

CINRAD/CB 型天气雷达远程机外定标系统的设计与实现

弓宇恒, 王新舒

(内蒙古自治区大气探测技术保障中心, 呼和浩特 010051)

摘要: 新一代天气雷达站的建设普遍采取局站分离的方式, 不利于雷达的日常维护和机外定标, 在极端天气情况下, 由于技术保障人员无法到达雷达站, 严重影响雷达保障的时效性; CINRAD/CB 型新一代天气雷达远程控制和在线定标系统能够有效解决雷达远程机外定标的问题, 其由硬件子系统和软件子系统两大部分组成; 硬件系统采用嵌入式结构和 FPGA 封装技术相结合的架构, 软件系统采用 B/S 的架构; 在某新一代天气雷达站经过为期一年实际应用, 该系统实现了 CINRAD/CB 型新一代雷达的远程机外定标、故障报警维护和雷达附属设施监控等功能并远程排除雷达故障 10 余次, 达到了系统设计的目标。

关键词: 新一代天气雷达; 远程控制; 机外定标

Design and Implementation of Remote Control and Online Calibration System for New Generation Weather Radar of Manchuria Station

Gong Yuheng, Wang Xinshu

(Atmospheric Detection Technology Support Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051, China)

Abstract: The remote control and on-line calibration system of CINRAD/CB new generation weather radar in Manchuria is composed of hardware system and software system. The hardware system adopts the combination of embedded structure and FPGA encapsulation technology, and the software system adopts multi-layer B/S architecture. After one year of practical application in a new generation of weather radar station, the system realized the remote out-of-machine calibration, fault alarm maintenance and monitoring of radar auxiliary facilities of the CINRAD / CB new generation radar and remotely eliminated radar faults more than 10 times. To achieve the goal of system design.

Keywords: new generation weather radar; remote control; online calibration

0 引言

新一代天气雷达网的组建中, 考虑到雷达的使用效率以及对周边环境的影响, 大部分天气雷达都建在地势较高又远离生活区的偏远地区, 而且雷达机房噪声较大不适合观测人员长期值守, 故天气雷达站的建设普遍采取局站分离的方式, 客观造成了雷达技术保障的时效性较差。近几年来, 随着雷达技术的不断升级, 以往需要现场维护的驱动电机和汇流环逐步升级为免维护的设备, 不需要进行定期的现场维护, 雷达日常维护工作主要是进行雷达的机内定标和机外定标。然而, 新一代天气雷达的机外定标工作需要到雷达站用标准仪器进行现场测试和标校, 但是在极端天气情况下, 技术保障人员可能无法及时抵达雷达站的现场。因此, 实现远程控制新一代天气雷达的开关机及在线机外定标, 能够解决局站分离雷达站技术保障工作时效性较差的实际问题。

目前, 全国个别省级气象部门研发了不同型号的新一代天气雷达的远程控制系统, 仅设计了雷达各分系统的远程电源开关的功能。本系统采用嵌入式结构和 FBGA 封装技术相结合的架构, 不仅实现了 CINRAD/CB 型雷达的远程控制功能, 而且实现了对该型号新一代天气雷达远程报警处理、雷达报警维护、在线机外和机内定标以及雷达附属设施监控等功能。

1 系统概述

雷达远程控制和在线定标系统包括硬件子系统和软件子系统。硬件子系统由远程控制模块和机外定标模块组成; 软件子系统由远程控制模块、雷达机外数据远程测量模块、雷达机房数据及图像监控模块、雷达故障报警维护模块和雷达机内数据定标模块等组成, 系统原理如图 1 所示。该系统实现的具体功能如下:

1.1 雷达远程开关

远程控制雷达发射机系统、接收机系统、伺服系统、

收稿日期: 2020-11-02; 修回日期: 2020-11-23。

作者简介: 弓宇恒(1970-), 男, 内蒙古包头市人, 硕士生, 高级工程师, 主要从事大气探测观测设备的技术保障方向的研究。

通讯作者: 王新舒(1989-), 女, 内蒙古包头市人, 硕士生, 助理工程师, 主要从事大气探测观测设备及远程培训方向的研究。

引用格式: 弓宇恒, 王新舒. CINRAD/CB 型天气雷达远程机外定标系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 169-175, 233.

