

# 软件无线电的新进展

王文艺<sup>1</sup>, 黄文准<sup>1</sup>, 夏牧<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 空军第三研究所, 北京 100085)

**摘要:**针对软件无线电在军用及民用等方面有着极为广阔的应用前景,阐述了软件无线电的开放式总线结构、高性能的互连结构、高速 DSP、宽带模数转换器(ADC)、数字下变频器(DDC)等关键技术,介绍了软件无线电的工业标准(MMITS),21世纪国防远景展望及软件协议,并总结了近几年来在体系结构、器件和技术标准等方面所取得的一些新进展。

**关键词:**软件无线电;数字信号处理;体系结构;标准

**中图分类号:**TN915.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)01-0036-03

自1992年 Joe Mitola 首次提出“软件无线电”的概念后,首先在军事应用领域得到了发展,主要解决了三军无线电台多频段、多工作模式的互联互通问题;民用方面,由于有需求的牵引和技术的推动,加上软件无线电的开放式总线结构和模块化、标准化、层次化的软件开发以及极大灵活性,世界各大通信厂商均给予了极大的关注<sup>[1,5]</sup>。

## 1 器件技术不断发展

随着电路技术和器件技术的不断发展,如宽带高速 A/D/A、宽带大动态接收机、高速 DSP、现场可编程门阵列(FPGA)、高温超导等,使得软件无线电的研究工作能在这些新器件的推动下取得新的突破。

### 1.1 宽带模数转换器(ADC)

决定宽带模/数性能的关键是采样速率和位数,采样速率由信号带宽决定,量化位数则要满足一定的动态范围和数字信号处理精度。ADC的分辨率越高(位数越多),需要转换的时间就越长,转换速率就越低,两者相互制约。高速ADC的结构主要采用全并行或闪烁型ADC;而高分辨率ADC主要采用 $\Sigma-\Delta$ 结构。软件无线电中,在达到高速ADC的同时,兼顾高分辨率;同样,在达到高分辨率的同时,也要兼顾高速。具体应用时,还要考虑功耗、功能以及与外围其它电路的接口等。因此,在软件无线电的发展初期采用的ADC为AD9042,目前则有性能更为优越的AD6640。

### 1.2 数字下变频器(DDC)

数字下变频器(DDC)是A/D变换后首先要完成的处理工作,包括数字下变频、滤波和二次采样,由合成器、正交混频器、低通滤波器和输出格式化器组成,是整个系统数字处理运算量最大的部分。DDC的主要功能是从宽带输入中提取出所需的窄带频段,并将该窄带频段变换到基带,以正交或实信号形式输出。窄带提取由下变频和将有用频段中置到数据载波完成。即由正交正弦信号乘以输入数据完成下变频,同相(I)和正交(Q)处理支路都由高抽取滤波器(HDF)和FIR滤波器级联组成,用来提取有用频段。输出格式化器对滤波器的输出进行整形,以提供各种串行数据格式。这部分的工作由专用可编程芯片完成,如美国Harris公司的HSP50016和HSP50214<sup>[2-3]</sup>。

### 1.3 高速DSP

软件无线电中,单片的DSP尚不能满足处理速度和容量的要求,必须采用多芯片并行处理。目前已商业化的产品如TI公司的TMS320C40(第一代并行DSP),AD公司的ADSP2106X为可并行扩展的超级哈佛

指令计算机(SHARC),这种芯片内四套独立的总线,可完成双向数据存取、指令存取、非指令性 I/O,而且可方便地构成多片并行的处理系统。另外,90年代中后期 TI 公司的 TMS320C6X 系列,也是专门为并行处理而设计的。TMS320C6X 系列的主要特点是采用了甚长指令字(VLIW)的体系结构。该结构中,多个功能单元是并发工作的,所有的功能单元共享使用公用寄存器堆,由功能单元同时执行的各种操作是由 VLIW 的长指令来同步的,把长指令中不同字段的操作码分别送给不同的功能单元,这种代码压缩是由编译器完成的。开发工具在提供 DSP 系统的性能方面也起着重要的作用。

