

DSP应用大观



张涛 贺家琳 杨东明 编译

TI DSP

在音频处理中的应用

- 围绕应用，重点突出实用
- 全面覆盖，资料及时、权威
- 专家筛选，内容深入、经典



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>



DSP 应用大观

TI DSP 在音频处理中的应用

张 涛 贺家琳 杨东明 编译

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书的编译工作是在 TI DSP 应用大观丛书编委会的直接领导下进行的。编译器翻译了二十余篇 TI 关于数字音频处理系统方面的应用文献, 并进行编辑、整理构成了本书的主要内容。全书分为音频系统解决方案指南、定点与浮点、音频处理的基本模块、DSP 与音频相关外设的接口、DSP 在音频编码系统中的应用、DSP 开发工具在音频处理中的应用、音频测试和测量 7 个部分, 比较全面地覆盖了 TI 关于数字音频处理应用方面的内容。

本书可以作为进行基于 DSP 的数字音频系统设计方面的高年级本科生、研究生的参考用书, 也可以作为开发工程师的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

TI DSP 在音频处理中的应用/张涛, 贺家琳, 杨东明编译. —北京: 电子工业出版社, 2008.6
(DSP 应用大观)
ISBN 978-7-121-06577-4

I. T… II. ①张…②贺…③杨… III. 数字信号—信息处理系统—应用—音频设备 IV. TN912.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 059851 号

策划编辑: 万子芬 (wzf@phei.com.cn)

责任编辑: 宋兆武 何 况

印 刷: 北京市李史山胶印厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 16.25 字数: 416 千字

印 次: 2008 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

《DSP 应用大观》丛书编委会

编委会主任：彭启琮

编委会成员：张旭东 方向忠 张太镒 徐科军

沈 洁 谭 徽 竺南直

编委会秘书：万子芬

有关本丛书及其他与 DSP 相关选题的意见、建议和写作意向，
请按以下方式联系：wzf@phei.com.cn 010-88254461

从书序言

DSP 技术的发展与应用,正在我国教育界、科技界和工程界蓬勃地展开。数以百计的大学建设了 DSP 技术实验室,开设了相关的课程和实验;大量的相关教材、技术手册和应用书籍得到编写、编译和出版。更为重要的是,基于 DSP 技术的研究和开发,无论是涉及的范围,还是达到的深度,都令人叹为观止。以两年一度的 TI DSP 大赛为例,每次都有数十所大学的上百支代表队参赛,参赛者所表现出来的选题的广度、算法研究的深度,算法实现和系统设计及实现的娴熟程度,无不令人振奋。

随着教学、科研的发展和深入,教师、学生、以及科研和工程技术人员已经不再满足于对 DSP 的粗浅了解;市场的发育,对 DSP 技术的发展和运用也提出了越来越高的要求。在这样的形势下,编写和出版一套 DSP 应用汇编丛书,就成为一种强烈的需求,并迅速在出版社、TI 公司以及编写者之间达成了共识。

我们也注意到,在全球范围内,随着 DSP 技术应用范围的扩大和应用程度的深入,通用 DSP 器件的增幅在逐步减缓,而基于 DSP 核的各种 SoC、ASSP 以及嵌入式系统,正在以更快的速度发展。对于 DSP 工程师来说,开发算法并将算法在 DSP 芯片或 DSP 核上实现,还将仍然是长期的重要任务。本丛书的编写和出版,正是基于这样的认识和理解。

这套丛书是这样设计的:

按应用领域来分类,先在几个重要的领域,例如,通信信号处理、图像/视频信号处理、音频/语音信号处理、工业控制、通用信号处理算法、DSP 接口与软件工具等,各出一个选题。每个选题以 TI 网站上公开的 Application notes 为基本内容,为了便于读者理解和使用,各书的编译者对所介绍的内容,都不同程度增加了补充性的介绍。

这套丛书是开放的,这里所指的开放,包含以下两重意思:一方面,随着各领域的技术进步,新的算法和新的器件层出不穷,本丛书对新的算法及其实现的介绍也会继续下去;另一方面,欢迎广大的读者对丛书的选题和内容提出意见和建议,更欢迎有志者加入编写者的行列。

