

# 基于校园环境的移动 P2P 网络体系研究与设计

宋应森, 刘方爱

(山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014)

**摘要:**由于 P2P 技术的广泛应用以及无线网络和移动设备的普及,人们提出了基于无线网络的移动 P2P 网络。文中通过分析移动 P2P 网络的特点和已有的网络模型,结合校园网络环境的特点,设计出基于校园环境的网络体系结构模型,并对模型的资源查找进行详细的描述。模型被划分成三层结构,底层的网络采用改进后的 Kelips 路由算法通信,该算法的路由复杂度是一个常数,有效减少资源查找时间,保证节点维护状态信息的实时性和正确性;由超级节点组成的中间层,实行分布式管理,采取泛洪搜索算法来通信;顶层是一些域内中心节点,负责连接外网和解决网络的安全问题。仿真实验表明:该模型能够更好地减少资源查找时间,即使大量节点失效,也可以快速检测到节点间关系变化并进行管理。

**关键词:**移动 P2P 网络;校园网络;资源查找;结构模型

**中图分类号:**TP393.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)10-0103-05

## Research and Design of a Mobile P2P Network Architecture Based on Campus Environment

SONG Ying-sen, LIU Fang-ai

(Information Science and Engineering College, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

**Abstract:** Because of the wide use of P2P technology and the popularization of wireless networks and mobile devices, mobile P2P network was proposed by most people. Introduced the concept of mobile P2P networks, analyzed the characteristics and models of them, designed a mobile overlay architecture model, combining with the campus network environment. In the model, resource searching was also described in detail. The model was divided into three layers; the underlying network used an improved Kelips routing algorithm. Because the routing complexity was a constant, it could effectively reduce resource searching time, ensure that the node maintains state information instantaneity and correctness; Interlayer was composed by super nodes, executed distributed management and took flooding search algorithm for communication; Top layer contained some domain center nodes for connecting the external network and solving the network security. Simulation showed that it was better to reduce time for source. Even when most nodes were failure, it can also quickly detect the relationship between nodes and made some changes.

**Key words:** mobile P2P network; campus network; resource searching; architecture model

## 0 引言

P2P(Peer-to-Peer)网络作为一种分布式网络,打破了传统的 Client/Server(C/S)模式,具有高度可扩展性、健壮性以及自组织性等特点,在数据发布传输、文件存储检索、分布式数据处理等相关技术领域有着广泛的应用。面对日益增多的移动设备和无线接入技术的飞速发展,将 P2P 技术应用到移动设备是必然趋势。随着无线网络设施在校园的建立和应用,师生持有移动设备数量的增加,使得教学课件与通知的及时

获取、音乐、文章、照片的随时分享逐渐成为可能,这些促使着移动 P2P 技术能够在校园环境中得以应用。

然而,移动 P2P 网络因其高度动态性、节点性能和网络带宽的限制等特性,与传统的 P2P 网络有较大的差异。如何将传统 P2P 技术与校园无线环境及移动设备的特点相结合,实现移动 P2P 技术在校园环境的应用,这成为一个新的需求点。文中系统地介绍无线 P2P 网络的特点,并通过分析现有的移动 P2P 网络结构模型,提出一种基于校园环境的移动 P2P 网络结构模型,并将改进后的 Kelips 路由算法应用其中,从而更好地实现快速资源定位、负载均衡以及可靠性维护。

## 1 移动 P2P 网络

### 1.1 移动 P2P 网络概述

移动 P2P 网络,是一种叠加在移动网络环境中网

收稿日期:2011-03-09;修回日期:2011-06-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90612003)

作者简介:宋应森(1986-),男,山东青岛人,硕士研究生,CCF 会员,研究方向为网络模型及网络环境下应用技术研究;刘方爱,教授,研究方向为网络计算、分布式计算、并行处理。

络层之上的会话层的覆盖网络,能够利用多种带宽和服务质量的底层接入技术,其目的是以直接交换的方式来实现移动终端设备之间的资源共享及服务协同<sup>[1]</sup>。除了与终端设备相对固定的传统 P2P 应用环境不同外,两者都是基于对等概念,采用分布式的网络结构,实现文件共享和内容分发。

## 1.2 移动 P2P 网络特点及问题描述

与传统的 P2P 相比,无线环境下的移动 P2P 网络的主要特点主要有以下几个方面:

(1) 拓扑结构变化频繁:网络中移动设备频繁的加入与离开、移动的规律的难以预测以及障碍物减弱通信的影响等因素导致网络拓扑结构经常发生变化,对移动 P2P 的路由和消息分发带来了巨大的挑战。

(2) 节点性能的有限性:为了使其便于携带,移动设备在存储容量、计算处理、能量供应等方面受到各种限制,要求尽量减少与其他移动终端的路由信息量,避免复杂的路由算法。

(3) 网络带宽的有限性:移动 P2P 网络的组网种类有很多,无线接入网络差异较大,如蜂窝移动通信网络、WLAN(无线局域网)、“蓝牙”技术等。有线环境中设备独享带宽,不存在和其他设备争夺带宽问题。然而在无线环境中,尽管可以采用先进的无线传输技术来提高频谱效率,但由于通信的频谱范围限制,当移动设备增多时,往往会出现频谱资源竞争,进一步降低了频谱使用效率。

(4) 网络“孤岛”问题:由于节点移动性和无线通信尤其是短距离通信的限制,导致网络分裂成多个无法直接通信的孤岛,解决这类问题,只能通过孤岛之间的设备移动来建立通信。

另外,设备终端不同的操作系统、时延问题、网络环境异构性及安全性等问题也是移动 P2P 网络需要解决的问题。

## 2 移动 P2P 网络体系结构

移动 P2P 网络的体系结构研究主要包括两方面:上层覆盖网络体系结构和中间件体系结构。覆盖网络体系结构并不关心底层网络的组网方式,而将重点放在覆盖层网络结构上,从宏观上描述网络的结构。MP2P 覆盖网络体系结构可划分为集中式、半分布式、全分布式三种。中间件主要关注移动 P2P 协议的实

现框架,设计一个通用的覆盖网络组网协议,从微观描述节点的组网形式。

### 2.1 集中式结构

NTT DoCoMo 公司和爱立信公司的研究人员共同提出一种移动 P2P 网络结构平台<sup>[2,3]</sup>。该平台基于 XML 语言的通信协议,能够很好地融合多种类型网络和移动设备,支持多点通信。它采用位于中心的控制节点来管理和维护整个网络,提高网络的可管理性,对共享资源的查找和更新非常方便,并且结合了集中式和全分布式结构的特点,其网络拓扑如图 1 所示。整个系统结构由多个不同群体组成,每个群体的划分都遵循一定规则(如组网形式、协议类型)。控制节点是网络管理实体,主要提供名字解析、路由信息、网络拓扑优化、节点鉴权和多播组管理功能。当移动终端通过 WLAN 网络、“蓝牙”等连接方式组网时,全分布式 P2P 网络通过网管节点连接到集中式 P2P 网络中,并提供路由和多播组管理等功能;当移动终端通过蜂窝移动网络接入到互联网时,则是通过移动代理连接到集中式 P2P 网络中。可以看出,集中式的控制方式,产生出可靠性和安全性比较低,扩展性不强,单点失效等问题。文献[4,5]采用中央索引服务器来对所有的节点统一管理,同时收集本地节点信息,控制网络拥塞及统计文件访问程度,并增加缓存节点(热点资源管理)、爬虫节点(连接外网索引服务器,获得本地未知资源)、代理节点(移动终端可直接连接到外网),增强了文件传输可靠性和网络可管理性。

