

无线移动自主网中 QoS 路由协议的研究

高 茜^{1, 2}

(1 南京师范大学 计算机科学与技术学院, 江苏 南京 210046)

2 江苏省信息安全保密技术工程研究中心, 江苏 南京 210046)

[摘要] QoS 路由协议是无线移动自主网 QoS 体系结构中的一个重要组成部分, 也是近年来研究的热点和难点问题. 阐述了无线移动自主网中 QoS 路由面临的挑战, 并对近年来提出的 QoS 路由协议进行了详细的分析和比较, 指出设计 QoS 路由协议需要考虑的问题, 为进一步研究指明了方向.

[关键词] Ad hoc 网络, 路由协议, QoS

[中图分类号] TP393 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)03-0064-06

Research on QoS Routing Protocols in Wireless Mobile Ad hoc Networks

Gao Qian^{1, 2}

(1. School of Computer Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

2. Jiangsu Research Center of Information Security and Confidential Engineering, Nanjing 210046, China)

Abstract QoS Routing Protocol is an important part of QoS architecture in wireless mobile Ad hoc networks and has been the hot and difficult research problem in the recent years as well. In this paper, the challenges and difficulties of ad hoc QoS Routing are described and various recently proposed protocols are analyzed and compared. Finally, design considerations and the future research directions are outlined.

Key words Ad hoc network, routing protocol, quality of service

无线移动自组织网络 (Wireless Mobile Ad Hoc Network), 简称 Ad hoc 网络, 是由一组带有无线收发装置的移动节点组成的动态网络. 它无需基础设施支持, 具有动态快速组网、移动通信等优点, 广泛应用于军事、医疗、商业、个人通信等领域. 随着无线网络和多媒体技术的发展, 人们要求 Ad hoc 网络中不仅能支持数据业务, 还要能够支持语音、图像、视频等实时多媒体业务, 如 VoIP、视频会议、远程教学、实时协作等. 这些业务对服务质量 (Quality of Service, QoS) 提出了要求, 比如要求保证一定的带宽、满足端到端的延迟、延迟抖动约束等. 因此需要 Ad hoc 网络能够提供相应的 QoS 保障机制.

目前对 Ad hoc 网络中 QoS 问题的研究仍处于探索阶段, 主要研究集中在 QoS 模型、QoS 信令、QoS 路由以及 MAC 层的 QoS 支持等^[1]. 在 QoS 体系结构中, QoS 路由问题是核心, 它的主要任务是: 搜索满足 QoS 需求的路径, 在数据传输的过程中维护路由, 并能够及时更新网络拓扑和 QoS 状态信息, 同时尽量减少寻路开销、提高资源利用率和网络吞吐量.

1 Ad hoc 网络 QoS 路由问题的难点

与传统的固定网络和无线网络相比, Ad hoc 网络的组网方式和物理链路具有无中心、分布式、自组织、有限的传输带宽和节点能源、动态的网络拓扑结构、多跳路由、稳定性和安全性差等特点, 因此许多无线网络如蜂窝网络的 QoS 路由协议无法直接应用在 Ad hoc 网络中, 使得设计适合 Ad hoc 网络的 QoS 路由面临着以下困难和挑战^[2]:

收稿日期: 2009-05-05

基金项目: 国家自然科学基金 (60873176)、江苏省高校自然科学基金 (08KJB510007) 资助项目.

通讯联系人: 高 茜, 博士, 讲师, 研究方向: Ad hoc 网络、QoS 路由协议和算法. E-mail: gaopian@njnu.edu.cn

(1) 由于节点处于可移动状态, 无线信道自身的不可靠, 并且受各节点的无线收发设备的不同或所处位置不同, 网络中存在着单向信道. 这些导致了网络拓扑信息与 QoS 状态信息变化频繁, 使得对它们的维护变得尤为困难. 通常路由协议设计时需要假设网络拓扑的变化速度一定要小于状态信息刷新的速度, 从而保证网络拓扑和状态的准确.

(2) 由于 Ad hoc 网络使用共享信道通信, 会引起报文对信道的竞争, 信道质量欠佳且易受干扰, 进而影响传输路径的服务质量. 另外, 由于节点的传输范围有限, 对于传输范围之外的目的节点必须通过其它节点作为中继来转发数据报文, 这就会形成“多跳”路由, 这种多跳路由将会引起“隐藏终端”、“暴露终端”以及公平性等诸多问题.

