移动 P2P 计算研究进展*

牛新征, 佘 堃, 路 纲, 周明天
(电子科技大学 计算机科学与工程学院, 四川 成都 610054)

摘 要: 随着无线网络技术和 P2P 计算的发展以及大量用户移动性应用的需求,人们在研究无线网络和 P2P 计算的众多问题的同时,也提出了基于无线网络的移动 P2P 计算的研究课题,并且在文件共享、路由策略、体系框架、访问控制等方面取得了丰硕的研究成果。在分析新型的移动 P2P 计算的基础上,总结了现有的研究成果,分析了其应用领域和技术方案以及移动 P2P 计算未来的发展趋势。

关键词: 移动对等计算; 移动无线自组网络; 文件共享; 路由机制
中图分类号: TP393 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-3695(2007)05-0269-04

Overview of Mobile Peer-to-Peer Computing

NIU Xin-zheng, SHE Kun, LU Gang, ZHOU Ming-tian
(School of Computing Science & Engineering, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract: With the development of wireless networks and peer-to-peer computing, and many requirements on users' mobile applications, therefore many research aspects of mobile peer-to-peer computing based on wireless networks were studied as well as wireless networks and peer-to-peer computing. Furthermore, much research progress about file sharing, routing mechanism, integrating architecture, access control and so on were made. The characteristics of novel mobile peer-to-peer computing were decribed and analyed, followed by illustration of the key mechanisms of the existing representative research fruits, and summarization of the important features of their technologies and application areas. Finally, the future research strategies and trends were introduced.

Key words: mobile peer-to-peer (MP2P) computing; mobile Ad hoc networks (MANET); file sharing; routing mechanism

Peer-to-Peer (P2P)[1] 计算模式具有完全的分布式、自组织等特征,在许多领域已经得到了广泛的应用。随着网络基础设施逐步建立和无线通信技术的成熟,移动计算设备快速发展,计算和待机能力的瓶颈被逐步突破,数据格式也日趋统一。因此,人们便提出了通过便携机、个人数字助理、移动电话等移动设备方便地完成移动用户共享、交互、协作的移动性应用需求。P2P 计算模式在学术研究和工业开发中已经开始扩展其范围到移动设备和无线网络领域[2]。

然而移动应用环境所固有的缺陷和特点,如移动计算设备的能量和资源的相对短缺、通信能力相对较弱、网络动态多变和网络连接不可预见性的中断等,对以前传统的 Internet 下的 P2P 计算提出了挑战,对移动 P2P 计算的研究和开发提出了新的需求。本文全面而系统地介绍了基于无线网络的移动 P2P 计算的技术、研究工作和发展现状。

1 移动 P2P 计算

1.1 移动 P2P 计算的概述

移动 P2P 计算模式是一种动态的、分布式和自组织的计算模式。它描述了一种在无线网络中自治的移动设备以 Peers 方式交互、共享协作处理模式,其设备间建立成对的通信连接和同等的 Peer 关系。因此,移动 P2P 网络被构造成多个移动对等设备间为移动用户应用的 P2P 网络,它扩展了 P2P 应用到无线网络中,为移动用户的 P2P 应用提供了支撑。例如,移动 Ad hoc 网络中协作会议、移动患者监控、移动环境中的分布式命令和控制系统、战场和救灾现场的任务协作、移动用户的资源共享和交互等。

1.2 移动 P2P 计算的特点与挑战

与传统 Internet 下的 P2P 相比,移动 P2P 计算具有一些新的限制,如网络环境的限制、移动设备的限制等;也具有一些特点,如自组织、分布式、高度动态性等。

通过分析以及在文献[3,4]中的描述,移动 P2P 计算会遇到如下挑战:

(1) 基础设施: ①没有网络或者出现网络中断时, Peers 节点应该能够在没有网络时保持工作; ②无线网络的动态性和有限制的带宽等; ③移动设备较短的电池生命、较低的执行和处理能力(如低能力的 CPU 等)带来了必须有限制的能源消耗、有限制的数据大小和格式等。

(2) 命名和路由。访问分布式的资源意味着在一个非固定的连接、不能预料的 IP 地址环境中操作,并且不是所有的移动设备都支持 IP 网络;同时可能它的操作是在 DNS 之外,以及实时的分布式协作需要有能力和时间去识别节点用户。

收稿日期: 2006-04-04; 修返日期: 2006-06-12 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60473090)

作者简介: 牛新征(1978-),男,河南人,博士研究生,主要研究方向为网络计算与网络安全(xinzhengniu@uestc.edu.cn); 佘堃(1969-),男,四川人,教授,主要研究方向为信息安全、分布式计算; 路纲(1976-),男,河北人,博士研究生,主要研究方向为普适计算; 周明天(1939-),男,广西人,教授,博导,主要研究方向为分布式计算、信息安全.

