

微 型 计 算 机 数 据 采 集 与 处 理

张如洲 编著



北京工业学院出版社

微型计算机数据采集与处理

张如洲 编著

北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书着重从应用角度,系统阐述了微型计算机数据采集与处理。其中包括:采样理论;A/D和D/A转换器;IBM个人计算机、PDP-11小型机、Z80微型计算机组成的数据采集与处理系统,并分别讨论使用 BASIC 语言、PASCAL 语言、FORTRAN 语言和汇编语言开发数据采集软件的方法。此外,还简要介绍了数据处理上常用的付里叶变换,曲线光滑和拟合及实用程序举例等内容。

本书可作为高等院校有关专业的教材和教学参考书,也适合于广大科技人员,从事自动检测工作的技术人员阅读。

JS456/10

微型计算机数据采集与处理

张如洲 编著

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国家机械委仪表局印刷室印刷

87×1092毫米 32开本 19.75印张 427千字

1987年6月第一版 1987年6月第一次印刷

印数: 1—10,000册

统一书号: 15434·49 定价: 3.25元

前 言

数据采集与处理是微机应用的一个重要分支，也是获取信息的最新手段之一。近年来，随着我国四化建设的蓬勃发展，微机应用日益广泛，以微型计算机、模数和数模转换器插件板等部分组成的通用化的数据采集与处理系统已在科学研究、生产过程控制和工程检测技术领域成为强有力的工具。而采集与处理软件的开发，对利用微机资源，充分发挥这一系统的效能是关键的一环。因此，需求这方面的知识日见迫切。为适应这种形势，编者力求编写一本能适合读者需要的书籍。宗旨是以实用为前提，将理论和应用紧密结合起来。在描述上力求简明扼要，通俗易懂，并有一定的深度和系统性。

本书编写了下列内容：

采样理论，数据转换原理，A/D转换器，D/A转换器，IBM-PC机的数据采集系统，PDP-11机的数据采集系统，Z80微处理器的数据采集系统以及在数据处理上常用的快速付里叶变换，曲线的平滑与拟合等内容。

在采集与处理系统中，应用软件的开发问题是本书的重点，也是读者感兴趣的问题之一。但软件开发随机型和语言不同而异。为此，书中还专门介绍使用不同机型不同语言编制应用软件的方法和例题。

本书原稿承蒙国防工业出版社汪栋臣高级工程师审阅，

提出了许多宝贵意见和建议，在此谨表示衷心的感谢。

本书是编者在科研和教学工作的基础上写成的，在科研工作中，我室青年教师给予许多支持和合作，在此深表谢意。

由于编者水平有限，书中定有不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

1985年8月

目 录

第一章 采样定理与离散信号.....	1
§1-1 采样定理一.....	1
一、连续信号的离散化.....	1
二、正弦信号的采样问题.....	3
三、采样定理一.....	7
四、采样定理应用举例.....	14
§1-2 采样定理二.....	17
一、采样定理二的直观意义.....	17
二、采样定理二的证明.....	20
三、奈魁斯特 (Nyquist) 频率.....	21
§1-3 由离散信号恢复成连续信号.....	22
一、由离散信号恢复成连续信号 $\tilde{x}(t)$	22
二、连续信号 $\tilde{x}(t)$ 与 $x(t)$ 的关系.....	24
§1-4 采样定理三.....	27
一、采样定理三 (重采样定理).....	27
二 采样定理三的直观意义.....	29
§1-5 采样与频混.....	31
一、频混现象.....	31
二、消除频混的途径.....	32
习题.....	34
第二章 模-数和数-模转换的基本原理.....	35
§2-1 概述.....	35
一、模拟信号与数字信号.....	35

二、转换过程	36
§2-2 量化理论	37
一、量化	37
二、量化误差	39
三、信噪比	41
§2-3 编码	42
一、单极性编码	42
二、双极性编码	48
§2-4 采样和保持电路	51
一、采样-保持电路的工作原理	53
二、二极管开关的采样-保持电路	56
三、采样-保持电路的误差	57
第三章 数-模转换器(D/A)	61
§3-1 数-模转换器的基本组成	61
一、电阻网络	61
二、基准电源 U_B	62
三、模拟切换开关	62
四、运算放大器	62
§3-2 数-模转换器的特性参数	63
一、传递函数	63
二、输出电压的幅度 $U_{\max}$	64
三、分辨率	65
四、转换时间	66
五、假信号	67
六、精度	68
§3-3 数-模转换器的误差	69
一、偏移误差	70
二、增益误差	70
三、线性误差	71
四、微分线性误差	72

