

面向认知物联网的 自律协同管理机制

郑瑞娟 著



科学出版社

面向认知物联网的 自律协同管理机制

郑瑞娟 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从全新的角度研究认知物联网的自律协同管理机制,提出基于自律计算的认知物联网安全态势感知模型、感知策略;提出基于云模型的认知物联网安全态势评估方法;提出基于哈希编码的名字查询方法;提出基于合作博弈的认知物联网 QoS 路由算法;提出基于信誉模型的认知物联网非均匀分簇路由算法;提出基于信誉的认知物联网多域协作动态激励机制;提出物联网系统安全配置的自主协同调节策略。

本书可以作为计算机科学与技术、物联网、信息安全等专业硕士研究生、博士研究生的专业课教材,也可作为从事物联网、信息安全等研究领域的科技人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

面向认知物联网的自律协同管理机制 / 郑瑞娟著. —北京: 科学出版社, 2017.8

ISBN 978-7-03-054121-5

I. ①面… II. ①郑… III. ①互联网络—应用 ②智能技术—应用
IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第191377号

责任编辑: 孙伯元 / 责任校对: 孙婷婷
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年8月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2017年8月第一次印刷 印张: 16 3/4

字数: 336 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

作为推动大数据应用迅猛发展的超大规模网络，物联网已经在生态保护、智能家居、食品安全、节能减排和物流运输等现代智慧服务领域得到广泛应用。随着物联网应用类型的不断增加和信息量的剧烈膨胀，用户对物联网海量、异质信息的高效访问需求也在同步提升。因此，过多依赖人工干预的物联网管理技术已无法适应当前的实际需求，如何提高其自主认知和自律管理能力，成为该领域的重点和难点问题。可见，物联网智慧特性成为决定其自身和拓展领域发展的关键属性，强调自主认知能力的认知物联网为该问题的解决开辟了新的思路。

认知物联网的自律管理将在现有的物联网管理方法中加入智慧元素，促使物联网从“感知”走向“认知”，利用节点间的群体协作完成共同的任务目标，以实现其智慧性、分布性和鲁棒性等特点，最终使物联网能够根据动态的需求变化，自适应地优化配置，提高物联网的整体性能。

本书在对当前认知物联网体系结构和自我管理技术进行探讨和研究的基础上，将现有网络应用技术中优秀的理论知识与自我管理问题做结合，尝试解决现有认知物联网管理理论及技术存在的不足，在认知物联网的自律管理研究方面做出新的尝试。本书研究的创新点和主要贡献总结如下：

(1) 借鉴自律计算的思想，提出一个基于自律计算的认知物联网安全态势感知模型，能够实时地对系统的内外环境进行监视，动态适应复杂环境和指导未来的自主决策，实现对攻击行为的主动防御。

(2) 提出一种基于自律计算的认知物联网安全事件感知模型，给出设计思想、实现过程及相关模型。采用 PCA 方法的特征提取，大大减少网络训练时间，提高了事件感知的准确率。

(3) 提出一种基于云模型的认知物联网多属性安全风险综合评估方法。采用一维云模型对单个安全事件进行属性概化，得到多维属性云；针对物联网各级安全评语建立其对应的多维评判云，通过相似度计算得出评估结果。

(4) 将云理论引入到认知物联网安全态势评估中，提出一种基于云重心评判的认知物联网安全态势评估方法，该方法通过云重心向量的变化来反映认知物联网系统安全状态的变化，采用加权偏离度判定认知物联网安全态势级别。

(5) 为了提高对数据名字的检索效率，分别提出一种基于哈希编码的名字查询方法和 BCT 名字查找算法，以实现信息名字的快速查询和更新，分别从名字压缩效率、名字查询速率以及更新速率等方面进行优化。

(6) 提出一种基于合作博弈的认知物联网 QoS 路由算法, 依据 QoS 需求加入不同路径的收益情况和相应的失效处理以及路由删除策略, 算法在高业务量下的时延、丢包率以及能耗上表现突出, 拥有更低的能量消耗。

(7) 提出一种基于信誉模型的认知物联网非均匀分簇路由算法。采用非均匀分簇方法, 引入信誉机制减少正常节点与自私节点通信造成的能量浪费, 有效增加网络的可靠性, 优化簇首节点的选择。

