



高等学校计算机科学与技术教材

教育部精品视频公开课配套教材

IBM大学合作项目书籍出版资助

物联网技术与应用

COMPUTER Science and Technology

□ 石志国 王志良 丁大伟 编著

- 原理与技术的完美结合
- 教学与科研的最新成果
- 语言精练，实例丰富
- 可操作性强，实用性突出



清华大学出版社 ● 北京交通大学出版社

高等学校计算机科学与技术教材
教育部精品视频公开课配套教材
IBM 大学合作项目书籍出版资助

物联网技术与应用

石志国 王志良 丁大伟 编著

清华大学出版社

北京交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

“物联网技术与应用”是物联网工程专业最重要的主干课程之一，也是信息类相关专业了解物联网内涵的重要课程之一。本书是该课程的配套教材。注重基础性、前沿性和时代性，同时也注重包含相关企业的最新技术。

全书共 10 章分成三个部分，第一部分概述了物联网的发展历程、定义、体系结构等；第二部分重点介绍物联网的核心技术，主要包括射频识别技术、传感器技术、无线传感器网络技术、虚拟化技术、云计算和安全技术等；第三部分介绍了物联网的基础理论，以及面向健康医疗和智慧城市的物联网应用。

本书是教育部精品视频公开课“物联网技术及应用”的配套教材，同时得到“IBM 大学合作项目书籍出版资助”的项目资助本书可作为高校及各类培训机构相关课程的教材或参考书，本书全套配套资料可以从课程网站 <http://i.gettop.net/ibm/> 下载，也可从出版社网站 <http://press.bjtu.edu.cn> 的下载栏目中下载。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目（CIP）数据

物联网技术与应用 / 石志国，王志良，丁大伟编著. —北京：清华大学出版社；北京交通大学出版社，2012.8

（高等学校计算机科学与技术教材）

ISBN 978-7-5121-1146-2

I. ①物… II. ①石… ②王… ③丁… 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（2012）第 197030 号

责任编辑：谭文芳

出版发行：清华大学出版社 邮编：100084 电话：010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编：100044 电话：010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者：北京市德美印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：15 字数：384 千字

版 次：2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-5121-1146-2/TP·705

印 数：1~3 000 册 定价：29.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043, 51686008；传真：010-62225406；E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

物联网（Internet of Things, IOT）是科学技术发展到一定阶段以后的聚合性提升。21 世纪科学发展的趋势是学科交叉、技术整合，物联网正是这种趋势的体现，世界各国都在竞相发展物联网技术，旨在占领科学技术的制高点。

物联网市场前景将远超计算机、互联网、移动通信等市场。工业和信息化部已将物联网规划纳入到专题规划，列为国家重点发展的五大战略性新兴产业之一，并明确提出，要发展宽带融合的下一代国家基础设施，推进物联网的应用。同时物联网的国家规划已经锁定十大领域：智能电网、智能交通、智能物流、智能家居、金融与服务业、精细农牧业、医疗健康、工业与自动化控制、环境与安全检测及国防军事。

专业与课程的情况

2012 年国内已经有 135 所高校被教育部批准设立“物联网工程”专业。其中，2010 年第一批批准了 28 所高校，后又增补了 27 所高校；2012 年上半年增补了 80 所高校。粗略估计，已经有了 300 所左右的高校开设了“物联网工程”专业或者相似专业。在校学生预计能在 2015 年下半年赶超传统的“计算机科学与技术”、“电子科学与技术”和“通信工程”等老牌专业。

北京科技大学是教育部第一批批准设立“物联网工程”专业的高校，同时也是第一批获得教育部国家级特色专业建设的高校之一。“物联网技术与应用”课程也是全国首次开设，具备较强的探索性，是物联网工程专业最重要的主干课程之一，开设在大三学年，是专业基础必修课，也是物联网工程专业同学进一步深入学习各个方向课程的基础。本书是“物联网技术与应用”课程的配套教材，全面地讲述了物联网基础知识、技术体系以及相关应用。

