



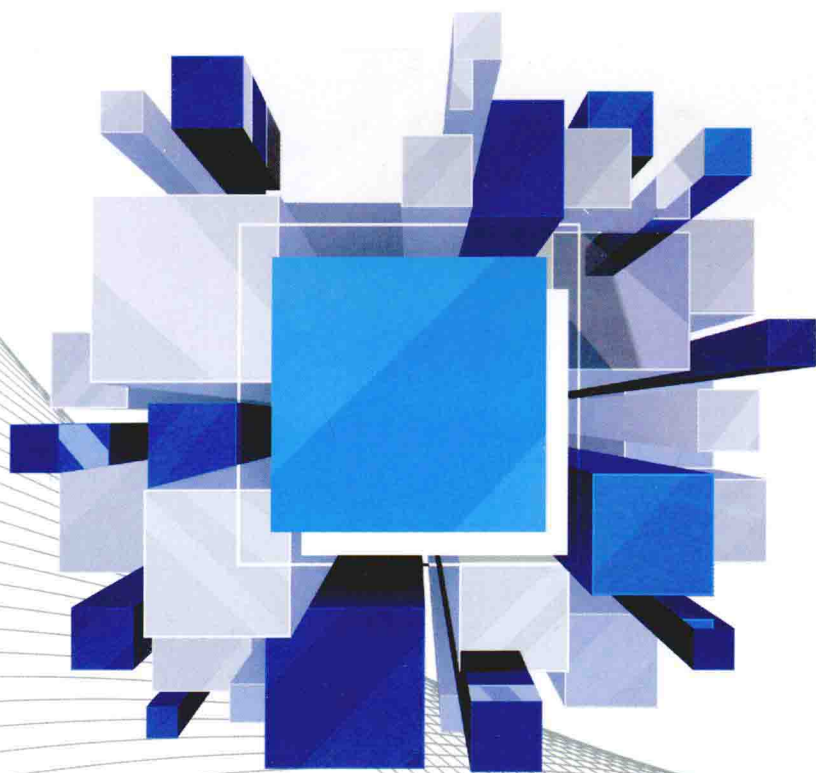
中国电子学会物联网专家委员会推荐

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

# 物联网通信技术

*Communication Technology of Internet of Things*

曾宪武 编著



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

中国电子学会物联网专家委员会推荐  
普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

# 物联网通信技术

曾宪武 高 剑 任春年 包淑萍 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

物联网是互联网的发展与延伸,物联网中所采用的通信技术以承载数据为主。作为数据通信的承载网络,物联网的通信技术具有非常丰富的技术内涵,包含传输、交换、有线、无线、移动等通信技术的多个方面。

本书以物联网的三层结构为主线,以感知控制层、汇聚层及网络传输层所需的通信承载网为线索,以数据通信基础为前提,讲述了短距离通信技术、无线传感器网络、通信网及其交换技术及无线移动通信技术。

本书分为5篇,共27章。第1篇为数据通信基础,全面讲述了数据通信的基本原理,是学习物联网通信技术的基础;第2篇为短距离通信技术,其内容包括各种接口及总线技术以及蓝牙、红外、超宽带技术;第3篇为无线传感器网络,它是狭义上的物联网的主要组成部分,也是狭义上的物联网通信技术;第4篇为通信网及其交换技术,讲述了通信网、传输复用技术及其交换技术;第5篇为无线移动通信技术,以现有的2G技术为主,介绍了四种3G技术,为学习物联网的移动互联网打下良好的基础。

本书可作为物联网工程专业的本科生教材,也可作为相近专业的本科生与研究生教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

物联网通信技术/曾宪武等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2014.4

普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3321-3

I. ①物… II. ①曾… 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 ②TN914.6



中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 043924 号

策 划 毛红兵

责任编辑 张 玮 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年4月第1版 2014年4月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 29.5

字 数 700千字

印 数 1~3000册

定 价 50.00元

ISBN 978-7-5606-3321-3/TP

**XDUP 3613001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

# 普通高等教育物联网工程专业“十二五”规划教材

## 编审专家委员会名单

**总顾问:**姚建铨 天津大学、中国科学院院士 教授  
**顾问:**王新霞 中国电子学会物联网专家委员会秘书长  
**主任:**王志良 北京科技大学信息工程学院首席教授  
**副主任:**孙小菡 东南大学电子科学与工程学院 教授  
曾宪武 青岛科技大学信息科学技术学院物联网系主任 教授

**委员:**(成员按姓氏笔画排列)

王洪君 山东大学信息科学与工程学院副院长 教授  
王春枝 湖北工业大学计算机学院院长 教授  
王宜怀 苏州大学计算机科学与技术学院 教授  
白秋果 东北大学秦皇岛分校计算机与通信工程学院院长 教授  
孙知信 南京邮电大学物联网学院副院长 教授  
朱昌平 河海大学计算机与信息学院副院长 教授  
邢建平 山东大学电工电子中心副主任 教授  
刘国柱 青岛科技大学信息科学技术学院副院长 教授  
张小平 陕西物联网实验研究中心主任 教授  
张 申 中国矿业大学物联网中心副主任 教授  
李仁发 湖南大学教务处处长 教授  
李朱峰 北京师范大学物联网与嵌入式系统研究中心主任 教授  
李克清 常熟理工学院计算机科学与工程学院副院长 教授  
林水生 电子科技大学通信与信息工程学院物联网工程系主任 教授  
赵付青 兰州理工大学计算机与通信学院副院长 教授  
武奇生 长安大学电子与控制工程学院自动化卓越工程师主任 教授  
房 胜 山东科技大学信息科学与工程学院物联网专业系主任 教授  
赵庶旭 兰州交通大学电信工程学院计算机科学与技术系副主任 教授  
施云波 哈尔滨理工大学测控技术与通信学院传感网技术系主任 教授  
桂小林 西安交通大学网络与可信计算技术研究中心主任 教授  
秦成德 西安邮电大学教学督导 教授

黄传河 武汉大学计算机学院副院长 教授  
黄 炜 电子科技大学通信与信息工程学院 教授  
黄贤英 重庆理工大学计算机科学与技术系主任 教授  
彭 力 江南大学物联网系副主任 教授  
谢红薇 太原理工大学计算机科学与技术学院软件工程系主任 教授  
薛建彬 兰州理工大学计算机与通信学院物联网工程系主任 副教授

