

一种高吞吐量的 IEEE 802.11 Mesh 网 AP 选择算法^{*})

吴宇 习勇 雍婷

(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

摘要 现有的 IEEE 802.11 mesh 网访问点(AP)选择算法仅仅基于对 mesh 用户周围链路质量的测量,无法使用户获得高性能的 Internet 访问。本文提出了一种基于期望传输吞吐量(Expected Transmission Throughput, EXT)的 AP 选择算法,该算法同时考虑了 mesh 路由器访问网关的能力以及用户与路由器的连接时间,目的是使用户选择能够获得最大吞吐量的路由器进行连接。同时,本文针对 mesh 网络特点和用户的移动方式给出了实际可行的算法实现过程。本文使用 NS-2 对算法进行了仿真,结果证明与传统的基于接收信号强度指示(RSSI)的算法相比,基于 EXT 的 AP 选择算法可以使用户的访问吞吐量得到较大提高。

关键词 mesh 网,访问点选择,度量尺度,路由

A High Throughput AP Selection Scheme for IEEE 802.11 Wireless Mesh Networks

WU Yu XI Yong YONG Ting

(School of Electronic Science and Engineer, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract Current AP selection schemes for IEEE 802.11 wireless mesh networks (WMNs) are only based on the measurement of the links near the mesh client, which fail to offer the client a high capacity Internet access. In this paper, an EXT (Expected Transmission Throughput) based AP selection scheme for WMNs is proposed. EXT scheme considers both the transfer capacities of the mesh routers near the client and the connecting time of the links between the client and the routers, with the purpose of achieving maximum throughput. Furthermore, we give a practical implementation of EXT according to the characteristics of WMNs and the motion of the client. Simulation is conducted with NS-2, which shows the proposed scheme has a remarkable improvement over the existing RSSI based scheme.

Keywords Wireless mesh networks, AP selection, Metric, Routing

1 引言

IEEE 802.11 无线 mesh 网是一种具有动态地自组织、自配置、自维护等特点的新型无线网络,它可以较小代价为用户提供无线 Internet 访问^[1]。典型的 mesh 网包括 mesh 路由器和 mesh 用户(如图 1)。mesh 用户通常具有移动特性,通过连接到 mesh 网来访问 Internet。同时,由于受到体积和功率的限制,用户往往仅能配置一块 IEEE 802.11 网卡。而 mesh 路由器通常是静止的,可以配备多块网卡,一块用于接受用户访问,其余网卡用于与相邻路由器通信,其中的一些路由器还作为网关通过有线连接到 Internet,从而使网络内的其它路由器可以 ad hoc 路由方式将用户报文转发给网关,直至发送到 Internet 上的访问站点。通常,为了减小干扰,相邻的路由器使接受用户访问的网卡工作于不同信道,用户同时只能与一个路由器建立连接,该路由器称为用户的访问点(AP)。当用户即将移动出当前 AP 的覆盖范围时,将启动越区切换过程^[2],通过扫描各个信道发现它周围的全部路由器,以进行重新连接。尽管用户与其中任意一个路由器连接都可以访问 Internet,但不同的路由器向网关转发报文的能力差别很大,直接影响用户最终得到的吞吐量。因此,用户要实现高吞吐量的访问,必须使用合理的度量尺度,选择具有较强转发能力的 AP。

然而,现有的 AP 选择算法均忽视了 mesh 路由器转发能力的显著差别,而仅仅基于对用户周围链路质量的测量来进行选择,因此无法保证用户获得很高的访问吞吐量。为了解决这个问题,本文提出了一种基于期望传输吞吐量(Expected Transmission Throughput, EXT)的 AP 选择算法,该算法同时考虑了 mesh 路由器向网关转发报文的能力以及用户与路由器的连接时间,从而能够使用户获得较高的访问吞吐量

本文其余部分组织如下:在第 2 节中简要介绍现有的 mesh 网 AP 选择算法并分析它们的不足;在第 3 节中提出基于期望传输吞吐量(EXT)的 AP 选择算法;在第 4 节中给出基于 EXT 的选择算法的具体实现过程;在第 5 节中对算法进行仿真评估,以证实算法的有效性;最后给出结论。

