

DSP

基础知识及系列芯片

曾义芳 编著



DSP 基础知识及系列芯片

曾义芳 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

介绍 DSP 的基础知识和系列芯片,共 13 章。前两章高度精练地概括了信号和信号处理的概念和名词术语,数字信号处理的理论和 DSP 芯片的发展概况,以及数字信号处理的理论与算法宝典。第 3 章扼要介绍 DSP 芯片的特点、类型及配套芯片。第 4~6 章主要介绍 TI 公司的 TMS320C31/32 及 TMS320C2000/TMS320C5000/TMS320C6000 系列 DSP 芯片及最新产品。第 7~10 章主要介绍 ADI 公司的 ADSP21XX/SHARC/TigerSHARC/Blackfin 四大系列 DSP 及最新型芯片。第 11 章为 Motorola 公司的通用 16 位 DSP56800/56800E、24 位 DSP56300/56311 和 32 位 DSP96002 系列和专用芯片。第 12 章为国外一些公司基于 DSP 核和其他核与 MPU、MCU 相结合推出的 DSP 专用芯片。第 13 章介绍 DSP 与其他相关技术,包括可编程逻辑器件与 DSP、SoC 与 DSP、嵌入式技术与 DSP、微电子技术和封装与 DSP,由此可见 DSP 技术的发展趋势。

本书适合大专院校师生、科研院所技术人员及企事业单位技术人员参考,也适合图书馆和情报资料室收藏。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 基础知识及系列芯片/曾义芳编著. —北京:
北京航空航天大学出版社,2006. 11
ISBN 7-81077-859-5

I. D… II. 曾… III. 数字信号—信息处理系统
IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 115778 号

© 2006, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。侵权必究。

DSP 基础知识及系列芯片

曾义芳 编著

责任编辑 史 东

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:45.25 字数:1158 千字

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 7-81077-859-5 定价:76.00 元

前 言

数字信号处理是一门多学科、跨领域,包括信号基本分析和运算理论及高科技信息应用的学科。数字信号处理的目的是按照相关的理论方法和步骤,从信号的获取、采集、传输、存储、变换、分析、转换、处理、检测、显示等过程中,提取有用的信号或变为所期望和易于识别的形式,将结果应用于各个实际工程领域。

20 世纪 80 年代初推出的世界上第 1 个单片数字信号处理器 DSP (Digital Signal Processor),得到国内外科技界、工程界和 IT 行业的广泛注意。DSP 芯片是专门为快速实现各种数字信号处理的算法而设计的。随着微电子和计算机技术的提高,DSP 技术也得到日新月异的发展。DSP 技术的发展,一方面促进了数字信号处理理论和方法的进步,另一方面也极大地拓展了数字信号处理在科技和国民经济各个领域中的应用。20 世纪 90 年代,以 DSP 为核心的技术及产品已成为电子产品的关键技术。进入 21 世纪以来,以 DSP、可编程门阵列、系统级芯片为核心的嵌入式技术及创新产品,成为现代高科技研究、开发和成功应用的基石。

DSP 是继微处理器(MPU)、微控制器(MCU)之后出现的第 3 次飞速发展的微电子技术产品。目前,多种系列、型号,不同档次的 DSP 芯片,以及单核和多核 DSP、MPU、MCU 和可编程门阵列、嵌入式处理器的相互结合,可实现各种密集型复杂运算,使应用系统达到高性能、高精度、高速度、高重复性和低功耗、低成本的要求,非常适合军用和民用产品的开发应用。使用芯片完成的模块、板卡,其系统具有先进性、实用性、广泛性和经济性,推动了信息数字化的发展。

为满足大专院校师生和广大科技人员的需求,本书以综述的形式,概括性地介绍近 20 年 DSP 技术的发展、特点和应用。在 DSP 技术的基础知识方面,有信号、信号处理的各种名词术语概念,有一维、二维直至多维谱分析、滤波、压缩等变换的定义、公式和使用范围。在 DSP 芯片方面,系列化地介绍了 TI、ADI、Motorola 等公司各自的 DSP 系列芯片及系列中不同档次和型号的典型产品特点、结构、功能和应用领域。书中还精炼地介绍了 DSP 与嵌入式技术、系统级芯片技术,DSP 与 MPU、MCU 等相互结合推出的通用和专用数字信号处理芯片,以及它们应用的场合。

书中以介绍最新产品为主,兼顾中期和早期产品,让读者对世界四大主要 DSP 厂商及其他厂商的产品有一个全面和系统的了解,以作为课题和开发应用研究方案的起点,或作为宣讲和授课的范本。

在本书编著过程中,北京航空航天大学出版社给予了热情的支持和鼓励,TI、ADI、Motorola 等公司,以及龙腾、冷何英、李文元、王跃科、孟宪元、姚建华、李树林、廉英杰、李彤、史磊、曾波、杨帆、王威、李福鑫、张昱、黄建忠、雷丁汉、李妙芹、曾德磬、董平、郭强、雷鸣、陈永南、余超、杨军军、王福林等同志提供了相关资料,在此对他们表示衷心的感谢。

希望此书的出版,有助于广大读者对 DSP 的了解,也有助于 DSP 技术的推广。由于作者水平有限,对于书中错误,恳请读者批评指正!