# 前 言

物联网被誉为继信息高速公路后的又一次信息技术革命，是信息学科、通信学科及自动化学科的交叉融合。

在物联网中，通信技术扮演着非常重要的角色。物联网中的信息是由通信网来承载的，这使物联网具有电信承载网络的特点。由于物联网是互联网的发展与延伸，因此物联网中所采用的通信技术以承载数据为主，具有数据通信的概念。物联网作为数据通信的承载网络具有非常丰富的技术内涵，即包含了通信技术的多个层面，也就是包含了传输、交换、有线、无线、移动等通信技术的多个方面。

本书以物联网的三层结构为主线，以感知控制层、汇聚层及网络传输层所需的通信承载网为线索，介绍了短距离通信技术、无线传感器网络、通信网及其交换技术及无线移动通信技术。

本书分为 5 篇，共 27 章。第 1 篇为数据通信基础，全面介绍了数据通信的基本原理，是学习物联网通信技术的基础；第 2 篇为短距离通信技术，以实现感知控制层通信；第 3 篇为无线传感器网络，讲述了狭义上的物联网的主要组成部分，即狭义上的物联网通信技术；第 4 篇为通信网及其交换技术，讲述了通信网、传输复用技术及其交换技术；第 5 篇为无线移动通信技术，以现有的 2G 技术为主，介绍了四种 3G 技术，为学习物联网的移动互联网打下良好的基础。

本书的参考学时为 72 学时，也可根据需要进行精简，如开设与无线传感器网络相关的课程，则可略过第 3 篇。

本书可作为物联网工程专业的本科生教材，也可作为相近专业的本科生与研究生教材。

曾宪武负责本书的总体组织与统稿，并编写了第 0 章及第 1、3 篇；高剑编写了第 2 篇；任春年编写了第 4 篇；包淑萍编写了第 5 篇。本书在编写的过程中得到了王志良教授的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于通信技术及物联网技术发展迅速，并且编者的水平有限，书中存在不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2013 年 12 月

# 目 录

|                         |   |                                 |   |
|-------------------------|---|---------------------------------|---|
| <b>第 0 章 概述</b> .....   | 1 | 0.2.2 感知控制层与网络传输层<br>通信系统 ..... | 3 |
| 0.1 物联网框架结构 .....       | 1 | 0.2.3 物联网通信技术的发展 .....          | 4 |
| 0.2 物联网通信系统 .....       | 2 | 本章小结 .....                      | 6 |
| 0.2.1 物联网通信系统基本结构 ..... | 2 | 习题与思考 .....                     | 7 |

## 第 1 篇 数据通信基础

|                               |    |                              |    |
|-------------------------------|----|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 通信的基本模型与概念</b> ..... | 10 | 3.3 有线信道 .....               | 30 |
| 1.1 通信系统模型 .....              | 10 | 3.3.1 双绞线 .....              | 31 |
| 1.2 模拟通信与数字通信系统模型 .....       | 10 | 3.3.2 同轴电缆 .....             | 31 |
| 1.3 通信系统的分类及通信方式 .....        | 12 | 3.3.3 光纤 .....               | 32 |
| 1.3.1 通信系统分类 .....            | 12 | 3.4 无线信道 .....               | 33 |
| 1.3.2 通信方式 .....              | 14 | 本章小结 .....                   | 34 |
| 1.4 信息及信息量 .....              | 15 | 习题与思考 .....                  | 35 |
| 1.5 数据通信系统中的主要性能指标 .....      | 17 | <b>第 4 章 信源编码</b> .....      | 36 |
| 1.5.1 传输速率 .....              | 17 | 4.1 抽样与量化 .....              | 36 |
| 1.5.2 差错率 .....               | 18 | 4.1.1 抽样及抽样定理 .....          | 36 |
| 1.5.3 信噪比 .....               | 18 | 4.1.2 抽样定理 .....             | 37 |
| 本章小结 .....                    | 18 | 4.1.3 量化 .....               | 38 |
| 习题与思考 .....                   | 19 | 4.2 脉冲编码调制(PCM) .....        | 42 |
| <b>第 2 章 数据通信基础理论</b> .....   | 20 | 4.2.1 PCM 通信系统 .....         | 42 |
| 2.1 数据信号分析基础 .....            | 20 | 4.2.2 二进制 PCM 编码 .....       | 43 |
| 2.1.1 时域分析 .....              | 20 | 4.3 增量调制( $\Delta M$ ) ..... | 45 |
| 2.1.2 频域分析 .....              | 21 | 本章小结 .....                   | 47 |
| 2.1.3 傅里叶分析 .....             | 22 | 习题与思考 .....                  | 48 |
| 2.2 数据率与频带的关系 .....           | 23 | <b>第 5 章 数字基带传输</b> .....    | 49 |
| 2.3 交换技术 .....                | 23 | 5.1 数字基带信号的波形与编码原则 .....     | 49 |
| 2.3.1 电路交换 .....              | 24 | 5.1.1 数字基带信号的波形 .....        | 49 |
| 2.3.2 报文交换 .....              | 24 | 5.1.2 数字基带信号的编码原则 .....      | 51 |
| 2.3.3 分组交换 .....              | 24 | 5.2 数字基带传输系统 .....           | 51 |
| 本章小结 .....                    | 25 | 5.2.1 数字基带传输系统概述 .....       | 51 |
| 习题与思考 .....                   | 26 | 5.2.2 均衡技术 .....             | 52 |
| <b>第 3 章 数据通信中的信道</b> .....   | 27 | 5.2.3 眼图 .....               | 54 |
| 3.1 信道模型及其分类 .....            | 27 | 本章小结 .....                   | 56 |
| 3.1.1 信道模型 .....              | 27 | 习题与思考 .....                  | 56 |
| 3.1.2 信道分类 .....              | 27 | <b>第 6 章 数字调制系统</b> .....    | 58 |
| 3.2 信道容量 .....                | 29 | 6.1 调制与数字基带信号的调制原理 .....     | 58 |
| 3.2.1 离散信道的信道容量 .....         | 29 | 6.1.1 调制解调的基本原理 .....        | 58 |
| 3.2.2 连续信道的信道容量 .....         | 30 | 6.1.2 数字调制系统的基本原理 .....      | 59 |

