

# 基于GPS的射电望远镜跟踪平台的研究\*

林俊钦 殷兴辉

(河海大学 计算机与信息学院 南京 211100)

**摘要:** 现今,大型的射电望远镜项目在各个国家都得到了普遍的重视。但是,市场上需求越来越多的是小型的射电望远镜或者科普类的射电望远镜。大型的射电望远镜天线,指向精度要求高,观测的过程中需要做各种实时修正,允许投资较多于控制模块,大多采用计算机闭环程序控制。虽然在大型的射电望远镜上这样的控制方法取得了很好的效果,但是对于小型的射电望远镜来说昂贵和复杂的闭环控制方式并不是适用。所以,本文通过实践调研,通过按键控制电路来控制单片机的工作模式来代替原来庞大的控制台,并经过大量的调试,实现了可适用于小型天线的控制系统。

**关键词:** 射电望远镜;MSP430;GPS

**中图分类号:** TN911.7      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 510.80

## Study on radio telescope tracking platform based on GPS

Lin Junqin Yin Xinghui

(College of Computer and Information, Hehai University, Nanjing 211100,China)

**Abstract:** Nowadays, the large radio telescope projects have received widespread attention within every country. However, more and more demands on the market are the small radio telescopes or scientific series. For large radio telescope antenna, the demand of accuracy for the pointing is high, all kinds of real time correction need to be done in the process of observing, the investment in control module is enable, mostly using closed-loop computer control program. Although the control method has obtained the good effect in the large radio telescope, but for the small, the expensive cost and complex control methods are not applicable. So, in this paper, through practical investigation, the button control circuit is used to control the MCU work mode to replace the original large console, and the control system can be applied to small antenna with a lot of debugging.

**Keywords:** radio telescope; MSP430;GPS

## 1 引言

在本文中,通过理论知识和实验数据的结合,提出了使用按键控制电路来控制单片机实现射电望远镜跟踪并观测天体的任务。整个系统主要由GPS模块、天线模块、按键控制电路模块、电机驱动模块和数据采集模块等组成。利用已知的天文学知识,通过坐标转换公式,计算出某一时刻太阳的方位角和俯仰角,并通过算法将方位、俯仰的角度转换为相应的角度,再通过相应的软件控制,从而实现抛物面天线对太阳的天线跟踪、天线校零等功能。根据系统要求

使用 Altium Designer 的电路画图软件,设计出适合控制射电望远镜的单片机开发板。

## 2 系统的整体方案

系统原理图如图1所示,太阳射电望远镜主要由主单片机、从单片机、接收天线、转台、接收机等部分组成。其中,转台由方位控制电机和俯仰控制电机两部分组成<sup>[1-3]</sup>,可以进行顺时针和逆时针两方向自由度转动。

