

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

物联网概论

Internet of Things

■ 张光河 编著

■ 刘芳华 沈坤花 邓召基 编

— 系统讲解物联网基础知识、基本概念和基本方法

— 从定义、概况到架构、关键技术及应用

— 物联网技术最新发展全面展现



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

118

物联网概论

Internet of Things

■ 张光河 编著

■ 刘芳华 沈坤花 邓召基 编



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

物联网概论 / 张光河主编 ; 刘芳华, 沈坤花, 邓召基编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2014. 9
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-36115-8

I. ①物… II. ①张… ②刘… ③沈… ④邓… III. ①互联网络—应用—高等学校—教材②智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第147025号

内 容 提 要

本书是“卓越工程师培养计划”研究课题的重要成果之一。全书按照普通高等院校物联网专业本科生的教学要求,并根据“物联网概论”课程教学大纲编写而成。

本书共分为7章:

第1章为绪论,对物联网的由来、定义、发展概况、架构、关键技术及应用领域进行了简要介绍;

第2章介绍了物联网架构及发展动力,包括感知层、网络层和应用层三层架构,并介绍了基于三层架构的扩展架构,还从政府、工业界、教育界和应用需求几个方面介绍了物联网的发展动力;

第3章主要介绍了感知层的两大支撑技术——传感器和RFID技术,还介绍了其他相关感知技术;

第4章重点介绍了物联网网络层中最为重要的无线通信技术、移动通信技术和无线传感器网络技术;

第5章介绍了应用层,作为与终端用户直接打交道的物联网的最高层,它必须与行业结合得非常紧密;

第6章介绍了物联网的应用前景及面临的挑战,最后展望了其未来;

第7章为实验章节,供有实验条件的学校参考使用。

本书每章之后附有习题,可用于学生日常学习时检验自己的学习情况或教师在教学过程中布置练习时使用。

本书可作为普通高等院校《物联网概论》或《物联网应用与技术》等相近课程的教材,也可供物联网、计算机及相关专业的教学人员、科研人员或相关人员使用。高职高专类学校也可以选用本教材,使用时可以根据学校和学生的实际情况略去某些章节。

◆ 主 编 张光河

编 刘芳华 沈坤花 邓召基

责任编辑 刘 博

责任印制 彭志环 焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京昌平百善印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 13.25

2014年9月第1版

字数: 349千字

2014年9月北京第1次印刷

定价: 35.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前言

本书根据普通高等院校物联网专业本科生的教学要求,并按照“物联网概论”教学大纲的规定,同时在参考兄弟院校使用的经典教材和教案的基础上编写而成。全书系统地讲解了物联网技术所涉及的基础知识、基本概念和基本方法,将物联网这一全新技术的最新发展情况全面地展现在读者眼前。作者在总结近几年“物联网概论”课程教学经验的基础上,结合本课程及专业的发展趋势、物联网技术最新发展的情况及后续课程的情况,安排了本书的内容。

物联网概论是物联网专业的入门级课程,本课程可以相对独立地分为物联网的基本概念、物联网的体系架构、物联网的关键技术和物联网的应用前景等几部分。其特点是涉及知识面比较广泛,内容比较丰富,无论是硬件还是软件,其发展都可以用日新月异来形容。本书始终坚持突出基础知识、基本概念和基本方法,以注重培养具有实践能力的人才为目标,力求介绍基础知识时由浅入深、由易到难,行文时力求言简意赅、清晰明了。作者从执教以来一直从事本科生和研究生物联网技术相关课程的教学工作,因此本教材从选题到定稿,均将近年来学生对教学过程所使用的教材和讲义的反馈融合其中,并将作者近年来参与“卓越工程师培养计划”的教学科研成果和心得尽可能地反映和体现在本教材之中。

作者在设计 and 挑选教材内容时,做了以下处理。

(1) 考虑到对于大多数高校而言,物联网专业是全新的专业,物联网概论是一门全新的课程,很多授课教师并未在这一领域得到很好的培训,因此在第1章使用了较大的篇幅让使用本教材的教师和学生物联网的由来有一个全面的认识和理解。

(2) 由于目前学术界和工业界对物联网的架构并没有达成一致的意见,因此在第2章介绍物联网架构时,采用了大部分学者认可的三层架构,教师在授课过程中可以根据物联网的实际发展情况作相应的补充。

(3) 尽管感知层中用于信息采集的装置很多,但作为引导学生入门的教材,作者在第3章中只重点介绍了RFID和传感器两大支撑技术,教师教学过程中可根据学生的学习能力补充相应的材料,引导学生更加深入全面地了解感知技术。

(4) 物联网的网络层还在进一步发展之中,尤其是移动通信和无线通信的未来还有很大的发展空间,作者在第4章中无线通信部分只重点介绍了IEEE 802.15系列协议,而在移动通信方面也只介绍到了第四代技术,关于这两方面的后续发展,只能在本教材再版时加入。

(5) 物联网的应用目前才刚刚开始,无论是标准,还是安全,都没有得到完全解决,因此想要大规模地推广还有待研究人员的进一步努力。作者在第5章中并没有对工业和信息化部发布的《物联网“十二五”发展规划》中提出重点发展的物联网九大应用进行全部介绍,教师可以引导学生对自己有兴趣的物联网应用进一步深入了解。

(6) 物联网作为一门新兴的技术,其前途是光明的,而想要真正广泛应用,道路必定是艰辛的。对于有志于在此领域有所作为的学生,尤其是准备攻读硕士或博士研究生的学生,应该深入了解物联网推广时所面临的挑战,争取早日突破关键技术和核心技术。

本书内容重点突出,语言精练易懂,便于自学,可作为高等院校物联网、计算机及相关专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考书。本书无前导课程,本科阶段其后续课程包括传感器原理与应用、RFID 原理与应用、无线传感器网络等。

本书的第7章得到了大唐移动通信有限公司物联网教学产品研发部门的大力支持。在此深表感谢。参加本书编写的还有刘芳华老师和大唐移动的沈坤花工程师。本书由大唐移动邓召基工程师担任主审,在此深表感谢!感谢在本书编写过程中给予过支持和帮助的刘收银、项斌、邓洋洋、龙西仔和庄惠婷等同学!感谢在成书过程中很多不知道名字的同学所给予的支持和帮助!

