

普通高等教育

电气信息类规划教材



免费下载电子教案

数据采集技术与系统设计

李念强 魏长智 潘建军 张羽 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育电气信息类规划教材

数据采集技术与系统设计

李念强 魏长智 潘建军 张羽 编著



机械工业出版社

本书共 13 章, 前 12 章介绍数据采集技术的基础知识和相关技术, 具体包括传感器技术、模拟信号处理技术、模数转换技术、数模转换技术、人机接口技术、数据采集系统的抗干扰技术、数据分析与处理、总线技术、高性能数据采集系统芯片 ADuC812、基于 ZigBee 无线传感器网络的数据采集、虚拟仪器技术; 第 13 章通过应用举例, 详细介绍了数据采集系统的开发与应用。

学习本书可使读者真正了解与掌握数据采集系统从设计、调试到工程实现的全过程。本书理论与应用紧密结合, 并配有初始化程序, 实用性强。

本书可作为普通高校计算机及应用、工业自动化、自动化仪表、电子信息及其相关专业教材和教学参考书, 也可作为相关专业的工程技术人员及开发人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数据采集技术与系统设计/李念强等编著. —北京: 机械工业出版社, 2009. 2

(普通高等教育电气信息类规划教材)

ISBN 978-7-111-26175-9

I. 数… II. 李… III. 数据采集—系统设计—高等学校—教材
IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 014424 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郝建伟 版式设计: 霍永明

责任校对: 姜 婷 责任印制: 杨 曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 22.5 印张 · 558 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26175-9

定价: 37.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379753 88379739

封面防伪标均为盗版

前 言

数据采集技术 (Data Acquisition) 是信息学科的一个重要分支, 研究信息数据的采集、存储、处理以及控制等, 在雷达、通信、水声、遥感、地质勘探、振动工程、无损检测、语音处理、智能仪器、工业自动控制以及生物医学工程等领域有着广泛的应用。

本书从工程应用的角度出发, 坚持理论联系实际, 内容贴近工程实际, 电路实现采用最新的元器件。本书前 12 章分别介绍了数据采集涉及的各种技术, 包括: 数据采集与系统设计基础、传感器技术、模拟信号处理技术、模数转换技术、数模转换技术、人机接口技术、数据采集系统的抗干扰技术、数据分析与处理、总线技术、高性能数据采集系统芯片 ADuC812、基于 ZigBee 无线传感器网络的数据采集、虚拟仪器技术, 在对原理详细论述的基础上, 重点介绍了电路的具体实现, 为快速设计数据采集系统打下基础; 第 13 章通过工程实例, 介绍了数据采集系统的具体设计方法和原则。

本书理论联系实际, 强调工程应用, 并力求结构合理、深入浅出, 便于理解与自学, 可作为普通高校计算机及应用、工业自动化、自动化仪表、电子信息及相关专业的教材和教学参考书, 也可作为工程技术人员和开发人员的参考用书。

本书共 13 章。其中第 1、4、5、6、9、11、13 章由济南大学李念强编写; 第 2、3 章由济南大学魏长智编写; 第 7、8 章由山东电力高等专科学校张羽编写; 第 10、12 章由济南电视广播大学潘建军编写; 全书由李念强统稿。硕士研究生李萍、李博、张梦麟对本书中的插图和公式进行了校对, 并对书中涉及的程序进行了验证, 在此表示衷心的感谢。

在本书编写过程中, 我们参考和引用了国内外许多专家与学者的论文和专著, 在此一并表示致谢。

由于时间仓促, 加上作者水平所限, 书中难免有不少缺点和错误, 请广大读者批评指正。

作者

2008 年 8 月于济南

目 录

前言

第1章 数据采集与系统设计基础 1

- 1.1 数据采集系统概述 1
- 1.2 数据采集与处理技术 3
- 1.3 数据采集系统的结构形式 3
 - 1.3.1 微型计算机数据采集系统 3
 - 1.3.2 集散型数据采集系统 3
 - 1.3.3 分布式数据采集系统 3
- 1.4 数据采集信号处理基础 5
 - 1.4.1 信号分类 5
 - 1.4.2 信号分析 7
 - 1.4.3 傅里叶变换 14
 - 1.4.4 拉普拉斯变换和 Z 变换 22
 - 1.4.5 短时傅里叶变换和小波变换 23
 - 1.4.6 采样定理 24
- 1.5 数据采集技术与系统的发展方向 26
- 1.6 习题 27

第2章 传感器技术 28

- 2.1 传感器概述 28
 - 2.1.1 传感器的组成 28
 - 2.1.2 传感器的分类 28
 - 2.1.3 传感器的一般特性 29
- 2.2 温度传感器 35
 - 2.2.1 温度与温标 35
 - 2.2.2 金属热电阻 35
 - 2.2.3 半导体热敏电阻 38
 - 2.2.4 热电偶 40
 - 2.2.5 AD590 电流集成温度传感器 46
 - 2.2.6 DS18B20 数字温度传感器 46
- 2.3 其他传感器 51
 - 2.3.1 力传感器 51
 - 2.3.2 位移传感器 54
- 2.4 习题 55