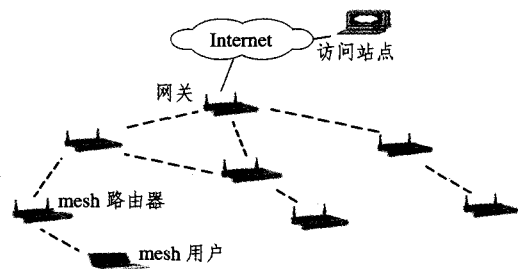


图 1 一个典型的 mesh 网

^{*} 国家重点基础研究发展规划(973)、国家“十五”国防预研基金(No. 41001030103)支持。吴宇 博士研究生,研究方向为 mesh 网、无线网络的交叉层设计;习勇 博士研究生,研究方向为无线 MAC 协议、ad hoc 网络、交叉层设计;雍婷 硕士研究生,研究方向为无线网络设计。

2 相关工作

现有的 IEEE 802.11 mesh 网 AP 选择算法仅仅基于对用户周围链路质量的测量。例如,绝大多数算法简单地使用基于接收信号强度指示(RSSI)的方法^[3,4],该方法的基本过程是:当用户执行越区切换时,依次在每个信道上广播一个探测请求报文,然后测量相应路由器回应的探测应答报文的 RSSI,在信道扫描结束后选择具有最大 RSSI 的路由器作为 AP 进行连接。该算法实际上只能保证用户与 AP 之间的通信概率最大,却忽视了对 AP 访问网关能力的评估,无法使用户获得很高的访问吞吐量。

而在文[5]中,作者提出了一个基于连接质量测量的算法,在该算法中用户周期性地广播 DHCP 请求报文,附近的每个路由器分别计算单位时间内收到的 DHCP 请求报文数,收到最多者自动成为该用户的 AP。该算法主要存在两个缺点。首先,它要求所有的路由器都能监听到用户的广播,这意味着所有接受用户访问的网卡都必须工作于相同的信道,因此势必产生严重干扰,大大减少网络的容量;其次,该算法仅能使用户与 AP 之间的报文成功传输概率最大,并不能保证 AP 向网关转发报文的能力很强,因此同样无法保证用户得到较高的吞吐量。

3 基于期望传输吞吐量(EXT)的 AP 选择算法

在提出本文的算法之前,我们首先做如下假设:

- 1) 所有路由器和用户所配备的网卡的传输范围、传输速率均相同。
- 2) 所有路由器均配备两块网卡,相邻路由器上用于接受用户访问的网卡工作于不同信道,因此彼此不产生干扰,而用户在任意时刻只能与一个路由器通信。
- 3) mesh 路由器的密度足够大,使得用户在任意时刻至少处于一个路由器的覆盖范围内。

本文提出的 AP 选择算法的目的是使用户获得高吞吐量的 Internet 访问,为此首先考虑直接使用 mesh 路由器查找路由的度量尺度作为 AP 选择的度量尺度。本文使用期望传输时间(Expected Transmission Time, ETT)作为路由度量尺度^[6],ETT 表示在特定路由上成功传输一个报文所需要的时间。由于 ETT 同时考虑了不同链路上的报文丢失率和链路带宽对路由吞吐量的直接影响,所以能够使静态多跳网络中的节点(包括 mesh 路由器)获得很高的吞吐量。