编著者

2006 年 6 月 于北京

目 录

第 1 章 数字信号处理的基础知识

1.1 信息与信号的概念	1
1.1.1 信息的概念	1
1.1.2 信息技术	1
1.1.3 信息产业与信息化社会	1
1.1.4 信息与信号的关系	2
1.2 信号的类型和术语	2
1.2.1 信号的主要类型	2
1.2.2 信号分析的概念及术语	9
1.2.3 信号处理运算中的主要相关术语	15
1.3 信号处理技术	28
1.3.1 信号处理的概念和目的	28
1.3.2 信号处理的类型	29
1.3.3 信号处理系统及相关术语	29
1.3.4 信号处理软硬件涉及的主要术语	32
1.4 数字信号处理的发展历程	38
1.4.1 数字信号处理的两种概念	38
1.4.2 数字信号处理的发展阶段	39
1.4.3 DSP 芯片的发展概况	41

第 2 章 数字信号处理的理论与算法宝典

2.1 数字信号处理的基本理论与算法	45
2.1.1 拉普拉斯变换	45
2.1.2 一维 Z 变换	45
2.1.3 傅里叶变换	46
2.1.4 卷积运算	52
2.2 正交变换	53
2.2.1 正交与正交函数	53
2.2.2 正交变换的主要优点	54
2.2.3 正交变换的类型	55
2.2.4 离散余弦变换和正弦变换	55
2.2.5 离散 Hartley 变换(DHT)	57
2.2.6 离散 W 变换	57

2.2.7 多项式变换	58
2.2.8 希尔伯特变换	58
2.3 小波变换	59
2.3.1 小波变换的概念和应用范围	59
2.3.2 小波变换的算法	60
2.3.3 提升小波算法	61
2.4 一维数字滤波器	62
2.4.1 滤波与滤波器的概念	62
2.4.2 滤波器的类型	63
2.4.3 数字滤波器的实现方法	63
2.5 多维数字信号处理	65
2.5.1 多维变换定义	65
2.5.2 多维卷积	67
2.5.3 多维数字滤波器	68
2.5.4 多维自适应信号处理	68
2.6 功率谱估计和其他理论	69
2.6.1 功率谱估计的概念及应用	69
2.6.2 功率谱估计的类型与方法	70
2.6.3 其他方面的理论	71

第3章 DSP 的特点、类型及配套芯片

3.1 DSP 芯片与通用微处理器的异同	74
3.1.1 DSP 与单片机	74
3.1.2 DSP 与 MCU、MPU	74
3.1.3 RISC 与 CISC	78
3.1.4 DSP 应用的结构	82
3.2 DSP 芯片的特点与类型	84
3.2.1 DSP 芯片的结构特点	84
3.2.2 DSP 芯片的功能特点	94
3.2.3 信号处理单片机的类型	96
3.2.4 DSP 芯片的分类	99
3.3 DSP 芯片的主要性能指标	103
3.4 主要配套芯片	105
3.4.1 动态读写存储器 DRAM	105
3.4.2 ROM 与 E ² PROM	108
3.4.3 FIFO	109
3.4.4 快闪记忆体	111
3.4.5 闪速(Flash)存储器	112
3.4.6 部分存储器配套芯片选择	118

3.4.7 存储器技术的发展趋势	121
3.4.8 直接数字频率合成器 DDS	121
3.4.9 ADC 与 DAC	124
3.4.10 其他相关配套芯片	130

第 4 章 TI 公司 TMS320C2000 系列 DSP

4.1 TMS320 系列 DSP 芯片	137
4.1.1 早期 TMS320 系列芯片	137
4.1.2 新型 TMS320 系列 DSP	143
4.1.3 TI 公司开发的专用 DSP 芯片	146
4.2 TMS320C2000 系列 DSP	171
4.2.1 TMS320C2000 系列 DSP 概貌	171
4.2.2 C2000 系列 DSP 平台的外围设备器件	173
4.2.3 TMS320C2000 DSP 控制器	176
4.3 TMS32020X 系列 DSP	180
4.3.1 TMS320C20C 系列 DSP 芯片简介	180
4.3.2 TMS320F206 DSP 芯片	181
4.4 TMS320C24X/C24XX 系列 DSP	187
4.4.1 TMS320C24X/C24XX DSP 概貌	187
4.4.2 TMS320C240/F240 DSP 芯片介绍	189
4.4.3 TMS320C24XX 典型芯片	202
4.5 TMS320C28XX 系列 DSP	205
4.5.1 TMS320C28XX DSP 核	205
4.5.2 TMS320F28XX DSP 内部结构	206
4.5.3 TMS320F2801/F2806/F2808	208
4.5.4 TMS320F2810/F2812	209