§3-4 并行 D/A 转换器	74
一、权电阻解码网络	75
二、T 型解码网络	79
三、变形权电阻解码网络	82
§3-5 串行 D/A 转换器	85
一、步进电机的工作原理	86
二、步进电机的控制电路——脉冲分配器	89
习题	93
第四章 模-数转换器 (A/D)	96
§4-1 模-数转换器的特性参数	96
一、传递函数	96
二、分辨力	98
三、转换时间	98
四、精度	98
§4-2 模-数转换器的误差	99
一、量化误差	100
二、偏移误差	100
三、增益误差	100
四、线性误差	101
五、微分线性误差	103
六、温度效应	104
§4-3 直接比较型模-数转换器	104
一、逐位比较型模-数转换器	104
二、斜坡电压比较型模-数转换器	115
§4-4 间接比较型模-数转换器	124
一、积分比较型 U-T 电压-数字转换器	125
习题	131
第五章 程序设计逻辑	134
§5-1 程序设计流程	134

§5-2 采集	136
§5-3 文件	139
一、什么是文件	139
二、建立文件	140
三、使用文件	143
§5-4 选取数据	146
一、判别法选取数据	146
二、步长法选取数据	150
三、余数法选取数据	152
§5-5 转置数据	153
§5-6 变维	155
第六章 微型机数据采集系统概述	158
§6-1 数据采集系统的组成	159
一、传感器	159
二、放大器	165
三、模拟多路转换器	167
四、模数和数模转换器板	168
五、微型计算机	170
六、接地	170
§6-2 CPU与D/A及A/D 的接口	172
一、CPU 与 D/A 的接口	172
二、CPU 与 A/D 的接口	176
§6-3 数据采集的定时	179
一、软件方法	180
二、实时时钟方法	182
第七章 IBM-PC机的数据采集与处理系统	189
§7-1 模数和数模转换器板	189
一、DT 2801模数和数模转换器板的技术性能	190
二、DT 2801模数和数模转换器板接口寄存器	192

三、控制 DT 2801 模数和数模转换器板的指令·····	196
四、DMA 方式传送·····	201
§7-2 BASIC 语言的 A/D, D/A 程序设计·····	204
一、程序设计中的共性问题·····	204
二、BASIC A/D 程序设计·····	208
三、BASIC A/D(DMA 方式) 程序设计·····	232
四、BASIC D/A 程序设计·····	255
第八章 PDP-11 计算机的数据采集与处理系统 ·····	273
§8-1 模数和数模转换器板·····	273
一、DT 1761 模数和数模转换器板的技术性能·····	274
二、DT 1761 模数和数模转换器板的接口寄存器·····	275
三、启动和数据传送的编程方法·····	281
§8-2 单一语言的 A/D, D/A 程序设计·····	282
一、MACRO-11 汇编语言的 A/D 程序设计·····	283
二、MACRO-11 汇编语言的 D/A 程序设计·····	292
三、PASCAL 语言的 A/D 程序设计·····	296
§8-3 混合语言的 A/D 程序设计·····	301
一、PASCAL 语言与 MACRO-11 汇编语言混合 编制的 A/D 程序·····	301
二、FORTRAN 语言与 MACRO 语言混合编制 的 A/D 程序·····	315
第九章 Z 80 计算机的数据采集与处理系统 ·····	319
§9-1 Z 80 指令与 8080A 指令·····	319
一、Z 80 指令与 8080A 指令的兼容性·····	319
二、Z 80 指令与 8080A 指令的差异点·····	320
§9-2 模数和数模转换器板·····	333
一、D+7A I/O 板与 CROMEMCO 系统兼容·····	333
§9-3 用单一语言编制的 A/D 程序·····	334
一、用汇编语言编制的 A/D 程序·····	335

