

移动机会网络

袁培燕 著



科学出版社

移动机会网络

袁培燕 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

移动机会网络基于节点接触形成的通信机会逐跳转发数据,是满足物联网透彻感知与泛在互连的一种关键技术,具有十分重要的研究意义。在移动机会网络中,由于感知设备时时在线和具体应用的时效性需求,数据感知通常是连续的、实时的。另外,由于网络接入方式异构、网络通信手段多样、用户设备联网时间不一,感知设备之间采用的是一种弱连接的方式。如何解决数据感知的实时连续与网络状态弱连接之间的矛盾,是移动机会网络面临的一大技术挑战。

针对上述问题,本书首先对移动机会网络的组网基础、概念、体系结构、应用背景以及自组织路由、机会路由技术进行介绍;其次围绕移动机会网络中信息传播问题,建立了信息扩散过程中参与节点个数与信息传播延时、投递率之间的关系模型,在此基础上,基于社会化网络分析技术,从节点、边以及网络社区结构三个层次对社会性辅助的机会路由算法进行研究;最后对移动机会网络内信息处理技术进行介绍,重点分析了数据融合策略对机会网络性能的影响。

本书可供计算机类、通信类专业的大学高年级本科生、研究生使用,对从事计算机网络相关工作的工程技术人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

移动机会网络/袁培燕著. —北京:科学出版社,2016.3
ISBN 978-7-03-047416-2

I. ①移… II. ①袁… III. ①移动网—研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第038552号

责任编辑:王 哲 邢宝钦 / 责任校对:包志虹

责任印制:张 倩 / 封面设计:迷底书装

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>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016年3月第一次印刷 印张:8 3/4

字数:170 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

移动机会网络为满足物联网透彻感知与泛在互连需求提供了一种重要的技术手段。数据交换作为实现间歇式连通环境下节点通信的理论基础，具有十分重要的研究意义。与此同时，移动机会网络中节点移动、资源受限、拓扑时变的特点为设计高效的数据交换机制带来了巨大的挑战。如何设计轻量级、分布式的数据收集与转发策略，满足大规模的自主组网需求，是目前移动机会网络研究中迫切需要解决的关键科学问题之一。

针对上述问题，本书结合移动机会网络中节点具有的丰富社会属性，从信息扩散机理、机会路由算法以及网内信息处理三个方面入手开展研究，提出了一系列模型和方法。这些模型和方法以社会化网络分析理论为基础，并在大量计算机仿真和数据集下进行验证。本书共分8章，主要内容如下。

(1) 第1~3章对移动机会网络的组网基础、概念、体系结构、应用背景以及自组织路由、机会路由技术进行介绍。

(2) 第4章对移动机会网络的信息扩散模型进行介绍。给出了移动机会网络中信息扩散律更紧的上限表示，建立了信息扩散过程中参与节点个数与信息传播延时、投递率之间的关系模型。

(3) 第5~7章基于社会化网络分析技术，从节点、边以及网络社区结构三个层次对社会性辅助的机会路由算法进行研究。

(4) 第8章介绍了移动机会网络网内信息处理技术，重点分析了数据融合策略对机会网络性能的影响。

本书在撰写过程中力求结构清晰、内容精练，希望既可帮助感兴趣的初学者快速了解移动机会网络相关技术，又可帮助有一定研究基础的同行开阔视野、拓展思路。

本书主要对作者的研究成果进行总结，也引用、评价了国内外的相关工作。此外，本书在出版过程中得到了河南师范大学学术专著出版基金、国家自然科学基金项目的资助，在此一并表示衷心的感谢。

