



普通高校“十一五”规划教材

周浩敏 钱 政 编著

智能传感技术与系统

 北京航空航天大学出版社



普通高校“十一五”规划教材

智能传感技术与系统

周浩敏 钱 政 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

本书以智能传感技术与系统为背景,以相应的系统,包括 Smart 传感器、Smart 微机电系统、Smart 材料、Smart 结构四个方面中的传感技术为主,系统的其他技术为辅,对其相应的原理、相关的技术、特性、设计的原则和方法(包括算法)以及应用进行了论述,反映了传感和测试技术的最新发展。

全书共分 5 章,包括:智能、Smart、Intelligent 传感器基本概念和相互关系;现代传感技术智能化的实现方法和技术;智能传感器及其技术;智能微机电系统、微传感器与软件传感器;机敏材料与灵巧结构等内容。

本书可作为测控技术与仪器、自动化、光学工程、探测制导与控制、电气工程、机械工程、机电一体化、飞行器设计与控制、材料科学与工程等大学本科专业的教科书,也可作为相关学科的工学硕士或工程硕士的教材,同时也可供从事智能传感技术与系统及其相关领域研究、研制工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能传感技术与系统/周浩敏,钱政编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-81124-366-6

I. 智… II. ①周…②钱… III. 智能控制—传感器
IV. TP212.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 086640 号

智能传感技术与系统

周浩敏 钱 政 编著

责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpres@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:19.5 字数:437 千字

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-81124-366-6 定价:33.00 元

前 言

随着科学技术的快速发展,传感器及测试技术和其他信息技术一样,在原理、方法、技术和应用等方面都发生了深刻的变化,特别是传感器在智能化、网络化、微型化以及集成化等方面,取得了令人瞩目的创新性进展。这一进展反过来也促进了科技的进步,大量的新技术广泛渗透到国民经济各领域中。为了使人才培养适应新形势的要求,教学内容和教材建设在保证理论知识基本稳定的同时,必须反映技术的发展和更新。

北京航空航天大学于2003年从原来的自动化学院、宇航学院和陀螺研究室等单位,集中了部分力量,组建了现在的“仪器科学与光电工程学院”。经过几年的发展,学院在科研、教学等方面取得了显著的进步,根据新的学科建设要求,对相应的本科生和研究生的培养计划作了较大调整,其中课程体系根据学校有关校、院、系分级建设核心课程的要求,作出了相应的规划。《智能传感技术与系统》一书,是为新设课程“智能传感技术”编写的教材,其中大部分内容已经作为校选修课,面向全校本科生开设了三次,同时作为专业课已在测控技术与仪器专业的本科生中开始讲授。

本书的基本内容围绕传感技术及其系统的“智能”展开。对于“智能”一词,人们(主要在国内)一直有不同的理解,其异议主要集中于“智能”的含义是指 Intelligent 还是 Smart。(英国 Coventry University 的教授 Elena Gaura 和 Robert M. Newman 提出 Cogent Sensor 的概念,主要是针对微传感器提出来的,这里不作讨论)。在本书中,也未对两者作出严格的区分,但基本上倾向于直接采用 Smart 来定义书中所涉及的相应传感器和系统,中文仍然沿用“智能”来表述;但如果传感器和系统有进一步的 Intelligent 功能,则采用“智慧”来区分。全书以传感器技术为主,以相应的系统,包括 Smart 传感器、Smart 微机电系统、Smart 材料、Smart 结构四个方面中的传感器技术为主,系统的其他技术为辅,对其相应的原理、相关的技术、特性、设计的原则和方法(包括算法)以及应用进行了论述,希望能够为读者学习上述内容提供较为全面的基础知识,对进一步的学习和应用有所帮助。应当说,这是一本与通常意义上的“传感器原理”既有联系,但涉及内容又有所不同



的教材,其技术的综合度和信息含量与传统传感器相比,已不可同日而语。对于测控技术与仪器专业,它是与“传感器原理”并行开设的一门专业课程。

全书共分5章,内容安排如下:

第1章 概论。讲述智能、Smart、Intelligent 传感器基本概念和相互关系。对书中所涉及的 Smart 传感器、Smart 微机电系统、Smart 材料、Smart 结构等作了概括和简要的介绍,使学生对课程内容有基本的了解。

