

船载测控雷达高频接收机无人值守功能的设计

何 谦, 燕 楠, 燕 帅

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘要: 随着我国航天测控事业的发展, 在轨航天飞行器数量逐年增加, 陆地测控站已经由原来的人工操作模式过渡到自动化运行模式; 但是在日常工作中, 船载 S 频段测控雷达高频接收机仍需频繁借助人工进行本地开关机, 并且在跟踪飞行目标过程中需要人工进行现场识别并设置信号工作频点, 存在时效性差和工作效率低的问题; 为解决此问题, 设计一种设备远程加去电、飞行目标极化判断和频点自动识别设置系统; 该系统采取非侵入式, 可在常态化任务和海上测控任务中进行灵活切换, 不影响系统原有工作方式; 该系统基于 LabWindows/CVI 环境平台控制网络继电器和频谱仪实现了高频接收机的远程加去电、目标信号自动搜索捕获和跟踪旋向和点频设置, 提高了船载测控站完成常态化任务的时效性和可靠性。

关键词: 船载测控雷达; 网络继电器; NPORT; 无人值守技术; 自动化

Design of the Unattended Function for RF Receiver of Ship-borne TT&C Radar

HE Qian, YAN Nan, YAN Shuai

(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431, China)

Abstract: With the development of China's aerospace industry, the number of in orbit spacecraft has been increasing year by year, working mode has been transmitted from manual operation to automated operation for land measurement and control station. It needs to turn on or turn off by manual work for HF receiver of Ship-borne TT&C S-band radar in daily work. Also it needs to identify and set signal frequency point locally in tracking spacecraft which resulted in the shortcoming of timeliness and work efficiency low. In order to solve the problem, a design is given by this paper about a remote device for powering on/off and polarization judgment of flight targets, as well as an automatic frequency identification system. The system is non-invasive. It can switch flexibly between normalized tasks and maritime measurement and control and does not affect the original working mode of the system. It is developed based on LabWindows/CVI platform, which realize the function of remote electric, acquire and set signal frequency point automatically by controlling network relay and spectrum analyzer. The result shows that the system improves the timeliness and reliability of Ship-borne TT&C station in daily work.

Keywords: ship-borne TT&C radar; network relay; NPORT; unattended technology; automated

0 引言

随着我国航天测控事业的发展, 在轨航天飞行器数量逐年增加, 陆地测控站的运行模式由原来的人工操作为主的模式过渡到自动化运行的无人值守模式^[1-2]。国内其它领域特别是电力系统变电站领域开展了较多类似的无人值守技术研究, 邢毓华等人^[3]针对太阳能充电站中设备巡检和故障维修效率低下的问题, 采用云服务器、ZigBee、GPRS 等信息技术设计了无人值守太阳能充电站设备管理系统。田耕等人^[4]开发了一种用于脉冲辐射场测量的分布式无人值守测试系统, 该系统利用 VNC 技术实现了基于 LAN 的网络计算机状态监视和控制, 并利用 NTP 技术实现了测试系统时钟同步。易琳等人^[5]针对智能变电站的无人值守需求及现有故障诊断系统的不足, 提出一种电力设备音频监测及故障诊断系统。孙维锴^[6]设计了基于 LabView 平台软件实现的无人值守船舶机舱报警监控系统, 提高了船舶机

舱监控自动化水平。通过查阅相关资料, 发现国内对于船载测控站无人值守方面的研究较少。

船载测控站因其工作环境的特殊性, 各个测控设备分布在船舶的不同位置且控制对象特点各异, 跟踪测控的可靠性要求较高, 虽然高频接收机已经实现了系统监控台远程监视和参数控制的功能, 但缺乏设备远程加去电功能、飞行目标极化判断和下行频点的自动识别设置功能, 日常工作开始前和结束后需要工作人员进行本地手动加去电, 工作过程中需要人员现场识别信号极化旋向和工作点频并进行手动设置, 不仅占用劳动资源, 而且与测控设备运行管理的自动化要求也不相适应。

为了高效开展各种跟踪试验, 降低工作人员劳动强度, 提升船载测控站无人值守自动化运行管理水平, 本文利用测量船原有内部网络实现了高频接收机工作插箱的远程加去电和频谱仪的远程控制, 并实现了飞行目标信号旋向及

收稿日期: 2023-10-17; 修回日期: 2023-11-24。

作者简介: 何 谦(1978-), 男, 大学本科, 高级工程师。

引用格式: 何 谦, 燕 楠, 燕 帅. 船载测控雷达高频接收机无人值守功能的设计[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(10): 163-168.

