

用软件无线电技术实现未来数字电视地面广播之路^{*}

周 嘉

(广东省广播电视技术中心, 广东 广州 510030)

摘 要: 介绍了数字电视地面广播的优点及现状, 并从软件无线电的基本概念出发, 讨论了其结构、关键技术及实现难点, 得出: 软件无线电技术将作为核心技术推动数字电视地面广播的发展。

关键词: 数字电视地面广播; 软件无线电; 关键技术; 智能天线; 模/数和数/模变换; 数字信号处理

中图分类号: TN941.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) S2-0145-05

1 数字电视地面广播

随着科学技术日新月异地发展, 广播电视的数字化、网络化已成为不可逆转的潮流, 对于电视的数字化, 从传输媒介来说, 主要是卫星、有线和地面。信息业务的三大媒体通信、广播和计算机将因广播电视数字化而最终融合, 使多种业务能在各种通道中传送。

作为数字电视三大传播方式之一的数字电视地面广播 (DTTB; digital television terrestrial broadcasting), DTTB 具备无线数字系统所共有的优点: 较之卫星接收, 有实现容易、价格低廉的特点; 较之有线接收, 不易受城市施工建设、自然灾害、战争等不确定因素造成的断网影响; 完善的 DTTB 系统所具备的蜂窝单频网功能, 不仅提高了频谱的利用率, 而且可应用于宽带无线接入市场, 且相对于其他无线宽带接入技术如 LMDS 和 MMDS 等具有明显的带宽和技术优势; 从带宽来看, 移动接收的频段有 80% 为广电系统所掌握, 而信息产业部分分配给移动通信的频段只有 25 MHz 带宽。由此可见, 我们广电系统的频率资源有着明显的优势; 从传输技术来看, 数字电视系统是电视技术和通讯技术的结合, 采用的 OFDM 调制技术是目前公认的宽带传输最佳调制方式, 已经能在 1 MHz 的带宽上传输 3~4 MHz 速率, 目前是世界最领先的。此外, 数字电视地面广播技术系统兼容广播电视信号和数据信息, 未来信息化社会信息的传递将不再是单一的话音、文本或图像, 而可能是多种格式和媒体的组合, 数字电视地面广播系统对这些信息的传输都能轻松胜任。再者, 支持移动和便携接收的独特优势使 DTTB 能满足现代信息社会“信息到

人”的要求, 即实现 5 个 W (WHO WHEN WHERE WHICH WHAT), 也就是无论何人何时在何地都能任意获取他所想得到的信息。显然, 现有的支持移动接收的无线通信系统因带宽和传输技术上的劣势难与之匹敌。由此可见, DTTB 有着具有巨大的社会需求和市场商机, 因而社会各界对 DTTB 标准的早日出台呼声很高。但由于政策及历史的原因, 广播电视的无线接入系统在市场化和产业化方面都远远落后于有线系统, 所以, 推进 DTTB 系统的发展, 对于我们广播电视无线从业者来说, 是难得的摆脱低迷、发展事业、走向辉煌的机遇。目前卫星数字电视和有线数字电视的发展都很快, 数字电视的卫星传输和有线传输标准 (或者说事实上的标准) 均已确定, 但作为数字电视产业真正敲门砖的地面广播的推广较之前二者却显得较为缓慢。究其原因, 是多方面的。从技术角度看, 由于地面信道状况复杂, 地面广播受众多因素如多径问题, 接收方式问题, 接收区域问题, 频率规划问题等的影响, 另外在应用需求上又要求实现移动和便携接收的功能, 特别是在车载高速移动接收时, 接收条件因地貌的不断变化而随之变化, 同时因车速的变化还会受到多普勒效应频率变化的影响, 由于接收地点离主发射台的距离变化和与其他发射台间相对关系的变化又引起接收条件的变化。所有上述问题都使地面广播问题复杂化, 使其整个技术系统的要求最高, 因而实现的技术难度也最大。另外, 地面数字电视制式的标准无法统一也是造成推广缓慢的原因。标准的主导权, 牵涉到国家巨大的经济利益和政治利益, 成了国家竞争力角逐的内容。巨大的利益驱使很多国家特别是发达国家和大财团、大公司投入巨资和研发力量进行研究, 目前比较成熟的标