考虑到国内对移动机会网络的研究才刚刚开始，以及作者学术水平所限，书中难免有不足之处，欢迎读者批评指正。

作 者

2016年2月1日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 移动自组织网络	1
1.1.1 移动自组织网络产生背景	1
1.1.2 移动自组织网络概念	1
1.1.3 移动自组织网络的特点	2
1.1.4 移动自组织网络的应用领域	3
1.2 移动机会网络	3
1.2.1 移动机会网络产生背景	3
1.2.2 移动机会网络概念	4
1.2.3 移动机会网络体系结构	5
1.2.4 移动机会网络典型应用	6
1.3 移动网络模型	7
1.3.1 发射节点的定位问题	7
1.3.2 随机点线移动模型	8
1.3.3 参考点组移动模型	8
1.3.4 曼哈顿网格移动模型	8
1.3.5 社区移动模型	8
1.4 移动网络连通度	9
1.4.1 临界传输范围	9
1.4.2 节点平均度	10
1.5 移动网络数据集	10
1.5.1 携带 GPS 信息的数据集	10
1.5.2 未携带 GPS 信息的数据集	11
1.6 移动网络仿真工具	11
1.6.1 网络仿真平台 NS-2/3	11
1.6.2 网络仿真平台 ONE	13
1.7 移动机会网络研究内容	14
1.7.1 移动机会网络中的建模问题	14
1.7.2 移动机会网络中的路由问题	14

1.7.3	移动机会网络网内信息处理	14
1.8	本章小结	14
	参考文献	14
第 2 章	移动自组织网络中的路由协议	19
2.1	先验式路由	19
2.1.1	DSDV	19
2.1.2	FSR	20
2.1.3	WRP	20
2.1.4	STARA	20
2.1.5	OLSR	20
2.2	反应式路由	21
2.2.1	AODV	21
2.2.2	DSR	22
2.2.3	TORA	22
2.2.4	LAR	23
2.2.5	SSR	23
2.3	两种路由协议类型的比较	23
2.4	移动自组织网络中的能量路由策略	24
2.4.1	最小能量路由策略	24
2.4.2	延长网络存活时间策略	25
2.4.3	基于拓扑控制的能量策略	26
2.5	移动自组织网络中的 QoS 路由策略	27
2.5.1	CEDAR	27
2.5.2	TBP	28
2.6	仿真模型	28
2.6.1	能量模块	29
2.6.2	计算模块	31
2.6.3	四种模块之间的联系	33
2.7	移动自组织网络连通性分析	33
2.7.1	节点密度对连通度的影响	34
2.7.2	停留时间 p_r 对连通度的影响	34
2.7.3	节点移动速率对连通度的影响	35
2.8	本章小结	36
	参考文献	37
第 3 章	移动机会网络中的路由协议	40

3.1	机会路由算法评价指标	40
3.2	机会路由算法设计需求	40
3.3	机会路由算法研究进展	41
3.3.1	零信息型机会路由	41
3.3.2	信息辅助型机会路由	42
3.4	本章小结	46
	参考文献	46
第4章	移动机会网络中的信息扩散模型	49
4.1	引言	49
4.2	信息扩散模型研究技术路线	50
4.2.1	数据集统计分析	50
4.2.2	传染病模型下的理论研究	50
4.3	基于传染病模型的信息扩散过程	51
4.3.1	网络模型	51
4.3.2	传染病模型及相关工作中数据包的扩散情况	52
4.3.3	原有扩散律中存在的问题及原因	54
4.4	基于节点分布时空相关性的信息扩散模型	55
4.5	实验结果与分析	58
4.5.1	接触率与传染率	58
4.5.2	不同节点个数下信息的扩散速度	59
4.5.3	不同节点个数下数据包的备份个数	60
4.6	本章小结	61
	参考文献	61
第5章	移动机会网络中基于节点社会度量的路由算法	64
5.1	引言	64
5.2	社会度量相关工作回顾	65
5.3	Hotent 算法架构及预备知识	66
5.3.1	Hotent 算法架构	66
5.3.2	预备知识	66
5.4	Hotent 算法设计过程	68
5.4.1	节点移动模式的挖掘	68
5.4.2	三种指标的量化	72
5.4.3	Hotent 算法	75
5.4.4	理论分析	76
5.5	实验结果与分析	77

