

无线 ad hoc 网络中的多径源路由

舒炎泰, 高德云, 王 雷

(天津大学计算机科学与工程系, 天津 300072)

摘要: 本文针对无线 ad hoc 网络提出了一种基于 DSR(动态源路由)的路由算法,多径源路由(MSR). MSR 对 DSR 中的路由搜索和路由维护机制进行了扩展,用来解决多径路由问题. 本文还提出,在多条路径之间基于测量的 RTT 进行负载分配. 仿真结果表明,MSR 在只增加少量网络开销的情况下,提高了 TCP 和 UDP 的投递率,降低了丢包率,并减少了端到端之间的延迟以及队列长度,从而有效地减少了网络拥塞.

关键词: 多径路由; 源路由; 无线 ad hoc 网络

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)02-0279-04

Multipath Source Routing in Wireless Ad Hoc Networks

SHU Yantai, GAO De yun, WANG Lei

(Dept. of Computer Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In this paper, we propose a new multipath routing protocol for ad hoc wireless networks Multipath Source Routing (MSR), which is based on DSR (Dynamic Source Routing). MSR extends DSR's Route Discovery and Route Maintenance mechanism to deal with multipath routing. Based on the measurement of RTT, we propose a scheme to distribute load between multiple paths. The simulation results show that our approach improves the packet delivery ratio of TCP and UDP, and reduces the end to end delay, packet loss rate and the queue size, while adding little overhead. As a result, MSR releases the network congestion quite well.

Key words: multipath routing; source routing; wireless ad hoc network

1 引言

ad hoc 网络或者多跳(multi hop)移动无线网络是一种没有固定设施的网络,没有固定的路由器,主机,或者无线基站. 在 ad hoc 网络中,远距离节点之间的网络互连是通过运用对等级多跳技术实现的. 互连拓扑的动态变化的特性,给该领域带来了许多难以解决的问题. 在这种环境里,路由非常重要,在能够有效应用 ad hoc 网络之前,必须解决好路由问题.

在最近的一些文献中,出现了几种 ad hoc 路由协议,如 DSDV^[1],TORA^[2],AODV^[3],和 DSR^[4,5]. 对于上述几种路由协议,基本上可分为两类^[6]:一类是基于表格(table driven)驱动的,一类是基于需求(source initiated or demand)的. 基于表格驱动就是在使用该路径之前已经计算好,而基于需求是在准备发送分组时才去寻找路由路径. 从目前来看,为了克服基于事前计算的路由协议所带来的问题,在无线 ad hoc 网络中主要采用基于需求的路由协议. 但是,这些路由协议都以单路径(以下简称单径)路由算法为基础,这既不能有效利用网络资源,而且也无法解决拥塞和链路失效问题. 这是因为,到达某个目标节点的所有业务都将通过一个单一的后继节点,当该链路拥塞或者失效时,这些所有的业务都必须重新选择路由. 如果这些情况发生在无线网络中,将花费大量的时间重新选

择路由. 在 ad hoc 网络中,由于各个节点都有路由的功能,因而从任何一个源节点到目的节点的路径通常会有多条. 如果能够同时使用多条相互独立的路径,就可以充分利用网络资源,改善通讯性能. 本文在考虑了上述种种情况的基础上,将 DSR 和多路径机制结合在一起,在 ad hoc 无线网络中提出了一种新的基于动态源路由(DSR)的多路径(以下简称多径)路由方法——多径源路由(MSR),以期能够解决这些问题.

本文结构如下:第二部分简短地介绍 DSR 协议,第三部分提出 MSR 协议,第四部分比较了 MSR 和 DSR 之间的性能,第五部分是结论.

2 动态源路由

DSR^[3,8]使用源路由,每个数据分组都携带着从源点到终点之间的完整路径,类似于一列有序的 IP 地址. 源路由的主要优点是:数据分组中显式地指定了路径,所以中间节点不需要维持路由信息. DSR 是基于需求的,也就是说,它不需要周期性地地进行消息交换. 这样,源路由不需要使用在其它协议中运用的周期性路由广播和相邻节点探测机制,从而大大减少了网络开销.

DSR 机制由两部分构成:路由搜索(Route Discovery)和路由维护(Route Maintenance). 当某个源节点要发送一个数据分

组,但是本身缓存中不具有到达目标节点的路由信息时,源节点就发起一次路由搜索.为了建立一条路由,源节点洪泛一个编号具有请求 ID(唯一)的路由请求(ROUTE REQUEST)消息.当该请求消息到达目标节点,或者是到达某个中间节点,如该节点具有到达目标节点的路由信息时,这些节点就向源节点发送一个路由应答(ROUTE REPLY)消息,包含着路径信息.每个节点上都维护着“路由缓存”,记录着该节点了解到的路由信息.

