

# 物联网

# 传感器技术及应用

郭源生 吴循 李吉锋 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

# 物联网传感器技术及应用

郭源生 吴 循 李吉锋 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

随着国家信息化战略的实施,物联网在我国必将获得快速发展,而作为物联网基础技术——传感器的发展则是决定物联网发展水平的先决条件。物联网传感器也将是传感器产业发展的重点。

本书系统介绍了作为物联网感知控制层的关键技术——传感器技术及其应用。第1章概括介绍了国内外物联网和传感器产业技术的发展现状及趋势,对传感器在物联网发展中的基础地位进行了阐述,指出目前我国传感器产业技术发展存在的问题和物联网传感器的发展目标;第2章重点介绍了一般传感器技术与原理,以及传感器技术的未来发展趋势和发展重点;第3章~第6章分别详细介绍了物联网传感器几大核心技术,包括:RFID技术、MEMS技术、智能传感器技术、无线传感器网络技术原理及其应用。本书还对传感器网络技术标准进行了介绍,最后详述了传感器在各类物联网示范工程中的应用案例。

本书适合从事物联网研究的科研人员以及政府公务员、企业管理者等物联网爱好者阅读,也可做为高等院校信息类、通信类、计算机类等专业的物联网概论课程的教学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

物联网传感器技术及应用/郭源生,吴循,李吉锋编著. —北京:国防工业出版社, 2013.6

ISBN 978-7-118-08855-7

I. ①物… II. ①郭… ②吴… ③李… III. ①互联网络—应用—研究  
②智能技术—应用—研究 ③传感器—研究 IV. ①TP393.4 ②TP18 ③TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第113353号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 20¼ 字数 466千字

2013年6月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 58.00元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

# 前 言

当今世界，信息技术的发展水平已成为衡量一个国家的信息化能力，以及是否具有国际竞争优势的重要标志。人类自 21 世纪开始，全面步入信息时代。信息技术的发展，为人类生产方式、提高生产力水平以及人类社会的进步和经济发展发挥了重要的积极作用，对人类思想观念和生活方式的改变产生了巨大的冲击和深远的影响。人们不仅希望或不满足通过各类网络的接入，实现人与人之间的信息交流与沟通，更希望和追求能够在无人干预的情况下，实现物与物、物与人的泛在链接，实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理，这无疑要通过物联网技术才能够完全实现人类的这一更高的诉求和愿望。用来缩短各种信息获取的时间，提高社会活动的节奏和效率，减少工作和生活中的无效成本，改变人类活动方式和提高生活品质。

物联网的发展被称为继计算机、互联网之后引领世界信息产业的第三次浪潮，其应用领域十分广阔，遍及智能运输、智能建筑、遥感勘测、环境保护、工业自动化、政府工作、公共安全、平安家居、智能消防、老人护理、个人健康、花卉栽培、水系监测、食品溯源、敌情侦查和情报搜集、移动 POS、气象、林业、水务、金融等诸多领域。世界各国都将物联网当成重振经济的法宝，因为物联网不仅可以提高经济效益，大大节约成本，还极大的可能为全球经济的复苏提供强有力的技术动力。我国对物联网的关注和重视丝毫不亚于其他国家，自 2009 年 8 月温家宝总理提出“感知中国”以来，物联网被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一。

物联网作为基于标准通信协议建立的覆盖万事万物的全球性网络，其本质上是一个信号采集和处理的网络。按照网络内数据的流向及处理方式可将物联网分为三个层次：一是传感网络层，即以二维码、RFID、传感器为主，实现对“物”或环境状态的识别；二是传输网络层，即通过现有的互联网、广电网、通信网或者下一代互联网，实现数据的传输和计算；三是应用网络层，即输入输出控制终端，包括电脑、手机等终端。不难看出，在物联网三个层次中感知技术是核心和关键，全面的信息采集是实现物联网的基础。物联网信息数据的采集得益于使用传感技术监测物体物理状态改变的能力。传感器作为物联网采集信息的终端工具，就如同是物联网的“眼睛”、“鼻子”和“耳朵”，是感知层的关键技术，在物联网的发展过程中，传感器技术已成为其最重要的基础技术之一。传感器在信息采集层面能否如愿以偿完成它的使命，成为物联网成败的关键，传感器技术将对物联网的应用与发展起到至关重要的作用。

传感器作为信息产业的重要神经触角，是新技术革命和信息社会的重要技术基础，传感器在实际生活中的应用越来越广泛，几乎所有的高科技行业都离不开传感器的信息采集技术支持。如果将物联网与传感器更完美地融合，物物相联，物皆能知的未来绝不是幻想。传感技术作为现代信息技术的三大核心技术之一，是 21 世纪世界各国在高新技术发展方面争夺的一个重要领域。美国早在 80 年代就声称世界已进入传感器时代，日本则把传感器技术列为十大技术之首。日本工商界人士声称“支配了传感器技术就能够支配新时代”。世界技术发达国家对开发传感器技术都十分重视。美、日、英、法、德和独联体等国都把传感器技术列为国家重点开发关键技术之一。

传感器是多种高技术的集合产物，具有技术密集，制造工艺技术的多样性、边缘性、综合性和技艺性等综合特征。传感器技术的发展依附于敏感机理、敏感材料、生产工艺设备和计测技术，敏感机理千差万别、敏感材料多种多样、工艺设备各不相同，计测技术大相径庭。随着物联网技

术的推广与应用,使得传感器新门类、新品种、新结构层出不穷,新原理、新材料、新结构、新工艺的研究更加深入广泛,应用领域迅速扩大,应用数量猛增,推动着传感器制造行业从多品种、小批量、小规模向产品标准规范和产业化规模大生产方向迅猛发展,引领着传感器技术向微型化、智能化、多功能化、无线网络化方向发展。