下行频点的自动识别、频谱信号的记录与系统跟踪频点的自动设置功能，克服了传统操作方式带来的不足，加快了船载测控站无人值守功能的建设。

1 系统总体设计

船载 S 频段测控雷达高频接收机为双通道单脉冲体制，包括低噪声放大器 (LNA, low noise amplifier) 和下变频器 (D/C, down/converter) 等设备，能够满足卫星左旋/右旋信号的和路/差路信号的同时接收放大。高频箱为微波器件提供温度相对恒定的环境，以确保和、差通道的幅相一致性。中心体监控及电源插箱为高频箱提供直流和状态监控，并通过 RS-422 的方式上报给下行开关控制插箱。本振插箱分别提供一本振和二本振信号，进行选通切换放大后经过高频滑环送至高频箱。下变频器将射频信号经过两次本振混频为中频信号，所以通过修改一本振频点使测控雷达能够自适应当前跟踪目标的工作频点信息。分析常态化工作任务特点，高频接收机采用 8 个插箱工作，能够满足日常工作要求，其连接如图 1 所示。其中滑环左边设备位于天线中心体内部，滑环右边设备位于测量船机房内部。

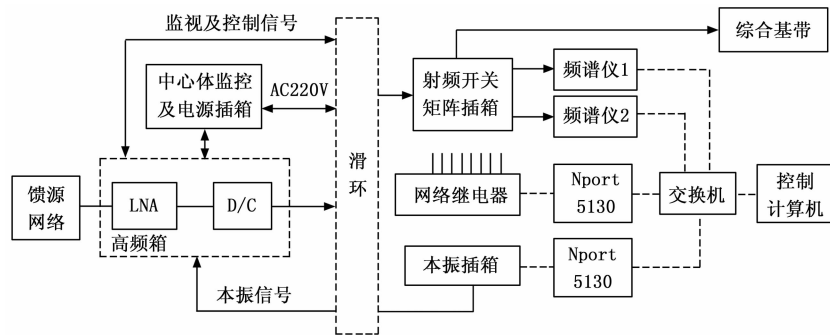


图 1 硬件系统连接框图

系统设计是利用控制计算机发送命令，通过串口转换设备控制网络继电器工作。常态化工作模式的 8 个插箱电源按键设置为常开状态，电源线接入网络继电器，继电器开关的吸合或断开就可实现插箱的加去电操作。利用控制计算机发送命令，实现对频谱仪的远程操作和本振插箱工作频点的设置。预先标定两台频谱仪的底噪，频谱仪 1 和频谱仪 2 分别接收射频开关矩阵的左、右旋向信号，频谱仪根据软件命令启动峰值自动搜索标记功能，先在宽频带发现信号，然后进行窄带分析，当搜索到的相关峰值大于预设阈值时实现目标频点的自动识别，然后再将识别出的频点发送给本振插箱，辅助系统完成目标捕获跟踪。

LabWindows/CVI 是 NI 公司推出的交互式 C 语言软件开发平台，拥有功能强大的图形显示控件和面向仪器与测控过程的交互式事件驱动与回调函数，具有控制功能强大、实时性强和容易编程的特点^[7-8]。因此，系统选用 LabWindows/CVI 作为软件开发环境。

2 硬件平台构建

系统硬件主要由位于高频接收机房的频谱仪、网络继

电器、本振插箱以及用于协议转换的 Nport 设备联网模块以及位于主控机房的远程控制计算机等组成。频谱仪接收高频接收机工作频段范围内的射频信号，计算载波和噪声电平值，对信号频谱进行分析显示，实现对工作频段内所有载波的监测^[9-12]。系统采用 AgilentE4443A 频谱仪作为信号监测仪器，该型号频谱仪带有 LAN 接口，在联网前需要设置其网络参数，包括局域网内 IP 地址、网关和子网掩码等。采用交换机将控制计算机和所有硬件连接在同一个局域网内实现网络通信。

2.1 网络继电器选型及连接

网络继电器是设备远程加去电控制系统的重要组成部分，能够按照指定命令完成继电器开关的吸合或断开。它是一种远程控制的智能化开关，是继电器有源输出信号转为 TCP/IP 网络传输的工业数据采集模块，支持多个开关量模块在 TCP/IP 网络内连接，模块的 IP 地址和端口、串口波特率等参数可以设置。采用 ModbusRTU 协议格式进行数据交换，能够轻易接入基于 ModbusRTU 协议通信的 TCP/IP 网络，通过软件编程和网络传输实现远程控制。

