

物联网技术丛书

WULIANWANG JISHU CONGSHU

WULIANWANG JISHU

物联网技术

赵庶旭 马宏锋 王 婷 杨志飞 ● 编著



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

物联网技术丛书

物联网技术

赵庶旭 马宏锋 王 婷 杨志飞 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书从物联网系统中的实现技术出发,较为全面、系统地对基本原理和技术方法进行了介绍。全书共分为八章:第1章对物联网基本概念进行了阐述;第2章介绍了物联网的体系概貌;第3~6章针对物联网的三个层次,分别介绍了物联网中的感知识别技术、网络通信技术、数据处理及控制技术;第7章简单说明物联网安全中涉及的各项技术点;第8章介绍了物联网系统的设计、应用实例及发展趋势。

本书内容较为全面、知识点明确、注重基础,可作为高等学校物联网工程、计算机科学与技术专业本科生的必修课教材和教学参考书,也可作为对物联网感兴趣的一般读者了解物联网体系及技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

物联网技术 / 赵庶旭等编著. —成都:西南交通大学出版社, 2012.11
(物联网技术丛书)
ISBN 978-7-5643-2027-0

I. ①物… II. ①赵… III. ①互连网络—应用②智能技术—应用 IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 251690 号

物联网技术丛书

物联网技术

赵庶旭 马宏锋 王婷 杨志飞 编著

责任编辑:李芳芳

特邀编辑:宋保博

封面设计:何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

成都二环路北一段 111 号 邮政编码:610031 发行部电话:028-87600564

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸:185 mm×260 mm 印张:16.875

字数:421 千字

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-2027-0

定价:32.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

前言

物联网,对于多数中国人来说依然是一个较为陌生的概念。物联网基本概念的提出要追溯到1999年。今天,信息领域内将物联网视作具有革命意义的第三次浪潮。其目的是利用通信技术、网络技术、射频技术、数据处理技术等,延伸互联网,形成物与物、人与物间的对接,完成虚拟世界和物理世界的统一。物联网的发展及应用,受到世界各国的普遍关注,其相关技术的发展,符合我国建设自主创新型国家的发展战略。近年来,物联网及相关技术在我国得到了巨大关注,在国家政策、科研、教育、企业等各个层域内都开始投入大量的人力、物力和财力,来争夺这一高新技术的制高点。

可以说,物联网技术是计算技术、网络技术、软件技术和微电子系统制造及集成技术发展成熟的必然产物,涉及智能交通、安全防护、环境监测、精确农业、智能物流等众多领域,与之对应的则是“智慧地球”“感知中国”“智慧城市”等的提出。物联网是信息产业领域未来竞争的制高点之一,是传统产业升级的核心驱动力之一,是加速推进工业化、信息化融合的催化剂,是现代服务业的重要切入点。

本书视野宽阔,知识点全面,对物联网三个技术层次都进行了详细阐述。第1章为物联网发展的概述。第2章从系统的角度对物联网的信息表现形式、体系结构进行了介绍。第3章以射频识别、传感器、定位系统等为主对物联网的感知识别技术进行了阐述。通过感知识别,物联网系统实现对物理世界数据的采集和初步处理。通过互联网、无线网络和移动通信等,物联网实现了信息传递。相关网络传输技术的基本概念、原理和网络形式在第4章中进行了阐述。物联网中信息的来源、种类、形式及规模决定了数据管理和处理数据的多样性和先进性。第5章介绍了物联网各层内数据管理、处理涉及的数据模型技术、数据库技术、数据中心和海量存储、中间件技术、嵌入式技术、数据挖掘与融合技术和云计算技术。自动控制、计算机控制和网络控制使物联网成为能协同作业的有效系统,该部分内容在第6章进行了阐述。第7章简单讨论了物联网的安全技术。第8章结合物联网的行业应用,对物联网的工程设计和实施原则进行讨论,并借助几个典型物联网应用案例说明其应用及发展。

本书可以作为高等学校物联网工程、计算机、通信工程、电子信息工程等相关专业本科生的必修课教材或教学参考书,也可作为一般读者的学习参考书。

感谢葛新宇、康健、王小龙、王军、杨东东等以极其负责的精神为本书在校对及文献查阅方面所做的工作。

本书由赵庶旭、马宏锋、王婷、杨志飞等共同编写,是在多年教学、科研实践的基础上,综合参考国内外众多文献后完成的。限于作者的认知角度和水平,书中不足、不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者
2012年6月

目 录

第 1 章 物联网概述	1
1.1 基本概念	1
1.2 物联网的特点与演进	7
1.3 物联网与下一代网络	10
1.4 物联网发展综述	12
第 2 章 物联网体系架构	18
2.1 物联网中的数字技术	18
2.2 物联网体系与标准	38
2.3 感知控制层	44
2.4 网络层	48
2.5 应用层	50
第 3 章 物联网感知层技术	54
3.1 条形码技术	54
3.2 RFID 技术	61
3.3 传感器技术	71
3.4 传感网	80
3.5 定位技术	87
3.6 IC 卡	97
第 4 章 物联网通信与网络技术	101
4.1 物联网中的通信传输	101
4.2 物联网环境下的常用通信方式	101
4.3 无线个域网	112
4.4 无线局域网	116
4.5 无线城域网	119
4.6 无线广域网	120
4.7 移动通信网络	121
第 5 章 物联网数据处理	136
5.1 物联网数据特征	136
5.2 数据结构	137
5.3 数据库技术	140

