

# 动中通天线控制系统的数据处理

## Data Processing of Antenna Control System of Satellite Communication in Motion

(1.中国科学院国家天文台;2.山东青岛海军潜艇学院) 宁春林<sup>1</sup> 田炳丽<sup>2</sup> 施浒立<sup>1</sup> 李圣明<sup>1</sup> 梁坤<sup>1</sup> 胡超<sup>1</sup>

NING Chun-lin TIAN Bing-li SHI Hu-li LI Sheng-ming LIANG Kun HU Chao

**摘要:** 研制了一种动中通天线控制系统,该系统采用 Texas Instruments 公司 TMS320VC5502 芯片作为数据处理器,提高了系统处理数据速度、响应速度和数据精度,降低了成本,实现了稳定的通信;实验结果表明该系统性能稳定,可靠性强,完全满足了动中通天线控制的需要。

**关键词:** TMS320VC5502;DSP;天线控制系统;动中通

中图分类号: TP271.4

文献标识码: B

**Abstract:** A kind of Antenna Control System of Satellite Communication in Motion is developed. The TMS320VC5502 chip, which is produced by Texas Instruments Corp., is applied as data processor. It improves the speed of data processing of system, the speed of responding of system and the precision of the data. And it reduces the cost of the system and realizes the steady communication. The testing results show that this system possesses stable capability and high reliability. The system entirely reaches the demand of the Satellite Communication in Motion antenna control.

**Key Words:** TMS320VC5502;DSP;Antenna Control System;Satellite Communication in Motion

## 1 引言

动中通指载体在移动行进过程中仍能保持正常通信的一种业务形式。由于卫星通信具有覆盖区域广、不受地形地域限制、传输线路稳定可靠等优点被广泛应用。

通信中的行进载体在移动过程中位置和姿态不断地变化,会引起天线的指向角也不停地变化,为了能够使天线与同步卫星保持正常的通信联络,必须要求天线波束能保持精确指向,就需要有天线控制系统补偿载体运动所带来的影响。目前已有的天线控制系统结构复杂、价格昂贵,不利于推广使用。本文介绍一类系统可传输短报文或实现语音通信使用的微小型卫星通信天线的动中通天线控制系统,选用了高速 DSP 芯片 TMS320VC5502 为系统数据处理器,提高了系统处理速度,降低了成本,实现天线姿态的快速稳定跟踪,从而保证了运动中通信链路通畅,并在移动通信实验中获得验证。

## 2 天线控制系统组成

天线控制系统主要有信息自动采集系统、数据处理系统和天线指向系统三部分组成,系统组成框图如图 1 所示:

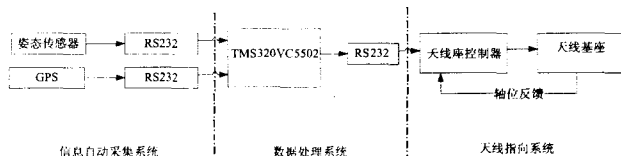


图1 天线控制系统

信息自动采集系统通过两个 RS232 与 GPS 接收机和姿态传

感器实现通信,从数据流中提取载体的经度  $L_{WT}$ 、纬度  $B_{WT}$ 、高度  $H_{WT}$  和载体的纵摇角  $\varphi$ 、横摇角  $\theta$ 、航向角  $\psi$  (与磁北的夹角),其中 GPS 接收机 1 秒钟输出 1 次定位数据,姿态传感器 1 秒钟输出 15 次角度数据。

数据处理系统获得信息自动采集系统的六个参数后,加上固化在数据处理系统的同步卫星的经度  $L_{WT}$ 、纬度  $B_{WT}$  和高度数据  $H_{WT}$ ,通过坐标转换公式,计算出天线在天线坐标系中所对应的方位角和俯仰角。数据处理系统的核心是 Texas Instruments 公司在 1996 年推出新一代定点数字处理器 TMS320VC5502DSP 芯片,它具有芯片低功耗、低成本,在有限的功率条件下,能保持最好性能的优点,同时还增加了累加器、算术逻辑单元、数据寄存器等,配合以并行指令,效率很高,每秒钟可以处理 300 万条指令。

天线指向系统接收数据处理系统传递过来的方位角和俯仰角,通过天线座控制器驱动天线转动。

## 3 数据处理

计算过程中用到四种坐标系,分别为地心地固坐标系、测站坐标系、载体坐标系和天线坐标系。为了求得天线在天线坐标系下转动的方位角和俯仰角,需要进行坐标转换。

### 3.1 地心地固坐标系到测站坐标系转换

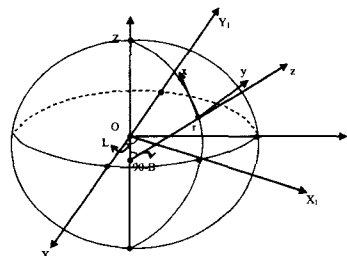


图2 地心地固坐标系(XYZ)和测站坐标系(xyz)