5.5.1	仿真设置	77
5.5.2	性能分析	77
5.5.3	不同中心度度量的精确性	79
5.5.4	不同相似度度量的精确性	80
5.6	本章小结	81
	参考文献	81
第 6 章	基于节点社会关系的机会路由策略	83
6.1	引言	83
6.2	相关工作回顾	84
6.3	STRON 算法设计目标及贪婪算法转发过程	85
6.3.1	STRON 算法设计目标	85
6.3.2	贪婪算法数据转发过程	86
6.4	Epidemic 和贪婪算法最短路径特征分析	87
6.4.1	陌生人在数据转发过程中具有两面性	88
6.4.2	陌生人的重要性在数据转发过程中逐步降低	89
6.5	STRON 算法设计过程	90
6.5.1	节点陌生度与相似度融合的数据转发策略	90
6.5.2	陌生人参与比例的动态调整	92
6.6	实验结果与分析	92
6.7	本章小结	95
	参考文献	95
第 7 章	基于社区结构的机会路由策略	97
7.1	引言	97
7.2	相关工作回顾	98
7.3	节点相对重要性的定义及网络模型	99
7.3.1	节点中心度及相对重要性	99
7.3.2	网络模型	100
7.4	数据转发策略设计过程	101
7.4.1	基于社区结构的机会路由算法 RIM	101
7.4.2	节点相对重要性的量化	103
7.4.3	网络重叠社区的识别	104
7.5	实验结果与分析	108
7.5.1	社区结构及其对数据扩散速度的影响	109
7.5.2	节点中心度及相对重要性对数据扩散速度的影响	111
7.5.3	路由算法的性能评价	111

7.6 本章小结	113
参考文献	114
第8章 移动机会网络网内信息处理技术	116
8.1 引言	116
8.2 相关工作回顾	117
8.3 基于数据融合的洪泛机制	118
8.3.1 不考虑数据融合的洪泛机制	118
8.3.2 部分融合机制	118
8.3.3 完全融合机制	121
8.4 数值结果分析	123
8.4.1 移动模型、数据集和系统参数	123
8.4.2 性能评价	123
8.5 本章小结	127
参考文献	128

第 1 章 绪 论

局域网、广域网、移动互联网、物联网贯穿整个计算机网络的发展历程。移动自组织网络与移动机会网络是满足物联网泛在互连与透彻感知需求的重要技术手段，具有重要的理论研究意义与实际应用价值。本章对两类网络的产生背景、概念、特点、应用领域以及移动网络性能分析时涉及的一些基础知识进行系统介绍。

1.1 移动自组织网络

本节从移动自组织网络的产生背景、概念、特点、应用领域四个方面进行介绍。

1.1.1 移动自组织网络产生背景

计算机联网的目的之一是实现数据共享、满足人们获取信息的需求。而随着各种便携式设备（如笔记本、手机）的迅速普及，在这些设备之间实现互连互通就显得越发重要。遗憾的是，当前的骨干网络（如互联网与移动互联网）无法有效解决这一问题。这主要是由于这些网络需要基础设施支持，而对于原本不存在基础设施的区域或者基础设施遭到破坏的区域（如在大海上、沙漠中，以及灾区、战场、临时会议、军事行动等特殊场所），上述骨干网络就不能满足要求。在这种情况下，作为移动通信的另一种表现形态——移动自组织网络（mobile ad hoc networks, MANET）^[1]应运而生。

1.1.2 移动自组织网络概念

移动自组织网络是无线网络的一种特殊形式，它不需要中央控制设施支持。节点在网络中既充当路由器，又充当主机，作为对等实体互连在一起。非相邻的节点间的通信需要通过网络中的其他节点进行中继才能实现，从而组成一个多跳的移动无线网络^[2-4]。图 1-1 描述了一个由三个节点组成的移动自组织网络。