第2章 现代传感技术智能化的实现方法和技术。讲述智能传感器中可能实现的功能和技术,包括:非线性自校正、自校准、自补偿、增益的自适应控制、传感器系统的自检、自诊断、噪声抑制与弱信号检测、多传感器信息融合、模糊技术及其应用和人工神经网络技术及其应用等,是学习后续章节的原理依据和基础。

第3章 智能传感器及其技术。对智能传感器的基本定义和构成、依据的 IEEE 1451 系列标准、传感器网络以及相关的蓝牙技术、ZigBee 技术进行了论述。

第4章 智能微机电系统、微传感器与软件传感器。对微机电系统、智能微机电系统、准数字传感器、谐振式微传感器开闭环系统以及软传感器等作了深入分析和探讨。

第5章 机敏材料与灵巧结构。对结构健康监测系统、Smart 材料、Smart 结构、振动与噪声控制技术、传感器故障检测、测试有效性确认及 SEVA 传感器等新技术进行了较为系统和深入的介绍,有明显的航空航天特色。

本书第2、3两章由钱政副教授编写,其余各章由周浩敏教授编写,并负责统编定稿。

本书作为理工科的教材,在重视基础性和理论性的同时,也注意了技术和知识的新颖性、先进性。为了帮助学生提高理论联系实际的能力和适应高新技术发展的需要,我们在坚持重视数学原理以及基础理论的系统性和逻辑性的同时,力求概念的物理意义清晰,工程技术特色鲜明,也力求保持编者遵循的取材新颖合理、内容深入浅出、重点安排得当以及便于自学的原则和一贯风格。

对于本科专业来说,总学时(包括实验)大约需要48学时。在教材编写过程中,考虑到在面向信息类专业学生的需要的同时,也要兼顾全校其他专业学生的学习要求,在教材中力求体现这个特点,但仍需要任课教师根据学生所修专业和学时的具体情况,进行必要的选择和调整。书中涉及的某些比较深入的原理和专业知识,作为本科阶段可不作要求。本书也可作为研究生的教学用书或者作为相关课程的教学参考书。



需要说明的一点是,本教材内容大多是作者多年来教学、科研的实践和体会,有些是作者近些年来多个科研项目研究成果的最新总结,但部分内容和某些观点,参考并引用了近期国内外期刊和专著上公开发表的论文及其研究结果,凡是能查到出处的,均在书后的参考文献中列出;而有一部分文献,是直接通过 Google 和百度搜索引擎获得的,难以找到原始的出处或者可引用出处的条目不全,无法在参考文献中一一列出,请见谅。如果原作者愿意提供相关信息,请与本书的作者或出版社联系。

本书承蒙北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院徐立军教授审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议;根据他的意见和建议,编者作了认真的修改。在此,谨向徐立军教授表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,若书中有错误和不足,恳请读者指正。

作 者

2008 年 1 月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 先进传感器和智能传感器	1
1.2 智能传感器与传统传感器	4
1.3 灵巧结构与机敏材料	12
思考与练习题	13
第 2 章 现代传感技术智能化的实现方法和技术	14
2.1 非线性自校正	14
2.1.1 查表法	15
2.1.2 曲线拟合法	17
2.2 自校准	17
2.2.1 实现自校准功能的方法一	18
2.2.2 实现自校准功能的方法二	19
2.2.3 实现自校准功能的方法三	20
2.3 自补偿	20
2.3.1 温度补偿	20
2.3.2 频率补偿	22
2.4 增益的自适应控制	24
2.5 传感器系统的自检	25
2.5.1 ROM 自检	25
2.5.2 特殊功能寄存器自检	26
2.5.3 RAM 自检	26
2.5.4 总线自检	27
2.5.5 A/D 和 D/A 自检	27
2.5.6 I/O 接口电路自检	28
2.5.7 插件自检	28
2.5.8 显示面板自检	28
2.6 自诊断	28
2.6.1 硬件冗余方法	29
2.6.2 解析冗余方法	29