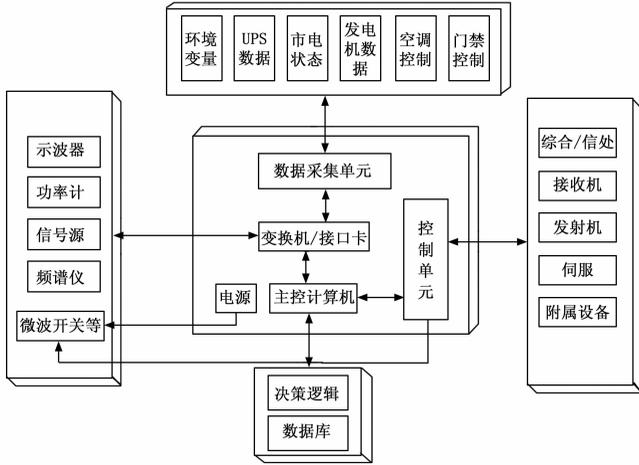


图 1 系统原理框图

信号处理系统等分系统的开关机，增加多路附属设备的控制，如对空气干燥机、照明和空调等附属设施的远程控制，系统可实时显示当前设备的工作状态。

1.2 雷达远程在线定标

远程控制雷达各分系统和测试仪表，对雷达系统进行机外强度、动态范围、系统相干性、功率、波形参数、相位噪声等远程定标，系统软件可对外接仪表进行测试设置，并在系统用户终端进行显示及分析；系统软件通过读取 RDA 计算机的性能参数文件对雷达机内定标的参数进行实时监测，如雷达机内发射机功率、接收机 CW 定标、速度谱宽、RFD 定标等，以满足新一代天气雷达业务规范要求。

1.3 雷达故障报警维护

远程读取新一代天气雷达 RDA 计算机的雷达报警 LOG 日志文件，并自动存储报警信息，当雷达出现报警和故障时，天气雷达系统硬件内置复位系统，本系统可远程复位故障，并对雷达报警进行远程处理，消除由于报警导致的雷达强制关机，并实现远程重新启动雷达。

1.4 雷达附属设施监控

对机房与天线罩的温度和湿度、市电三相的电压电流和 UPS 的运行状态进行实时监测，并可根据被监控设备的具体情况设置报警信息，监控数据可进行保存和处理。

2 系硬件子系统的设计与实现

系统硬件采用自动控制采集技术设计，硬件部份采用冗余设计，保证了硬件部分的长期稳定可靠运行，当系统出现故障时采用旁路设计，确保系统继续运行。

2.1 远程控制和在线定标的设计

由数据采集单元及控制单元构成的主控板是硬件电路核心模块，用于采集温湿度信息、UPS 数据、市电状态信息及中间继电器的辅助触点控制交流接触器的吸和或断开实现电源的控制，系统结构如图 3 所示。其中，雷达/天线罩温湿度传感器采用智能化 SHT75 型温湿度传感器，该传感器是高精度的温湿度传感器，全量程定标；两线数字输出；测量外围 $-40 \sim +123.8 \text{ }^\circ\text{C}$ ；湿度测量精度； $\pm 1.8\%$

RH；温度测量精度； $\pm 0.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ；低功耗、响应时间短等特性。采用变送器将市电及 UPS 三相电压交流转换为可测量的安全低压信号；机外信号注入是当雷达进行机外测量定标时，服务器端发送命令至主控板后，主控板发出微波开关切换指令把信号源信号注入接收机场放前端，以实现雷达机外动态范围、强度定标各项指标。正常工作时，微波注入开关切换至天线端。

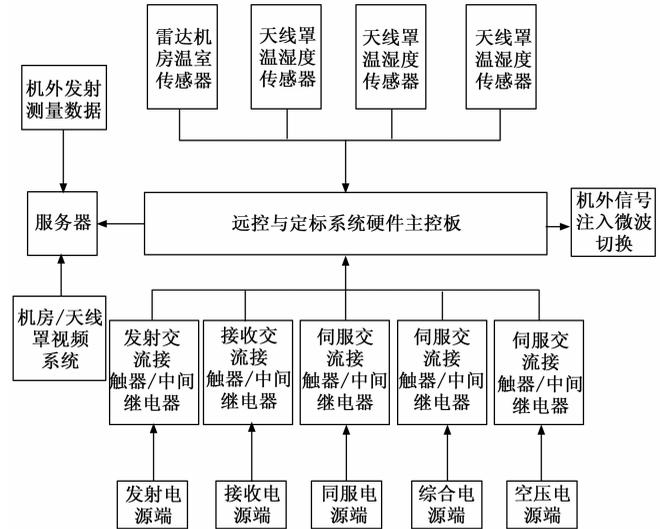


图 2 硬件子系统结构图

具体设计思路说明如下：

2.1.1 主控板电路的设计

主控板是实现服务器端对机房主要设备最关键的中间控制环节，本系统采用单片机与 CPLD 相结合设计。电路具备多种数据接口主要分为输入输出接口、数据采集端口、通讯端口。

1) 输入输出接口的设计：

(1) 主控板开关量输入端口均采用普通光耦 521-1 隔离，通过加入尖峰吸收电容避免外来突发干扰。输入端口有效电平为高电平 5 V，低电平一般为 0 V 左右。电路具有 16 路开关控制，可检测 16 路开关信号。状态信息的输入：雷达各分系统当前的电源状态（发射机、接收机、伺服、综合、空压机）、空调状态均通过输入端口接入。具体电路设计如图 3 所示。