二、用BASIC语言编制的A/D程序.....	336
三、用FORTRAN语言编制的 A/D 程序.....	337
§9-4 用混合语言编制的 A/D 程序	338
一、用BASIC语言与汇编语言混合编制的A/D程序.....	339
二、用FORTRAN语言与汇编语言混合编制的A/D程序.....	343
第十章 付里叶变换	346
§10-1 付里叶 变 换	347
一、付里叶变换的基本概念.....	347
二、付里叶变换的性质.....	353
三、卷积.....	368
§10-2 离散付里叶 变 换	372
一、理论推导.....	373
二、离散付里叶变换举例.....	381
三、离散付里叶变换的性质.....	382
习题	390
第十一章 快速付里叶变换	394
§11-1 快速付里叶 变换的 原理	394
一、变换矩阵的因式分解.....	395
二、信号流程图.....	401
§11-2 按时间抽取的 FFT 算法.....	410
一、按时间抽取法的信号流程图.....	414
二、码序翻转.....	417
三、FFT的 FORTRAN 程序.....	413
§11-3 快速付里叶 变换的 应用	425
一、用快速付里叶变换进行频谱分析.....	425
二、频谱分析中参数的选取.....	426
三、用快速付里叶变换计算功率谱和互谱.....	429
四、用快速付里叶变换计算频率响应函数和相干函数.....	430
习题	432

第十二章 曲线的平滑、拟合和插值	436
§12-1 离散数据的平滑处理	436
一、平均法	437
二、五点三次平滑法	441
三、样条函数法	446
四、曲线平滑方法的实质	453
五、几种平滑方法的比较	455
§12-2 曲线的拟合处理	459
一、直线拟合的最小二乘法	459
二、曲线拟合的最小二乘法	462
§12-3 插值	468
一、抛物线插值	468
二、牛顿插值	471
第十三章 应用程序举例	480
§13-1 试验数据采集程序	480
一、功能简介	480
二、程序框图	481
三、程序清单	482
四、使用	490
§13-2 标定数据采集与处理程序	490
一、功能简介	490
二、程序框图	492
三、程序清单	492
四、使用	507
§13-3 采集系统稳定性的检查程序	509
一、功能简介	509
二、程序框图	509
三、程序清单	509
四、使用	519

§13-4 快速付里叶变换 (FFT) 程序.....	522
一、功能简介.....	522
二、程序清单.....	523
三、使用.....	534
习 题.....	538
附录一 IBM-PC操作命令, BASIC的命令、	
语句和函数	542
附录二 PDP-11 指令系统	552
附录三 Z80 指令的寻址方式及指令系统的功能.....	563
参考文献	618

第一章 采样定理与离散信号

在数字显示及数字处理技术中,信息是用离散信号表示的。而在生产和科学研究的活动中经常遇到的各种信息往往都是连续信号 $x(t)$ 。这样,就提出了连续信号如何离散化的问题,通过对信息的采样可以达到这一目的。本章就是详细讨论与连续信号离散化有关的采样问题,着重讨论在各种不同情况下的采样定理,这些定理,无论在理论上还是在实践上对信号的数字处理都有着重要的意义。

§1-1 采样定理一

一、连续信号的离散化

连续信号或称连续时间函数 $x(t)$, t 的取值是从 $-\infty$ 连续变化到 $+\infty$,但是用计算机处理这些信号,必须首先将连续信号离散化才能进行处理,这样就要求对连续信号采样,

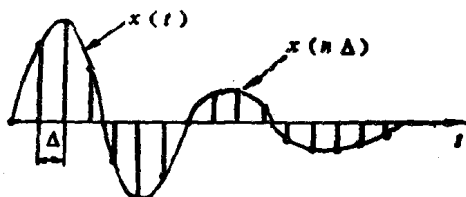


图1-1 连续信号及其离散信号

即按一定的时间间隔 Δ 进行取值, 得到 $x(n\Delta)$ ($n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$), 我们称 Δ 为采样间隔或采样周期, 称 $x(n\Delta)$ 为离散信号或时间序列。关于通过采样来实现连续信号离散化的情况如图 1-1 所示。

为了理解连续信号离散化问题, 下面举两个简单例子。

例 1: 连续信号为

$$x(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ q^t & t \geq 0 \end{cases}$$