2.7 噪声抑制与弱信号检测	30
2.7.1 噪声抑制技术	30
2.7.2 弱信号检测技术	33
2.8 多传感器信息融合	37
2.8.1 多传感器数据融合框架	38
2.8.2 多传感器数据融合结构	41
2.8.3 多传感器数据融合算法	43
2.8.4 多传感器数据融合实例	49
2.9 模糊技术及其应用	50
2.9.1 模糊数学基础	51
2.9.2 模糊规则与模糊推理	57
2.9.3 多级映射原理	58
2.9.4 模糊传感器	60
2.9.5 模糊传感器应用实例	63
2.10 人工神经网络技术及其应用	66
2.10.1 神经网络的基本知识	66
2.10.2 神经网络在智能传感器中的应用	72
思考与练习题	77
第3章 智能传感器及其技术	79
3.1 智能传感器基本原理和技术	79
3.2 无线传感器网络概述	84
3.2.1 无线传感器网络简介	84
3.2.2 无线传感器网络的特点	84
3.2.3 无线传感器网络系统及协议体系结构	86
3.2.4 无线传感器网络研究发展现状	87
3.3 IEEE 1451 标准	88
3.3.1 IEEE 1451.1 标准	90
3.3.2 IEEE 1451.2 标准	91
3.3.3 IEEE 1451.3 标准	92
3.3.4 IEEE 1451.4 标准	93
3.3.5 IEEE 1451.5 提案标准	94
3.3.6 IEEE 1451 的发展趋势	96
3.4 基于蓝牙技术的无线传感器网络	96
3.4.1 蓝牙协议栈简介	97



3.4.2	蓝牙协议栈分析	97
3.4.3	蓝牙技术的发展趋势	107
3.4.4	蓝牙技术在无线传感器网络中的应用	107
3.5	采用 ZigBee 技术的无线传感器网络	109
3.5.1	网络层	110
3.5.2	应用层	114
3.5.3	ZigBee 发展趋势	115
3.5.4	ZigBee 技术在无线传感器网络中的应用	115
3.6	无线传感器网络应用	117
3.6.1	工业监控应用方案	117
3.6.2	农业及生物环境保护应用方案	120
3.6.3	建筑与土木工程应用方案	123
3.6.4	安全/公安/军事应用方案	125
3.6.5	各方案设计中存在的共同问题及其解决	128
	思考与练习题	128
第 4 章	智能微机电系统、微传感器与软件传感器	130
4.1	微机电系统 MEMS	130
4.1.1	微机电系统概述	130
4.1.2	微机电系统设计基础	141
4.2	Smart MEMS	151
4.2.1	Smart MEMS 概述	151
4.2.2	Smart 惯导系统中的微陀螺和微加速度计	155
4.3	准数字传感器	164
4.3.1	模拟传感器经非 A/D 方式间接转换为频率输出	164
4.3.2	硅谐振式微传感器及其频率特性的检测	173
4.3.3	硅谐振压力微传感器闭环系统中锁相环技术的应用	182
4.4	软件传感器	201
	思考与练习题	213
第 5 章	机敏材料与灵巧结构	215
5.1	结构健康监测与智能系统	215
5.1.1	概 述	215
5.1.2	结构健康监测与智能系统应用	216
5.2	机敏材料	227
5.2.1	机敏材料概述	227



5.2.2	基本 Smart 材料	231
5.2.3	复合 Smart 材料	238
5.3	灵巧结构	242
5.3.1	Smart 结构概述	242
5.3.2	嵌入光纤传感器的典型 Smart 结构	248
5.3.3	智慧结构	253
5.4	振动与噪声控制技术	256
5.4.1	振动和噪声控制的基本概念	256
5.4.2	振动和噪声的主动控制技术	261
5.5	传感器故障检测、测试有效性确认及 SEVA 传感器	271
5.5.1	传感器故障和测试有效性基本概念	271
5.5.2	SEVA 传感器	281
5.5.3	粒子滤波器确认传感器的测试有效性	287
	思考与练习题	297
	参考文献	299

第1章 概 论

基本内容

- 现代传感技术与先进传感器
- 智能传感器(smart sensor)
- 智能传感器与传统传感器
- 智能系统:灵巧结构(smart structure)和机敏材料(smart material)的概念