本书结构

本书在相关课程讲义的基础上进行了大量修改。每一章前面设计了“本章要点”，因为每一章内容都比较庞杂，所以要重点掌握本章要点提及的内容。每一章后面设计了适量的习题，主要是针对本章重点、难点进行训练。本书附录提供了选择题和填空题的答案，可以对照检查自己的学习效果。

根据物联网的体系，全书共 10 章分成三个部分，第一部分概述了物联网的发展历程、定义、体系结构等；第二部分重点介绍了物联网的核心技术，主要包括射频识别技术、传感器技术、无线传感器网络技术、虚拟化技术、云计算和物联网的安全技术；第三部分介绍了物联网理论基础以及面向智慧环境和健康医疗的物联网应用。

第一部分：物联网概述，包括第 1 章，主要介绍物联网的发展历程和定义，物联网的三层体系结构，物联网的硬件和软件组成，简要介绍物联网应用实例，同时介绍其应用领域。

第二部分：物联网核心技术，包括第 2~7 章，是本书的主体内容。第 2 章射频识别技术，介绍各种标签编码和 RFID 系统；第 3 章传感器技术，介绍各种传感器及其接口技术；第 4 章无线传感器网络技术，介绍传感器网络的技术体系、通信协议及信息融合技术等；第 5 章虚拟化技术，介绍虚拟化的必要性、支撑技术及代表性厂商；第 6 章云计算技术基础，介绍云计算的优势及实现技术；第 7 章物联网安全技术，介绍物联网安全的层次及常用的技术。

第三部分：物联网理论基础与应用，包括第 8~10 章。第 8 章物联网理论基础，介绍所包括的关键科学问题、物联网与控制理论、信息论之间的关系；第 9 章面向健康医疗的物联网应用，介绍人体状态检测系统及远程医疗监护系统；第 10 章面向智慧城市的物联网应用，介绍智慧城市、智能交通系统、环境治理系统和智能家居。

致谢

本书是教育部精品视频公开课“物联网技术与应用”的配套教材，得到了“IBM 大学合作项目书籍出版的”项目资助。同时也得到了教育部“物联网工程”国家级特色专业建设的项目资助，得到了北京科技大学的研究型教学项目、教育教学改革项目和“十二五”教材建设项目的资助，在此表示感谢。

本书众多内容是教学团队的成果，教学团队成员包括：国家物联网教学指导委员会委员王志良老师，以及张晓彤老师、解仑老师、王新平老师、胡四泉老师、解迎刚老师、郝卫东老师、颜斌老师、姚亦飞老师、王先梅老师、刘磊老师等。

专业建设和课程建设得到了 IBM 公司和 IBM 大学合作部的关心和大力支持。在此感谢 IBM 大学合作部李晶晖老师、程毓佳老师、邢文娟老师、张薇老师、王浩老师、万泽春老师、卜晓军老师、管连老师、邵陵老师、赵邑新老师。特别感谢 IBM Lotus 事业部经理黎星星老师和 IBM CSTL 事业部的金洁华老师，以及 IBM 虚拟化与云计算小组的成员。

图书支持

本书可以作为高校及各类培训机构相关课程的教材或者教学参考书，以及物联网相关技术自学人员和系统设计人员的参考书。由于作者水平和时间有限，难免出现错误，对于本书的任何问题请使用 E-mail 发送到作者邮箱：shizhiguo@tom.com。

本书全套配套资料可以从课程网站 <http://i.gettop.net/ibm/> 下载，也可从出版社网站 <http://press.bjtu.edu.cn> 的下载栏目中下载。

石志国

2012 年 5 月

目 录

第 一 部 分

第 1 章 物联网概述	2
1.1 物联网的诞生	2
1.1.1 物联网是人类文明发展的必然	2
1.1.2 物联网是科技发展的聚合性提升	3
1.1.3 物联网是重塑国家竞争力的契机	4
1.1.4 物联网是时代演进的新标记	5
1.2 物联网的发展	6
1.2.1 物联网在中国的发展	7
1.2.2 物联网在国外的发展	7
1.3 物联网的定义	8
1.4 系统组成	9
1.5 关键技术和难点	9
1.6 应用领域	10
本章小结	13
课后习题	13