本丛书第一批选题的作者,是各高校多年从事 DSP 技术研究和实践的教师,以及他们的一些研究生,他们在各自的领域具有长期的知识积累和丰富的实践经验,为本丛书的选题、编写和出版付出了辛勤的劳动。

TI 公司对本丛书所使用的文档予以了授权,TI(中国)大学计划对丛书的编写和出版给予了一贯的支持和鼓励。电子工业出版社的编辑们,首先提出了本丛书的创意,积极参与了选题策划和论证,认真地完成了编辑和出版工作。在此,对所有为本丛书的选题、编写、出版作出贡献的单位和人士,致以深切的谢意和敬意。

希望这套丛书的出版,能对推动我国 DSP 技术的教育 and 应用起到微薄的作用,衷心希望得到广大读者的支持、意见和建议。



电子科技大学教授
2008 年 4 月

前 言

随着计算机技术、集成电路设计技术和数字信号处理理论的发展,数字化时代已经到来。数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)有力地推动了相关技术的进步。自20世纪80年代DSP诞生以来,在短短的二十几年内飞速发展,其应用已经深入到通信、航空航天、雷达、工业控制、网络、医疗以及家用消费电子、个人娱乐产品等各个领域,成为目前最有发展潜力的技术、产业和市场之一。

人类获得信息的来源主要是视和听,反映到电子信息中,即离不开视频和音频。那么在电子发展中,音视频产业应该是我们消费类产品永远要论证的主题。消费电子产业(主要指家用视听类产品方面)近年来持续保持平稳增长的良好势头,实现了产品销售收入、利润同步增长。家用视听设备制造业2006年主营业务收入达到4363亿元,实现利润总额为80亿元。面对如此庞大的市场潜力,如何推动DSP器件在音视频领域中的广泛应用是我们迫切需要解决的问题。近年来国内许多大学已经对本科生和研究生开设了DSP课程,许多科研院所和企业也正在基于DSP进行开发和应用研究,因而迫切需要相关的参考书籍。

美国德州仪器公司(Texas Instruments, TI)是目前世界上最大的DSP提供商,其产品占世界市场的44%以上。TI公司推出的TMS320系列DSP是世界上最具有影响力的主流DSP产品。TI公司与多所大学的DSP实验室合作,2006年开始筹备以TI应用手册为基础编辑出版TI DSP的应用丛书。在此背景下,编译者翻译了二十余篇TI关于数字音频处理系统方面的应用文献,并进行编辑整理而构成了本书的主要内容。全书分为音频系统解决方案指南、定点与浮点、音频处理的基本模块、DSP与音频相关外设的接口、DSP在音频编码系统中的应用、DSP开发工具在音频处理中的应用、音频测试和测量7个部分,比较全面地覆盖了TI关于数字音频处理方面的应用手册,可以作为进行基于DSP的数字音频系统设计方面的高年级本科生、研究生的参考用书,也可以作为开发工程师的技术参考手册。

本书的编译工作是在TI DSP应用大观丛书编委会的直接领导下进行的,遵循了3次丛书工作会议的精神,在TI公司的大力支持和TI中国大学计划的具体指导下,本书的编译工作顺利完成,在此对编委会的专家以及TI公司、TI大学计划的沈洁经理、潘亚涛工程师和王春容女士表示衷心的感谢。

天津大学国澄明教授在本书的编译过程中给予了热情关怀和指导,他在百忙之中对本书进行了细致的审阅和校对工作。电子工业出版社对本书出版做了大量的工作,万子芬老师、何况老师对本书编辑和出版工作给予了大力的支持,在此一并表示衷心的感谢。

