

# 一种新的 QoS 感知的 Ad Hoc 网络多径 DYMO 路由协议

韩冰青<sup>1,2</sup> 陈 伟<sup>1</sup> 张 宏<sup>2</sup>

(南京审计学院信息科学学院 南京 210029)<sup>1</sup> (南京理工大学计算机学院 南京 210094)<sup>2</sup>

**摘 要** DYMO 是 Ad Hoc 网络中一种动态的按需路由协议,本质上属于单径路由协议,而多径路由能更好地支持 QoS。首先分析了 DYMO 协议的优点及存在的问题,在此基础上将 DYMO 和服务质量 QoS 及多径路由结合起来,提出一种新的 QoS 感知的多径 DYMO 路由协议 QA-DYMO,利用多条链路不相交路径来发送数据,并提出一种 QoS 感知的路由算法。该协议能够适应网络的动态变化和较好地支持 QoS。仿真结果表明,该协议要优于其他相关的协议。

**关键词** Ad Hoc 网络, DYMO, 多径路由, 服务质量

中图分类号 TP393 文献标识码 A

## Novel QoS-aware Multipath DYMO Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks

HAN Bing-qing<sup>1,2</sup> CHEN Wei<sup>1</sup> ZHANG Hong<sup>2</sup>

(School of Information and Science, Nanjing Audit University, Nanjing 210029, China)<sup>1</sup>

(School of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>2</sup>

**Abstract** DYMO is a dynamic on-demand routing protocol in mobile ad hoc networks, which is a single-path routing protocol. But multi-path routing can support QoS better than single-path routing. Firstly, the advantages and problems of DYMO protocol were analyzed. Then a novel QoS-aware multi-path DYMO routing protocol(QA-DYMO) was proposed to provide QoS and multi-path routing which establishes and utilizes multiple routes of link-disjoint paths to send data packets concurrently. Finally, a QoS-aware routing algorithm was proposed. QA-DYMO can adapt to the dynamic changes of the network and support QoS better. The simulation results show that the proposed protocol outperforms other pertinent protocols.

**Keywords** Ad hoc network, DYMO, Multi-path routing, QoS

## 1 引言

研究 Ad Hoc 网络中的时延敏感受到人们的极大重视。如何为 Ad Hoc 网络提供 Quality-of-Service(QoS)<sup>[1]</sup>保证,以满足实时业务的传输要求,成为一个新的挑战。移动 Ad Hoc 网络具有一些特殊的性质,如不可预知的链路属性、节点移动性、动态拓扑、有限电池寿命等<sup>[2]</sup>,而在如此动态环境中提供 QoS 保证是非常困难的。因此,软 QoS 和自适应 QoS 是在移动 Ad Hoc 网络中提供 QoS 保证的 2 个妥协准则<sup>[3]</sup>。基于 QoS 路由协议的基本目标是确定满足 QoS 需求的一条自源节点至目的节点的路径,路径约束条件包括带宽、最小化搜索次数、距离、流量条件等。近年来的一些研究工作已经开始关注在 Ad Hoc 网络中提供 QoS 的问题,提出了一些用于 Ad Hoc 网络的 QoS 路由协议,例如 CEDAR<sup>[4]</sup>, TBP<sup>[5]</sup>, QoS-MSR<sup>[6]</sup>, ABR<sup>[7]</sup>等。但是这些协议都没有考虑节点负荷、包碰撞、单路径中断等方面对 QoS 路由的影响。

DYMO(Dynamic MANET On-Demand)路由协议<sup>[8]</sup>是目前 IETF(Internet Engineering Task Force)的工作组<sup>[9]</sup>开发移

动 Ad Hoc 网络路由协议的一个热点。它被计划作为经典的 AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector)<sup>[10,11]</sup>路由协议的继承协议。MANET 中路由协议的设计是影响网络性能的重要因素。根据路由建立的方式不同,自组网路由协议可分为先应式路由协议、按需路由协议和混合路由协议。DYMO 路由协议是一种反应式路由协议,是移动 Ad Hoc 网络中一种动态的按需路由协议,能够有效地减少路由协议的开销。

