



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数据采集与分析技术

(第二版)

胡晓军 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数据采集与分析技术

(第二版)

胡晓军 主编

周林 陈燕东 张玉强 等编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共 12 章, 以信息的采集、传输和处理为主线, 主要包括计算机数据采集与分析技术概述、数据采集信号分析基础、传感器技术、模/数转换器、数/模转换器、数据采集系统常用电路、数据采集系统抗干扰技术、总线接口技术、输入/输出接口技术、数据分析与处理、使用 LabVIEW 进行数据采集与分析等内容。同时, 本书在最后以数字式血压仪为例详细介绍了数据采集设备的软、硬件开发。本书的例子均来源于工程实践, 简明实用, 为读者提高动手实践能力提供了良好的范例。

本书主要面向从事计算机数据采集与分析的工程人员和希望学习相关技术的大专院校学生。

图书在版编目(CIP)数据

数据采集与分析技术/胡晓军主编. —2 版.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2010. 6

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2422 - 8

I. ① 数… II. ① 胡… III. ① 数据采集 ② 数据—分析 IV. ① TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 069149 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 玮 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2010 年 6 月第 2 版 2010 年 6 月第 2 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19.5

字 数 456 千字

印 数 4001~7000 册

定 价 28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2422 - 8/TP · 1211

XDUP 2714002-2

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

计算机数据采集与分析技术是信息获取的主要手段和方法。例如,在工程实践中经常遇到速度、电压、电流、电阻、温度、压力等物理量,需要用计算机对其进行测量、存储、处理和显示等。计算机数据采集与分析技术主要涉及仪器学科、信息学科和计算机学科,以及传感器技术、测试技术、仪器技术、电子技术和计算机技术等。

随着大规模集成芯片制造技术和计算机技术的飞速发展,计算机数据采集与分析技术日新月异,甚至出现了虚拟仪器技术。本书从系统设计的角度出发,力求对计算机数据采集技术进行详细的介绍。

本书共 12 章,以信息的采集、传输和处理为主线,主要包括计算机数据采集与分析技术概述、数据采集信号分析基础、传感器技术、模/数转换器、数/模转换器、数据采集系统常用电路、数据采集系统抗干扰技术、总线接口技术、输入/输出接口技术、数据分析与处理、使用 LabVIEW 进行数据采集与分析等内容。本书涵盖了计算机数据采集与分析系统设计与开发的各个方面,既介绍了传统的知识基础,也引入了大量的新理论和新器件,为读者了解计算机数据采集与分析技术的最新发展提供了一个窗口。同时,本书在最后以数字式血压仪的设计开发为例,详细介绍了数据采集设备的软、硬件开发,有助于提高读者的动手实践能力。

本书由胡晓军主编,直接参与编写工作的还有周林、陈燕东、张玉强、焦长君、康念辉、宋立军、杨刚、周松、李珩、宋文峰、邢克飞、韩超、王志勇、阮坚、王鹏、邓波、高宏伟、刘东、于占军、何鑫等人。

由于作者水平有限,书中的不足在所难免,敬请广大读者多提宝贵意见。

作 者
2010 年 3 月

第一版前言

计算机数据采集与分析技术是信息获取的主要手段和方法。数据采集与分析技术在工程领域中的地位和作用不言而喻,比如对工程实践中经常遇到的诸如速度、电压、电流、电阻、温度、压力等物理量,经常要用到计算机对其进行测量、存储、处理和显示等。计算机数据采集与分析技术涉及的学科和技术较多,涉及的学科主要有仪器学科、信息学科和计算机学科,涉及的技术主要有传感器技术、测试技术、仪器技术、电子技术和计算机技术等。

计算机数据采集技术随着大规模集成芯片制造技术和计算机技术的飞速发展而日新月异,甚至出现了虚拟仪器技术。本书作者力求从系统设计的高度,对计算机数据采集技术所涉及的各个方面进行详细的介绍。

