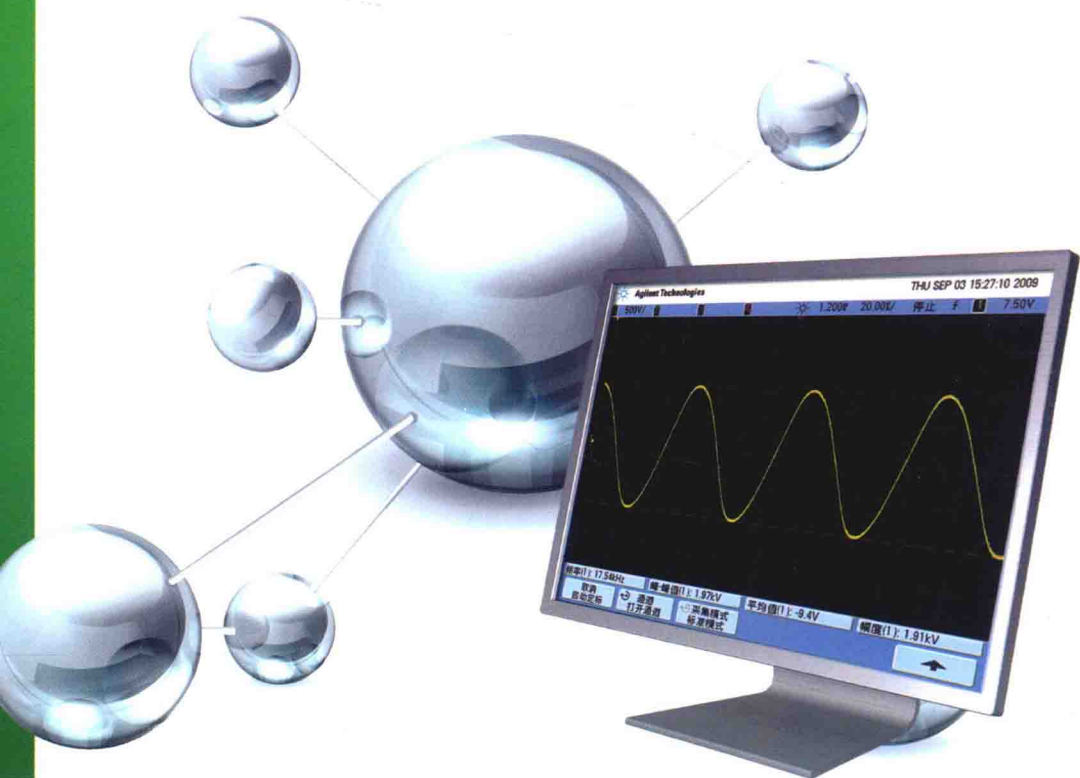


监测系统中 智能信息处理技术

于重重 谭励 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



监测系统中智能 信息处理技术

于重重 谭 励 编著



机械工业出版社

本书从实用和科研的角度出发,全面、系统地介绍了监测系统的基本内涵与体系结构、主要研究内容、研究现状及发展趋势,重点论述了监测系统中智能信息处理技术所包括的现代传感元件与感知技术、信号描述与处理技术、模式识别与分类的若干模型方法及开放式灵活的复杂监测软件架构技术。结合各章的理论与技术,给出了监测系统智能信息处理的应用案例。本书基本涵盖了当前监测系统中智能信息处理的最新技术,是理论和具体应用的有机结合。

本书可供计算机、通信、电子和自动化等专业的本科生和研究生的,以及工业监控及智能信息处理领域的研究人员和工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

监测系统中智能信息处理技术/于重重,谭励编著. —北京:机械工业出版社,2013.11

ISBN 978-7-111-44655-2

I. ①监… II. ①于…②谭… III. ①监测系统—信息处理
IV. ①X84

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第261416号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国 责任编辑:吕 潇

版式设计:霍永明 责任校对:肖 琳

封面设计:路恩中 责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013年12月第1版第1次印刷

169mm×239mm·12.25印张·254千字

0001—2500册

标准书号:ISBN 978-7-111-44655-2

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

监测系统是提高被监测对象运行的可靠性、安全性和产品质量，减少生产与使用中的维护费用的重要技术手段。而智能信息处理技术是监测系统实现的重要理论基础之一。智能信息处理技术是信号与信息技术领域一个前沿的、富有挑战性的研究方向，它以人工智能理论为基础，侧重于信息处理的智能化，包括计算机智能化（文字、图像、语音等信息智能处理）、通信智能化以及控制信息智能化等。

