

# 传感器原理与应用

黄传河 主编

张文涛 刘丹丹 周 浩 编著



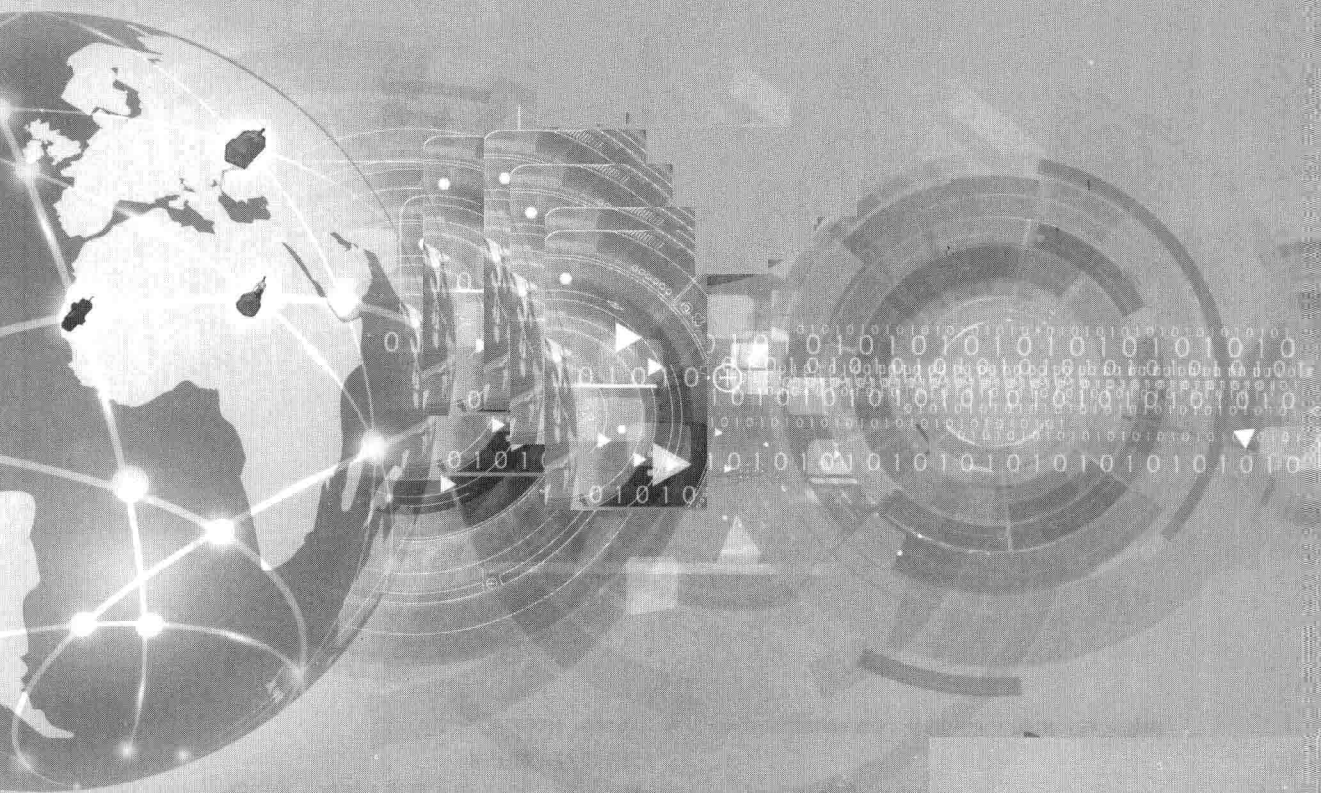
“十二五”国家重点图书出版规划项目

物联网技术丛书

# 传感器原理与应用

黄传河 主编

张文涛 刘丹丹 周浩 编著



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

---

传感器原理与应用 / 黄传河主编. —北京: 机械工业出版社, 2014.11  
(物联网工程专业规划教材)

ISBN 978-7-111-48026-6

I. 传… II. 黄… III. 传感器—高等学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 218232 号

---

本书基于物联网工程专业的教学需求, 充分考虑教学规律, 突出专业特点, 紧密联系实际, 系统全面地介绍各类传感器的结构、工作原理、特性、参数、电路及典型工程应用, 覆盖传感技术研究中的最新成果。本书的主要内容涉及: 传感器概论、无线传感器、光纤传感器、成像传感器、其他传感器、传感器的信号处理、传感器的数据处理、传感器的数据通信以及传感器的应用。

本书可作为高等学校物联网工程专业或相关专业“传感器原理及应用”课程的教材, 也可作为教师以及工程技术人员的参考用书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 朱 劼

责任校对: 董纪丽

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2015 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 12.75