本书共14章,主要包括计算机数据采集与分析技术概述、计算机基础、数据采集信号处理基础、输入/输出接口技术、数据采集系统常用电路、D/A转换和A/D转换、传感器技术、数据采集系统抗干扰技术、总线接口技术、计算机数据采集系统设计和数据分析与处理等。计算机数据采集与分析系统的设计与开发可能是读者最为关心的问题,因此,在本书的最后分别介绍了使用LabVIEW、CVI和MATLAB三种测控工程中常用的开发工具开发计算机数据采集与分析系统的方法和技巧,并详细介绍了实例的开发过程。本书的例子均来源于工程实践,简明实用,对读者进行工程实践具有很大的帮助。

本书由周林主编,直接参与本书编写工作的还有殷侠、吴冬良、章雨馨、宋立军、周松、李珩、宋文峰、邢克飞、韩超、王志勇、阮坚、王鹏、邓波、高宏伟、刘东、于占军、何鑫等。

由于笔者水平有限,书中定有不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

2005年4月

目 录

第 1 章 计算机数据采集与分析技术概述	1
1.1 数据采集与分析的基本概念	1
1.1.1 信息和信号	1
1.1.2 数据采集	2
1.1.3 系统	2
1.2 计算机数据采集系统的组成	2
1.3 数据采集与分析系统的主要性能指标	4
第 2 章 数据采集信号分析基础	6
2.1 信号的分类	6
2.1.1 确定性信号	6
2.1.2 随机信号	7
2.1.3 连续信号和离散信号	12
2.1.4 能量信号与功率信号	13
2.1.5 时域信号与频域信号	14
2.2 傅立叶变换	14
2.2.1 信号的傅立叶分解	14
2.2.2 傅立叶变换	16
2.3 采样定理	18
2.3.1 正弦信号的采样	19
2.3.2 采样定理	20
2.3.3 混频	23
第 3 章 传感器技术	24
3.1 概述	24
3.1.1 传感器的组成	24
3.1.2 传感器的分类	24
3.1.3 传感器的特征描述	25
3.2 位移传感器	28
3.2.1 电容式传感器	28
3.2.2 电感式传感器	31
3.2.3 光电式传感器	33
3.3 力传感器	37
3.3.1 电阻应变式传感器	37
3.3.2 压电式传感器	39
3.4 温度传感器	40
3.4.1 热敏电阻	40
3.4.2 热敏二极管	41
3.4.3 热电偶	41

3.5 光电传感器	42
3.5.1 光敏电阻	43
3.5.2 光电二极管	44
3.6 微机械传感器	46
3.6.1 微机械压力传感器	46
3.6.2 微机械加速度传感器	47
3.6.3 微倾角传感器	47
第4章 模/数转换器	50
4.1 A/D转换原理	50
4.2 A/D转换器的性能指标	51
4.3 Δ - Σ A/D转换器	52
4.3.1 Δ - Σ 调制器	52
4.3.2 滤波器和选抽器	54
4.3.3 高阶 Δ - Σ 调制器	54
4.4 16位高精度 A/D 芯片 AD7705	55
4.4.1 AD7705 概述	55
4.4.2 AD7705 寄存器	57
4.4.3 AD7705 微控制器接口	58
4.4.4 AD7705 应用示例	59
第5章 数/模转换器	60
5.1 D/A转换原理	60
5.2 D/A转换器的性能指标	61
5.3 典型的 D/A 转换器 DAC0832	62
5.4 高速 D/A 转换器 AD9751	65
5.4.1 AD9751 概述	65
5.4.2 AD9751 功能结构	66
5.4.3 参考电压和数字锁相环	68
5.4.4 数字输入和模拟输出	69
第6章 数据采集系统常用电路	71
6.1 多路模拟开关	71
6.1.1 AD7501	71
6.1.2 CD4051	73
6.2 采样/保持电路	74
6.2.1 概念介绍	74
6.2.2 AD585	76
6.2.3 LF398	78
6.3 信号放大电路	79
6.3.1 放大电路原理	79
6.3.2 AD620 集成仪表放大器	81
6.4 MAX260 滤波芯片	82
6.5 存储电路	85
6.5.1 存储器概述	85