|                       |    |                           |     |
|-----------------------|----|---------------------------|-----|
| 6.2 数字振幅调制            | 60 | 7.4 循环码                   | 82  |
| 6.2.1 2ASK            | 60 | 7.4.1 循环码的基本概念            | 82  |
| 6.2.2 多进制振幅调制         | 62 | 7.4.2 循环码的编码和译码           | 84  |
| 6.3 数字频率调制            | 63 | 7.5 卷积码                   | 86  |
| 6.3.1 2FSK 移频键控的基本原理  | 63 | 7.5.1 基本原理                | 86  |
| 6.3.2 2FSK 调制的实现方法    | 64 | 7.5.2 编码和译码               | 87  |
| 6.3.3 2FSK 的解调        | 65 | 本章小结                      | 88  |
| 6.3.4 2FSK 的特点        | 67 | 习题与思考                     | 89  |
| 6.4 数字相位调制            | 68 | <b>第 8 章 数据链路传输控制规程</b>   | 90  |
| 6.4.1 二进制绝对移相调制(2PSK) | 68 | 8.1 数据链路层的功能及传输控制规程的功能与分类 | 90  |
| 6.4.2 二相相对移相调制(2DPSK) | 70 | 8.1.1 数据链路层的功能            | 90  |
| 本章小结                  | 72 | 8.1.2 传输控制规程的主要功能与分类      | 91  |
| 习题与思考                 | 73 | 8.2 面向字符的传输控制规程           | 92  |
| <b>第 7 章 差错控制技术</b>   | 74 | 8.2.1 IBM 的 BSC 规程简介      | 92  |
| 7.1 差错控制技术概述          | 74 | 8.2.2 控制字符                | 92  |
| 7.1.1 差错控制的基本原理       | 74 | 8.2.3 帧格式                 | 94  |
| 7.1.2 差错控制编码的特性与能力    | 75 | 8.2.4 数据的透明性与同步           | 96  |
| 7.2 差错控制方法            | 76 | 8.2.5 数据链路结构及建立           | 97  |
| 7.2.1 自动请求重发 (ARQ) 方式 | 77 | 8.3 面向比特的传输控制规程           | 99  |
| 7.2.2 前向纠错 (FEC) 方式   | 78 | 8.3.1 HDLC 数据链路控制规程       | 99  |
| 7.2.3 混合纠错 (HEC) 方式   | 78 | 8.3.2 HDLC 的帧结构           | 101 |
| 7.2.4 信息反馈 (IRQ) 方式   | 78 | 8.3.3 HDLC 帧类型和功能         | 103 |
| 7.3 常用检错码             | 78 | 8.3.4 HDLC 操作规程           | 106 |
| 7.3.1 奇偶校验码           | 78 | 本章小结                      | 108 |
| 7.3.2 恒比码             | 79 | 习题与思考                     | 108 |
| 7.3.3 矩阵校验码           | 80 |                           |     |
| 7.3.4 正反码             | 80 |                           |     |
| 7.3.5 线性分组码           | 81 |                           |     |

## 第 2 篇 短距离通信技术

|                               |     |                         |     |
|-------------------------------|-----|-------------------------|-----|
| <b>第 9 章 短距离有线通信技术</b>        | 110 | 9.4.3 USB 系统在物联网中的应用    | 121 |
| 9.1 数据终端间的通信及接口特性             | 110 | 9.4.4 IEEE-1394 接口      | 122 |
| 9.2 EIA RS-232C               | 111 | 9.5 CAN 总线              | 123 |
| 9.2.1 特性功能                    | 111 | 9.5.1 CAN 总线的特点         | 123 |
| 9.2.2 RS-232C 的短距离通信技术        | 115 | 9.5.2 CAN 总线网络层次与通信协议   | 124 |
| 9.3 RS 系列接口及各种串行接口性能比较        | 116 | 本章小结                    | 129 |
| 9.3.1 RS-422A、RS-423 及 RS-485 | 116 | 习题与思考                   | 129 |
| 9.3.2 各种串行接口性能比较              | 117 | <b>第 10 章 短距离无线通信技术</b> | 131 |
| 9.4 USB 串行总线及其应用              | 118 | 10.1 蓝牙技术               | 131 |
| 9.4.1 USB 串行总线的特点             | 118 | 10.1.1 蓝牙发展现状与技术特点      | 131 |
| 9.4.2 USB 总线体系结构              | 120 | 10.1.2 蓝牙系统的构成及工作原理     | 133 |
|                               |     | 10.1.3 蓝牙协议体系           | 138 |



|                                  |     |                                    |     |
|----------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| 10.1.4 蓝牙的物联网应用案例 .....          | 141 | 10.3.1 超宽带无线通信的<br>概念及特点 .....     | 151 |
| 10.2 红外通信技术 .....                | 142 | 10.3.2 超宽带无线通信的频谱规范及<br>相关标准 ..... | 154 |
| 10.2.1 红外通信的基本原理 .....           | 143 | 10.3.3 超宽带无线通信的基本原理 .....          | 154 |
| 10.2.2 红外通信标准与协议 .....           | 144 | 10.3.4 UWB 典型信道模型 .....            | 157 |
| 10.2.3 红外接口器件 .....              | 148 | 10.3.5 UWB 的应用 .....               | 159 |
| 10.2.4 红外通信系统在智能<br>电网中的应用 ..... | 149 | 本章小结 .....                         | 161 |
| 10.3 超宽带无线通信技术 .....             | 151 | 习题与思考 .....                        | 161 |

