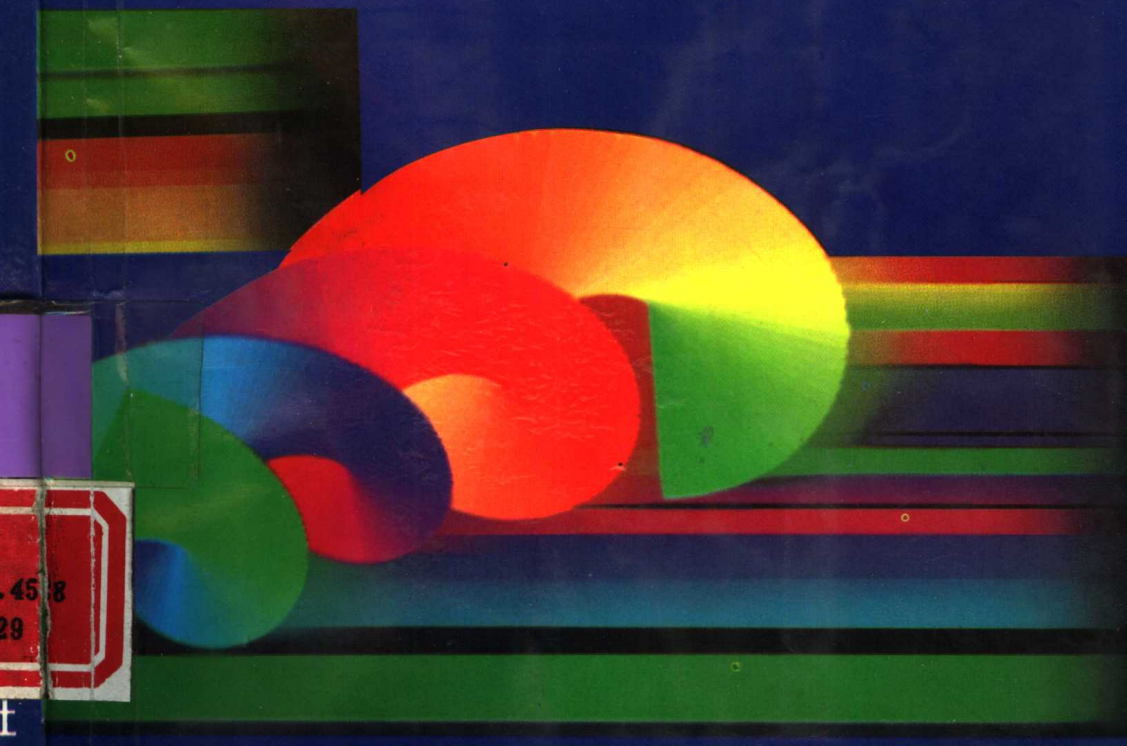


高速数据采集系统的原理与应用

沈兰荪 编著



45.8
29

人民邮电出版社

高速数据采集系统的 原理与应用

沈兰荪 编著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

图书在版编目(CIP)数据

高速数据采集系统的原理与应用/沈兰荪编著. —北京:人民邮电出版社, 1995. 2

ISBN 7-115-05404-5

I. 高… II. 沈… III. 数据采集—数据通信系统—概论. IV
. TN919. 5

高速数据采集系统的原理与应用

沈兰荪 编著

责任编辑: 王亚明

~~人民邮电出版社~~出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同 111 号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168 1/32 1995年2月 第一版

印张: 9.25 1995年2月 北京第1次印刷

字数: 241 千字 印数: 1—4000册

ISBN 7-115-05404-5/TV · 788

定价: 12.30 元

序

一些现代电子系统,如高分辨率遥感图像,星载合成孔径雷达,战略相控雷达,都面临高速、大容量数据流的运算与处理问题。作战管理/指挥、控制、通信(BM/C³)系统的信号处理速率要求达到 10^9 次/秒量级;逆合成孔径雷达由于分辨率很高,有关的运动补偿相当复杂,实时运算速度要求高达 10^{11} 次/秒量级。显然,高速、大容量的数据流,以及对信号处理实时性的要求已成为现代电子系统的一个主要特点。