^{*} 收稿日期: 2003-09-18

作者简介: 周嘉 (1974 年生), 男, 助理工程师, E-mail: zj2118@21cn.com

准主要有欧洲的 DVB-T、美国的 ATSC 和日本的 ISDB-T。三者的地面数字电视制式之争,由来已久。国际上三大数字电视系统就是以欧、美、日地面广播传输标准来区分的。标准无法统一,导致地面数字电视的推广进程大大延后。出于对政治、经济和保护本国产业等因素的考虑,我国一直对制定具有自主知识产权的 DTTB 标准非常重视,在制定拥有自主知识产权的 DTTB 标准时有以下原则:

(1) 传输信息量要大,支持包括高清电视的多媒体广播服务;

(2) 覆盖能力强,抗干扰能力强,在一般室内环境下可接收;

(3) 与现有模拟广播电视频道兼容,并有利于频道规划和模拟向数字过渡;

(4) 具有灵活性:①支持兼容标清和高清的电视广播;②支持移动和便携接收设备;

(5) 具有可扩展性:①支持包括互联网的交互数据综合业务和多媒体数字增值服务;②支持广播网络化的发展需要。

目前,我国科研力量经过攻关,提出了几套标准:①清华大学微波与数字通信国家重点实验室提出的地面数字多媒体电视广播系统 DMB-T;②广电总局广播科学研究院的射频子带分割双载波混合调制系统 CDTB-T;③上海交通大学和国家 HDTV 总体组的高级数字电视广播系统 ADTB-T;④国家 HDTV 总体组的 DDB-T 系统;⑤成都电子科技大学的同步多载波扩频地面数字电视传输系统 SMCC COFDM。据悉国家有意考虑以其中经测试最优的方案为主融合其他方案之长,形成我国的 DTTB 标准,但是被寄予厚望的清华 DMB-T 和上海交大 ADTB-T 在今年深圳高交会的演示却不如人意。虽然目前各国包括我国提出的标准中,还并不存在资源利用效率理想、满足包括支持便携、移动等特性、又能完美过渡到未来业务的完全解决方案,但是任何一种技术或方案都不可能等到技术最完美时才实施,因为等到技术完美的时候,又会有更加完美的技术出来,这样拖等下去,不仅不利于新技术的应用,也有可能丧失市场的先机,不利于生产力的发展和数字电视产业的培育。所以,中国拥有自主知识产权的数字电视地面广播标准出台的时间应该不会很远。否则在这一前景无限的朝阳产业,国内企业将再次面临受制于人的尴尬处境。因为无论使用欧、美、日哪一个标准,国内企业都要交纳高额的专利使用费,都摆脱不了象

VCD、DVD 行业“替跨国公司作嫁衣”的命运。我国的 DTTB 标准将会在实际运行中,随着新技术发展不断改进完善。而在新技术中,软件无线电 (software radio) 技术已越来越引起各国和科学界的重视。下面探讨一下软件无线电为什么极有可能成为核心技术推动无线通信特别是地面数字电视的发展。