第3章 模拟信号处理技术 56

3.1 模拟多路开关 56

- 3.1.1 常见模拟多路开关及其工作原理 56
- 3.1.2 模拟多路开关的主要技术指标 56
- 3.1.3 常用的模拟多路开关集成芯片 57
- 3.1.4 模拟多路开关的选用 59

3.2 测量放大器 60

- 3.2.1 测量放大器的原理 60
- 3.2.2 测量放大器的主要技术指标 61
- 3.2.3 集成测量放大器 62

3.3 程控增益放大器 62

3.4 采样/保持器 63

- 3.4.1 模拟信号的采样 63
- 3.4.2 采样/保持器原理 68

3.5 有源滤波器 71

- 3.5.1 RC 有源低通滤波器 71
- 3.5.2 RC 有源高通滤波器 72
- 3.5.3 RC 有源带阻滤波器 73
- 3.5.4 RC 有源带通滤波器 73
- 3.5.5 微处理器程控有源滤波器 74

3.6 习题 76

第4章 模数转换技术 77

4.1 A/D 转换器的主要技术指标 78

4.2 A/D 转换器的主要类型 83

- 4.2.1 并行比较型 A/D 转换器 84
- 4.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器 88
- 4.2.3 积分型 A/D 转换器 91
- 4.2.4 压频变换型 A/D 转换器 96
- 4.2.5 Σ - Δ 型 A/D 转换器 98
- 4.2.6 流水线型 A/D 转换器 102
- 4.2.7 光学模数转换器 106
- 4.2.8 视频解码器 109

4.3 习题 116

第5章 数模转换技术 117

5.1 D/A 转换器接口的技术性能指标 117

5.2 D/A 转换器	117	7.2 软件抗干扰技术	182
5.2.1 DAC0832 简介	117	7.2.1 数字滤波	182
5.2.2 AD5424 简介	120	7.2.2 单片机执行过程中的软件抗干扰措施	185
5.2.3 TLC5615 位串行 D/A 转换器及应用程序	121	7.3 习题	191
5.2.4 音频 D/A 转换器	125		
5.2.5 数字电位器	128	第 8 章 数据分析与处理	192
5.2.6 视频编码器	132	8.1 数据检验与预处理	192
5.3 习题	138	8.1.1 数据检验	192
		8.1.2 数据预处理	193
第 6 章 人机接口技术	139	8.2 随机信号去误差处理	196
6.1 键盘接口技术	139	8.2.1 测量误差的分类	197
6.1.1 独立式键盘	139	8.2.2 系统误差的消除	197
6.1.2 行列式键盘	140	8.2.3 非线性补偿处理	207
6.1.3 PC 键盘接口技术	144	8.3 习题	212
6.1.4 鼠标接口技术	150		
6.2 显示电路接口技术	152	第 9 章 总线技术	214
6.2.1 LED 显示及显示器接口	152	9.1 ISA 总线	214
6.2.2 LED 显示器与显示方式	153	9.2 EISA 总线	214
6.2.3 硬件译码显示器接口	154	9.3 VL 总线	215
6.2.4 专用显示与键盘管理芯片	156	9.4 PCI 总线	215
6.2.5 ET6202 串行接口 LED 数码管及键盘管理器件	164	9.4.1 PCI 总线的主要特点	215
6.2.6 LED 点阵模块显示器	170	9.4.2 PCI 总线接口芯片	216
6.2.7 LCD 显示器及其接口	171	9.4.3 CH365 的应用	225
6.3 打印机接口技术	172	9.5 USB 总线	232
6.3.1 TP μ P-40A 主要性能、接口要求及时序	173	9.5.1 USB 总线的特点	232
6.3.2 字符代码及打印命令	173	9.5.2 USB 总线接口	233
6.3.3 TP μ P-40A/16A 与 MCS-51 单片机接口	174	9.5.3 FT245BM USB 接口芯片及其应用	233
6.3.4 打印程序实例	175	9.5.4 CH372 USB 接口芯片及其应用	235
6.4 拨码盘及语音接口技术	175	9.6 GPIB 总线技术	244
6.4.1 拨码盘接口及应用实例	175	9.7 习题	248
6.4.2 ISD 1420 语音接口芯片及其应用	176		
6.5 习题	178	第 10 章 ADuC812 高性能数据采集系统芯片	249
		10.1 概述	249
第 7 章 数据采集系统的抗干扰技术	179	10.2 ADuC812 的基本工作原理	251
7.1 硬件抗干扰技术	179	10.2.1 CPU 时序	251
7.1.1 硬件干扰的形成因素和传播途径	179	10.2.2 存储器组织	252
7.1.2 硬件抗干扰的主要方法	180	10.3 中断系统	257
		10.4 片内外围设备	258