第 二 部 分

第 2 章 RFID 技术	16
2.1 RFID 技术概述	16
2.2 EPC 技术	16
2.2.1 EPC 编码协议	17
2.2.2 EPC 系统结构	19
2.2.3 EPC 条形码标签	20
2.3 RFID 关键组件	21
2.3.1 应答器部分	21
2.3.2 阅读器部分	23
2.3.3 RFID 天线部分	28
2.3.4 RFID 中间件	33
本章小结	35
课后习题	35
第 3 章 传感器技术	37

3.1	传感器基础知识	37
3.1.1	传感器的概念	37
3.1.2	传感器的作用	38
3.1.3	传感器的组成	38
3.1.4	传感器的分类	39
3.1.5	传感器的基本特性	40
3.2	常用传感器介绍	40
3.2.1	温度传感器	40
3.2.2	湿度传感器	42
3.2.3	超声波传感器	44
3.2.4	气敏传感器	45
3.2.5	智能传感器	47
3.3	微电子机械技术	49
3.3.1	MEMS 概述	49
3.3.2	MEMS 特点	49
3.3.3	MEMS 应用	50
3.3.4	常用的 MEMS 传感器	50
3.4	传感器接口技术	53
3.4.1	传感器接口特点	53
3.4.2	传感器与微处理机接口	54
	本章小结	54
	课后习题	54
第 4 章	无线传感器网络技术	56
4.1	无线传感器网络概述	56
4.1.1	无线传感器网络的发展与地位	57
4.1.2	无线传感器网络的特点	57
4.1.3	无线传感器网络的约束	59
4.1.4	无线传感器网络的典型应用	60
4.1.5	无线传感器网络的组成	61
4.2	无线传感器网络的关键技术	63
4.2.1	自组网技术	63
4.2.2	定位技术	65
4.2.3	时间同步技术	67
4.2.4	安全技术	72
4.3	无线传感器网络的数据融合	74
4.3.1	数据融合的基本概念	74
4.3.2	数据融合层次结构	75
4.3.3	无线传感器网络数据融合的模型	76
4.3.4	数据融合技术的研究方向	78

本章小结	79
课后习题	79
第 5 章 虚拟化技术	81
5.1 虚拟化技术概述	81
5.1.1 虚拟化简介	81
5.1.2 虚拟化的定义	81
5.1.3 虚拟化的常见类型	83
5.2 服务器虚拟化	85
5.2.1 发展历史	85
5.2.2 典型实现技术	86
5.2.3 关键特性	87
5.2.4 虚拟化的核心技术	87
5.2.5 性能分析	92
5.2.6 技术优势	94
5.3 其他重要的虚拟化技术	95
5.3.1 网络虚拟化	95
5.3.2 存储虚拟化	96
5.3.3 桌面虚拟化	97
5.3.4 应用虚拟化	98
5.4 虚拟化的业界典型动态	99
5.4.1 IBM 的虚拟化	99
5.4.2 VMware 的虚拟化	104
5.4.3 Xen/Citrix 的虚拟化	106
5.4.4 Microsoft 的虚拟化	108
本章小结	110
课后习题	111
第 6 章 云计算技术基础	113
6.1 云计算简介	113
6.1.1 云计算的必要性	113
6.1.2 云计算的发展历史	116
6.1.3 云计算的定义	117
6.1.4 云计算的分类	117
6.1.5 云计算的特点	119
6.1.6 云计算与物联网	120
6.2 云计算的优势与带来的变革	120
6.2.1 云计算的优势	121
6.2.2 云计算带来的变革	123
6.3 云计算产生的推动力	125
6.4 云计算原理与实现	126

