

文章编号:1001-9081(2009)10-2632-03

# SWAN 模型中引入 QoS-MSR 多径路由的性能优化分析

苏 兵<sup>1</sup>, 乔玉兰<sup>1</sup>, 孙玉强<sup>1,2</sup>

(1. 江苏工业学院 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164; 2. 河南师范大学 计算机与信息技术学院, 河南 新乡 453007)  
(subing@em.jpu.edu.cn)

**摘 要:** Ad Hoc 网络的服务质量模型中路由选择直接影响网络的可靠性和稳定性。将 QoS-MSR 多路径路由协议引入了无线移动网络无状态模型(SWAN), 利用 QoS-MSR 的两个显著优点, 即既在路由查找过程中带有 QoS 要求的信息又采用多分裂带宽预留机制(MBSR), 有效地提高网络服务质量。仿真实验表明, 在 SWAN 模型中采用 QoS-MSR 路由可以使网络的端到端时延、吞吐量和数据接收率等性能参数都有明显改善。

**关键词:** 无线移动网络无状态模型; 服务质量; QoS-MSR; 多路径路由

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A

## Analysis of performance optimization on QoS-MSR routing applied to SWAN model

SU Bing<sup>1</sup>, QIAO Yu-lan<sup>1</sup>, SUN Yu-qiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou Jiangsu 213164, China;  
2. College of Computer and Information Technology, Henan Normal University, Xinxiang Henan 453007, China)

**Abstract:** Routing protocol plays an important role in the supports of QoS such as reliability and stability in the Stateless Wireless Ad Hoc Networks (SWAN) model for Ad Hoc networks. In this paper, a new protocol named Quality of Service-Multipath Source Routing (QoS-MSR) multi-path routing was introduced into the SWAN model. It can effectively improve the quality of service by making the use of the two significant advantages of QoS-MSR that it can not only attach the information of QoS in the routing search process, but also adopt the algorithm of Multiple Bandwidth Splitting Reservation (MBSR). Simulation results indicate that the performance parameters of the network (end-to-end delay, throughput and the rates of data receiving) based on the adopted QoS-MSR in the SWAN model are remarkably improved.

**Key words:** Stateless Wireless Ad Hoc Network (SWAN); Quality of Service (QoS); Quality of Service-Multipath Source Routing (QoS-MSR); multi-path routing

无线移动网络无状态模型(Stateless Wireless Ad Hoc Networks, SWAN)是一种跨层的服务质量保障模型,模型中主要包括三个主要模块:速率控制模块、接纳控制模块和显式拥塞通告(ECN)模块。速率控制模块根据 MAC 层的帧时延及时调整尽力而为业务传输的速度以保证实时流的时延传输要求;接纳控制模块对实时流首先按路由协议进行路由查找,找到路径之后再从源节点开始依路由方向探测到目的节点的瓶颈带宽和最小时延,再把探测结果与实时流的 QoS 要求相比较,决定是接纳还是拒绝,所以实时流的接纳是基于源节点的,与中间节点无关;显式拥塞通告是对错误的准入可能造成的实时数据流的过度延时,进而采取的通告源节点重新接纳控制或查找路由的机制。本文中在模型的接纳控制模块部分用 QoS-MSR 多径搜索协议取代原来的不带 QoS 要求的路由协议(比如 DSR),这种路由方法可以在路由请求过程中搜索到多条满足到目的节点的路径,并在每个节点保存路径和可用带宽、时延,把原来的路由查找和探测反馈 QoS 信息结合起来,可以进一步降低端到端平均时延,提高数据接收率,增大网络的吞吐量等,并通过 NS2 仿真实验,对网络传输性能指标进行分析。

### 1 相关工作

#### 1.1 SWAN 模型的具体介绍

SWAN 模型<sup>[1]</sup>是 Ad Hoc 网络的一种无状态网络服务模式,传统的方法是利用分布式控制算法来传递差分服务,有简单、有效、扩展性强的优点。SWAN 模型的原理如图 1 所示。