本文针对 Ad Hoc 网络的特点和应用需求,在综合考虑 IEEE 802.11 MAC 的广泛应用及其对路由影响的基础上,提出了一种新的 QoS 感知的多径 DYMO 路由协议 QA-DYMO(QoS Aware Dynamic MANET On Demand routing)。协议主要把带宽作为 QoS 参数,通过由修改过的 IEEE 802.11 MAC 协议周期计算节点本地信息(本地可用带宽、跳数、时延和重传次数),在把 QoS 请求——带宽作为接入控制的基础上,利用节点的其他本地信息更新路由请求分组。目的节点在多条可行路径中选择支持 QoS 输入带宽的有效路径。本协议在 DYMO 协议的基础上扩展了多径路由和支持 QoS 两

到稿日期:2009-04-30 返修日期:2009-07-16 本文受国家自然科学基金资助项目(编号:70701018),江苏省自然科学基金项目(BK2007593, 07KJB520052)资助。

韩冰青(1979-),男,博士生,讲师,主要研究方向为 Ad Hoc 网络、网络抗毁, E-mail: h bq\_2000@sina.com; 陈 伟(1976-),男,博士后,副教授,主要研究方向为审计信息化; 张 宏(1956-),男,教授,主要研究方向为网络安全等。

一个新特征,同时具有源路由的特点,是一种适用于中大网络规模的可扩展路由协议。

## 2 DYMO 路由协议的分析

DYMO 是一种新的反应式按需路由协议,目前正在 IETF 的 MANET 工作组下开发,最新的草案为 draft-ietf-manet-dymo-17<sup>[8]</sup>。DYMO 与先前的反应式路由方法一样,需建立反向路径信息,这一点和 AODV 路由协议类似。DYMO 的目标是建立一种可以简单化设计,有助于减少中间参与节点的系统需求,并且易于简化实现的协议。DYMO 保留了 AODV 路由协议的一些特点,如利用序列号来标识一条路由的新旧程度,同时利用序列号来避免路由环的产生。此外, DYMO 具有 AODV 所不具有的一些改进特征:它采用了源路由的“路径收集”技术,使得节点能监听路由请求(Route Request)包,并且在收到路由响应(Route Reply)包时能从其它节点(非源节点和目的节点)获取路径信息。图 1 给出了 DYMO 协议与 AODV 协议在路由信息获取方面的不同。可以看到 DYMO 协议在每个数据分组中包含了该分组传输的源路由,任何其他转发节点或者旁听节点能够很容易地将这些信息存储下来以备后用。

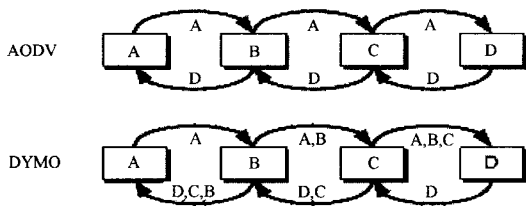


图 1 DYMO 与 AODV 路由信息

为了简化操作, DYMO 消除了 AODV 中的一些复杂函数,如局部修复函数,因为局部修复操作并不能显著地提高路由性能。特别是 DYMO 具有一种有效的“路径收集”能力。当节点转发 RREQ 和 RREP 分组时,将其地址信息添加到控制信息中。这一点使得收到控制信息的其他节点能够知道通往转发节点的路径。该“路径收集”特征使得可以减少将来路由发现的时间。表 1 总结了 DYMO 与 AODV 的区别。

表 1 DYMO 与 AODV 的区别

特征	AODV	DYMO
局部修复	是	否
前驱链表	RERR 通过前链单播	否, RERR 被广播
中间节点 RREP	默认值	可选
路径收集	否	是
与 PacketBB 一致	否	是