10.4.1 并行 I/O 端口 0~3	258	第 12 章 虚拟仪器技术	286
10.4.2 UART 串行口	259	12.1 引言	286
10.4.3 串行外围设备接口 SPI	260	12.2 LabVIEW	286
10.4.4 I ² C 兼容的串行接口	261	12.2.1 LabVIEW 应用程序的构成	286
10.4.5 定时/计数器	262	12.2.2 LabVIEW 在数据采集领域的 应用	288
10.4.6 硬件看门狗	263	12.3 LabWindows 简介	293
10.4.7 电源监视器	264	12.3.1 LabWindows 开发思想	293
10.5 特殊功能寄存器小结	264	12.3.2 LabWindows 开发环境	293
10.6 ADuC812 设计与应用	265	12.3.3 LabWindows 数据采集实例	294
10.6.1 上电初始化子程序	265	12.4 MATLAB DAQ 工具箱简介	299
10.6.2 微转换器的 D/A 转换器问 题	265	12.4.1 MATLAB DAQ 工具箱组成	299
10.6.3 闪速/电擦除存储器的擦除、 编程时间	266	12.4.2 MATLAB DAQ 工具箱函数 简介	300
10.6.4 ADuC812 的主时钟	266	12.4.3 基于 MATLAB 的实时采集 系统	301
10.6.5 ADuC812 的基准电压	266	12.5 习题	304
10.6.6 ADuC812 的 A/D 转换器	267	第 13 章 数据采集系统设计	305
10.6.7 抗干扰和接地问题	268	13.1 数据采集系统设计的基本原则	305
10.7 ADuC812 在远程环境监测信息系 统中的应用	268	13.2 ECG 心电信号采集系统设计	310
10.7.1 下位机硬件电路设计	268	13.2.1 设计的要求	310
10.7.2 下位机软件设计	269	13.2.2 系统要解决的问题	310
10.8 习题	271	13.2.3 系统结构框图	310
第 11 章 基于 ZigBee 无线传感器网络 的数据采集	272	13.2.4 系统设计原理	310
11.1 ZigBee 无线传感器网络简介	272	13.2.5 模拟电路的设计	311
11.2 ZigBee 无线传感器网络节点的设计	275	13.2.6 数字电路的设计	315
11.2.1 无线传感器节点的特点	276	13.2.7 系统软件设计	318
11.2.2 传感器节点的类型	276	13.2.8 系统的测试结果	320
11.2.3 无线传感器节点的系统构架 设计	276	13.3 智能 RLC 数字电桥的设计	321
11.2.4 处理器模块的设计	277	13.3.1 测量原理	321
11.2.5 无线通信模块的设计	277	13.3.2 系统设计	322
11.3 ZigBee 无线传感器网络的系统设 计	278	13.4 基于 LabWindows/CVI 的温室数 据采集系统	325
11.3.1 星形网络形成	279	13.4.1 系统总体结构方案	325
11.3.2 点对点网络形成	280	13.4.2 上位机软件设计方案	326
11.3.3 无线传感器网络协议	280	13.4.3 下位机软件设计方案	326
11.3.4 无线传感器网络的安全性 问题	281	13.4.4 系统详细设计与实现	327
11.4 ZigBee 无线通信模块的介绍	282	13.4.5 系统数据采集模块	328
11.5 习题	285	13.4.6 下位机通信软件设计	332
		13.4.7 上位机通信软件设计	333
		13.4.8 系统参数设置模块	334

13.4.9	系统数据显示模块	335
13.4.10	系统数据库管理模块	338
13.4.11	温室环境控制管理	340
13.5	数字程控电源设计	342
13.5.1	系统框图与原理	342

13.5.2	系统设计	345
附录 铜热电阻 Cu50-Cu100 分度表		
	(ITS-90)	350
参考文献		351

第1章 数据采集与系统设计基础

1.1 数据采集系统概述

随着测控技术的迅猛发展,以嵌入式计算机为核心的数据采集系统(Data Acquisition System, DAS)已经在测控领域占据了统治地位。数据采集系统是将现场采集到的数据进行处理、传输、显示、存储等操作的设备。

数据采集系统出现于20世纪50年代,1956年美国首先研发了用在军事上的数据采集测试系统,目标是可在测试中不依靠相关的测试文件,由非熟练人员进行操作,并且测试任务由测试设备高速自动完成。由于该数据采集测试系统具有高速性和一定的灵活性,可以满足传统方法不能完成的数据采集和测试任务,因而得到了认可。在20世纪60年代后期,国外就有成套的数据采集测试设备进入市场,此阶段的数据采集设备和系统多属于专用的系统。

20世纪70年代,随着计算机的普及应用,数据采集系统得到了极大的发展,开始出现了通用数据采集与自动测试系统。该阶段的数据采集系统主要有两类:一类由仪器仪表和采集器、通用接口总线和计算机等构成。国际标准ICE625(GPIB)接口总线系统就是一个数据采集系统典型的代表。这类系统主要用于实验室,在工业生产现场也有一定的应用;第二类由数据采集卡、标准总线和计算机构成,STD总线系统是这一类数据采集系统的典型代表。这种接口系统采用积木式结构,把相应的接口卡装在专用的机箱内,然后由一台计算机控制。这类系统在工业现场应用较多,如果采集测试任务改变,只需将新的仪用电缆接入系统,或将新卡添加到专用的机箱即可完成硬件平台的重建,显然,这种系统比专用系统灵活得多。20世纪80年代后期,数据采集系统发生了巨大的变化,由于工业计算机、单片机和大规模集成电路组合,并用软件管理,使系统的成本降低,体积减小,功能成倍增加,数据处理能力大大加强。

