

文章编号:1001-9081(2005)03-0515-03

## 基于收方参与的移动自组网 TCP 增强的路由协议

林志伟, 许力

(福建师范大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350007)

(lw@fjnu.edu.cn)

**摘要:**移动自组网多跳、动态拓扑的特性,使得路由信息易老化,源节点在路由失败后不能及时启动路由发现,造成 TCP 有效吞吐率随移动速度增加而下降。在 DSR 路由协议的基础上,提出一种新的基于接收方参与启动路由发现的新路由协议 RP-DSR,它通过接收方的 ACK 确认包启动路由发现,主动为发送方提供最新的路由信息,从而提高了自组网的 TCP 的性能。仿真结果表明,在节点快速移动环境中,RP-DSR 协议的 TCP 性能明显优于 DSR 协议。

**关键词:**移动自组网;传输控制协议;路由协议;吞吐率

**中图分类号:** TP393.04 **文献标识码:** A

## Routing protocol of enhancing TCP performance with receiver participation in mobile ad hoc networks

LIN Zhi-wei, XU Li

(School of Mathematics and Computer Science, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian 350007, China)

**Abstract:** In wireless mobile ad hoc environment, the characteristics of multi-hopping and dynamic topology make route information stale quickly, and the sender cannot activate route request in time when route fails. All these make the throughput of TCP over DSR degrades when mobile nodes move fast. RP-DSR was proposed based on DSR, in which the receiver participated in route discovery. The simulation results show that RP-DSR protocol can get more satisfying performance than DSR in the status of fast and dynamic topology.

**Key words:** mobile ad hoc network; transmission control protocol; routing protocol; throughput

### 0 引言

移动自组网(Mobile Ad Hoc Network, MANET)<sup>[1]</sup>是一种无固定基础设施的新型无线网络,移动节点既是主机,又承担着路由的任务,它在军事、民用及未来的 4G 接入网中,具有极其广阔的应用前景,因而受到各方的重视。针对移动自组网的特点,国内外研究人员已经提出了多种路由协议及改进方案<sup>[2]</sup>,对这些方案的评价主要是通过对路由层的仿真结果取得,如延时、丢包失率等,但目前大多数仿真是基于 UDP 这类无连接的业务流。事实上,90% 的 Internet 业务量是基于 TCP 进行可靠传输,而且由于移动自组网同现有基础设施的无缝连接的需要,研究改进和增强移动自组网 TCP 的性能就显得非常迫切。

由于链路误码率较低,有线环境下的 TCP 协议<sup>[3]</sup>认为包丢失和延时是由网络中的拥塞引起,发送方根据包的行为判断网络的拥塞状况,并启动相应的拥塞控制算法来避免和缓解拥塞,这种机制为 Internet 的成功应用提供了有效的可靠传输。然而,由于移动自组网多跳、动态拓扑、误码率高等特性,将有线环境下的 TCP 引入移动自组网,面临着低吞吐率和吞吐率随移动速度加快而急剧下降的尴尬局面。

文献[4~5]通过仿真分别从 MAC 层、路由层及 TCP 本身对影响 TCP 性能的主要因素进行验证和分析。提高 TCP

性能的方案大致可以分为两类:改进 TCP 控制协议和改进下层 MAC 及路由协议。前种方案包括 Fixed-RTO<sup>[6]</sup>和 TCP-DOOR<sup>[7]</sup>等,这类方法改进 TCP 协议,使之适应移动自组网动态拓扑变化,在一定程度上提高了性能,然而对于下层链路中断等造成的丢包显得力不从心,因而其性能的提高相当有限。属于后者的方案有基于 MAC 显式通知的 TCP-F<sup>[8]</sup>,ELFN<sup>[4]</sup>及基于 DSR 路由协议改进的 TSR<sup>[9]</sup>。TCP-F 与 ELFN 都是在链路中断后通过包显式通知发送端冻结 RTO 和拥塞控制窗口,以防因链路中断造成发送窗口减小,不能有效利用带宽,下降了吞吐率。TSR 协议是对 DSR 路由协议的改进,源端根据链路中断后所发送的 ROUTE ERROR 包,在原有缓存路由信息的基础上启动路由发现。

上述对下层的改进,由于网络的延时和无线链路的高误码率,不能保证链路中断后的通知包能正确及时到达源端,因而源端也无法准确感知整个网络的中间状况;特别是中间链路中断和老化的路由信息造成的路由失败,重新发起路由直到获得最新的路由信息造成的较大延时引起了 TCP 性能的不稳定。本文改进了 DSR 路由协议,提出了一种新的路由协议 RP-DSR(Receiver Participation Dynamic Source Routing)。