## 3 QoS 感知的多径 DYMO 路由协议 QA-DYMO

DYMO 路由协议在 AODV 的基础上有了较多改进并具有源路由的特点。文献[12]的实验结果评估了 DYMO 协议的路由性能,表明它是一种适用于移动环境的可扩展路由协议。但是, DYMO 协议本身仍然是一种单径路由协议,也没有提供对 QoS 的支持,多径路由可以更好地支持 QoS。本文在 DYMO 协议的基础上提出一种新的 QoS 感知的多径 DYMO 路由协议 QA-DYMO,在 DYMO 协议上扩展了多径路由和支持 QoS 这两个新特征,同时保留了 DYMO 协议“路径收集”和“源路由”的特点。为了减少源节点维护多条路径所需

的额外复杂度,我们把主要工作放在尽可能地减少 DYMO 协议的改动。在这样的要求下,中间节点的路由请求 RREQ 进程没有变动,中间节点对于 RREQ 消息采用和 DYMO 一样的处理规则。但是当涉及到源节点和目的节点时,这些规则需要做相应的改动。

### 3.1 本地可用带宽的计算

在协议中,把 QoS 请求带宽作为接入控制的参数,以保证路径上的各个节点都具有符合 QoS 要求的带宽,为此需要计算从源端到目的端的中间节点的本地可用带宽。本文使用文献[13]中的方法来计算节点的本地可用带宽。在  $T$  秒的采样时间内监测信道忙时间  $T_b$ ,这样节点的本地可用带宽由式(1)估算出来:

$$B_a = (1 - T_b/T) \times B_c \quad (1)$$

### 3.2 路由发现过程

当源节点有数据要发送给目标节点时,它首先在自己的路由表中查寻到目标节点的路由。如果路由存在并且有效,则立刻开始发送数据;如果相应的路由不存在或者路由存在但已经标明为无效时,源节点就开启一个泛洪路由发现过程。源节点首先创建一个路由请求 RREQ 消息,并向其邻居节点广播。每一个收到 RREQ 消息的中间节点就能够建立通往 RREQ 源的反向路径。当 RREQ 消息到达目的节点时,目的节点以 RREP 路由响应对 RREQ 源节点单播响应消息。于是 RREP 消息通过反向路径和建立了反向路径的中间节点传播,最终 RREQ 发起节点收到来自目的节点的 RREP 响应,这样便建立了一条介于源节点和目的节点的双向路径。

为了避免 RREQ 不必要的大范围广播,QA-DYMO 采用和 DYMO 相似的扩展环搜索技术。设置路由请求的生存时间 TTL(time to live)值,若一次请求没有响应,即没有收到相应的回答 RREP,则再次广播一个路由请求 RREQ,并增加 TTL 值和广播号。这一过程持续到发现路由或者 TTL 值达到允许的最大值为止。广播号是为了减小对广播分组的重复转发和处理,节点直接丢弃收到的重复广播。

### 3.3 多径路由的建立

QA-DYMO 的多径路由建立过程是在 DYMO 的单径路由基础上修改并实现的,其主要思想如下:目的节点在等待 RREQ-WAIT 时间内,将收到多个 RREQ 分组。目的节点不仅保存了最优路径(通常是跳数最短的路径),而且保存了其它更长的路径。保存更长的路径对于目的节点而言是有必要的。当然,因为无环路的限制要求,我们设定目的节点可选的其它路径不能比最短路径多出 2 跳的长度。通过应用上述规则,就可以在源节点和目的节点之间建立多径路由,也就是所有可选路径至多比最短路径多 2 跳。该设定并不是一个缺陷,也不会降低路由性能。实际上,文献[14,15]的研究成果表明,当路径长度不比最短路径长很多时,建立多条路径更加有效。最终,通过 DYMO 协议中的“路径收集”机制,可以比较所有由路由请求 RREQ 传递的路径。在此情况下,一些额外的信息需要由目的节点维护,以保存到源节点的每一条路径。同样,源节点也采用上述相同的操作。