(2) 主控板输出采用继电器直接输出，具有隔离输出、输出驱动电流大等优点。继电器驱动采用 7407 进行驱动，具有小型化、寿命可达 10 万次以上。电源的控制均通过输出端口。具体电路设计如图 4 所示。

2) 数据采集端口的设计：

数据采集模块的主控板具有 8 路模拟信号采集端口，模拟输入端均采用 LM324 四路运放缓冲射随输出，提高输入阻抗及隔离作用，输入模拟量范围 $0 \sim 3.6 \text{ V}$ 。电路设计如图 5 所示。将温湿度的模拟输出量通过单总线方式送至数据采集端口，三相电压的模拟输出量通过交流变送器送至采集端口。其余 6 路输出端为预留端口。

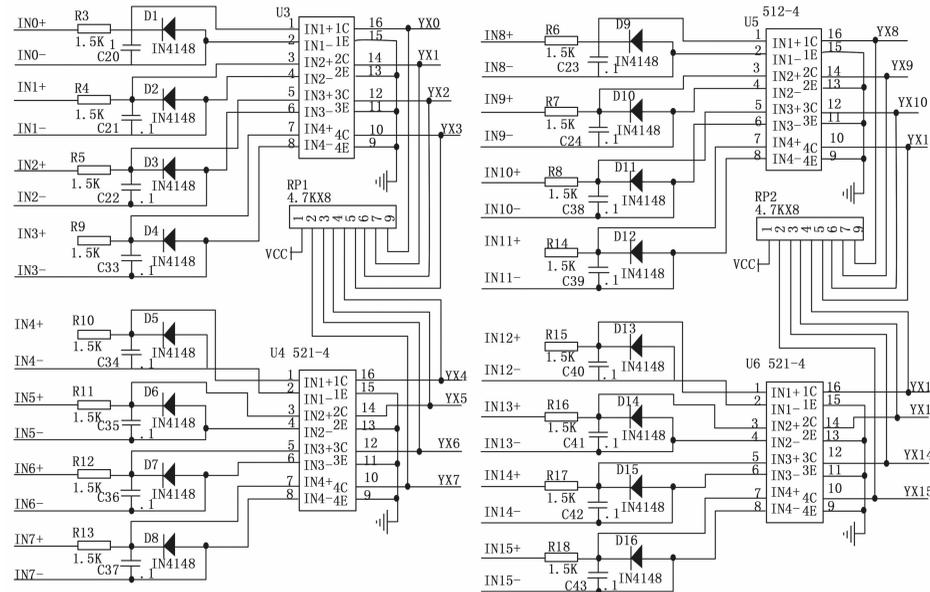


图 3 主控板输入端口设计

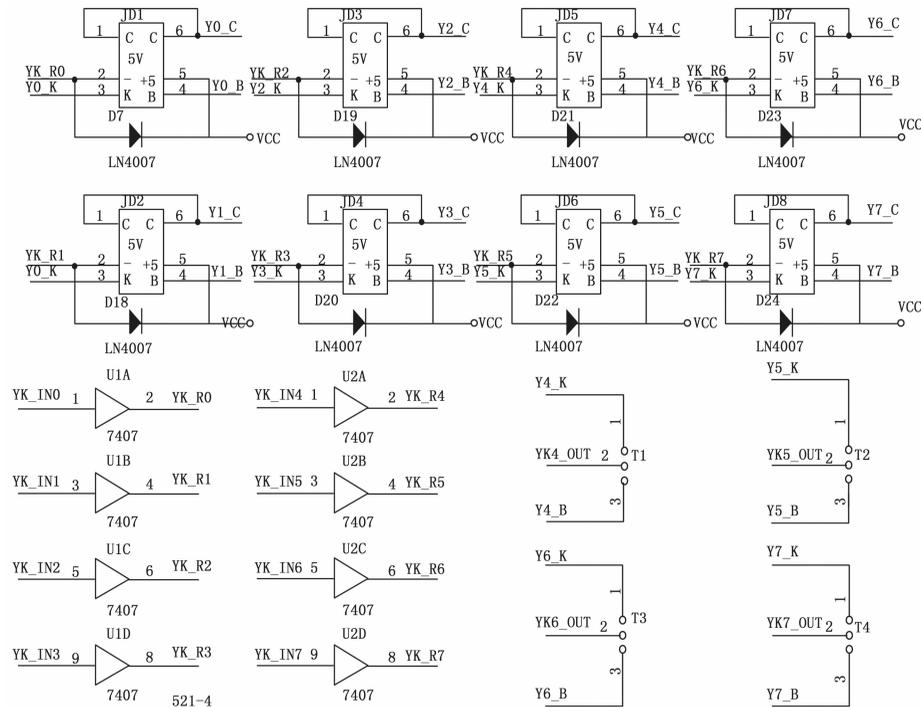


图 4 主控板输出端口设计图

3) 通信端口的设计:

主控板对采集器采用 RS485 通讯方式, 为有效避免雷电的串入干扰, RS485 端口采用有源隔离方式: 即 A、B 差分总线通过接入 5.1 K 上拉电阻隔离 5 V 电源、接入 5.1 K 下拉电阻隔离地并且在 A、B 线间并联 510 Ω, 可有效匹配总线负载。AB 线对地采用 TVS 瞬态抑制管, 间箱位于一个电压值, 有效地保护了通讯接口电路。

图中光耦采用 6N137 高速光耦; 图中 D25、D28 为 TVS 瞬态抑制管; U20 为 RS485 接口芯片 SN75176, 也可

以采用其它类似芯片; R65、R66、R67 组成匹配电路。电路设计如图 6 所示。

PCB 采用双层电路板设计, 将同一功能模块电路放置在临近区域, 元器件连线简洁, 设计时模拟地和数字地的区分, 采用单点接地方式, 地线尽可能加粗, 确保电路布线无干扰。

以上为主控板硬件设计的原理图部分及 PCB 布板, 是实现机外信号注入、功率及脉冲包络监测、UPS 及视频监控等模块数据采集及控制核心部分。

2.1.2 在线定标的机外信号注入

本系统采用技术先进的微波开关, 实物连接方式如图 7 所示。对雷达进行机外测量定标时, 服务器端发送命令至主控板, 主控板发出微波开关切换指令将信号源发射的信号注入接收机场放前端, 此时可以进行雷达机外强度和速度的定标; 正常工作时, 微波注入开关切换至天线端, 微波开关损耗 ≤ 0.3 dB, 接入通道与主通道隔离度在 70 dB 以上, 确保了信号源的发射信号无泄漏的注入场放前端。

2.1.3 雷达机外发射机功率监测与输出射频脉冲包络监测

机外发射机功率和发射机输出射频脉冲包络波形是发射机最直观的数据监测, 连接方式如图 8 所示。为实现发射机功率和射频脉冲包络自动测试, 选取二功率分配器, 发射机输出功率经定向耦合器送至 10 dB 衰减器后接二功率分配器后, 一路经检波器和 50Ω 匹配负载至示波器进行测量, 另一路至 USB 峰值功率计进行测量。本系统集数据采集与测量通信技术相结合, 实现数据的监测; 采用 SCPI 指令将读取的数据存储至服务器数据库, 在客户端生成数据曲线及检波包络图形。监测数据包括发射机功率、输出射频脉冲宽度、脉冲包络的上升及下降沿、包络顶部降落。

2.1.4 UPS 和视频监控的设计

UPS 监控包括雷达站机房供电、供电时间、UPS 电池电压和报警信息等。本系统设计了通讯协议转换器, UPS 将数据发送给协议转换器, 协议转换器交换给机房主控板。协议转换器输出接口采用 RS485, 机房主控板也具有 RS485

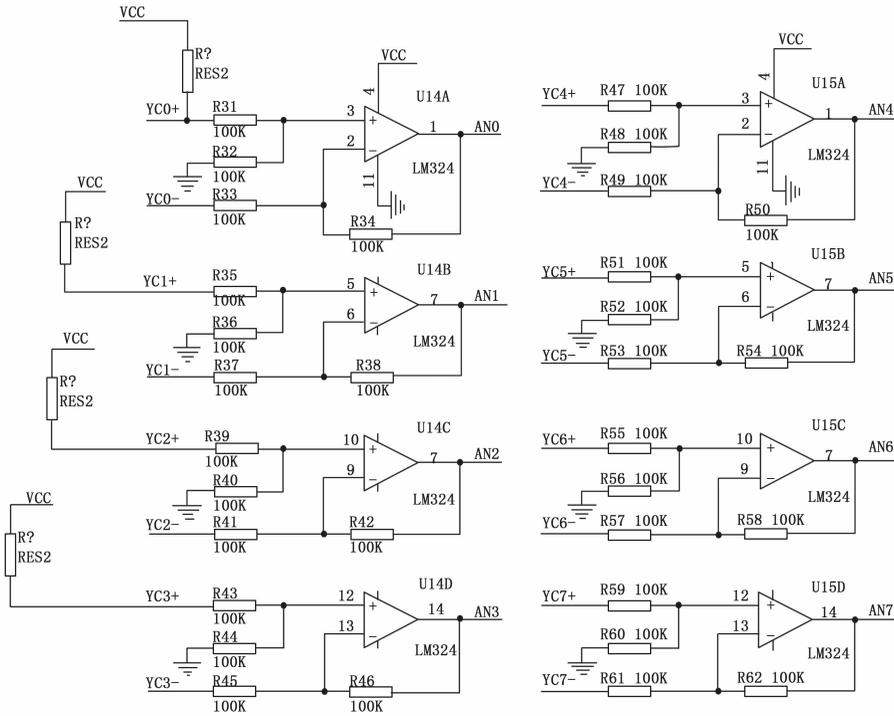


图 5 模拟端接口电路

接口, 采用无线通讯方式, 本系统选用了 ZIGBEE 通讯模块, 该模块是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议, 是一种短距离、低功耗的无线通信技术; 天线罩与雷达机房视频采用海康威视 200 万网络监控设备, 具有多路视频接口, 将视频信号传至客户端。

