



中国计算机学会学术著作丛书

移动群智 感知网络

马华东 赵东 著



清华大学出版社



中国计算机学会学术著作丛书

移动群智 感知网络

马华东 赵东 著

清华大学出版社
北京

内 容 提 要

移动群智感知是一种利用普适移动设备有效地收集数据,从而提供各种新颖物联网应用的新模式,具有组网成本低、系统维护易、服务灵活性强的特点,大大提高了物联网的应用效率。本书是作者近年来在移动群智感知网络领域科研工作的总结,内容组织上以移动群智感知网络对物联网应用的支撑为视角,全面系统地介绍了移动群智感知网络的基本概念、基本原理、关键技术和典型应用。主要内容包括移动群智感知网络数据收集、感知质量、数据传输、激励机制、安全与隐私保护、典型应用系统,并展望了物联网感知技术发展前景。

本书面向从事物联网相关领域特别是对移动群智感知网络感兴趣的读者,也可作为高等学校计算机和电子信息类专业高年级本科生的扩展阅读材料以及研究生的专业课程教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

移动群智感知网络/马华东,赵东著. —北京:清华大学出版社,2019

(中国计算机学会学术著作丛书)

ISBN 978-7-302-52018-4

I. ①移… II. ①马… ②赵… 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(2019)第 006614 号

责任编辑:张瑞庆

封面设计:何凤霞

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm 印 张:14

版 次:2019年2月第1版

定 价:59.00元

字 印 次:2019年2月第1次印刷



产品编号:070622-01

评审委员会

中国计算机学会学术著作丛书

丨 名誉主任委员: 张效祥

丨 主任委员: 唐泽圣

丨 副主任委员: 陆汝铃

丨 委员: (以姓氏笔画为序)

王 珊 吕 建 李晓明

林惠民 罗军舟 郑纬民

施伯乐 焦金生 谭铁牛

序

Preface

第

一台电子计算机诞生于 20 世纪 40 年代。到目前为止,计算机的发展已远远超出了其创始者的想象。计算机的处理能力越来越强,应用面越来越广,应用领域也从单纯的科学计算渗透到社会生活的方方面面:从工业、国防、医疗、教育、娱乐直至人们的日常生活,计算机的影响可谓无处不在。

计算机之所以能取得上述地位并成为全球最具活力的产业,原因在于其高速的计算能力、庞大的存储能力以及友好、灵活的用户界面。而这些新技术及其应用有赖于研究人员多年不懈的努力。学术研究是应用研究的基础,也是技术发展的动力。

自 1992 年起,清华大学出版社与广西科学技术出版社为促进我国计算机科学技术与产业的发展,推动计算机科技著作的出版,设立了“计算机学术著作出版基金”,并将资助出版的著作列为中国计算机学会的学术著作丛书。时至今日,本套丛书已出版学术专著近 50 种,产生了很好的社会影响,有的专著具有很高的学术水平,有的则奠定了一类学术研究的基础。中国计算机学会一直将学术著作的出版作为学会的一项主要工作。本届理事会将秉承这一传统,继续大力支持本套丛书的

出版,鼓励科技工作者写出更多的优秀学术著作,多出好书,多出精品,为提高我国的知识创新和技术创新能力,促进计算机科学技术的发展和进步作出更大的贡献。

中国计算机学会

前言

Foreword

物

联网将物理世界网络化、信息化,对传统分离的物理世界和信息空间实现互连和整合,代表未来网络的发展趋势,引领了信息产业革命的第三次浪潮。物联网相关技术近十年来引起了各国政府、学术界和工业界的极大关注,很多国家已经把物联网上升到国家科技发展战略的高度,物联网前沿理论与技术已经成为各国竞争的焦点和制高点。我们从2004年开始对物联网相关领域开展研究,感知与组网是物联网的基本能力,也是我们研究工作主要的切入点。特别是2009年以后,物联网成为国际、国内热点,感知技术发展非常迅速,出现了RFID、二维码、GPS、摄像头、传感网、智能移动终端等各种感知手段,呈现了信息感知泛在化趋势,随时随地对物理实体状态信息进行采集和获取。

然而,从大规模应用的角度,物联网在节点能力、能量获取、组网成本等方面仍然存在很多技术挑战。感知能力是节点能力的基本指标,目前物联网节点能感知物理参数、化学参数、位置信息或物体身份,但其感知能力还相当有限或者感知代价太大。能量是制约物联网节点长期使用的重要因素,目前大部分节点是有源节点,电池需要定期更换或者充电,通过环境取电的无源感知技术还不够成

