

# Ad-Hoc 网络中一种改进多径路由协议<sup>①</sup>

石永生<sup>1</sup>, 高照恒<sup>2</sup>, 华 驰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(江苏信息职业技术学院 计算机工程系, 无锡 214101)

<sup>2</sup>(上海理工大学, 上海 200093)

**摘 要:** Ad-hoc 网络路由主要研究从源和目的点之间找到一条连接的路由, 经常忽略网络的 QoS 需求, 如果数据流量超过了该网络所能承受的最大限度, Ad-hoc 网络将不能保证数据流的传输质量。因此提出了一种改进的 QoS-AOMDV 路由协议, 在 AOMDV 路由基础上增加了带宽、时延、跳数和优先级等约束条件, 使得在路由发现和路由维护阶段满足一定的 QoS 需求。仿真结果显示, 在多径路由协议可以保证通信服务质量。

**关键词:** 移动自组网; 服务质量; 多径路由; AODV 协议; AOMDV 协议

## Improved Multipath Routing Protocol in Ad-Hoc Network

SHI Yong-Sheng<sup>1</sup>, GAO Zhao-Heng<sup>2</sup>, HUA Chi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Department of Computer Engineering, Jiangsu College of Information Technology, Wuxi 214101, China)

<sup>2</sup>(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Research on Adhoc network routing is mainly to find a connected routing from the source to destination points. It often ignores the network QoS demand. If the data traffic exceed the network to be able to withstand the maximum, ad-hoc networks will not guarantee the flow of data transmission quality. Therefore, this paper proposes a improved QoS- AOMDV routing protocol in AOMDV routing. It adds certain restriction condition that consists of bandwidth, delay, hops and priority, which make routing node must meet QoS quirements when the phase of routing initiation and routing maintenance. The simulation results show that the multi-path routing protocol can guarantee the quality of service of communication.

**Key words:** Ad hoc; quality of service(QoS); multipath route; AODV; AOMDV

## 1 引言

移动 Adhoc 网络(mobile Ad hoc networks, MANET)是由一组移动节点组成的多跳临时性自治系统, 具有组网灵活、价格低廉等优点, 广泛的应用在军事和民用领域。在 Adhoc 网络的研究中, 路由是一个重要的研究领域, Adhoc 网络每个节点都具有路由器的功能, Adhoc 网络环境的路由协议和路由算法起了关键的作用。在实际应用中, 常常会因为节点的移动使得连接的路径断裂而需要重构路由, 造成通信信号的不稳定和信号的中断。论文提出一种改进多径路由协议, 从多条路径中选择稳定性最强的路由进行通信, 从而减小路径断裂的概率, 更好地保证服务质量<sup>[1]</sup>。

## 2 多径QoS路由

多径 QoS 路由指的是一种通过网络可用资源和业务流 QoS 要求来选择路径的路由机制, 它包含各种 QoS 参数的动态路由协议。该路由协议的主要目标是通过寻找满足源到点 QoS 要求的路径来实现网络数据流的传输。QoS 参数一般分为两大类, 一类和当前实时的网络运行状态有关, 如链路稳定性、网络的阻塞等; 另一类是与和实际应用相关, 如时延、吞吐量等。

为了满足在不同的网络环境的各类应用, 在 AdHoc 网络中, 理想的 QoS 路由算法目标要求如下:

1) 该路由算法具有较强的健壮性, 在 AdHoc 网络中, 临时有节点加入或退出, 会导致网络性能的下降。

① 基金项目:国家自然科学基金青年项目(41001230)

收稿时间:2011-07-09;收到修改稿时间:2011-12-18

2) 选择包含节点数尽量少的路径进行路由计算, 以此来减少路由计算中额外的网络开销;

3) 有很好的扩展性。

### 3 多径QoS路由设计难点及策略

由于AdHoc网络设施结构和传统的有线网络有所区别, 这些区别对于无线移动自组网中设计满足QoS支持的路由面临了一些困难<sup>[2]</sup>, 主要体现在以下几个方面:

1) 不可预测的链路状态。无线环境下的网络状况非常复杂, 可能会导致分组冲突、信号衰减、干扰和多径衰落等情况。由于这些无线环境的多变导致自组网中的链路状态也具有不稳定性 and 不可预测性, 对带宽和时延的计算也比较难以进行。

2) 控制开销的提高, 可扩展性较差。在无线网络中, 如果有大量的数据需要传输, 则邻居节点间交换的数据包中包含大量的状态信息, 降低了传输的实际数据所占的比例, 提高了网络的控制开销。

