



工业和信息化部“十二五”规划教材

物联网通信

Wulianwang Tongxin

主 编 杜庆伟

副主编 陈 兵 钱红燕 王松青



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

物联网通信

主 编 杜庆伟

副主编 陈 兵 钱红燕 王松青

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

针对物联网通信过程,本书将通信技术分为三个大环节进行组织,分别是接触环节的通信技术、末端网通信技术、接入网通信技术。鉴于末端网通信技术是当前物联网通信研究中最重要的一部分,又将末端网通信技术细分为三个部分。因此,包括引论在内,本书共分为六部分。

第一部分包括物联网及无线传感器网络的相关概念、对物联网通信环节的理解以及全书的组织思想。第二部分为接触环节的通信技术,是为了感知而进行的通信,包括标签 RFID、导航等通信技术。第三部分至第五部分是本书的核心——末端网通信技术,包括有线、无线和 Ad Hoc 网络通信技术。第六部分是接入网通信技术,包括一些主流的接入技术,鉴于读者对互联网已经比较熟悉了,因此不是本书的重点。

本书特点:尽量从物联网的角度来介绍各种通信技术,并准备了应用案例;以物联网通信环节组织内容,能给读者一个较为清晰的架构;尽量选取当前主要的通信技术,以算法为主进行介绍;将各种通信基础知识融入到具体应用技术当中。

本书可以作为高等学校物联网专业本科生和计算机专业研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

物联网通信 / 杜庆伟主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2015.4

ISBN 978-7-5124-1748-9

I. ①物… II. ①杜… III. ①通信网 IV. ①TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 0672 号

版权所有,侵权必究。

物联网通信

主 编 杜庆伟

副主编 陈 兵 钱红燕 王松青

责任编辑 杨 昕

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:18.75 字数:480 千字

2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1748-9 定价:39.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

序 言

物联网工程是当前研究和应用的热点,是围绕“战略新兴产业”新设立的专业,是一个与产业启动和发展同步的新专业。而物联网的通信技术,是物联网非常重要的环节,属于基础设施,所以对应的课程也就显得非常重要。根据教育部的指导意见(2012),物联网通信是物联网工程这一个新专业的核心课程,对于物联网的学习、理解和应用,起着不可替代的支撑作用,而本书就是针对物联网通信技术而撰写的。

要写一部新教材非常困难,而要想写出一部针对新专业、有特色的好教材,更加困难,除了需要精心地投入和渊博、深入的学识外,还需要有自己独特的思考。本书希望能够从独特的思考和全力地投入来博彩。物联网所用的通信技术,实质上并不是全新的技术,而是典型的新瓶旧酒,很多技术都来自于计算机网络。作为长期从事计算机网络课程教学的一名教师,对计算机网络相关技术和教学有了那么一些浅薄的理解,但也深深体会到授课过程中的一些困难。

目前,计算机网络的教材已有很多,其中也不乏一些非常优秀的教材。有些书,从有经验的教师视角来看,堪称经典。即便如此,授课过程中,以及回想起自己学网络课程的情景,也感觉到深深的无奈。计算机网络涉及的知识、概念太多、太庞杂,在典型的分层思想指导下,不管是自上而下,还是自下而上的组织形式,每一层都涉及了很多的概念、知识点,学完每一层,头脑中只是灌输了一堆技术而已。编者之所以对网络体系有那么一点浅薄的认识,都是建立在反复授课过程中不断地思考和对各种技术的牵线搭桥,以及与同行不断交流和学习基础上的。指望学生仅在学完这门课程后就能立即对计算机网络有深刻理解是有些困难的。因此,本书干脆放弃了分层组织的思想,尝试从另一个角度来组织教材。