5.4	分布式数据库	142
5.5	数据仓库	145
5.6	数据挖掘与融合	145
5.7	数据存储	150
5.8	数据中心	153
5.9	嵌入式技术	162
5.10	中间件技术	173
5.11	云计算	182
第 6 章	物联网控制技术	192
6.1	自动控制技术	192
6.2	计算机控制技术	204
6.3	网络控制	213
第 7 章	物联网安全模型及关键技术	218
7.1	物联网安全层次结构	218
7.2	物联网信息采集安全	219
7.3	物联网信息传输安全	223
7.4	物联网信息处理安全	224
7.5	个体隐私的保护	225
第 8 章	物联网设计及应用	226
8.1	物联网系统设计	226
8.2	智能交通	231
8.3	智能物流	238
8.4	环境监测	248
8.5	物联网应用发展及挑战	250
参考资料		257

第1章 物联网概述

物联网（Internet of Things, IOT）被看作继计算机、互联网之后信息领域的第三次浪潮。随着通信、互联网、射频识别、数据处理等新技术的发展，物联网作为一种能够实现人与人、人与机器、人与物乃至物与物之间直接沟通的全新网络构架正日渐成形。互联网时代，人与人之间的距离变小了；而继互联网之后的物联网时代，则是人与物、物与物之间的距离变小了。互联网改变了人们的世界观，而物联网的出现将再次强烈地改变人们对世界的认识。“智慧地球”“感知中国”“智慧城市”等概念的出现，表明物联网正以其多变的面目，开始改变我们的世界。

1.1 基本概念

1.1.1 物联网的背景

随着物联网概念的提出，从一般性的网站、技术报刊、行业报刊，到机上读物、广告宣传，以及技术论坛、行业评估、股票等，无不在热议物联网。但事实上，物联网并不是最近才出现的新概念。早在比尔·盖茨1995年出版的《未来之路》一书中，已经提及“物联网”概念，只是当时受限于无线网络、硬件及传感设备而并未引起世人的重视。1998年，美国麻省理工学院（MIT）创造性地提出了当时被称为EPC（Electronic Product Code，电子产品编码）系统的物联网的构想。1999年，在美国召开的移动计算和网络国际会议上就提出，“传感网是下一个世纪人类面临的又一个发展机遇”。同年，中科院启动了“传感网”研究，并已建立了一些实用的传感网。1999年，美国麻省理工学院成立Auto-ID研究中心，进行射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）技术研发，在美国统一代码委员会（Uniform Code Council, UCC）的支持下，将RFID与互联网结合，提出了EPC解决方案。即物联网主要建立在物品编码、RFID技术和互联网的基础上，最初定义为“把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来，实现智能化识别和管理”。

2005年11月17日，在突尼斯举行的信息社会世界峰会（WSIS）上，国际电信联盟（International Telecommunications Union, ITU）发布了《ITU互联网报告2005：物联网》，正式提出了物联网的概念，包括所有物品的联网和应用。例如，危险品运输中为了保证物品在运送过程中的安全，可以利用物联网实施对物品状态的全程监控。这是通过分布在危险品周围的温度、湿度、气压、振动等传感器探头和GPS（Global Positioning System，全球定位系统）定位模块等，定期或不定期地采集危险品温度、湿度、气压、振动、位置等信息，然后通过通信网络将信息发送到远程的集中监控处理系统，由该系统进行信息处理，并根据处理

结果实施相应的控制处理。再如，当司机出现操作失误时汽车能够自动报警，公文包能够提醒主人忘了带什么东西，衣服能够告诉洗衣机对水温的要求等，这些都是物联网所能实现的基本功能。

物联网思想可以看成对普适计算 (Ubiquitous Computing) 思想的扩展，其中“Ubiquitous”源自拉丁语，意为存在于任何地方。1991 年，Xerox 实验室的计算机科学家 Mark Weiser 首次提出此概念，描述了任何一个人无论何时何地都可通过合适的终端设备以小而可见的方式获取计算能力的全新信息社会。在此基础上，日本、韩国衍生出了泛在网络 (Ubiquitous Network，也称 U 网络)，欧盟提出了环境感知智能 (Ambient Intelligence)。虽然这些概念与物联网不尽相同，但是其理念都是一致的。2008 年年底 IBM 向美国政府提出的“智慧地球”战略，2009 年 6 月欧盟提出的“物联网行动计划”，以及 2009 年 8 月日本提出的“i-Japan”计划等，都是利用各种信息技术来突破互联网的物理限制，以实现无处不在的物联网络。美国的战略强调传感器及其网络等感知技术的应用，提出建设智慧型基础设施；欧盟的计划具体而务实，强调 RFID 的广泛应用，注重信息安全；日本的计划强调电子政务和社会信息服务等信息化应用。其共同点是：融合各种信息技术，突破互联网的限制，将物体接入信息网络，实现“物联网”在网络泛在的基础上，将信息技术应用到各个领域，从而影响到国民经济和社会生活的方方面面。