2 软件无线电

2.1 概念的提出

软件无线电的术语最早是美军为了解决海湾战争中多国部队各军进行联合作战时所遇到的互通互联互操作问题而提出来的一个新概念。在 1992 年 5 月美国电信系统会议上,MITRE 公司的 Jeo Mitola 首次明确提出了软件无线电概念,之后迅速引起了人们的关注,并开始对它进行广泛而深入的研究。1995 年美国国防部提出了 SPEAKEasy 计划,开发一种能适应联合作战要求的电台,它具有多频段、多模式 (Multi-Band Multi Mode Radio) 的特点,称为 MBMMR 电台。这就是软件无线电的一个雏形,之后 Jeo Mitola 于 1995 年 5 月发表了一篇里程碑性的文章,他在文章中描述了软件无线电不断发展的概念、结构、技术上所面临的挑战以及所能带来的经济效益。此篇文章和其他一些有关软件无线电关键技术研究的文章构成了第一期软件无线电的专刊,专刊发表后,商用软件无线电的研究迅速升温。

2.2 软件无线电的基本原理

软件无线电是无线电通信领域的一项突破性技术。其基本思想是:以一个通用、标准、模块化的硬件平台为依托,用软件编程来实现无线电台的各种功能,从基于硬件、面向用途的电台设计方法中解放出来。功能的软件化势必减少功能单一、灵活性差的硬件电路,并尽量减少模拟环节,将数字化处理 (宽带 A/D 和 D/A 变换) 尽可能地靠近射频天线,尽可能早地将接收到的模拟信号数字化,最大程度地通过软件来实现无线设备的各种功能。通过运行不同的算法,软件无线电可以实时地配置信号波形,使其能够动态地提供各种信源编码、信道编码、载波方式、载波频率和加密算法,还可以充当不同类型无线电通信之间的“无线电网关”。软件无线电还提供了离线和在线的软件工具,可在线或离线系统分析,确定业务的参量以有效地配置资源。图 1 为理想的软件无线电结构图。

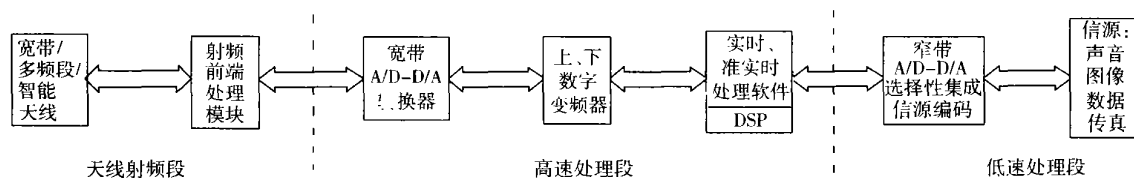


图 1 理想软件无线电结构

Fig. 1 The structure of ideal software radio

2.3 软件无线电技术的主要特点

(1) 灵活性。工作模式可由软件编程改变, 包括可编程的射频频段宽带信号接入方式和可编程调制方式等。所以可任意更换信道接入方式, 改变调制方式或接收不同系统的信号; 可通过软件工具来扩展业务、分析无线通信环境、定义所需增强的业务和实时环境测试, 升级便捷。

(2) 集中性。多个信道享有共同的射频前端与宽带 A/D 转换器以获取每一信道的相对廉价的信号处理性能。

(3) 模块化。模块的物理和电气接口技术指标符合开放标准, 在硬件技术发展时, 允许更换单个模块, 从而使软件无线电保持较长的使用寿命。软件无线电不仅需要硬件模块化, 也需要软件模块化。软件无线电的核心思想是“重配置性”(re-configurable), 主要体现在软件的可重用性, 用 CORBA (common object request broker architecture, 公共对象请求代理结构) 技术能够无缝地共享应用数据, 它提供了一种逻辑“软总线”, 就象我们在电脑领域通常所说的“硬件总线”那样, 使实现不同功能的软件模块也能象硬件系统一样插入软总线即可实现集成运行, 实现软件模块的即插即用, 从而保障实时软件的可移植性、可重用性和可扩展性。