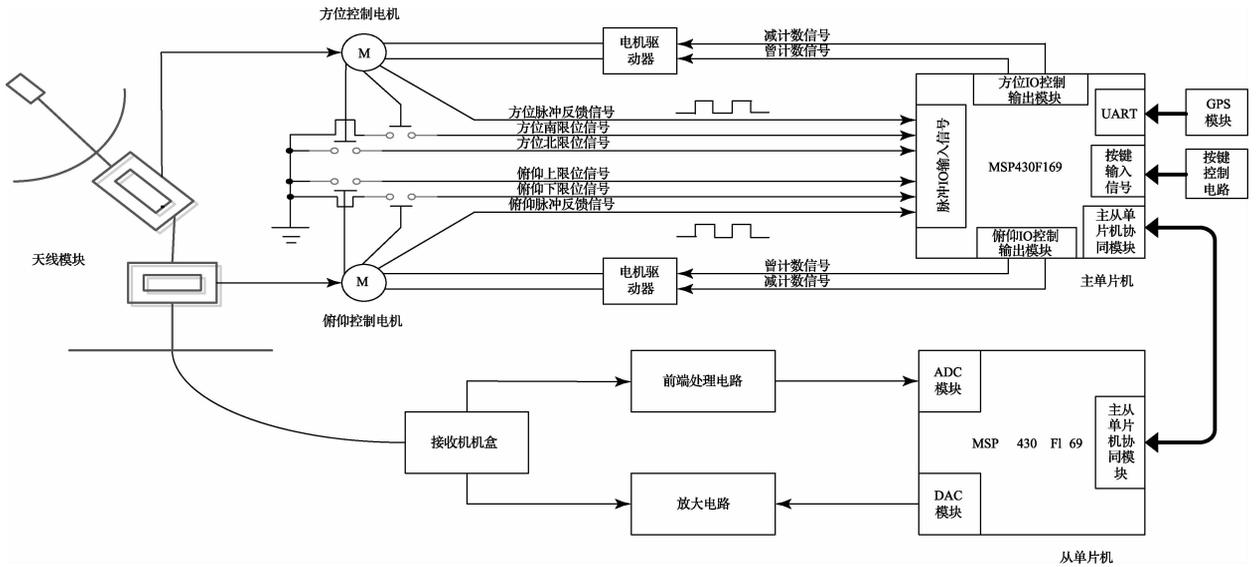


图 1 系统原理图

射电望远镜的基本原理和光学反射望远镜类似,天体投射来的电磁波被一精确镜面反射后,同相的电磁波到达公共焦点。采用旋转抛物面作镜面易于实现同相聚集,所以,实验中射电望远镜的天线采用抛物面<sup>[4]</sup>。射电望远镜主要构成为:

- 1)收集射电波的定向天线,它主要用来接收来自太阳发出的电波并传到接收机里。
- 2)放大射电信号的高灵敏度接收机,它对馈源收集到的太阳射电波进行混频、中频放大等处理,最后输出的接收机信号供从单片机机采样。
- 3)控制模块,由按键控制电路控制主单片实现对太阳当前位置的跟踪。
- 4)GPS 模块,同通过对从卫星接收到的信号,并解析来获得当前测量地的地理位置、当前太阳时间,进而通过算法将当前太阳的位置转化为方位脉冲数、俯仰脉冲数。
- 5)数据采样模块,由从单片机来实现,主单片机控制电机实现对当前太阳位置的跟踪之后,从单片机采集接收机输出的信号,可以分析数据来判断当前太阳的活动。

以上的功能实现之后,就可以研究太阳活动的情况,掌握太阳辐射能量的规律变化,来分析这些变化对地球的影响。

### 3 GPS 模块及跟踪原理

#### 3.1 GPS 模块 MT-285

实验中采用高稳定度高灵敏度 GPS 模块 MT-285,其供电电压+5 V,加上稳定的电压 GPS 的接收机就会源源不断的接收卫星的信号,GPS 定位信号通过串口传送给主单片机。在未进行数据处理前,传送过来的数据是一串长的字节流,必须通过对接收到的信号语句的解析才能转化为实验所要求的数据。因此,在对 GPS 信号进行提取的时候,必须明确数据的帧结构,然后才可以依据其数据结构对所需信号的提取,即实验中 GPS 采用的是 NMEA 0183 通信协议。不同的数据帧,帧头也不相同,主要包括“GPRMC”、“GPGGA”、“GPGSA”等等。如表 1,在实验中采用的是“GPRMC”帧头,在通过对获得的数据进行相应的语句解析,这样就可以提取出所需的测量地理位置、当前的时间等信息。

表 1 GPRMC 语句

帧头	UTC 时间	状态	纬度	北纬/南纬	经度	东经/西经	速度
\$ GPRMC	hhmmss, sss	A/V	ddmm, mmm	N/S	ddmm, mmm	E/W	节
方位角	UTC 日期	磁偏角	磁偏角方向	模式	校验	回车换行	
度	ddmmyy	000—180	E/W	A/D/E/N	* hh	CR+LF	

#### 3.2 跟踪原理

在实验中采用端口中断来捕获天体运动的轨迹。其原理为:将天体运动的轨迹分解为 2 个方向,即水平和垂直方向分别对应方位电机和俯仰电机,方位与俯仰电机转一圈(360°)有与之分别相对应的脉冲数。当按键控制电路给主单片机发送自动跟踪的命令,单片机接收到命令,并进入相应的程序,在

程序中的算法会将由 GPS 模块获得的当前太阳的地理位置转化为相应的角度,再将角度转换为相应的脉冲数,所得的脉冲数会与先前时刻的太阳位置对应的脉冲数做比较,所得到的差值就是方位与俯仰所需要转动的脉冲数。而电机转动时会触发端口中断,单片机就会通过中断处理来记下所转动的脉冲数,再将所有所记得的脉冲数与新的太阳位置所得对应