为满足高频接收机最小工作模式需要，同时兼顾各个插箱的工作电流及功率要求，选择有人公司 USR-IO808-CAT1 型号的网络继电器^[13]，该款产品是一种支持 8IN-8OUT 的网络 IO 产品，支持 Modbus RTU/TCP 协议，可以方便快捷集成于系统中，实现基于 CAT1 网络的远程控制。该产品有 8 路输出接线方式，该输出电路采用一组转换继电器，输出节点分为常开 (NOx-COMx) / 常闭 (NCx-COMx) 两种接法，本系统选择常开方式。为防止多个插箱在同时加电瞬间出现电涌现象造成对设备的损坏，确保负载的最大启停电流应在继电器的承载范围内，所以将每个插箱电源单独接入继电器开关进行使用，在远程操作时采用逐个插箱分别加去电。网络继电器在高频接收机的具体连接方法如图 2 所示。

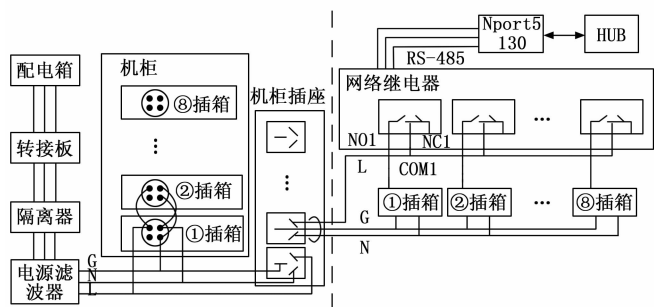


图 2 网络继电器连接图

高频接收机各插箱经过电源滤波器后分为机柜取电和插座取电两种模式，任务模式为机柜取电，满足测控任务高可靠性要求，见图 2 虚线左边。日常工作模式插座取电，满足设备远程开关机需要，见图 2 虚线右边。两者模式切

换时只需要将插箱后端电源线互换即可。在不改变原有机柜取电模式的情况下, 增加机柜插座取电模式, 实现了非侵入式的远程加去电功能的增加。

2.2 NPORT 选型

系统内网络继电器具有 RS-485 串口, 本振插箱具有 RS-422 串口, 这些远程监控模块相互连接形成控制网络, 其通信总线就是 RS-485/RS-422 总线。MOXA Nport Express 设备联网服务器是它们进行总线协议转换的工具, 通过网络浏览器就可以对 Nport 的 IP 地址、端口号、工作协议等参数进行配置保存, 通过软件编程就可以实现上述模块联网。

Nport5130 具有多种协议转换功能, 可以将 RS-485/RS-422 转换成 ICMP、TCP、IP、HTTP 等协议。其工作模式包括虚拟串口模式、TCP 服务器或客户端模式、UDP 服务器或客户端模式等^[14-16]。其结构上有两个端口, 一个是标准 RS422/485 格式的串行端口, 远程监控模块通过串行控制总线接入此类端口; 另一个是 RJ45 以太网口, 通过网线将 Nport 接入局域网的交换机等设备中, 控制计算机可对远程监控模块进行运行数据采集及实时监视。系统中 Nport5130 设置为 UDP 客户端模式, 将网络继电器、本振插箱的 RS-485/RS-422 串口协议转换成 UDP/IP 协议后实现与控制计算机数据的远距离网络传输。

3 数据命令传输

控制计算机与 Nport5130 的远程连接, 使用平台软件中函数 CreateUDPChannelConfig() 或 DisposeUDPChannel() 实现创建或释放 UDP 连接通道, 使用函数 UDPWrite() 或 UDPRead() 实现 UDP 通道发送或读取数据。控制计算机将数据进行打包发送到局域网上, 根据 UDP 数据包的包头数据寻找局域网上的 Nport 模块的通讯端口号, 待寻找到需要的串行通讯端口号时, Nport 串口服务器将数据进行解包还原给网络继电器或本振插箱, 这些设备收到控制数据指令后, 开始控制继电器的断开、吸合或修改本振插箱工作频点, 并将其运行数据通过串行通讯端口传送给 Nport 模块, Nport 模块将接收到的设备运行数据进行封装、转化成 UDP 格式的数据流, 根据控制主机的 IP 地址进行搜寻, 找到请求控制主机后, 就将数据流传送给控制主机处理, 完成一次命令发送和响应活动。