(3) 分布式的动态节点增加了路由协议的难度和复杂性. 而 Ad hoc 网络中节点的能量、计算能力和内存都有限, 这就要求路由协议的设计应当尽量简单、能够节约能量和资源, 并且具有高鲁棒性.

2 现有的 Ad hoc 网络中的 QoS 路由协议

对于已有的 Ad hoc QoS 路由协议, 从不同的角度可以有不同的分类方法:

(1) 根据承担数据转发任务的路径数量的不同, 可分为单路径路由和多路径路由. 单路径路由协议只利用一条路径发送数据, 比较简单且易于管理和配置, 但很少考虑公平性, 网络传输率较低, 延迟增加, 网络负载不平衡. 多路径路由的目标是在源节点和目的节点间建立多条路径, 流量可以通过多条路径分流传输到目的节点, 它又可以分为并行多路径和备份多路径. 前者可以同时使用两条或两条以上的路径来传输数据; 而后者在同一时刻只能用一条路径进行转发数据, 当这条路径中断时, 可以用其他备用路径来发送数据. 使用多路径路由可以减少网络延迟, 提高吞吐率, 避免部分网络拥塞, 提高网络可靠性, 但易带来报文乱序和分组重装问题.

(2) 根据路由发现机制的不同, 可分为主动路由、按需路由和混合路由. 主动路由协议也称为表驱动路由协议或先验式路由协议, 这类协议需要每个节点维护一张到达其它节点的路由表, 并根据网络拓扑的变化随时更新路由表, 源节点一旦要发送报文, 可以立即通过查找路由表获得到达目的节点的路由. 因此这种路由协议的寻路延迟较小, 但是协议需要大量的路由控制报文, 开销较大. 按需路由协议也称为源启动路由协议、反应式路由协议, 这类协议只在节点需要发送信息时才由源节点发起路由搜索, 节点之间在通信完毕后便不再进行路由维护. 因此路由协议的开销小, 但是路径建立的延迟比较大. 混合路由协议是按需路由协议和主动路由协议的集成, 它在局部区间内使用主动路由协议, 局部区间外则采用按需路由协议, 从而减轻路由开销, 具有相对低的带宽消耗和路由发现延迟, 但是会带来区域划分和维护等问题.

(3) 根据网络逻辑结构的不同, 可分为平面型路由和层次路由. 平面型路由协议中所有节点的地位是平等的, 不存在特殊节点, 因此流量平均地分散在网络中, 鲁棒性好, 但是当网络规模扩大时路由维护的开销指数增长, 可扩展性较差. 在层次路由协议中, 网络被划分成簇 (cluster), 每个簇由一个簇首和多个簇成员组成, 簇成员不需要维护复杂的路由信息, 大大减少了网络中路由控制信息的数量, 因此有较好的可扩展性. 分层路由的缺点是维护分层结构需要节点执行簇首选举算法, 簇间的信息都要经过簇首寻路, 不一定能使用最佳路由, 同时簇首节点可能会成为网络的瓶颈.

(4) 根据 QoS 路由与 MAC 层协议之间的关系, 可以分为 MAC 层支持的 QoS 路由协议和独立于 MAC 层的路由协议. 前者直接使用跨层信息进行路由, 因而对 MAC 层协议有着特殊的要求, 比如要求 MAC 层采用某种固定的协议如 TDMA 技术或 802.11, 甚至要求对已有 MAC 协议进一步扩展, 使其具有更强大的 QoS 控制能力, 从而完成无线信道的可用带宽估计和预留等工作. 独立 QoS 控制路由不针对具体的 MAC 机制, 与 MAC 协议相互独立, 但仍假设 MAC 协议具有本地可用带宽、延迟估计以及资源预留.

另外, 根据 QoS 约束条件的不同, 还可分为基于吞吐量、基于延迟、基于丢包率、基于能耗、基于稳定性的路由协议等; 根据路由信息的更新方式可以分为周期更新协议和事件驱动更新协议; 根据是否有 GPS (全球定位系统) 支持可以分为基于网络拓扑的路由协议和基于位置的路由协议; 根据状态信息的更新方式可以分为周期更新协议和事件驱动更新协议等.

2.1 单路径路由

(1) TBP (Ticket Based Probing)^[3].