此外,硕士研究生贺家琳、杨东明、李海、彭鹏、全浩军和陈存彪同学,他们分别承

担了初译和输入部分文档的工作。本书的出版和他们的辛勤工作是分不开的。

由于作者水平有限，书中不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

注：书中的一些原代码请参见电子工业出版社网站（www.phei.com.cn）资源下载栏目，请读者自行浏览下载。

张 涛

天津大学

目 录

第 1 章 音频系统解决方案指南	1
1.1 音频世界纵览	1
1.2 设计考虑	2
第 2 章 定点与浮点	5
2.1 数据格式	5
2.2 定点与浮点的优劣	5
2.3 浮点数的精度	6
2.4 音/视频数据要求	7
2.5 其他应用领域要求	8
2.6 如何选择	9
第 3 章 音频处理的基本模块	10
3.1 功率放大器——纯数字音频功率放大器系统设计问题	10
3.1.1 概述	10
3.1.2 TAS51xx 的输出 H 桥	11
3.1.3 电源和去耦合	12
3.1.4 重建输出滤波器	13
3.1.5 切换电路设计	16
3.1.6 PowerPAD™ PCB 布局的散热设计	18
3.1.7 应用例子的测量性能	20
3.1.8 应用范例电路图	26
3.2 增益放大器——PCM1804 的增益调整和音频性能	27
3.2.1 输入增益调整电路	27
3.2.2 输入信号电平决定的音频效果	29
3.2.3 小结	31
3.3 低通滤波器——PCM1710 的输出频谱和 后处理低通滤波设计	31
3.3.1 内部低通滤波器	31
3.3.2 数字滤波器	33
3.3.3 输出频谱测试	33
3.3.4 后处理低通滤波器的考虑事项	35
3.3.5 输出频谱测试	35
3.3.6 和信号频率对应的 $THD+N$ 的测试	38
3.4 编解码器	39
3.4.1 BURR-BROWN 音频转换器和编解码器的控制端口及复位操作	39
3.4.2 BURR-BROWN 音频转换器和编解码器的低采样操作	44
3.5 均衡滤波器——TAS3103 均衡滤波器	50

3.5.1	绪论	51
3.5.2	使用 TAS3103 GUI 访问均衡滤波器范例	51
3.5.3	建立 EQ 滤波器配置文件	52
3.5.4	EQ 滤波器的细节	53
第 4 章	DSP 与音频相关外设的接口	59
4.1	TLV320AIC10/11 编解码器与 TMS320C5402 DSP 接口	59
4.1.1	概述	59
4.1.2	硬件接口	59
4.1.3	软件接口	66
4.2	ADS8361 与 TMS320VC5416 DSP 接口	78
4.2.1	概述	78
4.2.2	硬件	78
4.2.3	ADS8361EVM	78
4.3	通过 McBSP 与 TI 的触摸屏控制器接口	80
4.3.1	概述	80
4.3.2	硬件连接	81
4.3.3	SPI 接口	82
4.3.4	I2S 接口	84
4.3.5	小结	87
4.4	基于 TSC210x 和 TLV320AIC26/28 的音频开关机的编程	88
4.4.1	概述	88
4.4.2	开机/关机过程概述	89
4.4.3	TSC2100/TSC2102/AIC26 CODEC 开/关机	90
4.4.4	TSC2101/AIC28 CODEC 开/关机	92
4.4.5	小结	95
4.5	设置 TSC/AIC EVM 通过 PC 录制和回放音频或其他声音	95
4.6	AC97 CODEC 与 TMS320C5402 的接口	100
4.6.1	概述	100
4.6.2	系统框图	101
4.6.3	McBSP 和 DMA 的初始化	102
4.6.4	设置数据传输的中断服务进程	102
4.6.5	流程图	102
4.6.6	小结	104
4.7	TMS320C6201/6701 EVM: TMS320C6000 McBSP 与 多媒体音频 CODEC 接口	104
4.7.1	概述	104
4.7.2	串行接口	106
第 5 章	DSP 在音频编码系统中的应用	113
5.1	AC-3 解码器在 TMS320C62x 上的实现	113
5.1.1	关于 AC-3	113