## 2 高性能的互连结构

该部分功能是解决如何将系统中各功能单元互连,组成一个可编程、开放、可扩展、具有高数据流量的硬件平台。传统的系统结构中,采用流水线形式互连,不具有开放性。软件无线电必须采用一种新的互连结构,这就是国内外都在研究基于总线的互连结构。

实现一个高性能的总线离不开精巧的设计,负载的驱动能力限制了总线所带器件的数量,还有其它的一些原因,所有这些都将在一定程度上使设计复杂化,并限制实际能达到的数据传输率。在大多数设计中,连接是点到点的,这时的板面布局比较容易实现,可以达到较高的速率,但随之而来的是增大了特定尺寸板上的集成器件的难度。在电路板上增加一个无阻塞的、可动态配置的 Crossbar,可以允许多条同时工作的通信路径存在,从而加大有用通信带宽。在后面板上使用 Crossbar 同样可以达到良好的效果,多个同时进行的数据传输加倍了可用带宽。Skychannel 是通过工业标准 Crossbar 进行互连的一个实例。

## 3 总线

总线起源于计算机硬件系统的设计和构造,开放的设计应用条件是总线系统必备的特征要素,开放性是总线系统强大生命力的源泉,以 IBM-PC 为基础发展的 PC 机总线、VME 总线、扩展 VME 总线形成的 VXI 测试系统、源自 PCI 总线的 CompactPCI 工控系统,直至扩展 CPCI 总线产生的 PXI 测控系统等,无不体现这一特点,从而具备了成长、应用和持续发展的条件。

由于总线的概念起源于计算机,将总线引入软件无线电系统后,要解决的主要问题就是弥补计算机系统与软件无线电系统在信号、电源、电磁兼容性等方面的差异,设计出适合软件无线电系统的总线环境,如数据的高速传输、同步等,当然,总线的加固、散热等问题也不允忽视。

在软件无线电中,可选择的总线主要有两种:Compact PCI 总线和 VME 总线。美国在软件无线电研究的一期项目 Speakeasy 中选择的是 VME 总线,但在 Speakeasy II 方案中,则选择 Compact PCI 总线,这说明在 Compact PCI 基础上,更适合构造未来的总线化软件无线电系统<sup>[4]</sup>。

## 4 软件协议和标准

目前国外正在研究如何实现软件的 Plug&Play,并提出了基于 JAVA/CORBA 的软件协议和标准(Common Object Request Broker Architecture 公共对象请求代理体系结构),该标准是由面向对象管理集团(OMG)制定的。基于“软件总线”的思想,就是建立一个基于标准、开放、易用的体系结构,所谓“软件总线”和通常所说的“硬件总线”类似,就是将应用模块按标准做成总线,插入总线即可实现集成运行,从而支持分布式的计算环境,这种设计思想与软件系统中软件的可应用性是一致的。

软件无线电中,“软件化”是一个非常重要的方面,那么,如何评判“软件化”呢?1997年,Joe Mitola 在欧洲召开的软件无线电会议中提出一个评价软件无线电“软件化”程度的思路:用一个矢量( $N$ 、PDA、HM、SFA)来表示“软件化”程度,该矢量的每一维坐标取 0~3 值,其中  $N$  为空中接口所能支持的频道数,分 4 类:单一频道(0)、双频道(1)、多频道(2)以及 RF 频段内的所有频道(3);PDA 指可编程数字化访问(Programmable Digital Access),表示软件无线电中数字可编程的程度,分 4 类:无可编程性(完全功能或固定功能的数字无线电)(0)、基带可编程(1)、中频可编程(2)、射频可编程(3);HM 指硬件的模块化程度(Hardware Modularity),即硬件可编程程度,分 4 类:系统无可编程性(0)、系统采用可编程模块(1)、系统采用 DSP(2)、系统