6.4.1	工作原理	126
6.4.2	体系结构	127
6.4.3	服务层次	127
6.4.4	关键技术	129
6.5	云计算的应用案例	132
6.5.1	测评中心	133
6.5.2	创新中心	133
6.5.3	高性能计算中心	134
6.5.4	SaaS 平台	135
6.5.5	网络数据中心	136
6.5.6	企业数据中心	136
	本章小结	137
	课后习题	137
第 7 章	物联网安全技术	139
7.1	物联网安全性概述	139
7.1.1	物联网设备安全需求	139
7.1.2	物联网的网络安全技术分析	141
7.2	物联网身份识别技术及安全性分析	142
7.2.1	电子 ID 身份识别技术	142
7.2.2	二维条形码技术及安全性分析	143
7.2.3	个人特征的身份证明	144
7.3	物联网密钥管理技术	145
7.3.1	对称密钥的管理	145
7.3.2	非对称密钥的管理	146
7.4	DES 对称加密技术	146
7.4.1	DES 算法的历史	147
7.4.2	DES 算法的安全性	147
7.4.3	DES 算法的原理	147
7.4.4	DES 算法的实现步骤	148
7.4.5	DES 算法的程序实现	152
7.5	RSA 公钥加密技术	157
7.5.1	RSA 算法的原理	157
7.5.2	RSA 算法的安全性	158
7.5.3	RSA 算法的速度	158
7.5.4	RSA 算法的程序实现	158
7.6	物联网中的消息一致性和数字签名	162
7.6.1	消息一致性	162
7.6.2	数字签名	162
7.7	信息隐藏概述	165

7.7.1 信息隐藏的历史	165
7.7.2 信息隐藏的研究内容	166
7.7.3 信息隐藏基本原理	167
本章小结	167
课后习题	168

第 三 部 分

第 8 章 物联网理论基础	170
8.1 物联网的关键科学问题	170
8.2 信息物理系统	170
8.2.1 CPS 概述	170
8.2.2 CPS 发展的科学技术瓶颈分析	171
8.2.3 未来的 CPS	172
8.3 物联网下的控制理论	173
8.3.1 控制论的主要分类	173
8.3.2 自适应控制	173
8.3.3 鲁棒控制	174
8.3.4 非线性控制	175
8.3.5 模糊控制	176
8.3.6 人工神经网络	178
8.4 信息论与物联网	178
8.4.1 信息论的发展史	179
8.4.2 信息论与信息的关系	180
8.4.3 信息的度量	181
8.4.4 联合自信息和条件自信息	181
8.4.5 平均自信息与熵	182
本章小结	183
课后习题	183
第 9 章 面向健康医疗的物联网应用	185
9.1 远程医疗系统	185
9.1.1 发展历史	185
9.1.2 现代远程医疗的优势	186
9.2 老人活动状态检测装置	186
9.2.1 研究现状	187
9.2.2 系统简介	187
9.2.3 系统功能	187
9.2.4 硬件选型	189
9.2.5 系统设计	192
9.2.6 装置实现	195

9.3 基于无线传感器网络的远程医疗监护系统	197
9.3.1 需求分析	197
9.3.2 系统功能概述	199
9.3.3 器件选型	200
9.3.4 系统软硬件实现	201
本章小结	203
课后习题	203
第 10 章 面向智慧城市的物联网应用	205
10.1 智慧城市简介	205
10.1.1 什么是智慧城市	205
10.1.2 物联网与智慧城市	207
10.1.3 智慧城市的架构	207
10.2 智能交通系统	209
10.2.1 智能交通服务框架	209
10.2.2 智能交通与物联网的融合	210
10.2.3 车联网的研究内容	211
10.3 环境治理	214
10.3.1 环境治理的现状与意义	214
10.3.2 环境治理与物联网的融合	215
10.3.3 水域环境的治理实施方案	215
10.4 智能家居	216
10.4.1 智能家居发展状况	217
10.4.2 开发智能家居系统的产业意义	217
10.4.3 智能家居发展特点和方向	218
10.4.4 智能家居的功能	219
10.4.5 智能家居网络特点	219
10.4.6 智能家居的网络结构	220
本章小结	222
课后习题	223
附录 A 部分习题参考答案	225
参考文献	228