TBP 协议是一种基于标签的按需分布式 QoS 路由协议, 它使用距离向量来保存本节点到其它节点的端到端的最新状态信息, 其中包括最小延迟、瓶颈吞吐量以及最小跳数. 与其它 DSDV 协议不同的是, 这些信息并不要求完全准确, 而是在寻路的过程中通过控制标签数量来消除不准确的状态信息的影响.

TBP 建立 QoS 路由的过程如下: 源节点接到 QoS 路由请求后, 根据业务流的 QoS 需求发放一定数量的标签, 这些标签由探索包携带, 探索包由源节点向目的节点转发, 当中间节点收到探索包后, 根据本地的路由表中的状态信息决定应该将探索包转发到哪些相邻节点, 以及转发探索包中应携带的标签数量. 如果发现满足 QoS 需求路由的概率越小, 则探索包携带的标签越多. 如果有探索包最终到达目的节点, 则找到了一条源节点到目的节点的满足 QoS 的路径, 由目的节点沿该路径的相反方向发送资源预留包, 实现软状态的资源预留. 如果源节点在规定的时间内没有收到来自目的节点的资源预留包, 则表明建立 QoS 路由的尝试失败, 由源节点根据需要进行重试或放弃.

TBP 协议的优点在于避免了泛洪式的路径搜索, 通过限定数量的标签来控制路由请求的转发, 并且不需要精确的状态信息, 从而减少了寻路的代价. 其缺点是需要较大的带宽开销来对状态信息进行周期性的更新.

(2) CEDAR (Core-Extraction Distributed Ad Hoc Routing)^[4].

CEDAR 协议是一种基于核心提取的分布式 QoS 路由协议. 网络中的节点被分为两类: 核心节点和普通节点. 核心节点集合构成了网络的最小控制集 (Minimum Dominating Set: MDS), 每个普通节点都必须至少和一个核心节点相邻. 链路状态信息的维护和 QoS 路由的计算工作仅限制在核心节点中完成, 从而节约了普通节点的能量和资源. CEDAR 协议主要包含 3 个部分: 核心提取、链路状态信息的维护以及 QoS 路由的发现和维持.

核心提取算法是一个 NP 完全问题, 因此在 CEDAR 协议中采用了一种启发式算法来完成, 该算法的指导思想是普通节点总是选择具有最大有效度的相邻核心节点 (称为支撑节点) 来选路.

CEDAR 中的链路状态信息分为两类, 一类称为增长波 (Increase Wave), 代表链路带宽增加的信息; 另一类称为递减波 (Decrease Wave), 代表链路带宽减少的信息. 增长波以较慢的信息在 MDS 中传递, 递减波以较快的信息在 MDS 中传递, 这使得核心节点比较容易获得近邻的信息以及远地相对稳定并且具有较大带宽的信息, 避免使用带宽已经不满足条件的链路.

源节点到目的节点的路径建立过程是这样的: 首先源节点发送 QoS 路由请求给它的支撑节点, 由支撑节点通过核心广播搜索建立核心路径, 然后再建立目的节点的支撑节点到目的节点的路径. 当拓扑结构发生变化时, 在新的 MDS 上重新计算 QoS 路由.

CEDAR 的优点是通过引入核心网的概念, 减少了 QoS 路由协议的开销. 其缺点是网络核心的建立和维护算法比较复杂. 该协议适用于中小规模的移动 Ad Hoc 网络.

(3) QoS-LANMAR^[5].

QoS-LANMA 协议是在自组网路由协议 LANMAR (landmark Ad hoc routing) 基础上进行的 QoS 扩展, 它将整个网络划分为许多逻辑子网, 每个子网中的成员具有共同的特性, 并很可能作为一个整体移动. 它主要采用自适应的带宽管理方法, 将带宽管理分为带宽测量和模糊带宽预留两部分. 协议在每个子网中选择一个 Landmark 节点, 每个 Landmark 节点都计算它到本地范围内任何其他节点的最小可用带宽 min_{BW} 和最大可用带宽 max_{BW} , Landmark 距离矢量携带由每个 Landmark 计算得到的 min_{BW} 、 max_{BW} 以及到相应 Landmark 的最小带宽, 并将它们传播至全网. 在广播 Landmark 距离矢量时, 节点把自己的可用带宽与矢量中的最小带宽进行比较, 如果节点的可用带宽较小, 就将最小带宽字段中的值更新成节点的可用带宽. 由于采用了分层结构, QoS-LANMA 协议的可扩展性比较好, 同时自适应的带宽管理提高了协议的性能.

(4) OTLBR (Optimal Tradeoffs for Location-Based Routing)^[6].