本书贯彻了教育部“构建以知识领域、知识单元、知识点形式呈现的知识体系”这一思想,专注于物联网通信这一大的领域,借鉴众所周知的泛在传感器网络 USN 高层架构这一思想,构建通信技术应用环节这一小领域;分析采编了当下物联网通信经常采用的典型通信技术作为知识单元;对通信技术中涉及的各种概念、机制和算法进行讲解,形成知识点。具体来讲,就是把多种常见的通信技术,按照在物联网传输环节中的应用可能性进行分类,在这些具体的通信技术中介绍网络的相关知识点。当然,在这之前也要介绍计算机网络的体系结构,毕竟在后面相关技术介绍的过程中,也希望读者能够从具体技术体会到物理层、数据链路层、网络层的作用,可以说是从侧面学习网络体系结构。

这样的组织,或许并不完美,也可能显得有些零散,但是编者设想,至少读者

可以在每个知识单元(一个具体的通信技术)中,了解这个通信技术使用了什么机制,采用了什么算法,如何实现了自己要完成的功能;然后再根据或多或少的体系层次来分析体会这项通信技术的架构;最后搭配相关应用案例来了解这项技术可能使用的场景,从而对这一个知识单元有较全面的学习和把握。

以上就是编写本书的出发点。

基于这个出发点,本书将多项通信知识点散落在各个通信技术中,希望分散后可以减轻学生一定的学习压力。另外,这些技术,并不一定非要一次性完全呈现在读者面前,而是先讲一部分,然后再逐步深入细节,再总结,再讲改进等,希望能够通过重复来加深印象,并做到逐步深入,减少学生学习时的抵触心理。

其实,编者本人对各种技术所采用的思想和机制更加感兴趣,并妄加推断读者也是如此。因此,本书定位于引导性的教材,仅讲了最基本的理论和技术,更加详细的细节,请读者自行参考专业书籍。也正是这个原因,本书刻意避免介绍各个通信技术中帧/报文的格式内容。个别有特殊考虑的通信技术除外,例如 GPS/北斗导航通信,它们的帧内容兼顾了相邻卫星的信息,而这些信息并不是本卫星最主要发送的内容,它们的帧格式也体现出了这一点,本卫星的信息比其他卫星的信息出现更加频繁。

最后,在有些技术和算法的讲解方面,编者还加入了自己的思考、定位和分析,希望能够帮助读者进行理解。

本书的出版得到了工信部和北京航空航天大学出版社的大力支持,得到了许多专家学者的指导,特别是编组各位成员的大力帮助,在此表示衷心的感谢。最后也要感谢我的家人对我的理解和支持。

鉴于编者学识、能力有限,时间仓促,书中难免存在不当和差错之处,敬请读者批评指正,在此也表示衷心的感谢。

编者

2014年12月

目 录

第一部分 引 论	1
第 1 章 概 论	2
1.1 物联网的概念	2
1.1.1 物联网的理解	2
1.1.2 物联网的模型	4
1.2 传感器网络	5
1.2.1 传感器网络和物联网	5
1.2.2 无线传感器网络	6
1.2.3 传感器节点	7
1.3 物联网通信环节的划分	8
1.3.1 接触环节	9
1.3.2 末端网	10
1.3.3 接入网	11
1.3.4 互联网	11
1.4 本书的组织思想	11
第 2 章 物联网通信体系	12
2.1 USN 体系架构及其分析	12
2.1.1 USN 体系架构	12
2.1.2 感知层	13
2.1.3 网络层	14
2.1.4 应用层	15
2.1.5 体系结构的分析	15
2.2 计算机网络体系结构	15
2.2.1 ISO/OSI 体系结构	16
2.2.2 TCP/IP 参考模型	18
2.2.3 体系结构的比较	20
2.3 从通信角度出发的物联网体系结构分析	22
2.3.1 通信模式	22
2.3.2 物联网的通信体系结构	23
2.3.3 直接通信模式的分析	24
2.3.4 网关通信模式的分析	28