6.5.2 半导体存储器	87
6.5.3 常用存储器	89
6.5.4 存储器与 CPU 的连接	92
6.6 显示电路	93
6.6.1 发光二极管(LED)	93
6.6.2 液晶显示器(LCD)	97
6.7 数字电位器	99
6.7.1 电位器与数字电位器	99
6.7.2 DS1267 数字电位器	99
第 7 章 数据采集系统抗干扰技术	102
7.1 干扰的形成与抗干扰设计	102
7.1.1 干扰的形成	102
7.1.2 抗干扰设计	105
7.2 硬件抗干扰技术	106
7.2.1 屏蔽	106
7.2.2 滤波	108
7.2.3 接地	112
7.2.4 电源抗干扰	114
7.3 软件抗干扰技术	115
第 8 章 总线接口技术	118
8.1 计算机总线简介	118
8.2 ISA 总线	122
8.2.1 PC/XT 总线	123
8.2.2 ISA 总线	126
8.3 PCI 总线	131
8.3.1 PCI 总线的主要性能	131
8.3.2 PCI 总线系统结构	132
8.3.3 PCI 总线信号定义	133
8.3.4 PCI 总线分析	136
8.3.5 PCI 总线开发	142
8.3.6 PCI 接口芯片 PCI9052	144
8.4 USB 总线	148
8.4.1 USB 总线概述	148
8.4.2 总线分析	149
8.4.3 USB 总线传输协议	153
8.4.4 USB 总线接口芯片及其应用	155
第 9 章 输入/输出接口技术	162
9.1 概述	162
9.1.1 接口结构和功能	162
9.1.2 端口的编址	163
9.1.3 数据传送方式	163
9.2 串行接口	166

9.2.1	串行传输概念	167
9.2.2	RS-232 接口	169
9.2.3	可编程串行接口芯片 8251A	171
9.2.4	计算机中的串行接口	173
9.3	并行接口	174
9.3.1	8255A 简介	174
9.3.2	工作方式	176
9.3.3	编程	179
9.3.4	应用举例	181
9.4	I ² C 接口	183
9.4.1	I ² C 总线概述	183
9.4.2	I ² C 总线数据传输协议简介	185
9.4.3	80C51 单片机与 I ² C 总线器件接口	187
9.5	SPI 接口	188
9.5.1	SPI 总线简介	188
9.5.2	SPI 数据收发时序	189
9.6	中断	190
9.6.1	基本概念	191
9.6.2	计算机中的中断系统	192
9.6.3	中断控制器 8259A	194
9.7	DMA	201
9.7.1	DMA 控制器 8237 简介	201
9.7.2	8237 的引脚定义	202
9.7.3	8237 的工作模式	204
9.7.4	8237 的编程	205
第 10 章	数据分析与处理	209
10.1	卷积定理	209
10.2	离散傅立叶变换(DFT)	211
10.3	其他变换	216
10.3.1	拉普拉斯变换	216
10.3.2	Z 变换	217
10.3.3	各种变换的关系	218
10.4	数字处理	219
10.5	数字滤波技术	222
10.5.1	数字滤波的特点	223
10.5.2	线性滤波器	223
10.5.3	非线性滤波器	224
10.5.4	使用 Matlab 设计数字滤波器	225
10.6	系统辨识	228
10.6.1	系统辨识概念	228
10.6.2	AR 模型原理	229
10.6.3	使用 Matlab 进行 AR 模型辨识	229
10.7	现代数据分析与处理技术	230

