

# 基于 VxWorks 的末制导雷达通用信号处理平台设计

## Design of General Terminal Radar Signal Processing Platform Based on VxWorks

91336 部队 徐光耀 徐海 崔连虎 张旗

**[摘要]** 通用的雷达信号处理平台在中断响应、数据传输等方面对系统的实时性和可靠性要求较高,在设计时有必要采用高性能的实时操作系统,同时采用 PCI 总线来保证高速的数据传输。为此,基于实时操作系统 VxWorks,以高性能微处理器 PowerPC7457 为核心,采用 PCI 总线机制,借鉴软件模块化思想,构建了通用的雷达信号处理平台。可用于信号处理算法的开发验证,具有较高的实时性和扩展性。

**关键词:** 雷达信号处理 VxWorks PowerPC 脉冲压缩

**[ABSTRACT]** In general radar processing platform, due to the high demand to realtimeness and reliability in terms of interrupting response and data transmission, it is necessary to select high performance real-time operating system and PCI bus to guarantee high speed data transferring. For this, the platform kernel with microprocessor PowerPC7457 is designed by using, real-time operating system VxWorks, PCI bus mechanism, the idea of the soft module. This general signal processing platform can be used to produce signal processing algorithm, the result indicate that this platform has high realtimeness and extendibility.

**Keywords:** Radar signal processing VxWorks PowerPC Pulse compress

随着科学技术的不断发展,末制导雷达所面临的电磁环境更加复杂多变。在末制导雷达的扫描区域内,往往存在着大量固定或运动的隐藏式战略与战术电子设备及多个静止或运动的威胁目标,它们通常工作在极宽的工作频带上,而且所检测的信号往往淹没在大量噪声、不相关信号与杂波中,从而使这些微弱信号的检测变得极为困难,而且各种有源、无源干扰,特别是近年来发展起来的隐身技术,大幅降低了目标对电磁波的反射,这也对末制导雷达信号处理技术的发展提出了更高的要求。

末制导信号处理的目的是消除不需要的信号及干

扰,提取或加强目标所产生的回波信号,从而稳定跟踪目标,引导导弹摧毁目标。由于末制导雷达的工作时间很短,通常只有几秒~几十秒之间,要在有限的时间内完成对目标的检测与跟踪,这对信号处理的实时性提出了很高的要求<sup>[1]</sup>。

本文研究的末制导雷达通用信号处理平台是为了满足对于多种体制、多种信号样式的末制导雷达信号处理算法的验证,采用了嵌入式 VxWorks 实时操作系统,确保了末制导雷达信号处理的实时性。

## 1 VxWorks 操作系统简介

目前市场上常用的实时操作系统有: VxWorks、pSoS、VRTX、Linux、WinCE 等<sup>[2]</sup>。VxWorks 是美国 WRS (Wind River System) 公司推出的一个具有微内核,可裁剪的高性能实时操作系统。它在航空、广播、运输、医疗、自动化、国防和科学研究领域有着广泛的应用。

### 1.1 VxWorks 的主要特点

VxWorks 嵌入式实时多任务操作系统是现在所有独立于处理器的实时系统中最具特色的操作系统之一。它具有广泛的适用性,可适用于多种不同的处理器,如 ARM、PowerPC 等;它具有强实时性、微内核设计、可裁减性、可移植性、高可靠性,可根据需要裁减形成体积小、专用性强、实时性强的软件;它的开发环境 Tornado<sup>[3]</sup> 提供了众多功能强大的开发工具,如功能完善的编辑器、C/C++ 编译器、原型仿真器、目标机调试器,以及优化分析工具和软件测试工具。

### 1.2 VxWorks 应用程序开发

WRS 公司还提供了优秀的实时操作系统开发工具 Tornado。Tornado 采用主机-目标机交叉开发模型,主要由 3 个部分组成: Tornado 工具,一套强大的交叉开发工具; VxWorks 实时操作系统;一整套主机-目标机间的通讯选项。

