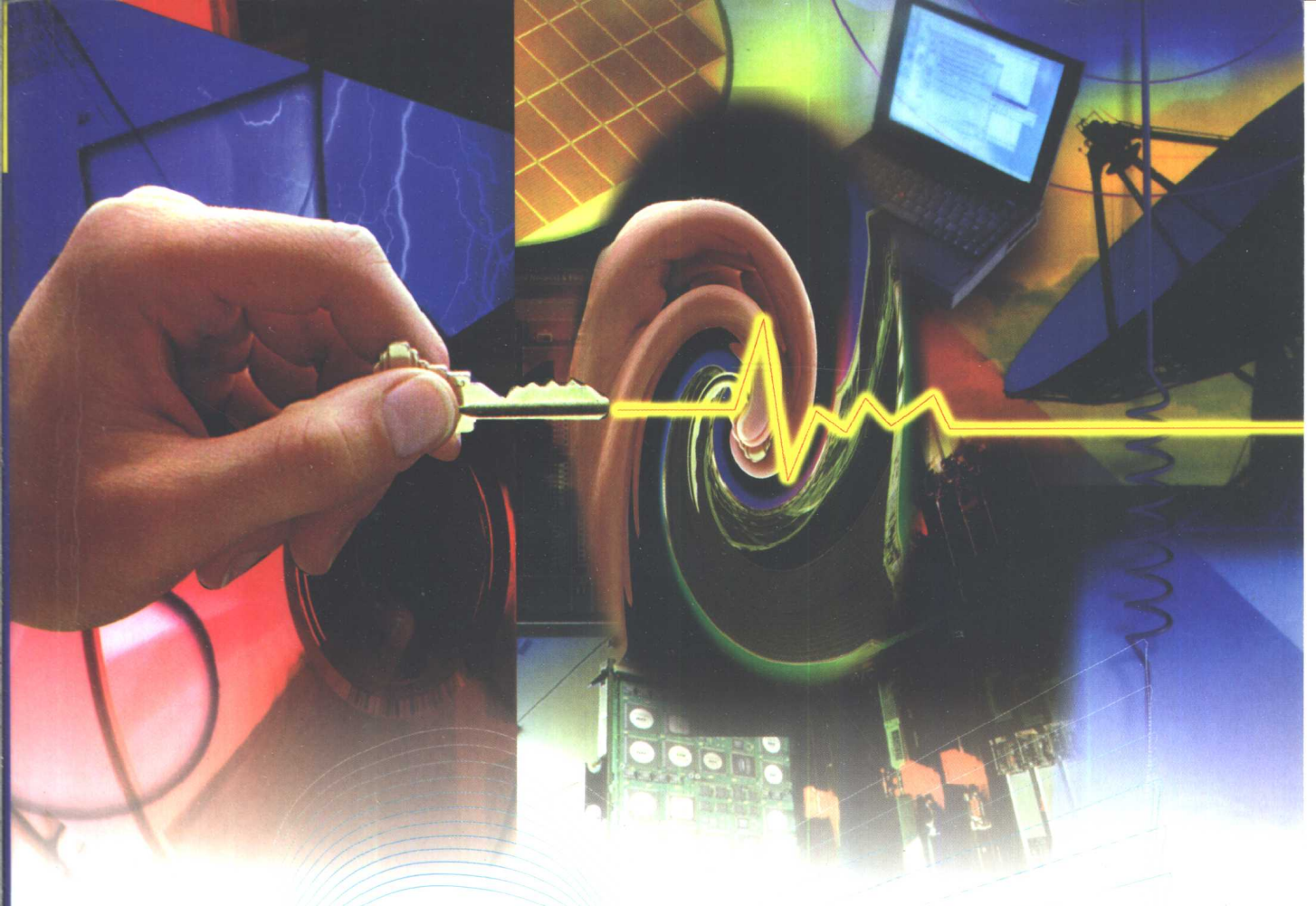




智能传感器系统

刘君华 编著

西安电子科技大学出版社

智能传感器系统

刘君华 编著

西安电子科技大学出版社

1999

内 容 简 介

智能传感器技术是一门正在蓬勃发展的涉及多种学科的现代传感器技术。本书内容广泛新颖,除了全面介绍智能传感器(系统)的概念、构成方式及其具有的功能外,还详细阐述了制作不同集成度智能传感器的集成化技术和智能化实现方法,以及基于模糊理论的新型智能传感器和已开始应用于工业自动化现场总线控制系统中的智能传感/变送器。此外,还详细介绍了日益发挥重要作用的神经网络技术。

本书内容叙述深入浅出,清晰易懂。书中列举了大量实例,以利理论联系实际,便于自学。

本书可作为大专院校师生,不同领域与部门中的科技工作者、工程技术人员学习、了解智能传感器(系统)的教学用书与自学参考书。

智能传感器系统

刘君华 编著

责任编辑 叶德福 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社

(西安市太白南路2号)

邮 编 710071

电 话 (029)8227828

经 销 新华书店

印 刷 西安市秦群印刷厂

版 次 1999年3月第1版

1999年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 26

字 数 619千字

印 数 1~4 000册

定 价 27.00元

ISBN 7-5606-0691-1/TP·0349

* * * 如有印制问题可调换 * * *

前 言

智能传感器技术是一门正在蓬勃发展的现代传感器技术，是涉及微机械与微电子技术、计算机技术、信号处理技术、电路与系统、传感技术、神经网络技术、模糊理论等多种学科的综合性技术。

