

基于圆锥扫描的舰载卫星电视天线跟踪系统*

邹丽娟 黄建国

(南京电子技术研究所 南京 210013)

【摘要】介绍了一种新型船载卫星电视自动跟踪系统的组成、原理。其卫星稳定跟踪系统,采用的是捷联式的有源稳定跟踪平台,特点在于利用雷达圆锥扫描原理实现天线姿态稳定跟踪,从而降低了系统对天线稳定平台的精度要求,使系统可选用廉价的低精度微机械惯性传感器,实现了系统的低成本。

【关键词】圆锥扫描,船用卫星电视,自动跟踪

中图分类号 TN948 文献标识码 A

Shipborne Satellite TV Antenna Tracking System Based on Taper-scanning

ZOU Li-juan HUANG Jian-guo

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology Nanjing 210013)

【Abstract】 This paper describes the shipborne satellite TV antenna automatism tracking system based on taper scan and strapdown stabilization flat and introduces its composition and principle. The system is characterized by completing antenna attitude stabilization tracking by the method of radar taper scan and reducing the precision requirement of the antenna attitude stabilization. The cost of the system can be cut down by using the cheaper micro-machined inertial sensor.

【Key words】 taper-scanning, the ship-board satellite TV automatism tracking

0 引言

随着我国卫星电视的发展,人民生活水平的不断提高,迫切需要一种质优价廉的移动式卫星电视接收设备,以实现在船舶、车辆等运动载体上收看卫星电视。至今国内船用卫星电视接收设备的应用还不甚普及,是因为目前国内与国外同类产品相比,其性价比仍较低,难以适应市场的需求。为此,本文介绍一种先进实用的船载卫星电视自动跟踪系统。本文的核心在于用于克服载体运动干扰的天线姿态稳定系统的设计,控制天线准确地指向通信卫星。本系统抛弃了常规的基于高精度稳定平台设计方案,而是基于雷达圆锥扫描的基本原理,构成了天线伺服位置闭环系统,实现了天线姿态的稳定跟踪。该方案得以使用价廉的低精度微机械惯性传感器,从而降低了系统的成本。

1 系统组成及工作原理

船载卫星电视自动跟踪系统,主要由处理器、控制器、姿态传感器、执行机构、卫星电视调谐器及天馈设备组成,如图 1 所示。本文是采用了微机械惯性陀螺稳定条件下的带有圆锥扫描的位置自动跟踪方式。

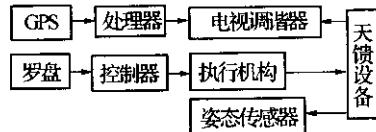


图 1 船载卫星电视自动跟踪系统组成框图

系统工作时,首先由数字罗盘和陀螺(即天线姿态传感器)产生船体和天线的姿态信号,然后由控制器定时采入,经纠偏处理后与圆锥扫描产生的方位、俯仰角误差信号做融合运算,从而形成方位、俯仰、横滚角度控制信号,并实时地给出驱动输出信号,最终控制天线保持准确地指向通信卫星。

1.1 处理器

处理器实现用户界面(参数及工作方式设定,状态显示等),通过接受 GPS 信号获得船所在位置经、纬度信息,然后计算出跟踪天线指向指定卫星的大方位、俯仰角度数据。通过串行接口,处理器将这些数据及工作方式一起送给控制器。它主要由 Cypress 公司推出的高性能 C8051F020 单片机构成,与 8051 兼容,具有速度快、ADC 输入口多、采样速率高、片内存储空间大、C 语言编程、调试方便、片内支持 JTAG 调试功能等优点。

1.2 控制器

控制器也由上述的 C8051F020 单片机构成。通过圆锥扫描,控制器采样 AGC(卫星电视场强信号),产生方位及俯仰误差数据,并采样罗盘、陀螺数据,经三轴位置回路校正,输出控制信号给执行机构。

1.3 执行机构

在许多类似的跟踪系统中,常采用直流有刷伺服电机驱动方式,需有精确的位置传感器及烦琐的回路校正设计,因而使得系统复杂、体积庞大、故障率高。系统对此进行了改进设计,选择了能满足系统速度和加速度要求的混合式步进电机作为伺服系统的执行机构,采用了 ASIC 芯片驱动、单极性控制方式。该驱动系统结构简单、体积小巧、价格便宜、性能可靠。

1.4 传感器

本文传感器包括一个用于建立空间水平坐标系的电子罗盘和三个传感天线姿态的陀螺。由于系统采用了先由数字引导,后转螺旋搜索,再由圆锥扫描产生方位、俯仰误差和陀螺感应天线姿态变化进行融合跟踪的工作方式,从而得以选用精度一般但价格低廉的电子罗盘和微硅陀螺。由于传感器是整个系统中的关键部件,所以这就使得系统实现低成本成为可能。其传感器安装如图 2 所示,电子罗盘与俯仰轴同轴安装。