作者在多年从事相关研究、教学及工程应用的基础上编著本书，希望对监测系统智能信息处理方法及其应用进行系统的研究，同时为读者的研究、学习带来帮助。全书分为6章，内容安排如下：

第1章监测系统概述从传感器与数据采集、信号处理与特征生成、模式分类与预测和智能信息处理与决策软件四个方面说明目前监测系统中智能处理技术的发展现状与趋势。第2章传感器技术重点阐述监测系统中传感器的选择与应用。其中以智能传感器和无线传感器网络为例说明了新兴传感器在监测系统的研究和应用。数据采集系统是监测系统与外部世界联系的桥梁，是获取信息的重要途径，第3章数据采集与获取介绍了数据采集与获取的原则及相关技术，并以可再生资源监测子系统和输油管道检测采集子系统设计为实例，介绍了数据采集系统的实际设计。第4章时序信号处理与特征提取介绍了监测系统中的信号特点和信号预处理技术，重点介绍了监测系统中的信号特征提取技术以及特征融合技术，并通过实例说明了监测系统中的信号处理。模式识别作为数据预处理和判别决策的强有力工具，是监测系统的一个重要组成部分。第5章模式分类与预测主要介绍了模式识别与分类的概念、分类过程以及模式识别的基本原理，还介绍了有监督分类与预测、无监督分类与预测、半监督分类与预测的相关内容。第6章智能信息处理与决策软件介绍了智能信息处理与决策软件架构的先进的方法。

在本书的编写过程中，作者参考了大量国内外出版物和网上资源，在此谨向各位作者表示敬意与感谢。在编写过程中，邵军、刘宇、郭雪、王晓珏、马萌等

参与了前期的资料搜集和整理工作，付出了辛勤的劳动，在此表示诚挚的谢意。本书的完成离不开苏维均、陈秀新、杨明华等同仁的建议和帮助。本书的出版得到了北京市教委科技创新平台（PXM2011 - 014213 - 113551）的资助，在此一并感谢。

本书对监测系统智能信息处理技术进行了大量的研究工作，既包含作者自身的研究成果和实际应用案例，同时也吸收了国内外学术界和工程技术界的最新成果。但由于智能信息处理技术相关理论、技术及应用发展迅速，加之作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请专家、读者批评指正。

于重重 谭励

2013 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 监测系统概述	1
1.1 监测系统的定义与结构	1
1.2 传感器与数据采集技术	3
1.2.1 传感器技术	4
1.2.2 数据采集技术	6
1.3 信号处理与特征生成	9
1.3.1 信号处理	9
1.3.2 特征生成	10
1.4 模式分类与预测	11
1.5 智能信息处理与决策软件	15
1.6 应用案例简介	16
参考文献	20
第 2 章 传感器技术	23
2.1 传感器工作原理及分类	23
2.2 监测系统中传感器的选择要点	25
2.2.1 传感器特性分析	28
2.2.2 传感器布置	33
2.3 智能传感器概述	37
2.3.1 智能传感器的结构	39
2.3.2 智能传感器的功能	41
2.3.3 智能传感器的特点	41
2.4 无线传感器网络	43
2.4.1 基本原理	43
2.4.2 无线传感器网络节点介绍	46
2.4.3 无线传感器网络部署问题	49
2.5 应用实例	52
2.5.1 桥梁结构健康监测系统中的传感器技术	52
2.5.2 温室环境监测系统中的传感器技术	54
参考文献	57

