



刘丽◎著

Routing Protocols and Incentive Mechanisms in Socially aware Networking



社会感知网络路由及激励机制

Routing Protocols and Incentive Mechanisms in Socially aware Networking

刘 丽 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

随着智能移动设备的广泛应用,移动设备之间通过短距离通信技术组成的间歇式连接网络越来越多地受到人们的关注。以社交因素为主要依据指导网络协议设计的社会感知网络应运而生,并逐渐成为热点研究领域。本书介绍了社会感知网络中的数据转发路由的研究进展、方法、问题及未来发展等研究热点问题,针对现有问题提出新的路由算法和激励机制,并详细介绍了方案的理论、实现、仿真实验等。

本书适合社会感知网络、机会网络、车载网络、社交网络等领域的科研爱好者、本科生、研究生及科研工作者研究学习使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

社会感知网络路由及激励机制 /刘丽著. —北京:电子工业出版社, 2017.8
ISBN 978-7-121-32354-6

I. ①社… II. ①刘… III. ①计算机网络—路由选择—研究 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 182022 号

策划编辑:秦绪军 朱雨萌

责任编辑:赵 平

印 刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:720×1 000 1/16 印张:12 字数:158 千字

版 次:2017 年 8 月第 1 版

印 次:2017 年 8 月第 1 次印刷

定 价:49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010) 88254750。

• 作者简介:

刘丽，汉族，1979年生于山东省聊城市。2004年硕士毕业于山东科技大学，2015年博士毕业于大连理工大学，现工作于山东交通学院信息与科学工程学院，副教授。发表论文10余篇，专利10余项，承担参与省级重点研发计划2项。研究领域包括无线网络、自组织网络、车载网络等。

前言 / Preface

随着智能移动设备的广泛应用，移动设备之间通过短距离通信技术组成的间歇式连接网络越来越多地受到人们的关注。近年来，移动设备常由人携带，与人之间的关系越来越密切。人们之间的社交关系及其运动规律在一定程度上反映了移动节点的某些特征。所以，研究者开始关注社交因素对这类移动网络的影响。因此，以社交因素为主要依据，指导网络协议设计的社会感知网络应运而生，并逐渐成为研究领域的热点。

在间歇式连接模式下，点对点的通信路径难以得到保障。移动节点之间的数据传播主要依靠其偶然的相遇机会，通过“存储—携带—转发”的合作模式实现。因此，对节点间相遇机会的预测及节点间的合作成为影响数据转发效率的主要因素。根据是否考虑自私节点，本书将社会感知网络中的数据转发分为全合作节点的路由问题和存在自私节点的激励机制问题。节点间的社群、社交强度、相似度及运动规律性等社交属性和特征潜在地隐含了节点间接触的规律性，对解决路由问题和激励机制问题具有显著的指导意义。

作者对社会感知网络中路由问题和激励机制展开了深入、细致的研究。针对网络拓扑结构变化频繁、社交因素多样化的问题，提出了基于蜂群及兴趣驱动的路由协议和基于多维度社交因素进行数据转发的路由协议。针对节点的自私特性及分布式的网络结构造成的信息维护困难等问题，提出了基于副本调节的激励机制和基于社群等量交换的激励机制。本

书涉及的内容包括:

(1) 社群是社会感知网络中常用的一种社交属性。然而, 由于频繁变化的网络拓扑结构的影响, 使得社群的建立和维护都存在着一定的困难。作者提出了一组基于蜂群及兴趣驱动的路由协议 BEEINFO。BEEINFO 以节点对数据的兴趣为主要研究对象, 隐式地划分社区, 即具有相同数据兴趣的节点称为一个社群。节点只需要维护自己的兴趣, 而不必维护社群的信息。另外, 数据的兴趣具有分类明确、数量有限的特点, 这使得社群可以自然地形成。利用群体智能, 节点模拟蜜蜂采蜜的行为, 对所经过的社群浓度和同社群中节点的社交强度进行动态感知, 及时捕捉并适应周边环境的变化, 从而实现更加高效、可靠的数据转发。基于社群模型的仿真实验表明, BEEINFO 的数据转发性能优于 Epidemic 和 ProPhet, 得到更高的数据交付率、产生了更少的负载及更少的平均跳数。

(2) 在社会感知网络中, 移动节点间往往存在多种社交联系, 数据的转发路由也会受到多方面社交因素的影响。为了平衡多种社交因素的影响, 实现更加可靠、高效的数据传输, 作者提出了多维度数据转发协议 PIS。PIS 从物理临近性、数据兴趣及社交联系三个维度来考虑数据转发问题, 并利用移动节点运动的规律性, 分时间片来细化三个维度的影响。基于 SIGCOMM 2009 和 INFOCOM 2006 实际数据集的仿真实验表明, PIS 的数据转发性能优于 SimBet、Epidemic 和 ProPhet, 获得了预期的稳定优越的性能。

