

物联网工程实战丛书

物联网



信息物理与信息感知基础

国内物联网工程学科的奠基性作品
物联网工程研发一线工程师的经验总结

李同滨 张士辉 曾 鸣
徐胜朋 于桂波 曾凡太
—— 编著 ——



机械工业出版社
China Machine Press

物联网工程实战丛书

物联网



信息物理与信息感知基础

李同滨 张士辉 曾 鸣
徐胜朋 于桂波 曾凡太
—— 编著 ——



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

物联网之源：信息物理与信息感知基础/李同滨等编著. —北京：机械工业出版社，2018.1
(物联网工程实战丛书)

ISBN 978-7-111-58734-7

I. 物… II. 李… III. ①互联网络—应用 ②智能技术—应用 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字 (2017) 第313831号

物联网之源 信息物理与信息感知基础

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：欧振旭 李华君

责任校对：姚志娟

印 刷：中国电影出版社印刷厂

版 次：2018 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

开 本：186mm×240mm 1/16

印 张：21.25

书 号：ISBN 978-7-111-58734-7

定 价：59.00 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) 88379426 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzit@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

丛 书 序

信息物理学是物联网工程的理论基础

物联网是近年发展起来的一种网络通信方式。它来源于互联网，但又不同于互联网。它不仅和软件相关，还涉及硬件。互联网在网上创造一个全新世界时所遇到的“摩擦系数”很小，因为互联网主要和软件打交道。而物联网却涉及很多硬件，硬件研发又有其物理客体所必须要遵循的自然规律。

物联网和互联网是能够连接的。它能够将物品的信息通过各种传感器采集过来，并汇集到网上。因此本质上物联网是物和物之间或物和人之间的一种交互。如何揭示出物联网的信息获取、信息传输和信息处理的特殊规律，如何深入探讨信息物理学的前沿课题，以及如何系统、完整地建立物联网学科的知识体系和学科结构，这些问题无论是对高校物联网相关专业的开设，还是对物联网在实际工程领域中的应用，都是亟待解决的。

物联网领域千帆竞渡，百舸争流

物联网工程在专家、学者和政府官员提出的“感知地球，万物互联”口号的推动下，呈现出空前繁荣的景象。物联网企业的新产品和新技术层出不穷。大大小小的物联网公司纷纷推出了众多连接物联网的设备，包括智能门锁、牙刷、腕表、健身记录仪、烟雾探测器、监控摄像头、炉具、玩具和机器人等。

1. 行业巨头跑马圈地，产业资本强势加入

物联网时代，大型公共科技和电信公司已遍布物联网，它们无处不在，几乎已经活跃于物联网的每个细分类别中。这意味着一个物联网生态系统正在形成。

芯片制造商（英特尔、高通和 ARM 等）都在竞相争夺物联网的芯片市场；思科也直言不讳地宣扬自己的“万物互联”概念，并在不久前以 14 亿美元的价格收购了 Jasper；IBM 则宣布在物联网业务中投资 30 亿美元；AT&T 在汽车互联层面已非常激进，已经与 10 大美国汽车制造商中的 8 家展开合作；苹果、三星和微软也非常活跃，分别推出了苹果 Homekit、三星 SmartThings 和新操作系统；微软还推出了 Azure 物联网；谷歌公司从智能

家庭、智慧城市、无人驾驶汽车到谷歌云，其业务已经涵盖了物联网生态系统中的绝大部分，并在这个领域投资了数十亿美元；亚马逊的 AWS 云服务则不断发展和创新，并推出了新产品……

在物联网领域中，企业投资机构携带大量资金强势进入，大批初创企业成功地从风险投资机构筹集到了可观的资金。其中最有名的就是 Nest Labs Inc，该公司主要生产配备 Wi-Fi 的恒温器和烟雾探测器；而生产智能门锁的 August 公司，也筹资到了 1000 万美元……

2. 物联网创业公司已呈星火燎原之势

物联网创业公司的生态系统正在逐步形成。它们特别专注于“消费级”这一领域的物联网应用，很多创业孵化器都在扶植这个领域的创业军团。众筹提供了早期资金，大型中国制造商也乐意与这些创业公司合作，甚至直接投资。一些咨询公司和服务提供商，也做了很多手把手的指导。物联网创业已经红红火火地启动，成为一个全球性现象。

