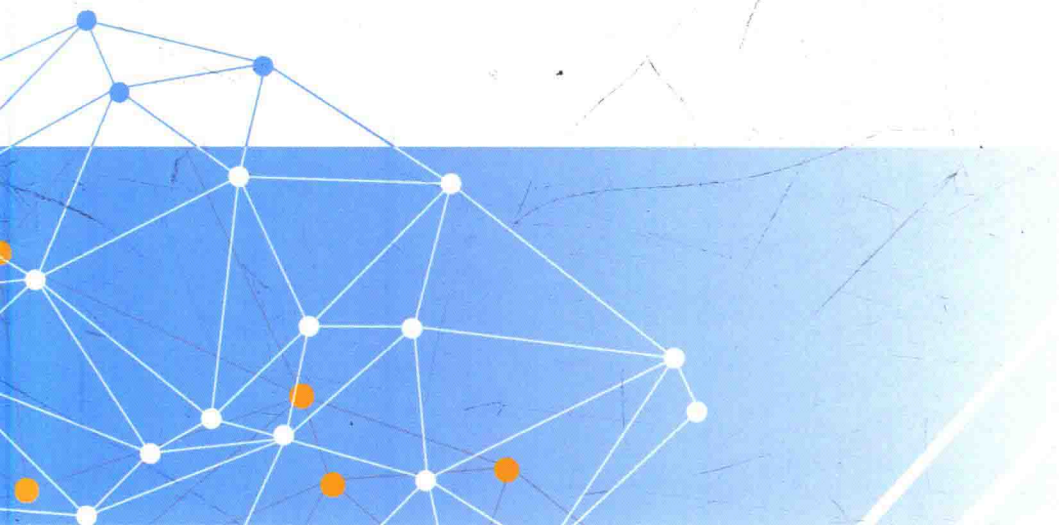


YIDONG Ad hoc WANGLUO DE
ZIYUAN FENPEI YU LUYOU YANJIU

移动Ad hoc网络的资源分配 与路由研究

苗许娜 著



中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

移动 Ad hoc 网络的资源 分配与路由研究

苗许娜 著

中国财经出版传媒集团



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

移动 Ad hoc 网络的资源分配与路由研究/苗许娜著.
—北京: 经济科学出版社, 2017. 7
ISBN 978 - 7 - 5141 - 8227 - 9

I. ①移… II. ①苗… III. ①移动网 - 研究
IV. ①TN929. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 169581 号

责任编辑: 刘 莎

责任校对: 刘 昕

责任印制: 邱 天

移动 Ad hoc 网络的资源分配与路由研究

苗许娜 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: www.esp.com.cn

电子邮件: esp@esp.com.cn

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: <http://jjkxcbs.tmall.com>

北京密兴印刷有限公司印装

710 × 1000 16 开 14.5 印张 220000 字

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 8227 - 9 定价: 49.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191510)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: dbts@esp.com.cn

前 言

无线 Ad hoc 网络,是由一组自主的无线节点或终端相互合作组成的,独立于固定的、有基础设施的并采用分布式管理的网络,是一种自创造、自组织和自管理的网络。信息、定位、通信和自动化技术的飞速发展,以及无线自组织网络的特点和实用意义,无线自组织网络关键技术的研究已经引起许多国家的极大关注,尤其在资源分配与优化技术和路由方面。

在移动 Ad hoc 网络中,网络资源有限并且分布不均匀,网络资源的利用率是衡量网络性能的重要指标之一。深入研究移动 Ad hoc 网络的资源分配与路由选择问题,灵活分配和动态调整网络可用资源,可以最大化网络资源利用率,同时提高网络性能,对改善和提高移动 Ad hoc 网络性能具有非常重要的实际意义。本书针对移动 Ad hoc 网络的资源分配与路由问题,以网络效用最大化以及资源合理分配为出发点,对无线资源动态分配进行研究,主要内容有:

1. 提出移动 Ad hoc 网络中基于路由稳定性的速率控制算法

基于网络效用最大化模型,根据拥塞代价函数和节点移动造成的路由不稳定性代价函数,设计了一种移动 Ad hoc 网络的速率控制算法,该算法考虑了路由的稳定性以及网络的拥塞因素,能够使网络中的瓶颈链路得到充分利用,从而达到网络效用最大化的目的。