20世纪90年代至今,在国际上技术领先的国家,数据采集技术已经在军事、航空电子设备及宇航技术、工业等领域得到广泛应用。由于集成电路制造技术的不断进步,出现了高性能、高可靠性的单片数据采集系统。目前有的产品精度已达16位,采集速度每秒可达几十万次。数据采集技术已经成为一种专门的技术,在工业领域得到广泛的应用,数据采集系统采用更先进的模块式结构,根据不同的应用要求,通过简单的增加和更改模块,并结合系统编程,就可扩展或修改,迅速组成一个新的系统。

并行总线数据采集系统向高速、模块化和即插即用方向发展,典型系统有VXI总线系统,PCI、PXI总线系统等,已达到32位总线宽度,采样频率可以达到100百万次采样/秒。由于采用了高密度、屏蔽型、针孔式的连接器和卡式模块,可以充分保证其稳定性和可靠性。虽然其昂贵的价格是阻碍它在自动化领域普及的一个重要因素,但并行总线系统已经在军事等领域取得了成功的应用。

串行总线数据采集系统向分布式系统结构和智能化方向发展,可靠性不断提高。数据采

集系统的物理层通信, 由于采用 RS-485 双绞线、电力载波, 无线和光纤, 所以其技术得到了不断发展和完善, 在工业现场数据采集和控制等众多领域得到了广泛的应用。由于局域网技术的发展, 一个工厂的管理层局域网、车间层局域网和底层设备网可以有效地连接在一起, 通过把多台数据采集设备连在一起, 以实现生产环节的在线实时数据采集与监控。

施耐德电气公司的 Modicon 产品早在 1978 年就推出了世界上第一个生产现场控制 (PLC) 和主机的通信协议 Modbus, 该协议以简洁、开放、可靠而逐渐成为事实上的工业标准。1989 年推出的世界上第一个对等的工业控制网络 Modbus Plus, 实现了数据的高速、实时、对等传输。为提高可靠性, 随后又推出具有冗余功能的 Modbus Plus, 它大大提高了系统数据传输的可靠性。

自 20 世纪 70 年代以太网诞生以来, 工业控制总线有了长足的进步, 通信速率由 10Mbit/s 提高到 100Mbit/s、1000Mbit/s 甚至 10Gbit/s。以太网的标准统一开放 (IEEE802.3 系列)、技术成熟, 有众多的厂家支持, 使得以太网产品价格相对低廉, 而且不同厂家的产品可以轻松互联。以太网与 Internet 的连接也相当容易, 因此目前正处于快速发展的时期。鉴于以太网具有成熟的技术、低廉的成本、丰富的开发工具与技术支持, 以及和 Internet 的无缝连接等优点, 以太网技术不仅应用在信息层, 而且可将其推广到工业控制层和设备层, 以实现管、控、测一体化网络。

随着互联网技术和 IT 技术的飞速发展, 为适应未来技术发展, 保障用户的投资, 施耐德电气公司首先推出了工业控制领域的开放 TCP/IP 以太网——Modbus TCP/IP, 该技术采用 IT 行业广泛应用的 TCP/IP 技术, 底层协议采用开放的 Modbus, 第一次真正地将工业数据采集、控制网络和 IT 网络融合为一体, 使用户彻底摆脱了各种行业的工业数据采集与控制网络的束缚和限制, 进入了工业控制领域的新境界。基于 TCP/IP 协议, 可以把数据采集与工控方案变得“透明”, 使生产过程的数据采集与工厂的各种控制设备和计算机设备间实现透明数据传输。同时使用户真正可以享受最新 IT 技术带来的各种好处; 使企业的生产系统、ERP 系统、MES 系统透明实现了透明的无缝连接, 也为制造业用户未来的电子商务应用提供了生产控制系统的基础。

以太网在企业的管理层应用较多, 但在底层的设备控制层刚刚起步。究其原因, 在于以太网协议中的 CSMA/CD 机制。这一机制使得以太网本质上不是实时的, 而且由于冲突的存在使得以太网具有不确定性, 甚至由于频繁的碰撞, 导致最终某些节点抛弃当前的数据帧, 降低了可靠性。

然而随着技术的发展, 以太网标准在过去 5 年中, 在确定性、速度和优先法则方面有了很大提高, 使以太网越来越能够满足工业应用的需要, 现场总线的通信功能完全可由以太网较好地完成。最近几年, 交换式以太网技术的出现大大地提高了以太网的确定性, 利用交换技术, 可以将一个较大的网络分隔成为多个相对独立的冲突域, 冲突只能在一个相对较小的区域内发生, 这样大大地减小了冲突发生的概率, 从而提高了网络的确定性和实时性。在与传统现场总线的对比测试中, 以太网显示出了明显的优势, 使其能够胜任数据采集和控制对实时性、可靠性、抗干扰性的严格要求。以太网已被证明是未来数据采集和控制网络的最佳解决方案, 其应用于现场设备控制层是控制网络发展的趋势, 并将极大地促进信息从传感器到管理层的传输。