(8) 提出一种基于 Stackelberg 博弈的认知物联网节点择簇算法。综合考虑簇首节点的虚拟信誉价格和准备择簇节点的通信服务需求, 使用多主从 Stackelberg 博弈方法分析簇首节点和普通入簇节点之间的交互关系, 使网络系统达到子博弈完美纳什均衡。

(9) 提出基于信誉的认知物联网多域协作动态激励机制, 建立相关模型。完善节点信誉评估的方法, 并通过多域协作的思想, 实现节点跨自治域的信誉评估, 加强节点信誉评估的客观性和准确性, 最后根据计算出的节点信誉值对节点实施激励转发策略, 保证网络的利用效率, 提高路由传输效率。

(10) 将自律计算的簇用户协作理念融入系统自主优化的过程, 分别采用线性规划和多维无约束最优化方法研究并仿真一种物联网系统安全配置的自主协同调节策略。在层内调节机制的基础上, 引入多维无约束最优化理论, 建立系统跨层配置机制和跨层配置调度策略数学模型。在各层局部配置调节寻优的同时, 完成系统配置的统一协调, 提出系统整体配置调节算法, 在提升局部和全局的优化效果的同时保持较小的优化代价。

在撰写本书的过程中, 得到了河南科技大学的吴庆涛教授、张明川副教授、哈尔滨工程大学的王慧强教授、河南科技大学的普杰信教授、杨春蕾老师和云计算信息安全研究室的陈京、闫金荣、杨丽、杜娟同学的支持与帮助, 在这里一并表示感谢。

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 物联网发展历程	1
1.2 物联网体系架构	2
1.3 物联网关键技术	4
1.3.1 信息感知层关键技术	5
1.3.2 物联网接入层关键技术	5
1.3.3 网络传输层关键技术	5
1.3.4 智能处理层关键技术	6
1.3.5 应用接口层关键技术	7
1.4 物联网发展前景	7
1.5 物联网面临的挑战	8
1.6 小结	10
参考文献	10
第2章 自律计算概述	12
2.1 自律计算的基本概念	12
2.2 自律计算策略	13
2.3 自律计算现状	15
2.4 自律计算应用	16
2.4.1 自律计算与态势感知	16
2.4.2 自律计算与系统优化	20
2.4.3 自律计算与风险评估	21
2.4.4 自律计算与系统配置	23
2.5 小结	25
参考文献	26
第3章 认知物联网概述	29
3.1 认知物联网的起源	29
3.2 认知物联网模型	30
3.2.1 基础概念	30
3.2.2 邻居关系矩阵	31
3.2.3 网络性能目标	32

3.2.4 网络容量与网络负载	32
3.3 认知过程设计	33
3.3.1 三维认知网络结构	33
3.3.2 三层认知环	35
3.3.3 异构性与协作性	36
3.4 认知物联网的特点	39
3.5 认知物联网的研究现状	40
3.6 认知物联网的发展趋势	42
3.7 小结	43
参考文献	43
第4章 认知物联网自律感知模型	45
4.1 概述	45
4.2 认知物联网安全态势感知概述	45
4.3 物联网安全态势感知相关理论	46
4.3.1 安全态势要素	46
4.3.2 安全态势评估	47
4.3.3 安全态势预测	49
4.4 物联网安全态势感知典型模型	50
4.4.1 JDL 功能结构框架模型	50
4.4.2 Endsley 态势感知模型	51
4.4.3 Tim 安全融合模型	51
4.4.4 NSAS 通用框架模型	52
4.5 认知物联网态势自主感知模型	53
4.5.1 Agent 协同层	55
4.5.2 传感器和效应器	55
4.5.3 自律管理器	57
4.6 态势提取	57
4.6.1 数据预处理	58
4.6.2 数据融合	59
4.7 自主响应	62
4.7.1 实时攻击与评估	62
4.7.2 自主响应与决策	64
4.8 仿真实验及性能分析	66
4.8.1 实验方案及过程	66
4.8.2 实验结果与分析	66
4.9 小结	69
参考文献	69

