



智能传感器 原理、设计与应用

何金田 刘晓旻 主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

智能传感器原理、设计与应用

何金田 刘晓旻 主 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

智能传感器技术是一门正在蓬勃发展的涉及多学科的现代传感器技术。本书除了全面介绍智能传感器(系统)的概念、构成方式及功能,还详细阐述了智能传感器常用典型智能算法和实现智能化的方法,对新型的模糊传感器、网络传感器、微传感器、虚拟传感器、软传感器、仿生传感器、嵌入式传感器、分布式传感器及阵列式传感器等几种智能传感器的工作原理和构成做了详细介绍,对每一种智能传感器都列举了设计和应用的实例。

本书内容丰富、新颖,反映了该领域前沿的最新技术,既具有先进性又具有实用性;文字简洁、深入浅出,便于自学。本书可作为高等院校研究生教材,也可作为从事科学研究、工程实验的科研工作者及工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能传感器原理、设计与应用 / 何金田, 刘晓旻主编. —北京: 电子工业出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-121-15383-9

I. ①智… II. ①何… ②刘… III. 智能传感器基本知识 IV. ①TP212.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 252606 号

策划编辑: 董亚峰

责任编辑: 贾晓峰 特约编辑: 高月敏

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 22 字数: 563 千字

印 次: 2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

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。自从世界上出现第一台智能传感器以来，在几十年的时间里，伴随着计算机技术、通信技术、半导体技术、材料科学技术和 MEMS 技术等的发展，智能传感器技术取得了令人瞩目的发展。在高等学校里，本科生传感器原理类课程的教学早已得到普及，为了适应研究生教学的需要，我们根据教学和科研实践，编写了智能传感器原理、设计及应用的教材。

全书共 11 章。在第 1 章绪论中介绍了智能传感器（系统）的概念、构成方式及其功能和发展趋势；第 2 章、第 3 章全面阐述了智能传感器常用典型智能算法和实现智能化的常用方法；第 4 章概述智能传感器软、硬件的设计方法；第 5 章~第 11 章分别对模糊传感器、网络传感器、微传感器、虚拟传感器、软传感器、仿生传感器及嵌入式传感器、分布式传感器、阵列式传感器等几种新型的智能传感器的工作原理和构成做了介绍，对每一种智能传感器都列举了设计和应用的实例。

本书在介绍智能传感器系统时，既注重智能传感器系统的现状和发展，又保证内容的先进性、科学性、系统性；同时，专门用两章介绍智能传感器常用典型智能算法和实现智能化的方法，在此基础上讨论各类智能传感器，把智能传感器本身和所需理论基础有机地结合起来；书中列举了大量的反映智能传感器系统设计思想和实际结构的例题，以加深读者对理论的理解；对将会彻底改变人们的生产和生活方式并有无限发展潜力的物联网的概念、功能和应用，在有关章节做了相应的介绍。

本书由郑州大学何金田（第 1、第 11 章）、刘晓旻（第 7、第 8 章）担任主编，其他参加编写的人员有裴红星（第 3、第 4 章）、李磊（第 2、第 10 章）、张晓芳（第 5、第 6 章）、李苏贵（第 9 章）。全书由何金田统稿。硕士研究生鲁旭参与了部分绘图工作。

全书由郑州大学博士生导师赵书俊教授审阅，为本书提了不少建议。另外，本书在编写过程中引用了兄弟院校的教材和相关文献，在出版过程中董亚峰编辑也给予了许多帮助，在此一并表示感谢。