3) 较难确定路由信息的更新频率。如果设置路由信息的更新周期越短, 则路由开销较大, 若周期过长, 不能实时的反映网络状态的变化, 可能存在的过期路由信息使网络性能下降。

由于在AdHoc网络中进行QoS多径路由设计的面临的诸多困难, 对应解决的策略如下:

1) QoS参数选择。网络中的QoS包括时延、带宽、分组丢失率和网络吞吐量等。但针对多个约束条件的QoS路由进行网络资源的优化是一个较为复杂的问题, 一般情况下, 我们会很根据网络应用的要求选择1-2个指标参数。

2) QoS路由计算。通过搜集网络中拓扑结构的状态信息进行路由计算来寻找QoS路由时, 应该尽可能降低计算的复杂度。可以采用按需过滤法, 即将多个QoS参数按照某种顺序排列, 首先基于第一个参数寻找可行路径, 然后基于第二个参数在得到可行路径集合中进行筛选, 直到最后找出满足所列举的QoS要求的路径。

3) QoS路由维护。网络中路由由更新的频率应该具有自适应性, 也就是能根据数据包的大小设置调整频率, 对路由开销和准确性作出折中的选择。

4) 对目前的路由算法进行改进, 使其能够满足某些特定应用的QoS要求。如常用的QoS感知路由, 进

行路径选择依据带宽、最短距离和最小流量等三个指标参数。

### 4 QoS多径路由协议QoS-AOMDV

网络中的某些节点在不能满足带宽要求的情况下, 进行数据转发, 会导致数据不能在规定的时间内到达目的节点, 则降低网络的传输效率。此外过多的使用某些链路进行数据转发, 可能因此产生网络拥塞, 增大端到端时延。

本文引入了一种QoS-AOMDV的多径QoS路由协议来完善AODV协议, 并适当的修改了AODV的路由发现机制, 使其能提供一定的QoS保证。

#### 4.1 QoS-AOMDV关键问题及算法思想

QoS-AOMDV协议中的关键问题主要包括带宽和端到端的时延计算两个方面, 下面予以详细阐述。

##### 1) 带宽计算

通过计算从源节点到目的节点的路径可用带宽, 确保当前的数据传输速率满足QoS要求。但由于无线信道的共享和衰落等特性, 在无线环境中对可用带宽的计算是较为复杂的, 提出了基于信道空闲的预测方法来估算, 信道的可用带宽公式如下:

$$B_t = \frac{T_{idle}}{T_{interval}} \times B_{max} \quad (1)$$

其中,  $T_{idle}$  表示信道的空闲时间,  $T_{interval}$  表示实验中所需要的观察的时间差,  $B_{max}$  为信道的带宽,  $B_t$  为  $t$  时刻信道的可用带宽。在IEEE802.11无线网络标准中, 通过物理载波和虚拟载波来检测判断信道的是否处于空闲状态, 信道空闲时间的计算是通过数据链路层来实现。从可用带宽计算公式可以看出, 信道的可用带宽的结果是否准确主要取决于观察时间差的选取, 选取的观察时间差过大, 则不能反映信道的实时变化, 反之, 就无法获得足够的信息<sup>[3]</sup>。针对以上问题对可用带宽计算公式进行如下改进, 主要是在计算  $t$  时刻的可用带宽时必须考虑上一时刻即  $t-1$  时刻的带宽值, 则改进后的信道的可用带宽表示如下:

$$B_{avail} = B_t \times \beta + B_{t-interval} \times (1-\beta), 0 \leq \beta \leq 1 \quad (2)$$

从上式可以得出, 若  $\beta$  的值越接近 1, 则  $B_{avail}$  越能反映信道的最新状况; 若  $\beta$  的值越接近 0, 则越能反映其上一观察时刻带宽的状态。通过实验证明, 当

$\beta=0.8, T_{interval}=0.3$ 。

## 2) 时延计算

QoS-AOMDV 协议以端到端的时延作为一个重要的 QoS 指标, 可以通过下面公式对进行估算:

$$\sum_{e \in L} d(e) = \sum_I (T_t(I) + T_p(I) + T_{prop}(S, D)) \quad (3)$$

其中,  $I$  为选定网络所包含的节点数目,  $S$  为源节点,  $D$  为目标节点,  $T_t$  为传输所需时间,  $T_p$  为具体节点处理所需的时延,  $T_{prop}$  为在无线信道中的信号传输时延。

