

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网组成原理

胡四泉 王新平 王志良 王宏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网组成原理

胡四泉 王新平 王志良 王 宏 编著



机械工业出版社

本书是一本讲述物联网组成原理的教材。本书从物联网的起源和概念入手,详细介绍了物联网关键技术——识别技术、传感器技术和网络技术;重点论述了RFID技术、WSN技术和M2M技术;全面阐述了云计算、大数据和物联网安全的关系。

本书可作为物联网工程及相关专业教材使用,也可供需要掌握物联网基础知识的其他专业高年级本科生和研究生使用,还可作为希望了解物联网知识的企业管理者、科研人员、高等院校教师等读者朋友的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

物联网组成原理/胡四泉等编著. —北京:机械工业出版社, 2015.8
国家级特色专业(物联网工程)规划教材
ISBN 978-7-111-51231-8

I. ①物… II. ①胡… 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. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第191393号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:刘星宁 责任编辑:刘星宁 王欢
版式设计:赵颖喆 责任校对:刘雅娜
封面设计:陈沛 责任印制:乔宇
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
2015年10月第1版第1次印刷
184mm×260mm·12.25印张·300千字
0001—2500册
标准书号:ISBN 978-7-111-51231-8
定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

最初,对于物联网,很多人持怀疑和否定的态度,甚至用“云山‘物’罩”来形容,而与物联网相关的云计算也不能幸免。随着物联网概念的普及和相应示范工程的展示,人们的态度随之发生了转变。目前,物联网已经深入生产和生活的各个方面,发展非常迅速,已经可以用“腾云驾‘物’”来形容物联网了。从“云山‘物’罩”到“腾云驾‘物’”,人们已经对物联网有了深刻和正确的了解。这也体现了物联网的发展及人们对物联网的认识过程。

物联网是科学与技术发展到一定阶段的必然结果,各种更低功耗、更高性能的智能传感器为物联网提供了感知保障,更快、更稳定的移动通信技术为数据的可靠、快速传递搭建了畅通的道路,云计算和大数据技术为物联网的推广和普及奠定了坚实的技术基础。

全书共分6章:第1章讲述了物联网的定义、层次架构、标准;第2章从电子产品代码(Electronic Product Code, EPC)、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)、近场通信(Near Field Communication, NFC)和定位技术入手,介绍了物联网中重要的识别技术;第3章从传感器入手,讲述了包括 ZigBee 等网络标准和无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)技术;第4章讲述了移动通信技术和物联网中重要的机器对机器(Machine to Machine, M2M)技术;第5章阐述了云计算与大数据技术;第6章讲述了物联网安全技术。

从总体上来看,本书具有如下特点:

(1) 结构完整

本书从物联网的起源和定义开始,讲解了物联网的基本概念,从底层到顶层分别讲述了感知识别技术、网络传输技术及云计算和物联网安全。

(2) 重点突出

本书着重介绍了 RFID 技术、WSN 技术和 M2M 技术。

本书由胡四泉和王新平主编,胡四泉确定了本书的总体编写内容并指导文字写作,王新平负责全书的统稿和组织工作。王志良参与了第1章的编写工作;胡四泉参与了第2章和第3章的编写工作;王新平、王宏参与了第4~6章的编写工作。

本教材已列入北京科技大学校级“十二五”规划教材,教材的编写得到了北京科技大学教材建设基金的资助。

本书引用了互联网上的当前资讯和相关领域的当前报道等,在此一并向原作者和刊发机构致谢。由于时间仓促等原因对引用未能一一注明,在此也深表歉意。

物联网正处在蓬勃发展的繁荣时期,因为时间和篇幅有限,可能有些内容本书未能全面介绍。同时,由于作者的认识领悟能力有限,书中难免存在缺点与疏漏,敬请各位专家及广大读者批评指正。

胡四泉
北京科技大学
2015年8月

目 录

前言

第 1 章 物联网概述	1
1.1 物联网的起源和发展	1
1.1.1 物联网的起源	3
1.1.2 物联网的三大推动力	5
1.1.3 对国家“战略性新兴产业”政策的解析	12
1.2 物联网的框架结构	14
1.2.1 物联网的三个层次	14
1.2.2 物联网的八层架构	15
1.3 两个技术范畴	17
1.3.1 智能网络空间技术	17
1.3.2 物联网终端技术	20
1.4 物联网的标准体系	29
1.5 物联网的应用领域	32
本章小结	35
习题与思考题	35
第 2 章 识别与定位技术	36
2.1 EPC 编码	36
2.1.1 EPC 编码协议	36
2.1.2 EPC 系统结构	37
2.1.3 EPC 条形码标签	38
2.1.4 EPC、条形码、RFID 标签的区别	39
2.2 RFID 系统	40
2.2.1 应答器原理	40
2.2.2 阅读器部分	42
2.2.3 RFID 天线部分	47
2.2.4 RFID 中间件	48
2.3 NFC 技术	49
2.3.1 NFC 工作原理	49
2.3.2 NFC 工作模式	50
2.3.3 NFC 技术与其他通信技术对比	50
2.3.4 NFC 的应用前景	51
2.4 定位技术	51
2.4.1 卫星定位技术	52

2.4.2 基于网络的定位技术	52
2.4.3 感知定位技术	53
本章小结	53
习题与思考题	53
第 3 章 传感器与无线传感器网络技术	55
3.1 传感器基础知识	55
3.1.1 传感器的概念	55
3.1.2 传感器的组成	56
3.1.3 传感器的分类	56
3.1.4 几种常用传感器介绍	58
3.1.5 传感器的基本特性	61
3.1.6 传感器的作用	62
3.2 智能传感器	63
3.2.1 智能传感器的基本概念	63
3.2.2 智能传感器的组成	63
3.2.3 智能传感器的功能与特点	64
3.2.4 智能传感器的应用	65
3.2.5 智能传感器的发展趋势	65
3.3 MEMS 技术	66
3.3.1 MEMS 概述	66
3.3.2 MEMS 特点	67
3.3.3 常用的 MEMS 传感器	67
3.3.4 MEMS 应用	70
3.4 传感器接口技术	71
3.4.1 传感器接口特点	71
3.4.2 常用传感器接口电路	71
3.4.3 传感器与微型计算机接口的 一般结构	73
3.4.4 接口电路应用实例	74
3.5 无线传感器网络概述	75
3.5.1 无线传感器网络介绍	76
3.5.2 传感器网络体系结构	81
3.5.3 传感器网络的发展	83
3.6 无线传感器网络的技术体系	84
3.6.1 自组网技术	84
3.6.2 节点定位技术	85

3.6.3 时间同步技术	86	本章小结	145
3.7 无线传感器网络的通信协议	87	习题与思考题	145
3.7.1 无线传感器网络的路由协议	87	第5章 云计算与大数据	147
3.7.2 无线传感器网络的 MAC 协议	89	5.1 云计算	147
3.8 无线传感器网络的技术标准	91	5.1.1 云计算的起源	147
3.8.1 IEEE 802.15.4 标准	91	5.1.2 云计算的基本概念	149
3.8.2 ZigBee 协议规范	93	5.1.3 云计算的特点	150
本章小结	96	5.1.4 云计算与相关技术的关系	152
习题与思考题	96	5.1.5 云计算与物联网	154
第4章 移动通信与 M2M 技术	97	5.2 云计算实现技术	155
4.1 网络	97	5.2.1 云计算的工作原理	155
4.1.1 互联网	97	5.2.2 云计算的体系结构	156
4.1.2 移动互联网	99	5.2.3 云计算的服务层次	157
4.2 移动通信技术	106	5.2.4 云计算的关键技术	158
4.2.1 移动通信技术的发展	106	5.2.5 云计算的派生技术	162
4.2.2 第三代移动通信技术	107	5.3 大数据	164
4.2.3 第四代移动通信技术	112	5.3.1 大数据的起源	164
4.2.4 常见接入技术	115	5.3.2 大数据的定义与特征	165
4.3 M2M 概述	124	5.3.3 大数据的存储技术	166
4.3.1 M2M 起源及现状	124	5.3.4 大数据的分析工具	167
4.3.2 M2M 标准化工作	125	5.3.5 大数据的应用领域	169
4.4 M2M 的体系结构、协议、内容	127	5.3.6 大数据的难点和热点问题	170
4.4.1 M2M 系统架构	127	本章小结	170
4.4.2 M2M 关键技术	128	习题与思考题	170
4.4.3 M2M 应用模式	129	第6章 物联网安全技术	171
4.4.4 WMMP 介绍	129	6.1 物联网安全体系及特点	171
4.5 M2M 模块	132	6.2 物联网的安全威胁	172
4.5.1 几种 M2M 模块介绍	132	6.3 物联网身份识别技术	175
4.5.2 AT 命令	133	6.4 物联网的安全需求分析	177
4.6 M2M 应用	137	6.5 物联网安全措施	178
4.6.1 M2M 的业务模型	137	6.5.1 感知层安全措施	178
4.6.2 医疗保健	138	6.5.2 传输层安全措施	181
4.6.3 电力系统	142	6.5.3 应用层安全措施	182
4.7 M2M 前景和挑战	143	本章小结	182
4.7.1 M2M 市场的前景预测	143	习题与思考题	182
4.7.2 M2M 的发展思路与对策	144	附录 缩略语	183
		参考文献	187

第 1 章 物联网概述

物联网渗透到了生产、生活的各个方面。物联网的发展是随着互联网、传感器等发展而发展的。其理念是在计算机互联网的基础上，利用射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）技术、无线数据通信等技术，构造一个实现全球物品信息实时共享的实物互联网。

1.1 物联网的起源和发展

作为新兴事物的物联网其实并不年轻，在近十年的发展历程中，不同的国家、不同的机构组织，都在关注着物联网。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，其广泛应用将在未来 5 ~ 15 年为解决现代社会问题做出极大贡献。2009 年以来，美国、欧盟、日本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”规划中也将物联网作为战略性新兴产业予以重点关注和推进。但整体而言，无论国内还是国外，物联网的研究和开发都还处于起步阶段。

有关资料表明，国内外普遍认为物联网是由美国麻省理工学院 Ashton 教授于 1999 年最早提出来的，其理念是基于射频识别、电子物品代码（Electronic Product Code, 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，如图 1-1 所示。此设想有两层意思：第一，物联网的核心和基础是互联网，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，并进行信息交换和通信。

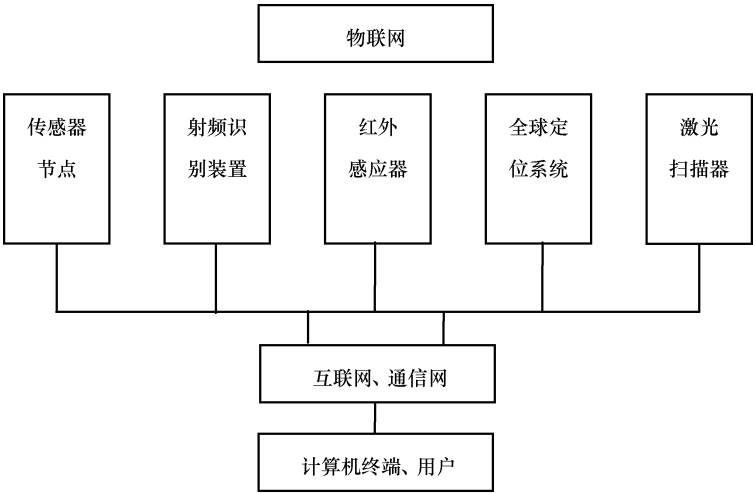


图 1-1 物联网定义

2010 年时任国务院总理温家宝在第十一届全国人民代表大会第三次会议上所做政府工作报告中对物联网做了这样的定义：物联网是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。

除了上面的定义之外,还有一些在具体环境下为物联网做出的定义:

欧盟定义。物联网是将现有的互联的计算机网络扩展到互联的物品网络。

国际电信联盟(International Telecommunications Union, ITU)的定义。物联网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。这里与传统互联网不同的是, H2T 是指人利用通用装置与物品之间的互联, H2H 是指人与人之间不依赖个人计算机而进行的互联。需要利用物联网才能解决的是传统意义上的互联网没有考虑的对于任何物品连接的问题。物联网是连接物品的网络,有些学者在讨论物联网时,常提到 M2M 的概念,可以解释成为人到人(Man to Man)、人到机器(Man to Machine)、机器到机器(Machine to Machine)。本质上,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。

ITU 物联网研究组。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是,普适网络,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,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,是对下一代网络发展趋势的高度概括。从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。

目前,国内外对物联网还没有一个统一、公认的标准定义,但从物联网的本质分析,物联网是现代信息技术发展到一定阶段后,才出现的一种聚合性应用与技术提升,它是将各种感知技术、现代网络技术和人工智能与自动化技术聚合与集成应用,使人与物智慧对话,创造一个智慧的世界。因此,物联网技术的发展几乎涉及了信息技术的方方面面,是一种聚合性、系统性的创新应用与发展,因此被称为是信息产业的第三次革命性创新。其本质主要体现在三个方面:一是互联网特征,即对需要联网的物一定要能够实现互联互通的互联网络;二是识别与通信特征,即纳入物联网的“物”一定要具备自动识别、物物通信的功能;三是智能化特征,即网络系统应具有自动化、自我反馈与智能控制的特点。

总体上物联网可以概括为,通过传感器、射频识别技术、全球定位系统等技术,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,通过各种可能的网络接入,实现物与物、物与人的泛在连接,从而实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理。

因此,把物联网初步定义为是通过 RFID、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,把任何物体与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现对该物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。要特别注意的是,物联网中的“物”,不是普通意义的万事万物,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(如 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。

通过以上分析，发现物联网的核心是物与物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

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获取
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

1.1.1 物联网的起源

回顾历史，不知是巧合还是有意，在大的危机之后，总会有新的行业诞生，引领和支撑经济的复苏、发展，从而带动社会进入新的经济上升周期。20 世纪末，一系列新兴市场遭受金融危机的冲击后，促进了互联网这一新兴行业。而在这次人类历史上数一数二的金融危机余波未了时，在人们热切关注新能源行业发展时，又出现一个新名词和新概念——物联网。物联网逐渐成了人们眼中的“救世主”，尽管仍有一些学术界或者是技术精英对这种说法莫衷一是。但不可否认的是，包括美国在内的一些国家正在试图借助“物联网”走出经济的泥潭。信息产业的每一次跨越都不是技术上的偶然发明，而是国家发展战略结出的硕果。

2009 年 1 月，时任中国科学院院长路甬祥在接受《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。当前国际金融危机对世界经济社会政治格局的影响继续显现，国际、国内环境的重大变化对我国经济社会发展已经产生了深刻影响。当前，由美国次贷危机引发的这场百年不遇的国际金融危机的影响正在全球继续扩散蔓延，尚未见底，有可能持续较长时间，世界经济将经历一个较长的低迷、调整和变革期，全球经济增长快速下滑，能源资源、粮食价格大幅波动，失业率普遍上升，对我国经济的影响不容低估。”

世界正处在科技创新突破和科技革命的前夜。这一重要结论，主要基于以下分析：

(1) 历史经验表明，全球性经济危机往往催生重大科技创新突破和科技革命。根据经济长波理论，每一次的经济低谷必定会催生出某些新的技术，而这种技术一定是可以为绝大多数工业产业提供一种全新的使用价值，从而带动新一轮的消费增长和高额的产业投资，以触动新经济周期的形成。1857 年的世界经济危机引发了以电气革命为标志的第二次技术革命，1929 年的世界经济危机引发了战后以电子、航空航天和核能等技术突破为标志的第三次技术革命。依靠科技创新创造新的经济增长点、新的就业岗位和新的经济社会发展模式，是摆脱危机，创新经济增长的根本出路。过去的十几年间，互联网技术取得了巨大成功。目前的经济危机让人们又不得不面临紧迫的选择，物联网技术可能成为推动下一个经济增长的

特别重要推手。

(2) 前瞻全球现代化发展的未来图景,包括中国、印度在内的近 30 亿人口追求小康生活和实现现代化的宏伟历史进程与自然资源供给能力和生态环境承载能力的矛盾日益凸显和尖锐,按照传统的大量耗费不可再生自然资源和破坏生态环境的经济增长方式、沿袭少数国家以攫取世界资源为手段的发展模式难以为继。人类生存发展的新需求强烈呼唤科技创新突破和科技革命。

(3) 从当今世界科技发展的态势看,奠定现代科技基础的重大科学发现基本发生在 20 世纪上半叶,“科学的沉寂”已达 60 余年,而技术革命的周期也日渐缩短。同时,科学技术知识体系积累的内在矛盾凸显,在物质能量的调控与转换、量子信息调控与传输、生命基因的遗传变异进化与人工合成、脑与认知、地球系统的演化等科学领域,在能源、资源、信息、先进材料、现代农业、人口健康等关系现代化进程的战略领域中,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显现。

在此之前,中科院计算所所长李国杰院士在 2008 诺贝尔奖获得者北京论坛举行的中科院信息与创新战略研讨会上,对 21 世纪上半叶信息科学技术发展趋势作总体判断时表示:信息科技正在进入全民普及阶段,信息技术惠及大众将成为未来几十年的主旋律;21 世纪上半叶,将兴起一场新的信息科学革命,其结果可能导致 21 世纪下半叶新的技术革命。李国杰表示:“目前的信息科学只相当于 1905 年以前的理论物理研究,信息科学还处在伽利略时代。20 世纪下半叶信息技术发展迅猛,但信息技术的基础理论大部分是 20 世纪 60 年代以前完成的,近 40 年信息科学没有取得重大突破。”同样,编写计算机程序的大量日常工作可能会导致产生新的科学。如同望远镜促进天文学、显微镜促进医学发展一样,数字计算机的发明,特别是近 20 年微处理器和网络技术的突飞猛进,使大规模并行计算和网格计算成为可能,将导致一场科学的革命,21 世纪将产生以并行计算为基础的新科学。

也有其他专家在谈及物联网时说道:从 2007 年开始,我们都在应对全球金融危机,美国 and 欧盟在应对危机方面重点推出物联网。在 2008、2009 年比较清晰地提出物联网发展规划和发展行动的一些具体措施,也是基于应对金融危机要应对新的产业。每一次金融危机,我们要去应对它,要去挽救一些企业,要促进一些产业能够更健康地发展,但是我们最终还是要选择一些新的产业,要有新的产业取代或者改变传统产业。就像 1998 年当时亚洲金融危机一样,是因为有互联网和新经济的出现,才使当时的经济危机能够更快地度过。这一次我们也在寻找新的产业和新的发展机会,或者新的技术。世界各国都一样。摆在我们面前的确实是值得我们把握的机会,物联网会引发一个很大的产业机会,这也是物联网大的背景决定的。

物联网的发展,从一开始就是和信息技术、计算机技术,特别是网络技术密切相关。“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,一经美国国际商业机器(International Business Machines, IBM)公司前首席执行官郭士纳提出,便被认为同美国英特尔(Intel)公司创始人之一的戈登·摩尔提出来的摩尔定律一样准确,并且都同样经过历史的检验。摩尔定律的内容为,集成电路上可容纳的晶体管数目,约每隔 18 个月便会增加一倍,性能也将提升一倍。纵观历史,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

出现在物联网领域，如图 1-2 所示。



图 1-2 15 年周期定律

从 1999 年概念的提出到 2010 年的崛起，物联网经历了十余年的历程，特别是最近几年的发展极其迅速，不再停留在单纯的概念、设想阶段，而是逐渐成为国家战略、政策扶植的对象。表 1-2 列出了物联网发展历程中的关键点。

表 1-2 物联网发展历程中的关键点

2005 年	ITU 发布了《ITU 互联网报告 2005：物联网》，引用了“物联网”的概念，并且指出无所不在的“物联网”通信时代即将来临。然而，报告对物联网缺乏一个清晰的定义，但覆盖范围有了较大的拓展
2009 年初	美国 IBM 公司提出了“智慧的地球”概念，认为，信息产业下一阶段的任务是把新一代信息技术充分运用在各行各业之中，具体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，并且被普遍连接，形成物联网
2009 年 6 月	欧盟委员会向欧盟议会、理事会、欧洲经济和社会委员会及地区委员会递交了《欧盟物联网行动计划》，其目的是希望欧洲通过构建新型物联网管理框架来引领世界“物联网”发展
2009 年 8 月	日本提出“智慧泛在”构想，将传感网列为国家重要战略，致力于一个个性化的物联网智能服务体系
2009 年 8 月	时任国务院总理温家宝来到中科院无锡研发中心考察，指出关于物联网可以尽快去做三件事情：一是把传感系统和 3G 中的 TD 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
2009 年 10 月	韩国通信委员会通过《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网确定为新增长动力，树立了“通过构建世界最先进的物联网基础设施，打造未来广播通信融合领域超一流信息强国”的目标
2010 年 3 月	时任国务院总理温家宝在《2010 年国务院政府工作报告》中，将“加快物联网的研发应用”明确纳入重点产业振兴，表明物联网已经被提升为国家战略，中国开启物联网元年

1.1.2 物联网的三大推动力

1. 第一大推动力：政府

(1) 国际社会

1998 年 1 月 31 日时任美国副总统戈尔在加利福尼亚科学中心，做了题为《数字地球：展望 21 世纪我们这颗行星》的长篇演讲。在这篇演讲中，他首次提到并系统阐述了“数字地球”这个新概念，其构想如图 1-3 所示。这个概念提出的前提是，技术创新的新浪潮使我们能够大量地获得、存储、处理和显示关于我们行星的各种环境和文化现象信息。如此大量的信息构成了“地理坐标系”，它涉及地球表面每一个特定的地方。有了这个数字化的“地理坐标系”信息源，人类就可以淘汰现在的人机对话方式，即利用 Macintosh 和 Windows 操作系统提供的桌面图形方式，从而跨入“数字地球”的多种分辨率、三维的表述方式，使

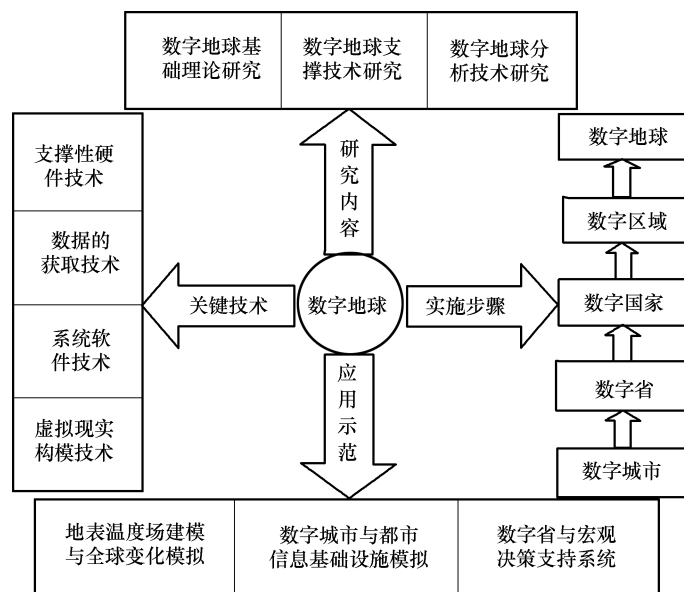


图 1-3 数字地球构想

人类能嵌入巨大数量的地理坐标系数据。

戈尔认为高科技的发展使人类拥有了前所未有的捕捉收集处理和展示信息的手段，但大量的数据并没有得到充分处理，更没有得到充分的使用。例如，一颗地球卫星每两周即可发回地球的完整照片，这种卫星已经运行了 20 年，所收集的信息可谓浩如烟海，但只是储存在数据库里，与绝大多数人的日常生活无关。

要利用这么巨大的信息量为人类服务，必须开发新的信息展示技术，人脑处理信息的“技术”具有速率低而分辨率高的特点，一般人难以在短时间内记住 7 组以上的数据，但是由几十亿个信息单元组成的图像，如一处风景，一张明星的脸，人们却可以过目不忘，乃至一见钟情。由此，戈尔提出：“我们需要一个‘数字地球’，这是一个高分辨率三维空间的数据星球，与地球有关的庞大数据可以存储在里面”。人们借助头戴显示器、特制的数据手套等高分辨率展示工具，就可以在全球自由遨游，不受时间和空间的限制，可以谈笑间“飞”到万里之外或千年之前，寻访南极的一座冰峰或会晤埃及的某位法老。

在美国，奥巴马就职后提出了“智慧地球”的概念。其雏形是美国 IBM 公司对 21 世纪后社会变化、科技发展、市场实践和全球面临的重大问题进行总结和分析后得出的结论。其核心是以一种更智慧的方法，利用新一代信息通信技术来改变政府、公司和人们相互交互的方式，以便提高交互的明确性、效率、灵活性和响应速度。通俗地讲，它是把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中，即把感应器嵌入和装备到全球每个角落的电网、铁路、桥梁、隧道、公路等各种物体中，并且被普遍连接，形成所谓“物联网”；而后通过超级计算机和“云计算”将“物联网”整合起来；在此基础上，人类可以用更加精细和动态的方式管理生产和生活，达到“智慧”状态，极大地提高资源利用率和生产力水平，应对经济危机、能源危机、环境恶化，从而打造一个“智慧地球”。作为新一轮 IT 技术革命，“智慧地球”上升为美国的国家战略，被认为是挽救危机、振兴经济、确立竞争优势的关键战略。奥巴马期

望利用“智慧地球”来刺激经济复苏，把美国经济带出低谷。同样被他们认为是挽救危机、振兴经济、确立竞争优势的关键战略。

在欧洲，2009年6月18日，欧盟委员会向欧盟议会、理事会、欧洲经济和社会委员会及地区委员会递交了《欧盟物联网行动计划》，其目的为希望欧洲通过构建新型物联网管理框架来引领世界“物联网”发展。作为“物联网”应用的重要部分，M2M业务已受到运营商的广泛关注。一些优秀的国外运营商已开始就其长远发展，确立了明确的战略方向，如法国电信集团专注医疗、加拿大 Decoma 公司关注 M2M 协议。欧洲的运营商们也加强了 M2M 市场的部署。法国 Orange 公司看好车队管理市场；挪威 Telenor 公司与设备商合作，推出完整解决方案；德国 T-Mobile 公司与设备商合作开发解决方案；英国沃达丰推出 M2M 全球服务平台。

国外及欧美国家对于“物联网”非常重视。据资料显示，美国的奥巴马政府对更新美国信息高速公路提出了更具高新技术含量的信息化新的方案；欧盟发布了下一代全欧移动宽带长期演进与超越及信息通信技术（Information Communication Technology, ICT）研发与创新战略；而在日本政府紧急出台了数字日本创新项目 ICT 鸠山计划行动大纲；同时，澳大利亚、新加坡、法国、德国等其他发达国家也加快部署了下一代网络基础设施的步伐。全球信息化正在引发当今世界的深刻变革，世界政治、经济、社会、文化和军事发展的新格局正在受到信息化的深刻影响。在不久的将来，也许在未来的3~5年之内，更具智能性的信息基础设施逐步与传统的基础设施融合，更加智能化的网络也将会逐步得到普及。

从国际上看，欧盟各国、美国、日本等国都十分重视物联网的工作，并且已进行了大量研究开发和应用工作。例如，美国把它当成重振经济的法宝，所以非常重视物联网和互联网的发展。它的核心是利用 ICT 来改变美国未来产业发展模式和结构（金融、制造、消费和服务等），改变政府、企业和人们的交互方式以提高效率、灵活性和响应速度；把 ICT 技术充分用到各行各业，把感应器嵌入到全球每个角落，如电网、交通（铁路、公路、市内交通）等相关的物体上；并利用网络和设备收集的大量数据通过云计算、数据仓库和人工智能技术来分析给出解决方案；把人类智慧赋予万物，赋予地球。“智慧地球、物联网和云计算”就是美国要作为新一轮 IT 技术革命的领头羊的证明。据欧盟专家讲，欧盟发展物联网先于美国，围绕物联网技术和应用做了不少创新性工作。2009年11月在北京全球物联网会议上，发布的《欧盟物联网行动计划》（Internet of things: An action plan for Europe），其目的也是企图在“物联网”的发展上引领世界。在欧盟，各大运营商和设备制造商积极地推动了 M2M 的技术和服务的发展。

（2）我国

2009年8月7日，时任国务院总理温家宝在考察时提出了“感知中国”战略；2009年11月3日温家宝总理在《让科技引领中国可持续发展》讲话中有这样的描述：

“信息网络产业是世界经济复苏的重要驱动力。全球互联网正在向下一代升级，传感网和物联网方兴未艾。（智慧地球）简单说来就是物联网与互联网的结合，就是传感网在基础设施和服务领域的广泛应用。我在无锡考察时参观了中国科学院微系统所无锡传感网工程中心，很高兴看到一批年轻人正在从事传感网的研究。我相信他们一定能够创造出（感知中国），在传感世界中拥有中国人自己的一席之地。我们要着力突破传感网、物联网的关键技术，及早部署后 IP 时代相关技术研发，使信息网络产业成为推动产业升级、迈向信息社会

的‘发动机’。”

2010年3月5日温家宝总理在十一届全国人大三次会议上做政府工作报告时指出：

“转变经济发展方式刻不容缓。要大力推动经济进入创新驱动、内生增长的发展轨道。”“大力培育战略性新兴产业。国际金融危机正在催生新的科技革命和产业革命。发展战略性新兴产业，抢占经济科技制高点，决定国家的未来，必须抓住机遇，明确重点，有所作为。要大力发展新能源、新材料、节能环保、生物医药、信息网络和高端制造产业。积极推进新能源汽车、“三网”融合取得实质性进展，加快物联网的研发应用。加大对战略性新兴产业的投入和政策支持。”

2010年3月5日，时任工信部部长李毅中信心十足地指出：“（我们国家的）物联网有一定的基础，在国际水平线上，我们并不落后。”全国人大代表、中国工程院院士、中星微电子有限公司董事长邓中翰在接受采访时说：“物联网将是未来经济的新增长点，中星微电子有限公司将会在物联网领域加大投入，进一步把网络技术、IP技术、IT技术，推动到第一、二、三产业中，并且借助物联网的商机，创造出更多新型的企业，以及新型技术和财富。”

2010年3月6日，时任全国人大常委会委员长吴邦国参加了十一届全国人大三次会议和全国政协十一届三次湖北代表团审议时，他强调：“要找准国际产业发展新方向，扬长避短，把培育物联网、智能电网、低碳技术、生物技术、新材料等新兴产业作为国家发展战略，加大科技投入，加强自主创新，攻克技术难题，掌握关键技术，加快产业化进程，切实增强经济的整体素质、发展后劲和抵御风险能力，确保我国在新一轮国际竞争中掌握主动权。”

2010年3月8日，全国人大代表、浙江省电信有限公司总经理张新建表示，我国应将物联网建设上升为国家战略，并要掌握国际话语权。对于我国的物联网建设，张新建认为，国家在“十二五”规划中要体现物联网发展的目标和思路。在建设上，国家应加大政策支持力度，政府可建立“物联网基金”提供专项资金及税收等方面的优惠政策。

《国家中长期科学与技术发展规划（2006—2020年）》和“新一代宽带移动无线通信网”重大专项中均将传感网列入重点研究领域。

物联网是战略性新兴产业的重要组成部分，对加快转变经济发展方式具有重要推动作用。为加快物联网发展，培育和壮大新一代信息技术产业，依据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，2011年11月工业和信息化部制定和发布了《物联网“十二五”发展规划》。规划中分析了物联网发展的现状及形势，确定了发展物联网的指导思想、发展原则和发展目标。规划中提出了大力攻克核心技术、加快构建标准体系、协调推进产业发展、着力培育骨干企业、积极开展应用示范、合理规划区域布局、加强信息安全保障和提升公共服务能力共八项主要任务，规划了关键技术创新工程、标准化推进工程、“十区百企”产业发展工程、重点领域应用示范工程和公共服务平台建设工程五项重点工程。规划的最后提出了物联网发展的保障措施。

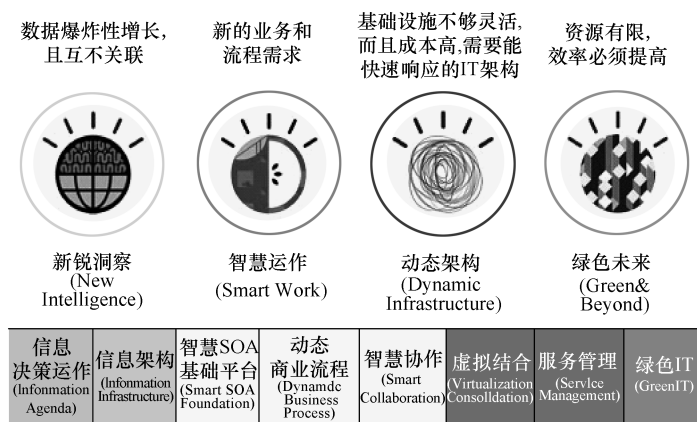
为推进我国物联网有序健康发展，2013年2月国务院发布了《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》。它指出物联网是新一代信息技术的高度集成和综合运用，具有渗透性强、带动作用大、综合效益好的特点，推进物联网的应用和发展，有利于促进生产生活和社会管理方式向智能化、精细化、网络化方向转变，对于提高国民经济和社会生活信息

化水平,提升社会管理和公共服务水平,带动相关学科发展和技术创新能力增强,推动产业结构调整和发展方式转变具有重要意义。我国已将物联网作为战略性新兴产业的一项重要组成内容。目前,在全球范围内物联网正处于起步发展阶段,物联网技术发展和产业应用具有广阔的前景和难得的机遇。经过多年发展,我国在物联网技术研发、标准研制、产业培育和行业应用等方面已初步具备一定基础,但也存在关键核心技术有待突破、产业基础薄弱、网络信息安全存在潜在隐患、一些地方出现盲目建设现象等问题,急需加强引导加快解决。

为加快推进物联网有序健康发展,2013年9月国家发展改革委、工业和信息化部、教育部、科技部、公安部、财政部、国土资源部、商务部、税务总局、统计局、知识产权局、中科院、工程院和国家标准委联合发布了《十个物联网发展专项行动计划》。它要求各地根据各专项行动计划的指导思想、总体目标、重点任务、分工与进度、保障措施等,尽快细化本地区的具体措施,加强沟通协调,务实推进相关工作。

2. 第二大推动力: 企业

2008年,美国IBM公司提出的“智慧地球”发展战略,如图1-4所示,受到美国政府的高度重视。“智慧地球”的核心是,无处不在的智能对象,被无处不达的网络与人连接在一起,再被无所不能的超级计算机调度和控制。与这一战略相关的前所未有的“智慧”的基础设施,为创新提供了无穷无尽的空间。作为新一波IT技术革命,其对于人类文明的影响之深远,将远远超过互联网。其中,投资于新一代智慧型基础设施建设的项目,能够有力地刺激经济复苏,而且能为美国奠定长期繁荣的基础。



此为美国IBM公司的SP图解,可以看作是一个企业理想的IT与动作模型与最终的效果,它需要有新锐的洞察、智慧的运作和动态的架构,并最终让我们拥有绿色的未来

图 1-4 “智慧地球” 构成

这一前景,毫无疑问引起了奥巴马团队的兴趣。既然1993年的克林顿能够利用互联网革命把美国带出当时的经济低谷,并实现空前的经济繁荣,那么2009年的奥巴马或许也可以利用“智慧地球”重现这一幕。

2010年9月11日,我国的“传感器网络标准工作组”成立。该组聚集了中国科学院、中国移动等国内传感网主要的技术研究和应用单位,将积极开展传感网标准制定工作,深度参与国际标准化活动,旨在通过标准化为产业发展奠定坚实的技术基础。“物联网”涵盖了诸多的产业力量,电信运营商在其中扮演什么样的角色呢?说到底,运营商就是提供一个运

营平台，可以在上面开发各种业务。“物联网”概念在时任中国移动公司总经理王建宙的大力倡导下，已开始迅速普及，中国电信公司和中国联通公司也快马加鞭赶了上来。在 2009 年 9 月 16 日正式开幕的“2009 年中国国际信息通信展览会”上，三大运营商“物联网”业务全部登台亮相。在中国移动公司的展位上，重点展示的是手机钱包和手机购电业务。

除了上述业务外，中国移动公司的“物联网”展台还展出了物流信息化、企业一卡通、公交视频、校讯通、手机购电等主题，这些业务都是物联网概念统合下的业务分支。中国电信公司将物联网业务分成两部分——“平安 e 家”和“商务领航”。中国联通公司的 3G 污水监测业务更脱离了个人消费的传统应用领域。这些服务也可以算是“物联网”概念下的业务分支。中国电信公司向物流行业提供名为“物流 e 通”的业务，采用自动识别、移动通信和全球卫星定位系统（Global Positioning System, GPS）等多项技术，将物流管理系统嵌入到 CDMA 手机中，提供物流数据采集、物流业务管理、自主导航和第三方定位等功能。中国移动则推出了“e 物流”业务，面向物流运输行业推出的集 GPS、地理信息系统（Geographic Information System, GIS）、通用分组无线服务（General Packet Radio Service, GPRS）、短信服务（Short Message Service, SMS）技术于一体的软、硬件综合信息系统管理平台，提供车辆定位、货况信息、短信通告、运输路径的选择、运输网络的设计与优化等服务。

ITU 2005 年的一份报告中曾描绘了“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；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等。这些理想化的服务指出了物联网的一个发展方向，目前我国物联网工作已经展开，并且在一些领域具体实施。例如，2010 年上海世博会期间，为确保世博园区食品安全，监管部门启动了“世博食品安全实时监控综合平台”。食品或原材料进入园区之前，需佩戴电子标签（即 RFID）；食品或原材料入园时，工作人员只要用读卡器轻照电子标签，一个番茄、一根豆芽都能追根溯源。

物联网被过多地解读为一个商业术语，而不是严格意义上的科学概念。但无论是商业服务者，还是科学研究者看来，物联网都可以称得上是“科技以人为本”、“服务完美生活”的融合体。从各个行业具体而微小规模应用的“涓涓细流”，逐渐汇聚成技术高度集成、应用广泛的大江大河。

物联网可期的行业前景，促使美国谷歌、微软公司等巨头争相布局，以占据产业链顶端。谷歌公司收购美国 Nest 公司只是这一风潮的开始。32 亿美元、全现金支付…谷歌公司以这样的大手笔打响了对物联网的争夺战。2014 年 1 月 13 日，谷歌公司宣布以 32 亿美元高价收购 Nest 公司，后者是智能家居设备生产商，主要产品是智能恒温器和智能烟雾探测器。这些设备与智能手机互通，将各种数据上传到云端，并执行操作。

事实上，谷歌公司一直以来就对智能家居领域情有独钟。它曾研发过一款名为 Power-Meter 的网络仪表，因量产困难而以失败告终。2012 年初，谷歌公司又推出使用 Android 设备控制家用电器的技术 Android@home，也未能成功。同期，谷歌公司旗下风险投资部门一直看好 Nest 公司的发展，参与了该公司 2011 年的 B 轮融资及 2012 年的 C 轮融资。之所以花巨资收购 Nest 公司，谷歌公司看中的显然不只是两台售价几百美元的设备。其实，智能恒温器和烟雾探测器几年前就已出现在市面上，并不稀奇，但真正将人机交互做到“艺术”级别的团队，Nest 公司堪称其中翘楚。这多少是创始人 Tony Fadell 的功劳。这位前美国苹果公司高管、有“iPod 之父”称号的 Nest 公司 CEO，多次表示智能家居是一种艺术。而另

一位创始人 Matt Rogers 及全公司 300 名员工中的 1/3 都是从苹果公司跳槽来的。对于始终执着于未来产业的谷歌公司来说，其软硬件结合能力与苹果公司相比始终相形见绌，如今花 32 亿美元购入 Nest 公司正是为弥补这一短板。

如果说花费 125 亿美元收购美国摩托罗拉公司移动业务标志着谷歌公司涉足硬件，那么花 32 亿美元购买 Nest 公司——谷歌公司历史上规模第二的收购，则意味着谷歌公司已经具有了进军物联网的跳板。

显然，看好物联网前景的不止谷歌公司一家。就在谷歌公司全力进军智能家居领域之时，美国微软公司已确认收购美国家庭自动化技术公司 R2 Studios，力图抢占一席之地。而在 2014 年的国际消费电子展（Consumer Electronics Show, CES）上，日本索尼公司推出了一款 Life Space UX 投影仪，可使普通墙壁变成触摸屏，成为智能设备；韩国 LG 公司则公布了其智能家电计划，用户可通过短信对联网的冰箱、洗衣机或吸尘器发号施令；韩国三星公司展出了名为“Smart Home”的软件平台，用户在回家路上就可用手机打开家中的空调或关掉电灯。德国西门子、南非 Teletask、法国莫顿公司等传统家居厂商，都提出了不同的“智能家庭网络”方案。CES 之外的各种硬件展上，智能电灯、安防设备乃至智能牙刷也都成为展会焦点，吸引大批创业者关注。我国许多传统家电厂商都推出了智能家电，如海尔公司将与美国苹果公司合作，成为全球唯一成功将苹果公司 MFI 授权技术应用于家电行业的企业。得益于 MFI 技术，用户可通过 iPhone、iPad 等移动设备实现对智能家电的掌控。

3. 第三大推动力：教育界与科技界

追求先进科学、前沿技术是科学家的天职。2009 年初，美国总统奥巴马在和工商领袖举行的圆桌会议上，对包括物联网在内的智慧型基础设施（简称“智慧地球”）给予积极回应，将“新能源”和“物联网”列为振兴经济的两大武器，将“智慧地球”提升到美国的国家发展战略的高度。随着“感知中国”战略构想的提出，我国政府已充分意识到物联网是信息技术变革的重大机遇。通过探索物联网的核心理论问题，发展享有自主产权的物联网技术对推动我国在该领域的跨越式发展，具有十分重要的意义。

2010 年 3 月 9 日，教育部网站发出通知：我国拟针对互联网、绿色经济、低碳经济、环保技术、生物医药等国家决定大力发展的重要战略性新兴产业，在高校本科教育阶段设立相关专业。这其中就包括增设物联网专业，以期为重点战略性新兴产业——物联网相关产业培养高素质人才。

工业和信息化部相关领导在首届物联网应用高峰论坛上表示，目前我国物联网总体还处于起步阶段，为推进物联网产业发展，我国将采取四大措施支持电信运营企业开展物联网技术创新与应用。这些措施如下：

一是突破物联网关键核心技术，实现科技创新。同时结合物联网特点，在突破关键共性技术时，研发和推广应用技术，加强行业和领域物联网技术解决方案的研发和公共服务平台建设，以应用技术为支撑突破应用创新。

二是制订我国物联网发展规划，全面布局。重点发展高端传感器、MEMS、智能传感器和传感器网络节点、传感器网关；超高频 RFID、有源 RFID 和 RFID 中间产业等，重点发展物联网相关终端和设备及软件信息服务。

三是推动典型物联网应用示范，带动发展。通过应用引导和技术研发的互动式发展，带

动物联网的产业发展。重点建设传感网在公众服务与重点行业的典型应用示范工程，确立以应用带动产业的发展模式，消除制约传感网规模发展的瓶颈。深度开发物联网采集来的信息资源，提升物联网的应用过程产业链的整体价值。

四是加强物联网国际国内标准，保障发展。做好顶层设计，满足产业需要，形成技术创新、标准和知识产权协调互动机制。面向重点业务应用，加强关键技术的研究，建设标准验证、测试和仿真等标准服务平台，加快关键标准的制定、实施和应用。积极参与国际标准制定，整合国内研究力量形成合力，推动国内自主创新，并将研究成果推向国际。

1.1.3 对国家“战略性新兴产业”政策的解析

我国对“物联网”的发展也给予高度重视，《国家中长期科学与技术发展规划》和“新一代宽带移动无线通信网”重大专项中均将“传感网”列入重点研究领域。

2010年9月8日，时任国务院总理温家宝主持召开国务院常务会议，审议并通过了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》。会议做出如下决定：

“一、抓住机遇，加快培育和发展战略性新兴产业

战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。加快培育和发展战略性新兴产业对推进我国现代化建设具有重要战略意义。”

...

“二、坚持创新发展，将战略性新兴产业加快培育成为先导产业和支柱产业

根据战略性新兴产业的特征，立足我国国情和科技、产业基础，现阶段重点培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等产业。”并指出战略性新兴产业的发展目标为，到2015年战略性新兴产业形成健康发展、协调推进的基本格局，对产业结构升级的推动作用显著增强，增加值占国内生产总值的比重力争达到8%左右。

到2020年，战略性新兴产业增加值占国内生产总值的比重力争达到15%左右，吸纳、带动就业能力显著提高。节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造产业成为国民经济的支柱产业，新能源、新材料、新能源汽车产业成为国民经济的先导产业；创新能力大幅提升，掌握一批关键核心技术，在局部领域达到世界领先水平；形成一批具有国际影响力的大企业和一批创新活力旺盛的中小企业；建成一批产业链完善、创新能力强、特色鲜明的战略性新兴产业集聚区。

再经过十年左右的努力，战略性新兴产业的整体创新能力和产业发展水平达到世界先进水平，为经济社会可持续发展提供强有力的支撑。”

“三、立足国情，努力实现重点领域快速健康发展

根据战略性新兴产业的发展阶段和特点，要进一步明确发展的重点方向和主要任务，统筹部署，集中力量，加快推进。

（一）节能环保产业。重点开发推广高效节能技术装备及产品，实现重点领域关键技术突破，带动能效整体水平的提高。加快资源循环利用关键共性技术研发和产业化示范，提高资源综合利用水平和再制造产业化水平。示范推广先进环保技术装备及产品，提升污染防治水平。推进市场化节能环保服务体系建设。加快建立以先进技术为支撑的废旧商品回收利用

体系,积极推进煤炭清洁利用、海水综合利用。

(二) 新一代信息技术产业。加快建设宽带、泛在、融合、安全的信息网络基础设施,推动新一代移动通信、下一代互联网核心设备和智能终端的研发及产业化,加快推进三网融合,促进物联网、云计算的研发和示范应用。着力发展集成电路、新型显示、高端软件、高端服务器等核心基础产业。提升软件服务、网络增值服务等信息服务能力,加快重要基础设施智能化改造。大力发展数字虚拟等技术,促进文化创意产业发展。

(三) 生物产业。大力发展用于重大疾病防治的生物技术药物、新型疫苗和诊断试剂、化学药物、现代中药等创新药物大品种,提升生物医药产业水平。加快先进医疗设备、医用材料等生物医学工程产品的研发和产业化,促进规模化发展。着力培育生物育种产业,积极推广绿色农用生物产品,促进生物农业加快发展。推进生物制造关键技术开发、示范与应用。加快海洋生物技术及产品的研发和产业化。

(四) 高端装备制造产业。重点发展以干支线飞机和通用飞机为主的航空装备,做大做强航空产业。积极推进空间基础设施建设,促进卫星及其应用产业发展。依托客运专线和城市轨道交通等重点工程建设,大力发展轨道交通装备。面向海洋资源开发,大力发展海洋工程装备。强化基础配套能力,积极发展以数字化、柔性化及系统集成技术为核心的智能制造装备。

(五) 新能源产业。积极研发新一代核能技术和先进反应堆,发展核能产业。加快太阳能热利用技术推广应用,开拓多元化的太阳能光伏光热发电市场。提高风电技术装备水平,有序推进风电规模化发展,加快适应新能源发展的智能电网及运行体系建设。因地制宜开发利用生物质能。

(六) 新材料产业。大力发展稀土功能材料、高性能膜材料、特种玻璃、功能陶瓷、半导体照明材料等新型功能材料。积极发展高品质特殊钢、新型合金材料、工程塑料等先进结构材料。提升碳纤维、芳纶、超高分子量聚乙烯纤维等高性能纤维及其复合材料发展水平。开展纳米、超导、智能等共性基础材料研究。

(七) 新能源汽车产业。着力突破动力电池、驱动电机和电子控制领域关键核心技术,推进插电式混合动力汽车、纯电动汽车推广应用和产业化。同时,开展燃料电池汽车相关前沿技术研发,大力推进高能效、低排放节能汽车发展。

四、强化科技创新,提升产业核心竞争力

增强自主创新能力是培育和发展战略性新兴产业的中心环节,必须完善以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系,发挥国家科技重大专项的核心引领作用,结合实施产业发展规划,突破关键核心技术,加强创新成果产业化,提升产业核心竞争力。”

...

“五、积极培育市场,营造良好市场环境

要充分发挥市场的基础性作用,充分调动企业积极性,加强基础设施建设,积极培育市场,规范市场秩序,为各类企业健康发展创造公平、良好的环境。”

...

“六、深化国际合作,提高国际化发展水平

要通过深化国际合作,尽快掌握关键核心技术,提升我国自主发展能力与核心竞争力。

把握经济全球化的新特点，深入开展国际合作与交流，积极探索合作新模式，在更高层次上参与国际合作。”

...

“七、加大财税金融政策扶持力度，引导和鼓励社会投入

加快培育和发展战略性新兴产业，必须健全财税金融政策支持体系，加大扶持力度，引导和鼓励社会资金投入。”

...

“八、推进体制机制创新，加强组织领导

加快培育和发展战略性新兴产业是我国新时期经济社会发展的重大战略任务，必须大力推进改革创新，加强组织领导和统筹协调，为战略性新兴产业发展提供动力和条件。”

为了加大战略性新兴产业人才培养力度，支持和鼓励有条件的高等学校从本科教育入手，加速教学内容、课程体系、教学方法和管理体制与运行机制的改革和创新，积极培养战略性新兴产业相关专业的人才，满足国家战略性新兴产业发展对高素质人才的迫切需求，教育部颁布《教育部办公厅关于战略性新兴产业相关专业申报和审批工作的通知》。其申报范围中，信息网络产业就包含了物联网技术，由此可以看出物联网工程这一专业的远大前景。

1.2 物联网的框架结构

1.2.1 物联网的三个层次

物联网包括物联网感知层、物联网网络层、物联网应用层，如图 1-5 所示。相应的，其技术体系包括感知层技术、网络层技术、应用层技术及公共技术，如图 1-6 所示。

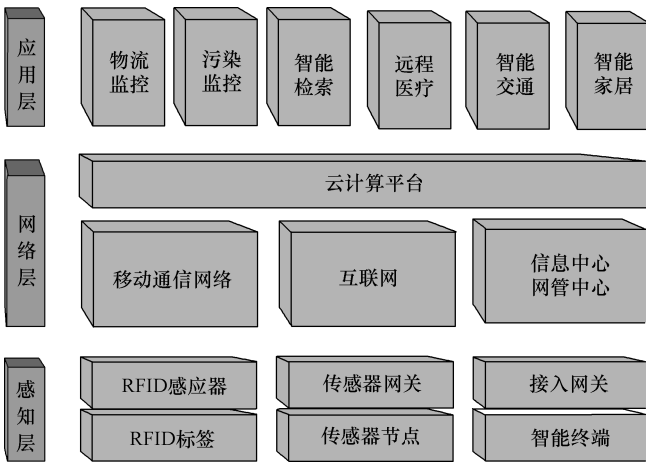


图 1-5 物联网结构图

感知层，主要用于采集物理世界中发生的物理事件和数据，包括各类物理量、标识、音频、视频数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码和实时定

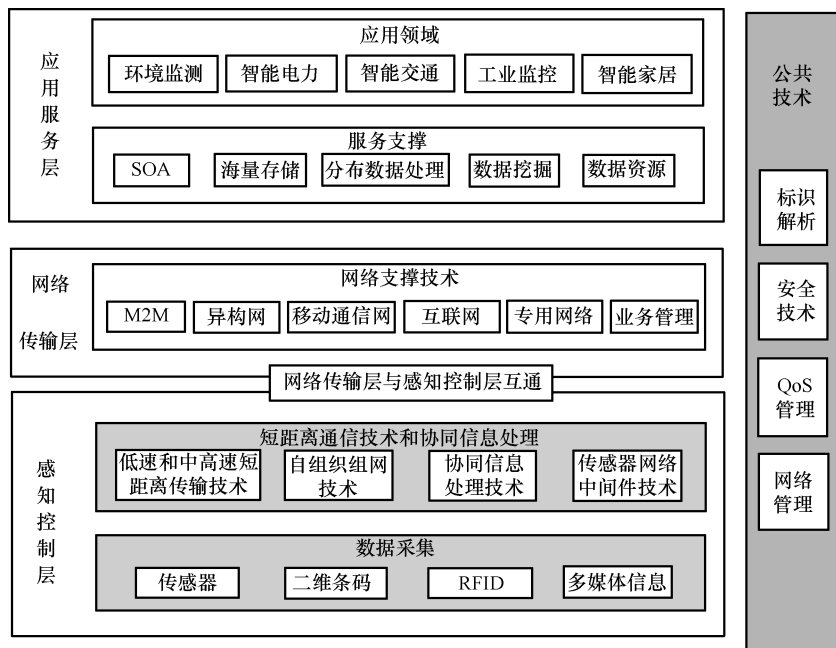


图 1-6 物联网技术体系框架图

位等技术。

网络层，实现更加广泛的互联功能，能够把感知到的信息无障碍、高可靠性、高安全地进行传送，需要传感器网络与移动通信技术、互联网技术相融合。经过十余年的快速发展，移动通信、互联网等技术已比较成熟，基本能够满足物联网数据传输的需要。

应用层，主要包含应用支撑平台子层和应用服务子层。其中应用支撑平台子层用于支撑跨行业、跨应用、跨系统之间的信息协同、共享、互通的功能。应用服务子层包括智能交通、智能医疗、智能家居、智能物流、智能电力等行业应用。

公共技术，不属于物联网技术的某个特定层面，而是与物联网技术架构的三层都有关系。它包括标识与解析、安全技术、网络管理和服务质量（Quality of Service, QoS）管理。

1.2.2 物联网的八层架构

在美国 IBM 公司 2010 年大中华区研发中心开放日活动中，对在物联网世界里会用到的一些关键技术领域进行了深入的探讨和展望。IBM 公司大中华区首席技术官、IBM 公司中国研究院院长李实恭在接受 51CTO.com 记者专访时谈道：“物联网的重点在于这个‘网’字，如果只有物没有网，那未来将是非常可怕的现象。IBM 在多年的研究积累和时间中提炼出了八层的物联网参考架构。”

从层次的维度理解，这八层架构之间大部分情况下有一定的依赖关系，从域的维度理解，由于在它们之间信息有时并不是需要依次通过它们进行传递和处理，因此它们也可以是网状关系，所以叫作域的概念。

1. 传感器/执行器层

物联网中任何一个物体都要通过感知设备获取相关信息及传递感应到的信息给所有需要

的设备或系统。传感器/执行器层是最直接与周围物体接触的域。传感器除了传统的传感功能外，还要具备一些基本的本地处理能力，使得所传递的信息是系统最需要的，从而使传递网络的使用更加优化。

2. 传感网层

这是传感器之间形成的网络。这些网络有可能根据公开协议，如 IP，也有可能基于一些私有协议。而目的就是为了使传感器之间可以互联互通及传递感应信息。

3. 传感网关层

由于物联网世界里的对象是身边的每一个物理存在的实体，因此感知到的信息量将会是巨大的五花八门的。如果传感器将这些信息直接传递给所需要的系统，那么将会对网络造成巨大的压力和不必要的资源浪费。因此，最好的方法是通过某种网关将信息进行过滤、协议转换、信息压缩加密等，使得信息更优化和安全的在公共网络上传递。

4. 广域网络层

这一层主要是为了将感知层的信息传递到需要信息处理或者业务应用的系统中。可以采用 IPv4 或者 IPv6。

5. 应用网关层

在传输过程中为了更好地利用网络资源及优化信息处理过程，设置局部或者区域性的应用网关。目的有两个：第一是信息汇总与分发；第二是进行一些简单信息处理与业务应用的执行，最大限度地利用 IT 与通信资源，提高信息的传输和处理能力，提高可靠性和持续性。

6. 服务平台层

服务平台层是为了使不同的服务提供模式得以实施，同时把物联网世界中的信息处理方面的共性功能集中优化地进行，缓解传统应用系统或者应用系统整合平台的压力。这样使得应用系统无须因为物联网的出现而做大的修改，能够更充分的利用已有业务应用系统，支持物联网的应用。

7. 应用层

应用层包括了各种不同业务或者服务所需要的应用处理系统。这些系统利用传感的信息进行处理、分析、执行不同的业务，并把处理的信息再反馈给传感器进行更新。刷新服务及对终端使用者提供服务，使得整个物联网的每个环节都更加连续和智能。这些业务应用系统一般都是在企业内部、外部被托管或者共享的 IT 应用系统。

8. 分析与优化层

在物联网世界中，从信息的业务价值和 IT 信息处理的角度看，它与互联网最大的不同就是信息和信息量。物联网的信息来源广阔，信息是海量的，在这种情况下如何利用信息更好地为人们服务，就是基于信息分析和优化的基础之上。传统的商业智能也是对信息进行分析及进行业务决策。但是在物联网中，基于传统的商业智能和数据分析又是远远不够的，因此需要更智能化的分析能力，基于数学和统计学的模型进行分析、模拟和预测。信息越多就越需要更好地优化才能够带来价值。

综上，可以得到图 1-7 所示的物联网框架模型。这里进一步细分物联网的服务功能，将其划分为感知识别层、网络构建层、管理服务层、创新应用层。再根据美国 IBM 公司提出的物联网八层结构，分别进行对应层次的划归，最终得到物联网框架模型。

应用服务层	创新应用层	分析与优化层	物联网世界中, 信息来源广阔, 是海量的, 基于传统的商业智能和数据分析是远远不够的, 因此需要更智能化的分析能力, 基于数学和统计学的模型进行分析、模拟和预测
		应用层	应用层包括各种不同业务或服务所需要的应用处理系统。这些系统利用传感的信息进行处理、分析、执行不同的业务, 并把处理的信息再反馈给传感器进行更新, 使得整个物联网的每个环节都更加连续和智能
网络传输层	管理服务层	服务平台层	服务平台层是为了使不同的服务提供模式得以实施, 同时把物联网世界中的信息处理方面的共性功能集中优化的进行, 使应用系统无需因为物联网的出现而进行大的修改, 能够更充分的利用已有业务应用系统, 支持物联网的应用
		应用网关层	在传输过程中为了更好地利用网络资源及优化信息处理过程, 设置局部或者区域性的应用网关, 一是信息汇总与分发; 二是进行一些简单信息处理与业务应用的执行, 最大限度的利用 IT 与通信资源, 提高信息的传输和处理能力, 提高可靠性和持续性
	网络构建层	广域网络层	在这一层中主要是为了将感知层的信息传递到需要信息处理或者业务应用的系统中, 可以采用 IPv4 或者 IPv6
传感网关层		由于物联网世界里的对象是实体, 因此感知到的信息量将会是巨大的各式各样的, 通过某种程度的网关将信息进行过滤、协议转换、信息压缩加密等, 使得信息更优化和安全的在公共网络上传递	
感知识别层		传感网层	这是传感器之间形成的网络。这些网络有可能根据公开协议、如 IP 地址, 也有可能基于一些私有协议、而目的就是为了使传感器之间可以互联互通及传递感应信息
	传感器/执行器层	物联网中任何一个物体都要通过感知设备获取相关信息及传递感应到的信息给所有需要的设备或系统。传感器除了传统的传感功能外, 还要具备一些基本的本地处理能力, 使得所传递的信息是系统最需要的, 从而使传递网络的使用更加优化	

图 1-7 物联网框架模型

1.3 两个技术范畴

1.3.1 智能网络空间技术

当你拿起柚子, 它会告诉你含糖量及合理的摄入量; 当你准备出门, 电脑包会提醒你忘带了什么东西; 当你坐进驾驶室, 汽车会警示你已饮酒并拒绝行驶; 当你在回家的路上, 冰箱会告诉你贮存了什么食物, 并推荐相应的菜谱。家里冰箱空了, 或者是贮存食物快过保质期, 冰箱会自动提示你赶紧去购买。你呢, 只需手指一按, 商家便会送货上门。而当衣服需要清洗时, 洗衣机会智能识别衣服的质地、色彩、洁净度等, 并自动设置洗涤程序…你能想象那样的一个世界吗? 一个物品和物品直接相连的新互联网时代。

这是“物联网”的一个缩影。不同的是，在物联网时代，覆盖范围不再局限在某一个购物场所，也不是某一个地区，而是扩展到全球范围。可以把物联网工作的基本原理简单表述为，传感设备自动感应物品属性信息，再通过无线数据通信网络采集到中央信息处理系统，实现对物品的“透明”和“智能”管理。

在物联网时代，无处不在的传感设备犹如无数双“锐眼”，将密密麻麻的装有电子标签的物品尽收眼底。物联网中央信息处理系统则通过云计算等技术，对整个网络内的人员、设备、物品和基础设施实施实时的运算、控制和管理。

智能空间（intelligent space/iSpace/smart space）的研究为智能服务技术提供了理论依据，为如何利用空间信息提供服务提供了解决方法。

自 20 世纪 90 年代末起，人们逐渐对智能空间展开研究，到目前为止，尚未形成明确定义。按照美国国家标准和技术学会（National Institute of Standards and Technology, NIST）给出的定义，智能空间是“一个嵌入了计算、信息设备和多模态的传感器的工作空间，其目的是使用户能非常方便地在其中访问信息和获得计算机的服务来高效地进行单独工作和与他人的协同工作”。智能空间可以看成是物理世界和信息空间的融合，具备感知/观察、分析/推理、决策/执行三大基本功能。

这种融合表现为如下两个方面：

- ① 物理世界中的物体将与信息空间中的对象互相关联；
- ② 物理世界中物体状态的变化会引发信息空间中相关联的对象状态的改变，反之亦然。

智能空间的目的是建立一个以人为中心的充满计算和通信能力的空间，让计算机参与从未涉及计算行为的活动中，让用户能像与他人一样与计算机系统进行交互，从而使用户能随时随地、透明地获得人性化的服务。

智能空间（见图 1-8）应具备的基本要求可概括如下：



图 1-8 智能空间

① 用户及其携带的移动设备能方便地与智能空间进行交互，从而为用户的日常活动提供方便；

- ② 能自动捕获和动态监测其中发生的活动，提供信息显示和活动记录；
- ③ 能对发生的特定事件做出合理反应并采取相应措施；
- ④ 对空间中的各种动态变化具有鲁棒性和适应性。

智能空间主要包括如下特点：

- ① 智能空间是一个庞大的系统工程，涉及的研究领域甚广，需要解决的问题繁多，须

综合各种技术进行构建;

- ② 是一个嵌入性和移动性都很高的计算环境;
- ③ 用普适网络联系物理世界,是物理世界和信息空间的融合;
- ④ 可做出实时的上下文敏感的决策;
- ⑤ 系统具有适应性,能提供便捷性的应用;

⑥ 与智能空间相结合的物理范围,已由最初的建筑物、房屋尺度,逐渐扩展到室外环境和用户涉足的其他空间(如高速公路上的汽车、表演舞台等),形成了所谓的“广域智能空间”。从普适计算的角度看,智能空间是一类集成化的系统,因此可以作为普适计算环境的实验床,同时它也具有十分重要的应用价值,在供应链、环境监测、休闲体验、卫生保健、应急反应、智能交通、机器人等领域显示出广泛的应用前景。

智能空间中包含有大量作为“接口”的硬件设备,根据用途可以大致分为以下两大类:

① 用来维持正常运行的系统设备,主要包括,获取现实物理世界中环境参数(如图像、语音、温度等)的设备,如传感器节点、照相机、麦克风等;分析环境参数以捕获信息的处理器;基于推理信息做出相应决策的执行器,如扬声器、放映机、机器人等;能量供应设备,如电池、电网装置等;

② 用来提供日常服务的用户设备,主要包括,传统的输入输出设备,如鼠标、键盘、发光二极管等;方便用户在任何地点与智能空间进行交互的无线移动设备,如寻呼机、个人数字助理(Personal Digital Assistant, PDA)、手机、掌上计算机等;带有自适应性的智能设备,如智能家居、生物传感器、智能机器人等。

需要说明的是,这两大类设备之间并不是严格区分的,有的设备可以同时归为系统设备和用户设备,如机器人、生物传感器等。智能空间中的设备大都需要将嵌入式处理器和各种功能模块(如供电、传感、通信、计算等功能)集成起来,从而对硬件设备提出了如下新的和更高的要求:

- ① 具有很强的硬件通信、信息处理、存储能力;
- ② 要求设备尺寸多样化、重量轻型化、功耗微小化、成本廉价化;
- ③ 为设备提供充足的能量,同时要求芯片节能;
- ④ 要求用户界面富于表达情感、能与用户方便地交流。

智能空间的一个明显特点是用普适网络(pervasive net working)连接物理世界。作为一种普遍互联的环境,智能空间包含计算机、各种物体之间以不同方式的互联。智能空间的网络环境包含互联网、自组织网络(ad-hoc)、无线传感器网络等不同类型的网络。普适网络是以多种无线网和移动网接入互联网实现的异构集成网络,可视为由用户、物理世界中的感知器、嵌入计算资源、系统提供的服务这四部分共同协作所构成的空间,具有移动性、多样性、间断通信、提供动态性和暂时性服务等特点。普适网络支持异构环境和多种设备的自动互联,能感知物理的传感器节点和设备。其运作过程可看作是嵌入计算资源利用感知器的感知结果,通过计算使用户获得系统所提供的无处不在的通信服务的过程。要在智能空间中构建一个安全、保密、可信任的普适网络,应具备如下要求:

- ① 能自动构建合作区域,产生可适应流动和变化的拓扑结构;
- ② 在没有手动配置和管理的情况下,提供自动的资源 and 位置发现;
- ③ 为访问网络资源提供安全、专用、可鉴别的机制;

④ 对网络状况（如网络拥塞、无线传输误差等）和环境的动态变化具有适应性。
当前普适网络的研究主要集中在无线和移动网络、自组织网、无线传感器网络等方面。
物联网智能空间技术分类如下：

- 通信介质的选取研究（Wi-Fi, WSN, PLC, 232）
- 服务中心/网关/控制器的研究
- 子网适配器/控制器的研究
- 软件中间件/Multi-Agent 技术
- 智能算法与服务模型
- 数据挖掘技术
- 云计算技术
- 实时数据库技术

系统软件的作用是对智能空间中大量的物体、信息设备、计算实体进行管理，为它们之间的数据交换、消息交互、服务发现、任务协调、任务迁移等提供系统级的支持。与传统分布式系统软件不同，智能空间中的系统软件主要有两个基本特点：物理集成（physical integration）和自发互操作（spontaneous interoperation）。智能空间环境具有任务动态性、资源有限性、设备异质性等特点，从而要求系统软件具有很强的适应性和自适应性。这表现为，一方面，在不中断服务和最小限度的人为干预情况下，要求系统软件能适应用户、环境、故障等；另一方面，要求系统软件具备可修改性，能被更新升级以满足用户需要。系统软件还需要解决设备与服务的发现、协作计算、有限资源下通信等问题，从而建立有效的模块间协调机制（inter-module coordination），实现对物理实体的管理，保证系统的鲁棒性和安全性。

1.3.2 物联网终端技术

物联网终端是物联网中连接传感网络层和传输网络层，实现采集数据及向网络层发送数据的设备。它担负着数据采集、初步处理、加密、传输等多种功能。目前，物联网终端，包括连接它的业务网关接入网络主要有两大形式，即通过有线接入或者移动网无线接入。因此，对终端的管理必然要跨越不同的网络、不同的技术。

物联网的源头是单片机和嵌入式系统。常见的嵌入式系统特点和嵌入式处理器的种类见表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 嵌入式操作系统特点

嵌入式操作系统	特 点
Linux	开放性；多用户；多任务；稳定性强；设备独立性；丰富的网络功能；可靠的系统安全；良好的可移植性；应用软件多
VxWorks	良好的实时性和稳定性；高效的任务管理；灵活的任务间通信；微秒级的中断处理；方便移植、构建的板级支持包；支持多种标准；丰富的网络功能
Android	无界限的应用程序；并行的应用程序
.NET Micro Framework	对存储器和处理器的要求更低；非实时

表 1-4 嵌入式处理器种类

嵌入式处理器	种 类
ARM	v1 ~ v7 架构
Cortex	Cortex-M; Cortex-R; Cortex-A
单片机	AVR 单片机; PIC 单片机; 51 单片机

1. 物联网终端的基本原理及作用

(1) 原理

物联网终端基本由外围感知（传感）接口、中央处理模块和外部通信接口三个部分组成，通过外围感知接口与传感设备连接，如 RFID 读卡器、红外感应器、环境传感器等；将这些传感设备的数据进行读取并通过中央处理模块处理后，按照网络协议，通过外部通信接口，如 GPRS 模块、以太网接口、Wi-Fi 等方式发送到以太网的指定中心处理平台。物联网终端内部结构图如图 1-9 所示。

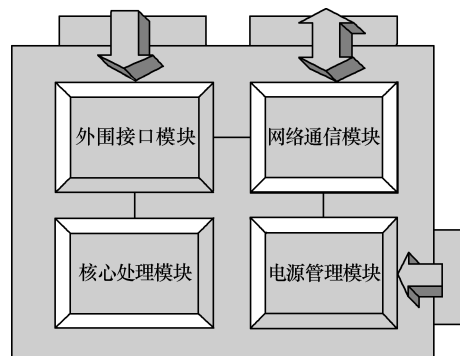


图 1-9 物联网终端内部结构图

(2) 作用

物联网终端属于传感网络层和传输网络层的中间设备，也是物联网的关键设备，通过它的转换和采集，才能将各种外部感知数据汇集和处理，并将数据通过各种网络接口方式传输到互联网中。如果没有它的存在，传感数据将无法送到指定位置，“物”的联网将不复存在。

2. 物联网终端的分类

(1) 按照行业应用分类

主要包括工业设备检测终端、设施农业检测终端、物流 RFID 终端、电力系统检测终端、安防视频监控终端等。下面就几个常用行业介绍一下终端的主要特点。

1) 工业设备检测终端。该类终端主要安装在工厂的大型设备上或工矿企业的大型运动机械上，用来采集位移传感器、位置传感器（如 GPS）、振动传感器、液位传感器、压力传感器、温度传感器等数据，通过终端的有线网络或无线网络接口发送到中心处理平台进行数据的汇总和处理，实现对工厂设备运行状态的及时跟踪和大型机械的状态确认，达到安全生产的目的。抗电磁干扰和防暴性是此类终端考虑的重点。

2) 设施农业检测终端。该终端一般被安放在设施农业的温室/大棚中，主要采集空气温湿度传感器、土壤温度传感器、土壤水分传感器、光照传感器、气体含量传感器的数据，将数据打包、压缩、加密后通过终端的有线网络或无线网络接口发送到中心处理平台进行数据的汇总和处理。这种系统可以及时发现农业生产中不利于农作物生长的环境因素，并在第一时间通知使用者纠正这些因素，提高作物产量，减少病虫害发生的概率。终端的防腐、防潮设计将是此类终端的重点。

3) 物流 RFID 识别终端。该类设备分固定式、车载式和手持式。固定式一般安装在仓库门口或其他货物通道；车载式安装在物流运输车中；手持式则由使用者手持使用。固定式

一般只有识别功能，用于跟踪货物的入库和出库。车载式和手持式中一般具有 GPS 定位功能和基本的 RFID 标签扫描功能，用来识别货物的状态、位置、性能等参数，通过有线或无线网络将位置信息和货物基本信息传送到中心处理平台。通过该终端的货物状态识别，将物流管理变得非常顺畅和便捷，大大提高了物流的效率。

(2) 按照使用场合分类

主要包括以下三种：固定终端、移动终端和手持终端。

1) 固定终端。应用在固定场合，常年固定不动，具有可靠的外部供电和可靠的有线数据链路，检测各种固定设备、仪器或环境的信息，如前面说的设施农业、工业设备用的终端均属于此类。

2) 移动终端。应用在终端与被检测设备一同移动的场所。该类终端因经常会运动，所以没有太可靠的外部电源，需要通过无线数据链路进行数据的传输，主要检测如图像、位置、运动设备的某些物理状态等。该类终端一般要具备良好的抗振、抗电磁干扰能力，此外对供电电源的处理能力也较强，有的还具备后备电源。一些车载仪器、车载视频监控、货车/客车 GPS 定位等均使用此类终端。