面对没有中心目录服务器及移动设备有限的传输范围、路由生命周期,网络拓扑的动态性、节点的移动性、建立健壮的路由策略是必需的。

(3) 资源发现和处理。需要能在一个完全分布式、自组织的动态环境中,移动设备侦察到别的移动设备的存在,以及不能查找到移动设备和不能获得服务时的提示。

资源处理必须是:①高度可获性,需要每个节点能够保存每个共享数据对象的一个本地拷贝,能够在与别的节点缺乏联系时仍能够执行计算;②一致性,保证共享数据的一致性;③实时性,怎么样实时地响应用户的需求,及时地完成用户的任务。

(4) 安全。①移动设备本身的问题。访问控制需要对不同类型和缺乏资源运行常规的安全机制的移动设备进行支持。②网络环境的问题。对于完全的分布式环境以及在没有任何管理和控制中心点的情况下,要一个分布式认证协议发挥重要作用是非常困难的。

1.3 移动 P2P 计算的研究概况

国内外大量的研究机构正在从事移动 P2P 方面的研究,如国内的浙江大学、上海交通大学、香港科技大学以及台湾国立成功大学等。在国外,如美国 UC Berkeley、University of Illinois at Chicago、University of California、Riverside、Purdue University、University of Maryland Baltimore County 等;英国 University of Cambridge Computer Laboratory 等;德国 University of Würzburg 等;其余还有 Institute of the Italian National Research Council、Technical University of Vienna、Distributed Systems Group Austria 等。Nokia、IBM、法国的 Apeera 等公司也投入大量人力和物力来研究这个课题,如在 Nokia 研究中心,已经测试了在 6600 型号手机上的 P2P 网络。目前的版本可以分享图片和文本文件,以后的版本在于分享数字音乐等。法国 Apeera 公司提供技术使手机的开发者能够为用户提供手机上共享的移动游戏、图片、个人文件等。

2006 年移动 P2P 计算专门的国际会议提出了移动 P2P 计算的多个研究方向,如移动 P2P 计算的路由协议、安全通信协议、资源交换机制;移动 P2P 的应用、系统、框架和平台等。

2 基于移动 Ad hoc(MANET) 网络的移动 P2P 计算

2.1 基本思路

在移动 Ad hoc 网络上建立移动 P2P 应用已经成为了许多研究者研究的课题[3,4]。P2P 计算模式的应用在 Internet 上可以开发和应用,同时也可以在移动 Ad hoc 网络上部署。例如,P2P 文件共享应用诸如 Gnutella 被设计在无服务器的结构中,它同样潜在地适合无结构的移动 Ad hoc 网络环境。但是由于 Internet 和移动 Ad hoc 网络许多基本的不同,对在移动 Ad hoc 网络上构建 P2P 系统带来了许多挑战,如带宽限制、节点移动性、拓扑动态性、框架的缺乏、限制的能量等。文献[5 ~7] 都提到了在移动 Ad hoc 网络上构建 P2P 系统的方法。其思路如图 1 所示。

