



INTERNET OF EVERYTHING

Core Technology & Security of IoT

万物互联

物联网核心技术与安全

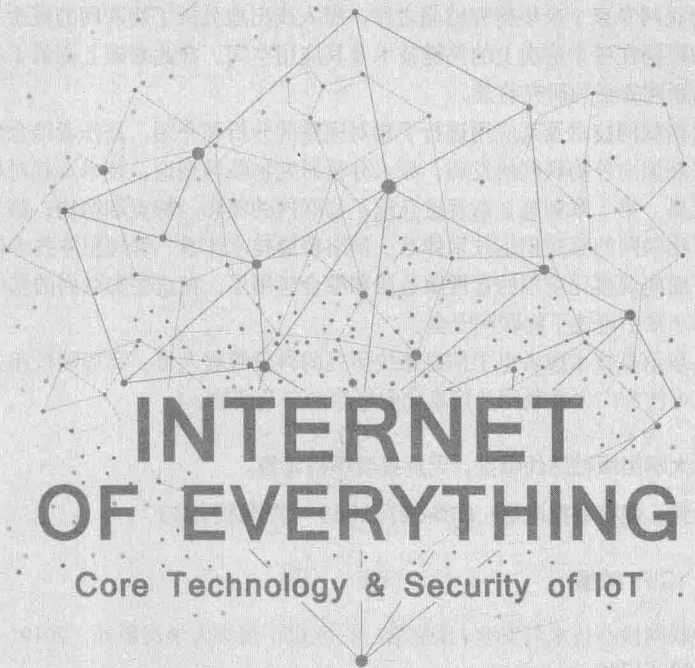
宋航 著

方滨兴院士作序推荐

资深物联网专家撰写，凝聚自己十余年**研究结晶**，
系统且深入阐释物联网相关的核心技术与安全



清华大学出版社



INTERNET OF EVERYTHING

Core Technology & Security of IoT

万物互联

物联网核心技术与安全

宋航 著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是资深物联网专家十余年研究结晶之作,深入浅出地分析了物联网的概念、特点和体系结构,较全面地介绍了物联网在各个层次上的关键技术及其应用空间。在此基础上探索了基于物联网技术的应用,并且展望了物联网安全的研究前景。

本书分7章对物联网技术及其应用进行了相对完整的分析和介绍,是作者结合多年来信息领域理论研究基础,持续跟踪国内外物联网的发展,深入分析研究物联网理论、技术及其对相关领域的深刻影响而形成的探索性成果。第1章和第2章着重介绍了物联网的概念、特点和结构;第3~6章根据物联网的结构分别论述了物联网的感知识别技术体系、网络传输技术体系、管理服务技术体系和综合应用技术体系,重点阐述了面向规模化应用的管理服务层和综合应用层;在这些物联网的整体认识和技术体系结构的基础上,在第7章中论述了物联网安全。

本书可作为从事信息技术或者电子信息系统研究的科研管理人员、高等院校相关专业本科生或研究生的参考书籍,也可作为广大物联网及信息化爱好者的普及读物。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

万物互联:物联网核心技术与安全/宋航著. —北京:清华大学出版社,2019
ISBN 978-7-302-51735-1

I. ①万… II. ①宋… 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(2018)第271357号

责任编辑:秦健 薛阳

封面设计:杨玉兰

责任校对:胡伟民

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:186mm×240mm

印 张:27.5

字 数:590千字

版 次:2019年3月第1版

印 次:2019年3月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:79.00元

产品编号:073987-01



献 给
我的父母

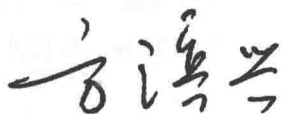
物联网作为 21 世纪的一项新技术，拥有着举足轻重的技术与应用地位。早在 10 年前，物联网技术被确定为国家主推的核心技术，被认为是继互联网技术之后又一个带动万亿产业的牵引性技术，受到了举国推进的礼遇。但是，由于当时其他应用及配套技术等方面尚未跟上物联网技术的发展脚步，使得物联网技术陷于“孤军无援”的尴尬境地，从而未能如愿地扮演好推进万亿产业的灵魂型技术。而之后先后推进的机器人技术、大数据技术、人工智能技术等新技术的光环反过来也遮盖住了物联网技术原本具有的光环。