3) 手持终端。该类终端是在移动终端基础上，进行了改造和升级，一般小巧、轻便，使用者可以随身携带，有后备电池，一般可以断电连续使用 8 小时以上。有可以连接外部传感设备的接口，采集的数据一般可以通过无线进行及时传输，或在积累一定程度后连接有线传输。该类终端大部分应用在物流 RFID 识别、工厂参数表巡检、农作物病虫害普查等领域。

(3) 按照传输方式分类

主要包括以太网终端、Wi-Fi 终端、2G 终端、3G 终端等，有些智能终端具有上述两种或两种以上的接口。

1) 以太网终端。该类终端一般应用在数据量传输较大、以太网条件较好的场合，现场很容易布线并具有连接互联网的条件。一般应用在工厂的固定设备检测、智能楼宇、智能家居等环境中。

2) Wi-Fi 终端。该类终端一般应用在数据量传输较大、以太网条件较好，但终端部分布线不容易或不能布线的场合，在终端周围架设 Wi-Fi 路由或 Wi-Fi 网关等设备实现。一般应用在无线城市、智能交通等需要大数据无线传输的场合或其他应用中终端周围不适合布线但需要高数据量传输的场合。

3) 2G 终端。该类终端应用在小数据量移动传输的场合或小数据量传输的野外工作场合，如车载 GPS 定位、物流 RFID 手持终端、水库水质监测等。该类终端因具有移动中或野外条件下的联网功能，所以为物联网的深层次应用提供了更加广阔的市场。

4) 3G 终端。该类终端是在上面终端基础上的升级，增加了上下行的通信速度，以满足移动图像监控，下发视频等应用场合，如警车巡警图像的回传、动态实时交通信息的监控等。在一些大数据量的传感应用，如振动量的采集或电力信号实施监测中也可以用到该类终端。

(4) 按照使用扩展性分类

主要包括单一功能终端和通用智能终端两种。

1) 单一功能终端。该类终端一般外部接口较少、设计简单，仅满足单一应用或单一应

用的部分扩展,除了这种应用外,在不经硬件修改的情况下无法应用在其他场合。目前,市场上此类终端较多,如汽车监控用的图像传输服务终端、电力监测用的终端、物流用的RFID终端。这些终端的功能单一,仅适用在特定场合,不能随应用变化进行功能改造和扩充等。因功能单一,所以该类终端的成本较低,也比较好标准化。

2) 通用智能终端。该类终端因考虑到行业应用的通用性,所以外部接口较多、设计复杂,能满足两种或更多场合的应用。它可以通过内部软件的设置、修改应用参数,或通过硬件模块的拆卸来满足不同的应用需求。该类模块一般涵盖了大部分应用对接口的需求,并具有网络连接的有线、无线多种接口方式,还扩展了如蓝牙、Wi-Fi、ZigBee等接口,甚至预留一定的输出接口用于物联网应用中对“物”的控制等。该类终端开发难度大、成本高、未标准化,目前市面很少。

(5) 按照传输通路分类

主要包括数据透传终端和非数据透传终端。

1) 数据透传终端。该类终端将输入口与应用软件之间建立起数据传输通路,使数据可以通过模块的输入口输入,通过软件原封不动地输出,表现给外界的方式相当于一个透明的通道,因此叫数据透传终端。目前,该类终端在物联网集成项目中得到大量采用。优点是很容易构建出符合应用的物联网系统,缺点是功能单一。在一些多路数据或多类型数据传输时,需要使用多个采集模块进行数据的合并处理后,才可通过该终端传输。否则,每一路数据都需要一个数据透传终端,这样会加大使用成本和系统的复杂程度。目前,市面上的大部分通用终端都是数据透传终端。

2) 非数据透传终端

该类终端一般将外部多接口的采集数据通过终端内的处理器合并后传输,因此具有多路同时传输的优点,同时减少了终端数量。缺点是只能根据终端的外围接口选择应用,如果满足所有应用,该终端的外围接口种类就需要很多,在不太复杂的应用中会造成很多接口资源的浪费,因此接口的可插拔设计是此类终端的共同特点,之前提到的通用智能终端就属于此类终端。数据传输应用协议在终端内已集成,作为多功能应用,通常需要提供二次开发接口。目前市面上该类终端较少。

3. 物联网终端的广泛应用

(1) 终端推广的最大障碍

目前,物联网技术在中国的蓬勃发展,让人们看到了未来广阔的市场。据专家估计,未来3~5年内随着我国物联网技术的推广和普及,终将形成1个万亿规模的大市场。现今,制约物联网技术大规模推广的主要原因则是终端的不兼容问题,不同厂商的设备和软件无法在同一个平台上使用,设备间的协议没有统一的标准。因此,在物联网的普及和终端的大规模推广前必须解决标准化问题,具体表现为以下几个方面:

1) 硬件接口标准化。物联网的传感设备由不同厂商提供,如果每家的接口规则或通信规则都不同,便会导致终端接口设计的不同,而终端不可能为每个厂商都预留接口,所以需要传感设备厂商和终端厂商一同制定标准的物联网传感器与终端间的接口规范和通信规范,以满足不同厂商设备间的硬件互通、互联需求。

2) 数据协议标准化。数据协议指终端与平台层的数据流交互协议,该数据流可以分为业务数据流和管理数据流。中国移动公司与瑞典爱立信公司合作制定的无线机器通信协议

(Wireless Machine-to-Machine Protocol, WMMP) 就是一个很好的管理协议, 它的推广和普及必将带动数据协议的标准化进程, 方便新研发终端的网络接入及管理。物联网的发展需要国家相关部门主导、相关行业联合制定出类似 WMMP 更完善的通用协议, 以满足各种应用和不同厂商终端的互联问题, 扩大未来物联网的推广。

(2) 终端的广泛应用分析

目前, 物联网终端的规模推广主要局限在国家重点工程的安保、物流领域, “感知中国”中心和一些示范区工程上。没有在其他领域大规模使用的主要原因: 其一是物联网的概念及其带来的效益还不完全为人所知; 其二是在一些行业或企业应用中, 推广方和使用方还很难找到各自的盈利点和盈利模式, 这其中的一个重要原因就是系统的高成本和运行的高费用, 而且有些系统实际使用时也并未达到预期的目标, 使得使用方失去热情。因此, 深入剖析行业应用和降低系统成本——尤其是运行成本——将是物联网大规模推广的必由之路。而降低成本的基本条件是, 降低终端成本、传感器成本和部署成本, 这些都需要大批量的生产和使用才可以实现。随着物联网各种技术的成熟和终端的标准化, 物联网中各环节的成本会大大降低, 同时, 随着行业应用面的不断拓展、更深层次需求的不断发掘, 物联网行业将很快成为利润丰厚的“大蛋糕”。

目前, 中国移动公司直接用于物联网的终端数量已经超过了 400 万。除了拥有目前全球最成熟的 M2M 应用和最大规模的 M2M 终端用户外, 中国移动公司还是国内唯一拥有 M2M 专用号码资源的运营商, 其号码数量达到了 1 亿个。物联网需要业内公认的标准, 目前中国移动已经推出了一个通信模组的产品, 定了一个标准化的 WMMP。这个协议可以把通信模块跟传感器之间的信号做一个标准化处理。这样的话, 未来各种各样的传感器都可以通过标准化模块上传到信息搜集平台, 就能实现复杂应用的快速部署和大规模使用。目前, 主流的制造商都已经支持这个协议, 模组的产业化方面也取得了不错的进展。在很多应用领域, 这些模组已经得到了使用。

4. 可穿戴设备

可穿戴设备是一个潜力巨大的新兴市场, 随着越来越多的可穿戴设备投入市场, 可穿戴设备正逐步为社会大众所接受。可穿戴市场已成为全球范围内快速增长的高科技市场之一, 频繁得到资本的青睐。

(1) 可穿戴设备定义

可穿戴设备也称可穿戴计算设备, 目前并没有统一的概念定义。美国麻省理工学院的媒体实验室对可穿戴计算的定义是计算机科技结合多媒体和无线传播以不突显异物感的输入或输出仪器 (如首饰、眼镜或衣服) 进行连接个人局域网络功能、侦测特定情境或成为私人智慧助理, 进而成为使用者在行进动作中处理信息的工具。

可穿戴设备可理解为基于人体自然能力之上的, 借助计算机科技实现对应业务功能的设备。人体自然能力指人类本体与生俱来的能力, 如动手能力、行走能力、语言能力、眼睛转动能力、心脏脉搏跳动能力、大脑神经思维能力等; 这里的计算机科技指基于人体能力或环境能力通过内置传感器、集成芯片功能实现对应的信息智能交互功能。

(2) 可穿戴设备起源

最早的可穿戴设备可追溯到便携式计算器时代, 如以腕表的方式集成计算器的功能方便人们随时随地进行简单的数字运算。随着技术的进步, 越来越多的计算功能被集成到可穿戴

设备上。从穿戴式计算机到穿戴式设备，业界对可穿戴的定义进一步明确，认为可穿戴设备需要包含“可穿戴的形态”、“独立的计算能力”、“专用的程序或功能”这三类基本属性。例如，2006年意大利Eurotech公司推出的手腕式电阻触屏计算机，符合传统对可穿戴设备的定义。但这样的设备消费者并不买账，很大一方面就是类似的设备用户体验并不友好，另外也没有凸显和传统计算机的区别。

可见除了上述三类基本属性外，可穿戴设备最重要的一个属性是“用户体验”友好，可融入人体自然穿戴情境，穿戴起来不显唐突。另外，要突出和传统计算机的区别，一个差异属性就是“感知能力”，即通过内置芯片传感器可感知穿戴者或周围环境属性信息，为业务处理提供更多的基础信息输入。随着物联网、传感技术、芯片技术和智能操作系统的发展，可穿戴设备和人体结合程度越来越紧密，用户体验也更加友好，更多的可穿戴设备被投入市场。

(3) 可穿戴设备典型应用分析

按照联合国人口老龄化标准，全球现已进入老龄社会，40年后全球老龄化程度与目前发达国家相当。健康和医疗领域被公认为可穿戴设备最有发展潜力、市场规模最大的一个领域。健康领域的可穿戴设备以轻量化的手表、手环和配饰为主要形式，实现运动或户外数据如心率、步频、卡路里消耗等指标的检测、分析与服务。医疗领域的可穿戴设备以专业化方案提供血压、心率等医疗体征的检测和处理，形式较为多样，包括医疗手表、手机附件等。

医疗健康类可穿戴设备，如智能手环等，通过内置传感器采集人体指标，并通过蓝牙方式把数据传递给智能手机内对应的APP应用；APP应用通过数据通信网络把数据传递到对应的数据处理中心；数据中心在接收到数据后进行业务逻辑处理，对于一些异常指标数据可以按照业务逻辑触发医务人员进行进一步的分析处理后反馈给用户。可穿戴设备定期采集人体各项指标数据并进行记录。在这个过程中，医务人员通过远程查看方式及时掌控各项指标，实现对生命全过程的健康监控和常见疾病的防御。

我国已经进入慢性病的高发期，患病人数多、医疗成本高、患病时间长、服务需求大是这个时期的突出特点。而合理的慢性疾病管理，能够避免看急诊和住院治疗，减少就医次数，可以大大节约费用和人力成本。医疗健康类可穿戴设备从某种程度来说符合很多人的刚性需求，未来将会更多地融入人们的生活。

(4) 可穿戴设备崛起

2013年是可穿戴计算崛起之年，美国谷歌公司的谷歌眼镜、韩国三星公司智能手表等设备的发布标志着互联网时代硬件创新达到了新的顶峰，这些用户体验更为友好的可穿戴设备使人们的身体也将由此成为一个智能终端，并影响人们的行为模式、提高人们的行动效率，最终将改变人们接入互联网的方式和入口。

在互联网时代，人与计算机设备交互周期通常以天为单位，人们可能每天使用几次个人计算机进行网络冲浪；移动互联网时代解放了人们的双腿，人们每间隔几个小时就会使用一次手机进行信息查阅，人机交互周期缩短到以小时为单位；而在可穿戴计算时代，人与设备的交互周期将以分钟、秒为单位，交互频率更大。移动互联网用户规模较桌面互联网爆炸式增长事实说明业务的交互越频繁、业务的用户黏性就越大，进而促进用户规模的扩大。基于此可穿戴时代用户规模或比移动互联网更大，这也是资本市场垂青可穿戴设备概念的原因所在。随着越来越多可穿戴设备的出现，这些设备的形态、应用类型五花八门，需要对其进行

归类以更好地了解其特征和技术特点。

(5) 可穿戴设备分类

目前,行业尚未对可穿戴设备分类给出明确的界定方式,这里按照可穿戴设备的物理形态、业务应用形态和通信类型进行划分。

1) 按照物理形态。按照设备物理形态可分为眼镜、手表、手环、手套、项链、随身插、衣服、头箍等类型。

① 眼镜。以谷歌眼镜为代表的可穿戴设备是可穿戴概念的最早践行者,镜片集成显示屏实现内容的展示功能、镜框内置的芯片、智能操作系统等实现应用的运行、数据存储、网络交互、自然语言的交互等功能。通过开放的软件开发工具包 (Software Development Kit, SDK), 开发者可开发个性化的应用并运行在眼镜上。图 1-10 所示为智能眼镜。



图 1-10 智能眼镜

② 手表。手表是传统穿戴式设备,在手表内集成计算芯片和智能操作系统,并通过手表显示屏实现内容的呈现和交互,实现程序的运算是可穿戴设备对手表的理解。目前,韩国三星公司、美国苹果公司等电子厂商均在智能手表领域有对应的产品。

③ 手环。在手环上集成传感器感知功能芯片,通过内置小型显示器实现数据的呈现功能,手环的应用主要集中在健康领域,如通过人体感知实现睡眠管理等。图 1-11 所示为智能手环。



图 1-11 智能手环

④ 手套。手套是不太成功的穿戴设备,市场上可见的手套类型设备包含两类:一类是手套上集成传感器实现动作信息的感应功能,以实现精细化的控制操作;另一类是通过近距离的通信功能和手机绑定,实现耳机功能。

⑤ 项链。项链类设备常见于宠物类应用中,一般以吊坠的方式集成芯片和操作系统,实现定位和通信的功能。应用以平台提供网页或 APP 的方式进行操作。某些项链设备里面还集成了语音功能,可监控设备周围环境声音。

⑥ 挂件。通过挂件内集成传感芯片、计算芯片和显示屏幕,实现交互功能。一般用于健康领域,如通过内置陀螺仪、定位芯片、加速度传感器等通过对运动轨迹、步伐的统计,

计算出运动的能量消耗,给出健康提醒反馈。

⑦ 头箍。头箍类设备更多的是概念类的设备,目前尚不成熟。其原理是内置芯片感知大脑活跃度,并根据活跃度实现控制输出,目前主要在一些简单的游戏中使用。

2) 按照应用类型。按照设备应用类型可分为健康类应用、游戏类应用、安全类应用等类型。

① 健康类。健康类设备主要指应用形态以满足人们健康需求为主,包含医疗相关设备和健身运动类相关设备。医疗类可穿戴设备如测心率的腕表等。健身运动类设备如计步器等。

② 安全类。安全类应用主要是基于位置地点或范围识别的安全类应用设备,如基于手环或项链识别佩戴者当前所处的地理位置的设备;通过蓝牙近距离通信技术实现钱包防窃、小物件识别等设备。

③ 游戏类。游戏类应用设备包含美国微软公司 Kinect 体感设备等,主要满足娱乐需求。

3) 按照通信方式。设备按照与网络的结合方式包含几类:直接和互联网结合、通过中转介质和互联网结合、和智能设备结合。

① 直接通信。通过内置的移动通信芯片,如 GPRS、CDMA、Wi-Fi 等实现和网络的通信功能。

② 间接通信。间接通信借助智能终端的通信能力,设备以蓝牙、红外、ZigBee 等短程通信协议和智能设备结合,智能终端作为数据节点进行通信。智能终端内置 APP 或者基于网络程序借助云平台侧数据和处理逻辑实现应用的呈现。

③ 端到端连接。设备以蓝牙、红外、ZigBee 等短程通信协议和智能设备结合,智能终端内置 APP 实现业务的呈现。

(6) 可穿戴设备支撑技术及发展

通过可穿戴设备分类可发现,支撑可穿戴计算的核心技术主要包含芯片技术、智能操作系统技术和电池技术,外围技术包含材料技术、通信技术和人机交互等技术。随着技术的进步,可穿戴设备的形态和类型将会不断扩展。

1) 芯片技术。芯片是现代计算机的心脏,也是可穿戴设备的核心,可穿戴芯片包含 CPU、DSP 等类别。CPU 指相对通用的业务处理芯片;DSP 是以数字信号来处理大量信息的器件,如加速度传感器、陀螺仪、肌电感测、IR 眼球追踪和 IR 影响感测、骨传导等传感器芯片等均属 DSP 范畴。

可穿戴设备对芯片功耗要求较高,一般使用基于简单指令集的芯片以降低功耗。使用复杂指令集的芯片目前在低功耗芯片领域并不具备竞争优势。例如,芯片产业链条上美国英特尔公司主导设计、生产和销售全部过程,这种标准化的封闭的商业模式保证了产品质量和规模,在需求相对单一的个人计算机时代使英特尔公司芯片处于行业领先的霸主地位,而在手机厂商众多、产品形态非标准化的智能终端领域英特尔公司的竞争就处于劣势了。

可穿戴计算领域产品形态会多样、对芯片的需求差异更大,传统英特尔公司标准化量产的芯片战略很难具备竞争优势。英国 ARM 公司并不自己生产芯片处理器,而是通过出售自己的设计给制造公司来赚钱,制造公司基于 ARM 公司低功耗设计进行个性化开发,属于开放产业链条。这种商业哲学使得目前可穿戴计算领域 ARM 公司占据绝对垄断地位。英特尔公司也意识到了这个问题,2014 年在 CES 上展示的 Quark 系列处理器主要面向各种嵌入式领域,其中包含可穿戴设备应用领域。基于 Quark 处理器英特尔公司正在开发只有 SD 卡大

小、性能却能达到奔腾级别的 PC Edison 芯片。英特尔公司的目标是基于硬件层面的智能再造，打破封闭的产业链体系，构建出一个新的科技生态系统。芯片领域的竞争使可穿戴计算继续延续个人计算机硬件时代的摩尔定律，ARM 公司和英特尔公司之间的竞争最终获利的将是整个产业，未来芯片领域将给人们带来更多惊喜。

可穿戴计算时代，CPU 不是唯一的芯片，单纯的 CPU 或 DSP 芯片并不是决定一款可穿戴产品好坏的首要依据，一款好的可穿戴设备必是 CPU 和 DSP 的完美组合。

2) 智能操作系统。可穿戴设备应用功能取决于设备能力和操作系统功能，从最早的单片机操作系统到目前的智能操作系统。iOS、Android 系统等移动互联网领域占据领先地位的智能操作系统也有向可穿戴领域延展的趋势。2014 年 3 月 19 日，美国谷歌公司宣布专为智能手表打造的操作系统 Android Wear 平台发布，在用户体验、数据分析和后台支持等方面都有不同于 Android 系统的地方。可穿戴设备的屏幕一般较小，有别于 Android 系统的体验。Android Wear 系统上用户体验上最大的不同表现在背景卡片（The Context Stream）和提示卡（The Cue Card）上。

背景卡片包含一系列纵向滚动的卡片，每个卡片上都会显示一段内容，当前屏幕只会显示一张卡片内容，用户可以通过滑动的方式滚动卡片来浏览不同的内容。

提示卡允许用户以语音的方式控制设备，当用户说出“Ok google”或者点击屏幕上“g”按钮的时候，提示卡就会打开，向上滑动就可以显示被点击的内容列表。

谷歌公司计划把 Android 系统在智能终端中的成功模式在可穿戴领域复制，和硬件厂商的合作方式跟 Android 系统类似，采用免费开源的方法提供给硬件厂商使用，目前已与韩国 LG、三星公司及我国台湾的华硕公司等厂商开展合作。可穿戴设备的屏幕导致目前 Google Wear 系统的操作体验并不友好，可穿戴设备上的触屏操作是否会像美国微软公司 Windows 操作系统的启动菜单一样成为“鸡肋”，相信在不远的未来会有答案。人们也相信未来将有更多转为可穿戴设备量身打造的智能系统，可穿戴设备的应用体验也将更为友好。

3) 电池相关技术。可穿戴设备本身较小，很难承载大容量的电池，且可穿戴设备一般会保持频繁的计算和网络通信，一般保持每天或者每周充电一次的频率。这都对电池技术、电源的使用管理、快速充电技术等提出较高的要求。电源容量有限已经成了制约可穿戴计算实际应用的重要因素之一。

太阳电池目前正朝向轻薄化、提高光电转换率和输出功率的方向发展，未来随着导电塑料和纳米材料在太阳电池领域的应用，光电转换率将可能有较大的突破。太阳电池将有希望作为可穿戴计算设备的外包面，提高设备的持久工作能力。

电池材料方面，美国伊利诺伊大学的研究人员将电池负极设计成 3D 纳米结构，开发的新型电池充电只需要数秒，既可保证超快速充电和放电，同时又能兼顾电池的储能容量，未来在可穿戴计算领域也将有广泛的应用场景。

另外，美国伦斯勒理工学院发明出一种纸电池，这种电池可以随意弯曲，并且能够生物降解。德国开姆尼斯电子纳米技术研究院研制出来的电池厚度小于 1mm，重量也可以控制在 1g 以内，而且还可以使用低成本的丝网印制工艺进行制造，单个电池电压为 1.5V，串联多个电池就可获得较高的电压的电池。美国斯坦福大学发明的纳米硅电池比传统充电电池的储电量提高了 10 倍。麻省理工学院研究人员设计的碳纳米管超级电池容量大、充电速度快。

随着电池相关技术的发展，相信未来可穿戴设备的续航能力将得到进一步加强。

4) 人机交互。人机交互技术领域除了语音识别日益成熟外,脑机接口技术是神经系统学科相对前沿的研究领域。美国杜克大学的科学家宣布通过脑机接口实现了猕猴远程控制机械臂。未来随着技术研究的突破,在实现假肢等设备的控制等医疗应用的基础之上,可穿戴设备的类别和范围也将扩大,或将会出现影响人类自身进化进程的可穿戴设备。

通过对驱动可穿戴设备技术现状和发展分析来看,未来将会有更多的可穿戴设备产生、融入并改善我们的生活,以往只在科幻电影中出现的场景将会逐渐变为现实。

1.4 物联网的标准体系

作为新生事物的物联网其实并不新,早在20世纪就已孕育产生,但是发展较为缓慢,时断时续,除技术基础的因素外,其主要原因在于物联网的体系不明、标准不清,致使人们认识模糊、过于笼统,未能进行有针对性的研究、开发。而物联网的技术高度集成、学科复杂交叉、综合应用广泛的自身特点,对物联网标准的创立增加很大难度。

标准是对技术研发的总结和提升,是国民经济和社会发展的重要技术基础,是国家和地区核心竞争力的基本要素,是产业规模化发展的先决条件。但是目前物联网没有形成统一标准,各个企业、行业都根据自己的特长定制标准,并根据自己企业或行业标准进行产品生产。这为物联网形成统一的端到端标准体系制造了很大的障碍。为物联网制定标准,应从以下几个方面入手。

从物联网标准化对象角度分析,物联网标准涉及的标准化对象可为相对独立、完整、具有特定功能的实体,也可以是具体的服务内容,可大至网络、系统,小至设备、接口、协议。各个部分根据需要,可以制定技术要求类标准和测试方法类标准,如图1-12所示。

从物联网学术研究角度分析,标准体系的建立应遵照全面成套、层次恰当、划分明确的原则。物联网标准体系可以根据物联网技术体系的框架进行划分,即分为网络传输层标准、感知控制层标准、应用服务层标准及共性支撑标准,见表1-5。

表 1-5 物联网标准体系

物联网标准体系	应用服务层标准	共性支撑标准
	网络传输层标准	
	感知控制层标准	

下面具体分析物联网三个层次的标准及共性支撑标准。物联网应用服务层标准涉及的领域广阔、门类众多,并且应用子集涉及行业复杂,服务支撑子层和业务中间件子层在国际上尚处于标准化研究阶段,还未制定出具体的技术标准,见表1-6。

表 1-6 应用服务层标准分类

应用服务层标准	行业应用类标准	智能交通、智能电力、智能环境等相关系列标准
	公众应用类标准	智能家居总体技术标准、智能家居联网技术标准、智能家居设备控制协议技术标准等
	应用中间件平台标准	物联网信息开放控制平台基本能力标准、物联网信息开放控制平台总体功能架构标准、信息服务发现平台标准、信息处理和策略平台标准等

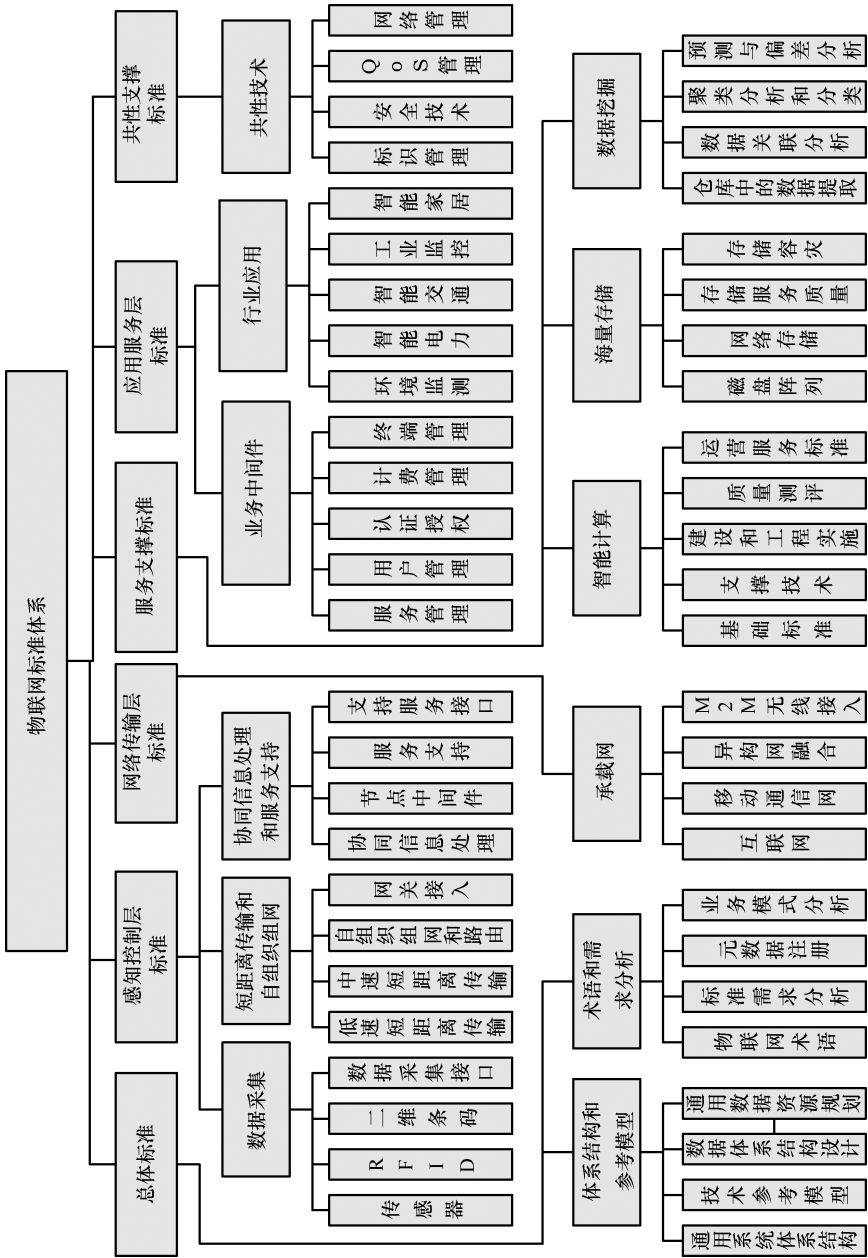


图 1-12 物联网标准体系框架

物联网网络传输层标准包括互联网相关标准、移动通信网相关标准、M2M 标准和异构融合标准等，见表 1-7。

表 1-7 网络传输层标准分类

网络传输层标准	物物通信无线接入标准	面向物物通信增强系统设备和接口的技术和测试标准等
	电信网增强标准	面向物物通信针对移动核心网络增强的技术标准等
	网络资源虚拟化标准	网络资源虚拟化调用技术标准、网络资源虚拟化的管理技术标准、网络虚拟化核心设备技术和测试标准等
	环境感知标准	认知无线电系统的技术标准，包括关键技术、未来应用、频谱管理的标准等
	异构网融合标准	不同无线接入网层面融合标准、不同无线接入技术在核心网层面融合标准等

物联网感知控制层标准领域包括数据采集技术标准、自组织组网和协同信息处理技术标准等。其中，RFID 技术标准、二维码技术及 IEEE 802.15 系列标准应用最广，见表 1-8。

表 1-8 感知控制层标准分类

感知控制层标准	短距离无线通信相关标准	基于 NFC 技术的接口和协议标准、低速物理层和 MAC ^① 层增强技术标准、基于 ZigBee 的网络层和应用层标准等
	RFID 相关标准	空中接口技术标准、数据结构技术标准、一致性测试标准等
	无线传感网相关标准	传感器到通信模块接口技术标准，节点设备技术标准等

① MAC: Medium Access Control，介质访问控制

共性支撑标准分别规范了物联网中物体标识的唯一性和解析方法，涉及各行业和社会生活的安全隐私解决方法、物联网的系统管理和服务质量问题等，见表 1-9。

表 1-9 共性标准内容

共性支撑标准	网络架构	物联网总体框架标准等
	标识解析	物联网络标识、解析与寻址体系标准等
	网络管理	物联网络管理平台标准、物联网络延伸网终端远程管理技术标准等
	安全	物联网安全防护系列标准、物联网安全防护评估测试标准等

物联网技术内容众多，所涉及的标准组织也较多，不同的标准组织基本上都按照各自的体系进行研究，采用的概念也各不相同。物联网覆盖的技术领域非常广泛，涉及总体架构、感知技术、通信网络技术、应用技术等各个方面。物联网标准组织有的从 M2M 通信的角度进行研究，有的从泛在网角度进行研究，有的从互联网的角度进行研究，有的专注传感网的技术研究，有的关注移动网络技术的研究，有的关注总体架构的研究。目前介入物联网领域主要的国际标准组织有 IEEE、ISO、ETSI、ITU-T、3GPP、3GPP2 等，具体研究方向和进展见表 1-10。

表 1-10 物联网标准研究组织及进展

ITU-T	2005 年开始进行泛在网的研究，研究内容主要集中在泛在网总体框架、标识及应用三个方面。对于泛在网的研究已经从需求阶段逐渐进入到框架研究阶段，但研究的框架模型还处在高层层面。在标识研究方面和 ISO 合作，主推基于对象标识的解析体系；在泛在网应用方面已经逐步展开了对健康和车载方面的研究
ETSI	采用 M2M 的概念进行总体架构方面的研究，相关工作的进展非常迅速，是在物联网总体架构方面研究得比较深入和系统的标准组织，也是目前在总体架构方面最有影响力的标准组织。主要研究目标是从端到端的全景角度研究机器对机器通信，并与 ETSI 内 NGN 的研究及 3GPP 已有的研究展开协同工作
3GPP 和 3GPP2	采用 M2M 的概念进行研究。作为移动网络技术的主要标准组织，3GPP 和 3GPP2 关注的重点在于物联网网络能力增强方面，是在网络层方面开展研究的主要标准组织。研究主要从移动网络出发，研究 M2M 应用对网络的影响，包括网络优化技术等。3GPP 对 M2M 的研究在 2009 年开始加速，目前基本完成了需求分析，已转入网络架构和技术框架的研究
IEEE	主要研究在物联网的感知层领域。目前无线传感网领域用得比较多的 ZigBee 技术就基于 IEEE 802.15.4 标准。在 IEEE 802.15 工作组内有 5 个任务组，分别制定适合不同应用的标准。这些标准在传输速率、功耗和支持的服务等方面存在差异。其中，中国参与了 IEEE 802.15.4 系列标准的制定工作，并且 IEEE 802.15.4c 和 IEEE 802.15.4e 主要由中国起草
WGSN	2009 年 9 月成立，主要研究偏重传感器网络层面。其宗旨是促进中国传感器网络的技术研究和产业化的迅速发展，加快开展标准化工作，认真研究国际标准和国际上的先进标准，积极参与国际标准化工作，建立和不断完善传感网标准化体系，进一步提高中国传感网技术水平
CCSA	2002 年 12 月成立，研究偏重通信网络和应用层面。主要任务是为了更好地开展通信标准研究工作，把通信运营企业、制造企业、研究单位、大学等关心标准的企事业单位组织起来，进行标准的协调、把关。2009 年 11 月，CCSA 新成立了泛在网技术工作委员会（即 TC10），专门从事物联网相关的工作

总体来说，物联网标准工作还处于起步阶段，目前各标准组织自成体系，标准内容涉及架构、传感、编码、数据处理、应用等，不尽相同。各标准组织都比较重视应用方面的标准制定。在智能测量、城市自动化、汽车应用、消费电子应用等领域均有相当数量的标准正在制定中，这与传统的计算机和通信领域的标准体系有很大不同（传统的计算机和通信领域标准体系一般不涉及具体的应用标准），这也说明了“物联网是由应用主导的”观点在国际上已成为共识。

经过上面的分析和总结，不难发现，“物联网”这个让许多人琢磨不定的概念的背后，是有着具体的体系结构和技术支持的，而这些技术和体系有着广泛的应用背景。可见，物联网显著特点是技术集成、应用为本。

1.5 物联网的应用领域

工业和信息化部已将物联网规划纳入到“十二五”的专题规划，列为国家重点发展的五大战略性新兴产业之一；明确提出，要发展宽带融合安全的下一代国家基础设施，推进物

联网的应用；并且物联网“十二五”规划已经锁定十大领域。下面简要介绍各个应用领域。

(1) 智能电网

采用物联网技术可以全面有效地对电力传输的整个系统，从电厂、大坝、变电站、高压输电线路直至用户终端进行智能化处理，包括对电力系统运行状态的实时监控和自动故障处理，确定电网整体的健康水平，触发可能导致电网故障发展的早期预警，确定是否需要立即进行检查或采取相应的措施，分析电网系统的故障、电压降低、电能质量差、过载和其他不希望的系统状态，并基于这些分析，采取适当的控制行动，如智能电网、路灯智能管理和智能抄表等。智能集中抄表设备，每个电表都通过无线模块，与居民集抄管理终端联系，终端再将这些信息发送给电力公司，从而不需要抄表员，也可以掌握居民的用电缴费情况。

目前，智能电网的主要项目应用有电力设备远程监控、电力设备运营状态检测、电力调度应用等。智能交通和智能物流主要应用于在车辆信息通信、车队管理、商品货物监测、互动式汽车导航、车辆追踪与定位等。

(2) 智能交通

将物联网应用于交通领域，可以使交通智能化。例如，司机可以通过车载信息智能终端享受全方位的综合服务，包括动态导航服务、位置服务、车辆保障服务、安全驾驶服务、娱乐服务、资讯服务等；通过交通信息采集、车辆环境监控、汽车驾驶导航、不停车收费等功能，可以提高道路利用率，改善不良驾驶习惯，减少车辆拥堵，实现节能减排，同时也有利于提高出行效率，促进和谐交通的发展。

“车-路”信息系统一直是智能交通发展的重点领域。继互联网、物联网之后，“车联网”又成为未来智能城市的另一个标志。车联网是指装载在车辆上的电子标签通过无线射频等识别技术，实现在信息网络平台上对所有车辆的属性信息和静、动态信息进行提取和有效利用，并根据不同的功能需求对所有车辆的运行状态进行有效的监管和提供综合服务。目前智能交通每年以超过1 000亿元的市场规模在增长，预计到2015年交通运输管理将达400亿元。

(3) 智能物流

物联网极大地促进了物流的智能化发展。在物流领域，通过物联网的技术手段，将物流智能化。在国家新近出台的《十大振兴产业规划细则》中明确物流快递业作为未来重点发展的行业之一。客观来说，快递业也以其行业特征被视为是最适宜同物联网结合的产业之一，这在国外已经有了很多尝试并已取得一定成绩。例如，发展较快的智能快递，是指基于物联网的广泛应用基础上，利用先进的信息采集、信息处理、信息流通和信息管理技术，通过在需要寄递的信件和包裹上嵌入电子标签、条形码等能够存储物品信息的标识，通过无线网络的方式将相关信息及时发送到后台信息处理系统。而各大信息系统可互联形成一个庞大的网络，从而达到对物品快速收寄、分发、运输、投递及实施跟踪、监控等智能化管理的目的，并最终按照承诺时限递送到收件人或指定地点，并获得签收的新型寄递服务。

(4) 智能家居

智能家居是利用先进的计算机、嵌入式系统和网络通信，将家庭中的各种设备（如照明、环境控制、安防系统、网络家电）透过家庭网络连接到一起。一方面，智能家居让用户更方便管理家庭设备；另一方面，智能家居内的各种设备相互间可以通信，且不需要人为操作，自组织地为用户服务。

人们意识到世界正在变“小”、地球正在变“平”，不论是经济、社会还是技术层面，

人们的生活环境和以往任何时代相比都发生了重大的变化。当前的金融海啸、全球气候变化、能源危机或者安全问题，迫使人们审视过去。也正是各种各样的危机，使人们能够站在一个面向未来全新发展的门槛上，人们希望生存环境也变得更具有“智慧”。由此诞生了智慧地球、感知中国、智能城市、智能社区、智能建筑、智能家居等新生名词，它们将真正地影响和改变人们的生活。

(5) 金融与服务业

物联网的诞生，把商务延伸和扩展到了任何物品上，真正实现了突破空间和时间束缚的信息采集、交换和通信，使商务活动的参与主体可以在任何时间、任何地点实时获取和采集商业信息，摆脱固定的设备和网络环境的束缚。这使得“移动支付”、“移动购物”、“手机钱包”、“手机银行”、“电子机票”等概念层出不穷。

(6) 精细农牧业

把物联网应用到农业生产，可以根据用户需求，随时进行处理，为设施农业综合生态信息自动监测、对环境进行自动控制和智能化管理提供科学依据。例如，可以实时采集温室内部温度、湿度信号及光照、土壤温度、二氧化碳浓度、叶面湿度、露点温度等环境参数，经由无线信号收发模块传输数据，实现对大棚温湿度的远程控制，自动开启或者关闭指定设备。

在粮库内安装各种温度、湿度传感器，通过联网将粮库内环境变化参数实时传到计算机或手机进行实时观察，记录现场情况以保证量粮库内的温湿度平衡。

在牛、羊等畜牧体内植入传感芯片，放牧时可以对其进行跟踪，实现无人化放牧。

(7) 医疗健康

将物联网技术应用于医疗健康领域，可以解决医疗资源紧张、医疗费用昂贵、老龄化压力等各种问题。例如，借助实用的医疗传感设备，可以实时感知、处理和分析重大的医疗事件，从而快速、有效地做出响应。乡村卫生所、乡镇医院和社区医院可以无缝地连接到中心医院，从而实时地获取专家建议、安排转诊和接受培训。通过联网整合并共享各医疗单位的医疗信息记录，从而构建一个综合的专业医疗网络。

(8) 工业与自动化控制

以感知和智能为特征的新技术的出现和相互融合，使得未来信息技术的发展由人类信息主导的互联网，向物与物互联信息主导的物联网转变。面向工业自动化的物联网技术是以泛在网络为基础、以泛在感知为核心、以泛在服务为目的、以泛在智能拓展和提升为途径的综合性一体化信息处理技术，并且是物联网的关键组成部分。物联网将会加快工业化进程，显著提高了人类的物质生活水平，并且推进我国流程工业、制造业的产业结构调整，促进工业企业节能降耗，提高产品品质，提高经济效益等方面发挥巨大推动作用。

因此，物联网在工业领域具有广阔的应用前景。近期，冶金流程工业、石化工业和汽车工业等都是物联网技术应用的热点领域。总之，基于物联网的工业自动化是人机和谐、智能制造系统发展的新历史阶段，一方面，物联网将改变工业的生产和管理模式，提高生产和管理效率，增强我国工业的可持续发展能力和国际竞争力；另一方面，工业是我国“耗能污染大户”，工业用能占全国能源消费总量的70%，工业化学需氧量、二氧化硫排放量分别占到全国总排放量的38%和86%，物联网技术的研究与推广应用将是我国工业实现节能降耗总目标的重要机遇。

(9) 环境与安全检测

安全问题是人们越来越关注的问题。人们可以利用物联网开发出高度智能化的安防产品或系统,进行智能分析判断及控制,最大限度地降低因传感器问题及外部干扰造成的误报,并且能够实现高精度定位,完成由面到点的实体防御及精确打击,进行高度智能化的人机对话等功能,弥补传统安防系统的缺陷,确保人们的生命和财产安全。

此外,物联网还可以用于烟花爆竹销售点监测、危险品运输车辆监管、火灾事故监控、气候灾害预警、智能城管、平安城市建设;还可以用于对残障人员、弱势群体(老人、儿童等)、宠物进行跟踪定位,防止走失等;还可以用于井盖、变压器等公共财产的跟踪定位,防止公共财产的丢失。

(10) 国防军事

物联网被许多军事专家称为“一个未探明储量的金矿”,正在孕育军事变革深入发展的新契机。物联网概念,对现有军事系统格局产生了巨大冲击。它的影响绝不亚于互联网在军事领域里的广泛应用,将触发军事变革的一次重新启动,使军队建设和作战方式发生新的重大变化。可以设想,在国防科研、军工企业及武器平台等各个环节与要素设置标签读取装置,通过无线和有线网络将其连接起来,那么每个国防要素及作战单元甚至整个国家军事力量都将处于全信息和全数字化状态。大到卫星、导弹、飞机、舰船、坦克、火炮等装备系统,小到单兵作战装备,从通信技侦系统到后勤保障系统,从军事科学试验到军事装备工程,其应用遍及战争准备、战争实施的每一个环节。可以说,物联网扩大了未来作战的时域、空域和频域,对国防建设各个领域产生了深远影响,将引发一场划时代的军事技术革命和作战方式的变革。

当然,物联网的应用并不局限于上述领域,用一句形象的话来说,就是“网络无所不达,应用无所不能”。至少有一点是肯定的,那就是物联网的出现和推广必将极大地改变人们的生活。

本章小结

本章主要介绍了物联网的起源和发展,给出了物联网的定义和架构;在探讨两个技术范畴的同时,提出了物联网的标准体系;最后介绍了物联网的应用领域。

习题与思考题

1. 简述物联网的定义。
2. 简述物联网应具备的三个特征。
3. 简述信息浪潮 15 年定律的内容。
4. 物联网的三大推动力分别是什么?
5. 简述物联网的三个层次。
6. 简述物联网的八层架构。
7. 画出物联网的框架模型。
8. 简述物联网的两大技术范畴。
9. 智能空间应具备的基本要求是什么?
10. 请说出物联网智能空间技术分类。
11. 请说出什么是物联网终端,它有什么作用?
12. 列举物联网的应用领域。

第 2 章 识别与定位技术

在物联网中，利用标签技术来识别物体和对象，实现的无接触信息传递的技术无疑成为物联网领域最热门的技术之一。标签技术又分为 EPC 条形码技术和 RFID 技术，作为近场通信的 NFC 技术为识别技术提供了有益的补充。

2.1 EPC 编码

2.1.1 EPC 编码协议

1999 年美国麻省理工学院一位教授提出了 EPC 开放网络（物联网）构想，在国际条码组织（EAN. UCC）、德国宝洁（P&G）、SAP 公司，英国吉列（Gillette）、英国电信公司，美国可口可乐、沃尔玛、联邦快递、雀巢、SUN、IBM 公司，荷兰飞利浦公司等全球 83 家跨国公司的支持下，开始了这个发展计划。并于 2003 年完成了技术体系的规模场地使用测试，于 2003 年 10 月在国际上成立 EPC GLOBLE 全球组织来推广 EPC 和物联网的应用。欧、美、日等发达国家和地区在全力推动符合 EPC 技术电子标签应用，全球最大的零售商美国沃尔玛公司宣布从 2005 年 1 月份开始前 100 名供应商必须在托盘中使用 EPC 电子标签，2006 年必须在产品包装中使用 EPC 电子标签。美国国防部及美国、欧洲、日本的生产企业和零售企业都制定了在 2004 ~ 2005 年实施电子标签的方案。

EPC 统一了对世界范围内的商品的标识编码的规则，并通过应用于 RFID 系统中，联合网络技术而组成了 EPC 系统。EPC 用数字信息的形式存储在和具体的商品实物固定在一起的 RFID 应答器中，其中 EPC 数字信息代表了该产品的生产地区、生产商、生产日期、产品属性等数据信息。例如，德国阿迪达斯公司生产的运动鞋，序列号唯一标识货品，它能精确地告诉人们某序列号对应的究竟是哪一双阿迪达斯鞋。

目前的 EPC 系统中应用的编码类型主要有三种：64 位、96 位和 256 位。EPC 由版本号、产品域名管理、产品分类部分和序列号四个字段组成。版本号字段代表了产品所使用的 EPC 的版本号，这一字段提供了可以编码的长度。产品域名管理字段标识了该产品生产商的具体信息，如厂商名字、负责人及产地。产品的分类字段可以使商品的销售商能够方便地对产品进行分类。序列号用于对具体单个产品进行编码。对于具体的编码标准现在已经推出有，EPC-96 I 型，EPC-64 I 型、II 型、III 型，EPC-256 I 型、II 型、III 型等编码方案。表 2-1 给出了 EPC 不同的编码规则。

如图 2-1 所示，EPC-64 I 型编码提供的占有两个数字位的版本号编码，21 位被分配给了具体的 EPC 域名管理编码，17 位被用于标识产品具体的分类信息，最后的 24 位序列具体的标识了具体的产品的个体。

表 2-2 EPC 系统构成

系统构成	名称	注释
产品 EPC	EPC 的编码标准	识别目标的特定代码
RFID 系统	EPC 标签	贴在物品之上或者内嵌在物品之中
	识读器	识读 EPC 标签
高层信息网络系统	Savant (神经网络软件)	EPC 系统的软件支持系统
	对象名称解析服务器 (Object Naming Service, ONS)	
	实体标记语言 (Physical Markup Language, PML)	

EPC 系统构架如图 2-3 所示。

其中对象名称解析服务器 (Object Naming Service, ONS), 它用来把 EPC 转化成 IP 地址, 用来定位相应的计算机和完成相应的信息交互服务。

PML 服务器中, 存储用 PML 描述的实物信息, 如实物名称、种类、性质、生产日期、生产厂商信息、实物存放位置、实物的使用说明等。由于电子标签存储容量有限, 不能保存大量的实物信息, PML 的使用解决了该问题。在电子标签内只存储电子产品编码, 其他的产品数据存储在 PML 服务器中, 通过产品的电子编码访问对应的 PML 服务器, 获取相关实物信息。用 PML 描述并存储在服务器中, 供系统调用和用户查询。

EPC 编码读写器读出商品中的 EPC 信息, 由 EPC 产品管理中间件, 传输到互联网, 经过网络传到 ONS, 找到该 EPC 对应的 IP 地址, 由 IP 地址找到 PML 服务器, 从产品信息数据库中, 获取相关实物信息并作相应处理。

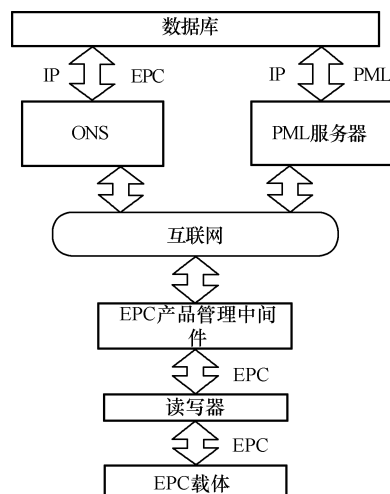


图 2-3 EPC 系统构架

2.1.3 EPC 条形码标签

条形码技术是集编码、印制、识别、数据采集和处理于一身的新型自动识别与数据采集技术, 其核心部分是条形码。条形码是将宽度不等的多个黑条和空白, 按照一定的编码规则排列, 用来表达信息的图形标识符。条形码有一维的, 还有二维的; 黑条和空白的排列就代表了商品的产品属性等特征信息, 因而在许多领域有广泛的应用。因其各自特点差异, 用途也各不相同, 日常多见到的是一维条码。一维条码是由一组宽度不同、反射率不同的平行相邻的线条和空白, 按照一定的编码规则和技术标准组合而成的, 用来表示某种数据信息的符号。它可通过条码专用扫描设备采集并译成计算机可识别和处理的二进制编码, 图 2-4 所示为一维条形码和二维条形码。

在 EPC 条形码的编码方式中有一维条形码与二维条形码的区别。其中在水平和垂直方向的二维空间存储信息的条码, 称为二维条形码, 可直接显示英文、中文、数字、符号、图



图 2-4 一维条形码与二维条形码

形；存储数据量大，可存放 1K 字符，可用扫描仪直接读取内容，无须另接数据库；保密性高（可加密）；安全级别最高时，损污 50% 仍可读取完整信息。而一维条形码只是在一个方向（一般是水平方向）表达信息，而在垂直方向则不表达任何信息，其一定的高度通常是为了便于阅读器对准。一维条形码的应用可以提高信息录入的速度，减少差错率，可直接显示内容为英文、数字、简单符号；存储数据不多，主要依靠计算机中的关联数据库；保密性能不高；损污后可读性差。二维条形码不仅能在很小的面积内表达大量的信息，而且能够表达汉字和存储图像。这样就可以把物品的相关信息全部存储在一个二维条形码中，要查看物品信息，只要使用扫描器识读二维条形码即可，因此不需要事先建立数据库来保存物品的信息，真正实现了用条形码对物品的描述。二维条形码具有信息容量大、修正错误能力强、可靠性极高、成本低等特点。由于它超强的纠错能力，即使大面积受损也能被准确识别。目前，二维条形码主要有 PDF417 码、Code49 码、Code 16k 码、Data Matrix 码、Maxi 码等，主要分为层排式和矩阵式两大类。表 2-3 给出了一维条形码和二维条形码的区别。

表 2-3 一维条形码与二维条形码的区别

项目/类型	一维条形码	二维条形码
资料密度与容量	密度低、容量小	密度高，容量大
错误侦测及自我纠正能力	可以检查码，进行错误侦测，但没有错误纠正能力	有错误检测及错误纠正能力，并可根据实际应用设置不同的安全等级
垂直方向的信息	不储存资料，垂直方向的高度是为了识读方便，并弥补印制缺陷或局部损坏	携带资料，对印制缺陷或局部损坏等能以错误纠正机制恢复资料
主要用途	主要用于对物品的标识	用于对物品的描述
资料库与网络依赖性	多数场合须依赖资料库及通信网络的存在	可不依赖资料库及通信网络的存在而单独应用
识读设备	可用线扫描识读，如光笔、线型 CCD、激光扫描枪	对于堆叠式可用线型扫描器的多次扫描，或可用图像扫描仪识读；矩阵式则仅能用图像扫描仪识读

2.1.4 EPC、条形码、RFID 标签的区别

EPC 是编码标准，规定了对具体不同商品的编码格式。条形码是应用了具体的 EPC 的

编码规则的条形标签，具体成本低廉，使用方便，缺点是编码容量不足。RFID 标签是存储了具体的 EPC 标准的产品编码信息的产品标签，它会因不同应用场合的具体要求而表现出不同的封装形式，如纽扣类、IC 卡类及条形码等。RFID 标签和日常看到的条形码的主要区别是，前者是与阅读器的信息交互的媒介，要通过射频，即电磁场，同时它也具备微型存储器、微处理器、天线等部件；而后者就是一个标签，并不具备以上几部分。

2.2 RFID 系统

RFID 直接继承了雷达的概念，并由此发展出一种生机勃勃的电磁新技术——RFID 技术。1948 年哈里·斯托克曼发表的文章“利用反射功率的通信”奠定了 RFID 的理论基础。在 20 世纪，无线电技术的理论与应用研究是科学技术发展最重要的成就之一。RFID 技术的发展可按 10 年期划分，见表 2-4。

表 2-4 RFID 技术的发展

1941—1950 年	雷达的改进和应用催生了 RFID 技术，1948 年奠定了 RFID 技术的理论基础
1951—1960 年	早期 RFID 技术的探索阶段，主要处于实验室实验研究
1961—1970 年	RFID 技术的理论得到了发展，开始了一些应用尝试
1971—1980 年	RFID 技术与产品研发处于一个大发展时期，各种 RFID 技术测试得到加速，出现了一些最早的 RFID 应用
1981—1990 年	RFID 技术及产品进入商业应用阶段，各种规模应用开始出现
1991—2000 年	RFID 技术标准化问题日趋得到重视，RFID 产品得到广泛采用，RFID 产品逐渐成为人们生活中的一部分
2001—今	标准化问题日趋为人们所重视，RFID 产品种类更加丰富，有源电子标签、无源电子标签及半无源电子标签均得到发展；电子标签成本不断降低，规模应用行业扩大；RFID 技术的理论得到丰富和完善；单芯片电子标签、多电子标签识读、无线可读可写、无源电子标签的远距离识别、适应高速移动物体的 RFID 正在成为现实

RFID 系统主要由应答器、阅读器和高层组成。其中，应答器是集成电路芯片形式，而集成芯片又根据它的封装不同表现的形式也不太一样。阅读器用于产生射频载波完成与应答器之间的信息交互的功能。高层功能是信息的管理和决策系统。本节将介绍 RFID 的基本组成原理、应答器和阅读器的功能、系统组成及信息交互的方式等。

2.2.1 应答器原理

RFID 是无线电领域的识别技术。在 RFID 系统中，识别信息存放于电子信息载体中，这个电子信息载体就是应答器，应答器在具体不同应用领域又表现为多种不同的形式：在服装商品中，这个应答器又表现为纽扣状的形式；在门禁领域，应答器被做成了 IC 卡的形式；还有人们十分熟悉的银行卡、饭卡、会员卡等。图 2-5、图 2-6 和图 2-7 给出了应用于不同场合的应答器形式。

应答器基本是由天线、编/解码器、电源系统、存储器、CPU、负载和时钟组成。应答器的基本组成框图如图 2-8 所示。

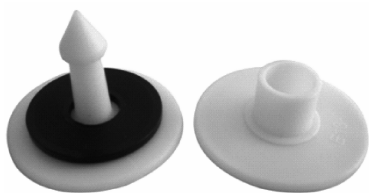


图 2-5 纽扣形式封装

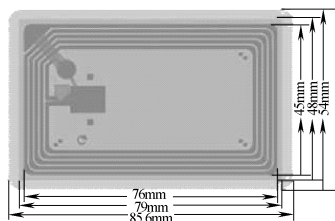


图 2-6 IC 卡形式封装



图 2-7 腕表形式封装

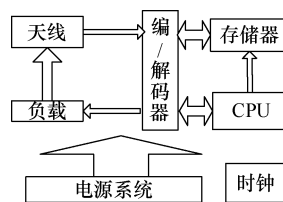


图 2-8 应答器的基本组成框图

其中的天线部分主要用于数据通信和获取射频能量，在天线获取射频磁场能量必须经过电源系统的整流滤波稳压后才能够给应答器的其他电路提供合格的直流电源。天线电路获得的载波信号的频率经过分频后，分频信号可以作为应答器 CPU、存储器、编解码电路单元工作所需的时钟信号。

应答器基本工作原理是，从读写器传来的控制信息，经过天线单元，编解码单元进行解调和解码传输到控制器，由控制器来完成控制指令所规定的操作；从读写器传来的数据信息，同样要经过解调和解码后，由控制器完成对数据信息的写入操作。相反，如果从应答器传送信息到阅读器，状态数据在控制器的控制下，从存储器中取出经过编码器和负载调制单元发送到阅读器。

RFID 的应答器的存储容量一般在几字节到几千字节。存储器存储的数据量一般为产品的序列号，如 EPC 编码，所以存储的容量一般不大。而这些序列号在 RFID 应答器出厂的时候，就按照商品所需要标明的信息存储到相应的存储器，如 EEPROM 和 SRAM。

EEPROM 是电感耦合方式的应答器所主要采用的存储器，但是它的写入过程要求的功率比较大，擦写的寿命大概有 10 万次。SRAM 的写入的速度很快，缺点是在保存数据方面。它需要有辅助的不能间断的电源供电，以保证数据正确的存储。

还有一种非易失性存储器——FRAM，它是一种铁电存储器，能兼容 RAM 的一切功能，并且和 ROM 技术一样。铁电存储器也称为非易失性的 RAM，如图 2-9 所示。

铁电存储器能够允许系统设计师更快、更频繁地写入数据，断电不易丢失。对于使用 EEPROM 的用户而言，这些是不能享受到的优良性能。数据收集包括数据获取和存储数据，而这些数据必须在掉电的情况下仍能保留（不是暂时性的或中间结果暂存）。这些就是具有基本收集数据功能的系统或者子系统，并会随着时间而不断发展出新的功能。

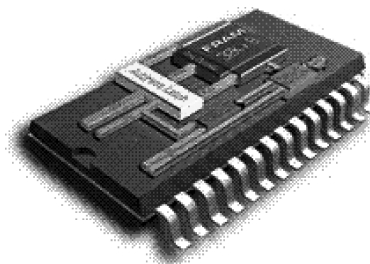


图 2-9 铁电存储器

控制器部分是整个应答器小系统的核心部分, 根据不同类型的应答器, 对控制器的要求也不一样, 对于可读可写的应答器, 就需要内部逻辑控制对读写的使能, 支持读写的操作。对于有密码功能的应答器, 就要要求控制器能够进行相应的数字验证操作。

如果应答器中具有了微控制器 (Micro- Control Unit, MCU), 就具有更强的功能, 就可以满足更广领域的要求, 如需要进行复杂的加密功能、身份验证识别等领域。

应答器的分类

应答器具体可以分为, 无源 (被动式) 应答器、半无源 (半被动式) 应答器和有源 (主动式) 应答器。

1) 无源 (被动式) 应答器, 顾名思义它本身是不带电源的, 当不与阅读器进行数据交互的时候, 应答器处于不工作状态。当此应答器进入阅读器的阅读范围后, 它可以通过天线系统从阅读器的射频电磁能量中获得工作需要的能量, 如图 2-10 所示。

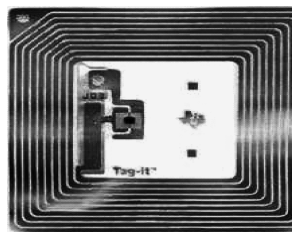


图 2-10 无源 (被动式) 应答器

图中黑色区域就是该应答器的 CPU、存储器、编解码功能单元, 外围印制铜模线即为应答器的天线单元。

2) 半无源 (半被动式) 应答器。该类型的应答器内部带有电源模块, 但是自带电源仅仅是起辅助作用的。该电源单元的作用多为维持存储器内部的数据状态和对应答器与阅读器信息交互的辅助作用。与阅读器进行数据传输时, 射频通信所需的能量由阅读器来提供。在没有信息交互过程时, 半无源应答器处于休眠状态; 当受阅读器射频磁场的激励作用时, 就才会使应答器进入正常的工作状态。

3) 有源 (主动式) 应答器。这种应答器工作所需的能量完全来自于自身的电源模块, 它会主动地与阅读器信息传输。由于这样就需要比较大能量供应, 所以有源应答器的体积往往比较大, 重量也较重。

2.2.2 阅读器部分

1. 阅读器的种类

RFID 阅读器 (读写器) 通过天线与 RFID 应答器进行无线通信, 可以实现对应答器识别码和内存数据的读出或写入操作。典型的阅读器包含有高频模块 (发送器和接收器)、控制单元、振荡电路及阅读器天线几部分。

RFID 阅读器频率分类和收音机类似, 射频应答器和阅读器同样要调制到相同的频率点才能工作。LF、HF、UHF 就分别对应着不同频率的射频频段。LF 代表低频射频, 在 125kHz 左右; HF 代表高频射频, 在 13.56MHz 左右; UHF 代表超高频射频, 在 850 ~ 910MHz 范围之内; 还有 2.4G 的微波阅读器。

在实际应用中, 有 4 种波段的频率: 低频 (125kHz), 高频 (13.56MHz), 超高频 (850 ~ 910MHz), 微波 (2.45GHz)。每一种频率都有它的特点而被用在不同的领域, 因此要正确使用就要先选择合适的频率。图 2-11 给出了应用在不同领域的 RFID 读写器。

不同的国家所使用频率也不尽相同: 欧洲的超高频是 868MHz, 美国的则是 915MHz, 日本目前不允许将超高频用到射频技术中。政府也通过调整阅读器的电源来限制它对其他器械的影响。有些组织, 如全球商务促进委员会, 正鼓励政府取消限制。标签和阅读器生产厂

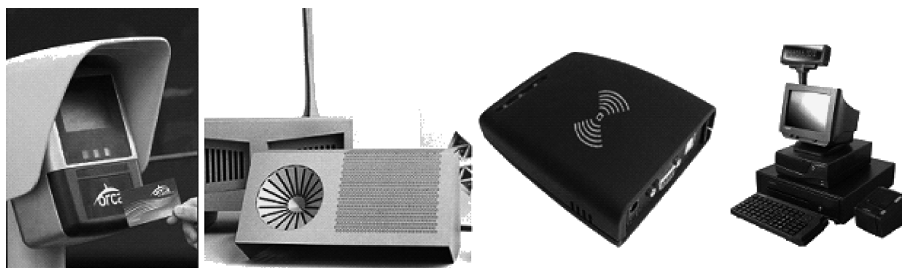


图 2-11 不同应用领域的 RFID 读写器

商也正在开发能使用不同频率系统避免这些问题。

目前，还不是所有的阅读器都能支持不同种类的标签。很多公司生产的阅读器，支持现有供应链中用的新标签的射频技术。一些阅读器只支持新的电子应答器，一些只支持某些生产厂商生产的特定应答器。

不同的频率有不同的特点，因此它们的用途也就形形色色，见表 2-5。例如，低频标签比超高频应答器便宜、节省能量、穿透金属物体力强，它们最适合用于含水成分较高的物体，如水果等。超高频作用范围广、传送数据速度快，但是它们比较耗能、穿透力较弱、作业区域不能有太多干扰，适合用于监测从海港运到仓库的物品。

表 2-5 不同频段的 RFID 应用特点

	低 频	高 频		超 高 频	微 波
工作频率	125 ~ 134kHz	13. 56MHz	JM13. 56MHz	868 ~ 915MHz	2. 45 ~ 5. 8GHz
市场占有率	74%	17%	2003 年引入	6%	3%
读取距离	1. 2m	1. 2m	1. 2m	4m (美国)	15m (美国)
速度	慢	中等	很快	快	很快
潮湿环境	无影响	无影响	无影响	影响较大	影响较大
方向性	无	无	无	部分	有
全球适用频率	是	是	是	部分 (欧盟, 美国)	部分 (非欧盟国家)
现有 ISO 标准	11784/85, 14223	18000-3. 1/14443	18000-3/2 15693, A, B 和 C	EPC C0, C1, C3, G2	18000-4
主要应用范围	进出管理、固定 设备、天然气、 洗衣店	图书馆、产品跟 踪、货架、运输	空运、邮局、 医药、烟草	货架、卡车、 拖车跟踪	收费站、集装箱

在射频读写器的应用中遇到的一个问题就是阅读器冲突，就是一个阅读器接收到的信息和另外一个阅读器接收到的信息发生冲突、产生重叠。解决这个问题的一种方法是使用 TD-MA 技术，简单来说就是阅读器被指挥在不同时间接收信号而不是同时，这样就保证了阅读器不会互相干扰。但是在同一区域的物品就会被读取两次，因此就要建立相应的系统去避免这种情况的发生。

2. 阅读器的性能参数

对于 RFID 产品来说,用来衡量阅读器的技术参数比较多,如系统使用的频率、协议标准、识别距离、识别速度、数据传输速率、存储容量、防碰撞性能标准等。这些技术参数相互影响和制约。

其中阅读器的技术参数有,工作频率、输出功率、数据传输速度、输出端口形式、容量要求、读写速度、封装形式、读写数据的安全性等。表 2-6 给出了常用阅读器参数。

表 2-6 常用阅读器参数

序 号	参 数	值
1	识别距离	远距离 (2 ~ 80m) 可调,只读
2	防冲突性能	多达同时识别 200 个的防冲突性能
3	工作频段	全球通行的 2.45GHz
4	功耗	独特的微功耗设计
5	通信机制	基于 HDLC 的时分多址和同步通信机制
6	识别能力	具有多通道高速识别能力
7	使用寿命	6 ~ 8 年使用寿命
8	封装	固态封装、抗高强度跌落与振动

(1) 工作频率

就 RFID 的频率特性来看,RFID 系统可以简单地分为,低频 (0 ~ 300kHz)、高频 (3 ~ 30MHz) 和超高频 (300 ~ 960MHz) 及微波系统 (2.45 ~ 1000GHz)。表 2-5 说明了不同频段的 RFID 应用特点。工作频率是 RFID 系统最基本的技术参数之一。在低频段,常见的应用是航空与航海导航系统、定时信号系统及军事上的应用。此外,在普通门禁上,低频系统也得到了非常广泛的应用。高频应用范围为新闻广播、电信服务、电感射频识别、遥控系统、远距离控制模拟系统、无线电演示设备及传呼台等。目前,国内较大型的应用为二代身份证的应用和学生火车优待证的应用。超高频 RFID 产品被推荐应用在供应链管理上。但是,超高频技术对于金属等可导媒介完全不能穿透。实践证明,由于高湿物品、金属物品对超高频无线电波的吸收与反射特性,超高频 RFID 产品对于此类物品的跟踪与识读是完全失败的。微波主要应用于 RFID、遥测发射器与计算机的无线网络。采用双频技术的 RFID 系统同时具有低频和高频系统各自的优点,能够广泛地运用在动物识别、导体材料干扰的环境及潮湿的环境等,如托盘、集装箱、水果箱、食品罐头等物流供应链场合、动物识别、人员门禁、运动计时等。

工作频率的选择在很大程度上决定了 RFID 系统的应用范围、技术可行性及系统的成本高低。从本质上说,RFID 系统是无线电传播系统,必须占据一定的无线通信信道。在无线通信信道中,射频信号只能以电磁耦合或者电磁波传播的形式表现出来。因此,射频识别系统的工作性能必然会受到电磁波空间传输特性的影响。

从电磁波的物理特性、识读距离、穿透能力等特性上来看,不同射频频率的电磁波存在较大的差异。特别是在低频和高频两个频段上。低频电磁波具有很强的穿透能力,能够穿透水、金属、动物等导体材料,但是传播距离比较近。另外,由于频率比较低,可以利用的频

带窄,数据传输速率较低,信噪比较低,容易受到干扰。

相比低频电磁波而言,要得到同样的传输效果,高频系统的发射功率较小,设备比较简单,成本也比较低。高频电磁波的数据传输速率较高,没有低频的信噪比限制。但是,高频电磁波的穿透能力较差,很容易被水等导体媒介所吸收,因此,高频电磁波对障碍物的敏感性较强。

(2) 作用距离

RFID 系统的作用距离指的是系统的有效识别距离。影响读写器识别电子标签有效距离的因素很多,主要包括了以下因素:读写器的发射功率、系统的工作频率和电子标签的封装形式等。其他条件相同时,低频系统的识别距离最近,其次是中高频系统、微波系统,微波系统的识别距离最远。只要读写器的频率发生变化,系统的工作频率就会随之改变。

RFID 系统的有效识别距离和读写器的射频发射功率呈正比。发射功率越大,识别距离也就越远。但是电磁波产生的辐射超过一定的范围时,就会对环境和人体产生有害的影响。因此,在电磁功率方面必须遵循一定的功率标准。应答器的封装形式也是影响阅读器识别距离的因素之一。RFID 电子标签的天线越大,即应答器穿过读写器的作用区域内所获取的磁通量越大,存储的能量也越大。实际阅读器所需要的作用距离取决于多种因素:应答器的定位精度;实际应用中多个应答器之间的最小距离;在读写器的工作区域内,RFID 电子标签的移动速度。通常在 RFID 应用中,选择恰当的天线,即可适应长距离读写的需要。例如,Fast Track 传送带式天线就是设计安装在滚轴之间的传送带上,REID 载体则安装在托盘或产品的底部,以确保载体直接从天线上通过。

(3) 数据传输速率

对于大多数数据采集系统来说,速度是非常重要的因素。由于当今不断缩短产品生产周期,要求读取和更新 RFID 载体的时间越来越短。数据传输速率又分为只读速率、无源读写速率、有源读写速率。

1) 只读速率,RFID 只读系统的数据传输速率取决于代码的长度、载体数据发送速率、读写距离、载体与天线间载波频率,以及数据传输的调制技术等因素。传输速率随实际应用中产品种类的不同而不同。

2) 无源读写速率,无源读写 REID 系统的数据传输速率决定因素与只读系统一样,不过除了要考虑从载体上读数据外,还要考虑往载体上写数据。传输速率随实际应用中产品种类的不同而有所变化。

3) 有源读写速率,有源读写 RFID 系统的数据传输速率决定因素与无源系统一样,不同的是无源系统需要激活载体上的电容充电来通信。很重要的一点是,一个典型的低频读写系统的工作速率可能仅为 100B/s 或 200B/s。这样,由于在一个站点上可能会有数百字节数据需要传送,数据的传输时间就会需要数秒,这可能会比整个机械操作的时间还要长。邮政速递(EMS)公司已经通过采用数项独到且专有的技术,设计出一种低频系统,其速率高于大多数微波系统。

(4) 安全要求

安全要求,一般指的是加密和身份认证。对一个计划中的 RFID 系统应该就其安全要求做出非常准确的评估,以便从一开始就排除在应用阶段可能会出现各种危险攻击。为此,要分析系统中存在的各种安全漏洞,攻击出现的可能性等。

(5) 存储容量

数据载体存储量的大小不同,系统的价格也不同。数据载体的价格主要是由电子标签的存储容量确定的。

对于价格敏感、现场需求少的应用,应该选用固定编码的只读数据载体。如果要向电子标签写入信息,则需要采用 EEPROM 或 RAM 存储技术的电子标签,系统成本会有所增加。

基于存储器的系统有一个基本的规律,那就是存储容量总是不够用。毋庸置疑,扩大系统存储容量自然会扩大应用领域。只读载体的存储容量为 20bit,有源读写载体的存储容量为 64 ~ 32KB。也就是说,在可读写载体中可以存储数页文本,这足以装入载货清单和测试数据,并允许系统扩展。无源读写载体的存储空间为 48 ~ 736B,它有许多有源读写系统所不具有的特性。

(6) RFID 系统的连通性

作为自动化系统的发展分支,RFID 技术必须能够集成现存的和发展的自动化技术。重要的是,RFID 系统应该可以直接与个人计算机、可编程逻辑控制器或工业网络接口模块(现场总线)相连,从而降低安装成本。连通性使 RFID 技术能够提供灵活的功能,易于集成到广泛的工业应用中去。

(7) 多电子标签同时识读性

由于系统可能需要同时对多个电子标签进行识别,因此,对读写器提供的多标签识读性也需要考虑。这与读写器的识读性能,电子标签的移动速度等都有关。

3. 阅读器的组成部分

RFID 阅读器是以一定的频率,特定的通信协议完成对应答器中信息的读取,鉴于不同的应用场合,阅读器的表现形式不同。阅读器基本组成模块如图 2-12 所示。

首先,MCU 是阅读器工作的核心,完成收发控制及对从应答器上传过来的数据进行提取和处理,同时完成与高层决策系统的通信。其中,通信接口可能是 USB、RS 232 或者其他接口形式。