作者在编写本教材的过程中,参阅了大量的相关教材和专著,也在网上查找了很多资料,在此向各位原著者致敬和致谢!

由于作者水平有限,加上时间仓促,书中难免存在不妥或错误,恳请读者批评指正!

作者邮箱: guanghezhang@163.com

作者个人主页: www.guanghezhang.com

作 者

2014 年 6 月

目 录

第1章 绪 论..... 1

- 1.1 物联网的由来 1
 - 1.1.1 信息技术简介 1
 - 1.1.2 物联网的产生 6
- 1.2 物联网的定义 8
- 1.3 物联网的发展概况 9
- 1.4 物联网的架构 13
- 1.5 物联网的关键技术 14
 - 1.5.1 感知层的关键技术 15
 - 1.5.2 网络层的关键技术 17
 - 1.5.3 应用层的关键技术 19
- 1.6 物联网的应用领域 19
- 1.7 小结 21
- 习题一 22

第2章 物联网架构及发展动力 23

- 2.1 物联网的架构 23
 - 2.1.1 感知层 23
 - 2.1.2 网络层 27
 - 2.1.3 应用层 33
 - 2.1.4 扩展架构 35
- 2.2 物联网的发展动力 36
 - 2.2.1 政府 36
 - 2.2.2 工业界 40
 - 2.2.3 教育界 47
 - 2.2.4 应用需求 48
- 2.3 小结 49
- 习题二 49

第3章 感知层 51

- 3.1 传感器 51
 - 3.1.1 传感器概述 51
 - 3.1.2 常用的传感器 58

3.1.3 智能传感器 64

3.1.4 传感器的应用 66

3.1.5 传感器的发展趋势 68

3.2 RFID 技术 69

3.2.1 RFID 技术的发展 70

3.2.2 RFID 的组成、技术标准及
产品类别 71

3.2.3 RFID 的优缺点 73

3.2.4 RFID 的应用前景 74

3.3 其他感知技术 76

3.3.1 条形码 76

3.3.2 生物特征 78

3.3.3 IC 卡 80

3.3.4 EPC 技术 81

3.4 小结 84

习题三 85

第4章 网络层 87

4.1 通用网络技术 87

4.1.1 通信介质 87

4.1.2 通信协议 93

4.2 无线网络通信技术 95

4.2.1 IEEE 802.11 95

4.2.2 IEEE 802.15.1 与蓝牙协议 101

4.2.3 IEEE 802.15.3 与 UWB 协议 104

4.2.4 IEEE 802.15.4 与 ZigBee 协议 106

4.2.5 IEEE 802.16 108

4.2.6 其他协议 112

4.3 移动通信技术 113

4.3.1 第一代移动通信技术 114

4.3.2 第二代移动通信技术 115

4.3.3 第三代移动通信技术 116

4.3.4 第四代移动通信技术 118

4.3.5 移动通信技术的发展趋势 121

4.4 无线传感器网络技术	122	5.8 智能医疗	153
4.4.1 无线传感器网络概述	122	5.8.1 智能医疗的由来	154
4.4.2 无线传感器网络特点	123	5.8.2 智能医疗的特点	154
4.4.3 无线传感器网络的应用领域	124	5.8.3 智能医疗的组成	155
4.5 小结	125	5.8.4 智能医疗的未来	158
习题四	126	5.9 小结	158
第5章 应用层	128	习题五	158
5.1 应用层概述	128	第6章 物联网的前景和挑战	161
5.2 智能工业	130	6.1 物联网的应用前景	161
5.2.1 智能工业的概念	130	6.1.1 物联网产业发展特点	162
5.2.2 智能工业的应用领域	130	6.1.2 RFID 的应用前景	163
5.2.3 智能化制造技术	131	6.1.3 传感器网络的应用前景	164
5.2.4 智能工业的挑战	132	6.1.4 我国物联网重点建设领域	165
5.3 智能农业	132	6.2 物联网面临的挑战及应对策略	167
5.3.1 智能农业的概念	133	6.2.1 物联网面临的挑战	167
5.3.2 智能农业的支撑技术	133	6.2.2 应对策略	168
5.3.3 智能农业的典型应用	133	6.3 物联网的未来	169
5.4 智能物流	134	6.4 小结	171
5.4.1 智能物流的由来	136	习题六	172
5.4.2 智能物流的主要支撑技术	137	第7章 物联网实验	174
5.4.3 改变我国物流业现状的主要对策	138	7.1 实验一 感受智能家居	174
5.5 智能电网	139	7.2 实验二 认识 E-Box300 实验箱	176
5.5.1 智能电网的发展历程	139	7.2.1 智能网关	178
5.5.2 智能电网概念的发展	141	7.2.2 ZigBee 无线传感模块	178
5.5.3 智能电网的定义和特点	141	7.2.3 RFID 射频识别技术	179
5.5.4 智能电网的发展意义	142	7.2.4 E-Box300 实验箱板卡英文 缩略词表	181
5.5.5 智能电网的主要特征	143	7.3 实验三 实验箱环境搭建	182
5.5.6 智能电网的关键技术	145	7.3.1 ZigBee 无线传感网络	183
5.6 智能交通	146	7.3.2 智能网关	185
5.6.1 智能交通的发展背景	146	7.3.3 上位机环境配置	186
5.6.2 智能交通的组成	148	7.3.4 实验箱整体调试方法	187
5.6.3 智能交通的特点	148	7.4 实验四 RFID 基础实验	188
5.6.4 智能交通的应用	148	7.5 实验五 传感器基础实验	192
5.7 智能家居	150	7.6 实验六 ZigBee 基础实验	195
5.7.1 智能家居的由来	150	7.7 实验七 Python 基础实验	199
5.7.2 智能家居的相关概念	150	7.8 实验八 Python 高级实验	203
5.7.3 智能家居的设计原则	151		
5.7.4 智能家居系统组成及典型应用	152		