在智能传感器发展进程中，由于对其“智能”含义的理解不断深化，各个时期的学者给予智能传感器的定义也随着历史的推移而演变。本书第 1 章将详细介绍智能传感器的发展概貌，如：

“把传统的传感器与微处理器集成在一块芯片上的传感器称为智能传感器”。这种说法强调的是在工艺上将传感器与微处理器二者紧密结合。关于这方面的内容主要反映在本书第 3、4 章中。

进而有“所谓智能传感器就是一种带有微处理器兼有检测和信息处理功能的传感器”的说法。这种提法突破了传感器与微处理器的结合必须在工艺上集成在一块芯片上的框框，着重于二者赋予智能的结合可以使传感器系统的功能由以往只起“信息检测”作用扩展到兼而具有“信息处理”功能。而按照传统概念，“信息处理”功能只有“仪器”才可以具有。这部分内容在本书第 5、6、9 章中详述。

再而有如 H. Schodel、E. Beniot 等人认为“一个真正意义上的智能传感器，必须具备学习、推理、感知、通讯以及管理等功能。”这种观点更强调了智能化的功能。这种功能相当于一个具备知识与经验丰富的专家的能力。然而，知识的最大特点是它所具有的模糊性，所以模糊传感器是一种新型智能传感器。有关智能传感器的通讯功能与模糊传感器的内容在本书的第 7、8 章详述。

无论怎样，智能传感器是在传统传感器技术基础上发展起来的，它与传统传感器技术仍然有着密不可分的关系（我们将在第 2 章详述）。但是，它绝不是传统观念的传感器。

为了反映智能传感器的全貌，本书共分 9 章：第 1 章，概述；第 2 章，智能传感器系统中的经典传感器技术基础；第 3 章，不同集成度智能传感器系统举例；第 4 章，智能传感器系统的集成方法与技术；第 5、6 章，智能传感器系统智能化功能的实现 I、II；第 7 章，通讯功能与总线接口；第 8 章，模糊传感器；第 9 章，人工神经网络在智能传感器系统中的应用。

为了便于广大读者更清楚地理解书中所涉及的内容，书中力求避免深奥而

又生涩的数学推导，而着重于基本概念的阐述。同时也进行必要的简明易懂的推证，以增强说理性。并列举有大量实例使其理论联系实际。书中特别注意知识层次的连贯性与系统性，在介绍智能传感器系统时有机地结合了所需的基础知识(包括经典传感器技术)，以期帮助不同领域和不同知识背景的读者，在学习时不会感到大的跳跃，而能步入发展智能传感器事业的行列。

此外，朱长纯教授参加了本书大纲编写并和博士生李炳乾参加了第4章的编写工作；博士生常炳国参加了第6、7、8、9章的编写工作；博士生刘月明参加了第3章的编写工作。在此表示感谢。

本书编写过程中承蒙陕西省计量测试研究所赵继文研究员的大力支持，并对全书提出了许多有益意见；赵维安研究员、马积勋教授以及西安电子科技大学出版社总编李荣才教授和云立实编辑也给予了热情帮助和积极支持，叶德福编审对本书做了认真细致的审读加工，在此一并表示衷心感谢。

本书应西安电子科技大学出版社之约，结合教学和科研实践而编写。由于编者水平所限，难免有不当与错误之处，恳请读者指正，不吝赐教。

编著者

1998年5月

于西安交通大学

目 录

第1章 概述	1	3.1.1 传感器的集成化	83
1.1 传感器技术发展的重要性	1	3.1.2 不同集成度智能传感器概述	85
1.2 智能传感器发展的历史背景	2	3.2 集成化智能传感器系统的初级	
1.3 智能传感器的功能与特点	5	形式举例	86
1.3.1 智能传感器的功能	5	3.2.1 单片集成式	86
1.3.2 智能传感器的特点	5	3.2.2 初级形式的混合多片集成式	105
1.4 智能传感器概念与传感器系统	6	3.3 集成化智能传感器系统的中级	
1.5 智能传感器实现的途径	7	形式举例	126
1.5.1 非集成化实现	7	3.3.1 美国霍尼韦尔公司 ST-3000	
1.5.2 集成化实现	9	系列智能变送器	126
1.5.3 混合实现	11	3.3.2 具有微处理器(MCU)的单片	
1.5.4 集成化智能传感器的几种形式	11	集成压力传感器	129
参考文献	13	3.4 集成化智能传感器系统的高级	
		形式举例	133
		3.4.1 具有多维检测能力的智能	
		传感器	133
		3.4.2 固体图像传感器(SSIS)	137
		参考文献	138
第2章 智能传感器系统中的经典		第4章 智能传感器系统的集成	
传感技术基础	14	技术	140
2.1 传感器系统的基本特性	14	4.1 集成电路的基本工艺	141
2.1.1 静态特性	15	4.1.1 晶片的制备	141
2.1.2 动态特性	20	4.1.2 外延	142
2.2 几种传感器工作原理	26	4.1.3 热氧化	143
2.2.1 结构型传感器	26	4.1.4 物理气相淀积	144
2.2.2 谐振式频率输出型传感器	45	4.1.5 化学气相淀积	145
2.2.3 CCD 图像传感器	49	4.1.6 光刻	147
2.2.4 半导体气敏传感器	55	4.1.7 刻蚀	149
2.3 提高传感器性能的技术途径	64	4.1.8 扩散	150
2.3.1 合理选择结构、参数与工艺	64	4.1.9 离子注入	151
2.3.2 基于差动对称结构的差动技术	64	4.2 典型的集成电路元件制造工艺	153
2.3.3 补偿	74	4.2.1 典型的集成电路制造流程	153
2.3.4 多信号测量法	78	4.2.2 集成电路电阻器	154
2.3.5 集成化与智能化	81	4.2.3 集成电路电容器	156
参考文献	81		
第3章 不同集成度智能传感器			
系统举例	83		
3.1 传感器的集成化与智能化的概述	83		