第3章 物联网中物体的分析	32
第二部分 接触环节的通信技术	34
第4章 射频标签 RFID 技术	36
4.1 RFID 概述	36
4.2 RFID 的工作原理	37
4.2.1 RFID 的主要部件	37
4.2.2 RFID 的工作过程	39
4.3 RFID 的通信协议	39
4.3.1 RFID 的通信形式	40
4.3.2 空中接口	41
4.3.3 数据标准	41
4.4 ISO/IEC 18000-6B 协议	42
4.4.1 概 述	42
4.4.2 部件及工作流程	43
4.4.3 阅读器到标签的通信	44
4.4.4 标签到阅读器的通信	46
4.5 防止冲突算法	47
4.5.1 纯 ALOHA 算法	48
4.5.2 时隙 ALOHA 算法	49
4.5.3 帧时隙 ALOHA 算法	49
4.5.4 Type A 的防冲突机制	51
4.5.5 Type B 的防冲突机制	52
4.5.6 Type C 的防冲突机制	54
第5章 无线电导航	56
5.1 无线电导航概述	56
5.2 GPS	57
5.2.1 GPS 工作原理	57
5.2.2 GPS 组成	58
5.2.3 GPS 通信技术	61
5.3 北斗卫星导航系统	65
5.3.1 概 述	65
5.3.2 北斗一号	65
5.3.3 北斗二号	68
5.3.4 北斗通信技术	70
5.3.5 北斗进展	72



第 6 章 激光制导	73
6.1 概 述	73
6.2 激光制导原理	73
6.3 激光制导编码	75
6.3.1 激光驾束制导编码	75
6.3.2 激光寻的制导编码	77
6.4 反激光制导	81
第三部分 末端网通信技术——有线通信技术	82
第 7 章 串行接口通信	84
7.1 概 述	84
7.2 RS-232 串行接口标准	84
7.3 RS-422	87
7.4 串口的扩展	88
7.5 GPS 输出通信协议——NMEA0183	88
第 8 章 USB 总线	91
8.1 USB 概述	91
8.2 USB 组成	91
8.3 USB 通信	93
8.3.1 USB 通信的层次结构	93
8.3.2 USB 传输方式	94
8.3.3 USB 传输技术	96
8.4 USB 的发展	97
第 9 章 现场总线	100
9.1 现场总线概述	100
9.2 CAN 总线	102
9.2.1 概 述	102
9.2.2 CAN 总线系统组成	103
9.2.3 CAN 总线通信	104
9.2.4 CAN 的数据链路层	106
9.3 其他现场总线技术	109
第 10 章 其他有线末端网通信技术	111
10.1 RFID 阅读器网络	111
10.1.1 Wiegand	111

10.1.2	RFID 中间件	113
10.1.3	EPC 技术	114
10.1.4	RFID 实时定位系统	116
10.2	X-10 电力载波协议	116
第四部分 末端网通信技术——无线通信底层技术		118
第 11 章 无线通信底层技术概述		119
11.1	物理层	119
11.2	数据链路层	119
11.2.1	概 述	119
11.2.2	MAC 子层相关算法	121
第 12 章 超宽带 UWB		123
12.1	超宽带 UWB 概述	123
12.2	脉冲无线电	124
12.3	多频带 OFDM	126
12.3.1	概 述	126
12.3.2	物理层	126
12.3.3	MAC 层	127
第 13 章 IrDA 红外连接技术		129
13.1	概 述	129
13.2	IrDA 协议栈	130
13.3	IrLAP 工作原理	132
13.4	其他应用协议	135
第 14 章 水下通信		136
14.1	概 述	136
14.2	水声网络	137
14.3	物理层技术	138
14.3.1	多址技术分析	138
14.3.2	水声通信的调制	138
14.3.3	水声通信技术的发展	142
14.4	MAC 层技术	142
14.4.1	MACA	142
14.4.2	DBTMA 算法	144
第五部分 末端网通信技术——Ad Hoc 网络通信技术		146