1.2 数据采集与处理技术

数据采集系统涉及到的相关技术大体如下：

传感器技术、模拟信号处理技术、模数转换和数模转换技术、信号处理技术、数据采集系统抗干扰技术、误差分析与处理、人机接口技术、数据存储与打印、数据传输技术、虚拟仪器技术等。

1.3 数据采集系统的结构形式

数据采集系统由硬件和软件组成。其硬件，包括三种结构形式：微型计算机数据采集系统、集散型数据采集系统以及分布式数据采集系统。

1.3.1 微型计算机数据采集系统

系统由传感器、模拟多路开关、程控放大器、采样/保持器、A/D 转换器、计算机及外设等部分组成，如图 1-1 所示。

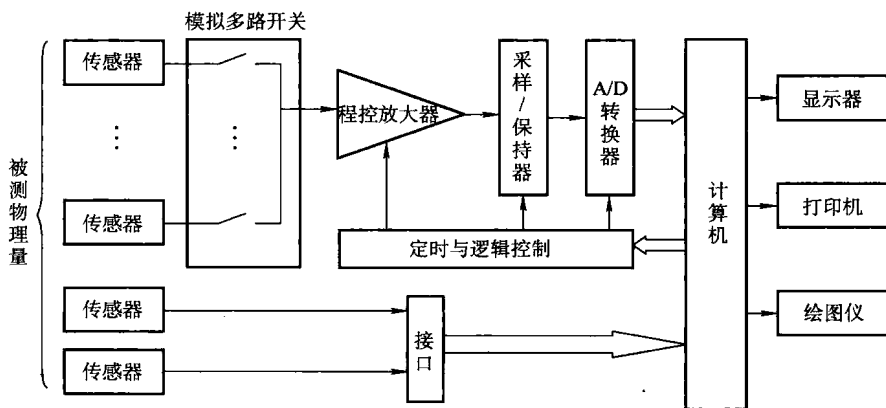


图 1-1 微型计算机数据采集系统框图

微型计算机数据采集系统的特点：系统结构简单，容易实现、对环境的要求不高、成本低。微型计算机数据采集系统是集散型数据采集系统的一个基本组成部分，各种 I/O 模块及软件都比较齐全，很容易构成系统，便于使用和维护。

1.3.2 集散型数据采集系统

集散型控制系统由若干个数据采集站和一台上位机及通信线路组成，如图 1-2 所示。

数据采集站：由单片机数据采集装置构成。

上位机：为微型计算机，配置有打印机和绘图机。

1.3.3 分布式数据采集系统

UNIX、Windows NT、Windows 2000、Windows XP、Netware 等计算机操作系统，为组建

网络化测试系统带来了方便。国际标准化组织 ISO/IEC 和 ITU-T, 于 20 世纪 90 年代初开发出了开放式分布处理模型 RM-ODP (Open Distributed Processing, ODP)。开放式分布处理模型是一项试图解决分布环境下软件接口问题的新技术, 它是一个通用的框架结构, 在其上可实现不同的“分布计算环境”, 如我们可以建立测控系统的 ODP 框架。基于 ODP 框架的分布式

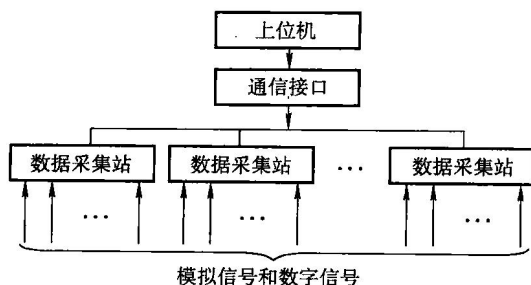


图 1-2 集散型数据采集系统框图

网络计算平台主要有: DCOM、CORBA、Jini 以及微软最新的分布式计算平台 .NET Remoting 和 Web Services。Internet 上使用的 TCP/IP 协议, 在开放性、稳定性、可靠性方面均有很大优势, 很容易实现测控网络的体系结构。在开发软件方面, 如 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI, HP 公司的 VEE, 微软公司的 VB、VC 等, 都有开发网络应用项目的工具包。软件是虚拟仪器开发的关键, 如 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 的功能都十分强大, 不仅使虚拟仪器的开发变得简单方便, 而且为把虚拟仪器做到网络上提供了可靠、便利的技术支持。LabWindows/CVI 中封装了 TCP 类库, 可以开发基于 TCP/IP 的网络应用。LabVIEW 的 TCP/IP 和 UDP 网络 VI 能够与远程应用程序建立通信, 其具有的 Internet 工具箱还为应用系统增加了 E-mail、FTP 和 Web 能力; 利用远程自动化 VI, 还可对控制其他设备的分散 VI 进行控制。LabVIEW6.0 中还特别增加了有网络功能, 提高了开发网络应用程序的能力。

通过采用分布对象技术如 COM/DCOM、CORBA 等技术, 国际上一些大公司如 HP、NI 等, 都相继开发出了自己的分布式测试系统, 并已在实际中得到了应用。图 1-3 是一个分布式测试系统的组成结构图。