为了验证使用 ETT 作为 AP 选择尺度对用户吞吐量的影响,我们使用 NS-2^[7]进行了两组仿真,分别比较在用户保持静止和不断移动的情况下使用 ETT 和 RSSI 两种度量尺度所获得的吞吐量。如图 2 所示的仿真拓扑中包括 4 个路由器和 1 个用户,其中 R₀ 为网关。我们修改了 NS-2 中的 DS-DV 协议^[8]实现代码,使之支持 ETT 度量尺度。整个仿真过程中用户不断向网关发送 UDP 报文,报文长度为 512Byte。在第 1 组仿真中,用户始终静止于图 2 所示的位置,因此同时处于 R₁ 和 R₃ 的覆盖范围内,且距离 R₃ 较近;而在第 2 组仿真中,让用户在 a 和 f 两点之间来回地水平移动,在移动过程中用户将发生越区切换,根据文[9]对 Orinoco 无线网卡切换延迟的测量结果,设定切换延迟时间为 1000ms。

仿真结果如图 3 所示。可以看到,在第 1 组仿真中用户使用 ETT 使吞吐量获得了显著提高,这是由于 ETT 尺度准确地反映出三个路由器访问网关能力的差别,即 R₁ 比 R₃ 和

R₂ 都大很多,因此用户在该尺度下选择 R₁ 作为 AP 获得了较高的吞吐量,这证明 mesh 路由器转发报文的能力对用户访问吞吐量的影响是非常大的。

而第 2 组中用户使用 ETT 尺度得到的吞吐量却略微下降,这是由较多的切换中断所导致的,以用户向右移动的过程为例,在 ETT 尺度下用户接连发生了两次切换:第 1 次是在快要到达 d 点、当检测到与 R₃ 的连接即将中断时,用户重新连接到了 ETT 较小的 R₁,但不久在快要到达 e 点时再次发生切换而又重新连接到了 R₂;而在 RSSI 尺度下用户在即将与 R₃ 断开时会直接与 R₂ 连接,因此只切换了一次,所以导致 ETT 尺度下吞吐量较小的原因可以归结为切换中断的损失超过了连接过程中吞吐量的提高。

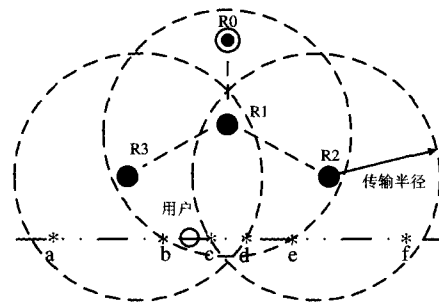


图 2 包括 4 个路由器和 1 个用户的网络拓扑

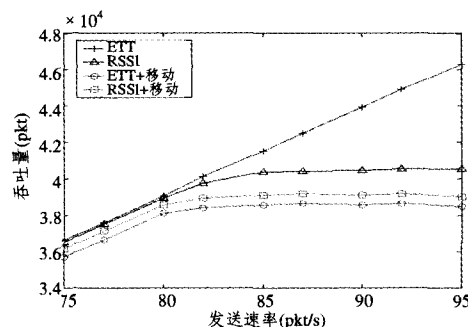


图 3 使用 RSSI 和 ETT 度量尺度所获得吞吐量的比较

以上两组仿真说明,用户应该谨慎地选择转发能力较强,但连接时间过短的路由器。为了准确地评价这两个变量对用户吞吐量的影响,我们提出了基于期望传输吞吐量(EXT)的 AP 选择算法:在对任意两个路由器进行比较时,对连接时间较短的路由器,用户仅当与之连接过程中获得的吞吐量提高大于切换中断所造成的损失时才选择其作为 AP。以图 4(a)为例,假设用户在 $t = T_0$ 时刻发生切换时检测到周围有两个路由器 R_i 和 R_j ,其中 R_i 的转发能力较强但连接时间较短,则仅当用户在 $T_0 \sim T_2$ 区间从 R_i 获得的吞吐量大于从 R_j 获得的吞吐量时才选择 R_i 作为 AP,由此可以保证用户在 $T_0 \sim T_3$ 的整个区间内获得较大的吞吐量。下面给出计算各个路由器的 EXT 度量值的数学表达式以及相应的选择算法:

$$\forall R_i, R_j \in \{R_k | R_k \text{ 是用户邻近的 mesh 路由器}\}$$

$$\text{suppose } \text{ConnectTime}_{i, T_0} < \text{ConnectTime}_{j, T_0}$$

$$\text{then } \text{EXT}_{i, T_0} = \text{ConnectTime}_{i, T_0} / \text{ETT}_{i, T_0}$$