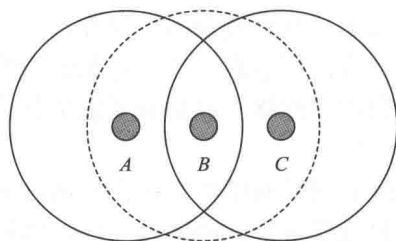


图 1-1 一个两跳的移动自组织网络

在图 1-1 中, 节点 A 和 C 均不在对方的通信范围之内, 而双方都在节点 B 的通信范围之内, 因此当节点 A 与节点 C 进行数据传输时, 数据包必须通过中间节点 B 进行转发, 从而在节点 A 和 C 之间组成一个两跳的移动自组织网络。

1.1.3 移动自组织网络的特点

移动自组织网络与互联网以及移动蜂窝网络相比, 具有下列特点。

(1) 网络拓扑结构时变性。这是移动自组织网络最显著的特点。因为在移动自组织网络中节点可以随意移动, 导致网络拓扑结构也随之变化。此外, 移动通信单元发射和接收特性 (如功率) 的变化也会影响网络拓扑结构。

(2) 网络自治性。网络中的节点通过无线信道连接, 每个节点都具有路由功能, 构成无线路由器。整个网络就是由无线路由器组成的一个自治系统。同时移动自组织网络具有全分布特性, 不需要基站等核心通信设施支持, 方便快速布设。

(3) 资源受限性。链路带宽受限、容量可变, 具有低速、高误码率、带宽资源有限等特征。此外, 自组织网络中的节点主要依靠电池来供电, 操作过程中电能受限。

(4) 链路非对称性。节点发射功率、电池能量以及地理位置等因素的变化使得移动自组织网络中链路存在单向性。如图 1-2 所示, 若节点 A 、 B 发射功率不同, 则 A 发射的信号 B 能接收到, 但 B 发射的信号 A 却不能接收到, 从而形成单向链路^[5]。

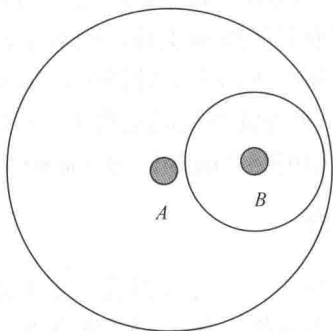


图 1-2 节点 A 、 B 发射功率不同的情况

(5) 强残存性。因为移动自组织网络没有控制中心, 故当某一节点出现故障时, 并不会使整个网络陷入瘫痪状态, 具有较强的残存性。

(6) 短时效性。这里面包含两层意思, 其一是单条链路之间由于节点移动使得链路生存时间短; 其二是移动自组织网络一般是为了满足某种临时需求而建立的, 任务完成后即被拆除。

(7) 有限的安全性。移动自组织网络中节点之间通过无线信道相连, 没有专门的路由器, 也没有命名服务、目录服务等功能。这些特点使得传统网络的路由协议和安全措施不再适用于移动自组织网络。

1.1.4 移动自组织网络的应用领域

移动自组织网络的典型应用主要包括如下几个方面。

(1) 无线传感网：无线传感网是实现物联网感知功能的一项重要支撑技术。通过在感知区域部署大量传感器，利用传感器内置的位置指示器、自组织收发器等设备将感知信息传送到基站，满足长时间、大规模的信息感知需求。

(2) 移动会议：在室外环境中，工作团队的所有成员可以通过自组织方式组成一个临时网络来协同完成某项任务；在室内环境中，办公人员携带的配置有自组织收发器的PDA，可以通过无线方式自动从台式机上下载电子邮件，更新工作日程表等。

(3) 家庭网关：通过移动联网的方式可以把办公环境延伸到家庭，必要时在家庭办公；或者利用人们随身携带的智能手机与装备了自组织收发器的家用电器进行通信，实现远程控制等操作。

(4) 紧急服务：当发生自然灾害、网络基础设施遭到破坏时，移动自组织网络可以帮助救援人员完成必要的通信工作。

(5) 体域网：通过移动自组织网络把个人通信、娱乐、办公设备互连（这些设备不需要接入互联网，但在执行用户的某项活动时需要彼此通信）。在这种情况下，移动性不再是主要问题。