10.7.1 短时傅立叶变换	231
10.7.2 小波变换	232
10.7.3 自适应滤波	237
第 11 章 使用 LabVIEW 进行数据采集与分析	241
11.1 LabVIEW 简介	241
11.1.1 LabVIEW 的基本特点	241
11.1.2 LabVIEW 的具体功能	243
11.1.3 LabVIEW 在数据采集领域的应用	245
11.2 使用 LabVIEW 进行数据采集实例	246
11.2.1 实现数据显示	246
11.2.2 驱动数据采集卡	251
第 12 章 数据采集设备实例——数字式血压仪	257
12.1 基于示波法的无创血压测量原理	257
12.1.1 血压概述	257
12.1.2 示波法血压测量法	258
12.2 示波法血压仪系统设计	259
12.2.1 血压仪系统构建	259
12.2.2 设备抗干扰性设计	260
12.2.3 设备可靠性设计	260
12.2.4 测量精度分析	261
12.3 血压仪电路设计	261
12.3.1 信号获取电路	261
12.3.2 泵阀控制电路	264
12.3.3 电源交直流转换电路	265
12.3.4 AD 采样电路	266
12.3.5 微处理器电路	267
12.3.6 串口电路	267
12.4 血压仪软件设计	268
12.4.1 微处理器程序	268
12.4.2 PC 界面程序	286
参考文献	300

第1章 计算机数据采集与分析技术概述

1.1 数据采集与分析的基本概念

信息技术主要包括信息获取、传输、处理、存储(记录)、显示和应用等。信息技术的三大支柱是信息获取技术、通信技术和计算机技术,常被称为3C(即Collection、Communication和Computer)技术。其中信息获取技术是信息技术的基础和前提,而数据采集技术是信息获取的主要手段和方法,数据分析和处理是计算机技术的主要目标。因此数据采集与分析技术是信息技术的重要组成部分。数据采集与分析技术是以传感器技术、测试技术、电子技术和计算机技术等为基础的一门综合应用技术。

数据采集与分析技术所涉及的学科和理论比较多。数据采集主要涉及的学科有测试与仪器科学、信息与通信科学和计算机科学。其中测试与仪器科学侧重于信息的获取,信息与通信科学侧重于信息的传输,计算机科学侧重于信息的分析处理。

1.1.1 信息和信号

有关信息(Information)至今还没有一个统一的确切定义,不过信息的概念早被人们所理解和接受。早在1948年,维纳(Norbert Wiener)在其著作《控制论——动物与机器中的通信与控制问题》中就指出:“信息既不是物质,也不是能量,信息就是信息”,即提出了“信息”是存在于客观世界的第三要素的著名论断。另一美国学者山农(Claude Elwood Shannon)第一次系统地给出了信息的定量描述,成功地用数学公式把物质、能量和信息之间的相互作用和依存关系统一起来。

信息被认为是客观物质世界的灵魂,因为信息反映了事物的运动状态和运动方式。这里所说的“事物”是广义的事物,既包括客观物质世界中的事物,也包括主观精神世界中的现象;“运动”泛指一切意义上的变化,包括物理的、化学的、生物的、思维的和社会的运动;“运动状态”是指事物的运动在空间上所表现的性状和态势;“运动方式”则是指事物的运动在时间上所表现的过程和规律。从这个广义的信息概念出发,引入不同的约束条件,就可以得到不同的具体的定义。例如信息可以具体为消息、情报和知识等。

信息本身不是物质,不具有能量,而信号(Signal)是传输信息的载体,也就是说,信息寓于信号之中。信号是含有能量的物质,具有可观测性。在数据采集系统中,把想要获取的信息转换为信号,直接采集处理的是信号,而不是信息。

信号与信息不能混为一谈。信号只是信息的某种形式。实际的信息中往往包含着多种

信息成分,其中不关心的成分统称为噪声或冗余信息。在一个具体的数据采集系统里面,可能要花费很多代价来设法去除各种噪声,从而获得满意的所要求的信息。

1.1.2 数据采集

数据采集(Data Acquisition)就是将获取的信息通过传感器转换为信号,并经过信号调理、采样、量化、编码和传输等步骤,最后送到计算机系统中进行处理、分析、存储和显示。