### 第 3 篇 无线传感器网络

|  |     |                                  |     |
|--|-----|----------------------------------|-----|
| <b>第 11 章 概述</b> .....                             | 164 | 13.3 查询路由 .....                  | 187 |
| 11.1 无线传感器网络的概念与特点 .....                           | 164 | 13.3.1 定向扩散路由 .....              | 187 |
| 11.2 无线传感器网络的关键技术与<br>应用难点 .....                   | 167 | 13.3.2 谣传路由 .....                | 188 |
| 11.2.1 WSN 的关键技术 .....                             | 167 | 13.4 地理位置路由 .....                | 190 |
| 11.2.2 物联网中无线传感器网络<br>应用的难点 .....                  | 168 | 13.5 可靠路由协议 .....                | 192 |
| 本章小结 .....   | 169 | 13.5.1 不相交的多路径路由机制 .....         | 192 |
| 习题与思考 .....  | 169 | 13.5.2 ReInForM 路由 .....         | 193 |
| <b>第 12 章 IEEE802.15.4 及 ZigBee<br/>协议规范</b> ..... | 170 | 13.5.3 SPEED 协议 .....            | 195 |
| 12.1 IEEE802.15.4 标准 .....                         | 170 | 本章小结 .....                       | 197 |
| 12.1.1 IEEE802.15.4 主要性能 .....                     | 170 | 习题与思考 .....                      | 198 |
| 12.1.2 IEEE802.15.4 物理层 .....                      | 171 | <b>第 14 章 WSN 的 MAC 协议</b> ..... | 199 |
| 12.1.3 MAC 层 .....                                 | 172 | 14.1 基于竞争的 MAC 协议 .....          | 199 |
| 12.2 ZigBee 协议规范 .....                             | 175 | 14.1.1 IEEE802.11 MAC 协议 .....   | 199 |
| 12.2.1 数据链路层与物理层和<br>MAC 层 .....                   | 176 | 14.1.2 S-MAC 协议 .....            | 202 |
| 12.2.2 网络层 .....                                   | 177 | 14.1.3 T-MAC 协议 .....            | 204 |
| 12.2.3 应用规范 .....                                  | 179 | 14.2 基于时分复用的 MAC 协议 .....        | 207 |
| 本章小结 .....   | 180 | 14.2.1 基于分簇网络的 MAC 协议 .....      | 207 |
| 习题与思考 .....  | 180 | 14.2.2 DEANA 协议 .....            | 208 |
| <b>第 13 章 无线传感器网络的<br/>路由协议</b> .....              | 182 | 14.2.3 TRAMA 协议 .....            | 208 |
| 13.1 WSN 路由协议的特点和性能指标 .....                        | 182 | 本章小结 .....                       | 212 |
| 13.1.1 WSN 路由协议的特点 .....                           | 182 | 习题与思考 .....                      | 212 |
| 13.1.2 WSN 路由协议的性能<br>指标及分类 .....                  | 183 | <b>第 15 章 WSN 的拓扑控制</b> .....    | 214 |
| 13.2 能量感知路由 .....                                  | 184 | 15.1 功率控制 .....                  | 214 |
| 13.2.1 能量路由 .....                                  | 184 | 15.1.1 基于节点度的算法 .....            | 215 |
| 13.2.2 能量多路径路由 .....                               | 185 | 15.1.2 基于邻近图的算法 .....            | 216 |
|  |     | 15.2 层次型拓扑结构控制 .....             | 217 |
|  |     | 15.2.1 LEACH 算法 .....            | 217 |
|  |     | 15.2.2 GAF 算法 .....              | 219 |
|  |     | 15.3 启发机制 .....                  | 221 |
|  |     | 15.3.1 STEM 算法 .....             | 221 |
|  |     | 15.3.2 ASCENT 算法 .....           | 222 |
|  |     | 本章小结 .....                       | 223 |

|                               |     |                          |     |
|-------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 习题与思考 .....                   | 224 | 16.2.3 AOA 定位 .....      | 230 |
| <b>第 16 章 WSN 的节点定位</b> ..... | 225 | 16.2.4 RSSI 定位 .....     | 231 |
| 16.1 节点定位的概念及基本原理 .....       | 225 | 16.3 距离无关的定位算法 .....     | 233 |
| 16.1.1 定位的几个相关概念 .....        | 225 | 16.3.1 质心算法 .....        | 233 |
| 16.1.2 节点定位的基本原理 .....        | 226 | 16.3.2 DV-Hop 算法 .....   | 234 |
| 16.1.3 定位算法的分类 .....          | 228 | 16.3.3 其他距离无关的定位算法 ..... | 235 |
| 16.2 距离定位 .....               | 228 | 本章小结 .....               | 236 |
| 16.2.1 TOA 定位 .....           | 229 | 习题与思考 .....              | 236 |
| 16.2.2 TDOA 定位 .....          | 229 |                          |     |

## 第 4 篇 通信网及其交换技术

|                                  |     |                              |     |
|----------------------------------|-----|------------------------------|-----|
| <b>第 17 章 通信网概念及其发展</b> .....    | 238 | 19.2.2 信令方式 .....            | 279 |
| 17.1 通信网概述 .....                 | 238 | 19.2.3 No.7 信令系统 .....       | 282 |
| 17.1.1 通信网的基本概念 .....            | 238 | 19.3 综合业务数字网 .....           | 285 |
| 17.1.2 通信网的分层结构 .....            | 241 | 19.3.1 综合业务数字网的演化及其          |     |
| 17.1.3 通信网的分类及通信网的               |     | 概念与特点 .....                  | 285 |
| 质量要求 .....                       | 244 | 19.3.2 ISDN 网络功能体系结构 .....   | 286 |
| 17.2 通信技术的发展趋势 .....             | 244 | 19.3.3 ISDN 用户—网络接口 .....    | 287 |
| 本章小结 .....                       | 246 | 19.3.4 ISDN 的信道类型与接口结构 ..... | 289 |
| 习题与思考 .....                      | 247 | 本章小结 .....                   | 290 |
| <b>第 18 章 电话网与 SDH 传输网</b> ..... | 248 | 习题与思考 .....                  | 290 |
| 18.1 电话网的组成结构 .....              | 248 | <b>第 20 章 数据通信网与数据通信</b>     |     |
| 18.2 PDH 数字传输系统 .....            | 249 | <b>交换技术</b> .....            | 292 |
| 18.2.1 时分复用技术与同步 .....           | 249 | 20.1 数据通信网与计算机通信网 .....      | 292 |
| 18.2.2 数字复接技术 .....              | 251 | 20.2 数据交换 .....              | 293 |
| 18.2.3 同步复接与异步复接 .....           | 254 | 20.2.1 数据交换方式 .....          | 293 |
| 18.3 SDH 数字传输系统 .....            | 255 | 20.2.2 报文交换 .....            | 294 |
| 18.3.1 SDH 的基本概念及其特点 .....       | 255 | 20.2.3 分组交换 .....            | 295 |
| 18.3.2 SDH 的节点接口、速率和             |     | 20.2.4 分组传输方式 .....          | 298 |
| 帧结构 .....                        | 257 | 20.2.5 帧方式交换 .....           | 300 |
| 18.3.3 SDH 的基本复用映射结构 .....       | 259 | 20.3 数据通信网 .....             | 300 |
| 本章小结 .....                       | 261 | 20.3.1 数据通信网的分类 .....        | 300 |
| 习题与思考 .....                      | 262 | 20.3.2 分组交换网 .....           | 301 |
| <b>第 19 章 程控交换与 ISDN</b> .....   | 263 | 20.3.3 分组交换网的路由选择 .....      | 303 |
| 19.1 数字程控交换技术 .....              | 263 | 20.3.4 数据报与虚电路方式的            |     |
| 19.1.1 程控交换的基本概念 .....           | 263 | 路由选择 .....                   | 306 |
| 19.1.2 数字交换网络的基本结构和              |     | 20.3.5 分组交换流量控制 .....        | 307 |
| 工作原理 .....                       | 264 | 20.4 帧中继网 .....              | 310 |
| 19.1.3 数字程控交换机的组成 .....          | 269 | 20.4.1 帧中继的基本概念与特点 .....     | 310 |
| 19.1.4 呼叫处理过程 .....              | 274 | 20.4.2 帧中继网络结构和              |     |
| 19.2 信令系统及 No.7 信令 .....         | 277 | 协议及应用 .....                  | 311 |
| 19.2.1 信令系统 .....                | 278 | 20.5 数字数据网(DDN) .....        | 313 |