书 号: ISBN 978-7-111-48026-6

定 价: 35.00 元

---

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东



## 前 言

“物联网”的概念自 1999 年首次提出后就引起了社会的广泛关注。近年来，我国将物联网确定为“国家战略性新兴产业”，863/973 计划、国家重大科技专项都对物联网的关键问题研究予以支持，工信部、发改委也投入专项资金发展物联网产业，物联网已在我国蓬勃发展。为培养物联网专业人才，教育部设立了“物联网工程专业”，至今已有几百所高校开设此专业。

传感器技术是物联网技术的重要分支，也是物联网和传感网的重要基础。传感器应用极其广泛，而且种类繁多，本书仅介绍一些在物联网产业中最常见、不可或缺的几类传感器。本书的编写遵循基础性、实用性的原则，对这些传感器的基本原理、结构、性能、用途及其他重要特征等进行介绍，同时给出较为详细的概念、规律，以及必要的、简明的数学推导或原理说明，并结合传感器的应用实例进行讲解，引导读者学习、掌握传感器的应用技术。

全书共 9 章，第 1 章介绍传感器的基础知识，其余各章均具有一定的独立性。第 1 章“传感器概论”，对传感器的基本组成、分类、基本工作原理及其应用等进行了介绍；第 2 章“无线传感器”，描述无线传感器节点的硬件组成、能量消耗的控制和处理、操作系统及数据处理，并给出了一个典型的无线传感器的例子——Mica 节点，最后简要介绍无线传感器网络的相关知识，扩展学生的知识面；第 3 章“光纤传感器”，介绍光纤传感器的定义与分类、光纤传感器的基本工作原理，将描述和分析 7 种典型的光纤传感器，并对先进的分布式光纤传感器和 MEMS 传感器进行分析和介绍，最后简要描述光纤传感器的封装技术；第 4 章“成像传感器”，将探讨成像传感器的物理基础和基本工作原理，然后重点介绍和分析成像传感器相关的感知器件；第 5 章“其他传感器”，将先后分析和阐述化学传感器、压电式传感器、磁敏传感器和生物传感器的特性、工作原理和应用；第 6 章“传感器的信号处理”，将对传感器中典型的信号处理电路和方法进行分析和阐释；第 7 章“传感器的数据处理”，将介绍传感器中数据处理的基本工具及数据融合的原理和一般方法；第 8 章“传感器的数据通信”，首先对传感器中通信模块的基本组成原理及其功

## IV

能进行分析和描述，接着介绍5种典型的传感器数据通信模块，最后对当前流行的4类传感器数据通信协议和方法进行较为详细和系统的介绍与描述；第9章“传感器的应用”，以“基于无线传感器的网络协同智能交通系统”、“建筑结构无线传感器网络健康监测系统”及“基于RVM的多功能自确认水质检测传感器”三个应用为例来介绍传感器的应用。

本书由武汉大学计算机学院黄传河教授策划和主编，并完成全书的整理、审核等工作。其中，第1、2、7章由刘丹丹等负责整理与编写；第3、4、8章由张文涛等负责整理与编写；第5、6、9章由周浩等负责整理与编写。

值得一提的是，传感器技术发展日新月异，不断推陈出新，我们应以科学发展的眼光看待物联网和传感器技术，掌握其核心技术和有效方法，不断学习新技术，与时俱进。

另外，本书作为系列丛书之一，其知识结构在整个专业知识体系中处于至关重要、不可或缺的地位；而仅靠一本书是不可能将相关内容介绍全面的。编者建议读者在学习该部分知识的同时，有必要查阅其他相关书籍和资料，博观约取、厚积薄发！