第 1 章

绪 论

物联网（Internet of Things, IOT）被看作是信息领域的一次重大发展与变革。本章主要从一个整体的角度来介绍物联网，让初学者对该领域有一个初步的了解和认识。物联网这一新生事物并不是凭空产生的，它是信息技术发展到一定阶段之后，为了更好地满足不断发展的用户需求的必然产物。

本章从信息技术的概念出发，简要介绍了物联网的由来、定义、发展概况以及架构，并介绍了物联网架构中感知层、网络层和应用层的关键技术，最后介绍了物联网在现实生活中的典型应用。

1.1 物联网的由来

物联网是一个比较新的专业术语，物联网这一技术正在被广泛地应用于各行各业。2009 年 8 月，温家宝总理“感知中国”的讲话把我国物联网领域的研究和应用开发推向了高潮。为贯彻落实科学发展观，切实落实温家宝总理对发展物联网技术与产业的指示精神，无锡物联网产业研究院于 2009 年 11 月 4 日正式批复成立，该研究院依托于国家传感网工程技术研究中心，隶属于无锡地方政府，是自收自支、独立运作的事业法人机构。

自温总理提出“感知中国”以来，物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一，并写入了“政府工作报告”。物联网在中国受到了全社会极大的关注，其受关注程度是在美国、欧盟，以及其他各国（和地区）不可比拟的。用句时髦的话说，物联网这一名称是具有中国特色的。

从哲学的角度来看，任何事物都不是孤立存在的，物联网也一样，我们认为物联网的产生也有其必然性和偶然性，有其产生的实际背景和现实基础。本节介绍物联网的由来，并不打算从后巴别塔时代语言成为人类进行思想交流和信息传播不可缺少的工具这一历史时刻讲起，而是从信息技术这一现实基础开始介绍。

1.1.1 信息技术简介

信息技术（Information Technology, IT）对我们来说并不陌生，因为我们中的绝大部分人就算不直接参与 IT 行业，也还是会与 IT 相关的行业打交道。可以这么说，当今社会尽管不是所有的行业，但一定是绝大部分行业都与 IT 结合得非常紧密。

IT 是指用于管理和处理信息所采用的各种技术的总称，它主要是应用计算机科学和通信技术来设计、开发、安装和实施信息系统及应用软件。IT 也常被称为信息和通信技术（Information and

Communications Technology, ICT), 主要包括计算机技术、通信技术和传感技术。接下来对这三项技术作一个简单的介绍:

1. 计算机技术

1946 年 2 月 14 日, 人类历史上公认的第一台现代电子计算机“埃尼阿克”(The Electronic Numerical Integrator And Calculator, ENIAC) 诞生, 承担开发任务的“莫尔小组”由 4 位科学家和工程师埃克特、莫克利、戈尔斯坦和博克斯组成, 总工程师埃克特当时只有 24 岁。研制这台计算机的初衷是将其用于第二次世界大战, 但直到第二次世界大战结束一年后才完成。它长 30.48m, 宽 1m, 占地面积为 170m², 有 30 个操作台, 约相当于 10 间普通房间的大小, 重达 30t, 耗电量为 150kW, 造价是 48 万美元。“埃尼阿克”使用 18000 个电子管、70000 个电阻、10000 个电容、1500 个继电器和 6000 多个开关, 每秒执行 5000 次加法或 400 次乘法运算, 是继电器计算机的 1000 倍、手工计算的 20 万倍。“埃尼阿克”的成功, 是计算机发展史上的一座纪念碑, 使人类在发展计算技术方面达到了一个新的起点和高度。然而, 这一时代的计算机主要还是以军事和科学计算为主, 其价格昂贵、体积大、功耗高、可靠性差、速度慢(一般为每秒运算数千次至数万次), 与普通百姓的生活关系不是太大。

计算机经历了第 I 代电子管数字机、第 II 代晶体管数字机、第 III 代集成电路数字机和第 IV 代大规模集成电路机的发展, 个人计算机(Personal Computer, PC) 横空出世, 经过英特尔和微软公司的联手打造, 整合英特尔的中央处理器和微软的 Windows 操作系统的 WinIntel 系列 PC 逐步进入到公众的视野并融入寻常百姓的生活。

个人计算机自从诞生至今, 它的应用已渗透到社会的各个领域, 包括办公自动化、企事业计算机辅助管理与决策、情报检索、图书馆管理、电影电视动画设计、会计电算化等。它正在以其超强的计算能力、独特的运算方式以及强大的娱乐功能日益改变着传统的工作、学习和生活方式, 推动着社会的发展。经过这么多年的推广和普及, PC 已经成为信息管理、过程控制、辅助技术应用、机器翻译、人工智能和多媒体应用等领域不可或缺的设备, 这是物联网产生的现实基础之一。

2. 通信技术

人类历史经历了农业社会、工业社会, 正逐步进入信息社会。信息是无时无处不在的。在日常生活中, 我们从电视或收音机里观看或收听的气象预报就是信息。通信技术的任务就是要实现高速度、高质量、准确、及时、安全可靠地传递和交换各种形式的信息。