2.2 设计方法和已有系统

支持在移动 Ad hoc 网络中构建 P2P 系统的覆盖抽象的四个设计方法,如图 2 所示。

(1) 层次和无结构。无结构的 P2P 协议是被操作在移动 Ad hoc 网络路由协议的顶部。

(2) 集成和无结构。在无结构的 P2P 协议上的操作是被集成到移动 Ad hoc 网络路由协议操作中,以支持无结构的 P2P API。

(3) 层次和有结构。一个有结构 P2P 协议,如 Pastry 等能够运行在移动 Ad hoc 网络路由协议的一个应用之上。

(4) 集成和结构。结构化的 P2P 协议被集成到一个移动 Ad hoc 网络路由协议中,提供一个分布式哈希表的抽象。

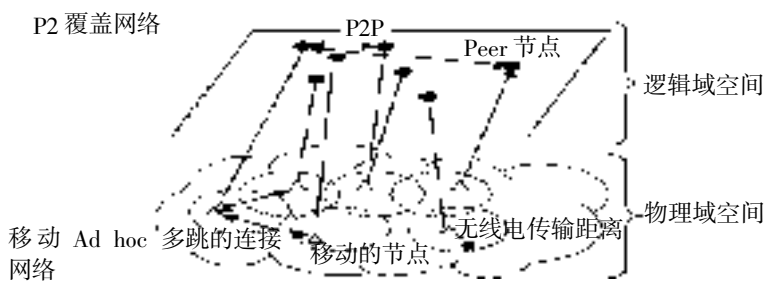

图 1 移动 Ad hoc 网络上的 P2P 覆盖抽象图

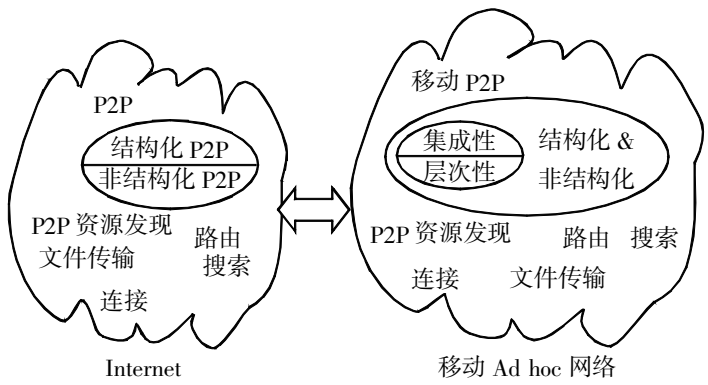

图 2 移动 Ad hoc 网络中构建 P2P 覆盖抽象的设计方法

文献[6] 中提出了一个动态 P2P 源路由算法(DPSR)。它是一种新的移动 Ad hoc 网络路由协议;通过集成动态源路由和一个相临感知的结构化 P2P 重叠路由协议,实现了一个在移动 Ad hoc 网络中的分布的哈希表;能够通过一个相同的 P2P APIs 集建立在移动 Ad hoc 网络之上。文献[7] 描述了一个框架 MIN,能够作为 P2P 和 Ad hoc 网络应用的一个集成框架。对于 P2P 协议和移动 Ad hoc 网络协议的结合,提出可能的解决方法是:把一个 IP 地址与在命名空间中的节点 ID 映射起来,而取代存储的 IP 地址的路由表项。

3 研究工作分类

通过分析研究及文献[2 ~5] 所提到的移动 P2P 计算的研究工作大体分为如下几个方面:

(1) 中间件和框架设计。为了容纳设备和技术的不同,平台独立的中间件必须被开发,良好的框架必须被设计,以支撑异构的移动设备及不同类型的数据和不同标准的技术。

(2) 移动 P2P 与固定的 P2P 互通。移动 P2P 系统与在 Internet 下相对固定的 P2P 系统相比,使用的技术和通信协议等都是不一样的。怎样把新建立的移动 P2P 系统与已有的固定 P2P 系统连接起来,实现相互访问,是一个需要讨论的问题。可借鉴下面的思路,如图 3 所示。

(3) 路由策略和数据共享、资源发现。有效的路由策略和数据共享、分发、资源发现规则能够减少延迟和系统的拥塞度,减少网络中无用和错误的信息包,快速地响应移动用户的需求。用户可以通过这些策略的帮助,依靠自身的移动设备来访问周围可取的数据和服务,或得到自己感兴趣的事件通报,或向正确位置传递自己的数据包和转发别的用户的数据包。

(4) 性能度量工具和高性能的设计。分析哪些因素如何影响系统的性能、效率和扩展性, 并采用合理的设计来提高响应度和准确度。防止由于系统的规模扩大而带来系统的崩溃是一个关键问题。因此, 移动 P2P 性能的度量工具和方法, 以及对于评价一个框架的统一尺度, 研究涉及的性能优化显得越来越重要。