3. 高等院校开设物联网专业的热潮方兴未艾

近年来，我国理工类高等院校普遍开设了物联网专业。数百所高等院校物联网专业的学生也已经毕业。可以预见，高等院校开设物联网专业的热潮还将持续下去。但是在这个过程中普遍存在一些问题：有的物联网专业更像电子技术专业；有的则把物联网专业办成了网络专业，普遍缺乏物联网专业应有的特色。之所以如此，是因为物联网专业的理论基础还没有建立起来，物联网工程的学术体系也不完善。

物联网工程引领潮流，改变世界

1. 智慧生活，更加舒适

科学家们已经为我们勾勒出了一个奇妙的物联网时代的智慧生活。

当你早上起床，吃完早餐，汽车已经在门口停好了，它能自动了解道路的拥堵情况，为你设定合理的出行路线。

当你到了办公室后，计算机、空调和台灯都自动为你打开。

当你快要下班的时候，敲击几下键盘就能让家里的电饭锅提前煮饭；还可以打开环境自动调节系统，调节室内温度和湿度，净化空气。

当你在超市推着一车购物品走向收款台时，不用把它们逐个拿出来刷条形码，收款台边上的解读器会瞬间识别所有物品的电子标签，账单会马上清楚地显示在屏幕上。

……

2. 智慧城市，更加安全

物联网可以通过视频监控和传感器技术，对城市的水、电、气等重点设施和地下管网进行监控，从而提高城市生命线的管理水平，加强对事故的预防能力。物联网也可以通过通信系统和 GPS 定位导航系统，掌握各类作业车辆和人员的状况，对日常环卫作业和垃圾处理等工作进行有效地监管。物联网还可以通过射频识别技术，建立户外广告牌匾、城市公园和城市地井的数据库系统，进行城市规划管理、信息查询和行政监管。

3. 工业物联网让生产更加高效

物联网技术可以完成生产线的设备检测、生产过程监控、实时数据采集和材料消耗监测，从而不断提高生产过程的智能化水平。人们通过各种传感器和通信网络，实时监控生产过程中加工产品的各种参数，从而优化生产流程，提高产品质量。企业原材料采购、库存和销售等领域，则可以通过物联网完善和优化供应链管理体系，提高供应链的效率，从而降低成本。物联网技术不断地融入到工业生产的各个环节，可以大幅度提高生产效率，改善产品质量，降低生产成本和资源消耗。

4. 农业物联网改善农作物的品质，提升产量

农业物联网通过建立无线网络监测平台，可以实时检测农作物生长环境中的温度、湿度、pH 值、光照强度、土壤养分和 CO₂ 浓度等参数，自动开启或关闭指定设备来调节各种物理参数值，从而保证农作物有一个良好和适宜的生长环境。构建智能农业大棚物联网信息系统，可以全程监控农产品的生长过程，为温室精准调控提供科学依据，从而改善农作物的生长条件，最终达到增加产量、改善品质、调节生长周期和提高经济效益的目的。

5. 智能交通调节拥堵，减少事故的发生

物联网在智能交通领域可以辅助或者代替驾驶员驾驶汽车。物联网车辆控制系统通过雷达或红外探测仪，判断车与障碍物之间的距离，遇到紧急情况时，发出警报或自动刹车避让。物联网在道路、车辆和驾驶员之间建立起快速通信联系，给驾驶员提供路面交通运行情况，让驾驶员可以根据交通情况选择行驶路线，调节车速，从而避免拥堵。运营车辆管理系统通过车载电脑和管理中心计算机与全球定位系统卫星联网，可以实现驾驶员与调度管理中心之间的双向通信，从而提高商业运营车辆、公共汽车和出租车的运营效率。

6. 智能电网让信息和电能双向流动

智能电力传输网络（智能电网）能够监视和控制每个用户及电网节点，从而保证从电厂到终端用户的整个输配电过程中，所有节点之间的信息和电能可以双向流动。智能电网由多个部分组成：智能变电站、智能配电网、智能电能表、智能交互终端、智能调度、智能家电、智能用电楼宇、智能城市用电网、智能发电系统和新型储能系统。