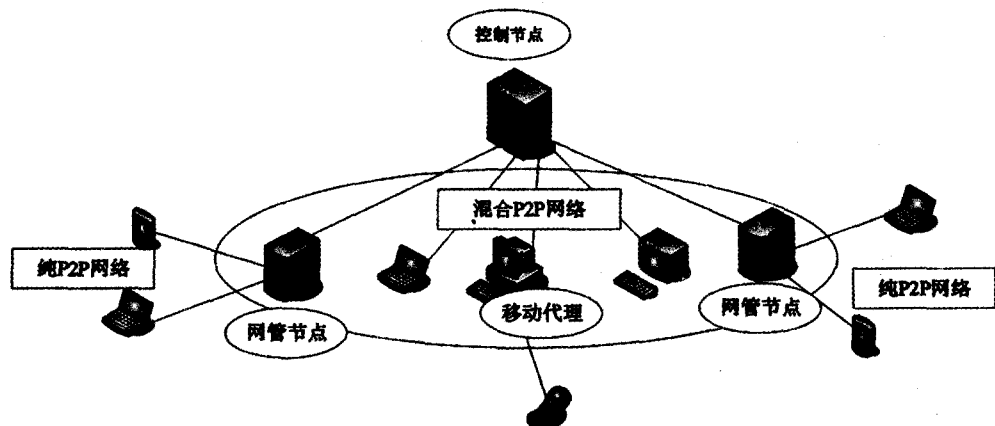


图 1 集中式网络结构

### 2.2 全分布式结构

德国多特蒙德大学提出基于移动 Ad Hoc 网络的完全分布式覆盖层网络结构 ORION(Optimized Routing Independent Overlay Network)<sup>[6]</sup>,以实现文件的共享。ORION 提出了一种有效的基于关键字的文件搜索算法,使用 AODV(Ad Hoc On Demand Distance Vector)<sup>[7]</sup>、多播以及广播算法,将应用层的请求处理和网络层的路由发现很好地结合起来。网络中每个节点需

要维护两张路由表,文件路由表(file routing table)和回复路由表(response routing table)。文件路由表存储下一跳节点拥有的文件索引信息,回复路由表存储发送查询请求的上一跳节点的信息,用来建立逆向路径队列。节点采用泛洪式搜索,将查询请求发送给邻居节点,匹配请求的节点回复信息,并建立逆向路径队列。文件以相同大小的文件块进行传输。由于文件路由表保存多个拥有相同文件 ID 的节点,所以即使当前的节点离开网络,查询节点也可以通过文件路由表来选择其他的节点建立路由继续下载文件块。但是文件块的传输不是采用 TCP 协议的点对点方式,假如中间节点失效,往往需要重新选择路径,这就使查询速度变慢,增加了传输时延,而且随着节点的数目不断增多,网络规模的扩大,造成网络流量的急剧增加,导致部分低带宽节点因网络资源过载而失效。文献[8]提出一种基于移动代理的完全分布式结构,移动设备通过移动代理采用泛洪式方法在 Gnutella 网络中实现文件共享与查找,移动设备和代理之间采用轻量级协议实现通信,大大减少了网络流量,有效地解决了网络拓扑结构变化频繁的问题。

### 2.3 半分布式结构

兰赫尔辛基大学的 Yrjo Raivio 提出了一种通 21.3mm, 29.6mm), PZ, DY] 网络和蜂窝移动网络连接到传统 P2P 网络的结构模型<sup>[9]</sup>。该模型综合了集中式和分布式结构优点,每个移动代理就是一个超级节点(super node),其功能是实现路由转发、网络安全、边节点(edge node)管理、缓存文件、外网连接。边节点实现移动节点的接入、虚拟存储和域内移动节点管理。超级节点之间实行分布式管理,每个超级节点所管辖的域内实行集中式管理。域内节点可不经边节点,直接以对等方式通信。

## 3 网络模型设计

### 3.1 网络模型及其相关定义

综合以上几种网络模型的优点,结合校园网络环境特点,文中提出如下校园移动 P2P 网络模型 CMON (Campus Mobile Overlay Network),如图 2 所示。该网络模型划分为三层结构,底层是由蜂窝移动网络、WLAN 网络、“蓝牙”等不同形式的无线网络组成,采用改进后的 Kelips 路由算法进行通信;中间层是由移

动代理节点和管理服务节点组成的超级节点层,超级节点间实行分布式管理,通信则采取简单的泛洪搜索算法<sup>[10]</sup>;顶层是域内中心节点,主要实现外网连接和网络的安全控制。