|               |                      |            |        |                      |     |
|---------------|----------------------|------------|--------|----------------------|-----|
| 20.6          | ATM 通信网              | 314        | 21.2   | IPv6 简介              | 339 |
| 20.6.1        | ATM 的基本原理            | 315        | 21.2.1 | IPv4 存在的问题及 IPv6 的特点 | 339 |
| 20.6.2        | ATM 协议参考模型           | 317        | 21.2.2 | IPv6 数据报格式           | 340 |
| 20.6.3        | ATM 交换技术             | 319        | 21.2.3 | IPv6 地址体系结构          | 341 |
|               | 本章小结                 | 322        | 21.3   | 路由器与 IP 通信的路由选择协议    | 343 |
|               | 习题与思考                | 322        | 21.3.1 | 路由器                  | 343 |
| <b>第 21 章</b> | <b>IP 通信及 IP 通信网</b> | <b>324</b> | 21.3.2 | IP 通信的路由选择协议         | 345 |
| 21.1          | TCP/IP 协议            | 324        |        | 本章小结                 | 346 |
| 21.1.1        | TCP/IP 模型及各层功能       | 324        |        | 习题与思考                | 347 |
| 21.1.2        | IP 及辅助协议             | 325        |        |                      |     |
| 21.1.3        | TCP 和 UDP 协议         | 332        |        |                      |     |

## 第 5 篇 无线移动通信技术

|               |                      |            |               |                      |            |
|---------------|----------------------|------------|---------------|----------------------|------------|
| <b>第 22 章</b> | <b>传播特性及多址技术</b>     | <b>350</b> | 23.2.1        | 移动通信网的体制             | 365        |
| 22.1          | 无线电波传播的方式及其特点        | 350        | 23.2.2        | 移动通信网的覆盖方式           | 367        |
| 22.1.1        | 无线电波的边界效应            | 350        | 23.2.3        | 蜂窝网无线区群的组成           | 368        |
| 22.1.2        | 无线电波传播的方式            | 350        |               | 本章小结                 | 368        |
| 22.1.3        | 无线电波传播的特点            | 351        |               | 习题与思考                | 369        |
| 22.2          | 无线电波的传播损耗及效应         | 352        | <b>第 24 章</b> | <b>GSM 数字蜂窝移动</b>    |            |
| 22.2.1        | 路径衰耗与慢衰落             | 352        |               | <b>通信系统</b>          | <b>370</b> |
| 22.2.2        | 传输效应                 | 353        | 24.1          | GSM 数字蜂窝移动通信系统       |            |
| 22.3          | 传播路径损耗模型             | 354        |               | 结构及其接口               | 370        |
| 22.3.1        | 自由空间传播模型             | 354        | 24.1.1        | 系统结构及其组成             | 370        |
| 22.3.2        | 室外传播模型               | 355        | 24.1.2        | GSM 网络接口             | 374        |
| 22.3.3        | 室内传播模型               | 356        | 24.1.3        | GSM 移动通信的信道结构        | 378        |
| 22.4          | 无线通信中的多址技术           | 356        | 24.1.4        | 频率资源管理与频率有效利用        | 379        |
| 22.4.1        | 频分多址与时分多址技术          | 357        | 24.1.5        | 多址接入的容量              | 381        |
| 22.4.2        | 码分多址技术               | 357        | 24.2          | GSM 移动通信的交换技术及业务     | 383        |
| 22.4.3        | 空分多址技术及随机接入多址技术      | 358        | 24.2.1        | 通信呼叫建立过程             | 383        |
| 22.5          | 无线抗衰落及抗干扰技术          | 359        | 24.2.2        | 越区切换                 | 384        |
| 22.5.1        | 分集技术                 | 359        | 24.2.3        | GSM 移动通信系统的业务        | 385        |
| 22.5.2        | 多用户检测技术              | 360        | 24.3          | GSM 移动通信系统的无线传输      | 388        |
| 22.5.3        | 多载波传输技术              | 360        | 24.3.1        | TDMA/FDMA 接入方式       | 388        |
|               | 本章小结                 | 362        | 24.3.2        | 信道及其组合               | 389        |
|               | 习题与思考                | 362        | 24.4          | GSM 移动通信的接续          | 394        |
| <b>第 23 章</b> | <b>移动通信总体结构及相关概念</b> | <b>363</b> | 24.4.1        | 移动台开机、小区选择、位置登记及更新   | 394        |
| 23.1          | 移动通信的概念和发展过程         | 363        | 24.4.2        | 通信链路的建立、初始信息发送、鉴权及加密 | 396        |
| 23.1.1        | 移动通信的概念及其特点          | 363        | 24.4.3        | 位置更新过程及通信链路的释放       | 397        |
| 23.1.2        | 移动通信的发展过程            | 364        |               |                      |            |
| 23.2          | 移动通信的组网技术            | 365        |               |                      |            |