### 1 RP-DSR 路由协议

#### 1.1 DSR 路由协议

移动自组网的路由协议<sup>[2]</sup>主要分为三类:按需、表驱动和

收稿日期:2004-08-11

基金项目:国家 863 计划项目(2002AA121068);福建省教育厅项目(JA03176, JB04247);福建省自然科学基金资助项目(A0440001)

作者简介:林志伟(1977-),男,福建莆田人,助教,硕士研究生,主要研究方向:移动自组网路由、TCP 性能;许力(1970-),男,福建福州人,副教授,博士,主要研究方向:无线网络和移动计算、网络智能信息处理、网络信息安全。

混合路由。DSR<sup>[10]</sup>是典型的按需路由协议。DSR 协议在欲发送数据时,如果缓存中没有通往目的节点的有效路径,发送方就广播 RREQ 路由请求。中间节点在收到非重复的 RREQ 时,若发现缓存中有通往目的节点的路径,就将该路由信息通知给源端;否则,将自己地址写入 RREQ 中,并将其广播出去。目的节点收到 RREQ,就获取了发送方与接收方的有效路径,于是向发送方回送一个路由响应 RREP, RREP 中包含了该有效路径。在发送数据包时,源节点把有效路径写入每个数据包中,中间节点根据数据包中的路由信息进行转发。

在路由维护阶段,当源端收到中间节点因链路中断而发出的 ROUTE ERROR 包时,若查询路由缓存中有可用路由,就采用该路由继续发送数据;否则,发起路由请求。

## 1.2 改进方案

在 DSR 路由维护阶段,源端使用缓存中的路由信息继续发送数据,然而由于 DSR 协议并未像 AODV<sup>[11]</sup>一样进行定期的路由维护和老化机制,可能造成所采用的路径已经中断,这样将使源端在相当长一段时间内的发送吞吐率为 0,从而出现 TCP 性能极大的不稳定性,吞吐率急剧下降。文献[5]的仿真结果表明,DSR 协议在低速运动时 TCP 的吞吐率高于 AODV,而随着移动速度的加快,由于 DSR 缓存中的路由信息易老化,因而其性能下降快,吞吐率低于 AODV。

在 TCP 可靠传输中,接收方在接收到数据后,通过 ACK 包向源端进行确认。为了使源端能时刻保持新鲜的路由信息,在保证 ACK 确认的前提下,接收方每隔一定的时隙 threshold,通过 ACK 确认启动路由发现,为源端提供最新的路由信息。这里定义一个基于 ACK 的路由请求包 ACK\_RREQ,它是在 ACK 中增加一个路由请求的选项。接收方具体算法描述如下,图 1 为其状态图。

```
Receiver_Oriented_ACKRREQ()
{
    网络层收到数据包 pkt;
    if (pkt != ack) then{
        去掉 IP 包头和路径包头,交给 TCP 层;
        if (路径信息新鲜) then
            路径信息写入路由表;
    }
    else{
        if (ACK_RqTimer >= threshold) then {
            定义 ACK_RREQ;
            将此时需要确认的数据包序号放入 ACK_RREQ 中;
            把 ACK_RREQ 广播出去;
        }
        else
            正常反馈 ACK 给源端;
    }
} // End if PKT
// End of Function
```

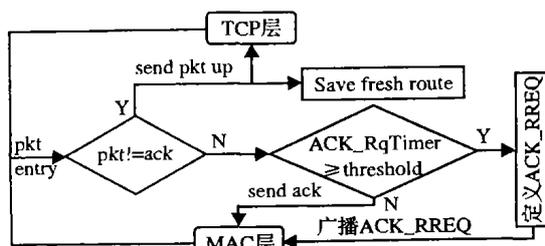


图1 RP-DSR 协议接收方算法

时隙 threshold 作为定义和发送 ACK\_RREQ 的触发器,即

当计时器 ACK\_RqTimer 超时后就开始发送 ACK\_RREQ,这时,发送方启动路由发现。时隙 threshold 的设置采用动态方式:

$$threshold = RTT_{ave} \times \lambda \times 1/speed \quad (1)$$

其中,  $RTT_{ave}$  为平均往返时间,  $speed$  为接收节点的移动速度,在仿真实验中,取调节参数  $\lambda$  为 0.04。这样,随着移动速度的增加,  $threshold$  的值相应下降,可以在快速动态的拓扑环境中,及时启动路由发现,为源端提供最新的路径信息。