智能电网是以物理电网为基础，采用现代先进的传感测量技术、通信技术、信息技术、计算机技术和控制技术，把物理电网高度集成而形成的新型电网。它的目的是满足用户对电力的需求，优化资源配置，确保电力供应的安全性、可靠性和经济性，满足环保约束，保证电能质量，适应电力市场化发展，从而实现为用户提供可靠、经济、清洁和互动的电力供应与增值服务。智能电网允许各种不同发电形式的接入，从而启动电力市场及资产的优化高效运行，使电网的资源配置能力、经济运行效率和安全水平得到全面提升。

7. 智慧医疗改善医疗条件

智慧医疗由智慧医院系统、区域卫生系统和家庭健康系统组成。物联网技术在医疗领域的应用潜力巨大，能够帮助医院实现对人的智能化医疗和对物的智能化管理工作；支持医院内部医疗信息、设备信息、药品信息、人员信息、管理信息的数字化采集、处理、存储、传输和共享；实现物资管理可视化、医疗信息数字化、医疗过程数字化、医疗流程科学化和服务沟通人性化；能够满足医疗健康信息、医疗设备与用品、公共卫生安全的智能化管理与监控，从而解决医疗平台支撑薄弱、医疗服务水平整体较低、医疗安全生产隐患较大等问题。

8. 环境智能检测提高生存质量

家居环境监测系统包括室内温、湿度及空气质量的检测，以及室外气候和噪声的检测等。完整的家庭环境监测系统由环境信息采集、环境信息分析和环境调节控制三部分组成。

本丛书创作团队研发了一款环境参数检测仪，用于检测室内空气质量。产品内置温度、湿度、噪声、光敏、气敏、甲醛和 PM2.5 等多个工业级传感器，当室内空气被污染时，会及时预警。该设备通过 Wi-Fi 与手机的 App 进行连接，能与空调、加湿器和门窗等设备形成智能联动，帮助改善家中的空气质量。

信息物理学是物联网工程的理论基础

把物理学研究的力、热、光、电、声和运动等内容，用信息学的感知方法、处理方法及传输方法，映射、转换在电子信息领域进行处理，从而形成了一门交叉学科——信息物理学。

从物理世界感知的信息，通过网络传输到电子计算机中进行信息处理和数据计算，所产生的控制指令又反作用于物理世界。国外学者把这种系统称为信息物理系统（Cyber-Physical Systems，CPS）。

物理学是一门自然科学，其研究对象是物质、能量、空间和时间，揭示它们各自的性质与彼此之间的相互关系，是关于大自然规律的一门学科。

由物理学衍生出的电子科学与技术学科，其研究对象是电子、光子与量子的运动规律和属性，研究各种电子材料、元器件、集成电路，以及集成电子系统和光电子系统的设计

与制造。

由物理学衍生出的计算机、通信工程和网络工程等学科，除了专业基础课外，其物理学中的电磁场理论、半导体物理、量子力学和量子光学，仍然是核心课程。

物联网工程学科的设立，要从物理学中发掘其理论基础和技术源泉。构建物联网工程学科的知识体系，是高等教育工作者和物联网工程学科建设工作者的重要使命。

物联网的重要组成部分是信息感知。丰富的半导体物理效应是研制信息感知元件和传感芯片的重要载体。物联网工程中信息感知的理论基础之一是半导体物理学。

物理学的运动学和力学是运动物体（车辆、飞行器和工程机械等）控制技术的基础，而自动控制理论是该技术的核心。

物理学是科学发展的基础、技术进步的源泉、人类智慧的结晶、社会文明的瑰宝。物理学思想与方法对整个自然科学的发展都有着重要的贡献。而信息物理学对于物联网工程的指导意义也是清晰明确的。