(6) 军事领域：在现代化战场上，通信设备之间、士兵之间、士兵与通信设备之间需要保持紧密联系，以实现协调作战、统一指挥。据相关报道，在两次伊拉克战争中，移动自组织网络均得到有效利用。

(7) 其他商业应用：例如，配备自组织收发设备的机场预约和登机系统可以自动与乘客携带的手机直接通信，完成登机牌自动换取手续；再如，商场内的商品通过射频标签与自组织设备进行动态刷新，顾客通过手持设备可以方便地查询某种商品及其价格等。

1.2 移动机会网络

本节从产生背景、概念、体系结构、典型应用四个方面对移动机会网络进行初步介绍。

1.2.1 移动机会网络产生背景

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^[6,7]。物联网通过将物理世界网络化、信息化，对传统分离的物理世界和信息空间进行互连与融合，代表未来网络的发展趋势^[8]。近年来，物联网理论与技术引起了政府、学术界、工业界的广泛关注，已成为各国竞争的焦点和制高点。物联网的发展对我国国民

经济的发展有重大影响,在我国食品溯源、卫生健康、平安家居、公共安全、环境监测、智能交通、智能电网、国防军事等领域有重大应用需求^[9,10]。2009年开始,我国把物联网上升为国家战略。

作为未来网络的核心基础设施,物联网的主要目标是实现物理世界和信息空间的互连与融合^[11-14]。而随着各种便携式设备的迅速普及,市场上的平板电脑、智能手机、车载感知设备等终端集成了多种类型的传感器(光传感器、距离传感器、GPS、加速度传感器、地磁传感器和陀螺仪、麦克风、摄像头等),感知、计算和通信的能力越来越强。利用这些便携式设备组成的移动机会网络可以随时随地对人类经常活动的热点区域进行感知,满足物联网泛在互连与透彻感知的需求。这种机会互连的方式或以人为本的感知方式,对有意识主动部署传感网进行数据收集方式构成了重要的互补。与此同时,网络拓扑时变性、节点资源受限性等特点也使得传统的无线传感网络或移动自组织网络通信模式无法有效运行。例如,在传输感知数据之前,无线传感网络需要预先通过CTP(collection tree protocol)^[15]协议生成一棵以Sink为根节点的汇聚树;移动自组织网络则需要AODV(mobile ad hoc on-demand distance vector)^[16]、DSR(dynamic source routing)^[17]等路由算法建立端到端的通信路径。这两种工作模式隐含的一个共同假设是网络拓扑在绝大部分时间是连通的,即对于任意一对节点,在它们之间至少存在一条完全连通的路径。而在移动机会网络中,网络拓扑有可能被分割成几个不连通的子区域,发送端和接收端有可能位于不同的子区域而导致常规的CTP等路由算法无法正常工作。实际上,节点对之间不存在端到端连通的路径并不意味着不能实现通信,由于节点的移动,两个节点可以在进入相互的通信范围后完成数据交换^[18]。移动机会网络正是利用节点之间的这种机会式接触将感知数据从发送端逐跳地转发至接收端。

移动机会网络不要求网络全连通的特点,更符合实际环境下的自主组网需求,近年来成为国际国内学术界关注的热点^[18,19]。国际学术界陆续在IEEE系列会议(INFOCOM、ICNP、PerCom等)、ACM系列会议(MobiCom、MobiHoc、UbiComp、MobiSys等)发表了一些重要研究成果。2008年IEEE开始组织移动机会网络研讨会(international workshop on mobile opportunistic networks)。ACM也于2012年专门发起高性能移动机会系统研讨会(ACM workshop on high performance mobile opportunistic systems),交流相关领域研究成果。微软研究院^[20,21]、欧洲电信^[22]、美国卡内基梅隆大学^[23]、普林斯顿大学^[24]、南加州大学^[25]、麻省理工学院^[26]、英国剑桥大学^[27]、加拿大的滑铁卢大学^[28]、渥太华大学^[29]、澳大利亚的悉尼大学^[30]、新加坡国立大学^[31]等纷纷启动了相应的科研计划。我国学者也非常重视该领域研究,中国科学院^[32]、清华大学^[33]、上海交通大学^[34]、北京邮电大学^[35]等较早开展该领域的探索和相关研究。