同 DSR 协议不同的是,中间节点收到非重复的路由请求包并未进行缓存的查询,而是做相应的地址添加和广播操作,从而保证路径信息的新鲜度。

源端在收到第一个 ACK\_RREQ 后,把 ACK 确认交给 TCP 层,并取出最新路径记录,使用最新路径继续发送数据。由于 ACK\_RREQ 是广播出去,源端可能收到多个重复的 ACK\_RREQ,也就意味着有多条路径(称备用路径)可达接收方。为了不使上层 TCP 收到多个重复的 ACK,源端丢弃了重复的 ACK\_RREQ,仅把备用路径存于缓存中,当源端检测到链路拥塞或误码率比较高时,随机选择一条备用路径将数据发送给接收方,从而缓解拥塞,而不必执行拥塞控制算法。

## 2 仿真结果及分析

### 2.1 仿真环境及参数

使用 NS2 作为仿真工具,在 700m × 700m 的平面环境中,30 个节点按照 random waypoint 模型移动,仿真时间为 200s。每个节点使用 IEEE802.11 作为 MAC 层协议,底层使用 914MHz Lucent WaveLAN DSSS 无线接口,节点的覆盖范围为 250m,带宽为 2Mbps。通过 FTP 在 100s 时建立一个应用层连接并发送数据,设置分组的大小为 1460 字节,确认分组为 40 字节, TCP 最大窗口设为 32。移动节点取 7 个不同平均速度  $v$  为 1, 5, 10, 15, 20, 25 和 30 m/s (其中节点的移动速度在均匀分布的 0.9v ~ 1.1v 之间随机选取),取两种不同的停留时间进行仿真: pause time = 0s 和 pause time = 10s,在 50 个随机生成的场景中运动,仿真结果取其平均值。

仿真结果的分析以接收端的有效吞吐率 goodput (Kbps),即单位时间内正确收到的数据,作为评价参数,其计算公式如式(2):

$$goodput (Kbps) = \frac{\text{接收到的 TCP 段的最大序号} \times 1460 \times 8}{100s \times 1000} \quad (2)$$

### 2.2 仿真结果及其评价

仿真结果分别如图 2 和图 3。从图 2 与图 3 的对比来看,当停留时间为 10s 时,网络获得的有效吞吐率高于停留时间为 0s 时。这是因为当 pause time = 10s 时,整个网络的稳定性相对较好,当节点移动到目标位置后暂停移动,在一定程度上保证了路径的稳定,因而其 TCP 性能优于 pause time = 0。

从图 2,图 3 的仿真结果可以看出,DSR 和 RP-DSR 两种协议的有效吞吐率都随着移动速度的增加而下降,这是由于拓扑的频繁变化导致路由信息失效,路由失败后的路由请求由于节点的快速移动未必能及时得到收敛。但是 RP-DSR 的性能明显优于 DSR,这是因为 RP-DSR 是由接收方动态地发起路由发现请求,而不是像 DSR 在没有可用路径时才启动路由发现,这显然要比 DSR 更为主动。而且,DSR 从启动路由发现到得到路由信息,大致需要一个往返时间 RTT,而采用 RP-DSR 协议,发送方大致只要半个 RTT 的时间就可以获得比 DSR 更新鲜的路由信息。

从图2,图3的变化趋势来看,当速度小于10m/s时,即  $threshold \geq 0.004RTT_{me}$  时,RP-DSR协议的TCP性能只是略优于DSR,这是因为接收方要隔比较长的一段时间才向源端发起一次路由发现请求;当速度大于10m/s后,由于接收方及时启动路由发现请求,源端得到新鲜的路由信息,所以TCP性能明显高于DSR协议。同时也注意到,在速度加快的情况下,RP-DSR的吞吐量也在下降,这一方面是由于移动速度变快导致频繁链路中断,另一方面也是由于接收方发起的路由请求包增加了网络的开销。

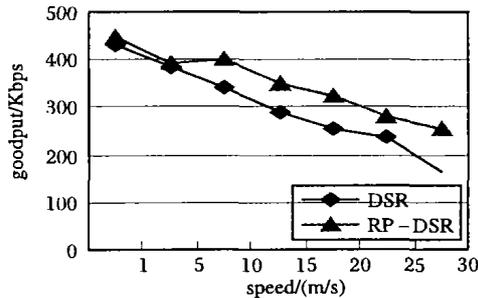


图2 停留时间 pause time = 0s

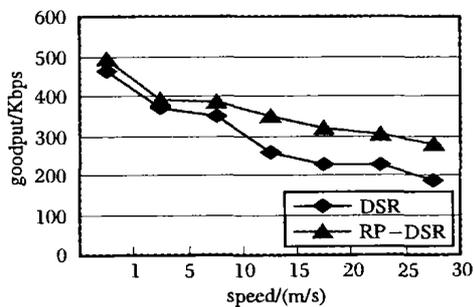


图3 停留时间 pause time = 10s

### 3 结语

本文在DSR协议基础上,提出了新的路由协议改进算法RP-DSR。在RP-DSR中,接收方通过ACK定义了参与路由请求的确认包ACK\_RREQ,这种方式使源端能及时得到最新的路由信息,从而避免由于路由信息老化而造成的吞吐率的下降。仿真结果表明,基于RP-DSR路由机制的TCP有效吞

