

基于网络的实装雷达训练系统的研究与设计

易成涛,李 伟,金 鑫

(海军大连舰艇学院 航海系, 辽宁 大连 116018)

摘 要: 针对实装导航雷达在海上实践教学数量有限、效率低下的问题,设计开发了一套基于网络的实装雷达教学应用系统.系统通过硬软件设计,控制雷达天线发送雷达电磁波,接收与处理实时返回的雷达回波信号,在雷达终端显示该回波的同时,通过雷达采集卡进行数字化采集,最后将采集的回波数据即时压缩,通过局部网络发布到受训学员台位的笔记本电脑中进行教学应用.通过海上航海实践教学应用证明,该系统设计简单而实用,可靠性强,节省了购买雷达实装的经费,而且系统扩展性强,与电子海图和 AIS 结合使用,能够更加有效地辅助导航.

关键词: 导航雷达;系统设计;数据采集;网络实时传输

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)08—0059—04

Research and Design on Radar Training System Based on Network

YI Cheng-tao, LI Wei, JIN Xin

(Department of Navigation, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: The quantity of navigation radar used in marine practice teaching is rather limited and inefficient. Aiming at these problems, a radar teaching system based on network was designed in this paper. Designed by both hardware and software, the system controls the radar antenna to transmit radar electromagnetic wave, receives and processes the echo signal in real-time, displays the echo signal in the radar terminal while doing digital acquisition through radar acquisition card, compresses the echo data and then delivers them through the local network to the notebooks of the training students. The application in marine navigation practice proved that the design of the system was simple, practical and reliable, which could save the funds of purchasing radar equipment. And this system is rather flexible. With combination of ECDIS and AIS, it can provide more effectively aided navigation.

Key words: navigation radar; system design; data acquisition; real-time network transmission

1 引言

导航雷达是被广泛应用于海上定位和导航的重要装备,也是航海类院校海上训练的一项重要科目^[1].然而,现今院校及舰船上所用的导航雷达数量有限而学员众多,导致受训学员在院校及实际海上使用雷达受到较大的限制.针对此,文中介绍了一种基于网络构建的较为完善的数字化实装雷达训练系统,以实现将实时雷达图像传至每一个学员台的构想,从而提高雷达教学的效率和效果.该系统在我院课堂及训练舰船上的雷达教学任务中起到了非常重

要的作用.

2 系统组成设计

参照文献[2]所述的雷达基本原理,本文系统由天馈分系统、发射分系统、接收分系统、显控分系统及网络发布分系统等五个分系统组成,组成框图如图 1 所示.

(1)天馈分系统将雷达发射的微波信号定向辐射至空中,并接收目标反射的回波信号;通过天线驱动电机带动方位驱动模块产生舰艏、方位信号.

(2)发射分系统通过脉冲调制的方式,产生高频

(X 频段)微波信号,并通过天馈系统,辐射至空中,探测舰船周围目标.

(3)接收分系统用于接收目标反射的回波,并通过下变频、中频放大及检波等过程,产生雷达视频信号.

(4)显控分系统是雷达的显示、控制终端,提供人机操作界面,显示雷达图像的综合信息.

(5)网络发布分系统将雷达回波实时图像即时压缩,然后及时发送至学员台终端的电脑上进行教学应用.