3.1 网络继电器帧结构

系统通讯主要是由控制计算机根据需要向网络继电器发送闭合或断开数据帧, 数据帧传送到网络继电器进行处理, 然后将返回数据帧传送到控制计算机进行显示。网络继电器数据请求格式遵循通用 Modbus 帧格式, 可解析 Modbus RTU 协议并进行相关寄存器的操作。该协议允许控制计算机和从机终端设备之间通讯, 而不允许独立的终端设备之间的数据交换, 这样各终端设备不会在初始化时占据通讯线路, 而仅限于响应到达本机的查询信号。

主机发送命令帧包括从机地址码、功能代码、起始地址码、数据信息码、CRC 校验码等, 其中地址码表明要选

中的查询设备, 功能码告知被选中的从机设备要执行何种功能, 校验码用来检验一帧信息的正确性。而从机如果接收到发送命令帧就会产生正常的应答帧, 应答帧与发送帧命令相同, 其中数据信息码则包含了从设备收集到的寄存器数据值或当前状态。根据报文格式指令设计要求, 闭合第一路继电器的数据帧命令结构见表 1, 其中 0x05 功能码为写单个线圈功能寄存器。若第一路继电器闭合成功, 则返回相同数据帧。

表 1 闭合第一路继电器的数据帧结构

从机地址	功能码	起始地址高位	起始地址低位	数据高位	数据低位	CRC 高位	CRC 低位
11	05	00	00	FF	00	8E	AA

3.2 本振插箱帧结构

控制计算机向本振插箱发出的命令包括状态定时查询命令和参数状态控制命令。状态定时查询命令主要是定时查询设备的工作参数及设备运行状态, 参数状态控制命令主要是根据用户操作产生的控制命令信息。本振插箱接收到控制命令信息后, 在执行命令的同时发送控制命令响应信息, 上报插箱工作参数或设备状态。工作频点精确到 Hz, 然后经过数制转换为十六进制, 共 8 个字节信息, 低 2 字节在前, 高 2 字节在后的方式嵌入到参数状态控制命令对应的 UDP 数据流中。参数状态控制命令的数据帧结构见表 2。

表 2 参数状态控制命令的数据帧结构

地址位	本振测试	工作频点	CRC 校验位
4 字节	2 字节	8 字节	2 字节

3.3 频谱仪通信编程

频谱仪通信编程主要是在 LabWindows/CVI 开发环境下, 按照事件驱动方式对频谱仪的功能按键和参数设置等进行软件编程, 应用软件自带的 VISA 库函数, 将 SCPI 命令通过 LAN 总线发送至仪器, 仪器接收到命令后进行解析和响应, 将测量数据通过总线返回至控制计算机做进一步处理, 从而完成对频谱仪的远程控制及信号频谱监测^[17-23]。

1) 实现控制计算机与仪器连通: 控制计算机与频谱仪的远程连接, 使用 VISA 库函数 ViOpenDefaultRM(&.defaultRM) 或 viClose(defaultRM) 打开或关闭默认资源管理器会话通道、使用函数 viOpen(defaultRM, rsrcName, accessMode, timeout, vi) 或 viClose(vi) 打开或关闭与指定仪器的会话通道。其中 rsrcName 是被指定仪器的唯一符号名称, 由接口名称和器件地址组成; vi 是该函数返回的与被指定仪器通话的唯一逻辑标识符。

2) 对仪器发送控制和查询命令: 函数 viPrintf(vi, writeFmtString, arg) 或 viQuery(vi, writeFmtString, readFmtString, &.arg) 实现对仪器发送控制或查询命令。其中 writeFmtString、readFmtString 分别是按照仪器规定格式编写的命令发送字符串, arg 是传递给仪器的参数。

4 系统软件实现

系统软件分为上位机软件和下位机软件。其中下位机软件是指网络继电器、MOXA 串口联网设备内部的固化软件，无需单独设计开发，因此在进行无人值守功能的软件设计时主要是对系统上位机软件进行设计。上位机软件安装在控制计算机上，主要实现高频接收机插箱远程加去电功能，频谱仪远程监控及本振插箱点频手动或自动修改功能。