2.2 硬件实现

硬件系统采用壁挂式机柜, 雷达各分系统的开关机使用的交流接触器、中间继电器板、24 V 电源、强电输入输出端口、主控板均安装于壁挂式机柜中。液晶数码显示屏为配电三相电压显示监测; 第一排绿色按钮为远程开关机按钮: 分别为 RDA、接收机、发射机、伺服开关机按钮; 第二排绿色按钮为空压机、备份 1、备份 2、备份 3 开关机按钮; 最下排为本控、遥控切换开关。系统采用网络通讯接口与服务进行通讯, 并预留 RS485 通讯接口一个、RS232 通讯接口一个; 与雷

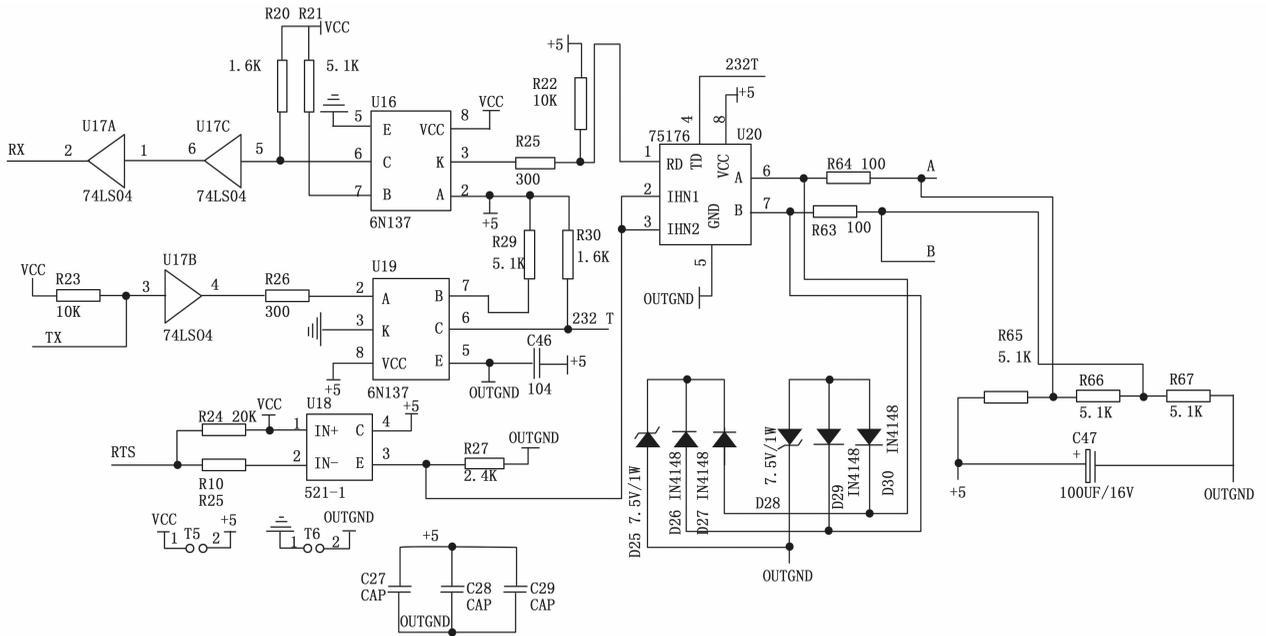


图 6 RS485 隔离总线电路

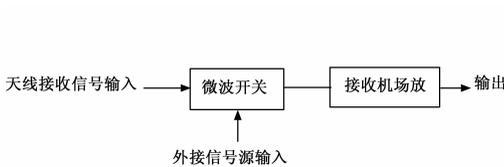


图 7 接收系统机外定标原理框图

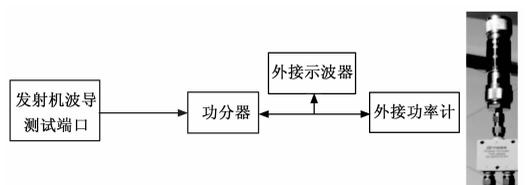


图 8 机外发射机测试原理框图

达控制开关机端口采用标准航空电缆插座; 视频采集系统采用网络端口进行数据上传; 机房温湿度的采集用单总线方式上传至主控板; 市电三相电压等模拟数据均采用数据 A/D 直采方式。