熟或者难以普遍应用。传统的物联网大多是针对特定区域部署的固定感知网络,造成物联网应用组网成本高、系统维护难、服务不灵活,有些网络构建的投入和获得收益相比性价比过低,物联网在真实物理环境部署的特点造成系统部件易受恶劣环境的破坏,而面向特定任务部署的网络难以支持新的物联网服务。这些问题给物联网的大范围、大规模实际应用带来了困难,阻碍了物联网的技术发展和实用化推广。

近年来,出现了一种基于移动设备(手机、车载终端等)感知能力的物联网感知模式,我们称之为移动群智感知。移动群智感知通过大量普通用户使用移动感知设备作为基本感知单元,有意识参与和无意识协作相结合,实现感知任务分发与感知数据收集利用,最终完成大规模、复杂的社会感知任务。与传统的固定部署传感网的物联网感知模式相比,这种模式克服了组网成本高、系统维护难、服务不灵活的局限性,大大降低了物联网的应用成本,提高了物联网的应用效率。

作者近年来对移动群智感知网络进行了较为持续、深入的研究,经过一系列科研实践,对该领域的若干基础研究和实现技术取得了初步的研究成果。本书是作者近年来在该领域科研工作的总结,也是系统梳理移动群智感知网络基础理论和关键技术的尝试。在内容组织上,以移动群智感知网络对物联网应用的支撑为视角,全面系统地介绍移动群智感知网络的基本概念、基本原理、关键技术和典型应用。

全书内容按照数据收集、数据传输、用户激励、安全隐私、典型应用几个方面来安排。全书分为8章。第1章对移动群智感知网络的产生背景、研究现状、主要研究内容和典型应用领域进行简要介绍。第2章主要讨论移动群智感知网络数据收集问题,包括移动群智感知网络系统架构、移动终端及其感知技术、节能技术。第3章进一步讨论移动群智感知网络感知质量问题,涉及机会覆盖率、城市分辨率、地点覆盖率等度量方法,以及感知质量增强、感知数据准确性、数据质量可信性等感知质量保障技术。第4章主要讨论移动群智感知网络数据传输问题,涉及移动机会网络的路由算法、信息扩散模型、机会数据收集、采用数据融合的机会数据收集等。第5章主要介绍移动群智感知网络的激励机制,涉及娱乐激励、服务激励、货币激励、在线货币激励等多种激励方法。第6章介绍移动群智感知网络安全与隐私保护问题,涉及身份隐私保护、位置隐私保护、数据隐私保护等相关方法。第7章介绍城市空气质量监测、路边停车位统计、公交车到站时间预测、室内定位、移动设备视频众包等移动群智感知网络的典型应用系统。第8章对非传感器感知、无源感知、纳米感知、智能感知、感知大数据等物联网感知技术前沿和发展前景进行展望。

本书的完成得到了很多部门和同行的大力支持和热情帮助。

本书所涉及的研究工作获得国家自然科学基金、国家 973 计划等项目的持续支持,特别是作者有幸承担了国家自然科学基金委员会国家杰出青年科学基金(60925010)和 2013 年立项的“群智感知网络理论与关键技术”重点项目群中的一个重点项目(61332005),从而使我们对移动群智感知网络进行了较为系统和深入的研究。本书的大部分内容就是在这些项目支持下完成的,特此向国家自然科学基金和国家 973 计划等项目的资助表示感谢。

除了马华东和赵东两位作者之外,北京邮电大学智能通信软件与多媒体北京市重点实验室的刘亮教授、周安福副教授、陈建伟博士、袁培燕博士等分别参与第 7 章、第 8 章、第 6 章、第 4 章等部分章节的研究内容的撰写,一些博士、硕士研究生也参与了参考资料的收集整理,在此对他们的辛勤付出表示衷心的感谢。

我们还要感谢清华大学刘云浩教授、中国科学技术大学李向阳教授、哈尔滨工业大学李建中教授、上海交通大学王新兵教授、浙江工业大学朱艺华教授、西北工业大学於志文教授等物联网领域的同行学者,与他们多次学术讨论、合作研究或随意交流,碰撞出了很多创新思想的火花,启迪了科研成果的不断形成,加深了对物联网的深入认知,这些也体现在本书的部分章节之中。新加坡南洋理工大学李默博士、清华大学杨铮博士、芬兰阿尔托大学肖煜博士阅读了本书部分初稿并提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

感谢清华大学出版社的编辑们,近年来多次邀请我们撰写有关物联网的图书,但由于学术积累、时间因素等原因,迟迟没有动笔,一直到 2018 年夏天才写就此书。尤其感谢卢先和副社长、张瑞庆编审,多次见面,相谈甚欢,促成了此书的出版。在本书即将出版之际,对他们的真诚帮助表示衷心的感谢。

