

DSP 工程技术应用系列



DSP

控制工程技术应用

周 霖 主编 刘建存 张 山 编著

國防工業出版社

<http://www.ndip.cn>

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS



THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

DSP 工程技术应用系列

DSP 控制工程技术应用

周霖 主编

刘建存 张 山 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

DSP 控制工程技术应用/刘建存,张山编著. —北京:
国防工业出版社,2005.1

(DSP 工程技术应用系列/周霖主编)

ISBN 7-118-03480-0

I .D... II .①刘...②张... III . 数字信号—信号
处理 IV .TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 043194 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23¼ 590 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: 68428422

发行邮购: 68414474

发行传真: 68411535

发行业务: 68472764

前 言

在过去短短的二十来年里，DSP 控制器的性能得到了很大改善，软件和开发工具也得到相应的发展，价格却大幅度地下降，从而得到越来越广泛的应用。通信领域（移动通信的交换设备、基站和手机，网络的路由和交换设备，智能天线，软件无线电，IP 电话等），雷达和声呐系统，巡航导弹、灵巧炸弹及各种武器系统，自动测试系统，医疗诊断设备（CT、核磁共振、B 超等），计算机及其外设，消费类电子设备（VCD、DVD、HDTV、机顶盒、MP3、家庭影院系统、数字照相机和摄像机等），机器人及各种自动控制系统等，应用范围不胜枚举。

近几年迅速发展的系统集成芯片（SoC, System on Chip），大多以 DSP core 和 MCU core 为核心。因此，DSP 技术已经成为集成电路设计的核心技术之一。

由此可见，社会的发展和技术的进步，已经将 DSP 技术从一门很专门的学科，推进成极为活跃并广为人知的前沿技术。广大学生和工程技术人员学习 DSP 技术的热情空前高涨，迫切需要有关的最新教材和技术资料。

传统的数字信号处理课程，大多只讨论算法的理论及其推导，较少涉及实现方法及相关的软硬件技术，这和产业界的要求相去较远。国内外的教育界都在就此寻求改革的途径。目前，主要是沿着两条途径：一是使用 MATLAB 等工具软件，对数字信号处理的算法进行软件仿真；二是引入已经被工程界广泛使用的 DSP 器件，指导学生完成数字信号处理算法的实现，特别是实时（Real Time）实现。

近年来，DSP 技术在我国也得到了很好的发展。在科学研究和产品开发中，DSP 技术都得到了广泛的应用，并取得了丰硕的成果。反映在教育上，越来越多的高校开设了有关的课程和实验，编写和出版了一批质量很好的专著和教材。但是，随着 DSP 技术应用的广泛和深入，产业界、教师和学生有关课程及其教材的要求也越来越高。一方面，要求反映有关技术和产品的最新进展；另一方面，要求对算法和 DSP 器件的选择，以及系统的设计和实现等进行指导。我们编写本套书就是为了满足教育和产业市场的这种需求。

本书假定读者已具有初步的电子线路设计基础和能力，并了解单片机编程语言。对 DSP 有初步了解的读者，阅读本书之后将会产生一定的效果。读者在阅读本书的某些章节时，必须事先分别对单片机、电子线路设计和 DSP 简单设计有充分的了解。

本书是 DSP 控制器设计的中高级读本，实用性强是本书的一个鲜明特色。书中通过大量实例介绍了 DSP 控制器的基本内容和结构以及利用程序进行实际应用设计的方法，而且它对实际数字系统设计也有帮助。本书中使用普通的术语介绍 DSP 控制器的语法和语义，而较少使用语言正式定义的专业术语。本书试图对 DSP 控制器进行完整的讨论，但只限于讨论 DSP 控制器中最常用的设计方法和设计范例。