1.1 先进传感器和智能传感器

传感器是由敏感元件直接感受被测量,并把被测量转换为电量的完整的测试装置,是当代信息技术的源头,使用传感器是获取信息最基本的必不可少的技术手段。在测控系统中,传感器位于系统的前端,对测控对象的原始信息进行变换,即所谓的“一次变换”;而系统后续环节的再变换,即使十分完美,也不可能得到超过传感器所能获得的原始信息,传感器的作用是关键性的。传感器及其技术发展的程度,从某种意义上说,能体现出一个国家科学技术的水平和实力,如果传感器技术的发展水平高,就可能使科学技术旧貌换新颜,出现重大变革;如果传感器的水平不高,也可能成为技术发展的瓶颈。

科学技术的发展,对传感技术的要求越来越高,从而促进了传感技术的迅速发展。但与处理器技术相比,由于传感器研发周期相对较长,故其不易适应国民经济特别是信息行业的发展要求,特别是那些技术含量、测量要求高的传感器更是如此。对传感器研制直至商品化的全过程来说,“十年磨一剑”也并不算过分。在测试和传感技术领域,充满了挑战、希望和机遇。

传感器本来就是各种原理、技术和学科包容、交叉、综合的结晶,现代传感技术的发展更加充分体现出这一点。“麻雀虽小,五脏俱全”,十分准确地反映了传感器的技术特点,现代传感技术更加集中地反映了一系列最新的技术成果。

现代传感技术,除对传统传感器采用新技术进行改造,实现性能的提升和功能的扩展之外,新研发的先进传感器是现代传感技术的核心和代表。科学技术的迅速发展,特别是信息技术对传感器新的迫切需求,大大促进了传感器技术从新原理到新产品的全面发展和进步。

衡量传感器是否“先进”,是否“现代”,是否具有“强大的生命力”,技术上可以从三个方面看,不妨称为“三原则”:一是技术的兼容性,最典型的例子是软件版本的升级,新版本必须能兼容老版本的基本功能。相应地,先进传感器必须兼容传统传感器的功能,传统传感器改进后的新产品必须和老产品相兼容,先进技术应当继承成熟技术的优点。二是先进传感器应当具



备对传统传感器的可替换性和互换性,否则,先进归先进,现代归现代,它将没有用武之地,难以找到市场空间。第三点也是最关键的一点,先进传感器必须有“新意”,有“创新点”,有“技术特色”,有“独到之处”,这是决定所有技术,包括先进传感器发展,能否最终实现技术新老交替、更新换代的关键。前两点实际上只解决了新技术可以解决,但老技术也能够实现的功能,充其量只不过是“它有我”,并不比现有传感器高明,没有达到“独领风骚”的水平,就很难有发展和存在的价值;只有第三点,是传统技术所缺乏的,体现了先进传感技术的先进性、技术优势和发展趋势。即使初期先进传感器不一定有价格上的优势,但它在继承了传统功能的同时,具备了传统传感技术所没有的优势和功能,能够实现过去无法实现的功能,别的传感技术做不到的事情,新技术实现了,它就必然会逐渐取得技术上的主导地位,其价格也会随之取得竞争优势,成为真正的“现代传感技术”。以 PC 为代表的计算机技术的发展历程,已经充分地证实了这三个原则的正确性,传感器技术的发展也已经并将继续遵循这些原则,实现更新换代和技术的不断进步。

从当前传感器的发展情况看,特别引人注目的传感器有两类:微机电系统 MEMS(包括微光机电系统 MEOMS)的微传感器以及智能传感器。它们的问世,尤其是这两类传感器的有机结合,或者说是 MEMS 技术和智能技术的结合(或融合),是传感器的重大革新,实现了两种技术优势的叠加、互补和传感器性能的大幅度提升,使传感器市场出现了新的亮点和广阔的发展空间。有人认为这是“小科学引起了大变化”。MEMS 的相关技术可以使传感器最小化,同时,可以实现传感器的敏感元件与微电子功能模块集成在微小空间内。也只有 MEMS 技术的发展进步,才能使传感器在整机性能得到改进的同时,实现空间最小化,在最佳的效费比下,大批量生产传感器。