事实上，物联网技术尽管不至于成为推动万亿产业的灵魂型技术，但却也是变革社会形态的核心技术，尤其是在智慧城市、工业互联网等应用形态中，物联网扮演着不可或缺的角色。

我们知道，就一般性的信息系统模型而言，信息获取、信息传输、信息处理及信息利用是经典的四步功能模型。作为信息系统形态之一的物联网，则对应着感知层、传输层、处理层与控制层四个核心层次。其中，物联网在智慧城市中主要扮演的是信息获取的角色；在车联网中主要扮演的是网络传输的角色；在物流系统中主要扮演着信息汇集查询处理的角色；在工业控制中主要扮演着远程控制的角色。这些案例都是由物联网来扮演着新技术落地的支撑角色。

从安全的角度来说，物联网的安全显然也存在于感知、传输、处理、控制这四个层面。其中，在感知层面重在隐私保护与终端安全；在传输层面重在通信安全与信息保护；在处理层面重在云的安全与数据安全。上述这些原本也主要依赖的是传统的安全技术。但是，在控制层面则属于全新的问题，这是控制体系由封闭转向开放所带来的新的问题，不仅需要判定控制命令的正确与否，也要判定控制命令来源的合理性，这一切也为物联网的安全带来的新的要素提出了新的命题。

本书尝试着对物联网技术及其安全问题进行阐述，仁者见仁，智者见智，希望能给读者以启示。



2019 年 1 月 21 日

人类的进步源于对美好生活的向往和不懈追求。先来看本书中的几个关键词：物联网秩序、5G、LPWAN、NB-IoT、雾计算、可穿戴技术、物联网安全。这些不断推陈出新的概念刻画着物联网的发展和人类的未来。

物联网（Internet of Things, IoT）被称为继计算机、互联网和移动通信网络之后的第三次信息技术革命，其广阔的应用前景受到了世界各国的高度关注。物联网是普遍联系的网络，是基于互联网、电信网等信息网络的载体，可以视为互联网的延伸和升级。物联网技术是蓬勃发展的技术，在信息技术发展和物联网应用的推进中，人类对外在物质世界的感知信息都将被纳入到一个融合了现在和未来的各种网络——物联网之中。毋庸置疑，人和物正在紧密地联系在物联网中。

物联网被称为全球下一个万亿美元级规模的新兴产业之一。据美国咨询机构 FORRESTER 2015 年预测，2016 年全球将会使用 64 亿个物联网（IoT）设备，而在 2020 年，这些种类将极大丰富的设备数量可能达到 500 亿台^①。

2020 年，世界上物与物互联的业务跟人与人通信的业务相比，将达到 30:1，物联网产业的发展潜力不容小觑。EPoSS 观察认为：物联网的发展在经历技术日益成熟，并被广泛应用于物流、零售和制药领域，“物”的整合并互联之后，物体将于 2015—2020 年进入半智能化，对象能进行交互；2020 年之后物体将实现全智能化及对象个性化。

我国物联网市场规模从 2013 年的 4896 亿元到 2015 年的 7500 亿元，根据 IT 和通信业的研究机构贝叶思发布的报告，按照近五年约 30% 的年复合增速来看，2018 年前后物联网市场规模将超过 1.5 万亿元。经过近几年的努力，我国公众网络机器到机器（M2M）连接数已突破 1 亿，占全球总量的 31%，成为全球最大市场。工业与信息化部也在 2017 年编制的新版《电信网编号计划》中增加了物联网网号。电信运营商们正在努力推动 M2M 在物联网上的应用，华为等 ICT 领域的企业正在作为 NB-IoT 的急先锋，用行动丰满着广域低功耗物联网接入的标准。根据工业和信息化部发布的物联网 2016—2020 年发展规划，到 2020 年，将

