

一种负载均衡的移动 Ad-hoc 网络路由协议及改进^{*}

赵力强¹ 王 新² 林国祥³ 薛向阳⁴

(复旦大学软件学院 上海 200433)¹ (上海市智能信息处理重点实验室 上海 200433)²

(京都大学计算机科学系 日本京都)³ (复旦大学计算机科学与工程系 上海 200433)⁴

摘 要 随着移动 ad hoc 网络负载的增加, 现有路由协议的性能将急剧下降。为适应重负载网络, 本文提出了一种带宽估算模型和负载平衡技术, 并结合 AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector Routing) 设计了新的路由协议。同时考虑到时延因素, 对新协议进一步改进。仿真表明, 本文提出的协议可以提高分组传送率, 降低平均端到端时延, 并减少路由开销。

关键词 Ad hoc 网络, 路由协议, 负载均衡, AODV

A Load Balance Based MANET Routing Protocol and Improvement

ZHAO Li-Qiang¹ WANG Xin² LIM Azman-Osman³ XUE Xiang-Yang⁴

(School of Software, Fudan University, Shanghai 200433)¹ (Shanghai Key Laboratory of Intelligent Information Processing Shanghai 200433)²

(Dept. of Computer Science, Kyoto University, Kyoto, Japan)³ (Dept. of Computer Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433)⁴

Abstract Under the condition of a heavy loaded network, the existing mobile ad hoc routing protocols suffer a rapid performance drop. In this paper, we design a bandwidth estimation model and a load balance mechanism, and combining with AODV we propose a new routing protocol. Considering the latency factor, we further improve the protocol. Simulation shows that the new schemes improve packet delivery ratio, reduces average end-to-end latency and decreases routing overhead.

Keywords Mobile ad hoc network, Routing protocol, Load balance, AODV

1 引言

移动 ad hoc 网络 (MANET)^[1] 是由一组移动节点通过自组连接形成的多跳无线网络。不同于有线网络, 它不需要固定的基础设施。由于其自组织性、快速部署和无须任何固定设施的特点, MANET 有广泛的应用, 如战地指挥控制、紧急灾难恢复、矿场操作和研讨会信息共享。MANET 正作为重要的、有前途的研究领域受到极大关注。

如今按需路由协议是移动 ad hoc 网络中应用最广泛的一种路由协议。作为按需路由协议代表的 AODV^[2] 和 DSR^[3] 都是以最短路径作为路由选择的标准, 它们在网络轻负载情况下表现良好。然而, 在高业务量的情况下, AODV 和 DSR 的性能都急剧恶化^[4], 部分原因是由于其在路径选择时倾向于使用相同的节点作为中间节点, 大量的数据通过少量节点传输, 引起网络的阻塞, 从而导致较高的分组时延, 部分节点也会过早地电池耗尽。许多研究者认识到, 当网络负载较重时, 最短路径并非是 MANET 中用于路径选择的最佳度量^[5,6]。

与此同时, 网络负载均衡正受到越来越多的关注。由于移动 ad hoc 网络中带宽资源的限制, 要求路由协议将网络数据流合理地分布于各个节点, 否则过载的节点将导致网络拥塞和时延。考虑到网络负载均衡的重要性, 本文设计了一个带宽估算方法、一个网络负载均衡技术, 并结合 AODV 提出

新的路由协议 LBB-AODV (Load Balanced Based-AODV), 考虑到延迟因素, 提出改进算法 TLBB-AODV (Time-related Load Balanced Based-AODV)。实验表明, 和原 AODV 相比, 新协议在分组传送率、平均端到端时延和路由开销方面都有所提高。

本文第 2 节介绍 MANET 中负载均衡路由的相关工作; 第 3 节描述路由协议 LBB-AODV 和 TLBB-AODV, 提出一个可用带宽估算模型和一个负载平衡技术; 第 4 节给出仿真环境、试验结果和性能分析; 最后提出结论和进一步的研究工作。