振荡器电路产生能够满足阅读器整个系统频率,同时由振荡器产生的高频信号经过分频等处理后就作为待发送信号的载波。发送单元电路,需要对待发送的命令信号进行编码、调制及适当的功率放大,来使信号能够正确无误地被发送出。与之相对应的是接收单元,这部分包括整形、滤波、解调、解码等电路,接收单元完成从天线传输的高频信号中提取有用信号的功能。

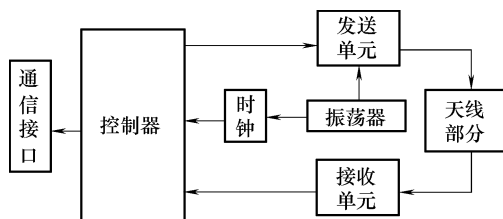


图 2-12 阅读器基本组成模块

4. 阅读器和应答器耦合方式

阅读器和应答器耦合的方式有多种方式,应用较为典型的是电感耦合,阅读器和应答器天线部分的电感线圈通过电磁场进行信息传输,如图 2-13 所示。

通过电磁场,应答器从阅读器那里获得能量,由于阅读器产生的磁场强度受电磁兼容性能有关标准的严格限制,所以应答器和阅读器必须距离比较近,应答器天线线圈上高频的电流产生的磁场穿过阅读器天线的线圈,这样两线圈的电磁场可以作为简单的交变磁场。应答器的天线线圈经过整流后即可产生应答器的直流工作电压,应答器和阅读器的天线线圈可以

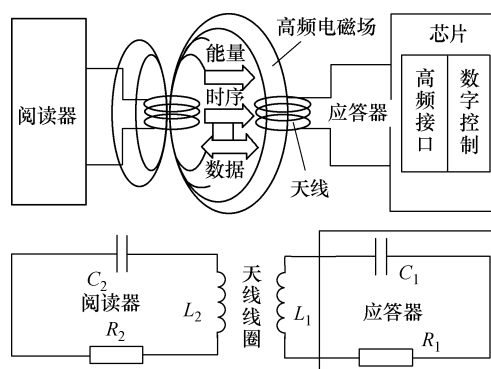


图 2-13 电感耦合

组成变压器的一次绕组和二次绕组，但是由于耦合的效率不高，应答器多获得的能量有限。

5. 数据信息的编码与调制

数据信号分为模拟信号和数字信号，模拟信号是在某些时间上连续变化的值，如温度、压力等都是模拟的信号，而数字信号是取一些离散的数字，如 01001010 等。在射频识别的读写器中存放的就是一个数字序列，这个数字序列就代表了一定的数据含义，如产品标示、产品产地、产品的性能等详细量化的数字信息。

通常，需要把一些模拟信号转换为数字信号，这样有利于计算机的处理，也有利于存储。此外数字信号还具有抗干扰性好的优点。把模拟信号变换为数字信号的过程，即模-数转换。从模拟信号到转换成数字信号分为三个阶段：

- 1) 采样，每隔一个相等的时间间隙，采集连续信号的一个样值。
- 2) 量化，将量值连续分布的样值，归并到有限个取值范围内。
- 3) 编码，用二进制数字代码，表达这有限个值域（量化区）。

2.2.3 RFID 天线部分

天线是一种以电磁波形式把前端射频信号功率接收或辐射出去的装置，是电路与空间的界面器件，用来实现导行波与自由空间波能量的转化。在 RFID 系统中，天线分为电子标签天线和读写器天线两大类，分别承担接收能量和发射能量的作用。当前的 RFID 系统主要集中在 LF、HF（13.56MHz）、UHF（860 ~ 960MHz）和微波频段，不同工作频段的 RFID 系统天线的原理和设计有着根本的不同。RFID 天线的增益和阻抗特性会对 RFID 系统的作用距离等产生影响，RFID 系统的工作频段反过来对天线尺寸及辐射损耗有一定要求。所以，RFID 天线设计的好坏关系到整个 RFID 系统的成功与否。

无线电发射机输出的射频信号功率，通过馈线（电缆）输送到天线，由天线以电磁波形式辐射出去。电磁波到达接收地点后，由天线接下来（仅接收很小一部分功率），并通过馈线送到无线电接收机。可见，天线是发射和接收电磁波的一个重要的无线电设备，没有天线也就没有无线电通信。

天线品种繁多，以供不同频率、不同用途、不同场合、不同要求等不同情况下使用。对于众多品种的天线，进行以下适当的分类是必要的：

- 1) 按用途分类，可分为通信天线、电视天线、雷达天线等。

- 2) 按工作频段分类,可分为短波天线、超短波天线、微波天线等。
- 3) 按方向性分类,可分为全向天线、定向天线等。
- 4) 按外形分类,可分为线状天线、面状天线等分类。

2.2.4 RFID 中间件

介于前端 RFID 读写器硬件模块和后端数据库与应用软件之间的中介,称为 RFID 中间件 (Middleware)。应用程序端使用中间件提供的一组通用的应用程序接口 (Application Program Interface, API),即能连接到 RFID 读写器,读取 RFID 标签数据。中间件实现对底层设备的精确控制、实时采集原始数据、对数据进行过滤,并在其中封装典型的应用逻辑,使系统接口简单透明,从而达到系统的协调工作。RFID 中间件位于企业应用程序与底层设备之间,提供统一的应用逻辑接口与设备接口,在实际应用中起到读写器的管理和数据的处理、传递功能。它的最终目的是数据为上层应用系统所用。RFID 中间件如图 2-14 所示,功能上可分为数据采集层和事件处理层。

1. 数据采集层

为屏蔽各类设备之间的差异,实现应用对设备的透明操作。中间件将每个设备 (阅读器、传感器等) 用统一的代理来模拟,由代理和设备直接交互。不同的设备,其代理处理的消息类型、处理的方法也不同。代理之间通过 UDP/IP 上的 XML 消息来交流信息。使用 XML 的优点是它的异构性、可扩展性、灵活性,适用于松耦合特性的分布式系统。数据采集层又细分为代理接口和缓冲两部分。

代理接口是中间件,为设备和应用层提供了双向接口,用代理来模拟设备接口。阅读器代理负责控制阅读器驱动、状态查询、接收 RFID 标签信息等工作,把设备传进来的数据转换成标准化格式,这样能更好地适应客户需要。在缓冲模块部分,由于 RFID 阅读器每秒会阅读到成千上万的标签,为防止溢出,采用线程来加速包的卸载,并将数据保存在即时队列中。这里线程和数据队列构成了一个缓冲机制,以满足计算机的实时处理要求,它可以从阅读器接收到的大量简单、重复、无序的数据,按要求平滑进行处理。每个阅读周期 (读周期是和读写器交互的最小单位) 线程接收一组 EPC 组合 (标签 EPC、阅读器 ID、时间戳),将其发送到消息队列,对其进行事件有效性验证,检查是否出现读写错误或漏读,实现对数据的初步过滤。正确读取的数据记录在数据库的 Observation 表中。

2. 事件处理层

事件处理层位于数据采集层和业务应用逻辑之间,主要分为事件处理和解析处理两部分。它根据上层系统发送的定义文件和回发地址,生成报告文件,报告反馈给系统。数据采集层提供了硬件的统一接口,事件处理层则定义了应用系统对 RFID 中间件的标准访问方式。它对原始 RFID 数据进一步处理,使数据转换为上层系统需要的形式。

在事件处理部分,数据流从代理接口和缓冲机制接收后,还存在着大量的冗余信息,需

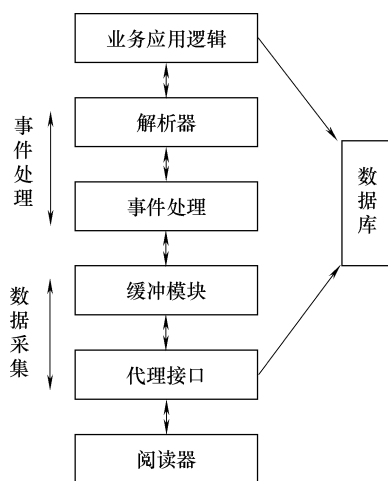


图 2-14 RFID 中间件

要对其进行相应的处理，如过滤、聚合，提取出有意义的事件。按解析机制发来的事件，以周期 T 对数据流进行提取操作，按上层定义的业务规则来判断事件类型，并存储在相应的文档中。

在事务处理中存在的大量重复，分为阅读器重复和标签重复。标签位于一个阅读器识读范围内时，阅读器就会不断地读取标签数据，直到标签离开为止，称为标签重复；另外，当标签同时处于多个阅读器的识读范围内时，它的数据也会被不同的阅读器重复读取。为解决上述问题，对标签重复，只记录标签第一次出现和最后一次出现的时间；对阅读器重复，一是在布置阅读器位置时考虑到交叠情况，尽量用最少的阅读器数量覆盖全部区域。同时过滤后的数据流蕴含大量的语义信息。事务处理根据具体的业务规则，对数据流进行分析，提取出有意义的信息。

在解析器部分，为了使得系统有着更好的可扩展性和可移植性。在数据采集层，代理兼容了不同的设备接口，使中间件与设备无关。而解析机制则将上层系统发来的定义文件转化为中间件可以理解的方式。事件周期 T 和具体业务规则都是由上层定义的，中间件只需按要求进行处理就可以了。报告文件由事务处理机制生成并发送到指定位置，同时在数据库记录。

3. 数据库支持

传统的数据库更新并不频繁地按设定的时间进行，然而 RFID 数据库的更新非常频繁。阅读器不断地读入原始数据，进行过滤、聚合处理后的数据要进行存储，上层应用程序又不断地进行查询，使得 RFID 数据库的构建和传统数据库不同，需要分层建立。RFID 数据库如图 2-15 所示。

底层是 RFID 原始数据库，过滤组合后的数据库位于第二层，然后是具体业务逻辑数据库，为方便查询，最上层由需要频繁查询的数据库组成。

快速查询数据库
业务逻辑数据库
过滤组合后的数据库
RFID 原始数据库

图 2-15 RFID 数据库

2.3 NFC 技术

随着科技的发展，通信的方便快捷及安全性成为人们追寻的目标。近场通信（Near Field Communication，NFC）技术因其所具备的特点，正逐渐受到人们的关注。同时，NFC 技术的完善，也促进了 NFC 手机的发展。NFC 手机在日本的应用较为广泛，日本几乎所有机场均支持 NFC 手机。韩国、欧洲等国也在逐步推进 NFC 手机的普及。NFC 技术的应用非常广泛，它不仅能完成移动支付、计时考勤、获取海报信息等功能，而且 NFC 可以为蜂窝设备、蓝牙设备、Wi-Fi 设备快速自动地建立无线网络，形成一种“虚拟连接”，使这些电子设备可以在近距离范围内通信。

2.3.1 NFC 工作原理

NFC 技术是一种短距离高频无线通信技术。NFC 技术由 RFID 技术及互联互通技术整合发展而来，将非接触读卡器、非接触卡和点对点功能整合进一块单芯片，使任意两个设备只需接近、无须接插线缆，即可实现设备间的通信。

NFC 技术通过电感耦合方式进行信息传递。NFC 的工作原理：具有 NFC 功能的设备启动后，可持续产生中心频率为 13.56MHz 的无线射频（Radio Frequency, RF）信号，如果有 NFC 标签在信号磁场波动范围出现，该标签将通过电磁感应产生的电流启动标签 RF 信号发生电路，产生频率属性改变后的回馈信号，读取器通过探测标签的回馈信号判断周围是否存在标签。之后两个 NFC 设备通过磁场感应能量传递及回馈信号获取与识别建立通信连接，以 NFC 接口协议（Near Field Communication-Interface and Protocol, NFCIP-1）实现近距离与 NFC 兼容设备的识别和数据交换。

2.3.2 NFC 工作模式

NFC 技术根据通信双方是否主动产生 RF 场分为主动、被动、双向三种通信模式以进行信息交换。

(1) 主动模式

此模式下 NFC 设备主动产生自己的 RF 场去识别、读/写其他 NFC 设备，实现非接触读卡器功能。NFC 终端作为 NFC 发起者产生 RF 场，感应到 NFC 目标设备存在时建立磁场感应连接，并按照选定的传输速度开始通信。NFC 目标设备接收到命令后，按相同的传输速度应答，完成 NFC 终端识别、读/写其他 NFC 设备的功能。

(2) 被动模式

此模式下 NFC 终端作为标签使用，在其他设备发出射频场后被读/写。NFC 终端作为目标设备，不必主动产生射频场，而是使用负载调制技术，只负责按 NFC 发起者选定的传输速度用负载调制数据应答。此种模式下的极大优点是即便手机没电也可以工作。

(3) 双向通信模式

也称为点对点通信模式，在此种模式下 NFC 发起者和 NFC 目标设备双方均产生射频场来建立通信，通过射频信息的处理建立通信连接，并按照选定的传输速度进行通信和应答。由于此种模式具有传输距离较短、传输创建速度较快、功耗较低的优点，因此两个 NFC 终端设备可进行数据的交换，可以应用于手持设备之间进行资料交换或者其他服务。

2.3.3 NFC 技术与其他通信技术的对比

和传统的近距通信技术相比，NFC 具有较高的安全性及连接建立的快速性。

RFID 技术通信范围一般为 5~6m。主要工作频率从 125kHz 到 2.45GHz。各个频段的传输速率不等，一般为 212Kbit/s。应用较为广泛，日常生活中常用的公交卡、身份证等识别卡都内置了 RFID 芯片，但是一个完整的 RFID 设备成本较高。

蓝牙技术通信范围约为 10m 以内，工作在 2.4GHz ISM 频段，用户速率为 1.0Mbit/s。建立连接时间需 6s。应用前景虽然广阔，但兼容性不好，使开发成本高，应用难度大。

红外通信技术通信范围小于 1m，传输速率达到 1.0Mbit/s，建立连接时间需 0.5s。利用光传输提升信息的安全性。缺点在于红外收发设备通信时须对齐，无法灵活地与其他设备构成通信网络。

NFC 技术的辨别技术来源于 RFID 技术，且具有双向的通信模式，能够进行数据交换，并结合无线网络协议来传输数据，通信范围在 20cm 以内，因此具有良好的安全性。工作在统一的 13.56MHz ISM 频段，在不同编码格式下传输速率可达到 106~424kbit/s（主动/被

动)、848 ~ 6 460 kbit/s (主动)。相比蓝牙和红外技术, NFC 建立连接时间较短, 只需 0.1 s。让用户只要将两个电子装置贴近在一起, 就可以安全地交换两个电子装置中各式各样的数据。NFC 采用特殊的密钥协议, 辅以安全通信信道, 使 NFC 技术与传统通信技术相比拥有更高的安全性。因此, NFC 具有距离近、带宽高、能耗低、安全性高等优势, 且能与现有非接触智能卡技术兼容, 提供各种设备间轻松、安全、迅速而自动的通信。

2.3.4 NFC 的应用前景

利用 NFC 建立连接时间短的优势, 让两个拥有 NFC 功能的装置快速建立起彼此通信的信道后, 在 NFC 技术基础上建立其他高速传输通道, 实现快速建立连接、快速传输数据的功能。因此, NFC 技术与蓝牙、Wi-Fi 等其他无线技术相互补充, 实现通信设备间的快速接入。如利用 NFC 快速建立连接后, 传递 Wi-Fi 局域网密码, 实现 NFC 技术和 Wi-Fi 技术的接合; 利用 NFC 的操作模式中的点对点模式, 以及两台 NFC 设备能在短时间内建立连接的优势, 来代替传统的蓝牙配对过程, 实现 NFC 技术和蓝牙技术的接合。

利用 NFC 技术具有很高安全性的优势, 将 NFC 技术与 Wi-Fi 加密技术融合, 实现 Wi-Fi 快捷、方便、安全地解密。在 NFC 手机平台上编写相应的软件, 使合法用户只需用手机轻触附着于无线路由器上的 NFC 标签, 即可成功接入该无线局域网。此技术能有效防止非法用户接入, 也增强了无线局域网的安全性。

利用 NFC 的高安全性和快速接入能力, 结合智能手机平台, 将推动未来对智能手机支付业务的展开, 同时也将推动物联网和移动互联网实现真正意义上的结合。利用其数据交换功能可以为社交网络提供实体接触点, 以增强“签到”体验; 此外还能够以文档、音频或视频的格式实现内容互通, 实现手持终端入 iPad、相机及手机之间数据通信。

NFC 技术拥有出色的安全保密性能及快速接入能力。NFC 技术与智能手机的融合、与加解密技术的融合及与传统通信技术的融合等方面, 在其产业链和移动通信运营商的推动下, 具有成为下一个未来支付交易及各设备间支持简单的数据传输的全球标准的潜质。

2.4 定位技术

随着无线通信技术和智能移动终端的广泛应用, 基于位置的服务 (Location Based Service, LBS) 得到飞速发展与普及。基于位置的服务是指移动终端利用各种定位技术获得当前位置信息, 再通过无线网络得到某项服务。早期的 LBS 系统主要用于在紧急情况下快速定位求助者的位置, 以实施救援。当前, LBS 已经广泛应用在军事、交通、物流、医疗、民生等领域中。例如, 司机可以利用内置 GPS 功能的智能手机查找最近的加油站, 也可制定行车线路。在大型博物馆 (如故宫博物馆) 内, 游客可以借助一个能感知位置的语音导游器来欣赏对各个藏品的讲解。

虽然 LBS 中的许多功能和传统的 GIS 系统相似, 但是 LBS 和 GIS 有许多本质的区别。GIS 系统通常可以利用较多的计算资源, 为少数专业技术人员提供专业的地理数据的分析和处理。而 LBS 则是为大量普通用户提供有限的地理数据服务, 并且这些服务要在资源有限的移动终端上运行。因此, 一个 LBS 提供商通常具备如下几方面特点:

高性能: 快速处理用户的查询请求, 以避免长时间等待;

可扩展性：能够支持大规模用户和数据；
高可靠性：保证系统长时间稳定运行；
实时性：支持实时查询动态信息；
移动性：无论移动终端在任何地点都可以为其提供服务；
开放性：支持多种公告协议和标准；
安全性：保护服务提供商的数据和用户的隐私；

互操作性：LBS 通常需要和其他电子商务服务集成在一起，因此需要有良好的互操作性。

基于位置的服务的基础是高质量地获取位置信息。定位技术主要有三类：卫星定位技术、基于网络的定位技术和感知定位技术。卫星定位技术是指利用太空中的人造卫星对移动对象进行定位，典型代表是 GPS。基于网络的定位技术是指利用网络基站（或者接入点）等基础设施对移动对象进行定位。当移动终端被某一网络覆盖区域感知时，由网络基站或控制点计算出该移动终端的位置，典型代表是移动通信网络（如 GSM、CDMA 等）。感知定位技术指在指定空间内部署传感器，当移动对象进入传感器的检测区域时，则能判定该对象的位置，典型代表是 RFID 技术。

2.4.1 卫星定位技术

目前在室外空间最为广泛使用的卫星定位技术是 GPS。GPS 是由美国国防部于 1978 年设计研制的，起初只用于军事用途。美国于 2000 年全面放开 GPS 对普通民众的使用权限，使得 GPS 广泛应用于民用交通导航。类似定位系统有欧洲的伽利略系统、俄罗斯的 GLO-NASS 系统。我国也已经实验开发了北斗 1 定位系统，北斗 2 定位系统正在研究中。GPS 能将终端的位置限制在经度、纬度、高度组成的三维坐标系统内。其他改进型技术还包括差分 GPS 技术和辅助 GPS 技术等。差分 GPS（Differential GPS）系统可以纠正卫星信号在电离层和对流层传输时的时间误差，进而提高精度。辅助 GPS（Assistant GPS）系统是指使用一些辅助数据（如地面的移动网络基站）来提高 GPS 在弱信号下的定位精度。当外部条件良好时，GPS 能够获得较佳的定位效果。但是 GPS 的精度较易受到周围环境的影响，如高大建筑、室内空间等。

2.4.2 基于网络的定位技术

这种定位技术往往依赖移动通信网络设施。移动通信网络通常通过源小区（Cell Of Origin, COO）进行定位，将移动终端定位在其注册的基站的覆盖范围内。因此，移动通信网络 COO 定位的精度和基站覆盖范围紧密相关。尽管使用一些辅助手段有助于提升精度，但总体来说这类定位技术的精度较低。此外，还可以依赖无线局域网进行定位，如 GPS 等。基于 GPS 的定位通常根据 GPS 访问点或热点（Access Point or Hotspot）的已知部署位置和信号强弱进行定位，主要有基于三边测量的方法和基于信号强度指纹的方法。基于三边测量的方法通过信号传递模型，将接收到的信号强度转换为到访问点的距离，进而利用三边测量法定位。但是由于室内影响信号强度的因素很多，这使得建立一个通用的信号传播模型并不简单，而模型的好坏直接影响定位的效果。基于信号强度指纹的方法首先将事先选择的室内空间每个参考点到所有 GPS 访问点的信号强度（即指纹）记录到数据库，终端根据当前自身

到所有访问点的信号强度信息在指纹数据库中查找与其最接近的参考点，并用该参考点的位置定位移动终端。这种方法的精度在很大程度上取决于参考点选取的数量和位置。

2.4.3 感知定位技术

感知定位技术适用于短距离识别。一般而言，需要一个信号发送端和一个信号接收端。当信号发送端和信号接收端相互间距离很小时，则能够被识别。RFID 就是一种典型的感知定位技术。RFID 系统通常包括两个组成部分：RFID 阅读器和 RFID 标签。RFID 阅读器能感知其覆盖区域内出现的 RFID 标签。当携带 RFID 标签的对象被某一 RFID 阅读器感知时，即可对该对象定位。该方法与移动通信网络的 COO 方法类似，但是 RFID 的覆盖区域要小很多，主要用于室内空间。这使得 RFID 定位的位置通常被限制在符号系统中。符号系统比几何坐标系统更适合描述室内空间，如人们通常用房间号码来指示一个室内位置，而不是通过经纬度。另一方面，通过 RFID 读卡器的部署信息，可以将符号系统的坐标转化为几何坐标系。因此，为了更好地利用 RFID 进行室内定位，需要综合考虑室内空间的平面规划和 RFID 阅读器的部署。此外，蓝牙、红外等也是比较典型的感知定位技术。表 2-7 总结了各类定位技术的特点。

表 2-7 各类定位技术对比

类 别	代表性技术	精度	覆盖范围	应用场景	定位坐标
卫星定位技术	GPS，北斗，伽利略	中高	广	室外	几何坐标
基于网络的定位技术	GSM，3G，CDMA，Wi-Fi	中低	较广	室外/室内	几何坐标
感知定位技术	RFID，蓝牙，红外	高	小	室内	符号坐标

由于室内、室外的环境不同，定位技术的工作原理不同，使得很难有一种定位技术能同时广泛地支持室内和室外定位。为了给服务提供商进行统一的室内外定位信息，需要在室内、室外定位技术之间进行切换。相对于室外空间的成熟定位技术，近年来对室内空间的各类定位技术的研究比较集中。但大部分研究集中在如何提高某一个特定技术的定位精度。另外，如何通过多种室内定位技术获得更精确的位置信息也有较高的研究价值，即提供一种通用的室内定位模型。

本章小结

本章介绍了 EPC 的协议、系统结构及条形码标签；从应答器、阅读器、天线和中间件几个层面论述了 RFID 系统；介绍了 NFC 的工作原理和工作模式；最后概述了定位技术。

习题与思考题

- 1. 什么是 EPC?
- 2. 请简要地叙述 EPC 系统的组成，以及各个部分的英文简写。
- 3. EPC 的编码有几种技术要求？每种要求具体是如何要求的？
- 4. 条形码分为几种？请简要说明每种条形码的特点。
- 5. 简述 RFID 识别技术的发展史。

6. RFID 系统基本组成部分有哪些?
7. 电子标签分为哪几种? 简述每种标签的工作原理。
8. RFID 产品的基本的衡量参数有哪些?
9. 简述天线的工作原理。
10. 请说出 RFID 天线主要分为哪几种?
11. 简述 NFC 的工作原理。
12. 请比较 NFC 和其他通信技术。
13. 简述定位技术。

第3章 传感器与无线传感器网络技术

传感器技术是物联网的基础技术之一，处于物联网构架的感知层。物联网的发展给传统的传感器发展带来了前所未有的挑战，作为构成物联网的基础单元——传感器，在物联网信息采集层面，能否完成它的使命，成为物联网成败的关键。传感技术与现代化生产和科学技术的密切关系，使传感技术成为一门十分活跃的技术学科，几乎渗透到人类的一切活动领域，发挥着越来越重要的作用。

3.1 传感器基础知识

3.1.1 传感器的概念

传感技术与信息科学息息相关，在信息科学领域里，传感器被认为是生物体“五官”的工程模拟物。它是自动检测和自动转换技术的总称。它是以研究自动检测系统中的信息获取、信息转换和信息处理的理论和技术为主要内容的一门综合性的技术学科，与计算机、通信和自动化控制技术构成一条从信息的采集、处理、传输到应用的完整信息链。

传感器是一种能把特定的被测信号，按一定规律转换成某种可用信号输出的器件或装置，以满足信息的传输、处理、记录、显示和控制等要求。这里“可用信号”是指便于处理、传输的信号一般为电信号如电压、电流、电阻、电容、频率等。在人们的生活里处处都在使用着各种各样的传感器，如电视机、音响、VCD、空调遥控器等所使用的是红外线传感器；电冰箱、微波炉、空调机温控所使用的是温度传感器；家庭使用的煤气灶、燃气热水器报警所使用的是气体传感器；家用摄像机、数码照相机、上网聊天视频所使用的是光敏传感器；轿车所使用的传感器就更多，如速度、压力、油量、角度线性位移传感器等。这些传感器的共同特点是利用各种物理、化学、生物效应等实现对被测信号的测量。由此可见在传感器中包含两个不同的概念：一是检测信号；二是能把检测的信号转换成一种与被测量有对应的函数关系的而且便于传输和处理的物理量。例如，家庭常使用的遥控器是把光信号转换成电信号；楼道照明的声控开关是把声音转换成电信号。所以传感器又经常被称为变换器、转换器、检测器、敏感元器件、换能器等。这些不同的称谓反映在不同的学科领域中是根据同一类型的器件在不同领域中的应用而得来的。

近年来，由于信息科学和半导体微电子技术的不断发展，使传感器与微处理器、微型计算机有机地结合传感器的概念，又得到了进一步的扩充。例如智能传感器，它是集信息检测和信息处理于一体的多功能传感器。与此同时在半导体材料的基础上，运用微电子加工技术发展起各种门类的敏感元器件。它们被称为固态敏感元器件，如光敏元器件、力敏元器件、温敏元器件、磁敏元器件、压敏元器件、气敏元器件、物敏元器件等。随着光通信技术的发展近年来利用光纤的传输特性已研究开发出不少光纤传感器。

目前，传感器技术的含义在不断扩充和发展，已成为一个综合性的交叉学科，涉及国

防、工业、农业、民用等各个领域，所以传感器是高智能技术的标志，也是现代科学发展的基础。

3.1.2 传感器的组成

传感器由两个基本元器件组成：敏感元器件与转换元器件。

在完成非电量到电量的变换过程中，并非所有的非电量参数都能一次直接变换为电量，往往是先变换成一种易于变换成电量的非电量（如位移、应变等），然后再通过适当的方法变换成电量。所以，把能够完成预变换的器件称为敏感元器件。在传感器中，建立在力学结构分析上的各种类型的弹性元件（如梁、板等）的敏感元器件统称为弹性敏感元器件。而转换元器件是能将感觉到的被测非电量参数转换为电量的器件，如应变计、压电晶体、热电偶等。转换元器件是传感器的核心部分，是利用各种物理、化学、生物效应等原理制成的。新的物理、化学、生物效应的发现，常被用到新型传感器上使其品种与功能日益增多，应用领域更加广泛。

应该指出的是，并不是所有的传感器都包括敏感元器件与转换元器件，有一部分传感器不需要起预变换作用的敏感元器件，如热敏电阻、光敏器件等。传感器的基本组成如图 3-1 所示。

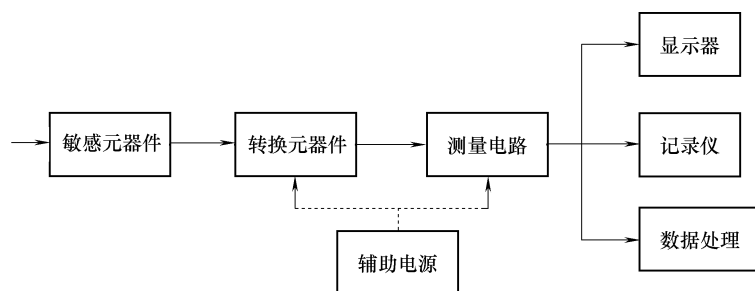


图 3-1 传感器的基本组成

3.1.3 传感器的分类

传感器的分类方法很多，比较常见的有下述几种。

1. 按输入量（被测对象）分类

输入量即被测对象，按此方法分类传感器，可分为物理量传感器、化学量传感器和生物量传感器三大类（见表 3-1）。其中，物理量传感器又可分为温度传感器、压力传感器、位移传感器等。这种分类方法给使用者提供了方便容易根据被测对象来选择所需要的传感器。

2. 按输出量分类

传感器按输出量不同，可分为模拟式传感器和数字式传感器两类。模拟式传感器是指传感器的输出信号为模拟量。数字式传感器是指传感器的输出信号为数字量。

3. 按基本效应分类

根据传感技术的基本效应，可以将传感器分为物理型、化学型、生物型。物理型是指依靠传感器的敏感元器件材料本身的物理特性变化来实现信号的变换。例如，水银温度计是利用水银的热胀冷缩现象，把温度变化转变为水银柱的高低变化，从而实现对温度的测量。

表 3-1 传感器的分类

按被测 量分类	物理量 传感器	力学量	压力传感器、力传感器、力矩传感器、速度传感器、加速度传感器、流量传感器、位移传感器、位置传感器、尺度传感器、密度传感器、粘度传感器、硬度传感器、浊度传感器
		热学量	温度传感器、热流传感器、热导率传感器
		光学量	可见光传感器、红外光传感器、紫外光传感器、照度传感器、色度传感器、图像传感器、亮度传感器
		磁学量	磁场强度传感器、磁通传感器
		电学量	电流传感器、电压传感器、电场强度传感器
		声学量	声压传感器、噪声传感器、超声波传感器、声表面波传感器
		射线	x 射线传感器、 β 射线传感器、 γ 射线传感器、辐射剂量传感器
	化学量 传感器	离子传感器、气体传感器、湿度传感器	
	生理量 传感器	生物量	体压传感器、脉搏传感器、心音传感器、体温传感器、血流传感器、呼吸传感器、血容量传感器、体电图传感器
		生化量	酶式传感器、免疫血型传感器、微生物型传感器、血气传感器、血液电解质

化学型是指依靠传感器的敏感元器件材料本身的电化学反应来实现信号的变换，如气敏传感器、湿度传感器。

生物型是利用生物活性物质选择性的识别，来实现测量。即依靠传感器的敏感元器件材料本身的生物效应，来实现信号的变换。待测物质经扩散作用，进入固定化生物敏感膜层经分子识别，发生生物学反应产生的信息，被相应的化学或物理换能器，转变成可定量和可处理的电信号，如微生物传感器、免疫传感器。

4. 按工作原理进行分类

按其工作原理传感器可分为应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、热电式传感器等。这种分类方法通常在讨论传感器的工作原理时使用。

5. 按能量变换关系进行分类

按能量变换关系，传感器可分为能量变换型传感器和能量控制型传感器。

能量变换型传感器又称为发电型或有源型传感器，其输出端的能量是由被测对象取出的能量转换而来的。它无须外加电源就能将被测的非电量转换成电量输出；它无能量放大作用且要求从被测对象获取的能量越小越好。这类传感器包括热电偶、光电池、压电式传感器、磁电感应式传感器、固体电解质气敏传感器等。

能量控制型传感器，又称为参量型或无源型传感器。这类传感器本身不能转换能量，其输出的电能量必须由外加电源供给，而不是由被测对象提供的。但被测对象的信号控制着由电源提供给传感器输出端的能量，并将电压（或电流）作为与被测量相对应的输出信号。由于能量控制型传感器的输出能量，是由外加电源供给的，因此传感器输出端的电能，可能大于输入端的非电能量。所以，这种传感器具有一定的能量放大作用。属于这种类型的传感器包括电阻式、电感式、电容式、霍尔式、谐振式和某些光敏传感器等。

3.1.4 几种常用传感器介绍

1. 温度传感器

温度是表征物体冷热程度的物理量。在人类社会的生产、生活和科研中温度的测量都占有重要的地位。温度传感器用于家电产品中的空调、干燥器、电冰箱、微波炉等；还可用来控制汽车发动机，如测定水温、吸气温度等；也广泛用于检测化工厂的溶液和气体的温度。但是温度不能直接测量，只能通过物体随温度变化的某些特性来间接测量。

温度传感器有各种类型，根据敏感元器件与被测介质接触与否可分为接触式和非接触式两大类。按照传感器材料及电子元器件特性分为热电阻和热电偶两类。在选择温度传感器时，应考虑到诸多因素，如被测对象的湿度范围、传感器的灵敏度、精度和噪声、响应速度、使用环境、价格等。

2. 湿度传感器

随着时代的发展湿度及对湿度的测量和控制对人们的日常生活显得越来越重要，如气象、科研、农业、暖通、纺织、机房、航空航天、电力等部门，都需要采用湿度传感器来进行测量和控制，对湿度传感器的性能指标要求也越来越高。目前，现代工业中对环境温、湿度的控制及对工业材料水分值的监测与分析都已成为比较普遍的技术条件之一。

水分子具有较大的电偶极矩。在氢原子附近有极大的正电场，因而它具有很大的电子亲和力和力，使得水分子易于吸附在固体表面并渗透到固体内部。利用水分子这一特性制成的湿度传感器称为水分子亲和力型传感器。而把与水分子亲和力无关的湿度传感器，称为非水分子亲和力型传感器。在现代工业测量中使用的湿度传感器大多是水分子亲和力型传感器。它们将湿度的变化转换成阻抗或电容值的变化后输出。图 3-2 所示为湿度传感器的分类。

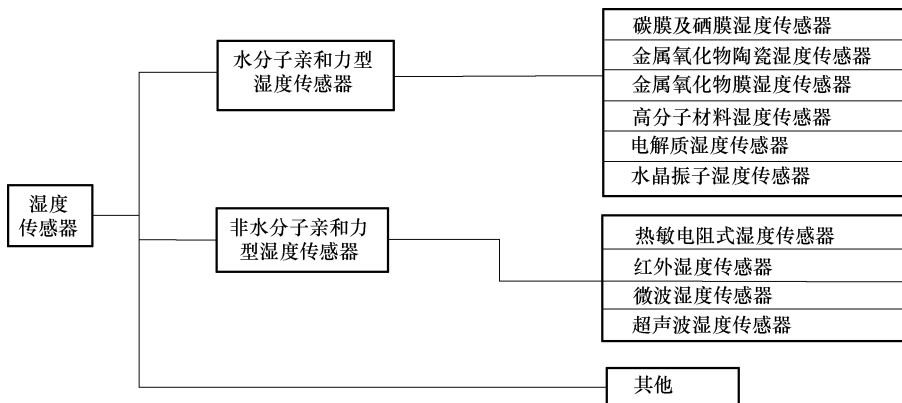


图 3-2 湿度传感器的分类

高分子湿敏材料利用的是自身的吸湿性及离子导电性。它的特点是，测湿范围宽，可借用已有的技术及薄膜制造技术，在同一基片上同时制造出许多芯片，因此一致性好。这样就

可以低成本、小型化、质量轻,有利于湿度传感器与外围电路的一体化、集成化和智能化。

有机高分子湿度传感器的种类繁多,按照原理可分为电学量变化型和质量变化型两大类。目前常用的是电学量变化型,即高分子电阻式湿度传感器和高分子电容式湿度传感器。

目前,国外生产集成湿度传感器的主要厂商及典型产品分别为美国霍尼韦尔公司 HIH-3602、HIH-3605、HIH-3610 型,法国 Humirel 公司 HM1500、HM1520、HF3223、HTF3223 型,瑞士盛思锐公司 SHT11、SHT15 型湿度传感器。这些产品可分成以下三种类型:

(1) 线性电压输出式集成湿度传感器

典型产品为 HIH3605/3610、HM1500/1520 型。其主要特点是采用恒压供电内置放大电路能输出与相对湿度呈比例关系的伏特级电压信号,响应速度快、重复性好、抗污染能力强。

(2) 线性频率输出集成湿度传感器

典型产品为 HF3223 型。它采用模块式结构属于频率输出式集成湿度传感器在 55% RH 时的输出频率为 8 750Hz (型值);当相对湿度从 10% RH 变化到 95% RH 时输出频率就从 9 560Hz 减小到 8 030Hz。这种传感器具有线性度好、抗干扰能力强、便于配数字电路或单片机、价格低等优点。

(3) 频率/温度输出式集成湿度传感器

典型产品为 HTF3223 型。它除具有 HF3223 型湿度传感器的功能以外,还增加了温度信号输出端,利用负温度系数 (Negative Temperature Coefficient, NTC) 热敏电阻作为温度传感器。当环境温度变化时其电阻值也相应改变,并且从 NTC 端引出配上二次仪表即可测量出温度值。

3. 超声波传感器

声波是一种机械波,是机械振动在介质中的传播过程。人们能听到声音是由于物体振动产生的,它的频率在 20Hz~20kHz 的范围内。低于 20Hz 的称为次声波,超过 20kHz 称为超声波。常用的超声波频率为几十千赫到几十兆赫。

超声波是一种在弹性介质中的机械振荡,有两种形式:横向振荡(横波)及纵向振荡(纵波)。在工业中应用主要采用纵向振荡。超声波可以在气体、液体及固体中传播,其传播速度不同。另外,它也有折射和反射现象,并且在传播过程中有衰减。在空气中传播的超声波的频率较低,一般为几十千赫;而在固体、液体中则可用频率较高的超声波。在空气中衰减较快且而在液体及固体中传播衰减较小且传播较远。利用超声波的特性可做成各种超声传感器配上不同的电路,制成各种超声测量仪器及装置,并在通信医疗家电等各方面得到广泛应用。

超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波,由换能晶片在电压的激励下,发生振动产生超声波。它具有频率高、波长短、绕射现象小,特别是方向性好,能够成为射线而定向传播等特点。超声波对液体、固体的穿透本领很大,尤其是在不透阳光的固体中它可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面,会产生显著反射,形成反射回波碰到活动物体能产生多普勒效应。因此,超声波检测广泛应用于工业、国防、生物医学等方面。

超声波探头主要由压电晶片组成,既可以发射超声波也可以接收超声波。小功率超声探

头多作探测用。它有许多不同的结构，可分直探头（纵波）、斜探头（横波）、表面波探头（表面波）、兰姆波探头（兰姆波）、双探头（一个探头反射、一个探头接收）等。

超声波传感器主要材料有压电晶体（电致伸缩）及镍铁铝合金（磁致伸缩）两类。电致伸缩的材料有锆钛酸铅（PZT）等。压电晶体组成的超声波传感器，是一种可逆传感器。它可以将电能转变成机械振荡而产生超声波，同时它接收到超声波时也能转变成电能，所以它可以分成发送器或接收器。有的超声波传感器既能发送也能接收。

4. 气敏传感器

人类的日常生活和生产活动与周围的环境密切相关，现代生活接触到的易燃、易爆、有毒等对人体有害的气体日益增多，如氢气、天然气、液化石油气、一氧化碳等。气敏传感器就是能够感知环境中某种气体及浓度，从而对环境进行检测、监控、报警的一种敏感器件。

气体传感器是指将被测气体浓度转换为与其成一定关系的电量输出的装置或器件。被测气体的种类繁多，它们的性质也各不相同。所以，不可能用一种方法来检测各种气体，其分析方法也随气体的种类、浓度、成分和用途而异。

气敏传感器是暴露在各种成分的气体中使用的。由于检测现场温度、湿度的变化很大。又存在大量粉尘和油雾等。所以，其工作条件较恶劣，而且气体对传感元器件的材料会产生化学反应物，附着在元器件表面，往往会使其性能变差。所以对气敏传感器有下列要求：能够检测报警气体的允许浓度和其他标准数值的气体浓度，能长期稳定工作，重复性好、响应速度快、共存物质所产生的影响小等。

由于被测气体的种类繁多、性质各不相同，不可能用一种传感器来检测所有气体，所以气敏传感器的种类也有很多。近年来，随着半导体材料和加工技术的迅速发展，实际使用最多的是半导体气敏传感器这类传感器。

气敏传感器的种类繁多，表 3-2 给出了常见气敏传感器的类型及特征。

表 3-2 常见气敏传感器的类型及特征

名 称		检测原理	检测对象	特 点
半导体方式	氧化物系	若气体接触到加热的金属氧化物（SnO ₂ 等），金属氧化物的电阻值就增大或减少	还原性气体、城市排放气体、丙烷气等	灵敏度高，构造与电路简单，但输出与气体浓度不呈比例
	气敏二极管	利用 Pb、Pt 等金属材料对 H ₂ 吸附敏感使功函数改变的原理制成	H ₂	灵敏度高、结构简单
	气敏 MOSFET			
固体电解质		化学溶剂与气体反应产生的电流、颜色、电导率的增加等	O ₂ 、CO、H ₂ 、CH ₄ 等	气体选择性好，但不能重复使用
接触燃烧方式		可燃性气体接触到氧气会燃烧使得作为敏感材料的铂丝温度升高，电阻值相应增大	燃烧气体	输出与气体浓度呈比例，但灵敏度较低

(续)

名 称		检 测 原 理	检 测 对 象	特 点
其他类型	光干涉式	利用与空气的折射率不同而产生的干涉带	与空气折射率不同的气体	寿命长，但选择性差
	热传导方式	根据热传导率差而放热的发热元器件的温度降低进行检测	与空气热传导率不同的气体	构造简单，但灵敏度低，选择性差
	红外线吸收散射方式	由于红外线照射气体分子谐振而吸收或散射量来检测	CO、CO ₂ 等	能定性测量，但装置大，价格贵

半导体气敏器件具有灵敏度高、响应时间长、恢复时间短、使用寿命长和成本低等特点, 所以半导体气敏传感器在实际中应用很广, 气体报警器是对泄露气体达到危险限值时自动进行报警的仪器。设计报警器时, 应特别注意选择开始报警浓度, 既不要选得过高也不要选得过低, 选高了, 灵敏度低, 容易造成漏报, 达不到报警的目的; 选低了, 灵敏度过高, 容易造成误报。一般情况下, 对于甲烷、丙烷等气体, 都选择在爆炸下限的 1/10, 在家庭用报警器中, 考虑到温度、湿度和电源电压的影响, 开始报警浓度应有一定的范围; 出厂前按标准条件调整好, 以确保环境条件变化时, 不至于发生误报或漏报。

使用气体报警器可根据使用气体的种类不同, 分别安放在易检测气体泄露的地方, 如丙烷、丁烷气体报警器, 安放于气体源附近地板上方 20cm 以内; 甲烷和一氧化碳报警器, 安放于气体源上方靠近天棚处。这样就可以随时检测气体是否漏气, 一旦泄露的气体达到一定危险程度, 便自动产生报警信号, 进行报警。

3.1.5 传感器的基本特性

1. 静态特性

传感器的静态特性是指, 被测量的值处于稳定状态时的输出和输入关系。只考虑传感器的静态特性时, 输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。衡量静态特性的重要指标是线性度、灵敏度、迟滞和重复性等。

(1) 线性度

传感器的线性度是指传感器实际输出-输入特性曲线与理论直线之间的最大偏差与输出满度值之比, 即

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_m} \times 100\%$$

式中 γ_L ——线性度;

$\Delta_{\max}$ ——最大非线性绝对误差;

Y_m ——输出满度值。

线性度又称为非线性误差。通常总是希望输出-输入特性曲线为线性, 但实际的输出-输入特性只能接近线性, 实际曲线与理论直线之间存在的偏差就是传感器的非线性误差。

(2) 灵敏度

传感器的灵敏度是指，传感器在稳定标准条件下输出变化量与输入变化量的比值，即

$$K = \frac{d_y}{d_x}$$

式中 K ——灵敏度，线性传感器的灵敏度是个常数；

d_y ——输出量的变化量；

d_x ——输入量的变化量。

(3) 迟滞

传感器的迟滞是指，传感器输入量增大行程期间和输入量减小行程期间，输出—输入特性曲线不重合的程度。产生迟滞现象的主要原因是传感器的机械部分不可避免地存在着间隙、摩擦及松动等。

(4) 重复性

传感器的重复性是指，传感器输入量在同一方向做全量程内连续重复测量所得输出—输入特性曲线不一致的程度。产生不一致的原因与产生迟滞现象是相同的。

2. 动态特性

传感器的动态特性，是指其输出对随时间变化的输入量的响应特性。当被测量随时间变化，即是时间的函数时，传感器的输出量也是时间的函数。它们之间的关系要用动态特性来表示。一个动态特性好的传感器，其输出将再现输入量的变化规律，即具有相同的时间函数。实际上，除了具有理想的比例特性外，输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函数。这种输出与输入间的差异，就是所谓的动态误差。

3.1.6 传感器的作用

随着现代科学技术的高速发展，人类已进入瞬息万变的信息时代，人们在从事工农业生产和科学实验等工作中，常需要对信息资源进行开发、采集、传输和处理。在物联网中，传感器处于研究对象与检测系统的接口位置，是感知、获取与检测信息的窗口，它提供物联网系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。

1. 传感器在工业自动化系统中的作用

在工业自动化生产过程中，以传感器-微机为核心的自动检测与控制系统正在石油、电力、航天、冶金、机械制造、动力机械、化工、生物等领域得到广泛的应用。

2. 传感器在航空航天中的作用

飞机、火箭、宇宙飞船等飞行器上要使用传感器对飞行速度方向、飞行姿态进行检测。

3. 传感器在资源探测与环境保护中的作用

传感器用于陆地、海洋、太空资源及空间环境、气象等方面的测量，以便开发与利用如测定农田土地状态、作物分布，掌握森林资源、渔业资源、海洋资源等。在环境保护方面，可用于对大气、水质污染、放射性、噪声的检测等。

4. 传感器在医学领域中的作用

传感器在医学上可用于对人体温度、血压及腔内压力、血液及呼吸流量、心脑电波、脉搏及心音等进行高准确度的检测，还能实现对患者的自动检测和监护。

5. 传感器在家用电子产品中的作用

传感器在家用电器中得到广泛的应用，如电冰箱、微波炉、洗衣机、影院、数码相机、

液晶电视等都用到了各种不同的传感器。

6. 传感器在军事领域里的作用

利用红外线可以探测地形、地物和军事目标。红外雷达可以搜索、跟踪、测距，可以搜索到上千公里外的目标等。

3.2 智能传感器

传感网被称为继计算机、互联网之后，世界信息产业的第三次浪潮。业内专家认为，传感网一方面可以提高经济性，大大节约成本；另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。而智能传感器作为传感网的基础和重要组成部分，其技术发展决定了传感网的整体性能。尽管国内智能传感器技术发展迅速，但国家级层面的智能传感器标准体系尚未建立，传统传感器产业化水平低，核心技术少，创新能力弱等问题无法对智能传感器技术和产品提供有效保障，因此我国智能传感器研究和标准化工作亟待加强。下面主要介绍一下智能传感器的知识。

3.2.1 智能传感器的基本概念

智能传感器是具有信息处理功能的传感器。智能传感器带有微处理器，具有采集、处理、交换信息的能力，是传感器集成化与微处理器相结合的产物。一般智能机器人的感觉系统是由多个传感器集合而成的，采集的信息需要计算机进行处理，而使用智能传感器就可将信息分散处理，从而降低成本。与一般传感器相比，智能传感器具有三个优点：通过软件技术可实现高精度的信息采集，而且成本低；具有一定的编程自动化能力；功能多样化。

3.2.2 智能传感器的组成

智能传感器主要由传感器、微处理器（或微型计算机）及相关电路组成，其原理结构框图如图 3-3 所示。

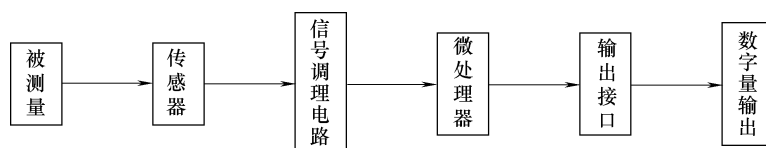


图 3-3 智能传感器原理结构框图

传感器将被测的物理量转换成相应的电信号，送到信号调理电路中，进行滤波、放大、模-数转换后，送到微型计算机中。计算机是智能传感器的核心，它不但可以对传感器测量数据进行计算、存储、数据处理，还可以通过反馈回路对传感器进行调节。由于计算机充分发挥各种软件的功能，可以完成硬件难以完成的任务，从而大大降低传感器制造的难度，提高传感器的性能，降低成本。

智能传感器的结构可以是集成的，也可以是分离式的，按结构可以分为集成式、混合式和模块式三种形式。集成智能传感器是将一个或多个敏感器件与微处理器、信号处理电路集成在同一片硅片上，其集成度高、体积小。这种集成的传感器在目前的技术水平下还很难实现。将传感器和微处理器、信号处理电路制作在不同的芯片上，则构成混合式的智能传感器

(Hybrid Smart-Sensor)。目前,这类结构较多。初级的智能传感器也可以由许多互相独立的模块组成,如将微处理器、信号调理电路模块、输出电路模块、显示电路模块和传感器装配在同一壳体内,则费用较高、体积较大,但在目前的技术水平下,仍不失为一种实用的结构形式。

3.2.3 智能传感器的功能与特点

智能传感器的功能,是通过比较人的感官和大脑的协调动作提出的。在发展与应用过程中,传感器越来越多地与微处理器相结合,不仅具有视觉、触觉、听觉、味觉,还有了储存、思维和逻辑判断能力等人工智能。概括而言,主要功能有以下几点。

(1) 自补偿和计算

智能传感器的自补偿和计算功能,为传感器的温度飘移和非线性补偿开辟了新道路。即使传感器的加工不太精密,只要能保证其重复性好,通过传感器的计算功能也能获得较精确的测量结果。另外,还可进行统计处理,能够重新标定某个敏感元器件,使它重新有效。

(2) 自诊断功能

带微控器的智能传感器,还具有先进的自诊断功能,包括两个方面:

- ① 外部环境条件引起的工作不可靠;
- ② 传感器内部故障造成的性能下降。

其直观的指示方式,可持续显示诊断结果和工作状态。无论内外因素,诊断信息都能使系统在故障出现之前报警,从而减少系统停机时间,提高生产效率。

(3) 复合敏感功能

智能传感器能够同时测量多种物理量和化学量,具有复合敏感功能,能够给出全面反映物质变化规律的信息,如光强、波长、相位和偏振度等参数可反映光的运动特性,压力、真空度、温度梯度、热量和熵、浓度、pH 值等分别反映物质的力、热、化学特性。

(4) 强大的通信接口功能

由于用了微处理器使其接口标准化,所以能够与上一级微处理器进行接口的标准化,智能传感器输出的数据通过总线控制,为与其他数字控制仪表的直接通信提供了方便,使智能传感器可作为集散控制系统的组成单元受中央计算机的控制。

(5) 现场学习功能

利用嵌入智能和先进的编程特性,工程师们已设计出了新一代具有学习功能的传感器,它能为各种场合快速而方便地设置最佳灵敏度。学习模式的程序设计,使光敏传感器能对被检测过程采样,计算出光信号阈值,自动编程最佳设置,并且能在工作过程中自动调整其设置,以补偿环境条件的变化。这种能力可以补偿部件老化造成的参数漂移,从而延长器件或装置的使用寿命和扩大其应用范围。

(6) 提供模拟和数字输出

许多带微处理器的传感器,能通过编程提供模拟输出、数字输出或同时提供两种输出,并且各自具有独立的检测窗口。最新的智能传感器都能提供两个互不影响的输出通道,具有独立的组态设备点。

(7) 数值处理功能

根据内部的程序自动处理数据,如进行统计处理、剔除异常数值等。

(8) 掉电保护功能

由于微处理器的 RAM 的内部数据在掉电时会自动消失,这给仪器的使用带来很大的不便。为此,可在智能仪器内装有备用电源,当系统掉电时能自动把后备电源接入 RAM,以保证数据不丢失。

智能传感器继承了传感器、智能仪表全部功能及部分控制功能,具有很高的线性度和低的温度漂移,降低了系统的复杂性,简化了系统结构,特点如下:

1) 一定程度的人工智能是硬件和软件的结合体,可实现学习功能,更能体现仪表在控制系统的作用。可以根据不同的测量要求,选择合适的方案,并能对信息进行综合处理,对系统状态进行检测。

2) 多敏感功能将原来分散的各自独立的单敏传感器集成为具有多敏功能的传感器,能同时测量多种物理量和化学量,全面反映被测量的综合信息。

3) 精度高、测量范围宽,能随时检测出被测量的变化对检测元器件特性的影响,并完成各种运算,其输出信号更为精确;同时其量程比可达 100:1,最高达 400:1,可用一个智能传感器应付很宽的测量范围,特别适用要求量程比大的控制场合。

4) 通信功能可采用标准化总线接口,进行信息交换,这是智能传感器的标志之一。

3.2.4 智能传感器的应用

物联网的应用有三个层次:一是传感网络,以二维码、RFID、传感器为主,实现“物”的识别;二是传输网络,即通过现有的互联网、广电网、通信网或下一代互联网,实现数据的传输和计算;三是应用网络,即输入输出控制终端,包括手机等终端。物联网中应用了大量物理量、化学量和生物量等不同类型的传感器。

近年来,智能传感器已经广泛应用在航天、航空、国防、科技和工农业生产等各个领域。特别是随着高科技的发展,智能传感器倍受青睐,如它在智能机器人的领域中有广阔的应用前景。智能传感器如同人的五官,可以使机器人具有各种感知功能。已经实用化的智能传感器有很多种类,如智能检测传感器、智能流量传感器、智能位置传感器、智能压力传感器、智能加速度传感器等。

集成智能传感器技术日趋活跃,国外一些著名的公司和高等院校开展了有关集成智能传感器的研制,国内一些院校、研究所也积极跟进,使集成智能传感器技术取得了瞩目的发展。

但就目前国内产业发展水平而言,物联网的发展仍存在一定瓶颈,RFID 高端芯片等核心领域无法产业化,而且国内 RFID 以低频为主。此外,传感器产业化水平较低,产品种类不全,可靠性、稳定性等关键指标未全部达到要求,高档、大型仪器设备几乎全部依赖进口。

因此,必须做出长期规划,将智能传感器产业作为一个系统工程,开发和生产适用于物联网应用的各类传感器。在物联网技术产业化发展的形势面前,制订全面制定协调一致的战略措施并认真贯彻执行,以保障仪器仪表行业能够继续带动国民经济的发展。

3.2.5 智能传感器的发展趋势

智能传感器代表着传感器发展总趋势,已经受到了全世界范围的瞩目和公认,因此可以

说智能传感器是一种发展前景十分看好的新传感器。今后,随着硅微细加工技术的发展,新一代的智能传感器的功能将会更多。它将利用人工神经网络、人工智能、信息处理技术等,使传感器具有更高级的智能功能;同时,它还将朝着微传感器、微执行器和微处理器三位一体构成一个微系统的方向发展。

(1) 向高精度发展

随着自动化生产程度的提高,对传感器的要求也在不断提高,必须研制出具有灵敏度高、准确度高、响应速度快、互换性好的新型传感器,以确保生产自动化的可靠性。

(2) 向高可靠性、宽温度范围发展

传感器的可靠性直接影响电子设备的抗干扰等性能,研制高可靠性、宽温度范围的传感器将是永久性的方向。发展新兴材料(如陶瓷)传感器将很有前途。

(3) 向微型化发展

各种控制仪器设备的功能越来越强,要求各个部件体积越小越好,因而传感器本身体积也是越小越好,这就要求发展新的材料及加工技术。目前,利用硅材料制作的传感器体积已经很小。例如,传统的加速度传感器是由重力块和弹簧等制成的,体积较大、稳定性差、寿命也短,而利用激光等各种微细加工技术制成的硅加速度传感器体积非常小,互换性、可靠性都较好。

(4) 向微功耗及无源化发展

传感器一般都是非电量向电量的转化,工作时离不开电源。在野外现场或远离电网的地方,往往是用电池供电或用太阳能等供电,开发微功耗的传感器及无源传感器是必然的发展方向。这样既可以节省能源又可以提高系统寿命。目前,低功耗损的芯片发展很快,如 T12702 运算放大器,静态功耗电流只有 $1.5\mu\text{A}$,而工作电压只需 $2\sim 5\text{V}$ 。

(5) 向智能化数字化发展

随着现代化的发展,传感器的功能已突破传统的功能,其输出不再是单一的模拟信号(如 $0\sim 10\text{mV}$),而是经过微处理器处理好后的数字信号,有的甚至带有控制功能,这就是所说的数字传感器。

(6) 向网络化发展

网络化是传感器发展的一个重要方向,网络的作用和优势正逐步显现出来。网络传感器必将促进电子科技的发展。

3.3 MEMS 技术

3.3.1 MEMS 概述

微机电系统(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)概念于 20 世纪 80 年代末提出,它一般泛指特征尺度在亚微米至亚毫米范围的装置。

MEMS 是一种全新的必须同时考虑多种物理场混合作用的研发领域,相对于传统的机械系统,它们的尺寸更小,最大的不超过 1cm ,甚至仅仅几微米,其厚度就更小。采用以硅为主的材料,其电气性能优良,硅材料的强度、硬度和杨氏模量与铁相当密度与铝类似,热传导率接近钨和钨。采用与集成电路(Integrated Circuit, IC)类似的生成技术,可大量利用

IC 生产中的成熟技术、工艺,进行大批量、低成本生产,使性价比相对于传统“机械”制造技术大幅度提高。

完整的 MEMS 是由微传感器、微执行器、信号处理和控制电路、通信接口和电源等部件组成的一体化的微器件系统。其目标是把信息的获取、处理和执行集成在一起,组成具有多功能的微系统,集成于大尺寸系统中,从而大幅度地提高系统的自动化、智能化和可靠性水平。

沿着系统及产品小型化、智能化、集成化的发展方向可以预见:MEMS 会给人类社会带来另一次技术革命,将对 21 世纪的科学技术、生产方式和人类生活质量产生深远影响,是关系到国家科技发展、国防安全 and 经济繁荣的一项关键技术。

手持式设备制造商,正逐渐意识到 MEMS 的价值及这种技术所带来的好处——大批量、低成本、小尺寸。而且开始转向成功的 MEMS 公司所实现的成本削减幅度之大,将影响整个消费类电子世界,而不仅是高端装置。MEMS 在整个 20 世纪 90 年代都由汽车工业主导;在过去几年中,由于 iPhone 的出现,使全世界的工程师都看到运动传感器带来的创新,使 MEMS 在消费电子产业出现爆炸式的增长,成为改变终端产品用户体验及实现产品差异化的核心要素。

国内 MEMS 芯片供应商主要有上海微系统所、沈阳仪表所、中国电子科技集团第十三研究所、北京微电子所等,目前形成生产的主要是 MEMS 压力传感器芯片。

3.3.2 MEMS 特点

MEMS 并不只是传统机械系统在尺度上的缩小。与传统机械系统相比,除了在尺度上很小外它将是一种高度智能化、高度集成的系统。同时,在用材上,MEMS 突破了原来的以钢铁为主的形式,而采用硅、GaAs、陶瓷及纳米材料,具有较高的性价比,而且使用寿命增长。由于 MEMS 的尺度小、集成度高、功能灵活而强大,它使人类的操作、加工能力延伸到微米级空间,这种技术跨越将深刻影响国防科学技术和国民经济的发展。

MEMS 的研究,还具有极大的学科交叉性:微型元器件的制造就涉及设计、材料、制造、测试、控制、能源及连接等技术。MEMS 的研究除了上述单元技术外,还需要元器件的集成、装配等组合技术,同时会涉及材料学、物理学、化学、生物学、微光学、微电子学等学科作为理论基础。同时,为了掌握 MEMS 的各种机械、力学、传热、摩擦等方面的性能还必须建立微机械学、微动力学、微流体学、微摩擦学等新的理论,建立新的学科。

3.3.3 常用的 MEMS 传感器

1. 微机械压力传感器

微机械压力传感器是最早开始研制的 MEMS 产品,也是微机械技术中最成熟、最早开始产业化的产品。从信号检测方式来看,微机械压力传感器分为压阻式和电容式两类,分别以微机械加工技术和牺牲层技术为基础制造。从敏感膜结构来看,有圆形、方形、矩形、E 形等多种结构。目前,压阻式压力传感器的精度可达 $0.05\% \sim 0.01\%$,年稳定性达 $0.1\%/F.S.$,温度误差为 0.0002% ,耐压可达几百兆帕,过电压保护范围可达传感器量程的 20 倍以上,并能进行大范围的全温补偿。

2. 微加速度传感器

微加速度传感器是继微机械压力传感器之后,第二个进入市场的 MEMS 传感器。其主要类型有压阻式、电容式、力平衡式和谐振式。

其中,最具有吸引力的是力平衡加速度计,其典型产品是 Kuehnel 等人在 1994 年提出的 AGXL50 型产品。其结构包括 4 个部分:质量块、检测电容、力平衡执行器和信号处理电路。集成制作在 $3\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的硅片上,其中机械部分采用表面微机械工艺制作,电路部分采用 BiCMOSIC 技术制作。随后 Zimmermann 等人提出了利用 SIMOXSOI 芯片制作的类似结构,Chan 等人公布了测量范围在 5g 和 1g 的改进型力平衡式加速度传感器。这种传感器在汽车的防撞气囊控制等领域有广泛的用途,成本在 15 美元以下。国内在微加速度传感器的研制方面也进行了大量的工作,如西安电子科技大学研制的压阻式微加速度传感器,清华大学微电子所开发的谐振式微加速度传感器。后者采用电阻热激励。压阻电桥检测的方式是,敏感结构为高度对称的 4 角支撑质量块形式,在质量块 4 边与支撑框架之间制作了 4 个谐振梁用于信号检测。

3. 微机械陀螺仪

角速度一般是用陀螺仪来进行测量的。传统的陀螺仪是利用高速转动的物体具有保持其角动量的特性来测量角速度的,如图 3-4 所示。

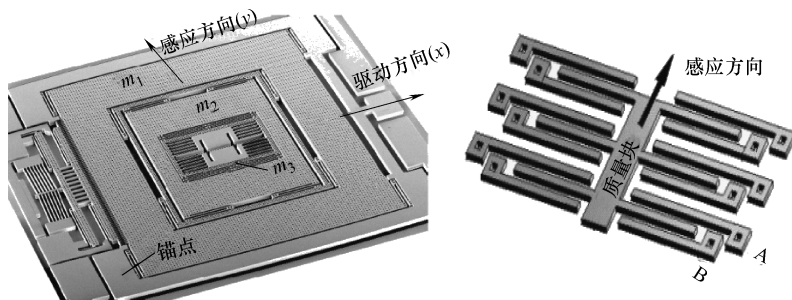


图 3-4 微机械陀螺仪 (gyroscope) 的结构

这种陀螺仪的精度很高,但结构复杂、使用寿命短成本高。一般仅用于导航方面而难以在一般的运动控制系统中应用。实际上,如果不是受成本限制,角速度传感器可在如汽车牵引控制系统、摄像机的稳定系统、医用仪器、军事仪器、运动机械、计算机惯性鼠标、军事等领域有广泛的应用前景。因此,近年来人们把目光投向微机械加工技术,希望研制出低成本、可批量生产的固态陀螺。目前,常见的微机械角速度传感器有双平衡环结构悬臂梁结构、音叉结构、振动环结构等。

4. 微流量传感器

微流量传感器不仅外形尺寸小能达到很低的测量量级,而且死区容量小、响应时间短,适合于微流体的精密测量和控制。目前,国内外研究的微流量传感器依据的工作原理可分为热式(包括热传导式和热飞行时间式)、机械式和谐振式三种。清华大学精密仪器系设计的阀片式微流量传感器,通过阀片将流量转换为梁表面弯曲应力再由集成在阀片上的压敏电桥检测出流量信号。该传感器的芯片尺寸为 $3.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 在 $10 \sim 200\text{mL}/\text{min}$ 的气体流量下线性度优于 5%,如图 3-5 所示。

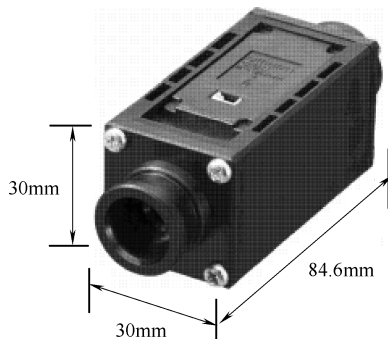


图 3-5 流量传感器

荷兰 Twente 大学的 Rob. LegtenBerg 等人利用薄膜技术和微机械加工技术制作了 1 对具有相对 V 形槽的谐振器芯片和顶盖芯片。利用低温玻璃键合技术,将两者键合在一起形成质量流量传感器,相对的 V 形槽形成流体通过流管。由于激励电阻和检测电桥产生的热量,使谐振器温度上升到高于环境温度的某一温度。如果有气流流过,流管对流换热使谐振器温度降低。气体流量不同谐振器温度也不同。由于谐振器和衬底材料不同,不同温度对应不同的内应力,因而可通过谐振频率的大小得到流量的大小。谐振器可以是微桥谐振器,也可以是方膜谐振器。研究表明,质量流量传感器的灵敏度与向衬底传导的热量和对流换热之比有关。对相同材料制作的微桥谐振器和微方膜谐振器来说,后者向衬底传导的热量更多,因而其灵敏度较桥谐振器低。对它们制作的氮化硅桥谐振器来说在压曲临界温度以下灵敏度为 $4\text{kHz}/\text{Scm}$,在压曲温度以上为 $-7\text{kHz}/\text{Scm}$ 。

5. 微气敏传感器

根据制作材料的不同,微气敏传感器分为硅基气敏传感器和硅微气敏传感器。其中前者以硅为衬底而敏感层为非硅材料,是当前微气敏传感器的主流。微气敏传感器可满足人们对气敏传感器集成化、智能化、多功能化等要求。例如,许多气敏传感器的敏感性能和工作温度密切相关,因而要同时制作加热元件和温度探测元件以监测和控制温度。MEMS 技术很容易将气敏元件和温度探测元件制作在一起,保证气敏传感器优良性能的发挥,如图 3-6 所示。



图 3-6 微气敏传感器

谐振式气敏传感器不需要对器件进行加热,且输出信号为频率量,是硅微气敏传感器发展的重要方向之一。北京大学微电子所提出的一种微结构气敏传感器由硅梁、激振器件、测振器件和气体敏感膜组成。微梁被置于被测气体中,后表面的敏感膜吸附气体分子而使梁的质量增加使梁的谐振频率减小。这样通过测量硅梁的谐振频率可得到气体的浓度值。对 NO_2 气体浓度的检测实验表明,在 $0 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4$ 的范围内有较好的线性浓度检测极限达到 1×10^6 ,当工作频率是 19kHz 时灵敏度是 $1.3\text{Hz}/10^6$ 。

6. 微机械温度传感器

微机械温度传感器与传统的传感器相比具有体积小、重量轻的特点,其固有热容量仅为 $10^{-15} \sim 10^{-8} \text{J/K}$,使其在温度测量方面,具有传统温度传感器不可比拟的优势。沈阳市传感技术研究所开发了 1 种硅或二氧化硅双层微悬臂梁温度传感器。基于硅和二氧化硅两种材料热膨胀系数的差异,不同温度下,梁的挠度不同,其形变可通过位于梁根部的压敏电桥来检测。其非线性误差为 0.9% ,迟滞误差为 0.45% ,重复性误差为 1.63% ,

精度为 1.9%。

7. 其他微机械传感器

利用微机械加工技术还可以实现其他多种传感器，如瑞士 Chalmers 大学的 PeterE 等人设计的谐振式流体密度传感器等。

3.3.4 MEMS 应用

MEMS 器件和系统具有体积小、重量轻、功耗低、成本低、可靠性高、性能优异、功能强大、可以批量生产等传统机械传感器无法比拟的优点，在很多领域得到广泛的应用。

1. 信息业

信息技术的发展，对设备提出了更高的要求，功能更加强大的同时要求体积更小。从多媒体人机界面看，使用微型话筒的语音输入和使用微型摄像系统的图形输入，都有广阔市场。如今正在大力研制的微型智能机器人，更是控制系统的最高目标之一。用微型陀螺装在鼠标上以稳定其运动，把微机械及其控制电路集成的微器件，装于磁头上可使其在磁道上运行精度大大提高（ $<0.1\mu\text{m}$ ），提高磁盘的磁道密度。

2. 航空、航天业

由于卫星及其发射的高成本，早已提出小卫星、微小卫星、微卫星和纳米卫星等概念。在 1995 年的国际会议上，已有人提出研制全硅卫星，即整个卫星由硅太阳能电池板、硅导航模块、硅通信模块等组合而成，这样可使整个卫星的重量缩小到以千克计算，大幅度降低卫星的成本，使较密集的分布式卫星系统成为现实。

MEMS 对航空器的性能改善也值得一提。今后在飞机的要害部位都可装上各种 SMART 传感器包括力学、声学、气流等，及时提供信息和进行实时控制各种执行部件从而使飞行更加平稳，噪声大大地被抑制，并节省燃料。

3. 医疗和生物技术

生物细胞的典型尺寸为 $1\sim 10\mu\text{m}$ ，生物大分子的厚度为纳米量级，长为微米量级。微加工技术制造的器件尺寸，在这个范围内，因而适合用于操作生物细胞和生物大分子。各种微泵、微阀、微镊子、微沟槽、微器皿和微流量计，都可以用 MEMS 技术制造。利用这种技术，可以在指甲盖大小的硅片上，制作出包含有 10 万种 DNA 片段的芯片，无疑对遗传学研究、疾病诊断、检测和治疗等具有极其重要的作用。美国斯坦福大学和美国 Affymetrix 公司制作的 DNA 芯片，是通过在玻璃上刻蚀出非常小的图案来检测 DNA 基因，该芯片已能够检测到 6000 多种 DNA 基因片段。

4. 环境科学

利用 MEMS 制造的由化学传感器、生物传感器和数据处理系统组成的微型测量和分析设备，用来检测气体和液体的化学成分，检测核生物、化学物质及有毒物品。其优势在于体积小、价格低、功耗小、便于携带。

美国密歇根大学 1998 年发表了环境监测用无线微系统样机—— $\mu\text{Cluster}$ 。它由无线通信、微系统控制和传感器前端三个模块组成。该微系统未封装时体积为 10cm^3 ，当扫描速度较低时，功耗小于 1mW ，遥测半径为 50m ，压力测量范围为 $80\sim 105\text{kPa}$ ，精度为 $\pm 13\text{Pa}$ 。该系统已在美国海军使用。

3.4 传感器接口技术

传感器接口电路,是传感器和系统其他功能部件之间的接口,其性能直接影响整个系统的测量精度和灵敏度。传感器接口电路的选择,是根据传感器的输出信号特点及用途确定的。不同传感器具有不同的输出信号,就要求不同的接口电路。传感器的接口电路形式多样,功能千变万化。它可能是一个放大器,也可能是一个信号转换电路。

3.4.1 传感器接口特点

传感器接口电路形式多样,功能各异。对于有些非电量的检测,要求对被测量进行某一定值的判断。当达到确定值时,检测系统应输出控制信号。在这种情况下,大多使用开关型传感器,利用其开关功能作为直接控制元件使用。使用开关型传感器的检测电路接口比较简单,可以直接用传感器输出的开关信号驱动控制电路和报警电路工作。

由于传感器种类繁多,传感器的输出信号形式也是各式各样的。即使同一类传感器其输出形式也会不同。

一般来说传感器输出信号具有如下特点:

- 1) 输出信号比较微弱,有的传感器输出电压仅有 $0.1\mu\text{V}$ 。这就要求接口电路必须有一定的放大能力。
- 2) 输出阻抗比较高,这样会使传感器信号输入到测量电路时产生较大的信号衰减。
- 3) 输出信号动态范围很宽。输出信号随着输入物理量的变化而变化,但它们之间的关系不一定是线性比例关系。例如,热敏电阻器的电阻值随温度按指数函数而变化,输出信号大小会受温度的影响,有温度系数存在,有时需要线性化处理。

根据传感器输出信号的特点,采取不同的信号处理方法来提高测量系统的测量精度和线性度,是传感器信号处理的主要目的。传感器在测量过程中常掺杂许多噪声信号,这些噪声会直接影响测量系统的精度。因此,抑制噪声也是传感器信号处理的重要内容。

传感器输出信号的处理主要由传感器的接口电路完成,因此传感器接口电路应具有一定的信号预处理能力。经预处理后的信号应成为可供测量、控制使用及便于向微型计算机输入的信号形式。

3.4.2 常用传感器接口电路

1. 阻抗匹配器

传感器输出阻抗都比较高,为防止信号的衰减,常采用高输入阻抗和低输出阻抗的阻抗匹配器作为传感器输入到测量系统的前置电路。常见的阻抗匹配器有晶体管阻抗匹配器、场效应晶体管阻抗匹配器及运算放大器阻抗匹配器。

晶体管阻抗匹配器实际上是一个晶体管共集电极电路,又称为射极输出器。射极输出器的输出相位与输入相位相同,其电压放大倍数小于但接近于1。电流放大倍数从几十到几百倍。由于射极输出器的输入阻抗较高、输出阻抗低、带负载能力强,所以常用来做阻抗变换电路和前后级隔离电路。晶体管阻抗匹配器虽然有较高的输入阻抗,但由于受偏置电阻和管子本身基极及集电极间电阻的影响,不可能获得很高的输入阻抗,在有些场合有可能无法满

足传感器的要求。

场效应晶体管是一种电平驱动器件，栅源极间电流很小，其输入阻抗可高达 $10^{12} \Omega$ 以上，可作阻抗匹配器使用。场效应晶体管阻抗匹配器结构简单、体积小，因此常用做前置级的阻抗变换器。场效应晶体管阻抗匹配器有时还直接安装在传感器内，以减少外界的干扰。在电容式传感器、压电式传感器等容性传感器中得到了广泛的应用。

运算放大器的输入阻抗一般也非常高，且性能稳定，故也是阻抗匹配器的理想选择。

2. 电桥电路

电桥电路是传感器检测电路中经常使用的电路。根据电桥供电电源的不同，电桥可分为直流电桥和交流电桥。直流电桥主要用于电阻式传感器，如热敏电阻、电位器等。交流电桥主要用于测量电容式传感器和电感式传感器的电容和电感的变化。电阻应变片传感器大都是交流电桥的，这是因为应变片电桥输出信号微弱，需经放大器进行放大而使用直流放大器容易产生零点漂移。此外应变片与桥路之间采用电缆连接，其引线分布电容的影响不可忽略。使用交流电桥还可以消除这些影响。

(1) 直流电桥

直流电桥的基本电路如图 3-7 所示。

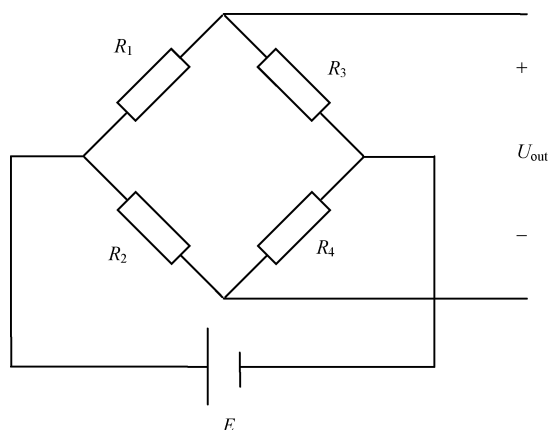


图 3-7 直流电桥的基本电路

它是由直流电源供电的。电桥电路电阻构成桥式电路的桥臂。桥路的一对角线两端是输出端，一般接有高输入阻抗的放大器，因此可以把电桥的输出端看成是开路，电路不受负载电阻的影响。在电桥的另一对角线两端加有直流电压。

电桥的输出电压可由下式给出：

$$U_{\text{out}} = \frac{U(R_2 R_4 - R_1 R_3)}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}$$

电桥的平衡条件为

$$R_2 R_4 = R_1 R_3$$

当电桥平衡时输出电压为零。

当电桥 4 个电阻值发生变化而产生增量 ΔR_1 、 ΔR_2 、 ΔR_3 、 ΔR_4 时，电桥的平衡被打破，电桥的输出电压变为

$$U_{\text{out}} = \frac{UR_1R_4}{(R_1 + R_4)^2} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

当 $\frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} = 1$ 时, 有

$$U_{\text{out}} = \frac{U}{4} \left(\frac{\Delta R_4}{R_4} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} \right)$$

此时, 电桥电路被称为四等臂电桥, 输出灵敏度最高, 而非线性误差最小, 因此在传感器的实际应用中多采用四等臂电桥。

直流电桥在应用过程中常出现误差, 消除误差通常采用补偿法, 其中包括零点平衡补偿、温度补偿和非线性补偿等。

(2) 交流电桥

图 3-8 所示为交流电桥的基本电路。

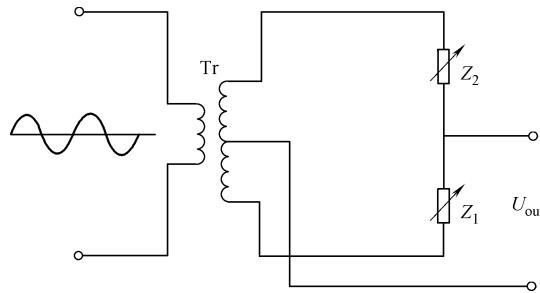


图 3-8 交流电桥的基本电路

图中, Z_1 和 Z_2 为阻抗元件, 可以为电感或电容, 电桥两臂为差动方式, 又称为差动交流电桥。在初始状态时, $Z_1 = Z_2 = Z_0$ 电桥平衡, 输出电压 $U_{\text{out}} = 0$ 。测量时一个元件的阻抗增加, 另一个元件的阻抗减小, 假定 $Z_1 = Z_0 + \Delta Z$, $Z_2 = Z_0 - \Delta Z$, 则电桥的输出电压为

$$U_{\text{out}} = \left(\frac{Z_0 + \Delta Z}{2Z_0} - \frac{1}{2} \right) U = \frac{\Delta Z U}{2Z_0}$$

如果 $Z_1 = Z_0 - \Delta Z$, $Z_2 = Z_0 + \Delta Z$, 则电桥的输出电压为

$$U_{\text{out}} = -\frac{\Delta Z U}{2Z_0}$$

3. 放大电路

传感器的输出信号一般比较微弱, 因而在大多数情况下, 都需要放大电路。放大电路主要用来将传感器输出的直流信号或交流信号进行放大处理, 为检测系统提供高精度的模拟输入信号, 它对检测系统的精度起着关键作用。

3.4.3 传感器与微型计算机接口的一般结构

在智能传感器系统中, 系统各核心部件的工作都要在微型计算机的控制下协调工作。因此, 传感器的输出信息要送入微型计算机进行处理。由微型计算机控制的传感器系统的一般结构如图 3-9 所示。

通常将微型计算机之前的信息处理过程称为前向通道或输入通道。将微型计算机之后的

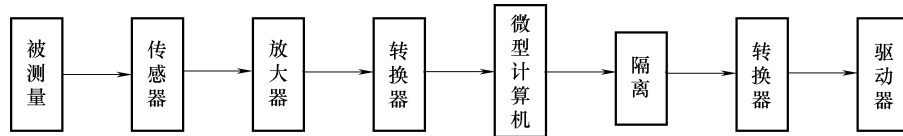


图 3-9 传感器系统的一般结构

信息处理过程称为后向通道或输出通道。

1. 输入通道的特点

1) 输入通道的结构类型取决于传感器送来的信号大小和类型。由于被测量和信号转换的差异，输入通道会有不同的类型。

2) 输入通道的主要技术指标是信号转换精度和实时性，后者为实时检测和控制系统的特殊要求。对输入通道技术指标的要求，是选择通道中有关器件的依据。

3) 输入通道是一个模拟、数字信号混合的电路，其功耗小，一般没有功率驱动要求。

4) 被测信号所在的现场可能存在各种电磁干扰。这些干扰会与被测信号一起从输入通道进入微型计算机，影响测量和控制精度，甚至使微型计算机无法正常工作，因此在输入通道中必采取措施。

2. 输出通道的特点

1) 通道的结构取决于系统要求，其中的信号有数字量和模拟量两大类，要用到的转换器件是数-模转换器。

2) 微型计算机输出信号的电平和功率都很小，而被控装置所要求的信号电平和功率可能比较大，因此在输出通道中要有功率放大，即输出驱动环节。

3) 输出通道连接被控装置的执行机构，各种电磁干扰会经通道进入被控装置，因此必须在输出通道中采取抗干扰措施。

3.4.4 接口电路应用实例

图 3-10 所示为自动温度控制仪表电路框图。该系统主要由以下几部分组成：传感器、差分放大器、V/F 转换电路、CPU、存储器、监视与复位电路、显示电路及键盘、控制输出电路与系统支持电源。

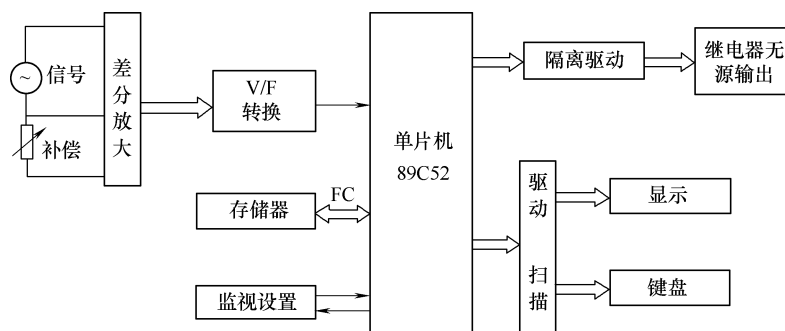


图 3-10 自动温度测控仪表电路框图

它是一个典型的单片机测控电路，有实时信号的采集、信号的调节、模-数转换数据的

显示、键盘控制数据的输入、控制信号输出等。这些都在单片机的协调、控制下完成。

温度信号的采集可以用热电偶、铜热电阻、铂热电阻、数字温度芯片或模拟温度芯片等，视具体应用时对温度范围、精度和测量对象等的要求而选定。不同的传感器需要用不同的电路连接，可根据传感器的类型、技术来设计。

在测控电路中，信号的采集是关键，它直接影响系统的精度。通常现场情况都是比较恶劣的，信号易受干扰，所以在信号采集中必须采用有效的措施，如电源隔离、模-数转换隔离、V/F 转换隔离、低通滤波器和差分放大等。本例采用的差分放大、V/F 转换是一种性价比比较高的方案。差分放大器能有效地抑制共模干扰，采用 V/F 转换能有效抑制噪声和对信号变化进行平滑，同时处理频率信号及单片机接口电路也比较方便。本电路还具有良好的精度和线性。

显示功能可根据应用环境、产品定位选用不同的显示器材，如 LED、LCD、CRT 等。这里采用的是 LED，配以动态扫描电路。这样的配置价格低廉，还可以实时显示采集的数据和键盘输入的控制参数等。在测控系统中控制参数的设置是必不可少的，使用中要根据输入信息量来选用合适的键盘。

现场数据要按一定的算法进行运算，要进行非线性校正，要根据键盘输入设定的参数进行控制，控制必须按一定的方式进行。一般现场闭环控制中最常用的是 PID（比例-积分-微分（Proportion Integration Differentiation, PID）算法。这些都是由单片机进行的，在工业控制中 80C51 系列单片机应用比较多。这里采用 89C52 型单片机，它带 8KB 的 EEPROM。该单片机性价比很高，有一定的可靠性、合理性。

信号输出在工业控制中采用继电器和固态继电器等方式，其可靠性很重要，将影响系统的安全。一般被控制对象的功率都很大，产生的干扰也很大，所以在输出通道中要采用电源隔离和干扰吸收等措施。

测控系统中的电源也很重要，它直接影响系统的可靠性、稳定性、精度，应根据应用环境、电路形式来选用。其关键是电源的输出功率、电源的质量和能提供的输出组数等。

3.5 无线传感器网络概述

物联网是一次技术革命，代表计算机和通信的未来走向，其发展依赖诸多领域中活跃的技术创新活动。物联网的支撑技术融合了 RFID、传感器技术、无线传感器网络、智能服务等多种技术。构建于 MEMS 技术层次之上的以短距离低功耗为特点的传输网络的出现，使得搭建无处不在的网络变为可能，并为智能服务技术的应用提供了服务内容。无线传感器网络被誉为继个人计算机、计算机网络及无线通信技术之后，IT 技术的第四次产业革命，是 IT 产业未来发展的重要方向。无线传感器网络的低布局和低维护成本，更换升级的便易性，无任何电缆连接的可自由移动性，物机交互的灵活性，满足了泛在计算所要求的遍及性。

泛在网是指无所不在的网络，又称为泛在网络。最早提出 U 战略的日本、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，泛在网络将以“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。故相对于

物联网技术的当前可实现性来说，泛在网属于未来信息网络技术发展的理想状态和长期愿景。从以上的分析可见，传感器网络、物联网和泛在网络之间的关系如图 3-11 所示。

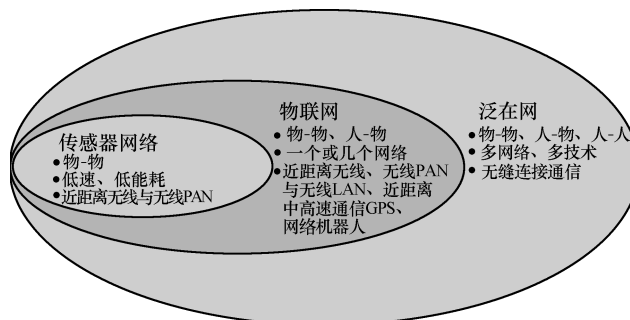


图 3-11 传感器网络、物联网和泛在网络之间的关系

无线传感器网与物联网最根本的不同在于，它立足一个地地道道的无线通信协议，而且利用传感器作为节点，要解决的是物体“怎样”的问题。两者在网络上的不同在于：①物联网的基础是互联网，无线网络仅是补充；传感网的基础是无线网络，与互联网无关。②物联网解决“是谁”；传感网解决“怎样”。如果把物联网比作人体，则 RFID（对于物联网的节点）可以视为“眼睛”，传感网可以视为“皮肤”。传感网利用无线网络技术可以自成体系地单独使用，也可以作为物联网的“神经末梢”。

3.5.1 无线传感器网络介绍

无线传感器网络（Wireless Sensor Network, WSN）是由部署在监测区域内的大量的微型传感器节点通过无线电通信形成的一个多跳的自组织网络系统，其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域内被监测对象的信息，并发送给观察者。由于微型传感器的体积小、重量轻，有的甚至可以像灰尘一样在空气中浮动，因此，人们又称无线传感器网络为“智能尘埃”，可将它散布于四周以实时感知物理世界的变化。

在过去的 80 多年里，随着微电子技术、计算技术和无线通信等技术的进步，无线网络技术取得了突飞猛进的发展。从人工操作的无线电报网络到使用扩频技术的自动化无线局域、个域网络，无线网络的应用领域随着技术的进步不断地扩展。但迄今为止，主流的无线网络技术，如 IEEE 802.11、蓝牙，都是为了数据传输而设计的，称之为无线数据网络。目前，无线数据网络研究的热点问题是无线自组网络技术。作为互联网在无线和移动范围的扩展和延伸，无线自组网络可以实现不依赖任何基础设施的移动节点在短时间内的互联。

无线传感器网络涉及传感器技术、网络通信技术、无线传输技术、嵌入式技术、分布式信息处理技术、微电子制造技术、软件编程技术等，是一个多学科高度交叉、新兴、前沿的热点研究领域。它是继因特网之后，将对 21 世纪人类生活方式产生重大影响的 IT 技术之一。如果说因特网构成了逻辑上的信息世界，改变了人与人之间的沟通方式，那么，无线传感器网络就是将逻辑上的信息世界与客观上的物理世界融合在一起，改变人与自然界的交互方式。未来，人们将通过遍布周围的传感器网络直接感知客观世界，从而极大地扩展网络的功能和人类认识世界的能力。

无线传感器网络是一种无中心节点的全分布系统。通过随机投放的方式,众多传感器节点被密集部署于监控区域。这些传感器节点集成有传感器、数据处理单元和通信模块,它们通过无线通道互联,自组织地构成网络系统。传感器节点借助内置的形式多样的传感器,测量所在周边环境中的热、红外、声呐、雷达和地震波信号,也包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多人们感兴趣的物理现象。传感器节点间具有良好的协作能力,通过局部的数据交换来完成全局任务。由于传感器网络的节点特点的要求,多跳、对等的通信方式较之传统的单跳、主从通信方式更适合无线传感器网络,同时还可有效避免在长距离无线信号传播过程中遇到的信号衰落和干扰等问题。通过网关,传感器网络还可以连接到现有的网络基础设施上,从而将采集到的信息回传给远程的终端用户使用。

无线传感器网络具有以下的特点。

1. 大规模网络

为了获取精确信息,在监测区域通常部署大量传感器节点,传感器节点数量可能达到成千上万,甚至更多。传感器网络的大规模包括两方面的含义:一方面是传感器节点分布在很大的地理区域内,如在原始森林采用传感器网络进行森林防火和环境监测,需要部署大量的传感器节点;另一方面,传感器节点部署很密集,在一个面积不是很大的空间内,密集部署了大量的传感器节点。传感器网络的大规模性具有如下优点:通过不同空间视角获得的信息具有更大的信噪比;通过分布式处理大量的采集信息能够提高监测的准确度,降低对单个节点传感器的准确度要求;大量冗余节点的存在,使得系统具有很强的容错性能;大量节点能够增大覆盖的监测区域,减少盲区。

2. 自组织网络

在传感器网络应用中,通常情况下传感器节点被放置在没有基础结构的地方。传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间的相互邻居关系预先也不知道,如通过飞机播撒大量传感器节点到面积广阔的原始森林或随意放置到人不可到达或危险的区域。这样就要求传感器节点具有自组织的能力,能够自动进行配置和管理,通过拓扑控制机制和网络协议自动形成转发监测数据的多跳无线网络系统。

在传感器网络的使用过程中,部分传感器节点由于能量耗尽或环境因素造成失效,也有一些节点为了弥补失效节点、增加监测准确度而补充到网络中。这样在传感器网络中的节点个数就动态地增加或减少,从而使网络的拓扑结构随之动态地变化。传感器网络的自组织性要能够适应这种网络拓扑结构的动态变化。

3. 多跳路由

网络中节点通信距离有限,一般在几十到几百米范围内,节点只能与它的邻居直接通信。如果希望与其射频覆盖范围之外的节点进行通信,则需要通过中间节点进行路由。网络的多跳路由使用网关和路由器来实现,而无线传感器网络中的多跳路由是由普通网络节点完成的,没有专门的路由设备。这样每个节点既可以是信息的发起者,也可以是信息的转发者。

4. 动态性网络

传感器网络的拓扑结构可能因为下列因素而改变:①环境因素或电能耗尽造成的传感器节点出现故障或失效;②环境条件变化可能造成无线通信链路带宽变化,甚至时断时通;

③传感器网络的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性；④新节点的加入。这就要求传感器网络系统要能够适应这种变化，具有动态的系统可重构性。

5. 可靠的网络

传感器网络特别适合部署在恶劣环境或人类不便到达的区域。传感器节点可能工作在露天环境中，遭受太阳的暴晒或风吹雨淋，甚至遭到无关人员或动物的破坏。传感器节点往往采用随机部署，如通过飞机播撒或发射“炮弹”到指定区域进行部署。这些都要求传感器节点非常坚固、不易损坏，适应各种恶劣的环境条件。

由于监测区域环境的限制及传感器节点数目巨大，不可能人工“照顾”到每个传感器节点，网络的维护十分困难甚至不可维护。传感器网络的通信保密性和安全性也十分重要，要防止监测数据被盗取和获取伪造的监测信息。因此，传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性和容错性。

6. 以数据为中心的网络

传感器网络是任务型的网络，脱离传感器网络谈论传感器节点没有任何意义。传感器网络中的节点采用节点编号标识，节点编号是否需要全网唯一取决于网络通信协议的设计。由于传感器节点随机部署，构成的传感器网络与节点编号之间的关系是完全动态的，表现为节点编号与节点位置没有必然联系。用户使用传感器网络查询事件时，直接将所关心的事件通告给网络，而不是通告给某个确定编号的节点。网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。这种以数据本身作为查询或传输线索的思想更接近自然语言交流的习惯。所以，通常说传感器网络是一个以数据为中心的网络。

例如，在应用于目标跟踪的传感器网络中，跟踪目标可能出现在任何地方，对目标感兴趣的用戶只关心目标出现的位置和时间，并不关心是那个节点监测到目标的。事实上，在目标移动的过程中，必然是由不同的节点来提供目标的位置消息的。

7. 应用相关的网络

传感器网络用来感知客观物理世界，获取物理世界的信息量。客观世界的物理量多种多样、不可穷尽，不同的传感器网络应用关心不同的物理量，因此对传感器的应用系统也有多种多样的要求。不同的应用背景对传感器网络的要求不同，其硬件平台、软件系统和网络协议必然会有很大差别。所以传感器网络不能像互联网一样，有统一的通信协议平台。对于不同的传感器网络应用，虽然存在一些共性问题，但在开发传感器网络应用时更关心传感器网络的差异。只有让系统更贴近应用，才能做出最高效的目标系统。针对每一个具体应用来研究传感器网络技术，这是传感器网络设计不同于传统网络的显著特征。

传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时，存在以下一些现实约束。

1. 电源能量有限

传感器节点体积微小，通常携带的电池能量十分有限。由于传感器节点个数多、成本要求低廉、分布区域广，而且部署区域环境复杂，有些区域甚至人员不能到达，所以传感器节点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的。如何高效使用能量来最大化网络生命周期，是传感器网络面临的首要挑战。传感器节点消耗能量的模块包括传感器模块、处理器模块和无线通信模块。随着集成电路工艺的进步，处理器和传感器模块的功耗变得很低。图 3-12 所示为传感器节点能量消耗情况。从图中可知传感器节点的绝大部分能量消耗在无线通信模块。传感器节点传输信息时要比执行计算时更消耗电能，传输 1bit 信息到 100m 距离外需要

的能量大约相当于执行 3 000 条计算指令消耗的能量。

无线通信模块存在发送、接收、空闲和睡眠四种状态。无线通信模块在空闲状态一直监听无线信道的使用情况,检查是否有数据发送给自己,而在睡眠状态则关闭通信模块。如图 3-12 所示,无线通信模块在发送状态的能量消耗最大;在空闲状态和接收状态的能量消耗接近,略少于发送状态的能量消耗;在睡眠状态的能量消耗最少。如何让网络通信更有效率,减少不必要的转发和接收,不需要通信时尽快进入睡眠状态,是传感器网络协议设计中需要重点考虑的问题。

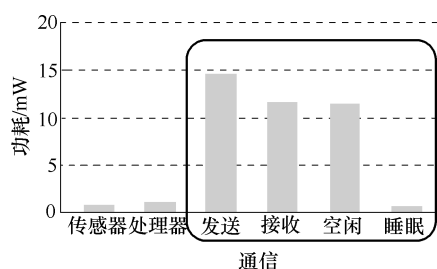


图 3-12 传感器节点能量消耗情况

2. 通信能力有限

无线通信的能量消耗与通信距离的关系为

$$E = kd^n$$

式中, n 满足关系 $2 < n < 4$ 。 n 的取值与很多因素有关,如传感器节点部署贴近地面时,障碍物多、干扰大, n 的取值就大;天线质量对信号发射质量的影响也很大。考虑诸多因素,通常取 $n = 3$,即通信能耗与距离的三次方呈正比。随着通信距离的增加,能耗将急剧增加,因此在满足通信连通度的前提下应尽量减少单跳通信距离。一般而言,传感器节点的无线通信半径在 100m 以内比较合适。考虑到传感器节点的能量限制和网络覆盖区域大,传感器网络采用多跳路由的传输机制。传感器节点的无线通信带宽有限,通常仅有几百千位每秒的速率。由于节点能量的变化,受高山、建筑物、障碍物等地势地貌及风雨雷电等自然环境的影响,无线通信性能可能经常变化,频繁出现通信中断的情况。在这样的通信环境和节点有限通信能力的情况下,如何设计网络通信机制以满足传感器网络的通信需求是传感器网络面临的重要问题。

3. 计算和存储能力有限

传感器节点是一种微型嵌入式设备,要求它的价格低、功耗小。这些限制必然导致其携带的处理器能力比较弱,存储器容量比较小。为了完成各种任务,传感器节点需要完成监测数据的采集和转换、数据的管理和处理、应答汇聚节点的任务请求和节点控制等多种工作。如何利用有限的计算和存储资源完成诸多协同任务成为传感器网络设计的挑战。

传感器网络的应用前景非常广阔,能够广泛应用于军事、环境监测和预报、健康护理、智能家居、建筑物状态监控、复杂机械监控、城市交通、空间探索、大型车间和仓库管理,以及机场、大型工业园区的安全监测等领域。随着传感器网络的深入研究和广泛应用,传感器网络将逐渐深入到人类生活的各个领域。

1. 军事应用

传感器网络具有可快速部署、可自组织、隐蔽性强和高容错性的特点,因此非常适合在军事上应用。利用传感器网络能够实现对敌军兵力和装备的监控、战场的实时监视、目标的定位、战场评估、核攻击和生物化学攻击的监测和搜索等功能。通过飞机或炮弹直接将传感器节点播撒到敌方阵地内部,或者在公共隔离带部署传感器网络,就能够非常隐蔽而且近距离准确收集战场信息,迅速获取有利于作战的信息。传感器网络是由大量的随机分布的节点

组成的，即使一部分传感器节点被敌方破坏，剩下的节点依然能够自组织地形成网络。传感器网络可以通过分析采集到的数据，得到十分准确的目标定位，从而为火控和制导系统提供精确的制导。利用生物和化学传感器，可以准确地探测到生化武器的成分，及时提供情报信息，这有利于正确防范和实施有效的反击。

2. 环境观测和预报系统

随着人们对于环境的日益关注，环境科学所涉及的范围越来越广泛。传感器网络在环境研究方面可用于监视农作物灌溉情况、土壤空气情况、牲畜和家禽的环境状况和大量的地表监测等，可用于行星探测、气象和地理研究、洪水监测等，还可以通过跟踪鸟类、小型动物和昆虫进行种群复杂度的研究等。类似的，传感器网络可实现对森林环境监测和火灾报告。传感器节点被随机密布在森林之中，平常状态下定期报告森林环境数据；当发生火灾时，这些传感器节点通过协同合作会在很短的时间内将火源的具体地点、火势的大小等信息传送给相关部门。

3. 医疗护理

传感器网络在医疗系统和健康护理方面的应用包括，监测人体的各种生理数据、跟踪和监控医院内医生和患者的行动、医院的药物管理等。如果在住院病人身上安装特殊用途的传感器节点，如心率和血压监测设备，医生利用传感器网络就可以随时了解被监护病人的病情，发现异常能够迅速抢救。将传感器节点按药品种类分别放置，计算机系统即可帮助辨认所开的药品，从而减少病人用错药的可能性。还可以利用传感器网络长时间地收集人体的生理数据，这些数据对了解人体活动机理和研制新药品都是非常有用的。

4. 智能家居

传感器网络能够应用在家居中。在家电和家具中嵌入传感器节点，通过无线网络与互联网连接在一起，将会为人们提供更加舒适、方便和更具人性化的智能家居环境。利用远程监控系统，可完成对家电的远程遥控。例如，可以在回家之前半小时打开空调，这样回家的时候就可以直接享受适合的室温；也可以遥控电饭锅、微波炉、电冰箱、电话机、电视机、录像机、电脑等家电，按照自己的意愿完成相应的煮饭、烧菜、查收电话留言、选择录制电视和电台节目及下载网上资料到电脑中等工作；也可以通过图像传感设备随时监控家庭安全情况。利用传感器网络可以建立智能幼儿园，监测孩童的早期教育环境，跟踪孩童的活动轨迹，可以让父母和老师全面地研究学生的学习过程。

5. 建筑物状态监控

建筑物状态监控（Structure Health Monitoring, SHM）是利用传感器网络来监控建筑物的安全状态。建筑物需要不断修补，来避免可能存在的一些安全隐患。虽然地壳偶尔的小震动可能不会带来看得见的损坏，但是也许会在支柱上产生潜在的裂缝，这个裂缝可能会在下次地震中导致建筑物倒塌。用传统方法检查，往往要将大楼关闭数月。

采用传感器网络，可以让大楼、桥梁和其他建筑物能够监测并发现它们的状况和问题，使得安装了传感器网络的智能建筑及时告诉管理部门它们的状态信息，并且能够自动按照优先级来进行一系列自我修复工作。未来的各种摩天大楼可能就会装备这种类似红绿灯的装置，从而建筑物可自动告知人们当前是否安全、稳固程度如何等信息。

6. 其他方面的应用

采用无线传感网络能够降低设备维护中的开销，特别是能够去掉人工开销。尤其是目前数据处理硬件技术的飞速发展和无线收发硬件的发展，新的技术已经成熟，可以使用无线技术避免昂贵的线缆连接，采用专家系统自动实现数据的采集和分析。传感器网络可以应用于空间探索。借助于航天器在外星体播撒一些传感器网络节点，可以对星球表面进行长时间的监测。这种方式成本很低、节点体积小、相互之间可以通信，也可以和地面站进行通信。

3.5.2 传感器网络体系结构

传感器网络体系结构如图 3-13 所示，传感器网络系统通常包括传感器节点（sensor node）、汇聚节点（sink node）和管理节点。大量传感器节点随机部署在监测区域（sensor field）内部或附近，能够通过自组织方式构成网络。传感器节点监测的数据沿着其他传感器节点逐跳地进行传输，在传输过程中监测数据可能被多个节点处理，经过多跳后路由到汇聚节点，最后通过互联网或卫星到达管理节点。用户通过管理节点对传感器网络进行配置和管理，发布监测任务及收集监测数据。

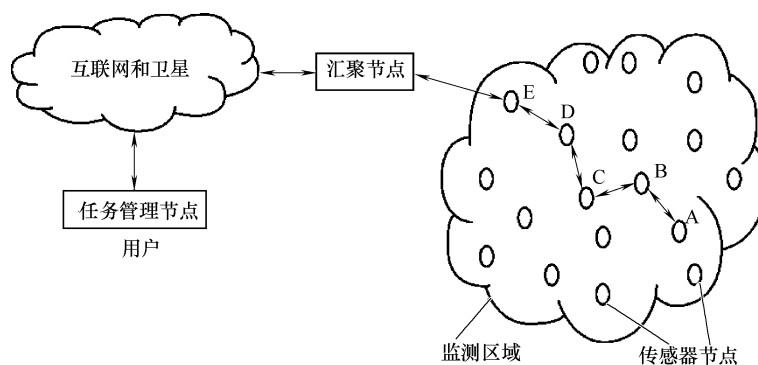


图 3-13 传感器网络体系结构

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统，它的处理能力、存储能力和通信能力相对较弱，通过携带能量有限的电池来供电。从网络功能上看，每个传感器节点兼有传统网络节点的终端和路由器双重功能，除了进行本地信息收集和数据处理外，还要对其他节点转发来的数据进行存储、管理和融合等处理，同时与其他节点协作完成一些特定任务。目前，传感器节点的软硬件技术是传感器网络研究的重点。

汇聚节点的处理能力、存储能力和通信能力相对较强，它连接传感器网络与互联网等外部网络，实现两种协议栈之间的通信协议转换；同时发布管理节点的监测任务，并把收集的数据转发到外部网络上。汇聚节点既可以是一个具有增强功能的传感器节点，有足够的能量供给和更多的内存与计算资源，也可以是没有监测功能仅带有无线通信接口的特殊网关设备。

传感器节点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块和能量供应模块四部分组成，如图 3-14 所示。传感器模块负责监测区域内信息的采集和数据转换；处理器模块负责控制整个传感器节点的操作，存储和处理本身采集的数据及其他节点发来的数据；无线通信模块负

责与其他传感器节点进行无线通信，交换控制消息和收发采集数据；能量供应模块为传感器节点提供运行所需的能量，通常采用微型电池。

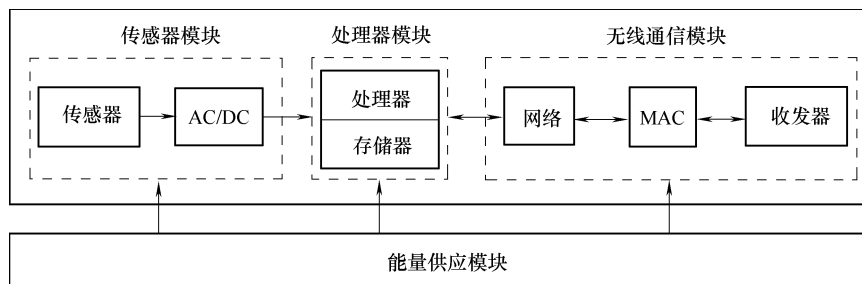


图 3-14 传感器节点体系结构

随着传感器网络的深入研究，研究人员提出了多个传感器节点上的协议栈。图 3-15 所示为早期提出的一个传感器网络协议栈。这个协议栈包括物理层、数据链路层、网络层、传输层和应用层，与互联网协议栈的五层协议相对应。另外，协议栈还包括能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台。这些管理平台使得传感器节点能够按照能源高效的方式协同工作，在节点移动的传感器网络中转发数据，并支持多任务和资源共享。各层协议和平台的功能如下：

- 1) 物理层提供简单但健壮的信号调制和无线收发技术。
- 2) 数据链路层负责数据成帧、帧检测、媒体访问和差错控制。
- 3) 网络层主要负责路由生成与路由选择。
- 4) 传输层负责数据流的传输控制，是保证通信服务质量的重要部分。
- 5) 应用层包括一系列基于监测任务的应用层软件。
- 6) 能量管理平台管理传感器节点如何使用能源，各个协议层都需要考虑节省能量。
- 7) 移动管理平台检测并注册传感器节点的移动，维护到汇聚节点的路由，使得传感器节点能够动态跟踪其邻居的位置。
- 8) 任务管理平台在一个给定的区域内平衡和调度监测任务。

图 3-15b 所示的协议栈细化并改进了原始模型。定位和时间同步子层既要依赖数据传输通道进行协作定位和时间同步协商；同时又要为网络协议各层提供信息支持，如基于时分多址的 MAC 协议、基于地理位置的路由协议等很多传感器网络协议都需要定位和同步信息。所以图 3-15b 中用倒 L 形描述这两个功能子层。图 3-15b 右边所示的诸多机制一部分融入到图 3-15a 所示的各层协议中，用以优化和管理协议流程；另一部分独立在协议外层，通过各种收集和所示的配置接口对相应机制进行配置和监控。例如，能量管理，图 3-15a 中的每个协议层次中都要增加能量控制代码，并提供给操作系统进行能量分配决策；QoS 管理，在各协议层设计队列管理、优先级机制或者带宽预留等机制，并对特定应用的数据给予特别处理；拓扑控制，利用物理层、链路层或路由层完成拓扑生成，反过来又为它们提供基础信息支持，优化 MAC 协议和路由协议的协议过程，提高协议效率，减少网络能量消耗；网络管理，则要求协议各层嵌入各种信息接口，并定时收集协议运行状态和流量信息，协调控制网络中各个协议组件的运行。

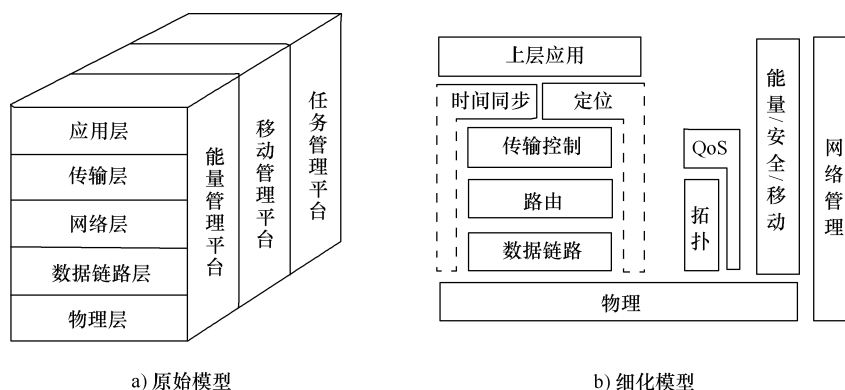


图 3-15 早期提出的一个传感器网络协议栈

3.5.3 传感器网络的发展

无线传感器网络的基本思想起源于 20 世纪 70 年代。1978 年，美国国防部高级研究计划局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）在美国卡耐基梅隆大学成立了分布式传感器网络工作组；1980 年 DARPA 的分布式传感器网络项目无线传感器网络，开启了传感器网络的研究先河；20 世纪 80 年代至 90 年代，研究主要在军事领域，成为网络中心战的关键技术，拉开了无线传感器网络研究的序幕；20 世纪 90 年代中后期，无线传感器网络引起了学术界、军界和工业界的广泛关注，开启了现代意义的无线传感器网络技术。

具体而言，无线传感器网络的地位可从以下三方面分析：

1. 第四代传感器网络

可将传感器网络的发展规划分为四个阶段。一般将简单点到点信号传输功能的传统传感器所组成的测控系统称为第一代传感器网络；第二代为由智能传感器和现场控制站组成的测控网络；第三代为基于现场总线的智能传感器网络；无线传感器网络为第四代传感器网络，其应用发生了很大的变化。

2. 新一代计算设备

依计算科学领域的贝尔定律，每十年会有一类新的计算设备诞生，从巨型机、小型机、工作站、PC、PDA 到无线传感器网络节点、生物芯片。无线传感器网络被认为是新一代的计算设备。

3. 普适计算的一个重要途径

普适计算（Pervasive Computing）是与信息空间发展相适应的一种计算模式。1991 年，Mark Weiser 提出了普适计算的思想，即把计算机嵌入到环境或日常生活中去，让计算机从人们视线中消失，这是普适计算发展的趋势。在无线传感器网络环境中，在任何时间、任何地点能够与外界信息更为方便地交流，让人们可以自由地穿行于物理世界和信息空间中，实现物理世界与信息世界的融合。

无线传感器网络的研究历史不长，但发展很快。从国外的研究现状来看，整体的研究成果仍处于原型和小规模实验阶段，距离实际应用需求还有一定距离。对我国而言，无线传感器网络的研究处于起步阶段，因此，无线传感器网络给科技工作者提供了巨大的研究空间。

3.6 无线传感器网络的技术体系

3.6.1 自组网技术

移动自组织 (ad-hoc) 网络是一种多跳的临时性自治系统, 它的原型是美国早在 1968 年建立的 Aloha 网络和 1973 提出的分组无线 (Packet Radio, PR) 网。Aloha 网络需要固定的基站, 网络中的每一个节点都必须和其他所有节点直接连接才能互相通信, 是一种单跳网络。直到 PR 网络, 才出现了真正意义上的多跳网络, 网络中的各个节点不需要直接连接, 而是能够通过中继的方式, 在两个距离很远而无法直接通信的节点之间传送信息。PR 网络被广泛应用于军事领域。IEEE 在开发 802.11 标准时, 提出将 PR 网络改名为 ad-hoc 网络, 即今天常说的移动自组织网络。

自组织网络是一种没有预定基础设施支撑的自组织、可重构的多跳无线网络。在该网络中, 网络的拓扑、信道的环境、业务的模式是随节点的移动而动态改变的。该网络可以快速地为民用和军事应用建立通信平台。自组织网络从产生至今一直得到了广泛的重视。目前自组织网络已经与 2.5G 和 3G 移动通信进行了有效的结合, 而大规模宽带无线自适应、自组织网络将会成为宽带无线通信或未来移动通信的重要形式。

对于移动自组织网络, 一方面, 网络信息交换采用了计算机网络中的分组交换机制, 而不是电话交换网中的电路交换机制; 另一方面, 用户终端是可以移动的便携式终端, 如笔记本、PDA 等, 用户可以随时处于移动或者静止状态。无线自组织网络中的每个用户终端都兼有路由器和主机两种功能: 作为主机, 终端可以运行各种面向用户的应用程序; 作为路由器, 终端需要运行相应的路由协议。这种分布式控制和无中心的网络结构能够在部分通信网络遭到破坏后维持剩余的通信能力, 具有很强的鲁棒性和抗毁性。

作为一种分布式网络, 移动自组织网络是一种自治、多跳网络, 整个网络没有固定的基础设施, 能够在不能利用或者不便利用现有网络基础设施 (如基站、AP) 的情况下, 提供终端之间的相互通信。由于终端的发射功率和无线覆盖范围有限, 因此距离较远的两个终端如果要进行通信就必须借助其他节点进行分组转发, 这样节点之间构成了一种无线多跳网络。

网络中的移动终端具有路由和分组转发功能, 可以通过无线连接构成任意的网络拓扑。移动自组织网络既可以作为单独的网络独立工作, 也可以以末端子网的形式接入现有网络, 如互联网和蜂窝网。

与其他传统通信网络相比, 自组织网络具有以下显著特点:

1. 无中心和自组织性

自组织网络中没有绝对的控制中心, 所有节点的地位平等, 网络中的节点通过分布式算法来协调彼此的行为, 无须人工干预和任何其他预置的网络设施, 可以在任何时刻、任何地方快速展开并自动组网。由于网络的分布式特征、节点的冗余性和不存在单点故障点, 使得网络的健壮性和抗毁性很好。

2. 动态变化的网络拓扑

自组织网络中, 移动终端能够以任意速度和任意方式在网中移动, 并可以随时关闭电

台。加上无线发送装置的天线类型多种多样、发送功率的变化、无线信道间的互相干扰、地形和天气等综合因素的影响,移动终端间通过无线信道形成的网络拓扑随时可能发生变化,而且变化的方式和速度都难以预测。

3. 受限的无线传输带宽

自组织网络采用无线传输技术作为底层通信手段,由于无线信道本身的物理特性,它所能提供的网络带宽相对有线信道要低得多。此外,考虑到竞争共享无线信道产生的冲突、信号衰减、噪声和信道之间干扰等多种因素,移动终端得到的实际带宽远远小于理论上的最大带宽。

4. 安全性较差

无线自组织网络是一种特殊的无线移动网络,由于采用无线信道、有限电源、分布式控制等技术,它更加容易被动窃听、主动入侵、拒绝服务、剥夺“睡眠”等。信道加密、抗干扰、用户认证和其他安全措施都需要特别考虑。

5. 多跳路由

由于节点发射功率的限制,节点的覆盖范围有限。当它要与其覆盖范围之外的节点进行通信时,需要中间节点的转发。此外,自组织网络中的多跳路由是由普通节点协作完成的,而不是由专用的路由设备(如路由器)完成的。

由于自组织网络的特殊性,需要为其设计专门的协议和技术,全球的研究人员在这方面开展了大量的研究。综合而言,研究主要集中在组网理论、路由算法、接入控制、安全管理等方面。

3.6.2 节点定位技术

在传感器网络中,位置信息对传感器网络的监测活动至关重要,事件发生的位置或获取信息的节点位置是传感器节点监测消息中所包含的重要信息,没有位置信息的监测消息往往是毫无意义的。因此,确定事件发生的位置或获取消息的节点位置是传感器网络最基本的功能之一,对传感器网络应用的有效性起着关键的作用。

无线传感器节点通常随机布放在不同的环境中,执行各种监测任务,以自组织的方式相互协调工作,最常见的例子是用飞机将传感器节点布放到指定的区域中。随机布放的传感器节点无法事先知道自身位置,因此传感器节点必须能够在布放后实时地进行定位。传感器节点自身定位就是根据少数已知位置的节点,按照某种定位机制确定自身的位置。只有在传感器节点自身正确定位之后,才能确定传感器节点监测到的事件发生的具体位置,这需要监测到该事件的多个传感器节点之间相互协作,并利用它们自身的位置信息,使用特定定位机制确定事件发生的位置。在传感器网络中,传感器节点自身的正确定位是提供监测事件位置信息的前提。在传感器网络中,传感器节点能量有限、可靠性差、节点规模大且随机布放,并且无线模块的通信距离有限,这对定位算法和定位技术提出了很高的要求。传感器网络的定位算法通常需要具备以下特点:

- 1) 自组织性,传感器网络的节点随机放置,不能依靠全局的基础设施协助定位。
- 2) 健壮性,传感器节点的硬件配置低、能量少、可靠性差,测量距离时会产生误差,算法必须具有较好的容错性。
- 3) 能量高效,尽可能地减少算法中计算的复杂性,减少节点间的通信开销,以尽量延

长网络的生存周期。通信开销是传感器网络的主要能量开销。

4) 分布式计算, 每个节点计算自身位置, 不能将所有信息传送到某个节点进行集中计算。

目前, 对节点定位问题的研究一般都基于以下前提:

1) 有一定比例的节点为位置已知或具有 GPS 定位功能, 这些节点的位置可作为定位参考节点。

2) 节点位置固定。

3.6.3 时间同步技术

在无线传感器网络系统中, 单个节点的能力非常有限, 整个系统所要实现的功能需要网络内所有节点互相配合共同完成。在无线传感器网络中, 时间同步起着非常重要的作用。在分布式系统中, 不同的节点都有自己的本地时钟。由于不同节点的晶体振荡器频率存在偏差及温度变化和电磁波干扰等, 即使在某个时刻所有节点都达到时间同步, 它们的时间也会逐渐出现偏差。而分布式系统的协同工作需要节点间的时间同步, 因此时间同步机制是分布式系统基础框架的一个关键机制。分布式时间同步涉及物理时间和逻辑时间两个不同的概念。物理时间用来表示人类社会使用的绝对时间; 逻辑时间表达事件发生的顺序关系, 是一个相对概念。分布式系统通常需要一个表示整个系统时间的全局时间, 全局时间根据需要可以是物理时间或逻辑时间。

时间同步机制在传统网络中已经得到广泛应用, 如网络时间协议 (Network Time Protocol, NTP) 是互联网采用的时间同步协议。GPS、无线测距等技术也可以用来提供网络的全局时间同步。在传感器网络应用中同样需要时间同步机制, 如时间同步能够用于形成分布式波束系统、构成 TDMA 调度机制和多传感器节点的数据融合。在节点间的时间同步的基础上, 用时间序列的目标位置检测可以估计目标的运行速度和方向, 通过测量声音的传播时间能够确定节点到声源的距离或声源的位置。传感器网络中节点造价不能太高, 节点的微小体积导致不能安装除本地振荡器和无线通信模块外更多地用于同步的器件, 因此价格和体积成为传感器网络时间同步的重要约束。

传感器网络应用的多样性, 导致了对时间同步机制需求的多样性, 不可能用一种时间同步机制满足所有的应用要求。传感器网络的时间同步机制的主要性能参数如下:

1) 最大误差, 是指一组传感器节点之间的最大时间差, 或相对外部标准时间的最大差。通常情况下, 最大误差随着需要同步的传感器网络范围的增大而增加。

2) 同步期限, 是指节点间需要一直保持时间同步的时间长度。传感器网络需要在各种时间长度内保持时间同步, 从瞬间同步到伴随网络存在的永久同步。

3) 同步范围, 是指需要节点间的时间同步的区域范围。这个范围可以是地理范围, 如以米度量的距离; 也可以是逻辑距离, 如网络的跳数。

4) 可用性, 是指在范围内的覆盖完整性, 有些时间同步机制能够同步区域内的每个节点; 基于网络的机制通常能够同步每个节点; 而有些机制对硬件要求高, 仅能同步部分节点, 如 GPS 系统。

5) 效率, 达到同步精度所经历的时间及所消耗的能量。需要交换的同步消息越多, 经历的时间越长, 消耗的网络能量就越大, 同步的效率相对就越低。

6) 代价和体积, 时间同步可能需要特定硬件, 在传感器网络中需要考虑部件的价格和体积, 这对传感器网络非常重要。

3.7 无线传感器网络的通信协议

3.7.1 无线传感器网络的路由协议

在开放式系统互联 (Open System Interconnection, OSI) 参考模型中, 网络层是通信子网的最高层。在一般的联机系统和线路交换系统中, 网络层的功能意义不大。但是, 当终端增多时, 它们之间就需要有中继设备相连, 此时会出现一台终端要求与多台终端通信的情况, 这就产生了把任意两台数据终端设备的数据链路接起来的问题, 即网络路由问题。

路由是把信息从信息源穿过网络传递到目的地的行为。路由技术其实是由两项最基本的活动组成的, 即决定最优路径和传输数据包。路径选择是实现高效通信的基础。路由器是网络间的连接设备, 它的重要工作之一是路径选择。路由选择算法是在路由表中写入各种不同的信息, 路由器根据数据包所要到达的目的地选择最佳路径, 把数据包发送到可以到达该目的地的下一台路由器。当下一台路由器接收到该数据包时, 也会查看其目的地址, 并使用合适的路径继续传送给后面的路由器。以此类推, 路由过程直到数据包到达最终目的地时结束。

路由包含两个基本的动作: 确定最佳路径和通过网络传输信息。在路由的过程中, 后者也称为 (数据) 交换。交换相对来说比较简单, 而选择路径很复杂。

1. 路径选择

为了帮助选择路径, 路由算法初始化并维护包含路径信息的路由表。路径信息根据使用的路由算法不同而不同。路由算法根据许多信息来填充路由表。目的/下一跳地址告知路由器到达该目的地的最佳方式是把分组发送给代表“下一跳”的路由器, 当路由器收到一个分组, 它就检查其目标地址, 尝试将此地址与其“下一跳”联系起来。

路由表还可以包括其他信息, 路由器彼此通信, 通过交换路由信息维护其路由表。路由更新信息通常包含全部或部分路由表, 通过分析来自其他路由器的路由表更新信息, 该路由器可以建立网络拓扑细图。路由器间发送的另一个信息例子是链接状态广播信息, 它通知其他路由器发送者的链接状态, 链接信息用于建立完整的拓扑图, 使路由器可以确定最佳路径。

2. 交换

交换算法相对而言较简单, 对大多数路由协议而言是相同的。多数情况下, 某主机决定向另一个主机发送数据, 通过某些方法获得路由器的地址后, 源主机发送指向该路由器的物理地址 (即 MAC 地址) 的数据包, 其协议地址是指向目的主机的。

路由器查看了数据包的目的协议地址后, 确定是否知道如何转发该包。如果路由器不知道如何转发, 通常就将之丢弃。如果路由器知道如何转发, 就把目的物理地址变成下一跳的物理地址并向之发送。下一跳可能就是最终的目的主机, 如果不是, 通常为另一个路由器, 它将执行同样的步骤。当分组在网络中流动时, 它的物理地址在改变, 但其协议地址始终不变。

路由协议负责将数据分组从源节点通过网络转发到目的节点，它主要包括两个方面的功能：寻找源节点和优化目的节点的路径，将数据分组沿着优化路径正确转发。ad-hoc、无线局域网等传统无线网络的首要目标是提供高质量服务和公平高效地利用网络带宽。这些网络路由协议的主要任务是寻找源节点到目的节点间通信延迟小的路径，同时提高整个网络的利用率，避免产生通信拥塞并均衡网络流量等，而能量消耗问题不是这类网络考虑的重点。在无线传感器网络中，节点能量有限且一般没有能量补充，因此路由协议需要高效利用能量。同时，传感器网络节点数目往往很大，节点只能获取局部拓扑结构信息，路由协议要能在局部网络信息的基础上选择合适的路径。传感器网络具有很强的应用相关性，不同应用中的路由协议可能差别很大，没有一个通用的路由协议。此外，传感器网络的路由机制还经常与数据融合技术联系在一起，通过减少通信量而节省能量。因此，传统无线网络的路由协议不适应无线传感器网络。

与传统网络的路由协议相比，无线传感器网络的路由协议具有以下特点：

1) 能量优先。传统路由协议在选择最优路径时，很少考虑节点的能量消耗问题。而无线传感器网络中节点的能量有限，延长整个网络的生存期成为传感器网络路由协议设计的重要目标，因此需要考虑节点的能量消耗及网络能量均衡使用的问题。

2) 基于局部拓扑信息。无线传感器网络为了节省通信能量，通常采用多跳的通信模式，而节点有限的存储资源和计算资源，使得节点不能存储大量的路由信息，不能进行太复杂的路由计算。在节点只能获取局部拓扑信息和资源有限的情况下，如何实现简单高效的路由机制是无线传感器网络的一个基本问题。

3) 以数据为中心。传统的路由协议通常以地址作为节点的标识和路由的依据，而无线传感器网络中大量节点随机部署，所关注的是监测区域的感知数据，而不是具体哪个节点获取的信息，不依赖全网唯一的标识。传感器网络通常包含多个传感器节点到少数汇聚节点的数据流，按照对感知数据的需求、数据通信模式和流向等内容，以数据为中心形成消息的转发路径。

4) 应用相关。传感器网络的应用环境千差万别，数据通信模式各不相同，没有一个路由机制适合所有的应用，这是传感器网络应用相关性的一个体现。设计者需要针对每一个具体应用的需求，设计与之适应的特定路由机制。

针对传感器网络路由机制的上述特点，在根据具体应用设计路由机制时，要满足下面的传感器网络路由机制的要求：

1) 能量高效。传感器网络路由协议不仅要选择能量消耗小的消息传输路径，而且要从整个网络的角度考虑，选择使整个网络能量均衡消耗的路由。传感器节点的资源有限，传感器网络的路由机制要能够简单而且高效地实现信息传输。

2) 可扩展性。在无线传感器网络中，检测区域范围或节点密度不同，造成网络规模大小不同；节点失败、新节点加入及节点移动等，都会使得网络拓扑结构动态变化，这就要求路由机制具有可扩展性，能够适应网络结构的变化。

3) 鲁棒性。能量用尽或环境因素造成传感器节点的失败、周围环境影响无线链路的通信质量及无线链路本身的缺点等，这些无线传感器网络的不可靠特性要求路由机制具有一定的容错能力。

4) 快速收敛性。传感器网络的拓扑结构动态变化，节点能量和通信带宽等资源有限，

因此要求路由机制能够快速收敛,以适应网络拓扑的动态变化,减少通信协议开销,提高消息传输的效率。

针对不同的传感器网络应用,研究人员提出了不同的路由协议。但到目前为止,仍缺乏一个完整和清晰的路由协议分类。从具体应用的角度出发,根据不同应用对传感器网络各种特性的敏感度不同,将路由协议分为四种类型。四种类型的路由协议分别如下:

1) 能量感知路由协议。高效利用网络能量是传感器网络路由协议的一个显著特征,早期提出的一些传感器网络路由协议往往仅考虑了能量因素。为了强调高效利用能量的重要性,在此将它们定为能量感知路由协议。能量感知路由协议从数据传输中的能量消耗出发,讨论最优能量消耗路径及最长网络生存期等问题。

2) 基于查询的路由协议。在如环境检测、战场评估等应用中,需要不断查询传感器节点采集的数据、汇聚节点(查询节点)发出任务查询命令、传感器节点向查询节点报告采集的数据。在这类应用中,通信流量主要是查询节点和传感器节点之间的命令和数据传输,同时传感器节点的采样信息在传输路径上通常要进行数据融合,可通过减少通信流量来节省能量。

3) 地理位置路由协议。在如目标跟踪类应用中,往往需要唤醒距跟踪目标最近的传感器节点,以得到关于目标的更精确位置等相关信息。在这类应用中,通常要知道目的节点的精确或者大致地理位置。把节点的位置信息作为路由选择的依据,不仅能够完成节点路由功能,还可以降低系统专门维护路由协议的能耗。

4) 可靠的路由协议。无线传感器网络的某些应用对通信的服务质量有较高要求,如可靠性和实时性等。而在无线传感器网络中,由于链路的稳定性难以保证、通信信道质量比较低、拓扑变化比较频繁,要实现服务质量保证,需要设计相应的可靠的路由协议。

3.7.2 无线传感器网络的 MAC 协议

在无线传感器网络中,MAC 协议决定无线信道的使用方式,在传感器节点之间分配有限的无线通信资源,用来构建传感器网络系统的底层基础结构。MAC 协议处于传感器网络协议的底层部分,对传感器网络的性能有较大影响,是保证无线传感器网络高效通信的关键网络协议之一。

传感器节点的能量、存储、计算和通信带宽等资源有限,单个节点的功能比较弱,而传感器网络的强大功能是由众多节点协作实现的。多点通信在局部范围需要 MAC 协议协调其间的无线信道分配,在整个网络范围内需要路由协议选择通信路径。在设计无线传感器网络的 MAC 协议时,需要着重考虑以下几个方面:

1) 节省能量。传感器网络的节点一般是由干电池、纽扣电池等提供能量,而且电池能量通常难以进行补充,为了长时间保证传感器网络的有效工作,MAC 协议在满足应用要求的前提下,应尽量节省使用节点的能量。

2) 可扩展性。由于传感器节点数目、节点分布密度等在传感器网络生存过程中不断变化,节点位置也可能移动,还有新节点加入网络的问题,所以无线传感器网络的拓扑结构具有动态性。MAC 协议也应具有可扩展性,以适应这种动态变化的拓扑结构。

3) 网络效率。网络效率包括网络的公平性、实时性、网络吞吐量及带宽利用率等。

在上述的三个方面中,普遍认为重要性依次递减。由于现在传感器节点的能量供应问题没有得到很好解决,传感器节点本身不能自动补充能量或能量补充不足,节约能量成为传感

器网络 MAC 协议设计首要考虑的因素。在传统网络中,节点能够连续地获得能量供应,如在办公室有稳定的电网供电;或者可以间断但及时地补充能量,如笔记本计算机和手机等。其整个网络的拓扑结构相对稳定,网络的变化范围和变化频率都比较小。因此,传统网络的 MAC 协议重点考虑节点使用带宽的公平性、提高带宽的利用率及增加网络的实时性。由此可见,传感器网络的 MAC 协议与传统网络的 MAC 协议所注重的因素正好反序,这意味着传统网络的 MAC 协议不适用于传感器网络,需要研究和提出新的适用于传感器网络的 MAC 协议。在无线传感器网络中,人们经过大量实验和理论分析,总结出可能造成网络能量浪费的主要原因包括如下几方面:

1) 如果 MAC 协议采用竞争方式使用共享的无线信道,节点在发送数据的过程中,可能会引起多个节点之间发送的数据产生碰撞。这就需要重传发送的数据,从而消耗了节点更多的能量。

2) 节点接收并处理不必要的数据。这种串音 (over hearing) 现象造成节点的无线接收模块和处理器模块消耗更多的能量。

3) 节点在不需要发送数据时一直保持对无线信道的空闲侦听 (idle listening),以便接收可能传输给自己的数据。这种过度的空闲侦听或者没必要的空闲侦听同样会造成节点能量的浪费。

4) 在控制节点之间的信道分配时,如果控制消息过多,也会消耗较多的网络能量。

传感器节点无线通信模块的状态包括发送状态、接收状态、侦听状态和睡眠状态等。单位时间内消耗的能量按照上述顺序依次减少:无线通信模块在发送状态消耗能量最多,在睡眠状态消耗能量最少,接收状态和侦听状态下的能量消耗稍小于发送状态。基于上述原因,传感器网络 MAC 协议为了减少能量的消耗,通常采用“侦听/睡眠”交替的无线信道使用策略。当有数据收发时,节点就开启无线通信模块进行发送或侦听;如果没有数据需要收发,节点就控制无线通信模块进入睡眠状态,从而减少空闲侦听造成的能量消耗。为了使节点在无线模块睡眠时不错过发送给它的数据,或减少节点的过度侦听,邻居节点间需要协调侦听和睡眠的周期,同时睡眠或唤醒。如果采用基于竞争方式的 MAC 协议,就要考虑尽量减少发送数据碰撞的概率,根据信道使用的信息调整发送的时机。当然,MAC 协议应该简单高效,避免协议本身开销大、消耗过多的能量。

目前,针对不同的传感器网络应用,研究人员从不同方面提出了多个 MAC 协议,但对传感器网络 MAC 协议还缺乏一个统一的分类方式。可以按照下列条件分类 MAC 协议:

第一,采用分布式控制还是集中控制;

第二,使用单一共享信道还是多个信道;

第三,采用固定分配信道方式还是随机访问信道方式。

按照第三种分类方法,将传感器网络的 MAC 协议分为以下三类:

1) 采用无线信道的时分多址 (Time Division Multiple Access, TDMA) 方式,给每个传感器节点分配固定的无线信道使用时段,从而避免节点之间的相互干扰。

2) 采用无线信道的随机竞争方式,节点在需要发送数据时随机使用无线信道,重点考虑尽量减少节点间的干扰;

3) 其他 MAC 协议,如通过采用频分复用或者码分复用等方式,实现节点间无冲突的无线信道的分配。

基于竞争的随机访问 MAC 协议采用按需使用信道的方式。它的基本思想是,当节点需要

发送数据时,通过竞争方式使用无线信道,如果发送的数据产生了碰撞,就按照某种策略重发数据,直到数据发送成功或放弃发送。典型的基于竞争的随机访问 MAC 协议是载波侦听多路访问 (Carrier Sense Multiple Access, CSMA)。无线局域网 IEEE 802.11 MAC 协议的分布式协调 (Distributed Coordination Function, DCF) 工作模式采用带冲突避免的载波侦听多路访问 (CSMA with Collision Avoidance, CSMA-CA) 协议,它可以作为基于竞争 MAC 协议的代表。

TDMA 是实现信道分配的简单成熟的机制,蓝牙 (Bluetooth) 网络采用了基于 TDMA 的 MAC 协议。在传感器网络中采用 TDMA 机制,就是为每个节点分配独立的用于数据发送或接收的时槽,而节点在其他空闲时槽内转入睡眠状态。TDMA 机制的一些特点非常适合传感器网络节省能量的需求:TDMA 机制没有竞争机制的碰撞重传问题;数据传输时不需要过多的控制信息;节点在空闲时槽能够及时进入睡眠状态。TDMA 机制需要节点之间比较严格的时间同步。TDMA 机制在网络扩展性方面存在不足:很难调整时间帧的长度和时槽的分配;对于传感器网络的节点移动、节点失效等动态拓扑结构适应性较差;对于节点发送数据量的变化也不敏感。

3.8 无线传感器网络的技术标准

3.8.1 IEEE 802.15.4 标准

IEEE 802.15 工作组内有四个任务组,分别制定适合不同应用的标准。这四个标准如下:

1. IEEE 802.15.1 本质上只是蓝牙低层协议的一个正式标准化版本,大多数标准制定工作仍由蓝牙特别兴趣组 (SIG) 负责,其成果将由 IEEE 批准。

2. IEEE 802.15.2 是对蓝牙和 IEEE 802.15.1 的一些改变,其目的是减轻对 IEEE 802.11b 和 IEEE 802.11g 网络的干扰。这些网络都使用 2.4GHz 频段,如果想同时使用蓝牙和 Wi-Fi 的话,就需要使用 IEEE 802.15.2 或其他专有方案。

3. IEEE 802.15.3 也称 WiMedia,旨在实现高速率。最初它瞄准的是消费类器件,如电视机和数码照相机等用的器件。其原始版本规定的速率高达 55Mbit/s,使用基于 IEEE 802.11 但不兼容的物理层。后来,多数厂商倾向使用 IEEE 802.15.3a,它使用超宽带 (Ultra Wideband, UWB) 的多频段 OFDM 联盟 (Multiband OFDM Alliance, MBOA) 的物理层,速率高达 480Mbit/s。打算生产 IEEE 802.15.3a 产品的厂商成立了 WiMedia 联盟,其任务是对设备进行测试和贴牌,以保证标准的一致性。

4. IEEE 802.15.4 是一个低速率无线个人局域网 (Low Rate Wireless Personal Area Networks, LR-WPAN) 标准。它的设计目标是低功耗 (长电池寿命)、低成本和低速率,速率可以低至 9.6kbit/s,不支持语音。该标准定义了物理层和 MAC 层。LR-WPAN 的网络结构简单、成本低廉,具有有限的功率和灵活的吞吐量。低速率无线个人局域网的主要目标是实现安装容易、数据传输可靠、短距离通信、极低的成本、合理的电池寿命,并且拥有一个简单而且灵活的通信网络协议。

LR-WPAN 是按照 IEEE 802.15.4 标准,为近距离联网而设计的。IEEE 802.15.4 标准包括工业监控和组网、办公和家庭自动化与控制、库存管理、人机接口装置及无线传感器网络等。该网络具有如下特点:

- ① 实现 250kbit/s、40kbit/s、20kbit/s 三种传输速率;

- ② 支持星形或者点对点两种网络拓扑结构;
- ③ 具有 16bit 短地址或者 64bit 扩展地址;
- ④ 支持 CSMA-CA;
- ⑤ 用于可靠传输的全应答协议;
- ⑥ 低功耗;
- ⑦ 能量检测 (Energy Detection, ED);
- ⑧ 链路质量指示 (Link Quality Indication, LQI);
- ⑨ 在 2450MHz 频带内定义了 16 个通道, 在 915MHz 频带内定义了 10 个通道, 在 868MHz 频带内定义了 1 个通道。

为了使供应商能够提供最低可能功耗的设备, IEEE 定义了两钟不同类型的设备: 一种是全功能设备 (Full-Functional Device, FFD), 另一种是简化功能设备 (Reduced-Functional Device, RFD)。

FFD 具有以下几个特点:

- ① 能够在任何拓扑结构中工作;
- ② 能够成为网络中的主协调器;
- ③ 能够成为一个协调器;
- ④ 能够同任何其他设备进行通信。

RFD 具有以下几个特点:

- ① 被限制在星形网络拓扑中;
- ② 不能够成为网络协调器;
- ③ 只能够同网络中的协调器进行通信;
- ④ 实现起来非常简单。

由于 RFD 非常简单, 就像一个电灯开关或者一个红外传感器, 它们不需要发送大量的数据, 并且一次只能同一个 FFD 关联, 因此 RFD 能够使用很少的资源 and 存储空间。

在个人操作空间 (Personal Operating Space, POS) 内, 两个或更多的设备可以构成一个 WPAN。然而在一个网络中应当至少包含一个 FFD 作为 PAN 协调器。

IEEE 802.15.4 定义的 LR-WPAN 中具有两种拓扑结构: 星形网拓扑和对等网拓扑。这两种网络拓扑结构如图 3-16 所示。

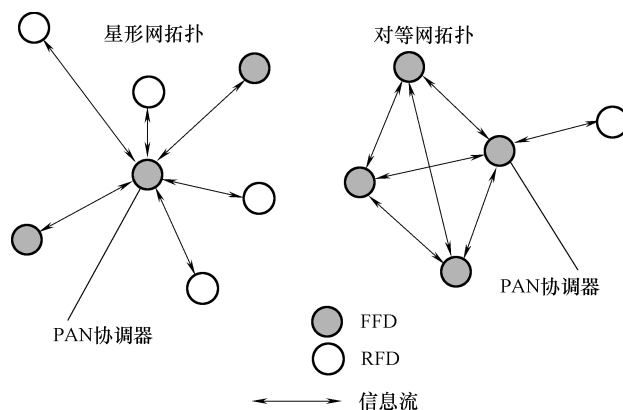


图 3-16 星形网拓扑和对等网拓扑

在星形网拓扑结构中,通信建立在设备和PAN协调器的中心控制设备之间。对于网络通信来说,这些设备可以作为发起设备或者终端设备;PAN协调器则可以作为发起设备、终端设备或路由设备。PAN协调器是主要的耗能设备,其他从设备均可采用电池供电。目前,星形网拓扑结构主要用在家庭自动化、PC外设、玩具、游戏和个人健康检查等方面。

在对等网拓扑结构中,也存在一个PAN协调器。它不同于星形网络结构的是网络中的任何一个设备只要在它的通信范围内,就可以和其他设备进行通信。对等网络拓扑结构可以形成更加复杂的网络结构,如网状网。对等网拓扑结构主要应用于工业控制和检测、无线传感网络、物资跟踪、农业智能化及安全等领域。

与IEEE 802.15.4系列无线标准中的其他标准类似,IEEE 802.15.4仅定义了物理层和MAC层的规范。根据标准的定义,物理层实现了如下功能:信道进行能量检测(Energy Detected)、对收到的包进行链路质量指示(Link Quality Indication, LQI)、接收发送数据、空闲信道评估(Clear Channel Assessment, CCA)等。

1) 信道能量检测为网络层提供信道选择依据。它主要测量目标信道中接收信号的功率强度,由于这个检测本身不进行解码操作,所以检测结果是有效信号功率和噪声信号功率之和。

2) 链路质量指示为网络层或者应用层提供接收数据帧时无线信号的强度和质量的信。与信道能量检测不同的是,它要对信号解码,生成的是一个信噪比指标。这个信噪比指标和物理层数据单元一道提交给上层处理。

3) 空闲信道评估判断信道是否空闲。IEEE 802.15.4定义了三种空闲信道评估模式:第一种,简单判断信道的信号能量,当信号能量低于某个值就认为信道空闲;第二种,判断无线信号的特征,这个特征主要包括两个方面,即扩频信号和载波频率;第三种是前两种模式的综合,同时检测信号强度和信号特征,给出信道空闲判断。

IEEE 802.15.4标准中给出了两种物理层定义:

1) 低频段, 868.0~868.6MHz(欧洲), 902~928MHz(美洲大部分和太平洋地区)。

2) 高频段, 2.400~2.485GHz(全世界范围)。

信道号及其中心频率的定义如下:

$$\begin{aligned} F_c &= 868.3 \text{ MHz}, k=0 \\ F_c &= 906 + 2(k-1) \text{ MHz}, k=1, 2, \dots, 9, 10 \\ F_c &= 2405 + 5(k-11) \text{ MHz}, k=11, 12, \dots, 25, 26 \end{aligned}$$

式中 k ——信道编号。

根据标准的定义,MAC层完成如下六个方面的功能:协调器产生并发送信标帧,普通设备根据协调器的信标帧与协调器同步;支持PAN的关联(Association)和取消关联(Dissociation)操作;支持无线信道通信安全;使用CSMA-CA机制共享物理信道;支持时隙保障(Guaranteed Time Slot, GTS)与机制;为两个对等的MAC实体提供可靠的数据链路。

MAC层帧结构的设计目标是用最低复杂度实现在多噪声无线信道环境下的可靠数据传输。每个MAC子层的帧都由帧头、负载和帧尾三部分组成。帧头由帧控制信息、帧序列号和地址信息组成。MAC子层负载具有可变长度,具体内容由帧类型决定。帧尾是帧头和负载数据的16bit CRC校验序列。

3.8.2 ZigBee 协议规范

基于IEEE 802.15.4标准的ZigBee技术是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数

据速率、低成本的无线通信技术，是目前无线传感器网络的首选技术之一。其开发是为了建立一种低成本、低功耗的小区域的无线通信方式，在此基础上通过软件协议栈发展出易布建的大容量、不依赖现有通信网络和现有电力网络的无线网络。ZigBee 在工业控制、家庭智能化、无线传感器网络等领域有广泛的应用前景。