5.1.2	比特流格式	113
5.1.3	解码 AC-3 比特流	114
5.1.4	AC-3 解码器在 C62x 上的实现	116
5.1.5	小结	119
5.1.6	关于 AC-3 编码算法的补充	119
5.2	用 RF3 实现 MP3/AAC 播放器	129
5.2.1	概述	129
5.2.2	数据通道	130
5.2.3	将 RF3 引入 MP3/AAC 播放器的应用程序	131
5.2.4	应用程序结构	134
5.2.5	性能和内存占用	135
5.2.6	小结	138
5.2.7	附录	139
5.2.8	MP3 编解码算法补充	142
5.2.9	输入/输出接口的设计	149
5.3	基于 TMS320C54x 的 CD 播放器的电子震动保护	154
5.3.1	概述	155
5.3.2	ESP 系统总览	155
5.3.3	ESP 系统实现	158
5.3.4	其他问题	163
5.3.5	小结	164
5.3.6	附录	164
5.4	在 TI TMS320VC5407 上实现清晰语音捕捉的免提套件	166
5.4.1	免提应用程序简介	166
5.4.2	免提套件软件模块	167
5.4.3	回声消除	167
5.4.4	噪声抑制	168
5.4.5	非线性处理	168
5.4.6	HFK 性能	169
5.4.7	CVC-HFK 解决方案	169
5.4.8	CVC-HFK AEC	170
5.4.9	CVC-HFK NS	170
5.4.10	CVC-HFK NLP	170
5.4.11	TI DSP 的优势	170
5.4.12	Clarity Technologies 联系信息	171
5.4.13	小结	171
5.5	OMAP5910 音频系统设计	172
5.5.1	概述	172
5.5.2	设计描述	172

5.5.3 小结	180
第 6 章 DSP 开发工具在音频处理中的应用	181
6.1 TMS320C5510 原型版的 AIC27 范例	181
6.1.1 概述	181
6.1.2 函数	181
6.1.3 外部存储器接口	182
6.1.4 DMA 控制器	182
6.1.5 附录	192
6.2 TAS3004 软件参考设计概念	192
6.2.1 基本信息	192
6.2.2 设计功能	194
6.2.3 测试	202
6.2.4 流程图	202
6.3 在多通道系统中使用 DSP/BIOS I/O	210
6.3.1 概述	211
6.3.2 SIO	212
6.3.3 PIP	218
6.3.4 总结	223
6.4 在 IACD 系统中使用文件导航 API 函数	224
6.4.1 概述	224
6.4.2 IACD 中文件系统的数据结构	224
6.4.3 两个导航模式	226
6.4.4 API 函数	226
第 7 章 音频测试与测量	237
7.1 音频测试与测量简介	237
7.1.1 数字放大器与传统模拟放大器	237
7.1.2 纯数字音频放大器	237
7.1.3 TI 特有数字放大器技术特点	238
7.2 TDAA 的测试与测量	238
7.2.1 开关布局对输出频谱的影响	238
7.2.2 TDAA 对输出频谱的影响	239
7.2.3 带外部分对音频分析仪的影响	239
7.2.4 降低带外部分的影响	239
7.2.5 正确测量的保证	240
7.2.6 测量方式的改进	240
7.2.7 测量参数的获取	240
7.2.8 处理平衡的扬声器输出	241
7.3 测量设置	242
7.4 怎样获取典型音频性能参数	243

7.4.1 总谐波失真加噪声 ($THD+N$)	243
7.4.2 动态范围	243
7.4.3 信噪比	244
7.4.4 $THD+N$ 和输出功率	244
7.4.5 效率	245
参考文献	246

第 1 章 音频系统解决方案指南

1.1 音频世界纵览

当今的音频设备市场中，设计者总要满足各种需求的用户，用户总是期待着高品质、多功能、价格低廉的产品，无论是使用家庭音响设备还是便携音响设备，不管使用哪种声音格式、哪种音源，他们总是期待着完美的听觉感受。对于设计者来说，不但要尽快向市场推出新颖、引人注目的音频产品，还要在各种指标之间寻求最佳取舍。用户们的这些要求着实给了设计者不小的压力。