由于智能传感器系统的内容涉及面广，受编者的知识和经验所限，书中难免存在不足和错误，恳请广大读者批评指正。

何金田
2011 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 传统传感器与智能传感器	1
1.1.1 传感器的定义	1
1.1.2 传感器的结构	1
1.1.3 传统传感器的发展趋势	2
1.2 智能传感器的概念	4
1.2.1 智能传感器的基本功能	4
1.2.2 智能传感器的特点与分类	5
1.3 智能传感器系统的基本组成	7
1.4 智能传感器实例——智能式应力传感器	7
1.5 智能传感器的发展趋势	9
1.5.1 采用新机理、新材料、新技术、新工艺	10
1.5.2 传感器微型化技术和低功耗技术	10
1.5.3 智能信息处理技术	11
1.5.4 网络化智能传感器技术	12
思考题与习题	12
第 2 章 典型智能算法及其应用	13
2.1 智能算法概述	13
2.2 智能算法的特点及发展	13
2.3 回归分析	14
2.3.1 回归分析概述	14
2.3.2 一元线性回归	15
2.3.3 多元线性回归	17
2.3.4 算法实例	19
2.3.5 回归分析法在智能传感器中的应用	21
2.4 人工神经网络	24
2.4.1 人工神经网络概述	24
2.4.2 人工神经网络的基本组成	25
2.4.3 BP 神经网络	26
2.4.4 算法实例	29
2.4.5 人工神经网络在智能传感器中的应用	30
2.5 遗传算法	32
2.5.1 遗传算法概述	32

2.5.2	遗传算法的原理	32
2.5.3	遗传算法特点	34
2.5.4	算法实例	34
2.5.5	遗传算法在智能传感器中的应用	37
2.6	模拟退火算法	39
2.6.1	模拟退火算法概述	39
2.6.2	物理学固体退火过程	40
2.6.3	模拟退火算法	40
2.6.4	模拟退火算法的操作过程	41
2.6.5	模拟退火算法的参数控制	41
2.6.6	算法举例	42
2.6.7	模拟退火算法在智能传感器中的应用	46
	思考题与习题	47
第3章	智能化的实现方法	48
3.1	非线性自校正	48
3.1.1	查表法	49
3.1.2	曲线拟合法	50
3.1.3	函数链神经网络法	52
3.2	实时自校准	54
3.2.1	实现自校准功能的方法一	55
3.2.2	实现自校准功能的方法二	55
3.2.3	实现自校准功能的方法三	56
3.3	自补偿	57
3.3.1	温度补偿	57
3.3.2	频率补偿	65
3.4	增益的自适应控制与量程自动调整	71
3.5	自诊断	73
3.5.1	硬件冗余方法	74
3.5.2	解析冗余方法	74
3.6	噪声抑制与弱信号检测	79
3.6.1	噪声抑制技术	79
3.6.2	弱信号检测技术	80
3.7	多传感器信息融合	89
3.7.1	多传感器数据融合概述	89
3.7.2	多传感器数据融合结构	91
3.7.3	多传感器数据融合算法	93
3.7.4	多传感器数据融合实例	98
	思考题与习题	101

第 4 章 智能传感器设计	103
4.1 智能传感器设计概述.....	103
4.1.1 智能传感器系统分析.....	103
4.1.2 硬件结构设计.....	103
4.1.3 软件设计.....	107
4.2 智能传感器设计实例.....	111
4.2.1 网络化智能温度传感器的设计.....	111
4.2.2 智能压力传感器的设计.....	121
思考题与习题.....	132
第 5 章 模糊传感器及其应用	133
5.1 模糊数学基础.....	133
5.1.1 模糊现象和模糊概念.....	133
5.1.2 模糊集合及表示方法.....	133
5.1.3 确定隶属函数的基本方法.....	139
5.1.4 模糊语言描述的基本方法.....	143
5.1.5 模糊推理系统.....	145
5.2 模糊传感器.....	152
5.2.1 模糊传感器的概念与特点.....	152
5.2.2 模糊传感器的基本结构与工作原理.....	154
5.3 模糊传感器应用实例.....	172
5.3.1 汽车车内温度调节系统.....	172
5.3.2 模糊水分传感器.....	174
思考题与习题.....	178
第 6 章 网络传感器及其应用	180
6.1 网络传感器.....	180
6.1.1 网络传感器概述.....	180
6.1.2 网络传感器的结构.....	181
6.1.3 网络传感器的类别.....	181
6.1.4 基于 PROFIBUS 现场总线的网络位移传感器.....	183
6.2 IEEE 1451 标准.....	185
6.2.1 IEEE 1451 标准产生的背景.....	185
6.2.2 IEEE 1451 标准的内容.....	186
6.2.3 IEEE 1451 标准在网络传感器中的应用.....	191
6.3 无线传感器网络.....	197
6.3.1 无线传感器网络简介.....	197
6.3.2 无线传感器网络的特点.....	203
6.3.3 无线传感器网络的关键技术.....	204
6.3.4 基于蓝牙技术的无线传感器网络.....	206