^① Dave Evans. The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. April 2011; Cisco White Paper(<http://bit.ly/1CJ2sNE>)

基本形成具有国际竞争力的物联网产业体系，包含感知制造、网络传输、智能信息服务在内的总体产业规模将突破 1.5 万亿元，公众网络 M2M 连接数将突破 17 亿，并打造 10 个具有特色的产业集聚区。

物联网的发展和实践是科学技术发展的必然，也是人类不断追求自由和美好生活的远景。进入 21 世纪，物联网运用新一代 IT 技术把物和各种形态的网络相连，形成普遍连接的新型网络，它实现了人类社会与物理系统的深度融合，极大方便了人类的生产和生活。人类未来将能够借助物联网，以更加精细和动态的方式管理生产和生活。可以发现，物联网正在给人们的生活方式带来革命性的变化，同时也正推动着新的生产力形式的变革，将人与自然界中的各种物质紧密连接在一起。

按照信息获取、传输、处理和应用的原理，从物联网技术体系角度来看，物联网普遍被认为是四层结构。本书详细分析了物联网的概念和特点，以及物联网技术的感知识别层、网络传输层、管理服务层和综合应用层的体系结构，介绍了物联网在各个层次上的关键技术及其应用空间。在此基础上，探索了基于物联网技术的应用，展望了物联网安全的研究前景。

书中前两章着重介绍了物联网的概念、特点和结构。中间四章根据物联网的四层结构分别论述了物联网的感知识别层技术体系、网络传输技术体系、管理服务技术体系和综合应用技术体系。物联网各层之间既相对独立又紧密联系，各层之间都有相应的中间件作为上下联系，重点放在应用层介绍。在这些物联网的整体认识和技术体系结构的基础上，于第 7 章论述了物联网安全。

在本书的写作过程中，感谢“大成”同学和“小秦”同学关于科普而不失严谨的写作风格建议。感谢海西物联网研究院，特别是张全升院长在谋篇布局中的建设性意见，感谢中山大学电子与通信工程学院陈曾平院长给予的指点和帮助。

方滨兴院士，周东方、徐昕、李建成、袁乃昌、张春华、侯德亭、王宏义、胡涛教授，吴建飞博士后和杨奋燕硕士、李震硕士、米亚岚硕士、赵喆硕士在本书结构的确定和内容校对等方面给予了帮助；广东省新一代通信与网络创新研究院、湖南时变通讯科技有限公司、武汉芯泰科技有限公司，特别是芯泰科技的夏光董事长，在信息的提供、资料收集等方面提供了支持，作者在此表示诚挚的感谢。还要感谢清华大学出版社的大力支持，特别是秦健编辑的积极协助与高效沟通，使本书能够尽早与读者见面。

本书中大量引用了互联网上世界范围的最新资讯和报刊报道，在此一并向原作者和刊发机构致谢，对于不能一一注明引用来源深表歉意。

由于作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者不吝指正。

第 0 章 究竟什么是物联网..... 1

- 0.1 聪明的咖啡壶 1
- 0.2 植入的标签 2
- 0.3 不停车的 ETC 4
- 0.4 思考 5
- 0.5 安德的游戏 6

第 1 章 物联网的形成与发展..... 8

- 1.1 概念的形成 8
- 1.2 物联网与人类社会 10
- 1.3 物联网现阶段的定义 14
- 1.4 物联网概念的辨析 16
- 小结 20
- 参考文献 21

第 2 章 物联网的时代特征..... 22

- 2.1 物联网的六度连接 22
- 2.2 分层来看物联网 23
- 2.3 物联网的特征 27
- 2.4 物联网的热度分析 28
- 2.5 物联网的伦理与道德 31
 - 2.5.1 谁动了我的数据 32