|                                     |     |                                       |     |
|-------------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 24.4.4 移动台的主叫、被叫流程 .....            | 398 | 习题与思考 .....                           | 436 |
| 24.4.5 切换进程 .....                   | 400 | <b>第 26 章 第三代移动通信系统</b> .....         | 437 |
| 本章小结 .....                          | 402 | 26.1 第三代移动通信系统简介 .....                | 437 |
| 习题与思考 .....                         | 403 | 26.1.1 概述 .....                       | 437 |
| <b>第 25 章 CDMA 数字蜂窝移动通信</b> ..      | 404 | 26.1.2 第三代移动通信系统的特点 .....             | 437 |
| 25.1 扩频通信原理 .....                   | 404 | 26.1.3 3G 参数 .....                    | 438 |
| 25.1.1 扩频理论基础 .....                 | 404 | 26.2 WCDMA .....                      | 439 |
| 25.1.2 直接序列扩频 .....                 | 405 | 26.2.1 UMTS 与 WCDMA .....             | 439 |
| 25.2 CDMA 数字蜂窝移动通信结构 .....          | 406 | 26.2.2 WCDMA 系统的组成 .....              | 440 |
| 25.2.1 CDMA 数字蜂窝移动通信<br>系统的构成 ..... | 406 | 26.2.3 接口 .....                       | 442 |
| 25.2.2 CDMA 系统的接口、信令及<br>相关参数 ..... | 407 | 26.3 CDMA2000 .....                   | 442 |
| 25.2.3 CDMA 系统的逻辑信道 .....           | 409 | 26.3.1 CDMA2000 的特点 .....             | 442 |
| 25.3 CDMA 正向信道 .....                | 411 | 26.3.2 CDMA2000 系统的结构 .....           | 445 |
| 25.3.1 正向信道的组成 .....                | 411 | 26.3.3 CDMA2000 的主要接口 .....           | 445 |
| 25.3.2 正向控制信道 .....                 | 416 | 26.3.4 空中接口的分层结构 .....                | 446 |
| 25.3.3 正向 CDMA 业务信道 .....           | 418 | 26.3.5 CDMA2000 的信道分配 .....           | 447 |
| 25.4 CDMA 反向信道 .....                | 422 | 26.4 TD-SCDMA .....                   | 449 |
| 25.4.1 反向信道的组成 .....                | 422 | 26.4.1 TD-SCDMA 的特点及其<br>空中接口参数 ..... | 449 |
| 25.4.2 接入信道 .....                   | 425 | 26.4.2 TD-SCDMA 网络结构 .....            | 450 |
| 25.4.3 反向业务信道 .....                 | 427 | 26.4.3 系统信道 .....                     | 451 |
| 25.5 CDMA 系统功率控制 .....              | 428 | 26.5 WiMAX .....                      | 453 |
| 25.5.1 正向链路的功率控制 .....              | 428 | 26.5.1 WiMAX 标准 .....                 | 453 |
| 25.5.2 反向链路的功率控制 .....              | 429 | 26.5.2 WiMAX 技术特点 .....               | 454 |
| 25.6 CDMA 系统的切换 .....               | 430 | 26.5.3 WiMAX 网络架构 .....               | 454 |
| 25.7 CDMA 位置登记及呼叫处理 .....           | 432 | 26.5.4 网络接口 .....                     | 456 |
| 25.7.1 登记注册 .....                   | 432 | 本章小结 .....                            | 457 |
| 25.7.2 呼叫处理 .....                   | 434 | 习题与思考 .....                           | 458 |
| 本章小结 .....                          | 436 | <b>参考文献</b> .....                     | 459 |

# 第0章 概述

物联网(Internet of Things, IoT)是继互联网后出现的信息技术领域的一次重大发展,它的广泛应用将在未来的5~15年内解决与国民经济相关的重大问题,并将深刻改变人们的生活方式,为此,物联网会受到各国政府、企业和学术界的高度重视。目前,美国、欧盟、日本等国家和地区已将物联网提升到了信息化战略的高度,并推进其发展。

## 0.1 物联网框架结构

作为一个庞大、复杂和综合的信息集成系统,物联网的框架由三个层次构成,即信息的感知控制层、网络传输层和应用层,其基本结构如图0.1.1所示。

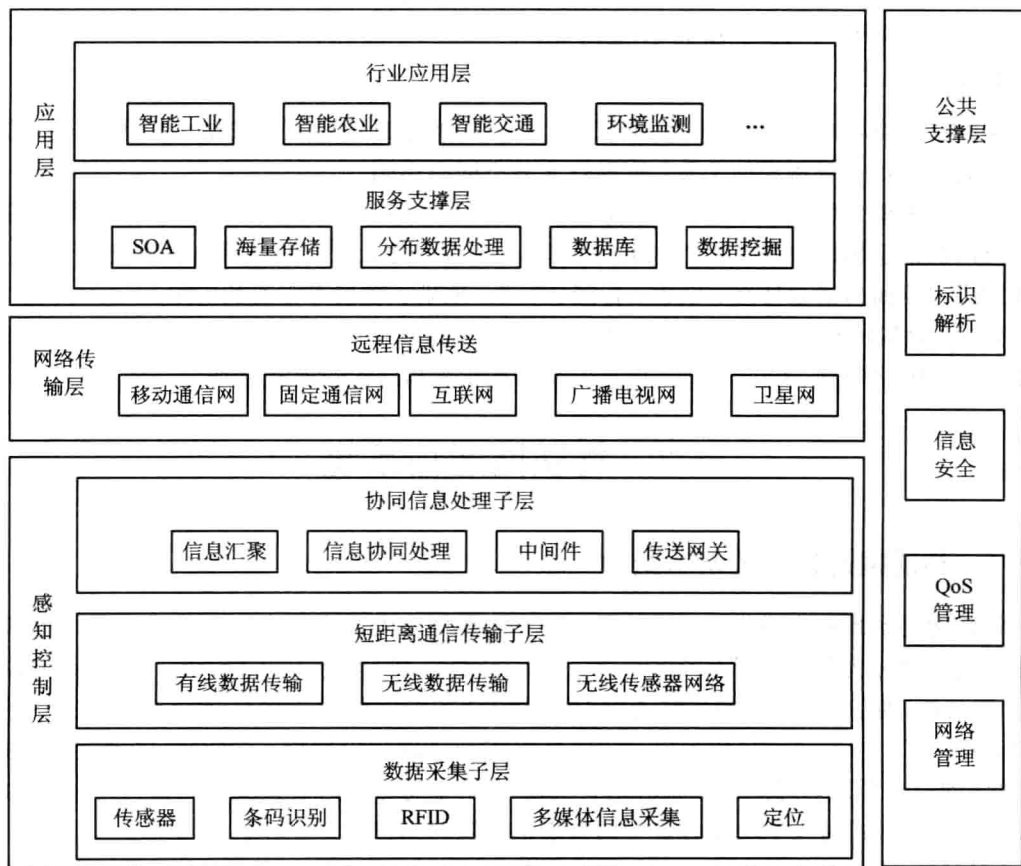


图 0.1.1 物联网框架结构

### 1. 感知控制层

感知控制层包含三个子层次，即数据采集子层、短距离通信传输子层和协同信息处理子层。

(1) 数据采集子层通过各种类型的感知设备获取现实世界中的物理信息，这些物理信息可以描述当前“物”属性和运动状态。感知设备的种类主要有各种传感器、RFID、多媒体信息采集装置、条码(一维、二维条码)识别装置和实时定位装置等。