在本书的编写过程中，作者参考了 TI 公司及其第三方公司提供的大量技术文档以及国内一些优秀的电动机控制方面的资料，在此谨向这些资料的作者表示诚挚的谢意。

IV

本书是在一些 DSP 研究专家及学者的大力支持下编写的，编辑们为此付出了艰辛的劳动。我们对他们的敬业精神和出色的工作表示由衷的敬意和感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错误和不足，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 DSP 技术展望	1
1.1 DSP 概述	1
1.2 DSP 的发展	1
1.3 DSP 的特点	3
1.4 DSP 技术应用	4
1.5 DSP 技术展望	6
1.6 DSP 与单片机的关系	7
1.7 DSP 应用的结构	8
1.7.1 核心的种类	8
1.7.2 其他性能综述	9
1.8 实时操作系统 (RTOS) 与 DSP 应用的结合	9
1.8.1 用于嵌入式微处理器的传统的实时多任务操作系统	9
1.8.2 RTOS 与 DSP 结合	9
第 2 章 信号与系统	11
2.1 信号	11
2.2 系统	12
2.3 离散时间信号	16
2.4 离散时间系统	17
2.5 常系数线性差分方程	19
第 3 章 几个变换	27
3.1 Z 变换	27
3.1.1 Z 变换的定义	27
3.1.2 Z 变换的收敛域 ROC	27
3.1.3 常用序列及其 Z 变换	28
3.1.4 Z 变换的性质	30
3.1.5 逆 z 变换	31
3.1.6 单边 Z 变换及双、单边 Z 变换的应用场合	38
3.1.7 离散时间系统	39
3.2 快速傅里叶变换	40
3.2.1 概述	40
3.2.2 FFT 算法	42
3.2.3 分裂基算法	54
3.2.4 编写 FFT 程序	57

3.3	离散傅里叶变换.....	59
3.3.1	傅里叶变换的几种可能形式	59
3.3.2	DFT 的推导	62
3.3.3	DFT 及 IDFT 的定义	62
3.3.4	离散谱的性质	63
3.3.5	DFT 总结	64
3.3.6	DFT 性质	65
第 4 章	DSP 控制器.....	67
4.1	TMS320x24x 系列 DSP 控制器.....	67
4.1.1	概述.....	67
4.1.2	TMS320C240/TMS320F240 的结构和特点	68
4.1.3	TMS320C242/TMS320F241/TMS320F243	70
4.1.4	TMS320Lx240x 系列	70
4.2	DSP 控制器的内核	71
4.2.1	x24x 系列 DSP 控制器概述	72
4.2.2	中央处理单元.....	72
4.3	存储器.....	81
4.3.1	存储器和 I/O 概述	81
4.3.2	片上 RAM	82
4.3.3	片上 ROM 和 Flash EEPROM	82
4.3.4	程序存储器.....	83
4.3.5	局部数据存储器.....	84
4.3.6	全局数据存储器.....	85
4.3.7	I/O 空间	87
4.3.8	等待状态发生器.....	87
第 5 章	DSP 控制器结构	89
5.1	DSP 控制系统的配置	89
5.1.1	DSP 控制器的类型	89
5.1.2	DSP 控制器的特点	90
5.1.3	DSP 系统的配置方法	92
5.2	DSP 硬件结构	93
5.2.1	乘法器.....	93
5.2.2	乘加器 (MAC)	94
5.2.3	算术逻辑单元 (ALU)	96
5.2.4	移位器.....	97
5.2.5	数据地址发生器 (DAG)	98
5.2.6	程序定序器.....	100
5.2.7	DSP 的存储器	100
5.3	DSP 控制器实例分析	101
5.3.1	算术运算.....	102

