通过系统时间来与当天的日落时间作比较,若时间到达日落时间,则将系统复位到其实位置。数据库的记录时间段和步进电机驱动时间段一样,每 15 分钟一次。其主程序流程图如图 7 所示。

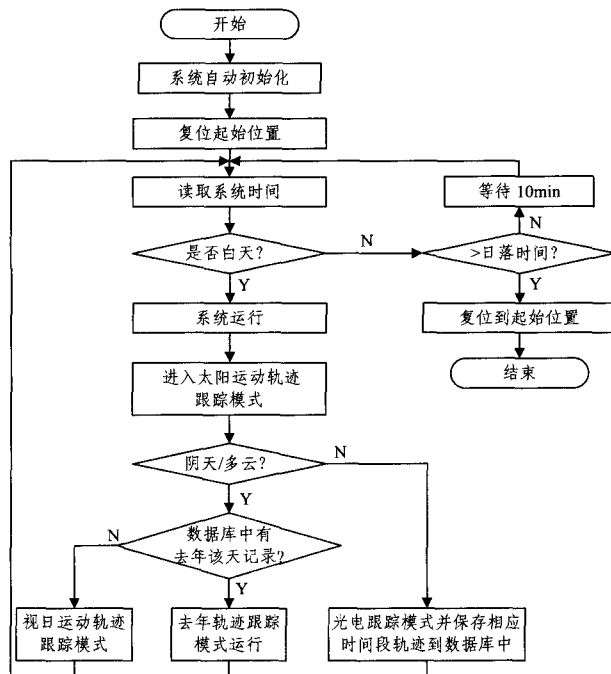


图 7 主程序流程图

5 开发环境的搭建

开发环境包括硬件开发与软件开发环境。本系统的硬件开发环境是在宿主 PC 机的 Windows XP 操作系统平台上,通过网线与目标机的网口进行连接,将虚拟机上的企业版 Red Hat Enterprise 5 操作系统下的 NFS 共享目录配置成功后来实现网络挂载。软件环境采用在 Trolltech 公司网站上可以下载的 Qt/Embedded 的免费版本。

Qt 环境下程序编译成功后需移植 QT/E 到 ARM 设备,并需要在 QT/E 中添加触摸屏鼠标等设备支持。其操作如下:

- 1) 拷贝并解压 QT/E 库及触摸屏库到实验目录下;
- 2) 编译触摸屏库及 QT/E 库;
- 3) 测试触摸屏及 QT/E 程序。

该程序的实现图如图 8 所示。

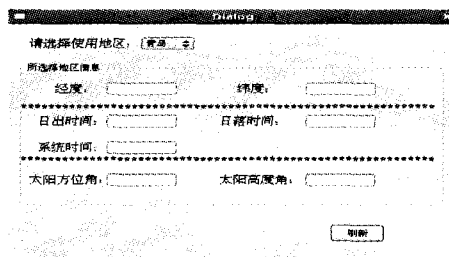


图 8 程序实现图

结束语 基于 ARM 微处理器 S3C2410 的嵌入式实时控制系统相对于单片机具有运算速度快、易扩展等优势,而且通过数据库对太阳运动轨迹的记录及双轴跟踪系统可以提高太阳跟踪范围,实现对太阳的高精度跟踪。硬件方面通过利用步进电机与嵌入式核心板构成闭环控制,直到成对的硅光电池输出信号差值在允许的范围内,电机才停止运动,是一种完全可行的方案。软件方面通过在视日运动轨迹和追光跟踪两种方式下的高度角、方位角计算,利用 QT 软件实现系统跟踪控制。该系统的实现具有结构简单、安装方便、跟踪精度高、跟踪范围广、运行可靠、在任何天气状况下工作等特点。

参 考 文 献

[1] 徐成,谭曼琼,徐署华,等. 嵌入式 Linux 系统实训教程[M]. 北

京:人民邮电出版社,2010:1-78

- [2] 周立功. ARM 微控制器基础与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003:1-27
- [3] 嵌入式太阳能光伏板自动跟踪器关键技术研究及产品开发_可行性报告[R]
- [4] 周琪,万青. 基于 S3C2440 的智能型太阳跟踪系统[J]. 计算机系统应用,2011(10):33-35
- [5] 杨培环. 高精度太阳跟踪传感器与控制器的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2010
- [6] 周培涛,李成贵,刘绍宗,等. 高精度双轴太阳跟踪控制器设计[J]. 电光与控制,2011(4):81-84
- [7] 刘学富. 基础天文学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:1-64
- [8] 吴士力,刘奇,朱兰. 嵌入式 Linux 应用开发全程解析与实战[M]. 北京:机械工业出版社,2009:1-124