$$\text{if } \text{ConnectTime}_{j, T_0} - \text{ConnectTime}_{i, T_0} > \tau$$

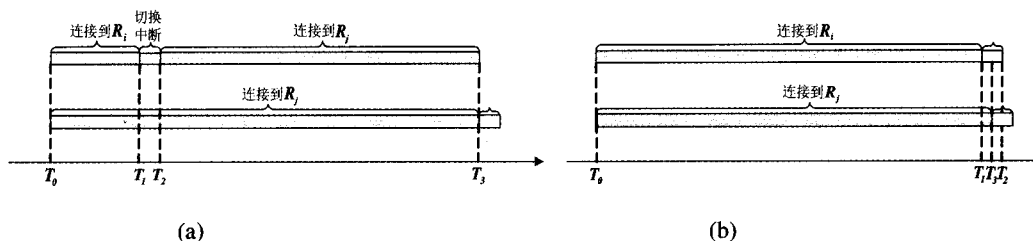
$$\text{EXT}_{j, T_0} = (\text{ConnectTime}_{i, T_0} + \tau) / \text{ETT}_{j, T_0}$$

$$\text{else}$$

$$\text{EXT}_{j, T_0} = \text{ConnectTime}_{j, T_0} / \text{ETT}_{j, T_0}$$

参考图 4 可知, $\text{ConnectTime}_{i, T_0}$ 表示用户从 T_0 时刻切换发生开始与 R_i 保持连接的时间, τ 为切换中断时间。因为 ETT 表示路由器向网关成功传输一个报文所需要的时间,所

以 EXT_{i,T_0} 表示 R_i 在 $T_0 \sim T_2$ 区间内能够向网关成功传输的报文数,但其实际发送时间为 $ConnectTime_{i,T_0}$;同理, EXT_{j,T_0} 表示 R_j 在 $T_0 \sim T_2$ 区间内能够向网关成功传输的报文数,其实际发送时间为 $ConnectTime_{i,T_0} + \tau$ (图 4(a)),或



$$T_1 = T_0 + ConnectTime_{i,T_0}$$

$$T_2 = T_0 + ConnectTime_{i,T_0} + \tau$$

$$T_3 = T_0 + ConnectTime_{i,T_0}$$

图 4 使用 EXT 度量尺度比较两个路由器的方法

4 基于期望传输吞吐量(EXT)的 AP 选择算法实现

为了计算各个路由器的 EXT 度量值,需要得到它们到达网关路由的 ETT 度量值及与用户的连接时间。下面我们分别讨论测量这两个变量的方法。

4.1 获得 mesh 路由器访问网关的 ETT

使用户获得邻近所有路由器到达网关路由的 ETT 度量值的方法有主动式和被动式两种。在主动方式下,每个路由器周期性地查找到达网关的路由并更新路由的 ETT,因此在收到探测请求报文时可以立即将当前路由的 ETT 封装在探测应答报文中发送给用户;在被动方式下,路由器仅在收到探测请求报文时才启动查找路由的过程,直到找到才发送给用户。我们的算法使用主动查找方式,因为尽管主动的查找方式会给网络带来一定负载,但是不会增加用户切换延迟,所以不会对用户吞吐量造成太大的损失。相反,如果使用被动查找方式,由于各路由器查找路由所需时间无法确定,会导致用户切换延迟时间无法预测,不仅对吞吐量造成严重损失,而且无法为用户提供任何 QoS 保证。

4.2 估计用户与 mesh 路由器的连接时间

估计用户与 mesh 路由器的连接时间需要得到切换发生时用户与路由器之间的距离矢量、以及用户在与路由器连接的整个过程中的速度矢量。计算切换发生时的距离矢量可以转化为获得此时用户与路由器的坐标,由于路由器是静止的且不受功率限制,因此可以在网络构建好以后直接手动设置,或者使用 GPS 等定位系统获得;而 mesh 用户可以使用定位系统或通过圆周定位法^[10]计算得到。而对用户速度矢量的