的脉冲数做比较,再驱动电机转动,如此反复做比较并转动电机,这样方位、俯仰电机的角度即是太阳的方位与俯仰的位置,从而实现了对接体的跟踪<sup>[5-8]</sup>。

#### 4 单片机的设计

单片机使用了一片 MSP430F169 来实现。单片机 1, 其主要负责控制转台的转动,我们把它称之为主单片机;而负责信号采集的单片机 2,我们把它称之为从单片机<sup>[9-10]</sup>。如图 2 所示:



图 2 单片机开发板及 GPS 模块

##### 4.1 主单片机的设计

主单片机的模块图,如图 3 所示。

方位计数模块	方位南北限位模块	俯仰计数模块	俯仰上下限位模块
计数、采样、通信、中断处理模块	主单片机控制逻辑模块		UART 通信模块
主从单片机协同模块		转台驱动模块	

图 3 主单片机模块图

前面已经提及主单片机的主要功能,所以我们可以确定主单片机的工作流程图,如图 4 所示。

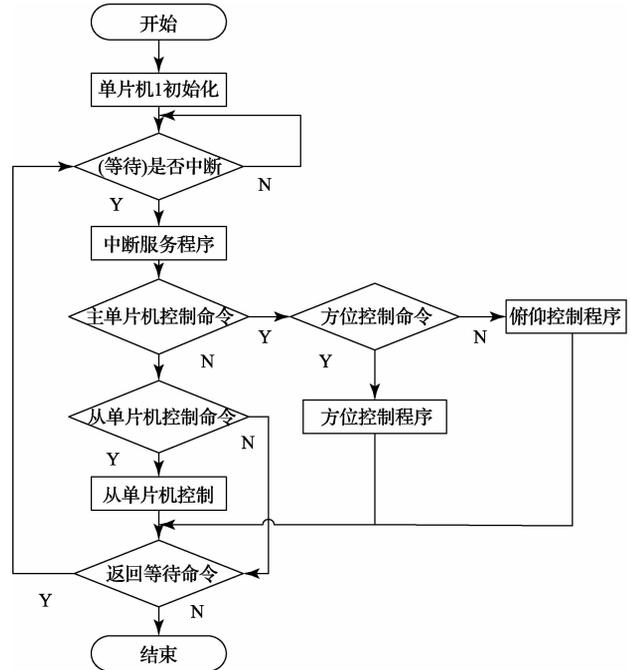


图 4 主单片机流程图

在主单片机初始化中,首先设置时钟。MSP430F169 单片机一共有三个时钟源:这里我们将时钟设置为高频时钟源 XT2CLK,即外接 8 MHz 晶体振荡器。

其次,设置 I/O 端口。MSP430F169 单片机所提供的 6 组端口,既可以用作输入端口也可以用作输出端口,同时 P1 和 P2 口具有中断功能。通过正确设置 PxSEL 寄存器和 PxDIR 寄存器,可以获得本设计中需要端口的功能。如表 2:

表 2 主单片机 I/O 端口设置

端口号	端口	端口方向	功能说明	备注
P2 口	P2.0	输入	天线方位位置计数脉冲输入	选择下降沿中断
	P2.1	输入	天线方位南限位点输入	选择下降沿中断
	P2.2	输入	天线方位北限位点输入	选择下降沿中断
	P2.4	输入	天线俯仰位置计数脉冲输入	选择下降沿中断
	P2.5	输入	天线俯仰上限位输入	选择下降沿中断
	P2.6	输入	天线俯仰下限位输入	选择下降沿中断
P3 口	P3.6	输出	异步通信串行输出 UTXD1	
	P3.7	输入	异步通信串行输入 URXD1	
P5 口	P5.0	输出	方位电机逆时针转动	高电平有效
	P5.1	输出	方位电机顺时针转动	高电平有效
	P5.2	输出	俯仰电机顺时针转动	高电平有效
	P5.3	输出	俯仰电机逆时针转动	高电平有效