(5) 移动 P2P 计算的安全机制和分布式管理。移动 P2P 计算的安全机制和分布式管理问题是一个非常棘手的难题。它包括如何建立移动 P2P 计算的安全性以及怎么样对移动 P2P 计算中移动设备等实施分布式管理等。

(6) 移动 P2P 计算的应用开发。移动 P2P 应用的领域在不断地扩大, 从重要场合的使用(如灾难恢复诸如地震、火灾)、战场协作作战(如数字化单兵等)到普通的、民用的、娱乐场合的使用, 如移动用户的 MP3 音乐文件等的共享和多用户的移动游戏等。

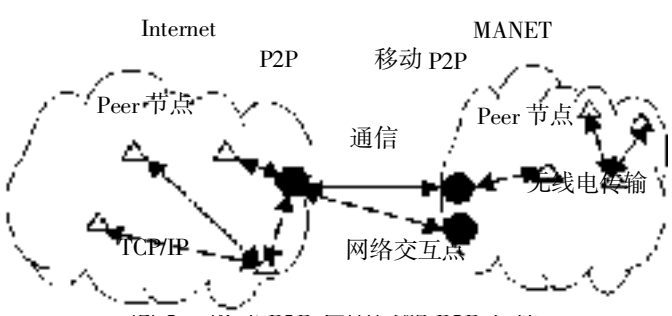

图 3　移动 P2P 与固定的 P2P 互通

4　研究热点现状

目前的研究热点包括路由、资源发现、组播、安全、数据分发等, 如表 1、2 所示。

表 1　研究热点现状比较

研究热点	研究现状
发现	DEAPspace[8]是一个集成的发现算法, 包括设备和服务的发现。它能够探测到邻居设备的存在, 分享这些设备的配置和服务信息, 并能够发现设备的问题。MOBI-DIC[9]能够在许多应用领域, 如社会网络、运输、移动电子商务、灾难恢复等快速地建立匹配和资源发现服务。Konark[10]是一个为 Ad hoc 和 P2P 网络的服务发现与传递协议, 它使用一个完全的分布式的 P2P 机制来提供每个设备发布和发现服务的能力
组播	文献[11]描述了一个基于邻居关系的组播路由协议, 文献[12]使用角色去形成组播组, 文献[13]使用内容作为标准
数据分发	SPIN[14]是第一个在 Ad hoc 中建立数据分发的适应性协议的系统。文献[15]提出了适应性的基于内容驱动的路由和数据分发算法, 能够支持在移动 P2P 网络中的智能路由查询。该算法通过建立数据的内容概要, 适应性地分发它们到最适当的节点
安全	在项目 CoolTown[16]中, 一个认证的框架被设计为移动计算应用的。Shen 和 Dewan[17]提出了一个协作的访问控制系统。Kim 等人[18]给出了一个移动 P2P 协作环境的认证框架的例子。Pascal Fenkam 等人[19]提出了一个正在研究中的移动 P2P 环境中的访问控制系统

5　典型系统

5.1　Proem

Proem[3]是一个移动 P2P 的中间件, 它提供了一个实现移动 Ad hoc 网络的应用开发和部署的应用环境, 为移动 Ad hoc 网络和个人域网络开发与部署相应的 P2P 应用。

Proem 可以简单地被视为一组通信协议。节点协议的定义和使用保证了在不同的硬件和软件平台的 Proem 系统实现间的互用性。开发者为了支持 MP3 文件共享和任何别的 P2P 应用对基本的 Proem 协议进行扩展, 通过定义其特殊的应用协议来实现。