2.5.2 物联网秩序..... 33

小结 35

第 3 章 物联网的感知识别技术

体系..... 36

3.1 标识技术 36

- 3.1.1 自动识别技术 36
- 3.1.2 RFID 技术 38
- 3.1.3 EPC 及其原理 43
- 3.1.4 EPC 安全分析 48

3.2 传感器与传感器网络 56

- 3.2.1 传感器简介 56
- 3.2.2 常见的传感器 57
- 3.2.3 新颖的传感器 60
- 3.2.4 传感技术与应用 63
- 3.2.5 传感器网络 66
- 3.2.6 无线传感器反应网络 71
- 3.2.7 WSN 安全分析 74

3.3 特征识别技术 75

- 3.3.1 生物特征识别简介 77
- 3.3.2 指纹和手形识别 77
- 3.3.3 面部识别 79

3.3.4 眼球与虹膜识别·····	81	4.3.2 Ad hoc 网络结构·····	147
3.3.5 行为和复合特征识别·····	82	4.3.3 WSN 的接入方式·····	149
3.4 交互技术·····	84	4.3.4 Wi-Fi 与 IEEE 802.11p·····	152
3.4.1 视觉的智能化·····	85	4.3.5 Wi-Fi 的物联网趋势·····	157
3.4.2 听觉的智能化·····	92	4.4 升级中的 IEEE 802.15.4 系列·····	159
3.4.3 触觉的智能化·····	95	4.4.1 IEEE 802.15.4 简介·····	159
3.4.4 嗅觉与味觉的原理与应用·····	99	4.4.2 ZigBee 技术·····	162
3.4.5 VR 与 AR·····	110	4.4.3 蓝牙技术·····	166
3.5 位置感测技术·····	113	4.4.4 Sub-GHz 简介·····	168
3.5.1 GNSS 卫星定位·····	113	4.4.5 其他技术与平台·····	169
3.5.2 蜂窝网络定位与辅助 GPS 定位·····	116	4.5 支持 IPv6 的 6LoWPAN·····	172
3.5.3 节点定位·····	118	4.5.1 6LoWPAN 概述·····	173
3.5.4 室内定位与 Beacon·····	120	4.5.2 6LoWPAN 参考模型·····	175
3.5.5 IMES 与“指纹定位”·····	122	4.5.3 6LoWPAN 架构·····	176
3.5.6 本节小结·····	123	4.6 无线城域网简介·····	178
3.6 感测新技术·····	125	4.7 WBAN 简介·····	181
3.6.1 机器视觉·····	125	4.8 正在崛起的 IPv6·····	183
3.6.2 RGB-D·····	128	4.8.1 IPv4 的“短板”·····	184
3.6.3 SLAM·····	131	4.8.2 物联网的地址困境·····	185
3.7 异常发现技术·····	134	4.8.3 IPv6 协议简述·····	187
小结·····	138	4.8.4 IPv4、IPv6 现有的过渡 技术·····	191
4.8.5 IPv6 在物联网中的出路·····	195		
第 4 章 物联网的网络传输技术 体系·····	139	4.9 M2M 技术·····	199
4.1 物联网的网络层·····	139	4.9.1 M2M 概述·····	200
4.2 接入技术概述·····	141	4.9.2 M2M 的标准化·····	203
4.2.1 有线接入·····	142	4.9.3 3GPP 的 MTC 业务·····	211
4.2.2 无线接入·····	144	4.9.4 M2M 优化与 NB-IoT 部署·····	213
4.3 庞大的 WLAN 标准·····	145	4.9.5 面向 5G 的 M2M·····	229
4.3.1 IEEE 802.11 标准·····	146	4.9.6 M2M 应用趋势·····	235
		4.10 后来居上的 LPWAN·····	237

