

# 太阳运动模拟平台的单片机控制

张巧娟<sup>1</sup>, 郑闯闯<sup>2</sup>, 李虹<sup>1</sup>, 刘立群<sup>1</sup>, 王晓梅<sup>1</sup>

(1. 太原科技大学 电子信息工程学院, 太原 030024; 2. 太原天屹科技发展有限公司, 太原 030024)

**摘要:** 为了解决如何能更高效利用太阳能, 通过观测太阳在空中的位置和对太阳运行轨迹进行科学分析, 提出了通过运动模拟平台实现太阳运行位置的全面预测和重现的方法; 在系统中, 单片机根据输入日期算出太阳的高度角和方位角, 并将其转换为驱动电机的脉冲数, 以实现电机变频带动执行机构在不同时间段以不同速率运动使模拟光源到达预定位置的目的; 同时通过编码器测量出电机实际脉冲, 定期进行误差校正来提高系统的稳定性和精度, 减少误差; 实验结果表明, 该平台的系统完全可以使模拟光源按照预计的轨迹运动, 所设计的程序具有可靠性。

**关键词:** 重现; 变频; 编码器; 校正; 可靠性

## SCM Control Sun Motion Simulation Platform

Zhang Qiaojuan<sup>1</sup>, Zheng Chuangchuang<sup>2</sup>, Li Hong<sup>1</sup>, Liu Liqun<sup>1</sup>, Wang Xiaomei<sup>1</sup>

(1. Electronic and Information Engineering, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Tian yi Science and Technology Development Corporation of Taiyuan, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** In order to solve how to more efficient use of solar energy, by observing the position of the sun in the sky and the sun trajectory scientific analysis, a comprehensive forecast operating position of the sun and reproducible methods is presented through simulation platform. In the system, the sun's elevation angle and azimuth are calculated by SCM based on the input date, and converted it to the number of motor drive pulses to achieve the motor driven actuator frequency conversion at different times at different rates movement so that the analog source to reach a predetermined position; at the same time the actual motor encoder pulse are measured on a regular basis in order for the system to correct and improve the stability and accuracy of the system, reducing errors. Experimental results show that the system can make the platform for analog light source in accordance with the expected trajectory, the program is designed with reliability.

**Keywords:** reproducible; frequency conversion; encoder; correction; reliability

## 0 引言

真太阳运行缓慢, 夜晚不能进行实验, 所以进行系统的结构, 可分为开环控制法和闭环控制法, 其中闭环比开环控制使得系统更加的稳定; 按系统运行速度, 可分为匀速控制法和时空控制法<sup>[2-3]</sup>, 其中时空控制法比匀速控制法更加接近太阳运行曲线。目前比较流行的控制方法正是采用时空控制法。该方法从系统结构来说, 属于闭环控制法, 系统较稳定, 可靠性强, 理论上更加完善, 程序和控制方法较匀速法更复杂, 但是精度较高。缺点是在计算太阳角度的过程中会产生累计误差, 而且自身无法消除, 需要定期校正<sup>[4]</sup>。本文选用此方法, 并在此基础上加以改进。本文主要工作是如何实现两个方向上的同步控制、每隔一定时间如何变频、构成闭环系统并对系统进行定期校正。本文进行程序设计并进行实物验证, 保证了程序的可靠性, 说明该方法具有可行性。

## 1 系统的总设计

时空控制法, 也称为视日运动轨迹法, 就是根据太阳运行轨迹与年份、季节、具体的时间以及地理位置等因素, 通过编写程序计算出太阳的高度角和方位角, 并将其转换为相应的脉冲数, 使电机在相应的方向上动作, 最终达到模拟太阳运动的目的<sup>[5-6]</sup>。

模拟平台的运动原理是基于日地运行理论的日地天文关系<sup>[7-9]</sup>, Mega16 根据理论计算出设定时间中太阳每小时的高度角和方位角的理论值<sup>[10]</sup>, 并将理论数据与编码器反馈的误差补偿值转换为相应的脉冲数驱动电机运动, 即对脉冲数进行定期校正, 使模拟光源到达相应的位置, 从而实现模拟太阳运动的曲线。

系统要实现的功能: 输入设定的某一天, 系统自动校正初始位置后, 在短时间内可以模拟出对应的一天中太阳从早上升到下午降落的整个轨迹, 降落后光源又自动返回到初始位置。系统的机械机构图如图 1 所示, 其中控制器采用 Atmega16 单片机来实现。