5.3.2	数据寻址.....	104
5.3.3	指定定序.....	105
5.3.4	汇编程序实例.....	106
第 6 章	DSP 控制器的实现.....	109
6.1	概述.....	109
6.2	DSP 的软件实现.....	110
6.2.1	FFT 的实现.....	110
6.2.2	数字滤波器的实现.....	116
6.3	数字信号处理的硬件实现.....	124
6.3.1	专用信号处理器.....	125
6.3.2	通用信号处理器.....	136
6.4	数字信号处理器的基本结构与超大规模集成(VLSI).....	136
6.4.1	微处理器信号处理器.....	136
6.4.2	位片式信号处理器.....	137
6.4.3	单片信号处理器.....	137
6.4.4	多处理器信号处理系统.....	144
6.4.5	VLSI 阵列处理器.....	144
第 7 章	DSP 控制器的编程.....	148
7.1	可编程 DSP 芯片.....	148
7.1.1	DSP 芯片.....	148
7.1.2	DSP 芯片的发展.....	148
7.1.3	DSP 芯片的分类.....	150
7.1.4	DSP 芯片的选择.....	151
7.1.5	DSP 芯片的应用.....	153
7.2	DSP 汇编语言程序设计.....	153
7.3	x24x 系列 DSP 控制器的指令系统和系统开发工具.....	157
7.3.1	程序地址的产生.....	157
7.3.2	硬件堆栈.....	158
7.3.3	微堆栈.....	160
7.4	程序跳转和子程序调用的执行.....	160
7.4.1	程序的无条件执行.....	160
7.4.2	操作条件.....	161
7.4.3	程序的条件执行.....	162
7.5	汇编语言指令.....	162
7.5.1	汇编代码的格式.....	163
7.5.2	汇编语言指令集.....	163
7.6	PID 控制的编程实现.....	166
7.6.1	PID 控制器简介.....	166
7.6.2	数字 PID 控制算法.....	167
7.6.3	数字 PID 控制器的汇编主程序.....	168

第 8 章 DSP 控制器的片上外设	173
8.1 片内锁相环 (PLL)	173
8.1.1 概述.....	174
8.1.2 PLL 时钟操作	175
8.1.3 控制寄存器.....	177
8.1.4 低功耗模式概述.....	178
8.1.5 低功耗模式的设置和退出.....	179
8.1.6 低功耗方式操作总结.....	180
8.2 数字 I/O 端口	181
8.3 模拟数字转换器.....	183
8.3.1 模拟数字转换模块的操作.....	184
8.3.2 控制寄存器.....	185
8.4 CAN 控制器模块.....	189
8.4.1 概述.....	189
8.4.2 关于 CAN 总线的简单讨论	190
8.4.3 控制/状态寄存器和 Mailbox.....	192
8.4.4 数据包及信箱控制寄存器.....	194
8.4.5 对信箱的访问.....	195
8.4.6 远程帧的处理.....	196
8.4.7 接收过滤器.....	197
8.4.8 CAN 模块的控制寄存器	198
8.4.9 CAN 模块的状态寄存器	200
8.4.10 中断逻辑.....	201
8.4.11 CAN 模块的初始化	202
第 9 章 DSP 控制器的简单应用	203
9.1 控制带串行端口的正弦波形发生器.....	203
9.1.1 简介.....	203
9.1.2 SCI 模块	203
9.1.3 发送过程.....	203
9.1.4 频率操作.....	204
9.1.5 相位操作.....	205
9.1.6 振幅操作.....	205
9.1.7 源程序.....	205
9.2 用 SPI 实现点对点通信	206
9.2.1 简介.....	206
9.2.2 SPI 模块和 CPU 的内部接口	206
9.2.3 SPI 中断.....	207
9.2.4 中断示例.....	208
9.2.5 接口拓扑.....	210
9.2.6 实际应用.....	213