第3章 数据采集与获取	60
3.1 数据采集子系统的设计原则	60
3.2 现场总线技术	61
3.2.1 现场总线的产生与发展	61
3.2.2 现场总线的定义	62
3.2.3 几种常见的现场总线	62
3.2.4 现场总线在工业现场中的应用	67
3.3 嵌入式系统	67
3.3.1 嵌入式系统的特点	68
3.3.2 嵌入式系统的分类	68
3.3.3 嵌入式系统的选择	70
3.3.4 几种常见的嵌入式操作系统	70
3.3.5 嵌入式操作系统的应用	73
3.4 虚拟仪器	73
3.4.1 虚拟仪器的发展	73
3.4.2 虚拟仪器的硬件系统	74
3.4.3 虚拟仪器的软件系统	75
3.4.4 LabVIEW 简介	76
3.5 应用实例	76
3.5.1 可再生能源监测子系统采集节点设计	76
3.5.2 输油管道监测采集节点设计	80
参考文献	84
第4章 时序信号处理与特征提取	86
4.1 监测系统中的信号特点分析	86
4.1.1 数据的采集	86
4.1.2 随机信号的检验	88
4.2 信号的预处理	89
4.2.1 数据剔点处理	90
4.2.2 数据滤波处理	92
4.3 信号特征提取	93
4.3.1 监测系统中常用的特征提取方法概述	93
4.3.2 时频信号分析的基本理论	95
4.3.3 小波变换	96
4.3.4 二次型时频分布	101
4.3.5 HHT - Huang 变换	102
4.4 多传感器信息融合	107

4.4.1 多传感器信息融合的分类	107
4.4.2 多传感器信息融合的系统结构	108
4.4.3 多传感器信息融合的一般方法	110
4.5 应用实例	113
4.5.1 桥梁结构健康监测系统中的振动信号的处理	113
4.5.2 输油系统奇异点的获取	121
参考文献	126
第5章 模式分类与预测	129
5.1 监测系统中的分类与预测	129
5.1.1 监测系统中的分类	130
5.1.2 监测系统中的预测	130
5.2 模式识别的基本原理	131
5.2.1 模式识别的基本概念	131
5.2.2 模式识别的系统组成	132
5.2.3 模式识别方法	132
5.2.4 监测系统中模式识别的基本步骤	133
5.3 有监督的分类与预测方法	134
5.3.1 模糊集理论	135
5.3.2 BP 神经网络	138
5.3.3 支持向量机	140
5.4 无监督的分类与预测方法	142
5.4.1 最大似然估计	142
5.4.2 SOM 网	144
5.4.3 K 近邻法	146
5.4.4 K 均值法	147
5.5 半监督的分类与预测方法	149
5.6 桥梁结构健康系统中的分类与预测	152
参考文献	154
第6章 智能信息处理与决策软件	156
6.1 复杂软件构建方法	156
6.1.1 面向对象的软件方法	156
6.1.2 面向服务的软件方法	158
6.1.3 面向 Agent 的软件方法	159
6.1.4 面向软件人的软件方法	162
6.2 实时数据处理	164
6.2.1 实时数据的定义	164

6.2.2 实时数据的采集	164
6.2.3 实时数据的融合	166
6.2.4 实时数据的存储	167
6.3 异构数据表达与管理	167
6.3.1 异构数据的特点	167
6.3.2 异构数据的转换	168
6.3.3 异构数据的集成	169
6.4 预测与决策	170
6.4.1 预测问题的描述	170
6.4.2 常用预测方法	170
6.4.3 决策分析要素与方法	174
6.4.4 多目标决策分析	176
6.4.5 模糊决策	178
参考文献	184

第 1 章

监测系统概述

从 20 世纪 80 年代开始,监测系统随着检测技术、计算机技术、控制技术、电子技术、通信技术的发展,逐步向前端一体化、采集数字化、监测网络化、系统集成化方向发展。从信息处理的角度定义监测系统的任务可以包括信息采集、信息传输和智能处理与决策几部分。本章从传感器与数据采集、信号处理与特征生成、模式分类与预测和智能信息处理与决策软件四个方面说明目前监测系统中智能处理技术发展现状与趋势。

1.1 监测系统的定义与结构

随着检测技术、计算机技术、控制技术、电子技术、通信技术等不同学科的高速发展,监测(控)系统的研究和应用空前活跃。目前在国防、通信、航空、航天、气象、交通、煤矿、环境监测、工业自动化制造等领域,监测(控)系统都起到不可忽视的作用。如管道输油输气监测系统,城市公共事业的自来水、供热监测系统,桥梁结构健康监测系统,煤炭安全生产监测与预报系统,农业精细耕作监测预报系统,地震预测、预报系统等等。