**移动节点:**各种移动设备,包括手机、笔记本、PDA 等移动终端,功能比较单一,主要负责本地数据进行存储和管理。

**组节点:**底层网络中在线时间较长,并且处理信息能力比较强的节点,由超级节点定期选择,负责组间路由查询。

**超级节点:**负责缓存热点资源,路由转发、移动节点发现、组节点选取和多播组管理。在 WLAN 网络中由管理服务节点担任,在蜂窝移动通信网络中由移动代理节点担任。

**域内中心节点:**连接其他固定或者移动通信网络,负责转发和回复超级节点发送的文件查找信息,缓存该域内常用的文件,维护局域网安全。

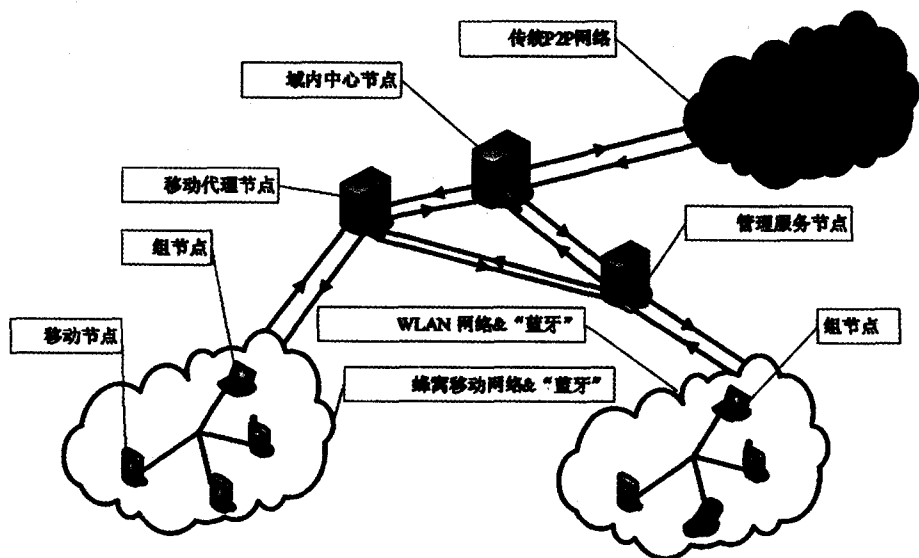


图 2 校园移动 P2P 网络模型

### 3.2 分组策略及文件查找算法

#### 3.2.1 分组策略

由于底层网络是由多种不同形式的网络组成,以 WLAN 网络为例,根据 Kelips 算法<sup>[11]</sup>,将移动节点的标识符(如手机的号码,笔记本的 IP 地址)经过一致性散列函数划分成  $K$  组,称为同类组(Affinity Group),组号为 0 到  $(K-1)$ 。如果节点总数为  $N$ ,则每个同类组中存放的节点数目是相同的,即  $N/K$ 。将所有的文件的标识符(如文件的关键字)通过相同的散列函数映射到不同的组上,从该同类组中随机选择一个节点,并存储指向父节点(存储该文件的节点)文件索引。

每个节点存储三张表:组内路由表、组间路由表、文件索引表。

其中:

组内路由表(Affinity Group View):存储与当前节点在同一个组中的所有其他节点的路由信息,每个条目包含节点的标识符,当前节点到这个节点的往返时延和心跳数。

组间路由表(Contacts):存储当前节点到网络中其他各组的路由信息,每个条目包括组号和组节点,以及当前节点到组节点的往返时延和心跳数。

文件索引表(File Tuples):记录当前组中所有的文件名到存储该文件索引节点的映射,包括文件名、保存文件索引的节点 ID、父节点 ID 信息及当前节点到父节点的心跳数。

每个节点的总需求是由三张路由表的大小决定的,一共有  $S = N/K + C \times (K - 1) + F/K$  表项,  $N$  是节点总数,  $K$  是同类组的总数,  $C$  是组节点与本同类组的平均连接数目,  $F$  为系统文件数。组内路由表和文件索引表的大小分别是  $N/K$  和  $F/K$ , 当前节点至少与一个组节点连接, 组间路由表的大小至少是  $C \times (K - 1)$ 。对于节点数目是  $N$  的网络, 当  $K = \sqrt{(N + F)/C}$  时,  $S(K, N)$  取最大值。那么  $K$  的最优值为  $O(\sqrt{N})$ , 路由表  $S(K, N)$  最小数值为  $O(\sqrt{N})$ 。

### 3.2.2 文件查找

在底层网络中,由于采用 Kelips 算法,查找的复杂度  $O(1)$  与网络中节点的数量没有关系。先将要查找的文件映射出组号,若组号是本组,则直接查找文件索引表,找到存储文件的节点;若不是本组号,则通过组间路由表找到对应组的组节点,然后通过该节点的文件索引表就能找到文件存储的节点。假设节点要查找某文件,首次,查询节点使用一致性哈希散列函数将文件关键字映射到组号  $A$  的同类组上,使用的一致性散列函数与节点映射到同类组时相同。然后,发送一个查询请求给同类组  $A$  中的一个拓扑上离其最近的组节点  $S$ , 节点  $S$  是查询节点通过组间路由表获得的。最后,节点  $S$  查询文件索引表,并将被查询文件的父节点  $F$  的地址返回给查询节点,查询节点直接从父节点  $F$  上提取文件。