$ConnectTime_{j,T_0}$ (图 4(b))。用户从两个路由器中选择具有较大 EXT 值的路由器,再重新使用上述方法与邻近的其它路由器进行比较,全部比较完之后才得到应该连接的 AP。

估计则更为复杂,虽然用户可以使用定位系统计算出自己在切换发生时刻的速度,但如果用户的速度在整个连接过程中不断变化,则很难对连接时间做出准确估计。本文大致分为以下三种情况,并分别给出自己的估计方法:

1) 当前速度可测,做(近似的)匀速直线运动,如列车、高速公路上的汽车等。在这种情况下可以比较准确地计算出用户与邻近各个路由器的连接时间,由图 5 可得用户在 $t = T_0$ 时刻发生切换时与路由器 R_i 的连接时间 $ConnectTime_{i,T_0}$ 的计算公式:

$$ConnectTime_{i,T_0} = \frac{d_{i,T_0} \cdot \cos(\overline{\alpha_{T_0}} - \beta_{i,T_0}) + \sqrt{T_R^2 - d_{i,T_0}^2 \cdot \sin^2(\overline{\alpha_{T_0}} - \beta_{i,T_0})}}{v_{T_0}} \quad (1)$$

其中, v_{T_0} 、 $\overline{\alpha_{T_0}}$ 分别为用户在 T_0 时刻的速度矢量的大小和方向, d_{i,T_0} 、 β_{i,T_0} 分别为 T_0 时刻用户到路由器 R_i 的距离矢量的大小和方向, T_R 为网卡传输半径。

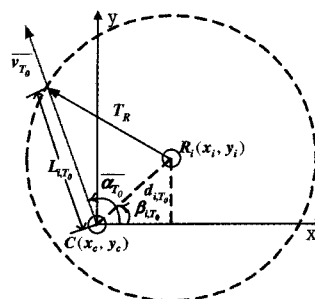


图 5 用户与路由器 R_i 连接时间的计算方法

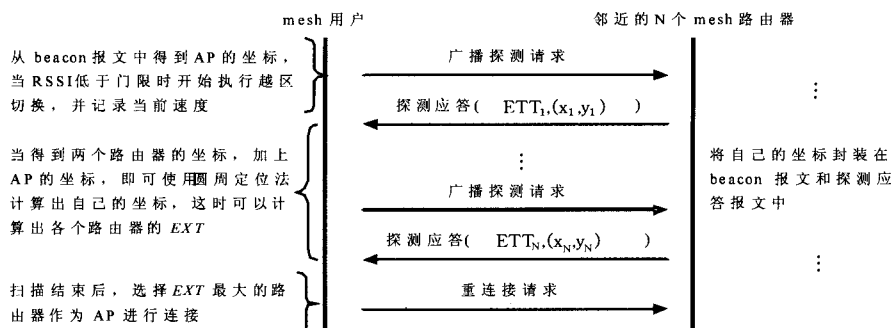


图 6 基于 EXT 度量尺度的 AP 选择过程

2) 当前速度可测,速度不断变化。此时无法准确估计用户在整个连接过程中的速度,然而许多研究^[11,12]都发现,用户的移动方式具有很强的相关性,很少突然地改变速率和方向,因此可以粗略地使用用户切换时的速率 v_{T_0} 、方向 α_{T_0} 代替公式(1)中的 $\overline{v_{T_0}}$ 和 $\overline{\alpha_{T_0}}$ 来估计连接时间。

3) 当前速度不可测。如果用户由于体积和功率的限制,不能配备专门的定位系统,这时只能根据用户的移动方式取一个经验值来代替公式(1)中的速率 $\overline{v_{T_0}}$,例如步行情况下取1m/s、市区内的车辆取10m/s等;同时简单地令移动方向 $\overline{\alpha_{T_0}} = \beta_{i,T_0}$,即假定用户向每个路由器移动。