一个分布式网络测试系统包含数据采集、数据分析和数据发布三个模块, 并分别在测量节点、测量分析服务器和测量浏览器中实现, 如图 1-3 所示。

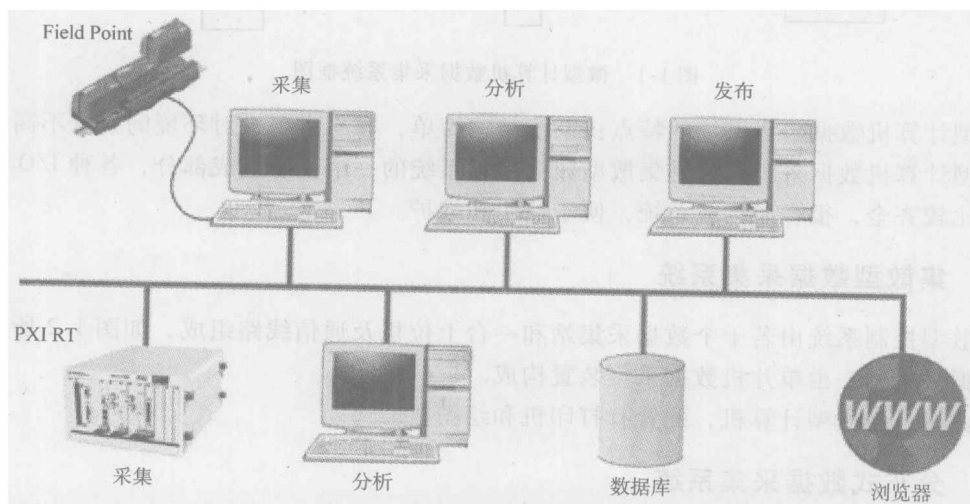


图 1-3 分布式数据采集系统框图

测量节点是能在网络中单独使用的数据采集设备。形式有数据 I/O 模块 (Field Point)、与网络相连的高速数据采集单元、连接到网络上的配置测量插卡的计算机 (PXI RT)。这些测量节点可以实现数据采集功能,并可进行一定的数据分析,将原始数据或分析后的数据信息发布到网络中。

测量分析服务器是一台网络中的计算机,它能够管理大容量数据通道、进行数据记录和数据监控,用户也可用它来存储数据并对测量结果进行分析处理。

测量浏览器是一台具有浏览功能的计算机,用来察看测量节点或测量服务器所发布的测量结果或经过分析的数据。

传统的虚拟仪器执行三个任务:采集、分析和显示。而分布式系统将这些任务在网上分布处理,用户可以在多方面提升测量和自动化系统的性能。

1.4 数据采集信号处理基础

1.4.1 信号分类

人们生活中要交换信息,认识自然要收集信息,信息通过信号来传递,信号是信息的载体、是信息的表现形式,信息是信号的内涵。

信号根据确定与否可分为确定性信号和非确定性信号两大类,确定性信号又可分为周期信号和非周期信号,非确定性信号又称为随机信号,又可分为平稳随机信号和非平稳随机信号,如图 1-4 所示。

