

天气雷达数据处理系统的设计与实现

朱 毅¹, 何建新¹, 李 飞¹, 王中科¹, 靳小兵²

(1. 成都信息工程学院, 四川 成都 610225; 2. 四川省防雷中心, 四川 成都 610072)

摘要: 天气雷达数据处理系统是“全国天气雷达终端更新”项目的关键, 其目的就是要实现雷达回波信号的高速采集与处理、天线控制、实时显示与存储、回波强度定标等功能。设计中, 利用复杂可编程逻辑器件(CPLD)和 Quartus II 设计软件, 产生各种复杂的时序逻辑控制时钟, 协调信号处理器、天线控制器中各功能电路的工作。实现的数据处理系统达到了系统的技术指标, 通过实际使用证明, 系统性能稳定可靠、结构简单、界面友好、操作方便、便于升级, 完全能够实时、高效地处理常规天气雷达信号。

关 键 词: 天气雷达; 数据处理系统; 信号处理器; 天线控制器

中图分类号: TN959.4

文献标识码: A

1 引言

天气雷达在气象短临预报、防灾减灾等方面发挥了不可低估的作用。目前, 全国布设完成了 158 部多普勒天气雷达, 与此同时, 仍有一大批常规天气雷达和数字化天气雷达还在使用。数字化雷达的改造和多普勒雷达的建设, 在我国气象业务和科研中发挥了重要作用。由于多种原因, 我国业务天气雷达终端的型号繁多, 且在技术标准上存在很大差异, 信号处理方法, 数据格式规定, 产品种类和生成方法, 以及资料存储格式和方法都不相同, 有的信号和数据处理出现错误, 观测数据失真, 给正常业务观测, 组网拼图、数据共享以及重大科学试验带来困难和损失^[1]。另一方面, 超大规模集成电路以其卓越的性能和价格优势, 在现代电子产品的研制生产中被广泛采用。为此, 中国气象局实施了“全国天气雷达终端更新”项目, 对数字化天气雷达进行更新改造, 以确保能正确地处理观测数据, 统一雷达产品的数据格式, 满足全国天气雷达组网拼图、数据交换、资料共享的需求。

“天气雷达数据处理系统”是更新项目的一个重要组成部分, 主要完成雷达回波的采集与处理、天线控制、实时显示与存储、回波强度定标等功能, 为雷达数据的后续处理, 生成实用的预报产品提供支持。

天气雷达数据处理系统包含信号处理器、天线控制器、系统处理软件等部分。

2 方案选择与系统技术指标

2.1 方案选择

系统担负着雷达回波的实时采集和显示, 雷达参数和回波数据的标定以及天线运行状态的控制等工作, 其稳定、可靠地运行将直接影响整个项目的成败。经过充分的分析、调研和比较, 决定采用如下技术方案:

(1) 为提高系统的可靠性、稳定性、易维护性以及设备的小型化, 在系统的信号处理器和天线控制器的设计中使用复杂可编程逻辑器件(CPLD)^[2-3]。

(2) 信号处理器和天线控制器作为两个独立的功能设备分别设计, 分开放置。信号处理器以插卡的形式插入微机的扩展槽中; 天线控制器作为一个单独的机箱, 置于微机之外。

(3) 信号处理器和天线控制器之间的数据交换采用串行方式, 使用带屏蔽双绞线, 遵循 RS-422 标准。

(4) 为保证雷达本身和数据处理系统安全正常地工作, 需要在雷达开机, 系统启动时, 进行整个系统的自检。自检通过, 才能进行雷达观测作业。除此之外, 天线控制器和信号处理器作为独立功能设备, 也能够分别进行自检和单独调试、检查。

(5) 系统处理软件运行于 Windows 环境, 要求操作界面友好, 使用方便。

2.2 系统主要技术指标

- (1) 高速 A/D 转换(10MHz 转换速度), 12bit。
- (2) 距离积分采用可变库长, 分别为 125m, 250m, 500m, 1000m。
- (3) 方位积分次数不为固定值, 积分次数随天线转速不同而变化。采用滑动积分方式。
- (4) 独立积分次数^[4-9] ≥ 32 次, 积分精度 ≤ 1 dB。
- (5) 水平扫描 1° 输出一组观测值, 垂直扫描 0.1° 输出一组观测值。

3 系统设计

天气雷达数据处理系统包括硬件和软件两大部分。

3.1 硬件设计

系统从硬件上分为信号处理器和天线控制器两大模块, 原理框图如图 1 所示。

信号处理器使用复杂可编程逻辑器件(CPLD), 保证在完成各种设计功能的前提下, 使处理板小型化(18cm×11cm)。完成的主要功能包括: A/D 变换; 距离积分和方位积分处理; 向天线控制器发出天线控制命令; 接收天线控制器传来的天线状态数据; 产生控制逻辑与时钟信号等。