宁春林: 博士研究生

项目基金: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目

项目编号: (2007CB815500)

您的论文得到两院院士关注

通过信息自动采集系统得到的载体的经度  $L_Z$ 、纬度  $B_Z$ 、高度  $H_Z$  和同步卫星的经度  $L_{WT}$ 、纬度  $B_{WT}$ 、高度  $H_{WT}$ ，根据公式(1)转换成地心地固坐标系下的同步卫星的三维坐标  $X_{WT}$ 、 $Y_{WT}$ 、 $Z_{WT}$  和载体的三维坐标  $X_Z$ 、 $Y_Z$  和  $Z_Z$ 。

$$\begin{cases} X = (n+H) \cos(L) \cos(B) \\ Y = (n+H) \cos(L) \sin(B) \\ Z = (n(1-e^2)+H) \sin(B) \end{cases} \quad (1)$$

$$n = a / (1 - e^2 \sin^2(B))^{1/2}$$

其中,  $a$  取 6378137m,  $e$  取 0.00669437999013。根据公式(2)计算载体到卫星的矢量  $\Delta_T$ 。

$$\Delta_T = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{WT} \\ Y_{WT} \\ Z_{WT} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_Z \\ Y_Z \\ Z_Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

从地心地固坐标系到测站坐标系的坐标转换矩阵  $C_T^X$  如下所示:

$$\begin{aligned} C_T^X &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_Y(90^\circ - B_Z) R_Z(L_Z) \\ &= \begin{bmatrix} -\sin L_Z & \cos L_Z & 0 \\ -\sin B_Z \cos L_Z & -\sin B_Z \sin L_Z & \cos B_Z \\ \cos B_Z \cos L_Z & \cos B_Z \sin L_Z & \sin B_Z \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

根据公式(3)得到卫星在测站坐标系的三维坐标:

$$\begin{bmatrix} X_{WX} \\ Y_{WX} \\ Z_{WX} \end{bmatrix} = C_T^X \Delta_T \quad (4)$$

### 3.2 测站坐标系到载体坐标系转换

载体的航向角  $\Psi$  是与磁北的夹角, 而测站坐标系的 Y 轴指向正北, 则测站坐标系和载体坐标系北向的夹角不仅仅是  $\Psi$ , 还有磁偏角, 设磁偏角为  $\delta$  (偏西取负值, 偏东为正值), 则测站坐标系到载体坐标系转换矩阵  $C_X^Z$  为:

$$C_X^Z = R_X(\varphi) R_Y(\theta) R_Z(\psi + \delta) \quad (5)$$

根据公式(5)可以求得卫星在载体坐标系下的三维坐标:

$$\begin{bmatrix} X_{WZ} \\ Y_{WZ} \\ Z_{WZ} \end{bmatrix} = C_X^Z \begin{bmatrix} X_{WX} \\ Y_{WX} \\ Z_{WX} \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3.3 载体坐标系到天线坐标系转换

天线系统安装在载体上, 要尽可能保证天线坐标系与载体坐标系平行, 保证他们之间的角度非常小, 同时天线安装之后, 载体坐标系和天线坐标系之间的位置关系是确定的。载体坐标系到天线坐标系的转换矩阵  $C_Z^T$  为:

$$C_Z^T = \begin{bmatrix} 1 & H_0 & P_0 \\ -H_0 & 1 & R_0 \\ -P_0 & -R_0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中  $H_0$ 、 $R_0$  和  $P_0$  为欧拉角, 通过实验确定它们的大小。

根据公式(7)可以求得卫星在天线坐标系下的三维坐标:

$$\begin{bmatrix} X_{WT} \\ Y_{WT} \\ Z_{WT} \end{bmatrix} = C_Z^T \begin{bmatrix} X_{WZ} \\ Y_{WZ} \\ Z_{WZ} \end{bmatrix} \quad (8)$$

### 3.4 天线坐标系下天线方位角和俯仰角的计算

$$A_z = \arctan\left(\frac{x}{y}\right)_b \quad (9)$$

$$E_i = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)_b \quad (10)$$

其中,  $A_z$  为方位角,  $E_i$  为俯仰角。

## 4 天线控制系统软件设计

按照其功能分为 4 个模块, 即初始化模块、信息自动采集模块、天线初始对准模块和姿态解算模块。

### 4.1 初始化模块

主要完成系统的初始化, 包括 TMS320VC5502 系统初始化和卫星信息初始化, 前者初始化包括软件环境初始化、外部存储器接口初始化、定时器初始化和串口初始化; 后者初始化包括卫星参数选择和卫星位置初始化。