第 15 章 Ad Hoc 的概念	147
15.1 Ad Hoc 的概述	147
15.2 自组织网的演化	148
15.3 自组织网的体系结构	149
第 16 章 Ad Hoc 网络	153
16.1 Ad Hoc 网络概述	153
16.2 Ad Hoc 系统结构	154
16.2.1 移动节点结构	154
16.2.2 网络结构	154
16.3 Ad Hoc 路由协议	156
16.3.1 概 述	156
16.3.2 环路问题回顾	157
16.3.3 Ad Hoc 路由协议的分类	158
16.3.4 DSDV 路由算法	159
16.3.5 DSR 路由协议	162
16.3.6 AODV 协议	165
第 17 章 无线传感器网络	170
17.1 无线传感器网络概述	170
17.2 路由算法	171
17.2.1 概 述	171
17.2.2 SPIN 协议	173
17.2.3 LEACH 协议	174
17.2.4 PEGASIS 协议	178
17.3 特殊传感器网络	179
17.3.1 水声传感器网络	179
17.3.2 WSID	182
第 18 章 机会网络	183
18.1 机会网络概述	183
18.2 机会网络体系结构及路由技术	186
18.2.1 概 述	186
18.2.2 PROPHET	189
18.2.3 CMTS 路由算法	190
18.3 车载自组织网络	192



第 19 章 蓝 牙	193
19.1 概 述	193
19.2 蓝牙协议体系结构	194
19.3 微微网与散射网	196
19.4 蓝牙的传输技术	198
19.4.1 双 工	198
19.4.2 跳 频	198
19.4.3 无线链路	199
19.4.4 数据包和编址	200
19.4.5 建立连接	201
19.4.6 连接模式	202
19.4.7 可靠性保证	203
19.5 散射网拓扑形成和路由算法	204
19.5.1 BTCP 算法	204
19.5.2 BlueTrees 算法	205
19.5.3 Scatternet - Route 协议	206
19.5.4 BlueStars 算法	206
19.5.5 BAODV 算法	207
19.5.6 LARP 算法	209
第 20 章 ZigBee	212
20.1 概 述	212
20.2 ZigBee 组网	213
20.3 ZigBee 体系结构	216
20.3.1 物理层	216
20.3.2 MAC 层	218
20.3.3 网络层	221
20.3.4 应用层	221
20.4 ZigBee 路由	222
20.4.1 树形路由	223
20.4.2 AODVjr	225
第 21 章 其他无线技术	228
21.1 Z-Wave	228
21.1.1 概 述	228
21.1.2 网络组成	228
21.1.3 Z-Wave 体系	229
21.2 MiWi 无线网络协议	232



21.2.1 概 述	232
21.2.2 MiWi 网络拓扑	232
21.2.3 MiWi 地址和路由	233
第六部分 接入网通信技术	235
第 22 章 有线接入方式	237
22.1 拨号上网	237
22.2 非对称数字用户线(ADSL)	238
22.3 混合光纤同轴电缆网接入	240
22.4 以太接入网技术	242
22.5 电力线上网	244
22.6 光纤接入技术	246
第 23 章 无线光通信	249
23.1 概 述	249
23.2 光调制技术	251
23.3 信道编码	254
23.4 差错控制方法	255
23.5 复用技术	256
23.6 卫星激光通信	258
23.7 可见光通信系统	259
第 24 章 IEEE 802.11 无线局域网	260
24.1 概 述	260
24.2 Wi-Fi 系统的组成	260
24.3 IEEE 802.11 协议	261
24.3.1 协议栈	261
24.3.2 DCF 工作模式	262
24.3.3 IEEE 802.11 的 CSMA/CA	263
第 25 章 无线 Mesh 网络	266
25.1 概 述	266
25.2 WMN 结构	267
25.3 WMN 路由	269
25.3.1 HWMP 概述	269
25.3.2 RM - AODV	270
25.3.3 基于树的路由协议	272
25.3.4 混合路由模式	273

第 26 章 蜂窝通信	274
26.1 概 述	274
26.2 LTE 系统架构	275
26.3 LTE、LTE-A 相关技术	276
26.3.1 多址方式	276
26.3.2 链路自适应	278
26.3.3 协作多点传输技术	280
26.3.4 混合自动重传技术	282
26.3.5 随机接入控制	282
26.3.6 LTE 接入网	284
参考文献	285