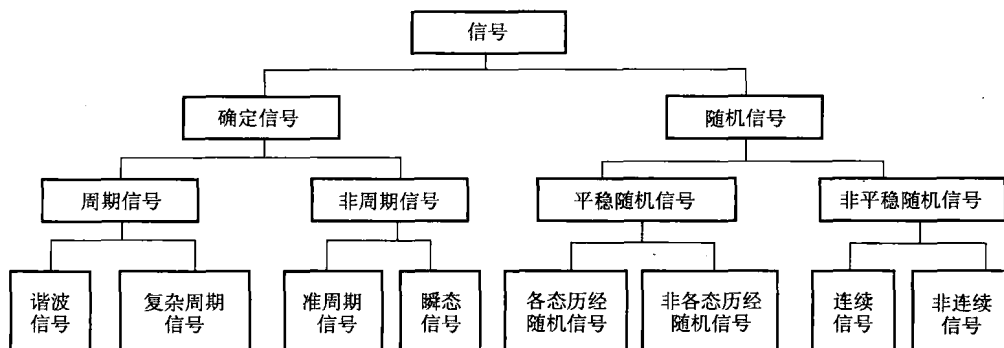


图 1-4 确定信号与随机信号

1. 按照信号特性分

(1) 确定信号:能用确定的图形、曲线、数学解析式等准确描述的信号,如正弦曲线、指数曲线等。

(2) 随机信号:不能用确定的图形、曲线、数学解析式等准确描述的信号,但它服从某种统计规律。

(3) 周期信号:按一定周期重复出现的确定信号。

(4) 非周期信号:不按固定周期重复再现的确定信号。

(5) 谐波信号:服从正弦或余弦变化规律的周期信号。

(6) 复杂周期信号:不服从正弦或余弦变化规律的周期信号。

(7) 准周期信号：由不同频率的谐波合成的信号，但没有固定周期，各谐波分量中总有一个或几个分量的频率之比为无理数。

(8) 瞬态信号：各种脉冲函数或衰减函数，其存在的时间极短。

(9) 平稳随机信号：统计特征不随时间变化。

(10) 非平稳随机信号：统计特征随时间变化。

(11) 各态历经随机信号：任一样本函数在时间历程上的概率分布都相同，可用该样本的概率信息代替随机过程的所有概率信息。

(12) 非各态历经随机信号：任一样本函数在时间历程上的概率分布不尽相同，不能用该样本的概率信息代替随机过程的所有概率信息。

(13) 连续信号：连续信号又称为模拟信号，其信号存在于整个时间范围内。

(14) 非连续信号：信号不存在于整个时间范围内，有断点。

如图 1-5 所示为周期信号的几种情况。

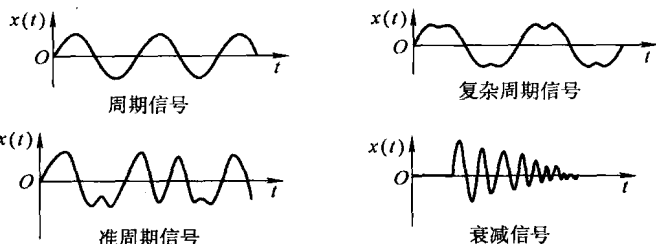


图 1-5 各种周期信号图

凡能用明确的数学关系式描述而非周期性的信号统称为非周期信号，如图 1-6 所示。非周期信号往往具备瞬变性，例如锤子的敲击力，承载缆绳断裂时的应力变化，热电偶插入加热炉小温度的变化过程等，均属于瞬变非周期信号。

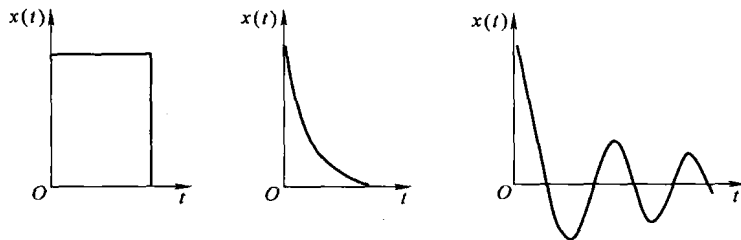


图 1-6 非周期信号

当任意频率的两个或多个（频率之比不全为有理数）正弦信号叠加起来即为“准周期”。准周期信号可用如下的时变函数表示

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

准周期信号往往出现于通信、振动系统，例如不同独立振源激起的系统响应，往往属于这一类。

随机信号不能用明确的数学关系式来描述，无法预测未来的精确值，这类信号在性质上是随机的，只能用概率术语和统计平均来描述。例如，轮机工作时所产生的振动；船舶在海洋中的漂移等。

各种动态信号究竟是确定的还是随机的，在许多场合是不同的。真正确定的信号和真正随机的信号都是不存在的。在实践中，判断信号是确定的还是随机的，通常以实验能否重复

产生这些信号为依据：如果一个实验，能够重复多次得到相同的结果（在实验误差范围内），则一般认为这些信号是确定的；如果不能设计一个实验，重复进行以后产生相同的结果，则一般认为这些信号是随机的。

非平稳随机过程包括所有不满足平稳性要求的随机过程，除非有限制。非平稳随机过程的特性一般是随时间而变化的，只能用组成过程的样本函数的总体瞬间平均来确定。在实践中，不易得到足够的样本记录来精确地测量总体平均性质。这一事实，妨碍了非平稳随机过程信号实用测量和分析技术的发展。

如果随机过程的统计特性不随时间而变化，就叫做平稳随机过程。

平稳随机过程的时间平均特性不随样本函数而变化，就叫做各态历经随机过程。

任意一个各态历经的随机过程，首先必须是平稳的，其次每个样本函数必须在概率意义上能代表其他的样本函数。从而按时间平均时，用任意一个样本函数都可以。

平稳性和各态历经性是两个不同的概念。前者表示了不同时刻总体平均之间的相互关系；后者表示了总体平均和样本函数的时间平均之间的关系。各态历过程都是平稳过程，而平稳过程不一定是各态历过程。

很多随机过程，虽然不都是严格意义上的各态历过程，但是在满足一定条件下，均可处理为各态历过程。例如，某厂生产的成千上万台同型号、同规格的产品构成了产品的“总体”，它们运行的特征参数都有各自的随机性，但只要产品符合检定规范并工作正常，在一定时间内各单台产品运行的特征参数不含有本质的差异。因此，可以对其中一台正常运行的产品，在足够长时间内进行测试，来推断产品“总体”的情况，这就给具体的检测工作带来了极大的便利。实际发生的平稳过程，很多都可认为是各态历经的。

随机过程与样本函数如下式所示

$$X[t] = \{x_1(t), x_2(t), x_3(t) \dots\}$$

对于某一时刻 t_1 , $x_i(t)$ 到底有多大是不确定的，随次数 i 而变化 $X[t_1]$ 是随机变量。

2. 按信号的记录方法分

- (1) 模拟信号。
- (2) 数字信号。
- (3) 状态信号。

3. 机电系统中涉及的信号

- (1) 几何参数：尺寸、位置、形貌等。
- (2) 负荷类参数：力、功率、压力等。
- (3) 运动参数：位移、速度、加速度等。
- (4) 状态参数：起、停、开、有、无、关等。
- (5) 其他：如图像、声音、声发射、温度、湿度。

