

# 一个 DAB 原型发射机数字基带部分的设计与实现

柳春笙,陈国庆,王志华,李艳梅,李 渤,李德健,吴恩德,窦维蓓,董在望

(清华大学电子工程系,北京 100084)

**摘 要:** 本文介绍了一个 DAB(Digital Audio Broadcasting)原型发射机数字基带部分的设计与实现,包括复接器、信道编码器和 OFDM 调制器.它的内部功能和外部特性完全符合 ETS 300 401 和其他相关标准,支持多种业务类型,具有方便的用户接口.它的 I/O 接口和核心部件采用基于通用内部接口的模块化设计,可根据用户需要灵活配置.同现有的发射机产品相比,具有成本低,易于调试,可灵活配置等特点.

**关键词:** DAB; 发射机; 复接器; COFDM 调制器

**中图分类号:** TN934.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)09-1236-04

## Design and Implementation of the Digital Baseband Part of a DAB Transmitter Prototype

LIU Chun-sheng, CHEN Guo-qing, WANG Zhi-hua, LI Yan-mei,

LI Bo, LI De-jian, WU En-de, DOU Wei-bei, DONG Zai-wang

(Dept. of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The design and implementation of the digital baseband part of a DAB transmitter prototype are introduced. It is composed of ensemble multiplexer, channel encoder and OFDM modulator. The equipment is totally compatible with ETS 300 401 and other related standards. It supports services with various data formats and supplies a convenient user interface with the ensemble multiplexer as well. All of its I/Os and the core parts are implemented using modular design based on universal internal interface, thus can be flexibly configured according to different demand. Compared with the existing products, it can provide higher flexibility and operating easiness on a much lower cost level.

**Key words:** DAB; transmitter; multiplexer; COFDM encoder

### 1 引言

在城市中,由于多径传播和电磁污染问题,传统的 AM 和 FM 接收效果已经明显下降,特别在车载等快速移动接收环境中,这个问题尤为突出.数字音频广播 DAB(Digital Audio Broadcasting)作为第三代声音广播,采用了先进的数字广播技术,具有质量高,功能多,抗干扰能力强,频谱利用率高,容易实现业务的接入和配置等优点,并可实现单频组网.

DAB 的发展在国际上经历了解决关键技术,进行现场测试,建立实验性广播网络等几个阶段.在欧洲,作为典型的 DAB 系统, Eureka-147 计划始于 1987,并于 1988 年在日内瓦首次进行移动条件下的演示,取得了重大成功.1995 年,以 Eureka-147 计划为基础的 MUSICAM/COFDM DAB 系统被确立为欧洲电信标准(ETS 300 401).目前在欧洲主要国家 DAB 已进入试验性播出阶段.在我国, DAB 于 1996 年被列为重大科技产业项目,决定采用欧洲体制.同年 10 月,第一个 DAB 模拟试验系统建成;12 月,第一个 DAB 单频网(SFN)在广东正式试播.

DAB 发射系统的数字基带部分是整个发射系统的关键部分,采用了数字复接、FIC 生成、卷积编码、时间交织、频率交织、OFDM 调制等核心技术.目前 BBC 和 R/S(Rhode&Schwarz)等公司都已经开发了各部分的相应产品.尽管它们可以提供多种配置,但其提供的选择很少,只支持较少类型的接口,不利于不同规模和不同格式的业务需求,而且大量专用器件的使用也增加了成本.本文设计了一套带有通用内部数据接口的 DAB 原型发射机数字基带设备,它的所有 I/O 采用模块化设计,可直接将不同模块接入系统,同时核心部件也设计为多个模块,不仅可以根据实际需要灵活配置系统,也可以有效降低未来产品的成本.