传感器的性能决定物联网性能。传感器是物联网中获得信息的唯一手段和途径,传感器采集信息的准确、可靠、实时将直接影响到控制节点对信息的处理与传输。传感器的特性、可靠性、实时性、抗干扰性等性能,对物联网应用系统的性能起到了举足轻重的作用。

传感器产业化决定物联网市场应用前景。物联网产业规模将是互联网的3倍,是一个万亿级的产业,而传感器技术作为物联网整个链条的基础环节,其需求总量比较大,预计2014年市场规模将达到1200亿元。然而,我国目前传感器产业还面临许多突出问题,是物联网发展的瓶颈。传感器产业技术创新能力很弱,企业的技术创新主体难以确立,国家研发投入严重不足;产业结构不合理,产业链失衡,重研发、轻应用,产品附加值不高;体制机制不完善,创业投资机制不健全,政策环境不适应产业化发展;国际分工地位较低,不具备有国际竞争力的高技术企业,知名产品、知名品牌、知名企业少;传感技术人才短缺,特别是高技术人才匮乏;相对于计算机技术、通信技术,传感器技术在国内处于弱势地位;等等,问题众多,与国外的差距在进一步扩大。未来10年,在大力发展物联网的同时,如果不发展传感器技术,则大量传感器势必从国外进口,一旦传感器市场被国外占有,不仅经济损失巨大,而且国家安全没有保障。在发展物联网的同时,一开始就考虑传感器的同步、协调发展,虽然前期投入高,从长远看是十分有利的,既提升了国产传感器的制造水平,满足物联网的需求,保证了国内市场,还可培养一批传感技术人才,缩小与国外传感器产业的差距。

如何使传感器低成本、高质量、高可靠性、规模化、批量化大生产,以及应用领域的进一步适应与拓展,是当今世界各国同行专家们普遍重视和亟待解决的一项重大问题,国家应对物联网用传感器作为战略新兴产业加以培育和发展。未来应以物联网用集成化智能传感器系统为突破口,全面提升我国传感器的技术水平、工艺水平、产业水平和应用水平,重点攻克高精度、低成本、低功耗、微型化传感技术,重点开发新原理、新材料、新工艺新型传感器,拓展传感器被监测量类型。积极推进、建设先进适用,在物联网中有广泛应用,有一定基础条件的传感器产业化工程,形成有集聚效应的产业化基地,逐步推进有条件的高端传感器产业化工程。国家应利用经济杠杆研究物联网传感器发展的商业模式,通过商业模式创新,形成新兴产业。企业的生产要向规模经济或适度规模经济发展,企业的经营要向国内与国外两个市场相结合发展,企业结构由大、中、小并存向集团化、专业化方向发展。政府应从技术、科研、产业、政策、资金等方面对部分企业进行重点支持,培养具有国际竞争力的龙头企业,积极引导各类风险投资,尤其是民间风险投资进入传感器产业。传感器产业的发展,还要积极吸引国外资源,包括资金、人才、技术和管理,积极促进我国传感技术的升级、换代。

为积极推动物联网产业的发展和核心技术的推广应用,增进社会各界对物联网技术基础——传感器技术的全面认识和了解,本书在吸收借鉴国内外物联网传感器最新成果的基础上,介绍了物联网的发展和架构,物联网发展的六大问题和十大应用领域;阐述了传感器技术在物联网中的基础地位和作用以及国内物联网传感器的发展目标和趋势。在详细介绍传感器技术与原理的基础上,本书系统介绍了物联网传感器的几大核心技术及其应用,包括RFID技术、MEMS技术、智能传感器技术、无线传感网络技术,最后详述了各领域物联网示范工程中的传感器应用案例,为工程技术人员物联网工程的实施提供参考借鉴。

本书由郭源生(工信部电子元器件行业发展研究中心)、吴循(北京市科学技术情报研究所)、李吉锋(北京市科学技术奖励工作办公室)总策划并统稿。其中第1章由郭源生、吴循、李吉锋、

董华（青岛科技大学）撰写；第2章由郭源生、董华和郭瑞桐（青岛科技大学）负责编写；第3章由吴循、郭源生、郭瑞桐、李吉锋负责编写，第4章、第6章由郭源生、张文静（青岛科技大学）、郭瑞桐负责编写；第5章、第7章由郭源生、吴循和赵生冬（青岛科技大学）负责编写；第8章由郭源生、张文静、赵生冬（青岛科技大学）负责编写。全书由郭源生和吴循负责审校并定稿。

本书力求突出系统性、全面性、创新性和应用性。目前国内可看到大量物联网方面的书籍，与其他物联网方面书籍的不同是，本书重点强调作为物联网技术基础的传感器技术，主要突出在物联网发展和应用背景下的新型传感器技术与应用。将物联网发展与传感器技术应用相结合是本书的主要特色，目前国内这方面的书籍还较为少见。物联网的实现必须通过传感器技术才能真正落地，传感器技术在物联网的发展背景下将会有更大的应用前景。本书可供政府人员、企业管理者以及对物联网和传感器技术感兴趣的读者阅读，也可作为高等院校物联网和传感器技术课程的教学参考书，还可作为企事业单位从事物联网开发和传感器设计生产工程技术人员与科研人员的参考书。

在信息时代，物联网和传感器技术的发展必定是日新月异。尽管编者在编写过程中尽量采纳最新的研究成果和技术资料，也难免跟不上技术发展变革的脚步。加上研究团队理论和技术水平的限制，书中难免有很多不足和局限，期待广大读者和专家学者给予批评指正，我们将不断更新补充本书的内容。