2 相关工作

不少研究者提出多路径 (multi-path) 方案^[7,8] 来提供网络负载均衡。多路径最根本的思想是通过在节点维护路由信息, 把网络数据流分布在多条路径上, 以此来平衡网络。然而, 维护不同的路径需要额外的路由表空间和计算开销。另外, 多路径方案只有在多个路径互不相交的情况下才有效, 然而路径互不相交在 MANET 中是很难获得的^[9]。Ganjali 等人^[10] 进一步证明了多路径的网络负载分布和单路径 (single-path) 几乎是相同的。

DLAR^[11] 是由 Lee 和 Gerla 提出的单路径负载均衡方案。在路由发现过程中, 路由请求分组 RREQ 记录所经过的每个节点的接口队列信息, 以此来获得该节点的负载情况; 目

^{*} 本文工作受到国家 863 项目 2002AA103011-5、上海市重点攻关项目 055115009 及 LG-KAIST-FUDAN 国际合作项目共同资助。赵力强 硕士生, 研究方向: 移动计算网络路由算法。王 新 博士, 副教授, 研究方向: 移动计算网络。林国祥 博士, 研究方向: 移动通信。薛向阳 博士, 教授, 研究方向: 多媒体网络。

的节点则根据 RREQ 中的记录选择最佳路由。然而,为了获取最新的负载信息,DLAR 禁止拥有到达目的节点路径信息的中间节点回复 RREQ。对于拥有大量节点的 MANET 环境,可能导致 RREQ 风暴。

Lee 提出^[12]每个节点根据其自身负载选择性地转发 RREQ,以阻止网络在过载的节点上建立路由。这样便有效地减少了 RREQ 广播风暴,但是由于这个协议完全是以一个分布式的形式运作,缺少备选路由之间的比较,导致最后选择的路由未必理想。

在我们的路由负载均衡方案中,RREQ 记录中间节点路由信息,并以此作为路由选择度量。同时,网络拥塞的中间节点直接丢弃 RREQ,从而减少路由请求广播的影响。

3 基于负载均衡的 AODV 改进协议

由于现有的 ad hoc 路由协议缺乏网络负载均衡能力,面对大量数据业务,协议不能提供令人满意的性能。改进方法是受了按需路由协议中路由发现过程需要路由请求分组 RREQ 的启发:在 AODV 中源节点广播 RREQ 给邻居节点,邻居节点在收到 RREQ 后继续转发。虽然并非每个转发 RREQ 的节点都能最终成为路由的中间节点,但是如果节点不转发 RREQ,则其必定不会成为路由的中间节点。

LBB-AODV^[16]是基于负载均衡的 AODV 改进协议,节点在路由发现过程中有选择地转发 RREQ。在节点收到路由请求后,先检查其可用带宽。只有当该节点不在“拥塞”状态下,它才能转发 RREQ。目的节点通过 RREQ 收集路由信息之后,选择一条最佳路由。下面分别介绍带宽估算和 LBB-AODV、TLBB-AODV 协议具体描述。

3.1 带宽估计

为了保证网络负载均衡,必须了解每个节点的可用带宽。网络端到端的带宽是一个凹型参数^[13],即由路由上最小的可用带宽决定。因此,估计一条路由的可用带宽便转变为估计这条路由上最小的节点带宽。

我们提出一个简单的节点带宽估算模型:假设在 MANET 中,所有节点都设置成混杂监听模式,使其可以监听到所有邻居节点发送的数据。在每段时间周期内,节点累加所有邻居节点发送的数据量,加上自己在这段时间内发送的数据量,就得到了一段时间内网络的流量。

节点的可用带宽计算公式:

$$B_{\text{avail}} = B_{\text{raw}} - B_{\text{tran}} - B_{\text{recv}} \quad (1)$$

其中 B_{avail} 为节点可用带宽, B_{raw} 为 ad hoc 网络信道带宽(如 IEEE 802.11 为 2Mbit/s), B_{tran} 为节点自身发送数据所占用的带宽,包括节点发送的数据帧,路由控制帧,以及 802.11MAC 层 DCF 的 RTS/CTS/ACK 控制帧。 B_{recv} 为邻居节点发送数据所占用的带宽。