最后,图6给出了使用EXT度量尺度进行AP选择的完整过程。

其中用户只要检测到两个路由器即可使用圆周定位法计算出自己的坐标以及各个路由器的EXT度量值,而若扫描结束后只检测到一个,则不必使用EXT算法而直接选择其作为AP。

5 仿真评估

仿真场景包括10个路由器和1个用户,其中的一个路由

器为网关。整个仿真过程中用户不断地向网关发送UDP报文,发送速率为75pkt/s,长度为512Byte;MAC层协议为IEEE 802.11,传输速率为1Mb/s;网卡的切换时间为1000ms。

仿真目的是验证在4.2节所讨论的三种情况下使用基于EXT尺度的AP选择算法与传统的RSSI算法相比,均可以获得较高的吞吐量。为此我们进行两组仿真,每组仿真各执行30次,每次运行500s,在第1组的每次仿真中产生随机的网络拓扑,以及初始速率和方向均随机的匀速直线运动;在第2组的每次仿真中同样使用随机产生的网络拓扑,而用户的移动方式由Gauss-Markov移动模型^[13]产生,其速率均值为10m/s,每隔1s改变速率和方向,相邻速率和方向的相关系数均为0.75。每次仿真计算使用速度可测和不可测的EXT算法(分别称作EXT-1和EXT-2算法)得到的吞吐量较RSSI算法增加的百分数。

最后的仿真结果如图7所示,从中可以得到以下重要结论:

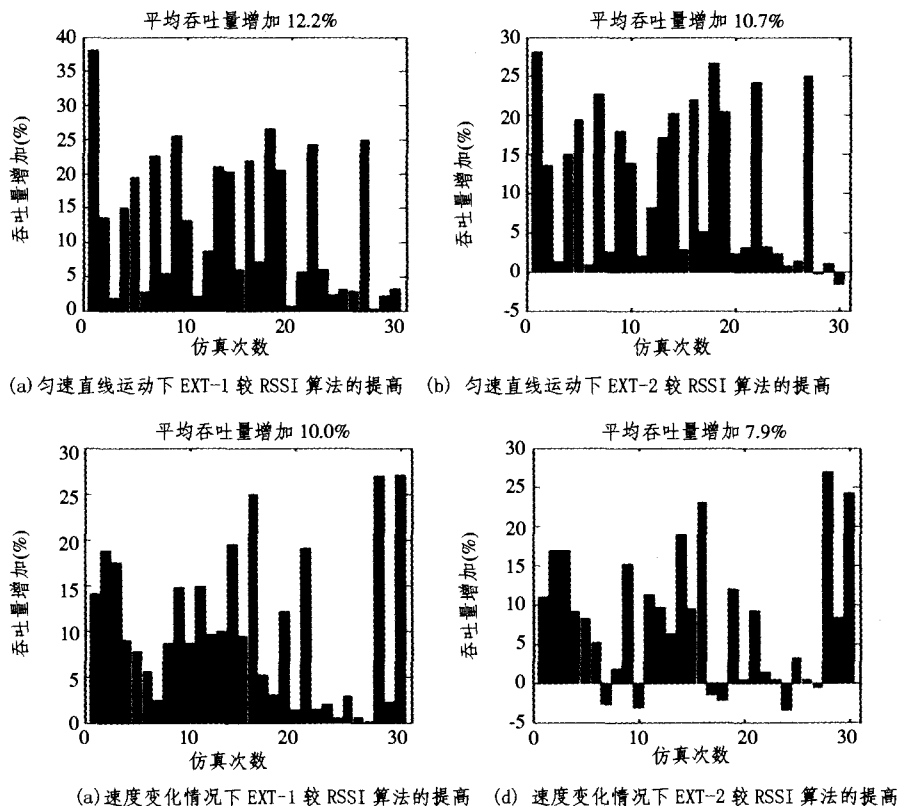


图7 两种运动情况下EXT算法较RSSI算法的性能提高

1) 在匀速直线运动下(图7(a)、7(b)),使用基于EXT-1、EXT-2算法获得的平均吞吐量分别较基于RSSI算法平均提高了12.2%和10.7%(30次增加的百分数之平均);在速度不断变化时(图7(c)、7(d)),两个算法分别提高了10.0%和7.9%,由此可以验证EXT算法的有效性。