智能传感器,其最初的意义是在传感器内部,集成某些信号调理电路,工作过程可以采用数字数据,使传感器的性能得到增强,即为智能传感器。为体现传感器技术智能水平的不断发展,不妨认为这是“I 型智能传感器”。智能传感器发展到今天,有了更明确的意义和技术水平。近年来发布了智能传感器接口标准 IEEE 1451,这一标准是一个系列标准,描述了应用于智能传感器的开放的、通用的以及独立的一系列网络通信接口。“智能”在这些标准中的定义为:板一级的数据具有存储、处理能力,能和/或数字传感器接口、集成;传感器能提供必要的功能,以产生对所敏感的或者被控制量的准确表示,其中典型的功能可简洁地表示为应用于网络环境的传感器集成。因此智能传感器的主要变革是提供了网络能力。当然这种智能与人的智能是无法相提并论的,差距太大,因此国外称之为 Smart Sensor 或 Cogent Sensor。国外还有一种称为 Intelligent Sensor 的智能传感器,它是对 Smart Sensor 的加强,广泛采用了人工智能,有人称为“智慧传感器”。本书不对两者加以严格的区分,可以通用,都认为是智能传感器,但更多的时候,直接称之为 Smart 传感器。

Smart 传感器整机内的硬件结构可以概括为:传感器+微处理器+无线(网络)接口。图 1.1 表示了智能传感器内部硬件结构的基本构成。

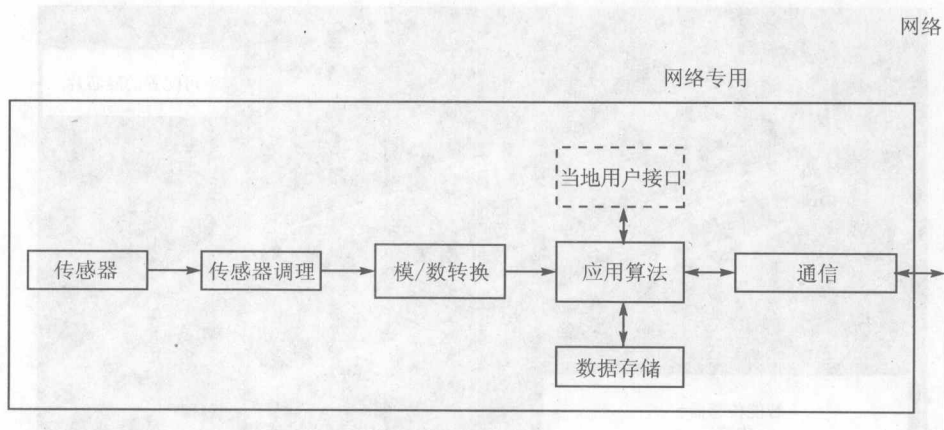


图 1.1 智能传感器硬件结构原理图

正由于智能传感器内置微处理器,输出数字信号,不但增强了传感器基本测试计量方面的性能,而且具备实现逻辑推理和神经网络等算法的能力,具有局域控制、自诊断、自适应、自校准、自动补偿等功能。若与网络接口并使用了电子数据表(TEDS),则可实现传感器的实时辨识,即传感器的“即插即用”。另外根据传感器系统网络方面的要求,可实现不同程度的通信能力,这就大大提高了传感器信息的使用价值,相应地称为“Ⅱ型智能传感器”,也有人称之为“灵巧传感器”或者“信息传感器”。