20 世纪 80 年代初,监测(控)系统开始应用于生产过程的监测,从功能上可以定义为:“测+控”,即监测各种环境安全参数、设备工况参数和过程控制参数等,并根据监测的参数控制生产设备、执行机构等。

但是随着各学科技术的发展,和应用领域的不断扩展,监测(控)系统在不同学科研究的重点各有侧重,比如测控领域对监控系统的研究重点在于现场化、网络化的分布式测控系统(Distributed Measurement and Control System,

DMCS), 并定义 DMCS 如下: 狭义的概念是指通过局域网 (Local Area Network, LAN) 的通信媒介把分布于某个区域内各测控节点、独立完成特定功能的测量设备、测量用计算机、各种传感器、控制器, 执行器等连接起来, 以达到测量资源共享、分散操作、集中管理、协同工作、负载均衡、测控结合、实时性好、测量过程和控制过程监控以及设备诊断等目的; 广义的概念包括狭义的概念在内, 而且还包括通过 Intranet (内联网) 甚至 Internet (互联网) 实现对工厂车间、生产线、现场测控设备的监视与控制等^[1]。在现代电子信息系统中, 信息采集传感器技术, 信息传递通信技术, 信息处理微处理器技术是现代电子信息技术的三大核心技术; 在计算机领域, 随着监控软件功能的复杂化和智能化, 软件复用、复杂软件建模、智能体等技术在软件构造中应用, 各种预测、评估、决策的算法也被使用。同时针对不同的应用领域, 根据监控系统服务对象的不同, 各应用领域的研究也各具特色, 比如航天和精密机械制造业目前监控系统研究的重点在了故障预测与健康管理 (Prognostic and Health Management, PHM)。PHM 是指利用尽可能少的传感器采集系统的各种数据信息, 借助各种智能推理算法 (如物理模型、神经网络、数据融合、模糊逻辑、专家系统等) 来评估系统自身的健康状态, 在系统故障发生前对其故障进行预测, 并结合各种可利用的资源信息提供一系列的维修保障措施以实现系统的视情维修^[2, 3]。在煤矿安全监控技术上, 目前监控系统研究重点在传感器无盲区布置、基于煤矿安全监控系统的瓦斯、火灾、冲击地压等煤矿重大灾害预警技术、煤矿井下人员精确定位技术、基于 3D GIS 的煤矿安全生产管理信息系统^[4]; 在公共安全防护, 智能视频监控综合了计算机技术、视频分析技术、图像处理技术等, 其中核心的部分是基于计算机视觉的视频分析技术, 主要通过计算机软件处理视频数据流并分析判断动作、时间和行为, 通过自动查找目标、自动跟踪目标、自动识别目标类型以及目标的行为等算法, 分析和抽取视频源中的关键信息, 并及时发出报警信号智能视觉监测^[5-8]; 在结构健康监测, 新型传感器技术及传感器测点优化技术、信号处理和信息提取技术、损伤识别、结构状态评价与预测方法等^[9-13]; 在精细农业种植中, 研究重点在利用无线传感网络完成农业环境监测、温室控制、节水灌溉、气象监测、产品安全与溯源、设备智能诊断管理等^[14-17]。

从智能信息处理的角度, 监测 (控) 系统可广义的定义为监测对象的数据采集、数据传输和数据综合信息处理过程, 其过程可以看作是对数据流的处理过程。主要的数据流可以分为监测数据流, 即从监测 (控) 对象到智能数据处理中心的数据流; 和控制数据流, 即从智能数据处理中心到监测对象的数据流。本书后面的内容统一使用监测系统这个定义, 重点研究监测数据采集、通信、处理