9.2.7 程序模块.....	214
9.3 用 CAN 模块建立现场总线系统.....	214
9.3.1 简介.....	214
9.3.2 片载 CAN 模块.....	215
9.3.3 初始化 CAN 模块.....	216
9.3.4 发送消息.....	219
9.3.5 接收消息.....	221
9.3.6 实际应用.....	223
第 10 章 DSP 优化设计.....	226
10.1 DSP 的优化设计.....	226
10.1.1 总体优化.....	226
10.1.2 算法设计的优化.....	226
10.1.3 程序设计的优化.....	228
10.2 用 DSP 实现单边带调制解调.....	231
10.2.1 滤波器法.....	231
10.2.2 Hartley 法.....	232
10.2.3 Weaver 方法.....	233
10.2.4 三种算法的分析研究及比较.....	233
第 11 章 DSP 芯片的定点运算.....	236
11.1 数的定标.....	236
11.2 高级语言: 从浮点到定点.....	237
11.2.1 加法/减法运算的 C 语言定点模拟.....	237
11.2.2 乘法运算的 C 语言定点模拟.....	239
11.2.3 除法运算的 C 语言定点模拟.....	239
11.2.4 程序变量的 Q 值确定.....	240
11.2.5 浮点至定点变换的 C 程序举例.....	241
11.3 DSP 定点算术运算.....	243
11.3.1 定点乘法.....	243
11.3.2 定点加法.....	244
11.3.3 定点除法.....	245
11.4 非线性运算的定点快速实现.....	247
第 12 章 DSP 控制器开发.....	252
12.1 DSP 控制器的开发.....	252
12.1.1 开发环境.....	252
12.1.2 DSP 控制器专用开发系统.....	255
12.1.3 C 语言下的开发过程.....	257
12.1.4 开发工具的使用.....	258
12.2 DSP 实时多任务操作系统.....	262
12.2.1 实时多任务操作系统的基本概念.....	262
12.2.2 SPOX 实时操作系统.....	265

12.2.3 多媒体运行环境.....	269
12.3 DSP 控制器算法	270
12.3.1 FIR 滤波器的程序实现	270
12.3.2 FIR 滤波器的程序实现	273
12.3.3 FFT 算法的程序设计	275
第 13 章 DSP 控制系统应用	282
13.1 嵌入式 PID 伺服电机系统	282
13.1.1 概述	282
13.1.2 PID 算法原理	283
13.1.3 系统设计	285
13.1.4 系统的实现	288
13.2 脑电图的抗干扰测量	290
13.2.1 概述	290
13.2.2 抵消 OA 干扰的原理	290
13.2.3 自适应算法	291
13.2.4 矩阵分解的 UD 算法	293
13.2.5 实时 OA 抵消系统	294
附录 1 控制带串行端口的正弦波形发生器的源程序	295
附录 2 用 SPI 实现点对点通信的源程序	320
附录 3 用 CAN 模块建立现场总线系统的源程序	339
参考文献	367

第 1 章 DSP 技术展望

1.1 DSP 概述

简单地说, 数字信号处理是利用计算机或专用处理设备, 以数值计算的方法对信号进行采集、变换、综合、估值与识别等加工处理, 借以达到提取信息和便于应用的目的。数字信号处理在理论上所涉及的范围极其广泛。在数学领域中, 微积分、概率统计、随机过程、高等代数、近世代数、复变函数等都是数字信号处理的基本工具, 网络理论、信号与系统等均是它的理论基础。在学科发展上, 数字信号处理又和最优控制、通信理论、故障诊断等紧紧相连, 近年来又成为人工智能、模式识别、神经网络等新兴学科的理论基础之一, 其算法的实现(无论是硬件还是软件)又和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以说, 数字信号处理是把经典的理论体系作为自己的理论基础, 同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

国际上, 一般把 1965 年快速傅里叶变换(FFT)的问世, 作为数字信号处理这一新学科的开端。在这 30 余年的发展, 数字信号处理自身已基本形成一套较为完整的理论体系。这些理论主要包括:

- (1) 信号的采集[A/D (模数转换)技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等]。
- (2) 离散信号的分析(时域及频域分析、各种变换技术、信号特征的描述等)。
- (3) 离散系统分析(系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特性等)。
- (4) 信号处理中的快速算法(快速傅里叶变换、快速卷积与相关等)。
- (5) 信号的估值(各种估值理论、相关函数与功率谱估计等)。
- (6) 滤波技术(各种数字滤波器的设计与实现)。
- (7) 信号的建模(最常用的有 AR, MA, ARMA, PRONY 等各种模型)。
- (8) 信号处理中的特殊算法(如抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重建等)。
- (9) 信号处理技术的实现(软件实现与硬件实现)。
- (10) 信号处理技术的应用。

伴随着通信技术、电子技术及计算机的飞速发展, 数字信号处理的理论也在不断地丰富和完善, 各种新算法、新理论正在不断地被提出。可以预计, 数字信号处理的理论将获得更快的发展。

1.2 DSP 的发展

基于数字滤波和快速傅里叶变换的数字信号处理(Digital Signal Processing, DSP)在 20 世纪 70 年代有了飞速的发展。20 世纪 80 年代, 数字信号处理已应用到各个工程技术领域, 不管在军用还是在民用系统中都发挥了积极的作用。进入 20 世纪 90 年代, 情况又

发生了根本性的变化。首先,处理方法发展到以自适应技术为代表的先进的信号处理,但此时虽已可提取到更深层的信息,却以付出巨大的运算量为代价,因此继而又发展出了一种通用 DSP 处理器,它既有高速度,又是低成本,从而大大促进了数字信号处理技术的普及和推广。

通用数字信号处理器(DSP Processor)可通过编程来满足不同应用的需要。当前全世界使用最多的 DSP 处理器是 TI 公司(Texas Instruments,美国德州仪器公司)TMS 320C50,它采用哈佛结构,即程序和数据采用独立的总线,芯片内有运算速度达到 28MIPS(兆条指令每秒)的 16 位 $\times$ 16 位乘法器和 32 位累加器,总共集成有 120 万只晶体管。由于它的运算速度已足够处理语音和声频信号,因而广泛用于调制解调器、数字移动手机、硬盘控制器等,年产量已超过 1000 万片。TMS 320C30 是 TI 公司的浮点 DSP 处理器,适合由多个芯片组成信号处理的阵列结构。后来, TI 公司生产的 TMS 320C40 处理器,将 DMA 通信口扩大至 6 个,因而可以方便地利用数十片 DSP 处理器组成多维的阵列结构并行处理,运算速度较单片可提高数十倍。这种基于 DSP 处理器的阵列信号处理系统,已广泛应用于像雷达、声呐等超高速实时信号的处理系统中。320C6x 为定点处理器,片内包括 2 个乘法器和 6 个加法器,能在 200MHz 周期内完成 8 段 32 位指令,其性能达到 1.6GIPS(吉条指令每秒);320C67x 为浮点处理器,其性能达到 1GFLOPS(吉次浮总操作每秒)。

DSP 处理器是可编程的。但它是针对某一 DSP 应用问题而设计优化程序,其并发操作的调度是在编译时完成的,运行时只是执行,因而芯片相对较简单。一般而言,相同速度的 DSP 处理器价格比微处理器低 10 倍左右,而且具有更低的电压和功耗,因而有更大的应用市场。

另一种 DSP 技术的实现方案是采用专用的 DSP 芯片。由于近年来微电子技术已取得突破性的进展,已经能够在单个芯片上设计出多个运算结点的阵列信号处理结构,以提高运算的并行度,而且,相同规模的专用 DSP 芯片,运算速度比通用 DSP 芯片可提高 10 倍以上,这种专用的信号处理芯片为 DSP 技术实用化奠定了物质基础,如数字电视、多媒体、DVD 播放机、数字摄像机等都采用了这种专用的 DSP 芯片。