B_{tran} 和 B_{recv} 可以被表示为:

$$B_{\text{tran}} = TH_{\text{tran}} / t \quad (2)$$

$$B_{\text{recv}} = TH_{\text{recv}} / t \quad (3)$$

其中 t 为带宽计算周期,即每隔 t 秒,节点计算上一个 t 时间内网络的平均可用带宽。 TH_{tran} 和 TH_{recv} 分别为在 t 时间内节点所有发送和接收帧的累计大小。

考虑到网络物理错误、信道衰减、帧碰撞等因素,用因子 $\theta \in (0,1)$ 来调整带宽 B_{avail} 。结合式(1),(2)和(3):

$$B_{\text{avail}} = (B_{\text{raw}} - (TH_{\text{tran}} + TH_{\text{recv}}) / t) \cdot \theta \quad (4)$$

网络接口开始运行时, TH_{tran} 和 TH_{recv} 均为 0,用计时器

把时间设为 t ,并开始记录 TH_{tran} 和 TH_{recv} ,当时钟减为 0 时,根据公式(4)计算网络可用带宽 B_{avail} ,记入缓存中。然后重设计时器为 t , TH_{tran} 和 TH_{recv} 为 0,重复上述操作,记录下一时段的带宽。

带宽计算周期时间 t 的设置很重要,太小或太大都会影响可用带宽的计算。 t 如果设置时间太小,很多节点可能在这么小的时间间隙里没有传送数据。根据公式计算只能得出一个瞬间的带宽占用情况,不能反映真实的平均可用带宽。若 t 设置太大,由于节点的移动和链路的变化,公式可能无法及时反映网络可用带宽,导致估算值与实际值有较大误差。另外, t 的值应该与网络节点密度成正比,因为网络节点密度越大,数据帧碰撞的可能性也越大,导致两个成功传输的数据帧的间隔也越大^[14]。

为了减少网络中突发的数据流对带宽估计的影响,定义一个平滑常量 $\beta \in (0,1)$ 。假设上一时间周期的带宽估计为 $B_{\text{avail}}(n-1)$,在当前时间周期内的带宽测量值为 B_{avail} ,则当前带宽估计为:

$$B_{\text{avail}}(n) = \beta \cdot B_{\text{avail}}(n-1) + (1-\beta) B_{\text{avail}} \quad (5)$$

3.2 LBB-AODV 协议描述

LBB-AODV 在路由请求 RREQ 中添加一个字段 B_{min} 来记录所经过节点的最小带宽,以及 T ,记录 RREQ 从源节点发出的时间。当源节点发起路由请求时,它先用 3.1 节的方法估计带宽,并把带宽记录在 B_{min} 中,然后广播 RREQ。

中间节点收到 RREQ 后,估计可用带宽来确定当前网络的状态。路由层根据网络的状态,决定该节点是否可以作为中间节点。网络有两种状态:拥塞(CONGESTION)和正常(NORMAL)。用当前可用带宽 B_{avail} 和网络信道带宽 B_{raw} 的比率来确定网络状态:

$$\text{拥塞: } B_{\text{avail}} / B_{\text{raw}} \leq \phi \quad (6)$$

$$\text{正常: } B_{\text{avail}} / B_{\text{raw}} > \phi \quad (7)$$

这里 ϕ 为拥塞系数。

网络中每个节点的路由层都有权根据其网络的状态,决定转发或丢弃收到的 RREQ 分组。当一个中间节点处于“拥塞”状态时,它不再处理任何路由请求,丢弃所有收到的 RREQ,使其不能再成为其它数据流的中间节点。当节点恢复“正常”状态后,可以继续接收新的路由请求。