数据采集系统是计算机与外部世界联系的桥梁,是获取信息的重要途径。数据采集技术是信息科学的重要组成部分,已广泛应用于国民经济和国防建设的各个领域,并且随着科学技术的发展,尤其是计算机技术的发展与普及,数据采集技术将有广阔的发展前景。

数据采集系统追求的主要目标有两个,一是精度,二是速度。对任何量值的测试都要有一定的精确度要求,否则将失去采集的意义;提高数据采集的速度不仅仅可以提高工作效率,更主要的是扩大数据采集系统的适用范围,便于实现动态测试。

现代数据采集系统具有如下几个特点:

(1) 现代数据采集系统一般都内含有计算机系统,使得数据采集的质量和效率等大为提高,同时显著地节省了硬件资源。

(2) 软件在数据采集系统中的作用越来越大,增加了系统设计的灵活性和功能。

(3) 数据采集与数据处理相互结合得日益紧密,形成数据采集与处理相互融合的系统,可实现从数据采集、处理到控制的全部工作。

(4) 速度快,数据采集过程一般都具有“实时”特性。对于通用数据采集系统一般希望有尽可能高的速度,以满足更多的应用环境。

(5) 随着微电子技术的发展,电路集成度的提高,数据采集系统的体积越来越小,可靠性越来越高,甚至出现了单片数据采集系统。

(6) 数据通信总线在数据采集系统中的应用越来越广泛,总线技术对数据采集系统结构的发展起着重要作用。

1.1.3 系统

系统(System)是指由若干相互作用和相互依赖的事物组合而成的具有特定功能的整体。一个系统,对于给定的输入(激励),将会有有一个既定的输出(响应)。系统是一个相对的概念,一个系统可以分为多个小系统的组成,如何确定系统的边界,取决于系统的结构和研究的目的。例如计算机数据采集系统又可细分为一些较小的子系统,当侧重研究如何把现实世界的物理信号变为电信号时,着重研究传感器系统;当侧重于数字量的计算、处理、存储和显示时,着重于研究计算机系统。

1.2 计算机数据采集系统的组成

数据采集系统随着新型传感技术、微电子技术和计算机技术的发展而得到迅速发展。因为目前数据采集系统一般都使用计算机进行控制,所以又叫做计算机数据采集系统。

计算机数据采集系统包括硬件和软件两大部分,其中硬件部分又可分为模拟部分和数字部分。计算机数据采集系统的硬件基本组成如图 1.1 所示。

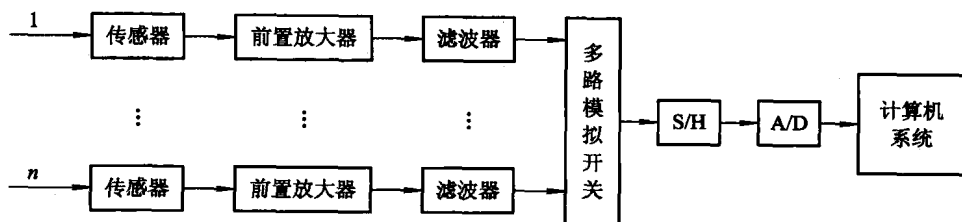


图 1.1 计算机数据采集系统的硬件基本组成

从图 1.1 可以看出,计算机数据采集系统一般由传感器、前置放大器、滤波器、多路模拟开关、采样/保持器(S/H)、模/数转换器(A/D)和计算机系统组成。

1. 传感器

传感器的作用是把非电的物理量(如速度、温度、压力等)转变成模拟电量(如电压、电流、电阻或频率)。例如,使用热电偶或热电阻可以获得随着温度变化而变化的电压,转速传感器可以把转速转换为电脉冲等。通常把传感器输出到 A/D 转换器输出的这一段信号通道称为模拟通道。