表 2　路由研究情况比较

路由	研究情况
2000 年	IEEE 的资深会员[20]提出了一种基于区域层次的链路状态路由, 网络被分为非互相覆盖的区域。The University of Texas at Dallas 的研究者[21]提出了在 MP2P 网络中移动的簇头间建立连接的虚拟骨干网
2003 年	台湾国立清华的研究者[22]提出了一种移动 HS-P2P(Hash-based Structured Peer-to-Peer)结构, 可以支持节点的移动。德国的 Rüdiger Schollmeier[23]也提出了一个体系结构, 他们介绍了一种 Mobile Peer-to-Peer 协议组, 并且重用了很多存在的协议。University of Maryland Baltimore County 的研究者[24]提出一种具有基础结构的无线网络的 P2P 路由
2004 年	意大利的 Marco Mamei[25]提出了一种中间件(Tuples On The Air, TOTA), 并在此基础上建立了基于内容的路由。Purdue University 的研究者[26]提出把 DHTs(Distributed Hash Tables)使用到移动 Ad hoc 网络环境中。浙江大学的彭刚等人[27]采用分组和注册资源, 使新的协议加速了搜索过程。文献[7]提出了一种新颖的结构 MIN, 其利用了 P2P 和 MANET 的技术, 对于 P2P 协议和 MANET 协议的结合, 提出可能的解决方法
2005 年	University of California 的研究者[15]提出内容驱动路由和数据分发算法, 建立数据的内容概要和分发数据到最适合的节点; 基于内容概要, 路由机制被建立。University of Cambridge Computer Laboratory 的研究人员[28]提出了一种在移动 P2P 中动态组的通信, 并结合了发布和订阅的语义概念, 很好地使用了有效组通信的方式。文献[29]分析了在按需路由策略中节点负载的不平衡问题, 并提出了几点思考: ①通过网络别的参数去考虑角色数的关系; ②负载不平衡引起了分簇的出现; ③新的路由算法需要做一个负载平衡

5.2　7DS

7DS[30]是一个基于 Java 的为移动及固定设备数据预取和存取的 P2P 数据分享系统。

7DS 允许移动用户发布其移动设备上的数据项并通过无线局域网去询问别的用户数据; 也能够在一个局域网中被视为一个应用, 并且同别的 7DS 参与者通信。它有两种操作模式: 预取和按需式, 还能够按别的数据访问方法工作。

5.3　XMIDDLE

XMIDDLE[31]是一个基于无线局域网的反射中间件, 能够在移动节点间实现 P2P 的 XML 文档的透明共享。

XMIDDLE 的数据结构是树型, 其数据能够被表示在一个层次化的结构中。XMIDDLE 应用使用 XML Parsers 来确认树型结构符合 XML DTD 或模式定义的类型。其中, 通过在 XMIDDLE 的子树间的共享以及层次的引进方便了在不同粒度层次间的移动节点间的协作。

5.4　MOBY

MOBY[32]是一个无线 P2P 网络。框架使用 Jini 和 Jini 技术代理框架来建立。每个 Jini 域包含了一个允许多播的本地域网络。MOBY 是基于超级节点结构的 P2P 网络, 网络被划分为超级节点的域; 超级节点之间使用 UDP 通信。

在 MOBY 中的服务分为三类, 即普通的 Jini 服务、节点服务和系统 Jini 服务。除此之外, MOBY 还提供了扩展服务和服务访问的安全措施。它支持安全和可靠的服务发现。

5.5　Mobile Chedar

移动 Chedar[33]是一个移动 P2P 中间件。这个中间件是 Chedar-P2P 网络的扩展。在他们的设计中, 提出了网络被分为两个部分: ①固定的 Chedar 部分, 通信的建立都使用 TCP/IP; ②移动的 Chedar 部分, 它使用蓝牙技术作为传输技术, 并使用固定 Chedar 部分的某个节点作为移动 Chedar 的网关节点, 保持与固定 Chedar 部分的通信。移动的 Chedar 部分依靠蓝牙的发现机制, 不需要移动节点的 IP 地址。

5.6 Tuples On The Air(TOTA)

Tuples On The Air[34] 是一个支持动态网络中上下文感知应用的中间件。它通过依靠自保持的分布式元组在网络上传播,提供有效的基于内容的动态网络信息访问。其主要是依靠空间分布式的元组,在网络中该中间件基于特殊应用模式传播这些元组,并适应性地重构由于网络拓扑改变而带来的改变。应用组件能够在本地感觉到这些构造和探索并获得上下文的信息以及用一个适应性的方法执行一个复杂的协作活动。

5.7 Bristle

Bristle[24] 是一个基于 Hash 结构的移动 P2P 中间件框架,它基于 P2P 框架 Tornado,允许节点的自由移动。

Bristle 框架包括两个部分,即固定层部分和移动层部分。固定部分是任何基于 Hash 的 P2P 网络,它负责解决移动层移动节点的网络地址。每个移动节点关联一个 LDT,移动节点也能够主动在固定部分的固定节点帮助下,找到移动节点的丢失的状态。一个移动节点能够通过关联的 LDT 来迅速发布其更新状态到对它感兴趣的节点。