通过路由维护机制,一个分组的发送者 S 可以探测到,改变的网络拓扑是否已经使得路由路径信息中的某两个节点离开双方的范围,从而到达目的节点 D 的路径不能再使用.当路由维护指明某个源路由失效时,就使用路由错误(ROUTE ERROR)分组通知 S .然后,发送者 S 就会尝试使用缓存中的其它可以到达 D 的路由路径,或者再一次发起路由搜索来寻找一条新的路由路径.

3 MSR

DSR 是静态(非状态依赖)路由,它选择跳数最少的路径使用.当我们加入路径探测功能后则成为动态(状态依赖)路由,动态路由对网络状态做出反应.单径的动态路由易使网络产生震荡,多径的动态路由由探测到某条链路的状态改变时,并不把全部通讯量都移进或移出该链路,而是通过增减路径的权重转移部分通讯量.通过这样的调整,网络的通讯趋于平衡,避免了网络震荡.在同样的条件下,MSR 通过使用多条路径,可以提高网络性能.但是,另一方面,多径路由协议维护辅助路径需要更大的路由表空间和计算开销.本文的方法利用 DSR 的一些特性可以克服这些问题.首先,源路由比较灵活,消息可以在任意的路径上传送,这样可以很容易将消息分配在多条路径上,而不需要中间节点进行路径计算.其次,DSR 的基于需求的特性大大减少了路由路径信息的存储.

欲使多径路由可行,需要解决三个基本问题:(1)计算出节点之间的合适路径,(2)多条路径之间的独立性,(3)在计算出的路径上进行有效的分组前传.下面将重点讨论这些问题:

3.1 节点之间的合适路径

MSR 使用 DSR 的路径搜索机制,DSR 在搜索过程中可以返回多条路径,搜索到的所有路径都保存在路由缓存中,每条路径都具有一个唯一的索引,这样,我们就能很容易从缓存中挑出多条路径.与 DSR 相比,MSR 并没有增加太多的路由的存储开销,因为这些路径本身在 DSR 的缓存中存在,DSR 仅使用其中的一条路径,而我们使用了多条路径.

实际上在两个终端节点之间会存在比较多的路径,在选择路径时:一方面,路径数量不能太少,否则不能充分利用潜在路径;另一方面,路径数量不能太多,否则探测包的网络开销就比较大,把可探测的路径维持在 3 条以内.

3.2 多条路径之间的独立性

在多径路由中,路径的独立性即不相邻性是一个非常重要的方面,因为,一个路径集越独立,该路径集在节点对之间提供的物理资源就越有效(因为这些资源没有共享),亦即一条路径的性能影响另一条路径性能的可能性就越小^[7].路径

的独立性越强,多径路由越能充分地利用网络资源,增大节点对之间的有效带宽,并且减轻网络的拥塞程度从而降低丢包率.路径独立性有节点独立性和链路独立性之分.节点独立的多路径必然也是链路独立的,前者的独立性更强.我们的仿真实验中在选择多条路径时采用的是节点独立的算法.

3.3 分组前传和负载平衡

我们在 DSR 和 MSR 仿真中,开发了一个适用于源路由方式的 RTT 测量工具 SRping,用来测量任意两个节点之间的 RTT.探测也是对 DSR 路由维护机制的改进.在 DSR 中,通常情况下,一个节点仅当路由错误消息返回时才得知某个链路失效.但是,在无线移动环境里,路由错误消息本身经常有可能到达不了源主机.虽然可以在分组头中包括进一位,以允许传送分组的主机向下一跳的接收者请求一个显式的应答,但是,仅仅为了测试某条路径的有效性而频繁地探测该路径的代价过高.

因为 MSR 使用源路由,所有的路径计算都在源主机完成,中间节点在包转发时不做任何处理,只按照分组报头所指示的路由路径转发该分组,与 DSR 相比,并没有增加处理复杂性.对于 MSR,在源主机上要进行负载平衡的处理.在我们的实验里,建立了一个特殊的表,包含着到达目标节点的多个路径信息,如下所示:

```
struct mul_dest
{
    int index;
    ID Dest;
    float Delay;
    float Weight;
    ...
};
```

Dest 是一条路由路径的目标节点,Index 是该路由路径在缓存中的当前索引,Delay 是 RTT 的当前估计值,Weight 是所有到达同一个目标节点的不同路径的负载平衡加权系数,也就是说,Weight 是每一次在同一条路由路径上连续发送的分组数.根据公式(1)选择加权系数 W_i (j 是通向目标节点 j 的索引, i 是第 i 条路径的索引):

$$W_i = \begin{cases} \left[\frac{d_{\min}}{d_i} \right] \times R, & (\frac{d_{\min}}{d_i} \geq U) \\ -1, & (\frac{d_{\min}}{d_i} < U) \end{cases} \quad (1)$$