4.10.1 LPWAN 的优势	238	5.4.1 云计算的主要特点	305
4.10.2 LoRa	240	5.4.2 云计算的类型	306
4.10.3 SigFox	241	5.4.3 云计算在物联网中的结合 模式	307
4.10.4 NB-IoT	242	5.5 雾计算	309
4.10.5 LPWAN 标准全景	247	5.5.1 雾计算的来头	309
4.11 卫星通信与空间物联网	251	5.5.2 “物”的雾计算需求	312
4.11.1 太空互联网	252	5.5.3 雾的进一步探讨	315
4.11.2 Helios 计划	254	5.6 车联网	317
4.11.3 前景展望	255	5.6.1 车联网的起源	317
小结	256	5.6.2 车联网技术	319
参考文献	256	5.6.3 LBS 安全中间件探讨	328
第 5 章 物联网的管理服务技术 体系	257	5.7 数字孪生	329
5.1 物联网中间件和机器人中间件	258	5.7.1 数字孪生概述	329
5.1.1 物联网中间件	259	5.7.2 数字孪生的特点	331
5.1.2 信息采集中间件模型	271	5.7.3 数字孪生的应用	332
5.1.3 应用支撑中间件模型	274	5.7.4 本节小结	335
5.1.4 机器人中间件简介	277	第 6 章 物联网的综合应用技术 体系	337
5.2 物联网网络	279	6.1 医	337
5.2.1 物联网网络的特点	281	6.2 食	341
5.2.2 物联网网络与雾计算	285	6.3 住	345
5.2.3 物联网网络与工业 4.0	287	6.4 行	349
5.2.4 水平和垂直方向的网格	290	6.5 物流	351
5.3 可穿戴计算	292	6.6 能源	354
5.3.1 可穿戴计算的前生今世	292	6.7 城市	362
5.3.2 可穿戴计算的定义	296	6.8 农业	368
5.3.3 可穿戴计算与物联网	298	小结	371
5.3.4 人体传感网络 BSN	303	参考文献	372
5.4 云计算	305		

第7章 物联网安全	374
7.1 物联网安全的基石	377
7.1.1 物联网安全理念.....	377
7.1.2 物联网安全的内涵和外延.....	380
7.1.3 物联网安全的分层模型.....	382
7.2 物联网感知安全	383
7.2.1 感知安全技术.....	384
7.2.2 感知安全策略.....	387
7.3 物联网网络安全	391
7.3.1 网络安全技术.....	391
7.3.2 网络安全策略.....	393
7.4 物联网应用安全	399
7.4.1 物联网云安全技术.....	399
7.4.2 场景安全的策略.....	407
7.5 物联网安全的可持续性	418
小结	420
附录 值得关注的网站	422
后记	424

0.1 聪明的咖啡壶

1991 年，剑桥大学特洛伊计算机实验室的科学家们在工作时，要走下两层楼梯到楼下看咖啡煮好了没有，但常常空手而归，这让工作人员觉得很烦恼。

为了解决这个麻烦，他们在咖啡壶旁边安装了一个便携式摄像机，镜头对准咖啡壶，图像以每秒 3 帧的速率传输到实验室的计算机上，以方便工作人员随时查看咖啡是否煮好，如图 0-1 所示。



图 0-1 咖啡壶和远端监测示意图（图片来源：智享生活）

1993 年，这套简单的本地“咖啡观测”系统又通过实验室网站连接到 Internet。没想到仅仅为了窥探“咖啡煮好了没有”，全世界 Internet 用户蜂拥而至，近 240 万人点击过这个“咖啡壶”网站。此外，还有数以万计的电子邮件涌入剑桥大学旅游办公室，希望能有机会亲眼看看这个神奇的咖啡壶。具有戏剧效果的是，这只被全世界偷窥的咖啡壶因为网络而闻

名，最终也通过网络找到了归宿，咖啡壶在某拍卖网站高额卖出！顺着这个思路，作者特别希望有这么一个物联网幼儿园，每个家长随时可以在手机上看到孩子在园期间的状态，通过孩子的行为提醒老师，我家的宝宝想上厕所了；当然也可以用于敬老院；如果在鞋底嵌入电子标签，就可以防止走失，这就延伸到可穿戴设备。

0.2 植入的标签

在 007 系列电影《大战皇家赌场》中有这么一个情节：M 夫人让人使用貌似冲击钻的大家伙在 007 的手臂中植入了一枚电子芯片，并通过扫描设备将身份信息植入芯片，如图 0-2 所示。