6 结束语

为了用户能够在移动环境中访问、交互和控制节点的信息、资源和服务,无须考虑节点的位置、节点设备的差异和移动性等,对移动 P2P 计算的研究已成为 P2P 计算研究领域中的重要课题。由于无线网络和 Internet 网络的特点与限制不同,以前 Internet 下的 P2P 框架、技术等需要被改进,以适应无线网络环境和移动设备的特点。从现在研究和开发的情况看,未来的研究将集中在移动 P2P 网络的节点、资源的迅速发现、定位和中间件、框架设计、消息的路由、安全机制、数据缓存机制、移动 P2P 应用的开发等方向。

参考文献:

[1] ILOJICIC D S, KALOGERAKI V, LUKOSE R, *et al*. Peer-to-peer computing, Hewlett Packard Internal Document[R]. [S. l.]: Hew-lett Packard Company, 2002.

[2] KALOGERAKI V. Mobile peer-to-peer computing: challenges, metrics and applications: proceedings of the 6th International Conference on Mobile Data Management[C]. New York: ACM Press, 2005.

[3] KORTUERN G, SCHNEIDER J, PREUITT D. When peer-to-peer comes face-to-face: collaborative peer-to-peer computing in mobile Ad hoc networks: proceedings of the 1st International Conference on Peer-to-Peer Computing[C]. [S. l.]: [s. n.], 2001: 75-91.

[4] OBERENDER J O, ANDERSEN F U. Enabling mobile peer-to-peer networking mobile and wireless systems: LNCS 3427[C]. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 219-234.

[5] HU Y C, DAS S M, PUCHA H. Peer-to-peer overlay abstractions in MANETs: proc. of the 1st International workshop on Decentralized Resoune shariny in mobile computing Networking[C]. New York: ACM Press, 2004.

[6] HU Y C, DAS S M, PUCHA H. Exploiting the synergy between peer-to-peer and mobile Ad hoc networks: USENIX Association, the 9th Workshop on Hot Topics in Operating Systems[C]. [S. l.]: [s. n.], 2003.

[7] YAN Lu, SERE K, ZHOU Xinrong. Towards an integrated architecture for peer-to-peer and Ad hoc overlay network applications: proceedings of the 10th IEEE International Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems[C]. [S. l.]: [s. n.], 2004.

[8] NIDD M. Timeliness of service discovery in DEAPspace: proceedings of the International Workshop on Parallel Processing[C]. [S. l.]: [s. n.], 2002.

[9] CAO Hu, WOLFSON O, XU Bo, *et al*. MOBI-DIC: mobile discovery of local resources in peer-to-peer wireless network[J]. **Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering,** 2005, **28**(3): 11-18.

[10] HELAL S, DESAI N, VERMA V, *et al*. Konark: a service discovery and delivery protocol for Ad hoc networks: proceedings of the 3rd IEEE Conference on Wireless Communication Networks[C]. New Orleans: [s. n.], 2003.

[11] LEE S, KIM C K. Neighbor supporting Ad hoc multicast routing protocol: the 1st Annual Workshop on Mobile and Ad hoc Networking and Computing[C]. Boston: [s. n.], 2000.

[12] BRIESEMEISTER L, HOMMEL G. Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected Ad hoc networks: proc. of the 1st ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing [C]. Piscataway: IEEE Press, 2000.

[13] ZHOU Hu, SINGH S. Content based multicast(CBM) in Ad hoc networks: proc. of the 1st ACM International Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing[C]. Piscataway: IEEE Press, 2000.

[14] HEINZHELMAN W R, KULIK J, BARAKRISHNAN H. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks: proceedings of MOBICOM[C]. Seattle: [s. n.], 1999: 174-185.

[15] REPANTIS T, KALOGERAKI V. Data dissemination in mobile peer-to-peer networks: proceedings of the 6th International Conference on Mobile Data Management[C]. New York: ACM Press, 2005: 211-219.

[16] ZHANG K, KINDBERG T. An authorization infrastructure for nomadic computing: proceedings of the 7th ACM Symposium on Access Control Models and Technologies[C]. New York: IEEE Press, 2002.

[17] SHEN Honghai, DEWAN P. Access control for collaborative environments: proc. of ACM Conf. on Computer-supported Cooperative Work [C]. New York: ACM Press, 1992: 51-58.