在本书的编写过程中，参考了大量相关文献以及网络上发布的各种资料，在这里向这些参考文献的作者表示感谢！感谢所有对本书的编写和出版提供帮助的人！

由于本书的编写时间紧、任务重，加之作者水平有限，因此，书中不可避免地存在疏漏甚至谬误之处，还望广大读者指正，以期在后续版本中进行完善。

编者

2014年11月





## 教学建议

本书可以作为物联网工程专业“传感器原理与应用”课程的教材，建议安排为3学分的课程，其中理论学时为45，实践学时为9。建议在本科第四学期开设本课程。

教学内容	教学要求	课时
第1章 传感器基础	<ul style="list-style-type: none"> <li>掌握传感器的基础知识</li> <li>掌握传感器的定义及特点</li> <li>了解传感器技术的发展趋势</li> <li>掌握传感器的一般组成结构</li> <li>了解敏感元件、转换元件及转换电路的基本原理</li> <li>掌握传感器的分类及依据</li> <li>了解主要传感器的基本工作原理（具体工作原理将在后续章节中详细讲解）</li> <li>了解传感器的主要应用领域和模式，以及典型应用实例</li> </ul>	3
第2章 无线传感器及 无线传感器网络	<ul style="list-style-type: none"> <li>熟悉无线传感器节点的硬件组成及主要功能模块</li> <li>理解无线传感器节点能耗控制的基本原理</li> <li>掌握无线传感器节点能耗控制的主要方法</li> <li>了解无线传感器操作系统 TinyOS 的基本概念、原理、编程语言、编程模型等</li> <li>了解无线传感器数据处理 TinyDB 的基本概念、原理、特点和具体方法</li> <li>熟悉无线传感器的典型例子 Mica 系列</li> <li>了解无线传感器网络的原理、组成、应用、特点、协议及网络实例</li> </ul>	5
第3章 光纤传感器	<ul style="list-style-type: none"> <li>熟悉光纤传感器定义与分类</li> <li>理解光纤的工作原理和结构</li> <li>熟练掌握光纤传感器的工作原理</li> <li>理解光纤传感器的特性</li> <li>熟悉几种典型类型光纤传感器</li> <li>熟练掌握分布式光纤传感器的原理</li> <li>了解分布式光纤传感器的应用</li> <li>熟练掌握 MEMS 传感器的原理和组成结构</li> <li>了解 MEMS 传感器的特性和应用</li> <li>熟悉光纤传感器的封装技术</li> <li>理解光纤传感器网络的组成、结构、特性及应用</li> </ul>	5

(续)

教学内容	教学要求	课时
第4章 成像传感器	<ul style="list-style-type: none"> <li>理解成像传感器的物理基础</li> <li>理解并掌握成像传感器的基本工作原理</li> <li>掌握常见的各类成像传感器器件的基本工作原理、组成结构和工作方式</li> </ul>	4
第5章 其他传感器	<ul style="list-style-type: none"> <li>理解并掌握主要化学传感器的基本概念、工作原理、主要类型、主要功能、基本特点和发展趋势</li> <li>理解并掌握典型的压敏传感器的基本概念、工作原理、基本特点和功能</li> <li>理解并掌握典型的磁敏传感器的基本概念、工作原理、基本特点和功能</li> <li>理解并掌握典型的触觉传感器的基本概念、工作原理、基本特点和功能</li> <li>理解并掌握典型的视觉传感器的基本概念、工作原理、基本特点和功能</li> <li>理解并掌握主要生物传感器的基本概念、工作原理、主要类型、主要功能、基本特点和发展趋势</li> </ul>	6
第6章 传感器的信号处理	<ul style="list-style-type: none"> <li>理解传感器信号处理的一般原理和一般方法</li> <li>掌握传感器信号处理的主要方法</li> <li>理解传感器信号转换和输出方法</li> <li>掌握主要的传感器数字信号输出方法</li> <li>理解信号补偿和放大的原理和主要方法</li> </ul>	4
第7章 传感器的数据处理	<ul style="list-style-type: none"> <li>了解传感器数据处理的基本原理和主要方法</li> <li>掌握运用 NesC 语言进行数据处理的原理和方法</li> <li>掌握数据融合的概念、原理和主要方法</li> </ul>	6
第8章 传感器的数据通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>熟悉传感器通信模块的组成、工作原理</li> <li>理解传感器通信模块的主要功能</li> <li>掌握几种常用的传感器通信模块的组成、原理和工作方式</li> <li>熟悉并理解几种主要的传感器通信协议, 如 ZigBee、UWB、BT 和 NFC 等</li> </ul>	6
第9章 传感器的应用	<ul style="list-style-type: none"> <li>熟悉并理解几种常见的传感器应用系统的组成结构、工作原理和工作方式, 如环境监测系统、位移监测系统、视频监测系统以及水质监测系统</li> </ul>	4
习题课	针对每章练习题中学生的共性和重难点问题进行解析	2
实践	重点内容的配套实验和课外实践	9
总课时	理论	45
	实践	9

本书各章最后都附有习题, 任课教师可以根据情况, 给学生布置一些基本的和中等难度的习题作为课外作业。主要内容讲授完毕后可安排一次集中的习题课。在习题课上可以由教师讲解以前课外作业中存在的带有普遍性的问题, 也可以安排稍难一些的习题让学生在课上做出解答, 然后由教师指导进行讨论, 最后得出不仅正确而且较好的答案。

理论课程讲授过程中, 应根据本课程教学大纲的要求按序进行传感器实验课程和课外实践活动。实验课时应不少于 9 学时; 课外实践活动可选, 应根据实际情况和学生兴趣进行适当安排。