(2) 短距离通信传输子层将局部范围内采集的信息汇聚到网络传输层的信息传送系统，该系统主要包括短距离有线数据传输系统、无线传输系统、无线传感器网络等。

(3) 协同信息处理子层将局部采集到的信息通过汇聚装置及协同处理系统进行数据汇聚处理，以降低信息的冗余度、提高信息的综合应用度、降低与传送网络层的通信负荷为目的。协同信息处理子层主要包括信息汇聚系统、信息协同处理系统、中间件系统及传送网关系统等。

### 2. 网络传输层

网络传输层将来自感知控制层的信息通过各种承载网络传送到应用层。各种承载网络包括了现有的各种公用通信网络、专业通信网络，目前这些通信网主要有移动通信网、固定通信网、互联网、广播电视网、卫星网等。

### 3. 应用层

应用层是物联网框架结构的最高层次，是“物”的信息综合应用的最终体现。“物”的信息综合应用与行业有密切的关系，依据行业的不同而不同。

应用层主要分为两个子层次，即服务支撑层和行业应用层。服务支撑层主要用于各种行业应用的信息协同、信息处理、信息共享、信息存储等，是一个公用的信息服务平台；行业应用层主要面向诸如环境、电力、智能、工业、农业、家居等方面的应用。

另外，物联网框架还应有公共支撑层，其作用是保障整个物联网安全、有效地运行，主要包括了网络管理、QoS管理、信息安全和标识解析等运行管理系统。

## 0.2 物联网通信系统

### 0.2.1 物联网通信系统基本结构

物联网是实现物理世界、虚拟世界、数字世界与人类社会间交互的技术手段。物联网通信模式主要分为“物与物”(Thing-to-thing)通信和“物与人”(Thing-to-person)通信。“物与物”通信，主要实现“物”与“物”在没有人工介入情况下的信息交互，如“物”能够监控其他“物”，当发生应急情况时，“物”能够主动采取相应措施。“M2M”技术就是“物与物”通信的一种形式。“物与人”通信主要实现“物”与人之间的信息交互，如人对“物”的远程控制，或者“物”向人主动报告自身的状态信息和感知信息。

在物联网中，通信系统的主要作用是将信息安全可靠地传送到目的地，由于物联网具有异构性的特点，就使得物联网所采用的通信方式和通信系统也具有异构性和复杂性。

在信息传输方面，物联网虽然采用的是以数据为主的通信手段，但在承载平台上却采

用了不同模式的有线、无线通信方式；在所采用的通信协议方面，网络传送层采用了基于IP的通信协议，但在感知控制层却采用了多种通信协议，如X.25协议、基于工业总线的接口和协议、ZigBee等。因此，可以说物联网的感知控制层的通信方式最为复杂。

按照物联网的框架结构，物联网的通信系统可大体分为两大类，即感知控制层通信和网络层传输通信。其基本结构如图0.2.1所示。

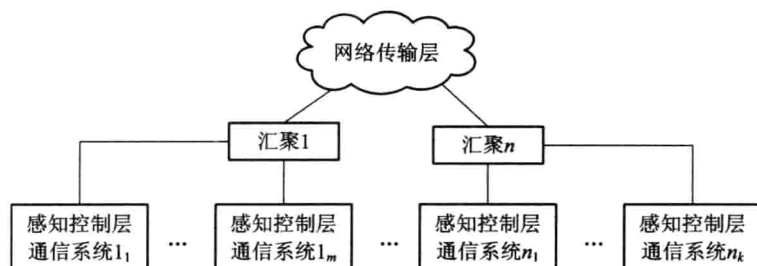


图 0.2.1 物联网通信系统结构

在图0.2.1中，感知控制层通信系统表示感知控制设备所具有的通信能力。一般情况下，若干个感知控制设备负责某一区域，整个物联网可划分为众多个感知控制区域，每个区域都通过一个汇聚设备接入到互联网中，即接入到网络传输层。

对于物联网的网络传输层，其通信系统主要是为了支持互联网而构成的数据业务传送系统，一般由公众通信网络及专用通信网络构成，主要功能是保证互联网的有效运行。

## 0.2.2 感知控制层与网络传输层通信系统

### 1. 感知控制层通信系统

感知控制层的通信目的是将各种传感设备(或数据采集设备以及相关的控制设备)所感知的信息在较短的通信距离内传送到信息汇聚系统，并由该系统传送(或互联)到网络传输层。其通信的特点是传输距离近，传输方式灵活、多样。

感知控制层通信系统所采用的技术主要分为短距离有线通信、短距离无线通信和无线传感器网络。

感知控制层的短距离有线通信系统主要是由各种串行数据通信系统构成的，目前采用的技术有RS-232/485、USB、CAN工业总线及各种串行数据通信系统。

感知控制层的短距离无线通信系统主要由各种低功率、中高频无线数据传输系统构成，目前主要采用蓝牙、红外、超宽带、无线局域网、GSM、3G等技术来完成短距离无线通信任务。

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是一种部署在感知区域内的大量的微型传感器节点通过无线传输方式形成的一个多跳的自组织系统。它是一种网络规模大、自组织、多跳路由、动态拓扑、可靠性高、以数据为中心、能量受限的通信网络，是“狭义”上的物联网，也是物联网的核心技术之一。