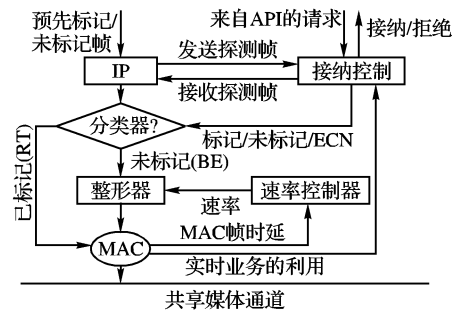


图 1 SWAN 模型原理

SWAN 模型对尽力而为的 UDP 和 TCP 业务采用速率控制的策略,对实时的 UDP 业务采用基于源节点的接纳控制策略。从 IP 路由来的数据包先经过分类器标记分为尽力而为

收稿日期:2009-04-07;修回日期:2009-06-08。

基金项目:江苏省高校自然科学基金资助项目(06KJB520022);江苏工业学院校基金资助项目(ZMF06020010)。

作者简介:苏兵(1972-),男,江苏南京人,副研究员,博士,主要研究方向:计算机软件工程、计算机网络、网络安全;乔玉兰(1971-),女,江苏常州人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络、网络服务质量保障;孙玉强(1956-),男,河南郑州人,教授,博士,主要研究方向:并行编译、软件工程。

的业务 (BE) 和实时业务 (RT): 如果是尽力而为的业务, 为了保证实时业务的传输, 只能占用除去实时业务外的剩余带宽, 因此速率控制器会根据 MAC 层的帧时延按照 AIMD 算法不断调整尽力而为业务传输的速率, 当 MAC 帧时延较短时说明信道空闲, 可以以线性递增的方法提高速率, 这样充分利用实时流以外的空闲信道传输尽力而为业务, 当 MAC 帧时延较长时说明信道拥塞, 以乘性递减降低速率以保证实时流的传输时延要求; 如果是实时业务流, 在按照一定的路由方法查找到路径之后, 接纳控制模块会在位于源节点的准入控制器向目的节点发送带宽探测请求包, 估计端到端的可用带宽和累加时延, 探测表如图 2 所示。

Type	Probe ID	Bottleneck Bandwidth	Acc_delay
Source IP Address			
Destination IP Address			

图 2 接纳控制探测表的数据结构

当“Type”值是 0 时, 表示探测请求报文; “Type”值是 1 时, 表示探测应答报文。通过源地址、目的地址和 ID 号可以唯一确定某个探测包, 带宽探测请求包必须经过从源端到目的端的各个中间节点, 每个中间节点收到探测请求包后, 更新累加时延值, 并检查探测请求包中的“瓶颈带宽 (Bottleneck Bandwidth)”字段, 将本节点当前可用带宽与“瓶颈带宽”相比较, 如果小于“瓶颈带宽”值, 则将“瓶颈带宽”更新为本节点的可用带宽, 然后将探测请求传向下一跳, 这样目的节点收到探测请求包之后更新的“瓶颈带宽值”即为源端到目的端的最小可用带宽; 然后再从目的节点向源节点发送探测应答包, 传递“瓶颈带宽”和累加时延到源节点, 但探测应答包的路径不需要是探测请求包的逆路径, 可以直接发送, 源节点根据探测到目的端的可用带宽和时延与实时业务流的 QoS 要求相比较, 决定是拒绝还是接纳为实时业务处理, 否则就降级为尽力而为的业务。但是由于节点移动或者源节点的错误准入也可能造成实时流的过度延时, 所以 SWAN 模型采用 ECN 显式拥塞通告机制对每个移动节点周期性的进行流量测量来发现资源不足, 一旦检测到资源不足, 节点对所有流经它的实时数据流进行“ECN”标记, 当目的节点接收到标有“ECN”的数据包后就向该数据包的源节点发送管理数据包通知其重新进行接纳探测。

### 1.2 DSR 和 QoS-MSR 路由的比较

每种路由协议对于不同的网络规模和传输业务来说在 SWAN 模型中的优缺点不同, 这里主要讨论 DSR 路由和基于 DSR 改进的带 QoS 参数的 QoS-MSR 路由。