在每个节点的路由表中添加一个字段 B_i ,记录从源节点到该节点的最大路径带宽。当节点在“正常”状态时,如果首次收到来自源节点的 RREQ,则把路由表中相应路由 B_i 的值设为该 RREQ 中 B_{min} 的值。然后比较 B_{min} 和节点的可用带宽,把较小的值记录在 RREQ 的 B_{min} 中,并转发 RREQ。如果节点已经收到了来自同一源节点的不同广播 ID 的 RREQ,就比较 B_{min} 和 B_i 。如果 B_{min} 大,则丢弃 RREQ。否则,更新路由表信息,用 B_{min} 代替 B_i 的值,并将指向前一跳节点的指针指向发送该 RREQ 的节点。这样处理可以使节点发现最佳路由。最后,节点丢弃 RREQ,而非继续转发,以避免 RREQ 风暴。此外,即使拥有到达目的节点的路由信息,中间节点也不直接回复路由请求,这是为了避免不同路由请求都从同一段路径建立路由,同时也是为了寻找最佳路由。接收到第一个 RREQ 后,目的节点等待一定时间来获得所有可能的路由信息。最后,目的节点选择一个拥有最大 B_{min} 的路由,并发送路由回复 RREP。

3.3 TLBB-AODV 协议描述

综合考虑时延因素,将可用带宽和网络时延作为联合路

由选择标准。

$$S=n \cdot B+m \cdot T \tag{8}$$

其中 S 为联合选路参数, B 和 T 分别为 RREQ 自源节点发送到当前节点接收的路径带宽和时延, n 和 m 分别为可用带宽和时延的权重。

在每个节点的路由表中添加一个字段 S , 记录从源节点到该节点路径的最大联合选路参数值。当中间节点在“正常”状态时, 如果首次收到来自源节点的 RREQ, 则根据该 RREQ 中 B_{min} 值和 T_i 值计算 S , 并将 S 添加到路由表中相应路由字段, 转发 RREQ。如果节点已经收到了来自同一源节点的相同广播 ID 的 RREQ, 就比较新路由参数 S_{new} 和记录在路由表中的 S_{old} 。如果 S_{old} 大, 则丢弃 RREQ。否则, 更新路由表信息, 用 S_{new} 代替 S_{old} 的值, 并将指向前一跳节点的指针指向发送该 RREQ 的节点, 这样处理可以使节点发现最佳路由。最后, 节点丢弃 RREQ, 而非继续转发, 以避免 RREQ 风暴。此外, 即使拥有到达目的节点的路由信息, 中间节点也不直接回复路由请求, 这是为了避免不同路由请求都从同一段路径建立路由, 同时也是为了寻找最佳路由。

同 LBB-AODV 一样, 接收到第一个 RREQ 后, 目的节点等待一定时间来获得所有可能的路由信息, 然后由目的节点选择一个拥有最大 S 的路由, 并发送路由回复 RREP。

中间节点拒绝路由请求, 使整个网络减少大量路由开销, 减轻 RREQ 广播带来的影响。同时, 在目的节点选择最佳路由使数据能够在负载最轻的路径上传输, 提高了网络整体性能。

当网络大面积拥塞时, 由于拥塞节点拒绝转发路由请求, 可能导致路由发现失败。为应对这种情况, 当 LBB-AODV 或 TLBB-AODV 第一次路由发现失败后, 第二次路由发现时不考虑节点拥塞情况, 即普通的 AODV 路由发现过程。

4 仿真和分析

在这一节, 我们将比较 LBB-AODV, TLBB-AODV 和 AODV 的性能。以下描述仿真环境, 比较参数和试验结果。

4.1 仿真环境

在 NS2^[15] 上实现协议并进行仿真试验。物理信道的带宽为 2Mbit/s。链路层采用 IEEE 802.11 MAC 层协议的分布式协调功能 DCF (Distributed Coordination Function)。LBB-AODV 和 TLBB-AODV 所用参数值如表 1 所示。