007 对 M 夫人说：“你想监视我？”M 夫人不动声色地说：“是的。”但正是这枚能够进行识别和定位的芯片，在关键时刻发出求救信息并分析中毒因素，使 007 死里逃生。



图 0-2 007 被植入标签用的“钻头”(图片来源：电影《大战皇家赌场》)

这枚电子芯片就是射频标签，只不过在实际生活中，人们无须植入，但须随身携带，例如身份证（2 代），还有公交（地铁）卡、门禁卡、各种支持射频识别的 Pay 工具等。在身份证能够电子化地存入手机时，人们就真的能够只带手机出远门了。

标签不仅能够被“植入”，它正被广泛应用于商品，例如超市货物的条形码、图书的身份与作者的身份、火车票下角的二维码等，如图 0-3 所示。其中，二维码不仅可以表示商品、商场，包括实物或虚拟的，还能标识人，例如图 0-3 中的二维码名片。现在二维码也可以用于打车、购物等支付行为了。当然，标签功能的实现还能够以一整套的设备出现，例如 GPS 定位系统，也就是给装备了定位芯片的物体打了个位置标签（可以用一组经度、纬度、高度组成的字符串表示）。



图 0-3 条形码和二维码

在未来的电子火车票时代,买好火车票后只需将票下载到一个卡片或手机里,避免了到火车站取票的烦恼。当然也可以把个人行程与身份证等 ID 在后台绑定。

如图 0-4 所示是电子文身和“小型胶囊”式皮下射频识别(RFID)芯片。此外,还有可植入耳朵的耳机,以及摩托罗拉公司正在研制的拥有射频识别芯片功能的药片。

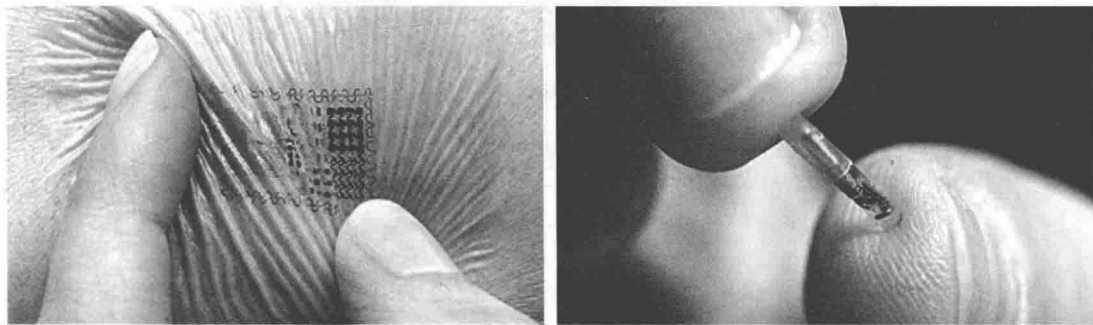


图 0-4 电子文身和皮下 RFID 芯片(来源:科技日报)

电子文身由超薄电极、电子元件、传感器、无线电源和通信系统所组成,可以测量佩戴者的心率、血压、皮肤的温度(紧张度)等数据,有助于专业人员跟踪佩戴者的健康指标(伤口的愈合情况等)。皮下射频识别芯片相应的“小型胶囊”长 12mm,直径为 2mm,采用具

有良好生物适应性的 SCHOTT 8625 玻璃制作而成^①。这种胶囊内置一种通信芯片，能把近距离通信（NFC）和射频识别很好地结合在一起，能使用手机上的近距离通信标准，从而实现解锁、传输名片等作用。与此同时，它也支持 ISO14443A 协议的射频识别数据传输，可以用于刷门禁、启动汽车等。

0.3 不停车的 ETC

高速公路“ETC”（电子不停车收费系统）也许是得到了“不停购物车结算”的启发。例如，在某国际大型零售超市购物结算时，顾客只需推着购物车走过结算的门禁，通过每个商品的标签自动结算，在下一个门禁付款即可，购物车在结算时不用停，避免了排队并提高了购物效率。