2. 提出一种基于跨层设计的速率分配算法

本书考虑移动 Ad hoc 网络中 MAC 层、网络层以及传输层之间的联系,提出了一种基于跨层设计的速率分配方案,该方案把速率控制、路由和调度算法结合在一起,共同完成速率合理分配,从而达到提高网络资源优化的目的。其中传输层负责调整源节点速率,网络层采用随机网络编码机制,而 MAC 层采用动态的极大加权匹配调度算法。

3. 设计基于合作微分博弈模型的资源分配方案

在移动 Ad hoc 网络中,由于用户的自私行为通常导致网络的整体性能下降,因此,采用微分合作博弈理论来设计网络的资源分配方案能激发用户间的合作,从而达到网络的性能最优化与资源利用率最大化的目的。针对移动的 Ad hoc 网络,本书提出了基于合作微分博弈模型的速率和功率分配方案,该方案基于用户间公平性和效益分配合理性来分配网络资源,解决了网络吞吐量提高和能量优化之间的折中以及能量有效与极小化端到端时延之间的权衡问题。

4. 提出一种认知无线电 Ad hoc 网络的组播路由算法

目前,对于认知无线电 Ad hoc 网络路由算法,特别是组播路由算法的研究还处于起步状态。本书针对认知无线电 Ad hoc 网络能量优化的组播路由问题,设计了组播路由启发式算法,该算法设计了能量费用函数,在构建组播树的同时考虑频谱选择和频谱接入技术,使得该组播路由算法更适用于认知无线电 Ad hoc 网络环境,并且达到了认知无线电 Ad hoc 网络能量优化的目的。

5. 提出一种路由稳定性评价机制

路由稳定性在路由协议的设计中是非常重要的,本书针对移动

Ad hoc 网络中由于网络拥塞和节点移动造成的链路断开或者路由失效问题,设计路由稳定评价机制来评价和预测路由的稳定性问题,在该机制中,首先提出了动态稳定域的概念,该动态稳定域是由源节点的发送速率、节点位置向量和节点速度向量的范围组成。然后根据路由中节点的信息是否位于该动态稳定域中来实时评价路由的稳定性,并达到提前预警路由的有效性和指导选择路由的目的。

目 录

Contents

第1章 引言	1
1.1 现状分析	1
1.1.1 传统的无线 Ad hoc 网络	1
1.1.2 认知无线 Ad hoc 网络	4
1.1.3 资源分配与优化研究现状	7
1.1.4 无线自组织网络路由研究现状	11
1.2 研究背景及研究意义	23
1.3 主要内容	25
1.4 本书结构	28
第2章 绪论	30
2.1 移动 Ad hoc 网络概述	30
2.2 移动 Ad hoc 网络资源分配问题的研究综述	33
2.3 移动 Ad hoc 网络组播路由的研究现状	38

第3章 预备知识	39
3.1 图论和最优化理论简介	39
3.1.1 图论简介	39
3.1.2 最优化理论简介	40
3.2 博弈论简介	42
3.2.1 微分博弈简介	42
3.2.2 合作微分博弈基础	43
3.2.3 通信网络中的调度问题	45
第4章 基于网络效用最大化的速率分配	82
4.1 基于路由稳定性的速率分配算法	82
4.1.1 引言	82
4.1.2 系统模型	83
4.1.3 算法中的惩罚函数	85
4.1.4 基于路由稳定性的速率分配算法	86
4.1.5 速率分配算法的稳定性	88
4.1.6 算法描述	90
4.1.7 仿真实验	91
4.1.8 小结	97
4.2 基于跨层设计的速率分配算法	97
4.2.1 引言	97
4.2.2 网络编码简介	99
4.2.3 系统模型	100
4.2.4 跨层设计算法	102
4.2.5 移动 Ad hoc 网络的调度算法	105
4.2.6 实验举例	107
4.2.7 小结	110