表 1 LBB-AODV 和 TLBB-AODV 的参数

参数	取值
t	1s
θ	0.9
β	0.2
ϕ	0.1
n	1
m	0.5

100 个节点随机地分布在 2400m×800m 的范围内, 节点的通讯范围是 250m, 最大移动速度 5m/s。移动模型选用随机指路模型 (random waypoint model), 暂停时间为 50s, 仿真运行 200s。

信源采用固定比特率 (CBR: constant bit rate), 每个分组长度为 512byte, 一共启动 40 个 CBR 流。仿真通过改变信源发送分组的频率来改变网络负荷。

4.2 仿真参数

以下是本文选取的协议性能比较参数:

- 分组传送率—网络中成功到达目的节点的分组比特数 (网络的吞吐量) 与网络负荷的比值, 这里网络负荷指的是在单位时间内网络中所有源节点发送的分组比特数。

- 平均端到端时延—包含了数据分组从源节点产生到目的节点接收整个过程中所有可能产生的延时, 主要包括路由发现过程所需时间, 分组在缓存中的排队时间, 链路层重传时间以及传播时间。

- 归一化路由开销—所有路由控制开销 (RREQ, RREP and RERR) 和目的节点所接收到的数据分组的比率。归一化路由开销体现了路由协议的效率。

4.3 仿真结果

图 1 显示随网络中信源发包率变化时, AODV, LBB-AODV 和 TLBB-AODV 分组传送率的曲线。结果表明 LBB-AODV 和 TLBB-AODV 提高了 AODV 的分组传送率, 特别是当网络负载增加时, 性能提高更明显。在网络负载为 1440kb/s 时, LBB-AODV 和 TLBB-AODV 的分组传送率较 AODV 分别提高 15.5% 和 14.2%。这是因为 LBB-AODV 和 TLBB-AODV 都选择拥塞最小的路径传输数据, 间接地提高了整个网络的吞吐量。另一方面, AODV 没有考虑负载均衡, 当网络业务量较多时, AODV 经常路由失效引发丢包, 使分组传送率降低。

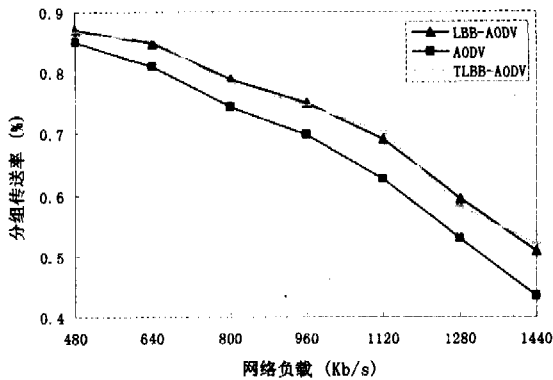


图 1 分组传送率随网络负载变化曲线

图 2 显示分组的平均端到端时延在网络负载变化下的情况。TLBB-AODV 时延明显小于 AODV, 最大的改进达 19.1%。端到端时延主要由分组在节点队列中排队时间产生, 所以当网络负载增大时, AODV 的时延迅速增加。而 TLBB-AODV 试图发现一个时延最小的路由, 绕过拥塞的节点, 减小了分组排队时间。

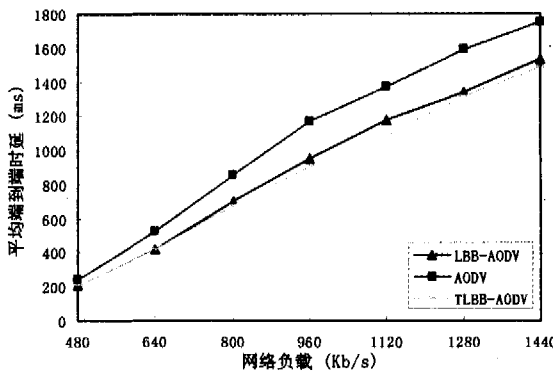


图 2 平均端到端时延随网络负载变化曲线

在图3中,LBB-AODV比AODV在路由开销方面减少至14.8%。这主要由于不断转发的RREQ在AODV的路由分组中占了90%^[4],而在LBB-AODV和TLBB-AODV中过载的中间节点直接丢弃RREQ,极大地减少了网络路由开销。同时,由于LBB-AODV和TLBB-AODV的分组传送率比AODV高,相同情况下目的节点接收到更多的分组,所以网络归一化开销较小。从图中可以看出,当网络负载增加时,两个协议的归一化路由开销都减少,这是因为信源可以利用发现的路由发送更多的数据分组。