1.2.2 移动机会网络概念

目前关于移动机会网络还没有一个完整性的定义。本书结合相关文献以及作者的工作,给出一个描述性定义:移动机会网络是一种在间歇式连通的网络环境下,利用

节点移动所带来的接触机会实现通信的分布式系统。图 1-3 显示了一个数据包从发送端至接收端的数据转发过程。发送端 S 和接收端 D 在 t_1 时刻分别位于两个不连通的子区域，在它们之间不存在一条完整的路径。因此 S 将数据包转发给节点 A ，由于节点 A 同样没有到 D 的合适路径，节点 A 携带该数据包并等待合适的转发机会。在时刻 t_2 ，节点 A 进入节点 E 的通信范围，它将数据转发给 E ；节点 E 在 t_3 时刻与接收端 D 相遇，完成数据移交。

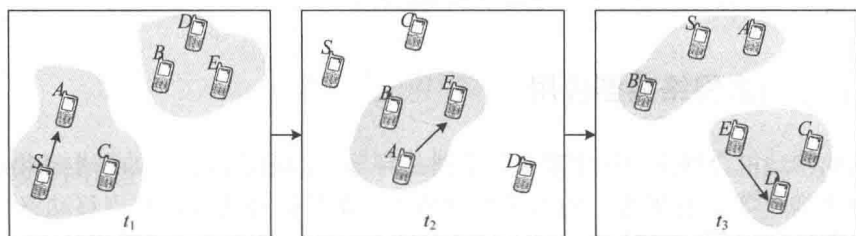


图 1-3 移动机会网络数据转发过程示意图

移动机会网络的部分概念来源于早期的间歇式连通网络（intermittently connected networks, ICN）^[36]和延时容忍网络（delay-tolerant networks, DTN）^[37]研究。间歇式连通网络是为了解决不连通区域之间的数据收集问题而提出的，通过部署往返于不连通区域之间的移动节点来完成数据收集任务。延时容忍网络的主要技术路线是采用存储-携带-转发的路由机理解决深空通信所带来的长延时、高误码率问题^[38]。间歇式连通网络和延时容忍网络的相关研究共同构成机会组网的理论基础。

移动机会网络与移动自组织网络的主要区别在于移动机会网络主要工作于网络拓扑时断时续或局部连通的场景，采用的是边路由-边传输的转发机理；移动自组织网络中节点虽然是移动的，但一般来说，其网络拓扑整体上是稳定的，采用的是先路由-后传输的转发机理。

1.2.3 移动机会网络体系结构

为了支持在具有长时间的数据传输、间歇式的链路连通、机会式的节点接触等特征的不同子网之间实现互连和通信，移动机会网络在现有的 TCP/IP 协议栈的传输层与应用层之间插入了一个新的协议层——束层^[39]，这里束的含义指的是多个数据包融合在一起所形成的数据协议单元。束层通过与特定网络类型下的底层协议进行配合，可以使得应用程序运行在不同的网络类型之上（如图 1-4 所示，这里的 T1/T2/T3、N1/N2/N3 分别代表不同的传输层、网络层协议）。在同一个网络内，束层使用该网络本身的协议进行通信；在不同的网络内，束层通过提供基于保管方式的重传、处理间歇式连通的能力、利用机会连接的能力，以及通过标识符后绑定等技术手段来实现跨域通信。



图 1-4 束层在 Internet 体系结构中的位置

1.2.4 移动机会网络典型应用

早期的移动机会网络应用主要关注于挑战环境下的通信需求，如野生动物追踪^[40,41]以及乡村通信^[42]等。近年来，随着各类便携式设备的快速普及，利用移动终端进行数据收集以及终端之间内容共享的需求越来越强烈，为机会组网提供了更加广阔的平台，典型应用如下。