# 目 录

## 前 言 教学建议

### 第1章 传感器基础 / 1

- 1.1 传感器的概念 / 1
  - 1.1.1 传感器的定义 / 1
  - 1.1.2 传感器技术的特点 / 2
  - 1.1.3 传感器技术的发展趋势 / 3
- 1.2 传感器的组成 / 5
  - 1.2.1 传感器的一般组成 / 5
  - 1.2.2 敏感元件 / 5
  - 1.2.3 转换元件 / 6
  - 1.2.4 转换电路 / 6
- 1.3 传感器的分类 / 7
  - 1.3.1 传感器的分类依据 / 7
  - 1.3.2 传感器的分类方法 / 7
- 1.4 传感器的工作原理 / 8
  - 1.4.1 物理型传感器的工作原理 / 8
  - 1.4.2 化学型传感器的工作原理 / 9
  - 1.4.3 生物型传感器的工作  
原理 / 10
  - 1.4.4 能量控制型传感器的工作  
原理 / 11
  - 1.4.5 能量转换型传感器的工作  
原理 / 11

- 1.5 传感器的应用 / 11
  - 1.5.1 传感器的应用领域 / 11
  - 1.5.2 传感器的应用举例 / 13
- 习题1 / 16
- 参考文献 / 16

### 第2章 无线传感器及无线传感器 网络 / 17

- 2.1 无线传感器节点的硬件组成 / 17
- 2.2 无线传感器节点的能耗控制 / 18
  - 2.2.1 无线传感器节点能耗控制  
的原理 / 18
  - 2.2.2 无线传感器节点能耗控制  
的方法 / 20
- 2.3 无线传感器操作系统 TinyOS / 21
  - 2.3.1 TinyOS 的特点和体系  
结构 / 21
  - 2.3.2 TinyOS 的编程语言 nesC / 21
  - 2.3.3 TinyOS 传感器应用程序  
示例 / 22
- 2.4 无线传感器数据库 TinyDB / 24
  - 2.4.1 TinyDB 的原理及组成 / 24



- 2.4.2 TinyDB 的特征 / 26
- 2.4.3 使用 TinyDB 进行数据处理 / 27
- 2.5 无线传感器实例——Mica 系列 / 29
  - 2.5.1 Mica / 29
  - 2.5.2 Mica2 / 29
  - 2.5.3 Micaz / 30
- 2.6 无线传感器网络 / 30
  - 2.6.1 无线传感器网络的原理、组成及应用 / 30
  - 2.6.2 无线传感器网络的特点 / 31
  - 2.6.3 无线传感器网络的协议 / 33
- 习题 2 / 35
- 参考文献 / 35

### 第3章 光纤传感器 / 36

- 3.1 光纤传感器的定义与分类 / 36
  - 3.1.1 光纤传感器的定义 / 36
  - 3.1.2 光纤传感器的分类 / 37
- 3.2 光纤传感器的原理 / 38
  - 3.2.1 光纤的工作原理和结构 / 38
  - 3.2.2 光纤传感器的工作原理 / 40
  - 3.2.3 光纤传感器的特性 / 41
- 3.3 典型光纤传感器 / 42
  - 3.3.1 光纤加速度传感器 / 42
  - 3.3.2 光纤速度传感器 / 43
  - 3.3.3 光纤压力传感器 / 44
  - 3.3.4 光纤温度传感器 / 44
  - 3.3.5 光纤声音传感器 / 45
  - 3.3.6 光纤光电传感器 / 46
  - 3.3.7 光纤图像传感器 / 46
- 3.4 分布式光纤传感器 / 47
  - 3.4.1 分布式光纤传感器的概念 / 47
  - 3.4.2 时域分布式光纤传感器的原理 / 47

- 3.4.3 分布式光纤传感器的类型 / 48
- 3.4.4 分布式光纤传感器的应用 / 50
- 3.5 MEMS 传感器 / 50
  - 3.5.1 MEMS 传感器的分类 / 50
  - 3.5.2 MEMS 传感器的原理和结构 / 51
  - 3.5.3 MEMS 传感器的特性 / 58
  - 3.5.4 MEMS 传感器的应用 / 59
- 3.6 光纤传感器的封装 / 59
  - 3.6.1 光纤传感器的封装技术 / 59
  - 3.6.2 光纤光栅应变传感器的封装 / 61
  - 3.6.3 光纤光栅温度传感器的封装 / 64

习题 3 / 67

参考文献 / 68

### 第4章 成像传感器 / 69

- 4.1 成像传感器的物理基础 / 69
  - 4.1.1 成像传感器简介 / 69
  - 4.1.2 光导摄像管的物理基础 / 70
  - 4.1.3 固态摄像器件的物理基础 / 71
  - 4.1.4 热红外成像的物理基础 / 71
- 4.2 成像传感器的原理 / 73
  - 4.2.1 MOS 电容器 / 73
  - 4.2.2 CCD 的基本机构和原理 / 74
  - 4.2.3 热红外成像原理 / 76
- 4.3 成像传感器器件 / 79
  - 4.3.1 电荷耦合器件 / 79
  - 4.3.2 电荷注入器件 / 80
  - 4.3.3 CMOS 摄像器件 / 81
  - 4.3.4 线列 CCD 成像传感器 / 82
  - 4.3.5 面阵 CCD 成像传感器 / 83