4.2.4	电感的制造	156
4.2.5	双极性晶体管	158
4.2.6	MOS 场效应晶体管工艺	159
4.3	微机械工艺的主要技术	161
4.3.1	SOI 晶片	162
4.3.2	硅的各向异性刻蚀技术	163
4.3.3	干法刻蚀	166
4.3.4	自致停技术	169
4.3.5	牺牲层技术	169
4.3.6	键合技术	170
4.3.7	LIGA 技术和准 LIGA 技术	172
4.4	典型微机械结构的制造	173
4.4.1	喷墨嘴	173
4.4.2	气相色谱仪	175
4.4.3	微型冷却器	176
4.4.4	微型光学调制器	176
4.4.5	微型涡轮机	177
4.4.6	半导体压力传感器	179
4.4.7	硅微加速度传感器	182
4.5	集成智能传感器系统举例	185
4.5.1	气敏传感器阵列	185
4.5.2	集成血液流量微传感器	188
4.5.3	集成加速度传感器	190
4.5.4	集成智能传感器	193
	参考文献	196

第 5 章 智能传感器系统智能化功能的实现方法(I)

5.1	非线性自校正技术	198
5.1.1	查表法	199
5.1.2	曲线拟合法	199
5.1.3	函数链神经网络法	202
5.2	自校零与自校准技术	206
5.2.1	实现自校准功能的方法之一	206
5.2.2	实现自校准功能的方法之二	208
5.2.3	实现自校准功能的方法之三	209
5.3	噪声抑制技术	211
5.3.1	滤波	211
5.3.2	相关	230
5.3.3	其它滤波技术	244
	参考文献	247

第 6 章 智能传感器系统智能化功能的实现方法(II)

6.1	自补偿	250
6.1.1	温度补偿	250
6.1.2	频率补偿	258
6.2	多传感器信息融合	264
6.2.1	二传感器信息融合	266
6.2.2	三传感器信息融合	275
6.2.3	传感器阵列信息融合	279
6.3	自选量程与增益控制	289
6.4	智能传感器的自检	291
6.4.1	ROM 自检	292
6.4.2	特殊功能寄存器自检	292
6.4.3	RAM 自检	292
6.4.4	总线自检	293
6.4.5	A/D 和 D/A 的自检	294
6.4.6	I/O 接口电路自检	295
6.4.7	插件自检	295
6.4.8	显示面板自检	295
6.5	自诊断	296
6.5.1	硬件冗余方法	296
6.5.2	解析冗余方法	297
6.5.3	人工神经网络方法	300
6.5.4	举例	308
6.6	图像处理	313
6.6.1	图像的平滑	314
6.6.2	图像的增强	315
6.6.3	图像的灰度变换	316
6.6.4	图像特征的度量和纹理分析	319
6.6.5	图像识别	319
6.6.6	图像的复原	321
	参考文献	324

第 7 章 通信功能与总线接口

7.1	现场总线控制系统中的智能传感器与现场总线	326
7.1.1	现场总线控制系统(FCS)中的传感器与仪表	326
7.1.2	现场总线控制系统中的现场总线	327
7.2	现场总线网络协议模式	329

7.2.1 应用层	330	的适应性	366
7.2.2 数据链路层	331	8.3.4 隶属函数训练算法	367
7.2.3 物理层	332	8.4 模糊传感器举例	370
7.3 几种典型现场总线标准	333	8.4.1 模糊血压传感器	371
7.3.1 BIT 总线	333	8.4.2 模糊色彩传感器	373
7.3.2 可寻址远程传感器数据通路 (HART)	333	参考文献	376
7.3.3 CAN 总线	334	第9章 人工神经网络在智能传感	
7.3.4 现场总线基金会现场 总线(FF)	334	器中的应用	377
7.3.5 局部操作网络(LONWORKS)	335	9.1 神经网络基本知识	377
7.4 现场总线智能变送器/传感器		9.1.1 人工神经网络模型	377
实例介绍	336	9.1.2 神经网络结构	379
7.4.1 现场总线压力变送器 LD302	336	9.1.3 学习与记忆	380
7.4.2 现场总线智能变送器	338	9.1.4 神经网络的信息处理功能	381
7.4.3 3051 型智能压力变送器	341	9.2 前向网络	381
7.4.4 EJA 型差压压力智能变送器	342	9.2.1 感知机	381
参考文献	344	9.2.2 BP 网络	382
第8章 智能模糊传感器	345	9.3 反馈网络	386
8.1 基础知识	346	9.3.1 Hopfield 网络结构	386
8.1.1 测量结果“符号化表示”的 概念	346	9.3.2 Hopfield 神经网络 A/D 变换器	386
8.1.2 符号测量系统——符号 传感器(系统)	347	9.4 神经网络在智能传感器中的应用	388
8.1.3 模糊集合理论基本概念	350	9.4.1 纸浆浓度传感器非线性估计 和动态标定的神经网络实现	388
8.2 模糊传感器基本概念、功能及 结构	358	9.4.2 神经网络在监测材料损伤中 的应用	390
8.2.1 模糊传感器的基本概念	358	9.4.3 神经网络滤波	393
8.2.2 模糊传感器的功能	358	9.4.4 神经网络实现微弱信号提取	397
8.2.3 模糊传感器的结构	359	9.4.5 基于神经网络的传感器静态 误差综合修正法	398
8.3 模糊传感器语言概念的产生办法	363	9.4.6 基于神经网络的三传感器 数据融合处理法(消除两个 非目标参量的影响)	400
8.3.1 通过语义关系产生概念	363	参考文献	406
8.3.2 插值法产生概念	365		
8.3.3 模糊传感器对测量环境			