第一部分 引 论

物联网是新一代信息技术的重要组成部分,被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。

第1章,首先讲述物联网的相关概念,以及编者对物联网的一些理解,随后对物联网进行了抽象,提出了物联网的概念模型,并对该模型进行了相关的介绍,阐述了通信技术在物联网中承担的重要作用。其次,传感器网络,特别是无线传感器网络是当前研究和应用的热点,与物联网有着一定的继承关系,普遍认为是物联网具体应用的体现,因此对无线传感器网络进行了一些初步的介绍,包括传感器网络的概念和传感器节点的体系。关于无线传感器网络的具体通信技术,将在第五部分进行介绍。

最后,基于对物联网应用的认识和分析,编者对物联网的通信过程进行了环节上的划分,即接触环节、末端网环节、接入网环节和互联网环节,并对各个环节进行了相关介绍。在环节划分的基础上,又阐述了本书的组织思想,即根据传输环节来对各种通信技术进行分类。这也是本书的纲领所在。

第2章,首先介绍了ITU-T的USN高层架构,然后对每一层中可能涉及的通信技术进行分析。本书以通信技术为主,简要介绍当前ISO/OSI参考模型和TCP/IP体系结构,并对两者进行一定的比较。最后,编者从通信角度出发,分析物联网的体系结构,包括对直接通信模式和网关通信模式下接触节点和传输体系的分析。

第3章,鉴于编者对物联网通信的一点理解,勾画了未来智能物体的框架。

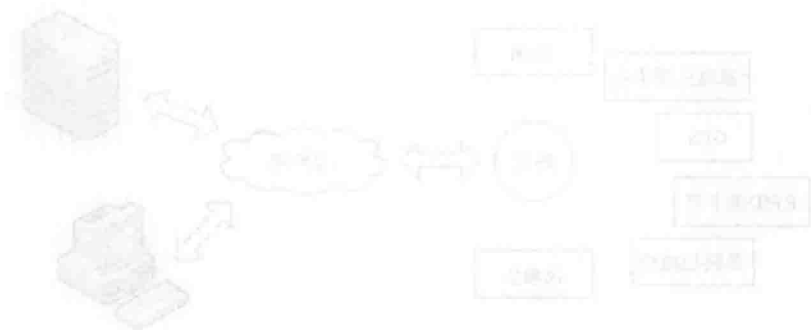


图 1-1-1 物联网体系结构图

第 1 章 概 论

1.1 物联网的概念

1.1.1 物联网的理解

目前的互联网,主要以人与人之间的交流为核心,但物联网的出现改变了这一前景,使得交流的对象不再囿于人与物之间,物与物之间,也可以进行“交流”和通信。这一转变过程,不是革命性的,是渐变的、不为人知的过程。当用户还在怀疑物联网发展的前景时,身份证、家电、汽车等,都烙上了典型的物联网的特征。

1999年,意大利梅洛尼公司推出了世界上第一台通过互联网和 GSM 无线网控制的商业化洗衣机,机主可以通过移动电话遥控洗衣机。那个时候,物联网这个名词还没有出现。从某些角度看,物联网只不过是一个新名词,给一个正在逐渐长大的孩子起了个正式名字而已。

物联网的英文名称是 The Internet of Things,简称 IOT。这一术语的正式提出,是国际电信联盟(ITU)在 2005 年发布 *ITU Internet Report 2005: The Internet of Things* 中提出的。

顾名思义,物联网就是物物相连的互联网。目前,这个名词具有两层含义:

- 物联网的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上延伸和扩展的网络。
- 用户端延伸和扩展到了物品与物品之间,使其能进行信息交换和通信。

从当前发展来看,外界所提出的物联网产品大多是互联网的应用拓展,因此,与其说物联网是网络,不如说物联网是业务和应用。一般是将各种信息传感/执行设备,如射频识别(RFID)装置、各种感应器、全球定位系统、机械手、灭火器等各种装置,与互联网结合起来而形成的一个巨大的网络,并在这个硬件基础上架构上层合适的应用,让所有的物品能够方便地识别、管理和运作。从这个角度看,应用创新是当前物联网发展的核心,但还远未达到多维的物物相连的层次。图 1-1-1 展示了目前物联网应用的模式。