则相应的离散信号为

$$x(n\Delta) = \begin{cases} 0 & n < 0 \\ q^{n\Delta} & n \geq 0 \end{cases}$$

例 2: 连续信号为

$$x(t) = e^{-\beta t^2} \cos \alpha t (\beta > 0)$$

则相应的离散信号为

$$x(n\Delta) = e^{-\beta n^2 \Delta^2} \cos \alpha n \Delta$$

离散信号 $x(n\Delta)$ 是从连续信号 $x(t)$ 上取出的一部分值, 因此, 离散信号 $x(n\Delta)$ 与连续信号 $x(t)$ 的关系是局部与整体的关系。但是, 这个局部能否反映整体呢? 即是否能由 $x(n\Delta)$ 唯一确定或恢复出连续信号 $x(t)$ 呢? 回答是不行的, 因为连接两个点 $x(n\Delta)$ 与 $x((n+1)\Delta)$ 的曲线是非常多的, 所以由 $x(n\Delta)$ 可以给出许多连续信号。但是, 在一定条件下, 离散信号 $x(n\Delta)$ 可按一定方式恢复出原来的连续信号 $x(t)$ 。

二、正弦信号的采样问题

任何一个连续信号，一般来说，总可以分解为许多正弦信号的叠加。因此要讨论一般连续信号的采样问题，可以先从简单的特殊的正弦波的采样问题谈起，由此给我们以启发，进而解决复杂的、一般的连续信号的采样问题。

设正弦波为

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi), \quad f > 0 \quad (1-1)$$

式中 A ——正弦波的振幅；

f ——正弦波的频率；

φ ——正弦波的初相位。

正弦波信号 $s(t)$ 的图形见图1-2。

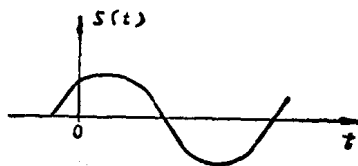


图1-2 正弦波信号

为了对正弦波进行离散化，设采样周期为 Δ ，则正弦波的离散信号为

$$s(n\Delta) = A \sin(2\pi fn\Delta + \varphi)$$

现在要解决的问题是，由 $s(n\Delta)$ 能否恢复出正弦波 $s(t)$ 呢？由 (1-1) 式知道，要恢复 $s(t)$ ，就要唯一地确定出 A 、 f 、 φ 。只要这三个参数确定了，正弦波就恢复出来了。现在讨论如何确定 A 、 f 、 φ 。

我们知道正弦波是以 $T = 1/f$ 为周期的，因此，

$s(n\Delta)$ 能否恢复出正弦波 $s(t)$ 和采样周期 Δ 与正弦波周期 $T=1/f$ 有密切联系。下面分三种情况进行讨论。

(1) 采样周期 Δ 等于正弦波 $s(t)$ 的半个周期

这时 $\Delta = T/2 = 1/2f$ ，于是离散信号为

$$s(n\Delta) = A \sin(n\pi + \varphi) = (-1)^n A \sin \varphi$$

由上式知 $s(0) = A \sin \varphi$

因此，我们可以取不同于 A, φ 的 A_1, φ_1 ，使 $s(0) = A_1 \sin \varphi_1$ 。于是对不同于 (1-1) 式的正弦波则有

$$s_1(t) = A_1 \sin(2\pi f t + \varphi_1)$$

$s_1(t)$ 的离散信号 $s_1(n\Delta)$ 与 $s(t)$ 的离散信号 $s(n\Delta)$ 是一样的，因为

$$\begin{aligned} s_1(n\Delta) &= A_1 \sin\left(2\pi f n \frac{1}{2f} + \varphi_1\right) \\ &= A_1 \sin(n\pi + \varphi_1) = (-1)^n A_1 \sin \varphi_1 \\ &= (-1)^n A \sin \varphi = s(n\Delta) \end{aligned}$$

上述说明，当 $\Delta = \frac{1}{2f}$ 时，由 $s(n\Delta)$ 不能唯一确定正弦波 $s(t)$ 。

(2) 采样周期 Δ 大于正弦波 $s(t)$ 的半个周期

这时 $\Delta > \frac{1}{2f}$ 或 $f > \frac{1}{2\Delta}$ ，在这种情况下，我们可以找

到大于 $1/2\Delta$ 的频率 f_1 ，如 $f_1 = f + \frac{\mu}{\Delta}$ (μ 为大于 0 的整数)，使正弦波 $s_1(t) = A \sin(2\pi f_1 t + \varphi)$ 的离散信号 $s_1(n\Delta)$ 和 $s(t)$ 的离散信号 $s(n\Delta)$ 是一样的。