为了说明问题,图 1.2 示出智能加速度传感器实验样机的原理结构。实际的传感器,其集成度还要高。图 1.3 表示了实际智能传感器的发展过程。

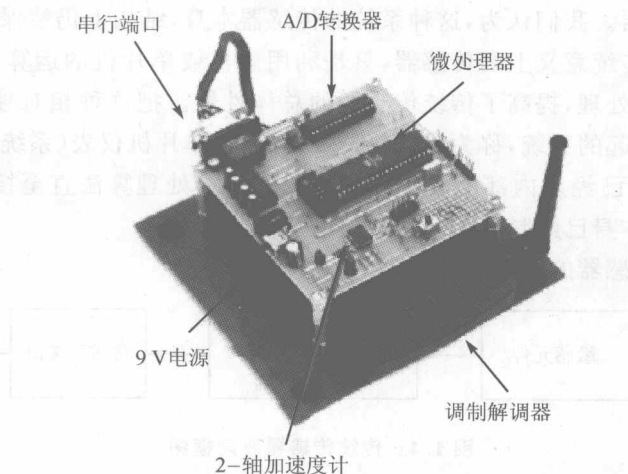


图 1.2 智能加速度传感器样机结构

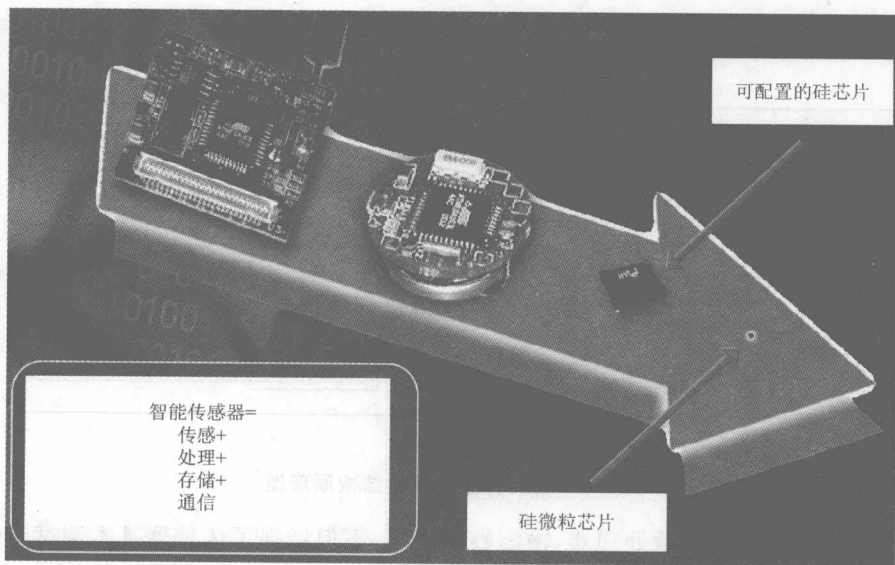


图 1.3 实际智能传感器

1.2 智能传感器与传统传感器

较长时间以来甚至直至现在,人们对智能传感器的理解都不十分统一。有人认为:只要传感器与微机相结合,或者说传感器通过接口与单片机连接,增加了某些数据处理或某些控制的功能,就是智能传感器。我们认为,这种系统的传感器本身,结构上仍然保持相对独立,没有发生任何的改变,仍是传统意义上的传感器,只是利用微机或单片机的运算和控制能力,对传感器的输出作二次变换处理,提高了传统传感器的总体性能。把这种相对独立的传感器与微机(或单片机)集成在一起的系统,称为微机仪器或传感器-单片机仪表(系统)更合适一些。而智能传感器,由上所述,已经从内部的硬件结构、数据性质、处理算法直至接口都有了基本的改变,可以认为传感器本身已经具备了实现智能的软硬件环境。