第一部分

第 1 章 物联网概述

本章要点

- 物联网的发展历程和定义
 - 物联网的三层体系结构
 - 物联网的硬件和软件组成，关键技术，主要难点
 - 物联网应用实例，介绍其应用领域
-

1.1 物联网的诞生

物联网（Internet of Things, IOT），国内外普遍认为该理念是由麻省理工学院 Ashton 教授 1999 年最早提出来的，其设想是基于互联网、射频识别技术和电子标签，在计算机互联网的基础上，利用射频识别技术、无线数据通信技术等，构造一个实现全球物品信息实时共享的实物互联网。

此设想有两层意思：第一，物联网的核心和基础是互联网，物联网是在互联网基础上的延伸和扩展的网络；第二，其用户端延伸和扩展到了任何物体与物体之间，它们进行信息交换和通信。

物联网的发展有其自身的规律性，具体表现在与人类文明发展、科技发展、信息技术发展和时代发展的密切关系。

1.1.1 物联网是人类文明发展的必然

从大约 150 亿~200 亿年前宇宙诞生以来，大约在 45 亿~50 亿年前诞生了地球，人类只有 240 多万年的历史，而人类文明史只有 6000 年左右。在整个宇宙历史中，人类只不过是大海中的一朵渺小的浪花，不过是沙滩上的一粒细小的沙粒。有文字记载的人类文明史中有几个著名的文明，如玛雅文明、青铜文明、石器文明等。

人类史的大部分时间处于石器时代，时间大约在公元前 240 万年~公元前 4000 年，以使用打制石器为生产工具；随后进入了金属时代，时间大约在公元前 4000 年~公元 1000 年，以使用冶炼器械为生产工具；然后进入水与风时代，时间大约在公元 1000 年~公元 1732 年，风力和水力在这一阶段得到广泛的使用；随着蒸汽机的发明，在公元 1733 年~公元 1878 年人类进入了蒸汽时代；以电灯、电话的发明为代表，在公元 1879 年~公元 1946 年人类进入了电气时代；1946 年 ENIAC 计算机标志着人类进入到电子时代，科学界认为从 1973 年开始人类已进入知识文明信息时代。人类文明可粗略分成农业、工业和知识文明，如图 1-1 所示。

IBM 前首席执行官郭士纳提出一个重要的观点：计算模式每隔 15 年发生一次变革，一经提出，便被认为同摩尔定律一样准确。1965 年前后发生的变革以大型机为标志，1980 年前

后以个人计算机的普及为标志，而 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 年发生的变革则出现在物联网领域，如图 1-2 所示。

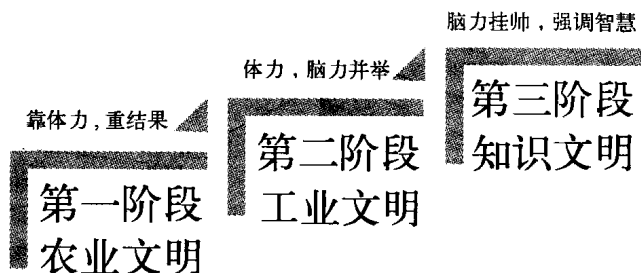


图 1-1 人类文明的划分

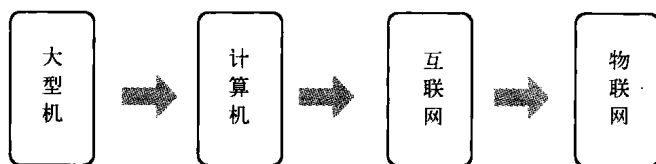


图 1-2 15 年周期定律

在 2000 年到 2010 的 10 年间，互联网技术取得巨大成功。2010 年的经济危机让人们又不得不面临紧迫的选择，物联网技术成为推动下一个经济增长重要推手。

1.1.2 物联网是科技发展的聚合性提升

在过去的几个世纪，学科从诞生到不断细分，在很多方向上都取得了不错的成果。综合学科在各个方向的研究成果，再推陈出新，进而推动历史的发展。

牛顿在埃德蒙·哈雷的鼓励和支持下，于 1687 年 7 月 5 日出版了《自然哲学的数学原理》，阐述了其后两百年间都被视作真理的三大运动定律，开辟了科学发展的新时代。在微观世界，普朗克的量子假说、爱因斯坦的相对论和量子理论，以及波尔的原子理论奠定了量子时代的基础。宏观物理学和微观物理学在此基础上，得到了极大的发展。