我国紧随美欧日之后，对物联网有关的技术研究与设施建设提出了一系列可操作的构想。2009 年 9 月 11 日，“传感器网络标准工作组成立大会及感知中国高峰论坛”在北京举行，其工作组汇聚了中国科学院、中国移动等国内传感网主要的技术研究和应用单位，积极开展传感网标准制订工作，深度参与国际标准化活动，通过标准化为产业发展奠定坚实的技术基础。当前，我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也被采纳。物联网还被列入《国家中长期科学与技术发展规划纲要（2006—2020 年）》和“新一代宽带移动无线通信网”重大专项中的重点研究领域，所有这些都表明了我国对物联网的重视。

ITU 曾预测，未来世界是无所不在的物联网世界，到 2017 年将有 7 万亿传感器为地球上的 70 亿人口提供服务。未来 10 年内物联网在全球有可能大规模普及。目前，美国、欧盟等都在投入巨资，深入研究探索物联网。我国也正在高度关注、重视物联网的研究，工业和信息化部会同有关部门，在新一代信息技术方面正在开展研究，以形成支持新一代信息技术发展的政策措施。

1.1.2 物联网的定义

物联网的概念分为广义和狭义两方面。广义来讲，物联网是一个未来发展的愿景，等同于“未来的互联网”或者“泛在网络”，能够实现人在任何时间、任何地点，使用任何网络与任何人与物的信息交换以及物与物之间的信息交换；狭义来讲，物联网是物品之间通过传感器连接起来的局域网，不论接入互联网与否，都属于物联网的范畴。

物联网的一种定义是：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。显然，物联网的这一概念来自同互联网的

类比。根据物联网与互联网的关系，不同的专家学者对物联网给出了各自的定义，归纳为下面四种类型。

1. 物联网是传感网而不接入互联网

有的专家认为，物联网就是传感网，只是给人们生活环境中的物体安装传感器，这些传感器可以帮助我们更好地认识环境，这个传感器网不接入互联网。例如，上海浦东机场的传感器网络，其本身并不接入互联网，却号称是中国第一个物联网。物联网与互联网是相对独立的两张网。

2. 物联网是互联网的一部分

物联网并不是一张全新的网，实际上早就存在了，它是互联网发展的自然延伸和扩张，是互联网的一部分。互联网是可包容一切的网络，将会有更多的物品加入到这张网中。也就是说，物联网是包含于互联网之内的。

3. 物联网是互联网的补充网络

通常所说的互联网是指人与人之间通过计算机结成的全球性网络，服务于人与人之间的信息交换。而物联网的主体则是各种各样的物品，通过物品间传递信息从而达到最终服务于人的目的，两张网的主体是不同的，因此物联网是互联网的扩展和补充。互联网好比是人类信息交换的动脉，物联网就是毛细血管，两者相互联通，且物联网是互联网的有益补充。

4. 物联网是未来的互联网

从宏观的概念上讲，未来的物联网将使人置身于无所不在的网络之中，在不知不觉中，人可以随时随地与周围的人或物进行信息的交换，这时物联网也就等同于泛在网络，或者说未来的互联网。物联网、泛在网络、未来的互联网，它们的名字虽然不同，但表达的都是同一个愿景，那就是人类可以随时随地使用任何网络联系任何人或物，达到信息自由交换的目的。

总而言之，不论是哪一种定义，物联网都需要对物体具有全面感知能力，对信息具有可靠传送和智能处理能力，从而形成一个连接物体与物体的信息网络。也就是说，全面感知、可靠传送、智能处理是物联网的基本特征。“全面感知”是指利用 RFID、二维码、GPS、摄像头、传感器、传感器网络等感知、捕获、测量的技术手段，随时随地对物体进行信息采集和获取；“可靠传送”是指通过各种通信网络与互联网的融合，将物体接入信息网络，随时随地进行可靠的信息交互和共享；“智能处理”是指利用云计算、模糊识别等各种智能计算技术，对海量的跨地域、跨行业、跨部门的数据和信息进行分析处理，提升对物理世界、经济社会各种活动和变化的洞察力，实现智能化的决策和控制。

1.1.3 物联网概念辨析

物联网是基于互联网和 RFID 技术的网络，是在计算机互联网的基础上，利用 RFID、无线数据通信等技术，实现全球物品的自动识别，达到信息的互联与实时共享。

目前,对于物物互联的网络这一概念的准确定义尚未达成统一的认识,存在着以下几种相关概念:物联网、无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)、网络化物理系统(Cyber Physical Systems, CPS)、射频技术、云计算以及泛在网,等等。物联网相关概念如图 1.1 所示。