OTLBR 协议是一种基于位置辅助的混合路由协议, 它具有 QoS 和能量感知等功能. 该协议要求双向链路, 并且每个节点都拥有 GPS 设备, 可以和所有邻居交换携带自身位置信息的报文. 协议的核心是位置更新方案, 把分布式查找服务和每个节点在本地范围内的前摄位置管理相结合, 每个节点都要: 更新在半径 R 内的邻近节点的当前位置信息, 且在全网范围内分布式选择位置服务器; 作为位置更新信息的接收者, 存储少量其他节点的位置信息. 在位置数据库的基础上, 经过递归位置查询、使用基于方向的路由搜

索,找出在源节点和目的节点之间、满足能量效率或 QoS约束的足够数目的候选路由,并从中选出最好的一条进行转发. OTLBR 协议的可扩展性比较好,可以用于大规模 Ad hoc 网络.

(5) QoS-AODV^[7].

QoS-AODV 协议对 AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector)进行了 QoS扩展,除了 AODV 协议中使用的跳数度量参数外,还增加了带宽、碰撞带宽、节点数量 3 种度量参数,并设计了一个权重函数,通过启发式算法寻找饱和带宽较大的路径,将数据流分散到全局拓扑中去,减少了路径上发生碰撞的数据包,同时,该协议还用较小的协议开销实现了对节点移动状态的管理,提高了网络吞吐量.

(6) CBQ-OLSR^[8].

CBQ-OLSR 协议是最佳链路状态路由 OLSR (Optimized Link State Routing)的 QoS扩展.它的主要改进是通过扩展 CBQ (Class Based Queueing)调度,为不同业务流提供最小的请求带宽,从而达到区分服务的目的.在 CBQ-OLSR 协议中,将业务流分为 3 类优先级,由高到低分别是延迟约束的业务流、带宽约束的业务流和 BE (Best-Effort)流.通过接纳控制、QoS路由、QoS信令以及 WCBQ 互相协作,对这三类流采取不同的选路方法和接纳与调度规则.

CBQ-OLSR 协议的优点在于并不需要 QoS-MAC 层的支持,在确保 QoS 业务流的路径稳定的同时,能够比较公平地对待非 QoS 业务,对于节点的移动提供了很好的支持,协议的开销比较合理.其缺点是需要节点中维护全局状态信息,因而可扩展性不是很好.

2.2 多路径路由

(1) DPSP (Disjoint Pathset Selection Protocol)^[9].

DPSP 通过多路径传输来提高路由的可靠性,它使用一种启发式算法,在线性时间内找到一组高可靠性且节点不相交的路径.假设各节点拥有网络拓扑图,并且该图记录了每条链路的可靠性概率,通过迭代运行以下过程来寻路:首先搜索源节点 s 到目的节点 t 的最可靠路径,然后使用公式 $L = \min_{i \in \lambda_s} L_i = \min_{i \in \lambda_s} \left\{ \left[1 - \prod_{p_k \in \lambda_i} \left(1 - \prod_{j \in P_k} p_j \right) \right] \right\}$ 判断该路径是否能够提高路径集的可靠性,式中 P_k 为第 k 条路径, p_j 为链路可靠概率, λ_i 为到达第 i 个目的节点的路径集.如果该路径能够提高整个路径集的可靠性,就将该路径添加到路径集中.最后删除一些相交的链路,从而得到结点不相交的路径集.

DPSP 的优点是获得高可靠性不相交的多条路径的开销较小,使用多路径来转发数据,减少了网络延迟,提高了网络的传输率.

(2) CHAMP (Caching And MultiPath)^[10].

CHAMP 协议提出了协作缓存机制,在每个节点开辟一个小缓冲区,用于保存转发的报文,当下游节点遇到转发错误时,将会通知上游节点从缓冲区中取出报文重新转发,从而减少由于频繁路径中断引起的报文丢失.同时,CHAMP 协议采用最短多路径机制来转发报文,并尽量采用距离相同的路径,能够在较小的开销下实现负载均衡,减少报文的乱序现象,提高了路由性能.

(3) AOMDV-E-TDMA^[11].