第 5 章 TI 公司的 TMS320C5000 系列 DSP

5.1 TMS320C5000 系列 DSP 概貌	216
5.1.1 TMS320C5000 系列 DSP 芯片评述及特征比较	216
5.1.2 TMS320C5000 DSP 平台的相关器件	216
5.2 TMS320C54X/54XX 系列 DSP	220
5.2.1 TMS320C54X/54XX 系列 DSP 概貌	220
5.2.2 TMS320C54X/54XX DSP 芯片的体系结构	222
5.2.3 TMS320C54X DSP 芯片	224
5.2.4 TMS320C54X/54XX 几种典型 DSP 芯片	240
5.3 TMS320C55XX 系列 DSP	251
5.3.1 TMS320C55XX 系列 DSP 概貌	251
5.3.2 TMS320C55XX 的指令系统	253

5.3.3 TMS320C55XX 系列几种典型的 DSP 芯片	270
--	-----

第 6 章 TI 公司 TMS320C6000 系列 DSP

6.1 TMS320C6000 系列 DSP 概貌	287
6.1.1 TMS320C6000 系列 DSP 芯片及相关器件	287
6.1.2 TMS320C62XX/C67XX DSP 体系结构	290
6.1.3 TMS320C62XX/C67XX 系列指令集	295
6.2 TMS320C62XX/C67XX 系列 DSP	300
6.2.1 TMS320C62XX 系列 DSP 芯片简介	300
6.2.2 TMS320C67XX 系列 DSP 芯片简介	305
6.3 TMS320C64XX 系列 DSP	309
6.3.1 TMS320C64XX 系列芯片简介	309
6.3.2 TMS320C64XX 的特征与 C6000 系列芯片比较	311
6.3.3 TMS320C64XX 系列 DSP 芯片简介	312

第 7 章 ADI 公司 ADSP-21XX 系列 DSP

7.1 ADI 公司的 ADSP 系列 DSP 综述	320
7.1.1 ADI 公司的 DSP 系列概貌	320
7.1.2 ADI 公司的 DSP 芯片功能、应用及芯片选择	323
7.1.3 ADI 公司的 DSP 关键特征	324
7.2 ADSP-21XX 系列 DSP	325
7.2.1 ADSP-21XX 系列 DSP 概貌	325
7.2.2 ADSP-218X 系列定点 DSP	327
7.2.3 ADSP-2183 引脚图及引脚功能	331
7.2.4 ADSP-2183 DSP 的指令系统	334
7.3 ADSP-219X 系列定点 DSP	341
7.3.1 ADSP-219X 系列定点 DSP 概貌	341
7.3.2 ADSP-2199X 系列混合型 DSP	346
7.3.3 ADSP-21msp 58/59 芯片	347

第 8 章 ADI 公司的 SHARC 系列 DSP

8.1 SHARC 系列芯片性能、结构与引脚	350
8.1.1 SHARC 系列概貌	350
8.1.2 ADSP-2106X 的内部结构	355
8.1.3 ADSP-2106X 芯片引脚与封装	357
8.2 ADSP-2106X 内部结构主要单元简介	364
8.2.1 ADSP-2106X 的运算单元	364
8.2.2 ADSP-2106X 的存储器	368
8.2.3 ADSP-2106X 的接口	376

8.3 SHARC 的指令系统	382
8.3.1 SHARC 指令系统的组成和分类	382
8.3.2 计算操作分类及运算	386
8.3.3 其他类型指令	392
8.3.4 典型芯片介绍	393
第 9 章 ADI 公司的 Blackfin 系列 DSP	
9.1 Blackfin 系列 DSP 概貌	405
9.1.1 关键特征及应用	405
9.1.2 芯片结构	406
9.1.3 系统集成与开发工具	406
9.2 ADSP-21535 芯片介绍	407
9.2.1 ADSP-21535 概貌	407
9.2.2 ADSP-21535 的结构及组成	409
9.2.3 动态电源管理	421
9.2.4 时钟和引导	423
9.2.5 指令集和开发工具	424
9.2.6 引脚图及说明	427
9.2.7 ADSP-21535 技术要求	431
9.3 ADSP-21532 及其他 DSP 芯片	434
9.3.1 ADSP-21532 芯片	434
9.3.2 ADSP-BF5XX 专用 DSP 产品	435
9.3.3 ADMC 嵌入式控制系统(基于嵌入式 DSP 的控制器)	440
第 10 章 TigerSHARC 系列 DSP	
10.1 TigerSHARC 系列 DSP 概貌	443
10.1.1 TigerSHARC 芯片的特点及应用	443
10.1.2 TigerSHARC 结构	447
10.1.3 主要模块简介及其他资源	449
10.2 ADSP-TS101S 系列 DSP	451
10.2.1 ADSP-TS101S 芯片特性及产品	451
10.2.2 ADSP-TS101S 内部结构	453
10.2.3 ADSP-TS101S 引脚图与引脚配置	456
10.3 ADSP-TS20XS 系列 DSP	463
10.3.1 ADSP-TS20XS 系列 DSP 概貌	463
10.3.2 ADSP-TS20XS 系列 DSP 典型产品特征	466
10.3.3 ADSP-TS201S 中的功能模块介绍	469
10.3.4 ADSP-TS201S 的引脚图和引脚定义	476
10.3.5 TigerSHARC 在 3G 基站中的应用	486