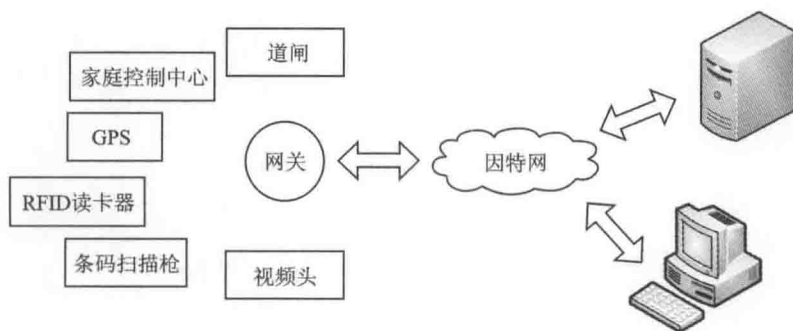


图 1-1-1 物联网应用模式



有学者提出了一个互联网虚拟大脑的模型,如图 1-1-2 所示。该模型提出了互联网虚拟感觉系统、互联网虚拟运动系统、互联网虚拟大脑皮层、互联网虚拟记忆系统等组织结构,与目前物联网的应用模式颇为相似。

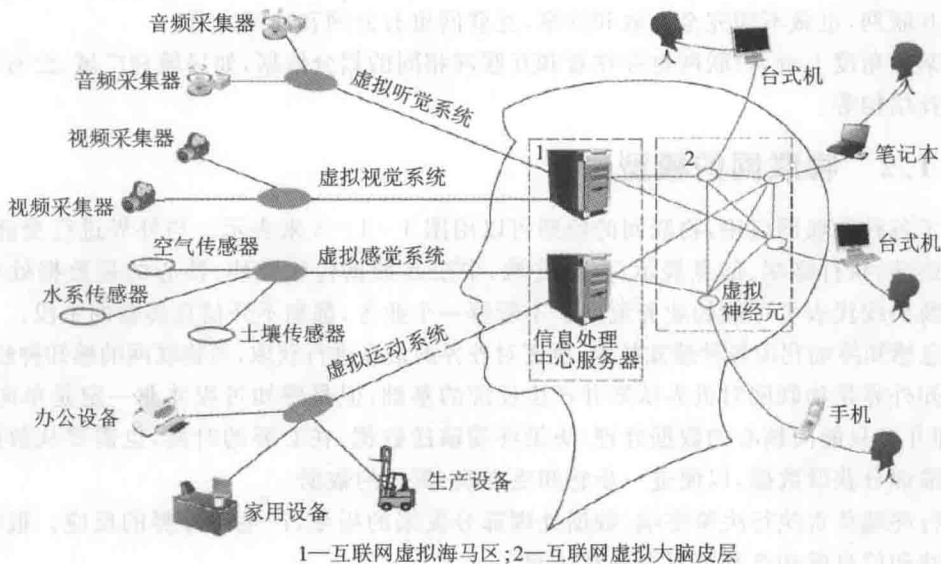


图 1-1-2 互联网虚拟大脑结构图

可以预见的是,如果物联网得到了顺利发展,互联维度不断发展,必将促进互联网在广度和深度上的快速发展。一方面,互联网及其接入网络必将向社会末梢神经级别的角落发展,进而导致规模的急速膨胀;另一方面,互联网和各种通信网络在速度上必须快速发展,能够跟上规模的发展,而且还要承受由此带来的海量数据、大数据的快速流转。这都迫切要求互联网技术的快速发展,由此使互联网产生新的问题和技术,进而导致互联网本身的革命。届时,互联网或许还叫做互联网,但可能已经是旧瓶新酒了。

中国物联网校企联盟将物联网定义为当下几乎所有技术与计算机、互联网技术的结合,实现物体与物体之间、环境以及状态信息实时的共享,以及智能化的收集、传递、处理、执行。广义上说,当下涉及信息技术的应用,都可以纳入物联网的范畴。

国际电信联盟 2012 年 7 月将物联网定义修改为:物联网是信息社会的一个全球基础设施,它基于现有和未来可互操作的信息和通信技术,通过物理的和虚拟的物物相联,来提供更好的服务。