DSR 协议<sup>[2]</sup>是一种基于源路由方式的单路径按需路由协议, 主要由路由发现、路由维护及路由缓冲三部分组成。在路由发现过程, 源节点向邻节点广播“路由请求”报文, 报文中包括目的节点地址、路由记录和请求 ID, 中间节点再向邻节点转发路由请求并将本节点地址加在路由记录中, 当目的节点收到报文之后就可以得到从源节点到目的节点的唯一的一条路径。图 3(a) 所示的网络如果要从节点 A 查找到目的节点 D 的路径, 中间节点 B 收到请求报文之后将路由记录字段更新为 (A-B-), 当 B 节点再次收到由 F 点来的请求之后, 该请求报文已经存在, 因此不处理 (A-F-B) 的请求, 所以最后目的节点得到的是唯一的一条路径 (A-B-C-D)。

DSR 路由有单径查找的一些缺点: 路由发现阶段只获得一条路径, 因此数据发送也只利用一条路径, 无法并发或并行发送数据, 导致网络传输率较低, 时延增加, 网络负载不平衡等, 这对 QoS 要求较高的实时业务很容易导致网络拥塞。

QoS-MSR<sup>[3-4]</sup>是基于 MSR 的一种 QoS 路由协议, MSR 是

DSR 的扩展, 将多路径机制融入到 DSR 中, 每个节点对到目的节点的每一个路由都维护着一个多径表, 这个表包含了路径编号、目的节点 ID、时延和可用带宽信息, 目的是为了均衡每条路由的传输负载。它使用 MSR 的路由发现机制来搜索 QoS 信息并以预约的带宽建立路由, 为了高效地预约带宽, 使用了一种新的带宽预约方法 MBSR 多带宽分裂预留机制, 使用 MBSR 的 QoS-MSR 能提高 QoS 业务呼叫的接受率和分组递交率, 同时降低了端到端延迟。

QoS-MSR 协议包括 QoS 路由发现、QoS 路由维护以及多带宽分裂预留机制。在路由发现过程中, 源节点在获得路径时也能得到所有节点的带宽信息并存放在路由缓存中, 图 3 中查找 A 到 D 的路径可以得到以下相关信息: A (B, C, D, 10 Mbps), A (B, C, 10 Mbps), A (B, F, E, D, 20 Mbps), A (F, E, D, 20 Mbps), A (B, 20 Mbps), A (F, B, C, D, 10 Mbps), A (F, B, 20 Mbps), A (F, 25 Mbps), A (B, 20 Mbps) 等。在选择路径时, 如果是带宽要求小于 10M 的业务可以选时延最小的一条路径传输数据, 如果是带宽要求大于 20 Mbps 的业务可以在两条以上路径中并行传输数据, 然后再在目的节点聚合数据并校验。很明显, QoS-MSR 具有多径路由的一些优点: 通过多路径可以减少在带宽方面的限制, 又由于网络拓扑的动态变化, 采用多路径能快速传输数据防止路径的断裂, 加快传输速度, 减少时延, 可靠性高, 同时能提供更好的吞吐量<sup>[5]</sup>。

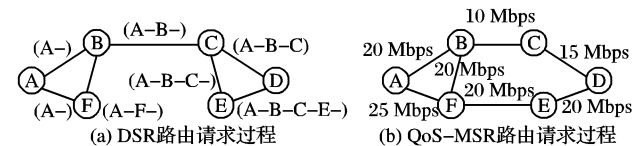


图 3 DSR 和 QoS-MSR 路由请求过程

## 2 SWAN 模型的改进

随着 Ad Hoc 网络中传输多媒体业务的需求不断增加, 提供服务保障已成为一个突出问题, 网络应根据不同的业务提供不同的等级质量, 比如对语音要求延时、抖动较小, 对图像传输要求带宽较高但可以有一定的延时, 而对于视频会话则要求高带宽和实时性。前面介绍过 SWAN 模型把数据分为尽力而为业务和实时业务, 一定程度上保证了实时流的传输同时又使尽力而为业务尽可能地使用实时流未占用的空闲信道, 但是现有的 SWAN 模型是基于简单的路由协议, 没有考虑 QoS 问题, 路由完成之后还需要发送探测包, 来获得现有路由的 QoS 度量<sup>[6]</sup>, 在 SWAN 模型中引入 QoS-MSR 路由可以较好地提高网络的服务质量, 改进之后的结构框架如图 4 所示。