6.3.5	基于以太网的网络传感器中网络接口的设计	207
6.3.6	无线传感器网络举例	210
6.3.7	基于无线传感器网络的物联网定位机制	218
	思考题与习题	220
第 7 章	微传感器与 MEMS 技术	221
7.1	微机电系统	221
7.1.1	微机电系统概述	221
7.1.2	微机电系统的应用与发展	224
7.2	微传感器	228
7.2.1	微传感器概述	228
7.2.2	微传感器的制造技术	232
7.2.3	典型的微传感器	239
7.2.4	微传感器与物联网	251
	思考题与习题	254
第 8 章	虚拟传感器及其应用	255
8.1	虚拟传感器概述	255
8.1.1	虚拟传感器的概念	255
8.1.2	虚拟传感器的应用	256
8.1.3	虚拟传感器的建模与实现	257
8.1.4	虚拟传感器的国内外研究及发展状况	258
8.2	虚拟传感器应用实例	259
8.2.1	基于虚拟传感器的气体传感器故障诊断与恢复	259
8.2.2	基于模糊逻辑的航空发动机虚拟传感器	262
8.2.3	虚拟多结构光视觉传感器	267
8.2.4	结构型小管径小流量虚拟传感器	269
8.2.5	无线电子鼻中的虚拟传感器阵列	272
	思考题与习题	277
第 9 章	软测量与软测量传感器	278
9.1	软测量概述	278
9.2	软测量技术原理	278
9.2.1	软测量技术的数学描述和结构	278
9.2.2	影响软测量技术的因素	280
9.2.3	软测量技术的实现	281
9.3	软测量传感器	282
9.3.1	软测量传感器的基本概念	282
9.3.2	软测量传感器的结构	283
9.3.3	软测量传感器的设计	284

9.4 软测量传感器的应用	288
9.4.1 测量木糖醇浓度和底物浓度的软测量传感器	288
9.4.2 测量铝酸钠溶液成分浓度的软测量传感器	290
9.4.3 检测电饭锅饭量的软测量传感器	292
思考题与习题	295
第 10 章 仿生传感器及其应用	296
10.1 仿生学概述	296
10.2 仿生传感器	298
10.2.1 仿生传感器的定义	298
10.2.2 仿生传感器的工作原理	299
10.2.3 仿生传感器的分类	301
10.3 电子鼻	304
10.3.1 电子鼻简介	304
10.3.2 电子鼻工作原理与类型	307
10.3.3 电子鼻的应用	312
思考题与习题	316
第 11 章 新型智能传感器及其应用	317
11.1 嵌入式智能传感器	317
11.1.1 嵌入式智能传感器的定义	317
11.1.2 嵌入式智能传感器的性能特点	317
11.1.3 嵌入式智能传感器的一般结构	318
11.1.4 嵌入式智能传感器应用举例	319
11.2 阵列式智能传感器	323
11.2.1 阵列式智能传感器的概念	323
11.2.2 阵列式智能传感器的结构	324
11.2.3 阵列式智能传感器应用举例	325
11.3 分布式智能传感器	331
11.3.1 分布式智能传感器的基本概念	331
11.3.2 分布式智能传感器的工作原理	332
11.3.3 用于构成分布式智能光纤传感器的主要技术	334
11.3.4 分布式智能光纤传感器应用举例	337
思考题与习题	342

第1章 绪 论

本章在比较传统传感器与智能传感器的基础上，介绍智能传感器的基本功能、特点、分类与组成，最后概述智能传感器的发展趋势。

1.1 传统传感器与智能传感器

1.1.1 传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准(GB 7665—87)，传感器(Transducer/Sensor)的定义：“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。”

这一定义包含了以下几方面的含义：

- (1) 能感受(或响应)表示传感器要对被测量敏感，能灵敏地反映被测量的变化；
- (2) 传感器的输出、输入之间满足一定的规律，且具有一定的精度；
- (3) 可用输出信号通常是指便于处理、转换、传输、显示和存储的信号。目前主要是电信号，电信号有很多形式，如电压、电流、电容、电阻、频率等，输出信号的形式由传感器的原理确定。随着科学的发展，输出信号将来也可能是光信号或其他信号；
- (4) 被测量可以是物理量，也可以是化学量、生物量或其他量。