## 2 控制部分硬件组成

模拟平台的控制部分硬件是由 Atmega16、显示模块、时钟模块、电源模块、驱动器及步进电机等组成。其中编码器用来检测电机步数, 和键盘输入模块的叠加作为单片机的反馈信号; 而电机的作用是完成具体的动作。原理框图如图 2 所示, 平台的各种主要元件一览表见表 1。

收稿日期: 2014-12-25; 修回日期: 2015-03-24。

基金项目: 太原科技大学研究生创新项目(20134031); 太原科技大学同洲电子科技创新基金项目(TZ201319)。

作者简介: 张巧娟(1988-), 女, 在读硕士, 主要从事控制工程方向的研究。

李虹(1962-), 女, 教授, 主要从事非线性系统方向的研究。

刘立群(1976-), 男, 教授, 主要从事风电、光伏发电技术方向的研究。

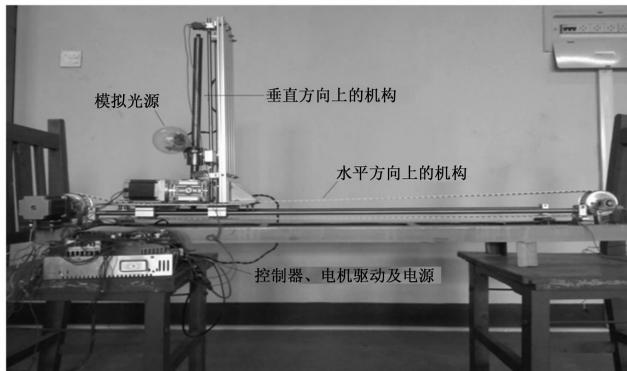


图 1 机械结构图

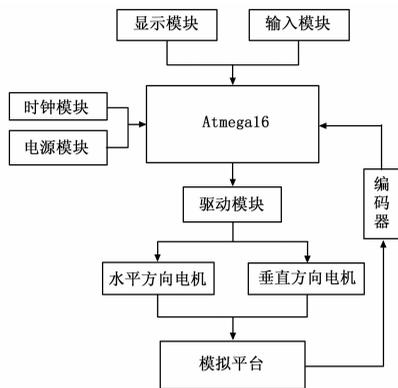


图 2 硬件原理框图

表 1 平台主要元件一览表

类别	序号	名称	作用	安装位置
执行机构	1	同步轮及带	使光源在水平上移动	底架上
	2	步进电机	带动同步轮旋转	底架左端
	3	滚珠丝杆	使光源在垂直上移动	减速器上
	4	蜗轮蜗杆 减速器	带动丝杆旋转达到上下运动目的,同时可以减速	水平光轴 导轨上
	5	步进电机	带动垂直方向运动	水平导轨上
	6	光轴导轨	减小摩擦,保证精度	底座及型材上
	7	导轨滑块	减小摩擦	光轴导轨上
	8	模拟光源	模拟太阳	垂直滑块上
检测元件	1	行程开关	限制垂直平台在水平行程	底座右端
	2	旋转编码器	检测水平电机实际步数	水平电机轴
	3	行程开关	限制光源平台在垂直行程	垂直导轨上
	4	旋转编码器	检测垂直电机实际步数	滚珠丝杆上
控制元件	1	AVRmega16	产生使电机运动的信号	控制板上
	2	电机驱动器	接收信号,驱动水平电机运动	控制板上
	3	电机驱动器	接收信号,驱动垂直电机运动	控制板上

### 3 控制部分软件设计

#### 3.1 角度转换脉冲

根据理论中的公式编写程序, 可得 2014 年 6 月 21 日 (即夏至) 的高度角和方位角的变化数值。计算出当日日照时长为 14.02 小时, 日出时间为早上 5 点, 日落时间为晚上 20 点。