[18] KIM W, GRAUPNER S, SAHAI A. A secure platform for peer-to-peer computing in the Internet: proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences[C]. Hawaii: [s. n.], 2002.

[19] FENKAM P, DUSTDAR S, KIRDA E, *et al*. Towards an access control system for mobile peer-to-peer collaborative environments: proceedings of the 11th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises[C]. [S. l.]: [s. n.], 2002.

[20] MARIO J-N, LU I-Tai, A GPS-based peer-to-peer hierarchical link state routing for mobile Ad hoc networks: proceedings of the Vehicular Technology Conference[C]. [S. l.]: [s. n.], 2000: 1752-1756.

[21] CHLAMTAC I, FARAG A. A new approach to the design and analysis of peer-to-peer mobile networks[J]. **Wireless Networks**, 1999, **5**(3): 149-156.

[22] KODESWARAN S B, RATSIMOR O, JOSHI A. Using peer-to-peer data routing for infrastructure-based wireless networks: proceedings of the 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications[C]. [S. l.]: [s. n.], 2003.

(下转第 277 页)

wireless networks[C] . Boston: Birkh user, 1998: 547-566.

[11] SANTI P, BLOUGH D M. The critical transmitting range for connectivity in sparse wireless Ad hoc networks[J] . **IEEE Trans. on Mobile Computing**, 2003, **2**(1) : 25-39.

[12] WAN P J, YI C W. Asymptotic critical transmission radius and critical neighbor number for *k*-connectivity in wireless Ad hoc networks [C] . Japan: IEEE Computer Society Press, 2004: 1-8.

[13] BETTSTETTER C. On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network[C] . Switzerland: IEEE Computer Society Press, 2002: 80-91.

[14] HEKMAT R, VANMIEGHEM P. Degree distribution and hopcount in wireless Ad hoc networks [C] . Sydney: IEEE Computer Society Press, 2003: 603-609.

[15] TONGUZ O K, FERRARI G. Is the number of neighbors in Ad hoc wireless networks a good indicator of connectivity[C] . Switzerland: IEEE Computer Society Press, 2004: 40-43.

[16] FERRARI G, TONGUZ O K. Minimum number of neighbors for fully connected uniform Ad hoc wireless networks[EB/OL] . http: //www. ece. cmu. edu/ ～tonguz/paper/ICC2004_Neighbors_CR. pdf.

[17] XUE Feng, KUMAR P R. The number of neighbors needed for connectivity of wireless networks [J] . **Wireless Networks**, 2004, **10** (2) : 169-181.

[18] CANO J C, MANZONI P. A performance comparison of energy consumption for mobile Ad hoc network routing protocols[C] . San Francisco: IEEE Computer Society Press, 2000: 57-64.

[19] ANNE A, WENG Jie. Performance comparison of Ad hoc routing protocols for networks with node energy constraints[EB/OL] . (2004) . http: //www. stanford. edu/ ～amaaron/ee360/ EE360 _ FINAL _ PAPER. pdf.

[20] 袁明, 张连芳, 舒炎泰. Ad hoc 网络路由协议能量消耗分析[J] . 计算机工程与应用, 2003, **39**(15) : 146-149.

[21] STEMM M, KATZ R H. Measuring and reducing energy consumpsion of network interfaces in hand-held devices[J] . **IEICE Transactions on Communications,** 1997, **E80-B**(8) : 1125-1131.

[22] KASTEN O. Energy consumption[EB/OL] . (2001) . http: //www. inf. ethz. ch /^kasten/ Research/ bathtub /energy-consumption. html.

[23] CHEN B, JAMIESON K, BALAKRISHNAN H, *et al*. Span: an energy efficient coordination algorithm for topology maintenance in Ad hoc wireless networks[C] . Rome: ACM, 2001: 85-96.

[24] KEVIN J K, THOMAS E B, THEODORE S R. Wireless position location: fundamentals, implementation strategies, and sources of error [C] . America: IEEE, 1997: 919-923.

[25] MCDONALD A B. A mobility-based framework for adaptive clustering in wireless Ad hoc networks[J] . **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, 1999, **17**(8) : 1466-1487.

[26] HONG X, GERLA M, PEI G, *et al*. A group mobility model for Ad hoc wireless networks[C] . Seattle: ACM/IEEE, 1999: 53-60.