经分类器标记的实时业务流请求时, 为源节点找一条满足 QoS 要求的路由, 按图 4 中 (1~4) 步骤查找一条满足要求的路径, 把路由由查找和探测反馈结合起来, 在路由过程中直接查找满足带宽信息的路由, 同时更新每个节点的多径路由表, 如果查找结果没有可用的路由则拒绝该业务请求, 反之, 则接纳该实时业务流到 MAC 层; 当一条路径发生拥塞或者失效时, 中间节点按照图 4 中 (a~e) 步骤调整找到一条可替代的 QoS 路径。而在没有 QoS-MSR 路由协议的 SWAN 模型中, 一旦发生拥塞或者是错误接纳, 源节点的接纳控制模块采用多次请求/探测过程, 如果允许多次判断, 那么以下情况下都要请求路由模块重新路由, 一是接纳控制模块收到探测应答以后发现当前路径不满足 QoS 要求, 或者是接纳控制模块收到显式拥塞通告, 而多次的查找路由会导致大量的实时业务被降级为尽力而为的业务或者即便被接纳也都有很大的延迟<sup>[7]</sup>。

另一方面由于 QoS-MSR 路由协议是使用了 MBSR 算法

的多径路由,将总的带宽需求分裂成多条路径上的小的带宽需求,因此资源预约的成功率增大,从而减少了端到端之间的时延。假设带宽需求为  $B$ ,源节点到目的节点的所有路径组成的路径集合为  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ,  $bandwidth(P) = \sum_i bandwidth(P_i) \geq B$ ,  $bandwidth(P_i)$  是路径  $i$  的带宽需求。对于源节点  $S$  和目的节点  $D$  之间的带宽需求  $R$ ,假设可用的路径数为  $n(n > 1)$ ,每条路径的容量为  $C$ ,每条路径的可用带宽为  $B_{avl} (B_{avl} \leq C)$ ,带宽请求  $R$  的成功率为  $P(R)$ ,假设  $R$  在  $[0, C]$  均匀分布,将  $R$  分裂成  $n$  个独立的带宽请求  $R_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ,其成功率将大于单条路径的预约成功概率。

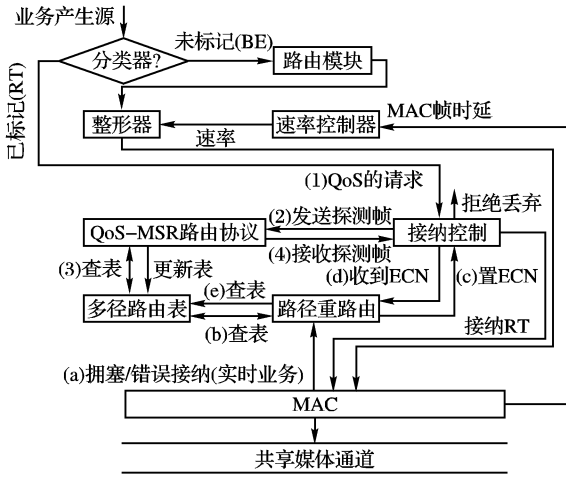


图4 改进的 SWAN 结构框架

引入 QoS-MSR 路由之后,在路由过程中带有 QoS 要求,这样把路由和发送探测消息的过程结合起来,如果源节点收到路由应答就表明找到了网络中满足要求的路径;反之则表明网络中没有满足要求的路径,在这种情况下实时业务被降级为尽力而为也是合适的<sup>[8]</sup>。

### 3 仿真实验及分析

使用 NS2 网络仿真环境对本文提出的 SWAN 模型及原有模型进行仿真,采用的场景为  $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$ ,仿真时间  $450\text{ s}$ ,网络中有  $50$  个节点,实时业务和尽力而为业务数据流各  $25$  对,节点 MAC 层采用 IEEE802.11b 模块,最大传输速率  $2\text{ Mbps}$ ,最大传输范围  $250\text{ m}$ ,最大移动速度  $20\text{ m/s}$ ;源数据流产生概率是常数分布  $(0.25\text{ s})$ ,每个帧的长度是  $512\text{ B}$ ;源数据流的 QoS 要求的最大传输时延  $300\text{ ms}$ ,最小带宽  $70\text{ kHz}$ ;AIMD 算法中,参数  $g$  为  $0.2$ , $r$  为  $75$ , $c$  为  $50000\text{ b}$ 。