由于近 10 年微电子工业的飞速发展, DSP 技术已成为实用技术,其标志在于 DSP 技术的成本大幅度降低,以平均每秒完成 100 万次乘加运算为例,20 世纪 70 年代 DSP 系统的费用为数十万元;20 世纪 80 年代由于采用通用 DSP 处理器,费用已降下数千元;进入 20 世纪 90 年代,采用专用 DSP 芯片,费用已降至数十元,而且正向小于 1 元的方向发展。今年 Lucent 公司推出 DSP1609,运算速度达 100MOPS(兆次操作每秒),芯片售价仅 4.95 美元,达到 5 美分/1MOPS。这样低的 DSP 运算成本,使 DSP 技术成为消费电子和通信领域的实用技术,并推广到家庭使用。

目前,我国数字信号处理器市场是著名半导体跨国公司的盘中餐,国外众多厂商涉足我国 DSP 产品市场。TI 公司、Motorola 公司、Lucent 公司及 ZSP 公司、Analog DevDSPes 和 NEC 等跨国公司都已不同程度和国内有关企事业单位及政府机构建立了联系,或投资建厂,或设立办事机构,有的建立起自己的营销网络。其中, TI 公司在上海与北京设有办事处,拥有 6 家代理商及一家分销商,持续宣传其世界最大数字信号处理器供应商形象,各个厂商纷纷出招加大宣传力度,在中国境内抢摊设点,市场竞争渐趋激烈。

在我国国内, DSP 的应用已有了相当的基础,有 10 多家集成电路设计企业从事数字信号处理系统及相关产品的开发与应用,但在 DSP 芯片的研发上除了某些大学、科研院所做过预

研性课题,目前在芯片市场上并没有国内厂商自己的 DSP,国内市场完全由国外厂商所占领。自 2000 年以来,杭州士兰微电子有限公司在国内率先进行 DSP 芯片的市场调研和设计开发的准备工作,作为国家重点扶持的技术研发项目之一,杭州士兰微电子有限公司正在从事 16 位定点 DSP 芯片的研制工作,目前 16 位定点 DSP 在家庭消费类和通信类电子产品中大量使用,有良好的市场前景。

从应用范围来,数字信号处理器市场前景看好。DSP 不仅成为手机、个人数字助理等快速增长产品中的关键元件,而且它正在向数码相机和电机控制等领域挺进。在扩展应用领域过程中,DSP 不断衍生出多种体系结构,越来越多新公司的加入也为 DSP 市场注入新的活力,创造出一个崭新的 DSP 市场格局。

随着 DSP 芯片的品种和技术档次不断提高以及向多功能化、高性能化、低功耗化方向发展,DSP 日益进入人们的生活,在未来相当长的一段时间,我国数字信号处理器市场将蓬勃发展,今后几年里我国 DSP 市场销售额仍会保持 40% 以上的增长率,至 2005 年市场需求量将达到 13 亿块。

1.3 DSP 的特点

1. 优点

1) 精度高

模拟元件精度很难达到 10^3 以上,而数字系统 17 位字长就可达 10^5 精度,在一些高精度的系统中只能采用数字技术才可达精度要求。如雷达技术中的脉冲压缩,要求主、副瓣之比达到 35dB 或 40dB,在理论上是可行的,但采用模拟处理时,由于元件精度的限制,只能做到 30dB 左右。但当采用数字脉压时,在 $\tau = 500\mu\text{s}$, 压缩比 $D=2^{10}=1024$, A/D 转换器用 8 位时,其主、副瓣之比却可达 40dB,且动态范围可达 60dB。

2) 灵活性大

数字系统的性能主要决定于乘法器的各系数,而这些系数存放在系数存储器中。改变所存放的系数,就可得到不同的系统,比改变模拟系统的特性容易得多。这是模拟系统无法比拟的。

3) 可靠性强

因为数字系统只有两个信号电平,“1”和“0”,受噪声及环境条件影响小,不像模拟系统各参数都有一定的温度系数,易受环境条件,如温度、振动、电磁感应等影响。再者,数字系统多采用大规模集成电路,其故障率远比采用众多分立元件构成的模拟系统的故障率低。