第 11 章 Motorola 公司的 DSP 系列

11.1 产品综述和 16 位 DSP 系列	487
11.1.1 产品综述	487
11.1.2 56800 系列 DSP	491
11.1.3 56F8XX 系列 DSP 典型芯片及设计示例	496
11.2 56800 系列 DSP 的增强型内核及指令集	506
11.2.1 增强型 56800E DSP 芯片及设计示例	506
11.2.2 56800 系列 DSP 汇编语言及指令集	513
11.2.3 MSC810X 系列典型 DSP 结构及应用	519
11.3 24 位系列 DSP	522
11.3.1 56300 系列 DSP	522
11.3.2 DSP56311 简介	526
11.3.3 DSP56362 简介	529
11.3.4 DSP56600 系列	531
11.3.5 32 位 DSP96002 芯片	536

第 12 章 其他公司的 DSP 与相关芯片

12.1 其他公司的 DSP 芯片	538
12.1.1 早期的 DSP 芯片回顾	538
12.1.2 1990 年后的 DSP 芯片	545
12.1.3 实现数字信号处理的专用芯片	554
12.2 具有 DSP 功能的其他内核芯片	559
12.2.1 基于 CPU 内核具有 DSP 功能的芯片	559
12.2.2 基于 DSP 内核或功能的微控制器	564
12.2.3 含 DSP 内核或模块的专用芯片	567
12.3 面向应用的专用 DSP 芯片	573
12.3.1 面向通信应用的专用 DSP 芯片	573
12.3.2 面向语音信号处理的 DSP 及相关器件	581
12.3.3 与 DSP 相关运算的音/视频处理器芯片	587
12.3.4 DSP 的市场及前景	598
12.3.5 DSP 技术的发展动向	599

第 13 章 DSP 与其他相关技术

13.1 可编程逻辑器件与 DSP	606
13.1.1 可编程逻辑器件的发展及分类	606
13.1.2 FPGA 与其他器件的区别	608
13.1.3 FPGA 结构的主要类型	610
13.1.4 FPGA 的特点	613

13.1.5	FPGA 与 DSP 的比较	615
13.1.6	IP 核的分类、比较及 FPGA 产品	619
13.1.7	FPGA 的设计流程	636
13.1.8	先进的可编程逻辑器件的编程和测试技术	638
13.1.9	FPGA 的应用	640
13.2	SoC 与 DSP	649
13.2.1	SoC 的概念与设计方法学及 SoC 技术标准	649
13.2.2	SoC 模块的建立方法	651
13.2.3	SoC 芯片的实际设计方法及技术关键	652
13.2.4	SoC 测试的困难及可测试方案	659
13.2.5	SoC 产品及应用举例	660
13.3	嵌入式技术与 DSP	672
13.3.1	嵌入式技术和系统的内容及发展	672
13.3.2	嵌入式技术的设计和系统开发	675
13.3.3	嵌入式技术和系统的应用	687
13.4	微电子技术和封装与 DSP	699
参考文献		704

第1章 数字信号处理的基础知识

1.1 信息与信号的概念

1.1.1 信息的概念

关于信息实质的争论虽未得出结论,但世界上科技界多数人都认为:“只要有物质存在就有信息”。可以说,信息来源于物质及其运动,依靠能量进行传递,它是客观世界中各种事物的特征及其发展变化的反映。信息、材料和能源一起,构成社会发展(客观世界)的三大要素,它们之间既有联系又有区别。信息作为一个社会概念,具有客观性、共享性、可知性、可传递性、可扩充性和可处理性等基本特征。