(3) 在社会感知网络中, 自私节点的存在严重影响以合作为基础的数据转发路由的性能。作者提出了基于副本调节的激励机制 CAIS。CAIS 从节点自身对数据的高效转发需求出发, 将节点的合作程度与其消息副本数量结合起来, 以激励节点积极地进行数据转发合作。即节点的合作程度越高, 其消息产生的副本数量越多, 从而影响节点产生的消息的转发效率。另外, CAIS 利用 social credit 和 non-social credit 对社群内、外的节点操作分别管理。同时, 它还采用了单源分发模式来简化 credit 的分配管理。仿真结果表明, CAIS 可以有效地激励自私节点进行转发合作, 并维持高效

的数据转发性能。

(4) 在社会感知网络中, 等量交换原则是节点间最公平的合作原则。然而, 这种原则对节点间的相遇预测和转发数据的选择提出了更高的要求, 难以保证数据转发的效率。作者提出了基于节点与社群等量交换的问题模型, 采用宏观的观点进行节点与社群之间的等量交换, 并依据此模型将自私节点的激励问题转化为节点在社群间合理分配转发资源的问题, 从而形成基于社群等量交换的激励机制 **Com-BIS**。基于实际数据集 INFOCOM 2006 的仿真实验表明, **Com-BIS** 在成功激励自私节点进行合作的同时, 有效地提高了数据转发效率。

目录 / Contents

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 社会感知网络	5
1.2.1 体系结构	5
1.2.2 社交特点	7
1.2.3 关键技术	8
1.3 研究内容与创新点	10
1.3.1 研究内容	10
1.3.2 创新点	12
1.4 全书组织结构	14
第 2 章 研究现状	16
2.1 社交联系及特征	16
2.1.1 社群	17
2.1.2 中心度	17
2.1.3 相似度	19

2.1.4	社交强度	19
2.1.5	运动规律性	19
2.2	路由协议	20
2.2.1	基于社群的路由协议	20
2.2.2	独立于社群的路由协议	23
2.3	激励机制	25
2.3.1	激励机制概述	25
2.3.2	基于信用的激励机制	26
2.3.3	基于分值的激励机制	28
2.3.4	基于等量交换的激励机制	29
2.3.5	基于信任的激励机制	30
2.4	问题分析	31
2.5	本章小结	33
第 3 章	基于蜂群及兴趣驱动的路由协议	34
3.1	引言	34
3.2	系统模型及假设	36
3.3	BEEINFO 协议	37
3.3.1	基于兴趣的社群	37
3.3.2	人工蜂群算法感知模拟	40
3.3.3	BEEINFO 体系结构	42
3.3.4	BEEINFO 工作流程	44
3.4	BEEINFO 协议的实现	45
3.4.1	环境感知和社交强度感知	45
3.4.2	转发策略	46
3.4.3	消息调度和缓存管理	48

3.5	仿真实验及结果分析	50
3.5.1	仿真环境及设置	50
3.5.2	仿真结果分析	52
3.6	本章小结	58
第 4 章	多维度数据转发路由协议	60
4.1	引言	61
4.2	系统模型及假设	62
4.3	PIS 协议	64
4.3.1	物理临近性	65
4.3.2	数据兴趣	65
4.3.3	社交联系	66
4.3.4	PIS 工作流程	67
4.4	PIS 协议的实现	70
4.4.1	更新维度信息	70
4.4.2	计算维度相似度	72
4.4.3	确定转发策略	74
4.5	仿真实验及结果分析	76
4.5.1	数据集	76
4.5.2	仿真环境及设置	77
4.5.3	仿真结果分析	78
4.5.4	参数对 PIS 的影响分析	83
4.6	本章小结	94
第 5 章	基于副本调节的激励机制	95
5.1	引言	95
5.2	系统模型及假设	97

5.3	CAIS 机制	100
5.3.1	单源分发模式和多源分发模式	100
5.3.2	CAIS 体系结构	103
5.3.3	CAIS 工作流程	105
5.4	CAIS 的实现	106
5.4.1	消息副本管理	106
5.4.2	数据转发管理	109
5.4.3	自私管理	112
5.4.4	消息优先级管理	113
5.4.5	credit 分配管理	114
5.5	仿真实验及结果分析	114
5.5.1	网络模型	114
5.5.2	仿真环境及设置	115
5.5.3	仿真结果分析	117
5.6	本章小结	127
第 6 章	基于社群等量交换的激励机制	128
6.1	引言	128
6.2	问题模型与分析	129
6.3	系统模型	132
6.4	Com-BIS 机制	134
6.4.1	Com-BIS 体系结构	134
6.4.2	Com-BIS 工作流程	135
6.5	Com-BIS 机制的实现	136
6.5.1	节点与节点间的等量交换策略	136
6.5.2	节点与社群间的等量交换策略	137
6.5.3	更新贡献值和收益值	139