ETC 是指车辆在进入收费站时，通过识读车载标签设备从而实现车辆识别、信息写入，在出口处自动从预先绑定的 IC 卡或银行账户上扣除相应资金，是国际上正在不断普及的一种用于道路、大桥和隧道的电子收费系统，以提高通行效率，如图 0-5 所示。

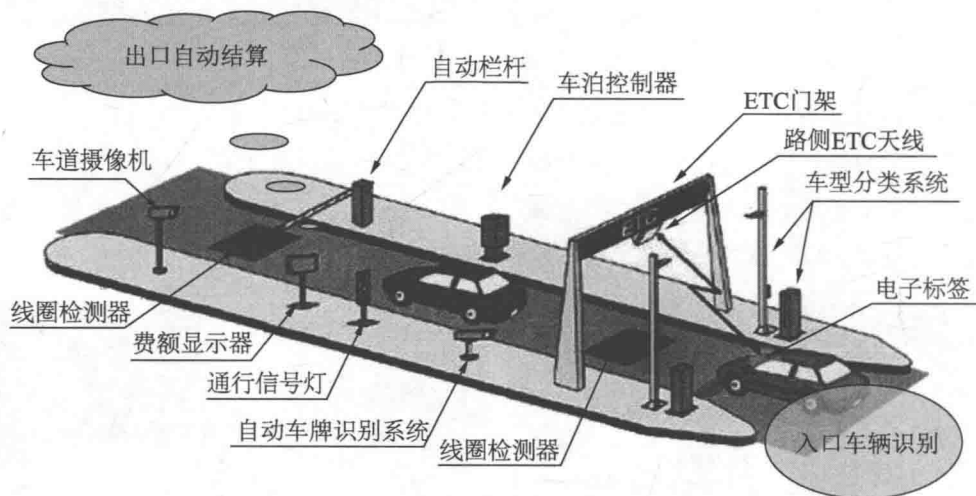


图 0-5 ETC 通行示意图

中国自主知识产权的“双片式 ETC 电子标签”获得了 2014 年度国家科学技术进步奖二等奖。车辆身份管理和公路电子收费用户卡的有机整合，能够实现车辆进入 ETC 通道时，收费站管理系统自动核对车辆信息，这也许将成为车联网的一个入口。

^① 刘霞。忘记可穿戴式技术吧——可植入设备汹涌来袭。科技日报（8 版）：http://news.xinhuanet.com/tech/2014-05/14/c_126495303.htm。

0.4

思考

通过以上的例子，让我们进行递进式分析，详情见表 0-1。

表 0-1 物联网概念的递进式分析

例子	物	网	联系	关键技术	延伸应用
聪明的咖啡壶	咖啡壶	实验室网络、因特网	网络观测咖啡煮好没	视频传感器（温度计等智能传感器）	智能家电、智能家居、机器人
植入的标签	007 被 M 夫人当作“物”	情报机构无所不在的网络	标签通过情报网络告诉总部 007 的危急状况，总部通过网络和定位让附近的人救助	射频识别（RFID）、GPS 定位	灾害搜救、商品管理（沃尔玛）、物流、人员管理
ETC 系统	车辆、收费站（出入口）、银行	收费系统网络、银行网络	车辆身份识别；车在入口被自动识别、在出口计算车程费用；费用通过银行网络自动扣费	微波射频识别	防伪、超市收费、停车场管理、车联网、智能交通
对象扩展	任何物或人	泛在网络	事物之间的普遍联系	庞大的物联网技术体系	万事万物的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理

注：横向注重关键技术的应用延伸，纵向注重列举典型应用场景。

沿着表 0-1 中“物”的一列，把物的对象扩展，通过标签技术、嵌入技术、智能技术等，让物聪明到能够与我们交流。

沿着表 0-1 中“网”的一列，把网络升级，使网络能够成为承载交流信息、翻译人与物甚至不同种类物的语言的工具。

“联系”随之扩展为万事万物的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。简言之，通过物联网技术，让物可以与人类交流：人类问：咖啡煮好没？咖啡壶可以答：好了。