的过程中的智能信息处理技术。

根据监测系统的定义，其组成结构可以分为三大部分，如图 1-1 所示。

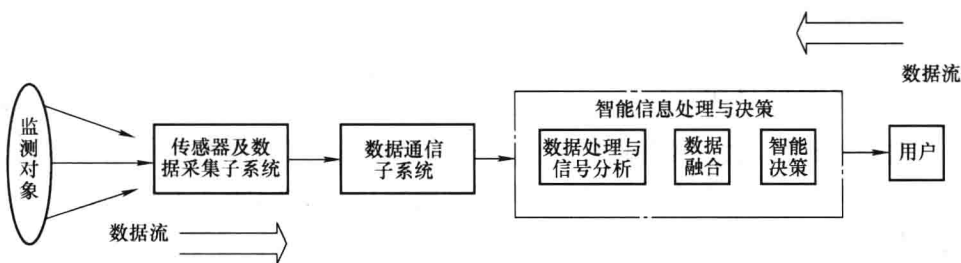


图 1-1 监测系统的组成结构

其中数据采集前端子系统包括传感器及数据采集子系统，其主要功能是利用多种传感器完成监测对象的感知和信息获取，将其转换为电信号模拟量（如电压、电流或电脉冲等），再通过适当的信号调理将信号送给模-数转换器（ADC），使其转换为可以进一步处理的数字信号送给数字信号处理器或微处理机。反之，数字信号处理器或微处理机可通过数-模转换器（DAC）将其产生的数字信号转换为模拟信号，再通过信号调理进行输出。

数据传输子系统主要是把数据采集子系统的采集数据和数据分析结果能可靠有效及时地传输给智能信息处理与决策子系统。传输子系统的传输可以选择不同方式，即有线的，如基于光纤的高速以太网；或无线的，如基于 GPRS 的无线传输。其作用是保证数据传输的可靠、准确。

智能信息处理与决策子系统其实是监测系统的数据处理中心。最早的数据处理中心只对采集的数据显示、存储和统计。但是随着技术发展和发展的需要，用户对监测系统的功能提出了新的需求，最常见的功能包括监测对象的状态评估、报警预测、决策分析等。

监测系统中智能信息处理技术的发展体现了计算机、检测、控制、通信及各应用领域不同学科技术的发展情况。本书从数据与信息流处理的角度，提取传感器与数据采集技术、信号处理与特征生成、模式分类与预测、智能信息处理与决策四个方面，从理论和应用两个角度说明监测系统中智能信息的基本原理、目前的研究状况和具体应用中需要解决的问题。

1.2 传感器与数据采集技术

在监测系统中，传感器处于研究对象与测控系统的接口位置，是感知、获取

与检测信息的窗口，监测系统要获取的信息，都要通过传感器将其转换为容易传输与处理的电信号。而监测系统中的数据采集子系统利用各种仪器设备完成各种传感器信号的采集和初步处理。

1.2.1 传感器技术

监测系统中，传感器是将物理、化学、生物等自然科学和机械、土木、化工等工程技术中的非电信号转换成电信号的换能器。在客观对象的测量、测试、检测、监测、分析、定位、跟踪、导航、制导、控制及健康管理等系统中，传感器是不可缺少的且在一定程度上是决定系统性能的重要部件^[18]。根据国家标准 GB/T 7665—2005《传感器通用术语》中传感器的定义为：能感受规定的被测量，并按照一定规律转换成可用信号的器件或装置。通常由敏感元件和转换元件组成。

传感器可从不同角度分类。从传感器的输出不同，可分为模拟信号（连续波和脉冲波）和数字信号（电压和电流）传感器。按照信息的传递方式可以分为直接型和间接型传感器。即被测的信息通过传感器直接转换成电信号的传感器称为直接型传感器，如光敏二极管将光信号直接转换成电流信号、热敏电阻将温度的变化直接转变为电阻值的变化。被测信息通过多于一次的转换才变为电信号的传感器称为间接型传感器，如压力传感器是先将压力施加于感压膜片上使其产生形变（即应变），形变引起压阻效应才使电阻值发生了变化。按传感器的检测对象分为几何机械量（例如尺寸、角度、表面参数、位移、速度、加速度、角位移、角速度等）、热工量（例如温度、压力、流量、密度、黏度、质量等）、光学量（强度、功率、波长、频率、相位、速度、脉宽、延迟、折射率、束散角等）、声学量、生物参数和医学量（生理参数）等。此外还可以根据其他的分类方法进行分类^[18, 19]。