3 软件无线电的结构、关键技术及实现难点

尽管软件无线电在无线通信系统中具有巨大优势, 然而要把它变成现实还需面临一些技术课题的严峻挑战。

(1) 智能天线技术。基于智能天线性能极大地依赖于网络系统软件的特性, 所以智能天线又叫做软件天线。智能天线具有抑制噪声, 即智能天线可以按通信的需要在有用信号的方向提高增益, 在干扰源的方向降低增益。自动跟踪信号、智能化时空处理算法形成数字波束等功能。采用天线指向(即波束)可变的智能天线, 使用户始终得到波束的最大指向, 当用户移动时, 波束也能做自适应改变。可以使移动通信的通信质量得到很大的改善。

智能天线虽然从理论上讲可以达到最优, 但要实现理想的智能的天线, 还需要许多问题有待研究解决。智能天线研究值得关注的有以下内容: 智能天线的接收准则及自适应算法; 宽带信号波束的高速波束成形处理等。

(2) 多频段、多波束无线与宽带 RF 信号处理。软件无线电的工作频率范围应尽可能地覆盖 2 ~ 2 000 MHz。天线应该能覆盖 10 倍频程(如 0.4 ~ 3 GHz), 实现起来有两种方法可供选择: ①对于每个系统和波段使用单独的天线; ②采用多模式天线。此外, 要求能高质量、低成本地接收到大范围的射频信号, 需要在射频进行数字化处理。就目前的硬件性能而言, 在射频实行数字化处理还无法实现, 故将数字化处理设在中频, 而从模拟射频发展为数字射频还需要经过科学界的长期努力, 此外射频放大器的线性实现也是需要解决的问题。

(3) 宽带 A/D 变换。软件无线电结构的基本特征之一就是使 A/D 变换尽量靠近射频端, 目前的方案是在中频对模拟信号进行数字化, 中频信号的带宽通常在十几兆赫到几十兆赫, 这种数字化有别于一般工程中的模数变换, 要求具有相当高的抽样频率、位数和一定的动态范围。依据抽样定理, A/D 变换器的抽样频率 f_s 应大于 $2W$ (W 是被抽样信号的带宽)。在实际中, 由于 A/D 变换器件的非线性、量化噪声、失真及接收机噪声等因素的影响, 一般选取: $f_s > 2.5 W$ 。位数的选取需要满足一定的动态范围及数字部分处理精度的要求。就目前器件水平而言, 要实现几十 MHz 的带宽, 必须采取多个 A/D 和 D/A 器件并联使用。

如前所述, 软件无线电需要宽带、高频、高精度、高抽样频率、高动态范围的模数变换。由于芯片技术所限, 目前还不能实现 RF 数字化, 而把数字化放在中频末端。一般情况下, 精度较高的 A/D 变换器, 其抽样频率最大值相对较低。

(4) 高速并行 DSP。DSP (digital signal process) 数字信号处理技术是软件无线电的灵魂和核心所在。软件无线电的灵活性、开放性、兼容性等特点主要是通过以数字信号处理器为中心的通用硬件平

台及 DSP 软件来实现的。未来的软件无线电台将越来越依赖数字信号处理技术的发展。尽管目前低功耗 DSP、超强功能 DSP 发展迅速, 但 DSP 在速度、功能和功耗上的现状仍然是制约软件无线电发展的关键。

(5) 高性能的总线结构。由于软件无线电的硬件具有开放性, 其硬件必将采用总线式的结构。工业控制总线的总线标准很多, 比如 ISA, PCI, EISA, VESA 和 VME 等等。ISA 总线和 VME 总线在目前的数字信号处理和工业控制中用得较多。由于软件无线电需要进行高速的 A/D/A 变换及数字信号处理, 为了提高处理能力往往采用多处理器系统并行处理, 而 VME 总线就是针对多处理器系统设计的, 至于 ISA 总线是单处理器系统总线, 因而在采用多处理器时系统的调度能力较低, 其次, 数字信号处理的数据要高速交换, 系统总线必须具有极高的 I/O 传输速率。在这方面, VME 总线数在符合要求的系统总线中, 技术最成熟、通用性最好、得到的支持最广泛, 所以是软件无线电的首选总线方式。图 2 给出一种基于 VME 总线结构的软件无线电硬件系统框图。