### 4.2 信息自动采集模块

通过芯片的两个外部中断, 对 GPS 接收机和姿态传感器进行数据采集, 其中 GPS 接收机采集载体的定位信息, 姿态传感器采集载体的三维信息; 对姿态传感器的数据做简单的求和平均处理, 使姿态传感器的数据更接近真值。

### 4.3 天线初始对准模块

根据初始化信息和自动采集的信息, 根据公式(1)到(10), 计算在天线坐标系下天线的转动角度, 这是天线初始对准角度, 为绝对角度; 将该角度通过 RS232 传递给天线指向系统, 天线指向系统收到之后回传已收到信息给天线初始对准模块, 否则天线初始对准模块认为天线指向系统没有收到, 将会一直发送, 直到天线指向系统回传为止。

### 4.4 姿态解算模块

根据天线初始对准模块得到天线初始对准绝对角度, 同时传给天线指向系统并得到天线指向系统的确认后, 然后根据公式继续解算, 解算之后的角度与上一次角度进行相减, 把相减的角度差发给控制模块。其中自动采集的信息会出现 GPS 暂时没有数据和姿态传感器暂时没有数据的两种情况, 这时就要根据前几次数据进行简单的外推得到数据; 如果长时间没有数据则要检查硬件的连接情况。系统软件的流程图如图 3 所示:

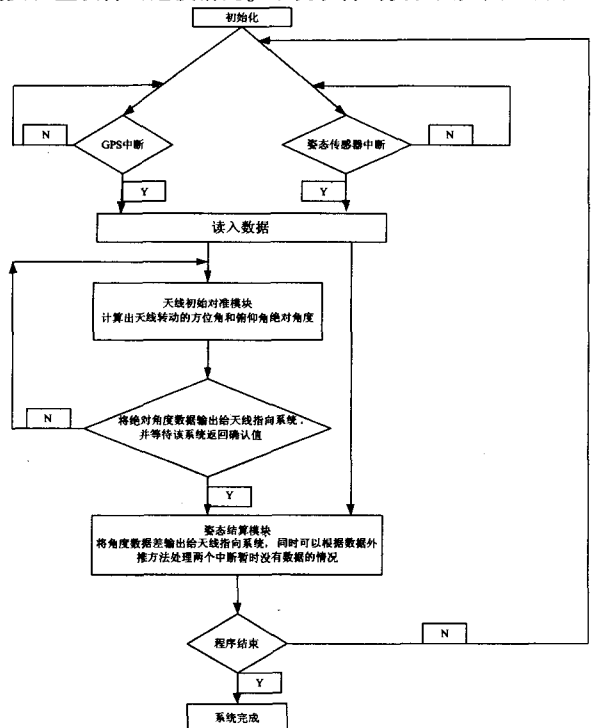


图 3 软件流程图

(下转第 48 页)

没有任何限制,并有丰富的窗口显示方式,多方位,动态地仿真的各种过程,使用极为便利。程序设计语言采用 Cx51 优化的 Cx51 C 完整的实现了 ANSI 的 C 语言标准。对 8051 来说 Cx51 不是一个通用的 C 编译器,它首先的目标是生成针对 8051 的最快和最紧凑的代码,Cx51 具有 C 编程的弹性和高效的代码和汇编语言的速度。编译器采用 KEIL 公司 Keil 6.12,该公司编译器代码生成方面处于领先地位,可产生最少的代码,它支持浮点和长整数,重入和递归,是使用单片机的最好选择之一。

本系统用于工业系统,为降低系统复杂性,提高系统可靠性,采用时间触发方式,设计合作式任务调度器。合理安排任务的工作时间间隔,既可快速响应外部事件,又可避免中断服务出现的不确定性。软件系统在该模式的基础上进行开发,减少开发工作量,同时也提高了系统的可靠性。基于该模式开发的时间触发式系统已经被广泛应用于工业系统,并在实际中得到了验证。该模式很简单,少量代码即可实现,非常适用于 8051 系列微控制器,并且完全由 C 实现,方便移植。

在该时间触发调度器中,以定时器 2 作为中断源,建立中断服务程序,以一定间隔刷新调度器。设计中可以向调度器增加任务,并由调度器周期性地调用任务。从底层的角度来看,调度器可以看作是一个由许多不同任务共享的定时器中断程序。因此,只需要初始化一个定时器,而且改变定时器的时候通常只需要改变一个函数。无论需要运行 1 个或 10 个不同的任务,通常都可以使用同一个调度器完成。