在分析 QoS 路由问题时, 可以将 Ad Hoc 网络抽象为一个有向图模型  $G(V, E)$  其中  $V$  是  $G$  中移动节点的有限集,  $E$  是节点间能够通信的所有链路集合, 网络中的每个节点都有全网的唯一 ID, 并且可以任意移动, 此外每个节点都有其传播半径。本文中我们以带宽和延迟来 QoS 参数来选择从源节点到目的节点  $D$  的满足要求的 QoS 路径  $L(S, U, V, \dots, D)$  [3]。

对于给定的源节点  $S$  和目的节点  $D$ , 找到路径  $L(S, U, V, \dots, D)$  使得此路径满足以下两个条件:

$$B(S, D) = \min B\{B_j, j = S, U, V, \dots, D\} \quad (4)$$

$$\sum_{e \in L} d(e) \leq DelayBound; \forall e \in L(S, D) \quad (5)$$

网络中某条路径的跳数表示为:

$$hopcount(path(m, n)) = Number_{nodes} \quad (6)$$

则进行路径选择时, 我们可以比较当前路径和网络中的任意路径通过路径选择因子:

$$P_{mnd} = \frac{[D_{mnd}]^\alpha [H_{mnd}]^\beta [B_{mnd}]^\gamma}{\sum_{q \in N_m} [D_{mqd}]^\alpha [H_{mqd}]^\beta [B_{mqd}]^\gamma} \quad (7)$$

## 3.2 QoS-AOMDV 协议实现过程

类似于其它路由协议的分析研究过程, 文章分别从路由发现、路由回复和路由维护三个方面对 QoS-AOMDV 协议进行分析研究。

### 3.2.1 路由发现

源节点收到邻居节点发送的数据流后准备发送数据时, QoS-AOMDV 协议的路由发现的具体流程按照以下四个步骤执行:

1) 源节点  $S$  将来自数据流数据包中所有提供的目的节点, 查找本地路由在缓存中是否存在满足条件的到达目的节点的路由, 若存在则进行数据转发, 否则跳

到下一步。

2) 源节点  $S$  发送路由请求分组 RREQ, 并根据式 2 计算自己当前的可用带宽, 若当前的带宽不小于进行数据发送所需的最小带宽, 则广播路由请求分组 RREQ。

3) 中间节点收到路由请求分组后, 首先判断本地缓存中是否存在到达目的节点的路径, 若存在, 进行数据分发, 步骤如下: 计算当前可用带宽, 将所得值与所 RREQ 用于发送数据要求的带宽进行比较, 只有大于该值, 才转发该 RREQ 分组, 小于则丢弃此数据包, 并将发送节点加入到自己的反向路由列表中, 按照路径选择因子公式 7 更新路径选择因子。在进行路径选择的过程中, 为保持链路的实时性, 如果当前节点中存在该路由分组时, 也应该进行带宽计算 [4]。

4) 目的节点收到 RREQ 分组后, 首先查询本地信息表中是否存在相同 ID 的 RREQ 分组, 如果存在则丢弃该分组, 反之, 更新本地信息表, 根据 RREQ 的时间戳和当前时间计算时延, 结合带宽、跳数等信息计算路径选择因子, 填入数据分组 RREP 中, 按照已经建立的反向路径进行数据包的回复。需要指出的是, 在 QoS-AOMDV 的路径选择中, 文章采用和 MPAODV 相似的节点不相关路径选择机制, 通过比较各条路径的路径选择因子的大小来计算是否将此路径作为用于数据传输的主路径和其他备选路径。通过确保节点的不相关性而选择出来的 QoS 路由, 减少了路径传输过程中相互间的干扰, 增强了路由协议的健壮性 [5]。

### 3.2.2 路由回复

QoS-AOMDV 协议的路由回复的具体流程分为以下两个步骤:

1) 中间节点接收到 RREP 分组, 类比于路由发现过程, 首先计算用带宽, 比较所得结果与 RREP 中的数据流带宽, 如果满足带宽需求, 则更新路由表, 向下游节点转发该分组, 反之, 丢弃该 RREP 数据分组。

2) 源节点收到 RREP 分组后, 查找本地缓存中此路由是否存在, 如果不存在, 则将路由加入到本地路由缓存表, 如果已经存在则比较几条供选择的路径选择因子, 并用较大的值进行数据发送, 其他作为备选, 只有在主链路中断的情况下, 才会启动备选路径, 以此来保证用当前的路径进行数据分发时可以满足 QoS 要求, 若当前网络没有备份路由, 则重启路由发现过程。