编者

2012年10月

# 目 录

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| <b>第 1 章 概论</b> .....           | 1  |
| 1.1 物联网概述 .....                 | 1  |
| 1.1.1 物联网的功能属性与特征 .....         | 1  |
| 1.1.2 物联网体系架构 .....             | 2  |
| 1.1.3 物联网在中国的发展 .....           | 4  |
| 1.1.4 物联网产业链分析 .....            | 7  |
| 1.1.5 物联网现阶段发展中的六大问题 .....      | 10 |
| 1.2 物联网传感器及其在物联网中的基础地位 .....    | 12 |
| 1.2.1 传感器与物联网传感器 .....          | 12 |
| 1.2.2 国内外对传感器技术的认识 .....        | 12 |
| 1.2.3 传感器产业技术发展现状 .....         | 14 |
| 1.2.4 物联网与传感器产业的发展 .....        | 19 |
| 1.3 物联网传感器目前主要应用领域 .....        | 22 |
| 1.3.1 物流及安保领域 .....             | 22 |
| 1.3.2 环境参数监测领域 .....            | 23 |
| 1.3.3 设备状态检测领域 .....            | 23 |
| 1.3.4 物理参量检测领域 .....            | 23 |
| 1.3.5 环境感知检测领域 .....            | 23 |
| 1.4 物联网传感器核心技术及应用 .....         | 23 |
| 1.4.1 RFID 识别技术 .....           | 23 |
| 1.4.2 MEMS 工艺技术 .....           | 24 |
| 1.4.3 传感网技术 .....               | 26 |
| 1.4.4 无线传感器网络技术 .....           | 27 |
| 1.4.5 无线传感网络能量收集技术 .....        | 28 |
| 1.5 中国物联网传感器发展的优势、问题及目标 .....   | 31 |
| 1.5.1 中国传感器产业的优势 .....          | 31 |
| 1.5.2 中国传感器产业发展存在的主要问题与对策 ..... | 33 |
| 1.5.3 物联网传感器发展目标 .....          | 37 |
| <b>第 2 章 传感器技术与原理</b> .....     | 40 |
| 2.1 传感器的定义与作用 .....             | 40 |
| 2.1.1 传感器定义 .....               | 40 |
| 2.1.2 传感器的机理 .....              | 41 |
| 2.1.3 传感器的作用 .....              | 41 |
| 2.1.4 传感器技术发展阶段 .....           | 42 |
| 2.1.5 传感器产品工艺发展方向 .....         | 43 |

|            |                     |           |
|------------|---------------------|-----------|
| 2.2        | 传感器的原理与特性           | 45        |
| 2.2.1      | 传感器的组成              | 45        |
| 2.2.2      | 传感器的信号转换方式          | 46        |
| 2.2.3      | 传感器的特性              | 48        |
| 2.2.4      | 传感器的影响因素及误差         | 51        |
| 2.2.5      | 传感器的选用原则            | 52        |
| 2.2.6      | 传感器使用的注意事项          | 53        |
| 2.3        | 传感器的命名方法及分类         | 54        |
| 2.3.1      | 传感器的命名              | 54        |
| 2.3.2      | 传感器的表示方法            | 55        |
| 2.3.3      | 传感器的分类              | 55        |
| 2.4        | 电阻式传感器及应用           | 64        |
| 2.4.1      | 机械量传感器              | 65        |
| 2.4.2      | 磁敏及光敏电阻传感器          | 68        |
| 2.4.3      | 电阻式传感器应用            | 70        |
| 2.5        | 电感式传感器及应用           | 71        |
| 2.5.1      | 自感式传感器              | 71        |
| 2.5.2      | 互感式传感器              | 72        |
| 2.5.3      | 电涡流式传感器             | 73        |
| 2.5.4      | 电感式传感器应用            | 75        |
| 2.6        | 电容式传感器及应用           | 77        |
| 2.6.1      | 电容式传感器原理            | 77        |
| 2.6.2      | 电容式传感器特点            | 80        |
| 2.6.3      | 电容式传感器应用            | 80        |
| 2.7        | 光学传感器及应用            | 81        |
| 2.7.1      | 光探测器                | 81        |
| 2.7.2      | 光图像传感器              | 84        |
| 2.7.3      | 光纤传感器               | 86        |
| 2.7.4      | 光学传感器应用             | 87        |
| 2.8        | 传感器技术和产业发展趋势        | 89        |
| 2.8.1      | 传感器技术发展趋势           | 89        |
| 2.8.2      | 传感器技术发展路线图          | 91        |
| 2.8.3      | 传感器技术发展目标           | 91        |
| 2.8.4      | 传感器产业“十二五”期间发展思路    | 92        |
| <b>第3章</b> | <b>RFID 技术基础与应用</b> | <b>94</b> |
| 3.1        | RFID 概述             | 94        |
| 3.1.1      | RFID 与物联网关系         | 94        |
| 3.1.2      | RFID 的基本概念          | 95        |
| 3.1.3      | RFID 组成             | 96        |
| 3.1.4      | RFID 分类             | 99        |
| 3.1.5      | RFID 发展历史与现状        | 102       |
| 3.1.6      | RFID 在物联网中的应用       | 104       |