1.1.2 传感器的结构

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和其他辅助元件组成。传感器的组成如图 1-1 所示。



图 1-1 传感器的组成框图

敏感元件是指传感器中能直接感受(或响应)被测量的部分，它直接感受规定的被测量(一般为非电量)并按照一定的规律转换成与被测量有确定关系的其他量(一般仍为非电量)。当然这里的其他量是比被测量更易转换成可用信号的量，故敏感元件又称为预变换器。

转换元件是指传感器中能将敏感元件感受(或响应)的被测量转换成适于传输和(或)测量的电信号部分，即将敏感元件的输出量转换成可用信号的元件，又称为变换器。

信号调理电路是将转换元件输出的可用信号作为输入，将其进行处理、放大、显示和记录的电路。信号调理电路的类型和被测量、测量原理及转换元件有关。

1.1.3 传统传感器的发展趋势

为了和智能传感器区分开，本书把通常的传感器称为传统传感器。传统传感器技术未来的发展方向主要有两个方面：一是传感器本身的基础研究，二是和电子技术、计算机技术及通信技术组合在一起的传感器系统的研究。前者是研究新型传感器，后者是研究新材料、新工艺及将检测功能与信号处理技术相结合，向集成化、智能化及网络化方向发展。

1. 研发新型传感器

目前的传感器物理型居多，而化学型和生物型较少。即使是物理型传感器也还有许多方面有待深入研究开发。根据物理学家列出的“效应周期表”，仅在热、磁、电三者之间就存在54种有关效应，到目前为止实际发现并被利用的不足20种，这说明大量未发现的效应需要被发现、开发、利用。而发现新现象与新效应则可扩大传感器的检测极限和应用领域，其意义极为深远。例如，日本夏普公司利用超导技术研制成功高温超导传感器，是传感技术的重大突破，其灵敏度比霍尔器件高，仅次于超导量子干涉器件，而其制造工艺远比超导量子干涉器件简单。它可用于磁成像技术，具有广泛的推广价值。

大自然是生物传感器的优秀设计师，它通过漫长的岁月，不仅造就了集多种感官于一身的人类本身，而且还设计了许多多功能奇特、性能高超的生物传感器。例如，狗的嗅觉（比人灵敏数万倍），鸟的视觉（视力为人的8~50倍）；蝇蛹、飞蛾、海豚的听觉（主动型生物雷达——超声波传感器）；蛇的接近觉（分辨力达0.001℃的红外测温传感器）等。这些生物的感官性能，是当今传感器技术所望尘莫及的。研究它们的机理，开发仿生传感器，也是引人注目方向。

2. 开发新材料

传感器技术的发展始终是与新材料的研究开发密切相关的，随着材料科学的迅猛发展，人们已设计制造出各种用于传感器的功能材料，而新材料又是开发新传感器的基础。近年来半导体材料发展很快，在气敏、热敏、光敏传感器中得到广泛应用。有机材料也是制造力敏、气敏、湿敏、光敏和离子敏传感器的重要材料。光导纤维的应用是传感器材料的重大突破，被制成多种传感器，以光信号传输代替电信号传输，具有耐高温、防爆、抗电磁干扰、远传等优点，这是由其他材料制成的传感器所不能比拟的。格外引人注目的生物传感器，是由生物敏感材料制成，有的生物传感器的某些性能已超过人的感官，受到国内外学者的高度重视。

高分子聚合物能随周围环境的相对湿度的变化成比例地吸附和释放水分子。它的介电常数小。水分子能提高聚合物的介电常数，将高分子电介质做成电容器，测定电容容量的变化即可得出相对湿度。利用这个原理制成的等离子聚合法聚苯乙烯薄膜温湿度传感器，具有测湿测温范围宽（可达-400~+1500℃）、响应速度快（小于1s）、尺寸小（可用于小空间测温）、温度系数小的特点。

3. 集成化、多功能化

所谓集成化，就是在同一芯片上，将众多同一类型的单个传感器集成为一维线型、二维阵列（面）型传感器；或将传感器与调理、补偿等电路集成一体。前一种集成化使传感器的

检测参数由点到线到面到体多维图像化，甚至能加上时序，变单参数检测为多参数检测；后一种集成化使传感器由单一的信号变换功能，扩展为兼有放大、运算、干扰补偿等多功能，实现了横向和纵向的多功能化。