ZigBee 的技术优势如下：

- 1) 低功耗。在低功耗待机模式下，两节 5 号干电池可支持 1 个节点工作 6~24 个月，甚至更长。这是 ZigBee 的突出优势。相比较，蓝牙能工作数周、Wi-Fi 可工作数小时。
- 2) 低成本。通过大幅简化协议（不到蓝牙的 1/10），降低了对通信控制器的要求，按预测分析，以 8051 的 8 位微控制器测算，全功能的主节点需要 32KB 代码，子功能节点仅需要 4KB 代码。
- 3) 低速率。ZigBee 工作在 20~250kbit/s 的较低速率，分别提供 250kbit/s (2.4GHz)、40kbit/s (915MHz) 和 20kbit/s (868MHz) 的原始数据吞吐率，满足低速率传输数据的应用需求。
- 4) 近距离。传输范围一般为 10~100m；在增加 RF 发射功率后，也可增加到 1~3km，这指的是相邻节点间的距离。如果通过路由和节点间通信的接力，传输距离将可以更远。
- 5) 短时延。ZigBee 的响应速度较快，一般从睡眠转入工作状态只需 15ms，节点连接进入网络只需 30ms，进一步节省了电能。相比较，蓝牙需要 3~10s、Wi-Fi 需要 3s。
- 6) 高容量。ZigBee 可采用星形、片形和网形网络结构，由一个主节点管理若干子节点，最多一个主节点可管理 254 个子节点；同时主节点还可由上一层网络节点管理，最多可组成 65 000 个节点的大网。
- 7) 高安全性。ZigBee 提供了三级安全模式，包括无安全设定、使用接入控制清单 (Access Control List, ACL) 防止非法获取数据及采用高级加密标准 (AES128) 的对称密码，以灵活确定其安全属性。
- 8) 免执照频段。采用直接序列扩频在 ISM 频段，2.4GHz (全球)、915MHz (美国) 和 868MHz (欧洲)。

一般来说，ZigBee 定义两种物理设备类型中，FFD 支持任何拓扑结构，可以充当网络协调器，能和任何设备通信；RFD 通常只用于星形网络拓扑结构，不能完成网络协调器功能，且只能与 FFD 通信，两个 RFD 之间不能通信。但 RFD 的内部电路比 FFD 少，只有很少或没有消耗能量的内存，因此实现相对简单，也更利于节能。RFD 只能作为网络设备使用。

在交换数据的网络中，有三种典型的设备类型：协调器、路由器和终端设备。一个 ZigBee 由一个协调器节点、若干个路由器和一些终端设备节点构成。设备类型并不会限制运行在特定设备上的应用类型。ZigBee 模块如图 3-17 所示。

协调器用于初始化一个 ZigBee 网络。它是网络中的第一个设备。协调器节点选择一个信道和一个网络标识符（即 PAN ID），然后启动一个网络。协调器节点也可以用来在网络中设定安全措施和应用层绑定。协调器的角色主要是启动并设置一个网络。一旦这一工作完成，协调器以一个路由器节点的角色运行（甚至去做其他事情）。由于 ZigBee 网络的分布式的特点，网络的后续运行不需要依赖协调器的存在。

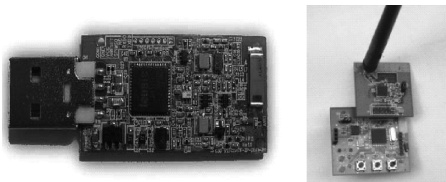


图 3-17 ZigBee 模块

路由器的功能：允许其他设备加入到网络中，多跳路由，协助用电池供电的终端子设备的通信。通常，路由器一直处于工作状态，因此需要使用干线电源供电。路由器需要存储那些去往子设备的信息，直到其子节点醒来并请求数据。当一个子设备要发送一个信息，子设备需要将数据发送给它的父路由节点。这时，路由器就要负责发送数据，执行任何相关的重发，如果有必要还要等待确认。这样，自由节点就可以继续回到睡眠状态。有必要认识到的是，路由器是允许成为网络流量的发送方或者接收方的。由于这种要求，路由器必须不断准备来转发数据，它们通常要用干线供电，而不是使用电池。如有某一工程不需要电池来给设备供电，那么可以将所有的终端设备作为路由器来使用。

一个终端设备并没有维持网络的基础结构的特定责任，所以它可以自己选择是休眠还是激活。终端设备仅在向它们的父节点接收或者发送数据时才会激活。因此，终端设备可以用电池供电来运行很长一段时间。

ZigBee 协议栈建立在 IEEE 802.15.4 的物理层和 MAC 子层规范之上，实现了网络层和应用层实用。在应用层内提供了应用支持子层（Application Support Sub-layer, APS）和 ZigBee 设备对象（ZigBee Device Object, ZDO）。应用框架中则加入了用户自定义的应用对象，ZigBee 协议栈体系结构如图 3-18 所示。

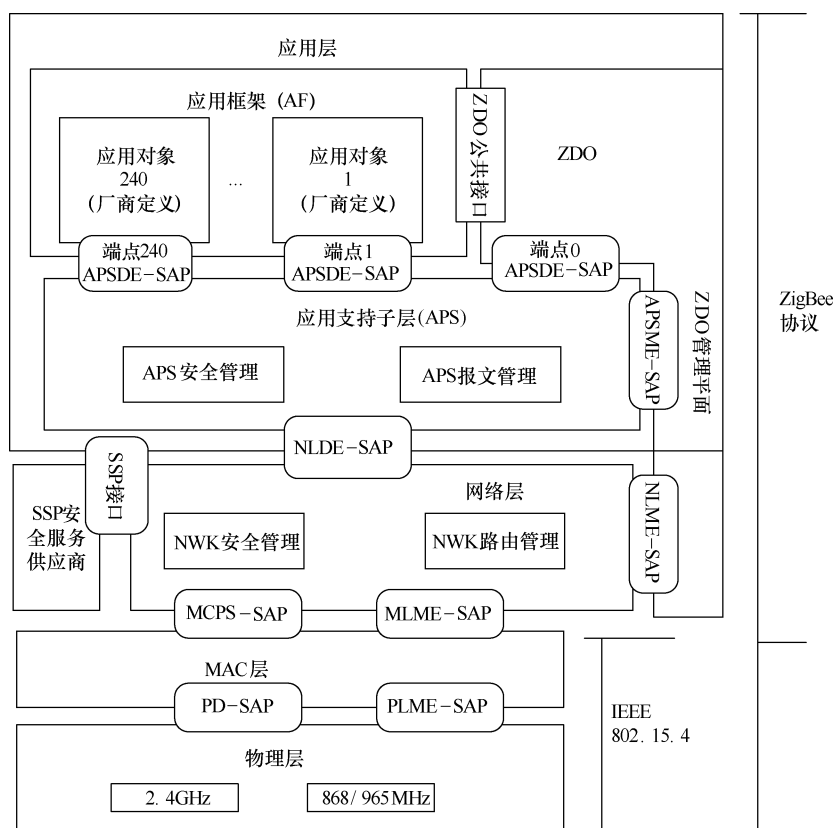


图 3-18 ZigBee 协议栈体系结构

如图 3-18 所示不难看出，应用层是整个协议栈的最高层，包含 APS、ZDO 及厂商自定义的应用对象。

本章小结

本章介绍了传统传感器和智能传感器的基础知识；概述了无线传感器网络的体系结构和发展情况；介绍了包括自组织网络技术、节点定位技术、时间同步技术和安全技术的技术体系；阐述了无线传感器网络的通信协议；介绍了包括 IEEE 802.15.4 标准和 ZigBee 协议规范的无线传感器网络技术标准；最后介绍了多传感器网络信息融合方面的内容。

习题与思考题

1. 传感器的定义是什么？它们是如何分类的？
2. 传感器的主要特性有哪些？
3. 什么叫传感器？由哪几部分组成？它们的作用与相互关系怎样？
4. 超声波传感器的基本原理是什么？超声波探头有哪几种结构形式？
5. 什么是智能传感器？智能传感器有哪些实现方式？
6. 超声波的基本特性？
7. 气敏传感器的特性？
8. 什么是超声波？
9. MEMS 的定义是什么？
10. MEMS 的优点和特点是什么？
11. 传感器接口特点是什么？传感器的输出信号有什么特点？
12. 电桥电路的主要作用是什么？可以分为哪几种？
13. 举例说明无线传感器网络的应用领域。
14. 传感器节点由哪几部分组成？
15. 无线自组网络具有何显著特点？
16. 无线传感器网络为什么要使用时间同步机制，时间同步机制的主要性能参数包括哪些？
17. 在设计无线传感器网络的 MAC 协议时，需要着重考虑哪几个方面？
18. 在传感器网络中，为什么要对网络进行拓扑结构控制与优化。
19. 简述 IEEE 802.15.4 定义的 LR-WPAN 网络中具有两种拓扑结构。
20. 简述 ZigBee 协议与 IEEE 802.15.4 标准的联系与区别。

第 4 章 移动通信与 M2M 技术

M2M 的通信在物联网系统中具有举足轻重的地位。网络是连接物联网感知层和应用层的桥梁。网络经历了互联网、移动互联网的变迁；3G 和 4G 技术使物体广泛联网成为可能；随着技术的进步和网络速度的提高，M2M 技术和应用得到了飞速发展。

4.1 网络

4.1.1 互联网

互联网（Internet）又称网际网络，是网络与网络之间互联成的庞大网络，这些网络使用一组通用的协议，形成逻辑上的单一巨大网络。这种将计算机网络互联在一起的方法可称作“网络互联”，在这基础上发展出覆盖全世界的全球性网络称互联网。互联网并不等同万维网，万维网只是基于超文本相互链接而成的全球性系统，且是互联网所能提供的服务其中之一。

1. 互联网的历史

在 20 世纪 50 年代，通信研究者认识到需要允许在不同计算机用户和通信网络之间进行常规的通信，这促使了分散网络、排队论和数据包交换的研究。1960 年美国 DARPA 出于冷战考虑创建的 ARPA 网引发了技术进步，并使其成为互联网发展的中心。1973 年 ARPA 网扩展成互联网，第一批接入的有英国和挪威的计算机。

1974 年美国 DARPA 的罗伯特·卡恩和斯坦福的温登·泽夫提出 TCP/IP，定义了电脑网络之间传送报文的方法（他们在 2004 年也因此获得图灵奖）。1983 年 1 月 1 日，ARPA 网将其网络核心协议由 NCP 改变为 TCP/IP。

1986 年，美国国家科学基金会创建了大学之间互联的骨干网络 NSFnet，这是互联网历史上重要的一步。在 1994 年，NSFnet 转为商业化运营。1995 年随着网络开放并商业化，互联网成功接入了比较重要的其他网络包括 Usenet、Bitnet 和多种商用 X.25 网络。

20 世纪 90 年代，整个网络向公众开放。1991 年 8 月蒂姆·伯纳斯·李在瑞士创立 HTML、HTTP 和欧洲粒子物理研究所的最初几个网页，之后两年他开始宣扬其万维网项目。1993 年，Mosaic 网页浏览器版本 1.0 公布。1994 年末，公共利益在前学术和技术的互联网上稳步增长。1996 年，互联网一词被广泛流传，不过是指几乎整个的万维网。

之后，经过一个十年，互联网成功地容纳了原有的计算机网络中的大多数网络（尽管像 FidoNet 的一些网络仍然保持独立）。这一快速发展要归功于互联网没有中央控制，以及互联网协议非私有的特质。前者造成了互联网有机的生长，而后者则鼓励了厂商之间的兼容，并防止了某一个公司在互联网上称霸。

互联网的成功，可从互联网这个术语含义的变化窥知一二。最初，互联网代表那些使用 IP 架设而成的网络，而今天，它则用来泛指各种类型网络，不再局限于 IP 网络。一个互联

网可以是任何分离的实体网络之集合，这些网络以一组通用的协议相连，形成逻辑上的单一网络。而因特网（Internet）专指前身为美国 ARPA 网、使用 IP 将各种实体网络互联成的单一逻辑网络。

2. 互联网相关协议

有关互联网的协议可以分为以下三层。

1) 最底层的是 IP，是用于报文交换网络的一种面向数据的协议，这一协议定义了数据包在网际传送时的格式。目前，使用最多的是 IPv4 版本，这一版本用 32 位定义 IP 地址，尽管地址总数达到 43 亿，但是仍然不能满足现今全球网络飞速发展的需求，因此 IPv6 版本应运而生。在 IPv6 版本中，IP 地址共有 128 位，“几乎可以为地球上每一粒沙子分配一个 IPv6 地址”。IPv6 目前并没有普及，许多互联网服务提供商并不支持 IPv6 的连接。但是，可以预见，将来在 IPv6 的帮助下，任何家用电器都有可能连入互联网。

2) 上一层是 UDP 和 TCP，它们用于控制数据流的传输。UDP 是一种不可靠的数据流传输协议，仅为网络层和应用层之间提供简单的接口。而 TCP 则具有高的可靠性，通过为数据包加入额外信息，并提供重发机制，它能够保证数据不丢包、没有冗余包及保证数据包的顺序。对于一些需要高可靠性的应用，可以选择 TCP；而相反，对于性能优先考虑的应用，如流媒体等，则可以选择 UDP。

3) 最顶层的是一些应用层协议，这些协议定义了一些用于通用应用的数据包结构，其中包括以下几项：

DNS，域名服务。

FTP，服务使用的文件传输协议。

HTTP，所有的 Web 页面服务是使用的超级文本传输协议。

POP3，邮局协议。

SMTP，简单邮件传输协议。

Telnet，远程登录等。

3. 接入技术

网络连接技术是用户与互联网间连接方式和结构的总称。任何需要使用互联网的计算机必须通过某种方式与互联网进行连接。互联网接入技术的发展非常迅速：带宽由最初的 14.4Kbit/s 发展到目前的 100Mbit/s 甚至 1Gbit/s 带宽；接入方式也由过去单一的电话拨号方式，发展成现在多样的有线和无线接入方式；接入终端也开始朝向移动设备发展。并且，更新更快的接入方式仍继续被研究和开发。

根据接入后数据传输的速度，互联网的接入方式可分为宽带接入和窄频接入。

(1) 常见民用宽带接入

1) 非对称数字用户线路（ADSL）接入，速度可以达到下载最高 12Mbit/s、上传最高 1Mbit/s。

2) 超高速数字用户线路（VDSL）接入，速度可以达到下载最高 100Mbit/s、上传最高 100Mbit/s。

3) 光纤接入，接入带宽 10Mbit/s、100Mbit/s、1000Mbit/s（常用）。

4) 无线（使用 IEEE 802.11 协议或使用 3G 技术）宽带接入，1.5 ~ 540Mbit/s。

5) 电力线通信接入，主干速度可以达到数百兆，最终用户速度可以达到 11Mbit/s。

6) 有线电视上网 (通过有线电视网络) 接入, 接入带宽 3~34Mbit/s。

7) 人造卫星宽带接入。

(2) 常见民用窄频接入

1) 电话拨号接入, 接入带宽 9600~56Kbit/s (V.92 标准)。

2) 窄频 ISDN 接入, 接入带宽 64~128Kbit/s。

3) GPRS 手机上网, 接入带宽最大 53Kbit/s。

4) UMTS 手机上网, 384Kbit/s。

5) CDMA 手机上网, 2G, CDMA1, 150Kbits。

4. 网络应用技术

网络应用技术在此指所有与网络应用相关的技术。随着互联网的不断发展、网络应用的多样化及硬件设施的飞速发展, 网络应用技术也向着更多样、更复杂的方向发展。网络应用技术可以概括为以下这些技术:

1) Web 技术

2) 网络安全技术

3) 搜索技术

4) 数据库技术

5) 传输技术

6) 流媒体技术

7) 电子商务应用相关的技术

8) 其他技术

4.1.2 移动互联网

移动互联网是当前信息技术领域的热门话题之一, 它体现了“无处不在的网络、无所不能的业务”的思想, 正在改变着人们的生活方式和工作方式。移动互联网使得人们可以通过随身携带的移动终端 (如智能手机、平板式计算机等) 随时随地乃至在移动中获取互联网服务。随着宽带无线接入技术和移动终端技术的迅速发展, 全球已经进入移动互联网周期的早期阶段 (计算技术先后经历的 5 个发展周期: 大型机、小型机、PC、桌面互联网、移动互联网)。

移动互联网已成为学术界和业界共同关注的热点, 但对其的定义还没有达成共识。我国工业和信息化部电信研究院在 2011 年的《移动互联网白皮书》中给出了比较有代表性的定义: “移动互联网是以移动网络作为接入网络的互联网及服务, 包括 3 个要素: 移动终端、移动网络和应用服务。”上述定义包含了移动互联网两方面的含义: 一方面, 移动互联网是移动通信网络与互联网的融合, 用户以移动终端接入无线移动通信网络 (2G 网络、3G 网络、4G 网络、WLAN、WiMax 等) 的方式访问互联网; 另一方面, 移动互联网还产生了大量新型的应用, 这些应用与终端的可移动、可定位和随身携带等特性相结合, 为用户提供个性化、位置相关的服务。

1991 年 Weiser 提出了“泛在计算” (ubiquitous computing), 即人们可以在任意时间、任意地点通过合适的终端与网络进行连接从而获取信息与服务, 开启了移动互联网的研究的先河。此后, 移动互联网日渐成为信息技术领域的研究热点。

移动互联网是一个多学科交叉、涵盖范围广泛的研究领域,涉及互联网、移动通信、无线网络、嵌入式系统等技术。通过对当前移动互联网研究的相关工作进行归类和梳理,形成移动互联网研究体系。这个体系有3个层面,分别为移动终端、接入网络和应用服务。其中,移动终端和接入网络是应用服务的基础。在该体系中,移动互联网研究主要包括移动终端、接入网络、应用服务及安全与隐私保护4个方面。移动终端研究包括终端硬件、操作系统、软件平台、应用软件、节能、定位、上下文感知、内容适配和人机交互等。接入网络研究包括无线通信基础理论与技术、蜂窝网络、无线局域网、多跳无线网络、异构无线网络融合、移动性管理与无线资源管理等。应用服务研究包括移动搜索、移动社交网络、移动互联网应用拓展、基于云计算的服务、基于智能手机感知的应用等。安全与隐私保护研究则涉及移动终端、接入网络、应用服务3个层面,包括内容安全、应用安全、无线网络安全、移动终端安全、位置隐私保护等。

1. 移动终端

移动终端是移动互联网的前提和基础。随着相关技术的不断发展,移动终端逐渐具备了较强的计算、存储和处理能力及触摸屏、定位、视频摄像头等功能组件,拥有了智能操作系统和开放的软件平台。当前主要的智能终端操作系统有美国 Google 公司的 Android 系统、美国 Apple 公司的 iOS 系统、美国 Microsoft 公司的 Windows Phone 系统和加拿大 RIM 公司的 BlackBerry OS 系统等。采用智能终端操作系统的手机,除了具备通话和短信功能外,还具有网络扫描、接口选择、蓝牙 I/O、后台处理、能量监控、节能控制、低层次内存管理、持久存储和位置感知等功能。这些功能使得智能手机在医疗卫生、社交网络、环境监测、交通管理等领域得到越来越多的应用。移动终端研究不仅涵盖终端硬件、操作系统、软件平台及应用软件,还包括节能、定位、上下文感知、内容适配和人机交互等技术。其中,节能和定位至关重要。提高能量利用效率可以增强移动终端的续航能力。获取终端位置则是使用基于位置服务的前提。

(1) 节能技术

移动终端依赖电池工作。出于便携性的考虑,移动终端的尺寸和重量受到严格限制,从而制约了电池体积和容量的扩充。随着移动终端软硬件功能的增强,不断增长的能耗需求和有限的电池容量之间的矛盾也日益加剧,制约着移动互联网的广泛应用。因此,如何提高移动终端的能量利用效率成为移动互联网领域一个备受关注的研究方向。

在硬件方面,芯片、显示屏等元器件的低功耗设计,元器件的合理布局等,都是降低能耗的有效手段。在软件方面,主要的研究工作有智能电池、图形用户界面的节能设计、基于休眠的节能方法、针对 TCP 的节能优化、系统级电源管理和无线通信节能机制。

(2) 定位技术

位置相关服务是移动互联网服务的重要特点之一,因此移动终端定位与移动互联网的发展紧密相连,是一个关键的不可或缺的研究课题。定位,也称为位置感知,是指借助已知空间中的一组参考点的位置来获得该空间中移动用户的位置的过程。定位技术主要有三类:卫星定位技术、网络定位技术、感知定位技术。卫星定位技术利用太空中的人造卫星对移动终端进行定位,如 GPS、北斗卫星导航系统、伽利略卫星导航系统等;网络定位技术利用网络基站(或者接入点)等基础设施对移动终端进行定位,如 2G 网络、3G 网络、WLAN 等;感知定位技术在指定空间内部署传感器,当移动终端进入传感器的感知区域时,则能判定其

位置,如 RFID、红外、蓝牙等。

在应用不断发展的背景下,定位系统的运行环境、使用范围、用户体验都有了新的变化,定位技术面临着新的挑战。卫星定位的研究开展较早,技术比较成熟,在室外能有效地定位,但几乎不能覆盖人们经常工作和活动的室内。网络定位和感知定位等适用于室内定位的技术成为当前的研究热点。近年来,随着 WLAN 作为一种与 3G 网络互补融合的宽带无线接入方式被广泛部署及支持 WLAN 的移动终端日益普及,WLAN 室内定位引起了国内外学者的广泛关注。根据定位原理的不同,WLAN 定位可以分为最近 AP 定位、几何计算定位和位置指纹(location fingerprint)定位。

2. 接入网络

接入网络是移动互联网的重要基础设施之一。按照网络覆盖范围的不同,现有的无线接入网络主要有五类:卫星通信网络、蜂窝网络(如 2G 网络、3G 网络等)、无线城域网(如 WiMax)、WLAN、基于蓝牙的无线个域网。它们在带宽、覆盖、移动性支持能力和部署成本等方面各有长短。例如,蜂窝网络覆盖范围大,移动管理技术成熟,但存在着低带宽、高成本等缺陷;WLAN 有着高带宽、低成本的优势,但其覆盖范围有限,移动管理技术还不成熟。

随着移动互联网的飞速发展,无线接入网络所要支撑的业务已经由以前单一的语音业务转变为综合语音、数据、图像的多媒体业务,现有的无线接入网络已经无法满足其在带宽、覆盖、实时性等多个方面的需求。关于第四代无线通信网络(4G 网络)的设计思路和发展方向,主要有三种:革新式的发展路线、单系统演进的发展路线和多系统融合演进的发展路线。革新式的发展路线,即定义全新的无线接口、通信协议和网络架构,开发成本高且难以推广部署,在时效性和实用性上都有所欠缺;单系统演进的发展路线,即充分利用现有的某种无线接入系统中的基础设施和技术,通过技术增强来实现系统的平滑过渡,是一种低成本的系统升级方案,但系统性能提高有限,不能作为一种长远的发展路线;多系统融合演进的发展路线,即将现有的多种无线接入技术有效地结合起来,实现异构无线网络融合,这种发展路线既具备了单系统演进路线的低成本、低风险的优点,又能够有效提高系统性能来满足用户需求,是一种实用性和时效性都很强的长期发展路线。

接入网络研究涉及无线通信与网络的基础理论与关键技术,主要包括信息理论与编码、信号处理、宽带无线传输理论、多址技术、多天线 MIMO、认知无线电、短距离无线通信、蜂窝网络、无线局域网、无线 Ad-Hoc 网络、无线传感器网络、无线 Mesh 网络、新型网络体系结构、异构无线网络融合、移动性管理、无线资源管理等。

(1) 异构无线网络融合

关于异构无线网络融合的研究最早可以追溯到 1995 年由美国加州大学伯克利分校发起的,海湾无线接入网,(Bay Area Wireless Access Network, BARWAN)计划,该计划提出并实现了多模移动终端在无线局域网和无线广域网之间的垂直切换方案。欧洲电信标准协会和第三代合作伙伴计划(3GPP)对 3G 网络与 WLAN 之间的互联互通进行了深入的研究。欧盟第六框架计划(EUFP6)中的 AmbientNetworks、DRiVE、WINNER 和 EVEREST 计划等在异构无线网络的架构和核心功能实现等方面也取得了丰硕的研究成果。

异构无线网络的融合架构包含两个方面的要素:一是各种无线接入系统之间以何种方式互联互通;二是各种功能模块如何进行划分,即各项管理功能(计费、无线资源管理和移

动性管理等) 在网络实体上的分布及这些实体在网络架构中的位置。按异构网络集成的紧密程度不同, 异构无线网络架构可分为紧耦合 (tight coupling) 和松耦合 (loose coupling) 两类。

(2) 移动性管理

未来的接入网络将是多种接入技术共存、相互补充的异构无线网络。如何实现异构无线网络间的无缝切换是移动性管理需要解决的首要问题。在异构无线网络中, 由于接入技术的复杂、多样, 完全基于物理层和链路层来提供移动性管理非常困难, 需要一种通用的协议在网络层提供异构接入网络间的位置管理、寻呼和切换等操作, 来屏蔽不同种类的无线接入网络的差异。IP 移动性管理能够为移动终端在异构无线网络环境中的漫游提供了统一的解决方案, 但是其作为网络层的移动性管理, 将底层网络视作透明, 没有搜集底层网络相关信息的途径, 会存在网络发现不够及时、网络选择不够准确等问题, 切换延迟也较大。因此, 在异构无线网络环境中, 有必要在二层协议和三层协议之间提供一套与媒体无关的切换技术, 与 IP 移动性管理协议相结合, 共同实现无缝的移动性管理。IEEE 在 2003 年 1 月启动了相关的研究, 并于 2004 年 1 月成立了 IEEE 802. 21 媒体独立切换工作组, 致力于开发一个媒体无关的切换标准。

(3) 无线局域网

无线局域网是移动互联网中一种重要的无线接入方式, 具有带宽高、部署成本低等优势, 可以和 3G 网络形成技术上的互补。目前, 无线局域网在全球得到广泛部署, 覆盖区域已经从热点分布向大面积热区分布发展。

传统的无线局域网采用 AP 与有线交换机直接连接的组网方式。其中, AP 独立完成用户的无线接入、权限认证、安全策略实施, 被称为“胖” AP。随着越来越多企业和运营商开始大规模的无线局域网建设, 这种基于“胖” AP 的组网方式日益暴露出许多突出的问题。由于网络没有集中式的管理功能, 需要以手动方式逐一对 AP 进行配置、管理与监控, 大规模无线局域网由成百上千个 AP 组成, 网络管理的负担非常大。另外, AP 设备通常位于室外, 物理安全无法得到保证, 将所有功能都在 AP 中实现, 包括认证、加密等一些安全配置, 会使得 AP 成为泄密渠道。为了解决上述问题, 满足网络可扩展性和安全需要, 各大厂商推出了基于集中控制型架构的无线局域网解决方案, 即无线控制器 (Access Controller, AC) + “瘦” AP 的模式, 简称 AC-AP 架构。AC-AP 架构对无线局域网的功能进行了重新划分, AC 负责无线网络的接入控制、AP 的配置监控、漫游管理、安全控制等功能; 而“瘦” AP 只负责 IEEE 802. 11 报文的加解密、IEEE 802. 11 的物理层功能等简单功能。由于无线局域网功能被分散到 AC 和“瘦” AP 两个独立的设备上, 需要 AC 和“瘦” AP 之间通过相应的交互控制协议来协同完成, 该协议是 AC-AP 架构的核心。

到目前为止, AC-AP 交互控制协议没有公认的国际标准, 各厂商在实现上都采用私有协议, 因而不同厂商的 AC 和 AP 产品无法实现互通。出于对未来无线局域网互通性的考虑, IETF 成立了无线接入点控制和配置 (Control And Provisioning of Wireless Access Points, CAPWAP) 工作组, 进行 AC-AP 架构及 AC-AP 交互控制协议技术的研究, 制定统一的 AC-AP 交互控制协议。在工作组成立最初, 有 4 个候选协议被推选出来作为 CAPWAP 协议的草案初稿, 它们分别是轻量接入点协议 (Light Weight Access Point Protocol, LWAPP)、安全轻量接入点协议 (Secure Light Access Point Protocol, SLAPP)、CAPWAP 隧道协议 (CAPWAP

Tunneling Protocol, CTP)、无线局域网控制协议 (Wireless LAN Control Protocol, WiCoP)。经过深入研究, LWAPP 因为和工作组定义的目标最为相近, 且协议本身比较完善而最终被采纳, 作为工作组草案的基础标准。

CAPWAP 于 2009 年提出, 该协议将整个 WLAN 网络分成 AC 和“瘦”AP 两个部分。AP 可以看作是 AC 的远程端口, 接受 AC 的控制。AP 的部分功能迁移到 AC 上, 即采用分离 MAC 设计, 实时帧交换与 MAC 管理的一些实时部分在 AP 中完成, 而认证、安全管理及移动性管理则由 AC 处理。AP 收到移动终端的数据, 通过 CAPWAP 封装传至 AC。AC 通过 CAPWAP 控制隧道实现对 AP 的集中控制与管理。因此, CAPWAP 规范了 AP 与 AC 的通信行为, 实现对 AP 的集中控制与管理。

(4) 无线 Mesh 网络

无线 Mesh 网络 (Wireless Mesh Networks, WMN) 是一种自组织、自配置的多跳无线网络。在 WMN 中, Mesh 路由器 (Mesh Router, MR) 以无线互联的方式构成无线骨干网, 少数作为网关的 MR 以有线方式连接到互联网。MR 不仅作为 AP 为其覆盖范围内的移动终端提供无线连接, 还作为路由器为其他 MR 转发报文。移动终端与覆盖其区域的 MR 建立连接, 并以无线多跳的方式通过网关实现互联网接入。与传统的无线局域网相比, WMN 有着许多优势: ①由于只需要很少的有线网络连接点 (网关), 网络的布线成本大大降低; ②多跳无线通信提供了更广的无线覆盖范围; ③无线骨干网中多点到多点的连接, 增强了网络的可靠性; ④MR 之间自动建立和维护连接, 易于网络的增量部署, 网络具有很好的可扩展性。

为了推动 WMN 技术的发展, IEEE 802 的多个标准组正在制定相关的标准, 这些标准已经出现在 IEEE 802.11s、IEEE 802.15、IEEE 802.16 和 IEEE 802.20 中。其中, IEEE 802.11s 标准则是专为 WMN 所制定的, 其主要目的在于拓展 WLAN 的覆盖范围。它通过扩展 IEEE 802.11 MAC 层协议, 构建扩展业务集合 (Extended Service Set, ESS) 下的 WMN, 在 AP 间建立无线连接, 使得多个 AP 之间能够通过自动配置拓扑来组网, 支持单播、广播及组播业务。目前, IEEE 802.11s 标准草案正处于不断的修改完善中。在学术界, WMN 受到了广泛的关注和深入的研究, 涉及网络的性能、安全、管理等多方面的问题, 其中网络性能优化是学者们研究的重点。关于如何提升和优化网络性能。现有的研究工作主要包括高性能路由协议、信道分配、路由和信道分配联合及拓扑规划。

3. 应用服务

应用服务是移动互联网的核心。移动互联网服务, 不同于传统的互联网服务, 具有移动性和个性化等特征: 用户可以随时随地获得移动互联网服务; 这些服务可以根据用户位置、兴趣偏好、需求和环境进行定制。随着 Web2.0 技术的发展, 让用户从信息的获得者变为信息的贡献者, 移动互联网的应用服务也日益繁荣。美国苹果公司于 2008 年 7 月推出在线应用商店, 依托 iPhone 和 iPod Touch 的庞大市场取得了极大的成功。

应用服务研究包括移动搜索、移动社交网络、移动电子商务、移动互联网应用拓展、基于云计算的服务、基于智能手机感知的应用等。

(1) 移动搜索

移动搜索是一种典型的移动互联网应用。移动搜索是基于移动网络的搜索技术, 是指用户通过智能手机等移动终端, 采用浏览器、短信、交互式语音应答 (Interactive Voice Re-

sponse, IVR) 等多种方式搜索, 获取所需的信息和服务 (文本、图像、动画、声音、视频等)。作为传统互联网搜索的进一步延伸, 移动搜索可为用户提供随时随地的个性化的信息服务。以 Google、Baidu 为代表的搜索引擎门户网站已相继推出了移动搜索服务, 让用户可以通过手机进入 WAP 或 WEB 进行网页搜索。

(2) 移动社交网络

社交网络 (social network) 的理论基础是哈佛大学的心理学教授 Stanley Milgram 于 1967 年提出的六度分隔理论 (six degree of separation), “每个人最多只需要通过 6 个人就能认识任何一个陌生人”。社交网络服务 (Social Network Services, SNS) 是一种互联网应用, 旨在为一群存在社会关系或拥有共同兴趣、以各种形式在线聚合的用户提供信息共享与交互服务。当前, 出现了许多著名的提供 SNS 的社交网站, 如 Facebook、MySpace 等。

随着移动互联网的发展, SNS 开始逐渐面向移动终端用户。移动 SNS 无缝地将移动计算和社会计算结合起来, 极大地增强了用户的真实性、地域性和交互的实时性。移动终端与用户的绑定保证了社交网络的真实性; 位置信息的引入, 带来了多样化、个性化的 SNS; 移动终端“永久在线”, 可以提供用户间的实时交互。另外, 移动终端可以利用用户的历史位置信息及与其他用户相遇的历史记录 (蓝牙等短距离无线通信的服务发现) 来感知社会上下文, 并实现基于社会上下文的应用。

4. 展望

作为当前的热点, 移动互联网在近几年得到了广泛的研究。虽然移动互联网研究已经取得了一定的成果, 但是仍有很多问题需要解决, 集中体现在以下几个方面。

(1) 精确、无缝与低能耗的移动终端定位

定位精度是一项非常重要的性能指标, 现有的工作大多数只是针对某一种定位技术来研究如何提高其定位精度。在多种定位基础设施 (如 3G 网络、WLAN 等) 重叠覆盖的区域, 如何综合利用多种定位技术 (网络定位、感知定位等) 提供更为精确的服务, 是一个值得研究的问题。一些大型的应用, 如既有室内场景、又有室外场景, 则需要分别采用室内与室外定位技术, 定位服务的无缝化问题急需解决。而问题的难点在于室外、室内的定位技术切换和统一的数据管理。定位作为移动终端上运行的一项功能, 同样需要考虑能耗。对于连续实时定位, 能耗问题尤为突出。如何在定位的准确性和能耗上进行权衡, 如何在不降低终端轨迹准确性的前提下尽可能地利用低能耗定位技术和降低定位使用频率, 都是需要进一步研究的问题。

(2) 高效、动态的无线频谱资源管理与利用

为了解决日益增长的无线通信需求和有限的无线频谱资源之间的矛盾, 学者们一直致力研究频谱资源的管理和利用, 通过调制、编码、多信道、多天线、认知无线电等技术, 来最大化频谱资源的利用效率。其中, 认知无线电技术是当前研究的热点, 在频谱感知和频谱分配上还存在着很多未解决的难题和挑战。在频谱感知方面, 如何在编码、角度等维度上进行频谱检测以发现更多的频谱机会, 如何在多用户合作感知时提高协同增益和减少系统开销, 如何通过学习和预测的方法来估计频谱的占用状况以降低感知开销, 都是值得深入研究的问题。在频谱分配方面, 如何综合考虑多种频谱特征参数来分配频谱, 如何实现多频谱分配的功能使得用户可以同时使用多个不连续的空闲频谱进行通信, 如何实现发送端和接收端之间的握手协商以将发送端的分配结果通知接收端, 还有待进一步研究。

(3) 大规模、高性能的无线 Mesh 网络

目前, 构建大规模、高性能 WMN 的技术问题还没有完全解决, 主要体现在容量和可扩展性两个方面。容量问题是 WMN 的基础研究问题, 如何对网络进行容量优化是当前的一个研究重点, 主要包括路由、信道分配、链路调度、拓扑规划等方面。现有的研究工作主要包括针对已部署的网络进行路由、信道分配和链路调度的优化, 以及没有综合考虑路由、信道分配和链路调度的拓扑规划。联合拓扑规划、路由、信道分配和链路调度, 可以更好地提升网络容量, 但由于问题更加复杂, 如何利用优化理论来建模和求解都相当困难, 需要更为深入的研究。此外, 当前的研究工作还存在着实用性不高的问题, 模型中存在一些理想的假设, 如何提高模型的实用性也是一个值得关注的问题。当网络规模扩大时, 多跳无线传输路径的增长会极大降低端到端的吞吐量; 对于现有的 MAC、路由和传输层协议, 协议开销会大量增加网络运行的负荷, 从而影响网络性能。因此, 网络架构和协议的可扩展性也是 WMN 要解决的问题。

(4) 基于云计算的移动互联网服务

移动互联网与云计算的结合越来越受到人们的关注。移动终端在计算能力上的局限性, 需要云端强大的计算能力来互补。云计算平台具有海量数据存储和高性能计算能力, 可以为实现可运营、可管理、低成本、高效率、高扩展、灵活的移动互联网服务提供技术支撑。因此, 基于云计算的移动互联网服务是未来一个重要的研究方向, 有以下问题有待进一步解决:

1) 端到云通信的优化。将终端计算迁移到云平台, 既可以充分利用云平台的计算资源, 又可以降低终端的计算开销、减少终端能耗。但这会给终端带来额外的通信开销, 需要研究如何降低终端的通信开销, 如何在计算开销和通信开销之间进行折中。

2) 可靠性保证。无线网络中链路的不稳定性会导致数据传输失败或服务的中断, 因此需要在云平台提供针对无线网络链路特点的可靠性保证机制。

3) 面向移动终端的服务访问接口。由于移动终端计算能力有限及无线接入网络带宽较小等因素, 需要云平台提供面向移动终端的服务访问接口。

(5) 智能手机的感知技术及应用

智能手机内置多种感知设备, 如加速度计、电子罗盘、GPS、麦克风、摄像头等, 具备了丰富的感知功能, 在医疗卫生、社交网络、环境监控、交通管理等领域已有了广泛的应用。研究智能手机感知的新技术, 综合运用多种感知技术和拓展基于智能手机感知的应用, 是今后努力的方向。现有的感知模式有两种, 即参与模式和机会模式。参与模式需要用户手动触发, 由于受用户参与积极性的影响, 感知数据的获取量得不到保证; 而机会模式则根据手机上下文自动触发, 但对复杂上下文的感知却是个难题。因此, 结合参与模式和机会模式的混合感知模式值得关注, 它可能会出现在未来的许多应用中。此外, 连续感知是当前研究的热点。在连续感知中, 必须考虑节能问题。因此需要限制连续感知和通信的代价, 如何在保证准确性和实时性的前提下降低能耗需要进一步的研究。

(6) 移动互联网安全

目前, 移动互联网安全面临着以下一系列的挑战:

1) 移动终端安全。需要在硬件、操作系统、软件平台和应用软件各层面, 给终端提供安全防护。其中, 恶意软件的检测和防护还待进一步研究, 监控能耗、增加平台多样性和增

强硬件沙盒 (sandbox) 等方法值得关注。

2) 接入网络安全。异构无线网络需要统一、安全的认证机制, 该机制要能够屏蔽底层异构的链路层技术, 承载多种认证方法以适用于不同的接入环境。由于移动终端在计算、存储能力上的限制, 需要更为高效的加密算法和密钥协商机制。WLAN 由于存在安全体制缺陷, 还存在许多安全问题, 如虚假 AP “钓鱼”、链路攻击、信息泄露等。

3) 应用服务安全。面向移动互联网的流量监控和信息监管机制还待深入研究, 特别是研究针对移动终端和接入网络特点的基于内容的非法信息识别和过滤方法。在云计算平台中, 数据的所有权和管理权分离, 使得数据安全和隐私保护面临更大挑战, 虚拟化的云平台在隔离用户资源方面还存在漏洞, 需要进一步完善。

4.2 移动通信技术

移动通信技术于 20 世纪 80 年代开始商用, 以传输语音信号为主; 到了 2002 年, 全球的移动用户已经超过固定电话用户, 移动通信成为用户最多、使用最广泛的通信手段。此后, 移动数据业务发展迅速, 以无所不在和个人化服务为特征的移动通信已渗透到人们生活、工作和学习的方方面面。无线移动通信产业凭借强大的渗透性和带动性, 成为带动国民经济的先导产业。

4.2.1 移动通信技术的发展

在过去的 10 多年中, 世界电信发生了巨大的变化, 移动通信技术特别是蜂窝小区技术的迅速发展, 使用户彻底摆脱终端设备的束缚, 实现了完整的个人移动性、可靠的传输手段和接续方式。进入 21 世纪, 移动通信逐渐演变成社会发展和进步的必不可少的工具。

第一代移动通信 (简称 1G) 系统是在 20 世纪 80 年代初提出的, 它完成于 20 世纪 90 年代初, 如 NMT 和 AMPS。NMT 于 1981 年投入运营。第一代移动通信系统是基于模拟技术传输的, 其特点是业务量小、质量差、安全性差、没有加密和速度低。第一代移动通信系统主要是基于蜂窝结构组网的, 直接使用模拟语音调制技术, 传输速率约为 2.4kbit/s。不同国家采用不同的工作系统。

第二代移动通信 (简称 2G) 系统起源于 20 世纪 90 年代初期。欧洲电信标准协会在 1996 年提出了 GSM Phase 2+, 目的在于扩展和改进 GSM Phase 1 及 Phase 2 中原定的业务和性能。它主要包括客户化应用移动网络增强逻辑 (Customized Application for Mobile network Enhanced Logic, CAMEL)、SO (支持最佳路由)、立即计费、GSM 900/1800 双频段工作等内容, 也包含了与全速率完全兼容的增强型语音编解码技术, 使得语音质量得到了质的改进; 半速率编解码器可使 GSM 系统的容量提高近 1 倍。在 GSM Phase2+ 中, 采用更密集的频率复用、多复用、多重复用结构技术, 引入智能天线技术、双频段等技术, 有效地克服了随着业务量剧增所引发的 GSM 系统容量不足的缺陷; 自适应语音编码技术的应用, 极大提高了系统通话质量; GPRS、EDGE 技术的引入, 使 GSM 与计算机通信和互联网有机相结合, 数据传送速率可达 115kbit/s 或 384kbit/s, 从而使 GSM 功能得到不断增强, 初步具备了支持多媒体业务的能力。

尽管第二代移动通信技术在发展中不断得到完善, 但随着用户规模和网络规模的不断扩

大, 频率资源已接近枯竭, 语音质量不能达到用户满意的标准, 数据通信速率太低, 无法在真正意义上满足移动多媒体业务的需求。第三代移动通信 (简称 3G) 系统, 也称 IMT2000, 是已开发的系统, 其最基本的特征是智能信号处理技术。智能信号处理单元将成为基本功能模块, 支持语音和多媒体数据通信, 它可以提供前两代产品不能提供的各种宽带信息业务, 如高速数据、慢速图像与电视图像等。例如, WCDMA 的传输速率在用户静止时最大为 2Mbit/s, 在用户高速移动时最大支持 144Kbit/s, 所占频带宽度为 5MHz 左右。

但是, 第三代移动通信系统的通信标准共有 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 三大分支, 共同组成一个 IMT2000 家庭, 成员间存在相互兼容的问题, 因此已有的移动通信系统不是真正意义上的个人通信和全球通信; 再者, 3G 的频谱利用率还比较低, 不能充分利用宝贵的频谱资源; 第三, 第三代移动通信系统支持的速率不够高, 如单载波只支持最大 2Mbit/s 的业务, 等等。这些不足远远不能适应未来移动通信发展的需要, 因此要寻求一种既能解决现有问题, 又能适应未来移动通信的需求的新技术——新一代移动通信 (即 4G) 系统。

第四代移动通信系统也称为广带接入和分布网络, 具有超过 2Mbit/s 的非对称数据传输能力, 对高速移动用户能提供 150Mbit/s 的高质量的影像服务, 并首次实现三维图像的高质量传输。它包括广带无线固定接入、广带无线局域网、移动广带系统和互操作的广播网络 (基于地面和卫星系统), 是集多种无线技术和无线局域网系统为一体的综合系统, 也是宽带 IP 接入系统。在这个系统上, 移动用户可以实现全球无缝漫游。它可进一步提高利用率, 满足高速率、大容量的业务需求, 克服高速数据在无线信道下的多径衰落, 降低噪声和多径干扰, 达到改善系统性能的目的。

4.2.2 第三代移动通信技术

第三代移动通信 (以下简称 3G) 技术, 是指支持高速数据传输的蜂窝移动通信技术。3G 技术能够同时传送声音 (通话) 及数据信息 (电子邮件、即时通信等), 最大的特点是提供高速数据业务。3G 手机是相对于第一代模拟制式手机和第二代 GSM、CDMA 等数字手机的第三代手机。一般来讲, 3G 手机是指将无线通信与互联网等多媒体通信相结合的移动通信终端设备, 是通信业和计算机工业相融合的产物, 也是 3G 技术应用产品的典型代表之一。

1. 3G 技术概述

(1) 3G 技术标准

目前主流的应用有 WCDMA (欧洲、日本版)、CDMA2000 (美国版) 和 TD-SCDMA (中国)。它们是国际电信联盟确定的四大主流无线接口标准的三种。

国际电信联盟在 2000 年 5 月确定了 WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 及 WiMAX 四大主流 3G 无线接口标准, 写入 3G 技术指导性文件《2000 年国际移动通信计划》(即 IMT 2000)。CDMA (Code Division Multiple Access, 码分多址), 是 3G 系统的技术基础。第一代移动通信 (以下简称 1G) 系统采用 FDMA (Frequency Division Multiple Access, 频分多址) 的模拟调制方式, 这种系统的主要缺点是频谱利用率低, 信令干扰语音业务。第二代移动通信 (以下简称 2G) 系统主要采用 TDMA (Time Division Multiple Access, 时分多址) 的数字调制方式, 提高了系统容量, 并采用独立信道传送信令, 使系统性能大大改善; 但 TDMA

的系统容量仍然有限,越区切换性能仍不完善。CDMA 以其频率规划简单、系统容量大、频率复用系数高、抗多径能力强、通信质量好、软容量、软切换等特点显示出巨大的发展潜力。下面分别介绍 3G 的几种标准:

1) WCDMA。WCDMA [Wideband CDMA (或 CDMA Direct Spread), 宽频码分多址, 也可写为 W-CDMA], 是基于 GSM 发展出来的 3G 技术规范, 是欧洲提出的宽带 CDMA 技术, 它与日本提出的宽带 CDMA 技术基本相同, 已进一步融合。WCDMA 的支持者主要是以 GSM 系统为主的欧洲厂商, 日本公司也或多或少参与其中, 包括欧洲的爱立信、阿尔卡特、诺基亚公司等, 以及日本的 NTT、富士通、夏普公司等。该标准提出了 GSM (2G) → GPRS → EDGE → WCDMA (3G) 的演进策略。这套系统能够架设在现有的 GSM 网络上, 对于系统提供商而言可以较轻易地进行过渡。在 GSM 系统相当普及的亚洲, 对这套新技术的接受度比较高, 因此 WCDMA 具有较好的市场优势。

技术参数如下:

RTT 为 FDD;

异步 CDMA 系统为无 GPS;

带宽为 5MHz;

码片速率为 3.84Mc/s;

中国频段为 1940~1955MHz (上行)、2130~2145MHz (下行)。

2) CDMA2000。CDMA2000 是由窄带 CDMA (CDMA IS95) 技术发展而来的宽带 CDMA 技术 (也称为 CDMA Multi-Carrier)。它是由美国高通公司北美分公司为主导提出的, 美国摩托罗拉公司、美国朗讯公司和后来加入的韩国三星公司参与其中。韩国已成为该标准的主导者。这套系统是从窄频 CDMAOne 数字标准衍生出来的, 可以从原有的 CDMAOne 结构直接升级到 3G, 建设成本低廉。但目前使用 CDMA 的地区只有日本、韩国和北美地区, 所以 CDMA2000 的支持者不如 WCDMA 多。不过 CDMA2000 的研发却是各标准中进度最快的, 许多 3G 手机已经率先面世。该标准提出了从 CDMA IS95 (2G) → CDMA2000 1× → CDMA2000 3× (3G) 的演进策略。CDMA2000 1× 被称为第二点五代移动通信技术 (G2.5)。CDMA2000 3× 与 CDMA2000 1× 的主要区别在于应用了多路载波技术, 采用三载波使带宽提高。目前中国电信正在采用这一方案向 3G 过渡, 并已建成了 CDMA IS95 网络。

技术参数如下:

RTT 为 FDD;

同步 CDMA 系统有 GPS;

带宽为 1.23MHz;

码片速率为 1.2288Mc/s;

中国频段为 1920~1935MHz (上行)、2110~2125MHz (下行)。

3) TD-SCDMA。TD-SCDMA (Time Division-Synchronous CDMA, 时分同步码分多址) 是由我国独立制定的 3G 标准。1999 年 6 月 29 日, 原邮电部电信科学技术研究院 (今大唐电信公司) 向 ITU 提出该标准, 但技术发明始祖为德国西门子公司, TD-SCDMA 具有辐射低的特点, 被誉为绿色 3G。该标准将智能无线、同步 CDMA 和软件无线电等当今国际领先技术融于其中, 在频谱利用率、对业务支持具有灵活性、频率灵活性及成本等方面的独特优

势。另外，由于我国庞大的市场，该标准受到各大主要电信设备厂商的重视，全球一半以上的设备厂商都宣布可以支持 TD-SCDMA 标准。该标准提出不经过 G2.5 的中间环节，直接向 3G 过渡，非常适用于 GSM 系统向 3G 升级。军用通信网也是 TD-SCDMA 的核心任务。

技术参数如下：

RTT 为 TDD；

同步 CDMA 系统为有 GPS；

带宽为 1.6MHz；

码片速率为 1.28Mc/s；

中国频段为 1880 ~ 1920MHz（上行）、2010 ~ 2025MHz（下行）、2300 ~ 2400MHz（补充）。

4) WiMAX。WiMAX（Worldwide Interoperability for Microwave Access，微波存取全球互通），又称为 IEEE 802.16 无线城域网，是一项新兴的宽带无线接入技术，能提供面向互联网的高速连接，数据传输距离最远可达 50km。WiMAX 还具有 QoS 保障、传输速率高、业务丰富多样等优点。WiMAX 的技术起点较高，采用了代表未来通信技术发展方向 OFDM/OFDMA、AAS、MIMO 等先进技术，是又一种为企业和家庭用户提供“最后一公里”的宽带无线连接方案。2007 年 10 月 19 日，国际电信联盟在日内瓦举行的无线通信全体会议上，经过多数国家投票通过，WiMAX 正式被批准成为继 WCDMA、CDMA2000 和 TD-SCDMA 之后的第四个全球 3G 标准。

技术参数如下：

全球微波互联接入，另一个名字是 IEEE 802.16；

带宽为 1.5~20MHz；

最高接入速度为 70Mbit/s；

最高传输距离为 50km；

码片速率不详；

中国频段暂无。

(2) CDMA2000、WCDMA 和 TD-SCDMA 三种技术比较

虽然 CDMA2000、WCDMA 和 TD-SCDMA 同属 3G 的主流技术标准，但是仍然可以将其分为两类：CDMA2000、WCDMA 并为一类；TD-SCDMA 则和前两者分开讨论。之所以可以这样做，是因为在技术上 CDMA2000 和 WCDMA 是 FDD 的标准，而 TD-SCDMA 则是一个 TDD 标准。

1) WCDMA 与 CDMA2000。WCDMA 和 CDMA2000 都满足 IMT-2000 提出的全部技术要求，包括支持高比特率多媒体业务、分组数据和 IP 接入等。这两种系统的无线传输技术均基于 DS-SS 作为多用户接入技术，单就技术来说，WCDMA 和 CDMA2000 在技术先进性和发展成熟度上各具优势，但总体来看，WCDMA 似乎更胜一筹，以下是 WCDMA 相对 CDMA2000 的一些优势所在：

① WCDMA 使用的带宽和码片率（3.84M/ps）是 CDMA2000 1× 演进家族的 3 倍以上，因而能提供更大的多路径分集、更高的中继增益和更小的信号开销。此外，更高的码片率也改善了接收机解决多径效应的能力。

② WCDMA 在小区站点同步方面的设计使用的是异步基站，而 CDMA2000 基站则通常

通过 GPS 实现同步, 这将造成室内和城市小区 (采用室内天线) 部署方面的困难。

③ 由于支持 $1 \times \text{EV-DO}$ 的 TDM 接入系统采用共享时分多址下行链路, 具有固定时隙, 因此 CDMA2000 物理层兼容性较差。

④ WCDMA 较 CDMA2000 能够更加灵活地处理语音和数据混合业务。

⑤ WCDMA 进行功率控制的频率几乎是 CDMA2000 的 2 倍, 达到 1.5kHz, 因而能保证更好的信号质量, 并支持更多的用户。

⑥ CDMA2000 的导频信道大约需要下行链路总传输功率的 20%, 相比之下 WCDMA 只需要约 10%, 因而可以节省更多的公用信道的开销。

⑦ 为支持基于 GSM 的 GPRS 业务而部署的所有业务 (如计费、安全、漫游等) 也支持 WCDMA 业务, 而为了完善新的数据/语音网络, CDMA2000 必须添加额外的网元或进行功能的升级。

⑧ 在混合语音和数据流量方面, WCDMA 的系统性能比 CDMA2000 也表现得更加出色。因此, 从技术的角度来讲, WCDMA 具备一定优势, 各家电信企业也因此更加倾向采用该标准。

另外, 在传统网络基础和市场推广上, WCDMA 占据着更大的优势。由于全球移动系统有 85% 都在用 GSM 系统, 而 GSM 向 3G 过渡的最佳途径就是历经 GPRS 演进到 WCDMA, 所以传统网络上的绝对优势使得 CDMA2000 难以与 WCDMA 望其项背。

2) TD-SCDMA 与 WCDMA 和 CDMA2000 的比较。与 WCDMA 和 CDMA2000 相比, TD-SCDMA 具有如下的特点和优势:

① 频谱利用率高。TD-SCDMA 采用 TDD 方式及 CDMA 和 TDMA 的多址技术, 在传输中很容易针对不同类型的业务设置上、下行链路转换点, 因而可以使总的频谱效率更高。

② 支持多种通信接口。TD-SCDMA 同时满足 Iub、A、Gb、Iu、IuR 多种接口要求, 基站子系统既可作为 2G 和 2.5G 的 GSM 基站的扩容, 又可作为 3G 网中的基站子系统, 能同时兼顾现在的需求和未来长远的发展。

③ 频谱灵活性强。TD-SCDMA 频谱灵活性强, 仅需单一 1.6MHz 的频带就可提供速率达 2Mbit/s 的 3G 业务需求, 而且非常适合非对称业务的传输。

④ 系统性能稳定。TD-SCDMA 收发在同一频段上, 上行链路和下行链路的无线环境一致性很好, 更适合使用新兴的“智能天线”技术; 利用了 CDMA 和 TDMA 结合的多址方式, 更利于联合检测技术的采用。这些技术都能减少干扰, 提高系统的性能稳定性。

⑤ 与传统系统兼容性好。TD-SCDMA 支持现存的覆盖结构, 信令协议可以后向兼容, 网络不必引入新的呼叫模式, 能够实现向 4G 系统的平滑过渡。

⑥ 系统设备成本低。TD-SCDMA 上下行工作于同一频率, 对称的电波传播特性使之便于利用智能天线等新技术, 这也可达到降低成本的目的。

⑦ 在无线基站方面, TD-SCDMA 的设备成本也比较低。

⑧ 支持与传统系统间的切换功能。TD-SCDMA 技术支持多载波直接扩频系统, 可以再利用现有的框架设备、小区规划、操作系统、账单系统等, 在所有环境下支持对称或不对称的数据速率。

当然, 与前两种标准相比, 尤其是与 WCDMA 比起来, TD-SCDMA 也有“尚显稚嫩”的地方。例如, 在对 CDMA 技术的利用方面, TD-SCDMA 因要与 GSM 的小区兼容, 小区复

用系数为 3，降低了频谱利用率。又因为 TD-SCDMA 频带宽度窄，不能充分利用多径，降低了系统效率，实现软切换和软容量能力较困难。另外，TD-SCDMA 系统要精确定时，小区间保持同步，对定时系统要求高。而 WCDMA 则不需要小区间同步，可适应室内、室外，甚至地铁等不同的环境的应用。另外，WCDMA 对移动性的支持更加优质，适合宏蜂窝、蜂窝、微蜂窝组网；而 TD-SCDMA 只适合微蜂窝，对高速移动的支持也较差。尤其是在从 GSM 网向 3G 的过渡过程中，WCDMA 的优势更加明显。

这三种主流的 3G 技术标准——WCDMA、CDMA2000 和 TDSCDMA，在技术上各有千秋，从目前的情况来看，不会出现哪种标准“一统江湖”的局面，而至于谁能在 3G 时代占据更大的市场份额，关键是看哪个技术标准更符合市场需求和竞争的需要。对于这个问题的分析，除了各项技术特点及厂商供货环境、全球范围内广泛采用的程度等入手外，还要结合各国国情、各运营商的具体情况及市场竞争等因素进行考虑。

2. 3G 技术的应用

中国的 3G 之路已开始，最先普及的 3G 应用是“无线宽带上网”，方便 6 亿的手机用户随时随地手机上网。而无线互联网的流媒体业务将逐渐成为主导。3G 的核心应用包括以下几项：

(1) 宽带上网

宽带上网是 3G 手机的一项很重要的功能，在手机上能收发语音邮件、写博客、聊天、搜索、下载图片彩铃等。

(2) 视频通话

在 3G 框架下，传统的语音通话已经是个较弱的功能了，视频通话和语音信箱等新业务才是主流，传统的语音通话资费有一定降低，而视觉冲击力强、快速直接的视频通话得到普及和快速发展。

(3) 手机电视

从运营商层面来说，3G 牌照的发放解决了一个很大的技术障碍，TD 和 CMMB 等标准的建设也推动了整个行业的发展。手机流媒体软件会成为 3G 时代最多使用的手机电视软件，在视频影像的流畅和画面质量上不断提升，突破技术瓶颈，真正大规模被应用。

(4) 无线搜索

对用户来说，这是比较实用型的移动网络服务，也能让人快速接受。随时随地用手机搜索将会变成更多手机用户一种平常的生活习惯。

(5) 手机音乐

在无线互联网发展成熟的日本，手机音乐是最为亮丽的一道风景线，通过手机上网下载音乐量是电脑的 50 倍。3G 手机上安装相关音乐软件，就能通过网络随时随地让手机变身音乐魔盒，轻松收纳很多首歌曲，下载速度也非常快，耗费流量几乎可以忽略不计。

(6) 手机购物

不少人都有在淘宝网上购物的经历，事实上移动电子商务受到 3G 时代手机上网用户的喜爱。目前，90% 的日本、韩国手机用户都已经习惯在手机上消费，甚至是购买大米、洗衣粉这样的日常生活用品。我国手机购物也有一个高速增长期，用户只要开通手机上网服务，就可以通过手机查询商品信息，并在线支付购买产品。高速 3G 可以让手机购物变得更便捷，高质量的图片与视频会话能使商家与消费者的距离拉近，提高购物体验，让手机购物变

为新潮流。

(7) 手机网游

与计算机的网游相比,手机网游的体验并不好,但方便携带,随时可以玩。这种利用了零碎时间的网游是目前年轻人的新宠,也是3G时代的一个重要资本增长点。3G时代到来之后,游戏平台会更加稳定和快速,兼容性更高,让用户在游戏的视觉和效果方面感觉更有体验。

3. 3G 的现状及其展望

2008年6月2日,中国电信公司、中国联通公司及中国网通公司发公告,公布了重组细节,即中国移动公司和中国铁通公司合并为新的中国移动公司,中国联通公司CDMA网业务和中国电信业务合并为新的中国电信公司,中国联通公司GSM网业务和中国网通公司合并为新的中国联通公司,从而使电信运营商形成了三足鼎立之势。在本次电信运营商重组中,中国铁通公司并入中国移动公司,变成了中国移动公司的一家全资子公司。那么此前中国铁通公司无论是固定电话用户还是宽带用户都被转成中国移动公司的用户。伴随着“六合三”的改革重组完成后,3张3G牌照也随后发放,发放的方式:中国移动公司获得TD-SCDMA牌照,中国电信公司获得CDMA2000牌照,中国联通公司获得WCDMA牌照。3种技术由于时间推出不一,各国政府支持的标准也不同,因此,这3种技术在全球的发展前景也有所不同。

4.2.3 第四代移动通信技术

3G虽然可以提供1G和2G所不能提供的各种宽带业务,能较快地处理声音、图像、音乐、视频等多种数据,是覆盖全球的移动多媒体通信系统。然而,3G没有全球统一标准,其语音交换结构延续了2G的电路交换,非纯IP形式;另外,视频的应用、安全方面也存在一定的缺陷。

在云计算、物联网技术的带动下,随着数据通信和多媒体业务需求的发展,第4代移动通信(以下简称4G)技术为适应运作需要而开始兴起。工信部加速推进4G商用部署,于2013年年底发放了TD的4G牌照;2015年初发放了FDD的4G牌照。4G技术给人们带来更加美好的未来。

1. 4G 技术介绍

到目前为止,4G技术还没有一个精确定义,但有一点可以肯定的是,4G是比3G更好的无线世界。4G技术可称为宽带接入和分布式网络,它将可能创造出用户难以想象的应用。数据速率的高速化是4G技术的一个明显特点,最大数据传输速率可以达到100Mbit/s,是3G的50倍,而且通信费用也会更低。此外,4G手机可以提供高性能的媒体内容,可以接收高分辨率的电视和电影节目,是宽带接入媒体系统,是多功能集成的宽带移动通信系统。4G技术可以在固定平台、无线和跨越不同频带的网络中提供无线服务,可以在任何地方用宽带接入互联网,可以提供定时定位、数据采集等综合功能。

2. 4G 技术的特点

相对于2G、3G技术,未来的4G技术将具有以下特征:

(1) 通信速度快

依据移动通信数据传输速率进行比较,1G技术仅提供语音服务;2G技术的数据传输速

率只有 9.6Kbit/s, 最高可达 32Kbit/s; 3G 技术的数据传输速率是 2Mbit/s; 4G 技术的则可以达到 10~20Mbit/s, 甚至最高可达 100Mbit/s。

(2) 网络频谱宽

运营商必须在 3G 技术的基础上, 进行大幅度的研究和改造, 才能使 4G 到达 100Mbit/s 的传输速率。据业内人士说, 每个 4G 信道大概将占有 100MHz 的频谱, 这相当于 20 倍的 WCDMA。同时, 4G 网络的核心网将全面采用分组交换技术, 根据用户的需要来进行带宽分配, 进而大大提高了无线频谱的利用率, 实现真正意义上的宽带通信。

(3) 通信更加灵活

4G 系统能够自适应地分配资源, 灵活处理变化的业务和信道条件, 还具有很强的智能性、适应性和灵活性。因此, 4G 技术会给人们带来惊人的突破, 不仅可以随地通信, 还可以双向下载传递资料、图画和影像等。

(4) 智能性能更好

与 3G 系统相比, 不仅在终端设备的设计和操作上可以体现 4G 系统的智能性, 而且 4G 系统还可以实现多种难以想象的功能。4G 系统能根据语音、数据和多媒体等不同业务的需要而进行自适应地选择信道和资源分配, 实现不同的 QoS。

(5) 兼容性能更平滑

4G 系统将具备接口开放、全球漫游、多网络、终端多样化及能够从 2G 和 3G 时代平稳过渡等特点, 可以让用户在投资最少的情况下轻易过渡到 4G 时代。

(6) 实现高质量的多媒体通信

在 IPv6 等先进无线接入技术的支持下, 4G 系统支持各种空中接口, 使得个人通信系统、信息系统及广播娱乐业务无缝集成在一起, 进而满足 3G 通信尚不能达到的高速率和高分辨率的多媒体服务要求, 并提供大量的无线多媒体通信服务 (如语音、数据、影像等) 透过宽频的信道传送出去。故此, 4G 系统也称为“多媒体移动通信”。

(7) 手机终端的多样化

未来的 4G 手机已不仅是“电话机”, 更应该算是一台小型计算机了; 而且 4G 手机在外观和式样上将有更加惊人的突破, 各种物品都可能成为 4G 手机终端, 甚至是眼镜、手表、旅游鞋、化妆盒等。

(8) 通信费用更低

基于 4G 系统引入了尖端的通信技术, 能够让更多的现有用户轻易地升级。另外, 在建设 4G 网络的时候, 运营商们将考虑在现有的基础上采用逐步引入的方法来有效降低费用, 这就使得 4G 的某些费用要比 3G 更加便宜。另一方面, 4G 技术也存在着一些缺陷, 如标准难以统一、技术实现难度大、容量受到限制、市场不好消化、设施不易更新及其他相关困难, 这些还有待于进一步研究实施。

3. 4G 技术的关键

基于 4G 系统具有较高的频谱利用率和数据传输速率, 提供多种多媒体业务, 实现全球无缝漫游, 而且具有更高的智能性、灵活性和安全性及更高的服务质量, 为此, 4G 系统使用了不同于 3G 的许多新技术。4G 系统的关键技术如下:

(1) 正交频分复用 (OFDM) 技术

在高频段进行无线通信, 会受到多普勒效应和多径衰落对信号的干扰。使用 OFDM 技术可

以有效抑制这种衰落,提高信号性能。与 3G 系统的 CDMA 技术相比,OFDM 技术有着显著不同,它是一种高速传输技术,基本原理是在频域内对传输的信道进行分解,达到信道均衡。由于无线信道的频率响应曲线大都是非平坦的,OFDM 技术把给定信道分成许多正交子信道,并且每个子信道使用一个子载波调制,进而使各子载波并行传输。这样,一方面使得每个子信道变得相对平坦,某个时刻仅有少部分的信道受到多径衰落的影响;另一方面,使每个子信道上传输信号的带宽小于该信道的带宽,从而使得信号波形间的干扰也大大减小了。这就既减小了子载波间的相互干扰,又提高了频谱利用率,故可以认为 OFDM 技术是 4G 技术的核心。

(2) 多输入多输出 (MIMO) 技术

MIMO 技术利用多发射、多接收天线来进行空间分集,在空间上扩展传输通道从而提高数据传输速率,提高信道的可靠性,降低误码率。再者,MIMO 技术能够将以往传统通信系统中被认为是有害因素的多径衰落作为一个有利因素加以运用,这样就可以成倍地提高无线信道容量,在发送功率与带宽不增加的情况下,频谱利用率能够被成倍地提高,达到高速通信的目的。

经过几年的不断努力,该技术已经越来越多地应用到各种无线通信系统中。4G 系统中 MIMO 技术与 OFDM 技术结合使用,相互补充,成为现代无线通信系统的关键技术之一。其优点是,提高了空间分集增益,降低了码间干扰,提高了无线信道容量和频谱利用率。

(3) 软件无线电技术

在 4G 系统中,为了真正实现“多媒体通信业务”,在各媒体和网络协议之间无缝漫游,软件无线电技术被认为是解决用户终端在不同通信环境中工作的关键技术。它以软件编程和 DSP 技术为核心,通过一个通用硬件平台将标准化、模块化的硬件功能单元融合在一起,从而实现无线数据的收发功能。

在系统组成上,软件无线电硬件部分包括天线、射频前端、D-A 转换器件、数字信号处理器件等单元;软件无线电的灵魂是软件,它含有如无线信令和规则处理等多种软件,通过不同的软件程序来实现不同的功能。软件无线电具有灵活性、集中性和模块化的特点。

(4) 切换技术

切换技术是指移动终端从一个基站覆盖区移动到另一个基站覆盖区,或者从一个移动交换中心 (Mobile Switching Center, MSC) 进入另一个 MSC 服务区内,为保持移动用户的通信业务不中断而进行的一种综合技术。它是 4G 系统实现无缝漫游的基础。切换是蜂窝移动通信系统中用来保持用户移动可行的基本技术。它的实现方式可以分为硬切换、软切换、更软切换、接力切换等。有效的切换算法可以提高系统的容量、切换效率和 QoS。在 4G 系统中,要充分发挥切换的优势,实现综合切换技术,为用户终端提供更人性化的服务。

4. 4G 技术的展望

一方面,从融合的角度看,4G 技术意味着更多地参与方、技术、行业、应用的融合,不仅局限于电信行业,而是可以广泛应用于金融、教育、医疗、交通等行业;用户终端可以做更多的事情,如多媒体通信、远程控制等,或者互联网、局域网、广播网、电信网、卫星网等融为一体构成一个通播网,这样一来,无论使用什么终端,都可以享受高品质信息服务,向宽带无线化和无线宽带化演进,使 4G 渗透到生活的方方面面。另一方面,从用户需求来看,4G 可以为用户提供更快的速度、更多的服务,移动通信从 2G 到 4G 再到将来的 xG ,其根本动力就是用户需求由语音服务向多媒体服务转变,进而激发运营商研发新技术,

开拓新频段,提高频谱利用率,降低成本,从而进行改革转型。

有理由相信,4G 技术将会给未来的生活带来无限美好的期待!