(上接第 382 页)

页进行预处理,为后续网页分割服务。

表 3 实验数据统计表

数据% 评价角度	统计项		
	最小值	最大值	平均值
r1	87.96%	100%	95.11%
r2	100%	100%	100%
r3	20.00%	100%	90.82%

观察表中“最小值”一列发现 $r1=87.96\%$, $r3=20.00\%$, 这两个值并没有达到期望的值。这是由于本预处理算法是基于 CSS 级联样式规则和 DOM 设计的,因此,该算法对样式信息和 HTML 代码的规范性要求比较高。然而,由于 Web 开发者的开发水平和开发风格不同,加上为了减少开发成本,很多 NLECs 是在现有网页基础上进行多次修改的产物,造成有些 NLECs 网页的样式信息和 HTML 代码存在很多不规范。此外,目前的浏览器具有强大的容错功能,即使是不规范的 NLECs 网页,浏览器也能正常显示。这可能就是 $r1$ 和 $r3$ 出现上述情况的原因。通过观察发现, $r3$ 最大值和最小值的跨度比较大,主要是因为每个网页只随机取了 5 个块造成的,这是根据网页分割的实际情况而定的。另外,由于 $\langle \text{div} \rangle$ 、 $\langle \text{table} \rangle$ 等标签未指定宽度而又作为块的根节点时,它的宽度不确定,这可能就是 $r3$ 略小于 $r1$ 的原因。

对于 $r2$ 的准确率,从式(3)中可知它只保证了未丢失的样式信息不包含样式冲突,这就是即使有些 NLECs 不规范,也能达到 100% 的原因。这恰好充分证明,该算法可以彻底解决掉网页分割时因样式冲突而引起的不便。综上分析,可以得出结论:该处理算法可以有效地对网页进行预处理,准确地将 NLECs 网页和样式信息进行融合,这有利于后续对 NLECs 进行准确的分割。

结束语 针对国家精品课程网站中网页内容和样式独立设计,网页分割算法难以运行的问题,基于 CSS 级联样式规则提出了一个网页预处理算法。实验结果及分析表明,该处理算法可以有效地对网页进行预处理,准确地将 NLECs 网页和 CSS 样式信息进行融合。通过实验可以发现,该预处理

算法对样式信息和 HTML 代码的规范性比较敏感。这将是后续研究工作需要改进的不足,之后将对 NLECs 网页进行分割,以便学习者可以通过移动设备正常地访问国家级精品课程。

参 考 文 献

- [1] Sano H, Shiramatsu S, Ozono T, et al. A Web Page Segmentation Method based on Page Layouts and Title Blocks[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, 2011, 11(10):84-90
- [2] Chibane I, Doan B L. A Web page topic segmentation algorithm based on visual criteria and content layout[C]//Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2007: 817-818
- [3] Simon K, Lausen G. ViPER: augmenting automatic information extraction with visual perceptions[C]//Proceedings of the 14th ACM international conference on Information and knowledge management. ACM, 2005:381-388
- [4] Cai D, Yu S, Wen J R, et al. VIPS: a visionbased page segmentation algorithm[R]. Microsoft technical report, MSR-TR-2003-79. 2003
- [5] Gupta A, Kumar A, Tripathi V N, et al. Mobile web: web manipulation for small displays using multi-level hierarchy page segmentation[C]//Proceedings of the 4th international conference on mobile technology, applications, and systems and the 1st international symposium on Computer human interaction in mobile technology. ACM, 2007:599-606
- [6] Yang S J H, Zhang J, Chen R C S, et al. A unit of information-based content adaptation method for improving web content accessibility in the mobile Internet[J]. ETRI journal, 2007, 29(6): 794-807
- [7] Chen Y, Xie X, Ma W Y, et al. Adapting web pages for small-screen devices[J]. Internet Computing, IEEE, 2005, 9(1):50-56
- [8] Artail A, Raydan M. Device-aware desktop web page transformation for rendering on handhelds[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2005, 9(6):368-380