(1) 位置服务^[23]。定位的准确性是各类位置服务成功与否的关键所在。考虑到单个手机定位易受环境噪声的干扰以及需要用户一直手持设备的局限性，卡内基梅隆大学的研究团队提出利用多部手机协作感知用户的周围环境信息（声音、图像等），基于手机自带的蓝牙功能自主组网，从不同角度对同一环境进行协作感知。用户之间通过共享各自感知的环境信息，降低环境噪声的影响，提高定位的准确性。同时也解放了用户，不需要一直手持设备进行位置识别。

(2) 媒体服务^[26]。在许多大规模的文体活动（现场演唱会、庆典、体育赛事等）中，用户所处位置对观看效果有较大影响，坐在后排或角落的人们由于视觉受限而影响观看质量。麻省理工学院移动与媒体实验室的研究团队提出了一种面向 3G 环境的多媒体共享架构 CoCam。CoCam 利用手机自带的摄像功能，坐在不同位置的用户通过分发、共享视频数据获得满意的视觉效果。

(3) 数据卸载^[43]。近年来，手机上网的网民数量已经超过计算机上网的网民数量。利用手机配置的蓝牙、WiFi 功能自主组网实现数据卸载，一方面可以缓解移动互联网产生的数据流量对 3G 骨干网络造成的压力，另一方面可以降低手机用户的上网费用^[33]。Opp-Off 是由马里兰大学和德国电信公司共同开发的一套自组织网络系统。当用户经历网络拥塞而又需要从骨干网下载一些对延时不太敏感的应用程序（如音乐、视频或电子书等）时，用户将这些下载任务移交给那些网络连通性能好的节点来完成，然后节点之间组成移动机会网络交换、共享数据。

(4) 智能交通^[14]。利用用户携带的便携式设备，对路况信息进行收集、处理后反馈给用户，向用户提供相对舒适、环保的出行路线或建议。例如，文献[14]利用智能手机上携带的传感器来检测当前交通灯的颜色，与附近车辆内的感知设备一起组成一个临时的移动机会网络，通过共享信号灯信息来预测未来一段时间内信号灯的变化状

态。基于对信号灯状态的预判，驾驶员动态调整开车速度，从而达到减少停车次数、降低燃油消耗的目的，同时也改善了交通状况。

(5) 突发事件^[25]。突发事件的随机性使得很难通过传统的固定部署感知网络的方式对其进行监控。南加州大学的研究团队提出了一种基于众包的突发事件侦测与跟踪系统——Medusa。当突发事件（如美国的“占领运动”）发生时，现场志愿者利用随身携带的手机对事件进行拍照或记录，然后通过一跳或多跳的方式将收集到的信息上传至服务器。

1.3 移动网络模型

1.3.1 发射节点的定位问题

发射节点的定位问题是所有移动模型的基础，因为网络中的每个节点在不同的时刻担任不同的角色，通过准确定位每个发射节点，进而可以定位网络中的所有节点。目前有三种比较经典的定位技术：灯塔定位技术、定向技术和抵达时差技术^[44]。灯塔定位技术是在固定点放置大量的接收节点（灯塔），每个接收节点根据收到的信号强度判断它们与发射节点的相对距离。一般来说，收到最强信号的灯塔距离发射节点最近，因此该灯塔的位置可以用来估计发射节点的位置。灯塔定位技术的优点在于简单和低耗费，同时也不需要各个接收节点同步时钟，缺点在于估计发射节点的位置不够准确。定向技术是根据接收节点收到信号的抵达角度（angle of arrival, AOA）来决定发射节点位置。明显地，根据两个接收节点收到信号的抵达角度，可以勾勒出两条到达发射节点的直线，则两条直线的交点就近似估计为发射节点的位置。因此，定向技术的关键问题是要准确判断信号的抵达角度，而这需要复杂的硬件设施支持，阻碍了定向技术大规模的应用，定向技术的优点在于它只需要两个接收节点就能判断发射节点的近似位置，并且精确性高于灯塔定位技术。定位技术的第三种方法是利用多对（发射节点、接收节点）信号抵达的时间差值（time difference of arrival, TDOA）。每一次TDOA的测量产生一条可能存在发射节点的双曲线，则两条双曲线的交点就近似估计为发射节点的位置。TDOA需要每个接收节点的时钟同步，根据三个节点的TDOA值，可以近似计算出发射节点的位置：