4) 易于大规模集成

因为数字部件具有高度规范性,易于大规模集成,大规模生产,并且数字电路主要工作在截止饱和状态,对电路参数要求不严格,因此产品的成品率高,价格日趋降低。特别是在一些用模拟网络进行的低频信号的处理中,网络的电感和电容的数值大到惊人的程度,甚至不能很好的实现,这时采用数字滤波器,在体积、重量和性能方面,将特别显示出其优越性。

5) 时分复用

可以利用一套计算设备同时处理几个通道信号。其原理如图 1-1 所示。

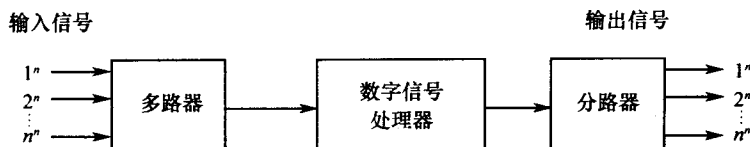


图1-1 时分复用系统

同步系统控制各路信号按先后顺序分别输入一序列值进入处理器，处理器算完一路结果再算第二路…，在将各路信号第一个序列算完后，在同步系统控制下分别送给各路输出，再按先后次序计算各路输入信号的第二个序列，如此反复。因此，对于每一路信道来说，都好像单独占用着处理器一样。处理器运算速度越高，它能同时处理的信道数也越多。

2. 不足

1) 工作速度慢

进行实时处理时，输入信号的一个样点的处理必须在它的取样周期内完成，所以被处理信号的频谱上限压得比较低。

2) 电路规模大

进行实时处理需要有 A/D 及 D/A 变换器、时钟发生器等附属电路，电路规模较大，这对简单的信号处理是不利的。

3) 存在非线性和噪声

对模拟信号进行数字处理时，不可避免地要产生某些量化噪声。另外，严格地说，数字信号处理使用非线性系统来近似线性系统的，其运算误差必将产生噪声。而且，即使可以保证线性系统的稳定性，有时也会出现所谓的极限环震荡现象，这在数据字长较小时尤其注意。

1.4 DSP 技术应用

电子工业最近 30 年来有了迅速的发展：20 世纪 70 年代的电子工业以消费电子为主，代表性的产品是录像机、摄像机、彩电，主要的生产厂商是日本的 Sony、JVC、荷兰的 Philips 等家电厂商，依靠的是大规模生产和优秀的质量；20 世纪 80 年代是计算机时代，代表性的产品是 PC 机、硬盘驱动器、打印机，主要生产厂商是美国的 Intel、IBM、Microsoft、Compaq 等公司；20 世纪 90 年代起是信息时代，代表性的产品是个人通信网、网络接入设备、数字化消费类电子产品，主要生产厂商目前尚难确定，主要获胜的战略之一是以 DSP 为核心的技术及其创新产品。

DSP 正在改变我们生活方式的各个方面，它应用广泛，其主要应用市场为 3C（Communication、Computer、Consumer-通信、计算机、消费类）领域，占整个市场需求的 90%。例如，人们之间的联系方式正由电话转向个人通信方式。人类从发明电话到电话用户达到 5 千万经过了 70 年的时间，模拟蜂窝电话达到 5 千万用户经过了 14 年，而数字蜂窝电话（GSM 是其中之一）只经过了 5 年就达到相同的用户数。再如娱乐方式，VCD、DVD 正替代 VHS 录像机，VCD 采用了数字压缩技术，可将电影节目压缩到光盘上，尽管其分辨率只有 300 线，但低成本适合我国国情，因而在几年间即得到普及，装机量已超过 2500 万台。数字电视机开始替代模拟的 NTSC 或 PAL 制电视机。家庭影院主要由数字化 A/V 设备组成，DSP 不仅提供环绕声，还可以虚拟各种现场效果。总之，DSP 技术的产品已大批投放市场，