|              |                         |            |
|--------------|-------------------------|------------|
| 3.2          | RFID 工作原理及特征            | 106        |
| 3.2.1        | RFID 工作原理               | 106        |
| 3.2.2        | RFID 工作特征               | 108        |
| 3.3          | RFID 关键技术               | 108        |
| 3.3.1        | RFID 软件中间件技术            | 108        |
| 3.3.2        | RFID 安全与隐私保护            | 111        |
| 3.3.3        | RFID 防碰撞协议              | 113        |
| 3.3.4        | RFID 天线技术               | 115        |
| 3.4          | RFID 标准                 | 119        |
| 3.4.1        | RFID 标准简介               | 119        |
| 3.4.2        | RFID 频率标准               | 122        |
| 3.4.3        | RFID 标准体系结构             | 125        |
| 3.5          | RFID 数据的安全性与完整性         | 127        |
| 3.5.1        | RFID 数据协议与方式            | 127        |
| 3.5.2        | RFID 数据安全性              | 129        |
| 3.5.3        | RFID 数据完整性              | 132        |
| 3.6          | RFID 与无线传感器网络整合         | 134        |
| 3.6.1        | RFID 与无线传感器网络整合的原因      | 134        |
| 3.6.2        | RFID 标签与传感器的整合          | 136        |
| 3.6.3        | RFID 标签与无线传感器节点和无线设备的整合 | 139        |
| 3.6.4        | 读写器与无线传感器节点和无线设备的整合     | 140        |
| 3.6.5        | RFID 与传感器的混合            | 142        |
| 3.7          | RFID 发展趋势               | 143        |
| 3.7.1        | RFID 应用系统的发展趋势          | 143        |
| 3.7.2        | 射频识别市场发展现状与预测           | 144        |
| <b>第 4 章</b> | <b>MEMS 工艺技术</b>        | <b>145</b> |
| 4.1          | MEMS 概论                 | 145        |
| 4.1.1        | MEMS 的概念                | 145        |
| 4.1.2        | MEMS 的特征                | 145        |
| 4.1.3        | MEMS 的形成与发展             | 146        |
| 4.1.4        | MEMS 的发展前景              | 149        |
| 4.2          | MEMS 的组成                | 151        |
| 4.2.1        | 微传感器                    | 151        |
| 4.2.2        | 微驱动器                    | 154        |
| 4.2.3        | 微能源                     | 155        |
| 4.3          | MEMS 的设计                | 156        |
| 4.3.1        | MEMS 设计概述               | 156        |
| 4.3.2        | MEMS 设计的主要内容            | 157        |
| 4.3.3        | MEMS 设计的主要方法            | 157        |
| 4.4          | MEMS 的材料及制造技术           | 159        |
| 4.4.1        | MEMS 的材料                | 159        |
| 4.4.2        | MEMS 的制造技术              | 159        |

|              |                     |            |
|--------------|---------------------|------------|
| 4.4          | MEMS 的封装            | 161        |
| 4.4.1        | MEMS 封装的概念          | 161        |
| 4.4.2        | MEMS 封装与集成电路封装的比较   | 161        |
| 4.4.3        | MEMS 封装的等级和接口       | 162        |
| 4.4.4        | MEMS 封装的工艺          | 163        |
| 4.4.5        | MEMS 封装的材料          | 164        |
| 4.5          | MEMS 的检测            | 165        |
| 4.5.1        | MEMS 检测的一般方法        | 165        |
| 4.5.2        | MEMS 中微弱信号检测与处理     | 166        |
| 4.6          | 几种典型的 MEMS 传感器      | 167        |
| 4.6.1        | 硅压阻压力传感器            | 167        |
| 4.6.2        | 硅电容 (3D 技术) 智能压力传感器 | 167        |
| 4.6.3        | 气体传感器               | 168        |
| 4.6.4        | 巨磁传感器               | 169        |
| 4.6.5        | 流量传感器               | 170        |
| 4.6.6        | 硅麦克风 (声音) 传感器       | 170        |
| 4.6.7        | 温、湿度传感器             | 171        |
| 4.6.8        | 硅陀螺 (加速度) 传感器       | 171        |
| 4.7          | MEMS 的应用            | 172        |
| 4.7.1        | MEMS 在医学中的应用        | 172        |
| 4.7.2        | MEMS 在汽车中的应用        | 174        |
| 4.7.3        | MEMS 在军事中的应用        | 177        |
| 4.7.4        | MEMS 技术的其他应用        | 178        |
| <b>第 5 章</b> | <b>智能传感器</b>        | <b>180</b> |
| 5.1          | 智能传感器概述             | 180        |
| 5.1.1        | 智能传感器的基本概念          | 180        |
| 5.1.2        | 智能传感器的组成            | 182        |
| 5.1.3        | 智能传感器的功能与特点         | 183        |
| 5.1.4        | 智能传感器的基本技术          | 187        |
| 5.1.5        | 智能传感器标准体系           | 188        |
| 5.1.6        | 智能传感器的应用与发展         | 189        |
| 5.2          | 智能传感器的体系结构          | 190        |
| 5.2.1        | 智能传感器的层次结构          | 190        |
| 5.2.2        | 智能传感器的设计结构          | 190        |
| 5.2.3        | 智能传感器的结构            | 191        |
| 5.2.4        | 智能传感器的形式            | 194        |
| 5.3          | 智能传感器通信技术           | 195        |
| 5.3.1        | 概述                  | 195        |
| 5.3.2        | 汽车协议                | 197        |
| 5.3.3        | 工业网络                | 200        |
| 5.3.4        | 楼宇与家庭自动化            | 204        |
| 5.4          | 网络化智能传感器            | 206        |