- 4.3.6 CCD 成像传感器的主要特性参数 / 84
- 4.3.7 CCD 成像传感器的应用 / 85
- 4.3.8 微光 CCD 成像传感器 / 88
- 4.3.9 特殊 CCD 的发展 / 89

习题 4 / 90

参考文献 / 90

## 第 5 章 其他传感器 / 91

- 5.1 化学传感器 / 91
  - 5.1.1 化学传感器的基本概念和原理 / 91
  - 5.1.2 化学传感器的主要类型 / 92
  - 5.1.3 化学传感器的特点 / 94
  - 5.1.4 化学传感器的发展趋势 / 95
  - 5.1.5 化学传感器的应用 / 96
- 5.2 压电式传感器 / 96
  - 5.2.1 压电效应和压电材料 / 96
  - 5.2.2 压电式传感器的特点 / 100
  - 5.2.3 压电式传感器的应用 / 100
- 5.3 磁敏感传感器 / 101
  - 5.3.1 霍尔传感器 / 101
  - 5.3.2 磁敏二极管和磁敏三极管 / 105
  - 5.3.3 磁敏感传感器的应用 / 107
- 5.4 生物传感器 / 108
  - 5.4.1 生物传感器的原理、特点及分类 / 108
  - 5.4.2 几种生物传感器及其分类 / 110
  - 5.4.3 生物传感器的应用 / 114

习题 5 / 115

参考文献 / 115

## 第 6 章 传感器的信号处理 / 116

- 6.1 信号处理概述 / 116
  - 6.1.1 信号的引出 / 116

6.1.2 补偿电路 / 117

6.1.3 放大电路 / 119

6.2 传感器信号引出 / 119

6.2.1 电荷放大器 / 119

6.2.2 射极跟随器 / 122

6.2.3 电桥放大器 / 124

6.3 信号补偿电路 / 127

6.3.1 非线性补偿 / 127

6.3.2 温度补偿 / 131

习题 6 / 132

参考文献 / 133

## 第 7 章 传感器的数据处理 / 134

- 7.1 nesC 语言 / 134
  - 7.1.1 nesC 简介 / 134
  - 7.1.2 接口 / 135
  - 7.1.3 组件 / 136
  - 7.1.4 模块 / 137
  - 7.1.5 配件 / 138
  - 7.1.6 并发操作 / 139
  - 7.1.7 nesC 应用程序的分析 / 139
- 7.2 数据融合 / 141
  - 7.2.1 数据融合的概念 / 141
  - 7.2.2 数据融合的原理 / 141
  - 7.2.3 通用数据融合方法 / 142

习题 7 / 144

参考文献 / 145

## 第 8 章 传感器的数据通信 / 146

- 8.1 通信模块的组成 / 146
  - 8.1.1 通信模块的组成原理 / 146
  - 8.1.2 通信模块的主要功能 / 147
  - 8.1.3 常用传感器通信模块 / 148
- 8.2 主要通信协议 / 163
  - 8.2.1 ZigBee / 163
  - 8.2.2 UWB / 167
  - 8.2.3 蓝牙 / 172