经计算本平台的最佳对应时间为: 平台的 12 s 对应真实

太阳的一个小时。表 2 为一天中从早到晚的高度角和方位角及中间参数的具体数值。

表 2 高度角、方位角分别与对应的脉冲数、频率和周期

时间 /h	方位角 (Rs)	脉冲数 (Rc)	频率 (Rf)	周期 (RT)	高度角 (As)	脉冲数 (Ac)	频率 (Af)	周期 (AT)
5	-62.462883	625	52	75	0.16357811	129	11	364
6	-69.691734	73	6	643	11.899853	9249	771	6
7	-76.242027	66	6	711	24.173201	9672	806	5
8	-82.628258	64	5	733	36.790306	9943	829	5
9	-89.575958	70	6	670	49.594162	10090	841	5
10	-81.364197	83	7	565	62.396015	10088	841	5
11	-63.736805	177	15	265	74.686119	9685	807	5
12	0	638	53	74	82.374718	6059	505	8
13	63.736805	638	53	74	74.686119	6059	505	8
14	81.364197	177	15	265	62.396015	9685	807	5
15	89.575958	83	7	565	49.594162	10088	841	5
16	82.628258	70	6	670	36.790306	10090	841	5
17	76.242027	64	5	733	24.173201	9943	829	5
18	69.691734	66	6	711	11.899853	9672	806	5
19	62.462883	73	6	643	0.16357811	9249	771	6
20	54.052441	85	7	552	-10.759727	8608	717	6

#### 3.2 软件程序思路

软件主程序的思路是: 上电前先要调整机械原点, 判断两个方向的平台是否处于原点, 即初始位置, 若不是, 就进行自动调整。系统初始化后, 开启外部中断。通过输入日期, 相应进入计算程序, 计算出日期序号  $N$ , 依次算出高度角、方位角及相关参数。开启定时器  $T0$  和  $T2$ , 通过不断改变匹配值分别产生两个方向上不同频率的脉冲数, 如 12 点时, 将匹配值改为 74, 同时对脉冲计数, 当脉冲数达到 638 时, 定时器停止工作, 改变匹配值, 开启定时器, 从而实现变频。如此循环, 直到最后一个频率执行完, 关闭定时器, 电机停止工作。其中主程序流程图如图 4 所示。

在电机运动过程中, 若垂直方向上的平台碰到行程开关后, 就会触发外部中断, 使电机反转变该方向上的平台运动方向, 即控制光源的升降运动。在不断比较计数值与脉冲数是否相等的过程中, 编码器会检测到电机实际运动的脉冲数, 若二者的脉冲数相等, 就会触发中断; 若不等, 则单片机会产生所丢的脉冲数, 否则结束中断。程序由开环系统变为闭环系统, 提高了系统的稳定性, 减小了误差, 提高了系统的精度。编码器反馈的中断子程序如图 5 所示。

#### 3.3 模拟平台的单片机控制程序

太阳运动模拟平台控制系统的输入输出关系表如表 3 所示, 其中行程开关和通讯端口的接收为输入端, 其余均为输出端口。

表 3 控制系统的输入输出关系表

方向	脉冲产生位	方向控制位	编码器反馈位		行程开关触发位	数码管显示位	通讯端口
			A 相	B 相			
水平 MCU 引脚	PB3	PB5	PB2 (INT2)	PA0	PD2 (INT0)	PB4 /PB5 /PB7	PD0 (接收) PD1 (发送)
垂直 MCU 引脚	PD7	PD6	PD3 (INT1)	PA1			