第5章 基于合作微分博弈模型的资源分配	111
5.1 基于合作微分博弈模型的速率分配	111
5.1.1 引言	111
5.1.2 合作微分博弈模型	112
5.1.3 合作博弈算法	114
5.1.4 模拟实验与结果分析	119
5.1.5 小结	123
5.2 基于合作微分博弈模型的功率分配	124
5.2.1 引言	124
5.2.2 相关工作	125
5.2.3 博弈模型	126
5.2.4 合作微分博弈算法	128
5.2.5 实验与结果分析	132
5.2.6 小结	136
第6章 移动 Ad hoc 网络的路由研究	138
6.1 基于能量优化的认知无线电 Ad hoc 网络 组播路由算法	138
6.1.1 相关工作	141
6.1.2 不考虑时延约束的组播路由启发式算法	144
6.1.3 考虑时延约束的组播路由算法	152
6.1.4 小结	166
6.2 路由稳定性评价机制	166
6.2.1 建立移动 Ad hoc 网络的路由稳定性 度量模型	167
6.2.2 求解无线移动自组织网络路由的 动态稳定域	168

4 ▶▶ 移动 Ad hoc 网络的资源分配与路由研究

6.2.3 实例计算 171

6.2.4 小结 177

第7章 超网络路由 179

7.1 基本原理 182

7.2 主要内容 182

第8章 结论与展望 189

参考文献 192

附录 缩写和符号清单 218

第 1 章

引 言

1.1 现状分析

信息、定位、通信和自动化技术的飞速发展，以及无线自组织网络的特点和实用意义，无线自组织网络关键技术的研究已经引起许多国家的极大关注，尤其在资源分配与优化技术和路由方面。

1.1.1 传统的无线 Ad hoc 网络

无线 Ad hoc 网络，是由一组自主的无线节点或终端相互合作组成的，独立于固定的、有基础设施的并采用分布式管理的网络，是一种自创造、自组织和自管理的网络。

对 Ad hoc 网络的研究可追溯到 20 世纪 70 年代的美国军事领域，是从 DARPA（美国国防部远景规划局）资助的研究项目“在战场环境下采用分组无线网进行数据通信”中产生的一种新的网络技术。它不需要基础设施的支持，通过移动主机自由组网进行通信，规范地说，Ad hoc 网络是由一组移动主机组成的临时性网络，该网络不需要任何中央基础设施的管理，也不需要借助将网络上的

主机连接在一起的广域网上可用的标准网络支持服务,即可独立运行。

Ad hoc 来源于拉丁语,从字面上可理解为“为特定目的或场合的”。IEEE 802.11 标准委员会采用了“Ad hoc 网络”一词来描述这种特殊的自组织对等式移动通信网络,IETF 也将 Ad hoc 网络称为 MANET (Mobile Ad hoc Networks)。成立于 1997 年的 IETF 的 MANET 工作组,专门负责具有数百个节点的 Ad hoc 网络路由算法的研发并制定相应的标准。

在应用方面,Ad hoc 网络与其他的通信网络有着显著的区别。目前,军事应用仍是其主要应用领域,但在民用方面,无线 Ad hoc 网络也有非常广泛的应用前景。同时,在实际应用中 Ad hoc 网络除了可以单独组网实现局部的通信外,还可以作为末端子网通过接入点接入其他的固定或移动通信网络,与自身网络以外的主机进行通信。因此,Ad hoc 网络也可以作为通信网络的无线接入手段之一。

在相关技术方面,由于 Ad hoc 网络是一种动态变化的基于无线信道的自组织网络,它的体系结构、QoS 保障和应用等问题比较复杂并难以实现。传统固定网络和蜂窝移动通信网中使用的各种协议和技术无法直接使用,因此需要为 Ad hoc 网络设计专门的协议和技术。由于 Ad hoc 网络的特殊性,目前的研究主要集中在信道接入协议和路由协议方面。但是,随着信息技术的发展和多媒体应用的日益普及,在 Ad hoc 网络中为不同业务提供相应服务质量保障的问题日益突出。此外,Ad hoc 网络的应用推广还需要解决网络安全、广播和组播的支持、网络管理和网络互联等问题。

相比有线网络和其他的无线网络,Ad hoc 网络具有如下特点:

1. 无中心,自组织

Ad hoc 网络没有严格的控制中心,是一个对等式网络,因此需

要采用分布式算法实现网络功能。网络的建立不依赖现有的网络基础结构,由网络节点自组织形成网络,节点可以随时加入和离开网络,活动节点需要相互配合完成网络的功能,能够不限时间和地点地快速部署网络。

2. 多跳路由

由于节点无线发射功率和无线传输覆盖范围的限制,当节点要与覆盖范围之外的其他节点通信时,需要中间节点的多跳转发。与固定网络的多跳不同,Ad hoc 网络中的多跳路由是由普通节点共同协作完成的,而不是由专用的路由设备(如路由器)完成的。