8.2.4 近场通信 / 175

习题 8 / 180

参考文献 / 180

## 第9章 传感器的应用 / 182

9.1 基于无线传感器的网络协同  
智能交通系统 / 182

9.1.1 数据融合技术在体域医学  
无线传感器网络中的  
应用 / 183

9.1.2 协同信息处理技术在智能  
交通车车无线通信中的  
应用 / 184

9.1.3 协同信息处理技术在智能  
交通车路无线通信中的  
应用 / 184

9.2 建筑物健康监测无线传感器  
网络系统及信息处理技术 / 185

9.2.1 建筑物无线传感器健康  
监测概述 / 185

9.2.2 信息处理技术在无线传感器  
健康监测网络中的应用 / 186

9.3 基于 RVM 的多功能自确认水质  
检测传感器 / 187

9.3.1 RVM 原理介绍 / 187

9.3.2 基于 RVM 的传感器故障  
诊断和数据恢复 / 187

习题 9 / 189

参考文献 / 190

附录 “传感器原理与应用” 课程实验  
教学大纲 / 191

# 第 1 章 传感器基础

物联网是随着信息技术发展而出现的一个新的概念。通过物联网,可在传统工业、生产安全、工程控制、交通管理、城市管理、农牧业生产、商业流通等领域建立随时能在物体与物体之间沟通的智能系统。物联网是互联网应用的拓展重点,是泛在网的起点,是信息化与工业化融合的切入点,是战略性新兴产业的增长点,是国际竞争的新热点。中国科学院姚建铨院士指出:凡是由传感器、传感技术及利用某种物体相互作用而感知物体的特征,按约定的协议实现任何时刻、任何地点、任何物体、任何人,实现所有人、物与物、人与物之间互联互通,进行信息交换和通信,实现智能化的识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络,即可称为物联网。物联网上部署了海量的多种类型传感器,每个传感器都是一个信息源,不同类别的传感器所捕获的信息内容和信息格式不同。传感器获得的数据具有实时性,其按一定的频率周期性地采集环境信息,并不断更新数据。可以看出,传感器是物联网实现全面智能感知的最重要的技术之一。

## 1.1 传感器的概念

### 1.1.1 传感器的定义

传感器是指那些对被测对象的某一确定的信息具有感受(或响应)与检出功能,并使之按照一定规律转换成与之对应的可输出信号,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求的元器件或装置的总称,它是实现自动检测和自动控制的首要环节。广义地说,传感器就是一种能将物理量或化学量转变成便于利用的电信号的器件。国家标准 GB 7665—87 对传感器的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转



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。”国际电工委员会（International Electrotechnical Committee, IEC）对其的定义为：“传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。”按照 Gopel 等的说法是：“传感器是包括承载体和电路连接的敏感元件”，而“传感器系统则是组合有某种信息处理（模拟或数字）能力的传感器”。简单来说，这些定义都包含了以下几方面的含义：①传感器是测量装置，能完成检测任务；②它的输出量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等；③它的输出量是某种物理量，这种物理量要便于传输、转换、处理、显示等，可以是气、光、电量，但主要是电量；④输出和输入有对应关系，且应有一定的精确程度。

传感器是传感器系统的一个组成部分，它是被测量信号输入的第一道关口。传感器可以直接接触被测对象，也可以不接触。通常对传感器设定了许多技术要求，有一些是对各种类型传感器都适用的，也有只对某些类型传感器适用的特殊要求。各传感器在不同场合均应符合以下要求：高灵敏度、抗干扰的稳定性、线性、容易调节、高精度、高可靠性、无迟滞性、工作寿命长、可重复性、抗老化、高响应速率、抗环境影响、互换性、低成本、宽测量范围、小尺寸、重量轻、高强度、宽工作范围等。

### 1.1.2 传感器技术的特点

传感器技术的特点体现在其知识密集性、内容离散性、品种庞杂性、功能智能性、测试精确性、工艺复杂性和应用广泛性上。

#### 1. 知识密集性

传感器技术几乎涉及支撑现代文明的所有科学技术。各类传感器机理各异，与多学科密切相关，在理论上以物理学中的“效应”、“现象”，化学中的“反应”，生物学中的“机理”作为基础；在技术上涉及电子、机械制造、化学工程、生物工程等学科的技术，是多学科相互渗透的知识密集性领域。

#### 2. 内容离散性

内容离散性主要体现在传感器技术的特点所涉及和利用的物理学、化学、生物学中的“效应”、“反应”、“机理”，不仅为数甚多，而且往往是彼此独立，甚至是完全不相关的，因此翻开有关传感器技术的教材和参考书的目录会发现章节顺序各异，但各有其道理。了解这些特点后，读者对传感器技术的地位和作用即可有一定的概念了。

#### 3. 品种庞杂性

首先，自然界中的信息千差万别，不同的信息对应不同类别的传感器，如液位传感器、温度传感器、速度传感器等，品种繁多。其次，针对自然界中一种信息的检测，就可根据不同原理、利用不同材料制作出许多种类的传感器，例如仅线位移传感器就有 18 种。再次，由于产品更新换代快，新的传感器不断出现，传感器规格、品种不断增加。另外，从杂志、书籍中见到的传感器品种名称各异。传感器可按其结构、敏感材料、输

入量情况、输出量情况、工作原理、功能及应用分类,同一种传感器基于不同分类也含有很多名称。可见,传感器具有品种庞杂性的特点。

#### 4. 功能智能性

传感器具有多种作用,既可代替人类五官感觉的功能,也能检测人类五官不能感觉的信息(如超声波、红外线等),称得上是人类五官功能的扩展。同时,其还能在人类无法忍受的高温、高压等恶劣环境下工作,并且一些传感器还具有记忆、存储、解析、统计处理和自诊断、自校准、自适应等功能,因而称其具有“智能性”。