图 1 给出了 Tornado 开发系统的组成框图,左边代表集成开发环境,运行在开发机上,可以基于 Windows XP、Unix 等主机操作系统,本文是基于 Windows XP 操作系统的;右边代表目标机。

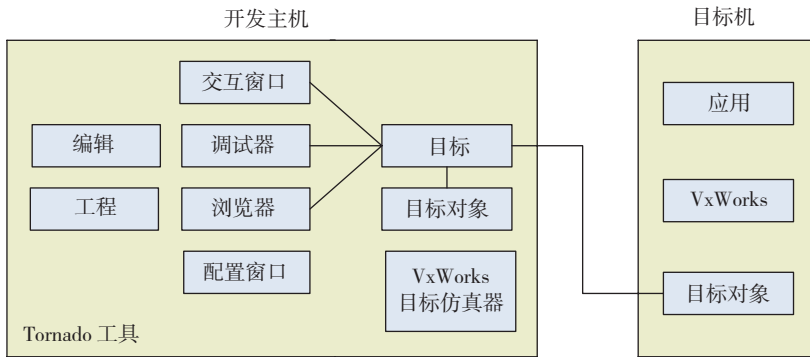


图1 Tornado开发系统组成  
Fig.1 Compose of Tornado program system

## 2 通用末制导雷达信号处理平台设计

通用末制导雷达信号处理平台主要由数字接收机和通用数字信号处理器(DSP)组成。数字接收机主要完成对中频接收机输出的中频信号的高速AD变换,采用数字下变频到零中频信号,经数字正交解调后形成I、Q两路正交信号。通用数字信号处理器主要完成对AD变换后的数字信号进行匹配滤波,MTI,MTD,FFT,CFAR,目标检测,解模糊,角度误差信号提取,脉冲压缩等信号处理。

本平台采用全可编程的通用DSP技术,通过对DSP系统的编程来实现多种信号处理算法。在不改变硬件结构的条件下,通过改变各种信号处理子模块的组合就可实现多种不同体制的末制导雷达信号处理。

### 2.1 硬件组成

硬件组成主要包括:AD和数字下变频器、信号处理器主板等。信号处理器主板采用Motorola公司生产的MVME6100。主处理器选用PowerPC 7457,主频为1.257GHz,处理能力达到10Gflops,其实际信号处理能力为单周期内可以执行8条指令,1024PT的复数FFT时间只需要12μs,该处理器具备板载的双通道PMC接口,接口标准为PCI-X,64bits/66,100MHz。处理器和AD变换的接口采用通用的PMC(PCI-X)总线,将AD变换和采集模块接到PCI0总线的PMC接口上,而将与磁盘阵列交换数据的接口接到

PCI1的PMC座上,可以分别满足数据传输的要求和接口板的数量要求,实现对AD变换所采集的数据的传输。信号处理的结果通过千兆以太网接口与数据处理计算机和控制计算机进行数据交互。采用通用的VME总线结构,通过VME总线和背板传输接口,可以实现板间高速数据交换,为系统扩展提供了良好的硬件基础。硬件组成框图如图2所示。

### 2.2 软件模块

软件设计上,充分借鉴了软件的模块化思想。在对多种不同体制末制导雷达信号处理流程总结的基础上,将各个处理环节封装成通用的模块。针对某一体制的末制导雷达信号处理,只需要通过调用相应的算法模块便可完成。这样增加了代码的重用性,有效地减少了代码的执行时间。软件主要模块有:数据重排模块,对信号处理机输入端的零中频信号进行重新排列,以满足矩阵运算的要求;脉冲压缩模块,通过调用矢量库的专用函数来实现线性调频信号的脉冲压缩处理;MTI处理模块,满足MTI体制时可进行任意次杂波对消处理;MTD处理模块,满足MTD体制时可进行固定杂波的滤除及多普勒频率的提取;相参积累模块,完成信号的相参积累,提高信噪比;恒虚警模块,针对不同的体制可选择一维恒虚警或二维恒虚警检测回波信号;

