

文章编号: 1672-2892(2012)05-0534-05

“动中通” 卫星通信设备软件设计

唐黎江

(中国电子科技集团 第 38 研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 介绍了“动中通”高精度卫星跟踪技术和天线的控制技术, 为了保证系统在移动平台上完成卫星通信, 采用了开环跟踪与双闭环校正的控制算法。通过监控处理完成跟踪算法任务处理, 软件系统采用 vxWorks 实时操作系统为平台, 保证了跟踪的高实时性; 显控处理软件采用图形图标控件(NI 控件)技术, 实时显示系统的状态和故障信息; 伺服处理软件完成天线角度的控制, 保证实时响应。实现了“动中通”卫星通信设备在运动平台上的高可靠通信, 满足“动中通”卫星通信设备跟踪锁定和通信的要求

关键词: “动中通”; 监控处理; 伺服处理; 波控处理; 跟踪; 波束角

中图分类号: TN306; TP399

文献标识码: A

Software design of “Satcom on the Move” satellite communication device

TANG Li-jiang

(The 38th Research Institute of CETC, Hefei Anhui 230031, China)

Abstract: Based on the composition of “Satcom on the Move” satellite communication device, high precision satellite tracking technology and antenna control technology are introduced. The process of software realization for “Satcom on the Move” satellite communication device is proposed, and then the specific design is introduced. The software of “Satcom on the Move” includes monitor & control process software, display & control process software and servo control process software. Monitor & control process mainly completes the tracking algorithm, and the software system adopts the vxWorks real-time operating system as a platform to ensure high real-time performance during the track; display & control process software employs graphical icons control(NI control) technology to display the system status and fault information in real-time; and servo & control process software controls the antenna angles to ensure real-time response. Open-loop control algorithm for tracking and double close-loop correction are used to ensure the communication of the system on a mobile platform, and the high reliable communication of “Satcom on the Move” is realized.

Key words: Satcom on the Move; monitor & control process; servo control node; beam control node; tracking; beam angle

“动中通”是指基于同步轨道卫星移动通信, 安装平台主要为汽车、轮船、飞机等移动载体, 在运动状态下也能进行通信的技术。该技术的核心是稳定技术和跟踪技术。稳定技术主要是隔离载体运动造成的干扰, 使被控对象(天线)相对惯性空间指向保持稳定。跟踪技术是指被控对象稳定后, 由于稳定元件的漂移、跟踪对象的位置缓慢偏移等原因, 使被控对象指向改变, 必须实时跟踪信号, 校正其指向。“动中通”技术集惯性导航技术、数据采集及信号处理技术、精密机械设计技术、伺服控制技术和卫星通信技术等多项技术于一身, 是以机电一体化、自动控制技术为主体, 多个学科有机结合的产物^[1]。“动中通”卫星通信设备主要用于车辆、舰船和飞机等运动载体上, 可广泛应用于高速率卫星通信、新闻采集、远程教育、卫星会议、公安执勤、抢险救灾、应急指挥等领域, 尤其适用于各种军事通信^[2]。

1 技术背景及主要任务

“动中通”系统为了满足卫星通信入网要求，在系统设计时严格限制了波束宽带，波束宽带约为 1.2° (如卫星天线指向波束中心位置时，当天线偏移中心位置 0.6° 时，增益减少 3 dB，此时跟踪丢失)；另外，“动中通”安装在汽车、船舶等载体平台上，由于载体平台的运动会引起 2 方面的干扰：a) 载体的角运动干扰；b) 载体长距离的线运动干扰。上述干扰对天线指向带来的直接结果：轻微扰动就可能使卫星天线指向偏离天线波束范围内，导致跟踪丢失。因此如何保证“动中通”系统在无序运动的载体平台上实时跟踪锁定是系统的重点和难点。

2 “动中通”卫星通信设备组成

“动中通”卫星通信设备的组成见图 1。主要由显控处理 (Display & Control Process, DCP, 即人机交互界面) 分系统、监控处理 (Measure & Control Process, MCP, 即完成传感器数据采集和跟踪控制功能) 分系统、波控 (Beam Control Node, BCN, 即实现波束角的控制) 分系统、伺服控制 (Sevor Control Node, SCN, 即实现天线的控制) 分系统、收发信道分系统、有源相控阵天线分系统、业务分系统 (采用低压差分信号传输, Low Voltage Differential Signaling, 即 LVDS 技术) 和电源等组成。