迈克尔·法拉第在 1831 年做出了关于电磁感应的关键性突破，改变了人类文明，是现代文明的驱动力，奠定了信息科学的基石。在此基础上，19 世纪末，莫尔斯发明了电报、贝尔发明了电话、爱迪生发明了电灯，彻底改变了人类的生活。20 世纪初，贝塔朗菲提出系统论、香农提出信息论、维纳提出控制论，俗称“老三论”，奠定了信息科学的理论基础。此后又在此基础上诞生“新三论”，分别是：普里戈金的耗散结构论、哈肯的协同论和托姆的突变论，促进了信息学科的发展。

早期信息学科是物理学的一部分，随着学科内容的增加，分支逐步细化，并独立发展。每个分支的发展不足以引起整个信息学科和物理学的变革，当发展到一定阶段以后，需要整合各个方向的成果，从而推进历史的发展。

目前，信息学科研究的对象已经延伸到了物理世界，“信息学”和“物理学”在分开近

200 年以后又重新整合, 这个新整合的学科就是“物联网”。物联网的发展过程如图 1-3 所示。

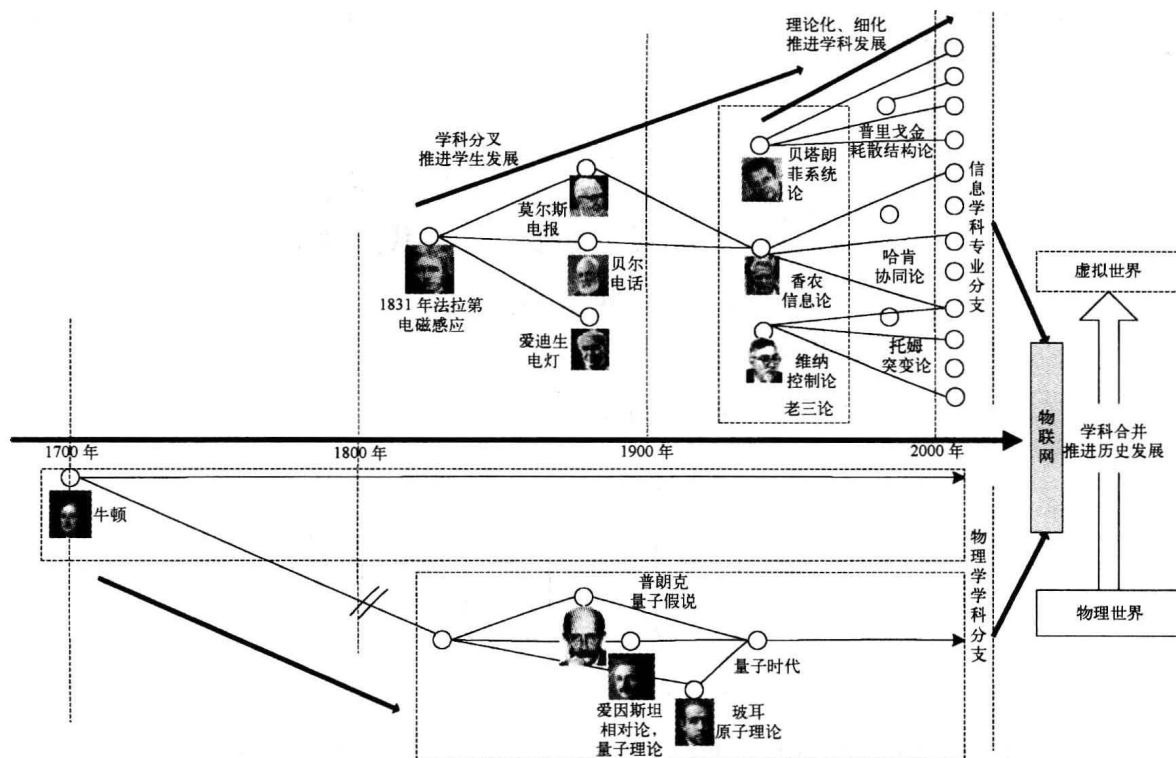


图 1-3 物联网的发展过程

物联网将人类生存的物理世界网络化、信息化, 将分离的物理世界和信息空间有效互连, 它是现代信息技术发展到一定阶段后出现的一种聚合性应用与技术提升, 为科学研究提供了新的机遇和平台。