如果底层网络查找不到文件,查询节点则发送查询请求至超级节点,由超级节点通过泛洪方法在其他超级节点管理的网络中查找匹配文件;若还没有查找找到相应的文件,则超级节点将查询请求发送到域内中心节点,域内中心节点再通过访问外网或其他域外无线网络对文件进行查找。超级节点和域内中心节点统计下载量大的文件,并进行备份,从而有效解决热点问题。

### 3.2.3 组节点的选择

考虑到整个系统的可靠性以及路由效率,超级节

点应选择在线时间长且性能比较好的节点为组节点,文中在文献[12]的基础上改进了组节点选择算法,用 Capacity 来反映节点性能, Age 来反映节点在线时间。其中影响 Capacity 的因素为:节点处理能力(Speed)、网络带宽(Bandwidth)、存储空间(Storage)、可靠程度(Reliability)等。

节点的性能计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{Capacity}[i] &= a \times \text{Speed}[i] + b \times \text{Bandwidth}[i] \\ &+ c \times \text{Storage}[i] + d \times \text{Reliability}[i] \\ (a + b + c + d &= 1) \end{aligned} \quad (1)$$

影响 Age 的因素有节点在线时间和上线次数(Time)。取在线时间长并且在线时间分布比较集中紧凑的节点为组节点,节点在线时间计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{Age}[i] &= a \times \frac{1}{\text{Time}} \sum_{i=1}^{\text{Time}} (\text{Age}_i - \overline{\text{Age}})^2 + b \times \\ &(\sum_{i=1}^{\text{Time}} \text{Age}_i) \end{aligned} \quad (2)$$

综合以上因素,超级节点周期性采用以下公式对管理的所有节点进行评价,在网内选出多个合适的组节点:

$$\text{Score}[i] = a \times \text{Capacity}[i] + \beta \times \text{Age}[i] \quad (a + \beta = 1) \quad (3)$$

## 4 仿真实验及分析

仿真的模型:使用 NS2 仿真软件,所有节点使用 IEEE802.11,载波频率为 2.4GHz,链路的传输速率为 2Mbit/s。在网络开销方面,采用完全分布式网络结构 ORION 作为对比,分别在 3 种不同节点数量的网络场景(10,30,50)仿真模拟,每次仿真保持节点的数量不变,网络的开销如图 3 所示。

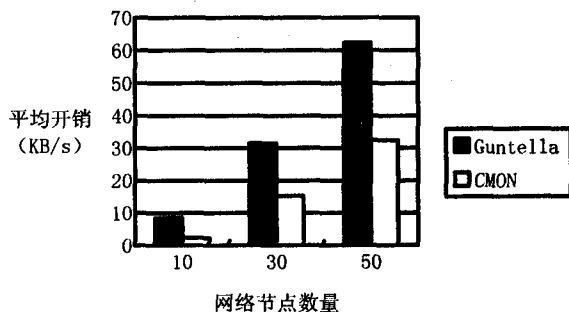


图 3 网络开销(网络规模仿真)

在节点数量相同的前提下,CMON 网络模型在网络开销方面比 ORION 有明显的减少,更好解决了负载均衡的问题。

在节点查询消息成功率方面,设置了节点查询消息的 TTL 为 7,网络节点数量为静态 40 个。分别模拟四种不同查询周期(1,5,10,15)的网络场景,如图 4 所示。

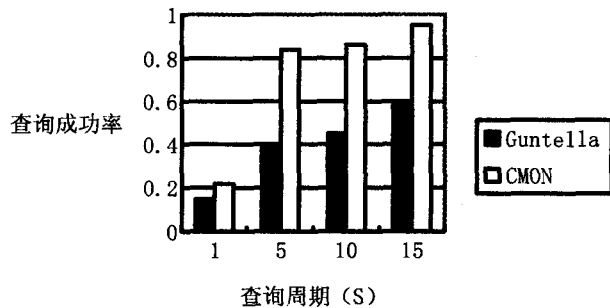


图 4 查询消息的成功率

可见在相同的查询时间内,CMON 对资源查找成功率比 ORION 有显著的提高,查询成功率是后者的两倍。

## 5 结束语

文中首先阐述了目前移动 P2P 网络的几种网络结构模型,并指出其存在的种种缺陷。然后,针对移动 P2P 网络局限性,提出了一种基于校园环境的移动 P2P 网络模型 CMON。分层式结构的应用,能更好地将集中式和分布式结构的优点完美结合,保证网络负载的均衡,减少整个网络的开销,同时提高了网络的可靠性维护。文中对文件查找算法进行优化,有效地减少资源的查找时间,解决了节点因为失效而带来的稳定度下降问题,保证了节点状态信息的时效性和正确性。