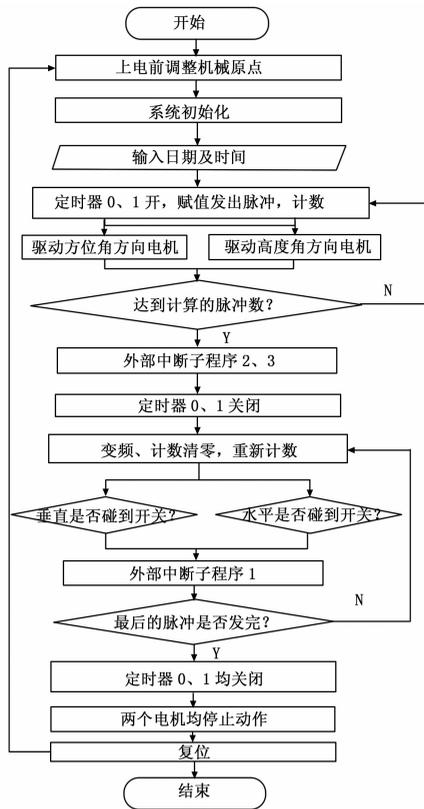


图 4 主程序

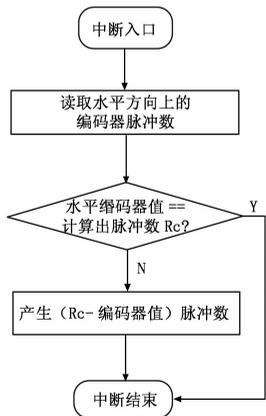


图 5 中断子程序

太阳运动模拟平台中水平和垂直两个方向电机控制及变频的部分程序如下:

```

include<avr/io. h>
include<avr/interrupt. h>
include<math. h>
include<string. h>
include<util/delay. h>
define pi 3.14
define wd 31.12 //赤纬度
define uint unsigned int
define uchar unsigned char
define MOTOR1_SET PORTB&.= ~(1<<PB5) //水平电机
define MOTOR1_COM PORTB|= (1<<PB5) //PB5=1, 向左

```

```

define MOTOR2_SET PORTD&.= ~(1<<PD6) //垂直电机
define MOTOR2_COM PORTD|= (1<<PD6) //PD6=1, 下降
int count1=0; //对定时器 0 脉冲计数
int count2=0; //对定时器 2 脉冲计数
uchar leap; //闰年的标志位
uint N; //日期序列号
volatile float cw; //赤纬度
volatile int Tt[24]={0};
volatile int w[24]={0};
volatile int T,i=0,j=0,s,m,n,www[24]={0};
volatile float As[17]={0}; //高度角
volatile float as[17]={0};
volatile float Rs[17]={0}; //方位角
volatile float rs[17]={0};
volatile float Ac[17]={0}; //脉冲数
volatile float Rc[17]={0};
volatile float Af[17]={0}; //脉冲频率
volatile float Rf[17]={0};
volatile float AT[17]={0}; //OCR0 值
volatile float RT[17]={0}; //OCR2 值
水平方向上控制电机及变频程序:
/* * * * * * 定时器 T0 初始化 * * * * * */
void timer0_init(void)
{
TCCR0=0b00011101;
TCNT0=0X00; //定时器初值设置
OCR0=RT[j]; //比较匹配寄存器初值
TIMSK=0x02; //允许 T/C0 的比较匹配中断
}
/* * * * * * 定时器 0 比较匹配中断服务函数 * * * * * */
SIGNAL(TIMER0_COMP_vect) //T/C0 比较匹配中断服务
{
sei();
TCCR0=0b00011000;
if(count1>=Rc[j])
{
j++;
OCR0=RT[j];
count1=0; //计数清零,重新计数
}
else
count1++;
if(RT[j]==0)
TCCR0=0b00011000;
else
TCCR0=0b00011101;
}
垂直方向上控制电机及变频程序:
/* * * * * * 定时器 T1 初始化 * * * * * */
* * /
void timer2_init(void)
{
TCCR2=0b00011101;
TCNT2=0X00;
OCR2=AT[j]; //比较匹配寄存器初值

```

和  $T_{wb}$  的波动分别在  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$  之内；变设定值与负荷后系统到达稳定时间为 20 分钟， $T_{db}$  和  $T_{wb}$  波动都在  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  以内。试验结果表明，开发的人工神经网络在线自适应控制器能够以比较高的控制精度，在邻近和远离目标设定值，同时负荷发生变化的情况下，控制室内空气的干球温度和湿球温度都达到要求，响应时间较短。

随着本文设计的控制器的研制成功，证实在线自适应控制可以有效地拓宽人工神经网络控制器的控制范围，对于其他的控制器设计也有一定的借鉴意义。

**参考文献：**

[1] 张秀玲, 神经网络自适应控制的研究进展及展望 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2002, 1 (5): 10-14.  
 [2] Westphalen D. New approach to energy savings for rooftop AC [J]. ASHRAE J, 2004, 46: 38-46.  
 [3] Li Z S, Deng M. An experimental study on the inherent operational characteristics of a direct expansion (DX) air conditioning (A/C) unit, Build [J]. Environ, 2007, 42: 1-10.  
 [4] 程 慧, 周 斌, 张 蓉, 等. 神经网络自适应控制及其发展应用 [J]. 大众科技, 2010 (5): 4-8.  
 [5] Qi Q, Deng S M. Multivariable control-oriented modeling of a di-