### 2 系统构成

DAB 发射系统的数字基带部分如图 1 所示.其中复接器是演播室设备,其输入是来自 MUSICAM 源编码器或传输网的 MPEG 音频或数据码流,它支持 WGI/2 和 E1 接口,也可以直接接入.一个复接模块最多可处理 16 路节目.复接器带有 PC

收稿日期:2000-06-05;修回日期:2001-01-08

接口,用户可以通过 PC 控制台的接口软件控制复接器的工作并监视其状态.复接器的输出是符合 ETS300 799 标准的 ETI 码流,也支持符合 G.703 标准的 E1 输出.信道编码器、OFDM 调制器是发射机的机载数字设备.信道编码器完成 ETI 码流的解复接、CRC 校验、能量扩散、卷积编码删除和时间交织等任务.OFDM 调制器将数据按码元读入,进行频率交织、DQPSK 符号映射和 OFDM 调制,输出符合 EN300 798(DIQ)标准的同相和正交分量.对该输出进行正交调制,形成射频信号,最后经放大器、带通滤波器,即可送往发射天线.

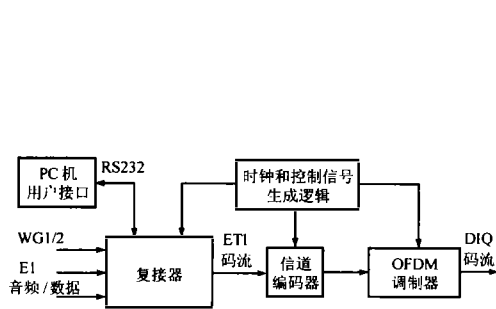


图 1 DAB 发射机原型数字基带系统结构

### 3 复接设备

复接设备由 PC 机控制台和主机组成.主机的主要模块包括两片 ADSP2181、多组双口 RAM 和 E1、WG1/WG2 接口板,另外还有一片 EPLD(EPM7128)产生所有的控制逻辑,并配合主晶振产生所需时钟,如图 2.

#### 3.1 PC 控制台

PC 机是复接器的控制设备,用户通过 PC 的用户平台软件监视信道状态和对节目进行配置.用户平台的主要功能有:从输入接口取得各信道状态,改变信道状态,创建和编辑配置表,创建和编辑时间表,以及 FIB 和 ETI 帧头的生成.控制台的用户界面由监视界面、配置编辑界面和时间表编辑界面构成.

控制台的底层配置程序需完成以下操作:

(1)按照配置文件的要求自动生成相应的 FIC 和 ETI 帧结构.

(2)与 ADSP2181 模块 1 通过 RS232 通信,送出帧结构和其他控制数据.

(3)接收系统信息,对系统状态进行监控.

根据配置文件的描述,底层程序可以按固定的数据结构生成 FIC 和 ETI 的大部分帧结构和相应的 CRC 运算(不含音频数据的 CRC),但不处理具体数据.同时要把输入输出地址、帧长度、重配置消息等重要数据送到复接器.

#### 3.2 主机

主要的复接功能在主机完成,它由输入输出接口、ADSP2181 模块,定时和控制逻辑及双口 RAM 数据缓冲区等组成.

##### 输入输出接口

此复接器输入支持 WG1/2 和 E1 的数据格式,也可以直

在设置 GPS 等高精度时基的情况下,为保证系统各部分的精确同步,本设计采用统一基准时钟和数据缓冲区的方式完成数据处理和收发同步.系统的所有输入输出接口都是通用的模块化设计,不仅可支持现有的 WG1/2 和 E1,也可以支持其他常用接口而不需改变硬件的主体设计.另外,系统的核心部件如大规模 FPGA,大容量双口 RAM 等也采用了模块化设计,可根据实际应用灵活改动,从而有望大大降低未来产品的成本,同时方便了调试.