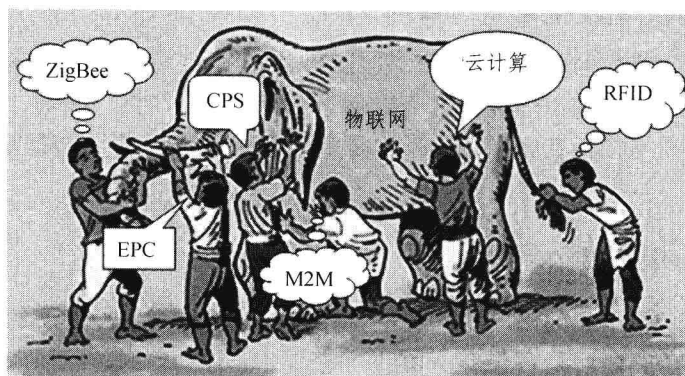


图 1.1 物联网相关概念

1. 物联网

定义 1:把所有物品通过 RFID 和条形码等信息传感设备与互联网连接起来,实现智能化识别和管理。

该定义最早于 1999 年由麻省理工学院 Auto-ID 研究中心提出,实质上等于 RFID 技术和互联网的结合应用。RFID 标签是早期物联网最为关键的技术,利用 RFID 技术,通过计算机互联网实现物品/商品的自动识别和信息的互联与共享。

定义 2:2005 年,ITU 在 The Internet of Things 这一报告中对物联网概念进行扩展,提出任何时刻、任何地点、任意物体之间的互联,无所不在的网络和无所不在的计算等发展愿景,除 RFID 技术外,传感器技术、纳米技术、智能终端等技术将得到更加广泛的应用。

定义 3:由具有标识、虚拟个性的物体/对象所组成的网络,这些标识和个性等信息在智能空间使用智慧的接口与用户、社会和环境进行通信。

该定义出自欧洲智能系统集成技术平台(EPoSS)在 2008 年 5 月 27 日发布的报告 *Internet of Things in 2020*。该报告分析预测了未来物联网的发展,认为 RFID 和相关的识别技术是未来物联网的基石,因此更加侧重于 RFID 的应用及物体的智能化。

定义 4:物联网是未来互联网的一个组成部分,可以被定义为基于标准的和可互操作的通信协议,且具有自配置能力的、动态的全球网络基础架构。物联网中的“物”都具有标识、物理属性和实质上的个性,使用智能接口实现与信息网络的无缝整合。

这个定义来源于欧盟第 7 框架下 RFID 和物联网研究项目组在 2009 年 9 月 15 日发布的研究报告。该项目组的主要研究目的是便于欧洲内部不同 RFID 和物联网项目之间的组网,协调 RFID 的物联网研究活动、专业技术平衡与研究效果最大化,以及项目之间建立协同机制等。

从上述 4 种定义不难看出,物联网的内涵是起源于由 RFID 对客观物体进行标识并利用网络进行数据交换这一概念,并不断扩充、延展、完善而逐步形成的。这种物联网主要由 RFID 标签、读写器、信息处理系统、编码解析与寻址系统、信息服务系统和互联网组成。通过对拥有全球唯一编码的物品的自动识别和信息共享,实现开环环境下对物品的跟踪、溯源、防

伪、定位、监控以及自动化管理等功能。通常在生产和流通（供应链）领域，为了实现对物品的跟踪、防伪等功能，需要给每一个物品一个全球唯一的标识。在这种情形下，RFID 技术是主角，基于 RFID 技术的物联网能够满足这种需求。此外，冷链物流、危险品物流等特殊物流，对仓库、运输工具/容器的温度等有特殊要求，可将传感器技术融入进来，将传感器采集的信息与仓库、车辆、集装箱的 RFID 信息融合（例如，在厢式冷藏货车内安装温度传感器，将温度信息、GPS 信息等通过车载终端采用短信息方式发送到企业监控中心），构建带传感器的基于 RFID 的物联网。目前，基于 RFID 的物联网的典型解决方案是美国的 EPC。

2. 无线传感器网络

定义 5：无线传感器网络是由若干具有无线通信能力的传感器节点自组织构成的网络。

此定义最早由美国军方提出，起源于 1978 年美国国防部高级研究计划局资助卡耐基梅隆大学进行的分布式传感器网络研究项目。在当时缺乏互联网技术、多种接入网络以及智能计算技术的条件下，该定义局限于由节点组成的自组织网络。

定义 6：泛在传感器网络（Ubiquitous Sensor Network, USN）是由智能传感器节点组成的网络，可以以“任何地点、任何时间、任何人、任何物”的形式被部署。该技术具有巨大的潜力，可以用于广泛领域内推动新的应用和服务，从安全保卫、环境监控到推动个人生产力和增强国家竞争力。

此定义出自 2008 年 2 月 ITU-T 的研究报告 *Ubiquitous Sensor Networks*。该报告中提出了泛在传感器网络体系架构，自下而上分为底层传感器网络、接入网络、基础骨干网络、中间件、应用平台等 5 个层次。底层传感器网络由传感器、执行器、RFID 等各种信息设备组成，负责对物理世界的感知与反馈；接入网络实现底层传感器网络与上层基础骨干网络的连接，由网关、sink 节点等组成；基础骨干网络基于互联网、NGN 构建；中间件处理、存储传感数据，并以服务的形式提供对各类传感数据的访问；应用平台实现各类传感器网络应用的技术支撑。