这里, d_{\min} 通向同一个目标节点的所有路由路径的最小延迟, d_i 是索引 i 的路由路径的延迟, R 是控制着在路由路径之间调度切换频率的因子.参数 U 保证 W_i 所选用的路径不会太差于最优路径.当 $d_{\min}/d_i < U$ 时,该路径不再有正权值,即通常不再使用该路径.取 U 等于 0.5,这是考虑到 TCP 协议中通常取 $RTO = 2 \times SRTT$. RTO 代表重传延迟(retransmission time out), $SRTT$ 是 RTT 的估计值.取 U 等于 0.5,可以保证多数的路径切换不会造成 TCP 误认为网络发生拥塞而降低发送速度.

R 用来控制每条路径上的负载分配的粒度, R 的值越大, 单条路径一次分到的负载越多, 多条路径之间切换的频率越低, 同时在 `mul_dest` 表中搜索和定位一项的处理开销就越低. 在网络层上看, 当路径切换频率增快时, 端到端的延迟及吞吐率都会得到改善, 就此而言最优路由策略是以一个数据包为单元在多条路径上分发数据, 即将路径权重公式中的系数 R 定为 1. 但是在更高的网络层协议上, 在如此小的粒度上分配通信量会导致到达目标节点的数据包乱序. 此外, 路径权重公式中参数 R 的选择还要考虑到 IFQ(interface queue) 的大小, 仿真实验使用的 IFQ 容量为 50, 在此条件下选择不同的 R 值进行实验, 发现当 R 取 5 时, 可以有效地改进 TCP 的乱序问题.

4 性能评价

4.1 仿真环境

使用 *ns* 进行了仿真. CMU(卡内基·梅隆大学) 已经对 *ns* 进行了扩展, 增加了某些无线支持, 包括对物理层, 链路层, 路由选择层在仿真环境下一些新的支持. 使用 *ns* 这些新的特性, 可以对无线网, LAN, 或者多条 ad hoc 网络进行准确和真实的仿真. 仿真中使用两种场景创建文件来创建场景. 第一个文件是移动模式文件, 描述仿真中所有节点的移动情况. 第二个文件是通信模式文件, 描述在仿真时提供给网络层的分组负载.

仿真模拟了一个具有 50 个移动主机的网络, 随机地分布在 $670m \times 670m$ 的区域里, 最大速度是 $20m/s$, 并且暂停时间为 0 秒(即不停地移动), 在无线 ad hoc 网络应用中, 这是一个典型的移动速度. 为了评价 MSR 的性能, 我们用不同的应用业务进行了实验, 包括 CBR(constant bit rate) 和 FTP. CBR 使用 UDP 作为传输协议, FTP 使用 TCP 作为传输协议.

4.2 度量

在性能评价中, 我们选择下列几个指标:

- 队长: 每个节点上 IFQ 对象的队长.
- 数据投递率: 在一个测量周期内发送的总分组数除以测量周期.

—Round trip time(往返时间)

—Packet Drop Rate(丢包率)

一个分组在传输路径上的总延迟的一个主要组成部分是排队延迟. 我们监测每个节点的输出队列长度. 通过分析每个节点动态的队长, 可以获得网络利用的状态. 直观上看, 多径路由模型通过有效地并行利用当前未分配的网络资源(链路和路由器), 提高了网络的性能. 从而, 投递率得到了提高.

端到端延迟是我们感兴趣的另一个指标. 我们使用 `Spring` 来获得任意两个节点之间的 RTT. 在我们的实验里, 通讯模式文件定义了节点间的连接情况, 我们根据模式文件中的通信节点对来测量 RTT.

丢包率是网络拥塞的一个指标. 在无线环境里, 由于物理媒介和带宽的限制, 丢包的可能性大大增加. 所以, 我们选择它作为其中的一个指标.

在评价某个网络路由协议时, 还应当考虑路由控制开销. 与 DSR 相比, 除了要在网络上传输探测分组, MSR 没有增加

多少控制负载. 因为我们不使用洪泛技术, 而是使用单投(unicast) 来测试当前使用的路径的有效性, 而且, 我们选择的探测间隔相对较长, 所以增加的负载极少.