形成年产值数百亿元的大产业。调制解调器在全球已安装了几千万台,今后随着网络化将成为 PC 机必备的组件。数字移动电话由于采用数字压缩了话音和对信道补偿,其性能远远优于早期的模拟系统,因而迅速推广,全球装机量已达数千万台。数码照相机更是如雨后春笋,其优点是可将像片存储在盘片上,重复使用,且容易与计算机连接,还可通过计算机对照片进行编辑、加工和处理,并用喷墨打印机直接输出照片。目前已形成产业的数字化家电还有数字化录音机、可视电话、数字摄像机,这些产品的质量的确是上了一个台阶,但价格偏高,在我国尚未得到普及。在美国,数字直播卫星已开始工作,因而相应的接收机 DSS 亦相当流行,由于采用数字压缩技术大大减小了每一电视节目所占的频道带宽,故 DSS 可接收 150 个电视频道,而售价还不到 200 美元。

日本从 1985 年开始,投入几百亿美元改进电视分辨力,采用的是模拟技术。美国后来居上,采用数字压缩技术,大大减小了传输带宽,即在普通电视带宽上获得了高分辨力的电视图像。1997 年美国已开发出 1920 条线的 HDTV,并通过了各种使用环境下的测试,目前 HDTV 系统成本太高,如果能进一步降低系统的成本,推广后可形成超过万亿美金的巨大市场。

当前市场看好的产品是 720 线的数字电视。它采用 MPEGZ 压缩图像和 AC-3 的 5.1 声道环绕声,能让人们在家庭中欣赏到高质量的图像和三维音响。由于采用数据压缩,不仅图像分辨力提高 1 倍,而且电视节目的频带宽度减小 4 倍,同样的传播通道上可传输更多的节目。美国到 2006 年完全取消模拟电视广播,也就是说在 3 年内美国将淘汰当前的电视机,全部换成 720 线的数字电视,相应的市场值将超过万亿美元。目前,全球各大公司都在竞相开发 720 线的数字电视,可望在近期内形成巨大的产业。

过去音乐厅和歌剧院的设计,都是立足于厅堂声学基础上,很难达到好的效果。现在采用 DSP 技术,可对厅堂声学特性进行补偿和修正。这种技术已经推广到家庭影院系统中,一般的家庭影院系统可产生适合不同音乐特点的声场,高档的家庭影院系统可产生 20 多个全世界最有名的剧场的模拟声场,坐在家中就可以欣赏巴黎歌剧院的歌剧。由于家庭声场环境随时随着人的活动而改变,故这种系统应是自适应的可调节系统,相应的 DSP 运算量就比较大。

DSP 技术广泛使用于通信系统,正在开发的技术是扩宽普通电话线路的带宽,以使用普通电话线传输图像。数字移动电话也正在从 TDMA 发展到 CDMA,后者可降低发射功率,扩大通信线路近 10 倍,并有很强的保密性,因此正在快速发展成为主流产品。信息高速公路要进入家庭用户,必须配上相应的 Internet 硬件,最常用的是线缆调制解调器,即利用有线电视网进入信息高速公路。它比电话线有更大的带宽,能够传送多路数字图像信号。对普通电话和无线电话系统,已经制订 MPEG-4 国际标准。由于采用了基于模型的压缩算法和子波变换,可得到更高质量的图像。

DSP 日益进入人们的生活,许多学科在自身发展过程中对数字信号处理技术的要求越来越迫切,这些要求又促进了数字信号处理技术的发展。以下是数字信号处理技术在不同学科的应用情况。

通信:通信系统中处处都有数字信号处理技术的应用,例如各种编码调制、对通信通道的均衡、电话线路的回声对消、频分制与时分制之间的自动转接等。

图像处理:图像信号是照度和反射度这两个分量的乘积。若将这两个分量分离,分别给予不同的加权,再加以合成,就能得到新的质量较高的图像信号。这种乘积信号的分离与合成是用对数和反对数的变换来实现的,这种处理属于数字信号处理技术中的同态滤