AOMDV-E-TDMA 是无线 Ad hoc 网络中 QoS 多路径问题的一种新的解决方案,它的 MAC 层为 TDMA 协议的扩展,称为 E-TDMA (Evolutionary TDMA).寻路协议采用按需多路径距离矢量协议 (Ad hoc on demand multipath distance vector protocol AOMDV),其核心是在路径发现过程中计算多条无环路径,其中包括在每个结点建立和维护多条无环路径的路由更新规则,查找无交叉连接路径的分布式协议. AOMDV 拥有较好的链路容错能力和有效的恢复机制,也具有提高数据传输率、减少网络延迟等优点.与 E-TDMA 相结合,降低了路由发现频率,提高了网络吞吐量,减少了时隙预留机制所造成的竞争干扰,实现了性能良好的多径路由机制,较适合在高速动态网络环境下使用.

(4) SMQR (Stability based Multipath QoS Routing)^[12].

SMQR 协议的核心思想是基于 QoS 路径的稳定性来进行多路径搜索,选择一条路径作为主路径传递数据,另外两条不相交路径作为备用路径,通过定时发送 DUMP 报文来保持替换路径的 QoS 有效性.源节点定时计算路径质量,一旦发现主路径的稳定性下降,即主路径即将不能满足 QoS 需求,提前进行备用路径的切换.该协议在维持较高网络吞吐量的同时降低了端到端的延迟和延迟抖动,通过预测路径的稳定性

降低了报文丢失率, 较适合在节点移动比较大的网络中使用.

3 协议比较与分析

表 1 从路由策略、QoS 度量参数的选择、状态保存方式、路径数量等角度对上述 Ad Hoc 网络 QoS 路由协议进行了比较. 可以看出, 每一种路由协议都有自己的特点和适用环境, 路由协议的性能受到网络规模、业务类型、节点能量和移动性、信道特点等诸多因素的影响. 在 Ad hoc 网络中设计 QoS 路由协议需要充分考虑以下几个问题:

(1) 合理选择 QoS 度量参数. 不同的应用对于 QoS 的需求并不相同, QoS 度量参数反映了所关心的网络特性并定义了提供 QoS 保障的类型. 常见的 QoS 度量参数有: 带宽、延迟、延迟抖动、丢包率、节点剩余能量等. 已经证明, 当 QoS 约束条件包含两个或两个以上的可加性参数, 或者包含可加性参数和可乘性参数组合时, QoS 路由问题是 NP-Hard 问题^[13], 很难求解, 因此需要根据实际情况来选择合适的 QoS 度量参数.

(2) 资源预测与路径计算方法的选择. 在 QoS 路由协议中, 节点和链路资源的预测是基础, 根据 QoS 度量参数的不同, 这一任务可以由 MAC 层协议、路由协议甚至应用自身来完成. 由于 Ad hoc 网络的动态特性, 资源测量算法的复杂度与收集资源信息的频率直接影响到 QoS 状态参数的准确性和寻路的开销, 在寻找 QoS 路由时, 应充分考虑路由协议所需的节点资源 (计算时间、能量、内存) 和信道资源开销, 尽量减少路由计算的复杂性.

(3) QoS 路径的维护. 由于 Ad hoc 网络的动态特性以及采用竞争的共享信道, 很难提供确保的 QoS, 通常只能提供“软”的 QoS 保证, 即 QoS 在连接未断时可以得到保证, 但在链路失效时需要依靠重新路由、备份/冗余路由、路由修复以及各种自适应机制来减少 QoS 路由失效造成的影响.

(4) 资源预留与接纳控制. 大部分 QoS 路由协议都假设 MAC 层能够在无线分布式环境下提供可靠的单播通信以及具有业务区分、资源预留和接纳控制的能力, 在设计路由协议时应能够充分利用 MAC 层的支持.

表 1 Ad hoc 网络 QoS 路由协议的比较
Table 1 The comparison of QoS routing protocols for Ad hoc network

协议名	网络拓扑	路由策略	状态保存方式	QoS 度量参数	MAC 层支持	GPS 支持	单路径 / 多路径
AOMDV-E-TDMA	平面	按需	距离向量	带宽	E-TDMA	否	多路径
CEDAR	层次	混合	局部状态	带宽		否	单路径
CBQ-OLSR	平面	主动	全局状态	带宽、延迟	802.11b	否	单路径
CHAMP	平面	按需	距离向量	跳数		否	多路径
DPSP	平面	主动	全局状态	可靠性概率		否	多路径
OTLBR	平面	主动	局部状态	位置信息		是	单路径
QoS-LANMAR	层次	混合	距离向量	带宽		否	单路径
QoS-AODV	平面	按需	距离向量	带宽、碰撞带宽、节点数量、跳数	802.11	否	单路径
SQMR	平面	按需	距离向量	可用带宽、延迟	802.11	否	多路径
TBP	平面	按需	距离向量	带宽/延迟		否	单路径