1.1.2 信息技术

信息技术是以 1946 年第 1 台计算机诞生及 20 世纪 50 年代半导体集成电路的发明为开端,在不足半个世纪的 40 多年间,已成为科技发展史上最辉煌,发展最迅速的技术。现代信息技术是围绕信息(含信号)的产生、搜集、获得、传输、存储、检索、处理等形成的一个新的用以研究、开发和利用信息资源的高、新技术。现代信息技术最基本的部分(或称为支柱)是计算机技术、通信技术和传感技术。21 世纪的计算机技术随着社会的发展,要求速度更快、集成度更高、储存容量更大、体积更小、性能更好的电子计算机;也要求突破光开关、光集成、光存储等一系列的理论和实际制作问题,以研制出可作高速并行处理的光子计算机。21 世纪的通信技术中,光纤通信和无光纤的激光通信技术将成为重要焦点;不管是军用领域还是民用领域,声、光、机电一体化实用技术,主要是依赖于信息技术与各种类型的传感技术的结合与融合处理。这三大支柱技术推动了信息技术的不断进步和发展。

1.1.3 信息产业与信息化社会

1. 信息产业

“知识经济”与农业经济和工业经济不同,它是当今世界经济的新趋势。知识经济是以知识为基础的经济,即人力资本和技术中的知识是经济发展的核心,未来经济的发展主要依赖知识和技术的推动。

21 世纪是“知识经济”时代,这意味着人们要尽早地获得信息,尽快地传输信息,尽好地处理信息,尽多地掌握信息。可以说,信息技术将成为知识经济时代中最重要的资源和竞争要素,将给 21 世纪的经济和社会发展带来革命性变化。

随着信息技术、计算机技术、通信技术、自动化技术、虚拟现实技术等制造业中的广泛应用,它们与传统制造技术相结合而形成的先进制造技术,发展迅速,应用更加广泛。可以说,信息技术和相应的制造业与信息服务业构成了 21 世纪的信息产业,它将是全球经济中最具活

力、最宏大的产业。

2. 信息化社会

人类社会经历了农业化社会和工业化社会以后,如今正进入 21 世纪信息社会的发展时期。信息化社会是以信息为标志,以信息技术为基础,以信息产业为支柱,是最具挑战性的社会,这种社会可称为“信息化社会”。

1.1.4 信息与信号的关系

从科技的角度看:信息的第一层是物理性信号,所以信息包括的范围很广;信号是信息的载体,属于信息中的一个部分。

① 信号的定义。一个能传递物理系统之状态或特征信息的函数,称为信号,如声信号、光信号、机械振动信号、电信号等物理和化学自然信号。

② 信号的表征。信号可以随时间或空间变化,因此,各种不同的信号在数学上可表示为一个或几个独立变量的函数。习惯上,常把信号之数学表示式的一个独立变量当作时间,此时的信号可表示成一个时间的函数。

数学上只用一个独立变量表示的信号称为一维信号;用两个独立变量表示的信号称为二维信号;用多个独立变量表示的信号称为多维信号。

1.2 信号的类型和术语

1.2.1 信号的主要类型

信号可以分为两大类型,即规则信号(又分为准周期和瞬变非周期信号)和随机信号(又可分为平稳和非平稳信号)两大类;但为便于分析和处理,常把信号分为模拟信号和数字信号。

(1) 模拟信号(analog signal)

“模拟”这个术语通常用来描述一个波形在时间(或任意其他适当的自变量)上是连续的,并且其幅度属于连续变化的一类波形。

时间连续,幅度也连续的信号称为“模拟信号”。这种信号在数学上表示为连续变量的函数,波形如图 1.1 和图 1.2 所示。

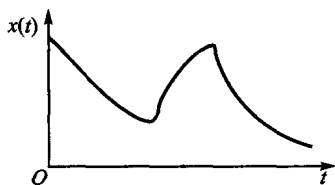


图 1.1 模拟信号 1

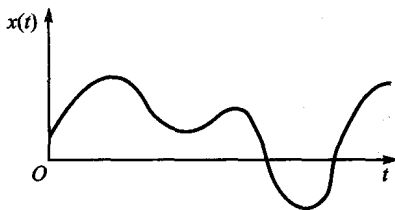


图 1.2 模拟信号 2

(2) 数字信号(digital signal)

数字信号是在时间上和幅值上都经过量化的信号。数字信号总是可以用一序列的数来表示,而每一个数(二进制数中的“1”或“0”)又是由有限位数码(如 4 位、8 位、16 位、32 位、64 位)

来表示的。上述用有限位数码表示的信号,称为“数字信号”,波形如图 1.3 至图 1.6 所示。

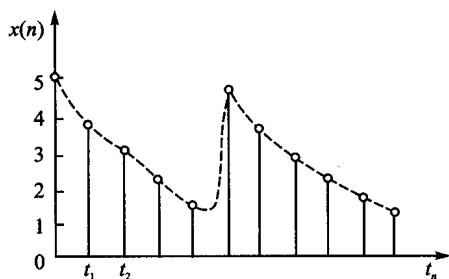


图 1.3 数字信号 1

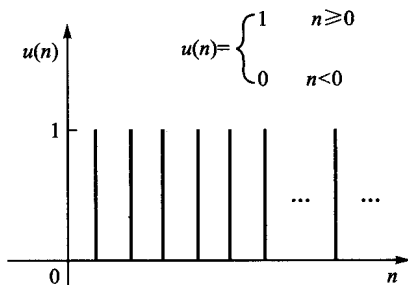


图 1.4 数字信号 2(单位阶跃序列)