2. 前置放大器

前置放大器用来放大和缓冲输入信号。由于传感器输出的信号较小(如常用的热电偶输出变化往往在几毫伏到几十毫伏之间,电阻应变片输出电压变化只有几毫伏,人体生物电信号仅是微伏量级),因此需要加以放大以满足大多数 A/D 转换器的满量程输入(5~10 V)要求。此外,某些传感器内阻比较大,输出功率较小,放大器还要起阻抗变换器的作用以缓冲输入信号。因为各类传感器输出信号的情况各不相同,所以放大器的种类也很多。例如为了减少输入信号的共模分量,就产生了各种差分放大器、仪用放大器和隔离放大器;为了使不同数量级的输入电压都具有最佳变换,就产生了量程可以变换的程控放大器;为了减少放大器输出的漂移,则产生了斩波稳零和激光修正的精密放大器。

3. 滤波器

传感器以及后续处理电路中的器件常会产生噪声,人为的发射源也可以通过各种耦合渠道使信号通道感染上噪声,例如工频信号(50 Hz 或 60 Hz)可以成为一种人为的干扰源。为了提高模拟输入信号的信噪比,常常需要使用滤波器对噪声信号进行一定的衰减。

4. 多路模拟开关

在数据采集系统中,往往要对多个物理量进行采集,即所谓的多路巡回检测。多路巡回检测可以通过多路模拟开关来实现,以简化设计和降低成本。多路模拟开关可以分时选通来自多个输入通道中的某一路通道。因此,在多路模拟开关后的单元电路,如采样/保持电路、A/D 转换电路以及处理器电路等,只需要一套即可,这样可以节省成本和体积。但这仅仅适用于物理量变化比较缓慢、变化周期在数十至数百毫秒之间的情况。因为这时可以使用普通的微秒级 A/D 转换器从容地分时处理这些信号。但当分时通道较多时,必须注意泄漏及逻辑安排等问题。当信号频率较高时,使用多路分路开关后,对 A/D 的转换速率

要求也随之上升。在数据通过率超过 40~50 kHz 时,一般不宜使用分时的多路开关技术。模拟多路开关有时也可以安排在放大器之前,但当输入的信号电平较低时,需注意选择多路模拟开关的类型;若选用集成电路的模拟多路开关,则由于它比干簧或继电器组成的多路模拟开关导通电阻大,泄漏电流大,因而有较大的误差产生。所以要根据具体情况来选择多路模拟开关。

5. 采样/保持器

多路模拟开关之后是模拟通道的转换部分,包括采样/保持器和 A/D 转换器。采样/保持器的作用是快速拾取多路模拟开关输出的子样脉冲,并保持幅值恒定,以提高 A/D 转换器的转换精度,如果把采样/保持器放在模拟多路开关之前(每道一个),还可实现对瞬时信号进行同时采样。

6. A/D 转换器

采样/保持器输出的信号送至 A/D 转换器,A/D 转换器是模拟输入通道的关键电路。由于输入信号变化的速度不同,系统对分辨率、精度、转换速率及成本的要求也不同,因此 A/D 转换器的种类也较多。早期的采样/保持器和 A/D 转换器需要数据采集系统设计人员自行设计,目前普遍采用单片集成电路,有的单片 A/D 转换器内部还包含有采样/保持电路、基准电源和接口电路,这为系统设计提供了较大方便。A/D 转换的结果输出给计算机,有的采用并行码输出,有的则采用串行码输出。使用串行输出结果的方式对长距离传输和需要光电隔离的场合较为有利。

7. 计算机系统

计算机系统是整个计算机数据采集系统的核心。计算机控制整个计算机数据采集系统的正常工作,并且把 A/D 转换器输出的结果读入到内存,进行必要的数据分析和数据处理。计算机还需要把数据分析和处理之后的结果写入存储器以备将来分析和使用,通常还需要把结果显示出来。计算机系统包括计算机硬件和计算机软件,其中计算机硬件是计算机系统的基础,而计算机软件是计算机系统的灵魂。计算机软件技术在计算机数据采集系统中发挥着越来越重要的作用。