在 QA-DYMO 协议中,源节点对路由响应 RREPs 采用同样的方法来建立反向路径。源节点接收所有的路由响应 RREPs 并采用目的节点处理 RREQs 的相同方法,源节点在路由表中存储到目的节点的多条路径。最初,源节点会选择

最短路径与目的节点通信。当最短路径因为某种原因(如节点的移动)中断后,路由错误 RERR 将会被创建并传回源节点,所有收到此消息的节点将标记通过该中断链路的路径无效。当最短路径失效后,源节点将在路由表中搜索一条可选路径。如果存在可选路径,源节点将启用该路径与目标节点通信,这样就避免了路由请求 RREQ 的再次泛洪,从而能够为 QoS 的带宽请求提供有效保证。

### 3.4 QoS 感知的路由算法

为了实现对 QoS 请求带宽的支持,提出一种 QoS 感知的路由算法,该算法采用以跳数(HopCount)、节点的可用带宽( $BW_i$ )为主要参数的线性表达式。因为这两个参数有不同的尺度,所以采用了一个比例因子  $\beta$  来减少节点的可用带宽。采用一个可变的权重因子  $\alpha$  来按需设定比例。本文将  $\alpha$  设定为使用可用带宽的权重更大,并设定以下的 QoS 表达式:

$$Value = \alpha\beta \sum \frac{1}{BW_i} + (1-\alpha) HopCount \quad (2)$$

其中, $\alpha$  是介于 0 和 1 之间的一个常量, $\beta$  是比例因子, $BW_i$  是节点  $i$  的可用带宽( $BW_i > 0$ ),HopCount 是由源节点到目的节点的总跳数。

为了将上述函数应用于 QA-DYMO 协议中,并没有对 QA-DYMO 协议的主要组件进行大的改动。我们的主要目标并不是寻找 QoS 的最短路径,而是对 QoS 的请求带宽提供支持。起初,设置权值 Value 采用了一个简单的表达式:

$$\alpha \sum BW_i + \beta HopCount$$

经过分析,将  $\beta$  设置为  $\alpha - 1$ ,可以更好地平衡带宽和跳数之间的权重。最后,进一步分析了可用带宽的总和,将可用带宽  $BW_i$  反转取其倒数,得到了表达式(2)。

采用式(2)来计算权值,可以使所选择的路径有最大的总可用带宽而不是最短路径。分析式(2)的第 1 部分  $\alpha\beta \sum \frac{1}{BW_i}$ ,采用了  $\sum \frac{1}{BW_i}$  而不是  $\sum BW_i$ 。如果仅仅计算 BW 的总和,算法将选择有最大总可用带宽的路径。但是该路径可能是较长路径,而我们实际所需要的是在可用带宽和跳数之间做一个平衡。

$\beta$  是影响  $\sum \frac{1}{BW_i}$  的比例因子。为了使带宽和跳数具有相同的比例,应尽可能让  $\alpha$  接近 0.5,使得带宽和跳数具有相同的权重。 $\alpha$  是一个权重因子,当  $\alpha$  设为 0 时,算法将选择具有最少跳数的路径。反之,当  $\alpha$  设为 1 时,算法将选择具有最大可用带宽的路径。在本文的仿真实验中, $\alpha$  设为 0.6, $\beta$  设为  $1.5 \cdot$  初始带宽  $BW$ ,算法将选择具有较高可用带宽的较长路径,而不是具有较少可用带宽的较短路径。

下面给出 QoS 感知的路由算法:

- I. 计算中间节点的可用带宽  $BW_i$ ;
- II. 对每一个路由消息 RM(包含 RREQ 和 RREP)从源节点到中间节点  $i$ ,执行如下操作:
  - Node.  $BW = 1 / RM[i]. BandWidth$  (节点带宽计算)
  - RM. sum\_BW = Node. BW 的累加和 (累计带宽计算)
  - info\_value =  $\alpha * \beta * RM. sum\_BW + (1-\alpha) * hopcount$  (路由权值计算)
- III. 根据第 II 步计算出的 info\_value 值,选择 info\_value 最小的路径作为传输路径。