19 世纪以前, 人类传递信息主要依靠人力、畜力, 也曾使用信鸽或借助烽火等方式来实现信息传递, 但这些通信方式效率极低, 在不同程度上受到距离及各种障碍的限制。1844 年, 美国人莫尔斯(S. B. Morse) 发明了莫尔斯电码, 并在电报机上传递了第一条电报, 大大缩小了通信时空的差距。1876 年贝尔发明了电话, 首次使相距数百米的两个人可以直接清晰地进行通话。通信技术在 20 世纪得到飞速发展, 21 世纪的通信技术将向着宽带化、智能化、个人化的综合业务数字网技术的方向发展。

通信的基础设施是终端设备、传输设备和交换设备, 它们共同构成了通信网。终端设备包括电话机、传真机、电报机、数据终端和图像终端等。有线通信的传输设备有电缆、海底电缆、光缆和海底光缆等。无线通信的传输设备有微波收信机、微波发信机、通信卫星等。交换设备处在通信网络的中心, 是实现用户终端设备中信号交换、接续(从交换机中接线的操作之一)的装置, 如电话交换机、电报交换机等。

随着社会的发展, 人们对信息传递和交换的要求越来越高, 通信技术得到了迅猛的发展。现代通信技术的进步, 主要表现在数字程控交换技术、光纤通信、卫星通信等方面, 而覆盖全球的

个人通信则是通信技术的发展方向。接下来简要介绍这几项技术。

(1) 电话的交换技术

举一个简单的例子。两部电话机用一对导线连接起来,就能实现两个用户间的通话。若3个用户,要实现任意两个用户间的通话,就需要3对导线;5个用户时,需要10对导线;10个用户时,需要45对导线; N 个用户时,需要 $N(N-1)/2$ 对导线。

这种连线方式很不经济,因为随着用户数的增多,所需的导线的数量呈指数级增长。工程人员所能想到的较为经济的接线方式是将每个用户的电话机用一对导线连接到各用户共同使用的一个交换设备上,该交换设备位于各用户的中心,完成这一功能的这个设备就叫交换机。

最初的交换机也叫人工交换机,是由接线员来完成用户之间的连接的,这一过程如下:将每部电话机都接一根线到电话局的一个大电路板上。当用户A希望 and 用户B通话时,就请求电话局的接线员接通用户B的电话。接线员用一根导线,一头插在用户A接到电路板上的孔,另一头插到用户B的孔,这就是“接续”,相当于临时给用户A和用户B拉了一条电话线,这时双方就可以通话了。当通话完毕后,接线员将电线拆下,这就是“拆线”。整个过程就是“人工交换”,它实际上就是一个“合上开关”和“断开开关”的过程。这一阶段的电话交换技术被认为是人工交换阶段。

第二阶段的电话交换技术是机电式自动交换。世界上第一部自动交换机是1898年由美国人A.B.史端乔(Almon B. Strowger)发明的,这是一台步进式自动电话交换机(Step By Step Telephone Exchange),1892年,世界上第一个步进式自动电话局在美国印第安纳州拉波特设立,因此,自动电话交换机得到迅速发展,在世界各国装用,并相继生产了许多改进的机型。1926年,瑞典研制出了第一台纵横电话交换机(Crossbar Telephone Switching System),并在松兹瓦尔(Sundsvall)设立了第一个纵横实验电话局,拥有3500个使用者。从20世纪30年代起,美国等国家也开始大力研制和发展纵横式交换机,到50年代,纵横式交换机已达到成熟阶段。由于纵横式交换机采用了机械动作轻微的纵横接线器并采用了间接控制技术,使它克服了步进式交换机的许多缺点。特别是它能适用于长途自动交换,因此五十年代以后,纵横式交换机在各国得到了大量的推广和应用。不过,无论是“步进制交换机”,还是“纵横制交换机”,它们都属于机电制式自动交换机,是靠物理接触的方式传递信号,设备容易磨损。

最新的电话交换技术被认为是电子式自动交换。随着近代电子技术的飞速发展,人们开始把电子元件应用到交换机中,逐步取代速度慢、体积大的电磁元件。于是出现了准电子电话交换机(Quasi-Electronic Telephone Switching System)。电脑、大规模集成电路的发展及应用,使自动交换机的发展产生了重大转变。

计算机产生以后,人们将交换机的各项功能编成程序,并存放在计算机的存储器中。这种用存储程序的方式构成控制系统的交换机,就称为存储程序控制交换机。1960年,美国贝尔系统试用储存程序控制交换机(Stored Program Controlled Switching,程控交换机)成功,并于1965年5月开始运作世界上第一部程控电话交换机。该机采用电脑作为中央控制设备,由电脑来控制接续工作,该交换机属于程控空间分隔电话交换机(Store-Program Control Space Division Telephone Exchange),它意味着电话自动交换控制技术已从机电式控制发展到电子式程序控制。1970年,法国设立了世界上第一部程控数字电话交换机(Store-Program Control Digital Telephone Switching System)。随后,美国、加拿大、瑞典、英国等国相继使用程控数字交换机。

程控交换机实质上就是计算机控制的交换机,它实现了交换机的全电子化。数字交换与传输相结合,可以构成综合数字网(Integrated Digital Network, IDN),还可以开发成综合业务数字网

(Integrated Services Digital Network, ISDN)。程控交换机与机电制交换机相比还有许多优点: 接续速度快; 容量大、阻塞概率低; 节省建筑投资; 减少维护人员; 为用户提供新的业务, 除提供电话外还可提供数据、传真、可视电话、可视数据等。