2) 在每种移动方式下,EXT-1算法的性能均高于EXT-2算法;同时在匀速直线运动下两种算法的性能均分别高于速度不断变化的情况,性能提高的原因都是因为对连接时间估计得较为准确。

3) 在仿真中出现了不多的几次EXT-2算法性能略低于RSSI算法的情况(图7(b)和7(d)),这是由于对连接时间估

计的误差较大、错误地选择了连接时间很短的AP造成的。尽管如此,无论从吞吐量增加的次数,还是平均吞吐量的增加幅度,都证明本文给出的连接时间估计方法是可行的。

结论 传统的mesh网AP选择算法仅基于对用户周围链路质量的测量,无法使用户获得高吞吐量的访问。本文提出了一种基于期望传输吞吐量(EXT)的AP选择算法,该算法兼顾了mesh路由器向网关转发报文的性能以及用户与路由器的连接时间,同时本文根据mesh网络特点以及用户的移动情况给出了算法的具体实现过程。通过仿真证明与传统的基于RSSI的算法相比,该算法可以使用户获得更高的访

(下转第38页)

表 1 路径选择结果

Algorithm	path output	Bandwidth	Delay	Hops
DMQR (1)	path1: 1 7 9	4M	10ms	2
DMQR (2)	path1: 1 7 9	4 M	10ms	2
	path2: 1 2 5 6 9	2 M	8ms	4
DMQR (3)	path1: 1 7 9	4 M	10ms	2
	path2: 1 2 5 6 9	2 M	8ms	4
	path3: 1 7 8 9	2 M	10ms	3
Dijkstra	path: 1 2 5 6 9	2 M	8ms	4
SWP	path: 1 7 9	4 M	10ms	2

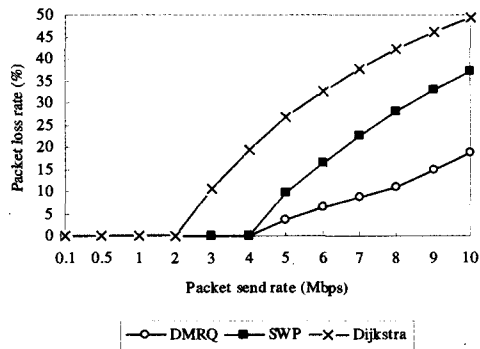


图 3 包丢失率比较

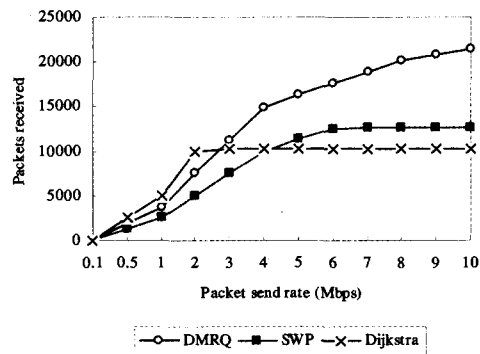


图 4 网络吞吐量比较

结束语 本文针对端到端的网络,提出了一种不相交多路径 QoS 路由(DMQR)算法,该算法在满足带宽和时延的

QoS 约束下,基于 Dijkstra 最短路径算法对路径进行扩展,基于最短最宽路径(SWP) 算法进行选路,并保证选择的路径在瓶颈链路上是互不相交的。性能分析表明,所提出的不相交多路径 QoS 路由(DMQR)算法总是收敛的,并具有较低的计算复杂度。模拟结果显示,随着网络负载流量的增大,该算法与 Dijkstra 最短路径和最短最宽路径(SWP) 算法相比,具有较低的包丢失率和较高的网络吞吐量。