|              |                       |            |
|--------------|-----------------------|------------|
| 5.4.1        | 基于现场总线的网络化智能传感器       | 207        |
| 5.4.2        | 基于 TCP/IP 协议的网络化智能传感器 | 211        |
| 5.5          | 智能传感器的发展趋势            | 212        |
| 5.5.1        | 不断采用新机理、新材料、新技术、新工艺   | 212        |
| 5.5.2        | 微型化与低功耗               | 213        |
| 5.5.3        | 总线技术的标准化与规范化          | 215        |
| 5.5.4        | 智能信息处理化               | 215        |
| 5.5.5        | 传感器虚拟化                | 216        |
| 5.5.6        | 智能传感器网络化              | 216        |
| <b>第 6 章</b> | <b>无线传感器网络</b>        | <b>218</b> |
| 6.1          | 无线传感器网络技术概述           | 218        |
| 6.1.1        | 无线传感器网络的概念            | 218        |
| 6.1.2        | 无线传感器网络的特点            | 219        |
| 6.1.3        | 无线传感器网络体系结构概述         | 222        |
| 6.1.4        | 无线传感器网络发展阶段           | 224        |
| 6.1.5        | 无线传感器网络应用             | 225        |
| 6.1.6        | 无线传感器网络发展趋势           | 227        |
| 6.2          | 无线传感器网络物理层概述          | 229        |
| 6.2.1        | 无线传感器网络物理层的研究内容       | 229        |
| 6.2.2        | 无线通信物理层的主要技术          | 230        |
| 6.2.3        | 无线传感器网络物理层的主要技术挑战     | 231        |
| 6.3          | 无线传感网络通信协议            | 232        |
| 6.3.1        | 路由协议概述                | 232        |
| 6.3.2        | MAC 协议                | 233        |
| 6.4          | 无线传感器网络的支撑技术          | 236        |
| 6.4.1        | 拓扑控制                  | 236        |
| 6.4.2        | 节点定位                  | 238        |
| 6.4.3        | 时间同步                  | 241        |
| 6.4.4        | 数据融合                  | 244        |
| 6.4.5        | 安全技术                  | 248        |
| 6.5          | 无线传感器网络的开发            | 250        |
| 6.5.1        | 无线传感器网络硬件平台           | 250        |
| 6.5.2        | 无线传感器网络的操作系统与软件开发     | 253        |
| 6.5.3        | 无线传感器网络的仿真            | 255        |
| <b>第 7 章</b> | <b>传感器网络技术标准</b>      | <b>257</b> |
| 7.1          | 一般传感器网络技术标准           | 257        |
| 7.1.1        | 国内外传感器网络标准研究现状        | 257        |
| 7.1.2        | 传感器网络标准体系研究           | 258        |
| 7.2          | 物联网传感器网络技术标准          | 260        |
| 7.2.1        | IEEE 702.11           | 260        |
| 7.2.2        | ZigBee                | 263        |
| 7.2.3        | IEEE1451 标准           | 268        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 物联网示范工程中的传感器应用</b> ..... | 274 |
| 8.1 传感器在物联网系统中的应用前景.....          | 274 |
| 8.2 传感器在基于物联网的医疗健康系统中的应用.....     | 275 |
| 8.2.1 应用背景概述.....                 | 275 |
| 8.2.2 物联网环境下的无线医疗传感节点设计.....      | 275 |
| 8.2.3 基于物联网的医疗健康护理系统的优点.....      | 279 |
| 8.3 传感器在基于物联网的智能交通物系统中的应用.....    | 279 |
| 8.3.1 应用背景概述.....                 | 279 |
| 8.3.2 基于物联网的智能交通系统总体架构.....       | 279 |
| 8.3.3 核心网络设备的设计.....              | 280 |
| 8.3.4 基于物联网的智能交通系统的优点.....        | 281 |
| 8.4 传感器在基于物联网的智能小区系统中的应用.....     | 282 |
| 8.4.1 应用背景概述.....                 | 282 |
| 8.4.2 智能小区的总体架构.....              | 283 |
| 8.4.3 主要传感设备的设计.....              | 283 |
| 8.4.4 物联网网关设备的设计.....             | 284 |
| 8.4.5 关键技术设计和软件实现.....            | 284 |
| 8.4.6 基于物联网的智能小区的优点.....          | 285 |
| 8.5 传感器在基于物联网的节能减排系统中的应用.....     | 286 |
| 8.5.1 应用背景概述.....                 | 286 |
| 8.5.2 节能减排系统的总体架构.....            | 286 |
| 8.5.3 核心网络设备的设计.....              | 287 |
| 8.5.4 关键技术设计和软件技术设计实现.....        | 287 |
| 8.5.5 基于物联网的节能减排系统的优点.....        | 289 |
| 8.6 传感器在基于物联网自助旅游系统中的应用.....      | 289 |
| 8.6.1 应用背景概述.....                 | 289 |
| 8.6.2 自助旅游系统的体系结构.....            | 290 |
| 8.6.3 核心硬件设备的设计.....              | 291 |
| 8.6.4 关键技术设计和软件实现.....            | 291 |
| 8.6.5 基于物联网的自助旅游系统的优点.....        | 293 |
| 8.7 传感器在基于物联网的农业种植系统中的应用.....     | 294 |
| 8.7.1 应用背景概述.....                 | 294 |
| 8.7.2 农业种植系统的总体架构.....            | 295 |
| 8.7.3 核心网络设备的设计.....              | 295 |
| 8.7.4 关键技术设计和软件实现.....            | 296 |
| 8.7.5 基于物联网的农业种植系统的优点.....        | 298 |
| <b>附录 2012 中国市场传感器调查报告</b> .....  | 299 |
| <b>参考文献</b> .....                 | 308 |