采用 FPGA、CPLD 等(3);SFA 是指软件模块化程度,也可认为软件的可重用性(Reuse),即软件可否用于不同的硬件平台上,也分为 4 类:无定义空中接口的软件(0)、硬件平台上只能运行一个厂商提供的软件(1)、多个厂商提供的软件均可加载到只有一个硬件的平台上(2)、多个厂商的软件可加载到不同的硬件平台上(3)。

## 5 软件无线电工业标准 MMITS

模块化多功能信息传输系统( Modular Multifunction Information Transfer System 简称 MMITS)论坛是致力于数字和软件无线电开放系统的唯一工业论坛。该论坛已于 99 年初改为软件无线电论坛,它预示着软件无线电开放式结构标准的应用正由军用转向商用。其成员包括美国、欧洲和亚洲软件与数字无线电技术提供商。

### 5.1 MMITS 论坛简介

MMITS 的观点是提供高质量、通用的、有价格竞争力的无线网络系统设备和大容量的业务。主要考虑如何跨越不同网络的无缝通信,并综合考虑同一环境下多种标准和解决方法的共存能力。开发由软件定义的开放的无线网络系统将使通信业务用户、通信业务提供商、设备支持与维护商都从中得到利益。MMITS 正是支持这种开放系统的标准,不仅包括一般公众的需求,而且还包括政府、国防需要,法律执行和紧急服务等。

MMITS 代表了无线网络的一个开放系统,扩展了大量无线网络技术,如蜂窝、PCS、移动数字、应急业务、信息、寻呼、军事和政府部门通信,使相互之间具有互通性。MMITS 制定的标准主要包括:结构一致的模块/功能层;模块可由硬件/软件来定义;描述软件或硬件模块互连间的接口;灵活的集成模块间的接口。

### 5.2 MMITS 论坛的目标

MMITS 论坛的目标主要包括<sup>[1]</sup>:加速开发软件无线电系统;采纳先进无线开放系统的研究工作;建立多功能模块化,可重编程,多模式,多频段信息传输系统的开放系统技术结构;鼓励以工业竞争方式促进相关标准的发展,并以此作为建立 MMITS 的基本标准,努力使工业界广泛接受这些标准;促进无线工业及其相关工业理解软件无线电的价值和利益。

21 世纪国防和政府工业远景展望包括:工业上必须交付软件无线电;模块化开放系统;标准化接口与应用编程接口(API);软件/硬件上的不同功能作为瞬时的一个任务功能;灵活性和自适应性可改进频段、模式、波形以及加密方案等。

21 世纪商用无线用户远景展望包括:无缝通信——包括一致的接入业务、发送业务,系统透明,技术独立;集成专用化——适合自己方式的业务,用户模型价格,灵活性。

### 5.3 MMITS 无线通信系统的设计

由于 MMITS 论坛制定的标准没有最后完成,各个生产厂家都推出自己的产品计划,因此,下面所介绍的无线通信系统设计只是 MMITS 论坛的参考建议。

#### 5.3.1 开放系统的无线通信设计

此设计方案由 ITT 航空通信公司提出。移动无线通信系统的目标是实现高速网络吞吐量、射频模块、军用业务、采用开放系统以促使未来的增长。其中未来增长途径包括:基于高级 PC/104 的销售,PC/104 PCMCIA 载波模块,商业 IP 和网络管理软件升级以及标准硬件总线允许所有功能模块升级。MMITS 论坛需要考虑的事项主要是将 PC/104 作为近期硬件标准,数据传输的 IP 协议,保留基带信道接入协议。

#### 5.3.2 可编程数字无线电(PDR)

可编程数字无线电(PDR)是由 Northrop Crumman 公司和 GEC - Marconi 电子系统公司联合推出的。PDR 通用模块系列主要可提供即插即用软硬件功能,软件部分便携且可重复利用,硬件部分实现多功能且可重复利用。开放系统是标准化连接的通用模块底板。通用模块可升级,系统可重构。

### 参考文献:

- [1] Mitola J. The Software Radio Architecture: A Mathematical Perspective[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1999, 17(4): 514 - 538.