本文的研究目的是试图建立一个 QoS 路由的多路径选择机制,其研究结果尚需通过实际的网络环境来验证。通过实际的网络环境,可以对采用该机制的端到端通信中的时延、抖动、包丢失率等进行更深入的研究和分析。

参考文献

- Lee K, Toguyeni A, Noce A, et al. Comparison of multipath algorithms for load balancing in a MPLS network. ICOIN 2005, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 3391, 2005, 463~470
- Akella A, Pang J, Shaikh A, et al. A comparison of overlay routing and multihoming route control. In: Proceedings of ACM SIGCOMM '04, Portland, Oregon, Aug. 2004. 93~106
- Nelakuditi S, Zhang Zhi-Li, Du D H C. On selection of candidate paths for proportional routing. Computer Networks, 2004, 44: 79~102
- Nelakuditi S, Zhang Zhi-Li. On selection of paths for multipath routing. In: IWQoS 2001 : 9th International Workshop Karlsruhe, Germany, Proceedings, Volume 2092, 2001. 170~184
- Song Jeonghwa, Kim S, Lee M. Dynamic Load distribution in MPLS networks. ICOIN 2003, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 2662, 2003. 989~999
- Moy J. OSPF version 2, RFC 2328. Internet Engineering Task Force, April 1998
- Villamizar C. MPLS optimized multipath (MPLS-OMP). Work in progress Internet-Draft (draft-villamizar-mpls-omp-01), Feb. 1999
- Elwalid A, Jin C, Low S, et al. MATE: MPLS adaptive traffic engineering. INFOCOM'2001, Alaska, 2001
- Tanenbaum A S. Computer Networks (fourth edition). Prentice Hall PTR, Aug. 2002
- Wang Z, Crowcroft J. QoS routing for supporting multimedia applications. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 1996, 14: 1228~1234

(上接第 26 页)

问吞吐量;同时,仿真结果也表明连接时间估计准确性对算法的重要影响,在以后的工作中我们将继续深入研究这一问题,以进一步提高算法的性能。

参考文献

- Akyildiz I F, Wang X, Wang W. Wireless Mesh Networks: A Survey. Computer Networks Journal (Elsevier), March 2005, 47: 445~487
- Mishra A, Shin M, Arbaugh W. An empirical analysis of the IEEE 802. 11 MAC layer handoff process: [Technical Report]. UMI-ACS-TR-2002-75. University of Maryland 2002
- Ramachandran K, Buddhikot M M, Chandranmenon G, et al. On the Design and Implementation of Infrastructure Mesh Networks. In: Proc. WiMesh 2005, Santa Clara, CA, October 2005
- Nguyen H, Morikawa H, Aoyama T. Personal Mesh: Realizing Flexible Internet Access for Personal Area Network. In: Proc. 11th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), October 2005
- Amir Y, Danilov C, Hilsdale M, et al. Fast Handoff for Seamless Wireless Mesh Networks. In: the International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys 2006), Uppsala, Sweden, June 2006

- psala, Sweden, June 2006
- Draves R, Padhye J, Zill B. Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks. In: ACM MobiCom, Philadelphia, PA, September 2004
- The network simulator - ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 2002
- Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. In: Proc. SIGCOMM'94. New York: ACM Press, 1994. 234~244
- Velayos H, Karlsson G. Techniques to Reduce IEEE 802. 11b MAC Layer Handover Time. In: Proc. IEEE ICC, June 2004
- Capkun S, Hamdi M, Hubaux J. GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks. In: Proc. 34th IEEE HICSS, 2001. 3481~3490
- Su W, Lee Sung-Ju, Gerla M. Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. International Journal of Network Management, 2001
- Jardosh A, Belding-Royer E M, Almeroth K C, et al. Towards realistic mobility models for mobile ad hoc networks. In: Proc. 9th annual international conference on Mobile computing and networking, September 2003
- Camp T, Boleng J, Davies V. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC); Special issue on Mobile Ad Hoc Networking Research, Trends and Applications, 2002, 2(5): 483~502