第 5 章 认知物联网自律感知策略	71
5.1 概述	71
5.2 相关工作	71
5.3 策略框架	72
5.4 特征提取	75
5.4.1 基于 PCA 的特征提取	75
5.4.2 选取主成分	76
5.5 基于神经网络的安全事件感知算法	77
5.5.1 神经网络基本理论	77
5.5.2 LM 优化的神经网络	79
5.5.3 风险事件感知流程	81
5.6 仿真实验结果与分析	81
5.6.1 基本配置	81
5.6.2 性能分析	82
5.7 小结	85
参考文献	85
第 6 章 认知物联网自主评估模型	87
6.1 概述	87
6.2 物联网安全评估概述	87
6.2.1 认知物联网安全评估指标	87
6.2.2 认知物联网安全评估内容	88
6.3 物联网安全风险评估的常用方法	89
6.3.1 定量分析法	89
6.3.2 定性分析法	89
6.3.3 综合分析法	90
6.4 物联网安全评估模型	91
6.5 事件检测方法	93
6.6 云模型相关理论	94
6.6.1 一维正态云	94
6.6.2 多维正态云	95
6.6.3 云模型的数字特征	96
6.6.4 云发生器算法	97
6.6.5 多维云发生器算法	99
6.7 基于多维云的认知物联网安全风险评估模型	99
6.7.1 风险级别和评估属性概化	100
6.7.2 多维评判云模型	101

6.7.3 基于云模型的关联规则	101
6.7.4 基于多维云的综合风险评估	102
6.8 仿真实验结果与分析	104
6.8.1 实验过程	104
6.8.2 实验结果	106
6.9 小结	108
参考文献	109
第7章 认知物联网自主评估方法	111
7.1 概述	111
7.2 云重心综合评估方法	112
7.3 基于云重心的自主评估方法	112
7.4 基于 GA-BPNN 的态势预测	115
7.4.1 态势预测的 BPNN 结构	116
7.4.2 改进的 GA 优化 BPNN 态势预测模型	117
7.5 仿真实验	118
7.5.1 态势评估	118
7.5.2 态势预测	121
7.6 小结	122
参考文献	122
第8章 认知物联网资源自适应查找方法	123
8.1 概述	123
8.2 网络信息命名及解析研究现状	124
8.3 IP 地址查找相关技术	127
8.3.1 快速查找技术	127
8.3.2 高效更新技术	128
8.3.3 存储压缩技术	129
8.3.4 树比特位图	130
8.4 数据名查找方法	132
8.4.1 数据包转发过程	132
8.4.2 名字查找技术	133
8.4.3 基于哈希函数的数据名查找	134
8.4.4 数据名的分层编码技术	136
8.4.5 基于特里树的名字查找	137
8.4.6 名字并行查找方法	138
8.5 问题分析	140
8.6 基于哈希编码的名字查找方法	142

8.6.1 元素哈希编码	143
8.6.2 状态转换阵列	145
8.6.3 阵列生成算法	146
8.6.4 实验与性能分析	148
8.7 基于树比特位图的认知物联网高效名字查找方法	150
8.7.1 BCT 节点	151
8.7.2 BCT 构建	151
8.7.3 BCT 数据名查找	154
8.7.4 BCT 更新算法	155
8.7.5 实验性能与分析	156
8.8 小结	159
参考文献	159
第 9 章 基于合作博弈的认知物联网资源自主配置方法	162
9.1 概述	162
9.2 自组织路由技术概述	162
9.3 认知物联网自组织路由相关理论	164
9.3.1 认知物联网的路由认知过程	164
9.3.2 认知物联网路由决策模型	165
9.4 自组织路由相关算法	166
9.5 问题分析	169
9.6 相关理论	171
9.6.1 认知物联网拓扑结构	171
9.6.2 认知物联网 QoS 参数	171
9.6.3 合作博弈理论	173
9.7 路径 QoS 评价及收益计算	174
9.7.1 路径 QoS 评价	174
9.7.2 收益计算	175
9.8 基于合作博弈的认知物联网 QoS 路由算法	175
9.8.1 邻居节点信息收集	175
9.8.2 路由发现	176
9.8.3 路由失效处理	177
9.8.4 路由删除	179
9.9 仿真实验及结果分析	179
9.9.1 仿真工具介绍	179
9.9.2 场景设置	180
9.9.3 仿真结果	180
9.10 小结	188