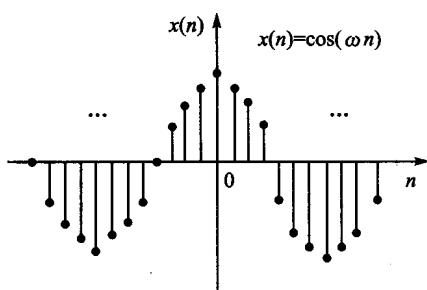


图 1.5 数字信号 3(余弦序列)

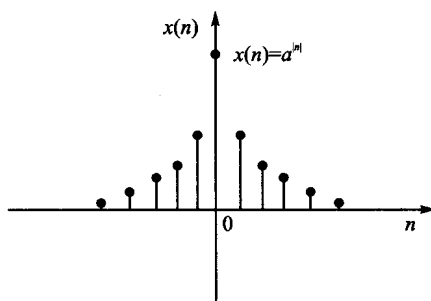


图 1.6 数字信号 4(指数序列)

(3) 时域连续信号与离散信号(time domain continuous signal and discrete-signal)

一个信号 $x(t)$, 可以代表一个实际的物理信号(如温度、压力、流量等), 也可以是一个数学函数。自变量 t 可以是时间, 也可以是其他变量。连续时间是指 t 定义在时间轴上的连续变量。理论上, 振幅可以(但不一定非要)限于有限个数值集合, 或可以无限多个数值集合(即振幅可以被量化)。模拟波形是具有连续振幅的连续时间波形, 其意思是一样的。由于多数信号处理问题与上面所说的模拟无关, 为避免误会, 常采用连续时间波形这个术语, 而不用模拟波形这个术语。

时间值的有限连续区间, 叫作“连续时间范围”。

离散时间是指时间(自变量)被量化的意思。有限个等间隔的时间叫作“离散时间范围”。

在时间连续集上定义的信号, 以连续变量函数表示的叫作“时域连续信号”。如果离散时间信号的幅值是连续值, 则有时又称为采样、取样或抽样数据信号。也就是说, 时域离散信号可以通过对一个时域连续信号采样而得到, 或者可以直接通过某种时域离散处理而产生。将连续时间信号转换为离散时间信号的工程实用方法如图 1.7 所示。

采集连续时间信号时, 采样点之间的时间间隔用 t_s 表示, 称为“采样间隔”。当采样间隔相等, 即 t_s 为常数时, 称为等间隔或均匀采样。对连续时间信号进行等间隔采样, 得到的离散时间信号可以写成 $X_n = X(nt_s)$ 。其中 n 为采样点数。

有关时域离散信号的一些理论也适用于数字信号, 所以“离散时间”和“数字”两个名词无需严格区分。在实际应用中, 经常是指同一信号; 但“离散时间”多用于理论问题的讨论, 而“数字”这个名词却习惯于讨论硬件和软件设备。数字信号实际上是一组有序数值。

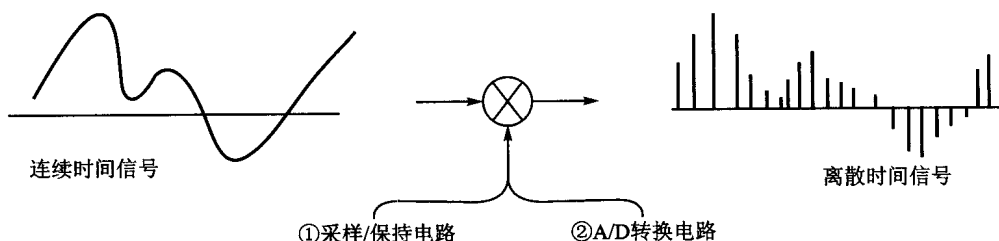


图 1.7 连续时间信号转换为离散时间信号示意图

(4) 规则信号 (canonical signal)

① 准周期信号。准周期 (approximate cycle, 又称“近周期”或“概周期”) 信号是由有限个周期但频率不成公倍数的现象混合作用而产生的信号。如多机组螺旋推进飞机在发动机不同步时的振动响应信号。这种信号的特点是具有平均功率, 这一点与非周期信号不同; 但又不满足整个运动的周期性, 这一点与周期信号不同, 但其函数对应的时间历程又具有近似周期的性质, 即准周期的特征。该类型信号可用时域函数和离散谱表示。