3. 动态拓扑

Ad hoc 网络中,节点以任意速度和任意方式移动,由于受各种因素(如功率控制、供电电池储量不够、无线信号间的互相干扰、地形等环境遮挡物等)的影响,无线信号的发送功率可能发生变化,同时节点间通过无线信道形成的网络拓扑结构随时可能发生不可预测的变化。体现在网络拓扑图中就是节点和节点间无线链路的数量和分布的变化。

4. 无线通信

Ad hoc 网络中采用无线技术。无线传输潜在地预示着网络中的带宽容量较低、冲突的可能性较大并且错误率高。除此之外,考虑到竞争共享无线信道产生的碰撞、信号在传输过程中引起的衰减、噪音和信道间的干扰等多种因素,无线信道实际带宽远远小于理论上的最大带宽值,并且会随时间动态地发生变化。

5. 节点资源有限

Ad hoc 网络中的移动节点灵活性好但受到其固有特性的限制,

如计算能力较弱、内存容量较小、由电池提供电源等,这些局限性使得如何高效地使用节点的能量和延长节点的工作时间成为 Ad hoc 网络中一个十分突出的问题。

6. 安全的有限性

Ad hoc 网络采用无线信道、分布式控制等技术和方式,更容易受到攻击威胁。这些安全性的攻击包括窃听、电子欺骗和拒绝服务等攻击手段。

7. 网络的可扩展性差

网络系统的可扩展性需求决定了新设计的网络系统适应用户企业未来发展的能力,也决定了网络系统对用户投资的保护能力。网络系统的可扩展性需求保证主要是为了适应网络用户的增加,网络性能需求的提高以及网络应用功能的增加或改变等方面。

在因特网环境中,由于采用了子网等技术,从而使网络具有很好的扩展性。但 Ad hoc 网络由于节点的移动性而无法得益于这些技术,很多信息只能在全网中传输,这使得带宽本来就低的 Ad hoc 网络的性能受到进一步的影响,降低了网络的可扩展性。

1.1.2 认知无线 Ad hoc 网络

认知无线电这个术语首先是 Joseph Mitola 在软件无线电概念的基础上提出的。1999 年 Mitola 在他的博士论文中描述了一个认知无线电系统,通过无线知识描述语言来加强个人无线服务的灵活性,对认知无线电进行扩展,并给出了令人感兴趣的跨学科的认知无线电的概念总结。在认知无线电发展的早期,各个研究机构和学者提出了各种研究模型。这些模型对认知无线电的工作机理和研究重点有不同的认识。Mitola 从认知无线电作为软件无线电的智能化角度

讨论了认知无线电的实现。弗吉尼亚工学院的模型着重研究认知无线电如何自适应改变通信参数以适应环境变化,主要包括物理层和MAC层参数的最优化。认知无线电工作组将认知无线电与传统无线电网络的模型相结合,给出了认知无线电的网络模型。

在应用方面,认知无线网络和无线 Ad hoc 网络有些相似,但比后者的应用范围更广。认知无线网络的一个非常意思而又重要的应用是在军事无线环境中。它能使军事无线电选择任意的、中频带宽、调制机制和编码机制去适应战场上复杂多变的无线环境。军事网络还有一个更强的需求就是安全性和在敌对环境中的通信保护。认知无线网络能允许军事人员为他们自己和他们的同盟实行频谱切换去找寻安全频带。公共安全和应急通信是认知无线网络应用的另一个方面。当发生自然灾害时,可能会暂时地使现存的通信基础设施产生故障甚至彻底摧毁,在灾难现场工作的人员需要建立应急网络。由于应急网络处理紧要的信息,必须保证可靠的具有最小延迟的通信。另外,应急通信要求一些重要的无线频谱用来处理大量的语音、视频和数据的传输。认知无线网络可以在没有基础设施的条件下通过保持通信优先权和回应时间来保证现存频谱是可用的。另外,认知无线电还可以用于租用网络,在不牺牲主用户服务质量的条件下,通过允许随机接入它的授权频谱来提供一个租用网络,在方便认知用户的同时为主用户网络带来经济上的收益。