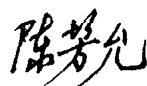
实际上,在许多应用场合,如雷达、通信、声纳、图像、图形处理、智能仪器、科学实验、地震勘探、无损检测等,特别是在实时性要求高的情况下,人们都需要设计与应用高速数据采集系统,以在极短时间内获取大量的数据。

数据采集技术是信息科学的一个重要分支,它与传感器技术、信号处理技术、计算机技术一起构成了现代检测技术的基础。近年来,微电子技术突飞猛进地发展,已能提供各种新型的数据采集部件。而并行处理的概念与方法在系统设计中的应用更进一步推动了现代高速系统的设计。

沈兰荪同志的新著《高速数据采集系统的原理与应用》是一本关于高速数据采集技术的专著,系统地介绍了有关的基本概念、理论、方法、技术与应用。作者根据自己多年的工作积累和教学实践,并吸收了国际上的新进展写成此书,因而本书反映了这一领域的现状与

发展。我为本书的撰写成功而感到高兴,相信本书能对实际从事数据处理工作的同志有所帮助,并能促进我国高速数据采集技术的进步。

中国科学院院士

A handwritten signature in black ink, reading '陈芳禹' (Chen Fangyu).

1994 年 11 月 27 日

目 录

第一章 概述	1
第二章 数据采集技术基础	5
第一节 概述	5
第二节 采样定理	7
第三节 采样方式	9
第四节 量化过程	12
第五节 编码	16
第六节 孔径时间	20
第七节 典型结构的数据采集系统	22
第八节 数据采集系统的构成	26
第三章 高速采集系统的技术要求	31
第一节 概述	31
第二节 高速采集系统的主要技术指标	32
第三节 系统最高通过速率	34
第四节 预采样滤波器瞬态过渡特性的影响	36
第五节 系统通过速率的测试	39
第四章 高速采集系统的设计	44
第一节 概述	44

第二节	模拟多路开关	45
第三节	测量放大器	50
第四节	数据缓冲区的设置	52
第五节	高速数据传送	55
第六节	双端口存储器	59
第七节	系统结构的讨论	63
第八节	ADC 的并行工作	70
第五章	高速模拟数字转换器	73
第一节	概述	73
第二节	闪电式 ADC 的工作原理	76
第三节	闪电式 ADC 的误差性能	79
第四节	闪电式 ADC 的使用	83
第五节	基于闪电式 ADC 的系统构成讨论	88
第六节	逐次逼近式 ADC 的工作原理	93
第七节	子区式 ADC 的工作原理	95
第八节	高速 ADC 的实际产品	97
第九节	ADC 的实际应用	100
第六章	采样保持与数字模拟转换	106
第一节	概述	106
第二节	SHA 的基本工作原理	108
第三节	SHA 的主要性能指标	109
第四节	SHA 的分类	114
第五节	SHA 的应用	117
第六节	DAC 的基本工作原理	124
第七节	DAC 的动态性能指标	126
第八节	最小毛刺脉冲设计	132
第九节	直接数字合成技术	135

第十节 视频 RAM—DAC	139
第七章 并行处理技术	147
第一节 概述	147
第二节 并行处理的定义	149
第三节 流水线处理	152
第四节 阵列处理	154
第五节 多处理机系统	156
第六节 并行处理技术在高速采集中的应用	158
第八章 非均匀采样信号的数字频谱分析	161
第一节 概述	161
第二节 非均匀采样信号	162
第三节 非均匀采样正弦信号	164
第四节 多通道并列采集系统的设计	170
第五节 采用随机变换采样的数据采集系统设计	177
第九章 一种基于多处理器的采用流水线结构的 数据采集系统	181
第一节 概述	181
第二节 系统最高通过速率与最小输入输出延迟	181
第三节 传统结构的讨论	183
第四节 基于并行处理的系统模型	186
第五节 系统实现	191
第十章 采用 CCD 器件的采集系统	195
第一节 概述	195
第二节 CCD 器件	197
第三节 驱动电路	198