# 第 1 章 概 论

随着信息技术、计算机技术、微电子技术的高速发展，信息产业已经经历了计算机、互联网和移动通信网两次浪潮，而如今，人们正在迎来第三次浪潮——“物联网”。物联网是一张连接世界万物的巨大信息网络。通过物联网人们能更好地感知世界、控制物体的传输、移动、运行，以达到“智慧”的控制。物联网作为一种形式多样的聚合性复杂系统，涉及了信息技术自上而下的每一层面，其体系结构分为感知控制层、网络传输层、应用服务层三个层面。

传感器技术是物联网重要的技术基础，属于物联网构架的感知层。传感器处于研究对象与检测系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，它提供物联网系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。传感器是物联网中获得信息的唯一手段和途径，好比人的眼睛和耳朵，传感器所采集的信息是否准确、可靠、实时将直接影响到控制节点对信息的处理与传输。传感器的可靠性、按时性、抗干扰性等特性，对物联网应用系统的性能起到举足轻重的作用。传感器技术的发展会直接影响国家物联网产业的发展，物联网的发展也将极大地推动传感器产业的发展。

## 1.1 物联网概述

### 1.1.1 物联网的功能属性与特征

物联网实现了任何物体、任何人在任何时间、任何地点使用任何路径/网络以及审核设备的连接，故物联网包含集中、对象、收集、计算、通信及连接的功能属性（图 1-1）。

从物联网的定义、通信对象和过程来看，物联网的核心是物与物间信息交互的网络，故其有以下特征。

(1) 全面感知：即利用 RFID，传感器等随时随地获取物体及其周边环境的信息，诸如取物体所处环境的温度、湿度、位置，主动速度等。

全面感知就像人体中的感觉系统，传感器、RFID 等如同人体的各种器官，所有器官共同工作，眼睛收集各种图像信息、耳朵收集各种音频信息、皮肤感觉外界温度等，才能够对人所处的环境条件进行准确的感知，获取物体各种信息。

(2) 可靠传输：即通过各种无线网络与互联网的融合，将物体的信息实时准确地传输出去，使整个网络高效正确运行。

可靠传输就像人体系统中的神经系统，把各器官收集到的各种感知信息传输到大脑中，方便人脑做出正确的指示；与此同时，将大脑做出的指示传递给各个部位进行相应的改变和动作。即



图 1-1 物联网的功能属性

将获取信息进行分析处理可靠地传输给信息处理方。

(3) 智能处理：即利用云计算，模糊识别等各种智能计算技术，对海量的数据和信息进行分析和处理，对物体实施智能化的控制。

智能处理相当于人的大脑，根据神经系统传递来的各种信号做出决策，指导相应器官进行活动。在物联网系统中，智能处理部分将收集来的数据进行处理运算，然后做出相应的决策，指导系统进行相应的改变，它是物联网应用实施的核心。

此外，物联网还具有一些其他特征：

(1) 接入对象广泛。物联网接入对象涉及的范围广阔，包括了现在的 PC、手机、智能卡、轮胎、牙刷、手表、工业原材料、工业中间产品等物体，这些物体均被嵌入微型感知设备，成为一个个信息源，不同类别的感知设备所捕获的信息内容和信息格式不同。

(2) 所获信息实时、丰富。物联网可随时随地获取物体的信息。其上遍布传感器节点，传感器按一定的频率周期性地采集环境信息，不断更新数据，使数据具有实时性特征；所获取的信息内容丰富，不仅包括人类社会的信息，也包括更为丰富的物理世界信息，包括压力、温度、湿度等。

(3) 基于网络化的物联。物联网上传感器定时采集的信息需要通过网络传输，在传输过程中，为了保障数据的正确性和及时性，还必须适应各种异构网络和协议。

### 1.1.2 物联网体系架构

物联网作为一种形式多样的聚合性复杂系统，涉及了信息技术自上而下的每一层面，其体系结构分为感知控制层、网络传输层、应用服务层三个层面。感知控制层主要实现智能感知功能，包括信息采集、捕获和物体识别；网络传输层主要实现信息的传送和通信；应用服务层则主要包括各类应用（图 1-2）。

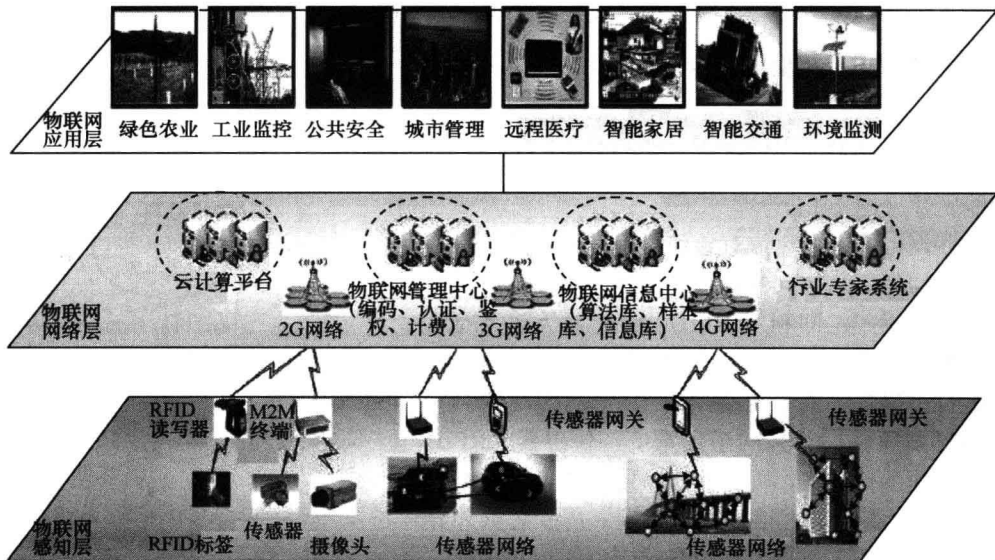


图 1-2 物联网体系架构

#### 1) 感知控制层

感知控制层，又称感知层，由数据采集子层、短距离通信技术和协同信息处理子层组成。数据采集子层通过各种类型的传感器获取物理世界中发生的物理事件和数据信息，例如各种物理量、标识、音频和视频多媒体数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码