这样就可以揭开物联网神秘的面纱，将其理解为：可以和物沟通交流的技术体系。

通过在各种各样的日常用品上植入芯片或电子标签，装入 GPS 定位系统，或者通过摄像机等传感器感知它们的状态，人类在信息与通信世界里将获得一个新的沟通维度，从任何时间、任何地点的人与人之间的沟通连接，扩展到人与物、物与物之间的沟通连接，如图 0-6 所示。

如此这般，“物联网”时代的图景：当司机出现操作失误时，汽车会自动报警；不想自驾时，无人驾驶汽车可以带我们到达目的地；公文包会提醒主人忘带了什么东西；衣服会“告诉”洗衣机对颜色和水温的要求；空调、电冰箱、电视在与我们的沟通中各司其职；炒菜机器人会按照客人的口味备好家宴；无人机快递能够把商品悄悄地放在我的阳台……

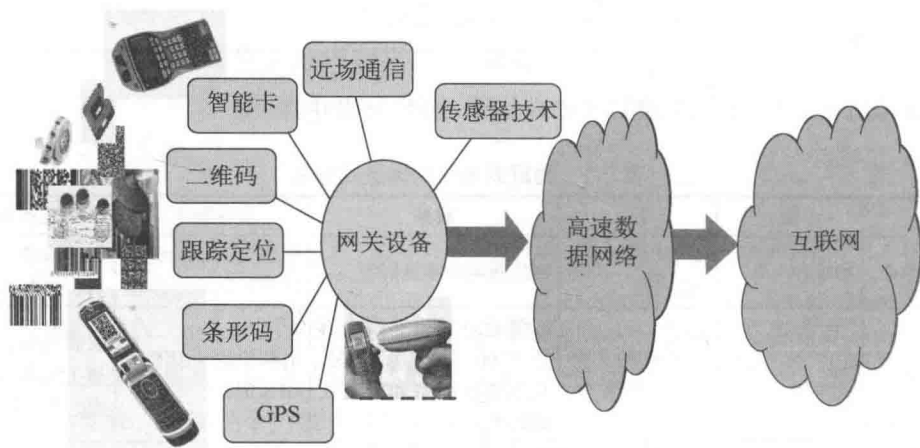


图 0-6 物联网的联网示意图

物联网中的人和物，不论工作，还是生活，井然有序，和睦共处。

0.5 安德的游戏

根据在科幻小说史上极负盛名的同名小说改编而成的电影《安德的游戏》，让人类不禁幻想未来宇宙中不同种族对于资源争夺的战争。

其中，全息投影式般的训练，人机合一般的实战，虚拟现实般的场景，引人入胜、浮想联翩。看起来与 VR^①（虚拟现实，见图 0-7）电子游戏很相似的元素，也许能够引入到宇航员、飞行员的培养中，以降低风险。

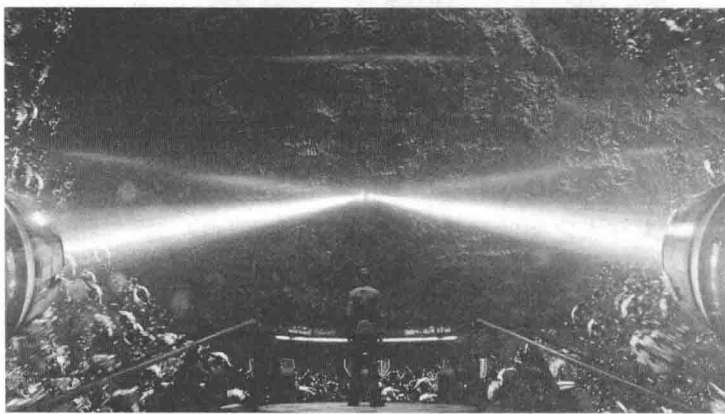


图 0-7 《安德的游戏》中的虚拟现实（图来源：同名电影）

① Virtual Reality，虚拟现实技术，也称作沉浸技术，将在第 3 章中讨论。