显控处理分系统由显控计算机和显控处理软件组成，主要完成系统状态和故障的显示，提供人机交互接口，响应人工干预命令。

监控处理分系统是“动中通”卫星通信设备的核心分系统之一，主要是采集传感器的数据 (惯导、三轴陀螺)，根据坐标变换公式计算确定天线指向的大致范围 (包括天线方位、俯仰、波束指向)，根据三轴陀螺采集的数据预测天线在下一时刻的运动趋势，完成第 1 次闭环控制；再根据采集的信号强度完成第 2 次闭环控制。一方面，它完成天线位置的计算，并向伺服控制分系统发送控制指令；另一方面，它完成波束指向角的计算，并向波控分系统发送控制指令。

波控分系统主要完成波束的打码和控制功能。

伺服控制分系统完成天线方位和俯仰的控制功能。

收发信道分系统包括接收信道和发射信道，对卫星下传的的信标信号和指令信号的接收，解调指令信号，同时将待发送的各种数据进行预处理，编码调制，上变频到相应的工作频段，形成激励信号送馈线网络，通过功率放大和天线传输到卫星。

3 系统软件设计

“动中通”卫星通信设备主要是保证天线位置始终对准卫星，波束指向角指向正确，因此可以看出系统软件设计工作主要集中在监控软件的设计上。

3.1 软件体系结构及模块划分

根据系统布局及计算机硬件平台不同，整个系统可分为监控处理软件、显控处理软件、伺服处理软件共 3 个模块，见图 2^[3]。其中监控处理软件是整个动中通系统的核心部件，是系统的“大脑”，完成计算处理、发送控制命令的唯一部件。伺服处理软件响应速度的快慢对系统的跟踪效果有举足轻重的作用。它是一

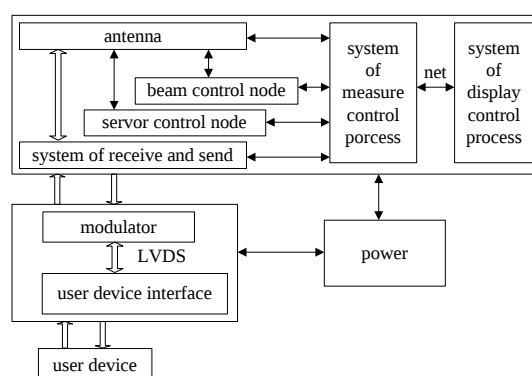


Fig.1 Configuration of “Satcom on the Move” satellite communication device

图 1 “动中通”卫星通信设备组成

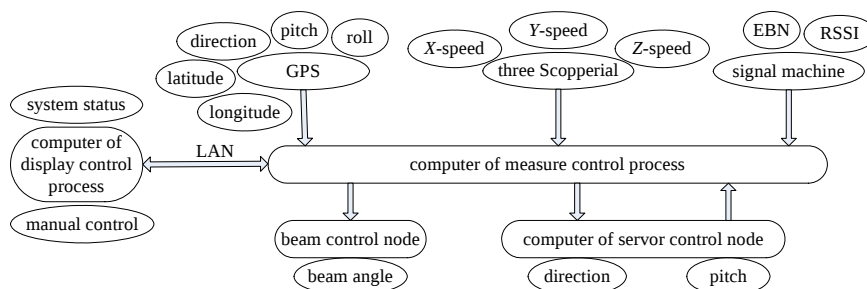


Fig.2 Software configuration of “Satcom on the Move”

图 2 “动中通”软件系统组成

个“全职”的执行者,接收来自监控处理计算机发送的控制命令,完成对天线方位和俯仰的控制。显控处理软件主要用于系统全机状态的显示,并提供人机接口完成系统参数的配置功能。波控处理由硬件编程语言编写,仅需完成移相器的打码。

由于“动中通”系统对实时性和快速性要求很高,采用了高实时性的操作系统和硬件配置较高的计算机模块。监控处理软件采用 vxWorks 操作系统,合理完成板级支持包(Board Support Package, BSP)的定制。BSP 主要用于在操作系统、上层应用程序与底层硬件之间提供访问接口,使应用程序能够更好地运行于硬件主板。监控处理计算机选择的是基于 PC104 总线的 MSM900XEV,存储介质为 512 MB 的 CF 卡(Compact Flash Card)。选择支持该处理器架构 BSP 后,根据需要修改 config.h,改变缺省配置,主要包括内存配置、启动设备及参数配置、外围设备驱动及参数配置、文件系统配置等^[4]。

显控处理设计原则是:控制操作方便、友好;状态显示直观易懂;信息表示层次清晰,主次分明。为此,显控软件以 Visual C++6.0 和 NI 控件技术来表示系统的各个状态参数和故障信息。

伺服处理软件采用 80C196 单片机和 WAVE6000 开发环境,一方面实时采集天线的实际位置信息,另一方面接收监控处理计算机发送的位置控制信息,快速准确地完成定位。