对于构建物联网知识体系和理论架构，我们要思考学科内涵、核心概念、科学符号和描述模型，以及物联网的数学基础。我们把半导体物理和微电子学的相关理论作为物联网感知层的理论基础；把信息论和网络通信理论作为物联网传输层的参考坐标；把数理统计和数学归纳法作为物联网大数据处理的数学依据；把现代控制理论作为智能硬件研发的理论指导。只有归纳和提炼出物联网学科的学科内涵、数理结构和知识体系，才能达到“厚基础，重实践，求创新”的人才培养目标。

丛书介绍

国务院关于印发《新一代人工智能发展规划》（以下简称《规划》）国发〔2017〕35号文件指出，新一代人工智能相关学科发展、理论建模、技术创新、软硬件升级等整体推进，正在引发链式突破，推动经济社会各领域从数字化、网络化向智能化加速跃升。《规划》中提到，要构建安全高效的智能化基础设施体系，大力推动智能化信息基础设施建设，提升传统基础设施的智能化水平，形成适应智能经济、智能社会和国防建设需要的基础设施体系。加快推动以信息传输为核心的数字化、网络化信息基础设施，向集感知、传输、存储、计算、处理于一体的智能化信息基础设施转变。优化升级网络基础设施，研发布局第五代移动通信（5G）系统，完善物联网基础设施，加快天地一体化信息网络建设，提高低时延、高通量的传输能力……由此可见，物联网的发展与建设将是未来几年乃至十多年的一个重点方向，需要我们高度重视。

在理工类高校普遍开设物联网专业的情况下，国内教育界的学者和出版界的专家，以及社会上的有识之士呼吁开展下列工作：

梳理物联网工程的体系结构；归纳物联网工程的一般规律；构建物联网工程的数理基础；总结物联网信息感知和信息传输的特有规律；研究物联网电路低功耗和高可靠性的需求；制定具有信源多、信息量小、持续重复而不间断特点的区别于互联网的物联网协议；

研发针对万物互联的物联网操作系统；搭建小型分布式私有云服务平台。这些都是物联网工程的奠基性工作。

基于此，我们组织了一批工作于科研前沿的物联网产品研发工程师和高校教师作为创作团队，编写了这套“物联网工程实战丛书”。丛书先推出以下6卷：

《物联网之源：信息物理与信息感知基础》

《物联网之芯：传感器件与通信芯片设计》

《物联网之魂：物联网协议与物联网操作系统》

《物联网之云：云平台搭建与大数据处理》

《物联网之雾：基于雾计算的智能硬件快速反应与安全控制》

《物联网之智：智能硬件开发与智慧城市建设》

丛书创作团队精心地梳理出了他们对物联网的理解，归纳出了物联网的特有规律，总结了智能硬件研发的流程，贡献出了云服务平台构建的成果。工作在研发一线的资深工程师和物联网研究领域的青年才俊们贡献了他们丰富的项目研发经验、工程实践心得和项目管理流程，为“百花齐放，百家争鸣”的物联网世界增加了一抹靓丽景色。

丛书全面、系统地阐述了物联网理论基础、电路设计、专用芯片设计、物联网协议、物联网操作系统、云服务平台构建、大数据处理、智能硬件快速反应与安全控制、智能硬件设计、物联网工程实践和智慧城市建设等内容，勾勒出了物联网工程的学科结构及其专业必修课的范畴，并为物联网在工程领域中的应用指明了方向。

丛书从硬件电路、芯片设计、软件开发、协议转换，到智能硬件研发（小项目）和智慧城市建设（大工程），都用了很多篇幅进行阐述；系统地介绍了各种开发工具、设计语言、研发平台和工程案例等内容；充分体现了工程专业“理论扎实，操作见长”的学科特色。

丛书理论体系完整、结构严谨，可以提高读者的学术素养和创新精神。通过系统的理论学习和技术实践，让读者在信息感知研究方向具备了丰富的敏感元件理论基础，所以会不断发现新的敏感效应和敏感材料；在信息传输研究方向，因为具备通信理论的涵养，所以他们会不断地制定出新的传输协议和编码方法；在信息处理研究领域，因为具有数理统计方法学的指导，所以他们会从特殊事件中发现事物的必然规律，从而会从大量无序的事件中归纳出一般规律。