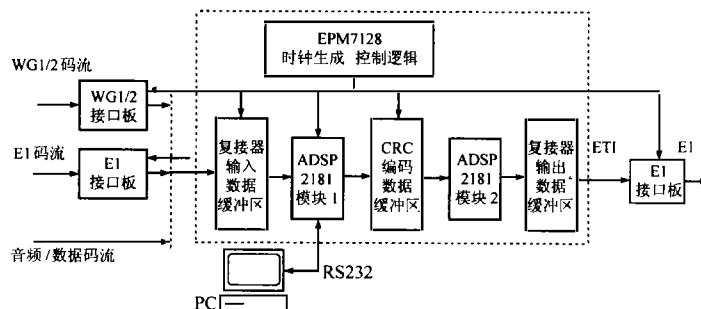


图 2 复接器结构

接接入 MPEG 音频/数据码流;输出是将 ETI 帧转为 E1 格式,送往传输网.WG1/2 和 E1 接口板的数据转换各由一片 ADSP2181 完成.

WG1/2 接口板接收各源编码器复合而成的 6.144Mb/s 的数据流.每个源编码器的一路节目占 WG1/2 数据流 16 个相位中的一个,每个节目最高码率 384kbit/s. ADSP2181 将属于同一节目的比特挑出,形成字节后送往复接器输入数据缓冲区.

E1 接口板的主时钟 2.048MHz 来自复接器的时钟生成逻辑,与复接器同步.由于此原型机无 GPS,复接器与其他设备在只使用 E1 接口通讯时无法完全同步在一个 24ms 帧上,因此在接口板的 ADSP2181 内部也使用了一个数据缓冲区,用软件方法使得输出到复接器输入数据缓冲区的码流与复接器产生的 24ms 帧同步. ADSP2181 同时还要完成帧头检测和码流监视等功能.

这里的系统接口采用通用性和模块化设计,只要加入其他常用的接口板(如 ISDN, X.21 等)就可支持不同传输接口,还可以与编码器和 COFDM 调制器直接连接进行系统的测试,而不需改变主机的硬件设计.

##### DSP 模块

ADSP2181 模块 1 是整个主机的控制器,用户的操作命令通过 ADSP2181 的控制实施.它通过串口与 PC 机控制台连接,接受控制台的命令和数据,同时把系统状态定期送回控制台.它的主要功能有:

(1)接收控制台提供的各子通道配置(包括各子通道数据在复接器输入、输出缓冲区中的地址,长度和 FIC 的输出地址等),根据输入地址和长度依次读入各通道数据,并按照 ETI 格式和输出地址将数据写入中间的 CRC 编码数据缓冲区,成为 2181 模块 2 的输入;

(2)接收控制台提供的 FIC 和 ETI 帧头,同样按 ETI 帧格式写入 CRC 编码数据缓冲区。

(3)定期监视系统状态,送往控制台。

ADSP2181 模块 2 的主要作用是对 ETI 帧中的重要配置信息和数据进行生成多项式为  $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$  的 CRC 运算,形成两个 CRC 字节,并将结果送往复接器输出数据缓冲区。

#### 4.1 控制器和控制矢量的生成

编码过程是在 DSP 的控制下进行的.由复接器送来的 ETI 数据经 E1 接口板处理后送入编码器数据输入缓冲区.编码器的帧同步信号由 OFDM 调制器上的同步控制信号发生器给出.在每个逻辑帧(24ms)开始时,ADSP2181 首先从输入缓冲区中读出 ETI 帧头,并将其翻译成为编码器(FPGA)可读的一组控制矢量字节,包括子通道数、每路长度、编码方式、保护级、删除模式、交织缓冲区地址、输出地址以及重配置信息等等.然后启动 FPGA,对每个子通道的数据进行编码和交织。

#### 4.2 编码和交织

FPGA 被启动后,首先读入控制矢量,然后根据其描述,对每个子通道(包括 FIC)进行能量扩散、卷积编码删除和时间交织的处理。

能量扩散作用是通过随机化处理使频谱扩散,减少连‘0’和连‘1’的出现,以保证比特按时恢复.将输入序列与生成多项式为  $P(x) = x^9 + x^5 + 1$ ,初始状态全‘1’的伪随机比特序列(PRBS)模二相加,就得到能量扩散的输出。