1.3 数据采集与分析系统的主要性能指标

数据采集系统的性能要求与具体应用目的和应用环境有密切关系,对应不同的应用情况往往有不同的要求。下面是比较常用的几个指标及其含义。

1. 系统分辨率

系统分辨率是指数据采集系统可以分辨的输入信号的最小变化量。通常可以使用如下几种方法表示系统分辨率:

- 使用系统所采用的 A/D 转换器的位数来表示系统分辨率。
- 使用最低有效位值(LSB)占系统满度值的百分比来表示系统分辨率。
- 使用系统可分辨的实际电压数值来表示系统分辨率。
- 使用满度值的百分数来表示系统分辨率。

表 1.1 给出了满度值为 10 V 时数据采集系统的分辨率。

表 1.1 系统的分辨率

A/D 位数	级数	1LSB (满度值的百分数%)	1LSB (10 V 满度的电压)
8	256	0.391	39.1 mV
10	1024	0.0977	9.77 mV
12	4096	0.0244	2.44 mV
16	65 536	0.0015	0.15 mV
20	1 048 576	0.000 095 3	9.53 μ V

2. 系统精度

系统精度是指当系统工作在额定采集速率下, 整个数据采集系统所能达到的转换精度。A/D 转换器的精度是系统精度的极限值。实际上, 系统精度往往达不到 A/D 转换器的精度。因为系统精度取决于系统的各个环节(子系统)的精度, 如前置放大器、滤波器、模拟多路开关等, 只有当这些子系统的精度都明显优于 A/D 转换器精度时, 系统精度才能达到 A/D 转换器的精度。这里还应注意系统精度与系统分辨率的区别。系统精度是系统的实际输出值与理论输出值之差, 它是系统各种误差的总和, 通常表示为满度值的百分数。

3. 采集速率

采集速率又称为系统通过速率或吞吐率, 是指在满足系统精度指标的前提下, 系统对输入的模拟信号在单位时间内所能完成的采集次数, 或者说是系统每个通道、每秒钟可采集的有效数据的数量。这里所说的“采集”包括对被测物理量进行采样、量化、编码、传输和存储的全部过程。在时间域上与采集速率对应的指标是采样周期。采样周期是采样速率的倒数, 它表征了系统每采集一个有效数据所需的时间。

4. 动态范围

动态范围是指某个确定的物理量的变化范围。信号的动态范围是指信号的最大幅值和最小幅值之比的分贝数。数据采集系统的动态范围通常定义为所允许输入的最大幅值与最小幅值之比的分贝数, 即

$$I_i = 20 \lg \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (1.1)$$

式(1.1)中, 最大允许输入幅值 $V_{\max}$ 是指使数据采集系统的放大器发生饱和或者使 A/D 转换器发生溢出的最小输入幅值。最小允许输入幅值 $V_{\min}$ 一般用等效输入噪声电平来代替。

5. 非线性失真

非线性失真也称谐波失真。当给系统输入一个频率为 f 的正弦波时, 其输出中出现很多频率为 kf (k 为正整数) 的新的频率分量, 这种现象称为非线性失真。

第 2 章 数据采集信号分析基础

在计算机数据采集系统中,信息是用离散信号来表示的,而在生产和科学研究中经常遇到的各种信息往往都是连续信号。这样,就遇到了连续信号离散化的问题。本章将讨论连续信号离散化的有关问题,在讨论信号分类和傅立叶变换的基础上着重讨论不同情况下的采样定理。采样定理是数据采集系统的理论支持。理解和掌握以采样定理为基础的数字信号处理无论在理论上还是实践上对数据采集都有着重要的意义。