基础知识: 模拟信号和数字信号

在通信网中传输或交换的信号有两类: 模拟信号和数字信号。相应的传输或交换方式分别称为模拟信号方式和数字信号方式。模拟信号是连续的, 例如, 电话用户说话的声音引起电话机送话器中振动膜片的振动, 振动膜片的振动导致了大小正负变化电流的产生。电流的这种变化, 模拟了声波的振幅和频率。这种装载着声音信息的电流就是模拟信号, 它在用户与交换机之间以及交换机内部未经任何加工地交换或传输下去, 这就是模拟信号方式; 数字信号是不连续的, 例如, 打电话的人说话的模拟信号传到交换机以后, 交换机并不急于交换到被叫者, 而是先将这个模拟信号通过编码器转变成一系列的“0”和“1”, 这种由“0”和“1”组成的信号称之为数字信号。举一个更为通俗的例子来解释上述两个概念, 像我们平时使用的可以通过调节旋钮来控制灯泡亮度的功率为 40 瓦的台灯, 在我们调节灯光亮度的过程中就产生了一段模拟信号, 其功率值会在 0~40 变化, 这属于模拟信号; 而对于普通的不可调节亮度的功率为 40W 台灯, 只有开和关两种状态, 这样其功率要么是 0, 要么就是 40, 只有这两种状态, 这属于数字信号。

(2) 光纤通信

光纤是光导纤维的简称, 它是一种传播光波的线路, 利用光纤中传播的光波作载波传递信息的通信方式就叫光纤通信, 它最大的优点是通信容量大。根据通信原理, 通信容量与电磁波的频率成正比。微波的频率在 300MHz ~ 300GHz, 光波的频率范围是 430 (红色) ~ 750THz (紫罗兰色), 目前使用的光波频率比微波频率高 1000 ~ 10000 倍, 相应的光波通信容量要比微波通信容量大 1000 ~ 10000 倍。2009 年 10 月 6 日, 原香港中文大学校长、“光纤之父”高锟, 因为在 1966 年从理论上论证了光导纤维作为光通信介质的可能性, 被宣布获得这一年度的诺贝尔物理学奖, 他也因为在这一领域的成就和贡献被尊称为“现代光通信之父”。

(3) 卫星通信

卫星通信以微波为载波, 微波是指波长为 1mm ~ 1m 或频率为 300MHz ~ 300GHz 范围内的电磁波, 它是直线传播的。微波传输的优点是不需要敷设或架设线路, 但是如果想要在地球上进行长距离的微波通信, 由于地球是球形的, 必须每隔 50km 就修建一座微波站, 用于接力传输信号。例如, 我们可以在百度地图上查到从北京到广州的直线距离大约 1884.9km, 若用微波进行通信, 不考虑实际施工的环境和难度, 则必须在北京和广州之间至少修建 37 座微波中继站。如此多的传输环节, 不仅严重影响通信的质量, 而且建造和维护中继站都需要巨大的投资, 因此这一方式的可行性较差。

建立卫星通信系统, 就可以避开微波通信中需要众多中继站的问题。一个卫星通信系统由通信卫星和地球站 (或称卫星地面站) 组成。卫星通信就是利用卫星作为中继站来转发微波, 实现两个或多个地球站之间的通信。通常使用在地球赤道上空约 3.6×10^4 km 的圆形轨道上绕地球运行的同步通信卫星来辅助通信, 它的运行轨道平面与赤道平面的夹角保持为零度, 其运行一周的时间与地球自转一周的时间同为 24 小时。将一颗通信卫星送入同步轨道是一项十分复杂的技术, 既需要有先进的火箭技术, 又需要有精确的遥测遥控技术。利用通信卫星作为中继站, 可以实现固定通信, 也可以实现移动通信。

(4) 移动通信

移动物体之间或移动物体与固定物体之间的通信均可称为移动通信,换言之,只要参与通信的一方是移动的物体,就可称为移动通信。移动物体可以是人、汽车、船只、飞机和卫星等具有移动特征的客观事物。移动通信种类繁多,可分为陆地移动通信、海上移动通信、航空移动通信等。移动通信使人们能够在移动过程中进行通信,以适应现代社会中快节奏、人员流动性强的需要。移动通信经历了三代,目前第四代移动通信系统正在推广中。

第一代(1st-generation, 1G)移动通信系统是模拟式语音移动通信。由于该系统易受外界电波干扰,语音品质欠佳等原因,便逐渐被第二代(2nd-generation, 2G)数字语音通信系统所取代,但该系统是无法直接传送如电子邮件等信息,只具有语音通话和一些简单信息传送的手机通信技术规格。第三代(3rd-generation, 3G)移动通信技术,是指支持高速数据传输的蜂窝移动通信技术,3G服务能够同时传送声音及数据信息,速率一般在几百 kbit/s 以上。

(5) 计算机通信

计算机通信是一种以数据通信形式出现,在计算机与计算机之间或计算机与终端设备之间进行信息传递的方式。它是现代计算机技术与通信技术相融合的产物,在军队指挥自动化系统、武器控制系统、信息处理系统、决策分析系统、情报检索系统以及办公自动化系统等领域得到了广泛应用。

计算机通信按照传输连接方式的不同,可分为直接式和间接式两种。直接式是指将两部计算机直接相联进行通信,可以是点对点通信,也可以是多点之间通信。间接式是指通信双方必须通过交换网络进行传输。

按照通信覆盖地域的广度,计算机通信通常分为局域式、城域式和广域式三类。局域式是指在一局部的地域范围内(例如一个机关、学校、军营等)建立计算机通信,局域式计算机通信覆盖地区的直径在数千米以内;城域式是指在一个城市范围内所建立的计算机通信,其通信覆盖地区的直径在数十千米以内;广域式是指在一个广泛的地域范围内所建立的计算机通信,通信范围可以超越城市和国家,以至于全球,广域计算机通信覆盖地区的直径一般在数十千米到数千千米乃至上万千米。

1969年,美国国防部国防高级研究计划署资助建立了一个名为“阿帕网”(Advanced Research Projects Agency Network, ARPANET)的网络,这个网络把位于盐湖城的犹他州立大学的计算机主机连接起来,位于各个接点的大型计算机采用分组交换技术,通过专门的通信交换机和专门的通信线路相互连接,这一网络是因特网的前身。1972年全世界计算机和通信业的专家学者在华盛顿举行了第一届国际计算机通信会议,就在不同的计算机网络之间进行通信达成协议,会议决定成立 Internet 工作组,负责建立一种能保证计算机之间进行网络通信的标准规范(即“通信协议”)。1973年,美国国防部也开始研究如何实现各种不同网络之间的互联问题,互联网就是在这一大背景下产生之后互联网在各行各业被广泛应用。