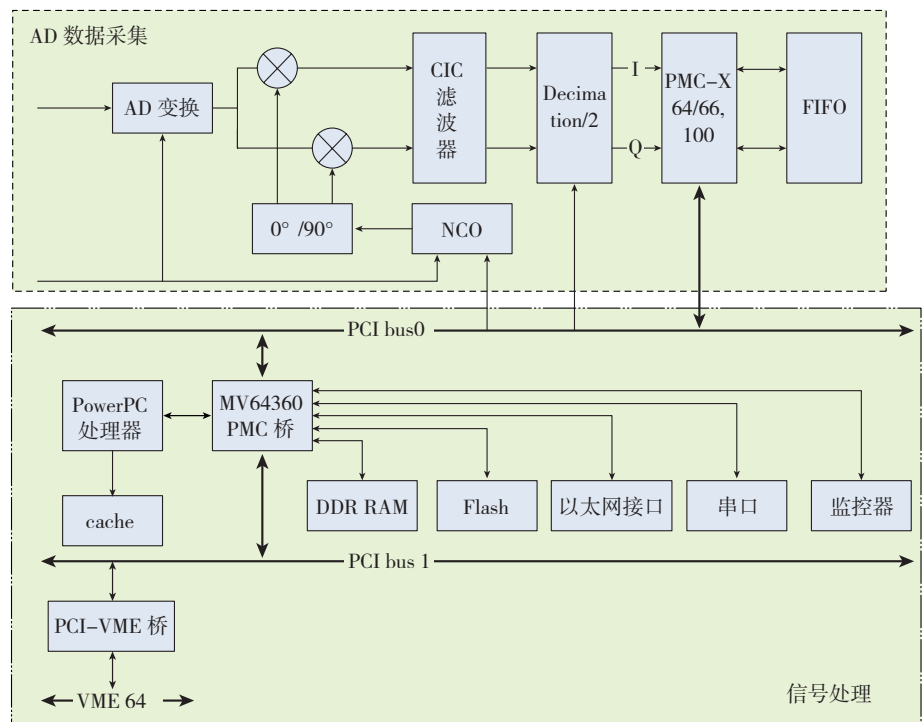


图2 末制导雷达通用信号处理平台硬件组成框图  
Fig.2 Hardware of general terminal radar signal processing platform

距离角度测量模块,在信号处理的基础上提取出目标的距离和角度信息。软件组成如图3所示。

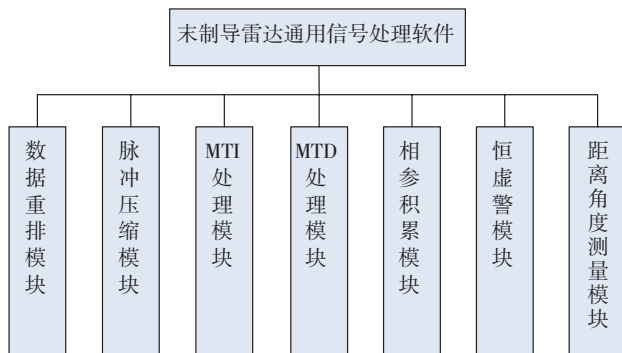


图3 末制导雷达通用信号处理软件组成

Fig.3 Software of general terminal rader signal processing platform

### 3 脉压处理实例分析

#### 3.1 脉压信号处理

在完成平台构建的硬件、软件设计的基础上,对脉冲压缩体制的末制导雷达信号处理过程进行了分析。脉压信号的处理过程为:首先对中频信号进行采样及AGC调准,保证信号满足AD采样电平,采样后的信号经数字下变频变到零中频,通过抽取在不影响信号处理的基础上减少运算量,然后与模板信号进行卷积实现脉冲压缩处理,得到窄脉冲回波信号,经过相参积累提高信噪比,最后通过恒虚警检测到目标信号,从而提取出目标的距离、速度及角度信息,这些信息最终将送到数据处理模块以完成对目标的跟踪。脉冲压缩信号处理