在讨论采样定理之前,本章对数字信号处理的基本内容进行了回顾和总结。本章有部分内容可能涉及相关的理论推导。读者如果对数字信号处理理论不感兴趣,可以跳过这一章,这样并不影响对后续内容的理解。对于计算机数据采集更工程化的理论支持还将在第 10 章进行较为详细的讨论。

2.1 信号的分类

2.1.1 确定性信号

信号根据确定性与否可分为确定性信号和非确定性信号两大类。确定性信号根据周期性与否又可分为周期信号和非周期信号两类;非确定性信号又称为随机信号,可分为平稳随机信号和非平稳随机信号。图 2.1 是对确定性信号和随机信号的一个简要归纳。

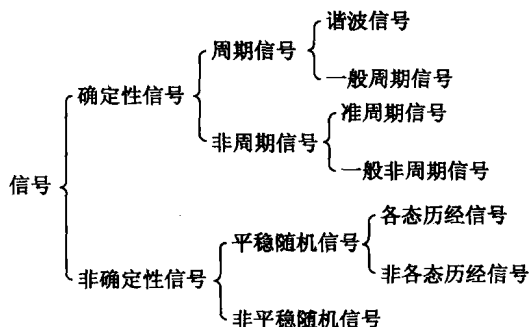


图 2.1 确定性信号与随机信号

1. 周期信号

当信号按一定的时间间隔周而复始地重复出现时称为周期信号,否则称为非周期信号。周期信号的数学表达式为

$$x(t) = x(t + nT_1) \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2.1)$$

满足式(2.1)的最小 T_1 称为信号的周期。

1) 谐波信号

谐波信号又称为简谐信号, 简谐信号是最简单的周期信号, 其表达式为

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.2)$$

式中, A 为幅值; $\omega = 2\pi f$ 为角频率; φ 为初始相位。

2) 一般周期信号

一般周期信号又可称为复杂周期信号。一般周期信号可以分解为多个简谐信号之和, 且这些简谐信号的频率之比为有理数, 详见第 2.2.1 节信号的傅立叶分解的内容。

2. 非周期信号

1) 准周期信号

准周期信号的特点是, 虽然其也是由若干简谐分量叠加而成的, 但这些简谐分量中至少有一个分量与另一个分量的频率之比为无理数(不是公倍数关系), 因此分量合成的结果不满足式(2.1)的周期性条件。

2) 一般非周期信号

一般非周期信号又称为瞬态信号。瞬态信号的特点是幅值衰减很快, 如锤击、爆炸冲击振动等信号。

2.1.2 随机信号

随机信号又称为非确定性信号, 这类信号的波形具有不确定性, 幅值和相位变化不可预知, 因此不能用确定的数学表达式进行描述, 只能通过统计分析方法得到信号的整体统计特征, 如均值、方差、自相关函数和功率谱等。

1. 随机信号的数学描述

1) 随机变量描述

随机信号可以用随机变量 $X(t)$ 来定义。如图 2.2 所示, 对于某个时刻 t_1 , $\{x_k(t_1)\}$ 是一个随机变量, 工程上称之为随机信号在 $t=t_1$ 时刻的状态。由此可以给出随机信号的一种定义:

如果对于任意一个时刻 $t_n \in T$, $\{x_k(t_n)\}$ 都是随机变量, 那么 $\{x_k(t)\}$ 是一个随机信号, 这里

$$\{x_k(t)\} = (\{x_k(t_1)\}, \{x_k(t_2)\}, \dots) \quad k = 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

或记作

$$X(t) = (x(t_1), x(t_2), \dots) \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

即用一族随机变量系来表示随机信号, 因此, 随机信号可以用 $X(t)$ 来表示。

2) 样本函数描述

随机信号除了可以用随机变量 $X(t)$ 来定义外, 还可以用样本函数的集合来定义。

随机信号的单个时间历程称为样本函数。在有限时间区间上观测得到的样本函数称为样本记录。随机信号可能产生的全部样本函数的集合(总体)定义为随机信号(如图 2.2