定义 7：传感器网络以对物理世界的数据采集和信息处理为主要任务，以网络为信息传递载体，实现物与物、物与人之间的信息交互，提供信息服务的智能网络信息系统。

该定义出自我国信息技术标准化技术委员会传感器网络标准工作组 2009 年 9 月的工作文件，该文件认为传感器网络具体表现为，“它综合了微型传感器、分布式信号处理、无线通信网络和嵌入式计算等多种先进信息技术，能对物理世界进行信息采集、传输和处理，并将处理结果以服务的形式发布给用户”。

定义 8：传感网是以感知为目的，实现人与人、人与物、物与物全面互联的网络。其突出特征是通过传感器等方式获取物理世界的各种信息，结合互联网、移动通信网等进行信息的传送与交互，采用智能计算技术对信息进行分析处理，从而提升对物质世界的感知能力，实现智能化的决策和控制。

此定义出自我国工业和信息化部、江苏省联合向国务院上报的《关于支持无锡建设国家传感网创新示范区（国家传感信息中心）情况的报告》。此外，“传感网”这一名词最早出自业界专家对于无线传感器网络的简称，即定义 5 的中文简称。随着物物互联相关概念的受关注度不断提升，传感器网络逐渐演进为定义 8 所描述的内容。

比较传感器网络的 4 种定义，可以发现传感器网络的内涵起源于“由传感器组成通信网

络，对所采集到的客观物体信息进行交换”这一概念。定义 6 提出了相对完整的体系架构，并且描述了各个层次在体系架构中的位置及功能。定义 7、8 尽管与定义 6 文字描述不同，但其内涵基本一致，并未对定义 6 进行实质性的突破与完善。定义 6、7、8 都是将定义 5 所定义的“网络”作为底层的、对客观物质世界进行信息获取与交互的技术手段之一，并对其进行了更为精确的文字描述。

显然，以传感器、通信网络和信息处理系统为主构成的传感网，具有实时数据采集、监督控制和信息共享与存储管理等功能，它使目前的网络技术的功能得到极大拓展，使通过网络实时监控各种环境、设施及内部运行机理等成为可能。也就是说，原来与网络相距甚远的家电、交通管理、农业生产、建筑物安全、旱涝预警等都能够得到有效的网络监测，有的甚至能够通过网络进行远程控制。目前，无线传感网络仍旧处于在闭环环境下应用的阶段，比如，用无线传感器监控金门大桥在强风环境下的摆幅。而基于传感技术的物联网主要采用嵌入式技术（嵌入式 Web 传感器），给每个传感器赋予一个 IP 地址，应用于远程防盗、基础设施监控与管理、环境监测等领域。

3. 泛在网络

定义 9：泛在网络指无所不在的网络。

最早提出 U 战略的日本和韩国给出的定义是：无所不在的网络社会将是由智能网络、最先进的计算技术以及其他领先的数字技术基础设施武装而成的技术社会形态。根据这样的构想，U 网络将以“无所不在”“无所不包”“无所不能”为基本特征，帮助人类实现“4A”化通信，即在任何时间(Anytime)、任何地点(Anywhere)，任何人(Anyone)、任何物(Anything)都能顺畅地通信。

4. 各概念之间的关系

目前，对于支持人与物、物与物广泛互联，实现人与客观世界的全面信息交互的全新网络的命名，一直存在着物联网、传感网、泛在网这三个概念之争。这三个概念之间的关系如图 1.2 所示。

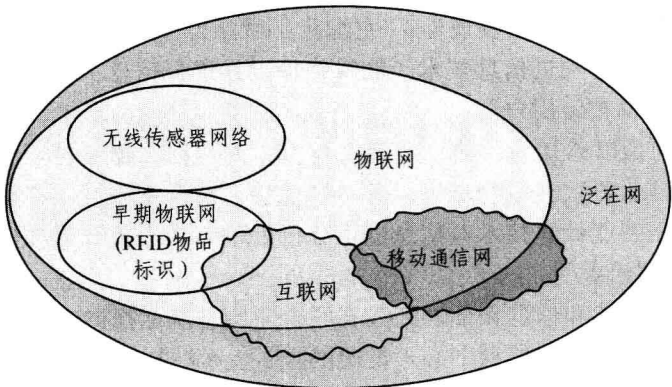


图 1.2 各概念之间的关系

如果将传感器的概念进行扩展，认为 RFID、二维条形码等信息的读取设备和音视频录

入设备等数据采集设备都是一种特殊的传感器，则范围扩展后的传感器网络即简称为与物联网概念并列的“传感网”。从 ITU-T、ISO/IEC JTC1 SC6 等国际标准组织对传感器网络、物联网定义和标准化范围来看，传感器网络和物联网其实是一个概念的两种不同表述，其实质都是依托于各种信息设备实现物理世界和信息世界的无缝融合。可见无论从哪个角度看，都可以认为目前为人们所熟知的“物联网”和“传感网”都是以传感器、RFID 等客观世界标识和感知技术为基础，借助无线传感器网络、互联网、移动网等实现人与物理世界的信息交互。泛在网是面向泛在应用的各种异构网络的集合，也被称为“网络的网络”，更强调跨网之间的互联互通和信息聚合与应用。另外，泛在化、智能化是物联网的两大特征。所谓泛在化，是指传感器网络部署和移动通信网络覆盖的泛在化以及各类物联网业务与应用的泛在化。各种信息的协同处理以及基于数据挖掘、专家系统、商业智能的决策支持是智能化的集中体现。