本丛书可以为政府相关部门的管理者在决策物联网的相关项目时提供参考和依据，也可以作为物联网企业中相关工程技术人员的培训教材，还可以作为相关物联网项目的参考资料和研发指南。另外，对于高等院校的物联网工程、电子工程、电气工程、通信工程和自动化等专业的高年级本科和研究生教学，本丛书更是一套不可多得的教学参考用书。

相信这套丛书的“基础理论部分”对物联网专业的建设和物联网学科理论的构建能起到奠基作用，对相关领域和高校的物联网教学提供帮助；其“工程实践部分”对物联网工程的建设 and 智能硬件等产品的设计与开发起到引领作用。

丛书创作团队

本丛书创作团队的所有成员都来自于一线的研发工程师和高校教学与研发人员。他们都曾经在各自的工作岗位上做出了出色的业绩。下面对丛书的主要创作成员做一个简单介绍。

曾凡太，山东大学信息科学与工程学院高级工程师。已经出版“EDA 工程丛书”（共五卷，清华大学出版社出版）、《现代电子设计教程》（高等教育出版社出版）、《PCI 总线与多媒体计算机》（电子工业出版社出版）等书，发表论文数十篇，申请发明专利 4 项。

崔强，毕业于山东大学信息学院，获工学硕士学位。电信系统物联网项目专家、高级工程师、一级建造师、注册咨询工程师。现就职于广东省电信规划设计院，从事 5G 通信网络研究工作。承担过 20 多项网络规划设计工程。在核心期刊上发表了 6 篇论文，获国家优秀设计奖 3 项。

边栋，毕业于大连理工大学，获硕士学位。山东大学微电子学院教师。曾经指导过本科生参加全国电子设计大赛，屡创佳绩。在物联网设计、FPGA 设计和 IC 设计实验教学方面颇有建树。

曾鸣，毕业于山东大学信息学院，获硕士学位。资深网络软件开发工程师，精通多种网络编程语言。现就职于山东大学微电子学院，从事教学科研管理工作。

孙昊，毕业于山东大学控制工程学院，获工学硕士学位。网络设备资深研发工程师。曾就职于华为技术公司，负责操作系统软件的架构设计，并担任 C 语言和 Lua 语言讲师。申请多项 ISSU 技术专利。现就职于浪潮电子信息产业股份有限公司，负责软件架构设计工作。

王见，毕业于山东大学。物联网项目经理、资深研发工程师。曾就职于华为技术公司，有 9 年的底层软件开发经验和系统架构经验，并在项目经理岗位上积累了丰富的团队建设经验。现就职于浪潮电子信息产业股份有限公司。

张士辉，毕业于青岛科技大学。资深 APP 软件研发工程师，在项目开发方面成绩斐然。曾经负责过复杂的音视频解码项目，并在互联网万兆交换机开发项目中负责过核心模块的开发。

赵帅，毕业于沈阳航空航天大学。资深网络设备研发工程师，从事 Android 平板电脑系统嵌入式驱动层和应用层的开发工作。曾经在语音网关研发中改进了 DSP 中的语音编解码及回声抵消算法。现就职于浪潮电子信息产业股份有限公司。

李同滨，毕业于电子科技大学自动化工程学院，获工学硕士学位。嵌入式研发工程师，主要从事嵌入式硬件电路的研发，主导并完成了多个嵌入式控制项目。

徐胜朋，毕业于山东工业大学电力系统及其自动化专业。电力通信资深专家、高级工程师。现就职于国网山东省电力公司淄博供电公司，从事信息通信管理工作。曾经在中文核心期刊发表了多篇论文。荣获国家优秀质量管理成果奖和技术创新奖。申请发明专利和

实用新型专利授权多项。

于桂波，毕业于华北电力大学通信专业。电力系统高级工程师，在国网山东省电力公司淄博供电公司从事信息通信管理工作。曾经在中文核心期刊发表了多篇论文。荣获国家优秀质量管理成果奖。申请发明专利和实用新型专利多项。

王会诚，毕业于青岛大学电气自动化专业。电力系统高级工程师，在国网山东省电力公司淄博供电公司从事信息通信管理工作。曾经在中文核心期刊发表了多篇论文。多次荣获国家优秀质量管理成果奖和创新成果奖。申请发明专利 1 项、实用新型专利 4 项。