通用计算机,尤其是个人计算机的广泛普及和使用,促进了它在各行各业的应用。个人计算机与各行业的深度融合,产生了许多新兴的学科分支,诞生了各种新行业。例如,通过电脑和网络在网上开店、购物,被称为电子商务;政府机构应用现代信息和通信技术,将管理和服务通过网络技术进行集成,在互联网上实现政府组织结构和工作流程的优化重组,超越时间和空间及部门之间的分隔限制,向社会提供优质和全方位的、规范而透明的、符合国际水准的管理和服务被称为电子政务;通过面向社会公众开放的通信通道或开放型公众网络,以及为特定自助服务设施或客户建立的专用网络等方式,向客户提供的离柜金融服务被称为电子银行。

3. 传感技术

传感技术是指如何从自然信源获取信息，并对之进行处理（变换）和识别的一门多学科交叉的现代科学与工程技术的统称。它涉及传感器（又称换能器）、信息处理和识别的规划设计、开发、制造或建造、测试、应用及评价改进等活动。传感技术同计算机技术与通信技术一起被称为信息技术的三大支柱，传感技术用于信息的采集，计算机技术用于信息的处理，通信技术用于信息的传输，这三大技术结合起来就完成了信息的采集、处理和传输，实现了信息从采集到使用的全过程。

我们从仿生学观点出发，如果把计算机看成处理和识别信息的“大脑”，把通信系统看成传递信息的“神经系统”的话，那么传感器就是“感觉器官”。获取信息靠各类传感器，目前已经有获取各种物理量、化学量或生物量的传感器。之所以说这一技术是多学科交叉的，是因为在整个信息感知的过程中，会涉及很多不同的学科知识。比如，测量一个化学量，可能会用到化学反应，或者是离子浓度这些参数，这就需要定量计算的化学知识；制作传感器的材料十分重要，因为不同的材料对不同的物理量、化学量或生物量敏感程度并不一样，所以材料学科也与此相关。而按照信息论的凸性定理，传感器的功能与品质决定了传感系统获取自然信息的信息量和信息质量，是高品质传感技术系统构造的先决条件。

传感技术是现代科学技术发展的基础条件，应该受到足够的重视。一方面为了提高制造企业的生产率（或降低运行时间）和产品质量；另一方面为了降低产品成本，工业界对传感技术的基本要求是能可靠地应用于现场，完成规定的功能。

1.1.2 物联网的产生

物联网被看作是信息领域的一次重大发展与变革，早在 1995 年，比尔·盖茨就已经在其《未来之路》一书中提到了物联网的概念，但由于当时射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）技术（又称电子标签、无线射频识别）、传感器技术、通信技术和无线网络技术的限制，只能停留在概念中，无法将其变为现实；1998 年，美国麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）创造性地提出了当时被称作 EPC 系统的物联网构想；而“物联网”这个词，国内外普遍公认的是 MIT 的 Auto-ID 中心主任 Kevin Ashton 教授 1999 年在研究 RFID 时最早提出来的，它被建立在物品编码、RFID 技术和互联网的基础之上，其核心思想是基于 RFID 技术和电子代码（EPC）等技术，在互联网的基础上，构造一个实现全球物品信息实时共享的实物互联网，即物联网。

RFID 是指通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据，而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触。这里有一点需要特别注意，根据上述传感技术的定义（即指如何从自然信源获取信息，并对之进行处理（变换）和识别的一门多学科交叉的现代科学与工程技术的统称），我们可以知道，RFID 也是传感技术的一种，而并不是什么特别的东西。

2005 年 11 月 17 日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会上，国际电信联盟发布的《ITU 互联网报告 2005：物联网》报告正式提出“物联网”的概念。该报告指出，无所不在的“物联网”通信时代即将到来，世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过因特网主动进行交换。

欧盟 2008 年发布的《The European Technology Platform on Smart Systems Integration, EPoSS IoT 2020》报告中也提到了物联网，但此时物联网的定义已经发生了变化，覆盖的范围也有了较大的拓展，不再只是指基于 RFID 技术的物联网，即与 1999 年 Kevin Ashton 提出的物联网已经不太一样了。

2009 年 1 月 28 日，奥巴马就任美国总统之后，与美国工商业领袖举行了一次圆桌会议，IBM

首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”这一概念，就是把传感器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，并且进行普遍连接，形成所谓的“物联网”，然后将“物联网”与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合。IBM 首席执行官建议奥巴马政府投资新一代的智慧型基础设施，基础设施其实就是指物联网，之后，奥巴马政府将新能源和物联网列为振兴美国经济的两大武器。

其实 IBM 首席执行官描述的这种科幻般的场景，在现实生活中早已有了模型，那就是微软公司创始人比尔·盖茨的高科技豪宅。这幢位于美国梅迪纳市华盛顿湖畔的住宅建于 20 世纪 90 年代。整座建筑物埋设了几万米长的电缆和光纤，几乎所有设施都通过网络连接在一起。比如大门外装有天气感知器，可以根据各项气象指标通知空调系统，控制室内温度和通风情况。再比如，主人在回家途中只要打个电话发布指令，家里的浴缸便开始放水调温，做好为主人洗去一路风尘的准备。尤其特殊的是，每个来到这里的客人都会领到一个含有电子标签的胸针，其中储存有每个人对特定的温度、湿度以及灯光、音乐等的喜好。无论你走进哪个房间，这个电子标签便会通过传感系统与周围设备交流，房间内的温度会调整到你感觉舒适的程度，扬声器会响起你喜爱的旋律，投影仪则会在墙壁上投射出你熟悉的画作。