② 瞬变非周期信号 (瞬变现象) (transient uncycle)。对于爆炸、弹击、地震、机械振动、冲击等出现的能量之急速释放, 以及电视、雷达、通信中的突发性脉冲信号等, 都可视为瞬变非周期信号。

(5) 随机信号 (不规则信号) (random signal)

大量的物理现象, 它们所产生的一些不规则信号, 都是随机信号。例如: 光电倍增器产生的电噪声; 热噪声发生器输出的电信号; 飞机、导弹一类的飞行器在同一测点、同样条件下进行不同次数的飞行试验所得到的结构振动的时间历程; 生活中电话局每日传送的电话信号等。随机信号不能用单一的时间函数来表达, 或者不能用精确的数学关系式描述。因为每次观察的这种现象都是不一样的, 任何一次观察只代表许多可能产生的结果之一, 同时也无法预示未来瞬间信号的确切值。但根据大量的科学研究证明, 随机信号在一定的条件下也服从某种必然的规律。

对随机信号分析的结果, 实质是计算得到描述随机数据基本特性的统计函数的估计。一般分为两种情况: 一种是分析一个随机信号特征, 习惯上用四种主要的统计函数 (即均方值、概率密度函数、自相关函数、功率谱密度函数) 描述其基本特性。第二种是对两个随机信号的联合特性也以四种统计函数描述, 即联合概率密度函数、互相关函数、互谱密度函数、相干函数。

随机信号又可分为下面几种类型:

$$\text{随机信号} \begin{cases} \text{平稳的} & \begin{cases} \text{各态历经的} \\ \text{非各态历经的} \end{cases} \\ \text{非平稳的} \end{cases}$$

图 1.8 为周期信号、瞬变信号、随机信号的波形示例。

(6) 平稳随机信号 (stationary random signal)

如果随机过程时间历程记录的总体统计特性与时间无关, 则称该随机过程为“平稳的”, 其获取的记录信号为“平稳随机信号”。

如果随机过程的统计特性, 如数学期望和相关函数与时间 t 无关, 则称为弱平稳或广义平稳 (宽平稳) 随机过程; 如果各种统计特性均与时间 t 无关, 则称为强平稳 (或严平稳) 随机过