1.2 物联网的特点与演进

随着互联网的不断发展，互联网的泛在化成为其新的发展趋势。RFID 技术为互联网的泛在化提供了必要条件，反过来互联网将促成 RFID 技术应用发展的又一次飞跃。如同互联网可以把世界上不同角落的人紧密地联系在一起一样，采用 RFID 技术的 Internet 可以把世界上所有物品联系在一起，而且彼此之间可以互相“交流”，从而组成一个全球性实物相互联系的“物联网”。如果说 RFID 为物品提供了自我表达的能力，物品之间交流则需要一个网络即物联网来实现。从某种意义上可以说，物联网的实质是利用 RFID 技术，通过计算机互联网实现物品（商品）的自动识别和信息的互联与共享。除 RFID 外，红外感应、实时定位、激光扫描等技术也同样用于将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、追踪、监控和管理等功能。

1.2.1 物联网与互联网的区别

物联网是射频识别技术与互联网结合而产生的新型网络，主要解决物品到物品（Thing to Thing, T2T），人到物品（Human to Thing, H2T），人到人（Human to Human, H2H）之间的互联。其中，H2T 是指人利用通用装置与物品之间的联系，H2H 是指人之间不依赖于个人电脑而进行的互联。物联网具有与互联网类同的资源寻址需求，以确保其中联网物品的相关信息能够被高效、准确和安全地寻址、定位和查询，其用户端是对互联网的延伸和扩展，即任何物品和物品之间可以通过物联网进行信息交换和通信。因此，物联网又在以下几个方面有别于互联网。

1. 不同应用领域的专用性

互联网的主要目的是构建一个全球性的信息通信计算机网络，通过 TCP/IP 技术互联全球所有的数据传输网络，在较短时间实现了全球信息互联互通，但是也带来了互联网上难以克服的安全性、移动性和服务质量等一系列问题。而物联网则主要从应用角度出发，利用互联

网、无线通信网络资源进行业务信息的传送，是互联网、移动通信网络应用的延伸，也是自动化控制、遥控遥测及信息应用技术的综合展现。不同应用领域的物联网均具有各自不同的属性。例如，汽车电子领域的物联网不同于医疗卫生领域的物联网，医疗卫生领域的物联网不同于环境监测领域的物联网，环境监测领域的物联网不同于仓储物流领域的物联网，仓储物流领域的物联网不同于楼宇监控领域的物联网，等等。由于不同应用领域具有完全不同的网络应用需求和服务质量要求，物联网节点大部分都是资源受限的节点，只有通过专用联网技术才能满足物联网的应用需求。物联网的应用特殊性以及其他特征，使得它无法再复制互联网成功的技术模式。

2. 高度的稳定性和可靠性

物联网是与许多关键领域物理设备相关的网络，必须至少保证该网络是稳定的。例如，在仓储物流应用领域，物联网必须是稳定的，不能像现在的互联网一样，时常出现网络不通，时常发生电子邮件丢失等，仓储的物联网必须稳定地检测进库和出库的物品，不能有任何差错。有些物联网需要高可靠性，例如医疗卫生的物联网，必须要求具有很高的可靠性，保证不会因为由于物联网的误操作而威胁病人的生命。

3. 严密的安全性和可控性

物联网的绝大多数应用都涉及个人隐私或机构内部秘密，因而物联网必须提供严密的安全性和可控性。物联网系统具有保护个人隐私、防御网络攻击的能力，物联网的个人用户或机构用户可以严密控制物联网中信息采集、传递和查询操作，不会由于个人隐私或机构秘密的泄露而造成对个人或机构的伤害。

尽管物联网与互联网有很大的区别，但是从信息化发展的角度看，物联网的发展与互联网的发展密不可分，而且和移动通信网络、下一代网络以及网络化物理系统、无线传感网络等的发展都有千丝万缕的联系。

1.2.2 物联网在信息化发展中的位置

从烽火台到电报电话，再到互联网和移动互联网，人们对信息的渴求成为推动信息化发展的原动力，而一次又一次技术的飞跃正帮助人们不断获取新的知识和信息。现代信息通信的发展历程如图 1.3 所示。从电报开始，人们逐步探究更便捷、更大容量的信息传递方式，人与人通信的未知领域不断缩小，目前已经发展到了“移动互联网”的阶段。

在人们不断探索人与人之间的现代通信技术的同时，为了更好地服务于信息的传递，最初一部分物体被打上条形码，这大大提高了物品的识别效率。随着近场通信（Near Field Communication）技术（如 RFID、蓝牙、ZigBee 等）的发展，RFID、二维码等各种现代识别技术逐步得到推广应用，在摩尔定律的推动下，芯片的体积不断缩小，功能更加强大，物品自身的网络与人的网络相互联通已成为大势所趋。在未来网络的发展中，从人的角度和从物的角度对信息通信的探索将实现融合，最终实现无所不在的“泛在网络”，如图 1.4 所示。而这就是终极意义上的物联网。