$$D_{ij} = c \times t_{ij} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2}$$

$$D_{ik} = c \times t_{ik} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2}$$

式中， D_{ij} 是接收节点*i, j*到发射节点距离的差值； t_{ij} 是发射节点的信号抵达接收节点*i, j*的时间差值； c 是光速； (x_i, y_i) 是接收节点*i*的位置； (x, y) 是发射节点的位置。通过上述公式，可以求得两个未知量*x*和*y*的值。该值为发射节点的一个近似值，可以求出几组解，最后求得一个较优的平均值来表示发射节点的位置。

1.3.2 随机点线移动模型

文献[45]提出了一种随机的自组织网络移动模型。基于这种模型,节点在二维平面内的移动由一系列长度为随机值的移动间隔 T_n^i 组成,在每个移动间隔中,节点以固定的速度 V_n^i 沿固定方向 θ_n^i 移动,每个移动间隔的移动距离为 $T_n^i \times V_n^i$,其中 T_n^i 、 θ_n^i 服从不同的分布,移动间隔个数是一个离散的随机过程。

每个节点在移动过程中需要满足下面的条件。

- (1) 移动间隔的长度满足独立同分布的指数分布,均值为 $1/\lambda_n$ 。
- (2) 移动方向满足 $[0, 2\pi]$ 的均匀分布。
- (3) 移动速率满足均值为 μ_n 、方差为 σ_n 的独立同分布的正态分布。

同时,上述三个参数之间没有必然的联系。移动模型与节点链路失败之间相互独立。文献[45]同时说明两个节点之间的相互移动速率近似满足瑞利分布,移动方向满足 $[0, 2\pi]$ 的均匀分布。

1.3.3 参考点组移动模型

文献[46]提出了一种参考点组移动模型,在这种模型中,节点在仿真的开始阶段被划分为不同的组,每个组有一个逻辑中心,逻辑中心的运动状态决定组成员的运动状态。每个节点拥有一个指向所在组的参考点,该参考点随着组的运动而运动。单个节点的运动由两个矢量决定:组运动矢量和单个节点的参考点运动矢量,这两个矢量决定了单个节点的网络运动矢量。组的运动由一系列预先指定的检测点组成,组的中心节点必须遍历这些检测点。自然地,通过改变相应的检测点,可以构造不同的仿真场景。组的运动模式由随机点线移动模型决定。每当组到达某个目的地的时候,组内的所有节点停留一段时间,然后重复上述过程,向下一个目的地移动。

1.3.4 曼哈顿网格移动模型

曼哈顿网格移动模型是由仿真类似市区场景而提出来的。市区一般由相互垂直的街道交织而成。因此,节点在该场景下的移动只能按照水平或垂直方向运动,不能沿斜线运动,这一点与上述的两种移动模型是不同的。单个节点在某条街道随机选择一个参考点朝目的地以预先定义好的速率运动,到达目的地的时候,随机停留一段时间,然后朝下一个目的地重复进行上述运动,详细的描述请参考文献[47]。

1.3.5 社区移动模型

社区移动模型^[48]假定节点在平时的活动中自发形成一个聚焦区,如图 1-5 所示。初始时 $N-1$ 个移动节点随机部署在一个面积为 S 的格子内,每个节点随机选取一个格子(非中央区域的任意一个格子)作为它的私人聚集区域。在格子的中央存在一个公