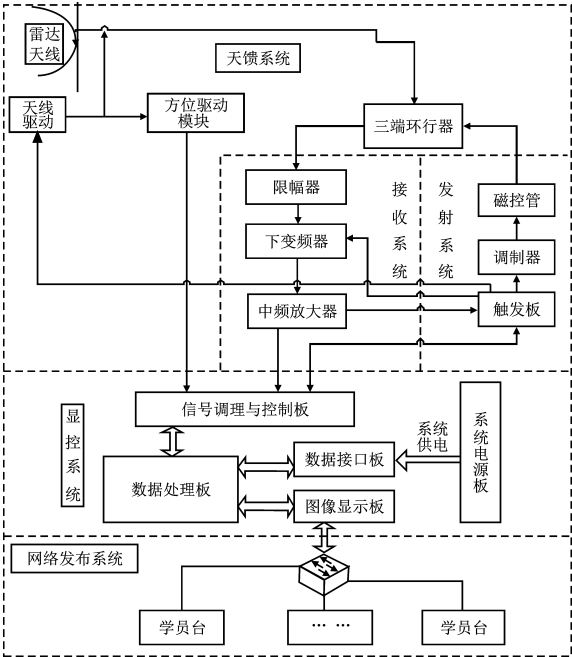


图 1 系统组成

3 系统关键技术研究

3.1 信号调理与控制板设计

信号调理与控制板一方面对雷达天馈、发射、接收等各分系统输出的方位、舰艏、触发、视频信号进行预处理,另一方面通过自身的控制电路完成对雷达其他分系统的控制,其原理框图如图 2 所示.

信号调理与控制板实现的功能如下所示.

(1)雷达视频信号的雨雪、海浪抑制,增益控制等功能,实现雷达视频信号的模拟调理.

(2)输出的触发脉冲、舰艏脉冲、方位脉冲和视频信号进行故障检测和预处理,分别将检测结果和预处理数据送至上位机和数据处理板上的采集卡.

(3)根据上位机软件系统控制命令,输出等待发射、脉宽切换等控制信号,实现对雷达分系统的控制,并产生调谐电压控制接收系统混频输出.

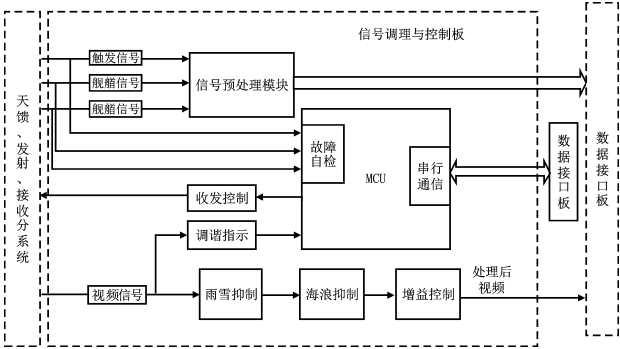


图 2 信号调理与控制板原理框图

(4)根据雷达回波的强弱,实现调谐指示功能.信号调理与控制板的电路设计图如图 3 所示.

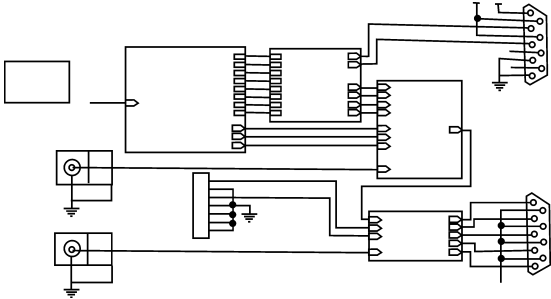


图 3 信号调理与控制板 PCB 设计图

3.2 数据处理板设计

数据处理板是显控分系统最为核心的板卡,主要用于雷达视频的采集、杂波抑制等功能.

数据处理板原理框图如图 4 所示,主要由 PC104+采集模块、PC104+主板、PC104+转以太网模块等三部分组成.

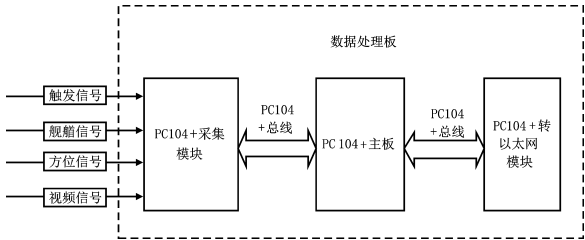


图 4 数据处理板原理框图

数据处理板各模块功能如下所示.

(1)PC104+采集模块

PC104+采集模块接收信号调理与控制板输出舰艏、方位、触发、视频等信号,并对视频信号进行 ADC 变换,实现雷达数据的采集工作,并通过 PC104+总线将数据送给 PC104+主板.本文系统根据奈奎斯特采样定律,ADC 采集速率设计为 32MHz,采样精度为 10 位.

(2)PC104+主板

PC104+主板为数据处理板核心控制模块,该主板板载处理器为 Atom CPU,主频为 1.6 GHz,板载内存 1 GB.