相关项目的研究以及本书成稿过程中,还有很多同行朋友以不同形式提供了帮助,难免挂一漏万,在此就不一一列举,敬请各位谅解。

21 世纪的信息社会,物联网、云计算、大数据和人工智能等新兴信息技术竞相发展,一浪高过一浪。勇立风口浪尖上的物联网领域,创新技术和颠覆性应用不断涌现。作者试图紧跟时代前进的脚步,从移动群智感知网络的角度去理解物联网技术进步的脉络,但限于作者的学识水平和表达能力,本书有限篇幅很难完全反映这个主题的全貌,已经写入的内容也难免存在各种缺点和不足,敬请读者批评指正。

作 者

2018 年 12 月于北京邮电大学

目 录

Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 移动群智感知网络的产生背景	2
1.2 移动群智感知网络的研究现状和挑战	7
1.3 移动群智感知网络的主要研究内容	10
1.4 移动群智感知网络的应用	14
本章参考文献	16
第 2 章 移动群智感知网络数据收集	20
2.1 无线传感器网络中数据收集概述	21
2.2 移动群智感知网络系统架构	22
2.3 移动感知终端	23
2.3.1 智能手机	24
2.3.2 车载感知设备	25
2.3.3 智能可穿戴设备	26
2.3.4 其他便携式感知设备	27
2.4 移动终端的感知技术	28
2.4.1 位置感知	28
2.4.2 交通方式感知	31
2.4.3 运动方式感知	31
2.4.4 设备放置方式感知	32

2.4.5 社会活动感知	32
2.4.6 周围环境感知	32
2.5 移动终端的节能技术	33
2.5.1 数据传输节能	33
2.5.2 定位服务节能	35
2.5.3 情境感知节能	36
本章参考文献	37
第3章 移动群智感知网络感知质量	42
3.1 机会覆盖率	43
3.1.1 机会覆盖模型	43
3.1.2 覆盖间隔时间分布规律	45
3.1.3 城市机会覆盖率分析	47
3.2 城市分辨率	49
3.2.1 城市分辨率的概念	49
3.2.2 城市分辨率变化规律	52
3.2.3 城市分辨率分析	55
3.3 地点覆盖率	56
3.3.1 CrowdSense@Place 系统及数据收集	57
3.3.2 地点覆盖率分析	58
3.3.3 地点覆盖率预测	58
3.4 基于压缩感知的感知质量增强	60
3.5 基于多源数据相关性的感知质量增强	61
3.6 感知数据准确性	64
3.6.1 离散型任务	64
3.6.2 连续型任务	67
3.7 数据质量可信性	67
本章参考文献	70
第4章 移动群智感知网络数据传输	74
4.1 移动机会网络	75
4.1.1 移动机会网络基本概念	75
4.1.2 移动机会网络体系结构	76
4.2 移动机会网络中的路由技术	76
4.2.1 机会路由算法评价指标	76

4.2.2	机会路由算法设计需求	77
4.2.3	机会路由算法分类	77
4.3	移动机会网络信息扩散模型	82
4.3.1	信息扩散模型概述	83
4.3.2	基于传染病机理的信息扩散模型	84
4.3.3	基于节点分布时空相关性的信息扩散模型	86
4.4	移动群智感知网络中机会数据收集	89
4.5	采用数据融合的机会数据收集	91
4.5.1	采用数据融合的协作机会数据收集架构	92
4.5.2	采用数据融合的传染路由机制	95
4.5.3	采用数据融合的二分喷射等待机制	98
	本章参考文献	103
第5章	移动群智感知网络的激励机制	107
5.1	娱乐激励	108
5.1.1	地理位置数据收集游戏	108
5.1.2	网络基础设施数据收集游戏	110
5.1.3	地理知识数据收集游戏	111
5.2	服务激励	112
5.2.1	直接交换形式的服务激励	112
5.2.2	间接交换形式的服务激励	113
5.3	货币激励	114
5.3.1	通用的货币激励型群智感知平台	115
5.3.2	面向货币激励的实验性研究	118
5.3.3	面向货币激励的博弈论方法	119
5.4	在线货币激励机制	127
5.4.1	系统模型	128
5.4.2	零“到达-离开”间隔模型下的预算可行型在线激励机制	130
5.4.3	一般间隔模型下的预算可行型在线激励机制	137
5.4.4	仿真验证	141
5.4.5	节俭型在线激励机制	143
	本章参考文献	144
第6章	移动群智感知网络安全与隐私保护	147
6.1	安全与隐私的概念	147