但总线结构采用时分机制, 实现起来比较简单, 而在无线通信系统中各个相邻功能模块间的数据流是一种接力机制, 应用总线结构就显得带宽过窄和控制复杂, 导致吞吐速率较低, 其可扩展性也受到限制。所以尽管 VME 总线结构是目前软件无线电的首选总线方式, 但仍有很多需要改进的地方。如何改进 VME 总线结构或者寻求更好的总线结构仍是更好地实现软件无线电所面临的一个重要研究课题。

4 软件无线电的实际应用

由于软件无线电具有现有无线通信系统所不具备的许多优点, 它有着广泛的应用前景。军用方面, 如前文所述, 软件无线电技术可实现各种军用电台的互连互通。在民用方面, 多频段多模式移动电话通用手机已有样机生产, 多频段多模式移动电

话通用基站、无线局域网及通用网关等都是软件无线电的研究应用领域。又如无线宽带接入技术如 LMDS 和 MMDS, 其中的自适应调制/均衡以及调制/解调和中频信号 A/D 变换均交由软件去进行 DSP 处理, 这无疑是软件无线电的概念的体现。未来通信、广播和计算机最终融合后的网络, 实际上是在业务与网络分离的前提下, 由“软交换”来实现的一个标准、开放的体系结构。而“软交换”思想正是软件无线电概念精髓的体现。未来无线通信系统业务与应用之间的大量功能, 交给软件去处理, 而业务、新功能和新的体制变化, 通过更换软件模块或软件升级即可实现。这样在标准化的前提下, 不仅为科技创新留下足够空间, 而且为建设包容过去无法实现的相同业务的多体制技术系统的统一通用平台创造了条件。目前各国的地面数字电视标准, 基本上是在建立一种单一的无线电环境上, 难以实现灵活的业务支撑, 例如频谱利用率高的 n-1 VSB 以及 MMDS 系统, 难以支撑可移动业务, DVB-T 虽然在一定条件下可支持移动业务, 但频谱利用率较低; 高发射功率的发射台虽然有利于低成本大面积覆盖, 但对支持未来的双向通信和提高频率资源的利用率不利, 低功率发射的蜂窝组网虽可解决未来向双向通信的过渡, 且频率资源利用率高, 但建设成本高。这些矛盾均可以在“软件无线电”通用平台下得到圆满的解决, 使现有系统从现实到未来平滑过渡, 逐步演进完善, 从而支持系统的可持续发展。

按照以前的惯性思维和经验主义试图以单一固定格式的调制方式一统天下, 已经难以面对已经来临的技术冲击和市场冲击, 与模拟时代确定电视标准不同, 面对发展迅猛的无线电技术, 面对 3G、无线互联网、蓝牙 (blue tooth) 技术等的出现, 如果我们仍然抱着旧观念不放, 依然以信道调制方式来划分数字电视的制式时, 将会有无穷尽的叹息和遗憾, 所以数字电视地面广播是引入崭新的无线通信技术发展观念的时候了。可以推想未来的数字电视地面广播, 不管我国采用什么标准, 软件无线电