曾波，资深智能医疗设备研发工程师，具有 10 年以上的医疗器械研发工作经验。曾经研发了心电信号监测和心脏起搏器等产品。现就职于北京蓬阳丰业医疗设备公司，负责管理硬件研发部，并从事 18 导联动态心电产品的研发和生产工作。

古欣，毕业于山东大学物理学院微电子学专业。济南有人物联网技术有限公司创始人兼 CEO。工业物联网专家，从事物联网嵌入式模块和云平台系统的研发。拥有专利 10 余项。其公司的工业物联网模块和通信产品已经面市。

本丛书涉及面广，内容繁杂，既要兼顾理论基础，还要突出工程实践，这对于整个创作团队来说都是一个严峻的挑战。令人欣慰的是，创作团队的所有成员都在做好本职工作的条件下依然坚持写作，付出了辛勤的劳动，最终天道酬勤，成就了这套丛书的出版。在此对所有参与写作的成员表示衷心的感谢，并祝福他们事业有成！

丛书服务与支持

本丛书开通了读者服务网站 www.iotengineer.cn，还申请了读者服务的微信公众号。大家可以通过访问读者服务网站，或者扫描下面的读者服务二维码，与作者共同交流书中的相关问题，探讨物联网工程的有关话题。另外，读者还可以发送电子邮件到 hzbook2017@163.com，以获得帮助。



曾凡太
于山东大学

序言

传感器是物联网信息之源

物联网技术是继计算机、互联网及移动通信技术之后的又一次信息产业浪潮。物联网技术的应用涉及国民经济和社会生活的方方面面，使得人们的生活更加信息化和智能化。物联网最基本的组成部分是位于最底层的感知层，它主要借助各种传感器获取物体的基本信息，如车辆的行驶速度、桥梁受到的压力和路灯的工作状态等，然后通过该层的设备以有线或无线的方式将这些信息发送出去。

传感器是物联网信息之源

简单来说，物联网就是在物体上安装一个传感器，传感器将得到的信息通过网络传输到人们的手持终端上，让物体主动“说话”和“行动”，而不用人去查询和跟踪。

物联网的定义不只是指与台式计算机、笔记本电脑和智能手机的连接，而是指“一切硬件的连接”，这种更广泛、更深入的定义和发展贯穿于消费者和企业级应用及产业空间。

从根本上说，物联网是关于任何客观物体变成一串数字数据的转换过程。一旦给某个物体加上传感器，它就会像任何数字产品那样运作：发出用量、位置和状态的数据；可被追踪、控制、个性化和远程升级；当与大数据和 AI（人工智能）结合，还可以变得智能、有预测性及能协同工作，甚至可自主工作。

传感器好比人的眼、耳、口、鼻，但又不仅仅只是人的感官那么简单，它甚至能够采集到更多的有用信息。传感器是整个物联网系统工作的基础。正是因为有了传感器，物联网系统才能将内容传递给“大脑”。

传感器网络是物联网最基础、最底层的部分，是一切物联网上层应用实现的基础。传感器网络的应用是物联网与互联网的最大区别所在，将会直接导致很多互联网的思维到了物联网时代变得不再适用。互联网是基于人的网络，我们的信息在某种意义上是靠人来采集和分析的。物联网是基于物的网络，我们的信息是靠传感器感知、采集和分析的。所以传感器是物联网信息之源。

传感器应用无处不在

物联网时代实现了人不参与其中，由设备本身完成智能运行和维护的整个过程。当电器在可能损坏之前，安装在智能电器里面的传感器就已经检测到了异常，于是主动报修。家用机器人和快递公司的无人机也可以帮助返修电器。

这样的生活场景就得归功于传感器和智能机器。因为传感器的存在，智能电器才能监测到自身的工作状态。

传感器对于自身工作状态的监测，有助于人们完成从卖产品到卖服务的转变。在物联网时代，厂商提供的将是“冷冻保鲜服务”而不再是“冰箱”。用户花的钱相当于支付享受冰箱所带来的服务而发生的费用。