传感器的多功能化是指传感器能感知与转换两种以上的不同物理量。例如，使用特殊的陶瓷把温度和湿度敏感元件集成在一起，做成温湿度传感器；将检测不同气体的敏感元件用厚膜制造工艺制作在同一基片上，制成检测氧、氨、乙醇、乙烯四种气体的多功能传感器；在同一硅片上制作应变计和温度敏感元件，制成同时测量压力和温度的多功能传感器，该传感器还可以实现温度补偿。

4. 智能化

1983年，美国 Honeywell 公司推出了世界上第一个智能传感器——ST3000 系列智能压力传感器。它将硅敏感元件与微处理器的计算、控制功能结合在一起，建立起一种新的传感器概念，从而使传感器技术进入一个新的阶段。智能传感器是一种带微处理器的传感器，具有信息的采集、记忆、诊断、综合和处理等功能。现在符合要求的智能传感器的数量已经很多了，今后随着科技发展，将会出现更多更好的智能传感器。

5. 多传感器信息融合

多传感器信息融合是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理，从而产生新的有意义的信息，而这种新信息是任何单一传感器所无法获得的。早在 20 世纪 80 年代中期，一些西方发达国家就开始广泛开展多传感器信息融合技术的研究与应用，现已研制出“多传感器多平台跟踪情报相关处理”等近百种多传感器信息融合系统，并相继出版了多部信息融合方面的专著。

国内对该领域的研究则在 20 世纪 90 年代初才开始逐渐出现高潮，现已研制出一些多传感器信息融合系统。除军事应用外，多传感器信息融合在工业、交通和金融领域也有十分好的应用前景。

6. 网络化和物联网

传感器网络化是传感器领域发展的一项新兴技术，传感器网络化是利用 TCP / IP 协议，使传感器成为测控网络中一个独立的节点。这样，现场测控数据就近登临网络，并与网络上有通信能力的节点直接进行通信，实现数据的实时发布和共享。由于传感器的自动化、智能化水平的提高，多台传感器联网已推广应用，虚拟仪器、三维多媒体等新技术开始实用化。因此，通过 Internet，传感器与用户之间可异地交换信息和浏览，厂商能直接与异地用户交流，能及时完成传感器故障诊断、指导用户维修或交换新仪器改进的数据、软件升级等工作，传感器操作过程更加简化，功能更换和扩展更加方便。

物联网是通过智能感知、识别技术与普适计算、泛在网络的融合应用，被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。物联网的英文名称为“The Internet Of Things”，简称 IOT。

由“物联网”名称可知，物联网就是“物物相连的互联网”。这有两层意思：第一，物联网的核心和基础仍然是互联网，是在互联网基础之上延伸和扩展的一种网络；第二，其用户端延伸和扩展到了任何物品与物品之间进行信息交换和通信。因此，物联网的定义是通过射

频识别（RFID）装置、红外传感器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

在我国，物联网的研究和建设同国外相比并不晚。2009年8月，温家宝总理在无锡考察时提出“感知中国”的发展战略。在2010年“两会”上，加快物联网研发应用写进了政府工作报告。物联网能把政府、科技界、产业界、投资界、经济界如此高度地统一在一起，是因为大家都深深地认识到，物联网是科学发展的必然趋势，不仅能创造上万亿元的国民经济产值，甚至决定国家的未来。传感器技术和物联网融合在一起，伴随着物联网的发展，传感器技术将会有更大的发展。

1.2 智能传感器的概念

智能传感器这一概念，最初是在美国宇航局开发宇宙飞船过程中提出的。因为人们不仅需要知道宇宙飞船在太空中飞行的速度、位置、姿态等数据，而且为使宇航员在宇宙飞船内能正常工作、生活，还需要控制舱内的温度、湿度、气压、空气成分等，因而需要安装各式各样的传感器。而宇航员在太空中进行各种实验也需要大量的传感器。这样一来，要处理众多从传感器获得的信息，即便使用一台大型计算机也很难同时处理如此庞大的数据，而且这在宇宙飞船上显然是行不通的。因此，宇航局的专家们就希望传感器本身具有信息处理的功能，于是把传感器和微处理器结合在一起，这样在20世纪70年代末就出现了智能传感器。