仿真实验表明,该模型能够更好地减少网络开销,提高资源查询效率。

## 参考文献:

- [1] 欧中洪,宋美娜,战晓苏,等. 移动对等网络关键技术[J]. 软件学报,2008,19(2):404-418.
- [2] Kato T, Ishikawa N, Sumino H. A Platform and Applications for Mobile P2P Communications[C]//Proceedings of the The Workshop on Emerging Applications for Wireless and Mobile Access (co-located the Twelfth International World Wide Web Conference). Budapest, Hungary:[s. n.],2003.
- [3] Kato T, Ishikawa N, Sumino H. Design and implementation of P2P protocol for mobile phones[C]//Proc. of the 4th Annual IEEE Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops. [s. l.]:[s. n.],2006.
- [4] Siemens A G, Dedinski I, Oberender J, et al. An Architecture Concept for Mobile P2P File Sharing Services[R]. Passau:University of Passau, 2004.
- [5] Andersen F, Meer H, Dedinski I. An Architecture Concept for Mobile P2P File Sharing Services[C]//Workshop at Informatik 2004-Algorithms and Protocols for Efficient Peer-to-Peer Applications. [s. l.]:[s. n.],2004.
- [6] Klemm A, Lindemann C, Waldhorst O P. A special-purpose peer-to-peer file sharing system for mobile ad hoc networks [C]//In:Proc. of the IEEE 58th Vehicular Technology Conf. [s. l.]:[s. n.],2003:2758-2763.
- [7] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc on Demand Distance Vector Routing[S]. IETF RFC-3561,2003.
- [8] Hu T H, Thai B, Seneviratne A. Supporting Mobile Devices in Gnutella File Sharing Network with Mobile Agents[D]. Sydney, Australia:School of Electrical Engineering and Telecommunications, University of New South Wales,2003.
- [9] Raivio Y. A peer-to-peer overlay architecture for mobilenetworks [C]//In: HUT T-1107190 Research Seminar on Data Communications Software. [s. l.]:[s. n.],2005.
- [10] 李春秀,刘方爱. 一种有效的非结构化 P2P 网络资源搜索策略[J]. 计算机技术与发展,2010,20(11):117-121.
- [11] Gupta I, Birman K, Linga P, et al. Kelips:Building an Efficient and Stable P2P DHT through Increased Memory and Background Overhead [C]//In: Proceedings of Networked System Design and Implementation (NSDI). [s. l.]:[s. n.],2004.
- [12] 相有恒,熊 焰,苗付友. 移动 P2P 网络中超级节点的选择[J]. 计算机工程,2010,36(10):103-107.
- [21] Hsieh H Y, Sivakumar R. pTCP: an end-to-end transport layer protocol for striped connections[C]// Proc. of ICNP'02. [s. l.]:[s. n.],2002:24-33.
- [22] Zhang M, Lai J, Krishnamurthy A, et al. A transport layer approach for improving end-to-end performance and robustness using redundant paths[C]// Proc. of USENIX 2004. [s. l.]:ACM,2004.
- [23] Sharma V, Kalyanaraman S, Kar K, et al. MPLOT: A Transport Protocol Exploiting Multipath Diversity Using Erasure Codes[C]// Proc. of INFOCOM 2008. [s. l.]:IEEE,2008:121-125.
- [24] 刘永强,严 伟,代亚非. 一种满足 QoS 约束的自适应多径 Ad Hoc 网络路由协议[J]. 计算机学报,2006,29(5):681-689.
- [25] 丁旭阳,范明钰,罗惠琼. 无线 Mesh 网络链路非相关多径发现算法[J]. 计算机研究与发展,2007,44(10):1751-1756.
- [26] 徐伟强,汪亚明,包晓安,等. MPCC:一种用于 Ad Hoc 网络多径路由的优化拥塞控制算法[J]. 北京邮电大学学报,2007,30(5):41-45.

(上接第 102 页)

2008. [s. l.]:IEEE,2008:5762-5766.