传感技术的发展可以粗略地分为三个阶段。

第一阶段是结构型传感器、它利用结构参量变换化来感受和转化信号。例如电阻应变式传感器。

第二阶段是 20 世纪 70 年代开始发展起来的固体传感器，这种传感器由半导体、电介质、磁性材料等固体元件构成，是利用材料某些特性制成的，如利用光敏效应的光敏传感器等。70 年代后期，随着集成技术、分子合成技术、微电子技术及计算机技术的发展，出现集成传感器。集成传感器包括两种类型：传感器本身的集成化和传感器与后续电路的集成化。例如，集成温度传感器 AD590 等。这类传感器主要具有成本低、可靠性高、性能好、接口灵活等特点。

第三阶段是20世纪80年代发展起来的智能传感器。在智能传感器发展进程中,随着对智能含义理解的不断深化,各个时期给予智能传感器的定义也不断演变。智能传感器尚无公认的科学定义,但普遍认为智能传感器是由传统传感器与专用微处理器组成的。在传感器上实现智能化,使其具有自诊断功能、记忆功能。多参量测量功能以及网络通信功能等。与传统传感器相比,智能传感器具有精度高、可靠性与稳定性好、信噪比高、分辨力强、自适应性强特点。

智能传感器可分两大部分:基本传感器和信息处理单元。基本传感器是构成智能传感器的基础,其性能很大程度上决定着智能传感器的性能,由于微机械加工工艺的逐步成熟以及微处理器的补偿作用,基本传感器的某些缺陷(如输入输出的非线性)得到较大程度的改善;信息处理单元以微处理器为核心,接收基本传感器的输出,并对该输出信号进行处理,如标度变换、线性化补偿、数字调零、数字滤波等,处理工作大部分由软件完成。

智能传感器的基本结构如图1-2所示^[20]。

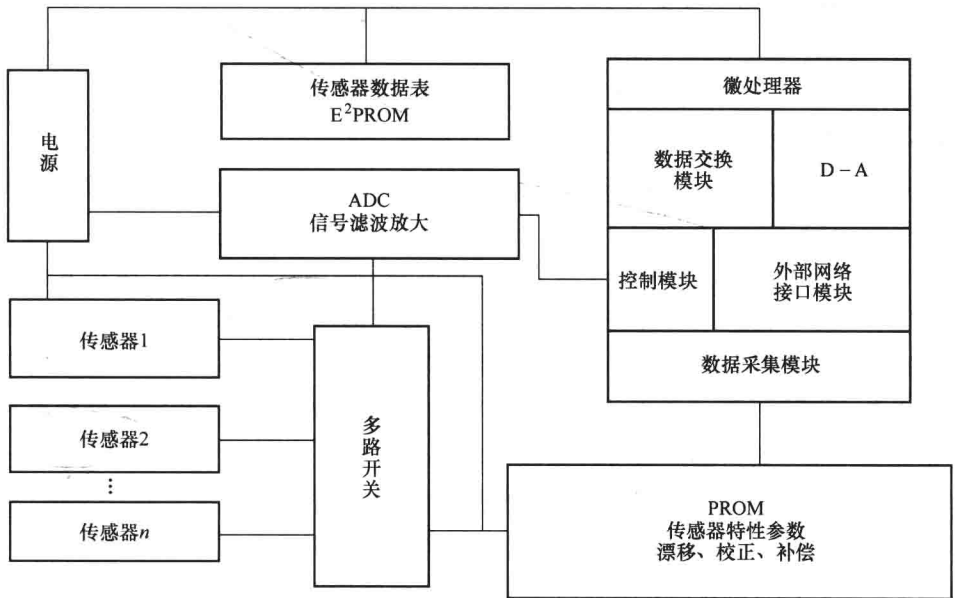


图1-2 智能传感器基本结构图

21世纪以来,网络化智能传感器得到迅速。标准网络化智能传感器以嵌入式微处理器为核心,集成了传感单元、信号处理单元和网络接口,使传感器具备自检、自校、自诊断及网络通信功能,实现信息的采集、处理和传输真正规范统一的新型网络化智能传感器。