为了满足音频系统设计者的要求，TI 除了数字模拟混合的音频解决方案外，还提供了纯数字的音频组件。这些可编程的组件有着无限的性能表现潜力和灵活的设计方案，使得设计者可以构建出具有价格优势的、更多功能、能够提供逼真听觉效果的音频系统。

使用 TI 音频应用的模拟和 DSP 解决方案可以使产品更快地推向市场。TI 提供芯片、软件、系统专家以及对整个音频信号处理链的支持，如图 1.1 所示。从业界领先的 DSP 和高性能的模拟器件到逻辑部件，加上扩展的应用软件系列，无论是最复杂的还是最简单的音频设计，TI 都提供了高可靠性、强伸缩性并具有良好的节能性的解决方案。

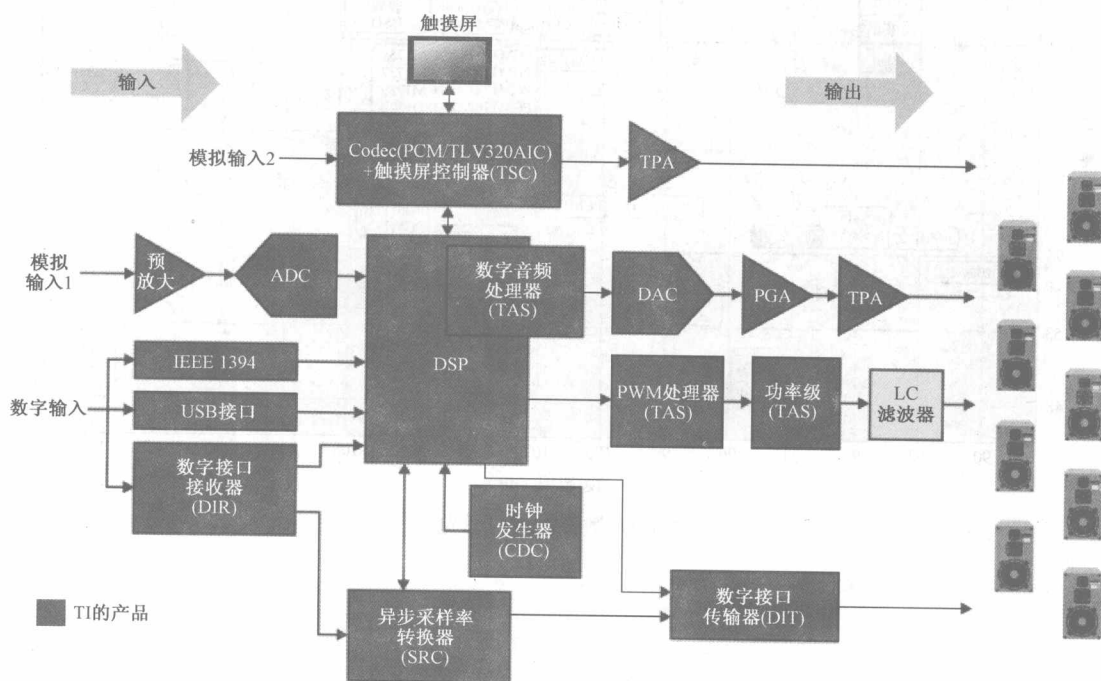


图 1.1 TI 针对音频应用的模拟和 DSP 解决方案

1.2 设计考虑

TI 的模拟系列支持从低端到高端的各种性能标准。如图 1.2、图 1.3、图 1.4 所示分别显示几种 TI 在音频应用上的数据转换器、音频放大器和时钟分配器解决方案的关键性能参数。