智能传感器可以对信号进行检测、分析、处理、存储和通信，具备了人类的记忆、分析、思考和交流的能力，即具备了人类的智能，所以称之为智能传感器。智能传感器是一种带有微处理器，兼有信息检测、信号处理、信息记忆、逻辑思维与判断等智能化功能，是传感器、计算机和通信技术结合的产物。

关于智能传感器目前尚无统一的定义，早期人们简单地认为智能传感器就是将传统的传感器和微处理器集成在同一块芯片上，随着智能传感器技术的发展，比较多的学者认为智能传感器是将传统传感器和微处理器结合并赋予智能化功能的系统即智能传感器系统。

关于智能传感器的中、英文称谓，目前也尚未统一。“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。

1.2.1 智能传感器的基本功能

智能传感器主要有以下几个基本功能。

(1) 具有自校准和故障自诊断功能。智能传感器不仅能自动检测各种被测参数，还能进行自动调零、自动标定校准，某些智能传感器还可进行故障的自动诊断和修复。

(2) 具有数据存储、逻辑判断和信息处理功能。智能传感器能对被测量进行信号调理或信号处理（包括对信号进行预处理、线性化，或对温度、静压力等参数进行自动补偿等）。例如，在带有温度补偿和静压力补偿的智能差压传感器中，当被测量的介质温度和静压力发生变化时，智能传感器中的补偿软件能自动依照一定的算法进行补偿，以保证测量精度。

(3) 具有组态功能，使用灵活。在智能传感器系统中可设置多种模块化的硬件和软件，用户可通过微处理器发出指令，改变智能传感器的硬件模块和软件模块的组合状态，完成不同的测量功能，实现多传感、多参数的复合测量。

(4) 具有双向通信和标准化数字输出功能。智能传感器系统具有数字标准化数据通信接口, 通过 RS-232、RS-485、USB、I²C 等标准总线接口, 能与计算机接口总线相连, 相互交换信息。

(5) 人-机对话功能。智能传感器和仪表结合在一起, 配合各种显示装置和输入键盘, 使系统具有灵活的人-机对话功能。

1.2.2 智能传感器的特点与分类

1. 智能传感器的特点

与传统传感器相比, 智能传感器具有以下特点。

(1) 灵敏度和测量精度高。智能传感器有多项功能来保证它的高精度。例如, 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等, 从而保证了智能传感器有高的灵敏度和测量精度, 可进行微弱信号测量, 并能进行各种校正和补偿。

(2) 宽量程。智能传感器的测量范围很宽, 具有很强的过载能力。例如, 美国 ADI 公司推出的 ADXRS300 型单片偏航角速度陀螺仪, 能精确测量转动物体的偏航角速度, 测量范围是 $\pm 300^\circ/\text{s}$ 。用户只需并联一只合适的设定电阻, 即可将测量范围扩展到 $\pm 1200^\circ/\text{s}$ 。该传感器还能承受 1000g 的运动加速度或 2000g 的静力加速度。

(3) 可靠性与稳定性高。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; 当被测参数变化后能自动改变量程; 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。美国 Atmel 公司推出的 FCD4814、AT77C101B 型单片硅晶体指纹传感器集成电路, 抗磨损性强, 在指纹传感器的表面有专门的保护层, 手指接触磨损的次数可超过百万次。

(4) 信噪比与分辨力高。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, 因此智能传感器具有较高的信噪比与高的分辨力。

(5) 自适应性强。智能传感器具有很强的自适应能力, 美国 Microsemi 公司相继推出能实现人眼仿真的集成化可见光亮度传感器, 能代替人眼去感受环境亮度的明暗程度, 自动控制 LCD 显示器背光源的亮度, 以充分满足用户在不同时间、不同环境中对显示器亮度的需要。

(6) 性能价格比高。智能传感器所具有的上述高性能, 不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及强大的软件来实现的, 所以具有高的性能价格比。

2. 智能传感器的分类

智能传感器有以下较常用的几种分类形式。

(1) 按被测物理量的类型来分, 有温度、压力、湿度、角速度、液位、磁场、生物、化学等智能传感器。

(2) 按智能化程度来分, 有初级形式、中级形式和高级形式 3 种。

① 智能传感器的初级形式。初级智能传感器不含有微处理器单元, 仅仅包含敏感元件、补偿电路(如温度补偿、线性补偿等)、校正电路、信号调理电路。这类传感器具有简单的信号处理能力, 提高了传统传感器的精度和性能。但其智能含量较少, 因此这类传感器属于智能传感器的初级阶段(形式)。