第 1 章

概 述

本章内容

- 传感器技术发展的重要性
- 智能传感器发展的历史背景
- 智能传感器的功能与特点
- 智能传感器概念与传感器系统
- 智能传感器实现的途径

通过对传感器技术发展的重要性与历史背景的概述和回顾，可以看到发展智能传感器是历史的必然。

同时全面概述了智能传感器的功能、特点、概念与实现的途径。

1.1 传感器技术发展的重要性

传感器是获取信息的工具。传感器技术是关于传感器设计、制造及应用的综合技术。它是信息技术(传感与控制技术、通讯技术和计算机技术)的三大支柱之一。

传感器的应用遍及军事、科研、工业、农业、商业、交通、环保、医疗、卫生、气象、海洋、航空、航天、家用电器……各个领域与部门。它是生产自动化、科学测试、计量核算、监测诊断等系统中不可缺少的基础环节。

由于传感器技术的重要性，80 年代以来国际上出现了“传感器热”。日本把传感器技术列为 80 年代十大技术之首，美国把传感器技术列为 90 年代 22 项关键技术之一，英国传感器销售额 1990 年比 1980 年增长 24 倍。传感器技术之所以受到如此看重并获得极为迅速发展的原因是：

- 微型计算机的普及、信息处理技术的飞速发展，而获取信息的工具——传感器处于

明显落后的拖后腿的状态，形成推动传感器技术发展的动力。

• 广阔的市场与强烈的社会需求是传感器技术发展的又一强劲推动力。传感器的销售值反映一个国家科技发达与社会进步的程度。80 年代，日本、西欧市场传感器销售值年增长率为 30%~40%，90 年代，全世界年增长率预计为 8.8%。90 年代以来各方面对传感器的需求也越来越强烈。据预测，90 年代我国国内市场所需各类传感器的形势是：

电力系统	140 万件；
化工系统	80 万件；
钢铁系统	130 万件
能源管理与炉窑控制	4 000 万件；
汽车行业	4 400 万件；
机床行业	1 500 万件；
文化办公机械	200 万件；
各类仪器仪表	3 亿件。

由于传感器的使用，使生产工艺过程的控制和产品性能的检测才有保证，所以它是提高产品竞争力的强有力的手段，是获得经济效益的有效途径。据有关资料介绍，全美电站有关数据表明，如果主汽流量测量精度改善 1%，电站的燃烧成本(热效率)将会改善 1%，每年可节约 3 亿美元；若传感器及其测量仪表可利用率提高 1%，则每年可节约 30 亿美元；美国的电站采用了先进的传感器和控制技术后，使全美经济每年获益达 110 亿美元之多。因此，甚至有“谁掌握和支配了传感器技术谁就能够支配新时代”的说法。

1.2 智能传感器发展的历史背景

作为获取信息工具的传感器，它位于信息系统的最前端。其特性的好坏、输出信息的可靠性对整个系统质量至关重要。因此，传感器的性能必须适应系统使用的要求。

环顾自动化系统对传感器的要求，对了解智能传感器提出的背景是很有益处的。

自动化系统对传感器最基本的，而且又是最急切的要求是：降低现行传感器的价格性能比。

我们知道，每种现代自动化过程，都包括有如图 1-1 所示的三种主要功能块：执行器、计算机(或微处理器)及传感器。传感器时时检测“对象”的状态及其相应的物理参量，并及时馈送给计算机；计算机相当于人的大脑，经过运算、分析、判断，根据“对象”状态偏

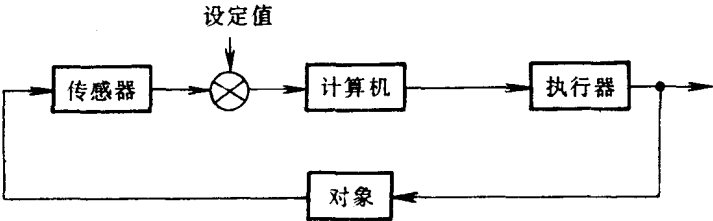


图 1-1 自动化(控制)系统框图

离设定值的方向与程度，对执行器下达修正动作的命令；执行器相当于人的手脚，按大脑的命令对“对象”进行操作。如此反复不止，以使“对象”在允许的误差范围内维持在所设定的状态。