参考文献	188
第 10 章 认知物联网非均匀分簇路由自主配置方法	190
10.1 概述	190
10.2 相关理论	191
10.2.1 认知物联网模型	191
10.2.2 能耗模型	192
10.2.3 信誉模型	193
10.3 信誉评估及信誉值计算	193
10.3.1 直接信誉	194
10.3.2 相对信誉	194
10.3.3 信誉值计算	195
10.4 基于信誉的认知物联网非均匀分簇路由算法	195
10.4.1 簇首的竞争半径	195
10.4.2 簇首的竞争权值	195
10.4.3 入簇的竞争函数	196
10.5 仿真实验及结果分析	197
10.5.1 仿真工具介绍	197
10.5.2 场景设置	197
10.5.3 仿真结果	197
10.6 基于 Stackelberg 博弈的认知物联网节点择簇方法	200
10.6.1 问题引入	200
10.6.2 相关理论	201
10.6.3 基于 Stackelberg 博弈的认知物联网节点入簇算法	203
10.6.4 仿真实验及性能分析	208
10.7 小结	211
参考文献	211
第 11 章 认知物联网动态激励机制	213
11.1 概述	213
11.2 传统信誉管理模型	214
11.3 基于信誉的认知物联网多域协作动态激励机制	215
11.3.1 邻居节点监听	215
11.3.2 节点信誉计算	216
11.3.3 节点收支计算	217
11.3.4 动态响应激励	218
11.3.5 多域协作机制	218
11.4 仿真实验及性能分析	219
11.4.1 仿真设置	219

11.4.2 性能分析	220
11.5 小结	223
参考文献	223
第 12 章 认知物联网自主调节策略	225
12.1 概述	225
12.2 相关工作	226
12.3 策略分析与建模	227
12.3.1 问题分析	227
12.3.2 安全指标提取	229
12.3.3 优化模型	230
12.3.4 簇用户协作	231
12.4 最优资源配置	232
12.4.1 要素抽取及描述	232
12.4.2 局部优化	234
12.4.3 感知层局部优化	235
12.4.4 网络层局部优化	239
12.4.5 业务层局部优化	239
12.4.6 全局调节算法	240
12.5 仿真实验	244
12.5.1 层内优化数学模型	244
12.5.2 各层安全要素初始值	250
12.5.3 层内优化计算与测试	251
12.5.4 全局优化计算与分析	254
12.6 小结	255
参考文献	255

第 1 章 绪 论

1.1 物联网发展历程

物联网(internet of things, IoT)概念最早是由美国麻省理工学院于 1999 年建立的自动识别中心(Auto-ID Center)提出的,他们最初定义物联网为:使用传感、定位、无线通信等技术,以计算机网络为依托构造的一种可以连接全球各个角落所有物品的网络,从而保证自动识别物品并进行信息的交流共享^[1]。2005 年,国际电信联盟正式提出物联网这一概念,并随后发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》(以下简称报告),在报告中指出物联网的特点、用到的关键技术、需要解决的问题等。报告中将射频识别(radio frequency identification, RFID)以及智能计算等技术应用于网络中作为其关键技术,使网络由传统的连接到人转为物品的连接,宣告了物联网时代的到来。2009 年,IBM 公司提出智慧地球(smart planet)^[2]的概念,指出信息技术产业之后的发展方向转到传统行业,如电网、铁路、建筑等行业,在这些传统行业中添加新的科学技术,为传统行业增添新的色彩。该构想被奥巴马高度认可并在全世界引起巨大反响,各个国家纷纷开启了对物联网研究的战略部署。2010 年,欧洲智能系统集成技术平台 EPoSS 在其研究报告^[3]中估测了物联网未来十年的发展进度,并预测在十年后物联网将被广泛应用,达到广泛的物品互联,体现出网络充分的智慧性。在各个国家争相发展物联网之际,我国抓住了这个机遇,建立起本国的物联网产业,制定物联网标准、规范,并通过物联网的发展成为全世界智慧产业的中流砥柱。

物联网将物理空间和信息空间融合在一起,提供一种前所未有的数据采集模式,实现了一种物品之间、物品与人之间、人与社会之间的智能、高效的信息交流、处理方式,因此得到业内学者的青睐与追捧。

虽然物联网发展至今已近二十年,许多学者都对物联网进行了定义,但世界学者没有给物联网一个明确、标准的定义,目前大家常用的定义是:“物联网将不同的传感设备,如 RFID、全球定位系统(global position system, GPS)等融入互联网中形成一个庞大、泛在的网络,能够智能地识别物品的状态,实现物品的控制与管理。”广大学者总结出物联网具备三个特性:全面感知、可靠传输、智能处理。全面感知指物联网借助各种不同的感知设备对物品的类别、功能状态进行感知、识别。可靠传输是根据感知到的环境状态、网络通信目标等信息,选择合适的通信渠道,将感知到的信息有序、准确地传递到目的端。智能处理是通过各种智能计算