仿真性能参数说明如下:端到端时延代表数据流从源节点到到达目的节点的时间差;吞吐量代表网络中数据包的传输速率,等于目的节点正确收到数据包除以当前时间,单位  $\text{bps}$ ;传递效率代表目的节点正确收到数据包与源节点发出数据包的比值。仿真结果如图 5~7 所示。

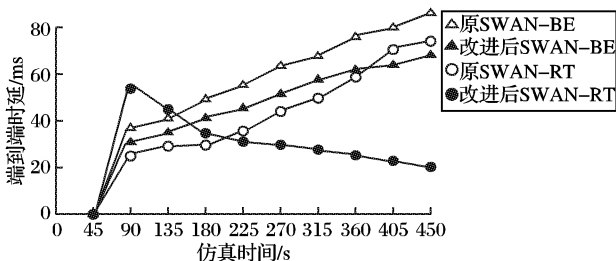


图5 实时与尽力而为业务的端到端时延

从仿真结果可以看出,改进后的 SWAN 模型因为采用了多分裂带宽预留,降低了时延,几乎都能满足实时业务的要

求,而对尽力而为业务,因为实时业务很少有不能查找到合适路径要求的,因此被降级为尽力而为业务的实时业务大大减少,使得尽力而为业务的拥塞程度降低,从而降低了端到端的时延;随着负载增大,网络吞吐量在原有模型下达到一定的极限值,而在改进的模型中,由于带宽需求被分裂成多条路径上的总和,就可以获得了较多的可用带宽资源,提高了吞吐量;就传输效率来说,由于有些对时延和带宽要求较高的业务在原有模型中不能找到可以保证传输的路由,而在改进模型中可以采取多条路径传输,然后再在目的端聚合校验,明显提高了传输效率。

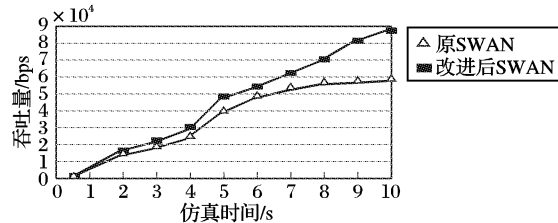


图6 随仿真时间变化的网络吞吐量

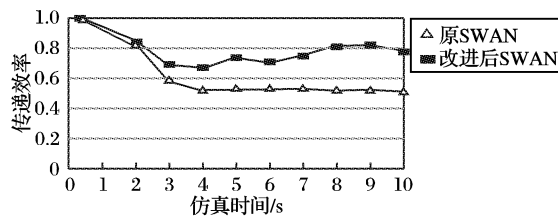


图7 随仿真时间变化的网络传递效率

### 4 结语

SWAN 模型作为一种跨层的网络服务体系结构模型,本身可以系统的提高网络的服务性能,但随着多媒体业务要求的提高,要高效地保障一些实时业务的传输,需要在模型的各个模块之间进一步深入研究改进。本文是针对模型中的路由协议的一种改进方案,引入带有 QoS 要求的多路径路由协议 QoS-MSR 来达到提高网络吞吐量、降低端到端时延、提高传输效率等目的,对 SWAN 模型其他的改进还有待进一步研究和探讨。

#### 参考文献:

- [1] AHN G-S, CAMPBELL A T, VERES A, et al. Supporting service differentiation for real-time and best effort traffic in Stateless Wireless Ad hoc Networks (SWAN) [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2002, 1(3): 192-207.
- [2] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. Ad Hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 1-72.
- [3] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
- [4] WANG L, YANG Y T, DONG O W W, et al. Adaptive multipath source routing in wireless Ad Hoc networks[C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Communications. [S. l.]: IEEE Press, 2001: 867.
- [5] 王辉. 移动 Ad Hoc 中多路径传输技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- [6] 王文毅. 基于 SWAN 模型的自组网仿真及性能分析[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
- [7] CHEN S S, KASSLER J A. Extending SWAN to provide QoS for WANRTs connected to the Internet[C]// International Symposium on Wireless Communication Systems. Siena: [s. n.], 2005: 503-507.
- [8] 寇兰. DSR-QoS 路由结合 SWAN 模型的自组网技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.