### 2. 网络传输层通信系统

网络传输层是由数据通信主机(或服务器)、网络交换机、路由器等构成的，在数据传

送网络支撑下的计算机通信系统，其基本结构如图 0.2.2 所示。

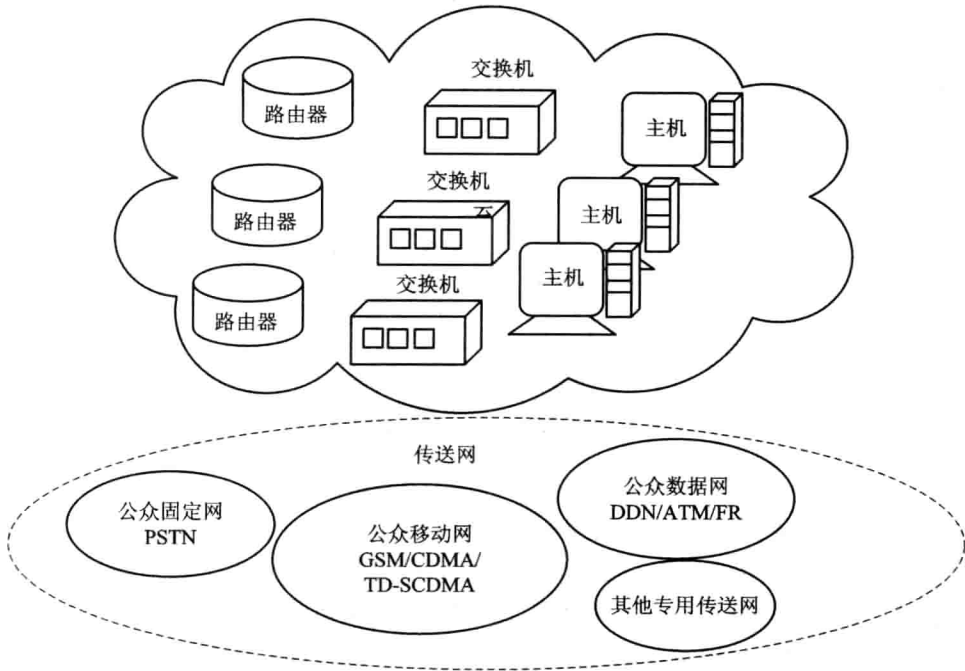


图 0.2.2 网络传输层通信系统结构

网络传输层通信系统中支持计算机通信系统的数据传送网可由公众固定网、公众移动通信网、公众数据网及其他专用传送网构成。目前的公众固定网、公众移动网及公众数据网主要有 PSTN(Public Switched Telephone Network, 公众电话交换网)、GSM(Global System for Mobile Communications, 全球移动通信系统)、CDMA(Code Division Multiple Access, 码分多址)、TD-SCDMA(Time Division Synchronous Code Division Multiple Access, 时分同步码分多址)、DDN(Digital Data Network, 数字数据网)、ATM(Asynchronous Transfer Mode, 异步传输模式)、FR(Frame-Relay, 帧中继)等, 它们为物联网的网络层提供了数据传送平台。

利用公众移动网和其他专用传送网构成的数据传送平台是物联网网络传输层的基础设施, 主机、网络交换机及路由器等构成的计算机网络系统是物联网网络传输层的功能设施, 不仅为物联网提供了各种信息存储、信息传送、信息处理等基础服务, 还为物联网的综合应用层提供了信息承载平台, 保障了物联网各专业领域的应用。

### 0.2.3 物联网通信技术的发展

物联网作为一种新兴的信息技术, 是在现有的信息技术、通信技术、自动化控制技术等基础上的融合与创新。现阶段对物联网的研究, 不论从理论方面, 还是从实践方面, 均处于起步阶段, 而物联网通信技术更是如此。就目前而言, 尚不能较清楚地看到物联网通信技术发展的趋势, 但可以从目前的研究方向看出端倪。目前, 物联网通信技术主要研究的方向有以下几个方面。



### 1. 物联网扩频通信和频谱分配问题

无线通信是利用一定频段的电磁波来传输信息的。理论上,在一定区域范围内,传输信息的电磁波的频段是不能重叠的,如重叠则会形成电磁波干扰,从而影响通信质量。采用扩频技术,则可以通过重叠的频段来传输信息,但这要求扩频所采用的 PN(Pseudorandom Noise, 伪随机噪声)码之间要相互正交或跳频、跳时调度图之间不能相一致(或相似),这就需要研究扩频通信的技术及规则,使得大量部署的以扩频通信为无线传输方式的无线传感器网络之间的通信不因受到干扰而影响通信质量。

另外,还需要研究频谱分配的技术,在充分利用时分、空分或时分+空分技术的基础上根据智能天线技术的原理,开发出合理、有效、成本低廉、体积微小的无线通信装置,以满足大量部署无线传感器网络对频谱资源的需求。

### 2. 基于软件无线电和认知无线电的物联网通信体系架构

物联网感知控制层内的终端具有多种接入网络层的通信方式,由于无线通信具有任何地点、任何时间都可接入并能进行通信的特点,因此无线通信方式是物联网终端接入网络层的首选。但随着终端数量的增多,随之而来的是需要大量的频段资源以满足接入网络的需求,另外,无线通信方式也随着通信技术的发展而不断进步,因此,需要研究能满足物联网不断发展的无线通信方式。由于软件无线电具有统一的硬件平台、多样化软件调制方式和传输模式的特点,因此,它可以满足未来不断发展的无线通信模式变化的需求,而且成本低廉、升级方便。

为了解决无线频段资源的紧张问题,认知无线电技术是解决该问题的一个关键技术。认知无线电技术可以识别利用率低的无线频段,并将这些无线频段给予回收,统一管理、优化分配,以解决无线频段资源紧张的难题。

### 3. 物联网中的异构网络融合

物联网终端具有多样性,其通信协议多样,数据传送的方式多样,并且它们分别接入不同的通信网络,这就造成了需要大量的汇聚中间件系统来进行转换,即形成接入的异构性,尤其在以无线通信方式为首选的物联网终端接入中,该问题尤为突出。

多个无线接入环境的异构性体现在以下几个方面:

(1) 无线接入技术的异构性。它们的无线传输机制不同,覆盖的范围不同,可以获得的传输速率不同,提供的 QoS 不同,面向的业务和应用不同。

(2) 组网方式的异构性。除了经由基站接入的单跳式无线网络以外,还有多跳式的无线自组织网和网形网,它们的网络控制方式不同,有依赖于基础设施的集中控制,也有灵活的分布式协同控制。

(3) 终端的异构性。由于业务应用的多样性以及信息通信技术的不断提升,终端已从手机扩展到便携式电脑、各种类型的信息终端、娱乐终端、移动办公终端、嵌入式终端等,不同的终端具有不同的接入能力、移动能力和业务能力。

(4) 频谱资源的异构性。由于不同频段的传输特性不同,适用于各种频段的无线技术也不同,并且不同地区频谱规划方式也有显著区别。

(5) 运营管理的异构性。不同的运营商基于开发的业务以及用户群不同,将会设计出不同的管理策略和资费策略。