本文作者创新点:本设计采用 FF 控制系统,将控制器下放到现场,直接安装于调节阀控制座中。现场采集到的信号不需要经过变送器送到控制柜,而直接送到调节阀上的控制器中。这样实现了真正的分散式控制,将由于集中而产生的危险降低。并在控制器内加装通讯模块,利用主控室 PC 机强大功能,实现监视、分析和数据保存等功能。

#### 参考文献

- [1] 李正军编著. 现场总线及其应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005, 01
- [2] 万字杰. 基于 AD7705 的 RTD 温度测量 C51 程序设计[J]. 仪器仪表标准化与计量,2004, 4
- [3] 薛俊义,武自芳. 微机控制系统及其应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2003, 02
- [4] 周华茂,程小辉,王新政. 基于 CAN 总线的嵌入式测温系统设计[J]. 微计算机信息,2007, 6-2: 57-59

**作者简介:**曹猛(1974.05-),男,辽宁沈阳人,实验师,研究方向:计算机控制,计算机辅助设计。于洋(1963.2-),男,辽宁沈阳,教授,硕士,研究方向:从事工业过程控制和计算机测控技术领域研究工作。刘砚菊(1965.10-),女,辽宁省本溪市,副教授,硕士,研究方向:从事过程参数采集与检测和网络化测控的研究。

**Biography:**CAO Meng (1974.5 -), Male, Born in Liaoning Shenyang, Experimenter, Research Areas: Computer Control, CAD.

(110168 辽宁 沈阳 沈阳理工大学)曹猛 于洋 刘砚菊

(Shenyang Ligong University, Liaoning Shenyang)Cao Meng

通讯地址:(110168 沈阳浑南新区沈阳理工大学信息学院)曹猛

(收稿日期:2008.3.25)(修稿日期:2008.5.10)

(上接第 29 页)

## 5 结论

本文的创新点在于在微小型天线控制系统中采用 DSP 作为数据处理器和单片机作为控制器相结合的做法,使得成本迅速降低,同时提高了响应速度,在卫星通信试验中通过了定性和应用测试。测试结果表明所设计的天线控制器跟踪逻辑正确,自动跟踪能力较高,在载体摇摆或拐弯时能够正确快捷地补偿载体的姿态变化,从而为动中通为进一步推广应用寻找到一条新路子。

#### 参考文献

- [1] 史飞,喻洪麟,单脉冲自跟踪体制在车载“动中通”的应用;系统工程与电子技术,2004.04,485-487
- [2] Texas Instruments Incorporated, TMS320C55x DSP CPU Reference Guide; Literature Number: SPRU371F, February 2004: 17-110
- [3] 王占杰,曹江波,刘勇峰,空间计算中坐标计算的研究[J]微计算机信息,2006.5-1:284-286
- [4] 夏鲁瑞,何汉辉,李纪莲,基于载体姿态测量的双轴卫星天线初始对准算法. 机械工程自动化,2006.02,16-18

**作者简介:**宁春林(1977-),男(汉族),山东临清,中国科学院博士研究生,研究方向为卫星导航技术的研究。田炳丽(1976-),女(汉族),山东高密,岛海军潜艇学院作战指挥系讲师,研究方向为自动控制;施浒立(1944-),男(汉族),北京,中国科学院国家天文台研究员,博士生导师,研究方向为射电天文方法与技术,天文导航;李圣明(1976-),男,博士研究生.研究方向:天文仪器设计,无源探测,自动控制系统;梁坤(1980-),男(汉族),山西大同,中科院国家天文台博士研究生,研究方向卫星导航相关技术;胡超(1981),男(汉族),河北保定,中科院国家天文台助理研究员,研究方向:天文仪器设计。

**Biography:**NING Chun-lin (1977-), male (The Han nationality), Shandong Province, P.H.D student, Nation Astronomical Observatories of China, Chinese Academy of Science, Beijing, China, Research area: Satellite navigation.

(100012 北京 中国科学院国家天文台)宁春林 施浒立

李圣明 梁坤 胡超

(山东青岛海军潜艇学院作战指挥系)田炳丽

通讯地址:(100012 北京 北京市朝阳区大屯路甲 20 号中国科学院国家天文台射电组)宁春林

(收稿日期:2008.3.25)(修稿日期:2008.5.10)

《嵌入式系统应用精选 200 例》

110 元 / 本 (免邮资) 汇至

《80C51 宏汇编程序设计语言》

22 元 / 本 (免邮资) 汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息杂志收 邮编:100081

电话:010-62132436 010-62192616 (T/F)