和实时定位等技术。短距离通信技术和协同信息处理子层将采集到的数据在局部范围内进行协同处理，以提高信息的精度，降低信息冗余度，并通过自组织能力的短距离传感网接入广域承载网络。感知层中间件技术旨在解决感知层数据与多种应用平台间的兼容性问题，包括代码管理、服务管理、状态管理、设备管理、时间同步、定位等。在有些应用中还需要通过执行器或其他智能终端对感知结果做出反应，实现智能控制。

感知层相当于人体的五官和皮肤，用于察觉外界的数据信息。感知层包括 RFID、传感器节点、摄像头等数据采集设备，也包括由传感器节点组成的子网等。根据应用层不同的应用服务，感知层可能采用不同的感知设备。例如，在环境检测的应用中，感知节点应该是在特定地点放置的温度感知节点、湿度感知节点以及其他环境监测所需指标的相应感知节点；在远程医疗的应用中，就会用到血氧感知节点、血压感知节点等；而在智能交通的应用中，需要给高速公路上的汽车配置相应的 RFID 标签。感知层是物联网信息的起点，与接入物联网中的“物”紧密相连。正是各类传感器、RFID 及其他感知设备才使得物体能够自己“说话”。

## 2) 网络传输层

网络传输层，又称网络层，将来自感知层的各类信息通过基础承载网络传输到应用层，包括移动通信网、互联网、卫星网、广电网、行业专网及形成的融合网络等。根据应用需求，可作为透明传送的网络层，也可升级以满足未来不同内容传输的要求。经过十余年的快速发展，移动通信、互联网等技术已比较成熟，在物联网的早期阶段基本能够满足物联网中数据传输的需要。

网络层相当于人的神经中枢和大脑，网络层主要以因特网、移动通信网、卫星网等为主。网络层负责为信息的传输提供载体，实现更加广泛的互联功能，能将感知层采集的数据信息进行高效、可靠、安全的传递，提供异构网络设备接入接口，实现网络层与感知层的融合。由于移动通信网络及因特网等已应用发展多年，相应的网络技术及信息安全技术已发展得较为成熟，能够给物联网信息的传输提供坚实的基础。虽然这些技术已较成熟，基本上能满足物联网的数据传输要求，但是为了支持未来物联网新的业务特征，现在的因特网、移动通信网、卫星网可能需要做一些优化。

## 3) 应用服务层

应用服务层，又称应用层，主要将物联网技术与行业专业系统相结合，实现广泛的物物互联的应用解决方案，主要包括业务中间件和行业应用领域。其中，物联网服务支撑子层用于支撑跨行业、跨应用、跨系统之间的信息协同、共享、互通的功能。物联网应用服务子层包括智能交通、智能医疗、智能家居、智能物流、智能电力等行业应用。

应用层相当于人的社会分工，根据不同的功能需求，应用层提供不同的应用服务，如智能交通、智能家居、远程医疗、智能物流、环境监测等，不同的应用服务可能对应网络层及感知层的不同功能。例如，在智能家居的应用中，用户可以通过布置在家里的温湿感知等节点实时查询家里的各项环境指标，基于查询的数据和根据自己的需要控制家里的智能电器（例如装有智能控制系统的空调、冰箱等），这些都发生在户主不在家的时候，户主只需通过智能手机发出查询、操作指令就可以掌握和控制家里的电器。查询、操作指令通过移动通信网络发送到家里的家居终端，从而可以对其进行远程控制。如果在家中的门窗上安装红外感应装置，那么就可以对室内安全进行监控，防止有强盗或外人闯入，一旦红外感应装置感应到有人闯入，就可以立即向房屋主人报告（例如可以发送短信给屋主告知有人在没有授权的情况下私自进入住宅）。

从整体上来看，物联网分为软件、硬件两大部分，软件部分即为物联网的应用服务层，包括应用、支撑两部分。硬件部分分为网络传输层和感知控制层，分别对应传输部分、感知部分；物联网的主要技术、知识点、知识单元、知识体系，掌握实用的软件、硬件技术和平台，见表 1-1。

表 1-1 物联网体系结构

|        | 感知控制层  | 网络传输层                                    | 应用服务层                        |
|--------|--|--|------------------------------|
| 主要技术   | EPC 编码、RFID 技术、传感器技术、无线传感器网络                         | M2M、ZigBee、蓝牙、Wi-Fi、现场总线、以太网、互联网         | 中间件技术、云计算技术、数据融合与智能技术        |
| 知识点    | EPC 编码的标准和 RFID 的工作原理                                | 数据传输方式，算法，原理                             | 云连接、云安全、云存储、知识表达与获取、智能 Agent |
| 知识单元   | 产品编码标准、RFID 标签、阅读器、天线、中间件                            | 组网技术，定位技术，时间同步技术，路由协议，MAC 协议，数据融合        | 数据库技术、智能技术、信息安全技术            |
| 知识体系   | 通过对产品按照合适的标准来进行编码实现对产品的辨别，和通过射频识别技术，完成对产品的信息读取，处理和管理 | 技术框架，通信协议，技术标准                           | 云计算系统、人工智能系统、分布智能系统          |
| 软件（平台） | RFID 中间件（产品信息转换软件、数据库等）                              | NS2, IAR, KEIL, Wave                     | 数据库系统、中间件平台、云计算平台            |
| 硬件（平台） | RFID 应答器、阅读器，天线组成的 RFID 系统                           | CC2430, EM250, JENNIC LTD, FREESCALE BEE | PC 和各种嵌入式终端                  |