4.1 软件界面设计

上位机软件设计界面如图 3 所示。Tab 控件中的第一个界面为高频接收机插箱远程加去电控制显示部分，包含分机控制、一键控制和定时控制 3 种工作模式，网络参数设置和数据传输显示。Tab 控件中的第二个界面为频谱仪虚拟面板操作显示部分，包含频谱仪虚拟波形显示及频谱仪按键，以及本振插箱当前的工作参数。在该界面实现对仪器的远程操作设置，频谱仪显示波形的远程映射。界面中 Graph 控件可以方便地实现频谱仪波形的曲线图绘制，便于直观进行实时查询分析。界面按照用户的操作习惯和频谱仪的原有外观风格设计。

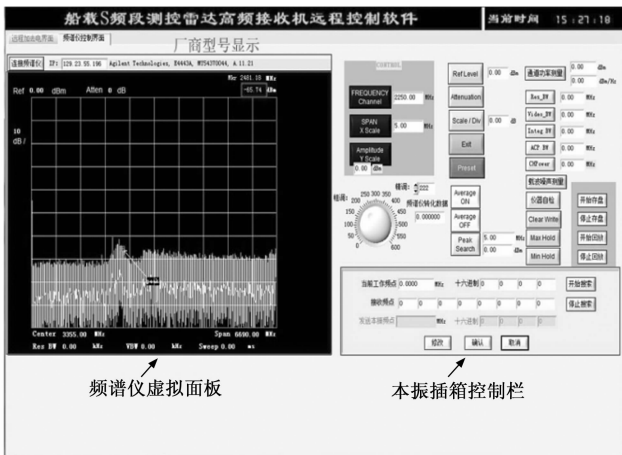


图 3 虚拟面板界面设计

频谱仪虚拟面板屏幕显示波形编程中使用 PlotY 和 DeleteGraphPlot 函数用于曲线的显示和删除。首先设置频谱仪为单次扫描模式，然后将频谱仪轨迹数据转换为 ASCII 格式数据进行读取、分组显示，数据读取完毕后设置频谱仪为连续扫描模式。为了满足数据读写要求和实时显示效果，屏幕显示功能的实现采用定时器完成。当定时器定时周期计满后，触发定时器回调函数，刷新波形曲线，从而实现频谱仪波形的实时刷新功能。当定时器触发定时器回调函数时，同时将相关仪器参数查询命令发送至频谱仪，频谱仪上报参数后在虚拟面板屏幕边缘位置实时显示。

4.2 远程加去电工作模式

通过在 Labwindows/CVI 开发环境下对网络继电器控制软件的二次开发^[24]，可以实现网络继电器吸合或断开的 3 种模式。其软件实现流程如图 4 所示。

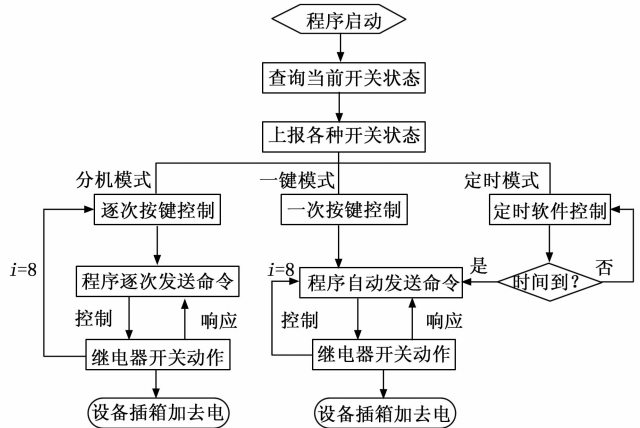


图 4 远程加去电工作模式

分机控制模式：该种方式由控制计算机软件界面按键控制，程序根据所选按键发送命令，网络继电器实现对对应分机插箱开关机。

一键控制模式：该种方式由控制计算机软件界面一键开机或关机，程序按照设备操作规范顺序自动发送开关机命令，网络继电器依次进行动作响应。

定时控制模式：该种方式可由控制计算机设置开关机时间，程序自动计时并与系统时间比对，等设定时间到达后自动发送远程开关机命令，网络继电器依次进行动作响应。

4.3 极化判断和点频自动识别

极化特性为电磁波传播方向上电场矢量的旋转方向，是反映空间信号在空间传输的无线电波基本特征信息^[25]。根据天线工作原理，无论飞行目标下行天线为圆极化、椭圆极化或者线极化方式，其辐射的电磁波均可以分解为左旋圆极化和右旋圆极化两路信号。地面测控站接收天线极化必须与飞行目标天线极化匹配才能有效接收电磁波信号，当使用不同的极化方式接收时，极化损失可能高达 10 dB 以上。车载测控雷达采用圆极化天线接收，所以设置与飞行目标下行信号旋向一致的接收信道旋向，能够获取更高的信噪比，从而获得更加真实的飞行目标下行信号频谱数据。两台频谱仪分别接收射频开关矩阵输出的两个极化旋向的射频信号，在控制计算机内完成对输入信号的极化判别，从而为后端信号接收提供参考选择。