6.1.1 安全的基本概念	147
6.1.2 隐私的基本概念	149
6.2 隐私威胁	150
6.3 身份隐私保护	152
6.4 位置隐私保护	155
6.5 数据隐私保护	160
本章参考文献	165
第7章 移动群智感知网络的典型应用	168
7.1 城市空气质量监测	168
7.1.1 城市 PM2.5 监测	169
7.1.2 城市 PM2.5 监测系统	170
7.2 路边停车位统计	172
7.2.1 停车位探测的需求分析	172
7.2.2 系统架构	173
7.2.3 探测传感器选择	173
7.2.4 停车位探测算法	174
7.2.5 利用环境位置校正停车地图	175
7.2.6 系统原型部署	176
7.3 公交车到站时间预测	177
7.3.1 系统架构	177
7.3.2 系统设计特点	178
7.3.3 公交定位方法	178
7.3.4 公交车检测方法	179
7.3.5 公交路线分类	179
7.3.6 到达时间预测	180
7.4 室内定位	181
7.4.1 系统概述	182
7.4.2 关键技术分析	182
7.5 移动设备视频众包	184
7.5.1 可扩展移动端众包视频混合云架构: GigaSight	185
7.5.2 基于 GigaSight 架构实现的系统原型	186
本章参考文献	189

第 8 章 物联网感知技术展望	190
8.1 非传感器感知	190
8.2 无源感知	192
8.3 纳米感知	194
8.4 智能感知网络	196
8.5 感知大数据	200
8.6 面向智慧城市的综合应用	202
本章参考文献	203

计算机、通信、微电子、传感器等技术的飞速发展推动了物联网技术的进步。物联网将物理世界网络化、信息化,对传统分离的物理世界和信息空间实现互联和整合,代表未来网络的发展趋势,引领了信息产业革命的第三次浪潮^[1]。物联网相关技术近年来引起了各国政府、学术界和工业界的极大关注,很多国家已经把物联网以及与之密切相关的“互联网+”、工业 4.0 上升到国家科技发展战略的高度,物联网前沿理论与技术已经成为各国竞争的焦点和制高点。全面感知、泛在互联、智能处理是物联网的核心能力。其中,全面感知是指利用 RFID、二维码、GPS、摄像头、传感网、智能移动终端等各种感知、捕获、测量的技术手段,随时随地对物体进行信息采集和获取。近年来,出现了一种基于移动设备(手机、车载终端等)感知能力的物联网感知模式,我们称之为移动群智感知,简称群智感知。与传统的固定部署传感网的物联网感知模式相比,这种模式克服了组网成本高、系统维护难、服务不灵活的局限性,大大降低了物联网应用成本、提高了物联网应用效率。本章首先对移动群智感知网络的产生背景、研究现状、主要研究内容和典型应用领域进行简要介绍。

1.1 移动群智感知网络的产生背景

移动群智感知网络的产生源于三个方面的发展：物联网应用的需求、移动智能终端的快速普及和群智计算模式的出现。

1. 物联网应用的需求

物联网的概念诞生于1999年。美国麻省理工学院(MIT)自动识别研究中心 Kevin Ashton 教授提出,物联网就是把所有物品通过射频识别技术与互联网连接起来,实现智能化识别和管理。虽然物联网最初来自物流行业对货物管理的需要,但是后来的物联网概念中物的含义已经泛化为任何物品,互联的手段扩展为各种通信设备,其应用也扩展到环境保护、智能交通、现代服务、公共安全、智能家居、工业控制、卫生健康、智慧农业等众多与人类生活息息相关的领域,以实现更加精细和动态地管理人类的生产生活,提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。2005年,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005: 物联网》,正式明确了物联网这种新的内涵。物联网的发展此后得到了美国、欧盟、中国等政府和国际著名企业的高度重视,2009年起,物联网成为国际产业界和学术界追逐的热点。全球最具权威的 IT 研究与顾问咨询公司 Gartner 预测,2015 年人们对物联网的期望达到高峰,但随后会逐步趋于理性,10 年后才能真正进入成熟期。2015 年 Gartner 技术成熟度曲线如图 1-1 所示。