天线控制器中, 采用 89C51 单片机、CPLD 等器件, 实现对天线的控制。所有硬件(含电源)被集成于小机箱内, 可置于雷达主控台上方。主要功能包括: 接收来自计算机的命令, 对天线的位置、速度和运动模式实施控制; 输出天线状态数据至主控微机, 实时数字显示天线的方位角、仰角; 雷达触发脉冲转换和整形; 提供天线控制器的控制逻辑与时钟信号等。

信号处理器和天线控制器之间通过带屏蔽双绞线连接, 利用串行方式传输数据。

3.1.1 信号处理器

信号处理器的原理框图如图 2 所示。

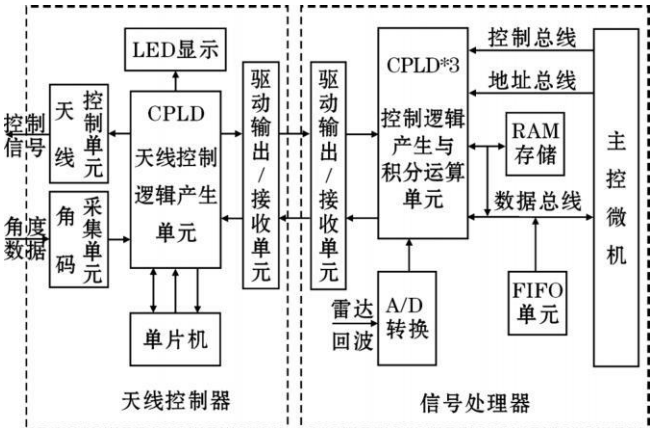


图 1 系统原理框图

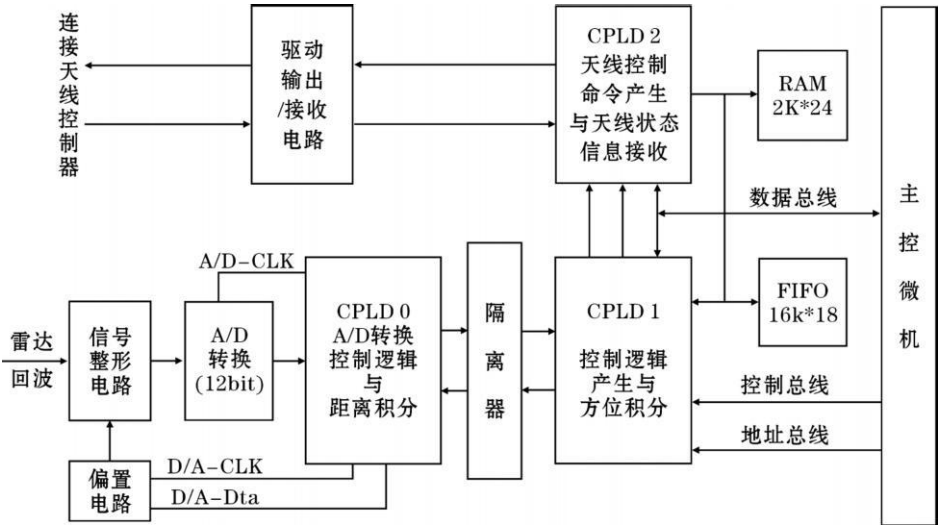


图 2 信号处理器原理图

从总体上来讲, 信号处理器完成两大主要任务。其一是接收来自雷达的对数视频信号, 经 A/D 变换、距离和方位积分运算, 送入计算机处理。另一个是通过它接收天线的状态信息和向天线控制器发送天线控制命令。对应将数据通路分为两条, 即信号处理通路和天控信息通路。下面就以这两条数据通路为线索, 介绍信号处理器的工作原理。

(1) 信号处理通路

图 2 中, 雷达的对数视频信号被送至高带宽运算放大器的同相输入端, 缓冲整形后驱动输出至 A/D 转换器。选择高带宽运放作为 A/D 的前置电路, 目的在于减小信号失真, 真实反映回波信号变化。

运算放大器的反相输入端与 D/A 的输出端相连, 以便在必要时调整回波的直流偏置。

A/D 转换器选择的是 BURR-BROWN 公司的 ADS804 芯片, 它是一个 12Bit, 10MHz 采样率的高速 A/D 转换器。信号处理器设计中, 在 CPLD 提供的时钟控制下, A/D 的转换速率为 2.4MHz, 即每 62.5ns 采样一点。