软件开始运行后，首先检测控制计算机与频谱仪与之间的连接情况。若连接成功，则获取并显示仪器厂商及型号，进入频谱仪显示界面，用户可以对频谱仪进行远程设置。在本振插箱栏选择开始搜索，控制软件自动对频谱仪扫宽、分辨率带宽、功率谱密度阈值等参数进行初始化。由于车载雷达跟踪环路设计是利用残留载波的峰值进行跟踪，所以对于模糊目标极化旋向和工作频点的识别是通过峰值实现。频谱仪在工作频率范围内，使用峰值标记功能搜索最大信号点，若峰值标记处的功率谱密度超出功率谱密度阈值 3 dB，且信噪比优于某确定值，则判定发现目标。

控制计算机分别控制两台频谱仪进行峰值搜索, 并将峰值信息送计算机进行比对判别, 选取较强的一路作为信号的极化方式。频谱仪中当信号占用带宽小于 1 MHz 时, 控制频谱仪中心频率在工作频率范围内以一定频率步长进行逐步逼近, 寻找信号中心频率, 将其中功率谱密度最强点视为目标中心频率。当信号占用带宽大于 1 MHz 时, 直接使用峰值标记处的频率作为信号中心频率。最后对信号中心频率判断三次其平均差是否均超过 50 kHz, 设定阈值及连判 3 次可以有效避免外界噪声和突发干扰的影响。当以上条件均满足后, 控制软件向本振插箱发送修改本振点频的 UDP 数据报命令, 本振插箱收到命令后完成对本振信号的修改, 从而实现高频接收机的下行工作点频的修改, 保证船载雷达完成对接收信号的锁定和跟踪。其工作流程如图 5 所示。

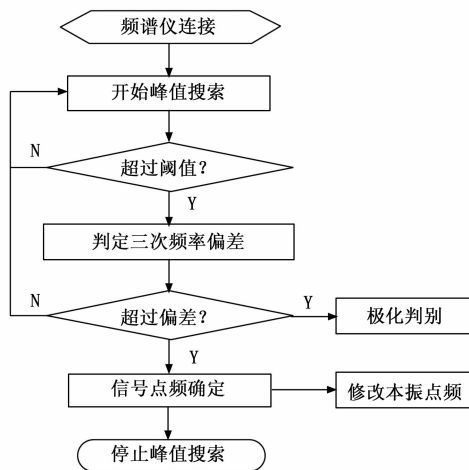


图 5 频点修改流程图

5 测试验证

船载测控雷达高频接收机无人值守功能设计完毕后利用过境目标进行了测试验证, 其工作流程如下: 根据轨道预报软件预先计算某低轨 S 频段飞行目标过境时间, 以此设置高频接收机定时加电时间, 在跟踪前 10 min, 高频接收机以定时控制模式加电完毕, 当目标出地平后控制计算机通过远控频谱仪搜索中心频率, 判别接收信号旋向, 通过反复修正后获取的频谱如图 6 所示, 修正后的信号频谱中心正好处于功率谱密度最强点且信号占用带宽大于 1 MHz, 确认该信号工作频点。对比左右旋向的信号强度发现, 左旋信号强度比右旋信号高 5 dB, 判定该目标的下行信号极化方向为左旋。控制计算机随后自动向本振插箱发送该飞行目标的工作频点, 船载测控站对该目标进行自跟踪, 正常跟踪完毕后, 高频接收机以定时控制模式去电, 完成设备关机。

结合常态化任务需求, 综合选取跟踪多颗飞行目标, 在不同时间段下高频接收机均能按时加去电, 控制计算机能够准确识别中心频率与极化方式, 向本振插箱发送下行频点指令, 从而改变船载测控雷达下行链路的跟踪频点。