吐率明显高于DSR。同时,仿真结果也说明了有效的路由机制是提高和增强移动自组网TCP性能的关键。

#### 参考文献:

- [1] RAMANATHAN M, REDI J. A Brief Overview of Mobile Ad Hoc Networks: Challenges and Directions [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(5): 20-23.
- [2] ROYER EM, TOH CK. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1999, 6(2): 46-55.
- [3] NAGEL J. RFC896, Congestion Control in IP/TCP Internetworks [S], 1984.
- [4] HOLLAND G, VAIDYA N. Analysis of TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks [A]. Proceeding of ACM MOBICOM 1999 [C], 1999. 219-230.
- [5] AHUJA A, AGARWAL S, SINGH JP, et al. Performance of TCP over Different Routing Protocols in Mobile Ad-Hoc Networks [A]. Proceeding of IEEE VTC 2000 [C], 2000.
- [6] DYER TD, BOPPANA RV. A comparison of TCP performance over three routing protocols for mobile ad hoc networks [A]. Proceeding of ACM MOBIHOC 2001 [C], 2001.
- [7] ZHANG Y, WANG F. Improving TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks with out-of-order Detection and Response [A]. Proceeding of ACM MOBIHOC 2002 [C], 2000.
- [8] CHANDRAN K, RAGHUNATHAN S, VENKATESAN S, et al. A Feedback based Scheme for Improving TCP Performance in Ad-Hoc Wireless Networks [A]. Proceeding of International Conference on Distributed Computing System [C], 1998: 472-479.
- [9] CHOI J-H, YOO C. TCP-aware Source Routing in Mobile Ad Hoc Networks [A]. Proceeding of the 8th IEEE International Symposium on Computers and Communication (ISCC'03) [C], 2003.
- [10] JOHNSON DB, MALTZ DA. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks In Mobile Computing [M]. Kluwer Academic Publishers, 1996. 153-181.
- [11] PERKINS CE, ROYER EM. Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing [A]. Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications [C]. New Orleans, LA, 1999. 90-100.

(上接第503页)

次切换时,支持平滑切换。最后,我们仿真了LSP扩展方案和逐个FA扩展LSP这一方案,从结果可以看出,前者明显消除了后者带来的环路问题,减小了数据传输时延。

#### 参考文献:

- [1] ROSEN E, VISWANATHAN A, CALLON R. RFC 3031, Multiprotocol Label Switching Architecture [S], 2002.
- [2] PERKINS CE. RFC 3344, IP Mobility Support for IPv4 [S], 2002.
- [3] GUSTAFSSON E, JONSSON A, PERKINS CE. Mobile IPv4 Regional Registration [Z]. draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-07. txt, 2002.
- [4] CAMPBELL AT, GOMEZ J, KIM S, et al. Comparison of IP Micro-Mobility Protocols [J]. IEEE Wireless Communications Magazine, 2002, 9(1): 72-82.
- [5] REN Z, THAM C-K, FOO C-C, et al. Integration of Mobile IP and Multi-Protocol Label Switching [A]. Proc IEEE ICC'2001 [C], 2001, 7. 2123-2127.
- [6] XIE K, VINCENT VWS, LEUNG VCM. Support of Micro-Mobility

in MPLS-based Wireless Access Networks [A]. Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) [C]. New Orleans, Louisiana, 2003, 2: 1242-1247.

- [7] YANG TZ, MAKRAKIS D. Hierarchical Mobile MPLS: Supporting Delay Sensitive Application Over Wireless Internet [A]. International Conferences on Info-tech & Info-net 2001 (ICI2001) [C]. Beijing, China, 2001.
- [8] YANG TZ, DONG YX, ZHANG YH, et al. Practical Approaches for Supporting Micro Mobility with MPLS [A]. International Conference on Telecommunications 2002 (ICT2002) [C]. Beijing, China, 2002.
- [9] CHOI JK. Y. MIPoMPLS (Mobile IP Services over MPLS) [Z]. ITU-T Draft Recommendation for consent, 2003.
- [10] ANDERSSON L, DOOLAN P, FELDNAM N, et al. RFC 3036, LDP Specification [S], 2001.
- [11] AWDUCHE D, BERGER L, CAN D, et al. RFC 3209, RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP tunnels [S], 2001.