图 1.4 是传统传感器的原理框图。

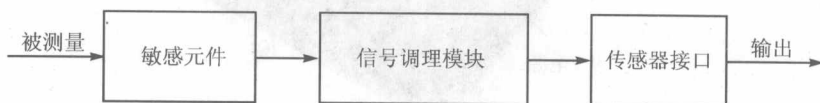


图 1.4 传统传感器原理框图

图 1.4 所示的传统传感器由三部分组成:① 敏感元件(如弹性元件、电阻、电容、电感、压



电晶体等);② 信号调理模块(如放大、滤波、线性化处理等,一般为模拟信号的变换处理);③ 传感器接口(通常为接插件、电缆线等)。

图 1.5 是智能传感器的原理框图。

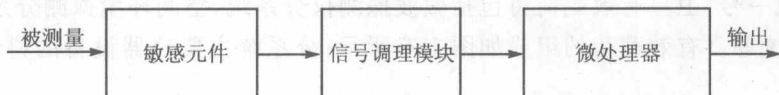


图 1.5 智能传感器原理框图

比较图 1.4 和图 1.5,可以看出两者的主要差别是它们所具有的智能处理能力不同。由于智能传感器内置微处理器,在传感器内部经 A/D 变换(由信号调理完成,如果传感器输出为频率量或模拟输出作频率转换,可不用 A/D)后,处理的是数字信号,微处理器可以直接进行计算和补偿处理;应用其接口,可以很方便地实现自诊断、自辨识、自适应(作出决定)的功能,还可以自行确定什么时候清除/存储数据,控制唤醒系统的时间,使功耗最低化。随着技术的进步,智能传感器的智能程度也会不断提高,例如实现统计信号处理、神经网络分析、模糊控制和遗传算法等,它们不同程度上都已经在更为复杂先进的传感器系统中获得应用。人们面临着能源、成本和技术完美化需求等方面越来越大的压力, MEMS 的出现,适应了时代的需要,使传感器结构尺寸微小化,功耗大幅度降低。同时,由于 MEMS 结构和微处理器等基本上都可以在硅片上加工和集成,可以实现大批量生产,故传感器成本大大降低,功能更为丰富和强大。另外智能传感器的接口可以实现网络化,特别是无线网络连接,例如使用蓝牙技术等,使系统间的无线通信变得简单易行,这就是现代传感技术发展的一个重要领域,即“传感器网络”。传感器和其他新技术的紧密结合,必将开创信息技术更加灿烂的未来。

下面对美国肯尼迪空间飞行中心在健康管理综合系统中,实际应用超大规模智能传感器系统的情况作一介绍,由此足以领略到智能传感器应用的广阔前景。

首先结合我国最新发射的“嫦娥一号”探月卫星,介绍一个热门的词——有效载荷(payload)。一般意义上,它是指除了操纵运载工具所必需的负载之外,运载工具所携带的负载,特别是指飞机或航天飞行器上所搭乘的、实现飞行任务所必需的载荷,由乘客或者是执行科学任务的仪器装备组成,例如:卫星中直接执行特定卫星任务的仪器、设备或分系统。有效载荷的种类很多,即使是同一种类型的有效载荷,性能差别也很大。

返回式卫星返回舱的有效载荷有多光谱扫描仪、红外扫描仪、合成孔径雷达、微波辐射计、微波散射计、雷达高度计、超光谱成像仪以及遥感信息的数传设备。通信卫星的有效载荷有通信转发器和天线。导航卫星的有效载荷有卫星时钟、导航数据存储器及数据注入接收机。侦察卫星的有效载荷有可见光胶片型相机、可见光 CCD 相机、雷达信息信号接收机(信道化接收机、测向接收机)和天线阵及大幅面测量相机等。单一用途的卫星,一般装有几有效载荷。随着航天技术的不断发展,有效载荷也在逐步向低功耗、小质量和小体积的方向发展,为提高



卫星有效载荷比提供基础。对于对地观测卫星而言,把多种传感器安装在一颗卫星上去完成不同的任务,将是提高效费比的主要发展趋势。

卫星有效载荷因不同的航天任务而异,在现阶段主要是进行科学探测的仪器和科学实验的设备。“嫦娥一号”卫星有效载荷将包括微波探测仪分系统、空间环境探测分系统、有效载荷数据管理分系统等。有效载荷的组成如图 1.6 所示;分系统主要仪器设备的科学研究目标如表 1.1 所列。