#### 5. 测试精确性

在一些特殊场合下,如测试飞机的强度时,要在机身、机翼贴上几百片应变片,在试飞时还要利用传感器测量发动机的参数(转速、转矩、震动),以及机上有关部位各种参数(应力、温度、流量)等,这就要求传感器具有较高灵敏度,能够快速反映上述参数变化。现在传感器检测温度可达 $-273^{\circ}\text{C} \sim 1000^{\circ}\text{C}$ ,湿度在几个PPM到100%RH之间,传感器精度可在0.001%~0.1%范围内,可靠度可达8~9级。

#### 6. 工艺复杂性

传感器的制作涉及许多高新技术,如集成技术、薄膜技术、超导技术、捏合技术、高密封技术、特种加工技术,以及多功能化、智能化技术等,工艺难度很大,要求极高。例如直径为1栅的微型传感器精加工技术、厚度为 $1\mu\text{m}$ 以下的硅片超薄加工技术、耐压几百MPa的大压力传感器的密封技术等生产工艺都极其复杂。

#### 7. 应用广泛性

现代信息系统中待测的信息量很多,一种待测信息可由几种传感器来测量,一种传感器也可测量多种信息,因此传感器种类繁多,应用广泛,从航空、航天、兵器、交通、机械、电子、冶炼、轻工、化工、煤炭、石油、环保、医疗、生物工程等领域,到农林、牧副、渔业,以及人们的衣、食、住、行等生活的方方面面,几乎无处不使用传感器,无处不需要传感器。

### 1.1.3 传感器技术的发展趋势

随着传感器技术应用的日益广泛,它已成为影响人们生活的重要因素之一。因此传感器的开发成为目前的热门研究课题之一。可以从以下几方面来看传感器技术的发展趋势:一是开发新材料、新工艺和开发新型传感器;二是实现传感器的多功能、高精度、集成化和智能化;三是通过传感器与其他学科的交叉整合,实现无线网络化。

#### 1. 新型传感器

传感器的工作机理基于各种物理(化学或生物)效应和定律,由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并研制新型传感器。除此之外,开发新材料传感器是传感器技术的重要基础,除了早期使用的半导体材料、陶瓷材料以外,光导纤维、纳米



## 4 传感器原理与应用

材料、超导材料等相继问世为传感器发展带来了新的契机,人工智能材料更是给我们带来一个新的天地,人工智能材料同时具有三个特征:能感知环境条件的变化(传统传感器)的功能;识别、判断(处理器)功能;发出指令和自采取行动(执行器)功能。随着研究的不断深入,未来将会有更多、更新的传感器材料被开发出来。

### 2. 传感器集成化

传感器集成化包含两个含义:一个是同一功能的多元件并列,目前发展很快的自扫描光电二极管阵列、CCD 图像传感器就属此类;另一种含义是功能一体化,即将传感器与放大、运算以及温度补偿等环节一体化,组装成一个器件。例如将压敏电阻、电桥、电压放大器和温度补偿电路集成在一起的单块压力传感器。

### 3. 智能传感器

智能传感器是将传感器与计算机集成在一块芯片上,它将敏感技术与信息处理技术相结合。和传统传感器相比,智能传感器具有逻辑判断、统计处理、自诊断、自校准、自适应、自调整、组态、记忆、存储、数据通信等功能。由于“电脑”的加入,智能传感器可通过各种软件对信息检测过程进行管理和调节,使之工作在最佳状态,从而增强传感器的功能,提升传感器的性能。

### 4. 多学科交叉融合

无线传感器网络是由大量无处不在的,具备无线通信与计算能力的微小传感器节点构成的自组织分布式网络系统,是能根据环境自主完成指定任务的“智能”系统。它是涉及微传感器与微机械、通信、自动控制、人工智能等多学科的综合技术,其应用已由军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保障、家居、商业、工业等众多领域,具有多学科交叉融合的特性。

### 5. 加工技术微精细化

随着传感器产品质量的提升,加工技术的微精细化对传感器的生产越来越重要。微机械加工技术是近年来随着集成电路工艺发展起来的,它是将离子束、电子束、激光束和化学刻蚀等用于微电子加工的技术,目前已越来越多地用于传感器制造工艺。另外一个发展趋势是越来越多的生产厂家将传感器作为一种工艺品来精雕细琢。无论是每一根导线,还是导线防水接头的出孔,传感器的制作都达到了工艺品的水平。

### 6. 多传感器数据融合技术

多传感器数据融合技术形成于 20 世纪 80 年代且正在形成热点,它不同于一般的信号处理,也不同于单个或多个传感器的监测和测量,而是基于多个传感器测量结果的更高层次的综合决策过程。鉴于传感器技术的微型化、智能化程度提高,在信息获取基础上,多种功能进一步集成、融合已成为必然的趋势。多传感器数据融合技术也将促进传感器技术的发展。