从表 2 可以得出 PxSEL 寄存器、PxDIR 和 P2IE 寄存器的设置值分别为：

1) P2DIR = 0x88; //P2 端口方向除 P2.3 和 P2.7 为输出,其余六个端口都为输入。

2) P2IES = 0xEE; //P2 端口中断沿选择,这里选择下降沿中断。

3) P3IES |= 0xC0; //P3.6 和 P3.7 为外围模块功能管脚,即作为 UART 通信端口,实现与 GPS 通信功能。

4) P5IDR = 0x0F; //P5 端口方向选择,P5.0 到 P5.3 作为输出,控制天线转台信号。

最后,设置中断。在本设计中主要使用了三个中断,分别为:串行通信中断、定时器中断和 P2 端口中断。在单片机完成初始化之后,程序就进入循环等待状态。只有通过按键控制命令来,单片机正确接收命令后,程序才会进入相应的方位控制程序、俯仰控制程序或从单片机控制程序。

### 4.2 从单片机的设计

从单片机的模块图,如图 5 所示。



图 5 从单片机模块图

和主单片机一样,从单片机的初始化中也包括对时钟、端口等的设置。这里就不再赘述。这里将主要介绍天线温度采集模块和接收机输出信号采集模块。温度采集模块采用了一片温度传感器 DS18B20。馈源信号采集模块是完成对接收机输出信号的采样,采样频率为 80 Hz。为了避免接收机输出信号在传输过程中受到干扰,所以在运算放大器的前端加 RC 低通滤波器来滤除干扰。接收机输出信号模块的电路如图 6 所示,图中信号线 ADC1 即为接收机输出信号<sup>[11-12]</sup>。

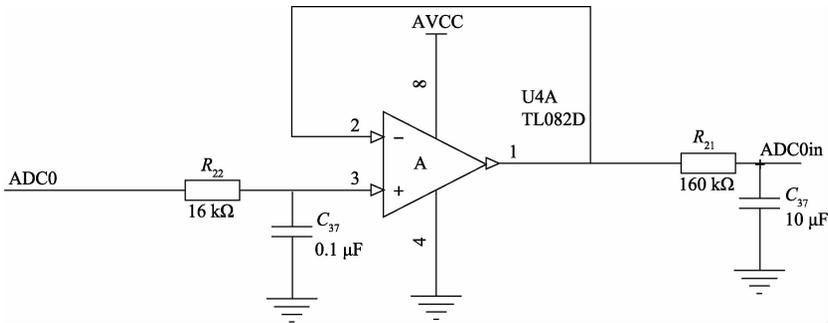


图 6 接收机输出信号采集模块

## 5 实验结果

如图 7,左边的图片显示的是俯仰电机(上)与方位电机(下)的起始位置,并且将方位与俯仰分别对应 13091 和 10708 个脉冲;中间的图片从上到下 data 数组存的是从 GPS 获得的地理位置、时间等信息,AZ 与 ZL 分别表示的是当前太阳的方与俯仰的位置,即太阳在 2015 年 4 月 3 日 8 点 0 分这个时刻的水平与竖直位置所对用的角度,

countA 与 countB 是记录当前转台的位置,fa、fb 是与 countA 和 countB 相对应的角度,即转台此刻角度所对应的脉冲数与角度,实验中将方位与俯仰的起始位置分别选择为 97.074° 与 0°,即 fa = 97.0743255,fb = 0.0,则 countA = 3530 与 countB = 0,而 Longitude、Latitude 分别是当前实测地的地理位置经纬度,如 7 图左图;右边的图片是硬件计数器,是用来捕获跟踪太阳时候所转动的脉冲数,以分析实验数据的精确度。