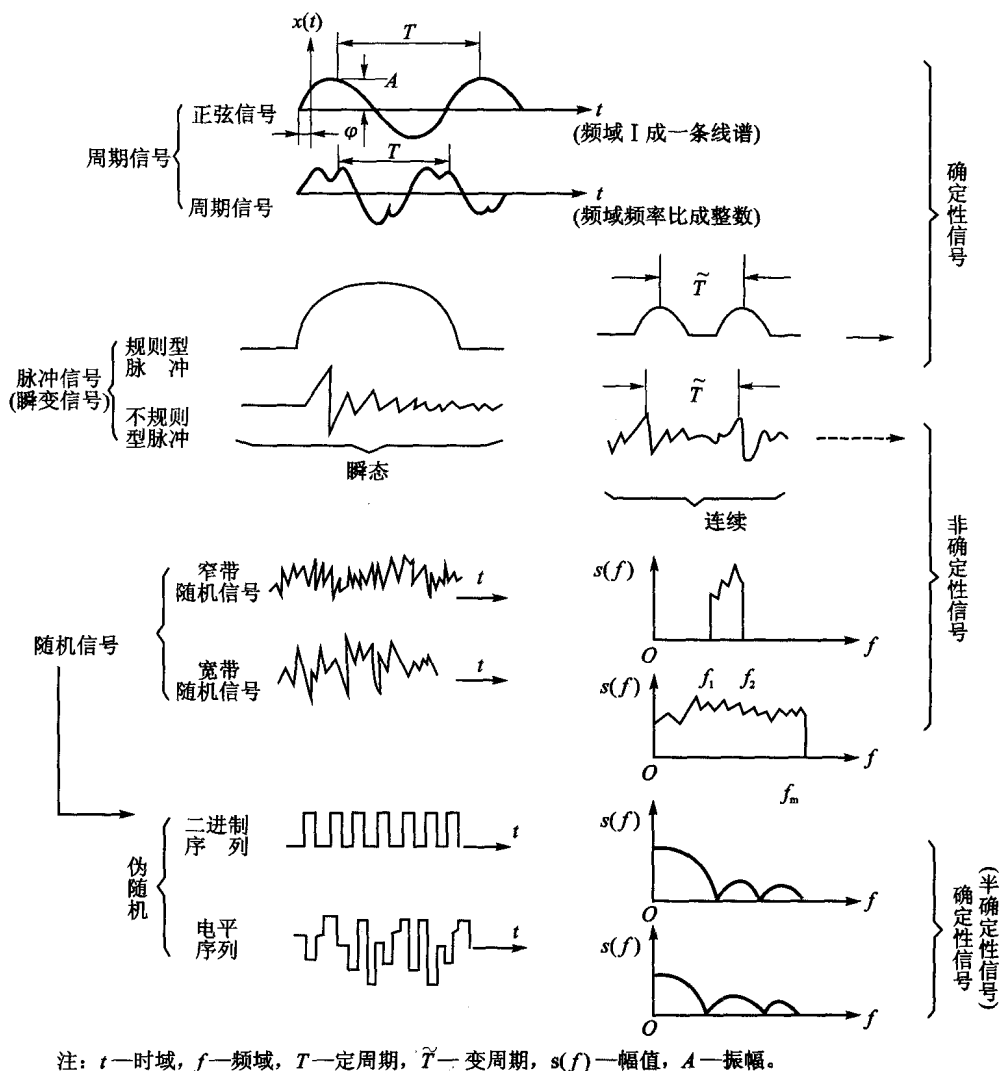


图 1.8 周期信号、瞬变信号、随机信号波形示例

程。一般讲到平稳随机过程时,除非特殊说明,均指弱平稳随机过程。显然,强平稳一定是弱平稳,但弱平稳不一定是强平稳随机过程。

(7) 非平稳随机信号 (unstationary random signal)

非平稳随机信号是随时间变化的,因此只能用组成过程的样本函数总体的瞬时平均性质来衡量。在实践中,一般不易得到足够数量的样本来精确地衡量总体平均性质;但在多数情况下,实际物理现象产生的非平稳数据,可进一步分成特殊类别,以简化测量和分析,并可像各态历经平稳数据那样,用单个样本记录来估计各种需要的特性。

① 各态历经(又称遍历)随机过程是指它的所有统计特性(如均值、相关函数等)可用单个样本记录的时间平均确定。如果仅是均值和相关函数的集合平均等于时间平均,则称为“弱各态历经”;如果所有统计特性的集合平均都等于时间平均,则是强各态历经的。它在工程上的实用意义在于,不需要做大量的重复试验,只要根据任一子样时间历程记录,用时间平均的办

法,算出原来要用集合平均才能算出随机过程的统计参数。

② 非各态历经的随机过程是指根据个别样本函数,按时间平均计算的性质,可能随样本函数而不同。这种随机过程是平稳的,但为非各态历经的。

需要注意的是,各态历经(遍历性)和平稳是两个不同的概念。平稳性说的是集合平均统计特性与时间无关,而遍历性说的是集合平均等于任一记录的时间平均,即每一个子样记录都可以代表集合总体中的其他记录。

(8) 伪随机信号(pseudo-random signal)

伪随机信号是采用移位寄存器或计算机软件产生的 M 序列二电平信号。它的序列长度是 $2^N - 1$, N 是移位寄存器的级数。

(9) 实信号(real signal)

用时间的实函数表示的信号。

(10) 复信号(complex signal)

在实信号上添加适当的虚数项构成的信号。用复信号便于作信号分析。

(11) 解析信号(analytic signal)

取实信号频谱中正频率轴上频谱幅值的两倍,并把负频去掉,形成一个新信号频谱,这个新信号称为原信号的解析信号。

(12) 调制信号(modulating signal)

引起载波信号某些特性参数(幅度、频率、相位)改变的信号。

(13) 基带信号(baseband signal)

为使代表数字信息的符号能进行传输,就必须把它变换成相应的电脉冲形式,这种电脉冲被称为“基带信号”。所谓“基带”是基本频带的简称。基带信号是数字通信中原始的电信号,也是最基本的波形。它有一个基本的频带,这个频带从直流起可高到数百千赫,甚至若干兆赫(视传输速率的高低而定)。

(14) 声发射信号(acoustic emission signal)

在固体变形或破坏过程中,其能量通常以声的形式释放出来而形成的信号。一般声发射信号有两种基本类型,即连续声发射信号和突发声发射信号。

(15) 零中频信号(zero intermediate frequency signal)

为降低信号频谱的最高频率分量,适应数字信号处理,使信号载频移到零频得到的正交视频信号。

(16) 正交信号(orthogonal signal)

对于两个信号 $g(t)$ 、 $f(t)$,如果在区间 (a, b) 满足下列关系:

$$\int_a^b g(t)f(t)dt = \begin{cases} 0 & g(t) \neq f(t) \\ 1 & g(t) = f(t) \end{cases}$$

则称这两个信号在区间 (a, b) 为互相正交或正交信号。三角函数信号 $\sin \omega_0 t$ 和 $\cos \omega_0 t$ 就是在区间 $(t_0, t_0 + 2\pi/\omega_0)$ 互相正交的信号。

(17) 馈通信号(feed through signal)

馈通信号是输入端与输出端直接耦合,输入信号不经延迟而直接输出形成的信号。

(18) 虚假信号(spurious signal)

在超声延迟线中,由于激励模式不纯或反射等原因,在输出端输出的不需要的信号称为