[27] Universal Mobile Telecommunications System(UMTS) . Selection procedures for the choice of radio transmission technologies: America, TS 30. 03 3GPP[P] . 1998.

[28] KEVIN F, KANNAN V. The network simulator: NS-2[EB/OL] . (2005) . http: //www. isi. edu/nsnam/ns/index. html.

[29] RAPPAPORT T S. Wireless communications: principles and practice [M] . New Jersey: Prentice Hall, 1996: 641-656.

[30] HAYES V, O'HARA B. IEEE Std 802. 11-1997 Wireless LAN medium access protocol and physical layer specification[S] . New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.

[31] LEE S-J, HSU Julian, HAYASHIDA R, *et al*. Selecting a routing strategy for your Ad hoc networks[J] . **Computer Communications,** 2003, **26**(7) : 723-733.

[32] FRIIS H T. A note on a simple transmission formula: proc. of IRE [C] . [S. l.] : [s. n.] , 1946: 254-256.

[33] 祁彪, 何建华, 杨宗凯. 无线 Ad hoc 网络协议的仿真评估[J] . 华中科技大学学报: 自然科学版, 2004, **32**(8) : 66-69.

[34] DAS S R, PEKIN C E, ROYER E M. Performance comparison of two on-demand routing protocols for Ad hoc networks: proc. of INFOCOM [C] . Tel Aviv: IEEE, 2000: 3-12.

(上接第 272 页)

[23] CHOLLMEIER R, GRUBER I, NIETHAMMER F. Protocol for peer-to-peer networking in mobile environments: proceedings of the 12th International Conference on Computer Communications and Networks [C] . [S. l.] : [s. n.] , 2003: 121-127.

[24] HSIAO H C, KING C T. Bristle: a mobile structured peer-to-peer architecture: International Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS '03) [C] . [S. l.] : [s. n.] , 2003.

[25] MAMEI M. Creating overlay data structures with the TOTA middleware to support content-based routing in mobile P2P networks: proceedings of the International Workshop on Hot Topics in Peer-to-Peer Systems[C] . Washington DC: IEEE Computer Scciety, 2004.

[26] PUCHA H, DAS S M, HU Y C. Ekta: an efficient DHT substrate for distributed applications in mobile Ad hoc networks: proceedings of the 6th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications [C] . Washington DC: IEEE Computer Seciety, 2004.

[27] PENG Gang, LI Shanping, JIN Hairong, *et al*. M-CAN: a lookup protocol for mobile peer-to-peer environment: proceedings of the 7th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks[C] . [S. l.] : [s. n.] , 2004.

[28] YONEKI E, BACON J. Dynamic group communication in mobile peer-to-peer environments: proc. of the ACM Symposium on Applied Computing[C] . New York: ACM Press, 2005: 986-992.

[29] YU Chansu, PARK S M, KIM H N. Every node is born equal: attacking preferential attachment in peer-to-peer mobile multihop networks: proceedings of the 3rd Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops[C] . [S. l.] : [s. n.] , 2005.

[30] PAPADOPOULI M, SCHULZRINNE H. Design and implementation of a peer-to-peer data dissemination and prefetching tool for mobile users: the 1st New York Metro Area Networking Workshop[C] . New York: Watson Research Center, 2002.

[31] MASCOLO C, CAPRA L, ZACHARIADIS S, *et al*. XMIDDLE: a data-sharing middleware for mobile computing[J] . **International Journal on Wireless Personal Communications**, 2002, **21**(1) : 77-103.

[32] HOROZOV T, GRAMA A, VASUDEVAN V, *et al*. MOBY: a mobile peer-to-peer service and data network: proc. of the International Conference on Parallel[C] . Washington DC: IEEE Computer Society, 2002: 437-444.

[33] KOTILAINEN N, WEBER M, VAPA M, *et al*. Mobile chedar: a peer-to-peer middleware for mobile devices: proceedings of the 3rd Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops [C] . [S. l.] : [s. n.] , 2005: 86-90.

[34] MAMEI M, ZAMBONELLI F, LEONARDI L. Tuples on the air: a middleware for context-aware computing in dynamic networks: proceedlings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops[C] . [S. l.] : [s. n.] , 2003: 342.