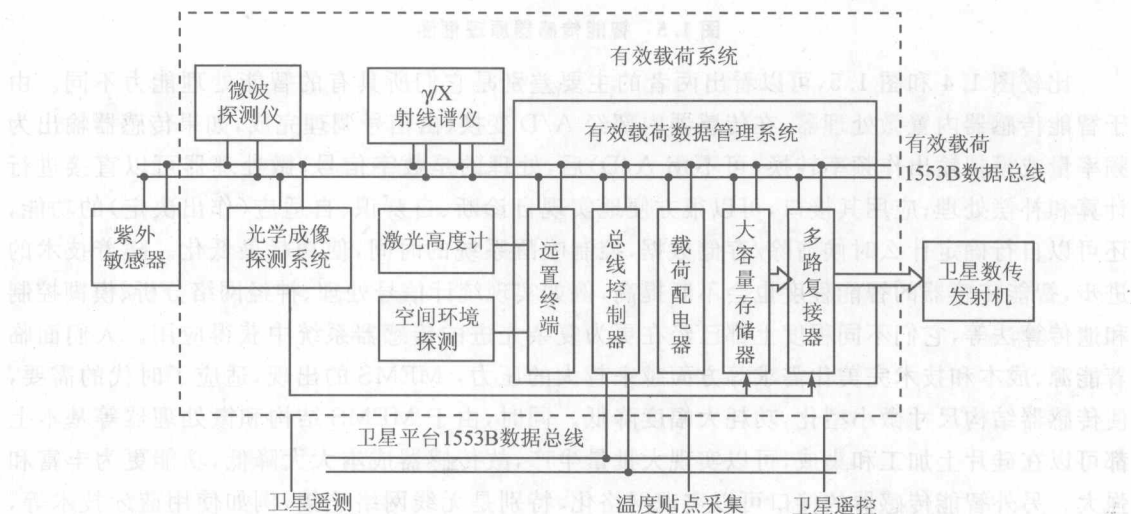


图 1.6 “嫦娥一号”卫星有效载荷组成

表 1.1 主要仪器设备的科学研究目标

有效载荷	科学目标
CCD 立体相机	获取月球表面三维影像
激光高度计	
干涉式成像光谱仪	分析月球表面有用元素及物质类型的含量和分布
γ 射线谱仪、X 射线谱仪	
X 射线谱仪	
微波探测仪	评估月壤厚度
高能粒子探测器	探测地-月空间环境
太阳风探测器	

近些年来,有效载荷研究进展迅速,特别是在美国、欧洲、日本以及中国等国家,每磅有效载荷的费用大幅下降,据称已减少到大约 12 000 美元/lb。美国的 NASA 宣布,计划要通过研



发采用新技术,将这个数字再降低 1/10 以上。健康管理综合系统 ISHM(Integrated System Health Management)就是其中的新技术之一,它通过降低运载工具和地面支持系统的运行、处理和维持费用,实现有效载荷耗费的减少。

ISHM 是一个健康监测综合系统,从传感器和执行器自动和自主地采集信息,使用嵌入的信息资料等专业知识进行处理,综合采集的新信息及其先验知识并以此为依据组建成健康系统,在实际失效发生以前,作出失效预报并进行修正,避免可能付出的昂贵代价。

显然,获得高质量的数据是 ISHM 系统的关键,由传感器及其相应的数据采集系统提供的数据构成了 ISHM 的基础,因此系统广泛采用 Smart 传感器。要求 Smart 传感器能够提供:

- 好数据(评估并证实数据的有效性,即确认数据);
- 经过处理的数据(数据的转换和补偿);
- 传感器健康状况(性能恶化和失效检测);
- 嵌入自修复能力(自校准和自重建);
- 传感器组网能力(有线和/或无线);
- 高可靠性和长的校准周期;
- 能够自动自主运行,减少人的干预(降低可维护性成本)。

系统之所以广泛使用 Smart 传感器,主要是基于以下三点:

① 传感器具有独特的优势。

- 能确保数据的有效性。由于传感器嵌入了校准、失效检测以及校正的方法和知识,故使之具备了健康自我监测的能力。
- 确保了数据的可用性。这是由下列几方面的作用所决定的:它是一个网络化的传感器系统,提供了改变测试路径的能力;有存储数据的能力;具有自我重建的能力。
- 增强了可靠性。主要是缩短了校准的时间以及具有自我重建的能力。
- 数据的信息量丰富。

② Smart 传感器特性优异,主要有:

- 能自我辨识(组态控制)。
- 嵌入智能(包括:数据转换和数字化、时间标识和数据同步、复杂信号的处理能力以及数据的存储等)。
- 健康的自我评估,即数据的有效性和可用性,具有自动校准和自重建的能力。
- 健康管理能力。可以采用健康电子数据表的方法,即对健康参数进行计算、监测并存储在 Smart 传感器内,可以有效地协助确定传感器的健康状态。

③ 传感器的网络化能力。

- Smart 传感器被置于网络中,网络使上述的优势和特性得到了进一步的发挥、扩展和增强。
- 通信被延伸至传感器-系统之间,传感器不仅可以发送/接收来自系统的信息,还可以与网络中的相关传感器建立通信。