第四节	输出电路·····	204
第五节	智能动态线径测量仪·····	206
第十一章	高速系统的装配技术·····	211
第一节	概述·····	211
第二节	分布参数的影响·····	211
第三节	接地策略·····	213
第四节	电源干扰与去耦·····	217
第五节	高速系统中的信号传输·····	220
第六节	高速信号探测技术·····	224
第十二章	高速系统的性能测试·····	228
第一节	概述·····	228
第二节	拍频测试·····	230
第三节	直方图测试·····	232
第四节	正弦曲线拟合测试·····	235
第五节	FFT 测试 ·····	238
第六节	孔径抖动的测试·····	248
第十三章	系统设计举例·····	254
第一节	概述·····	254
第二节	一个用于图像信号数字化的 CCD 系统 ·····	255
第三节	高速波形记录仪·····	263
第四节	一个 1GS/s 的 ADC 系统 ·····	270
参考文献 ·····		282
后记 ·····		285

第一章

概述

随着计算机的广泛应用和微电子学的高度发展,数字系统已被广泛地应用于国民经济、国防建设与科学实验的各个领域。和模拟系统相比,数字系统有精度高、稳定性好等一系列优点,但是数字系统只能处理离散的数字信号。外部世界各种被检测量,如温度、压力、位移、流量、角度、位置等,通过相应的各种类型的传感器转换成便于进一步处理的物理量(一般为电压、电流、电阻或电脉冲等信号)。只有一部分传感器可以将外部世界的被检测量直接转换为数字信号或开关信号(这是一种只有 0、1 两个状态的数字信号)。大部分传感器输出的仍是电压或电流等模拟信号,所以往往需要将这些模拟信号转换为便于处理和存储的数字信号。

图 1-1 示出在实际外部世界中的数据采集技术。显然,要采集的有以下三类信号:

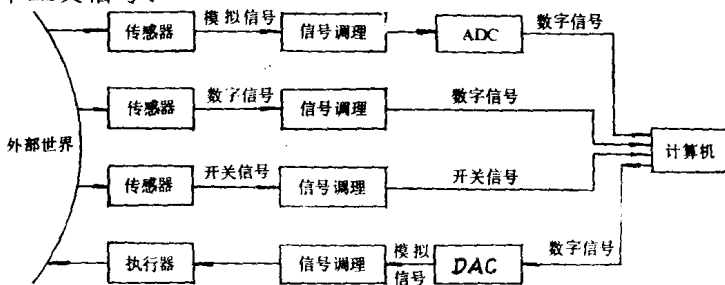


图 1-1 外部世界中的数据采集技术

1. 开关信号

开关信号也即只有两个状态(0 或 1)的数字信号,如开关的合与断;继电器的激励与释放等等。

2. 数字信号

数字信号即指用二进制形式表示的数,如数字电压表、键盘等的输出信息。频率输出型数据传感器输出的信号也为数字信号。

3. 模拟信号

模拟信号系指在规定的连续时间内,对输入信号的幅值可以在连续范围内任意取值的信号。

由于对开关信号或数字信号计算机可以直接采集处理,所以数据采集技术主要讨论模拟信号(特别是模拟电压信号)的采集。将模拟信号转换为数字信号与直接来自传感器的其它数字信号、开关信号等送往计算机,并进一步予以处理、显示、传输与记录的过程,称为数据采集(Data Acquisition)。实现数据采集的系统即为数据采集系统(Data Acquisition System, DAS),这通常包括模拟量输入、开关量输入、数字量输入以及模拟量输出、开关量输出、数字量输出等子系统,在数据采集系统中采集模拟量信号的子系统(简称模入子系统),占有极其重要的地位。本书将主要讨论模拟量输入的数据采集技术。

数据采集技术是信息科学的一个重要分支,它与传感器技术、信号处理技术、计算机技术一起构成了现代检测技术的基础。近年来,一个重要的发展方向是通过信号的测量(数据采集)、处理、控制与管理实现测、处、控、管一体化。一些新技术,如光纤技术、超导技术、人工智能等也在数据采集中得到了应用。

随着科学技术的发展和数据采集系统的广泛应用,人们对数据采集系统的主要技术指标,如通过速率、分辨率、精度、输入电压范围、控制方式以及抗干扰能力等方面,都提出了越来越高的要求。尤其是通过速率,这是数据采集系统设计者与使用者都十分关心的一项重要技术指标。

在许多应用场合,人们需要具有很高通过速率的高速数据采集系统,甚至超高速系统(Ultra High-Speed System)。如在观测供电传输线上的浪涌电流(Surges)时,由于浪涌持续的时间仅有几百纳秒,而电压的变化范围则可达几千伏。要精确地了解其变化过程,就要求数据采集系统有极高的通过速率。如在航空航天方面,飞机在风洞中颤振与抖振特性的测量,火箭喷气流量的动态测试,以及遥感卫星的图像传输遥测遥控等场合均要求应用高速采集技术。又如等离子体诊断、激光化学与生物光谱的一些科学实验中均要求在极短时间内完成大量实验数据的采集。