3.2 软件数据流程

软件数据流程见图 3。显控处理软件响应人工干预命令,并通过网络向监控处理软件发送。监控处理软件收到命令后,一方面解析并响应命令数据,另一方面向显控处理软件发送应答命令,表示已经正确收到控制命令。若监控处理接收的命令是对监控处理参数设置、模式切换、天线校正等进行控制时,监控处理软件直接响应该命令;若监控处理接收的命令是对波束进行控制,则直接通过串口向波控处理硬件发送命令;若监控处理接收的命令是对伺服处理的控制,则直接通过串口向伺服处理发送命令。

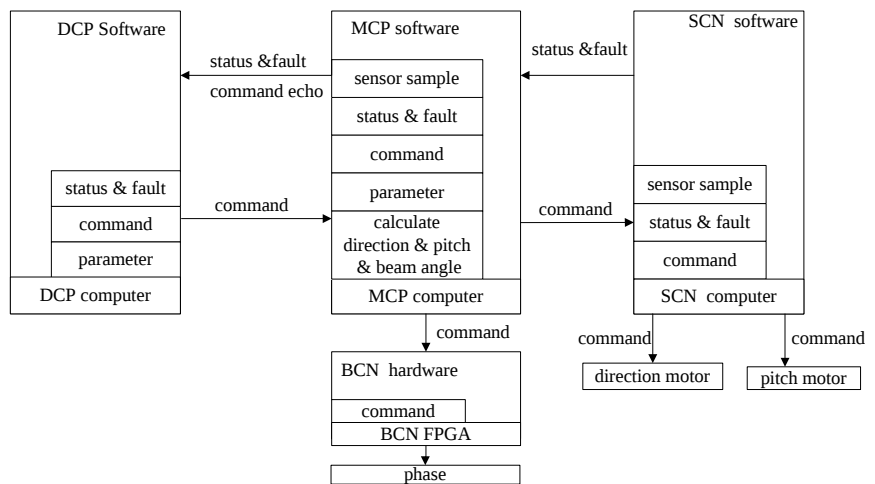


Fig.3 Data flow of “Satcom on the Move”

图3 “动中通”数据流程图

若在自动跟踪模式下,监控处理根据传感器数据(包括差分惯导数据、三轴陀螺数据、信标机数据)实时计算天线应指向的位置,并实时向伺服处理发送天线方位控制指令,向波控处理硬件发送波束控制命令。

4 开环跟踪与双闭环校正

“动中通”系统跟踪的持续性、可靠性和跟踪丢失后的快速恢复性是系统设计的重点和难点,在设计时采用了开环跟踪与双闭环校正相结合,见图 4^[5]。

开环跟踪是指利用惯导采集的经度、纬度、方位、俯仰、横滚和被跟踪卫星经纬度信息经过坐标变换,计算卫星天线应指向的方位和俯仰、波束指向角;双闭环校正是指速度闭环校正和信标机闭环校正。

下面详细介绍开环跟踪的计算过程。首先根据卫星的经纬度和当前载体的经纬度和高度,计算出

天线在地理坐标系下的方位和俯仰角。天线安装在载体上,只能以载体坐标系为基准,控制天线运动。为了保持天线波束指向稳定,在控制天线运动前,必须进行坐标转换,求得在载体坐标系下的天线控制角度。

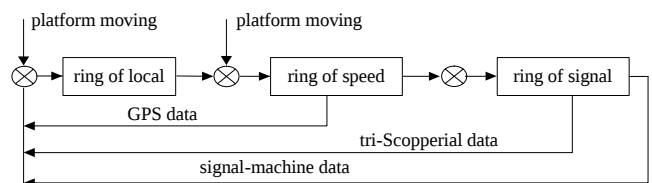


Fig.4 Principle of tracking

图4 跟踪实现原理

在地理坐标系中, 天线波束指向应与单位矢量 $[\mathbf{u}]$ 重合^[6]:

$$[\mathbf{u}] = \begin{bmatrix} \sin \alpha \cos \psi \\ \cos \alpha \cos \psi \\ \sin \psi \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: α 为天线方位角; ψ 为天线俯仰角。

一般情况下, 地理坐标系和载体坐标系的轴线是不重合的, 将单位矢量 $[\mathbf{u}]$ 转换到载体坐标系有:

$$[\mathbf{u}]_b = [\theta_t \ \psi_t \ \alpha_t][\mathbf{u}] = [\theta_t][\psi_t][\alpha_t][\mathbf{u}] \quad (2)$$