DAB 的信道编码是可删除的卷积编码,声音信号一般采用非平衡保护(UEP)方式,数据可采用平衡保护(EEP)方式.根据不同的保护要求,每比特编码后生成的 4 比特要根据相应的删除模式进行删除处理,结果顺序写入交织缓冲区。

时间交织就是按照既定的顺序打乱数据排列顺序,使得成块的错误分散在不同帧中,用来纠正突发性的块差错.时间交织的深度为 16 个逻辑帧,因此要有一可容纳 16 个

块划分把调制器输入缓冲区(即编码器的输出缓冲区)中的数据按照 DAB 传输帧基本单位“OFDM 码元”的格式和长度进行处理,不同模式下的 OFDM 码元由不同数量的比特组成.图 5 是模式 1 的 DAB 传输帧结构,整个传输帧共有 76 个码元(不包括零码元),分为同步信道、FIC 信道和 MSC 信道.其中同步信道由零码元和基准相位码元组成.除零码元外,每个码元包含 3072 比特。



图 5 DAB 传输帧结构(模式 1)

频率交织用于纠正频率选择性衰落引起的错误.以模式 1 为例,将每个码元的 3072 比特分成 1536 个比特对,每个比特对

### 4 信道编码器

此原型发射机的信道编码部分包括 ETI 解复用、能量扩散、卷积编码和删除、时间交织等.其中 ETI 的解复用和系统控制由 ADSP2181 完成,而能量扩散、卷积编码和删除、时间交织全部由 Altera 的一片 FPGA (Flex10k100)完成.图 3 是信道编码的示意图。

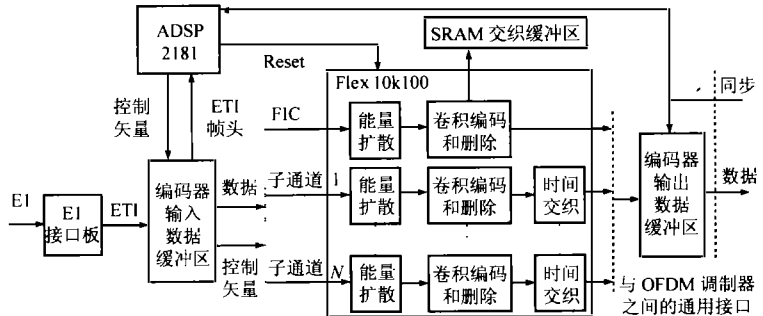


图 3 信道编码器结构

逻辑帧的交织缓冲区.交织后的结果在写入编码器输出数据缓冲区时要符合传输帧结构,以方便 OFDM 调制器读取.即 FIC 在前,由 CIF 组成的 MSC 在后.在交织中,针对多种重配置的复杂情况,FPGA 分别进行了识别和优化处理,保证在信道容量饱和与非饱和情况下都能正确地重新分配信道地址和容量.系统正常播出时一般是处于信道容量饱和状态.非饱和情况下的重配置较为复杂,但适用于缺少足够信源的系统测试和试运行状态。

### 5 OFDM 调制器

OFDM 调制部分完成对 DAB 传输帧数据的符号映射、差分调制和 OFDM 调制等功能,输出符合 DIQ 标准的串行两路正交码流,如图 4.其中符号映射和频率交织等由一片 ADSP2181 完成,OFDM 的 IFFT 计算由一片 ADSP21061 完成,另有一片 FPGA(Flex10k30)完成 DIQ 接口、非线性校正,并生成同步和控制信号。