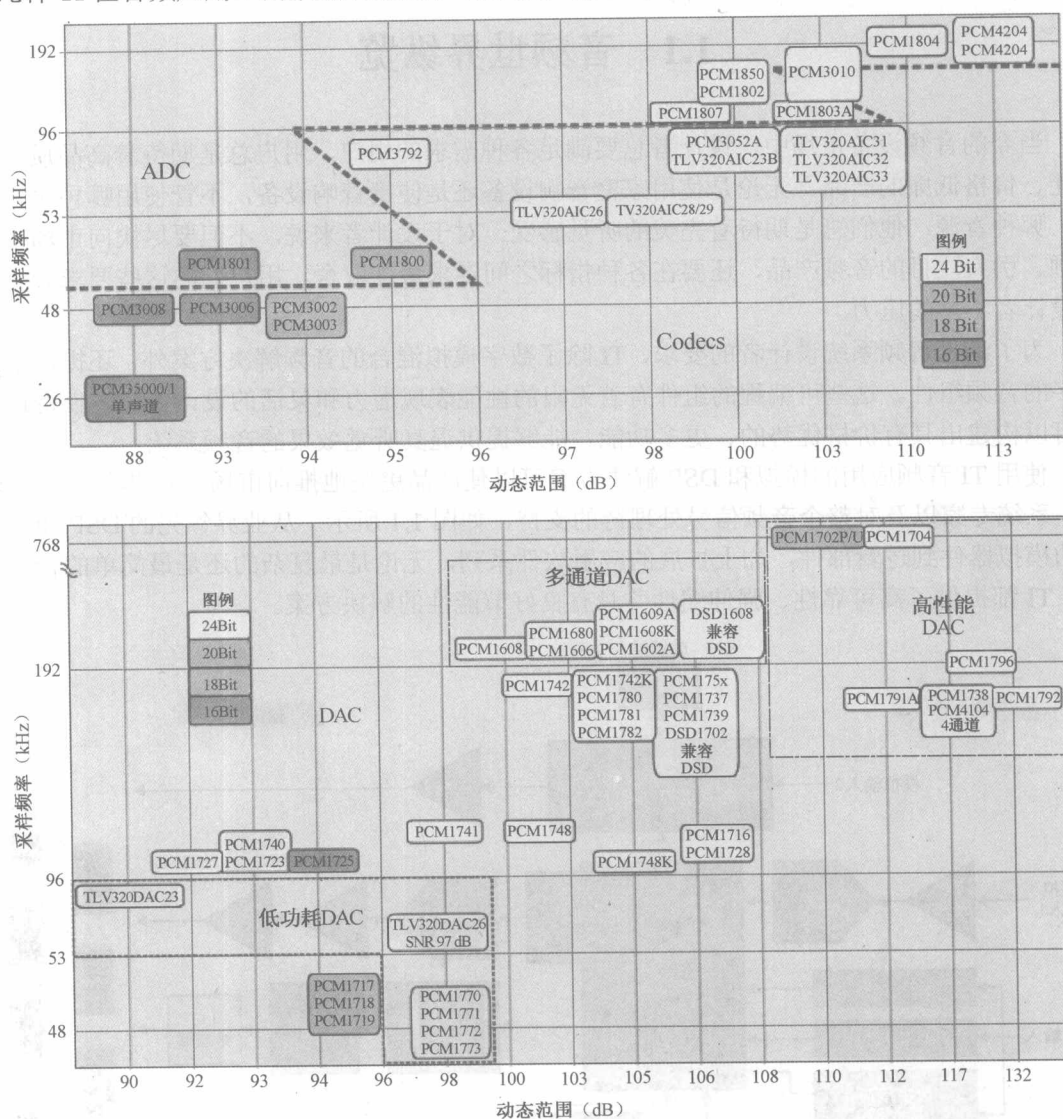


图 1.2 数据转换器总览

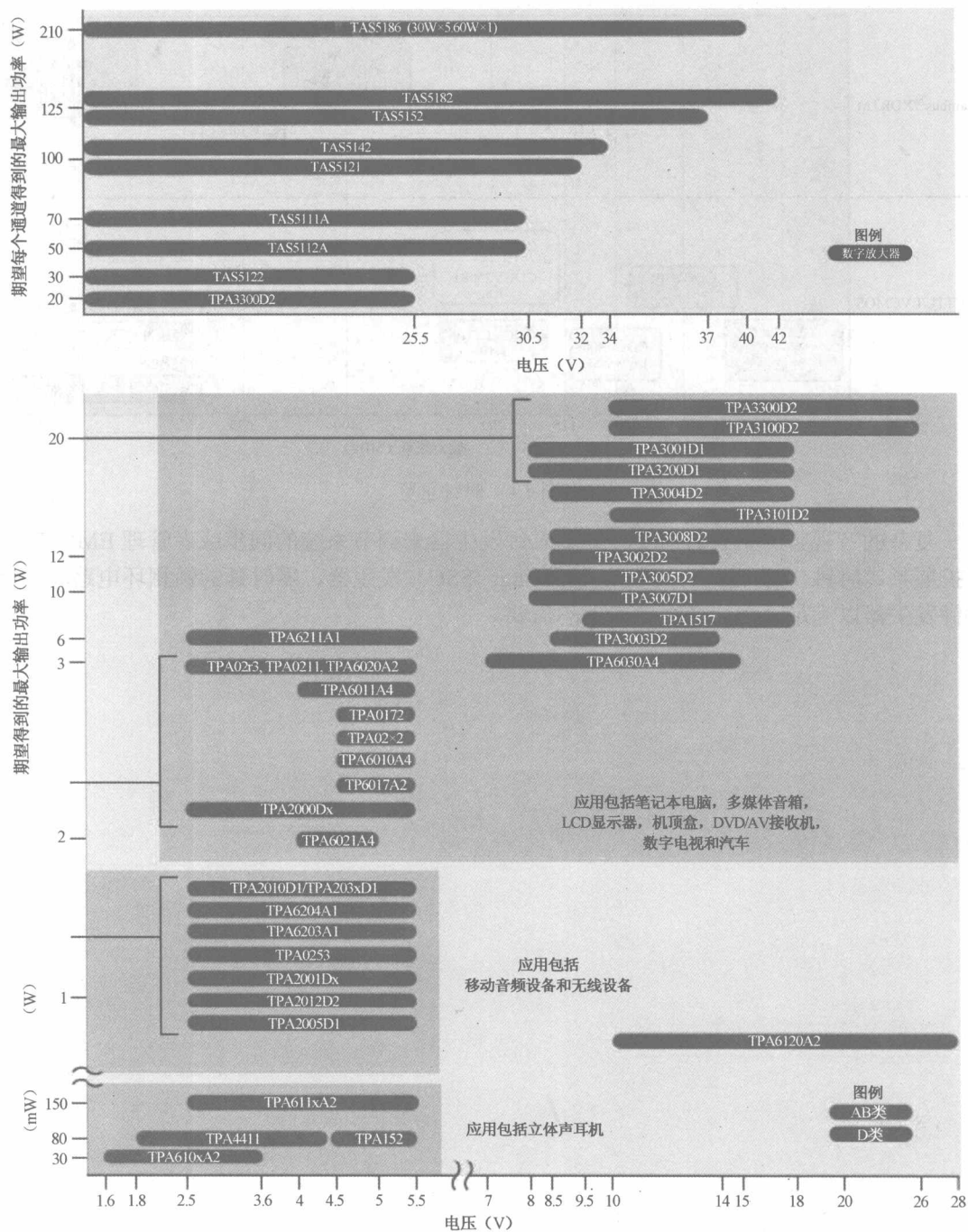


图 1.3 数字放大器总览

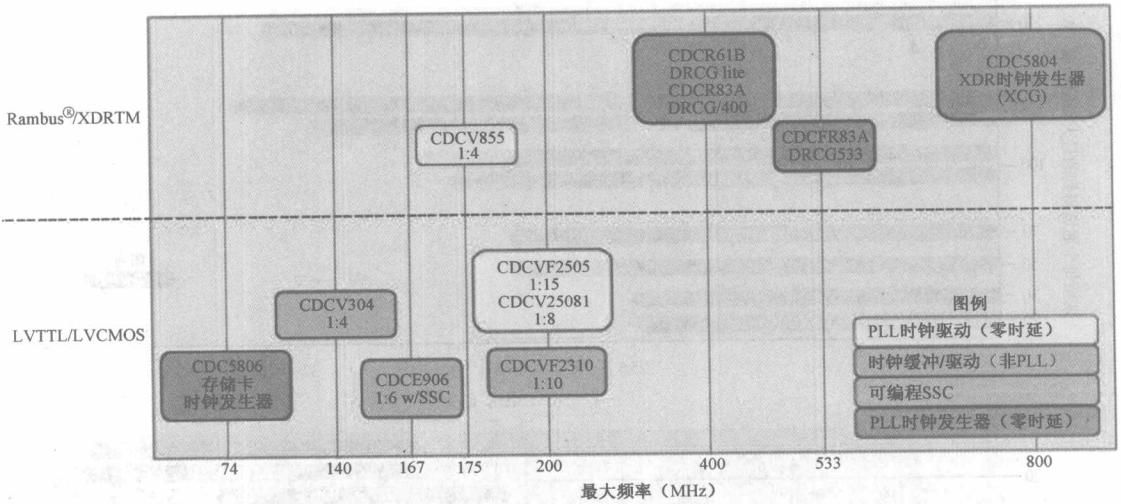


图 1.4 时钟总览

复杂的音视频应用有时需要外部的时钟发生器来调节系统的同步或者管理 EMI。TI 提供了扩展频谱时钟 (Spread Spectrum Clocking, SSC) 发生器、零时延的锁相环电路和存储器时钟发生器以满足高性能音视频应用的需要。

第2章 定点与浮点

你的设计需要定点 DSP 还是浮点 DSP? 本章将告诉你答案。

系统开发人员,尤其是 DSP 的新手,常常会对于在系统中到底应该使用定点还是浮点 DSP 感到困惑。定点和浮点的 DSP 都能够执行高速运算,为实时信号处理提供条件。二者都为片上系统(System-On-Chip, SOC)集成了片上存储器和一系列高速外围设备以保证数据吞吐的快速和设计的灵活性。