从1993年9月开始,美国国家标准技术研究所和IEEE仪器与测量协会的传感技术委员会联合组织了智能传感器通用通信接口问题和相关标准的制定,即IEEE 1451的智能变送器接口标准(Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators)。IEEE 1451是定义了一套开放、公共、不依赖网络的通信接口以连接传感器和变送器到微处理器、测试设备以及控制/现场网络的标准。IEEE1451标准提供了有线与无线分布式监控和控制应用协议集。在IEEE1451家族中,IEEE1451.0定义了一组通用的命令用于访问传感器和变送器,连接采用各种物理配置,例如,点到点、分布式多点或是无线配置来满足各种应用需求。三种方法可访问网络中的传感器和变送器。它们是:

- 1) IEEE1451.1;
- 2) IEEE1451.0的超文本传输协议;
- 3) 建议的轻便网络服务交换器。

网络适配器和变送器接口模型的物理接口包括如下内容:

- 1) 点对点接口,满足IEEE标准1451.2 1997版;
- 2) 分布式多点连接,满足IEEE标准1451.3 2003版;
- 3) 无线接口,满足IEEE标准1451.5 2007版(无线局域网、蓝牙技术、ZigBee技术);
- 4) CAN开放接口,满足提议的IEEE标准1451.6和无线射频识别接口,满足提议的IEEE标准P1451.7。

一般情况下,变送器和信号调节和转换电路间的接口只在IEEE 1451.4中规定,IEEE 1451.4规定低层次的,混合模式的传感器接口。IEEE1451.4标准定义了传感器电气数据,但是它只处理变送器的模拟信号。为了在IEEE1451.0的环境中工作,IEEE1451.4传感器电气数据需要转化成IEEE 1451.0的传感器电气数据。

因此,IEEE1451.0标准为IEEE1451智能传感器定义了一个统一的接口。IEEE1451的主要目标是允许网络通过一套统一的接口访问标准化变送器数据。不管变送器通过有线或是无线方式连接到系统或网络。具体的体系结构如图1-3所示^[21]。

1.2.2 数据采集技术

数据采集是以前端的模拟信号处理、数字化、数字信号处理和计算机等高科技为基础而形成的一门综合技术^[22]。在监测系统中,数据采集系统一般是由传感器、现场总线、前端处理器构成。