透视人类自动化的历史进程，我们看到：

首先，人们发展了执行器：通过制造人造工具——执行器，如水磨，以扩大机械动力；待蒸汽机出现，导致了“工业革命”。

然后，计算机的出现，通过扩展计算机程序的“智能”，产生了“信息革命”。

现在，人们正在通过应用传感器来扩展“感觉”，去获得信息数据，以便校正自动化过程中的偏差，并能根据各种情况的变化作出实时正确的处理。

在控制环路中，只有当三个功能块都经济耐用时，才可能实现工业现场的许多工作不是由人工去做，而是由自动化机械或机器人来做，甚至家务工作也可如此。这种标志人类生活主要变化的时代就叫“自动化时代”。我们人类正面临着“自动化革命”时代的到来。但是传感器技术发展方面的落后不利于自动化的进程。

从图 1-2 中我们可以看到，若以 1970 年的价格性能比为 1 时，1990 年的价格性能比是：执行器（以电动机为例）为 $1/10$ ，计算机为 $1/1000$ ，传感器为 $1/3$ 。其中，以计算机的价格性能比下降幅度最为惊人。这是由于半导体集成电路工艺的迅速发展，使大规模集成电路芯片制作成本大幅度降低的结果。相对而言，传感器的价格性能比居高不下，与其它两个功能块的发展形势不相适应。

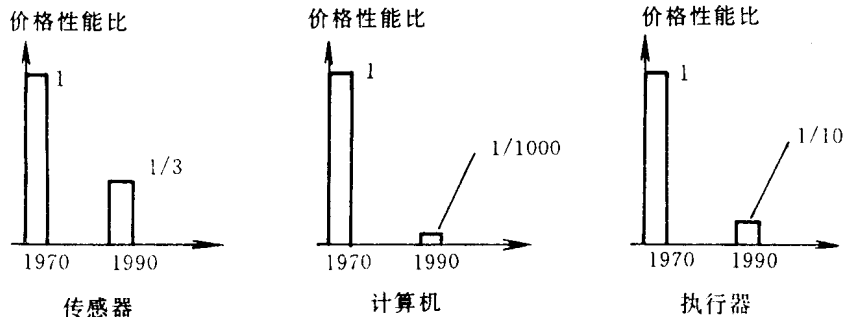


图 1-2 传感器、计算机及执行器的价格性能比

然而，传统的传感器技术已达到其技术极限。它的价格性能比不可能再有大的下降。它在以下几方面存在严重不足：

- 因结构尺寸大，而时间（频率）响应特性差；
- 输入—输出特性存在非线性，且随时间而漂移；
- 参数易受环境条件变化的影响而漂移；
- 信噪比低，易受噪声干扰；
- 存在交叉灵敏度，选择性、分辨率不高。

以上不足是传统传感器性能不稳定、可靠性差、精度低的主要原因。它的“手工艺品”式的制作过程，制作材料的多品种、性能高的要求，是成本价格高的原因。

自动化系统对传感器的进一步的,而且又是急切的要求是:增加品种、减小体积和重量。

随着自动化领域不断扩展,需要测量的参量日益增加,而且一些特殊领域进而需要传感器小型化和轻量化。如像在线监测量,除了温度、压力、流量等热工参量外,还迫切需要监测机械振动参量,以及化学成分与物理成分;在线监测电站每一个燃烧器的煤粉量和一次风量,……不可胜数。

特别是由于自动控制系统的飞速发展,对传感器进一步提出了数字化、智能化、标准化的紧迫需求。

生产过程自动化在经历了 50 年代和 60 年代的集中控制,70 年代的分散型控制系统(DCS)之后,为适应多点多参数日益复杂的大型控制系统的需要,80 年代以来出现了基于现场总线的开放型控制系统(FCS)。它是对分散型控制系统(DCS)的继承、完善和进一步发展,是继 DCS 之后自动化领域的又一次重大变革。

现场总线是连接测控系统中各智能装置(包括智能传感器)的双向数字通信网络。其主要特点是:

1. 传输数字信号

用数字信号取代原来的 4~20 mA 标准模拟信号,进而提高可靠性和抗干扰能力。这就要求传感器由可输出 4~20 mA 标准信号的变送器改变为带数字总线接口并输出数字信号。所有现场传感器,通过数字总线接口都方便地挂接在一条环形现场总线上。这样可以大大削减现场与控制室(高/上位计算机)之间一对一的连接导线,节约初期安装费用,大大简化整个系统的布线 and 设计。这种节约对一个大型、多点测量系统是很有意义的,譬如:

一个电站	需要 5 000 台传感器及其仪表;
一个钢铁厂	需要 2 万台传感器及其仪表;
大型石油化工厂	需要 6 000 台传感器及其仪表;
大型发电机组	需要 3 000 台传感器及其仪表;
一部汽车	需要 30 至 100 台传感器;
一架飞机	需要 3 600 台传感器;
⋮	

2. 标准化

总线采用统一标准,使系统具有开放性。不同厂家的产品,在硬件、软件、通信规程、连接方式等方面互相兼容、互换联用,既方便用户使用,又易于安装维修。不少大公司都推出了自己的现场总线标准。国际化的统一标准的工作正在加紧进行中。