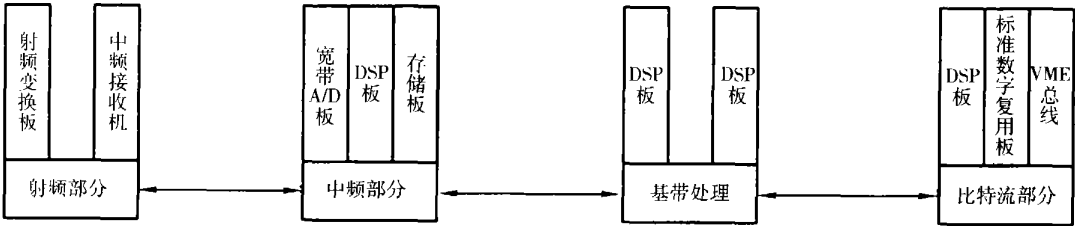


图 2 基于 VME 总线的软件无线电硬件结构

Fig. 2 The hardware structure of software radio based on VME BUS

都将作为核心技术发挥极大的作用, 实现用户需要的多种业务的灵活配置, 将人们希望寻找一种“最优”的地面电视调制方式的思路转换为实现业务服务的最佳资源配置模式; 从寻找某种调制方式的统一性转变为如何建立一个开放、通用的系统平台, 使业务和服务的升级, 技术性能的提升更加方便、经济和快捷。

5 结 语

上面详细介绍了软件无线电的一些基本概念、关键技术及作为未来地面数字电视核心技术推动其发展的可能性, 但是软件无线电目前来说还过于理想化, 也许有人怀疑它是否会有实用化的一天, 就目前来说, 这种想法也并不奇怪, 毕竟现在电子器件的发展水平与实现软件无线电还有一段距离。但是大家想一想, 当几年前, 我们为计算机从 DOS 文字界面变成图形界面的 Windows95 而惊叹不已时, 又有谁会想到今天连 Windows98 已成为昨日黄花, 如今扑面而来的是 Linux、Windows2000、WindowsXP, 甚至 Windows2003 和 64 位系统……, 当我们几年前为自己的电脑有一颗“奔腾的芯”而洋洋得意时, 又有谁会想到今天 CPU 已进入到奔四时代, 随着摩尔定律的作用, 奔四已经普及, 奔五……还会遥远吗? 更令人振奋的是, 2003 年 10 月底, 全球首枚嵌入光核心的商用向量光学数字信号处理器—由以色列 Lenslet 公司研发的 Enlight 在

美国波士顿军事通信展会上露面, 引起业界震动。据称它的运算速度是普通数字信号处理器的 1000 倍, 尽管 Enlight 离大规模商用还有一段时间, 但是它的出现无异于推动 DSP 硬件技术的“强心剂”, 必将大大推动以 DSP 技术为灵魂和核心的软件无线电技术的发展。所以我们有理由相信, 尽管目前数字信号处理器的运算能力远达不到软件无线电的要求, 但是随着微电子技术和计算机技术的飞速发展, 这些问题都会得到圆满的解决。软件无线电技术将由一种理想化的技术成为一种实用技术, 极大地促进无线通信的发展。更为诱人的是, 以软件无线电为核心技术的数字电视地面广播最终可以作为通用无线电系统, 成为广电行业向信息革命的下一次浪潮主动发起强有力冲击的“利器”, 为广电行业在未来的信息社会可持续发展留下广阔的空间。

参考文献:

- [1] 王金龙, 沈良. 无线通信系统的 DSP 实现[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [2] 吴伟陵. 移动通信中的关键技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2000.
- [3] 郭云飞. 未来通信技术实现五种趋势[J]. 通信与信息技术, 141.
- [4] <http://ourworld.compuserve.com/homepages/jmitola/>.
- [5] <http://www.sop.inria.fr/rodeo/personnel/Thierry.Turletti/SoftwareRadio.html>.

The Road of Realizing Future DTTB with Software Radio Technology

ZHOU Jia

(Guangdong Broadcasting & TV Technology Center, Guangzhou 510030, China)

Abstract: Firstly, this paper introduces the advantage and actuality of digital television terrestrial broadcasting (DTTB). Secondly, this paper gives a basic knowledge of software radio, including its structure, key technology and difficulty of realizing it. And at last, a conclusion from this paper is that with the help of software radio, people will make a great progress in DTTB in the future.

Key words: digital television terrestrial broadcasting (DTTB); software radio; key technology; smart antenna; A/D; D/A; DSP