全球零售业巨头沃尔玛大力推广的 RFID 战略则让物联网离普通人的生活更近。沃尔玛将物联网技术应用于送货、店面和后仓商品的传递，以及管理货架。对沃尔玛来说，大力推广物联网射频识别系统，不仅可以方便顾客购物，还有利于对商品运输、仓储、配送、上架、最终销售，甚至退货处理等环节实施监控，大大降低物流成本，提升物流供应链管理水平。此外，通过应用数据挖掘的知识，这一系统还可以帮助沃尔玛了解顾客的消费偏好、习惯和模式，创造新的商业和营销模式。

2009 年 8 月 7 日，温家宝总理听完我国传感网发展和运用的汇报后说，至少三件事情可以尽快去做：一是把传感系统和 3G 中的时分双工（Time Division Duplexing, TDD）技术结合起来；二是在国家重大科技专项中，加快推进传感网发展；三是尽快建立中国的传感信息中心，或者叫“感知中国”中心。至此物联网正式进入大众眼球，随后温总理又在多个场合提及要将物联网纳入中国未来发展规划中。工业和信息化部部长李毅中 2009 年 12 月 21 日表示，加快培育物联网产业，制定技术产业发展规划和应用推进计划，发展关键传感器件、装备、系统及服务，推进国家传感信息中心建设，促进物联网与互联网、移动互联网的融合发展。

在物联网这一名词被正式提出之前，个人计算机和互联网的应用就已经普及并深入人们的日常生活，与人们的衣食住行都息息相关，而现在的日常生活更是无法离开网络。比如我们会在当当网上购买书籍杂志，在淘宝网上购买衣服鞋子，在京东上购买电子产品等。在这一背景下，人们不断增长的物质文化需求希望科学家和技术人员努力把更多的物品联网，并接入因特网，使人们的生活更加便利。

物联网是信息技术发展积累到一定阶段的必然产物，若没有信息技术这么多年的积累，物联网也就成了无源之水、无本之木，只是一个抽象的概念而已。但是，物联网之所以被世界各国作为战略产业来优先扶植并发展，还与另一重大事件相关，那就是 2007—2009 年的全球金融危机（世界金融危机，也称次贷危机或信用危机）。

从 2007 年开始的美国次贷危机，逐步发展成全面金融危机，而且向实体经济渗透，向全球蔓延，给世界经济带来严重影响。在这一背景下，世界各国都希望有一场信息技术革命能带领世界经济走出低谷，因此，美国、欧盟、中国、日本、韩国等都将物联网作为一个新兴产业重点扶持并大力发展。从某种程度上可以这么说，若不是这一次的世界金融危机对经济的严重影响，物联

网产业也许没有那么快浮出水面，成为世界各国优先发展的战略产业。

总的说来，物联网的产生是有其技术基础、物质基础和政治背景的，技术基础包括以下几方面。

(1) 计算机技术和电子技术的进一步发展，尤其是制造工艺水平的进一步提高，超大规模集成电路向微型化、低功耗、高可靠方向发展。

(2) 通信技术取得长足的进步，有线通信技术作为基础设施已经普及，绝大部分住宅小区、商场、写字楼的主干网都以光纤通信为主；无线和移动通信技术从第一代发展到第四代，越来越多的设备和终端支持无线及移动通信，不再受到时间和空间的限制及线缆的束缚，可以随时随地随意地联网，这使人们的日常生活自动化、智能化。

(3) 个人电脑、终端设备和互联网得到普及，尤其是各个行业和领域的智能终端设备得到广泛应用，传感技术进一步提高并与各种智能终端结合。例如，现在人们使用的智能手机一般都配有加速度传感器、摄像头、触摸屏，这些都是感知世界的元器件。

物联网产生的物质基础则是人们生活水平不断提高，智能终端和网络被人们广泛使用，这促使人们想将这些智能终端和设备连接起来，并接入因特网使生活更加便利。

物联网产生的政治背景则是各国希望通过物联网产业的发展带动万亿元级的产业链的形成，从而拉动经济的发展，使经济得到复苏和振兴。

1.2 物联网的定义

自从1999年物联网的概念被提出到现在，物联网本身还在不断的发展之中，目前国内外，无论是学术界还是工业界，对物联网都还没有一个公认的标准定义。

有人认为物联网就是“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，是在互联网基础上延伸和扩展的网络；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。

也有学者认为物联网是智能感知、识别技术与普通科学和泛在网络相融合的应用。物联网被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。尽管目前国内外对物联网是什么还没有达成共识，但是从物联网的本质分析，物联网具备互联网的特征，比互联网的功能更细、更强、更全，物联网大体有以下三个方面的特征。

(1) 具有互联网的特征，在一个信息互联互通的网络中，“物”在互联网上的互联互通。

(2) 自动识别和通信的特征，物联网的“物”一定要具有自动识别和物物通信的功能。

(3) 智能化特征，网络系统具有自动化、自我反馈与智能控制的特点。

以下摘抄几个比较典型的物联网的定义，让大家对物联网有一个初步的了解和感性的认识。

(1) 通过射频识别、红外感应器、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概念。

(2) 中国移动通信对物联网的定义：物联网是指通过传感器、射频识别技术、全球定位系统等，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程的声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，与互联网结合形成的一个巨大网络。其目的是实现物与物、物与人、所有的物品与网络的连接，方便识别、管理和控制。