将收到的感知信息进行处理、分析,实现对物品的智慧决策和有效控制^[2]。

关于物联网的定义及体系结构,已有许多研究成果。意大利帕多瓦大学提出一种物联网体系结构,其针对学校应用环境,能够提供环境监视和用户定位服务,该体系结构具有一定的鲁棒性和易扩展性^[4]。文献[5]面向物联网的基本单元和泛在网络,采用神经网络和社会组织网络理论进行建模,实现对物联网结构较为精确的描述。文献[6]给出一种时钟同步的三层物联网体系结构:调节层负责解决物联网的调节问题,组织层负责管理时钟同步系统,区域层负责确保时钟的准确性和安全性。文献[7]利用网络的局部拓扑信息,分析推测全局网络拓扑的物联网定位方法,该方法能够有效地实现物联网定位,具有较高的准确性和稳定性。文献[8]在资源寻址模型上加以改进,提出一种物联网寻址层次通用模型,为物联网寻址方法提供了理论基础。文献[9]提出一个物联网的概念模型,该模型融合虚拟网络与现实世界,综合考虑物品、网络、应用三个方面,进而提出一种物联网体系结构,并详细分析了各层的功能及其关键技术。

以上针对物联网体系结构研究取得的成果,为物联网体系结构标准的提出奠定了基础。随着研究的深入,物联网各层的功能、服务特性也逐渐清晰,物联网对智慧性的需求促使物联网中认知元素的加入,由此形成了更具备智慧性的认知物联网。认知物联网在物联网的基础上,增加自感知、自决策、自学习、自优化、自调节等智慧特性,使网络中的节点能够感知网络状态,根据网络的性能目标进行路由决策,并通过历史决策信息以及节点间的协作共享进行学习、优化,进一步调节自身配置,从而逐步提升物联网的整体性能,实现物联网的智慧化。通俗地讲,就是物联网能够自主进行观察、思考、学习、决策和行动,实现网络性能的最大化。

1.2 物联网体系架构

体系架构不仅是一个关键问题,而且是未来物联网发展的基础。没有确定的架构,许多重要的内容也不能确定^[5]。所以,体系架构是指导具体系统设计的首要前提。物联网应用广泛,系统规划和设计也因角度的不同而产生不同的结果,因此急需建立一个具有框架作用的体系架构。另外,随着应用需求的不断发展,各种新技术将逐渐纳入物联网体系中,体系架构的设计也将决定物联网的技术细节、应用模式和发展趋势^[10]。

物联网主要解决物品到物品、人到物品、人到人与人之间的互联,使物体也拥有智慧^[11]。物联网的特征在于感知、互联和智能的叠加,以此来构建信息社会的概貌。由于物联网感知环节具有很强的异构性,为了实现异构信息之间的互联、互通与互操作,未来的物联网需以开放、分层、可扩展的网络体系结构为框架^[9]。

目前,国内大部分研究人员采用 USN(ubiquitous sensor network)高层架构作为基础,如图 1.1 所示。该架构自下而上被分为底层传感器网络、泛在传感器网络接入网络、泛在传感器网络基础骨干网络、泛在传感器网络中间件、泛在传感器网络应用平台五个层次^[12]。