这些定义从不同角度对物联网进行了阐述,归结起来物联网概念有以下几个技术特征。

- 物体数字化:也就是将物理实体改造成为彼此可寻址、可识别、可交互、可协同的“智能”物体。
- 泛在互联:以互联网为基础,将数字化、智能化的物体接入其中,实现无所不在的互联。
- 信息感知与交互:在网络互联的基础上,实现信息的感知、采集以及在此基础之上的响应、控制。
- 信息处理与服务:支持信息处理,为用户提供基于物物互联的新型信息化服务。新的信息处理和服务也产生了对网络技术的依赖,如依赖于网络的分布式并行计算、分布



式存储、集群等。

在这几个特征中,泛在互联、信息感知与交互,以及信息处理与服务,与通信都有密切的关系。因此,可以说通信是物联网的基础架构。

需要强调的是,不能把物联网当成所有物的完全开放、全部互连、全部共享的互联平台。即使是互联网,也做不到完全开放和共享,互联网也有公网和内网之分。

从某种角度上看,物联网也存在着和互联网相同的划分依据,如局域和广域、公有和私有、多种拓扑结构等。

1.1.2 物联网的模型

对于各种物联网应用,物联网的模型可以用图 1-1-3 来表示。与外界进行交流的是信息感知终端、执行终端、信息展示/决策终端,中层是数据传输模块,核心的是数据处理模块。中间的箭头线代表了可能的业务流向。不管哪一个业务,都离不开信息传输的手段。

信息感知终端利用各种感知技术,负责对外界的信息进行获取,是物联网的感知神经末梢。

感知外界是物联网对世界认知并产生反应的基础,但是感知过程并非一定是单向的数据传输,即并非只能向核心的数据处理/决策终端输送数据,在必要的时候,也需要从数据处理/决策终端部分获取数据,以便进一步感知更准确、深入的数据。

执行终端负责执行决策终端/数据处理部分发来的指令,产生对外界的反应。很多时候,执行终端和信息感知终端可以合并在一起。

值得注意的是,某些信息感知终端或者执行终端,还必须借助于传输模块的支持,才能完成对外界信息的获取,例如 RFID、定位导航、激光制导等。

信息展示/决策终端,负责将信息感知终端/数据处理模块传来的信息展示给操作者,由操作者来进行最终的决策。笔者认为,关键性的决策应当由人来进行。

传输环节在模型中起着重要的、承上启下的关键性作用,负责在各个角色之间进行数据的传递,是建立物联网的最根本基础,属于物联网的基础架构。

传输环节的技术涉及从深空通信、广域网到局域网、个域网,甚至到身域网(见图 1-1-4)的不同地域范围,从几 kbps 到以 Tbps 为计量单位的带宽范围,从物理层到应用层不同的层次范围,从有线到无线的不同通信机制等。

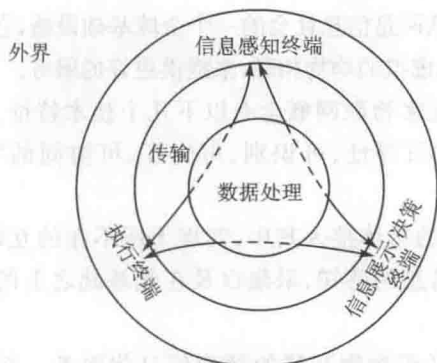


图 1-1-3 物联网模型探讨

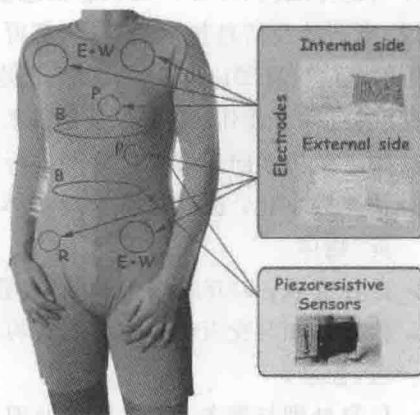


图 1-1-4 身域网原型示例