### 1.1.3 物联网在中国的发展

中国对物联网信息系统的研究相对于欧美和日本来说，起步较晚。但中国物联网发展在最近几年也取得了重大进展。

#### 1) 中国物联网发展的政策支持

2006 年 6 月 9 日，国家科技部联合十五部委共同编写的《中国射频识别（RFID）技术政策白皮书》正式发布，重大的 RFID 项目有 20 项，经费达到 1.28 亿元人民币，这些项目中的部分技术为中国物联网的发展奠定了一定的基础。

2009 年 8 月，温家宝总理在无锡视察中科院物联网技术研发中心时指出，“在传感网发展中，要早一点谋划未来，早点攻破核心技术”。

2009 年 10 月，工信部李毅中部长在科技日报上发表题为《中国工业和信息化发展的现状与展望》的署名文章，首次公开提及传感网络，并将其上升到战略性新兴产业的高度，指出信息技术的广泛渗透和高度应用将催生一批新增长点。

在《国家中长期科学与技术发展规划（2006—2020 年）》和“新一代宽带移动无线通信网”重大专项中均将传感网列入重点研究领域，并列国家高技术研究发展计划（863 计划）。

2010 年 3 月，十一届全国人大三次会议上的政府工作报告提出：将加快物联网的研发应用“明确纳入重点产业振兴计划”，积极推进“三网”融合取得实质性进展，加快物联网的研发应用。这代表着中国传感网、物联网的“感知中国”已成为国家的信息产业发展战略。

2010 年中国国际物联网博览会上发布的《2009—2010 中国物联网年度发展报告》称，2009 年中国物联网产业市场规模达 1716 亿元，预计 2010 年中国物联网产业市场规模将超过 2000 亿元。到 2015 年，中国一物联网整体市场规模将达到 7500 亿元，年复合增长率超过 30%，市场前景将远远超过计算机、互联网、移动通信等市场。与此同时，工业和信息化部已将物联网规划纳入到“十二五”的专题规划，列为国家重点发展的五大战略性新兴产业之一。

在国家政策的大力引导下，近年来很多地区成立了各种物联网方面的研究机构和产学研联



盟，极大地推动了物联网在中国的发展。2004年1月，全球电子产品代码管理中心与中国物品编码中心正式签署了中国大陆唯一授权代理机构。2004年4月，全球产品电子代码中国（EPC Global China）宣布正式成立。2005年9月，上海电子标签与物联网产学研联盟成立。2008年1月和6月，山东和济南RFID产业联盟相继成立。2008年上半年，无锡市与中科院上海微系统研究所合作成立中科院无锡维纳传感网工程技术中心，是国内物联网研究核心单位。

2009年9月，无锡与北京邮电大学就传感网技术研究和产业发展签署合作协议。

2009年9月10日，全国高校首家物联网研究院在南京邮电大学正式成立。

2009年9月11日，经国家标准化管理委员会批准，全国信息技术标准化技术委员会组建了传感器网络标准工作组。目前中国传感网标准体系已形成初步框架，向国际标准化组织提交的多项标准提案被采纳，传感网标准化工作已经取得积极进展。

2009年11月1日，北京40余家物联网产业相关企业和大学、科研院所等发起成立中关村物联网产业联盟，半年时间内就在应用示范、产业研究、产业促进等方面取得了显著效果。

2009年11月27日，无锡市国家传感网创新示范区（传感信息中心）正式获得国家批准。

2010年3月，徐州市物联网产业发展研究中心成立。

2010年7月9日，北京物联网关键应用技术工程研究中心揭牌成立，旨在通过“强强联合”，力求形成“产、学、研、用”一体的产业链合作创新机制。

2010年11月，上海物联网产业联盟正式宣布成立。

2011年4月21日，重庆市28家物联网相关企业、单位和大专院校组建成立重庆物联网产业发展联盟。

2011年4月，广东省物联网应用产业基地盛大启动。

## 2) 中国物联网发展的研究与应用现状

(1) 技术研发取得突破。物联网的研究分为软件研究和硬件研究，内容主要围绕芯片、传感网、光通信、无线通信、计算机控制、多媒体、网络、软件、电子和自动化、智能计算等多个技术领域，取得不少成果，部分成果如表1-2所列。

表 1-2 物联网部分研究成果

| 类 型    | 研 发 单 位           | 名 称                          |
|--------|-------------------|------------------------------|
| 硬件现状   | 南京邮电大学            | 无线传感器网络系列节点 UbiCel           |
|        | 南京邮电大学            | UbiCel 无线医疗传感器节点             |
|        |                   | 无线多媒体传感器网络节点                 |
|        | 科学院计算技术研究所        | GAINS 系列节点                   |
| 香港科技大学 | 无线传感器网络节点         |                              |
| 软件现状   | 南京邮电大学            | 基于移动代理的无线传感器网络中间件平台          |
|        |                   | 无线传感器网络中间件软件 DisWare         |
|        |                   | 无线传感器网络集成开发平台 MeshIDEMeshIDE |
|        | 科学院宁波计算所          | 无线传感器网络分析与管理平台               |
| 全国高校   | 网络协议、算法、体系结构等理论研究 |                              |

物联网“十二五”规划中提出积极利用高校和研究所实验室的现有研究成果，力争尽快突破关键核心技术，并将信息感知技术、信息传输技术、信息处理技术、信息安全技术列为关键技术创新工程。具体如表1-3所列。