### 3.2.3 路由维护

移动 Ad Hoc 网络中节点的移动特性决定了网络的拓扑变化的随机性，建立的路由随时可能断裂，有可能不能提供所要求的 QoS 保证。因此，在 Ad Hoc 网络中，多径 QoS 路由的设计关键不仅要找到一条能够满足 QoS 要求的路由，而且对于 QoS 路由维护的实时有效的维护。QoS 路由的影响因素还有无线信道中带宽的有限性，节点位置改变引起的路由信息改变等，QoS-AOMDV 协议路由维护算法类似于 MPAODV。本文通过周期性的广播 Hello 信息来通知各链路的有效性。在 QoS-AOMDV 协议中，若某个中间节点出现故障，为了减少路径的恢复时间，首先启动局部修复机制，查找当前路由缓存中有无到达目的节点的路径，若有则进行数据传输，反之，则向当前故障节点的上游节点发送 RRER，发送路由请求分组到目的节点。若当前的上游节点限定的时间内没有收到 RREP 消息，则启动其余的备选路径进行数据传输。若没有其它路径可以选择，源节点重启路由发现机制。

## 4 仿真实验

### 4.1 仿真环境参数

采用 NS-2 对 LD-AOMDV 协议进行仿真，对 NS-2 中的 AOMDV 源代码进行修改编译后进行仿真，仿真模型与参数如下：(1)网络由 50 个节点分布在 1000\*1000 的范围内，采用随机移动模型。(2)仿真时间为 200s。(3)业务流为等长的数据包(均为 512bit)，业务流的源目的节点随机分布在网络中。(4)无线传输的物理层和数据链路层采用 IEEE802.11 协议，传输速率为 2m/s，传输距离 250m。

### 4.2 仿真结果分析

根据多媒体数据流的传输特点，对引入 QoS 约束的 QoS-AOMDV 和 MPAODV 就分组投递率、端到端的平均时延、归一化的路由开销等方面进行测试比较，QoS-AOMDV 协议的 QoS 性能，路由协议的仿真结果分析如图 3。

从图 3 中可以看出，QoS-AOMDV 比 MPAODV 的分组投递率要高，主要是因为在进行路径选择时，QoS-AOMDV 协议中加入了对于带宽的限制，当所选路径符合 MPAODV 中的最小跳数要求时，还需考虑当前路径是否能满足数据包传输的带宽要求，若不满足带宽要求，将放弃该路径，保证了路径对于 QoS

的支持，提高了数据传输的效率<sup>[6]</sup>。因此可以得出路由协议 QoS-AOMDV 分组投递率的优势更加明显。

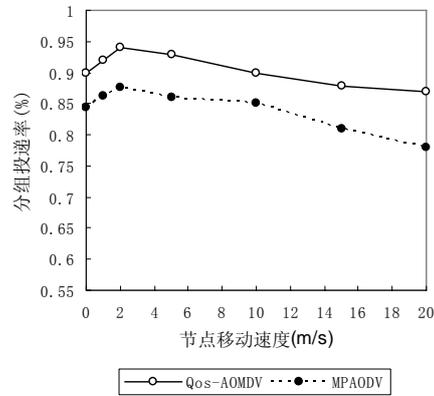


图 3 分组投递率仿真结果

图 4 表述节点移动速度和端到端时延的关系，若节点的移动速度较小时，QoS-AOMDV 的平均端到端时延要小于 MPAODV。这说明，QoS-AOMDV 能找到一条或多条 QoS 路由，进行数据传输，保证了服务质量要求，降低了传输时延。但随着移动速度的加大，网络中拓扑结构发生变化，导致某些通信链路失效，而导致两个路由协议的端到端时延都有所上升，从总体来看，QoS-AOMDV 协议的优势还是很明显的。

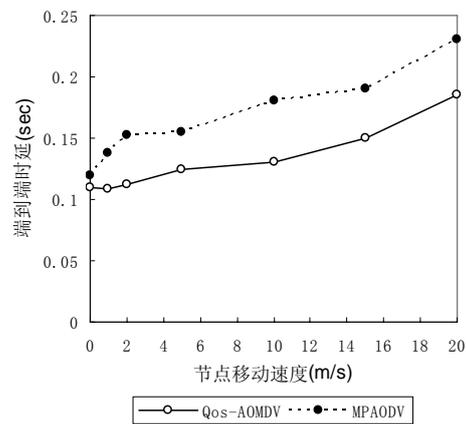


图 4 端到端平均时延仿真结果

图 5 表明，QoS-AOMDV 协议中的 RREQ、RREP 协议中引入了带宽、时延等评价参数，相比而言 MPAODV 实现 QoS 保障，增加了路由选择和路由维护的开销。通过节点移动速度的增加，网络中的连接数随之增加，则 QoS-AOMDV 和 MPAODV 两个路由