根据 ScienceDirect 统计, 2011 年影响计算机科学领域前 25 名的论文中, 有一篇关于物联网技术的综述, 它指出物联网将广泛地应用在智能交通、健康护理、智能环境和社会服务等领域, 并正在成为信息相关学科的一个重要研究领域。

1.1.3 物联网是重塑国家竞争力的契机

在过去的近 500 年里, 世界上先后大约发生了四次科技革命, 分别是: 机械化、电气化、自动化和信息化 (见图 1-4)。作为曾经的“东方巨龙”, 我国与四次科技革命失之交臂, 这直接导致了我国的国际地位和竞争力一路下滑。目前世界正处于第五次科技革命的前夜, 这将是我国复兴的一次关键历史性机遇, 值得教育界、科技界和全社会重视思考, 并共同为之努力奋斗。

近 50 年来, 计算机技术、通信与微电子技术的高速发展, 促进了互联网技术、射频标签 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术、全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 与数字地球技术的广泛应用, 以及无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 的快速发展。同时, 互联网应用所产生的巨大经济与社会效益, 加深了人们对信息化作用的认识, 而互联网技术、RFID 技术、GPS 技术与 WSN 技术为实现全球商品货物快速流通的跟踪识别与信息利用打下了坚实的技术基础。

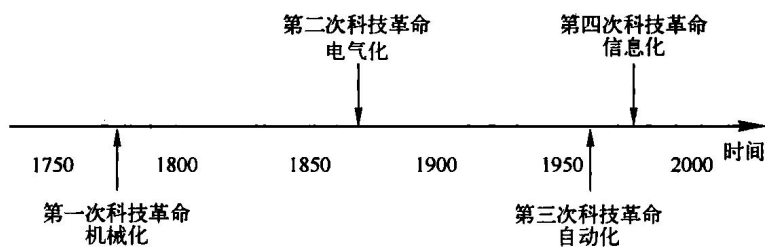


图 1-4 四次科技革命

在大量的技术领域，多数的核心专利都被西方国家控制，“国之利器，不可受制于人”，虽然我国已经在一些关键技术上取得了初步的突破，例如，国产航空发动机、CPU、操作系统、导航系统、大直升机和大运输机，如图 1-5 所示，但取得突破的关键技术在性能参数方面往往落后西方国家，更为严重的是，在大量的科学问题和相关关键技术方面，依然没有走出整体落后的不利局面。2009 年 1 月，时任中国科学院院长的路甬祥院士，在接受《瞭望》新闻周刊专访时中指出：眼下这场全球性金融危机爆发之时，“科学的沉寂”已达 60 余年，一些重要的科学问题和关键核心技术发生革命性突破的先兆已日益显现，世界正处在科技创新突破和科技革命的前夜。



图 1-5 我国自主知识产权的标志性成果

物联网是当前最具发展潜力的产业之一，将有力带动传统产业转型升级，引领战略性新兴产业的发展，实现我国产业化结构战略性调整，并能引发社会生产和经济发展方式的深度变革，具有巨大增长潜能，是后危机时代经济发展和科技创新的战略制高点，已成为各个国家构建社会新模式和重塑国家长期竞争力的先导。

因此，物联网发展具有重要的政治、经济和社会意义。

1.1.4 物联网是时代演进的新标记

任何生物都无法孤立地生活在自然界中，在原生的自然生态系统中，种群内部及群落之间存在着朴素的物联关系。

蚂蚁觅食的过程是一个典型的“生物物联”案例，发现食物的蚂蚁会向环境释放一种信息素，在有效接收范围内的蚂蚁收到信息后会向食物集中，并以几种不同的路径反巢，在途中留下的信息素会为下一个赶往食源的蚂蚁指路，从而交替往返。较短的路径单位时间内通过的蚂蚁数量会大于长路径的蚂蚁通过数量，从而留下更多的信息素，以此使蚁群找到通往食物与巢穴的最短路径。弹性的工作分工使蚁群的空载路程变短以减少工作中的多余时间，从而提高效率。蚁群在与环境交互的过程中，根据多样性与正反馈的行为规则，以信息素的释放为互连途径，以自组织体系为工作框架，高效地实现物物相连，完成工作。