中间节点使用式(1)的计算方法来计算节点本地可用带宽。如果可用带宽不满足 QoS 带宽约束,则该 RREQ 分组或丢弃 RREP 分组。而对于源节点和目标节点而言,将根据式(2)计算出正向路径和反向路径的权值,并将满足 QoS 带宽约束条件的路径保存至路由表中。在多条路径中选择 Value 值小的进行数据传输,因该值综合反映了 QoS 的带宽约束请求,并平衡了跳数这一重要的网络指标,所以该路径能综合地反映网络各节点的带宽状况及路径距离,因此对 QoS 请求能提供可靠的保障。

### 3.5 路由维护过程

QA-DYMO 协议的路由维护过程与 DYMO 协议路由维护过程相似。所有节点都跟踪到达其活动路由的下一跳节点的连续链接情况,以及在上一个时间周期内发送了 HELLO 消息的相邻节点。一个节点通过使用如下描述的一个或者多个有效的链路层机制,或者网络层机制,就能够维护有关到达其活动路由的下一跳节点的连续链接的精确信息。

(1) 每当一个分组被发送到一条活动路由的下一跳节点时,就可以使用任何合适的链路层通知(如 IEEE 802.11 提供的链路层通知)来确定与这个下一跳节点的链接。例如,如果发送完 RTS 控制分组后,没有收到链路层的 ACK 应答,或者没有接收到 CTS 控制分组,那么即使经过最大次数的重传以后,仍然会指出到达这个下一跳节点的链路已丢失。

(2) 如果不能使用链路层通知,那么当需要使用下一跳节点转发分组时,就应该使用被动应答,其方法就是旁听下一跳节点在信道上的发送。

使用上述方法可以检测出到达下一跳节点的链路。一个节点检测到链路中断时,便发送路由错误 RERR 消息来通知其他节点:该链路已中断或者链路已不再有效。

## 4 QA-DYMO 路由协议仿真分析

在 Linux 下,基于 ns-2.32<sup>[16]</sup> 网络仿真软件对 DYMO 路由协议进行仿真。MAC 层采用 IEEE 802.11DCF 来实现。节点传输距离为 250m。通信模型是恒定比特速率(CBR)通信源。在网络中随机选择源节点与目的节点对,数据分组长度为 512Byte。选用中等的网络负载,网络中同时有 20 个 CBR 连接,每个连接速率为 4 个分组/秒。仿真采用随机行走模型作为节点的移动模型,单个直线运动的速率服从  $0m/s - v_{max}$  ( $v_{max}$  为节点的最大移动速度)的均匀分布。节点的最大移动速度  $v_{max}$  分别取 5m/s,10m/s,15m/s 和 20m/s 这 4 个值,仿真时间设为 300s。对 4 种不同速度下的分组投递率、端到端平均时延、归一化路由开销进行了对比实验,并把 QA-DYMO 协议与传统的没有 QoS 保证的 AODV 协议及单路径 DYMO 协议进行了比较。

使用以下两种场景配置:(1)  $1500 \times 300m^2$  矩形区域,用于 50 个节点规模的网络。(2)  $2000 \times 600m^2$  矩形区域,用于 100 个节点规模的网络。选取如下 3 个指标对路由协议进行性能评估。

(1) 分组投递率:目的节点接收分组的个数与源节点发送分组的个数的比值。该参数综合反映了数据分组传输过程中路径中断修复、发送缓冲区溢出、接口队列溢出、MAC 分组冲突等因素对端到端分组投递率的影响。