6.6 仿真实验及结果分析	140
6.6.1 仿真环境及设置	140
6.6.2 仿真结果分析	142
6.6.3 Com-BIS 影响因素分析	145
6.7 本章小结	153
第 7 章 总结与展望	154
7.1 总结	154
7.2 创新点摘要	156
7.3 展望	157
参考文献	159

第1章

绪论

近年来，智能移动设备之间的社交因素成为延迟容忍网络、机会网络等间歇式连接的自组织网络的研究热点。结合延迟容忍网络、信息物理系统和社交网络分析理论，笔者提出了社会感知网络。社会感知网络是一种新的网络模式，它借助于移动节点间的社交联系或特征来设计网络通信的各种协议。本书主要研究社会感知网络中的数据转发问题，包括全合作状态下的路由协议和存在自私节点的激励机制。本章首先阐述本书的选题背景及意义，接着介绍社会感知网络的体系结构、社交特点和关键技术，最后介绍本书的研究内容、创新点及本书的组织结构。

1.1 研究背景及意义

近年来，随着无线通信技术和网络技术的迅猛发展，普适网络（普遍存在的网络）架构逐渐形成。大量智能移动设备以前所未有的速度迅速加入网

络,并占有越来越高的比重。2011年,全球移动智能终端的出货量超越PC^[1]。移动手机正逐步代替个人计算机成为Web访问最常用的设备^[2]。随之也产生了很多新的应用,如移动社交网络^[3]、移动环境监测^[4]、移动城市遥感^[5]等。

大量移动设备的网络连接需求,造成3G、4G等蜂窝网络的过量通信负载,从而严重影响到应用程序的服务质量(QoS)。因此,智能移动设备借助蓝牙、WiFi等短距离无线通信技术形成的自组织网络,如延迟容忍网络(Delay Tolerant Network, DTN)^[6~9]、机会网络(Opportunistic Network, OppNet)^[10~14]等开始越来越多地受到人们的关注。在这类网络中,由于节点(移动设备)的移动、节点稀疏分布、通信范围有限等原因,网络常常处于间歇式连接状态。因此,节点之间通常利用偶然的相遇机会,采用“存储—携带—转发(Store—Carry—Forward)”的模式,通过多跳的方式进行数据转发传输。这类网络普遍应用于难以建立结构化、全连通网络的领域,如野生动物追踪、手持设备组网、车载网络及偏远地区网络传输等^[15]。

随着越来越多的移动应用,移动设备组成的自组织网络也表现出一些新的特点。

(1) 移动节点密度增大。随着移动设备的增多,移动节点不再以稀疏为特点,其密度逐渐增大。这使得移动设备之间的通信更加容易。

(2) 移动设备更加智能,具有更大的存储空间,以及更强的计算和数据处理的能力。这些移动设备在网络中形成的巨大资源不容小觑。这使得移动设备有了更大的应用空间。

(3) 移动设备与人的关系越来越紧密。移动设备越来越多地在人们的生活中得到应用,如车载移动设备、智能手机等,都与人有着密切的联系。这为人们的生活带来更多便利的同时,也为研究移动设备的联网技术提供了新的方向。

早在19世纪初期,社会学家就提出“社交网络(Social Network)”^[16, 17]来研究社会个体成员之间的社交联系,并形成很多著名的理论,如“小世界

现象”“六度分隔理论”“中心性”“聚簇”等^[18]。人们之间的社交联系和特征表现出一定的规律性和稳定性。由于人与移动设备之间的密切关系，移动设备就像是人在网络中的缩影。人们之间的社交联系及人的移动等特征，都直接或间接影响到移动设备。因此，近年来，很多研究者从社交因素入手，探索移动设备之间的通信问题，形成了很多具有社交特性的新领域，如社交机会网络（Social Opportunistic Network）^[18~20]、车辆社交网络（Vehicle Social Network）^[21~23]、机会物联网（Opportunistic IoT）^[24, 25]、移动社交网络（Mobile Social Network, MSN）^[26, 27]等。