由传感技术带来的便利，基本上会让未来的每一件物品都会被感知。例如，一盒鸡蛋进入冰箱后，冰箱就知道鸡蛋的数量、价格，以及购买的地方，甚至都可以知道是哪个农场的哪一只母鸡产的。

未来的空调和温控器等设备一定是装有温度传感器的；电灯等照明系统也一定是有光传感器的；门窗等有红外传感器；随身携带的手机和手环等穿戴设备则会集成更多传感器。

传感器是物联网架构中的核心部件之一，也是决定物联网产业发展速度的重要因素之一。尽管物联网应用将是个长尾市场，产品形式多样，涵盖的产业链非常长，但从最核心的技术实现层面来看，就是传感和反馈、通信连接和数据处理。从智慧城市到智能家居、智能泊车、智慧工业、智慧农业等，都是建立在各类传感器之上。

智慧城市是基于对周围环境的感知，从而对城市重要基础设施实现实时控制。例如，在使用智能传感器节点对交通控制设备进行升级改造后，路灯等基础设施便可提供交通流量监测、气象监测及覆盖面更大的治安监视等新的市政服务；智能泊车系统可以帮助驾驶员迅速地找到停车位，从而让城市停车场的管理更加高效；借助理在路边的汽车检测传感器、雷达侦测和摄像头等辅助设备的自动停车系统，可以让停车场管理企业更好地控制车位的使用，提供更加灵活的收费方式。

在个人健康领域，环境传感器提供温度、湿度和光照实时监测；惯性传感器模块和压力传感器完成运动量监测和定位；模拟传感器监测心脏情况；惯性传感器模块通过活动量监测，帮助老年痴呆症、肥胖症或睡眠障碍患者康复。

作为智能产品的第一波浪潮，可穿戴设备所使用的传感器也越来越多。例如，智能手环和手表，从最初智能地提供简单的计步和跟踪功能，到如今将计步、紧急呼叫、热量、心率、位置、距离、锻炼类型、睡眠质量、爬楼层数和音乐控制等功能融为一体。未来将会有更多的功能通过更多的传感器来实现，从而驱动人们对这个世界的感知加深。

物联网传感器企业创业生存之道

对于从事物联网传感器生产的创业企业而言，可以借鉴一些世界著名企业的成功

经验。这对其能够在竞争激烈的行业中生存下来并做大、做强非常有价值。主要建议如下：

- 需要把低功耗作为传感器产品研发的重要指标之一；
- 帮助开发者降低设计成本，帮助用户降低运营成本；
- 进入量产阶段，需要采取早投入、高产能策略，迅速抢占市场；
- 为二次开发者提供完善的硬件支持、软件工具和应用示范；
- 硬件上，为物联网设备开发者提供一套整体解决方案，包含传感器、微控制器、存储器、超低功耗通信部件、模拟信号元件、混合信号元件和电源管理元件；
- 软件上，需要提供应用开发所需要的全部软件，如开发商提供的示范项目、中间件和预打包的应用软件等，便于开发者能够从零开始编写应用代码；
- 开放式软件扩展库可以使客户很轻松地在其开发板上进行二次开发，将其拓展到很多新的应用领域中。

开放式开发环境支持从原型设计到物理产品，再到最终产品的整个流程，可以快速、灵活、经济地将开发者的创意变成产品，并推向市场。

快速开发模式可以让任何有望进入物联网领域的开发者有一个不错的起点，特别适合初创型公司进入物联网市场。下一个像三星和苹果一样的公司，可能就是从千千万万的小创业公司中走出来的。

集成智能传感器前沿进展

智能传感器主要由主传感器、辅助传感器、微机硬件系统和网络传输系统几部分构成。智能传感器是一种带有微处理器的传感器，兼有检测判断、信息处理和信息传输等功能。

近年来，人们开始将智能传感器与人工智能相结合，创造出了各种基于模糊推理、人工神经网络和专家系统等人工智能技术的高度智能传感器。智能传感器将会进一步扩展到生物、化学、电磁、光学和核物理等研究领域。