4 结语

本文对 Ad hoc 网络近年来提出的 QoS 路由协议进行了分析和比较. 在未来的 QoS 路由协议研究中, 除了充分考虑到 Ad hoc 网络动态变化的拓扑结构、有限的无线传输带宽、存在单向链路、分布式控制、生存时间短以及移动设备的主机能源和内存大小等局限性外, 还应该关注以下几点: (1) 协议的开销、健壮性、可扩展性以及安全性等多方面的要求; (2) 跨层 QoS 控制, QoS 控制效果的进一步提高需要将链路层、网络层和传输层的 QoS 机制加以协调和融合, 构建移动 Ad Hoc 网络的服务质量控制体系结构; (3) 异构网络的互联, 随着移动终端设备的广泛使用, 未来的互联网络必将成一个包括固定网络、有基础结构的无线网络和无线移动 Ad hoc 网络的集成网络, 提供对异构网络互联的支持, 将能更加充分地使用网络资源.

[参考文献] (References)

- [1] 李云, 赵为粮, 隆克平, 等. 无线 Ad hoc网络支持 QoS的研究进展与展望[J]. 软件学报, 2004 15(12): 1885-1893
Li Yun, Zhao Weiliang, Long Keping, et al. Development and prospect on the supported QoS in wireless Ad hoc networks [J]. Journal of Software, 2004 15(12): 1885-1893. (in Chinese).
- [2] Hanzo ILL, Tafazolli IR. A survey of QoS routing solutions for mobile Ad hoc networks[J]. IEEE Communications Survey & Tutorials, 2007, 9(2): 50-70.
- [3] Chen S, Nahrstedt K. Distributed quality-of-service routing in Ad hoc networks[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1488-1505.
- [4] Sivakumar R, Sinha P, Bharghavan V. CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm [J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1454-1465.
- [5] Xu K, Tang K, Rajive B, et al. Adaptive bandwidth management and QoS provisioning in large scale Ad hoc networks[C] // Proceedings of Military Communications Conference. Boston, USA: IEEE Computer Society, 2003. 1018-1023.
- [6] Park T, Shin K G. Optimal tradeoffs for location-based routing in large-scale Ad hoc networks[J]. IEEE /ACM Transactions, 2005, 13(2): 398-410.
- [7] Espes D, Manmer IZ. Routing algorithm to increase throughput in Ad hoc networks [C] // Proceedings of Networking International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies. Mauritius: IEEE Computer Society, 2006. 23-29.
- [8] Boukhalfa L, Minet P, Mordonnet S. QoS support in a manet based on OLSR and CBQ [C] // Proceedings of IEEE Sixth International Conference on Networking. Martinique: IEEE Computer Society, 2007. 22-28.
- [9] Papadimitratos P, Haas Z J, Sier E G. Path set selection in mobile Ad hoc networks[C] // Proceedings of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing. Lausanne, Switzerland: ACM Portal, 2002. 1-11.
- [10] Valera A, Seah W K G, Rao S V. Cooperative packet caching and shortest multipath routing in mobile Ad hoc networks [C] // IEEE INFOCOM 2003. San Francisco: IEEE Computer Society, 2003. 260-269.
- [11] Loscrý V, Rango F, De Marano S. Ad hoc on demand multipath distance vector routing (AOMDV) over a distributed TDMA MAC protocol for QoS support in wireless Ad hoc networks: integration issues and performance evaluation[J]. European Transactions on Telecommunications, 2007, 18(2): 141-156.
- [12] Sama N, Nandi S. A route stability based multipath QoS routing (SMQR) in MANETs [C] // Proceedings of First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology. Maharashtra: IEEE Computer Society, 2008. 193-198.
- [13] Wang Z, Jon C. Quality of service routing for supporting multimedia applications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 14(7): 1228-1234.
- [14] 张鹏, 崔勇, 孙磊. 移动自组织网络服务质量控制机制综述[J]. 计算机应用, 2009 29(3): 625-632
Zhang Peng, Cui Yong, Sun Lei. Review of QoS mechanisms for mobile Ad hoc networks[J]. Journal of Computer Applications, 2009 29(3): 625-632. (in Chinese).

[责任编辑: 严海琳]