在过去,选择定点还是浮点很大程度取决于成本和易用性的取舍与平衡。但是现在,是否需要额外的浮点运算能力是选择的主要标准。

2.1 数据格式

顾名思义,定点 DSP 和浮点 DSP 的根本区别在于各自数据的数字表达方法不同。定点 DSP 执行严格的整型(Integer)算术运算,而浮点 DSP 支持整型和实型(Real)的算术运算,其中实型的数据统一用科学计数法表示。TI 的 TMS320C62x™定点 DSP 系列具有并行的双数据通道,每个通道字长为 16bit,可以表示 $-2^{15} \sim 2^{15}$ 范围内的整数。TI 的 TMS320C64x™的 DSP 系列总的吞吐量是 TMS320C62x™的两倍,拥有 4 个 16 位(或者 8 个 8 位,或者 2 个 32 位)的乘法器。TMS320C5x™和 TMS320C2x™系列的 DSP 由于其结构是为手持和控制应用而设计,因此各自只有一个 16 位的数据通道。

与此相比,TMS320C67x™浮点 DSP 系列将 32 位数据通道划分成两个部分:一个 24 位的可用于存储整数或者实数的基数的尾数部分和一个 8 位的指数部分。24 位的基数加上 8 位的指数可以达到 16MB 的精确度,因此它比定点格式支持的动态范围更大。TMS320C67x™DSP 还可以使用工业标准的双精度(64 位,包括 53 位的尾数和 11 位的指数)进行运算。双精度可以达到更高的精度和动态范围,但这是以牺牲速度为前提的,因为它的每个操作需要两个周期。

2.2 定点与浮点的优劣

浮点 DSP 更加强大的计算能力往往成为决定使用此类 DSP 的重要因素。然而,在 20 世纪 90 年代初期,当 TI 发布它的首个浮点 DSP 产品时,其他一些因素掩盖了这个根本的数学问题。浮点功能需要更多的内部电路,而且 32 位的数据通道是当时定点 DSP 的两倍。这些原因加上加宽的数据总线需要更多的引脚,意味着需要更大的模具和封装,从而导致新的浮点设备成本的明显提高。因此,定点 DSP 在那些大量生产而必须保持低成本的产品(诸如数