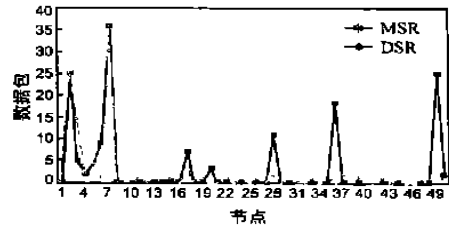


图 1 平均队长

表 1 丢包率比较

实验序号	DSR	MSR	提高
Exp # 1	$2.71e-3$	$1.09e-3$	59.78%
Exp # 2	$8.73e-3$	$6.09e-3$	30.24%
Exp # 3	$1.87e-3$	$6.34e-4$	66.3%

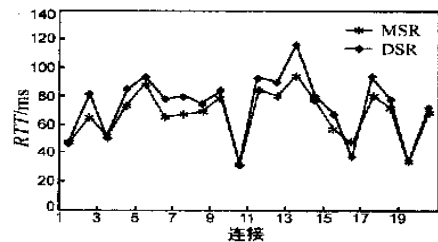


图 2 投递率

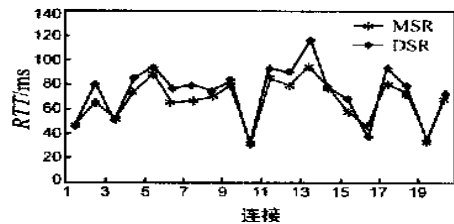


图 3 RIT 平均值

4.3 仿真结果

图 1 表示 50 个主机的平均队长. 从图 1 可以看出, 将应当在 IFQ 中排队的分组被重新分布到具有较轻负载的其它节点上, 这样, 业务得到了平衡. 从图 2 可以看出, 正如我们预料, 与 DSR 相比, MSR 在每一个时间点上都获得了较高的投递率. 这可以用这样的事实说明, 多径路由有效利用了当前未分配的网络资源. 从表 1 可以看出, 丢包率得到了降低, 原因是平衡负载缩短了延迟, 同时减少了拥塞. 图 3 显示了测量的 RTT 平均值. 我们仅仅测量在通信文件里定义的具有连接的节点间的 RTT. 结果同样表明, 提高了路径的有效性.

5 结论

本文提出了一种新颖的无线 ad hoc 网络路由协议 MSR. 该协议源于 DSR. 我们将多径机制引入 DSR, 并采用一种基于探测的负载平衡机制, 大大提高了网络投递率, 减少了端到端的延迟, 丢包率, 以及节点的平均队长. MSR 的缺点是增加了发包时的处理开销, 不过, 计算机功能已经越来越强大, 而且

价格越来越便宜, 所以, 这个缺点在应用中已经不是一个问
题.

参考文献:

- [1] Charles E. Perkins, Pravin Bhagwat. Highly dynamic destination se-
quenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers [A] . In
Proceedings of the SIGCOMM ' 94 [C] , 234- 244.
- [2] Vincent D Park, M Scott Corson. Temporally ordered routing algorithm
(TORA) version 1: Functional specification [Z] . Internet Draft, draft-
ietf-manet-tora-spec00.txt, November 1997. Work in progress.
- [3] Charles E Perkins. AdHoc on demand distance vector (AODV) routing
internet draft [DB/OL] . draft-ietf-manet-aodv-03.txt, June 1999.
- [4] D B Johnson, D A Maltz. Dynamic Source Routing in AdHoc Wireless
Networks [M] . In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and
Hank Korth, Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, 1996: 153- 181.
- [5] Josh Broch, David Johnson, David Maltz. The dynamic source routing
protocol for mobile ad hoc networks [DB/DC] . [http://www.ietf.org/
internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-03.txt](http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-03.txt), June 1999. IETF Internet
Draft (work in progress).
- [6] J Broch, D A Maltz, D B Johnson, Y-C Hu, J Jetcheva. A performance
comparison of multi hop wireless ad hoc network routing protocols
[A] . In Proceedings of the 4th International Conference on Mobile
Computing and Networking (ACM MOBICOM' 98) [C] , October
1998: 85- 97.
- [7] Diamantis Kourkouvelis. Multipath Routing Using Diffusing Comput-
tions [M] . Master Thesis, 1997.
- [8] Gary R Wright, W Richard Stevens. TCP/ IP Illustrated, Volume 2: The
Implementation [M] . Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1995.
- [9] Kam. Improving round trip time estimates in reliable transport protocols
[J] . In ACM SIGCOMM, August 1987: 2- 7.
- [10] ns, [Http://mash.cs.berkeley.edu/ns](http://mash.cs.berkeley.edu/ns).

作者简介:

舒炎泰 1942 年出生于北京市. 天津大学计算机系教授, 博士生
导师. 主要研究方向为计算机网络性能评价, CIMS, 核聚变测量和控
制等.

高德云 1973 年出生. 1994 年, 1999 年在天津大学分别获学士、
硕士学位, 1999 年至今在天津大学计算机系攻读博士学位. 主要研究
方向为无线网, Internet 网 QoS.