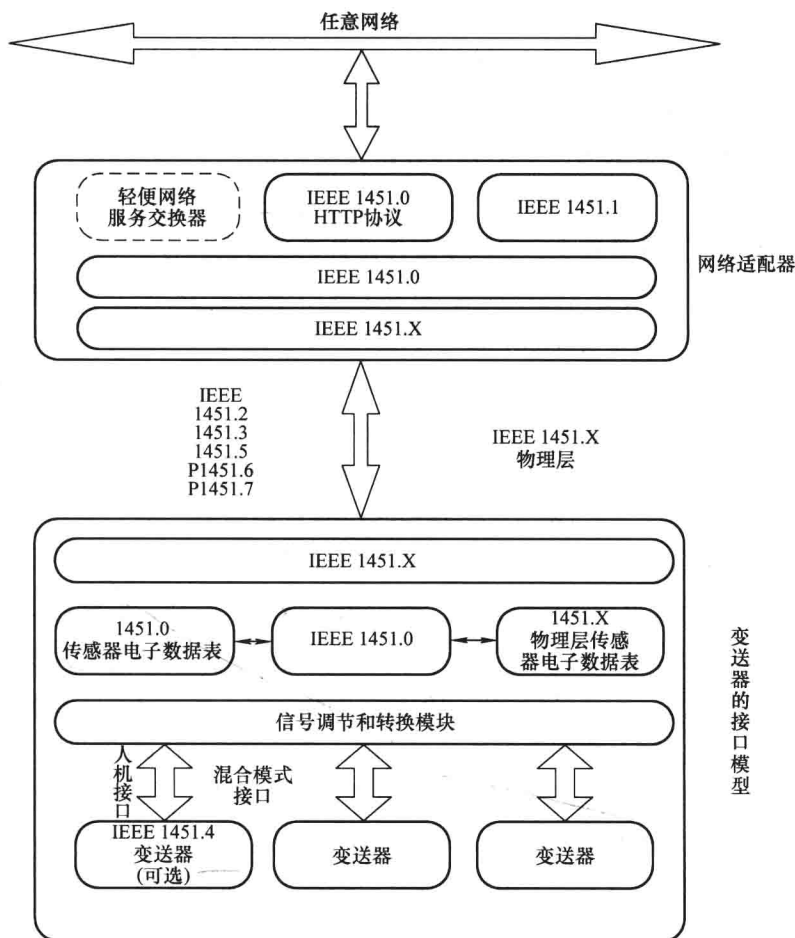


图 1-3 IEEE 1451 网络体系结构图

数据采集系统始于 20 世纪 50 ~ 60 年代，此阶段的数据采集设备和系统多属于专用的系统。从 20 世纪 70 年代起，数据采集系统发展过程中逐渐分为两类：一类是实验室数据采集系统，另一类是工业现场数据采集系统。就使用的总线而言，实验室数据采集系统多采用并行总线，工业现场数据采集系统多采用串行数据总线。

20 世纪 80 年代随着单片机与计算机的普及应用，数据采集系统主要由数据采集卡、标准总线和计算机构成。但是数据采集卡只能实现有限数量通道的数据采集，对大量的位置分散的数据进行采集，只能通过增加采集卡数量来解决。这使项目实现成本增加，系统的可靠性降低。80 年代后期，随着现场总线的崛起，数据采集系统得到迅速发展。

监测系统中,现场总线是用于连接传感器、控制器和执行器等现场设备的一种全数字化、全分散化、智能、双向、多变量、多站的通信系统。现场总线技术把模拟信号在数字化处理后,可以用数字传送方式进行传输,只需一对信号传输线就可将多个现场设备与中央控制计算机相连,并传递多种信息(不同的物理参数、不同现场设备运行状态、故障信息等)。因此现场总线控制系统的结构十分简单,设备间连接导线少,节约了硬件设备和安装维护费。

到2007年,现场总线国际标准 IEC61158 中采用了18种协议类型。较流行的现场总线主要有 CAN、LonWorks、PROFIBUS、HART、FF 等。目前随着 web 技术的发展,在上层网络方面,由于以太网的广泛使用,OPC (OLE for Process Control)、XML (Extensible Markup Language)、Java 等技术很方便地应用于现场总线系统中,各大公司也纷纷开发出了相关的网络产品,与 Internet 网络的结合也成为了新的发展方向,Internet 中成功应用的 web 技术,在工业以太网的应用研究中也不断增多。

进入21世纪以来,虚拟仪器被广泛应用在监测系统的数据采集中。虚拟仪器 (Virtual Instrument, VI) 是基于计算机系统的数字化测量测试仪器,它利用数据采集模块完成一般测量测试仪器的数据采集功能,利用计算机系统完成一般测量测试仪器的数据分析和输出显示等功能。虚拟仪器是计算机技术、现代测量技术共同发展的结晶,代表着当今仪器发展的最新趋势。LabVIEW 是虚拟仪器领域中最具有代表性的图形化编程开发平台,是目前国际上首推并应用最广的数据采集和控制开发环境之一,主要应用于仪器控制、数据采集、数据分析、数据显示等领域,并适用于不同的操作系统平台。图1-4所示为利用 LabVIEW 开发监测系统的数据采集系统的基本原理图。

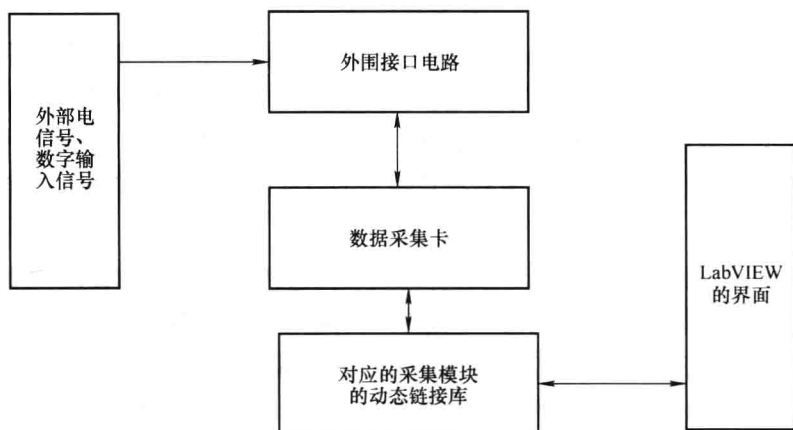


图 1-4 利用 LabVIEW 开发监测系统的数据采集系统基本框图