(3) 百度百科对物联网的定义：物联网指的是将无处不在的末端设备和设施，包括具备“内

在智能”的传感器、移动终端、工业系统、楼控系统、家庭智能设施、视频监控系统等和“外在智能”的，如贴上 RFID 标签的各种资产、携带无线终端的个人与车辆等“智能化实体”或“智能尘埃”，通过各种无线和/或有线的长距离和/或短距离通信网络实现互联互通（M2M）、应用大集成（Grand Integration）以及基于云计算的 SaaS 营运等模式，在内网、专网和/或互联网环境下，采用适当的信息安全保障机制，提供安全可控乃至个性化的实时在线监测、定位追溯、报警联动、调度指挥、预案管理、远程控制、安全防范、远程维保、在线升级、统计报表、决策支持、领导桌面（集中展示的 Cockpit Dashboard）等管理和服务功能，实现对“万物”的“高效、节能、安全、环保”的“管、控、营”一体化。

（4）维基百科对物联网的定义：物联网是一个基于互联网、传统电信网等信息承载体，让所有能够被独立寻址的普通物理对象实现互联互通的网络。在物联网上，每个人都可以应用电子标签将真实的物体上网联结，在物联网上都可以查找出它们的具体位置。通过物联网可以用中心计算机对机器、设备、人员进行集中管理、控制，也可以对家庭设备、汽车进行遥控，以及实现搜寻位置、防止物品被盗等各种应用。

（5）2010年3月，我国政府工作报告所附的注释中物联网定义：物联网指通过信息传感设备，按照约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，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。它是在互联网基础上延伸和扩展的网络。

特别要注意的是物联网中的“物”，不是普通意义上的万事万物，这里的物要满足以下条件：

- （1）要有相应信息的接收器；
- （2）要有数据传输通路；
- （3）要有一定的存储功能；
- （4）要有处理运算单元（CPU）；
- （5）要有操作系统；
- （6）要有专门的应用程序；
- （7）要有数据发送器；
- （8）遵循物联网的通信协议；
- （9）在世界网络中有可被识别的唯一编号。

视实际行业和应用场景的不同，上述有些条件可不满足，例如：温度传感器可以没有操作系统，只需要有相应的硬件采集电路和相应的处理程序，若采集后需要向外传输，则需要增加发送和接收器，存储电路，通信模块，传输程序，甚至需要显示设备等。通过以上分析，发现物联网的核心是物与物以及人与物之间的信息交互，其基本特征可简要概括为全面感知、可靠传送和智能处理，见表 1-1。

表 1-1 物联网的三个特征

特征	特征描述
全面感知	利用射频识别、二维码、传感器等感知、捕获、测量技术随时随地对物体进行信息采集和捕获
可靠传送	通过将物体接入信息网络、依托各种通信网络，随时随地进行可靠的信息交互和共享
智能处理	利用各种智能计算技术，对海量的感知数据和信息进行分析并处理，实现智能化的决策和控制

1.3 物联网的发展概况

物联网的发展，从一开始就是基于现有的信息技术的，并不是凭空产生的，也不像某些学者或专家认为是只是一个被炒作的概念。它通过使用感知技术采集信息，计算机技术处理信息，网络技术传输信息，并将三者结合起来完成信息的采集、处理和传输。

美国国际商业机器公司（International Business Machines Corporation, IBM）前首席执行官郭士纳提出“计算模式每隔 15 年发生一次变革”这个被称为“15 年周期定律”的观点。1965 年前后发生的变革以大型机为标志，1980 年前后发生的变革以个人计算机的推广和普及为标志，1995 年前后则发生了互联网革命。每一次的技术变革又都引起企业、产业甚至国家间竞争格局的重大动荡和变化，而 2010 年发生的变革极有可能出现在物联网领域，上述发展历程如图 1-1 所示。

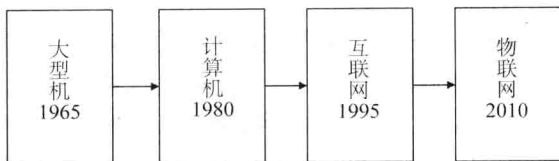


图 1-1 信息技术中 15 年周期定律

近年以来，美国、欧盟、日本和韩国等纷纷出台物联网发展计划，进行相关技术和产业的前瞻布局，我国“十二五”规划中也把物联网作为战略性新兴产业予以重点关注和推进。

1. 美国的物联网发展

美国非常重视物联网的战略地位，它在物联网技术研究、开发和应用方面一直居世界领先地位，在美国国家情报委员会（National Intelligence Council, NIC）发表的《2025 年对美国利益潜在影响的关键技术》报告中，将物联网列为六种关键技术之一。美国国防部在 2005 年将“智能微尘”（Smart Dust）列为重点研发项目。美国国家科学基金会的“全球网络环境研究”（Global Environment for Network Investigations, GENI）把在下一代互联网上组建传感器子网作为其中一项重要的内容。2009 年 2 月 17 日，奥巴马总统签署生效的《2009 年美国恢复与再投资法案》提出在智能电网、卫生医疗信息技术应用和教育信息技术进行大量投资，这些投资建设与物联网技术直接相关。物联网与新能源一道，成为美国摆脱金融危机振兴经济的两大核心武器。

美国在物联网的发展方面也具有优势地位，EPCglobal 标准已经在国际上取得主动，许多国家采纳了这一标准架构。RFID 技术最早在美国军方使用，无线传感网络也首先用在作战时的单兵联络。美国首先开展新一代物联网、网格计算等新技术的研究，包括新近开发的各种无线传感技术标准都由美国企业所掌控。在智能微机电系统（Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS）传感器开发方面，美国也领先一步。例如，佛罗里达大学和飞思卡尔半导体公司开发的低功耗、低成本的 MEMS 运动传感器、罗格斯大学（Rutgers, The State University of New Jersey, 罗格斯，新泽西州立大学）开发的多模无线传感器（MUSE）多芯片模块、伊利诺伊大学香槟分校（Urbana-Champaign）开发的热红外、无线传感器等，这些技术都将为物联网发展奠定良好的基础。

在国家战略层面上，美国在更大大方位地进行信息化战略部署，推进信息技术领域的企业重组，巩固信息技术领域的垄断地位；在争取继续完全控制下一代互联网（IPv6）的根服务器的同时，