本章节从主控板的原理图设计、主控板与各模块的连接控制进行阐述, 通过主控板对模块的控制实现对雷达远程在线定标、开关机、相关指标监测。

3 软件子系统的设计与实现

3.1 设计思路

按照中国气象局大力发展“智慧气象”的战略部署, 充分利用移动等现代信息技术, 推动气象工作智能化发展。本软件系统设计方案本着前瞻性、可靠性以及可扩展性, 符合实时系统信息化发展的方向。切实解决局站分离引起远程开关机雷达及对雷达定标不便等问题, 便于机务员操作作为宗旨。

3.2 系统架构

雷达远程控制和定标系统的总体框架由硬件设备、数据库资源、服务后台管理、应用服务等部分组成, 软件系统架构见图 9。硬件设备包括 CINRAD/CB 雷达的开关机系统、机房数据采集系统、雷达机外定标测量系统; 数据库资源包括环境要素数据、状态要素数据、定标要素数据、用户权限数据, 并实现数据采集、数据存储、数据归档、数据清除、数据检索、用户权限等功能; 服务后台管理从数据库获取雷达环境要素数据和运行状态数据, 将用户的需求和命令发送给硬件的支持系统, 并通过数据处理判断雷达运行环境和运行状态; 应用服务是指基于服务后台管理系统和数据库资源对雷达开关机、空调开关机, 雷达运行各类环境监控和视频监控等。

软件系统选用 Windows 2008 Serve、SQL Server 2005 和 JBoss 建立开发环境, 使用 Java 语言编程, 应用 jsp 脚本语言结合 div+css 和 ajax 技术, 多层 B/S 体系架构实现。系统安装、修改和维护在服务器端解决, 用户在使用系统时, 应用浏览器就可运行系统的所有模块。在节约成本同时提供较好的开放性。

软件系统由登录用户类型不同而组权限不同, 执行命令流程是一致, 如图 10 所示。首先要判断是否存在报警信息。若存在报警信息, 识别是故障级报警还是发射机误报警, 处理报警后进行机内、机外定标及数据查询 (包括开关机状态、雷达运行环境数据、机房视频、天线罩视频)。如无报警信息则直接进行机内、机外定标及数据查询。

3.3 数据库管理

数据库系统包括数据采集管理、数据存储管理、数据检索管理、采集监控管理和系统管理 5 大功能模块, 功能结构如图 11 所示。数据采集管理包括数据采集和数据预处理的功能; 数据存储管理包括数据的存储、归档和清除的功能; 数据检索管理包括安全控制、数据查询和数据结果及处理的功能; 系统管理包括用户及权限管理和系统策略配置管理。