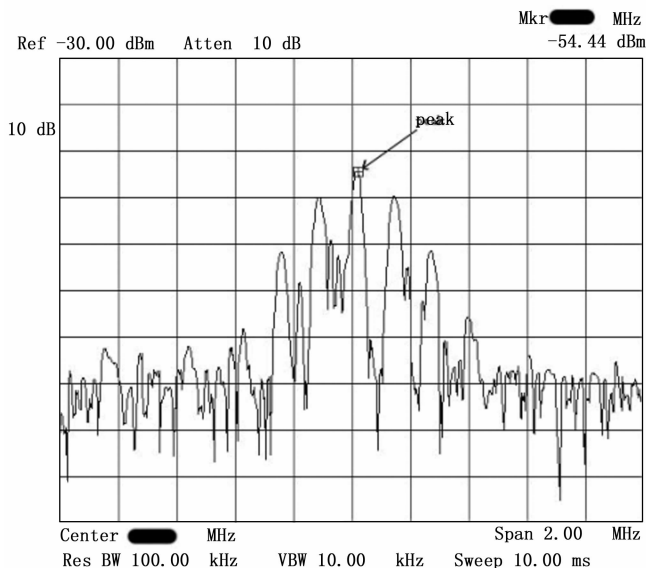


图 6 修正后的频谱图

整个跟踪过程中测控雷达高频接收机设备采取无人值守方式, 也无需系统监控台远控相关参数, 该种工作方式与传统人工判读操作方式相比, 总用时由原来的近 50 min 缩短至 22 min 之内, 判断正确率达到 100%, 大大提高了测量船完成任务的时效性与工作效率。

6 结束语

针对当前船载测控雷达高频接收机尚未完全实现无人值守自动化运行的不足, 本文基于 LabWindows/CVI 环境平台设计了一种高频接收机无人值守功能的增加, 采取系统非侵入接入方式, 不改变原设备工作状态, 借助网络继电器实现了高频接收机的远程加去电操作, 以及远程控制频谱仪实现对目标信号自动搜索捕获、极化判断和高频接收机跟踪点频切换功能, 提高了系统执行任务的时效性和可靠性, 有效提升了测控指挥网络的实时性和灵活性。经过常态化任务的使用验证, 应用效果良好, 节省了测控资源。

参考文献:

- [1] 高京龙. 航天测控站无人值守技术分析 [J]. 无线电工程, 2011, 41 (12): 38-40.
- [2] 王 怀, 王 强, 朱翔宇, 等. 遥感地面站自动化测试系统的设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 1-5.
- [3] 邢毓华, 胡词焯, 程绍谦. 无人值守太阳能充电站设备管理系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (8): 188-192.
- [4] 田 耕, 渠红光, 阮林波, 等. 应用于脉冲辐射场测量的分布式无人值守测试系统 [J]. 核电子学与探测技术, 2015, 35 (5): 506-509.
- [5] 易 琳, 沈 琦, 王 锐, 等. 无人值守变电站电力设备音频监测及故障诊断系统 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 188-192.
- [6] 孙维籍. 基于 LabView 的无人值守机舱报警系统设计 [J]. 科