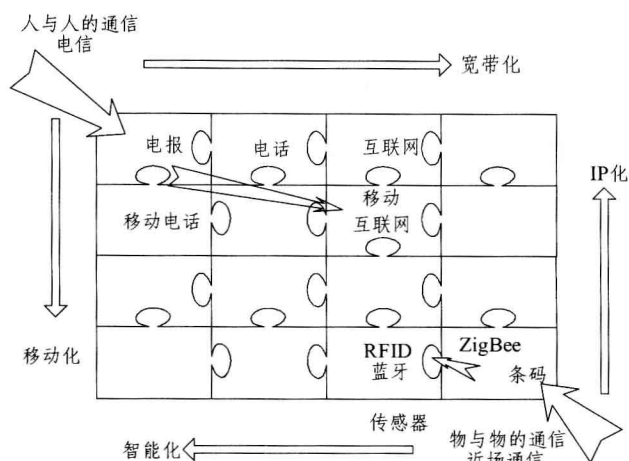


图 1.3 现代信息通信

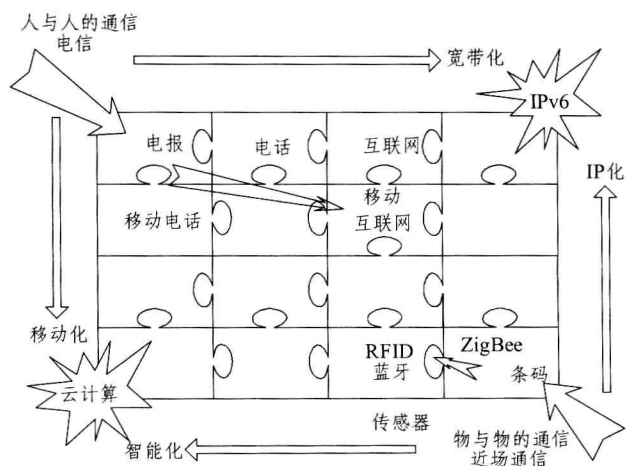


图 1.4 未来泛在网络示意图

1.2.3 物联网的演进路径

物联网的演进路径分为电信网主导和传感网主导两种模式,发展的初期由传感网络主导,但是当传感网技术成熟后,将以电信网为主导,实现信息的可控可管、安全高效。在图 1.4 中,把人类信息通信网分成实现人与人通信的电信网,以及实现物与物通信的近场通信网或者传感网,两者的发展并行推进,但是电信网比传感网成熟更早。经过上百年、无数人的研究发明和推广应用,电信网已经建立了一整套科学的、可控可管的信息通信网络体系,安全、高效地服务于人类的信息通信。

电信网的发展主要有两大方向:一个是移动化,人们为了追求信息通信的自由,逐步用移动电话替代固定电话,实现位置上的自由通信;另一个方向是宽带化,通信从电路交换转变为以分组交换为主,从电报电话到互联网,逐步实现宽带化的通信,实现传输容量上的自由通信。

传感网的发展也有两大趋势。一个是智能化，物品要更加智能，能够自主地实现信息交换，才能真正实现物联网。而这需要对海量数据的处理能力，随着“云计算”技术的不断发展成熟，这一难题将得到解决。另一个趋势是 IP 化，未来的物联网将给所有的物品都设定一个标识，实现“IP 到末梢”，这样人们才能随时随地了解物品的信息。“可以给每一粒沙子都设定一个 IP 地址”的 IPv6 担负着这项重担，将在全球得到推广。

电信网主导模式就是由传统的电信运营商主导，推动物联网的发展；传感网主导模式是以传感网产业为主导，逐步实现与电信网络的融合。在当前状况下，由于传感器的研发瓶颈制约了物联网的发展，应当大力加强传感网络的发展。但是从战略角度看，针对未来会出现的信息安全和信息隐私的保护问题，应当选择电信网主导的模式，而且通信产业具有强大的技术基础、产业基础和人力资源基础，能实现海量信息的计算分析，保证网络信息的可控可管，最终保证在信息安全和人们的隐私权不被侵犯的前提下实现泛在网络的通信。

另一方面，物联网是连接物品的网络，有些学者在讨论物联网时常常提到 M2M 的概念，可以解释为人到人（Man to Man）、人到机器（Man to Machine）、机器到机器（Machine to Machine）。实际上，M2M 的所有解释在现有的互联网中都可以实现，人到人之间的交互可以通过互联网进行，有时也通过其他装置间接地实现，如第三代移动电话，可以实现十分完美的人到人的交互。人到机器的交互一直是人体工程学和人机界面领域研究的主要课题，而机器与机器之间的交互已经由互联网提供了最为成功的方案。从本质上说，人与机器、机器与机器的交互，大部分是为了实现人与人之间的信息交互。万维网（World Wide Web）技术成功的动因在于：通过搜索和链接，提供人与人之间异步进行信息交互的快捷方式。这里强调的物联网指基于 RFID 的物联网，传感网指基于传感器的物联网。而对于物联网、传感网、广电网、互联网、电信网等网络相互融合形成的网络，称为泛在网，即“无处不在、无所不包、无所不能”网络。因此，通常在物联网研究中不宜采用 M2M 概念，容易造成思路混乱，应该采用国际电信联盟（ITU）定义的 T2T、H2T 和 H2H 等概念。