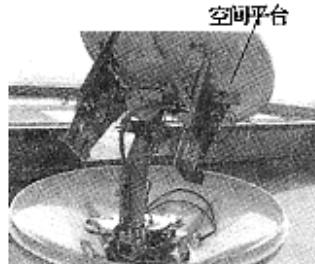


图 2 传感器安装图

1.5 卫星电视调谐器

通过与天线上的馈源直连的高频头,将 Ku 波段的电视信号下变频成 L 波段信号送入调谐器,调谐器内置锁相环,由 I2C 总线接受处理器频率选定信号,输出正比于卫星电视场强的 AGC 信号,提供天线伺服系统做位置误差闭环。

1.6 工作原理

新型卫星稳定跟踪系统采用捷联式的有源稳定跟踪平台。它把用于驱动天线跟踪卫星的伺服机构和隔离船摇的伺服机构融为一体,通过响应速度快的惯性器件陀螺敏感船摇引起的天线空间位置的变化,积分计算得出船摇补偿角,利用天线本身的伺服机构改变天线指向来隔离船摇,从而构成一个数字平台^[1]。平

台的特点是响应速度快,隔离比高,体积小、重量轻。该平台坐标系建立在一个与当地大地水平的空间平台上,如图 3 所示。通过在空间平台上安装了一台电子罗盘以敏感空间平台的水平倾角,X 向和天线的俯仰轴直连,由横滚轴电机驱动保持水平,Y 向由一单独的步进电机驱动,共用俯仰轴陀螺积分计算得出船摇引起的 Y 向倾角,控制器控制步进电机使其快速恢复水平状态。因此,系统初始化后空间平台始终保持水平,并随天线方位旋转在空间水平面内旋转运动。以此空间平台为坐标基准建立的坐标系为当地大地水平坐标系。天线的伺服机构由方位轴、俯仰轴和横滚轴 3 个旋转轴构成,方位轴与甲板垂直,能克服船体的艏摇。俯仰轴与横滚轴垂直构成的数字平台,能克服船体纵摇和横摇^[2]。3 个轴均由步进电机驱动,通过减速齿轮和齿形带带动天线运动。

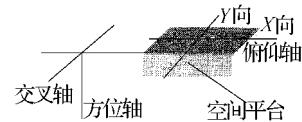


图 3 天线坐标示意图

方位陀螺安装在空间平台上,传感天线方位在大地坐标系中的转角速率变化;俯仰陀螺安装在俯仰轴上,俯仰轴由系统控制横滚轴电机始终保持其水平。则俯仰陀螺也传感船体纵摇在大地坐标系中的转角速率变化,横滚轴陀螺则安装在天线方位轴上,敏感船体横摇的速率变化。

1.6.1 引导工作方式

系统开机初始化后,首先进行选星,然后自动进入引导工作方式。处理器采集 GPS 信号,得到船所在位置经纬度参数(A, P),通过公式(1)计算出船所在位置跟踪天线指向指定卫星的大地坐标方位角(A_z)和俯仰角(El)数值,其中 ϕ 为船所在位置经度(度)^[3]。

$$A_z = 180^\circ + \sin^{-1} \left[\frac{\sin(A - \Phi)}{\sqrt{1 - \cos^2(A - \Phi) \cos^2 \Phi}} \right]$$

$$El = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\cos(A - \Phi) \cos \Phi - 0.15}{\sqrt{1 - \cos^2(A - \Phi) \cos^2 \Phi}} \right] \quad (1)$$

初始化时,系统将天线俯仰轴和空间平台的 Y 轴都驱动到极限位置通过机械方法将两轴保持一致,同时驱动各自的电机至水平状态,以此方法校正了天线俯仰零位,然后天线俯仰独立地按控制要求运动,利用步进电机的角度步进可控性,通过计算机内部计数确定当前俯仰角位值。安装在空间平台上的电子罗盘输出的航向角始终是天线在大地坐标系中的方位角。这