- 学技术与工程, 2011, 11 (36): 9110-9112.
- [7] 将艳军, 孙开锋, 姚雨萌. 基于 LabWindows/CVI 的便携式热车试验台测控系统设计与开发 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (9): 16-21.
- [8] 苏淑靖, 李莹. 基于 LabWindows/CVI 数据采集系统上位机软件的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (8): 2684-2686.
- [9] 林荣鼎. 一种卫星载波自动化监视流程及方法 [J]. 通讯世界, 2020 (7): 44-45.
- [10] 贾帅, 张永波. 基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (11): 71-74.
- [11] 肖志文, 常明. 虚实结合的电磁频谱监测训练系统设计 [J]. 电子设计工程, 2020, 28 (3): 106-110.
- [12] 昂正全, 赵京广, 李一超. 卫星测控站频谱监测系统设计方案及实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (11): 3466-3469.
- [13] 济南有人物联网技术有限公司. USR-I0808-CAT1 说明书 [Z]. 版本 V1.0.2. 济南: 济南有人物联网技术有限公司, 2021: 6-8.
- [14] 匡昌武, 陈卿才, 高涛, 等. 基于 NPORT 的地面综合气象观测系统通信测试方法及故障处理 [J]. 气象水文海洋仪器, 2021, 9 (3): 117-120.
- [15] 胡江坤, 阎旭, 付晶. 基于 MOXA NPORT5410 的 NM7000 导航设备监控系统 [J]. 工业技术创新, 2018, 5 (6): 40-42.
- [16] 何谦, 耿文建, 丁求启. 船载雷达中电能质量监测的设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13 (33): 9966-9972.
- [17] 赵文明, 王玲, 康自明. 基于 LabWindows/CVI 的频谱分析仪上位机设计 [J]. 计算机与网络, 2018 (21): 62-64.
- [18] 叶文, 关成准, 祁德元. 基于通用仪器的幅频特性测试系统开发 [J]. 计算机与数字工程, 2019, 47 (3): 716-720.
- [19] 王斌, 陈兴林, 贾友亮, 等. 基于 LabWindows/CVI 的网络通信设计与实现 [J]. 自动化技术与应用, 2013, 32 (10): 20-24.
- [20] Keysight Technologies. E8257D/67D&E8663D PSG signal generators SCPI command reference [Z]. Keysight. 2015.
- [21] Keysight Technologies. Keysight Signal Generators Programming Reference [Z]. Keysight. 2015.
- [22] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 1 core spectrum analyzer functions PSA series spectrum analyzers [Z]. Agilent Technologies, 2011.
- [23] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 2 one-button power measurements PSA and ESA series spectrum analyzers [Z]. Agilent Technologies, 2014.
- [24] 滕筱茜. 基于 PLC 及物联网技术的远程机械手控制系统 [J]. 数字技术与应用, 2019, 37 (2): 13-14.
- [25] 丁鹭飞, 耿富禄, 陈建春. 雷达原理 [M]. 第六版. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- [14] BAZHINA P S, SEPIK T G, ZHIGALOVA O P, et al. Technologies for project-based approach to the system of teachers training [C] //Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference. Saint Petersburg Russia: ACM, 2020: 1-5.
- [15] SHYBA A. Professional training of future Foreign language teacher in conditions of system-activity approach [J]. Germanic Philology Journal of Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2020 (822): 96-105.
- [16] 姜鹏, 刘剑超, 田杰荣. 基于 ISD/SAT 实现飞行训练教学系统 [J]. 舰船电子工程, 2016, 36 (4): 104-106.
- [17] 曾文. 基于 ISD/SAT 过程开发武器装备仿真训练系统 [C] //第五届全国仿真器学术会论文集. 中国系统仿真学会仿真器专业委员会、中国航空学会自动控制分会仿真技术专业委员会, 2004: 7.
- [18] 俞佳飞. 基于 ISD/SAT 过程的成人教育网络课程开发系统研究 [J]. 湖北大学成人教育学院学报, 2009, 27 (6): 29-32.
- [19] 蔡凯骏, 张伟明, 赵鸿飞, 等. 面向拆装训练的输油泵机组虚拟维修系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (4): 218-221.
- [20] 段妍羽, 巩青歌, 彭圳生. 基于数据挖掘的本体构建与重构技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (8): 244-247.
- [21] 董洋溢, 李伟华, 陈世亮. 中文领域知识半自动化 OWL 本体构建方法研究 [J]. 计算机应用与软件, 2016, 33 (5): 17-19.
- [22] 刘卉萌, 李瑞, 王子童, 等. 双链笔记软件在突发公共卫生事件流行病学调查报告分析中的应用 [J]. 中国医院统计, 2023, 30 (1): 59-63.
- [23] 慈颖, 秦留洋, 韩惠婕. 基于航天装备数据的知识图谱体系研究 [J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (5): 249-254.
- [24] 姜浩博, 李松, 林驰, 等. 基于 BP 神经网络防空反导指控网络抗毁性评估 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44 (8): 65-70.
- [25] GHAREHCHOPOGH F S, NAMAZI M, EBRAHIMI L, et al. Advances in sparrow search algorithm: a comprehensive survey [J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2023, 30 (1): 427-455.
- [26] DEB S, GAO XZ, TAMMI K, et al. Recent studies on chicken swarm optimization algorithm: a review (2014-2018) [J]. Artificial Intelligence Review, 2020, 53 (3): 1737-1765.
- [27] 许治琦, 姚远, 周兴社, 等. 基于模糊综合评价的驾驶安全性评价研究 [J]. 计算机测量与控制, 2019, 27 (7): 261-265.
- [28] 魏新尧, 余世刚, 容伟, 等. 基于布谷鸟算法优化 BP 神经网络的锂电池健康状态预测 [J]. 计算机测量与控制, 2021, 29 (4): 65-69.