## 1.2 传感器的组成

### 1.2.1 传感器的一般组成

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。传感器的功能可概括为：一感二传。传感器一般由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成。敏感元件可以直接感受被测量的变化，并输出与被测量成确定关系的元件。敏感元件的输出就是转换元件的输入，它将输入转换成电参量。上述的电参量进入基本转换电路中，就可以转换成电量输出。传感器只完成被测参数到电量的基本转换，其组成框图如图 1-1 所示。

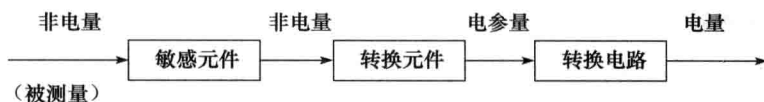


图 1-1 传感器组成框图

### 1.2.2 敏感元件

敏感元件品种繁多，按其感知外界信息的原理来分类，可分为：①物理类，基于力、热、光、电、磁和声等物理效应；②化学类，基于化学反应的原理；③生物类，基于酶、抗体和激素等分子识别功能。根据其基本感知功能，可分为热敏元件、光敏元件、气敏元件、力敏元件、磁敏元件、湿敏元件、声敏元件、放射线敏感元件、色敏元件和味敏元件十类（还有人曾将传感器分为 46 类）。下面对常用的热敏、光敏、气敏、力敏和磁敏传感器及其敏感元件简单介绍如下。

#### 1. 温度传感器及热敏元件

温度传感器主要由热敏元件组成。热敏元件品种较多，常见的有双金属片、铜热电阻、铂热电阻、热电偶及半导体热敏电阻等。以半导体热敏电阻为探测元件的温度传感器应用广泛，这是因为在元件允许的工作条件范围内，半导体热敏电阻器具有体积小、灵敏度高、精度高的特点，而且制造工艺简单、价格低廉。

#### 2. 光传感器及光敏元件

光传感器主要由光敏元件组成。目前光敏元件发展迅速、品种繁多、应用广泛，常见的光敏元件有光敏电阻器、光电二极管、光电三极管、光电耦合器和光电池等。

#### 3. 气敏传感器及气敏元件

由于气体与人类的日常生活密切相关，对气体进行检测已成为保护和改善生态、居住环境不可缺少的方法，这其中，气敏传感器发挥着极其重要的作用。例如，利用  $\text{SnO}_2$

金属氧化物半导体气敏材料，通过颗粒超微细化和掺杂工艺制备  $\text{SnO}_2$  纳米颗粒，并以此为基体掺杂一定催化剂，经适当烧结工艺进行表面修饰，制成旁热式烧结型 CO 敏感元件，能够探测 0.005% ~ 0.5% 范围的 CO 气体。还有许多对易爆可燃气体、酒精气体、汽车尾气等有毒气体进行探测的传感器。常用的主要有接触燃烧式气体传感器、电化学气敏传感器和半导体气敏传感器等。

### 4. 力敏传感器和力敏元件

力敏传感器的种类甚多，传统的原理是利用弹性材料的形变和位移来进行测量。随着微电子技术的发展，利用半导体材料的压阻效应（即在某一方向对其施加压力，其电阻率就发生变化）和良好的弹性，已经研制出体积小、重量轻、灵敏度高的力敏传感器，广泛用于压力、加速度等物理力学量的测量。

### 5. 磁敏传感器和磁敏元件

目前，磁敏元件有霍尔器件（基于霍尔效应）、磁阻器件（基于磁阻效应，即外加磁场使半导体的电阻随磁场的增大而增加）、磁敏二极管和三极管等。以磁敏元件为基础的磁敏传感器在一些电、磁学量和力学量的测量中应用广泛。

## 1.2.3 转换元件

转换元件指传感器中能将敏感元件的输出转换为适于传输和测量的电信号部分，它是传感器的重要组成部分。它的前一环节是敏感元件。但有些传感器的敏感元件与转换元件是合并在一起的，例如，应变式传感器的转换元件是一个应变片。一般传感器的转换元件是需要辅助电源的。转换元件又可以细分为电转换元件和光转换元件。

## 1.2.4 转换电路

被测物理量通过信号检测传感器后转换为电参数或电量，其中电阻、电感、电容、电荷、频率等还需要进一步转换为电压或电流。一般情况下，电压、电流还需要放大。这些功能都由中间转换电路来实现。因此，转换电路是信号检测传感器与测量记录仪表和计算机之间的重要桥梁。

转换电路的主要作用为：

- 1) 将信号检测传感器输出的微弱信号进行放大、滤波，以满足测量、记录仪表的需要；
- 2) 完成信号的组合、比较，系统间阻抗匹配及反向等工作，以实现自动检测和控制；
- 3) 完成信号的转换。

在信号检测技术中，常用的转换电路有电桥、放大器、滤波器、调频电路、阻抗匹配电路等。