(2) 平均端到端时延:目的节点的分组接收时间与源节

点的相应分组发送时间的平均差值。该参数包括了所有可能的时延:源节点路由发现时延、路径中断修复时延、多跳转发时延、接口排队时延、MAC层分组重传时延、链路传播时延等。

(3) 归一化路由开销:为成功发送一个数据分组到目的节点而发送的路由控制分组的个数。该参数用于评估路由控制开销,并间接反映动态环境下路径的稳定性。

图2给出了场景1(50个节点规模网络)的仿真实验中的QA-DYMO, AODV, DYMO协议的性能比较。从图2(a)可以看到,随着节点运动速度的增大,3种协议的分组投递率随之减少;在各种移动速度下,QA-DYMO协议的分组投递率都高于DYMO和AODV。从图2(b)可以看到,在平均端到端时延方面,QA-DYMO的平均时延远小于AODV,在3种协议中平均时延最小。随着节点最大移动速度从5m/s提高到20m/s, AODV的平均时延上升得较明显,而QA-DYMO的平均时延并没有明显增大,表明QA-DYMO在节点的各种移动速度下具有较好的适应性与稳定性。这是因为QA-DYMO是一种QoS感知的多径路由协议,当某条路径的带宽小、时延长时,QA-DYMO会选择带宽大、时延小的路径,使得端到端的平均时延较少。此外,QA-DYMO是一种具有多径路由的特征,因为QA-DYMO能存储多条备用路径,当某条链路中断时,能迅速地启用备用路径传输数据。当节点平均移动速度增大时,QA-DYMO的平均时延并没有受到较大影响,因此QA-DYMO在平均时延上的性能要优于单径路由的DYMO协议。从图2(c)中可以看到,在归一化的路由开销方面,QA-DYMO要高于其它2种协议。这是因为QA-DYMO在DYMO协议的基础上增加了QoS感知及多径路由2种新特征,源节点和目标节点会增加多条路径的存储信息,中间节点会增加QoS带宽请求等信息,所以其控制消息的开销会相应地增加,高于其它2种协议。

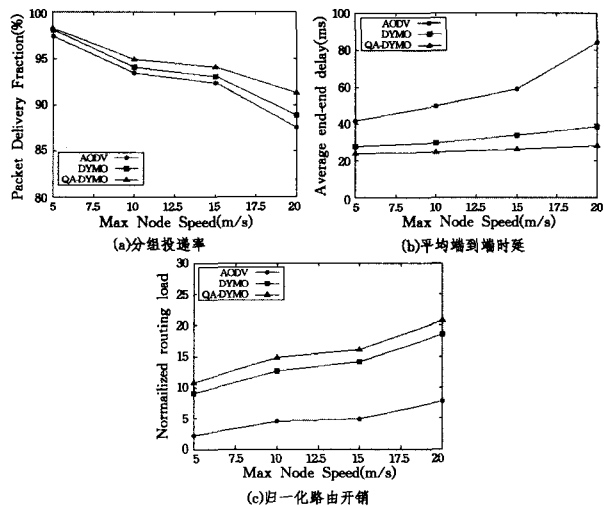


图2 50个节点 QA-DYMO 仿真实验

图3给出了场景2(100个节点规模网络)的仿真实验中QA-DYMO与DYMO及AODV的性能比较。此时网络规模和网络区域相对较大,节点间路由的跳数也相对增加。在分组投递率方面,当节点连续移动时,QA-DYMO的分组递交率要高于AODV及DYMO协议;在节点移动性增强后,QA-DYMO也优于AODV和DYMO。这是因为QA-DYMO具有QoS感知及多径路由的特征。在平均时延方面,当节点移

动较强时,QA-DYMO在3种协议中时延最小。随着节点移动性的增大,AODV的平均时延与QA-DYMO相比相差较大,此时QA-DYMO显示了较好的性能。这是因为网络规模较大,导致AODV泛洪查找路由的时延增加较大。但是,在路由开销方面,QA-DYMO明显大于AODV,也大于DYMO协议。这是因为QA-DYMO控制消息的开销较大,而AODV则显示了较好的稳定性。