3. 智能化

采用智能与控制职能分散下放到现场装置的原则,现场总线网络的每一节点处安装的现场仪表应是“智能”型的,即安装的传感器应是“智能传感器”。在这种控制系统中,智能型现场装置是整个控制管理系统的主体。这种基于现场总线的控制系统,要求必须使用智能传感器,而不是一般传统的传感器。

智能传感器代表了传感器的发展方向,这种智能传感器带有标准数字总线接口,能够自己管理自己。它将所检测到的信号经过变换处理后,以数字量形式通过现场总线与高/上位计算机进行信息通信与传递。

所以，智能传感器是应现代自动化系统发展的需要而提出来的，是传感技术克服自身落后向前发展的必然趋势。

1.3 智能传感器的功能与特点

1.3.1 智能传感器的功能

概括而言，智能传感器的主要功能是：

- (1) 具有自校零、自标定、自校正功能；
- (2) 具有自动补偿功能；
- (3) 能够自动采集数据，并对数据进行预处理；
- (4) 能够自动进行检验、自选量程、自寻故障；
- (5) 具有数据存储、记忆与信息处理功能；
- (6) 具有双向通讯、标准化数字输出或者符号输出功能；
- (7) 具有判断、决策处理功能。

1.3.2 智能传感器的特点

与传统传感器相比，智能传感器的特点是：

1. 精度高

智能传感器有多项功能来保证它的高精度，如：通过自动校零去除零点；与标准参考基准实时对比以自动进行整体系统标定；自动进行整体系统的非线性等系统误差的校正；通过对采集的大量数据的统计处理以消除偶然误差的影响；……从而保证了智能传感器有高的精度。

2. 高可靠性与高稳定性

智能传感器能自动补偿因工作条件与环境参数发生变化后引起系统特性的漂移，如：温度变化而产生的零点和灵敏度的漂移；在当被测参数变化后能自动改换量程；能实时自动进行系统的自我检验，分析、判断所采集到的数据的合理性，并给出异常情况的应急处理(报警或故障提示)。因此，有多项功能保证了智能传感器的高可靠性与高稳定性。

3. 高信噪比与高的分辨力

由于智能传感器具有数据存储、记忆与信息处理功能，通过软件进行数字滤波、相关分析等处理，可以去除输入数据中的噪声，将有用信号提取出来；通过数据融合、神经网络技术，可以消除多参数状态下交叉灵敏度的影响，从而保证在多参数状态下对特定参数测量的分辨能力，故智能传感器具有高的信噪比与高的分辨力。

4. 强的自适应性

由于智能传感器具有判断、分析与处理功能，它能根据系统工作情况决策各部分的供电情况、与高/上位计算机的数据传送速率，使系统工作在最优低功耗状态和优化传送数率。

5. 低的价格性能比

智能传感器所具有的上述高性能,不是像传统传感器技术追求传感器本身的完善、对传感器的各个环节进行精心设计与调试、进行“手工艺品”式的精雕细琢来获得,而是通过与微处理器/微计算机相结合,采用廉价的集成电路工艺和芯片以及强大的软件来实现的,所以具有低的价格性能比。

由此可见,智能化设计是传感器传统设计中的一次革命,是世界传感器的发展趋势。作为商品,在80年代初期有美国霍尼韦尔公司的压阻式ST-3000型压力(差)智能变送器。后有益于现场总线控制系统中的智能传感/变送器,如:美国SMAR公司生产的LD302系列电容式智能压力(差)变送器;美国罗斯蒙特公司生产的电容式智能压力(差)变送器系列;日本横河电气株式会社生产的谐振式EJA型智能压力(差)变送器。此外,世界各国正在利用计算机和智能技术研究、开发各种其它类型的智能传感/变送器,如智能气体传感器。

1.4 智能传感器概念与传感器系统

传感器本身是一个系统,随着科学技术的发展,这个系统的组成与研究内容也在不断更新。人们提出“传感器系统”,是因为当前世界传感技术发展的重要趋势就是传感器系统的发展。所谓传感器系统,简单地讲就是传感器、计算机和通讯技术的结合,而智能传感器系统与微传感器系统是其中的两个主要研究方向。前者着重点在如何赋予传感器系统以“智能”;后者以实现微小结构为主要目标。

智能传感器系统是一门现代综合技术,是当今世界正在迅速发展的高新技术,至今还没有形成规范化的定义。早期,人们简单、机械地强调在工艺上将传感器与微处理器两者紧密结合,认为“传感器的敏感元件及其信号调理电路与微处理器集成在一块芯片上就是智能传感器”。

随着以传感器系统发展为特征的传感技术的发展,人们逐渐发现将传感器与微处理器集成在一块芯片上构成智能传感器,在实际中并不总是必需的,而且也不经济;重要的是传感器(通过信号调理电路)与微处理器/微型计算机赋以智能的结合。若没有赋予足够的“智能”的结合,只能说是“传感器微机化”,还不能说是智能传感器。于是进而认为“所谓智能传感器,就是一种带有微处理器兼有检测信息和信息处理功能的传感器”、“传感器(通过信号调理电路)与微处理器赋予智能的结合,兼有信息检测与信息处理功能的传感器就是智能传感器”。这些提法突破了传感器与微处理器结合必须在工艺上集成在一块芯片上的框框,而着重于两者赋予智能的结合可以使传感器系统的功能由以往只起“信息检测”作用扩展到兼而具有“信息处理”功能。而传统观念认为,仪器系统是执行信息处理任务的,即将有用信息从含有噪声的输入信号中提取出来,并给以显示的装置。也就是说,“信息处理”功能仅属于“仪器”所有。目前,把一个大的仪器系统与敏感元件采用微机械加工与集成电路微电子工艺压缩后,共同装在一个小外壳里构成的智能传感器系统在工艺上已经实现,如在本书3.3.2节中介绍的“具有微处理器(MCU)的单片集成压力传感器”。