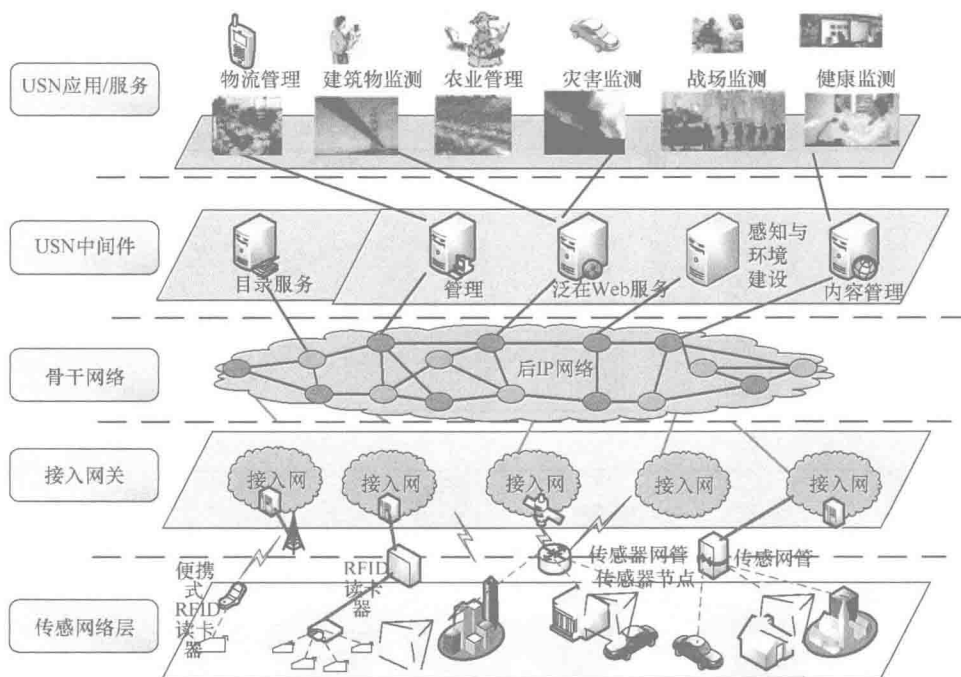


图 1.1 USN 架构

USN 分层框架依托 NGN(next generation network)架构,用户获取的服务主要由各种传感器网络在最靠近用户的地方组成的无所不在的网络环境提供。NGN 是为 USN 提供服务的核心技术设施。它的主要不足是没有对物联网进行研究,而是将人与人、人与物、物与物之间的通信作为泛在网络的一个重要功能,统一接入泛在网络的研究体系。因此应考虑在 NGN 的基础上,增加网络能力,实现人与物、物与物之间的泛在通信,扩大和增加对广大公众用户的服务。

物联网的价值在于它的智慧。在物联网体系架构的研究过程中,业界物联网体系架构是三层架构(感知层、网络层、应用层),如图 1.2 所示。感知部分,即以二维码、RFID、传感器为主,实现对物的识别,将任何事物都连接到全球网络中,向全球网络提供各种信息,并与全球用户共享信息。网络层的主要功能是可靠传输,即通过各种网络融合、业务融合、终端融合、运营管理融合,将物体的信息实时准确地传递出去。应用层的关键技术是智能处理,即利用云计算、数据挖掘、