集成智能传感器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、信号调制电路及微处理器单元，并把它们集成在一块芯片上。这样，使智能传感器微型化和结构一体化，从而提高了精度和稳定性。

集成智能传感器技术发展非常迅速，已经有集成智能压力传感器和集成智能温度传感器等相关产品面市。在集成电路工艺和微机械加工的基础上研制与生产集成智能传感器的模块，使其成为未来智能传感器发展的主流，这是半导体工艺的主要发展方向之一。电子设计自动化产业的迅速发展与进步，也促使传感器技术，特别是集成智能传感器技术日趋活跃起来。国外一些著名公司和高等院校正在大力开展集成智能传感器的研制，国内一些著名的高校和研究所也积极跟进，让集成智能传感器技术取得了令人瞩目的发展。

本书是“物联网工程实战丛书”的第1卷。编写本书的主要目的是带领读者理解传

传感器的概念，并通过动手实验掌握智能传感器产品的研发技能。另外，我们还希望本书能对高校的物联网及其相关领域的教学提供必要的帮助，给相关老师和学生提供切实可行的参考。

本书第 1、2 章由曾凡太撰写，第 3 章由徐胜朋撰写，第 4 章由于桂波撰写，第 5 章由曾鸣撰写，第 6、7 章由李同滨撰写，第 8、9 章由张士辉撰写，第 10 章由李同滨、张士辉和曾凡太合作撰写。

关于智能传感器实验和研发的更多细节，读者可以通过丛书序中提供的读者服务网站和微信公众号与作者进一步探讨。

曾凡太
于山东大学

目录

丛书序 序言

第 1 章 绪论	1
1.1 信息物理概述	1
1.2 物联网概述	2
1.3 从物理学到信息物理学的演进	4
1.4 从互联网到物联网的演进	5
1.4.1 物联网对工业自动化的推动作用	6
1.4.2 物联网对信息化技术的推动作用	6
1.4.3 物联网的特征	6
1.4.4 物联网类别	7
1.4.5 物联网理解偏差	7
1.5 小结	8
1.6 习题	9
参考文献	9
第 2 章 信息论基础	10
2.1 信息论概述	10
2.1.1 信息发展简史	10
2.1.2 信息定义	11
2.1.3 信息科学发展	12
2.1.4 信息推动社会进步	13
2.2 狭义信息论	14
2.2.1 信息系统的组成（以通信工程为例）	14
2.2.2 信源的分类	15
2.2.3 信息量	16
2.2.4 自信息量	17
2.2.5 互信息量	18
2.2.6 信息熵（平均自信息量）	19
2.2.7 信源扩展	21
2.3 信息编码的概念	24

2.4	信源编码介绍	24
2.4.1	编码器	24
2.4.2	信源等长编码定理	26
2.4.3	信源变长编码定理	27
2.4.4	哈夫曼编码	28
2.5	信道编码	29
2.5.1	信道编码理论	29
2.5.2	信道基本参数	31
2.5.3	信道编码基本概念	32
2.5.4	奇偶校验编码与奇偶监督编码	33
2.5.5	信道编码纠错方式	34
2.5.6	有噪信道编码	35
2.6	加密编码	37
2.6.1	信息加密的基本概念	37
2.6.2	DES、RSA 和 MD5 SSL 加密方式	37
2.6.3	硬件加密	40
2.6.4	软件加密	43
2.7	小结	46
2.8	习题	46
	参考文献	47
第3章	传感器信号调理	48
3.1	模拟信号获取	48
3.1.1	模拟信号特征	49
3.1.2	模拟信号采集	50
3.2	小信号放大器设计	53
3.2.1	分立元件小信号放大器设计	53
3.2.2	集成电路小信号放大器	55
3.3	运算放大器信息处理设计	56
3.3.1	运算放大器的指标	56
3.3.2	运算放大器的分析方法	58
3.3.3	运算放大器信号调理电路	58
3.3.4	低噪声放大器设计	67
3.3.5	仪表放大器设计	69
3.4	小结	70
3.5	习题	71
	参考文献	71
第4章	模数转换	72
4.1	ADC 转换器原理电路	72
4.1.1	逐次逼近型 ADC	73