另一方面,工业现场总线控制系统中的传感/变送器,都是带微处理器的智能传感/变

送器。它们是形体较大的装置，既不是仅有获取信息功能的那种传统传感器，也不是只有信息处理功能的那种传统仪器。因此，传统的传感器与仪器的那种“森严壁垒”的、“不可逾越”的界线正在消失。智能传感器系统是既有获取信息的功能又有信息处理的功能的传感器系统。

H. Schodel, E. Beniot 等人更进一步强调了智能化功能，认为“一个真正意义上的智能传感器，必须具备学习、推理、感知、通讯以及管理等功能”。这种功能相当于一个具备知识与经验丰富的专家的能力。然而，知识的最大特点是它所具有的模糊性。80 年代末，L. Foulloy 在他的论文“An Ultrasonic Fuzzy Sensor”中提出了模糊传感器概念，他认为“模糊传感器是一种能够在线实现符号处理的智能传感器”；D. Stipanicer 也认为“模糊传感器是一种智能测量设备”。当然，这种智能传感器也不是全集成化的。

关于智能传感器的中、英文称谓，目前也尚未统一。John Brignell 和 Nell White 认为“Intelligent Sensor”是英国人对智能传感器的称谓，而“Smart Sensor”是美国人对智能传感器的俗称。而 Johan H. Huijsing 在“Integrated Smart Sensor”一文中按集成化程度的不同，分别称为“Smart Sensor”、“Integrated Smart Sensor”。对“Smart Sensor”的中文译名有译为“灵巧传感器”的，也有译为“智能传感器”的。本书采用智能传感器系统(Intelligent Sensor System)的称谓，简称智能传感器(Intelligent Sensor)，并且认为：“传感器与微处理器赋予智能的结合，兼有信息检测与信息处理功能的传感器就是智能传感器(系统)”；模糊传感器也是一种智能传感器(系统)，将传感器与微处理器集成在一块芯片上是构成智能传感器(系统)的一种方式。

1.5 智能传感器实现的途径

目前传感技术的发展是沿着三条途径实现智能传感器的。

1.5.1 非集成化实现

非集成化智能传感器是将传统的经典传感器(采用非集成化工艺制作的传感器，仅具有获取信号的功能)、信号调理电路、带数字总线接口的微处理器组合为一整体而构成的一个智能传感器系统。其框图如图 1-3 所示。

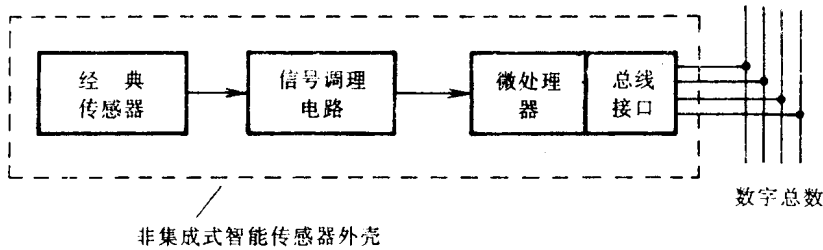


图 1-3 非集成式智能传感器框图

图 1-3 中的信号调理电路是用来调理传感器输出的信号的，即将传感器输出信号进

行放大并转换为数字信号后送入微处理器，再由微处理器通过数字总线接口挂接在现场数字总线上。这是一种实现智能传感器系统的最快速径与方式。例如美国罗斯蒙特公司、SMAR 公司生产的电容式智能压力(差)变送器系列产品，就是在原有传统式非集成化电容式变送器基础上附加一块带数字总线接口的微处理器插板后组装而成的。并开发配备可进行通讯、控制、自校正、自补偿、自诊断等智能化软件，从而实现智能传感器。

这种非集成化智能传感器是在现场总线控制系统发展形势的推动下迅速发展起来的。因为这种控制系统要求挂接的传感器/变送器必须是智能型的，对于自动化仪表生产厂家来说，原有的一整套生产工艺设备基本不变。因此，对于这些厂家而言非集成化实现是一种建立智能传感器系统最经济、最快捷的途径与方式。

另外，近 10 年来发展极为迅速的模糊传感器也是一种非集成化的新型智能传感器。

模糊传感器是在经典数值测量的基础上，经过模糊推理和知识合成，以模拟人类自然语言符号描述的形式输出测量结果。显然，模糊传感器的核心部分就是模拟人类自然语言符号的产生及其处理。

模糊传感器的“智能”之处在于：它可以模拟人类感知的全过程。它不仅具有智能传感器的一般优点和功能，而且具有学习推理的能力，具有适应测量环境变化的能力，并且能够根据测量任务的要求进行学习推理。另外，模糊传感器还具有与上级系统交换信息的能力，以及自我管理和调节的能力。通俗地说，模糊传感器的作用应当与一个具有丰富经验的测量工人的作用是等同的，甚至更好。