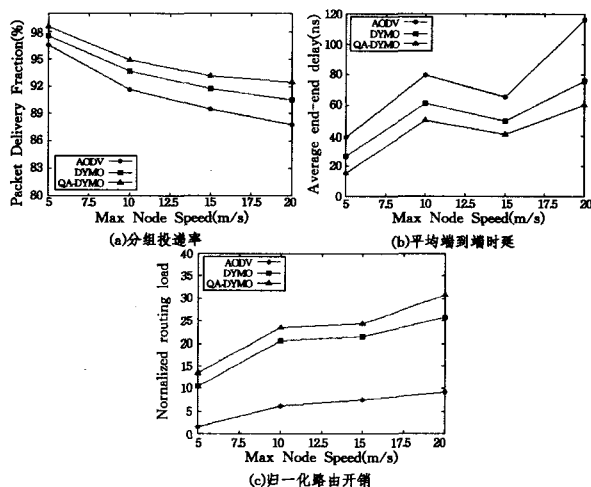


图3 100个节点 QA-DYMO 仿真实验

**结束语** 本文首先分析了DYMO协议的优点及存在的问题。在此基础上将DYMO与服务质量QoS及多径路由结合起来,提出一种新的QoS感知的多径DYMO路由协议QA-DYMO,利用多条链路不相交路径来并发发送数据,并提出一种QoS感知的路由算法。利用ns-2.32网络仿真软件对其进行了仿真,将QA-DYMO与DYMO及AODV协议进行了对比实验。仿真结果表明,在归一化路由开销方面,AODV路由开销较小,而QA-DYMO在分组投递率和平均端到端时延2个指标上都要明显优于AODV及DYMO,且随着节点数目的增加和节点移动速度的提高,QA-DYMO的优势更加明显,在中等规模和较大规模的网络中显示了较好的稳定性。因此QA-DYMO协议适用于中大规模的移动Ad Hoc网络,并具有较好的路由性能。

## 参考文献

- [1] Satyabrata C, Amitabh M. QoS issue in ad hoc wireless networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(2): 142-148
- [2] 于宏毅. 无线移动自组织网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 301-302
- [3] Abolhasan M, Wysocki T, Dutkiewicz E, et al. A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks[J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(1): 1-22
- [4] Sivakumar R, Sinha P, Bhargavan V. CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1454-1465
- [5] Chen S, Nahrstedt K. Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1488-1505
- [6] Wang L, Shu Y T, Dong M, et al. Adaptive multipath source routing in wireless ad hoc networks[C]// Proc. IEEE Conference on Communication (ICC). Helsinki, 2001: 867-871

(下转第120页)

## 4 模型性能评估

检测算法有 2 个性能指标:检测率,即算法检测到的攻击次数与实际发生攻击的次数的比率;误报率,即把正常行为误认为异常攻击的次数与实际发生攻击的次数的比率。为考察本文检测方法的效率,对实时抓取的 100 组数据进行了比较分析,其中前 10 组和最后 10 组无攻击,中间 80 组有攻击。采用的分析探测包长为 1000 字节,设定夹入长度 250~500 字节之间改变的门限值仍然为 4,得到的结果如表 4 所列。可以看出,本模型有较好的检测率,但存在误报率偏高的缺点。

表 4 检测算法性能分析

	检测率	误报率
基于包对的检测技术	88%	3%

**结束语** 本文提出一种新型的端到端的 SYN Flood 攻击检测方法。发送背靠背固定间隔的包对来观察有无异常时夹入背景流量的变化,通过对校园网实时采样高精度流量样本进行分析,得出如下结论:(1)探测包长为 1000 字节时异常特征变化较明显;(2)在有异常时,夹入包对间长度为 250~500 字节间的流量显著增加;(3)出现该异常现象的原因是 SYN Flood 攻击时大量小包连续到达,小包聚集形成夹入长度 250~500 字节的流量增加。本方法具有实时性好、算法简单、易于实施及节省资源等优点,且算法新颖,并有望实现端到端的自动攻击检测。