今天高速数据采集技术已在雷达、通信、水声遥测、遥感、地震勘探、振动工程、无损检测、智能仪器、科学实验等各个方面有着广泛的应用。

笔者在 1990 年出版了一本《数据采集技术》^[2],本书是其续篇,专门讨论高速数据采集技术。全书共分十三章,可以分为五个部分。

第一章为概述。第二章讨论了模拟信号的数字化方法,典型的采集系统构成。特别着重介绍了数据采集技术中的一些基本概念,如采样、量化、编码、孔径时间等。第三章介绍了高速系统的技术要求,对系统通过速率进行了详细的讨论。以上三章为全书的第一部分,构成全书的基础。

第二部分包括第四章至第六章,介绍了系统构成的一些重要部件,如模拟多路开关,测量放大器,模拟数字转换器,采样保持电路,数字模拟转换器等。对高速 ADC、DAC、SHA 等部件的高速动态性能,以及采用高速 ADC 与高速 RAM 构成高速系统的常规设计方法等进行了较为详细的讨论。

第三部分包括第七章至第九章,介绍了并行处理技术的基本概念与方法;着重讨论了并行处理在现代高速系统设计中的应用;介绍了最近发展起来的非均匀采样的数字频谱理论;讨论了多通道并列采集系统、采用随机变换采样的采集系统以及一种基于多处理器的采用流水线结构的系统设计方法。

第四部分为第十章,介绍 CCD 器件,以及采用这类器件构成的快写慢读系统的设计方法。

第五部分包括三章,第十一章介绍高速系统的装配技术;第十二章为高速系统的性能测试;第十三章通过一些实例,讨论了一些典型系统的设计方法。

第二章

数据采集技术基础

第一节 概 述

可以将数据采集系统的框图画成图 2-1 的形式。模拟输入信号,即在时间上与幅值上均连续变化的信号,首先经过一个预采样滤波器,然后由采样器每隔一个采样间隔读出一数据,再由模数转换器(ADC)量化为二进制数码,即成为计算机可以接受的数字信号。

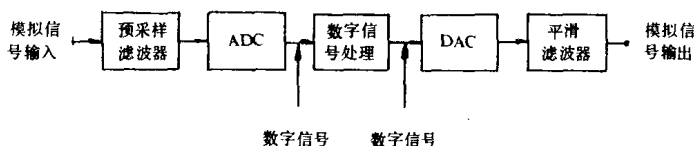


图 2-1 数据采集系统的简化框图

接着由计算机进行数据处理,经由数模转换器(DAC),将数字信号转换为模拟信号。在此转换过程中,二进制数码首先转换为连续时间脉冲,脉冲之间的空隙则经过“重建平滑滤波器”来填充平滑以恢复成模拟信号。

模拟信号的数字化过程如图 2-2 所示。表 2-1 给出了二进制

比特数与相应分辨率(Resolution)的关系。

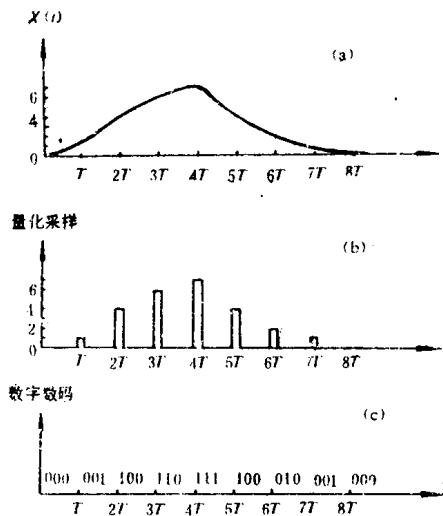


图 2-2 模拟信号的数字化过程

表 2-1 二进制比特数与相应分辨率的关系

二进制位数 (n)	2^n	LSB 占满量程的比率		$1 - \sum_{i=1}^n (\frac{1}{2^i})$
		百分比	ppm 值	
1	2	50.0	500000.0	0.5
2	4	25.0	250000.0	0.25
3	8	12.5	125000.0	0.125
4	16	6.25	62500.0	0.0625
5	32	3.125	31250.0	0.03125
6	64	1.5625	15625.0	0.015625
7	128	0.78125	7812.5	0.0078125
8	256	0.390625	3906.25	0.00390625
9	512	0.195313	1953.13	0.00195313
10	1024	0.097656	976.56	0.00097656