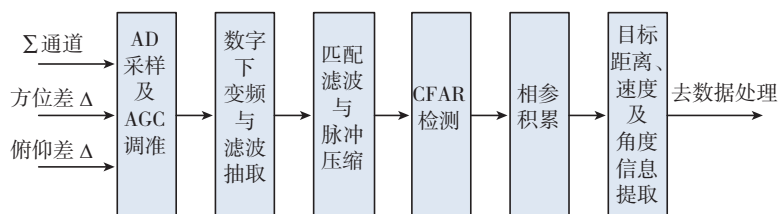


图4 脉冲压缩信号处理流程图

Fig.4 Pulse compress processing flow

流程如图4所示。

#### 3.2 脉压处理结果

线性调频信号的参数选择为:中频信号的频率为80MHz,调频带宽为10MHz,脉宽为 $20\mu\text{s}$ ,AD的采样率为100MHz,4脉冲积累。假设有3个目标在距离单元内的相对距离分别为10m、30m、100m。未进行压缩处理的回波信号时域波形如图5所示。

可见,从未压缩的回波信号中无法区分3个目标的距离信息。对于带宽为10MHz、脉宽为 $20\mu\text{s}$ 的线性调

频信号,其压缩比为200,经压缩处理后其分辨率 $\Delta R$ 可达到15m,经过脉冲压缩处理后的结果如图6所示。3个不同位置的目标可以明显区分开。

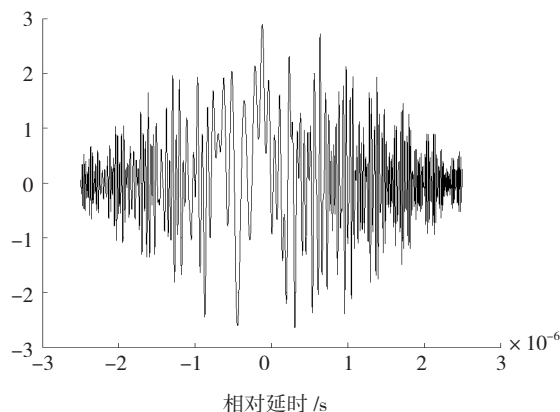


图5 未压缩的回波信号

Fig.5 Echo signal before compress

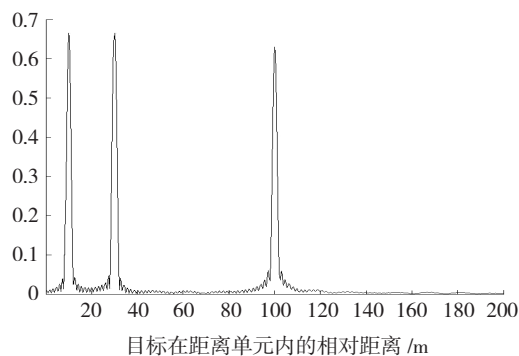


图6 脉冲压缩处理后的回波信号

Fig.6 Echo signal after pulse compress

### 4 结论

综上所述,此通用信号处理平台采用高性能的微处理器PowerPC7457和VxWorks实时操作系统,保证了信号处理实时性,同时整个软件开发采用模块化思想,通过软件模块的组合实现不同体制末制导雷达的信号处理,具有很强的通用性和扩展性。

#### 参考文献

- [1] 唐国富,邵宗舜,高丹平.飞航导弹雷达导引头(上册).北京:中国宇航出版社,2009.
- [2] 刘满国,戴擎宇,高相国,等.实时操作系统VxWorks在跟踪雷达系统中的应用.电子技术应用,2002(10):47-48.
- [3] WindRiver Systems.Inc.Tornado User's Guide(Windows Version),2002.
- [4] 赵树杰.雷达信号处理技术.北京:清华大学出版社,2010.
- [5] 丁鹭飞,耿富录.雷达原理(3版).西安:西安电子科技大学出版社,2002.

(责编 亦非)