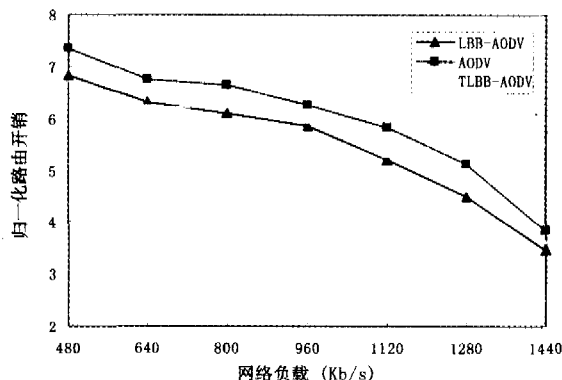


图3 归一化路由开销随网络负载变化曲线

总结 本文在AODV基础上提出了一个基于负载均衡的MANET路由协议。根据本地带宽状态,每个节点选择是否转发RREQ,从而避免网络拥塞并减少RREQ风暴。同时,每个RREQ都记录它所经过路径的带宽时延信息,由目的节点选择最佳路由。论文还提出了一个简单而有效的带宽估计模型。

仿真显示LBB-AODV和TLBB-AODV在高业务量的情况下,分组传送率、平均端到端时延和路由开销等性能较AODV有显著提高。由于LBB-AODV协议基于路径节点的剩余带宽来选择路由,避免了负荷较重的节点成为中间节点,因而增强了所选路径的稳定性,减少了网络拥塞程度。TLBB-AODV同时又考虑了时延的因素,所以在平均端到端时延性能上较LBB-AODV有所提高。

今后的工作主要是将LBB-AODV和TLBB-AODV与其它负载均衡协议^[11,12]仿真对比、分析结果,并研究带宽估计模型的参数对协议性能的影响,进一步提高其性能。