续表

二进制位数 (n)	2^n	LSB 占满量程的比率		$1 - \sum_{i=1}^n (\frac{1}{2^i})$
		百分比	ppm 值	
11	2048	0.048828	488.28	0.00048828
12	4096	0.024414	244.14	0.00024414
13	8192	0.012207	122.07	0.00012207
14	16384	0.006104	61.04	0.00006104
15	32768	0.003052	30.52	0.00003052
16	65536	0.001526	15.26	0.00001526
17	131072	0.000763	7.63	0.00000763
18	262144	0.000381	3.81	0.00000381
19	524288	0.000191	1.91	0.00000191
20	1048567	0.000095	0.95	0.00000095
21	2097152	0.000048	0.48	0.00000048
22	4194304	0.000024	0.24	0.00000024
23	8388608	0.000012	0.12	0.00000012
24	16777216	0.000006	0.06	0.00000006

本章主要介绍数据采集技术的基础知识,这涉及数据采集中的一些基本概念,如采样、量化,以及编码等。本章还对一个典型的数据采集系统进行了讨论^[1,2,3,4]。

第二节 采样定理

数字信号 x_d 只是模拟信号 x_a 一个特定时刻取值的转换结果。我们用 $\{x_d\}$ 描述 x_a 的一序列离散采样值,那么采样频率应该如何选取呢? 采样定理已经指出:一个带宽限制在 $0-f_m$ 的模拟信号 x_a , 唯一地由一系列时间间隔不大于 $\frac{1}{2f_m}$ 秒的均匀采样值确定。这相当于

在信号最高频率时,每一周期至少提取两个采样值。例如当模拟信号的最高频率为 5kHz,理论上的最小采样频率应为每秒内取 1 万个采样值。工程上常以 3 分贝截止频率为信号带宽,对此采样频率一般要达到 3 分贝截止频率的 3—5 倍。通常我们将采样定理所要求的最大采样间隔 $T_s = \frac{1}{2f_m}$,称为 Nyquist 间隔。相应地把最小采样频率 $f_s = 2f_m$ 的一半称为 Nyquist 频率,由 Nyquist 频率决定的带宽称为 Nyquist 带宽。显然,通过采样定理可以将模拟信号和相应的离散信号本质地联系起来。

如果采样频率不够高,将会产生“混叠(Alias)”现象。例如,对带宽从直流到 5kHz 的输入信号用 6kHz 的采样频率采样,显然采样频率太低,不足以保证信号的恢复。如果试图恢复原来的信号,则原信号 5kHz 的频率分量将变为 1kHz 的误差信号。通常为免除输入信号中杂散频率分量的影响,可以在采样处理前,先使用截止频率为采样频率 0.5 倍的“预采样低通滤波器”(图 2—1),来保证对输入信号的带限要求。

一般,当按某频率对一个信号(或信号带)进行采样时,会在重建的波形中出现“和频”及“差频”分量。“和频”在所关心的频带外,很容易将它滤掉。“差频”也要设法滤掉,即不让它们落在我们所关心的频带之内。图 2—3(a)示出输入信号频谱特性,所包含的最高频率分量为 f_m 。图 2—3(b)示出了由于采样频率 f_s 不够高而产生“混叠”现象的情况,其中差频分量 $f_s - f_m$ 落入原输入信号频带 $0 - f_m$ 内。

还应该指出的是,用 2 倍 Nyquist 频率采样($2f_m$),则必须用截止频率为 f_m 的理想低通滤波器才能恢复原来的模拟信号。如果提高采样频率大于 2 倍 Nyquist 频率(实际是大于 $2f_m$),那么就可以放宽对低通滤波器截止特性的要求。

在工程上某些特定的场合,需要对带通信号进行采样。带通信号的采样遵守采样定理的扩充形式,即若输入模拟信号的频率成分完全落在某个区域中,而这个频率区域的宽度不超过采样频率的一半,