式中: α_t, ψ_t 和 θ_t 分别为载体的方位角、俯仰角和横滚角; $[\alpha_t], [\psi_t]$ 和 $[\theta_t]$ 均为 3×3 坐标旋转矩阵, 如下:

$$[\theta_t] = \begin{bmatrix} \cos \theta_t & 0 & -\sin \theta_t \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_t & 0 & \cos \theta_t \end{bmatrix}, [\psi_t] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_t & \sin \psi_t \\ 0 & -\sin \psi_t & \cos \psi_t \end{bmatrix}, [\alpha_t] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_t & -\sin \alpha_t & 0 \\ \sin \alpha_t & \cos \alpha_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。所以, 在载体坐标系中 $[\mathbf{u}]_b$ 为:$$

$$[\mathbf{u}]_b = \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_t & 0 & -\sin \theta_t \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_t & 0 & \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi_t & \sin \psi_t \\ 0 & -\sin \psi_t & \cos \psi_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha_t & -\sin \alpha_t & 0 \\ \sin \alpha_t & \cos \alpha_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \alpha \cos \psi \\ \cos \alpha \cos \psi \\ \sin \psi \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$X_b = \cos \psi [\cos \theta_t \sin(\alpha - \alpha_t) + \sin \theta_t \sin \psi_t \cos(\alpha - \alpha_t)] - \sin \psi \sin \theta_t \cos \psi_t$$

$$\text{式中: } Y_b = \cos \psi \cos \psi_t \cos(\alpha - \alpha_t) + \sin \psi \sin \psi_t$$

$$Z_b = \cos \psi [\sin \theta_t \sin(\alpha - \alpha_t) - \cos \theta_t \sin \psi_t \cos(\alpha - \alpha_t)] + \sin \psi \cos \theta_t \cos \psi_t$$

可以求得天线在载体坐标中的方位角 α_b 和俯仰角 ψ_b 分别为: $\alpha_b = \arctan \frac{X_b}{Y_b}$ 和 $\psi_b = \arcsin Z_b$ 。

控制伺服平台的方位角 α_b 和俯仰角 ψ_b 使天线法线指向与单位矢量 $\mathbf{u}$ 重合, 即完成了角运动补偿功能(其中俯仰角度的控制是通过波控分系统实现)。

5 试验分析

系统根据信标机采集的信噪比信息判断系统跟踪性能的好坏。信标机的信噪比范围为 $[0, 15]$, 当信噪比 ≥ 12 时, 系统实现跟踪锁定, 可完成卫星通信。“动中通”在运动平台上的运动轨迹对跟踪效果影响很大。当“动中通”运动平台处于直线运行轨迹时, 跟踪系统搜索范围最小, 跟踪简单; 当“动中通”运动平台处于连续不规则运动轨迹时, 跟踪复杂。为了验证本系统的跟踪效果, “动中通”运动平台在原地转圈运动, 图 5 为系统的跟踪效果图(其中: x 轴为时间索引, y 轴为信噪比强度, 时间索引单位为 0.05 s), 平台运行速度为 15 km/h 。若平台按直线运行, 系统会一直处于跟踪锁定态。

由图 5 可以看出, 在运动平台上, 虽然“动中通”系统会出现跟踪丢失现象, 但系统很快完成了重新搜星并跟踪锁定。重新捕获时间短, 跟踪可靠性高。

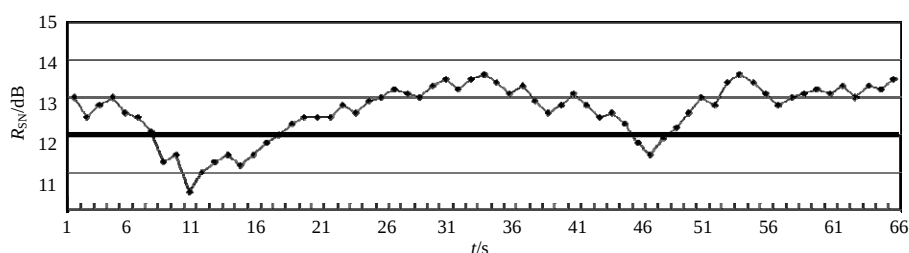


Fig.5 Curve of real time tracking
图 5 实时跟踪曲线

6 结论

采用开环跟踪与双闭环校正能消除载体运动带来的扰动, 起到良好的稳定平台作用。本文介绍了“动中通”卫星通信设备系统的组成, 并对跟踪算法和过程进行了详细介绍。实际跟踪效果良好, 在半个多小时的试验中, 系统基本上都处于跟踪锁定状态, 即使在遇到遮挡、剧烈颠簸等外在因素导致信号丢失的情况下, 当扰动因素消失时, 系统也能很快跟踪锁定, 完成卫星通信, 已经达到了很好的跟踪效果。

(下转第 565 页)