PC104+主板控制 PC104+采集模块采集雷达回波,并对采集后的回波数据进行分析,完成杂波抑制、智能去噪等功能.并将处理后的数据通过以太网接口送给图像显示板进行图形的绘制工作.

(3)PC104+转以太网模块

PC104+转以太网模块,实现总线数据格式转换,即将 PC104+总线格式数据转换为网络标准以太网络格式.

PC104+采集模块中的雷达采集卡电路设计总图如图 5 所示.

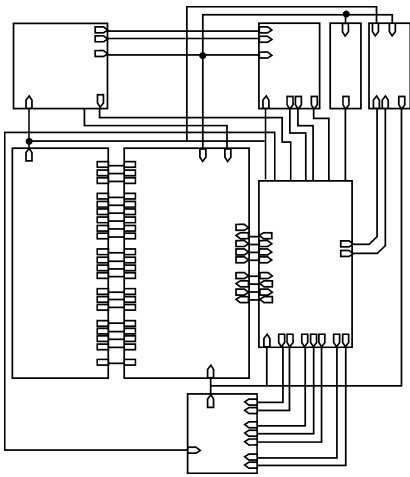


图 5 雷达采集卡 PCB 设计总图

3.3 系统软件设计

(1)软件组成与功能设计

软件组成如表 1 所示,由雷达采集和控制、传感器处理及终端显示两大部分组成,雷达采集和控制模块运行在数据处理板上,传感器处理及终端显示模块运行在图像显示板上.

表 1 软件组成

运行系统	软件组成	说明
显控系统	雷达采集和控制	主要用于雷达采集
	传感器处理及终端显示	主要用于雷达图像显示

系统软件的总体框图如图 6 所示,主要实现以下功能.

①雷达采集和控制模块,采集雷达回波,将其发送至信息传输模块;从传感器处理模块接收雷达控制命令,发送到雷达信号调理与控制板.

②信息传输模块,接收和发送雷达控制命令,传

输雷达回波图像.

③传感器处理模块,处理接收到的传感器信息,将解析后的信息发送至显示终端,并转发控制指令到其他模块.

④终端显示模块,显示雷达回波信息,进行去噪和目标增强处理,将人机交互的结果叠加到回波显示区域.

⑤雷达数据发布模块,即时压缩雷达回波图像数据,将压缩后的数据包通过局部网络实时发送给各学员台位进行实时显示.

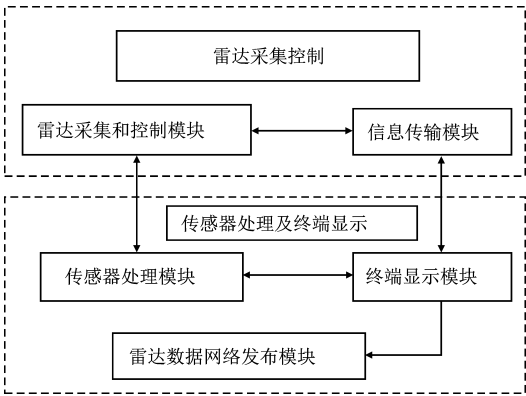


图 6 系统软件总体框图

(2)雷达采集卡的驱动设计

雷达采集卡是 PC104+采集模块的主要板卡,其功能是将信号调理与控制板预处理的雷达信号进行数字化采集.但由于此采集卡是自己设计制作的,设计时采用了大规模集成电路 FPGA/CPLD,因而不属于计算机的标准外部设备^[3-4],需要进行相应的板卡驱动程序设计.

针对院校和舰船两种不同的训练场地,设计开发了基于 Window 7 和基于 VxWorks 操作系统的两套板卡驱动程序. 实践应用证明,VxWorks 操作系统下的训练软件执行效率要优于 Windows 系统下的同一训练软件. 其原因是,本文系统的硬件部分的实时性要求较高,对操作系统的实时性、稳定性、可靠性、安全性及多任务处理的要求较高. Windows 操作系统虽然操作方便,而且驱动程序设计相对简单,但当活动目标较多时,Windows 操作系统会出现不稳定,甚至死机现象,多次非法关机情况下也易造成系统无法启动,故而适宜于活动目标较少的院校训练环境. VxWorks 操作系统具有强实时性和较好的稳定性和可靠性;其代码执行效率高于其他操作系统,系统通过编译处理后产生的文件较小,可通过 CF 卡搭载,在系统启动后即完全释放到内存中