## 参考文献

- [1] Chang R K C. Defending against flooding-based distributed denial-of-service attack; a tutorial[J]. IEEE Comm Magazine, 2002, 40(10):42-51
- [2] Wang H N, Zhang D L, Shin K G. Detecting SYN flooding attacks[C]// Proc. of the 21st Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, 2002, 3:1530-1539
- [3] Jin C, Wang H N, Shin K G. Hop-Count filtering, An effective defense against spoofed DDOS traffic[C]// Proc. of the 10th ACM Conf. on Computer and Communications Security, 2003, 30-41
- [4] Kim Y W, Lau W C, Chuah M C, et al. PacketScore: Statistical-based overload control against distributed denial-of-service attacks[C]// Proc. of the 23rd Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies, 2004, 4:2594-2604
- [5] 严芬,王佳佳,陈轶群,等. 一种轻量级的 SYN Flooding 攻击检测方法[J]. 计算机科学, 2008, 35(9):72-75
- [6] Rohani M F, Maarof M A, et al. An implementation of LoSS detection with second order statistical model[C]// Proceedings of the Postgraduate Annual Research Seminar. FSKSM, UTM, 2007
- [7] Li M. Change trend of averaged hurst parameter of traffic under DDOS flood attacks[J]. Computer & Security, 2006, 25(3): 213-220
- [8] 任勋益,王汝传,王海艳. 基于自相似检测 DDOS 攻击的小波分析方法[J]. 通信学报, 2006, 27(5): 6-11
- [9] Leland W, Taqqu M, Willinger W. On the self-similar nature of Ethernet traffic(Extended Version)[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1994, 2(1): 1-15
- [10] Paxson V, Floyd S. Wide area traffic: the failure of poisson modeling[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1995, 3(3): 226-244
- [11] Dang T D, Molnar S. On the Effects of Non-stationarity in Long Range Dependent Tests[R]. Budapest, Hungary; Budapest Univ Technology and Economics, 1999
- [12] Abry P, Veitch D. Wavelet analysis of long range dependent traffic[J]. IEEE Trans on Infor Theory, 1998, 44(1): 2-15
- [13] Arlos P, Fiedler M. A method to estimate the timestamp accuracy of measurement hardware and software tools[C]// Passive and Active Measurement Workshop, 2007: 197-206
- [14] Hu Ningning, Steenkiste P. Evaluation and characterization of available bandwidth probing techniques[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2003, 21(6): 879-894
- [15] Scenarios[C]// Vehicular Technology Conference 2007, 2007: 16-20
- [13] Chakeres I D, Belding R E M. PAC: perceptive admission control for mobile wireless networks[C]// Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks. Piscataway: IEEE Press, 2004: 18-26
- [14] Nasipuri A, Castaneda R, Das S R. Performance of multipath routing for on-demand protocols in mobile ad hoc networks[J]. ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET), 2001, 6(4): 339-349
- [15] Marina M K, Das S R. On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks[C]// Proc. IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP). Mission Inn, Riverside, California, Nov. 2001: 14-23
- [16] NS-2[EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [7] Toh C K. Associativity-based routing for ad hoc mobile networks[J]. Wireless Personal Communications, 1997, 4(3): 103-139
- [8] Chakeres I D, Perkins C E. Dynamic MANET On-demand (DYMO) Routing [EB/OL]. draft-ietf-manet-dymo-17, Internet Draft, March 2009
- [9] The IETF MANET Working Group. Charter Website [EB/OL]. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [10] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing[EB/OL]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, July 2003
- [11] Perkins C, Royer E. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing[C]// 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. New Orleans, LA, February 1999: 90-100
- [12] Sommer C, Dressier F. The DYMO Routing Protocol in VANET

(上接第 82 页)