4.2.4 常见接入技术

1. 现场总线技术

(1) 现场总线概述

现场总线技术是 20 世纪 80 年代中期在国际上发展起来的一种崭新的工业控制技术。现场总线控制系统(Field-bus Control System, FCS)的出现引起了传统的可编程序逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)和分布式控制系统(Distributed Control System, DCS)基本结构的革命性变化。FCS 技术极大地简化了传统控制系统烦琐且技术含量较低的布线工作量,使其系统检测和控制单元的分布更趋合理。更重要的是,从原来的面向设备选择控制和通信设备转变成成为基于网络选择设备。尤其是 20 世纪 90 年代 FCS 技术逐渐进入中国以来,结合互联网和内联网(Intranet)的迅猛发展,FCS 技术越来越显示出传统控制系统无可替代的优越性。FCS 技术已成为工业控制领域中的一个热点。

现场总线是用于现场电器、现场仪表及现场设备与控制室主机系统之间的一种开放、全数字化、双向、多站的通信系统。而现场总线标准规定某个控制系统中一定数量的现场设备之间如何交换数据。数据的传输介质可以是电线电缆、光缆、电话线、无线电等。

通俗地讲,现场总线是用于现场的总线技术。传统控制系统的接线方式是一种并联接线方式,从 PLC 控制各个电器元件,对应每一个元件有一个 I/O 口,两者之间需用两根线进行连接,作为控制和/或电源。当 PLC 所控制的电器元件数量达到数十个甚至数百个时,整个系统的接线就显得十分复杂,容易搞错,施工和维护都十分不便。为此,人们考虑怎样把那么多的导线合并到一起,用一根导线来连接所有设备,所有的数据和信号都在这根线上流通,同时设备之间的控制和通信可任意设置。因而这根线自然而然地称为了总线,就如计算机内部的总线概念一样。由于控制对象都在工矿现场,不同于计算机通常用于室内,所以这种总线被称为现场的总线,简称现场总线。

(2) 现场总线的特点

现场总线技术实际上是采用串行数据传输和连接方式代替传统的并联信号传输和连接方式的方法。它依次实现了控制层和现场总线设备层之间的数据传输,同时在保证传输实时性的情况下实现信息的可靠性和开放性。一般的现场总线具有以下几个特点:

1) 布线简单。这是大多现场总线共有的特性,现场总线的最大突破是布线方式,最小化的布线方式和最大化的网络拓扑使得系统的接线成本和维护成本大大降低。由于采用串行方式,所以大多数现场总线采用双绞线,还有直接在两根信号线上加载电源的总线形式。这样,采用现场总线类型的设备和系统给人明显的感觉就是简单直观。

2) 开放性。一个总线必须具有开放性,这指两个方面:一方面能与不同的控制系统相连接,也就是应用的开放性;另一方面就是通信规约的开放,也就是开发的开放性。只有具备了开放性,才能使得现场总线既具备传统总线的低成本,又能适合先进控制的网络化和系统化要求。

3) 实时性。总线的实时性要求是为了适应现场控制和现场采集的特点。一般的现场总线都要求在保证数据可靠性和完整性的条件下具备较高的传输速率和传输效率。总线的传输速度要求越快越好,速度越快,表示系统的响应时间就越短。但是实时性不能仅靠提高传输

速率来解决，传输的效率也很重要。传输效率主要是由有效用户数据在传输帧中所占的比率及成功传输帧在所有传输帧中所占的比率决定的。

4) 可靠性。一般总线都具备一定的抗干扰能力，当系统发生故障时具备一定的诊断能力，以最大限度的保护网络，又能同时较快地查找和更换故障节点。总线故障诊断能力的大小是由总线所采用的传输的物理媒介和传输的软件协议决定的，所以不同的总线具有不同的诊断能力和处理能力。

(3) 现场总线的应用领域

控制系统是有不同的层次的，图 4-1 所示为控制系统的金字塔结构。

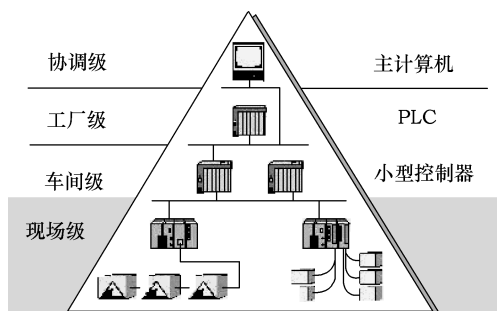


图 4-1 控制系统的金字塔结构

对应不同的系统层次，现场总线有着不同的应用范围。图 4-2 所示为几种主要现场总线的应用范围。纵坐标由下往上表示设备由简单到复杂，即由简单传感器、复杂传感器、小型 PLC 或工业控制机到工作站、大型 PLC、DCS 监控机等，数据通信量由小到大，设备功能也由简单到复杂。横坐标表示通信数据传输的方式，从左到右，依次为二进制的位传输、8 位及 8 位以上的字传输、128 位及以上的帧传输，以及更大数据量传输的文件传输。

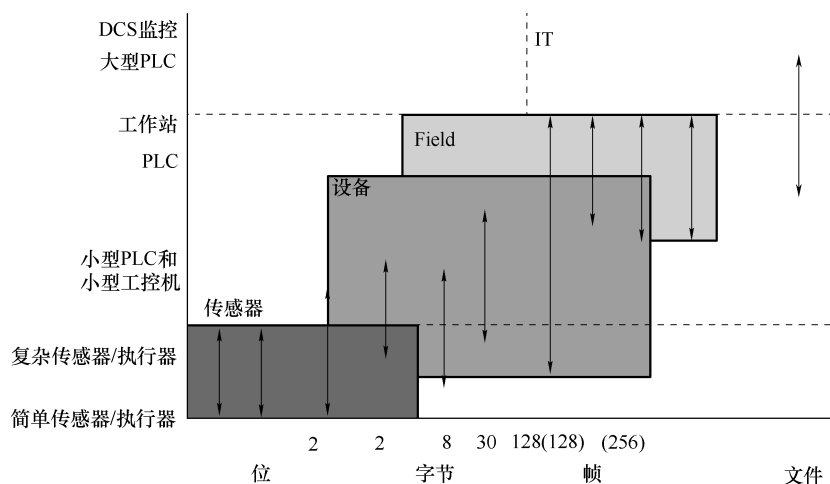


图 4-2 几种主要现场总线的应用范围

在发达国家，现场总线技术从 20 世纪 80 年代开始出现并逐步推广，现在已经被工业控

制领域广泛应用。2002 年欧洲有 40% 的自动化工程项目采用了 FCS，到 2005 年达 65%~70%。在国内，现场总线首先用在外国公司在华投资的生产线，如几乎所有外资汽车生产企业都有使用现场总线的生产线。啤酒罐装、烟草加工、机械装配、产品包装等生产线也大量使用现场总线。一些市政工程也开始使用现场总线。我国在 20 世纪 90 年代中后期引入现场总线，至今在技术概念上已被广泛接受，用户群和使用面迅速增加和扩大，许多自动化项目把现场总线控制作为方案之一，还有不少本土化的现场总线产品出现，并迅速产业化。

目前，现场总线技术的应用主要集中在冶金、电力、水处理、乳品饮料、烟草、水泥、石化、矿山及 OEM 用户等各个行业，同时还有道路无人监控、楼宇自动化、智能家居等新技术领域。

2. 蓝牙技术

(1) 蓝牙技术概述

蓝牙是一种支持设备短距离通信（一般 10m 内）的无线电技术，能在包括移动电话、PDA、无线耳机、笔记本式计算机、相关外设等众多设备之间实现无线信息交换。利用蓝牙技术，能够有效简化移动通信终端设备之间的通信，也能够成功简化设备与因特网之间的通信，从而使数据传输变得更加迅速高效，为无线通信拓宽道路。蓝牙采用分散式网络结构及快跳频和短包技术，支持点对点及点对多点通信，工作在全球通用的 2.4GHz ISM 频段。其数据速率为 1Mbit/s，采用时分双工传输方案实现全双工传输。图 4-3 所示为蓝牙标志与蓝牙耳机。



图 4-3 蓝牙标志与蓝牙耳机

蓝牙技术是一个开放性、短距离无线通信的标准，可以用来在较短距离内取代目前多种电缆连接方案，通过统一的短距离无线链路在各种数字设备之间实现方便快捷、灵活安全、低成本、低功耗的语音和数据通信。

(2) 蓝牙技术系统参数和技术指标

蓝牙技术产品采用低能耗无线电通信技术来实现语音、数据和视频传输，其传输速率最高为 1Mbit/s，以时分方式进行全双工通信，通信距离为 10m 左右，配置功率放大器可以使通信距离进一步增加。蓝牙的系统参数与技术指标见表 4-1。

表 4-1 蓝牙的系统参数与技术指标

系统参数与技术指标	说 明
工作频段	ISM 频段，2.402~2.408GHz
双工方式	全双工，TDD 时分双工
业务类型	支持电路交换和分组交换业务

(续)

系统参数与技术指标	说 明
数据速率	1Mbit/s
非同步信道速率	非对称连接 21Kbit/s /57.6Kbit/s，对称连接 432.6Kbit/s
同步信道速率	64Kbit/s
功率	美国 1mW（要求 FCC <0dbm），其他国家可扩展为 100mW
跳频频率数	79 个频点/1MHz
跳频速率	1 600Hz
工作模式	PAPK/HOLD/SNIFF/ACTIVE
数据连接方式	SCO、ACL
纠错方式	1/3 FEC、2/3 FEC、ARQ
认证	竞争-应答方式
信道加密	0 位、40 位、60 位密钥
语音编码方式	CSVD
发射距离	10 ~ 100m

蓝牙产品采用跳频技术，能够抗信号衰落；采用快跳频和短分组技术，能够有效地减少同频干扰，提高通信的安全性；采用前向纠错编码技术，以便在远距离通信时减少随机噪声的干扰；采用 2.4GHz 的 ISM 频段，以省去申请专用许可证的麻烦；采用 FM 方式，使设备变得更为简单、可靠；蓝牙技术产品 1 个跳频频率发送 1 个同步分组，每个分组占用 1 个时隙，也可以增至 5 个时隙；蓝牙技术支持 1 个异步数据通道，或者 3 个并发的同步语音通道，或者 1 个同时传送异步数据和同步语音的通道。蓝牙的每一个语音通道支持 64Kbit/s 的同步语音，异步通道支持的最大速率为 721Kbit/s、反向应答速率为 57.6Kbit/s 的非对称连接，或者 432.6Kbit/s 的对称连接。

蓝牙技术产品与因特网之间的通信，使得家庭和办公室的设备不需要电缆也能够实现互联互通，大大提高办公和通信效率。

(3) 蓝牙技术的特点

蓝牙技术提供低成本、近距离的无线通信，构成固定与移动设备通信环境中的个人网络，使得近距离内各种设备能够实现无缝资源共享。图 4-4 所示为蓝牙模块。显然，这种通信技术与传统的通信模式有明显的区别，它的初衷是希望以相同成本和安全性实现一般电缆的功能，从而使移动用户摆脱电缆束缚。这决定了蓝牙技术具备以下技术特性：

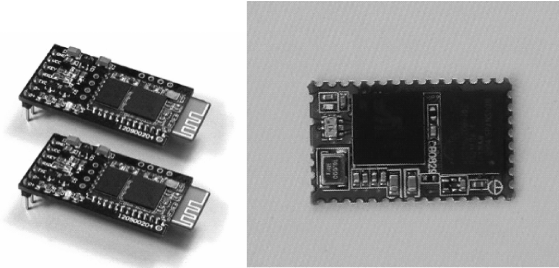


图 4-4 蓝牙模块

- ① 能传送语音和数据;
- ② 全球范围适用, 适用频段无须申请;
- ③ 低成本、低功耗和低辐射;
- ④ 安全性、抗干扰性和稳定性强;
- ⑤ 可以建立临时性的对等连接, 支持点对多点的通信方式。

(4) 蓝牙技术的应用

蓝牙定义了几种基本的应用模型, 主要包括文件传输、互联网网桥、局域网接入、三合一电话和终端耳机等。

从目前的蓝牙产品来看, 蓝牙主要应用在手机、PDA、耳机、数字照相机、数字摄像机、汽车套件等。另外, 蓝牙系统还可以嵌入微波炉、洗衣机、电冰箱、空调机等传统家用电器。随着蓝牙技术的成熟, 它也得到越来越广泛的应用。

在蓝牙支持的车载电话上, 各大汽车制造商们已经在车上安装了车载免提电话系统, 与带有蓝牙功能的移动电话一同工作, 可以保持移动电话和 PC 的无线连接。汽车后视镜也能利用蓝牙技术, 韩国 LG 公司曾经展示了一款支持蓝牙的汽车后视镜, 这款汽车后视镜能够通过蓝牙和手机连接, 在来电的时候将在镜面中间显示来电号码。

蓝牙技术在汽车防盗上发挥着重要作用, 市面上已经有了各种各样的汽车防盗的蓝牙设备, 英国一家公司推出了采用蓝牙技术的汽车防盗产品。根据介绍, 这套名为 Auto-txt 的系统可以把用户的蓝牙手机 (或者其他蓝牙设备) 当作汽车的第二把锁。如果蓝牙手机不在车里, 一旦汽车启动, 系统就会认定汽车被盗, 从而开启报警装置。

在构造家庭网络方面, 把家庭内部的所有信息设备相互之间连成网络, 是未来信息社会发展的必然趋势。信息同步是蓝牙产品的核心应用, 个人信息管理的同步、在 PDA 之间或 PDA 和移动电话之间交换名片, 或是办公计算机和家用计算机之间交换数据, 对某些用户来说变得越来越重要。

3. Wi-Fi 技术

(1) Wi-Fi 概述

Wi-Fi (Wireless Fidelity, 又称 IEEE 802.11b 标准) 最大优点就是传输速度较高, 可以达到 11Mbit/s, 另外它的有效距离也很长, 同时也与已有的各种 IEEE 802.11DSSS 设备兼容。迅驰技术就是基于该标准的, 无线上网已经成为现实。

IEEE 802.11b 无线网络规范是 IEEE 802.11a 网络规范的变种, 最高带宽为 11Mbit/s。在信号较弱或有干扰的情况下, 其带宽可调整为 5.5Mbit/s、2Mbit/s 和 1Mbit/s, 带宽的自动调整, 有效地保障了网络的稳定性和可靠性。其主要特性为速度快、可靠性高, 在开放性区域通信距离可达 305m, 在封闭性区域通信距离为 76~122m, 方便与现有的有线以太网网络整合, 组网的成本更低。

(2) Wi-Fi 无线网络结构

Wi-Fi 无线网络拓扑结构主要有两种, 即 ad-hoc 和 Infrastructure。

“ad-hoc”是一种对等的网络结构, 各计算机只需接上相应的无线网卡, 或者具有 Wi-Fi 模块的手机等便携终端即可实现相互连接、资源共享, 无须中间作用的接入点 (Access Point, AP)。ad-hoc 网络拓扑结构如图 4-5 所示。

“Infrastructure”则是一种整合有线与无线局域网络架构的应用模式, 通过此种网络结

构,同样可实现网络资源的共享,此应用需通过接入点。这种网络结构是应用最广的一种,类似以太网中的“星形”结构,起中间网桥作用的无线接入点就相当于有线网络中的集线器或者交换机。Infrastructure 网络拓扑结构如图 4-6 所示。

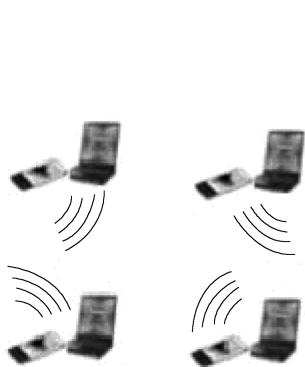


图 4-5 ad-hoc 网络拓扑结构

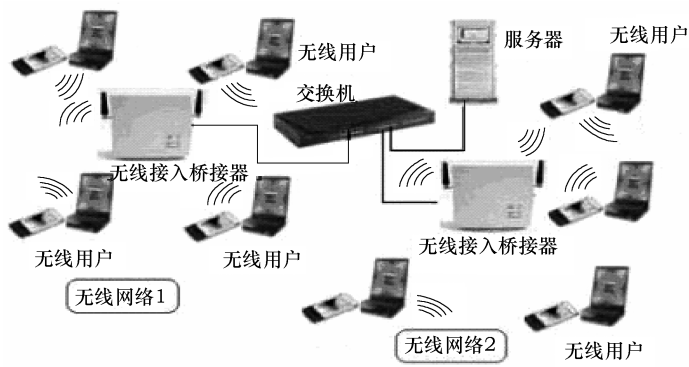


图 4-6 Infrastructure 网络拓扑结构

(3) Wi-Fi 的优点

Wi-Fi 技术与蓝牙技术一样,同属于在办公室和家庭中使用的短距离无线技术。该技术使用的是 2.4GHz 附近的频段,该频段目前尚属没用许可的无线频段。其目前可使用的标准有两个,分别是 IEEE 802.11a 和 IEEE 802.11b。该技术由于有着自身的优点,因此受到政府企业的青睐。

Wi-Fi 技术突出的优势如下:

1) 无线电波的覆盖范围广,基于蓝牙技术的电波覆盖范围非常小,半径大约只有 50ft^① (约为 15m),而 Wi-Fi 的半径则可达 300ft (约为 100m),对办公室自不用说,就是整栋大楼也可使用。最近,由美国 Vivato 公司推出的一款新型交换机。据悉,该款产品能够把目前 Wi-Fi 无线网络 300ft 的通信距离扩大到 4mile^②,约 6.5km。

2) 虽然由 Wi-Fi 技术传输的无线通信质量不是很好,数据安全性能比蓝牙差一些,传输质量也有待改进,但传输速度非常快,可以达到 11Mbit/s,符合个人和社会信息化的需求。

3) 进入该领域的门槛比较低。只要在机场、车站、咖啡店、图书馆等人员较密集的地方设置“热点”,并通过高速线路将互联网接入上述场所。这样,由于“热点”所发射出的电波可以达到距接入点半径数十米至数百米的地方,用户只要将支持无线 LAN 的笔记本式计算机或 PDA 拿到该区域内,即可高速接入互联网。因此不用耗费资金来进行网络布线,从而节省了大量的成本。

(4) Wi-Fi 的应用

在通信行业的激烈竞争中,宽带接入是各运营商竞争的焦点。目前,各大运营商开始着手打造 Wi-Fi 网络,为用户提供宽带接入业务。各运营商从现有资源出发,结合 Wi-Fi 的技

① ft: 英尺, 1ft = 25.4cm。

② mile: 英里, 1mile = 1.609km。

术优势,大幅度降低投资成本,快速抢占市场。虽然在已经大量商用的支持 IEEE 802.11b 标准的产品中,还存在一些问题,如安全问题、漫游问题,并且业务模式上当前还只能支持单一的数据业务等,但着眼于互通性及未来的发展和赢利,大家都把 Wi-Fi 看作是提升宽带、ADSL、LAN 用户价值、提供差异化服务的有效手段,也是未来 3G 数据业务的有力补充。Wi-Fi 当前主要面对个人、家庭/企业及行业用户,提供家庭/企业服务、公众区/会展区服务。从覆盖区域来看,可重点应用于以下区域:

- ① 有线资源成本太高或布线困难的区域;
- ② 酒店、机场、医院、茶楼等人员流动频繁的地方;
- ③ 校园、办公室、会议室等人员聚集的地方;
- ④ 展览馆、体育馆、新闻中心等信息需求量大的地方。

(5) Wi-Fi 的技术发展

Wi-Fi 技术的商用目前碰到了许多困难。一方面是受制于 Wi-Fi 技术自身的限制,如漫游性、安全性和如何计费等都还没有得到妥善的解决;另一方面,由于 Wi-Fi 的赢利模式不明确,如果将 Wi-Fi 作为单一网络来经营,商业用户的不足会使网络建设的投资收益比较低,因此也影响了电信运营商的积极性。

虽然, Wi-Fi 技术的商用遇到一些问题,但这种先进的技术也不可能包办所有功能的通信系统。可以说,只有各种接入手段相互补充使用才能带来经济性、可靠性和有效性。因而,它可以在特定的区域和范围内发挥对 3G 的重要补充作用, Wi-Fi 技术与 3G 技术相结合将具有广阔的发展前景。

4. 电力线通信技术

(1) 电力线通信 (Power Line Communication, PLC) 概述

电力线通信技术是指利用电力线传输数据和语音信号的一种通信方式。电力线通信并不是新技术,已经有几十年发展历史,在中高压输电网(35kV 以上输电网)上通过电线载波机利用较低的频率(9~490kHz)传送数据或语音,这是电力线通信技术应用的主要形式之一。在低压(220V)领域,PLC 技术首先用于负荷控制、远程抄表和家居自动化,其传输速率一般为 200bit/s 或更低,称为低速 PLC。近几年国内外开展利用低压电力线传输速率在 1Mbit/s 以上的电力线通信技术称之为高速 PLC。

目前,高速 PLC 传输速率高达 45Mbit/s,而且能同时传输数据、语音、视频和电力,有可能带来“四网合一”的新趋势。图 4-7 所示为典型的 PLC 系统应用示意图。在配电变压器低压出线端安装 PLC 主站,将电力线高频信号和传统的光缆等宽带信号进行互相转换。PLC 主站的一侧通过电容或电感耦合器连接电力电缆,注入和提取高频 PLC 信号;另一侧通过传统通信方式,如光纤、CATV、ADSL 等,连接至互联网。在用户侧,用户的计算机通过以太网接口或 USB 接口与 PLC 调制解调器相连,普通话机通过 RJ11 接口连至 PLC 调制解调器,而 PLC 调制解调器直接插入墙上插座。如果 PLC 高频信号衰减较大或干扰较大,可以在适当的地点加装中继器以放大信号。

PLC 利用输电线路作为信号的传输媒介,人们利用电力线可以传输电话、电报、数据和远方保护信号等。由于电力线机械强度高、可靠性好,不需要线路的基础建设投资和日常的维护费用,因此 PLC 具有较高的经济性和可靠性,在电力系统的调度通信、生产指挥、行政业务通信及各种信息传输方面发挥了重要作用。随着电力部门逐步实现调度自动化和管理

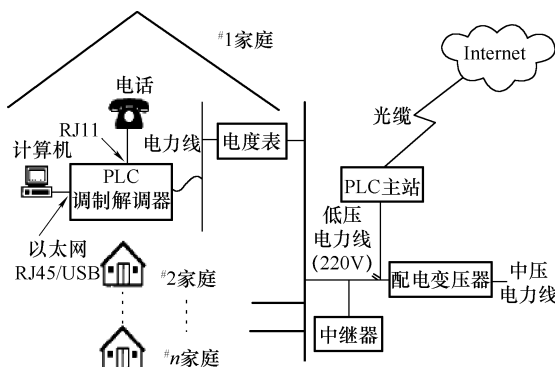


图 4-7 典型的 PLC 系统应用示意图

现代化，PLC 日益受到重视。而且随着家庭自动化和智能大楼概念的出现，PLC 能方便地为各种设备（如警报系统的传感器）提供通信链路。近年来低压 PLC 作为“最后一公里”的一种解决方案也已经取得成功，特别是在小区内采用低压网作为局域网的接入方案已经投入使用。因此，PLC 由于经济、可靠性方面的优势，而逐渐受到人们的重视。

(2) PLC 的关键技术

目前，国际上高速电力线通信采用的调制技术主要有扩展频谱类和 OFDM 调制技术。其中，OFDM 以它独特的优点在宽带、高速电力线通信中成为最有吸引力的技术，它成功地解决了电力线通信技术中的大部分问题。

OFDM 技术，是一种并行数据传输系统，可以在同一电力线不同带宽的信道上传输数据。这些数据可以相互重叠、彼此正交，重叠越大，分成的信道数也就越多。所有信道加在一起就可以获得较高的数据速率和更有效的频谱利用率。

OFDM 系统的调制和解调过程等效于离散傅里叶逆变换和离散傅里叶变换处理。其核心技术是离散傅里叶变换，若采用数字信号处理技术和快速傅里叶变换算法，无须束状滤波器组，实现比较简单，最新技术已经实现了高达 200Mbit/s 的通信带宽。

(3) PLC 的特点

1) 高压电力线路载波路由合理，通道建设投资相对较低。高压电力线路的路由走向沿着终端站到枢纽站，再到调度所，正是电力调度通信所要求的合理路由，并且载波通道建设无须考虑线路投资，因此当之无愧成为电力通信的基本通信方式。电力线载波通道往往先于变电站完成建设，对于新建电站的通信开通十分有利。

2) 传输频带受限，传输容量相对较小。在当今通信业务已大大开拓的情况下，载波通道的信道容量已成为其进一步应用的“瓶颈”。尽管在载波频谱的分配上研究了随机插空法、分小区法、分组分段法、频率阻塞法及地图色法和计算机频率分配软件，并且规定不同电压等级的电力线路之间不得搭建高频桥路，使载波频率尽量得以重复使用，但还是不能满足需要。近来光纤通信的发展和全数字电力线载波机的出现，稍微缓解了载波频谱的紧张程度。

3) 可靠性要求高。电力线载波机要求具有较高的可靠性：一个是在电力系统中传输重要调度信息的需要；另一个是电压隔离的人身安全需要。为此，电力线载波机在出厂前必须进行高温老化处理，最终检验必须包含安全性检验项目。为此，国家质检总局从 20 世纪 80

年代开始即对电力线载波机（类）产品实行了强制性生产许可证管理。目前，管理的范围已包括各种电压等级的载波机、继电保护收发信机、载波数据传输装置（如配网自动化和抄表系统的载波部分）和电力线上网调制解调器。目前，大多数高压及中压电力线载波机生产企业已按照生产许可证的要求建立了较为完善的质量体系。

4) 线路噪声大。电力线路作为通信媒介带来的噪声干扰远比电信线路大得多，如图4-8所示。在高压电力线路上，游离放电电晕、绝缘子污闪放电、开关操作等产生的噪声比较大，尤其是突发噪声具有较高的电平。

5) 对外界的干扰。由于高压电力线载波频段限制在40~500kHz，只要控制载波机的谐波和交调干扰发射功率足够小，即可避免对外界的干扰。值得研究的是，在220V线路上的扩频电网上网装置的干扰问题，这类装置为了实现高速数据通信，往往占用频带达30MHz甚至更多。据国外报道，当电力线数据通信使用2~30MHz的频带传输数据时，将对该频段的短波无线电广播等产生影响。目前，我国还没有建立这方面的标准，应当将这种干扰限制在何种程度还需要进一步研究。

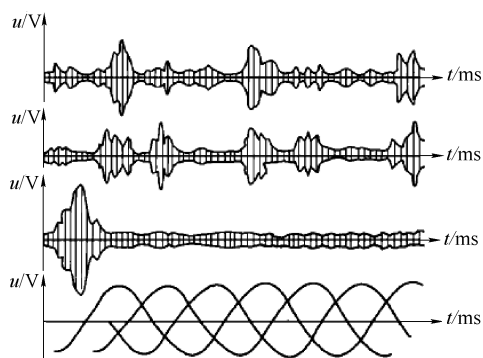


图4-8 水平排列电力线通道噪声干扰波形

6) 网络应用要求更高。现代通信对电力线载波的要求也更侧重网络方面，需要将原先仅限通道的概念扩展为网络概念。以往的电力线载波机主要靠自动盘和转接口实现小范围的联网。而将载波机与调度机协同考虑，实现载波机协同变电站调度机的组网应用，以及适当设置能够与通信网监测系统接口的数据采集变送器，应当是近几年考虑的问题。在开始阶段，电力线载波在中、低压线路上的应用就是建立在网络应用的基础之上的。

(4) PLC的发展展望

传统的PLC主要利用高压输电线路作为高频信号的传输通道，仅局限于传输语音、运动控制信号等，应用范围窄、传输速率较低，不能满足宽带化发展的要求。目前，PLC正在向大容量、高速率方向发展，同时转向采用低压配电网进行载波通信，实现家庭用户利用电力线打电话、上网等多种业务。例如，美国、日本、以色列等国家正在开展低压配电网通信的研究和试验。由美国3Com公司、美国英特尔公司、美国思科公司和日本松下公司等13家公司联合组建使用电力线作为传送媒介的家庭网络推进团体——家庭插电联盟（Homeplug Powerline Alliance），已经提出家庭插座（Home Plug）计划，旨在推动以电力线为传输媒介的数字化家庭。我国也正在进行利用电力线上网的试验研究。可以预见，在将来人们可以使用电力线实现计算机联网及互联网接入、小区安全监控、智能自动抄表、家庭智能网络管理等业务，以低压电力线为传输媒介的载波通信技术必将得到更为广泛的关注和研究。未来的PLC应该能实现通信业务的综合化、传输能力的宽带化和网络管理的智能化，并能实现与远程网的无缝连接。

目前，还存在以下几方面的问题有待进一步研究：

1) 硬件平台，主要包括通信方式的合理选择、通信网络结构的优化选择等。扩频方式、OFDM技术和多维网格编码方式各有优点，哪一种适合低压网还有待研究，或者也可以采用

软件无线电的思想为这三种方式提供一个统一的平台。电力网结构非常复杂，网络拓扑千变万化，如何优化通信网结构也是值得研究的问题。

2) 软件平台，主要包括进一步研究 PLC 通信理论，改进信号处理技术和编码技术以适应 PLC 特殊的环境。除了研究适合电力线通信的调制技术、编码技术外，还需要研究自适应信道均衡、回波抵消技术、自适应增益调整等。这些技术对于低压 PLC 保障通信尤为重要。

3) 网络管理问题，除了上网、打电话外，低压电力线还可以完成远程自动读出水、电、气表数据；永久在线连接，构建的防火、防盗、防有毒气体泄漏等的保安监控系统；构建的医疗急救系统等。因此，利用电力线可以传输数据、语音、视频和电力，实现“四网合一”，也就是说家中的任何电器都可以接入到网络中，和骨干网连接。但是，如何实现四种网络的无缝连接及由此带来的非常复杂、庞大的网络管理问题，需要进一步的研究。

4.3 M2M 概述

4.3.1 M2M 起源及现状

20 世纪 90 年代中后期，随着各种信息通信手段（如互联网、遥感勘测、远程信息处理、远程控制等）的发展，加上各类设备的不断增加，人们开始越来越多的关注于如何对设备和资产进行有效监视和控制，甚至如何用设备控制设备。M2M 理念由此起源。

M2M 最早的出处无从考证。较为熟知的是，2002 年 9 月 20 日，全球知名企业美国 Opto 22 公司和芬兰诺基亚（Nokia）联名发布的一条消息中，采用了在当时风靡一时的术语“M2M”来诠释双方正在开发中的解决方案——“以以太网和无线网为基础，实现网络通信中各实体间信息交流”。这是 M2M 正式在市场上出现的标志。另外，2003 年诺基亚公司产品经理 Damian Pisani 在题为《M2M 技术——让你的机器开口讲话》的白皮书中提到“M2M 旨在实现人、设备、系统间连接”，此后“人、设备、系统的联合体”便成了 M2M 的特点标签。

M2M 是一种以机器智能交互为核心的网络化的应用与服务。简单来说，M2M 是指机器之间的互联互通。广义上来说，M2M 可代表机器对机器、人对机器、机器对人、移动网络对机器之间的连接与通信，它涵盖了所有实现在人、机器、系统之间建立通信连接的技术和手段。M2M 技术综合了数据采集、GPS、远程监控、通信、信息等技术，能够实现业务流程的自动化。M2M 技术使所有机器设备都具备联网和通信能力，它让机器、人与系统之间实现超时空的无缝连接。

物联网被看作是继计算机、互联网与移动通信网之后的又一次信息产业浪潮，已被世界各国当作应对经济危机、振兴经济的重点技术之一。而 M2M 是物联网的核心技术之一，也是物联网现阶段最普遍的应用形式。M2M 已经在全球多个国家和地区市场铺开。欧洲 M2M 市场已比较成熟，产业链较完整。尤其是西欧市场，其已经实现了安全监测、机械服务、汽车信息通信终端、自动售货机、公共交通系统、车队管理、工业流程自动化、城市信息化等领域的应用。

在亚太地区，日本和韩国的 M2M 市场发展较快，日本实行 U-Japan 的泛在网络战略，重点发展汽车信息通信系统及智能家居，此外还有远程医疗和远程办公等。韩国政府则实行 U-Korea 的泛在网络计划，其中也包括很多 M2M 的内容，如智能交通、自动监测和智能家居等。

在中国，各通信运营商都在紧锣密鼓地制定计划或将其推广。中国移动公司制定了 M2M 发展规划，第一阶段是单一客户的单一应用；第二阶段，传感器网络由专用网络向公众网络过渡；第三阶段，全社会的通信网逐渐建立起来，最后形成一个泛在网络。中国电信公司大致分三个阶段来拓展 M2M 市场：第一阶段，主要目标是快速切入市场；第二阶段，将重点提高 M2M 业务的附加值，并建立起 M2M 业务管理平台；第三阶段，则将致力为政企客户提供真正的泛在网络。中国联通公司将按四个层面发展 M2M：第一层面，加强产业链合作，探索共赢的商业模式；第二层面，加强 M2M 的技术标准化工作；第三层面，积极推广 M2M 的应用；第四层面，完善 M2M 运营管理平台。

可见，不论是国内还是国外，都已经意识到 M2M 通信的潜在前景。

4.3.2 M2M 标准化工作

国际上各大标准化组织在不断推进 M2M 相关研究和标准制定工作。按照各自的工作职能范围，几大主要标准化组织从不同角度开展了针对性研究。欧洲电信标准协会（European Telecommunication Standards Institute, ETSI）提供典型物联网业务用例，如智能医疗、电子商务、智能城市、智能抄表和智能电网的相关研究入手，完成对物联网业务需求的分析、支持物联网业务的概要层体系结构设计及相关数据模型、接口和过程的定义。第三代协作项目组织（Third Generation Partnership Project, 3GPP）以移动通信技术为工作核心，重点研究 3G, LTE/CDMA 网络针对物联网业务提供而需要实施的网络优化相关技术，研究涉及业务需求、核心网和无线网优化、安全等领域。中国通信标准化协会（China Communications Standards Association, CCSA）早在 2009 年完成了 M2M 的业务研究报告，与 M2M 相关的其他研究工作已经展开。

1. ETSI 标准化工作

ETSI 是国际上较早系统展开 M2M 相关研究的标准化组织，2009 年初成立了专门的标准化技术委员会（Technical Committee, TC）来负责统筹 M2M 的研究，旨在制定一个水平化的不针对特定 M2M 应用的端到端解决方案的标准。其研究范围可以分为两个层面：第一个层面，是针对 M2M 应用用例的收集和分析；第二个层面，是在用例研究的基础上，开展与应用无关的统一 M2M 解决方案的业务需求分析，网络体系架构定义和数据模型、接口和过程设计等工作。图 4-9 所示为 ETSI M2M 通信功能体系架构，表 4-2 给出了 ETSI 标准化工作。

2. 3GPP 标准化工作

3GPP 早在 2005 年 9 月就开展了移动通信系统支持物联网应用的可行性研究。M2M 在 3GPP 内对应的名称为机器类型通信（Machine-Type Communication, MTC）。3GPP 并行设立了多个工作项目（work item）或研究项目（study item），由不同工作组按照其领域，并行展开针对 MTC 的研究，表 4-3 按照项目的分类简述 3GPP 在 MTC 领域相关研究工作的进展情况。

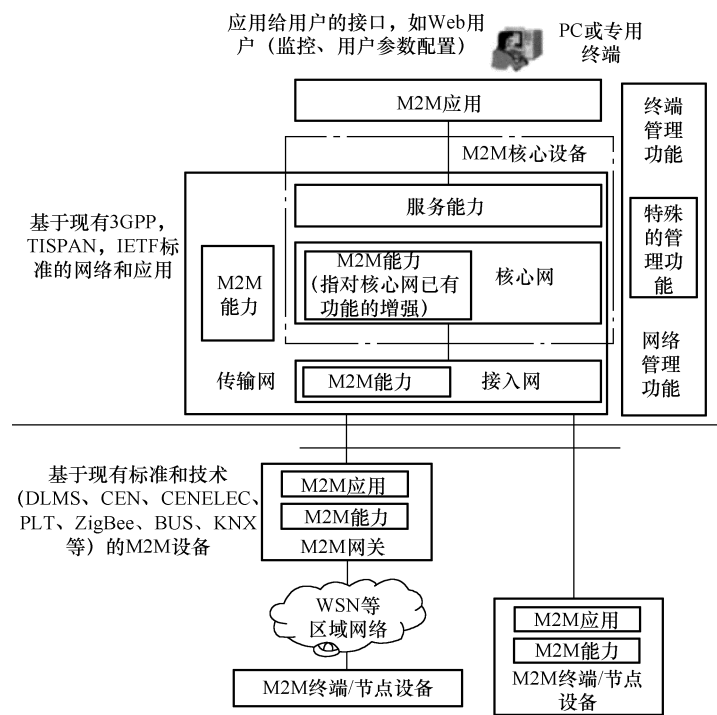


图 4-9 ETSI M2M 通信功能体系架构

表 4-2 ETSI 标准化工作

标准化组织	M2M 相关标准
ETSI	(1) M2M 业务需求 (2) M2M 功能体系架构 (3) M2M 术语和定义 (4) SmartMetering 的 M2M 应用实例研究 (5) eHealth 的 M2M 应用实例研究 (6) 用户互联的 M2M 应用实例研究 (7) 城市智能化的 M2M 应用实例研究 (8) 基于汽车应用的 M2M 应用实例研究 (9) ETSI 关于 M/441 的工作计划和输出总结 (10) 智能电网对 M2M 平台的影响 (11) M2M 接口

表 4-3 3GPP 标准化工作

标准化组织	项 目	项 目 内 容
3GPP	FS_M2M	这个项目是 3GPP 针对 M2M 通信进行的可行性研究报告，由 SA1 负责相关研究工作。研究报告《3GPP 系统中支持 M2M 通信的可行性研究》于 2005 年 9 月立项，2007 年 3 月完成
	NIMTC 相关课题	重点研究支持机器类型通信对移动通信网络的增强要求，包括对 GSM、UTRAN、EUTRAN 的增强要求，以及对 GPRS、EPC 等核心网络的增强要求

(续)

标准化组织	项 目	项 目 内 容
3GPP	FS_MTCe	支持机器类型通信的增强研究是计划在 R11 阶段立项的新研究项目。主要负责研究支持位于不同 PLMN 域的 MTC 设备之间的通信的网络优化技术。此项目的研究需要与 ETSI TC M2M 中的相关研究保持协同
	FS_AMTC	本研究项目旨在寻找 E. 164 的替代, 用于标识机器类型终端及终端之间的路由消息, 是 R11 阶段新立项的研究课题, 已于 2010 年 2 月启动
	SIMTC	支持机器类型通信的系统增强研究, 此为 R11 阶段的新研究课题。在 FS_MTCe 项目的基础上, 研究 R10 阶段 NIMTC 的解决方案的增强型版本。其中, 重点述及的支持 MTC 通信的网络优化技术包括体系架构、拥塞和过载控制、签约控制、标识和寻址、时间控制特性、MTC 监控特性

3. CCSA 标准化工作

M2M 相关的标准化工作主要由 CCSA 的移动通信工作委员会 (TC5) 和泛在网技术工作委员会 (TC10) 进行, 主要工作内容如下:

1) TC5WG7 完成了移动 M2M 业务研究报告, 描述了 M2M 的典型应用, 分析了 M2M 的商业模式、业务特征及流量模型, 给出了 M2M 业务标准化的建议。

2) TC5WG9 于 2010 年立项的支持 M2M 通信的移动网络技术研究, 任务是跟踪 3GPP 的研究进展, 结合国内需求, 研究 M2M 通信对 RAN 和核心网络的影响及其优化方案等。

3) TC10WG2 M2M 业务总体技术要求是, 定义 M2M 业务概念、描述 M2M 场景和业务需求、系统架构、接口及计费认证等要求。

4) TC10WG2 M2M 通信应用协议技术要求是, 规定 M2M 通信系统中端到端的协议技术要求。

各个组织对 M2M 的理解均不同, M2M 也没有统一的标准。除了 ETSI、3GPP 等标准化组织推进 M2M 标准化的进程之外, 也有一些运营商制定相关的一些标准。

4.4 M2M 的体系结构、协议、内容

4.4.1 M2M 系统架构

在 M2M 技术中, 信息的来源纷繁复杂, 流向却是相同的。这个基本的框架内, 涉及多种技术问题, 如机器如何连成网络? 使用什么样的通信方式? 数据如何整合到原有或者新建立的信息系统中? 信息系统如何控制大量的机器?

现有的 M2M 标准都涉及五个重要的技术部分: 机器、M2M 终端、通信网络、中间件、应用。

机器——机器具备信息感知、信息加工能力。

M2M 终端——进行信息的提取, 从各种机器/设备那里获取数据, 再传送到通信网络, 有一部分硬件封装了 M2M 协议。

通信网络——信息传送的通道，如 GPRS、3G 网络、因特网。

中间件——在通信网络和应用间起桥接作用。

应用——对获得数据进行加工分析，实现预期的功能。

图 4-10 所示为 M2M 系统架构。

4.4.2 M2M 关键技术

实现 M2M 涉及的关键技术：传感器技术、传感器网络技术、通信网络技术、专用芯片、模块、终端技术、M2M 平台技术，以及它们之间的结合技术。

1) 传感器负责信息的采集是信息的源头，是 M2M 应用的基础。如温度、压力、速度、湿度、高度、视频、图像、位置等不同传感器体积各异，所提供的信息接口存在巨大差异，这是对 M2M 终端规模化的最大挑战。

2) 传感器网络针对传感器的特性形成了一套完整的物理层、链路层、网络层规范。传感网络相关通信技术，常见的有蓝牙、IrDA、Wi-Fi、ZigBee、RFID、UWB、NFC、WirelessHart 等。传感网智能性主要体现在 IP 化、功耗低、体积小、信息双向传递、免人工维护等特性。具挑战性的技术难题主要是如何在低功耗下实现远距离传输，以及如何将大量传感器自动组织成网络。

3) 通信网络技术。M2M 技术的出现，使得除了原有的人、计算机、IT 设备之外，让数以亿计的 M2M 设备接入网络，这些新成员的数量和其数据交换的网络流量将会迅速地增加。通信网络技术为 M2M 数据提供传送通道，如何在现有网络上进行增强适应 M2M 业务需求（海量地址需求，低数据率、低移动性等），是现在 M2M 研究的重点。

IPv6 技术是 M2M 通信网络的重中之重，可以说 IPv6 是构筑 M2M 的基础。

IPv6 的诞生与 IPv4 的耗尽有直接的关系。IPv4 自 1984 年诞生以来，已提供了 40 多亿个 IP 地址，由于其采用 32 位地址长度，只有大约 43 亿个地址，未分配的 IPv4 地址正在急速消耗。

为了扩大地址空间，IETF 提出并设计了 IPv6 来重新定义地址空间。IPv6 采用 128 位地址长度，几乎可以不受限制地提供地址。据保守估计，IPv6 实际可分配的地址，整个地球每平方米面积上可分配 1 000 多个。在 IPv6 的设计过程中除了一劳永逸地解决了地址短缺问题以外，还考虑了在 IPv4 中解决不好的其他问题。IPv6 的主要优势体现在：“无限”的地址空间、提高了网络的整体吞吐量、大大改善了服务质量、增强了网络安全性、更加便捷和人性化。这为 M2M 的发展奠定了基础。IPv6 的引入使得大量、多样化的终端更容易接入 IP 网，并在安全性和终端移动性方面都有了很大的增强。基于 IPv6 的 M2M 网络，可以在 IP 层上对数据包进行高强度的安全处理，使用 AH 报头、ESP 报头来保护 IP 通信安全，其安

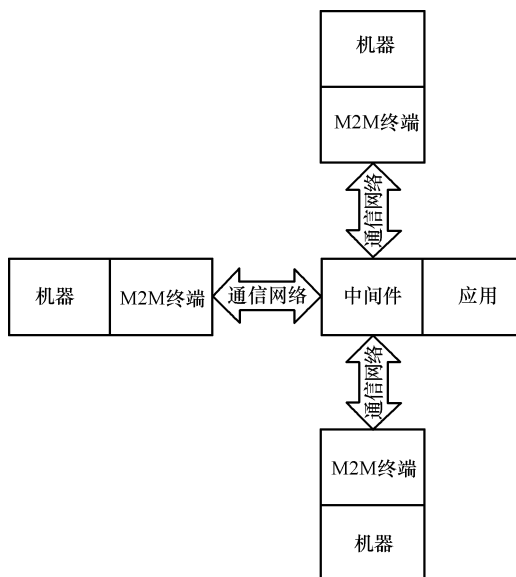


图 4-10 M2M 系统架构

全机制更加完善；同时，终端移动性也更有利于监测物品的实时位置。IPv6 将促进 M2M 向着更便捷、更安全的方向发展。

4) M2M 模块与终端之间的接口与 AT 指令集需要进行标准化设计，并可将标准化后的管理协议栈从终端内置迁移到模块内置，以利于降低终端成本。由于许多行业应用终端一旦部署后不便实施经常性的维护，或者对运行的可靠性有较高的要求，因此 M2M 终端和模块都迫切需要研发低功耗、高可靠性、长寿命的解决方案。在另一些用量大、成本敏感的行业则需要研发低成本的 M2M 终端方案。另外，在部分应用场合中采用“机卡合一”方案可能更为适合。由于物联网和 M2M 业务成熟后的终端数量巨大，目前就有必要引入独立的 13 位终端号段，并且要求终端逐步实现对 IPv6 的支持。

5) M2M 平台将实现两个核心功能：一个是实现对终端的远程监测和控制；另一个是实现对业务数据的转发。

前一个功能将帮助运营商及其客户管理各种物联网 M2M 终端。M2M 应用广泛，很多情况下 M2M 终端无人值守，如野外、水下等，通过 M2M 平台将实现对这些终端的远程监测，不用现场维护。

业务数据转发功能可实现对数据流的管理和备份等功能。据了解，M2M 业务的数据流有两种传递模式：一种是从 M2M 应用的前端终端直接传递到用户的应用平台之上，这一种模式不需要 M2M 平台起作用；另一种是从 M2M 应用的前端终端将数据传送到电信运营商的 M2M 平台之上，再由 M2M 平台转发到用户的后端应用平台，此种模式平台将发挥作用。

4.4.3 M2M 应用模式

M2M 应用分为管理流-业务流并行模式和管理流-业务流分离模式。管理流指承载 M2M 终端管理相关信息的数据流，业务流是指承载 M2M 应用相关信息的数据流。对于终端管理流，两种模式都由终端发送给 M2M 平台，或再由 M2M 平台转发给应用。对于业务流，在管理流-业务流并行模式下，业务流通过终端传递到 M2M 平台，再由 M2M 平台转发给 M2M 应用业务平台或者对端的 M2M 终端；在管理流-业务流分离模式下，业务流直接从终端送到 M2M 应用业务平台或者对端的 M2M 终端，不通过 M2M 平台转发。业务数据从 M2M 终端传送到 M2M 平台，再由 M2M 平台转发给 M2M 应用业务平台或者对端的 M2M 终端。这种模式下，管理数据和业务数据均由 M2M 平台统一接收，再根据不同的消息类型和目标地址进行分发或处理。M2M 两种应用数据流模式如图 4-11 所示。

4.4.4 WMMP 介绍

1. 什么是 WMMP

无线 M2M 协议（Wireless M2M Protocol, WMMP）是为实现 M2M 业务中 M2M 终端与 M2M 平台之间、M2M 终端之间、M2M 平台与 M2M 应用平台之间的数据通信过程而设计的应用层协议，其体系如图 4-12 所示。

WMMP 由 M2M 平台与 M2M 终端接口协议（即 WMMP-T）和 M2M 平台与 M2M 应用接口协议（即 WMMP-A）两部分组成。WMMP-T 完成 M2M 平台与 M2M 终端之间的数据通信，以及 M2M 终端之间借助 M2M 平台转发、路由所实现的端到端数据通信。WMMP-A 完

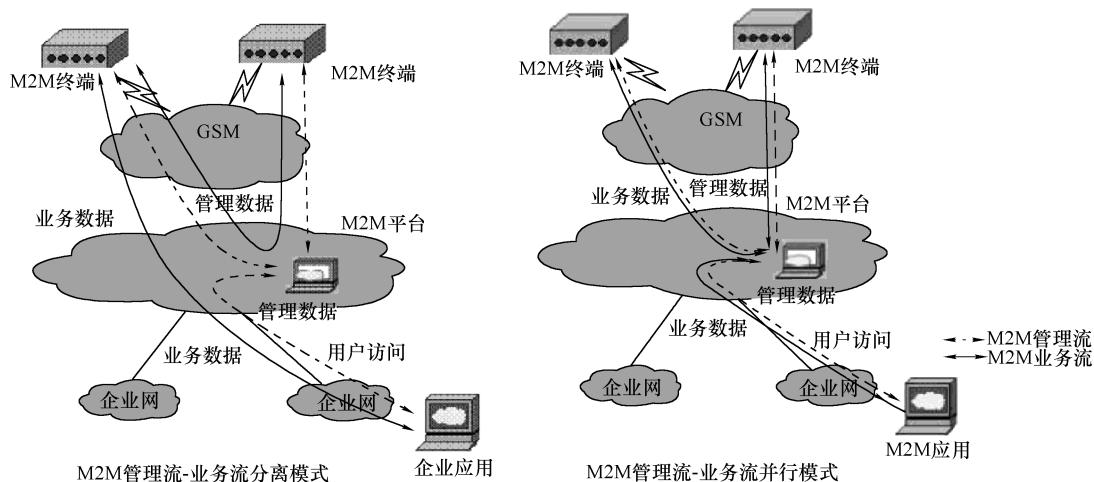


图 4-11 M2M 两种应用数据流模式

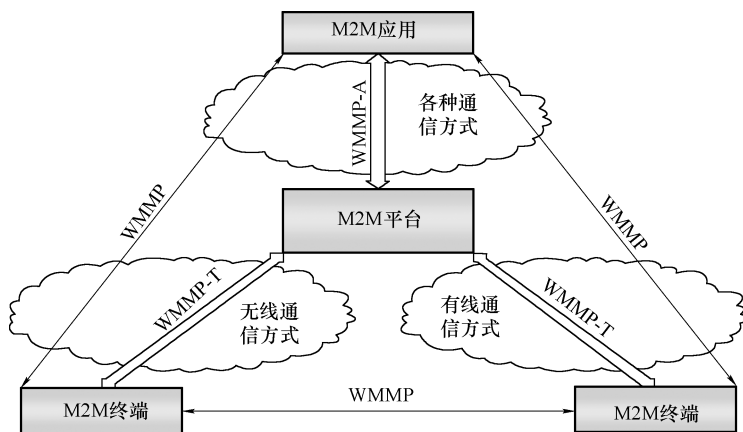


图 4-12 WMMP 体系

成 M2M 平台与 M2M 应用之间的数据通信，以及 M2M 终端与 M2M 应用之间借助 M2M 平台转发、路由所实现的端到端数据通信。

WMMP 的核心是可扩展的协议栈及报文结构，而在其外层是由 WMMP 核心衍生的接入方式无关通信机制和安全机制。在此基础上，由内向外依次为 WMMP 的 M2M 终端管理功能和 WMMP 的 M2M 应用扩展功能，如图 4-13 所示。

2. WMMP 详细介绍

WMMP 规定了在 M2M 业务系统中所涉及的 M2M 终端产品运行 WMMP 的基本要求：供中国移动公司内部和合作厂商共同使用，是 M2M 业务开展、终端设备开发方面的技术依据，适用于 GSM/GPRS 网络环境。

协议首先描述了 M2M 终端的基本要求，包括 M2M 终端基本功能要求、M2M 终端基本预置要求、M2M 终端通信功能、M2M 终端的硬件要求。

接下来规定了 WMMP 对 M2M 终端的要求，并给出了实现这些功能的流程图和相应的

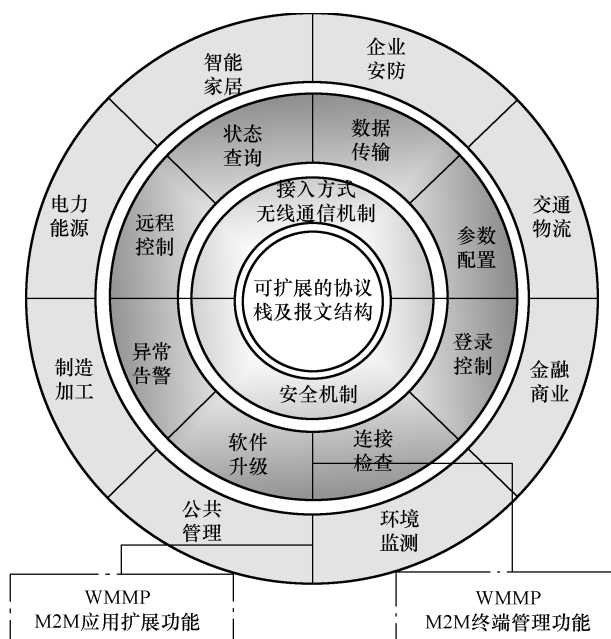


图 4-13 WMMP 的功能架构

指令，包括 M2M 终端 WMMP 业务状态管理、M2M 终端序列号管理、M2M 终端通信过程中数据安全性的实现、通信双方报文的鉴权、M2M 终端和平台系统连接性处理、M2M 终端的报文重发机制、M2M 终端与 M2M 平台的连接检测、M2M 终端上线失败错误处理、M2M 终端与 M2M 平台的核心参数一致性、M2M 终端的注册与映射关系变更、M2M 终端向 M2M 平台注册、M2M 终端变更映射关系、注册标识的管理、注册异常处理、M2M 终端安全参数的设置、M2M 终端预置接入密码和基础密钥、M2M 终端接入密码、基础密钥的下发与变更、本地人工清除、终端与平台的数据交互安全设置、M2M 终端与 SIM 卡的双向安全认证参数设置、M2M 终端登录 M2M 平台、M2M 终端退出 M2M 平台、M2M 终端参数配置、M2M 平台向 M2M 终端设置终端数据、M2M 终端向 M2M 平台请求配置数据、M2M 终端配置参数登录同步、M2M 终端参数配置异常处理、M2M 终端本地人工配置参数、M2M 终端监测、平台向终端实时提取信息，终端异常状态上报、终端远程控制、心跳包状态监测、M2M 终端与业务应用平台的数据交互、M2M 终端与业务应用平台的数据交互、M2M 终端信息上报、底座软件安装上报、行业应用软件安全上报、业务使用上报、行业应用软件卸载上报、M2M 终端上报告警数据、M2M 终端上报统计数据、M2M 终端信息上报异常处理、软件下载与升级、M2M 终端版本定义、软件下载通知、软件下载与升级、终端软件下载与升级内容格式要求、多包处理流程、SISO、MISO、SIMO、MIMO。图 4-14 所示为 M2M 终端注册流程。

协议最后，提出了对 M2M 终端的性能要求和安全性要求。协议要求 M2M 终端的传输能力应满足应用环境下网络提供实际速率的 80% 以上。M2M 终端必须至少具有账号、密码认证的本地配置安全机制。WMMP V3.0 中采用了对报文进行 MD5 摘要算法保证信息的完整性，3DES 加密来保证数据内容的安全性。

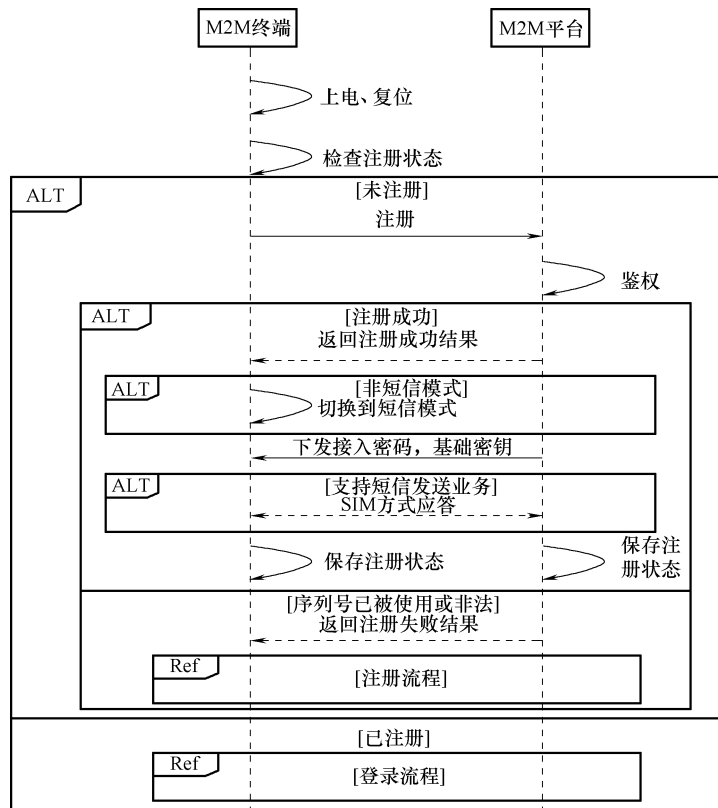


图 4-14 M2M 终端注册流程

4.5 M2M 模块

广义的 M2M 模块是使用 AT 指令或 M2M 协议进行数据通信的设备。但是，目前较为成熟应用的是使用 AT 指令的 GPRS 模块。内置 M2M 协议的模块将会得到越来越多的应用。

4.5.1 几种 M2M 模块介绍

现有的 M2M 模块很大一部分与原有的手机通信模块无太大区别，甚至就是普通的手机模块，有一部分对 M2M 应用进行了相应的改进，如缩小体积、取消不需要的功能（如语音通话）、能够适应较为严苛的工作环境、内置 M2M 协议等。使用 AT 指令的 GPRS 模块和内置 M2M 协议的模块都是 M2M 模块。下面介绍几种 M2M 模块。

(1) Telit GE865

Telit 公司推出的 GE865-QUAD 模块产品，仅仅上市一年时间，就受到了市场的热烈追捧。这款目前市场上最小的 GSM/GPRS 模块（外形尺寸为 22mm×22mm×3mm），采用了球栅阵列（Ball Grid Array, BGA）技术，与此前的所有型号及大多数竞争性产品相比，体积大大缩小，而且节能效果显著。对于那些对模块的尺寸和能量消耗有特殊要求的大容量 M2M 应用领域，GE865 是理想的解决方案。GE865-QUAD 具有超小外形与节能特性，美国

EmFinders 公司就从中受益：EmFinders 公司的腕表中采用超小型 Telit 模块，能快速对对象进行定位（如对象移动到户外时），而且也能对患有老年痴呆症的病人或心脏病高危人群进行监控。加拿大追踪解决方案专业公司 Laipac Tech 公司也推出了类似的解决方案，其采用了 GE865-QUAD 的辅助全球卫星定位系统（Assisted Global Positioning System, AGPS）设备可作为腕表佩戴，或用作紧急移动电话。

（2）华为 MC703

华为 MC803 是一款工业版的 CDMA EVDO 模块，提供符合工业应用的工作温度范围，可以达到 $-30 \sim +75^{\circ}\text{C}$ ；MC703 经过严格的静电释放（Electro-Static Discharge, ESD）防静电测试，SIM 卡和 USB 接口经过了 8kV 以上的静电测试考验，为客户的工业应用提供了可靠的稳定性和保证。已应用于中国电信视频监控业务——全球眼。

（3）Cinterion BGS2

Cinterion BGS2 的全球最小的可软焊 M2M 模块 BGS2（外形尺寸为 $18.8\text{mm} \times 26.7\text{mm} \times 2.7\text{mm}$ ），这是用于需要语音和高速 GPRS 数据的 M2M 解决方案的全球最小的焊盘网格阵列（Land Grid Array, LGA）模块。这款超紧凑的模块针对大容量产品而设计，非常适合小型 M2M 设备，如个人追踪装置和帮助保护卫生及健康的便携式医疗器械等，如图 4-15 所示。

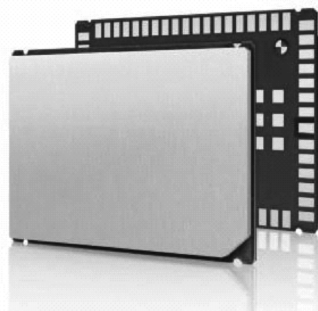


图 4-15 全球最小可焊接模块 BGS2

4.5.2 AT 命令

AT 命令是用来控制终端设备（Terminal Equipment, TE）（如 PC 等用户终端）和移动终端（Mobile Terminal, MT）（如移动台等移动终端）之间交互的规则。华为 MC323 是一款 50 引脚的 B2B 的 2G 模块产品，支持 CDMA（CDMA800、CDMA1900）。MC323 外部提供 1 个通用异步收发传输器（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, UART）接口，支持短消息、电话本、数据业务、嵌入式 TCP/UDP 等功能。MC323 实现了 3GPP TS 27.007 3d0、3GPP TS 27.005 320 及 ITU-T V.250 等国际标准中的部分 AT 命令，同时还描述了终端设备实现的私有 AT 命令接口。

常用的 AT 指令见表 4-4。

表 4-4 常用的 AT 指令

功 能	AT 指令	详 细
拨号命令	ATD	后面紧跟拨打电话号码
挂机命令	ATH	挂机
短消息格式	AT + GMMF	选择短消息模式（TEXT 或 PDU）
读取短消息	AT + CMGR	读取短消息
新消息提示	AT + CNMI	选择新消息到来时的提示方式
发动短消息	AT + CMGS	发送短消息
TCP/UDP 连接初始化	AT+IPINIT	初始化 TCP/UDP 连接
建立 TCP/UDP 链接	AT+IPOPEN	与设定的 IP 建立 TCP/UDP 连接

(续)

功 能	AT 指令	详 细
服务器侦听命令	AT+IPLISTEN	打开服务器侦听功能
TCP/UDP 数据发送	AT+IPSEND	选定链路发送数据
TCP/UDP 接收数据缓存查询	AT+IPGETDATA	查询某链路是否有数据到达
TCP/UDP 数据到达指示	AT+IPDATA	当有数据到达时可主动上报
关闭 TCP/UDP 链接	AT+IPCLOSE	关闭指定的链接

下面举例如何使用 AT 指令进行 TCP/IP 通信。
首先，要先将模块与终端链接，模块与终端连接如图 4-16 所示。

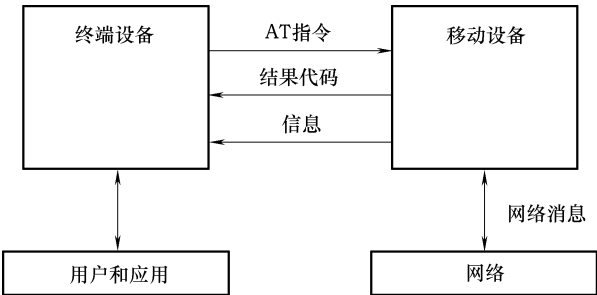


图 4-16 M2M 模块与终端链接

一次完成的 TCP/IP 通信过程需要如下几个关键步骤：

- TCP/UDP 连接初始化
- 建立 TCP/UDP 链接
- TCP/UDP 数据发送
- TCP/UDP 接收数据缓存查询
- 关闭 TCP/IP 链接

下面详细介绍每个步骤。

(1) TCP/UDP 连接初始化

AT+IPINIT = ,“用户名”,“密码”

OK

AT+IPINIT?

+IPINIT:1,10.0.10.87,,129.11.18.8,0.0.0.0,

OK

AT+IPINIT = ,“用户名”,“密码”,连接初始化命令,后面三个参数为空格,用户名,密码。

AT+IPINIT?,查看网络信息。

+IPINIT:1,10.0.10.87,,129.11.18.8,0.0.0.0,返回的信息,本机 IP 地址为 10.0.10.87,首选 DNS 为 129.11.18.8,备选 DNS 无。

(2) 建立 TCP/UDP 链接

AT+IPOPEN = 1, "TCP" , "129.11.18.8" , 10000 , 9000


```

OK
AT+IPOPEN=2,"TCP","129.11.18.8",10000,8000
OK
AT+IPOPEN=3,"UDP","129.11.18.8",7000,6000
OK
AT+IPOPEN?
+IPOPEN:1,TCP,9000,129.11.18.8,10000
+IPOPEN:2,TCP,8000,129.11.18.8,10000
+IPOPEN:3,UDP,6000,129.11.18.8,7000
OK

```

AT+IPOPEN=1,"TCP","129.11.18.8",10000,9000,使用本地端口 9000 与 129.11.18.8 端口 10000 建立 TCP 链接 1。

AT+IPOPEN=2,"TCP","129.11.18.8",10000,8000,使用本地端口 8000 与 129.11.18.8 端口 10000 建立 TCP 链接 2。

AT+IPOPEN=3,"UDP","129.11.18.8",7000,6000,使用本地端口 6000 与 129.11.18.8 端口 7000 建立 UDP 链接 3。

```

AT+IPOPEN? 测试链接是否成功
+IPOPEN:1,TCP,9000,129.11.18.8,10000
+IPOPEN:2,TCP,8000,129.11.18.8,10000
+IPOPEN:3,UDP,6000,129.11.18.8,7000
返回的信息,链接成功,返回了相应链接的信息。

```

(3) TCP/UDP 数据发送

```

AT+IPSEND=3,"ASDF"
+IPSEND:3
OK

```

AT+IPSEND=3,"ASDF",由链接 3 发送数据“ASDF”。

+IPSEND:3,返回的信息,此返回说明链路 3 发送成功。

(4) TCP/UDP 接收数据缓存查询

```

AT+IPGETDATA?
+IPGETDATA:0,2,4
+IPGETDATA:1,2,3
+IPGETDATA:2,3,4

```

```

OK
AT+IPGETDATA=0
+IPGETDATA:0,2,4,
1234

```

OK

AT+IPGETDATA = 1

^IPGETDATA:1,2,3,

ADF

OK

AT+IPGETDATA?, 查询是否接收到数据。

^IPGETDATA:0,2,4, 返回的信息, index0 中有数据, 数据属于链路 2, 长度为 4。

^IPGETDATA:1,2,3, 返回的信息, index1 中有数据, 数据属于链路 2, 长度为 3。

^IPGETDATA:2,3,4, 返回的信息, index2 中有数据, 数据属于链路 3, 长度为 4。

AT+IPGETDATA = 0, 提取 index0 中的数据。

^IPGETDATA:0,2,4,

1234

返回的信息, 为链路 2 中的数据, 长度 4, 数据为“1234”。

AT+IPGETDATA = 1, 接收 index1 中的数据。

^IPGETDATA:1,2,3,

ADF

返回的信息, 链路 2 中的数据, 长度为 3, 数据位“ADF”。

(5) 或者可以用数据到达直接上报

^IPDATA:3,4,asdf

OK

当有数据到达时, 直接上报, 本例中是上报链接 3, 长度 4 的数据, 内容为“asdf”。

(6) 最后关闭 TCP/IP 链接

AT+IPCLOSE?

^IPCLOSE:1,1,1,0,0

OK

AT+IPCLOSE = 1

OK

AT+IPCLOSE?