1.3 物联网与下一代网络

按照 ITU 物联网研究组的研究结论，物联网的核心技术主要是普适网络、下一代网络和普适计算。这三项核心技术的简单定义如下：普适网络是无处不在的、普遍存在的网络；下一代网络，可以在任何时间、任何地点互联任何物品，提供多种形式信息访问和信息管理的网络；普适计算是无处不在的、普遍存在的计算。其中下一代网络中“互联任何物品”的定义是 ITU 物联网研究组对下一代网络定义的扩展，这是对下一代网络发展趋势的高度概括。现在已经成为现实的多种装置的互联网络，如手机互联、移动装置互联、汽车互联、传感器互联等，都揭示了下一代网络在“互联任何物品”方面的发展趋势。

从以上定义可以看出，从某种角度看，下一代网络就是可以连接任何物品的物联网。按照传统的定义，下一代网络是在任何时间、任何地点，以任何方式提供信息访问和管理的服 务，侧重于为人提供服务，可以称为信息网络；而从互联角度看，这种传统的下一代网定义还是局限在传统互联网的范畴，仅仅强调人与人之间的信息交互。

1.3.1 物联网与 CPS

按照 ITU 的定义,把物联网研究和开发纳入下一代网络的范畴,而不是把下一代网络仅作为引入 IP 核心网、移动性和个性化服务的网络。人与人之间的信息交互是具有百年发展历史的电信网主要业务范畴,引入了物联网理念的下一代网络,从根本上扩展了电信网的业务范畴,可以真正推动电信业务和电信网络的全面变革,可以为电信网(包括固定电信网和移动电信网)创造新的发展机遇。随着处理器、存储器、网络带宽等成本的下降,嵌入式系统广泛应用于许多领域,特别是广泛应用于各类物理设备中,如飞机、汽车、家电、工业装置、医疗器械、监控装置和日用物品。国际上把利用计算技术监测和控制物理设备行为的嵌入式系统称为网络化物理系统(Cyber Physical Systems, CPS)或者深度嵌入式系统(Deeply Embedded Systems, DES)。CPS 也可以翻译为“物理设备联网系统”。美国总统的科学技术咨询委员会(PCAST)在 2007 年 8 月发布的题为“挑战下的领导地位:在世界竞争中的信息技术研发”的咨询报告中,明确建议把 CPS 作为美国联邦政府研究投入最高优先级的课题,由此启动了美国高校和研究机构的 CPS 研发热潮。

PCAST 咨询报告认为,CPS 的设计、构造、测试和维护难度较大、成本较高,通常涉及无数联网软件、硬件和多个子系统环境下的精细化集成。在监测和控制复杂的、快速动作的物理系统(如医疗设备、武器系统、制造过程、配电设施)运行时,CPS 在严格的计算能力、内存、功耗、速度、重量和成本的约束下,能够可靠和实时地操作。且在承受外部攻击和打击的情况下能够继续正常工作。

CPS 这种融合信息世界和物理世界的技术具备以下特征:

(1) CPS 是未来经济和社会发展的革命性技术。

CPS 是信息领域的网络化技术、信息化技术,与物理系统中控制技术、自动化技术的融合。CPS 可以连接原来完全分割的虚拟世界和现实世界,使得现实的物理世界与虚拟的网络世界连接,通过虚拟世界的信息交互,优化物理世界的物体传递、操作和控制,构成一个高效、智能、环保的物理世界。从这个角度看,CPS 技术是可以改变未来经济和社会发展的革命性技术。

(2) 信息材料本身就是一种 CPS 技术。

材料技术与信息技术融合构成的信息材料技术本身就是一种 CPS 技术,它是最为基础的网络化世界与物理世界连接的技术。例如,小型化、低成本、环保节能的新型材料传感器、显示器等技术,都是 CPS 发展中的关键技术。

(3) CPS 要求计算技术与控制技术的融合。

为了把网络世界与物理世界连接,CPS 必须把已有的、处理离散事件的、不关心时间和空间参数的计算技术,与现有的、处理连续过程的、注重时间和空间参数的控制技术融合起来,使得网络世界可以采集物理世界与时间和空间相关的信息,进行物理装置的操作和控制。

(4) CPS 要求开放的嵌入式系统。

CPS 系统中的计算技术主要是嵌入式系统。CPS 中的嵌入式计算系统不是传统的封闭性系统,而是需要通过网络,与其他信息系统进行互联和互操作的系统。CPS 要求的嵌入式系统是一种开放的嵌入式系统,需要提供标准的网络访问接口和交互协议、标准的计算平台和服务调用接口、标准的计算环境和管理界面。