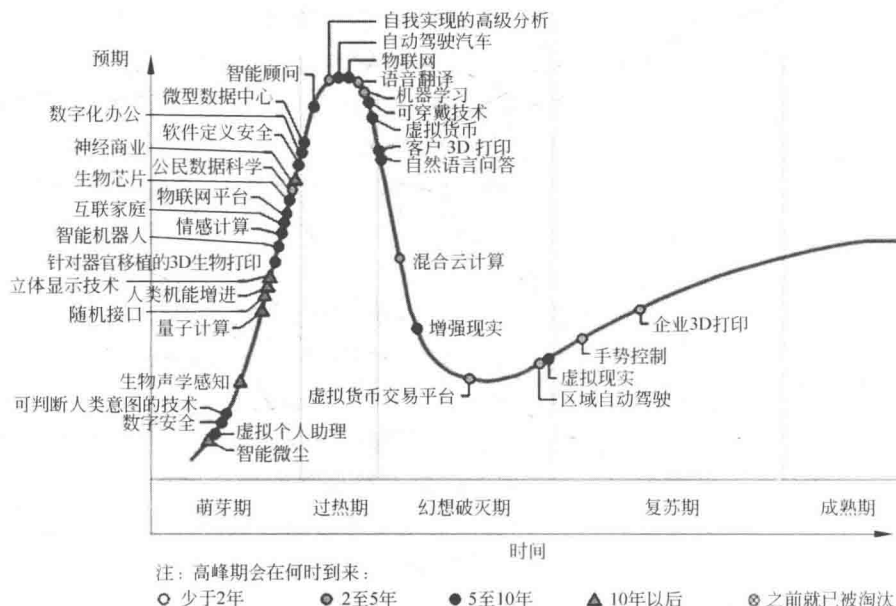


图 1-1 2015 年 Gartner 技术成熟度曲线

为何对物联网的期望不再过热而趋于理性,物联网应用在5~10年后才有可能逐步成为普遍采用的主流技术?这是因为物联网目前还面临着以下几个方面的困境。

第一,从市场角度来看,物联网应用呈碎片化。我们说,物联网改变了人类的生产和生活方式,其应用涉及国民经济和人类社会生活的方方面面。据工业和信息化部数据,2014年我国整个物联网的销售收入达到6000亿元以上,2015年达到7500亿元以上,2016年达到9000亿元以上,到2020年我国物联网的整体规模有望突破18000亿元。近年来我国物联网产业同比增速连续多年超过20%,充分体现了其发展势头强劲,尤其是智能制造领域的工业物联网、智能物流领域的货物物联网以及智能交通领域的车联网,市场前景良好,增长速度不断攀升。据IT咨询机构赛迪顾问2012年发布的分析报告,从市场应用整体来看,占据中国物联网市场主要份额的应用领域为智能工业(20%)、智能物流(10.8%)、智能交通(8.3%)、智能电网(6.4%)、智能医疗(5.5%)、智能农业(4.2%)和智能环保(3.2%)。当然,这种结构随着物联网的全面应用近年来也发生了变化,如智能安防等领域应用需求近年来增长明显。但总体来说,物联网的应用是一个分布在众多行业领域的碎片化市场。物联网市场结构与产业规模如图1-2所示。

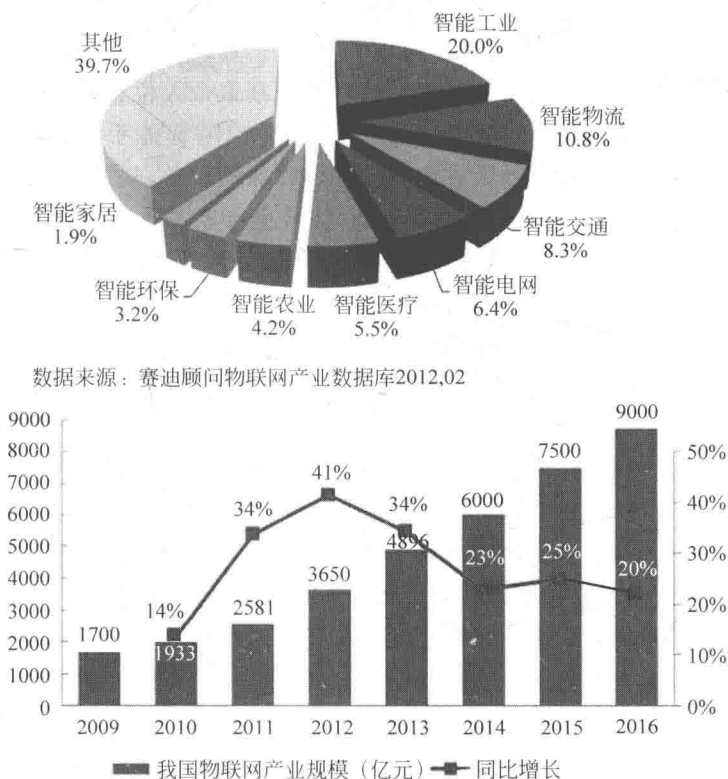


图 1-2 物联网市场结构与产业规模