rect expansion (DX) air conditioning (A/C) system [J]. Int. J. Refrig, 2008, 31: 841-849.  
 [6] Li Z, Deng S M. A DDC-based capacity controller of a direct expansion (DX) air conditioning (A/C) unit for simultaneous indoor air temperature and humidity control - Part I: Control algorithms and preliminary controllability tests [J]. Int. J. Refrig, 2007, 30: 113-123.  
 [7] 吴 磊, 李振亮. 一种网络温湿度控制器设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3165-3167.  
 [8] 李 杰. 带干扰的时滞系统的神经网络自适应控制 [D]. 南宁: 广西师范学院, 2012.  
 [9] 唐超颖, 王 彪. 基于在线神经网络的自适应控制器的设计与应用 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 6 (7): 34-38.  
 [10] Khosrowshahi F. Innovation in artificial neural network learning: Learn-On-Demand methodology [J]. Automat Constr, 2011, 20 (8): 1204-1210.  
 [11] Hussain M A, Kershenbaum L S. Implementation of an inverse-model-based control strategy using neural networks on a partially simulated exothermic reactor [J]. Chem. Eng. Res. Des, 2000, 78: 299-311.

\*\*\*  
 (上接第 2376 页)

```
TIMSK=0X02; //允许 T/C2 的比较匹配中断
}
/* * * * * * 定时器 1 比较匹配中断服务函数 * * * * */
SIGNAL(TIMER2_COMP_vect) //T/C2 比较匹配中断服务
{
sei();
TCCR2=0b00011000;
if(count2>=Ac[j])
{
j++;
OCR2=AT[j];
count2=0; //计数清零,重新计数
}
else
count2++;
if(AT[j]==0)
TCCR2=0b00011000;
else
TCCR2=0b00011101;
}
```

**4 实验结果与分析**

在系统中连接好各个线路，接上电源，进行实际验证。经过实验证明，所设计的程序能够使得水平和垂直两个方向上的平台同时运动，并且每隔一个时间段，电机能够改变一次频率；水平方向上，能实现该方向上平台碰到终点处的行程开关，电机停止运动，平台静止；垂直方向上，能实现该方向上的平台升到顶点后，碰到限位开关电机能够改变运动方向，从而下降；并且两个方向上的平台能够同时到达终点，基本能够准确模拟太阳运行轨迹，说明所设计的程序是可行的，非常可靠的。

**5 结语**

以太阳运动模拟平台为控制对象，Atmega16 为控制器，所设计的程序能够通过输入日期，计算出相应的参数实现对电机的控制，使其在不同时间段进行变频，同时编码器测速形成反馈，也就是进行定期校正，增加了系统的稳定性和精度，经实际检验，该方法具有可行性与可靠性，实现了对太阳运行位置的全面预测和精确演示，同时也解决了相关太阳跟踪实验受时间限制的问题。

**参考文献：**

[1] 冯黎成, 杨天虎. 太阳能教学实训装置的研发——模拟太阳升降跟踪控制实验系统 [J]. 内蒙古教育 (职教版), 2012 (11): 34-35.  
 [2] 王 森, 王保利, 焦翠坪. 太阳能跟踪系统设计 [J]. 电气技术, 2009 (8): 100-103.  
 [3] Roth P, Georgiev A, Boudinov H. Cheap Two Axis Sun Following Device [J]. Energy Conversion and Management, 2005, 46 (7): 1179-1192.  
 [4] 马建华, 潘玉良. 基于单片机的太阳跟踪控制系统设计 [J]. 机电工程, 2010, 27 (12): 63-66.  
 [5] 廖锦城. 计算机控制双轴太阳跟踪系统及其偏差检测 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.  
 [6] 汪 源, 王连胜, 宋书建. 低纬度地区太阳运动轨迹的研究 [J]. 科技资讯, 2011, 17: 242-243.  
 [7] 汤世松, 舒志兵. 双轴伺服太阳跟踪系统的设计 [J]. 自动化仪表, 2011, 32 (2): 29-51.  
 [8] 张善文, 张剑锋, 陈思栋. 太阳光线双轴跟踪装置的机械系统设计 [J]. 机械工程与自动化, 2010 (4): 91-93.  
 [9] 杨金焕, 于化丛. 太阳能光伏发电应用技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.  
 [10] 肖玉华, 熊和金. 基于 Atmega8 的双轴太阳跟踪器设计 [J]. 电子设计工程, 2010, 18 (3): 46-47.