② 智能传感器的中级形式。这类传感器除包含初级智能传感器的功能外, 还具有自诊断、自校正功能, 并且带有数据通信接口和微处理器等。这类传感器以微处理器为核心自成一个独立系统, 智能化主要由强大的软件来实现。借助微处理器, 该类传感器系统功能大大增加, 性能进一步提高, 自适应性加强, 本身已是一个基本完善的传感器系统。

③ 智能传感器的高级形式。这类传感器除具有上述两种形式的所有功能外, 还具有多维检测、图像识别、分析理解、模式识别、自学习和逻辑推理等功能。因此, 它涉及的理论领域也包括模糊理论、神经网络和人工智能等。该传感器系统具有人类“五官”的功能, 能从复杂背景中提取有用信息, 进行智能化处理, 是真正意义上的智能传感器。

(3) 按其结构可分为模块式智能传感器、混合式智能传感器和集成式智能传感器 3 种。

① 模块式智能传感器由许多互相独立的模块组成。将微型计算机、信号处理电路模块、输出电路模块、显示电路模块和传感器装配在同一壳体内, 组成模块式智能传感器。这种传感器的集成度不高、体积较大, 但它是一种比较实用的智能传感器。模块式智能传感器的构成如图 1-2 所示。

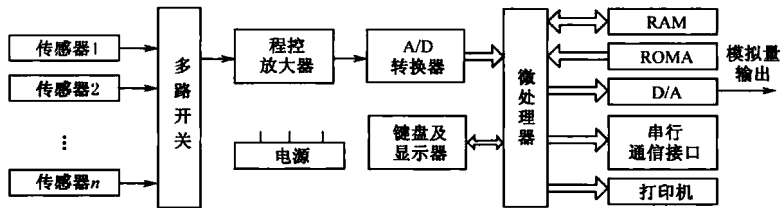


图 1-2 模块式智能传感器的构成

② 混合式智能传感器将传感器、微处理器和信号处理电路等各个部分以不同的组合方式集成在几个芯片上, 然后装配在同一壳体内。目前, 混合式智能传感器作为智能传感器的主要类型而被广泛应用。混合式智能传感器的实现方式如图 1-3 所示。

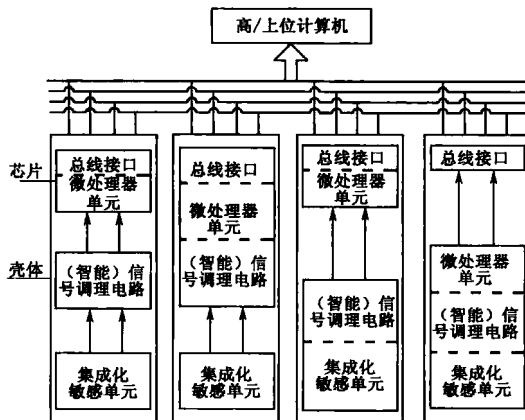
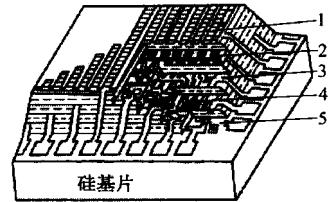


图 1-3 混合式智能传感器的实现方式

③ 集成式智能传感器。集成智能传感器主要是指利用集成电路工艺和微机械技术将传感器敏感元件与功能强大的电子线路集成在同一芯片上（或二次集成在同一外壳内），通常具有信号提取、信号处理、逻辑判断、双向通信、决策、量程切换、自检、自校准、自补偿、自诊断、计算等功能。集成智能传感器具有体积小、成本低、功耗小、速度快、可靠性高、精度高及功能强等优点。集成智能传感器的优点使它成为目前传感器研究的热点和传感器发展的主要方向。

三维多功能单片智能传感器的结构如图 1-4 所示。在硅片上分层集成了敏感元件、电源、记忆、传输等多个部分，将光电转换等检测功能和特征抽取等信息处理功能集成在一块硅片上。利用这种技术，可实现多层结构，将传感器功能、逻辑功能和记忆功能等集成在一块硅片上，这是集成式智能传感器的一个重要发展方向。