运行,任何意外断电、震动和冲击都不会造成系统无法启动,故而适用于舰船航行训练环境。

由于需要采集的雷达数据量大且实时性要求高,因此,必须采用 DMA(Direct Memory Access)方式实现雷达采集卡和 PC104+主板之间的数据传输。其作用是,通过 DMA 传输时,雷达卡采集数据与计算机存储数据之间的交换不通过 CPU,其传输地址是由 DMA 控制器通过 PC104+直接生成,从而有效地提高了数据传输的效率^[5],很好地解决了采集数据来不及处理的问题。

(3) 雷达杂波抑制和智能去噪算法设计

由于在不同海况、不同方向、不同海域条件下,海杂波的强度具有明显的差异,通用的模拟电路产生的 STC 曲线抑制海杂波效果不够理想^[6]。针对该问题,采用经验模式分解的数字处理技术,实时反演各个方向的海杂波,从而有效区分海杂波和小目标的回波信息,实现了杂波的抑制算法和智能去噪算法。算法实现的基本步骤是,将本次雷达回波信号与上次扫描的雷达回波信号进行扫描间积累平均,杂波信号因为其随机性在扫描间积累平均中减弱,使得目标信号增强并通过多级去噪算法,提高了复杂海况下的小目标检测能力。通过智能去噪算法,判断杂波与小目标,使小目标的回波损失最小化,从而在显示上得到增强。

(4) 雷达图像数据发布软件设计

系统在雷达终端显示的同时,与教室所有学员台的教学应用分系统又共同构成了一个局部网络。由于本系统网络传输的是大量实时雷达回波数据,因此在系统数据分发软件设计时,首先采用多尺度回波压缩技术对回波数据进行了即时压缩,然后再采用组播的方式进行发布。

数据压缩一般有两种方式:有损压缩和无损压缩^[7]。有损压缩方法的特点是:压缩比相对较高,但会损失一些次要的数据信息。无损压缩的特点是:压缩比相对较低,但不损失任何数据信息。针对雷达回波数据,日前已有很多文献介绍了最新的实用方法,如文献[7-9]提出了基于信号处理领域中的压缩感知(Compressive Sensing,CS)的基本理论来实现数据压缩等等。但大多雷达数据处理方法只适用于某一型号雷达或某一类型雷达回波数据。本文针对的是数据采集后的导航雷达回波数据,采用的多尺度回波压缩技术实际上是针对采集数据的特点进行了归类和重组,其实质是对数据的一种重构,故而可以算是一种无损压缩。

针对网络传输的数据类型不同,网络通信模块采用了不同的通信协议。一是对系统训练的所有控制指令和状态数据采用了基于 TCP/IP 的网络传输协议,二是对舰船位置和雷达图像数据,由于其更新频率快采用了 UDP/IP 的网络传输协议,实现了同一教室和不同教室之间稳定和实时的传输效果。

4 结束语

本文设计的雷达教学系统在我院课堂和训练舰船上都进行了雷达实装教学应用。现场教学时,只需要将导航雷达的天线接入本系统,即可以在三个教室所有的学员台电脑上共享雷达回波图像信息,而且,在训练过程中,学员既可以选择储存途径海区的雷达图像,供日后总结航行经验备用,也可以与电子海图叠加应用,增强导航的安全性。

本文系统设计具有下列优点:

(1)针对雷达图像的数字采集的不稳定问题,采用方位补偿技术,解决了方位倍频所产生的方位漂移问题,使得回波图像更加稳定;

(2)针对小目标与杂波不易区分的问题,采用数字处理技术进行自适应杂波抑制和去噪,使得小目标回波增强;

(3)针对系统扩展问题,设计时预留了网络接口,具有组网功能,能够与导航系统(罗经、计程仪、GPS、AIS 等)的通信接口。

参考文献:

- [1] 王桂军,王书晓. 军事航海学[D]. 大连:海军大连舰艇学院,2009.
- [2] 丁鹭飞,耿富录. 雷达原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2009.
- [3] 易成涛,徐晓刚,王孝通. 导航雷达虚拟实现的一种新方法[C]//系统仿真技术及其应用学术会议论文集. 北京:中国自动化学会控制理论专业委员会,2008: 585-587.
- [4] 陈姚节. 基于 WDM 设备驱动的虚拟仪器的研究与应用[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2002, 26(5): 650-653.
- [5] Abhay Bhargav. PCI Compliance: The Definitive Guide [M]. America: Auerbach Publishers Inc, 2014.
- [6] 何友,张晶炜. 雷达数据处理及应用[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [7] 陈秀伟,张云华,刘小军,等. 基于 CS 理论的一种雷达数据压缩方法[J]. 系统仿真学报, 2014, 26(4): 810-816.

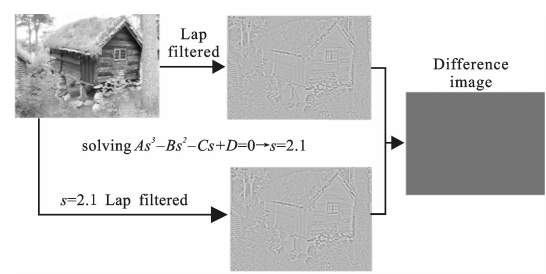


图 3 滤波核反求过程

拉斯滤波图像的差分图像、psnr、边缘数量以及动态范围的四种对比,可以看出本文算法的可行性。针对基于拉普拉斯滤波图像的多项式表示,本文也提出了一种反演拉普拉斯滤波核的算法。通过利用最小二乘法求解一个一元三次多项式方程即可反演出拉普拉斯滤波核,由于将反演滤波核问题转化成数值求解方程的问题,因此该算法具有高效性和准确性。

用最小二乘法求解一个一元三次多项式方程即可反演出拉普拉斯滤波核,由于将反演滤波核问题转化成数值求解方程的问题,因此该算法具有高效性和准确性。

参考文献:

[1] S Paris, S Hasinoff, J Kautz. Local laplacian filters: Edge-aware image processing with a laplacian pyramid [J]. ACM Trans on Graphics, 2011,30(4): 1-11.

[2] M Aubry, S Paris, S Hasinoff, et al. Fast local laplacian filters: theory and applications[J]. ACM Transactions on Graphics, 2014, 33(5):1935-1946.

[3] Z Farbman, R Fattal, D Lischinski. Diffusion maps for edgeaware image editing [J]. ACM Trans on Graphics, 2010, 29(6):81-95.

[4] G Koutaki, K Uchimura. Scale-space filtering using a piecewise polynomial representation[C]// Image Processing (ICIP), 2014, IEEE International Conference on. Paris:IEEE,2014: 2918-2922.

[5] Durand F, Julie D. Fast Bilateral Filtering for the Display of High-Dynamic-Range Images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3):257-266.

[6] 杜振龙,金雨霏,高斯型模糊润饰图像的模糊核反演算法,计算机辅助设计与图形学学报[J]. 2014, 23(10): 1801-1809.

[7] L Xu,X Tao,J Jia,et al,Inverse Kernels for Fast Spatial Deconvolution[C]// proceedings of the 13th European Conference Springer International Publishing Iurids. Swilzerland:IEEE,2014:33-48.

[8] 吕涛,黄晋. 积分方程的高精度算法[M]. 北京:科学出版社,2013:22-27.

[9] Masakazu, Yamagishi. Periodic harmonic functions on lattices and Chebyshev polynomials[J]. Linear Algebra and its Applications,2015,476(9):1-15.

作者简介:

杜振龙 男,(1971-),博士,副教授.研究方向为可信媒体认证、计算机图形学、机器学习。

鲍明琦(通讯作者) 女,(1992-),硕士.研究方向为可信媒体认证、计算机图形学. E-mail:15195999180@163.com

(上接第 62 页)

[8] 钱辰,田小平. 基于压缩感知的网络编码算法[J],微电子学与计算机,2014,31(3):52-55.

[9] Tsaig Y,Donoho D L. Extensions of compressed sensing[J]. Signal Processing (S0165-1684),2006, 86(3): 549-571.

作者简介:

易成涛 男,(1974-),博士研究生,副教授.研究方向为军事航海理论与方法、图形图像技术。

E-mail:yctao1024@163.com