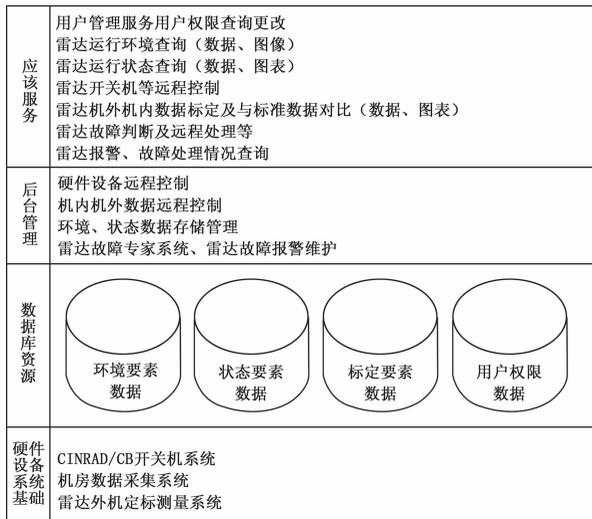


图 9 平台软件总体框图

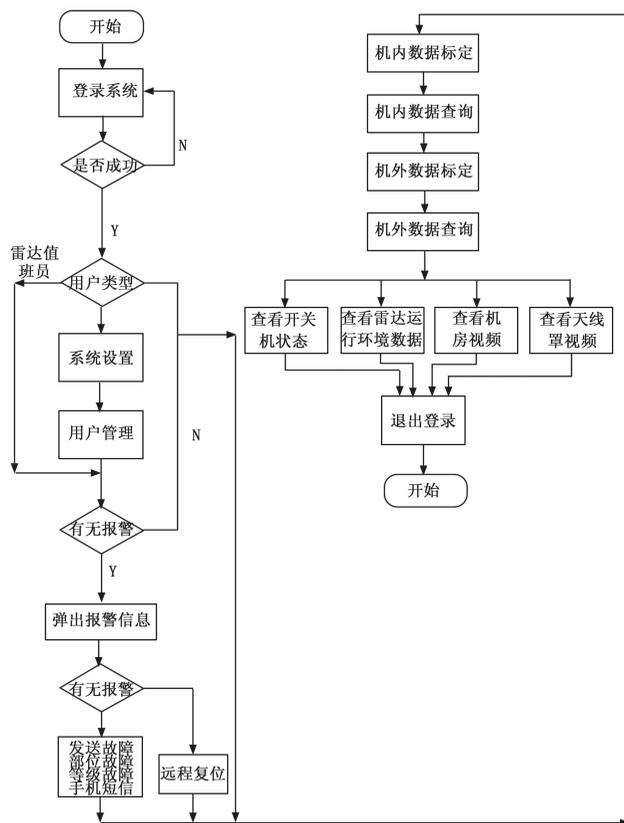


图 10 软件系统总流程图

3.4 系统展示

目前“雷达远程控制和在线定标控制系统”已上线运行。处于“遥控”状态时, 雷达远程开关机直接点击对应的分系统按键即可; 处于“本控”状态时, 仅看到雷达各分系统的电源开关状态, 无法进行开关操作。如图 12 所示。

3.4.1 机内实时数据监控

机内实时数据部分包含发射机人工线电压和机内定标数据。可以查看到雷达实时运行的多项数据, 来判断雷达

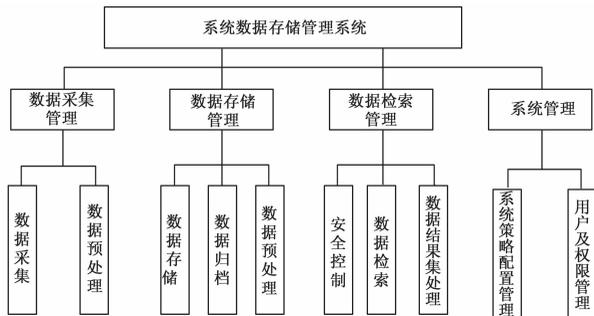


图 11 系统存储管理结构图

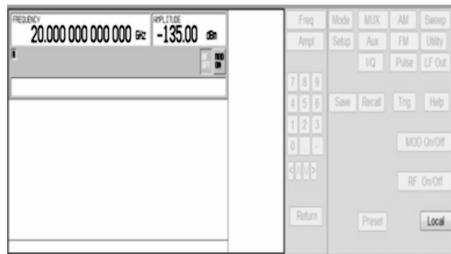


图 15 在线机外定标信号源控制界面



图 12 系统远程开关界面



图 16 机外定标功率计和示波器控制界面图

运行情况及硬件的状况。人工线电压在线数据监控界面和机外示波器检测界面如图 13 和图 14 所示。



图 13 实时数据发射机人工线监测界面

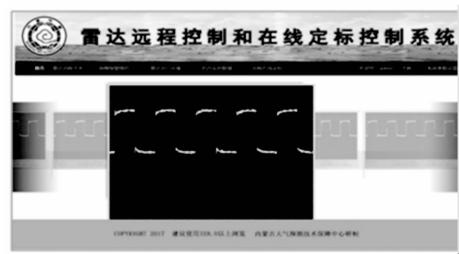


图 14 系统对雷达外界示波器的检测界面

3.4.2 远程在线定标

远程在线定标包含远程定标控制和机外数据监控，远程定标控制是对机外仪表进行控制，界面如图 15 所示。机外数据监控是对仪表测试的机外数据进行查看，用来判断雷达的运行状态，界面如图 15 所示。

4 系统测试

本系统的安装调试均在某新一代天气雷达站，该站冬季时间较长，气温极低，特别是下雪季节到雷达塔楼进行

现场维护、维修和定标存在着非常大的困难。因此，该站技术人员对远程控制雷达和在线定标的需求非常迫切。

5 实验结果与分析

5.1 实验方法与步骤

本系统实验调试分为硬件部分、软件部分以及系统联调。

5.1.1 硬件安装与调试

本系统和机外测试仪表架设在本站雷达机房内，依托本站雷达的线缆布局将该系统的受控组件和测试仪表用线缆连接，并将系统需要远程控制及监控的控制线与雷达对应的开关器件焊接的引线接入线缆布局，全部线缆均汇总到系统壁挂式机柜。

具体连接专线包括对雷达发射机电源、接收机电源、伺服电源、雷达综合电源、空气压缩机、一路 220 V 供电插座、发射机远程故障手动与显示复位开关、场放前端微波开关以及对雷达机房和天线罩温湿度的本地、远程控制开关机和监控的控制线。UPS 监控采用无线 ZIGBEE 通讯模式连接。

5.1.2 软件安装与调试

软件安装在专用的服务器级计算机。软件系统通过控制硬件系统主控板的通信接口，实现对雷达系统机外和机内远程参数定标、设备监控，并对测试和监控数据进行处理。具体调试步骤如下：