参考文献

- 1 Mobile Ad-hoc Networks (MANET). <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- 2 Perkins C, Royer E. Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV). July 2003. RFC 3561
- 3 Johnson D, Maltz D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *Mobile Comput*, 1996:153~181
- 4 Perkins C, Royer E, Das S, et al. Performance comparison of two on-demand routing protocols for Ad hoc networks. *IEEE Personal Communications*, 2001, 8 (1): 16~28
- 5 Perkins D D, Hughes H D, Owen C B. Factors affecting the performance of ad hoc networks. *Communications*, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference, 2002, 4:2048~2052
- 6 Zhong Xiaofeng, Wang Youzheng, Mi Shunliang, et al. An Experimental Performance Study of Wireless ad hoc System Utilizing 802.11a Standard Base on different Routing Protocols. *Asia Pacific Optical and Wireless Communications*, October 2002
- 7 Zhang Linfang, Zhao Zenghua, Shu Yantai, et al. Load balancing of multipath source routing in ad hoc networks. *Communications*, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on Volume 5, Page(s): 2002, 5:3197~3201
- 8 Pham P, Perreau S. Multi-path routing protocol with load balancing policy in mobile ad hoc network. *IFIP Int'l Conference on Mobile and Wireless Communications Networks*, Sept. 2002
- 9 Nasipuri A, Castaneda R, Das S. Performance of multipath routing for on-demand protocols in ad hoc networks. *ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal*, 2001, 6 (4):339~349
- 10 Ganjali Y, Keshavarzian A. Load balancing in ad hoc networks: single-path routing vs. multi-path routing. *INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, 2004, 2: 1120~1125
- 11 Lee S J, Gerla M. Dynamic load-aware routing in ad hoc networks. *Communications*, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on 2001, 10:3206~3210
- 12 Lee Y J, Riley G F. A workload-based adaptive load-balancing technique for mobile ad hoc networks. *Wireless Communications and Networking Conference*, 2005 IEEE 2005, 4:2002~2007
- 13 Mohapatra P, Li J, Gui C. QoS in mobile ad hoc networks. *IEEE Wireless Commun Mag (Special Issue on QoS in Next-Generation Wireless Multimedia Communications Systems)*, 2003, 44~52
- 14 Zhang Liang, Shu Yantai, Liund Y, et al. Adaptive Tuning of Distributed Coordination Function (DCF) in the IEEE 802.11 to Achieve Efficient Channel utilization. *Future Telecommunication Conference 2003. Beijing, China*, Dec 2003
- 15 Network Simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- 16 Zhao Liqiang, Wang Xin, Lim Azman Osman, et al. A Load Balance Based On-Demand Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks. *International Conference on Computational Science (4)*, 2006. 9~16
- 17 ACM Transactions on Networking, 2005, 13(3)
- 18 Klemm F, Ye Zhengqiang, Krishnamurthy S V. Improving TCP Performance in Ad Hoc Networking Using Signal Strength Based Link Management. *Ad Hoc Networks*, 2005, 3:175~191
- 19 Balakrishnan H, Katz R. Explicit loss notification and wireless web performances. *Mobecom'98*
- 20 Holland G, Vaidya N. Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks. *ACM MOBICOM*, 1999
- 21 <http://www.icir.org/floyd/ecn.html>
- 22 Xu Kai, Tian Ye, Ansari N. TCP-Jersey for Wireless IP Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(4)
- 23 Biaz S, Vaidya N, et al. TCP over wireless networks using multiple acknowledgment. [Technical Report]. 97-001. Texas A & M University, January 1997
- 24 TCP Westwood Home Page. <http://www.cs.ucla.edu/NRL/hpi/tcpw/index.html>
- 25 Katabi D, Hanley M, Rohrs C. Congestion Control for High Bandwidth-Delay Product Networks. *SIGCOMM'02*
- 26 Xia Yong, Subramanian L, et al. One More Bit is Enough. *SIGCOMM*, 2005
- 27 Kandula S, Katabi D, Vasseur J-P. Shrink: A Tool for Failure Diagnosis in IP Networks. *SIGCOMM*, 2005
- 28 Fall K. A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets. *IRB-TR-03-003*, Feb 2003
- 29 Biaz S, Vaidya N. Discriminating congestion losses from wireless losses using interarrival times at the receiver. In: *Proc IEEE Symp Application-Specific Systems and Software Engineering and Technology*, Richardson, TX, Mar 1999, 10~17
- 30 Cen Song, Cosman P C, Voelker G M. End-to-End Differentiation of Congestion and Wireless Losses. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2003, 11(5)
- 31 Tobe Y, Tamura Y, Molano A, et al. Achieving moderate fairness for UDP flows by path-status classification. In: *Proc 25th Annu IEEE Conf Local Computer Networks (LCN 2000)*, Tampa, FL, Nov 2000. 252~261
- 32 Fu Zhenghua, Greenstein B, Meng Xiaoqiao, et al. Design and Implementation of TCP-Friendly Transport Protocol for Ad Hoc Wireless Networks. *ICNP*, 2002
- 33 Liu Jun, Matta I B. End to End Inference of Loss Nature in a Hybrid Wired/wireless Networks. In: *Proceedings of WiOpt*, 2003
- 34 Fonseca N, Crovella M. Bayesian Packet Loss Detection for TCP. *Inforcom*, 2005
- 35 de Oliveira R, Braun T. A Delay-based Approach Using Fuzzy Logic to Improve TCP Error Detection in Ad Hoc Networks. *WCNC*, 2004
- 36 Biaz S, Vaidya N H. De-Randomizing Congestion Losses to Improve TCP Performance Over Wired-Wireless Networks. *IEEE/*

(上接第22页)