协议中的归一化路由开销都有所上升,此外,随着网络规模的不断扩大,协议的性能有所下降,两者的归一化路由开销的差距也趋于缩小的趋势。

从以上三组仿真实验结果的分析来看,QoS-AOMDV 的分组投递率、端到端的时延较 MPAODV 都要小,但是路由开销相对较大。但是由于网络中节点移动速度的加快,这将增大多径路由选择的复杂度,所以两个路由协议的性能都有所下降。从总体来讲,QoS-AOMDV 协议的 QoS 性能优于 MPAODV<sup>[7]</sup>。这进一步说明在多径路由协议中提供一定的服务质量保证是可行的。

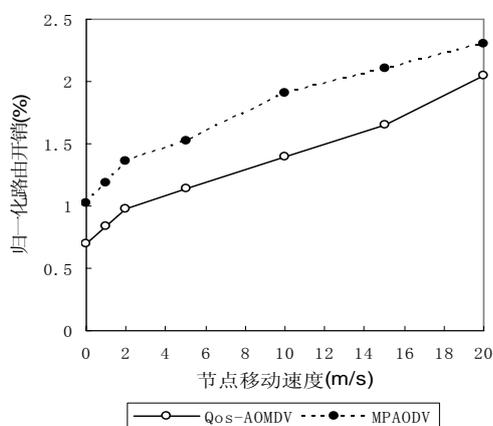


图 5 归一化路由开销仿真结果

## 5 结语

本文针对移动 Ad hoc 网络拓扑动态变化的特点,

提出了一种改进多径路由协议。该方法在路由建立过程中找到一条较稳定的路由,并在通信过程中实时监测链路状态变化,从而降低由于链路断裂造成通信中断的概率。仿真结果表明该协议能有效减少通信中断概率,提高分组传送成功率、减小端对端时延抖动,提高通信质量。

## 参考文献

- 1 王金龙,王呈贵,吴启晖. Ad Hoc 移动无线网络.北京:北京国防工业出版社,2004.1-105.
- 2 于宏毅.无线移动自组织网.北京:人民邮电出版社,2005.133-300.
- 3 郑少仁,王海涛,赵志峰,等. Ad Hoc 网络技术.北京:人民邮电出版社,2005.
- 4 吴国凤,邵臣. Ad Hoc 网络中 AODV 路由协议的分析与改进.计算机系统应用,2010,19(10):221-224.
- 5 Marina MK, Das SR. Ad hoc on-demand multipath distance vector routing. New York, NY, USA: ACM Press, 2001: 14-33.
- 6 Mohammed AK. A modified random way-point model equalized for the node crowding effect. Proc. of the 14th International Conference on Computer Communications and Networks 2005, ICCCN 2005. Oct 2005:49-54.
- 7 Yuan YH, Chen HM, Jia M. An optimized Ad-hoc ondemand multipath distance vector (AOMDV) routing protocol. Asia-Pacific Conference on Communications, 2005:569-573.

(上接第 36 页)

moving downstream to enhance competitive advantage. Information Management and Computer Security, 2002, 10(2):64-72.

- 7 Walsh KR. Analyzing the application ASP concept: technologies, economies, and strategies. Communications of the ACM, 2003,46(8):103-107.
- 8 张莉,殷国富,王伟,等.网络环境下面向 ASP 的协同分析服务技术研究.中北大学学报,2008,29(2):136-141.
- 9 陈鹏,薛恒新,等.面向中小企业信息化的 SaaS 应用研究中国制造业信息化,2008,37(1).

- 10 昌中作.基于 SaaS 模式的公共物流服务平台关键技术的研究[硕士学位论文].北京:北京交通大学,2007.
- 11 叶伟.互联网时代的软件革命-SaaS 架构设计.北京:电子工业出版社,2009.
- 12 韩燕波,王桂玲,刘晨,等.互联网计算的原理与实践.北京:科学出版社,2010.
- 13 黄正军,周建中.基于 X3D 的虚拟场景动态交互技术研究.计算机工程与科学,2007,29(7):55-57.
- 14 朱立达,梁伟立,董圣广,等.基于 Web 的数控机床动态仿真系统的研究.计算机集成制造系统,2009,15(5):954-958.