^IPCLOSE:0,1,1,0,0

OK

AT+IPCLOSE?, 看链接状态, 返回状态中链接 123 (即为前三个比特位) 为打开。

AT+IPCLOSE = 1, 然后关闭链接 1。

AT+IPCLOSE?, 再次查看链接状态。

^IPCLOSE:0,1,1,0,0,返回的信息,可发现链接 1 已被关闭。

(7) 或者可以打开透明传输使能

AT^IPENTRANS = 1

OK

链接 1 打开透明传输使能,这样输入的数据将直接发动到链接 1 远端的用户。

(8) 作为 DTU 使用

对于安装有点对点协议 (Point to Point Protocol, PPP) 协议的终端,可以用 PPP 协议与模块连接实现对网络的透明链接,此时模块相当于与数据传输单元 (Data Transfer unit, DTU),这时在终端上即可进行相应的网络编程。

(9) 如果使用 M2M 协议

如果使用 M2M 协议,如中国移动的 WMMP,则需要在连接到网络的基础上,接入中国移动 M2M 平台。整个过程需要符合 WMMP 的要求,如接入 M2M 平台需要符合 WMMP 的 M2M 终端注册流程,出现异常状态的上报要符合 WMMP 的 M2M 终端上报告警数据要求。

4.6 M2M 应用

4.6.1 M2M 的业务模型

为了解决各行业需求,M2M 的业务模型由三部分组成:行业终端、移动通信网络、M2M 应用平台。M2M 业务模型如图 4-17 所示。

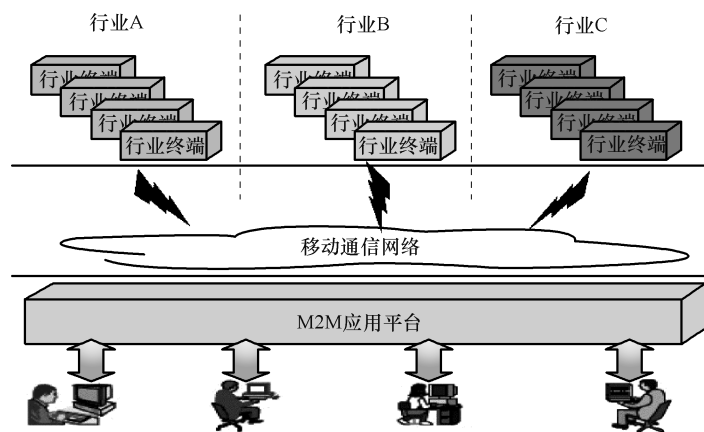


图 4-17 M2M 业务模型

1. 行业终端

- 1) 符合相关行业标准,具备入网证、合格证等相关检测合格证书。
- 2) 符合行业生产、管理需求、集成数据采集和数据传输功能的设备。

2. 移动通信网络

- 1) 能安全、高效承载数据业务的中国移动通信网络。
- 2) TD-SCDMA,具有高宽带、高速率及抗干扰等技术优势的第三代移动通信网络。

3. M2M 应用平台

- 1) 实现各行业移动信息化需求的业务平台集合。
- 2) 具有良好的可扩展性，易于新业务平台的接入。

M2M 技术可为各行业提供一种集数据采集、传输、处理和业务管理的综合解决方案，实现业务流程的自动化。其主要应用领域包括，交通领域（物流管理、定位导航）、电力领域（远程抄表和负载监控）、农业领域（大棚监控、动物溯源）、城市管理（电梯监控、路灯控制）、安全领域（城市和企业安防）、环保领域（污染监控、水土检测）、企业（生产监控和设备管理）和家居（老人和小孩看护、智能安防）等。行业应用体现的是 M2M 技术应用的深度，而个人应用领域体现的是 M2M 技术应用的广度。相关专家指出，未来 M2M 的应用还会以行业应用为主，但会逐渐渗透到个人应用领域。大多数 M2M 应用与行业需求紧密结合，没有适合所有客户的横向产品，几乎所有的 M2M 应用都需要针对特定客户群的实际需求进行一定程度的定制。解决行业需求的 M2M 业务环境如图 4-18 所示。

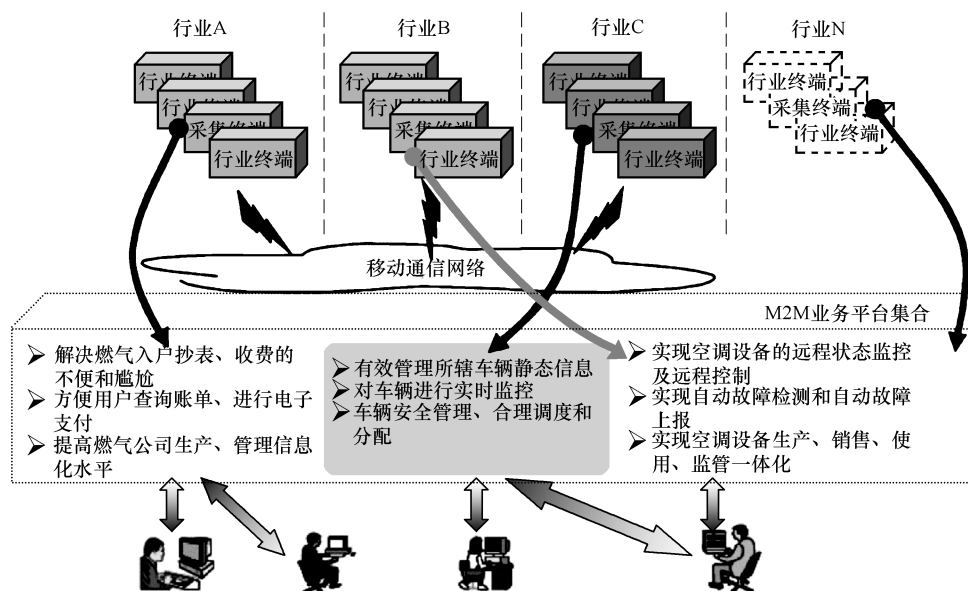


图 4-18 解决行业需求的 M2M 业务环境

4.6.2 医疗保健

1. 医疗保健 M2M 应用概述

改革开放以来，中国在基础建设方面取得了重大飞跃，人均居住面积、交通运输条件及通信传输网络等都得到了有效改善和显著提高。有权威机构的调查报告显示，参照国际社会的发展规律，伴随生活质量的不断提高，今后十年内，社会及公众的发展需求将由基础设施建设向更高层次的消费及服务转移。其中，需求最为突出的几个方面当首推医疗条件、健康投入及教育水平等。选择利用无线通信技术提高和改善医疗条件。

除了医疗技术及医疗体制的种种制约，落后的医用通信手段也大大制约了医院、医生和各种先进医用设备的作用时间和空间，大医院之拥挤、医疗资源之缺乏及一系列问题已引起

全社会的广泛关注。随着我国人口老龄化问题的日益严重,家庭医疗监护将成为普遍的社会需求。在患者和医院及医疗工作人员之间建立高速信息网络,是以改善医用通信条件为手段解决上述问题的有效可行的重要方法之一。

用传感技术和现代通信技术将病人的监护范围从医院内扩展到通信网络可以到达的任何地方,从而实现病人与诊所、诊所与医院或医院间医疗信息的传送。医生可通过网络全程监护患者的病程(包括突发病变),并给予他们必要的指导和及时处理,而患者则通过网络在家里、公共场所或社区医院得到救治和指导。远程监护提供一种通过对被监护者生理参数进行连续监测研究远地对象生理功能的方法,缩短了医生和病人之间的距离。医生可以根据这些远地传来的生理信息为患者提供及时的医疗服务。远程监护系统不仅能提高老人的生活质量,而且能够及时捕捉老人的发病先兆,结合重要生理参数的远程监护,可以提高老年人的家庭护理水平。这对于患者获得高水平的医疗服务及在紧急情况时的急救支援,具有重要意义。

远程监护系统是顺应信息社会发展和人们对医疗保健的需求而产生和发展起来的。随着信息技术的不断发展,其形式将更加多样,无线、移动和传感技术融合而成的微型化无线智能传感网络必将为远程监护系统的发展带来新的突破。无线医疗具有实时、移动、价廉、人性化和可推广等特点,拥有巨大的潜在市场需求,能够给科研开发、产业增长、企业发展带来巨大的空间。

2. 医疗保健 M2M 应用方案

无线传感器网络技术、短距离通信技术(IEEE 802.11a/b/g、ZigBee、Wi-Fi)、蜂窝移动通信网(GPRS、CDMA、3G)、互联网技术等先进通信技术的发展,为实现基于 M2M 的医疗保健应用方案提供了坚实的技术基础。M2M 在医疗保健上的应用,将会带动医疗设备的微型化和网络化,同时促进医疗模式向预防为主的方向发展。

通用医疗监护系统如图 4-19 所示,描述了一种可扩展的多层次网络式远程医疗监护系统结构。系统由监护终端设备和无线专用传感器节点构成了一个微型监护网络。医疗传感器节点用来测量各种人体生理指标,如体温、血压、血糖、血氧、心电、脑电、脉搏等,传感器还可以对某些医疗设备的状况或者治疗过程情况进行动态监测。传感器节点将采集到的数据,通过无线通信方式将数据发送至监护终端设备;再由监护终端上的通信装置将数据传输至服务器终端设备上,如通过互联网可以将数据传输至远程医疗监护中心,由专业医护人员对数据进行观察,提供必要的咨询服务和医疗指导,实现远程医疗。

一个完整的远程医疗监护 M2M 系统可以具体分为如下几部分:

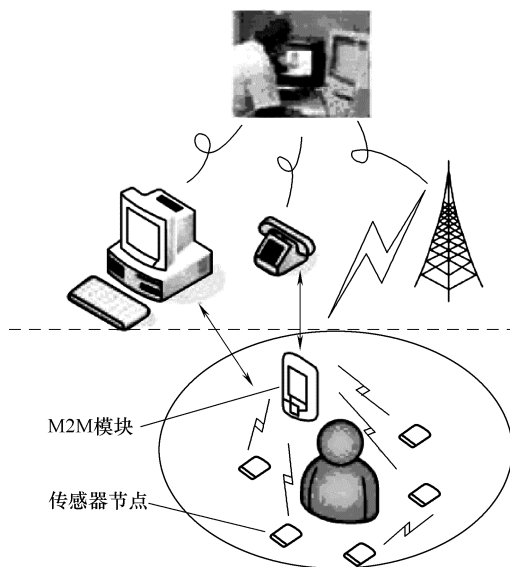


图 4-19 通用医疗监护系统

- 1) 传感器部分, 负责对病人生理参数, 如心电、心跳、呼吸、脉搏等进行采集。
- 2) 传输网络部分, 是传输数据的通道, 包括数据在传感器和个人终端间的传输通道、个人终端和服务端间的传输通道。
- 3) 远程医疗业务平台。
- 4) 远程医疗业务提供方。

远程医疗监护 M2M 系统应该具有如下特点:

- 1) 实时采集传输, 实时采集病人的心电、呼吸、体温、心率等医用信息, 传输和存储到数据库。
- 2) 实时监控报警, 实时数据自动分析和预警, 为预防和治疗提供参考, 紧急情况及时传递远程医疗中心, 并通知病人家属和主治医生, 为突发事件赢得宝贵的抢救时间。
- 3) 无线数据传输, 提供可选的多种无线通信方式, 为病人提供 24 小时连续的生理信息的监护, 患者可以自由移动。
- 4) 实时诊断分析, 医护人员可以实时调取病人医疗数据, 结合电子病历, 对病情做出分析和诊断, 医生的指令可以发回到监护仪, 指导治疗和救助。
- 5) 紧急求助服务, 病人主动请求定位最近的医护人员为患者提供及时的救助服务。
- 6) 辅助医疗管理, 提供辅助的医疗管理手段, 记录病人请求、医护人员提供服务的相关工作记录。
- 7) 根据不同应用场景的需求, 可以对传感器节点进行不同设置并采用不同覆盖范围的网络技术, 逐级形成家庭社区医疗监护网络、医院监护网络, 乃至整个城市和全国的医疗监护网络。

3. 应用模式

医疗保健 M2M 应用方案主要可以根据应用场景和功能的不同划分为两种模式, 分别是家庭社区远程医疗监护系统和医院临床无线医疗监护系统。

(1) 家庭社区远程医疗监护系统

家庭社区远程医疗监护系统以前期预防为主要目的, 对患有心血管等慢性疾病的病人在家庭、社区医院等环境中进行身体健康参数的实时监测, 远程医生随时可对病人进行指导, 发现异常时进行及时的医疗监护。这样一方面充分利用了大型专科医院稀缺的医疗资源, 同时又在保证个人的生命安全的基础上, 为病人就医提供了便利。

一个适用于家庭社区环境的典型远程医疗监护 M2M 系统分为如下几部分:

- 1) 用户便携终端, 包括客户端, 一般为 PC、便携式计算机、PDA 甚至手机等, 具有采集、存储、显示、传输、预处理、报警等功能, 其中 PDA 和手机是目前最有发展潜力的个人终端。
- 2) 服务器端, 为设于医院监护中心或家庭护理专家处的专业服务器, 可提供详细的疾病诊断及分析, 并提供专业医疗指导, 反馈最佳医疗措施。
- 3) 网络部分。

便携终端负责数据采集、本地监测、病人定位和数据发送。其工作方式可以是无线或有线的, 电源方式为有线或电池供电。医院终端由信息采集服务器、数据库服务器及监控管理终端等组成。一台信息采集服务器, 负责接收远程发来的心电数据和位置数据, 实现对病人的远程监控, 同时以 WEB 服务的标准格式为医生提供一个历史数据检索、查看和诊断的平

台。医生在医生工作站和医生终端上通过标准的浏览器即可实现对病人数据的实时访问。

网络各部分通过移动网络与其他网络互联，移动网络起到了枢纽和控制的功能。其中，用户便携终端包含了常见的传感器，主要用于测量身体参数和室内外环境，如体重、人体和环境温度等参数，并自动通过无线网络上传到终端，实现参数的实时监测。另外，家庭社区主要针对慢性疾病进行监护，个人监护设备不应对病人的日常生活进行限制，因此要求有很好的便携性。

家庭社区远程医疗监护系统通过现有的通信技术，在家庭环境中对人体和环境参数进行综合测量，从而实现护理和保健的统一，如图 4-20 所示。

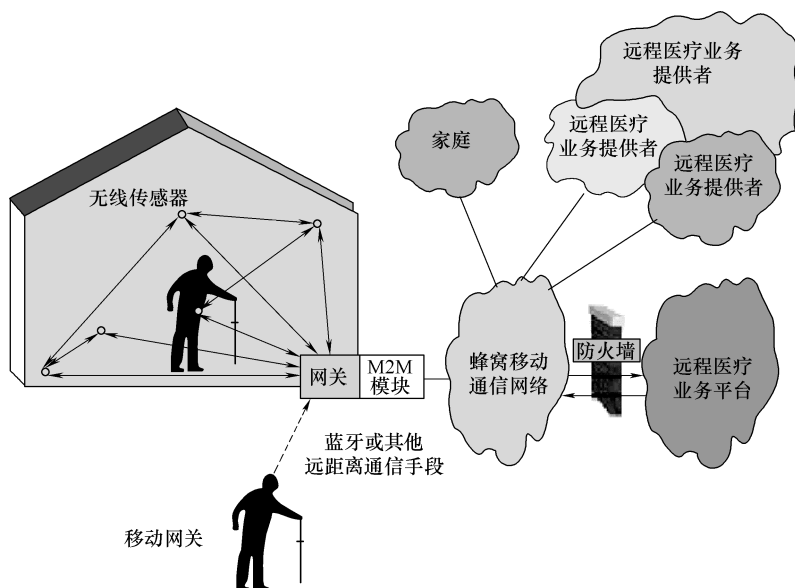


图 4-20 家庭远程医疗监护系统

(2) 医院临床无线医疗监护系统

医院临床无线监护系统在医院范围内利用各种传感器对病人的各项生理指标进行监护、监测。系统可以采用先进的传感器技术和无线通信技术，替代固定监护设备的复杂电缆连接，摆脱传统设备体积大、功耗大、不便于携带等缺陷，使得患者能够在不被限制移动的情况下接受监护，满足当今实时、连续、长时间检测病人生命参数的医疗监护需求。

在该应用模式下，系统仍旧可以沿用通用的远程医疗系统模型，利用无线数据传输的方式，传递医疗传感器与监护控制仪器之间的信息，减少监护设备与医疗传感器之间的联系，使得被监护人员能够拥有较多的活动空间，并获得准确的测量指标，满足病人的日常生活需要。同时，在医院病房内建立无线检测网络，很多项测试可以在病床上完成，极大地方便了病人就诊过程，并加强医院的信息化管理和工作效率。

系统需要同时支持床旁重患监护和移动病患监护。系统可分为如下几部分：

- 1) 生理数据采集终端，具有采集、存储、显示、传输、预处理、报警等功能，根据病人病情的需要，可分为固定型和移动型终端两种。
- 2) 病房监护终端，作为病房内数据采集的中心控制和接入节点，收集病人的生理数据，支持本地监测，同时将数据发送至远程服务器端。

3) 远程服务器端为设于医院监护中心的专业服务器, 可提供详细的疾病诊断及分析, 并提供专业医疗指导, 反馈最佳医疗措施。

4) 网络部分。

生理数据采集终端和病房监护终端构成病房范围内的数据采集传输网络, 可根据移动性的需求, 采用无线或有线的方式进行连接, 实现病房内多用户数据采集和病人定位, 同时也方便医生和护士在病房内对病人的情况进行检查和监测。医院终端由信息采集服务器、数据库服务器及监控管理终端等组成。一台信息采集服务器, 负责接收远程发来的心电数据和位置数据, 实现对病人的远程监控, 同时以 WEB 服务的标准格式为医生提供一个历史数据检索、查看和诊断的平台。医生在医生工作站和医生终端上通过标准的浏览器即可实现对病人数据的实时访问。

4. 应用前景

由于无线监测系统技术的先进性、应用模式的独特性, 将给医疗服务带来巨大的变化, 临床无线监护和个人远程监护将成为最先实现的应用模式。无线远程医疗系统的适用范围很广, 包括远程急救、远程心脏病学、远程放射学、远程心理学、远程监护 (包括偏远地区的医疗中心、家庭监护及远程或孤立点的个人监护)。监护的信号包括生物信号如 ECG、血压、温度、SpO₂、CO₂、医学图像或视频信号、电子病历及音频信号等。

在医院临床无线监护应用模式中, 系统可用于各种心律失常、缺血性心脏病、传导障碍、各科病人的手术中监护和手术后观察等各项监测, 提供实时无线的监测手段, 为医疗安全提供新的保障、缓解 ICU 的资源紧张; 系统也可用于危重症患者的长、短途转运过程中的监护。另外, 对心律失常患者在院外观察药物疗效及病情监测也具有临床意义。

在个人远程监护应用模式中, 系统可预防和减少某些病恶性事件发生, 它对几类人群具有重要意义: 一是对亚健康人群的心脏日常监护和保健护理具有积极作用, 是日常工作繁忙、工作高度紧张、精神压力较大、缺少运动的各界人士自我监护的理想工具; 二是有助于疾病患者的长期病情监测; 三是随时及频繁就医有困难的患者和中老年患者; 四是从事特殊行业并患有心律失常且伴有临床症状的人群。

当无线远程医疗系统发展成为一个成熟的医疗产品时, 传统的医疗模式将被打破, 一种全新的基于互联网的医疗监护体系将会形成——它以医院为核心, 面向社区、家庭与个人, 通过互联网联系组成一个有机整体, 保证人们无论在医院内、院外甚至偏远地区均能得到及时、有效、专业的医疗诊断和治疗, 从而大大提高医疗水平, 使人们的生活质量越来越好。

4.6.3 电力系统

1. 电力系统 M2M 应用业务概述

在电力、自来水和管道煤气等公用事业系统的信息化过程中, 户表数据的自动抄送具有十分重要的意义, 也是行业单位迫切想要解决的问题, 因为水、电、煤三表数据抄送的准确性、及时性, 直接影响公用事业部门系统的信息化水平, 甚至管理决策、经济效益。传统的手工抄表费时、费力, 准确性和及时性得不到可靠的保障, 这导致了相关营销和企业管理类软件不能获得足够详细和准确的原始数据; 一般人工抄表都按月抄表, 对于用户计量来说是可行的, 但对于相关供应部门进行更深层次的分析和管理决策却不够, 行业的实际需求催生自动抄表系统的技术和应用的不断发展。

2. 电力系统 M2M 应用方案

如图 4-21 所示, 无线电力远程抄表系统由位于电力局的配电中心和位于居民小区的电表数据采集点组成, 利用运营商的无线网络, 电表数据通过运营商的无线网络进行传输。电表直接通过 RS 232 口与无线模块连接或者首先连接到电表数据采集终端, 数据采集终端通过 RS 232 口与无线模块连接。电表数据经过协议封装后发送到运营商的无线数据网络, 通过无线数据网络将数据传送至配电数据中心, 实现电表数据和数据中心系统的实时在线连接。

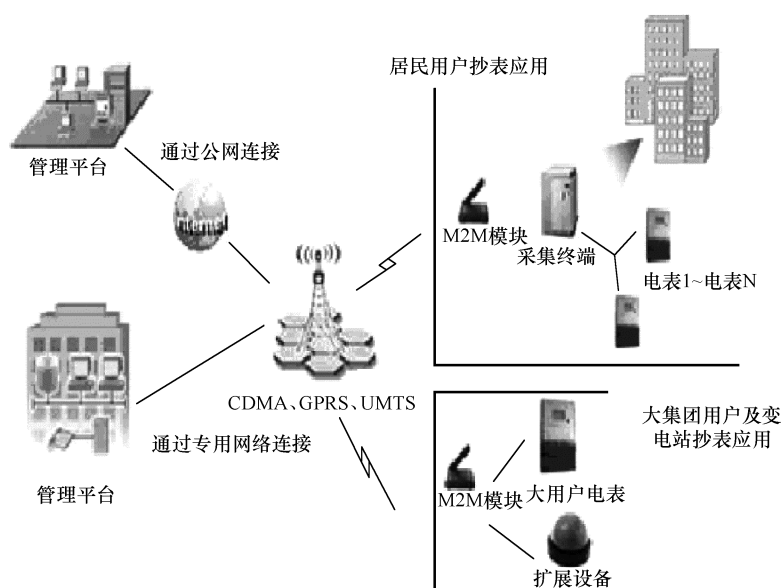


图 4-21 电力远程抄表系统

运营商无线系统可提供广域的无线 IP 连接。在运营商的无线业务平台上构建电力远程抄表系统, 实现电表数据的无线数据传输, 具有充分利用现有网络、缩短建设周期、降低建设成本的优点, 而且设备安装方便、维护简单。

一个完整的无线抄表系统可以具体分为如下几部分:

- 1) 数据采集部分, 负责采集电表数据。
- 2) 传输部分, 传输数据的通道。
- 3) 管理及业务平台。

4.7 M2M 前景和挑战

4.7.1 M2M 市场的前景预测

M2M 市场当下已成为全球范围内快速增长的高科技市场之一, 各国的知名调研机构均对 M2M 应用进行过市场估算, 即便各机构的调研方向及调研结果的数值都略有不同, 但都足以充分证明这个市场蕴藏的巨大潜力。中国行业资讯网认为 M2M 终端的长期市场规模不可限量。这是由于 M2M 终端的应用几乎遍布生活的每一个场景, 如计算机与网络、公共安

全、零售、交通、工业、医疗卫生、家庭电子消费、能源、建筑等。目前，信息化度高的领域主要是计算机与网络，其他很多领域的信息化水平相对较低。未来 20 年内在可以想象的这些应用场景中，ICT 终端都将经历从导入到爆发，到迅速增长，再到成熟的阶段。

未来各种类型的传统设备持续地转变为 M2M 终端形式，并相继进入爆发期。2011 ~ 2021 年，M2M 终端的年复合增速达到 48%。至 2015 年 M2M 终端的出货量将达到 23 亿部，相当于 2011 年手机、计算机、平板式计算机和电视出货量的总和。2021 年，全球 M2M 终端的出货量将超过 100 亿部，相当于按照 8% 增长率测算的当年全球手机、PC、电视出货量总和的 2 倍以上。由此计算，至 2021 年人人通信和物物通信终端合计年出货量将达到 150 亿部，相当于全球人均占有约 2 部的年出货量。考虑到未来终端更新周期日渐加快和物联网蓬勃发展，这个测算是保守的。假设每个终端仅为 100 美元，那么 100 亿部 M2M 终端出货量相当于万亿美元级别的市场空间。

全球 M2M 运营业务收入主要来自于交通、能源、安防及零售产业。预计在今后几年交通、能源、安防及零售产业仍然是运营商收入的集中行业。

随着全球 M2M 应用的增长，中国的 M2M 市场也正面临快速发展，中国政府将 M2M 通信技术列入“十一五”规划国家级重点通信项目。现在被人们广泛关注的各种数字化系统，如智能家居、智能小区、智能楼宇、智能交通、智能安防、智能市政、RFID 应用等，处处渗透和体现了 M2M 技术和理念。根据有关资料预计，未来用于人人通信的终端可能只占整个终端的市场的 1/3，而更大数量的通信是 M2M 通信业务。在当今世界上，机器的数量至少是人的数量的 4 倍，这意味着巨大的市场潜力。

众多的数据说明无不有力证明了 M2M 时代的到来。尤其在政府的大力扶持下，M2M 走入寻常百姓家，更好地为社会民生服务指日可待。

4.7.2 M2M 的发展思路与对策

M2M 通信的潮流已不可阻挡，也越来越接近人们的生活。但是，在发展的途中还会遇到许多问题，尤其对我国市场而言。鉴于此，对我国 M2M 市场总结归纳以下几点：

(1) 奠定 M2M 市场发展的基石

目前，我国的 M2M 发展刚刚起步，应该鼓励中小企业学习国外经验，抓住机遇，选取具体行业，进行重点突破。例如交通与物流行业、零售行业、公共事业领域及医疗卫生领域等可以走在前列，让它们为无线 M2M 市场的繁荣做出示范，瞄准我国 M2M 产业链的空白，努力发展。

(2) M2M 与智能化系统加紧联系

M2M 的技术和理念要渗透到现在被广泛关注的各种智能化系统，如智能家居、智能小区、智能楼宇、智能交通等。在智能家居方面，通过 M2M 可使一个家庭变成一台超级计算机，在所有家庭用具内都装有嵌入式的处理器。可用手机来操纵家庭设备的状态，也就是与家庭中的灯光控制系统、安防控制系统、家居环境监控系统（温度、湿度、空气质量等）、家庭气象站系统等实现通信，从而达到家居 M2M 的实现。

(3) 商业模式要及时转型

在 M2M 进程中，正确的契机与机遇，是顺利发展不可或缺的。因此，运营商势必要建立起更快、更广的数据网络，并进行“流量经营”；硬件厂商也要跟进，实现现有功能的复

用,研发新的功能,并在这个过程中制定出一系列的标准和专利,更好地为 M2M 提供服务;软件和应用提供商需要更进一步突破人机界限及机器与机器的界限,让硬件和网络包括背后的人都发挥出更高的效率;商业模式的市场要足够大,能够支撑起足够多的公司,也要留给人们无尽的想象空间。只有这样,M2M 的发展才会顺利达到预期的效果。

(4) 关注 M2M 的续航时间

实现各种机器设备之间的通信,必然需要众多的设备连接,这就需要较长的续航时间。这是一个需要极度关注并克服的难题,需要电子硬件的发展与时俱进,使其能提供价格低廉、续航时间长的器件;还需要平衡传输的数据量和电池续航时间之间的关系。

(5) 发展 M2M 平台,注重整合性的统一

在短期阶段,M2M 业务的共同组成元素会指导这个行业的起步。但是,在将来不久的发展中,这些众多元素需要统一起来,形成一个完整的 M2M 平台系统,包括终端接入模块、应用接入模块、业务处理模块、管理门户模块、网络接口模块、监控接口模块等,然后形成统一的标准,以达到 M2M 市场整合性的统一。因此,需加快制定互通的标准,注重整合性的统一。

未来网络技术将无所不在,计算机和通信应用将改变生活中的每一个领域,甚至会出现一种“人体域网”。新通信方式不只是在人与人之间畅通,人与机之间、机与机之间也将得以使用。届时,能够上网的设备或载体将更加广泛,从电视机到 MP3 播放机、从冰箱等家电到首饰大小的佩戴设备——这些设备将与计算机一样工作,形成 M2M 的通信方式。M2M 技术的目标就是使所有机器设备都具备互联和通信能力,核心理念就是“网络一切”。

总而言之,现阶段各种形式的物联网业务中最主要、最现实的形态是 M2M 业务,M2M 业务在许多国家受到高度的重视,在一些行业中已经或将率先得到规模化的应用,并逐渐地影响到更多的行业。互联网改变了公司,移动互联网改变了人,M2M 将改变人们身边的机器。人、机器、网络三位一体将在更大程度上改变世界和人们的生活。

本章小结

本章介绍了互联网和移动互联网,以及包括 3G 和 4G 技术在内的移动通信技术;阐述了 M2M 技术的体系结构、协议、内容和模块;结合医疗保健和电力系统介绍了 M2M 的应用。

习题与思考题

1. 什么是互联网?
2. 简述互联网的相关协议。
3. 互联网的接入技术有哪些?
4. 什么是移动互联网?
5. 简述移动通信技术的发展史。
6. 什么是 3G 技术?
7. 什么是 4G 技术?
8. 请简述 M2M 技术的定义。
9. 为什么 ITU 要大力推广 M2M 技术?为什么认为 M2M 技术是物联网核心技术?

10. M2M 的业务模型是什么?
11. M2M 的技术标准体系是什么?
12. M2M 架构包含哪五个重要技术部分?
13. 简述 M2M 两种应用模式的异同。
14. 简述 WMMP 的作用。
15. 给出搭建一个 M2M 应用系统的步骤。

第5章 云计算与大数据

物联网和云计算已成为我国非常重视的战略新兴产业。物联网产业有巨大的发展潜力和广泛的应用领域。而在其推进过程中，通过传感器收集信息已不是难题，感知信息在网络上的传输也不是问题，实质的难点在于如何对海量信息进行分析和处理，并对物体实施智能化的控制。要解决这个问题，就必须建立一个功能强大的智能处理平台，而云计算正是这样一个具备海量信息存储和处理的平台。随着物联网、云计算的迅猛发展，数据的快速增长使信息社会已经进入了大数据（big data）时代。

5.1 云计算

5.1.1 云计算的起源

云计算（cloud computing）是一个新出现的事物，代表了一种先进的技术。云计算是信息技术发展和信息社会需求到达一定阶段的必然结果。它的出现，有技术上的原因，也有市场方面的推动。

1. 从技术角度来看，传统的图灵机模型已经不能够满足当今互联网、物联网的计算需求，需要一种新的计算机模型。

图灵机（见图5-1）由一条双向的可无限延长的磁带（被分成一个个的方格，方格里面写有符号）、一个有限状态控制器和一个读写磁头构成。

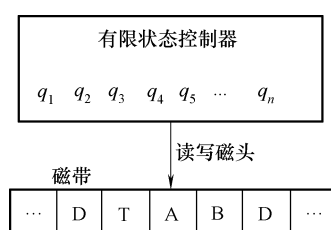


图 5-1 图灵机模型示意图

图灵机 M 是一个七元组，即

$$M = \langle Q, T, \Sigma, \delta, q_0, B, F \rangle$$

式中 Q ——有限的状态集合；

Σ ——有限的带字符集合；

B ——空白符号， $B \in \Sigma$ ；

T ——输入字符集合， $T \subseteq \Sigma$ 且 $B \notin T$ ；

δ ——下一次动作函数，是从 $Q \times \Sigma$ 到 $Q \times \Sigma \times \{L, R\}$ （ L 为左移， R 为右移）的映射；

- q_0 ——初始状态, $q_0 \in Q$;
- F ——终止状态集合, $F \subseteq Q$ 。

图灵机的一次动作与读写头扫描到的字符及控制器的状态有关。一次动作将引起以下动作:

- 1) 控制器改变状态。
- 2) 在当前扫描到的单元上, 重写一个字符取代原来的字符。
- 3) 读写头左移或者右移一个单元。

图灵机模型是计算机的一个很简单的数学模型, 虽然简单, 却能模拟通用计算机的计算能力。但图灵机模型存在一定的局限性, 表现如下:

- 1) 图灵机模型中从初始字符串到终态字符串的映射, 对应的是确定空间中点到点的映射, 所以该模型只能解决确定性问题, 无法解决不确定性问题。
- 2) 图灵机模型通过时钟频率把模拟量近似为数字量, 并且决定读写磁头读写的速度, 这种等粒度的细分决定了数字化的精确程度, 而该模型并没有考虑到这样的近似是否可行, 以及数值量应该如何返回模拟量等问题。
- 3) 图灵机模型没有考虑输入、输出的形式化方法和人机交互的需求。

现今, 互联网已经成为人与人之间沟通不可或缺的手段, 而互联网正在向物联网渗透。这种趋势使得人的感知能力和认知能力挣脱了时间和距离的束缚。最终, 互联网、物联网突破了图灵机模型的描述范畴: 互联网、物联网上的计算以交互为中心, 一台计算机可以影响其他计算机的运行状态, 这种影响与计算机所处的物理位置几乎无关; 同时, 计算机的 CPU 只是网络上的各个自治节点中的可计算部分。图灵机模型中集中统一的调度, 顺序、确定的输入, 已经不能描述互联网和物联网的工作机理及交互机理。因此, 图灵机模型在互联网、物联网中已经不再适用。

云计算摆脱了传统图灵计算的束缚, 适应了互联网、物联网的发展需求。图灵计算与云计算的比较见表 5-1。

表 5-1 图灵计算与云计算的比较

图 灵 计 算	云 计 算
重点关注 CPU 和操作系统	重点关注节点间的交互
确定的计算	不确定的计算
最优解	尽力而为的解
统一的调度	无集中控制、区域性偏好依附
机械的执行	有主题行为能力
可计算模型	服务模型
人不参与的计算	人主动参与的计算

2. 云计算的出现也是社会和经济发展的必然结果。

随着互联网向物联网的扩展, 网络将连接更多的人和物, 信息-物理系统 (Cyber Physical System, CPS) 会进一步融合, 信息总量会呈几何级数爆炸式增长。同时, 随着社会和经

济的发展,大众用户有更全面、个性化、深层次的信息需求,需要通过云计算来提供更专业化的服务。云计算使得人的感知能力和认知能力真正进入网络,挣脱了时间和距离的束缚,得到极大的延伸,人与人之间、人与社会之间沟通质量和效率得到极大的提升。

通过规模化,云计算不仅可以降低固定资产的投入,还可以降低运行费用。当资源被集中后,资源的分时共享或者分区共享可以使得同样的资源可以发挥更大的作用。因此,云计算备受中小企业的欢迎。受这种需求的刺激,许多公司纷纷推出了自己的云产品。

2006年3月,美国亚马逊(Amazon)公司在业界首先推出云计算服务,即弹性云计算(Elastic Compute Cloud, EC2)服务。2007年11月,美国IBM公司宣布了“蓝云”(Blue Cloud)计划,推出面向企业的云计算解决方案。2008年4月,美国谷歌(Google)公司推出了其云计算平台谷歌应用引擎(Google App Engine, GAE),使用户可以在美国Google公司提供的网络基础设施上面构建和托管自己的应用程序。在2008年微软开发者大会上,微软发布了一个全新的云计算平台蔚蓝服务平台(Azure Services Platform),提供了一个在线的基于Windows系统产品的开发、存储和服务代管等服务的环境。美国Salesforce公司作为云计算的积极倡导者之一,也较早地针对中小企业推出其云计算解决方案

2008年,美国国家自然科学基金资助IBM和Google公司两大IT巨头与大学合作开展云计算方面的工作,以帮助美国的研究机构获得低价的计算资源。同时,美国国防部开始建立自己的私有云,通过统一的计算、存储和通信资源来支持内部不同部门的IT服务。美国联邦政府于2009年专门成立云计算工作小组,在其内部推广云计算。自此以后,云计算的概念逐渐获得大众的关注,发展极为迅速,开创了IT产业的新篇章。

5.1.2 云计算的基本概念

云计算并不是一个全新的概念,但是,它却将是一项颠覆性的技术,是未来计算的发展方向。云计算以应用为目的,通过互联网将大规模的硬件和软件按照一定的结构体系连接起来,根据应用需求的变化不断调整结构体系,建立一个内耗最小、功效最大的虚拟资源服务中心。

云计算的概念模型如图5-2所示。要了解什么是云计算,我们首先要理解云、私有云、公用云等概念。

云(资源池)是一些可以自我维护 and 管理的虚拟计算资源,通常是一些大型服务器集群,包括计算服务器、存储服务器和宽带资源等。

私有云(专用云)是由单个客户所拥有的按需提供基础设施,该客户控制哪些应用程序在哪里运行,拥有服务器、网络和磁盘,并且可以决定允许哪些用户使用基础设施。

公用云是由第三方运行的云,第三方可以把来自许多不同客户的作业在云内的服务器、存储系统和其他基础设施上混合在一起。最终用户不知道运行其作业的同台服务器、网络或磁盘上还有哪些用户。

混合云把公用云模式与私有云模式结合在一起。客户通过一种可控的方式对云部分拥有、部分与他人共享。

云应用(Cloud Application)是通过网络访问、从不需要本地下载的软件应用。

云架构(Cloud Architectures)是可以通往网络访问和使用软件应用的设计。

在理解上述概念之后,下面来看一下什么是云计算。



图 5-2 云计算概念模型

云计算是一种基于互联网、大众参与的计算模式，其计算资源（计算能力、存储能力、交互能力）是动态、可伸缩且被虚拟化的，以服务的方式提供。

云计算是一种革命性的举措，它可以是计算能力，也可以作为一种商品进行流通，通过互联网进行传输，就像煤气、水电一样取用方便。在计算机流程图中，互联网常以一个云状的图案来表示，用来表示对复杂基础设施的抽象。因此，最初选择了用云来比喻，将这种计算模型叫作云计算。

5.1.3 云计算的特点

云计算最终带来更多的是使用的便捷，所以从用户角度来讲，云计算有着其独特的新引力。目前，普遍认为云计算的特点见表 5-2。

表 5-2 云计算的特点

编 号	特 点	解释与举例
1	超大规模	“云”具有相当的规模，美国谷歌公司云计算已经拥有 100 多万台服务器，美国亚马逊、IBM、微软、雅虎公司等的“云”均拥有几十万台服务器。企业级的私有云一般拥有数百上千台服务器。“云”能赋予用户前所未有的计算能力
2	虚拟化	云计算支持用户在任意位置、使用各种终端获取应用服务。所请求的资源来自“云”，而不是固定的有形的实体。应用在“云”中某处运行，但实际上用户无须了解、也不用担心应用运行的具体位置。只需要一台笔记本式计算机或者一部手机，就可以通过网络服务来实现需要的多种功能，甚至包括超级计算这样的任务

(续)

编 号	特 点	解释与举例
3	高可靠性	“云”使用了数据多副本容错、计算节点同构可互换等措施来保障服务的高可靠性，使用云计算比使用本地计算机可靠
4	通用性	云计算不针对特定的应用，在“云”的支撑下可以构造出千变万化的应用，同一个“云”可以同时支撑不同的应用运行
5	高可扩展性	“云”的规模可以动态伸缩，满足应用和用户规模增长的需要
6	按需服务	“云”是一个庞大的资源池，用户按需购买；“云”可以像自来水，电，煤气那样计费
7	廉价	由于“云”的特殊容错措施可以采用极其廉价的节点来构成，“云”的自动化集中式管理使大量企业无须负担日益高昂的数据中心管理成本，“云”的通用性使资源的利用率较之传统系统大幅提升，因此用户可以充分享受“云”的低成本优势，经常只要花费几百美元、几天时间就能完成以前需要数万美元、数月时间才能完成的任务

这些特点仅是云计算表面的一些特点，实际上，就云计算的本质而言，云计算的主要特征应该包括以下几方面：

- 1) 虚拟化，即把软件、硬件等 IT 资源进行虚拟化，抽象成标准化的虚拟资源，放在云计算平台中统一管理，保证资源的无缝扩展。
- 2) 多粒度和多尺度，即灵活地面对需求，提供不同的服务。
- 3) 不确定性，因为云计算是一个人参与的计算，是群体智能的体现，表现出自然界不确定性特征。
- 4) 软计算，即如何让网络明白一些定量、定性的转换，如一些大约的量词等。

目前，云计算还处于起步阶段，所以对于云计算的特点也会慢慢随着研究的深入发展。云计算具有很多优点，见表 5-3。

表 5-3 云计算的优点

编 号	优 点	解释与举例
1	更低成本的用户计算机	应用程序在“云”中而非用户计算机上运行，用户计算机可以是低价的，具有较小硬盘和内存
2	更高的性能	云计算中的计算机只需将少量的程序和进程加载到内存中，启动和运行速度将更快
3	更低的 IT 基础设施成本	无须投资购买强大的服务器
4	更少的维护问题	组织内部只需要少量服务器，降低了硬件维护成本；所有云应用都无须运行在组织内部的计算机上，降低了软件维护成本
5	更低的软件成本	无须为组织内部的每一台计算机购买单独的软件包，并且许多云计算公司都免费提供某些应用，使云服务的价格大大低于类似的桌面软件
6	即时软件更新	在“云”中，无论何时访问基于 Web 的应用程序，其总是最新版本
7	增强的计算能力	利用成千上万台计算机和服务器的能力，能够执行更复杂的任务
8	无限的存储容量	“云”提供了几乎无限的存储容量

(续)

编 号	优 点	解释与举例
9	增强的数据安全	“云”中的数据是自动复制的，计算机的崩溃不会损失任何数据
10	改进操作系统之间的兼容性	在“云”里，重要的是数据，而不是操作系统
11	改进文件格式的兼容性	基于 Web 的应用程序是统一的，创建的所有文件都可以被任何使用该应用的用户读取
12	更容易的群组协作	多用户可以共享文档，使得协作更容易，且不受地理位置的限制
13	对文档的普适访问	利用云计算，无须随身携带文档，只需连接到互联网，就可以访问
14	最新版本的可用性	“云”提供的文档总是编辑过的最新一个版本，而不是旧版本
15	消除对特定设备的依赖	凭借“云”，用户不再依赖于单一的电脑或网络

5.1.4 云计算与相关技术的关系

云计算是并行计算（parallel computing）、分布式计算（distributed computing）和网格计算（grid computing）的发展，或者说是这些计算科学概念的商业实现，是虚拟化（virtualization）、效用计算（utility computing）等概念混合演进并跃升的结果。

1. 云计算与并行计算的关系

云计算的萌芽应该从计算机的并行化开始，并行机的出现是人们不满足于 CPU 摩尔定律的增长速度，希望把多个计算机并联起来，从而获得更快的计算速度，这是一种很简单也很朴素的实现高速计算的方法，这种方法后来被证明是相当成功的。

在并行计算中，为了获得高速的计算能力，人们不惜采用昂贵的服务器和购买更多的服务器。因此，强大的并行计算能力需要巨额的投资。并且，传统的并行计算机的使用是一个相当专业的工作，需要使用者具有较高的专业素质。

而云计算将服务器等设施集中起来，最大限度地做到资源共享，能够动态地为用户提供计算能力和存储能力，随时满足用户的需求。

2. 云计算与分布式计算的关系

分布式计算研究如何把一个需要非常巨大的计算能力才能解决的问题分成许多小的部分，然后把这些分配给许多计算机进行处理，最后把这些计算结果综合起来得到最终的结果。

分布式计算依赖分布式系统。分布式系统由通过网络连接的多台计算机组成。网络把大量分布在不同地理位置的计算机连接在一起，每台计算机都拥有独立的处理器及内存。这些计算机互相协作，共同完成一个目标或者计算任务。

分布式计算是一个很大的范畴。在当今的网络时代，不是分布式计算的应用已经很少了。云计算和下面将要提及的网格计算，都只是分布式计算的一种。

3. 云计算与效用计算的关系

效用计算是随着主机的发展出现的。考虑到主机的购买成本高昂，一些用户就通过租用而不是购买的方式使用主机。效用计算的目标就是把服务器及存储系统打包给用户使用，按照用户实际使用的资源量对用户进行计费。可以说，效用计算是云计算的前身。

4. 云计算与网格计算的关系

网格是20世纪90年代中期发展起来的下一代互联网核心技术，其开创者依恩·佛斯特(Ian Foster)将之定义为“在动态、多机构参与的虚拟组织中协同共享资源和求解问题”。网格是在网络基础之上，基于SOA，使用互操作、按需集成等技术手段，将分散在不同地理位置的资源虚拟成为一个有机整体，实现计算、存储、数据、软件和设备等资源的共享，从而大幅提高资源的利用率，使用户获得前所未有的计算和信息能力。

网格计算可以分为三种类型：计算网格、信息网格和知识网格。计算网格的目标是提供集成各种计算资源、虚拟化的计算基础设施。信息网格的目标是提供一体化的智能信息处理平台，集成各种信息系统和信息资源，消除信息孤岛，使得用户能按需获取集成后的精确信息，即服务点播(service on demand)和一步到位的服务(one click is enough)。知识网格研究一体化的智能知识处理和理解平台，使得用户能方便地发布、处理和获取知识。

网格计算与云计算的关系，就像是OSI与TCP/IP之间的关系：国际标准化组织制定的OSI网络标准，考虑得非常周到，也异常复杂，在多年之前就考虑到了会话层和表示层的问题。虽然很有远见，但过于理想化，实现的难度和代价非常大。当OSI的一个简化版TCP/IP诞生之后，将七层协议简化为四层，内容也大大精简，因而迅速取得了成功。在TCP/IP流行以后，语义网等问题才被提上议事日程，开始考虑为TCP/IP增加其会话和表示的能力。

通常意义的网格是指云计算以前实现的以科学研究为主的网格。网格计算不仅要集成异构资源，还要解决许多非技术的协调问题，非常重视标准规范，也非常复杂，但缺乏成功的商业模式。云计算是网格计算的一种简化实用版本，有成功的商业模式推动。但如果没有网格计算打下的基础，云计算也不会这么快到来。所以说，云计算的成功也是网格计算的成功。

虽然网格计算实现起来要比云计算难度大很多，但对于许多高端科学或军事应用而言，云计算是无法满足需求的，必须依靠网格来解决。目前，许多人声称网格计算失败了，云计算取而代之了，这其实是一种错觉。网格计算已经有十多年历史，不如刚兴起时那样引人注目是正常的。事实上，有些政府主导、范围较窄、用途特定的网格，已经取得了决定性的胜利。代表性的有美国的TeraGrid和欧洲的EGEE等，这些网格每天都有几十万个作业在上面执行。未来的科学研究主战场，将建立在网格计算之上。在军事领域，美军的全球信息网格GIG已经囊括超过700万台计算机，规模超过现有的所有云计算数据中心计算机总和。

网格计算与云计算的比较见表5-4。

表5-4 网格计算与云计算的比较

	网 格 计 算	云 计 算
目标	共享高性能计算力和数据资源，实现资源共享和协同工作	提供通用的计算平台和存储空间，提供各种软件服务
来源	不同机构	同一机构
资源类型	异构资源，但屏蔽异构：用中间件屏蔽异构系统，使用户面向统一环境，实现资源共享	承认异构：承认节点在原理、规模、能力上的差异性，依靠互操作来实现节点之间的资源共享
资源节点	高性能计算机	服务器、PC

(续)		
	网 格 计 算	云 计 算
虚拟化视图	虚拟组织	虚拟机
计算类型	紧耦合问题为主，并行计算为主	松耦合问题，群体计算为主
应用类型	科学计算为主	数据处理为主
任务类型	完成一次性特定任务；要完成的任务是预先设定的	完成持久性多样化服务；提供计算、存储等资源，用户利用云计算按需聚合、柔性重组，获取持久、个性化服务
用户类型	科学界	商业社会
交互方式	确定的交互：按规定要求和程序输入、输出，人不主动参与	人机交互、群体智能：大众参与的计算，包括不确定性、软计算，相互沟通交流
付费方式	免费（政府出资）	按量计费
标准化	有统一的国际标准 OGSA/WSRF	尚无标准，但已经有了开放云计算联盟 OCC

5.1.5 云计算与物联网

已经知道，云计算最初是因为互联网的蓬勃发展而催生出来的概念，它从根本上改变了原有的互联网结构，弱化了终端的概念，提高了技术资源的整体利用率。而互联网与物联网的根本区别是，互联网处理的主要是人输入的数据；而物联网处理的还包括机器（传感器等）生成的数据，机器可以生成的数据是海量的。随着全球物联网的飞速发展，云计算也被赋予了新的含义，从连接计算资源到连接所有的人和机器。

所以，物联网的规模足够大之后，需要与云计算结合起来。云计算中心对接入网络终端的普适性，最终解决了物联网中 M2M 应用的广泛性。物联网的行业应用，如智能电网、环境监测网等，都需要借助云计算来解决海量信息和管理数据的问题。具体包括以下几个方面：

- 1) 云计算解决了物联网中服务器节点的不可靠性问题，最大限度地降低服务器的出错率。物联网中的海量数据和信息需要巨大数目的服务器。随着服务器数目的增多，服务器节点出错的概率也会随之变大。而利用云计算，云中有成千上万，甚至上百万台服务器，即使某些服务器出错了，也可以利用冗余备份等技术迅速恢复服务，保障物联网真正实现不间断的安全服务。
- 2) 云计算可以解决物联网中访问服务器资源受限的问题。服务器相关硬件的资源的承受能力是有限的，当访问超过服务器本身的限制时，服务器就会崩溃。物联网要求保障对服务器很高的访问需求，来满足数据和信息的爆炸性增长。但这种访问需求是不确定的，它会随着时间而发生变化。通过云计算技术，可以动态地增加或减少云中服务器的数量和数目，随时满足物联网中服务器的访问需求。
- 3) 云计算让物联网在更广泛的范围内进行信息资源共享。物联网中的信息直接存放在云中，而每个云中的各个服务器分布在全国乃至全世界的各个角落。物体只要具有传感功能，就可以被感知到，云中的服务器就可以接收到它的信息，实现物体最新信息的共享。
- 4) 云计算增强了物联网中的数据处理能力，并提高了智能化处理程度。物联网应用的不断扩大，产生了大量的业务数据。通过云计算技术，云中大规模的计算机集群提供了强大

的计算能力，通过庞大的计算机处理程序自动将任务分解成若干个较小的子任务，快速对海量业务数据进行存储、处理、分析和挖掘，在短时间内提取出有价值的信息。

因为云计算的核心就是以虚拟化的方式提供各种服务，而物联网的应用本身就是以“云”的方式存在的，从这个意义上说，物联网也是云计算的一个重要范畴。因此，物联网需要借助云计算技术解决某些问题，是云计算在现实中的一种应用形式。

5.2 云计算实现技术

云计算平台是一个庞大的复杂系统，涉及了许多技术，在数据存储、数据管理、软件开发等多方面采用了具有自身独特的技术。

5.2.1 云计算的工作原理

云计算的基本原理是，通过使计算分布在大量的分布式计算机上，而非本地计算机或远程服务器中，企业数据中心的运行将与互联网更相似，这使得企业能够将资源切换到需要的应用上，根据需求访问计算机和存储系统。

典型的云计算工作示意图如图 5-3 所示。用户可以通过云用户端提供的交互接口选择所需的服务，其请求通过管理系统调度相应的资源，通过部署工具分发请求、配置 Web 应用。

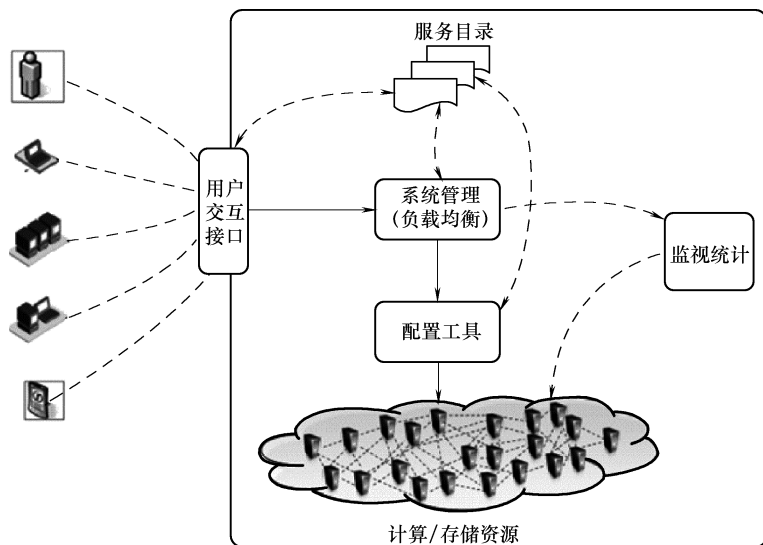


图 5-3 典型的云计算工作示意图

1) 服务目录，是用户可以访问的服务清单列表。用户在取得相应权限（付费或其他限制）后可以选择或定制服务列表，用户也可以对已有服务进行退订等操作。

2) 管理系统和部署工具，提供管理和服务，负责管理用户的授权、认证和登录，管理可用的计算资源和服务，以及接收用户发送的请求并转发到相应的相应程序，动态地部署、配置和回收资源。

3) 监控统计模块，负责监控和计量云系统资源的使用情况，以便做出迅速反应，完成节点同步配置、负载均衡配置和资源监控，确保资源能顺利分配给合适的用户。

4) 计算/存储资源,是虚拟的或物理的服务器,用于响应用户的处理请求,包括大运算量计算处理、Web 应用服务等。

5.2.2 云计算的体系结构

目前,还没有形成一个统一的云计算体系结构模型,不同的云计算提供商提供不同的解决方案。图 5-4 所示为供参考的云计算体系结构模型,它综合了多种解决方案。

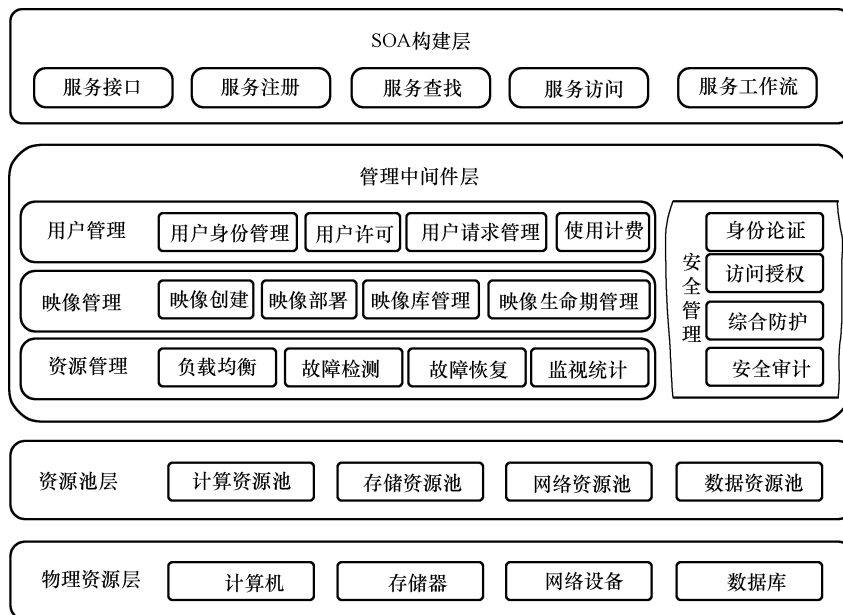


图 5-4 供参考的云计算技术体系结构模型

该云计算体系结构分为四层——物理资源层、资源池层、管理中间件层和面向服务的体系结构（Service-Oriented Architecture, SOA）构建层。

物理资源层包括计算机、存储器、网络设施和数据库。

资源池层是将大量相同类型的资源构成同构或接近同构的资源池,如计算资源池、数据资源池等。构建资源池更多是物理资源的集成和管理工作,如研究在一个标准集装箱的空间如何装下 2000 个服务器、解决散热和故障节点替换的问题并降低能耗。

管理中间件层负责对云计算的资源进行管理,并对众多应用任务进行调度,使资源能够高效、安全地为应用提供服务,包括资源管理、映像管理、用户管理和安全管理等工作。其中,资源管理负责均衡地使用云资源节点,检测节点的故障并试图恢复或屏蔽之,并对资源的使用情况进行监视统计;任务管理负责执行用户或应用提交的任务,包括完成用户任务映像（image）的部署和管理、任务调度、任务执行、任务生命期管理等;用户管理是实现云计算商业模式的一个必不可少的环节,包括提供用户交互接口、管理和识别用户身份、创建用户程序的执行环境、对用户的使用进行计费等;安全管理保障云计算设施的整体安全,包括身份认证、访问授权、综合防护和安全审计等。

SOA 构建层将云计算能力封装成标准的 Web 服务,并纳入到 SOA 体系进行管理和使用,包括服务接口、服务注册、服务查找、服务访问和服务 workflow 等。

在云计算的四层体系结构中，管理中间件层和资源池层是最关键的部分，而 SOA 构建层的功能更多依靠外部设施提供。

5.2.3 云计算的服务层次

在云计算中，根据其服务集合所提供的服务类型，整个云计算服务集合被划分成三个层次，如图 5-5 所示。与熟悉的计算机网络体系结构中层次的划分不同，云计算的服务层次是根据服务类型（即服务集合）来划分的。在计算机网络中每个层次都实现一定的功能，层与层之间有一定关联。而云计算体系结构中的层次是可以分割的，即某一层次可以单独完成一项用户的请求而不需要其他层次为其提供必要的服务和支持。

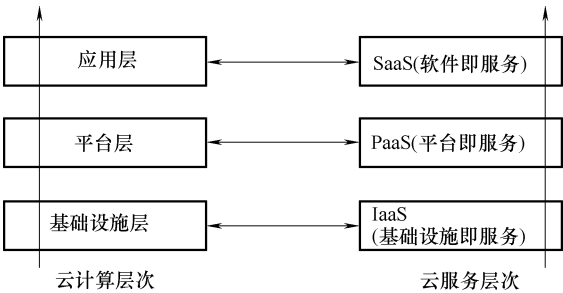


图 5-5 云计算服务层次

基础设施即服务（Infrastructure as a Service，IaaS）层，位于云计算三层服务的最底端，提供基本的计算和存储能力。以计算能力的提供为例，其提供的基本资源就是服务器，包括 CPU、内存、存储、操作系统及一些软件。IaaS 层通常按照所消耗资源的成本进行收费。

平台即服务（Platform as a Service，PaaS）层，通常也称为“云计算操作系统”。它提供给终端用户基于网络的应用开发环境，包括应用编程接口和运行平台等，并且支持应用从创建到运行整个生命周期所需的各种软硬件资源和工具。在 PaaS 层，服务提供商提供的是经过封装的 IT 能力，如数据库、文件系统和应用运行环境等，通常按照用户登录情况计费。

软件即服务（Software as a Service，SaaS）层，提供最常见的云计算服务，如邮件服务等。用户通过 Web 浏览器来使用网络上的软件，服务提供商负责维护和管理这些软件，并以免费或按需租用方式向用户提供服务。SaaS 模式是未来管理软件的发展趋势，它不仅减少甚至取消了传统的软件授权费用，而且服务提供商将应用软件部署在统一的服务器上，免除了最终用户的服务器硬件、网络安全设备和软件升级维护的支出。

云计算三层服务提供的服务功能及主要服务提供商见表 5-5。

表 5-5 云计算三层服务提供的服务功能及主要服务提供商

技术类别	主要提供商	主要产品	功能	说明
SaaS	美国 Salesforce 公司	Salesforce CRM	用于销售、服务、营销和呼叫中心运营等	如 gmail、雅虎邮件、搜索引擎、维基百科等。一些企业将应用软件托管在互联网上，用户可以租赁使用而无须考虑这些信息的出处、计算周期和存储字节的来源等因素。售出的服务就是一种完整的最终用户应用软件
	美国 Netsuite 公司	NetSuite OneWorld	提供了多级水平的综合报表、全球订单管理、实时管理和自动财务功能，可降低成本，简化税务管理	

(续)

技术类别	主要提供商	主要产品	功能	说明
PaaS	美国 Salesforce 公司	Force. com	可构建和运行任意应用程序, 按需提供企业级 Web 应用程序, 而无须付出部署基础结构的成本	一种新兴的形式, 即将应用软件平台提供给云上的研发人员使用。研发人员可以在云计算平台上对应用软件进行编译然后将代码再上传到云上
	美国 Google 公司	Google Apps Engine	可在 Google 公司的基础架构上构建并运行自己的网络应用程序, 无须维护服务器	
IaaS	美国 Amazon 公司	EC2 (Elastic Compute Cloud)、S3 (Simple Storage Service)	为企业计算和存储服务, 收费的服务项目包括存储服务器、带宽、CPU 资源及月租费	研发人员和系统管理员可从中获取全面的计算、存储、阵列及其他资源, 以最大的开放性来运行它们的应用软件。这也是功能最为强大的云计算类型。事实上, 任何适合放在网络上的应用软件和配置都适用于这种服务
	美国 IBM 公司	蓝云 (Blue Cloud)	通过架构一个分布、可全球访问的资源结构, 使数据中心在互联网环境下运行计算, 而不仅局限在本地	
	美国 Microsoft 公司	Azure	包括了 Windows Azure、Microsoft SQL 数据库服务、Microsoft .Net 服务等主要组件, 帮助开发可运行在云服务器、数据中心、Web 和 PC 上的应用程序	

5.2.4 云计算的关键技术

1. 数据存储技术

为保证高可用、高可靠和经济性, 云计算采用分布式存储的方式来存储数据, 采用冗余存储的方式来保证存储数据的可靠性, 即为同一份数据存储多个副本。另外, 云计算系统需要同时满足大量用户的需求, 并行地为大量用户提供服务。因此, 云计算的数据存储技术必须具有高吞吐率和高传输率的特点。云计算的数据存储技术主要有美国谷歌公司的非开源的 Google 文件系统 (Google File System, GFS) 和美国 Apache 软件基金会 Hadoop 开发团队开发的开源 Hadoop 分布式文件系统 (Hadoop Distributed File System, HDFS)。

以 GFS 为例。GFS 是一个管理大型分布式数据密集型计算的可扩展的分布式文件系统。它使用廉价的商用硬件搭建系统并向大量用户提供容错的高性能的服务。GFS 和普通的分布式文件系统的区别见表 5-6。

表 5-6 GFS 与传统分布式文件系统的区别

	GFS	传统分布式文件系统
组件失败管理	不作为 Exception 处理	作为 Exception 处理
文件大小	少量大文件	大量小文件
数据写入方式	在文件末尾附加数据	修改现存数据
数据流和控制流	数据流和控制流分开	数据流和控制流结合

GFS 由一个 Master 和大量块服务器构成。Master 存放文件系统的所有的元数据，包括名字空间、存取控制、文件分块信息、文件块的位置信息等。GFS 中的文件切分为 64MB 的块进行存储。在 GFS 中，采用冗余存储的方式来保证数据的可靠性。每份数据在系统中保存 3 个以上的备份。为了保证数据的一致性，对于数据的所有修改需要在所有的备份上进行，并用版本号的方式来确保所有备份处于一致的状态。

客户端不通过 Master 读取数据，避免了大量读操作使 Master 成为系统瓶颈。客户端从 Master 获取目标数据块的位置信息后，直接和块服务器交互进行读操作。

GFS 的写操作将写操作控制信号和数据流分开，如图 5-6 所示。客户端在获取 Master 的写授权后，将数据传输给所有的数据副本，在所有的数据副本都收到修改的数据后，客户端才发出写请求控制信号。在所有的数据副本更新完数据后，由主副本向客户端发出写操作完成控制信号。

未来的发展将集中在超大规模的数据存储、数据加密和安全性保证及继续提高 I/O 速率等方面。

2. 数据管理技术

云计算系统对大数据集进行处理、分析，向用户提供高效的服务。因此，数据管理技术必须能够高效地管理大数据集。其次，如何在规模巨大的数据中找到特定的数据，也是云计算数据管理技术所必须解决的问题。

云计算的特点是对海量的数据存储、读取后进行大量的分析，数据的读操作频率远大于数据的更新频率，云中的数据管理是一种读优化的数据管理。因此，云计算系统的数据管理往往采用数据库领域中列存储的数据管理模式，将表按列划分后存储。

云计算的数据管理技术最著名的产品是美国 Google 公司的 BigTable 数据管理技术，同时 Hadoop 的开发团队正在开发 BigTable 的开源数据管理模块——HBase。由于采用列存储的方式管理数据，如何提高数据的更新速率及进一步提高随机读速率是未来的数据管理技术必须解决的问题。

下面以 BigTable 为例。BigTable 在很多方面和数据库类似，但它并不是真正意义上的数据库。BigTable 数据管理方式设计者美国 Google 公司给出了如下定义：“BigTable 是一种为了管理结构化数据而设计的分布式存储系统，这些数据可以扩展到非常大的规模，如在数千台商用服务器上的达到拍字节（Petabytes，PB）规模的数据。”

BigTable 对数据读操作进行优化，采用列存储的方式，提高数据读取效率。BigTable 管理的数据的存储结构为，<row: string, column: string, time: int64 >-> string。BigTable 的基

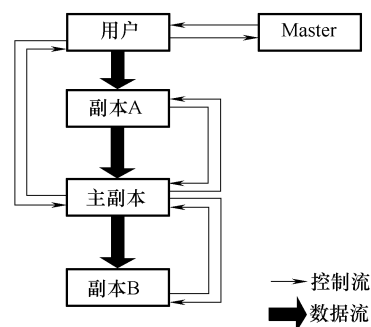


图 5-6 GFS 写操作

本元素是，行、列、记录板和时间戳。其中，记录板是一段行的集合体。

BigTable 中的数据项按照行关键字的字典序排列，每行动态地划分到记录板中。每个节点管理大约 100 个记录板。时间戳是一个 64 位的整数，表示数据的不同版本。

BigTable 在执行时需要三个主要的组件：链接到每个客户端的库，一个主服务器，多个记录板服务器。主服务器用于分配记录板到记录板服务器及负载平衡、垃圾回收等。记录板服务器用于直接管理一组记录板，处理读写请求等。

为保证数据结构的高可扩展性，BigTable 采用三级的层次化的方式来存储位置信息，如图 5-7 所示。其中，第一级的 Chubby 文件中包含根表单的位置，根表单包含所有元数据表单的位置信息，每个元数据表单包含许多用户表的位置信息。

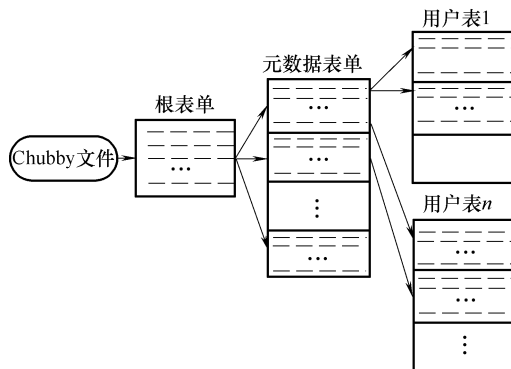


图 5-7 BigTable 存储记录板位置信息结构

3. 软件开发技术

云计算将面临更加严重的软件危机问题，需要降低软件系统的复杂度。为了使用户能更轻松地享受云计算带来的服务，让用户能利用该编程模型编写简单的程序来实现特定的目的。云计算上的编程模型必须十分简单，必须保证后台复杂的并行执行和任务调度向用户和编程人员透明。

MapReduce 是美国 Google 公司提出的一种处理和产生大规模数据集的编程模型，如图 5-8 所示。Hadoop 开发团队也发布了 MapReduce 的开源实现。现在所有 IT 厂商提出的“云”计划中采用的编程模型，都是基于 MapReduce 的思想开发的编程工具。

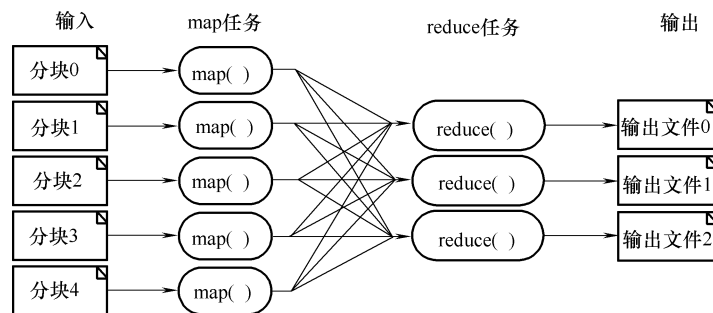


图 5-8 MapReduce 编程模型示意图

在 MapReduce 模型中，程序员通过 map 函数指定对各分块数据的处理过程，然后通过 reduce 函数指定如何对分块数据处理的中间结果进行归约。这样，程序员只需要指定 map 和

reduce 函数就可以编写分布式并程序。当在机群上运行 MapReduce 程序时，程序员不需要关心如何将输入的数据进行分块、分配和调度，系统还将自动处理机群内节点失败及节点间通信的管理等问题。

图 5-9 给出了 MapReduce 程序的执行过程。从图中可以看出，执行一个 MapReduce 程序需要五个步骤：输入文件，将文件分配给多个 Worker 并行地执行（map 阶段），写中间文件（本地写），多个 Worker 并行运行（reduce 阶段），输出最终结果。本地写中间文件在减少了对网络带宽的压力同时减少了写中间文件的时间耗费。执行 reduce 时，根据从 Master 获得的中间文件位置信息，将 reduce 命令发送给中间文件所在节点执行，进一步减少了传送中间文件对带宽的需求。

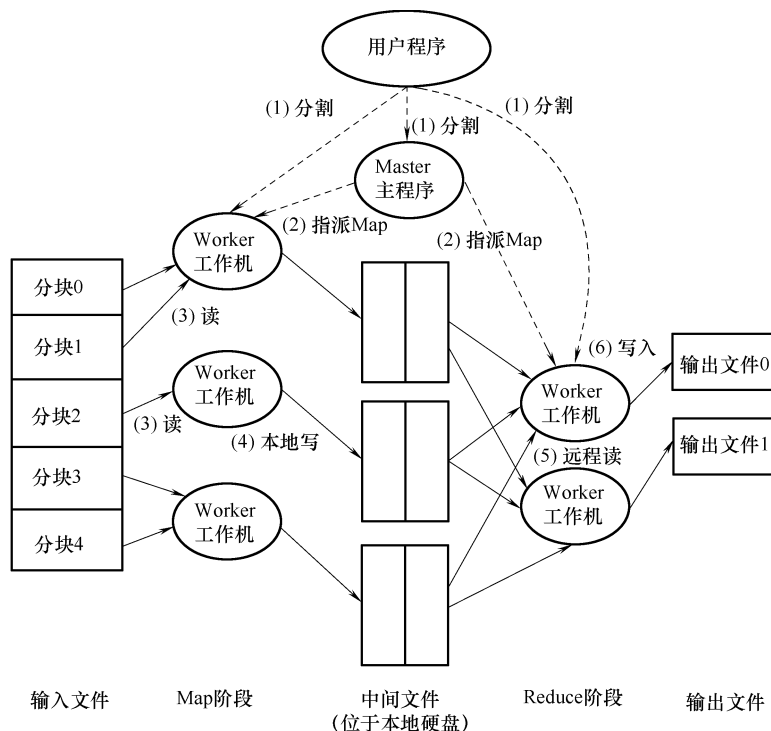


图 5-9 MapReduce 程序的执行过程

MapReduce 模型具有很强的容错性，当 Worker 节点出现错误时，只需要将该 Worker 节点屏蔽在系统外等待修复，并将该 Worker 上执行的程序迁移到其他 Worker 上重新执行，同时将该迁移信息通过 Master 发送给需要该节点处理结果的节点。MapReduce 使用检查点的方式来处理 Master 出错失败的问题。当 Master 出现错误时，可以根据最近的一个检查点重新选择一个节点作为 Master 并由此检查点位置继续运行。

MapReduce 不仅是一种编程模型，同时也是一种高效的任务调度模型。MapReduce 这种编程模型并不仅适用于云计算，在多核和多处理器、微处理器及异构机群上同样有良好的性能。该编程模式仅适用于编写任务内部松耦合、能够高度并行化的程序。如何改进该编程模式，使程序员得能够轻松地编写紧耦合的程序，运行时能高效地调度和执行任务，是 MapReduce 编程模型未来的发展方向。

5.2.5 云计算的派生技术

1. 云存储

云存储（cloud storage）是在云计算概念上延伸和发展出来的一个新的概念，是指通过集群应用、网格技术或分布式文件系统等功能，将网络中大量各种不同类型的存储设备通过应用软件集合起来协同工作，共同对外提供数据存储和业务访问功能的一个系统。当云计算系统运算和处理的核心是大量数据的存储和管理时，云计算系统中就需要配置大量的存储设备，以实现对计算数据的保存和管理，那么云计算系统就转变成为一个云存储系统，所以云存储是一个以数据存储和管理为核心的云计算系统。云存储系统应用示意图如图 5-10 所示。

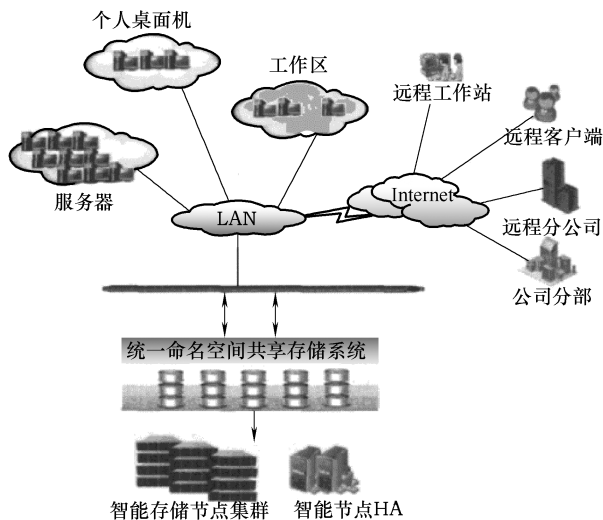


图 5-10 云存储系统应用示意图

云存储系统的结构模型由四层组成，如图 5-11 所示。

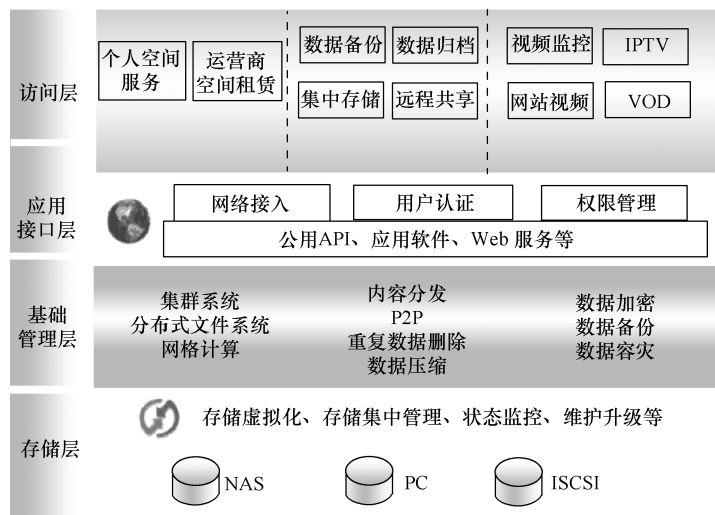


图 5-11 云存储系统的结构模型

存储层是云存储最基础的部分。存储设备可以是光纤通道存储设备、NAS 和 iSCSI 等 IP 存储设备,也可以是 SCSI 或 SAS 等直连式存储(Direct-Attached Storage, DAS)设备。数量庞大的云存储设备分布在不同地域,彼此之间通过广域网、互联网或者光纤通道网络连接。各存储设备上都安装统一的存储设备管理系统,可以实现存储设备的逻辑虚拟化管理、集中管理、多链路冗余管理及硬件设备的状态监控和维护升级等。

基础管理层是云存储最核心的部分,也是云存储中最难以实现的部分。应用接口层通过集群系统、分布式文件系统和网格计算等技术,实现云存储中多个存储设备之间的协同工作,使多个的存储设备可以对外提供同一种服务,并提供更好的数据访问性能。

应用接口层是云存储最灵活多变的部分。不同的云存储运营单位可以根据实际业务类型,开发不同的应用服务接口,提供不同的应用服务。任何一个授权用户通过网络接入、用户认证和权限管理接口的方式来登入云存储系统,都可以享受云存储服务。

云存储运营单位不同,提供的访问类型和访问手段也不同。云存储使用者采用的应用软件客户端不同,享受到的服务类型也不同,如个人空间租赁服务、运营商空间租赁服务、数据远程容灾和远程备份、视频监控应用平台、IPTV 和视频点播应用平台、网络硬盘应用平台、远程数据备份应用平台等。

云存储已经成为未来存储发展的一种趋势。随着云存储技术的发展,各厂商正积极将各类搜索、应用技术和云存储相结合,以便能够向企业提供一系列的数据服务。但从未来云存储的发展趋势来看,云存储系统主要还需从安全性、便携性及数据访问等角度进行改进。

2. 云连接

所谓云连接(cloud connection)是指将网络以安全、快速的方式实现互联,以按需、易扩展的方式将应用安全、可靠、快速地交付给所需者。

云连接是物联网和云计算时代网络连接的综合表现。每一个用户等同为一个节点,实现大量客户端的“超节点池”应用,用户只需要建立连接通道,就可以随时通过各节点从任何地方安全、高速地获取所需资源。

实现云连接后,提升连接速度不再仅依靠本地带宽资源,而是依靠庞大的网络服务,用户数量越多,应用的稳定性和速度就越有保障。整个互联网就是一个巨大的“数据中转站”,参与者越多,每个参与者的连接性能就越好。

云连接的特征主要有以下两点:

- 1) 随时随地获取所需资源,即只要建立连接通道,用户就可以通过一个唯一的通行证在任何设备、在任何网络环境下按需获取资源。
- 2) 连接性能,即采用超级节点技术,用户获取所需应用的安全性,并且速度更有保障。

“云连接”将在各种通信网络与互联网形成的融合网络中,分布云连接节点,从而实现各种信息之间的交互与共享,突破物联网发展的“连接层”技术瓶颈。

以检测醉酒驾车为例,将来可能会通过物联网来解决。比如说,一开车门,车内的传感器就会感受到驾驶人身上的酒精度,通过安装在车上的芯片传递到公路管理设施,公路管理设施就会传递到交警部门;交警部门马上就会给驾驶人的手机发短信,提醒驾驶人不应该再开车了;如果车主置之不理,交警可以通过系统判断出该车是否在行驶,若行驶则做进一步处理进行安全防范。在这一应用中,车、公路管理设施、交警部门、手机终端都是云连接节

点,酒精度及行驶速度这些信息从车传递到公路管理设施、再从公路管理设施传递到交警部门,最终车主手机接收到提示信息,信息的整个传递过程都是云连接在发挥作用。

3. 云安全

云安全 (cloud security) 是我国企业创造的概念,是云计算技术在信息安全领域的应用。简单来讲,云安全是指防毒安全厂商利用客户端搜集病毒样本,然后找到处理方式分发给用户,这样整个网络就成了一个大的保障用户电脑安全的杀毒软件。

云安全通过网状的大量客户端,对网络中软件行为的异常进行监测,获取互联网中木马、恶意程序的最新信息,推送到云安全服务器进行自动分析和处理。服务器进行分析后,再把分析结果加入云安全系统,使每一个客户端都能够立刻防御病毒和木马的威胁。

未来杀毒软件将无法有效地处理日益增多的恶意程序。来自互联网的主要威胁正在由电脑病毒转向恶意程序及木马,在这样的情况下,采用的特征库判别法显然已经过时。云安全技术应用后,识别和查杀病毒不再仅依靠本地硬盘中的病毒库,而是依靠庞大的网络服务,实时进行采集、分析及处理。整个互联网就是一个巨大的“杀毒软件”,参与者越多,每个参与者就越安全,整个互联网就会更安全。

5.3 大数据

随着物联网、云计算的迅猛发展,数据的快速增长使信息社会已经进入了大数据时代。大数据的涌现不仅改变着人们的生活与工作方式、企业的运作模式,甚至还引起科学研究模式的根本性改变。