在相关技术方面,作为一门新兴的技术,认知无线电技术的研究还需要进一步发展成熟才能达到应用的阶段,真正实现频谱利用率的提高。特别是对认知无线电高层的研究,即网络层以上的研究目前还较少。

认知无线电的一个非常重要的应用就是无线 Ad hoc 网络,将认知无线电技术应用于无线 Ad hoc 网络就是我们要研究的认知 Ad hoc 网络。我们主要针对认知 Ad hoc 网络路由技术进行研究,特别是认知无线电路由特性所带来的路由设计的特殊问题。由于路由选择

和信道选择问题相互耦合,需要跨层设计路由。现有的方案大多数只在 Ad hoc 路由协议上修改,没有与低层的 MAC 调度算法、物理层的功率分配方案结合。认知 Ad hoc 网络的多路径路由以及组播路由也没有得到广泛的关注。

认知无线电的特点包括对环境的感知能力,对环境变化的学习能力,对环境变化的自适应性,通信质量的高可靠性,对频谱资源的充分利用以及系统功能模块的可重构性。采用认知无线电技术的认知 Ad hoc 网络,除了具备 Ad hoc 网络的一些特性外,由于认知无线电独特的频谱复用性和巨大的覆盖范围,使其呈现出一些不同于以往传统网络的特点:

在多系统共存条件下,分配无线资源。用户间的链接需要进行有效的控制和管理,同时满足延迟和带宽要求,实现数据传输调度。在数据传输调度时需要考虑以下几个因素:与交叠的认知无线电小区的共存、业务流对应的调度业务、业务流的服务质量(QoS)参数值、数据传输的可靠性和所分配的带宽容量。

系统应该具有多信道支持能力。中心控制器在需要的情况下应该能够将多个邻近频道进行聚合处理以改善系统性能,支持更多的用户使用并占据更广的覆盖面。它可以在一些控制帧中指示用户终端哪些信道可以聚合成组以供使用,而用户则可以相应地采用多信道模式工作。中心控制器要具有能够处理跨越多个子信道的上下行传输能力,并且随着信道数量变化及时调整调度工作。信道分组使用同时也提高了带宽利用率。主用户检测程序和分布式感知能力为多信道操作的可行性提供了保证。

系统面临共存问题。共存问题包括两个层次:一是对主用户系统的干扰问题;二是对于重叠区、部分重叠区内认知网络实体的共存问题。为避免对主用户的干扰,分布式频谱感知、测量、检测算法以及频谱管理等认知无线电技术所特有的功能都必须加以考虑。现实中,作为覆盖范围巨大的多个认知无线电小区之间很有可能会

发生部分重叠,最坏情况下甚至完全重叠。由此引发的自干扰问题如果不能得到解决,将会严重影响认知无线网络工作。

相比传统的 Ad hoc 网络,认知 Ad hoc 网络有很强的优势。在认知终端之间的通信链路能够被鲁棒性最强且最可靠的无线系统建立。此外,认知无线 Ad hoc 网络中的认知终端可以利用不同的无线系统同时进行通信而不会产生任何干扰和冲突。

1.1.3 资源分配与优化研究现状

1. 基于跨层设计思想的资源分配与优化研究现状

基于跨层设计思想的无线资源分配与优化是一个研究热点,受到了广泛的关注,对于无线资源管理过程中需要明确地指定所分配资源的数量(如传输速率大小、传输功率大小等),因此在利用跨层设计思想来研究无线资源分配与优化时,往往会采用数学建模的方法对所研究的问题进行抽象建模,并利用一定方法对设定的模型进行求解,从而利用最终得到的分配结果来实现相应模型目标。而一个性能较好的算法必须基于合理的建模,同时该模型应该可以用较少量来求解。为了达到这一点,凸规划模型在无线网络跨层设计中受到了更多的关注。一个最优化模型往往可以用以下形式来表达:

$$\begin{aligned} \min \quad & f_0(x) \\ \text{s. t.} \quad & f_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m, \\ & h_i(x) = 0, \quad i = 1, \dots, n_0. \end{aligned}$$

其中, f_0 为目标函数, f_i 、 $1 \leq i \leq m$ 为非等式约束条件,而 h_i 则为等式约束条件。而凸规划模型的一个重要特性是可以采用拉格朗日对偶法(Lagrangedual)对问题进行方便的求解。

基于凸规划算法,在无线网络的资源分配方面也产生了较多的