样就获得了天线方位、俯仰的大地坐标数据。由于天线以大地水平坐标系平台为参考建立的大地坐标系，所以避免了坐标变换。图3为引导工作方式下控制系统的原理图。处理器将计算出跟踪天线指向选定卫星时的大地坐标方位(A_z)和俯仰角(El)数据，作为数字引导值，传送给控制器。控制器同时采集罗盘数据，获得天线方位位置量，计算出方位位置误差，校正后输出控制方位电机运动。控制器定时采样俯仰轴和横滚轴陀螺数据，经速率积分获得船摇补偿角度信号，与俯仰和横滚位置引导值、电机步进角度值融合形成位置误差，经位置误差校正后驱动步进电机带动天线在自稳定的同时指向选定卫星。由于惯性姿态测量元件精度因素，天线不能立即精确指向卫星。在粗引导到位后，采用螺旋式搜索直到场强AGC信号达到预设门限值，即转入信号跟踪自稳定工作方式。

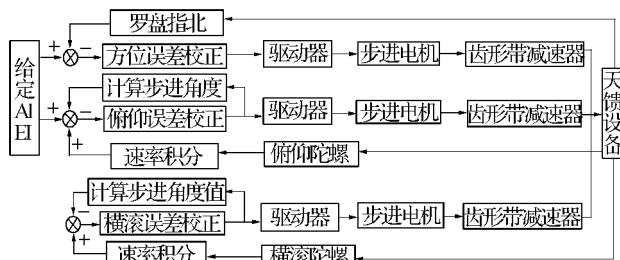


图4 引导工作方式控制系统框图

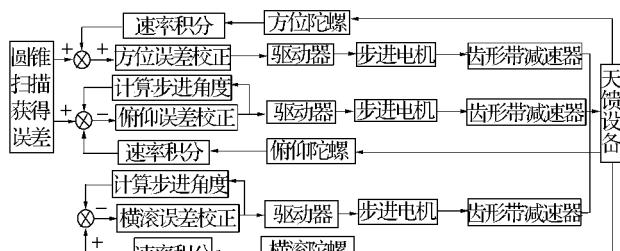


图5 跟踪工作方式控制系统图

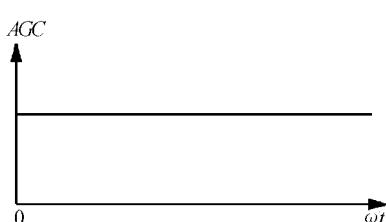


图6 天线精确指向卫时场强AGC信号

1.6.2 跟踪工作方式

本文系统采用圆锥扫描的自动跟踪工作方式，即馈源不是安装在抛物面天线的焦点上而是偏开一个小角度。馈源在电机驱动下，以恒定的转速围绕天线的轴线旋转。如果天线中心轴精确指向卫星，则反馈的

场强AGC信号为一等幅信号，如图6所示；如果天线中心轴偏离卫星（但在天线波束内），则反馈的场强AGC信号作周期性变化，如图7所示。AGC信号的这种周期性改变近似呈正弦规律，其频率为馈源围绕天线旋转的频率^[4]。

如果系统在方位的零位和180°位通过A/D采集AGC信号，则其差值就反映了天线中心轴在方位上偏离卫星的角度误差比例值；而在90°和270°位置，则其差值反映了天线中心轴在俯仰上偏离卫星的角度误差比例值^[5]。

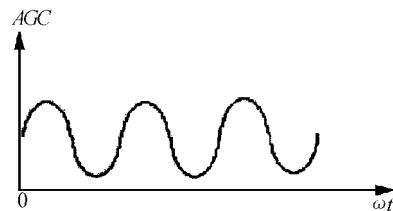


图7 天线偏离卫星时场强AGC信号

由图5可观察到，将数字引导形成误差转化成跟踪误差后，其控制系统工作方式基本同引导方式，仅仅是方位位置反馈信号由方位陀螺积分替代。控制系统工作后使天线精确指向卫星。

2 结 论

实验表明，基于圆锥扫描工作方式的自动跟踪卫星电视接收系统，能够高性能稳定而可靠地工作，满足船用条件下的各种性能要求。在采用了廉价的微机械惯性传感器后，提高了该系统的性价比，使之更具市场潜力。

参 考 文 献

- 解思梅,郝春江,邹斌,等.新型船载气象卫星接收系统.海洋学报,2000,22(7):31~39
- 肖万选.几种稳定平台驱动系统的传动形式.舰船电子对抗,2000(5):33~36
- 赵会平.移动接收卫星电视的天线自动跟踪系统.西部广播电视台,2002(3):3~7~3~10
- 李连升.雷达伺服系统.北京:国防工业出版社,1983
- 汤铭.动中通伺服系统的设计.现代雷达,2003,25(4):51~54

邹丽娟 女,1962年生,学士,高级工程师,1984年毕业于电子科技大学。主要研究方向为雷达伺服系统。

黄建国 男,1973年生,硕士,工程师,1997年毕业于东南大学。主要研究方向为雷达伺服系统。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>