- 1) 主控板与雷达机外测试仪表包括频谱仪、功率计、示波器和信号源的通信和控制；
- 2) 主控板与雷达各分系统电源开关、发射系统故障复位开关和接收系统微波开关的通信和控制；
- 3) 主控板与受监控设备的通信与控制；
- 4) 远程控制的有效性和响应时间检查；
- 5) 远程控制机外仪表完成雷达机外测试和定标；

6) 远程控制完成雷达机内测试和定标;

7) 测试和监控数据记录检查。

5.1.3 系统联调与拷机

本系统在雷达站调试完成后, 进行拷机和测试阶段。将系统在线连续开机状态下, 在局域网连接的任意计算机登录系统, 测试系统所有功能, 并在雷达台站模拟报警测试远程故障复位功能等。过程中发现网络安全设置、数据存储设计、测试响应时间满以及测试软界面缺陷等问题均进行了解决。

5.2 测试实例简述

5.2.1 机外远程动态范围定标

远程定标控制是本系统最为重要部分, 以下以机外远程动态范围定标为例进行详细说明实验步骤, 机外动态测试流程如图 17 所示。

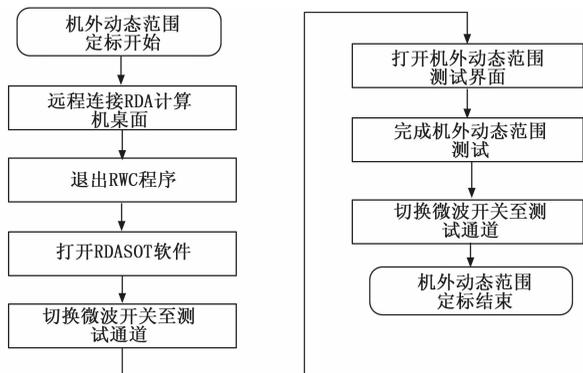


图 17 机外动态测试流程图

远程定标控制界面简洁、操作简便, 点击相应菜单栏进行操作, 如图 18 所示。



图 18 远程定标控制界面

第一步: 关闭发射机电源。在系统远程开关界面 (图 12) 中选择关闭发射机电源, 操作成功后, 发射机电源显示关闭 (红色)。

第二步: 注入信号。在雷达远程定标控制菜单中点击“开信号源注入”, 右侧信号源注入会显示绿色测试通道, 微波开关已经由信号源切换至场放前端。

第三步: 远程登陆 RDASC 计算机, 操作 RDASOT 软件即可测试机外动态范围, 如图 19 所示。由于场放前端添加微波开关, 微波开关有 0.2 dB 损耗, 测试时信号功率需增加微波开关损耗。

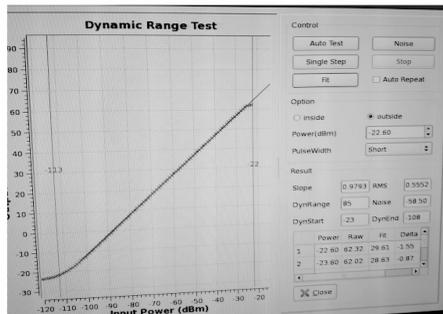


图 19 机外远程动态范围定标

5.2.2 机外数据监控

本系统实现雷达数据监测结合了数据采集、测量、通信等技术, 对测试仪器的数据采集是关键技术之一。

第一步: 打开电脑桌面, 双击仪表集成快捷方式图标, 进入仪表监控界面, 如图 20 所示。



图 20 仪表监控界面

第二步: 功率计和示波器选择合适的配置, 如该雷达站:

1) 功率计设置选择。平均模式: 自动; 测量模式: PEAK; OFFSET: 72.5; 测量单位: W; 频率: 5 400; VideoBW: OFF; 触发模式: IMM 上升沿。

2) 示波器设置选择。通道: 1; 通道位置: -2; 通道耦合: DC; 探头衰减: 1; 通道反相: OFF; 触发源: CH1; 触发斜率: FALL; 触发电平: 0.1 V; 水平比例: 500 ns; 垂直比例: 50 mV。

3) 当出现此图标时, 表明程序已开始仪器开始通讯, 并保存数据及图形 (图 21), 点击此图标时, 变为图标时, 可以调整设置, 点击保存, 则保存设置配置文件 (Instrument.XML)。

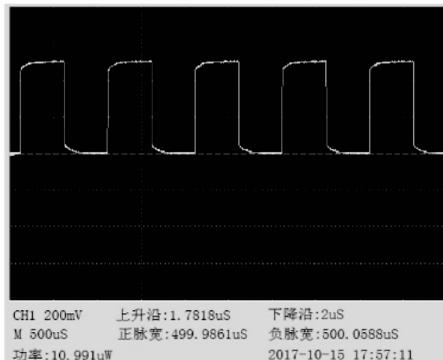


图 21 示波器监控数据及图形

(下转第 233 页)