信号经 A/D 转换后送往 CPLD 0 进行距离积分处理。

经距离积分后的数字信号再通过隔离器送往方位积分电路。利用隔离器将模拟电路区和数字电路区尽量隔开, 防止相互干扰, 以提高 A/D 转换精度。为提高转换精度, 除采取上述措施外, 还对模拟区使用专用的线性电源供电, 而非微机电源。同时印制电路板设计成 4 层板, 其中有专门的电源层和地层。

在此信号处理通路上, 使用了 Altera 公司的 CPLD 芯片 MAX9320(原理框图中的 CPLD1)。该芯片利用 Altera 公司提供的设计工具开发相应的功能电路, 经编译、仿真后写入该芯片。

CPLD 1 作为核心器件, 生成了整个信号处理器的控制逻辑和时钟信号, 保证了各部分电路的正常工作。同时, 该器件与大容量 RAM 配合, 完成了雷达回波的方位积分处理。

(2) 天线控制信息通路

图 2 中, 天线控制信息通路使用的器件主要包括线路接收器件 26LS32、线路驱动输出器件 26LS31, 以及 Altera 公司的 CPLD 芯片 EPM 7128(图 2 中的 CPLD2)。

当主机需要控制雷达动作时, 通过端口将相关命令字写入器件 EPM 1728 内部的移位寄存器, 其后, 由器件内部产生的时钟将该命令字以串行的方式, 通过线路驱动输出器件 26LS31 送往天线控制器进行天线动作控制。

天线当前状态(方位角、仰角和状态匹配标志等)也是通过该信号通路送往主机。利用移位时钟, 天线控制器每 20ms 将天线状态信息以串行方式写入 EPM 7128 内部的另一个移位寄存器, 并锁存, 主机通过查询方式将天线状态数据读入微机或写入 FIFO 芯片。

除了上述两个主要的信号通路之外, 信号处理器本身还带有晶振(可选)。48MHz 晶振信号通过 MAX9320 内部的分频电路, 产生 9.6MHz 的时钟信号和周期为 5ms 的同步脉冲 T_0 (仿真雷达的触发脉冲)。如此设计的目的在于信号处理器可以脱离雷达而单独调试、检查和维护。

3.1.2 天线控制器

天线控制器是一个闭环的控制系统。角度定位时, 利用来自主控微机的目标角度与取值于天线控制器角码芯片的实际角度的差值来实施控制。天线控制器原理框图如图 3 所示。

按照设计的要求, 天线控制器是一个独立的设备。设计时, 使用 MAX9320 CPLD 芯片。作为一个关键器件, 其内部实现了加法器、串/并和并/串转换、译码器等功能, 并由其提供整个天线控制器各部分电路的时钟。另一个重要的功能电路是单片机电路, 通过对单片机 89C51 编程, 完成各种数据处理, 天线转速、角度、是否过冲等情况的判断, 并做出行动决策。

D/A 转换电路提供驱动电机运转的电压。单片机将目标角度与实际角度之差, 根据一定的算法变成数字量。D/A 转换完成将此数字量变成直流驱动电压, 这样天线就可以按照单片机中的程序所设计的方式运动。

显示电路用于将天线的方位角和仰角, 通过数码管显示出来。精确到小数点后一位。

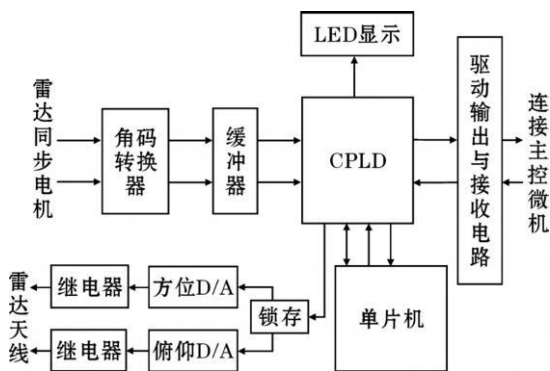


图3 天线控制器原理框图

3.2 系统处理软件设计

系统处理软件是利用 VC++ 语言编写。实现的功能除了信号处理器驱动、雷达回波采集、存储和数据转换、实时显示、天线状态监控及显示、雷达参数标定等^[7,8], 还增加了系统自检功能, 以保证雷达和数据处理系统的安全性。系统处理软件实现的功能如图 4 所示。

其中, 雷达回波数据采集、存储和数据转换子程序(模块)实现数据的采集、数据转换成表示回波强度的 dBz 值和存储功能。

实时雷达回波显示模块利用采集到的雷达回波数据, 分别实现 PPI 和 RHI 显示。

天线状态监控及角度显示子程序(模块)能随时观察到天线运动速度、方位和仰角, 在需要对天线进行定位操作时, 也可直接通过显示界面, 发出命令, 控制天线运动到指定位置, 并实施监控。