中间件等技术实现对物品的自动控制与智能管理等^[13]。该架构类似于 M2M(machine-to-machine)架构, 可以看作 USN 架构的简化版。

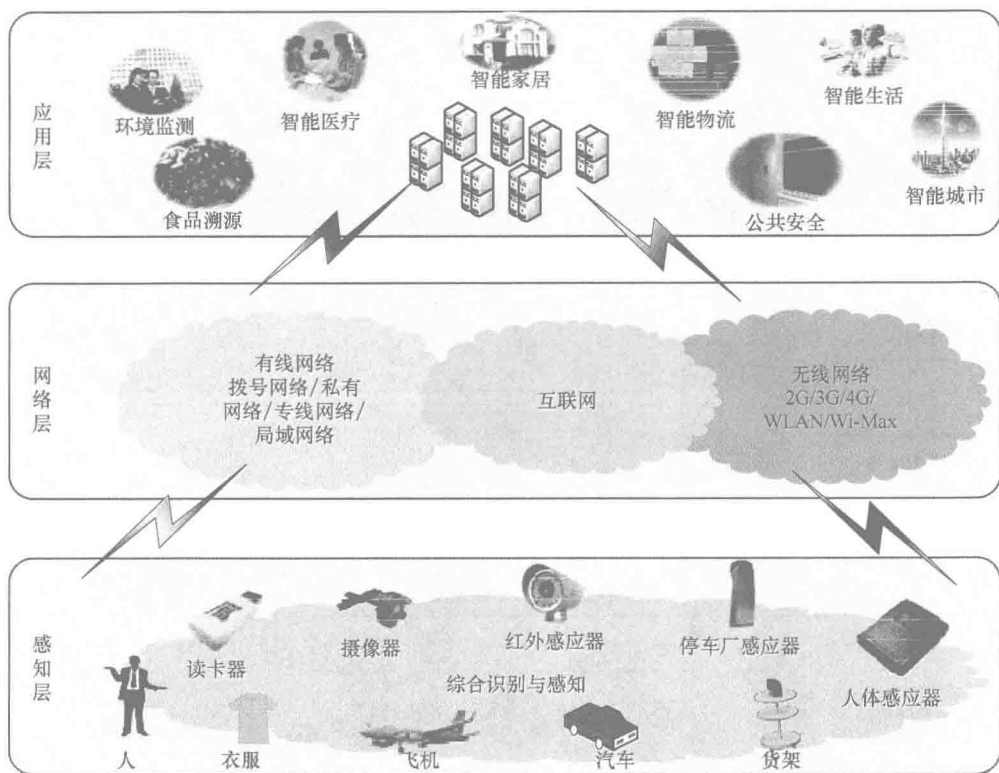


图 1.2 物联网体系架构^[13]

物联网感知层解决人类世界和物理世界的获取问题, 一般包括数据采集和数据短距离传输。感知层处于三层架构的最底层, 是物联网发展和应用的基础, 具有物联网全面感知的核心能力。物联网网络层是在现有网络的基础上建立的, 主要承担数据传输的功能。物联网要求网络层能够把感知层感知到的数据无障碍、高可靠性、高安全性地进行传送^[13]。物联网应用层的主要功能是为用户提供丰富多彩的业务体验。

1.3 物联网关键技术

物联网的体系架构主要有两种: 五层架构、三层架构。五层架构主要包括信息感知层、物联网接入层、网络传输层、智能处理层、应用接口层。三层架构主要包括感知层、网络层、应用层。在具体功能上, 三层体系架构可以看作五

层体系架构的简化版本。本节将立足五层体系架构讨论物联网的关键技术。

1.3.1 信息感知层关键技术

信息感知层主要依靠各类传感器对互联网中物体的属性、状态、态势等进行实时监控和管理。

(1) 电子标签。作为物联网的核心技术之一, RFID 在物联网开发中发挥着至关重要的作用^[14]。RFID 技术具有操作方便快捷、全天候、无磨损、识别能力强等特点, 将它与互联网和通信技术结合, 可实现全球范围内的物品跟踪与信息共享。该技术在物联网识别信息和近程通信的层面中起着关键的作用。产品电子代码(electronic product code, EPC)采用 RFID 电子标签作为载体, 大大推动了物联网发展和应用^[15]。

(2) 传感技术。物联网的基础是信息采集。物联网虽然是物物互联, 但是其基础还是互联网, 所以传感器网络是物联网的核心。传感器网络通过动态自组织方式, 协同感知并采集覆盖区域内对象和事件的信息^[16]。以互联网通信为核心, 依靠传感器、RFID、红外感应器、智能 IC 卡、GPS、无线通信装置等信息传感和通信设备, 按约定的协议, 实现对接入互联网的物体进行监控和管理^[17]。所以, 传感器是连接物理实体与虚拟世界的关键。传感器技术应该在感受、拾取信息的能力及传感器智能化、网络化这两方面实现发展与突破。传感器性能的好坏会直接影响到整个网络是否正常运转以及功能是否健全。

1.3.2 物联网接入层关键技术

物联网接入层的主要任务是将信息感知层采集到的信息, 通过各种网络技术进行汇总, 将大范围内的信息整合到一起, 以供处理^[9]。在多模移动终端中, 虽然无线低速网络、移动通信网络和 M2M 技术发展为实现泛在的异构介质的感知和垂直切换提供了有效的技术手段, 但为了适应网络中能力较低节点的低能量、低速率、低计算能力指标要求, 将各类物体连接在一起后, 通过低速网络协议实现互联互通, 实现智能化和交互式无缝连接, 必须考虑终端设备接入不同网络的异质性, 重点研究各类接入方式, 如多跳移动无线网络(Ad Hoc)、传感器网络、Wi-Fi、3G/4G、Mesh 网络、Wi-Max、有线或者卫星等方式^[18]。

1.3.3 网络传输层关键技术

网络传输层的主要功能是将海量的信息整合成一个大型的智能网络, 为上层建立起一个高效可靠的基础设施平台。

(1) IPv6 协议栈。IPv6 作为下一代 IP 协议, 具有丰富的地址资源, 支持动态路由机制^[9]。不仅解决了 IPv4 网址资源的限制, 提高了网络的整体吞吐量、服务