雄狮颈部漂亮的长鬃毛传递着王者的威严，枯叶蝶的外观迷惑着天敌，海豚与蝙蝠利用超声波通信与捕食，蚁后会分泌一种外激素来引诱工蚁为自己给养，棉花在受到虫害后会释放出造成昆虫吞咽和消化困难的化学物质，并会诱导同伴做出防御准备，雄蜘蛛上网求偶时会拨动网丝，雌蜘蛛根据震动来判断是食物还是伴侣，等等。各种生物利用视觉、听觉、触觉、化学物质分泌、电信号等形式以自己的方式与外界保持着紧密的联系。

1. 自然物联的物理过程

自然物联的物理过程实际上是生物之间、生物与环境之间信息的感知，包括信息的采集，信息的传递，信息的识别与处理，信息的利用，信息的存储与反馈。

自然之间的信息表达是纷繁复杂的，人类正在努力读懂不同生物群体信息的真正含义，如孔雀开屏不是为了博取喝彩和赞美，蜜蜂的各种舞蹈也不是随机兴起。也许信息本身并没有意义，重要的是被识别后达到信息发出者的目的，实现生态群落的稳定的平衡状态。

2. 生物界的物联现象

生物界的物联方式是根据自然选择演化而来的，每一种信息传递行为通常有着特殊的功能与进化过程。即便是从分子生物学观察，从自然的选择法则到物种的变异，再到种群的进化，同样是信息传递表达甚至是改变的过程。因此，自然的物联促进了群落的进化。

3. 物联网的物理实质及过程

信息论和控制论中有“熵”的概念。熵是对事物运动状态的不确定程度的度量，当得到足够的信息后所消除的关于事物运动状态的不确定程度。信息的获取就是消除不确定性的过程，所消除或减少的熵称作负熵。

信息量可以表示体系的有序度、组织结构程度、复杂性、特异性或进化发展程度。物联网的物理实质是形成负熵，其物理过程也就是信息的传递过程，是有生命的物和无生命的物与人相互间以信息构建起联系，是信息的感知、信息的采集、信息的传递、信息的识别与处理、信息的利用，以及信息的存储与反馈的过程。

1.2 物联网的发展

1995 年，比尔·盖茨在《未来之路》一书中已经提及物联网的概念。1998 年，美国麻省理工大学的 Sarma、Brock 和 Siu 创造性地提出将信息互联网络技术与 RFID 技术有机地结合，即利用全球统一的物品编码（Electronic Product Code, EPC）作为物品标识，利用 RFID 实现自动化的“物品”与 Internet 的连接，而无需借助特定系统，即可在任何时间、任何地点、实现对任何物品的识别与管理。

1999 年，由美国统一代码委员会和企业共同出资，在美国麻省理工大学成立 Auto-ID Center，在随后的几年中，英国、澳大利亚、日本、瑞士、中国、韩国等国的 6 所著名大学相继加入 Auto-ID Center，对“物联网”相关研究实行分工合作，开展系统化研究，提出了最初的物联网系统构架，标志着物联网的正式诞生。此框架下的主要组件包括：射频标签、识读器、Savant 软件、对象名称解析服务（Object Name Service, ONS）、实体标记语言服务器（Physical Markup Language, PML），其中，Savant 软件是一种分布式网络软件，负责管理和传送产品电子码相关数据的分布式网络软件。

2003 年 11 月 1 日，国际物品编码组织出资正式接管 EPC 系统，并组成 EPC Global 进行全球推广与维护。与此同时，原 6 所大学的 Auto-ID 实验室转到 EPC Global 下的技术组，作