系统自检模块在雷达开机, 数据处理系统加电的情况下, 通过多次发送命令到天线控制器, 并接受响应, 根据响应的情况判断系统是否工作正常。如果自检不通过, 将不能对雷达进行控制, 系统软件也不能进一步操作。

雷达参数标定模块实现了噪声电平评估、雷达常数标定、信号处理器标定和对数曲线标定等功能, 为进行定量的、准确的雷达观测作业提供依据。

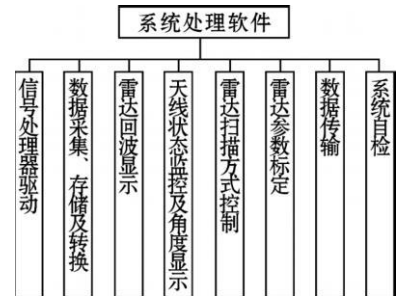


图 4 系统处理软件实现的功能

4 系统实现的功能

通过天气雷达数据处理系统的实际应用和测试, 完全达到了 2.2 节中所规定的性能指标。系统实现的主要功能包括:

- (1) 高速 A/D 转换和数据采集(10MHz 转换速度), 12bit;
- (2) 实时 PPI 显示, 距离 60km, 120km, 240km, 480km;
- (3) 实时 RHI 显示, 距离 50km, 100km, 200km, 仰角范围 0—30°;
- (4) 天线角度实时数字显示;
- (5) 资料自动存盘、归档;
- (6) 系统自检, 包括: 单片机天线控制状态检测、主机与天线控制器间线路连接状态和信号处理器与天控工作状态的测试、A/D 转换测试、主控制及存储器工作状态测试。

5 结论

天气雷达数据处理系统在设计与实现中, 采用复杂可编程逻辑器件(CPLD), 系统集成度高, 保证了系统的可靠性和稳定性, 并且可根据现场雷达参数的差异修改内部电路, 硬件升级容易。天线控制器和信号处理器均设置了自检系统, 便于在系统出现故障时, 迅速孤立故障源, 排除故障。用户界面采用图形化的 Windows 界面, 多任务操作, 使用方便、直观。通过在全国十多部常规天气雷达中的实际使用证明, 性能稳定可靠, 安装调试方便快捷。

项目受中国气象局大气探测重点开放实验室开放基金支持

参考文献:

- [1] 梁海河, 张沛源. 全国天气雷达数据处理系统[J]. 应用气象学报, 2002, 13(6): 749—754.
- [2] 何建新, 王天宝, 李飞, 王建波, 朱毅. EDA 技术及应用教程[M]. 成都, 四川大学出版社, 2001.
- [3] 何建新. EPM9480 在 CINRAD 硬件信号处理器中的应用[J]. 微电子学, 2001, 31(6): 455—457.

- [4] 方德贤, 赵坤, 李明. 虚拟数字视频积分器的研制及应用[J]. 高原气象, 2005, 24(2): 285—290.
- [5] 张沛源, 周海光, 梁海河. 数字化天气雷达定标中应注意的一些问题[J]. 气象, 2001, 27(6): 27—32.
- [6] 陈加清, 朱福萌, 焦中生. 数字化天气雷达强度标定方法[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2003, 4(4): 89—92.
- [7] 赵坤, 陈建军, 方德贤. 数字天气雷达虚拟终端的硬件和软件设计[J]. 高原气象, 2006, 25(2): 335—343.
- [8] 张晰莹, 张礼宝, 官福顺. 天气雷达数字化终端及其应用软件[J]. 气象科技, 2004, 32(4): 297—299.

Design and Implementation of Data Processing System for Weather Radar

ZHU Yi¹, HE Jian-xin¹, LI Fei¹, WANG Zhong-ke¹, JIN Xiao-bing²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Thunder Prevention Center of Sichuan Province, Chengdu 610072, China)

Abstract: Weather radar data processing system is the key of the project “National Weather Radar Terminal Updating”. It aims at achieving the functions such as high-speed acquisition and processing for radar echo signal, antenna control, real-time display and storage, and echo intensity calibration. The system is designed with Complex Programmable Logic Device (CPLD) and Quartus II to produce a variety of complex sequential logic control clock and coordinate the work of each functional circuit in signal processor and antenna controller. The data processing system achieves the system technical specifications. The actual use shows that the system is of stable and reliable performance, simple structure, friendly interface, convenient operation and simple upgrading. The system is capable of dealing with conventional weather radar signal real-timely and efficiently.

Key words: weather radar; data processing system; signal processor; antenna controller