1.4.2 信号分析

由测试所得到的信号一般都是时域信号，即时间信号（或称时域波形）。实际的时域信号往往是很复杂的，包含有确定性信号和随机信号，其中确定性信号又包含周期信号和非周期信号。直接在时域内对信号的幅值及与幅值有关的统计特性进行分析，称为信号的时域分析，这种分析具有直观感强、物理概念明确等特点，是最常用的分析方法之一。主要分析的

内容有：确定性信号幅值随时间的变化关系、随机信号幅值的统计特征分析、相关分析以及信号的积分和微分处理等。

1. 周期数字信号的幅值分析

周期数字信号幅值分析的主要内容有：均值、绝对均值、平均功率、有效值、峰值（正峰值或负峰值）、双峰值、某一特定时刻的幅值、幅值随时间的变化关系、峰值因素和波形因素等，这种分析方法主要用于谐波信号或主要成分为谐波信号的复杂周期信号。对于一般的复杂周期信号，在分析前应先进行滤波处理，得到所需分析的谐波信号。

均值是指信号中的直流分量；绝对均值反映了交变信号经全波整流后的等效直流信号，是信号强度的平均值。二者虽都是平均值，但物理意义完全不同。两种情况如下：

平均功率
$$P_{x(t)} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t)^2 dt$$

有效值
$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t)^2 dt}$$

平均功率
$$P_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2$$

有效值
$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

峰值是指分析区间内出现的最大幅值，即单峰值，可以是正峰值或负峰值的绝对值。峰值反映了信号的瞬时最大作用强度。双峰值又称峰-峰值（Peak-Peak），是指正、负峰值（最小值）间的差，它不仅反映了信号的瞬时作用强度，还反映了信号幅值的变化范围和偏离中心位置的情况。

峰值
$$x_n = \max(x_i), i = 1, 2, \dots, N$$

双峰值
$$x_{p-p} = \max(x_i) - \min(x_i), i = 1, 2, \dots, N$$

2. 随机数字信号的统计特征分析

随机数字信号为非确定性信号，任一时刻的幅值和相位是不确定的，不可能用单个幅值或峰值来描述。随机信号的主要统计特性有：均值、均方值、方差和标准差、概率密度函数、概率分布函数和自相关函数等。

(1) 信号的均值、方差与均方值分析

设有离散序列信号 $\{x_n\}, x_n = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$

1) 均值 μ_x 计算

直接算法
$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

递推算法
$$\mu_x = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^{n-1} x_i + x_n \right] = \frac{n-1}{n} \mu_x(n-1) + \frac{1}{n} x_n$$

2) 方差计算

方差 σ_x^2 是样本相对于均值波动的动态分量, 反映了随机信号的分散程度。

直接算法
$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 - \mu_x^2$$

递推算法
$$\sigma_x^2(n) = \frac{n-1}{n} \left\{ \sigma_{n-1}^2 + \frac{1}{n} [x_n - \mu_x(n-1)]^2 \right\}$$

均方差为方差的正平方根, 又称为标准差, 它具有与随机信号相同的量纲, 因此用均方差来反映随机信号的分散程度更为方便。

3) 均方值计算

随机信号的均方值 ψ_x^2 反映 x_n 相对零值的波动程度, 是信号的动态分量。

直接算法
$$\psi_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2$$

递推算法
$$\psi_x^2(n) = \frac{n-1}{n} \psi_{n-1}^2 + \frac{1}{n} x_n^2$$

(2) 概率密度分析

随机信号的概率密度函数 $p(x)$ 表示瞬时数据落在某指定范围内的概率密度, 如图 1-7 所示。

1) 基本定义

已知样本 $x(t)$, 则概率密度为

$$p(x) = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ \Delta x \rightarrow 0}} \frac{\Delta t}{T \Delta x}$$

式中 Δx ——中心值为 x 的小区间;

$\Delta t = \sum_{i=1}^m \Delta t_i$ —— $x(t)$ 落在 $\left[x - \frac{\Delta x}{2}, x + \frac{\Delta x}{2} \right]$ 区间内的时间之和。

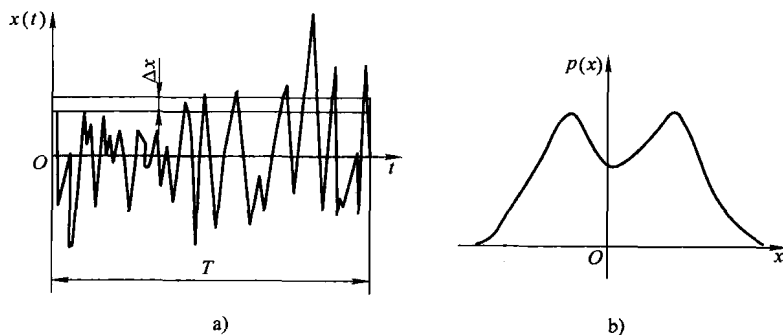


图 1-7 概率密度

a) 随机信号 b) 概率密度函数

2) 数值计算方法

已知样本 $x(t)$, 则概率密度为