结合延迟容忍网络、信息物理系统（Cyber-Physical System, CPS）^[28, 29]、社交网络分析理论（Social Network Analysis Theory），笔者提出社会感知网络（Socially Aware Networking, SAN）^[30]来表示以移动节点之间的社交联系或特征作为主要依据进行网络通信设计的新模式。社会感知网络可以在很多领域得到应用，具有广阔的应用前景，如口袋交换网络（Pocket Switched Network, PSN）^[31, 32]、车载网络（Vehicular ad hoc Network）^[33, 34]、信息物理系统等。同时，它也需要来自如移动感知（Mobile Sensing）^[35~37]、社会感知计算（Socially Aware Computing）^[38]、社交网络分析（Social Network Analysis）^[39]等方面的技术支持。

社会感知网络主要有两方面的特点。一方面，社会感知网络主要研究智能移动节点通过蓝牙、WiFi等组成的自组织网络中的无线通信问题。在这一点上，社会感知网络与延迟容忍网络有相似之处。节点均采用“存储—携带—转发”的模式，通过相遇的中间节点进行多跳的转发。与延迟容忍网络不同的是，在社会感知网络中，节点更加密集，网络连接的程度更高。当然，网络中可能存在很多无关联节点，而有效节点之间仍然处于间歇式连接状态。从而，如何在大量的移动节点中找到更加合适的转发节点，就成为一个不同于延迟容忍网络中的新问题。另一方面，移动设备之间很大程度上受到社交因素的影响。由于移动设备常由人、动物、交通工具等社会对象携带，因此，移动

设备之间表现出较强的社交特性。

数据转发中的路由问题和自私节点的激励问题是社会感知网络实现各种应用的基础技术，也是目前社会感知网络中的研究热点。在间歇式连接的网络环境中，数据转发的核心工作是如何选定合适的转发节点，将数据有效地传送到目的节点，并实现数据交付率、网络负载及传输延迟之间的平衡^[40]。在以往的数据转发协议研究中，数据的转发效率主要通过两种方式来保障。一种方式是增加消息副本，如传染病算法 Epidemic^[41]。在 Epidemic 算法中，消息会被转发给遇到的所有节点，以此方式增加遇到目的节点的概率。另一种方式是通过预测节点的未来相遇概率来选择转发节点，如 ProPhet^[42]。在 ProPhet 中，节点通过历史相遇记录，维护节点间的相遇概率，从而选择与目的节点相遇概率较高的节点作为转发节点。

然而，新形势下节点的密度越来越大，采用增加副本的方式，不仅会产生大量的网络负载，而且对于存储空间有限的移动节点来说，会产生频繁的消息替换，无法保证数据转发的效率。因此，采用预测未来相遇概率的方式选择转发节点成为主要的路由策略。与频繁的节点移动相比，社交特性具有更加稳定、更加规律的特点。例如，人们的社交圈是比较有限的，具有相同爱好或具有一定社交联系（如朋友联系、同事联系等）的人接触的频率更高。人们的运动具有一定的规律性，如上班族朝九晚五的工作时间和固定的工作环境等使得他们在一定周期内做着重复运动。这些相对稳定、规律的社交联系将有利于更准确地预测节点的相遇概率。这也是社交网络路由的中心问题。

另外，数据的转发主要依赖节点间的转发合作。然而，现实生活中却存在着大量的自私节点。即节点只转发与自己相关的消息，而不愿意帮助别的节点转发。其原因主要在于，一方面，移动设备能量、存储空间等资源有限，为了节约稀缺的资源，节点可能采取自私行为。另一方面，移动设备中往往存储着重要或隐私信息，为了保障安全性，节点也会拒绝合作。自私节点的存在严重影响数据转发的效率。因此，对自私节点的激励机制也是研究社会

感知网络数据转发的重点。

节点间的社交联系和特征具有更加稳定并容易获得的特点，而且与很多实际的应用有直接关系。例如，微信、微博等社交应用都会维护节点的朋友圈等信息。移动设备中会存储相关的朋友列表等信息。移动设备的操作历史也会反映节点感兴趣的数据、习惯等信息。因此，社交因素对于新形势下，间歇式连接网络的数据转发及社交应用都有着积极的作用。

社会感知网络通过感知、分析、利用节点间的社交联系和特征，实现间歇式连接网络环境下，移动设备间的数据转发和应用。其在众多领域有着巨大的应用潜力。路由技术和激励机制是社会感知网络进行应用的基础技术，其研究还存在很多实际的挑战。因此，对路由技术和激励机制的研究，对推动社会感知网络的理论研究，以及实际应用、对普适网络的实现都有着重要的意义。

1.2 社会感知网络

1.2.1 体系结构

社会感知网络首先通过感知移动节点的实时数据获取情景信息；其次采用分析、演绎的方法对数据进行处理，从而推断出节点间的社交联系和属性；最后利用这些社交联系和属性来制订合理的协议以支持上层应用。社会感知网络的体系结构如图 1.1 所示。