1—光电变换部分；2—传送部分；3—存储部分；
4—运算部分；5—电源和驱动部分

图 1-4 三维多功能单片智能传感器结构

1.3 智能传感器系统的基本组成

智能传感器系统主要由传感器、微处理器（或计算机）及相关电路组成，基本原理框图如图 1-5 所示。传感器将被测的物理量、化学量转换成相应的电信号，经放大后送到信号调理电路中，进行滤波、放大、模数转换后送到数据采集电路中，经数据采集电路处理后再送到微处理器中。微处理器是智能传感器的核心，它不但可以对传感器测量数据进行计算、存储、数据处理，还可以通过反馈回路对传感器进行调节。由于微处理器充分发挥各种软件的功能，赋予传感器智能化，大大提高了传感器的性能。

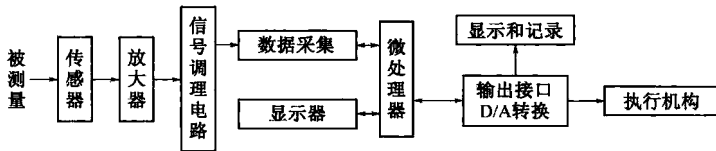


图 1-5 智能传感器原理框图

1.4 智能传感器实例——智能式应力传感器

智能式应力传感器用于测量飞机机翼上各个关键部位的应力大小。该智能式传感器具有较强的自适应能力，可以根据工作环境因素的变化，进行必要的修正，以保证测量的准确性，并确定机翼的工作状态是否正常及故障情况。

1. 总体结构

智能式应力传感器包括硬件结构和软件结构两大部分，主要由传感器，微处理器及其相关电路组成。微处理器是智能式应力传感器的核心，不但可以对传感器测量的数据进行计算、存储、处理，还可以通过反馈回路对传感器进行调节。该智能式应力传感器具有较强的自适

应能力，可以判断工作环境因素的变化，进行必要的修正，以保证测量的准确度。

2. 敏感元件和检测原理

智能式应力传感器共有 6 路应力传感器和 1 路温度传感器。应力传感器的敏感元件是电阻应变片，其中每一路应力传感器由 4 个电阻应变片构成的全桥电路和前级放大器组成，用于测量应力的大小。温度传感器采用温敏二极管，用于测量环境的温度，从而对应力传感器进行温度误差修正。

3. 硬件结构

智能式应力传感器具有测量、程控放大、转换、处理、模拟量输出、打印、键盘监控及通过串行接口与上位微型计算机进行通信的功能。它的硬件结构如图 1-6 所示。

智能式应力传感器共有 6 路应力传感器和 1 路温度传感器，多路开关根据单片机发出的命令轮流选通各个传感器通道，各路信号通过放大、A/D 转换进入 MCS8031 单片机，经过处理输出模拟信号或数字信号，可以存储、显示或打印，通过串行通信接口和外界通信。

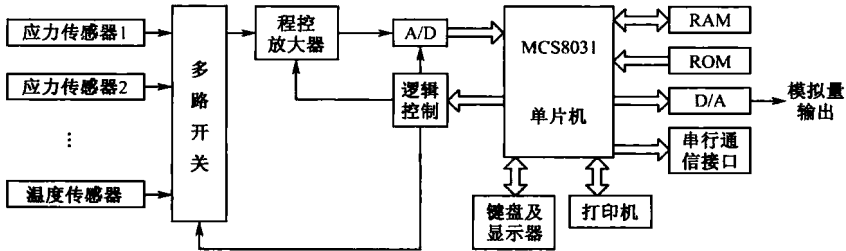


图 1-6 智能式应力传感器硬件结构图

4. 软件结构

智能式应力传感器软件采用模块化和结构化的设计方法，软件流程如图 1-7 所示。

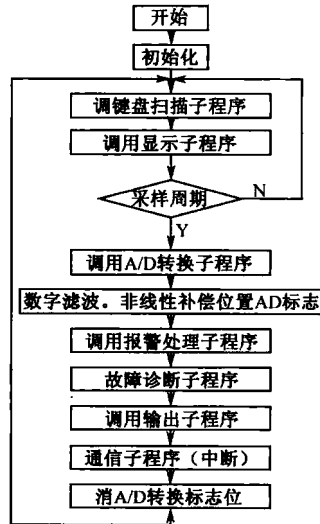


图 1-7 智能式应力传感器软件流程