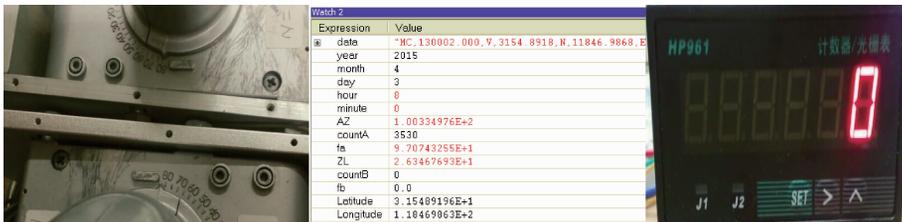


图 7 天线起始位置

如图 8,当前时间 2015 年 4 月 3 日 12 点 12 分,太阳的水平位置 AZ = 182.349365,而垂直位置 ZL =

63.8960609,此刻相应天线的水平位置 fa = 182.158737,垂直位置 fb = 63.8774757,同时可从左图

顺时针估计方位电机、俯仰电机(右边80是起始位置)的度数为 $182^\circ$ 和 $64^\circ$ 。俯仰方向从起始 $0.0^\circ$ 转到 $63.87^\circ$ 转动 $63.87^\circ$ ,转动相应的脉冲数为 $63.877^\circ \times 10708/360^\circ = 1900$ 个脉冲,而此刻 *countB* 减去起始的值0可得这段时间中断所计脉冲数;而方位方向从起始的位置 $97.074^\circ$ 转动 $85.084^\circ$ ,则这段时间转动的脉

冲等于转动的度数乘以一度所对应的脉冲数,即转动 $85.084^\circ \times 13091/360^\circ = 3094$ 个脉冲,而对应此刻的 *countA* = 6624 减去起始的3530可得这段时间中断所记脉冲数3094,又最右边的硬件计数器3093。通过硬件计数器转台角度以及中间图片各个参数的对比,可知实验数据比较真实可靠,跟踪误差可以在 $0.2^\circ$ 以下。

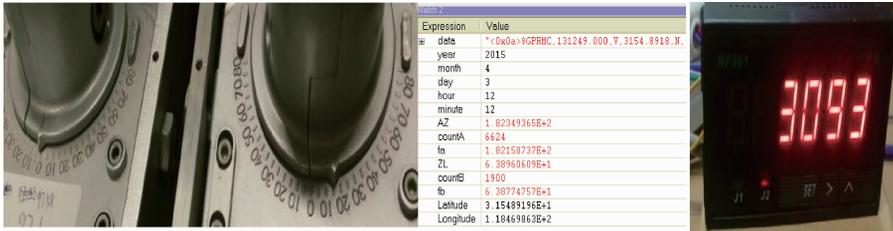


图8 中午时刻天线

## 6 结论

本文在设计之初通过市场调研,充分了解到小型或科普类型的射电望远镜与科研使用的大型射电望远镜之间的差异,特别是对于科普类的射电望远镜转台的位置精度与跟踪精度相对大型的科研类射电望远镜要求不是很高。在导师的帮助下,采用多级齿轮转动的方法,通过传感器实时检测初级齿轮转数的方式,来提高直流电机驱动下的射电望远镜转台的位置精度和跟踪精度。

## 参考文献

- [1] 朱立卿,初瑛仪,张振超.射电望远镜位置闭环系统的微计算机控制[J].微计算机应用,1984(4):004.
- [2] 吕晓莉,王海.D-FSMC在快速跟踪望远镜直接驱动系统中的应用[J].机电工程,2008,25(3):20-24.
- [3] LI S. Induction motor direct torque control[M]. Beijing:China Machine Press,1994.
- [4] 陈建生.射电望远镜[M].北京:科学出版社,1977.
- [5] 梁红艳,郑振华,郭劲.大口径望远镜跟踪架的结构研究[J].仪器仪表学报,2006(z1):1017-1019.
- [6] 吴庆林,乔兵,张斌,等.基于Stewart平台的次镜控制系统设计[J].国外电子测量技术,2013(11):

73-76.

- [7] 王锦清.射电望远镜实时跟踪方法及实现[D].中国科学院研究生院(上海天文台),2006.
- [8] 吴春晖,朱庆生,周小军.全日面太阳光学和磁场望远镜的自动跟踪与导行方法[J].天文研究与技术:国家天文台台刊,2007,4(2):147-152.
- [9] 郭燕.单片机应用系统的研制及其在望远镜控制中的应用[D].中国科学技术大学,1997.
- [10] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙.MSP430系列16位超低功耗单片机实践与系统设计[M].清华大学出版社有限公司,2005.
- [11] 骆亚波,郑勇,夏治国,等.大射电望远镜馈源系统50m模型外界激励响应的检测及分析[J].仪器仪表学报,2008(S1).
- [12] 李凯.140GHz毫米波接收机[D].电子科技大学,2008.

## 作者简介

林俊钦(通讯作者),工学硕士,学生,主要研究方向为自动控制技术。

E-mail:1198608525@qq.com