图 1-4 是模糊传感器的简单结构和功能示意图。其中，经典数值测量单元不仅提取传感信号，而且对其进行数值预处理，如滤波、恢复信号等等。符号产生和处理单元是模糊传感器的核心部分，它利用已有的知识或经验(通常存放在知识库中)，对已恢复的传感信号进一步处理，得到符合客观对象的拟人类自然语言符号的描述信息。其实现方法是利用数值模糊化方法，得到符号测量结果。符号处理则是采用模糊信息处理技术，对模糊化后得到的符号形式的传感信号，结合知识库内的知识(主要有模糊判断规则，传感信号特征，传感器特性及测量任务要求等信息)，经过模糊推理和运算，得到被测量的符号描述结果及其相关知识。当然，模糊传感器可以经过学习新的变化情况(如任务发生改变，环境变化等等)来修正和更新知识库内的信息。

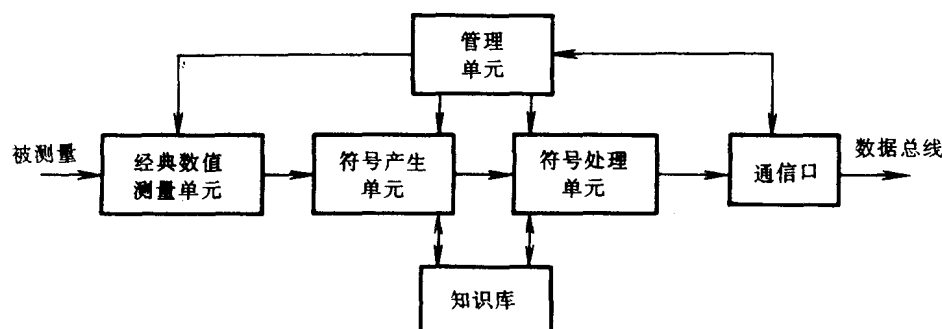


图 1-4 模糊传感器的简单结构示意图

模糊传感器的构成有两部分——硬件层和软件层。模糊传感器的突出特点是其具有丰富强大的软件功能。模糊传感器与一般的基于计算机的智能传感器的根本区别在于模糊传感器具有实现学习功能的单元和符号产生、处理单元。它能够实现专家指导下的学习和符号的推理及合成,从而使模糊传感器具有可训练性。经过学习与训练,使得模糊传感器能适应不同测量环境和测量任务的要求。因此,实现模糊传感器的关键就在于软件功能的设计。

1.5.2 集成化实现

这种智能传感器系统是采用微机械加工技术和大规模集成电路工艺技术,利用硅作为基本材料来制作敏感元件、信号调理电路、微处理器单元,并把它们集成在一块芯片上而构成的。故又可称为集成智能传感器(Integrated Smart/Intelligent Sensor)。其外形如图1-5所示。

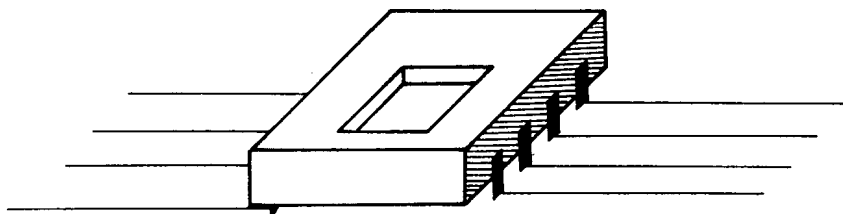


图1-5 集成智能传感器外形示意图

随着微电子技术的飞速发展,微米/纳米技术的问世,大规模集成电路工艺技术的日臻完善,集成电路器件的密集度越来越高。它已成功地使各种数字电路芯片、模拟电路芯片、微处理器芯片、存储器电路芯片……的价格性能比大幅度下降。反过来,它又促进了微机械加工技术的发展,形成了与传统的经典传感器制作工艺完全不同的现代传感器技术。

现代传感器技术,是指以硅材料为基础(因为硅既有优良的电性能,又有极好的机械性能),采用微米($1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$)级的微机械加工技术和大规模集成电路工艺来实现各种仪表传感器系统的微米级尺寸化。国外也称它为专用集成微型传感技术(ASIM)。由此制作的智能传感器的特点是:

1. 微型化

微型压力传感器已经可以小到放在注射针头内送进血管测量血液流动情况,装在飞机或发动机叶片表面用以测量气体的流速和压力。美国最近研究成功的微型加速度计可以使火箭或飞船的制导系统质量从几公斤下降至几克。

2. 结构一体化

压阻式压力(差)传感器是最早实现一体化结构的。传统的做法是先分别由宏观机械加工金属圆膜片与圆柱状环,然后把二者粘贴形成周边固支结构的“金属杯”,再在圆膜片上粘贴电阻变换器(应变片)而构成压力(差)传感器,这就不可避免地存在蠕变、迟滞、非线性特性。采用微机械加工和集成化工艺,不仅“硅杯”一次整体成型,而且电阻变换器与硅杯是完全一体化的。进而可在硅杯非受力区制作调理电路、微处理器单元,甚至微执行器,