5.3.1 大数据的起源

“大数据”一词首次被提出是在 2011 年有关机构发布的研究报告《大数据:创新、竞争和生产力的下一个新领域》中,这份报告研究了数据和文档的状态,同时讲解了处理这些数据能够释放出的潜在价值。

最早提出“大数据”时代到来的是全球知名咨询公司美国麦肯锡公司。麦肯锡公司称:“数据,已经渗透到当今每一个行业和业务职能领域,成为重要的生产因素。人们对于海量数据的挖掘和运用,预示着新一波生产率增长和消费者盈余浪潮的到来。”

半个世纪以来,随着计算机技术全面融入社会生活,信息爆炸已经积累到了一个开始引发变革的程度。它不仅使世界充斥着比以往更多的信息,而且信息增长速度也在加快。信息爆炸的学科,如天文学和基因学,创造出了“大数据”这个概念。如今,这个概念几乎应用到了所有人类智力与发展的领域中。

根据互联网数据中心 (Internet Data Center, IDC) 做出的估计,数据每两年就增加一倍 (大数据摩尔定律),这意味着人类在最近两年产生的数据量相当于之前产生的全部数据量。

近年来,“大数据”已经成为科技界和企业界关注的热点。2012 年 3 月,美国奥巴马政府宣布投资 2 亿美元启动“大数据研究和发展计划”,这是继 1993 年美国宣布“信息高速公路”计划后的又一次重大科技发展部署。

美国政府认为大数据是“未来的新石油”,将“大数据研究”上升为国家意志,对未来的科技与经济发展必将带来深远影响。

大数据是具有国家战略意义的新兴产业,受到政府的高度关注。《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》提出支持海量数据存储、处理技术的研发与产业化。《物联网“十二五”发展规划》中,也将信息处理技术列为四项关键技术创新工程之一,具体包括海量数据存储、数据挖掘、图像视频智能分析;另外三项关键技术创新工程是信息感知技术、信息传输技术、信息安全技术,也都是大数据产业的重要组成部分,与大数据产业发展密切相关。

5.3.2 大数据的定义与特征

(1) 大数据的定义

根据大数据概念的内涵,并结合业界对大数据特性的普遍认同,赛迪顾问公司提出了以下概念:

定义1 大数据是指需要通过快速获取、处理、分析以从中提取价值的海量、多样化的交易数据、交互数据与传感数据。

定义2 一般意义上,大数据是指无法在可容忍的时间内用传统IT技术和硬件工具对其进行感知、获取、管理和服务的数据集。

大数据到底有多大?由一组名为“互联网上一天”的数据可知,一天之中,互联网产生的全部内容可以刻满1.68亿张DVD;发出的邮件有2940亿封之多(相当于美国两年的纸质信件数量);发出的社区帖子达200万个(相当于《时代》杂志770年的文字量)……

截至2012年,数据量已经从TB(1TB=1024GB)级别跃升到PB(1PB=1024TB)、EB(1EB=1024PB)乃至ZB(1ZB=1024EB)级别。

(2) 大数据的5V特征

大量化(Volume):网络空间中数据的体量不断扩大,数据集的规模已经从GB、TB到了PB,而网络大数据甚至以EB和ZB(10^{21})等单位来计数。

多样化(Variety):企业内部的经营交易信息,物联网世界中商品、物流信息,互联网世界中人与人交互信息、位置信息等是大数据的主要来源。能够在不同的数据类型中,进行交叉分析的技术,是大数据的核心技术之一。语义分析技术、图文转换技术、模式识别技术、地理信息技术等,都会在大数据分析时获得应用。

快速化(Velocity):1s是临界点,对于大数据应用而言,必须要在1s内形成答案,否则处理结果就是过时和无效的。实时处理的要求,是区别大数据引用和传统数据库技术、BI技术的关键差别之一。

价值(Value):挖掘大数据的价值类似沙里淘金,从海量数据中挖掘稀疏但珍贵的信息。价值密度低,是大数据的一个典型特征。

真实性(Veracity):数据的重要性就在于对决策的支持。数据的规模并不能决定其能否为决策提供帮助,数据的真实性和质量才是获得真知和思路最重要的因素,是制定成功决策的坚实基础。

(3) 大数据的构成

大数据包括交易数据集和交互数据集在内的所有数据集。

海量交易数据:企业内部的经营交易信息主要包括联机交易数据和联机分析数据,是结构化、通过关系数据库进行管理和访问的静态、历史数据。通过这些数据,能了解过去发生

了什么。

海量交互数据：由 Facebook、Twitter、LinkedIn 及其他社交媒体的数据构成。它包括了呼叫详细记录（Calling Detail Records, CDR）、设备和传感器信息、GPS 和地理定位映射数据、通过管理文件传输（manage file transfer）协议传送的海量图像文件、Web 文本和点击流数据、科学信息、电子邮件等。这些可以告诉人们未来会发生什么。

海量数据处理：大数据的涌现已经催生了设计用于数据密集型处理的架构，如具有开放源码、在商品硬件群中运行的 Apache Hadoop。

5.3.3 大数据的存储技术

大数据常用的数据库有以下几类：

- 面向文档的数据库——MongoDB；
- 基于内存的键值存储数据库——Redis；
- 分布式 MPP 架构/列存储数据库——HBase；
- 分布式 MPP 架构/支持列存/关系型数据库——Greenplum。

以上数据库都属于 NoSQL 数据库管理系统。NoSQL 是一种与关系型数据库管理系统截然不同的数据库管理系统，它的数据存储格式可以是松散的，通常不支持 Join 操作。

面向文档的数据库——MongoDB

传统数据库只适合存储结构化数据，对于海量非结构化、半结构化数据则显得无能为力；面向文档数据库技术则填补了这一空白，如图 5-12 所示。MongoDB 是一个高性能、开源、无模式的文档型数据库，官方给自己的定义是 Key-value 存储（高性能和高扩展）和传统关系型数据库（丰富的查询和功能）之间的一座桥梁，MongoDB 使用 C++ 开发。MongoDB 的最小存储单位就是文档对象，对应于关系型数据库的行，数据在 MongoDB 中以 BSON[⊖]文档的格式存储在磁盘上。每一个文档对象，MongoDB 都会为它分配一个唯一的 ID，名为“_id”。

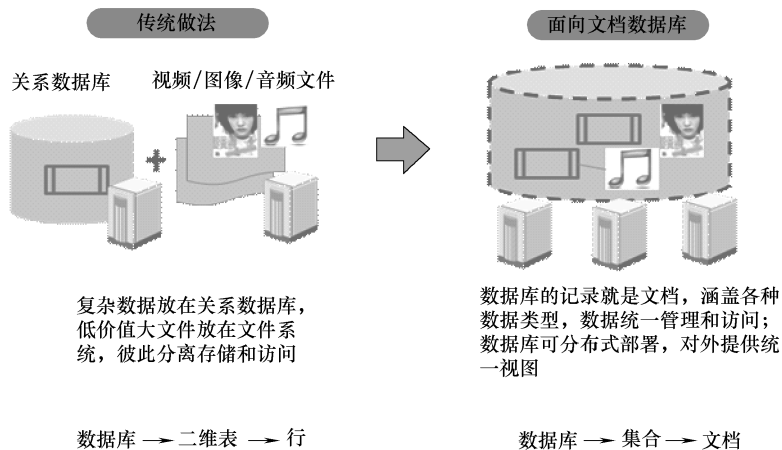


图 5-12 传统数据库和面向文档的数据库

⊖ Binary-JSON，类 JSON 的二进制形式。JSON：JavaScript Object Notation，一种轻量级的数据交换格式。

5.3.4 大数据的分析工具

Spark 和 Hadoop 都是美国 Apache 软件基金会支持的开源软件项目，用于大规模分布式数据处理。可以认为 Spark 是 Hadoop 的升级版本。相比 Hadoop，Spark 它在性能上比 Hadoop 要高 100 倍。Spark 提供比 Hadoop 更上层的 API，同样的算法在 Spark 中实现往往只有 Hadoop 的 1/10 或者 1/100 的长度。

1. Hadoop

现在 Hadoop 已经发展成为包含多个子项目的集合。虽然其核心内容是 MapReduce 和 Hadoop 分布式文件系统（Hadoop Distributed File System，HDFS）。

(1) HDFS

HDFS 是一个分布式文件系统。由于 HDFS 具有高容错性的特点，所以可以设计部署在低廉的硬件上。它可以通过提供高吞吐率来访问应用程序的数据，适合那些有着超大数据集的应用程序。HDFS 放宽了可移植操作系统接口（Portable Operating System Interface，POSIX）的要求，这样就可以实现以流的形式访问文件系统中的数据。Hadoop 集群示意图如图 5-13 所示。

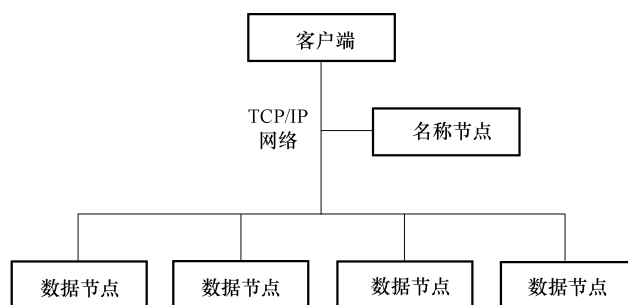


图 5-13 Hadoop 集群示意图

HDFS 采用了主从结构模型，一个 HDFS 集群是由一个名称节点和若干个数据节点组成的。名称节点是主节点，所有的数据节点都是从节点。存储在 HDFS 中的文件被分成块，然后将这些块复制到多个计算机中（数据节点）。

(2) HDFS 工作过程

1) 文件写入

- ① 客户端向名称节点发起文件写入的请求。
- ② 名称节点根据文件大小和文件块配置情况，返回给客户端它所管理部分数据节点的信息。
- ③ 客户端将文件划分为多个块，根据数据节点的地址信息，按顺序写入到每一个数据节点块中。

2) 文件读取

- ① 客户端向名称节点发起文件读取的请求。
- ② 名称节点返回文件存储的数据节点的信息。
- ③ 客户端读取文件信息。

3) 文件块复制

- ① 名称节点发现部分文件的块不符合最小复制数或者部分数据节点失效。
- ② 通知数据节点相互复制块。
- ③ 数据节点开始直接相互复制

2. Spark

(1) 简介

Spark 是针对超大数据集合的低延迟的集群分布式计算系统，比 MapReducer 快 40 倍左右。Spark 是 Hadoop 的升级版，Hadoop 作为第一代产品使用 HDFS；第二代加入了缓存来保存中间计算结果，并能适时主动推动 Map/Reduce 任务；第三代就是 Spark 倡导的流。Spark 兼容 Hadoop 的 API，能够读写 Hadoop 的 HDFS HBASE 顺序文件等。Spark 架构如图 5-14。

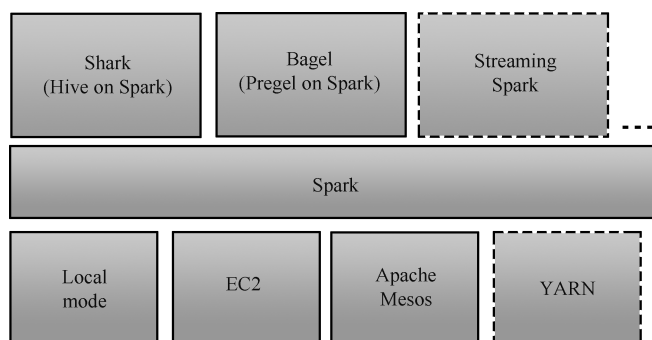


图 5-14 Spark 架构

尽管 Hadoop 适合大多数批处理工作负载，而且在大数据时代成为企业的首选技术，但由于以下几个限制，它对一些工作负载并不是最优选择：

- 缺少对迭代的支持；
- 需要将中间数据存在硬盘上以保持一致性，因此会有比较高的延迟。

传统 Hadoop 性能较低的原因是磁盘 I/O 复制和序列化等问题。而在 Spark 中，使用内存替代了使用 HDFS 存储中间结果。

(2) Spark 的适用场景

Spark 是基于内存的迭代计算框架，适用于需要多次操作特定数据集的应用场合。需要反复操作的次数越多，所需读取的数据量越大，受益越大；数据量小但是计算密集度较大的场合，受益就相对较小。由于弹性分布式数据集（Resilient Distributed Datasets, RDD）的特性，Spark 不适用那种异步细粒度更新状态的应用，如 Web 服务的存储或者是增量的 Web 爬虫和索引，就是对于那种增量修改的应用模型不适合。总的来说，Spark 的适用面比较广泛且比较通用。

(3) Spark 与 Hadoop 的对比

1) Spark 的中间数据放到内存中，迭代运算效率更高。Spark 更适合迭代运算比较多的机器学习（Machine Learning, ML）和数据挖掘（Data Mining, DM）运算。因为在 Spark 里面，有 RDD 的抽象概念。

2) 容错性。在分布式数据集计算时通过“checkpoint”来实现容错，而有两种方式：一种是“checkpoint data”，另一种是“logging the updates”。用户可以控制采用哪种方式来

实现容错。

3) 可用性。

Spark 通过提供丰富的 Scala、Java、Python API 及交互式“Shell”来提高可用性。

4) Spark 比 Hadoop 更通用

Spark 提供的数据集操作类型有很多种,如 map、filter、flatMap 等多种类型,不像 Hadoop 只提供了 Map 和 Reduce 两种操作。Spark 这些操作称为“Transformations”,同时还提供 Count、collect、reduce 等多重操作。

这些多种多样的数据集操作类型,给开发上层应用的用户提供了方便。各个处理节点之间的通信模型不再像 Hadoop 那样就是唯一的“Data Shuffle”模式。用户可以命名、物化、控制中间结果的存储、分区等。可以说编程模型比 Hadoop 更灵活。

5.3.5 大数据的应用领域

大数据技术可运用到各行各业。宏观经济方面,IBM 日本分公司建立经济指标预测系统,从互联网新闻中搜索影响制造业的 480 项经济数据,计算采购经理人指数的预测值。美国印第安纳大学利用美国谷歌公司提供的心情分析工具,从近千万条网民留言中归纳出六种心情,进而对美国道琼斯工业指数的变化进行预测,准确率达到 87%。制造业方面,美国华尔街对冲基金依据购物网站的顾客评论,分析企业产品销售状况;一些企业利用大数据分析实现对采购和合理库存量的管理;通过分析网上数据了解客户需求、掌握市场动向。有资料显示,全球零售商因盲目进货导致的销售损失每年达 1000 亿美元,这方面的数据分析大有作为。

在农业领域,美国硅谷有个气候公司,从美国气象局等数据库获得几十年的天气数据,将各地降雨、气温、土壤状况与历年农作物产量的相关度做成精密图表,预测农场来年产量,向农户出售个性化保险。在商业领域,美国沃尔玛公司通过分析销售数据,了解顾客购物习惯,得出适合搭配在一起出售的商品,还可从中细分顾客群体,提供个性化服务。在金融领域,美国华尔街德温特资本市场公司分析了 3.4 亿社交媒体账户的留言,判断民众情绪,依据人们高兴时买股票、焦虑时抛售股票的规律,决定公司股票的买入或卖出。我国阿里公司根据在淘宝网上中小企业的交易状况筛选出财务健康和讲究诚信的企业,对它们发放无须担保的贷款。目前,已放贷 300 多亿元,坏账率仅为 0.3%。

在医疗保健领域,“谷歌流感趋势”项目依据网民搜索内容分析全球范围内流感等病疫传播状况,与美国疾病控制和预防中心提供的报告对比,追踪疾病的精确率达到 97%。社交网络为许多慢性病患者提供临床症状交流和诊治经验分享平台,医生借此可获得在医院通常得不到的临床效果统计数据。基于对人体基因的大数据分析,可以实现对症下药的个性化治疗。在社会安全管理领域,通过对手机数据的挖掘,可以分析实时动态的流动人口来源、出行情况、实时交通客流信息及拥堵情况。利用短信、微博、微信和搜索引擎,可以收集热点事件,挖掘舆情,还可以追踪造谣信息的源头。美国麻省理工学院通过对十多万部手机的通话、短信和空间位置等信息进行处理,提取人们行为的时空规律性,进行犯罪预测。在科学研究领域,基于密集数据分析的科学发现成为继实验科学、理论科学和计算科学之后的第四个范例,基于大数据分析的材料基因组学和合成生物学等正在兴起。

美国麦肯锡公司 2011 年报告推测,如果把大数据用于美国的医疗保健,年度潜在价值达 3 000 亿美元;用于欧洲的公共管理,年度潜在价值达 2 500 亿欧元;服务提供商利用个

人位置数据可获得潜在的消费者，年度盈余达 6 000 亿美元。另外，利用大数据分析，零售商可增加运营利润 60%，制造业设备装配成本会减少 50%。

5.3.6 大数据的难点和热点问题

(1) 大数据处理速度要求越来越高

大数据与海量数据的一个重要区别，在于不但数据尺寸大，而且对数据处理的响应速度有着更高的要求。传统的以周、天、小时为单位的运算处理周期，下降到以分钟、秒为单位。大数据高价值的重要体现，就是处理速度。

(2) 数据的多样性

1) 数据形式的多样：结果化数据，数据间有很强的因果关系；半结构化数据，数据间因果关系较弱；非结构化数据，数据间无因果关系。

2) 数据来源的多样性：不同的应用系统、各种设备、互联网。

(3) 数据处理需求与传统平台扩展能力

两者之间的差距不断增大。

(4) 用户隐私与便利性的冲突

“大数据”对个人信息获取渠道的拓宽的需求引发了另一个重要问题，隐私和便利性之间的冲突。更多的隐私、安全性问题体现在，人们的隐私被二次利用了，很多密码和账号是因为“社交网络”流出去的；2011 年 4 月，日本索尼公司的系统漏洞导致 7 700 万用户资料失窃；2011 年 4 月，iOS 系统被发现会按照时间顺序记录用户的位置坐标信息；2011 年，CSDN 密码泄露事件…

(5) 数据安全风险更加凸显

数据安全在大数据时代也同样面临挑战。大数据发展的趋势往往与加大信息开放度、设计新的信息收集设备及支持海量数据的庞大存续和分析需求的云计算等如影随形。带来的副作用是 IT 基础架构将变得越来越一体化和外向型，对数据安全和知识产权构成更大风险。

本章小结

本章介绍了云计算的概念、特点，以及云计算的实现技术；从起源、定义、存储和分析工具讲述了大数据概念。

习题与思考题

1. 简述云和云计算的基本概念。
2. 简述私有云、公用云和混合云的基本概念。
3. 简述云计算的四个本质特征。
4. 简述云计算与并行计算的关系。
5. 论述云计算与物联网的关系。
6. 简述云计算服务的三个层次。
7. 简述云存储的基本概念。
8. 什么是大数据？
9. 大数据的特征是什么？

第 6 章 物联网安全技术

信息与网络安全的目标是要达到被保护信息的机密性 (confidentiality)、完整性 (integrity) 和可用性 (availability)。在互联网的早期阶段,人们更关注基础理论和应用研究,随着网络和服务规模的不断增大,安全问题得以突显,引起了人们的高度重视,相继推出了一些安全技术,如入侵检测系统、防火墙、PKI 等。物联网的研究与应用处于初级阶段,很多的理论与关键技术有待突破。

6.1 物联网安全体系及特点

物联网是基于现有网络将物和物联系起来的,然而物联网自身又具有一些特殊性。这些决定了它的安全问题既同现有网络安全密切联系,又具有一定的特殊性,主要体现在以下三个方面。

1. 终端节点的特殊性

物联网终端的数量巨大,类型多样;无人值守,缺乏安全监控和维护,容易发生滥用;物理尺寸、运算能力和供电受限,从而导致密钥、证书存储空间有限,加密算法处理能力受限;设备安全性和完整性保护能力受限,易受攻击。

2. 接入安全的特殊性

终端多样而又功能受限,难以实现密钥的管理和安全分发,需要实现可靠的节点身份认证;异构跨域网络间的认证导致除了网络与用户之间的相互认证之外,还必须要进行异构网络间的相互认证及用户与为其服务的终端之间的相互认证,这样才能保证一个让用户放心且安全的网络环境。

3. 传输安全的特殊性

无线访问,隐私泄露随时可能发生,需要隐私保护机制;位置信息、健康信息和金融交易等物联网传递敏感信息需要保护;物联网使个人隐私、支付交易和其他敏感信息保护难度增加,安全机制受物联网架构不确定性的影响;设备漫游给安全通信方案设计带来复杂性。

物联网安全整体架构要根据物联网每层的安全特点分别考虑物联网的安全机制。

1. 感知层

物联网机器/感知节点的本地安全问题。由于物联网的应用可以取代人来完成一些复杂、危险和机械的工作,所以物联网机器/感知节点多数部署在无人监控的场景中。那么攻击者就可以轻易地接触到这些设备,从而对它们造成破坏,甚至通过本地操作更换机器的软硬件。

感知网络的传输与信息安全问题。感知节点通常情况下功能简单(如自动温度计)、携带能量少(使用电池),使得它们无法拥有复杂的安全保护能力;而感知网络多种多样,从温度测量到水文监控,从道路导航到自动控制,它们的数据传输和消息也没有特定的标准,所以没法提供统一的安全保护体系。

2. 网络层

核心网络的传输与信息安全问题。核心网络具有相对完整的安全保护能力，但是由于物联网中节点数量庞大，且以集群方式存在，因此会导致在数据传播时，由于大量机器的数据发送使网络拥塞，产生拒绝服务（Denial of Service, DoS）攻击。此外，现有通信网络的安全架构都是从人与人之间通信的角度设计的，并不适用于机器之间的通信。使用现有安全机制会割裂物联网机器间的逻辑关系。

3. 应用层

物联网业务的安全问题。由于物联网设备可能是先部署后连接网络，而物联网节点又无人看守，所以如何对物联网设备进行远程签约信息和业务信息配置就成了难题。另外，庞大且多样化的物联网平台必然需要一个强大而统一的安全管理平台，否则独立的平台会被各式各样的物联网应用所淹没。但如此一来，如何对物联网机器的日志等安全信息进行管理成为新的问题，并且可能割裂网络与业务平台之间的信任关系，导致新一轮安全问题的产生。

6.2 物联网的安全威胁

1. 物联网的末端节点安全威胁

末端节点包括，传感器节点、RFID 标签、近距离无线通信终端、移动通信终端、摄像头及传感网络网关等。按照末端节点与网络的关系划分，有接入感知网络的节点及直接接入通信网络的节点。对感知节点本身的安全问题，从脆弱性和安全威胁两个方面进行分析。

(1) 物联网的末端节点的脆弱性

- 1) 因为末端节点的能力有限，所以更容易遭受 DoS 攻击。
- 2) 因为节点可能处于环境恶劣、无人值守的状况，所以设备容易遭受破坏和丢失。设备相关信息失控，是由于节点随机布放，上层网络难以获得布放节点位置信息及拓扑信息造成的。

(2) 物联网末端节点的安全威胁

- 1) 非授权读取节点信息。由于感知节点被物理俘获或逻辑攻破，攻击者可利用简单的工具分析感知节点所存储的机密信息；攻击者可使感知节点不工作。
- 2) 假冒感知节点。攻击者通过假冒感知节点，向感知网络注入信息，从而发动多种攻击，如监听感知网络中传输的信息、向感知网络中发布假的路由信息或传送假的数据信息、进行 DoS 攻击等；
- 3) 节点的自私性威胁。感知节点之间本应协同工作，但部分节点不愿消耗自己的能量或是有效的网络带宽为其他节点提供转发数据包的服务，影响网络的效率或使网络失效。
- 4) 木马、病毒、垃圾信息的攻击。这是由终端操作系统或应用程序的漏洞所引起的安全威胁。
- 5) 与用户身份有关的信息泄露。这些信息包括个人信息、使用习惯、用户位置等，攻击者综合以上信息可进行用户行为分析。

2. 感知层安全威胁

与传统的无线网络相比，由于感知网络具有资源受限、拓扑动态变化、网络环境复杂、

以数据为中心及与应用密切相关等特点,更容易受到威胁和攻击。感知网络除了可能遭受同现有网络相同的安全威胁外,还可能受到一些特有的威胁。

(1) 传输威胁

任何有机密信息交换的通信都必须防止被窃听,存储在节点上的关键数据未经授权也应该禁止访问。传输信息主要面临的威胁有以下几种:

1) 中断。路由协议分组,特别是路由发现和路由更新消息,会被恶意节点中断和阻塞。攻击者可以有选择地过滤控制消息和路由更新消息,并中断路由协议的正常工作。

2) 拦截。路由协议传输的信息,如“保持有效”等命令和“是否在线”等查询,会被攻击者中途拦截,并定向到其他节点,从而扰乱网络的正常通信。

3) 篡改。攻击者通过篡改路由协议分组,破坏分组中信息的完整性,并建立错误的路由,造成合法节点被排斥在网络之外。

4) 伪造。无线传感网络内部的恶意节点可能伪造虚假的路由信息,并把这些信息插入到正常的协议分组中,对网络造成破坏。

(2) DoS

DoS 主要是破坏网络的可用性,减少、降低执行网络或系统执行某一期望功能能力的任何事件,如试图中断、颠覆或毁坏感知网络;另外,还包括硬件失败、软件 bug、资源耗尽、环境条件等;以及在网络中恶意干扰网络中协议的传送或者物理损害传感节点,消耗传感节点能量。

(3) 路由攻击

恶意节点拒绝转发特定的消息并将其丢弃,以使得这些数据包不再进行任何传播。另一种表现形式是攻击者修改特定节点传送来的数据包,并将其可靠地转发给其他节点,从而降低被怀疑的程度。当恶意节点在数据流传输路径上时,选择转发攻击最有威胁。

3. 网络层安全威胁

大量物联网设备接入给网络层带来如下问题:

(1) 隐私的泄露问题

由于一些物联网设备很可能是处在物理不安全的位置,就给了攻击者可乘之机,从物理不安全的设备中获得用户身份等隐私信息,并以此设备对通信网络进行攻击。

(2) 传输的安全问题

通信网络存在一般性的安全问题,会对信令的机密性和完整性产生威胁。

(3) 网络拥塞和 DoS 攻击

由于物联网设备数量巨大,如果通过现有的认证方法对设备进行认证,那么信令流量对网络侧来说是不可忽略的。尤其是大量设备在很短时间内接入网络,很可能会带来网络拥塞。而网络拥塞会给攻击者带来可乘之机,从而对服务器产生 DoS 攻击。

(4) 密钥

传统的通信网络认证是对终端逐个进行认证,并生成相应的加密和完整性保护密钥。这样带来的问题是当网络中存在比传统手机终端多得多的物联网设备时,如果也按照逐一认证产生密钥的方式,会给网络带来大量的资源消耗;同时,未来的物联网存在多种业务,对于同一用户的同一业务设备来说,逐一对设备端进行认证并产生不同的密钥也是对网络资源的一种浪费。

4. 应用层安全威胁

物联网应用层主要面临以下安全问题：

(1) 隐私威胁

大量使用无线通信、电子标签和无人值守设备，使得物联网应用层隐私信息威胁问题非常突出。隐私信息可能被攻击者获取，给用户带来安全隐患，物联网的隐私威胁主要包括隐私泄漏和恶意跟踪。

(2) 业务滥用

物联网中可能存在业务滥用攻击，如非法用户使用未授权的业务或者合法用户使用未定制的业务等。

(3) 身份冒充

物联网中存在无人值守设备，这些设备可能被劫持，然后用于伪装成客户端或者应用服务器发送数据信息、执行操作。例如，针对智能家居的自动门禁远程控制系统，通过伪装成基于网络的后端服务器，可以解除告警、打开门禁进入房间。

(4) 应用层信息窃听/篡改

由于物联网通信需要通过异构、多域网络，这些网络情况多样、安全机制相互独立，因此应用层数据很可能被窃听、注入和篡改。此外，由于 RFID 网络的特征，在读写通道的中间，信息也很容易被中途截取。

(5) 抵赖和否认

通信的所有参与者可能否认或抵赖曾经完成的操作和承诺。

(6) 重放威胁

攻击者发送一个目的节点已接收过的消息，来达到欺骗系统的目的。

(7) 信令拥塞

目前的认证方式是应用终端与应用服务器之间的一对一认证。而在物联网中，终端设备数量巨大，当短期内这些数量巨大的终端使用业务时，会与应用服务器之间产生大规模的认证请求消息。这些消息将会导致应用服务器过载，使得网络中信令通道拥塞，引起 DoS 攻击。

5. 控制管理方面的安全威胁

(1) 远程配置、更新终端节点上的软件应用问题

由于物联网中的终端节点数量巨大、部署位置广泛，人工更新终端节点上的软件应用则变得更加困难，远程配置、更新终端节点上的应用则更加重要，因此需要提高对远程配置、更新时的安全保护能力。此外，病毒、蠕虫等恶意攻击软件可以通过远程通信方式置入终端节点，从而导致终端节点被破坏，甚至进而对通信网络造成破坏。

(2) 配置管理终端节点特征时的安全问题

攻击者可以伪装成合法用户，向网络控制管理设备发出虚假的更新请求，使得网络为终端配置错误的参数和应用，从而导致终端不可用，破坏物联网的正常使用。

(3) 安全管理问题

在传统网络中，由于需要管理的设备较少，对于各种业务的日志审计等安全信息由各业务平台负责。而在物联网环境中，由于物联网终端无人值守，并且规模庞大，因此如何对这些终端的日志等安全信息进行管理成为新的问题。

6.3 物联网身份识别技术

身份识别是指定用户向系统出示自己身份的证明过程，通常是获得系统服务所必需的第一道关卡。身份识别技术能确认识别者的真正身份，确保识别者的合法权益。

常用身份识别技术包括，基于密码技术的各种电子 ID 身份识别技术和基于生物特征识别的识别技术。基于电子 ID 身份识别技术的数字证书和密码都存在被人盗窃、复制、监听获取的可能性。其解决办法是，数字证书的载体可以采用特殊的不易获取或复制的物理载体，如指纹、虹膜等，也就是生物特征识别技术。

1. 电子 ID 身份识别技术

电子 ID 身份识别技术主要包括，通行字识别方式和持证的方式。通行字是使用最广泛的一种身份识别方式，如中国古代调兵用的虎符和现代通信网的拨号接入协议等。持证 (token) 是一种持有凭证，作用类似钥匙，用于启动电子设备。

通行字一般由数字、字母、特殊字符、控制字符等组成的长为 5~8 的字符串。通行字选择规则为，易记，难以被别人猜中或发现，抗分析能力强，还需要考虑它的选择方法、使用期、长度、分配、存储和管理等。

通行字技术识别办法为，识别者 A 先输入它的通行字，然后计算机确认其正确性。A 和计算机都知道这个秘密通行字，A 每次登录时，计算机都要求 A 输入通行字。要求计算机存储通行字，一旦通行字文件暴露，就可获得通行字。为了克服这种缺陷，建议采用单向函数。此时，计算机存储通行字的单项函数值而不是存储通行字。

持证一般使用一种嵌有磁条的塑料卡，磁条上记录了用于机器识别的个人信息。这类卡通常和个人识别号 (Personal Identification Number, PIN) 一起使用，这类卡易于制造，而且磁条上记录的数据也易于转录，因此要设法防止仿制。为了提高磁卡的安全性，人们建议使用一种被称作“智能卡”的磁卡来代替普通的磁卡，智能卡与普通的磁卡的主要区别在于智能卡带有智能化的微处理器和存储器。

智能卡通常被称为智慧卡、聪明卡 (smart card) 或 IC 卡 (Integrated Circuit Card)，是 1970 年由法国人 Roland Moreno 发明的，同年日本发明家 Kunitaka Arimura 取得了首项智能卡的专利，距今已有近四十多年的历史了。智能卡它是一种芯片卡，又名 CPU 卡，是由一个或多个集成电路芯片组成，并封装成便于人们携带的卡片，在集成电路中具有 CPU 和存储器。智能卡具有暂时或永久的数据存储能力，其内容可供外部读取或供内部处理和判断之用，同时还具有逻辑处理功能，用于识别和响应外部提供的信息和芯片本身判定路线和指令执行的逻辑功能。计算芯片镶嵌在一张名片大小的塑料卡片上，从而完成数据的存储与计算，并可以通过读卡器访问智能卡中的数据。日常应用有，打 IC 电话的 IC 卡、手机里的 SIM 卡、银行里的 IC 银行卡等。由于智能卡具有安全存储和处理能力，因此智能卡在个人身份识别方面有着得天独厚的优势。最著名的是 Secure ID 系统，已经被普遍应用于安全性要求较高的系统中。

一个安全的身份识别协议至少应满足以下两个条件：一，识别者 A 能向验证者 B 证明它的确是 A；二，在识别者 A 向验证者 B 证明它的身份后，验证者 B 没有获得任何有用的信息，B 不能模仿 A 向第三方证明它是 A。

常用的识别协议包括，询问-应答和零知识。询问-应答识别协议是验证者提出问题（通常是随机选择一些随机数，称作口令），由识别者回答，然后验证者验证其真实性。零知识识别协议是识别者的试图使验证者相信某个论断是正确的，却又不向验证者提供任何有用的信息。

2. 个人特征的身份证明

生物统计学正在成为自动化世界所需要的自动个人身份认证技术中非常简单而又安全的方法。它是利用人的生理特征来实现的。这些特征因人而异、随身携带，不会丢失且难以伪造，极适用于个人身份认证。主要的几种身份识别技术为，手写签名识别技术、指纹识别技术、语音识别技术、视网膜图样识别技术、虹膜图样识别技术、脸型识别。

(1) 手写签名识别技术

传统的协议和契约等都以手写签名生效。发生争执时则由法庭判决，一般都要经过专家鉴定。由于签名动作和字迹具有强烈的个性而可作为身份验证的可靠依据。机器自动识别手写签名成为模式识别中的重要研究之一。进行机器识别要具备两个条件：一，签名的机器含义；二，手写的字迹风格（对于身份验证尤为重要）。

可能的伪造签名有两种情况：一是，不知道真迹，按得到的信息随手签名；二是，已知真迹，模仿签名或影描签名。自动签名系统作为接入控制设备的组成部分时，应先让用户书写几个签名进行分析，提取适当参数存档备用。

(2) 指纹识别技术

指纹是身份验证准确而可靠的手段，指纹相同几乎不可能，且其形状不随时间变化，又提取方便。将指纹作为接入控制的手段大大提高了安全性和可靠性。

但是指纹识别通常和犯罪联系在一起，人们一般都不愿接受这种方式，而且机器识别指纹成本很高。

(3) 语音识别技术

每个人说话的声音都有自己的特点，人对语音的识别能力是特别强的。在商业和军事等安全性要求较高的系统中，常靠人的语音来进行个人身份的验证。机器识别语音的系统可提高系统安全，并在个人的身份验证方面有广泛的应用。现在美国、德国等已经开发出了基于语音的识别系统，用于防止黑客进入语音函件和电话服务系统。

(4) 视网膜图样识别技术

人的视网膜血管的图样具有良好的个人特征。识别的基本方法是，用光学和电子仪器将视网膜血管图样记录下来，一个视网膜血管的图样可压缩为小于 35B 的数字信息。根据对图样的节点和分支的检测结果进行分类识别。

视网膜图样识别技术要求被识别人合作，允许进行视网膜特征的采样。验证效果相当好，但成本较高，只是在军事或者银行系统中被采用。

(5) 虹膜图样识别技术

虹膜是巩膜的延长部分，是眼球角膜和晶体之间的环形薄膜，其图样具有个人特征，可以提供比指纹更为细致的信息。其采样距离可以为 35 ~ 40cm，比采集视网膜图样要方便，易为人所接受。存储一个虹膜图样需要 256B，所需的计算时间为 100ms。

开发出的基于虹膜的识别系统可用于安全入口、接入控制、信用卡、POS、ATM 等应用系统中，能有效进行身份识别。

(6) 脸型识别

首先, Harmon 等人已设计了一个从照片识别人脸轮廓的验证系统。但是这种技术出现差错的概率比较大。现在从事人脸自动验证新产品的研制和开发的公司很多, 在金融、接入控制、电话会议、安全监视等系统中得到了一定的应用。

除此之外, 目前研究领域还有人耳识别等。

6.4 物联网的安全需求分析

1. 末端节点的安全需求

末端节点的安全需求可通过对节点特性的分析归纳得出。这些特性包括, 节点的存储、通信及处理能力等物理特性; 节点所提供服务的差异; 节点所服务的环境及使用用户要求的差异等。不同特性节点的脆弱性与安全威胁、安全防护要求及可能采取的安全措施将各不相同。

2. 感知层安全需求

感知网络的安全需求应该建立在感知网络自身的特点、服务的节点特征及使用用户的要求基础上。一般的感知网络具有低功耗、分布松散、信令简练、协议简单、广播特性、少量交互甚至无交互的特点, 因此, 安全应建立在利用尽可能少的能量及带宽资源, 设计出既精简又安全的算法、密钥体系及安全协议, 解决相应的安全问题。如, 对终端接入进行鉴权, 防止非法接入或非授权使用; 对传输信息进行保护, 防止泄露、篡改、假冒或重放。

3. 网络层安全需求

通信网络主要包括有线、无线及卫星信道等。通信网络的安全问题不是物联网研究范畴下的新课题, 早在通信网络标准制定、通信网络建设初期, 安全问题已被国际及国内相关标准组织、研究院所及管理机构所研究, 并制定了一系列标准算法、安全协议及解决方案。通信网络的安全需求主要包括, 接入鉴权; 话音、数据及多媒体业务信息的传输保护; 在公共网络设施上构建虚拟专用网络 (Virtual Private Network, VPN) 的应用需求, 用户个人信息或集团信息的隐蔽; 各种网络病毒、网络攻击、DoS 攻击等。针对不同的网络特征及用户需求, 采取一般的安全防护或增强的安全防护措施, 能基本解决物联网通信网络的大部分安全问题。

4. 应用层安全需求

安全问题及安全需求研究需结合各个应用层次分别开展研究, 如针对智能城市、智能交通、智能物流、智能环境监控、智能社区及家居、智能医疗等应用。其安全问题及安全需求存在共性及差异。共性的安全需求包括对操作用户的身份认证、访问控制, 对行业敏感信息的信源加密及完整性保护、证书及公钥基础设施 (Public Key Infrastructure, PKI) 应用实现身份鉴别、数字签名及抗抵赖、安全审计等。应用层个性化的安全需求还需针对各类智能应用的特点、使用场景、服务对象及用户特殊要求进行有针对性的分析研究。

5. 控制管理方面的安全需求

基于物联网所构建的信息系统或控制系统主要面临的安全问题包括, 对海量节点的有效管理及跟踪控制, 即对信息系统数据库信息的保护, 防泄露、篡改或非授权使用; 通过安全可靠通信确保对节点的有效跟踪及控制; 确保信息系统或控制系统采集的节点

信息及下达的决策控制信息的真实性，防篡改、假冒或重放；对信息系统及控制系统的安全审计等。

6.5 物联网安全措施

6.5.1 感知层安全措施

1. RFID 安全措施

1) 对标签的身份进行一定的管理和保护，这种安全措施必然会对认证速度产生影响，需要在安全性和效率之间找到一个最佳平衡点，以满足 RFID 安全性和效率的双重需要。

2) 利用近场通信技术和生物识别等技术，可更好地保护 RFID 的安全性和隐私。

3) 加强立法。对利用 RFID 技术威胁用户安全的行为立法，明确违法行为及其代价。我国在立法方面可参考国外已有的成功法案，如美国加利福尼亚州和华盛顿州关于 RFID 恶意行为的法律规定，同时也可参考美国国家标准和技术学会（National Institute of Standards and Technology, NIST）发布的《RFID 系统安全指南（Guidance for Securing (RFID) System)》。

2. 无线传感器网络安全措施

因为物联网构造复杂，面临的环境也更复杂，所以无线传感器网络作为物联网感知层的重要组成部分，应对其密码与密钥技术、安全路由、安全数据融合、安全定位和隐私保护方面进行较全面研究。

(1) 密钥管理机制

密钥系统是安全的基础，是实现感知信息隐私保护的手段之一。对互联网由于不存在计算资源的限制，非对称和对称密钥系统都适用，互联网面临的安全问题主要是来源于最初的开放式管理模式的设计。它是一种没有严格管理中心的网络。移动通信网是一种相对集中式管理的网络，而无线传感器网络和感知节点由于计算资源的限制，对密钥系统提出了更多的要求。因此，物联网密钥管理系统面临两个主要问题：一是如何构建一个贯穿多个网络的统一密钥管理系统，并与物联网的体系结构相适应；二是如何解决传感网的密钥管理问题，如密钥的分配、更新、组播等问题。

实现统一的密钥管理系统可以采用两种方式：一是以互联网为中心的集中式管理方式。由互联网的密钥分配中心负责整个物联网的密钥管理，一旦传感器网络接入互联网，通过密钥中心与传感器网络汇聚点进行交互，实现对网络中节点的密钥管理；二是以各自网络为中心的分布式管理方式。在第二种管理方式下，互联网和移动通信网比较容易解决，但在传感网环境中对汇聚点的要求就比较高。尽管可以在传感网中采用簇头选择方法来推选簇头，形成层次式网络结构，每个节点与相应的簇头通信，簇头之间及簇头与汇聚节点之间进行密钥的协商，但是如何解决多跳通信的边缘节点及簇头选择算法和簇头本身的能量消耗问题，是传感网密钥管理要解决的关键问题。

无线传感器网络的密钥管理系统的设计在很大程度上受到自身特征的限制，因此在设计需求上与有线网络和传统的资源不受限制的无线网络有所不同，特别要充分考虑无线传感器网络传感节点的限制和网络组网与路由的特征。

(2) 数据处理与隐私性

物联网的数据要经过信息感知、获取、汇聚、融合、传输、存储、挖掘、决策和控制等处理流程,而末端的感知网络几乎要涉及上述信息处理的全过程,只是由于传感节点与汇聚点的资源限制,在信息的挖掘和决策方面不占据主要的位置。物联网应用不仅面临信息采集的安全性,也要考虑到信息传送的私密性,要求信息不能被篡改和非授权用户使用,同时还要考虑到网络的可靠、可信和安全。物联网能否大规模推广应用,很大程度上取决于其是否能够保障用户数据和隐私的安全。

就传感网而言,在信息的感知采集阶段就要进行相关的安全处理,如对 RFID 采集的信息进行轻量级的加密处理后,再传送到汇聚节点。这里要关注的是对光学标签的信息采集处理与安全,作为感知端的物体身份标识,光学标签显示了独特的优势,而虚拟光学的加密解密技术为基于光学标签的身份标识提供了手段。基于软件的虚拟光学密码系统由于可以在光波的多个维度进行信息的加密处理,具有比一般传统的对称加密系统有更高的安全性。数学模型的建立和软件技术的发展极大地推动了该领域的研究和应用推广。

数据处理过程中涉及基于位置的服务与在信息处理过程中的隐私保护问题。美国计算机协会 (Association for Computing Machinery, ACM) 于 2008 年成立了空间信息专委会 (Special Interest Group on Spatial Information, SIGSPATIAL), 致力于空间信息理论与应用研究。基于位置的服务是物联网提供的基本功能,是定位、电子地图、基于位置的数据挖掘和发现、自适应表达等技术的融合。定位技术目前主要有 GPS 定位、基于手机的定位、无线传感器网络定位等。无线传感器网络的定位主要是 RFID、蓝牙及 ZigBee 等。基于位置的服务面临严峻的隐私保护问题,这既是安全问题,也是法律问题。欧洲通过了《隐私与电子通信法》,对隐私保护问题给出了明确的法律规定。

基于位置服务中的隐私内容涉及两个方面:一是位置隐私;二是查询隐私。位置隐私中的位置指用户过去或现在的位置;而查询隐私指敏感信息的查询与挖掘,如某用户经常查询某区域的餐馆或医院,就可以分析该用户的居住位置、收入状况、生活行为、健康状况等敏感信息,造成个人隐私信息的泄漏,查询隐私就是数据处理过程中的隐私保护问题。所以,就面临困难的选择:一方面希望提供尽可能精确的位置服务;另一方面又希望个人的隐私得到保护。这就需要在技术上给以保证。目前的隐私保护方法主要有位置伪装、时空匿名、空间加密等。

(3) 安全路由协议

物联网的路由要跨越多类网络,有基于 IP 地址的互联网路由协议、有基于标识的移动通信网和传感网的路由算法,因此,至少要解决两个问题:一是多网融合的路由问题;二是传感网的路由问题。前者可以考虑将身份标识映射成类似的 IP 地址,实现基于地址的统一路由体系;后者是由于传感网的计算资源的局限性和易受到攻击的特点,要设计抗攻击的安全路由算法。

目前,国内外学者提出了多种无线传感器网络路由协议,这些路由协议最初的设计目标通常是以最小的通信、计算、存储开销完成节点间数据传输,但是这些路由协议大都没有考虑到安全问题。实际上由于无线传感器节点电量有限、计算能力有限、存储容量有限及部署野外等特点,使得它极易受到各类攻击。

无线传感器网络路由协议常受到的攻击主要有以下几类:虚假路由信息攻击、选择性转

发攻击、污水池攻击、女巫攻击、虫洞攻击、Hello 洪泛攻击、确认攻击等。针对无线传感器网络中数据传送的特点,目前已提出许多较为有效的路由技术。按路由算法的实现方法划分,有洪泛式路由,如 Gossiping 等;以数据为中心的路由,如 Directed Diffusion、SPIN 等;层次式路由,如 LEACH、TEEN 等;基于位置信息的路由,如 GPSR、GEAR 等。

(4) 认证与访问控制

认证指使用者采用某种方式来证明自己确实是自己宣称的某人,网络中的认证主要包括身份认证和消息认证。身份认证可以使通信双方确信对方的身份并交换会话密钥。保密性和及时性是认证的密钥交换中两个重要的问题。为了防止假冒和会话密钥的泄密,用户标识和会话密钥这样的重要信息必须以密文的形式传送,这就需要事先已有能用于这一目的的主密钥或公钥。因为可能存在消息重放,所以及时性非常重要。在最坏的情况下,攻击者可以利用重放攻击威胁会话密钥或者成功假冒另一方。

消息认证中主要是接收方希望能够保证其接收的消息确实来自真正的发送方。有时收发双方不同时在线,如电子邮件系统,电子邮件消息发送到接收方的电子邮箱中,并一直存放在邮箱中直至接收方读取为止。广播认证是一种特殊的消息认证形式,在广播认证中一方广播的消息被多方认证。

传统的认证是区分不同层次的。网络层的认证就负责网络层的身份鉴别,业务层的认证就负责业务层的身份鉴别,两者独立存在。但是在物联网中,业务应用与网络通信紧紧地绑在一起,认证有其特殊性。例如,当物联网的业务由运营商提供时,那么就可以充分利用网络层认证的结果而不需要进行业务层的认证;或者当业务是敏感业务时,如金融类业务,一般业务提供者会不信任网络层的安全级别,而使用更高级别的安全保护,那么这个时候就需要做业务层的认证;而当业务是普通业务时,如气温采集业务等,业务提供者认为网络认证已经足够,那么就不再需要业务层的认证。

在物联网的认证过程中,传感网的认证机制是重要的研究部分,无线传感器网络中的认证技术主要包括基于轻量级公钥的认证技术、预共享密钥的认证技术、随机密钥预分布的认证技术、利用辅助信息的认证、基于单向散列函数的认证等。

访问控制是对用户合法使用资源的认证和控制,目前信息系统的访问控制主要是基于角色的访问控制(Role-Based Access Control, RBAC)及其扩展模型。RBAC 机制主要由 Sandhu 于 1996 年提出的基本模型 RBAC96 构成,一个用户先由系统分配一个角色,如管理员、普通用户等;登录系统后,根据用户的角色所设置的访问策略实现对资源的访问。显然,同样的角色可以访问同样的资源。RBAC 机制是基于互联网的 OA 系统、银行系统、网上商店等系统的访问控制方法,是基于用户的。对物联网而言,末端是感知网络,可能是一个感知节点或一个物体,采用用户角色的形式进行资源的控制显得不够灵活其原因有三方面:一是基于角色的访问控制在分布式的网络环境中已呈现出不相适应的地方,如对具有时间约束资源的访问控制,而访问控制的多层次适应性等方面还需要进一步探讨;二是节点不是用户,是各类传感器或其他设备,且种类繁多,基于角色的访问控制机制中角色类型无法一一对应这些节点,因此使 RBAC 机制的难于实现;三是物联网表现的是信息的感知互动过程,包含了信息的处理、决策和控制等过程,特别是反向控制是物物互联的特征之一,资源的访问呈现动态性和多层次性,而 RBAC 机制中一旦用户被指定为某种角色,其可访问资源就相对固定了。所以,寻求新的访问控制机制是物联网,也是互联网值得研究的问题。

基于属性的访问控制 (Attribute-Based Access Control, ABAC) 是近几年研究的热点, 如果将角色映射成用户的属性, 可以构成 ABAC 与 RBAC 的对等关系, 而属性的增加相对简单, 同时基于属性的加密算法可以使 ABAC 得以实现。ABAC 方法的问题是对较少的属性来说的, 其加密、解密的效率较高, 但随着属性数量的增加, 加密的密文长度增加, 使算法的实用性受到限制。目前, 它有两个发展方向: 基于密钥策略和基于密文策略。其目标就是改善基于属性的加密算法的性能。

(5) 入侵检测与容错容错技术

容错就是指在网络中存在恶意入侵的情况下, 网络仍然能够正常地运行。无线传感器网络的安全隐患在于网络部署区域的开放特性及无线网络的广播特性, 攻击者往往利用这两个特性, 通过阻碍网络中节点的正常工作的, 进而破坏整个传感器网络的运行, 降低网络的可用性。无人值守的恶劣环境导致无线传感器网络缺少传统网络的物理上的安全特征, 传感器节点很容易被攻击者俘获、毁坏或妥协。现阶段无线传感器网络的容错技术主要集中于网络的拓扑容错、安全路由容错及数据传输过程中的容错机制。

无线传感器网络可用性的另一个要求是网络的容错性。一般意义上的容错性是指, 在故障存在的情况下系统不失效、仍然能够正常工作的特性。无线传感器网络的容错性指的是, 当部分节点或链路失效后, 网络能够进行传输数据的恢复或者网络结构自愈, 从而尽可能减小节点或链路失效对无线传感器网络功能的影响。由于传感器节点在能量、存储空间、计算能力和通信带宽等诸多方面都受限, 而且通常工作在恶劣的环境, 网络中的传感器节点经常会出现失效的状况。因此, 容错性成为无线传感器网络设计的一个重要因素, 容错技术也是无线传感器网络研究的一个重要领域。

(6) 决策与控制安全

物联网的数据是双向流动的信息流。数据的处理包括两个方面: 一是从感知端采集物理世界的各种信息, 经过处理, 存储在网络的数据库中; 二是根据用户的需求, 进行数据的挖掘、决策和控制, 实现与物理世界中任何互联物体的互动。在数据采集处理中, 本书讨论了相关的隐私性等安全问题; 而决策控制又将涉及另一个安全问题, 如可靠性等。前面讨论的认证和访问控制机制可以对用户进行认证, 使合法的用户才能使用相关的数据, 并对系统进行控制操作, 但问题是如何保证决策和控制的正确性和可靠性。

在传统的无线传感器网络中, 由于侧重对感知端的信息获取, 对决策控制的安全考虑不多, 互联网的应用也是侧重信息的获取与挖掘, 较少应用对第三方的控制。而物联网中对物体的控制将是重要的组成部分, 需要进一步更深入的研究。

6.5.2 传输层安全措施

传输层安全机制可综合利用点到点加密机制和端到端加密机制。点到点加密机制虽然在传输过程中是密文传输, 但是它需要在每个路由节点上进行先解密然后再加密传输, 其信息对每个节点是透明的。由于其逐跳加密是在网络层进行的, 所以适用于所有业务, 有利于将物联网各业务统一到一个管理平台。由于每个节点可以得到加密信息的明文数据, 所以对节点的可信性要求较高。端到端加密机制可以提供不同安全等级的灵活安全策略, 但是也存在较大的缺点: 首先, 端到端加密机制不符合国家利益, 不能满足国家合法监听的政策; 其次, 端到端加密方式不能隐藏信息的源和目的, 存在被敌手利用的可能性。此外, 应加强传

输层的跨域认证和跨网认证。

6.5.3 应用层安全措施

当海量数据传输到应用层时，除了数据的智能处理之外，还应该考虑数据的安全性和隐私。

1) 应在数据智能化处理的基础上加强数据库访问控制策略。当不同用户访问同一数据时，应根据其安全级别或身份限制其权限和操作，有效保证数据的安全性和隐私，如手机定位应用、智能电网和电子病历等。

2) 加强不同应用场景的认证机制和加密机制。

3) 加强数据溯源能力和网络取证能力，完善网络犯罪取证机制。

4) 应考虑在不影响网络与业务平台的应用的同时，如何建立一个全面、统一、高效的安全管理平台。

标准是支持物联网产业链的重要基础，目前 RFID 和无线传感器网络已经有部分标准，但仍然不完善，没有普及，各设备厂商的产品不能兼容，势必会给将来的网络融合带来极大的不便和浪费。

目前，物联网已初步发展并开始试点，但是物联网的安全和隐私保护是决定物联网能否大规模、快速发展的决定性因素之一。

相对于互联网和移动通信网安全而言，无线传感器网络的安全研究仍然处于起步阶段。由于无线传感器网络本身特点，使其安全研究难度增大，目前已提出一些轻量级加密、认证算法，但是还没有提出完整的适用于大规模传感器网络的整体安全方案。在下一阶段的安全研究过程中，应重点考虑异构网络之间的加密算法和认证算法的融合问题，提出有效的异构网络安全架构。

物联网的发展是一把双刃剑：一方面能够带来巨大的经济发展机遇，促进社会发展；另一方面又会带来信息安全和隐私泄露等方面的问题。因此，需要学术界和企业界协同合作、未雨绸缪，将中国的物联网打造成一个可信、可控、可管的服务平台。

本章小结

本章从安全威胁、安全需求和安全措施的角度论述了物联网安全技术。

习题与思考题

1. 简述物联网安全体系及特点。
2. 从物联网的各个层次分析物联网的安全机制。
3. 简述物联网的安全威胁。
4. 阐述物联网的安全需求分析。
5. 简述物联网的安全措施。

附录 缩 略 语

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
ABAC	Attribute-Based Access Control	基于属性的访问控制
ACL	Access Control List	接入控制清单
ACM	Association for Computing Machinery	(美国) 计算机协会
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	非对称数字用户线路
AGPS	Assisted Global Positioning System	辅助全球卫星定位系统
AP	Access Point	接入点
API	Application Programming Interface	应用程序接口
APL	Application Layer	应用层
APS	Application Sub-layer Support	应用子层支持
BGA	Ball Grid Array	球栅列阵
CATV	Community Antenna Television	有线电视
CCA	Clear Channel Assessment	空闲信道评估
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CDR	Calling Detail Records	呼叫详细记录
CES	Consumer Electronics Show	消费者电子展
COO	Cell Of Origin	起源蜂窝小区
CRC	Cyclic Redundancy Checking	循环冗余校验
CSMA	Carrier Sense Multiple Access	载波侦听多路访问
CSMA-CA	CSMA with Collision Avoidance	免冲突载波侦听多路访问
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	(美国) 国防部高级研究计划局
DAS	Direct- Attached Storage	直连式存储
DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
DM	Data Mining	数据挖掘
DoS	Denial of Service	拒绝服务
DSP	Digital Signal Process	数字信号处理
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列扩频
DTU	Data Transfer unit	数据传输单元
EAN	European Article Numbering Association	国际物品编码协会
ED	Energy Detection	能量检测
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	增强型数据速率 GSM 演进技术

EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	电可擦可编程只读存储器
EPC	Electronic Product Code	电子产品编码
ESD	Electro-Static Discharge	静电释放
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	欧洲电信标准化协会
FC	Fibre Channel	光纤通道
FCS	Fieldbus Control System	现场总线控制系统
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FFD	Full Function Device	全功能设备
FFT	Fast Fourier Transformation	快速傅里叶变换
FM	Frequency Modulation	调频
GFS	Google File System	Google 文件系统
GIG	Global Information Grid	全球信息网格
GIS	Geographic Information System	地理信息系统
GPRS	General Packet Radio Service	通用分组无线服务
GPS	Global Positioning System	全球卫星定位系统
GSM	Global System for Mobile Communications	全球移动通信系统
GTS	Guaranteed Time Slot	时隙保障
H2H	Human to Human	人到人
H2T	Human to Thing	人到物
HDFS	Hadoop Distributed File System	Hadoop 分布式文件系统
IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务
IC	Integrated Circuit	集成电路
ICT	Information Communication Technology	信息通信技术
ICU	Intensive Care Unit	重症加强护理病房
IDC	Internet Data Center	互联网数据中心
IETF	Internet Engineering Task Force	互联网工程任务组
IOT	Internet of Things	物联网
IrDA	Infrared Data Association	红外数据组织, 即红外通信
iSCSI	internet Small Computer System Interface	网络小型计算机接口
ISM	Industrial Scientific Medical	工业科学医学
ISO	International Organization for Standardization	国际标准化组织
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
LBS	Location Based Service	基于位置的服务
LGA	Land Grid Array	焊盘网格阵列
LQI	Link Quality Indication	链路质量指示
LR-WPAN	Low Rate Wireless Personal Area Networks	低速率无线个人局域网
LTE	Long Term Evolution	长期演进

M2M	Man/Machine to Man/Machine	机器到机器/人到机器/人到人, 主要指机器到机器
MAC	Medium Access Control	介质访问控制层
MBOA	Multiband OFDM Alliance	多频段 OFDM 联盟
MCU	Micro Control Unit	微控制器
MEMS	Micro- Electro- Mechanical System	微机电系统
ML	Machine Learning	机器学习
MT	Mobile Terminal	移动终端
MTC	Machine- Type Communication	机器类型通信
NAS	Network Attached Storage	网络附属存储
NFC	Near Field Communication	近场通信
NIST	National Institute of Standards and Technology	(美国) 国家标准和技术学会
NSF	National Science Foundation	(美国) 国家科学基金会
NTC	Negative Temperature Coefficient	负温度系数
NWK	Network Layer	网络层
OA	Office Automation	办公自动化
OEM	Original Equipment Manufacturer	原始设备制造商
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
ONS	Object Naming Service	对象名称解析服务
OSI	Open System Interconnection	开放式系统互联
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
PAN	Personal Area Network	个人局域网
PDA	Personal Digital Assistant	个人数字助理
PHY	Physical Layer	物理层
PIN	Personal Identification Number	个人识别号
PKI	Public Key Infrastructure	公钥基础设施
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PLC	Power Line Communication	电力线通信
PML	Physical Markup Language	实体标记语言
PPP	Point to Point Protocol	点对点协议
QoS	Quality of Service	服务质量
RAM	Random Access Memory	随机存取器
RBAC	Role- Based Access Control	基于角色的访问控制
RDD	Resilient Distributed Datasets	弹性分布式数据集
RF	Radio Frequency	射频
RFD	Reduced Function Device	简化功能设备
RFID	Radio Frequency Identification	无线射频识别

ROM	Read Only Memory	只读存储器
SaaS	Software as a Service	软件即服务
SAS	Serial Attached SCSI	串行连接 SCSI
SCSI	Small Computer System Interface	小型计算机系统接口
SIG	Special Interest Group	特别兴趣小组
SIGSPATIAL	Special Interest Group on Spatial Information	空间信息专委会
SIM	Subscriber Identity Module	客户识别模块
SMS	Short Message Service	短信服务
SOA	Service- Oriented Architecture	面向服务架构
T2T	Thing to Thing	物品到物品
TCP	Transmission Control Protocol	传输控制协议
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
TD-SCDMA	Time Division- Synchronous Code Division Multiple Access	时分同步码分多址
TE	Terminal Equipment	终端设备
TI	Texas Instruments	(美国) 德州仪器
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter	通用异步收发传输器
UCC	Uniform Code Council	统一代码协会
UDP	User Datagram Protocol	用户数据包协议
UGCCNET	Ubiquitous Green Community Control Network	泛在绿色社区控制网络
UID	Ubiquitous ID	泛在识别
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	通用移动电话业务
USB	Universal Serial Bus	通用串行总线
UWB	Ultra Wideband	超宽带
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	宽带码分多址
Wi- Fi	Wireless Fidelity	无线网络
WLAN	Wireless LAN	无线局域网
WMMP	Wireless Machine- to- Machine Protocol	无线机器通信协议
WPAN	Wireless Personal Area Network	无线个人局域网
WSN	Wireless Sensor Network	无线传感器网络
ZDO	ZigBee Device Object	ZigBee 设备对象

参考文献

- [1] 钟义信, 周延泉, 李蕾. 信息科学教程 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005.
- [2] 孙其博, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述 [J]. 北京邮电大学学报, 2010.
- [3] 王志良, 王粉花. 物联网工程概论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [4] 王志良, 王新平. 物联网工程实训教程——实验、案例和习题解答 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [5] 王志良. 物联网——现在与未来 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [6] 沈苏彬, 范曲立, 宗平, 等. 物联网的体系结构与相关技术研究 [J]. 南京邮电大学学报 (自然科学版), 2009 (6).
- [7] 陈来. 我国物联网产业发展研究 [D]. 安徽: 安徽大学, 2012.
- [8] 杜军朝. 基于物联网的移动信息采集系统设计与实现 [D]. 陕西: 西安电子科技大学, 2013.
- [9] 李志清, 李璇. 浅析物联网的发展 [J]. 现代经济信息, 2009 (22).
- [10] IBM. 智慧地球赢在中国. <http://www-900.ibm.com>.
- [11] 冯继宣. 计算机伦理学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [12] 封顺天. 可穿戴设备发展现状及趋势 [J]. 信息通信技术, 2014 (3).
- [13] 毛彤, 周开宇. 可穿戴设备综合分析和建议 [J]. 电信科学, 2014 (10).
- [14] 周傲英, 杨彬, 等. 基于位置的服务: 架构与进展 [J]. 计算机学报, 2011 (7).
- [15] 严冬雪. 科技巨头抢滩物联网 [J]. 财经天下, 2014 (2).
- [16] 单承赣, 单玉峰, 姚磊, 等. 射频识别 (RFID) 原理与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [17] 王志良. 物联网终端技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [18] 王志良. RFID 读写器制作实训教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [19] 吴观茂. 基于物联网技术的智能家居系统的实现研究 [D]. 安徽: 安徽理工大学, 2013.
- [20] 杨海川. 基于物联网的智能家居安防系统设计与实现 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [21] 朱近之. 智慧的云计算——物联网发展的基石 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [22] 王志良, 石志国. 物联网工程导论 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2011.
- [23] 刘鹏. 云计算 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [24] 陈利. 基于物联网的产品追溯系统关键技术研究 [D]. 湖北: 武汉理工大学, 2012.
- [25] 曹承志, 王楠. 智能技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [26] 王万森. 人工智能原理及其应用 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [27] 王洪泊. 物联网射频识别技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [28] 游战清, 刘克胜, 等. 无线射频识别技术 (RFID) 规划与实施 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [29] 慈新新, 王苏滨, 王硕. 无线射频识别 (RFID) 系统技术与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [30] Frank Thorntom. 无线射频识别系统安全指南 [M]. 游战清, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [31] 黄玉兰. 物联网射频识别 (RFID) 核心技术详解 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [32] 张有光, 杜万, 等. 全球三大 RFID 标准体系比较分析 [J]. 中国标准化, 2006 (3).
- [33] 张智文. 射频识别技术理论与实践 [M]. 北京: 中国科学出版社, 2008.
- [34] 康东, 石喜勤, 李勇鹏. 射频识别 (RFID) 核心技术与典型应用开发案例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.

- [35] 周晓光, 王晓华, 王伟. 射频识别 (RFID) 系统设计, 仿真与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [36] 刘禹, 关强. RFID 系统测试与应用务实 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [37] 王保云. 物联网技术研究综述 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (12).
- [38] 董丽华. RFID 技术与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [39] 宁焕生, 张彦. RFID 与物联网: 射频, 中间件, 解析与服务 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [40] 刘长征, 熊璋, 王剑昆. 基于智能标签的射频识别系统的研究和实现 [J]. 计算机工程, 2003, 9 (20).
- [41] 王玉林, 曹金荣, 前锋, 等. 声表面波射频识别无源电子标签 [J]. 固体电子学研究进展, 2007, 27 (1).
- [42] 李全胜, 刘忠立, 吴里江. 特高射频识别技术与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [43] 郎为民. 射频识别技术原理与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [44] 王惟洁, 陈金鹰, 朱军. NFC 技术及其应用前景 [J]. 通信与信息技术, 2013 (6).
- [45] 孙云旺, 李林功. 传感器技术与应用 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- [46] 张岩, 胡秀芳. 传感器应用技术 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2006.
- [47] 邓海龙. 传感器与检测技术 [M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008.
- [48] 高晓蓉. 传感器技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2003.
- [49] 尤克, 倪景秀. 气敏传感器及其应用 [J]. 仪表技术与传感器, 2007 (7).
- [50] 张子栋, 吴雪冰, 吴慎山. 智能传感器原理及应用 [J]. 河南科技学院学报 (自然科学版), 2008, 36 (2).
- [51] 周焱, 胡氢. 湿度传感器发展方向邹议 [J]. 科技广场, 2006 (1).
- [52] 王志刚, 石凤良, 刘先烨. 电阻和电容型湿度传感器的物理性能及其应用 [J]. 物理通报, 2008 (2).
- [53] 宋文绪. 传感器与检测技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [54] 王君, 凌振宝. 传感器原理及检测技术 [M]. 长春: 吉林大学出版社, 2003.
- [55] 刘凯, 陈志东, 等. MEMS 传感器和智能传感器的发展 [J]. 仪表技术与传感器, 2007 (9).
- [56] 杨江. 基于 IEEE 1451.2 的智能传感器独立接口设计 [J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2008 (6).
- [57] 丁露, 梅恪. 智能传感器在物联网领域的应用 [J]. 信息技术与标准化, 2010 (8).
- [58] 刘龙, 陶利民, 陈仲生. 智能传感器标准 IEEE 1451 解析 [J]. 兵工自动化, 2007 (8).
- [59] 薛丰. 基于无线智能传感器的分布式测量与控制系统 [D]. 武汉: 华中科技大学研究生院, 2004.
- [60] 梁国伟, 李长武, 李文军. 网络化智能传感器技术发展浅析 [J]. 微计算机信息, 2004, 20 (7).
- [61] 尹宝军. 智能传感器网络化接口的研究与实现 [D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2004.
- [62] 于宏毅, 李鸥, 张效义, 等. 无线传感器网络理论、技术与实现 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [63] 于海斌, 曾鹏, 梁炜. 智能无线传感器网络系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [64] 盛敏, 田野, 李建东. 无线传感器网络与自组织网络的研究现状 [J]. 中兴通信技术, 2005 (4).
- [65] 王殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [66] 李文锋. 无线传感器网络与移动机器人控制 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [67] Edgar H. Callaway Jr, 马伟明, 王永斌, 等. 无线传感器网络: 体系结构与协议 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [68] 孙利民, 李建中, 等. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [69] 蒋挺, 赵成林. 紫蜂技术及其应用 (IEEE 802.15.4) [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.

- [70] 金纯, 罗祖秋, 等. ZigBee 技术基础及案例分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [71] 赵继军, 刘云飞, 赵欣. 无线传感器网络数据融合体系结构综述 [J]. 传感器与微系统, 2009, 20 (10).
- [72] 周文豪. 再谈无线传感网络与物联网发展关系辨析 [J]. 中国电子商情 (RFID 技术与应用), 2009 (06).
- [73] 柴远波. 移动通信技术的发展现状分析 [J]. 山东科技大学学报 (自然科学版), 2009 (12).
- [74] 中国移动通信集团. 中国移动 M2M 终端规范——WMMP 协议分册 [S]. 2009.
- [75] 中国移动通信集团. M2M 平台设备规范 [S]. 2007.
- [76] 秦凯. 基于 GPRS 的 M2M 数传应用系统研究 [D]. 济南: 山东大学, 2009.
- [77] 王大鹏. 标准化实现 M2M 业务运营的研究 [D]. 北京: 北京师范大学, 2009.
- [78] 彭昭. M2M 对制造商的价值何在 [J]. 软件, 2006 (05).
- [79] 陈锦威. M2M 通信解决方案的设计与实现 [D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [80] 雷震洲. 支持 M2M 应用的无线网络技术及发展 [J]. 电信科学, 2004 (11).
- [81] 中国通信标准化协会. 移动 M2M 业务研究报告 [R]. 2009.
- [82] 周洪波, 胡海峰, 邵晓风. M2M 产业——“两化”融合的核心推动力 [J]. 中国制造业信息化, 2009 (11).
- [83] 朱浩, 刘荣朵. M2M 国内外标准进展 [J]. 电信网技术, 2010 (10).
- [84] 华为. HUAWEI_MC323_CDMA2000_1X_M2M_模块_软件_指南-(V100R001B01_01, Chinese).
- [85] 乔玉洁, 徐军库. M2M 的发展状况与未来 [J]. 计算机科学. 2012 (S2).
- [86] 刘鹏. 云计算 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [87] 王鹏. 云计算的关键技术与应用实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [88] Michael Miller. 云计算 [M]. 姜进磊, 孙瑞志, 等. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [89] 徐志伟, 冯百明, 李伟. 网格计算技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [90] Francine Berman, Geoffrey C. Fox, Tony Hey. 网格计算: 支持全球化资源共享与协作的关键技术 [M]. 都志辉, 等. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [91] 李晓明. 数据并行计算: 概念、模型与系统 [J]. 计算机科学, 2000, 27 (6).
- [92] 张龙立. 云存储技术探讨 [J]. 电信科学, 2010 (S1).
- [93] 邓倩妮, 陈全. 云计算及其关键技术 [J]. 高性能计算发展与应用, 2009 (1).
- [94] SUN 公司. 云计算架构介绍白皮书 [OL]. SUN 中国: <http://cn.sun.com/>.
- [95] Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters [C]. Si5th Symposium on Operating System Design and Implementation. San Francisco, CA, December, 2004.
- [96] Sanjay Ghemawat, Howard Gobioff, and Shun-Tak Leung. The Google File System [C]. 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles. Lake George, NY, October, 2003.
- [97] 金朔平. 云计算与物联网安全问题研究 [J]. 计算机光盘软件与应用, 2013 (11).
- [98] 杨庚, 许建, 陈伟. 物联网安全特征与关键技术 [J]. 南京邮电大学学报 (自然科学版), 2010 (4).
- [99] 邬贺铨. 大数据时代的机遇与挑战 [J]. 求是, 2013 (4).
- [100] 杨光, 耿贵宁, 都婧, 等. 物联网安全威胁与措施 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2011 (10).
- [101] 王利, 贺静, 张晖. 物联网的安全威胁及需求分析 [J]. 信息技术与标准化, 2011 (5).

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
国家级特色专业（物联网工程）规划教材

★物联网工程概论	33805-5	王志良 王粉花 主编
物联网工程实训教程		
——实验、案例和习题解答	35702-5	王志良 王新平 主编
RFID读写器制作实训教程	41762-0	王志良 韩振 朱应剑 刘遥峰 等编著
物联网终端技术	43089-6	王志良 王鲁 编著
物联网技术综合实训教程	45808-1	王志良 姚红串 霍磊 付洪威 等编著
物联网专业英语	49300-6	谷学静 王志良 郭宇承 主编
物联网组成原理	51231-8	胡四泉 王新平 王志良 王宏 编著

注:标★为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务
服务咨询热线:010-88379833
读者购书热线:010-88379649

网络服务
机工官网:www.cmpbook.com
机工官博:weibo.com/cmp1952
教育服务网:www.cmpedu.com
金书网:www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社E视界



机工教育微信服务号

上架指导 工业技术 / 通信工程 / 物联网

ISBN 978-7-111-51231-8

策划编辑◎刘星宁

ISBN 978-7-111-51231-8



9 787111 512318 >

定价: 39.80元