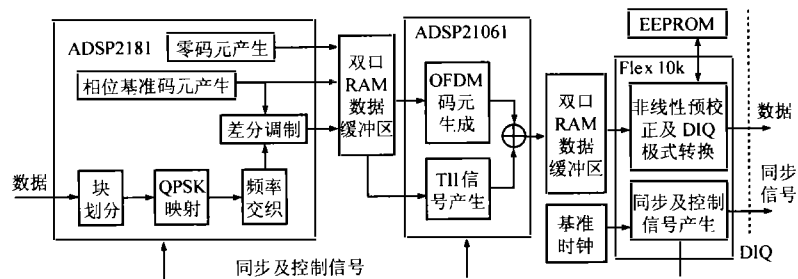


图 4 OFDM 调制器结构

映射成一个 QPSK 码元,然后按照频率交织规则查表,找到该 QPSK 码元对应的那个载波,将其差分调制在该载波上.为减少运算量并提高精度,本设计中 QPSK 码元映射和差分调制也采用查表方式实现。

OFDM 调制由一片浮点处理器 ADSP21061 完成,即进行 2048 点的复数 IFFT 运算.形成 I、Q 两路基带数字调制信号,

经 FPGA 处理使其成为符合 DIQ 标准的码流.另外,为补偿射频放大器的非线性特性,FPGA 还需要对码流进行数字非线性预校正.本设计中采用固定参数校正法,校正参数在调试设备时预设定,保存在 EEPROM 中,FPGA 通过查表取得校正值.

## 6 结论

本文介绍了自行开发的一个 DAB 发射系统数字基带设备,并结合各模块的具体设计分析了 DAB 发射机中重要技术的实现方法.DAB 系统使用 MUSICAM 源编码和 COFDM 的信道编码技术,具有节目质量高,可单频组网等一系列优点,是下一代的主流广播体制.本文介绍的原型设备吸收了 BBC 和 R/S 等公司现有产品的优点,采用模块化设计和多功能接口,其性能和各部分接口符合 DAB 有关标准和技术规范,可根据用户和具体应用的需要灵活配置,其成本显著低于国外同类产品.基于此原型的工业级产品正在开发中,不久的将来,拥有自主知识产权的这一 DAB 发射设备将可进入市场.

## 参考文献:

- [ 1 ] F Muller-Romer. Directions in digital audio broadcasting [J]. J. Audio Eng. Soc., Mar 1993, 41(3):158-173.
- [ 2 ] ETS 300 401. Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers [S]. May 1997.
- [ 3 ] EN 300 797. Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Services Transport Interface (STI) [S]. Feb 1999.
- [ 4 ] EN 300 798. Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Digital baseband In-phase and Quarature (DIQ) interface [S]. Mar 1998.
- [ 5 ] ETS 300 799. Digital Audio Broadcasting (DAB); Distribution interfaces; Ensemble Transport Interface (ETI) [S]. Sept 1997.

- [ 6 ] Experimental DAB Multiplexer [Z]. BBC R&D Issue, Mar. 1995.
- [ 7 ] DAB Multiplexer DM001 [Z]. Rohde&Schwarz Sound and TV Broadcasting Division.
- [ 8 ] 刘长占. 数字声音广播 [J]. 国际广播电视技术, 1998, (1): 23-28.
- [ 9 ] 李栋. DAB 的数据结构与容量 [J]. 广播与电视技术, 1998, 6: 22-29.
- [ 10 ] 李栋. 关于 DAB 若干问题的讨论 [J]. 广播与电视技术, 1997, 6: 78-88.
- [ 11 ] Xie Jinhui, Bi Dongshen, Zeng Xuewen, Yin Shaoping. New DAB multiplexer [A]. ABU Technical Review n 176, May/June 1998 [C], ABU Kuala Lumpur Malaysia: 17-23.

## 作者简介:



**柳春笙** 男. 1974 年生于吉林长春. 1997 年毕业于清华大学电子工程系, 获学士学位, 后直读本系电路与系统专业硕士研究生. 研究课题为“数字声音广播发射机中的几个关键问题和有色噪声消除方法的研究”, 2000 年获硕士学位. 现于美国 Duke 大学攻读博士学位.



**陈国庆** 男. 1975 年生于北京. 1998 年毕业于清华大学电子工程系, 获学士学位, 现为本系电路与系统专业硕士研究生, 研究课题为“数字音频广播发射机的信号激励器的研制”.