

基于 TCP 传输的移动自组网路由协议性能分析^{*}

任孝平¹ 蔡自兴¹ 陈爱斌^{1,2}

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410075)¹ (中南林业科技大学计算机科学学院 长沙 410004)²

摘要 本文就移动自组网的关键技术之一——路由协议做了性能上的分析。以往对路由协议的仿真,传输的是基于 UDP 的 CBR 数据流,其对在移动自组网中传输 FTP 数据流无指导意义。本文中给出了 DSR、DSDV、AODV 三种典型协议在节点不同移动速度下的基于 TCP 传输的仿真,对路由协议的主要性能参数:有效发送量、延时和丢包率进行了统计分析。仿真结果表明:有效发送量 DSR 好于 DSDV, AODV 最差;从延时方面分析, DSDV 具有最小的端到端延时,而 AODV 又比 DSR 好;在对丢包率分析时, AODV 的丢包率最大, DSDV 的次之, DSR 的丢包率最低。仿真结果验证了理论分析的正确性。

关键词 移动自组网, 协议性能, TCP 传输, NS2 仿真

Performance Analysis of Routing Protocol for Ad Hoc Network under TCP Transmission

REN Xiao-Ping¹ CAI Zi-Xing¹ CHEN Ai-Bin^{1,2}

(Information Engineering College, Central South University, Changsha 410075)¹

(Computer Science College, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004)²

Abstract This paper presents the performance analysis of Ad Hoc routing protocol which is one of the key techniques in Ad Hoc network. Before this, simulation of routing protocols is based on UDP, using CBR data stream which is no leading meanings to FTP data stream transmitting in Ad Hoc network. The paper simulates three critical protocols under different moving rates which are based on TCP transmission, and then the main performance parameters: effective packet delivery ratio, delay and lost packet ratio are analyzed. The simulation results show that DSR is better than DSDV on effective packet delivery ratio, and AODV is worst; DSDV has lowest end-to-end delay, and AODV is better than DSR; DSR performs better than DSDV on lost packet ratio, and AODV is worse than DSDV. The simulation results validate the theoretic analysis.

Keywords Mobile Ad Hoc network, Protocol performance, TCP transmission, NS2 simulation

1 引言

移动自组网,即 Ad Hoc 网络(MANET, Mobile Ad Hoc Network)^[1,2],是指由移动节点通过无线通信方式临时组成,由移动节点互相充当路由器进行分组转发,而不依赖于任何固定的基础设施和服务的网络。它可以在任何时刻、任何地点快速构建起一个移动网络,网络中的每个终端可以自由移动,地位相等。

在 Ad Hoc 网络中,节点一方面作为主机运行相关的应用程序;另一方面作为路由器运行相关的路由协议,进行路由发现、路由维护,并对接收到的目的地非自身的分组进行分组转发。Ad Hoc 网络有以下几个特征:自组织性、动态性、带宽受限、安全性受限、分布式特性等。由于具有这些特征,移动自组网的研究具有相当大的复杂性和挑战性,移动自组网网络路由协议就是在这样的背景下产生的,可以说移动自组网网络的关键技术之一就是路由协议。

本文在第 2 节介绍了 DSDV、DSR 和 AODV 三种典型的路由协议,介绍了其他研究人员在 UDP 传输下对各路由协议的分析结果;第 3 节给出了路由协议性能的评价标准,然后对这三种典型协议进行了基于 TCP 传输的仿真和性能分析;最后对本文的工作进行了总结,指出了进一步的研究思路。

2 Ad Hoc 网络路由协议

根据发现路由的驱动模式不同,Ad Hoc 网络的路由协

议可以分为先验式(Proactive)路由协议、反应式(Reactive)路由协议以及混合式路由协议。根据网络拓扑结构的差异,又可以分为平面结构的路由协议(Flat Protocols)和分簇路由协议(Clustered Protocols)^[3,4]。

MANET 工作小组目前正专注于移动自组织网络路由协议的研究,提出了许多协议草案,如 DSR、AODV、ZRP 等路由协议。此外,研究人员也发表了大量关于移动自组织网络路由协议的相关文章,提出了 DSDV、WRP、CBRP 等协议。根据路由触发原理,目前的路由协议大致可以分为表驱动路由协议、按需路由协议和层次型路由协议三种。本文选择 DSDV、DSR 和 AODV 这三种最为典型的协议进行实验仿真和性能评价。

2.1 目的节点序列距离矢量协议(DSDV)

DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)是基于经典的 Bellman-Ford 路由算法,通过给每个路由设定序列号避免了路由环路产生。采用时间驱动和事件驱动技术控制路由表的传送,即每个移动节点在本地都保留一张路由表,其中包括所有有效信宿点、路由跳数、信宿路由序列号等信息,信宿路由序列号用于区别新旧路由以避免环路的产生。

路由表更新分组在全网内周期性地广播而使路由表保持连贯性。每个节点周期性地将本地路由表传送给邻近节点;或者当其路由表发生变化时,也会将其路由信息传给邻近点。当无节点移动时,DSDV 使用间隔较长的大数据包(包括多个

^{*} 国家基础研究项目(A1420060159);国家自然科学基金重点项目(60234030);校青年基金重点项目(05005A)。任孝平 硕士研究生,研究方向:多机器人无线网络通讯;蔡自兴 教授,博士生导师,主要研究方向:人工智能、移动机器人;陈爱斌 副教授,博士研究生,主要研究方向:多机器人系统。

数据单元)进行路由更新,在节点移动时使用较小的数据包,且只对移动的节点进行路由更新,这样降低了整体的开销^[5]。

2.2 动态源路由协议(DSR)

DSR(Dynamic Source Routing)是一种源路由协议,是最早采用按需路由思想的协议。每个分组的分组头中包含了源-目的整条路由信息。它最大的特点是使用了源路由机制,每一个分组的头部都包含整条路由信息。采用路由缓存技术,用于存储源路由信息。当学习到新的路由时,则修改路由缓存内容,这样有利于快速建立路由并从一定程度上减少了洪泛报文的开销。

DSR 协议还支持主机睡眠功能,节省了网络开销和电池能量,对于负载小的 Ad Hoc 网络有较好的性能表现。当然,缓存的引入会增加网络的开销,中间应答机制还会产生过期路由问题,而且每个分组都需要携带完整的路由信息,造成开销很大,不适合网络直径大的自组网^[6]。

2.3 Ad Hoc 按需距离矢量法(AODV)

AODV(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing)^[7]是 DSDV 的改进,但它并不维持一个路由表,而是根据需要创建路由,以减少广播数。当有数据包需要传送时,为了寻找路径,源节点广播路由请求分组,邻近节点收到广播后再向其它邻近点广播(丢弃收到的重复路由请求分组),直到到达目的地或者到达已有最新路由的中间节点。路由请求分组采用序列号编码以避免环路,并保证中间节点只回应最新的信息。

事实上,AODV 是 DSR 和 DSDV 的结合^[8],它借用了 DSR 的路由发现和路由维护机制,并且利用了 DSDV 的逐跳路由、序列编号和周期更新的机制^[9]。和 DSR 相比,AODV 的好处在于源路由并不需要包括在每一个数据分组中,这样会使路由协议的开销有所降低;而缺点则是它依赖于对称性的链路,而不能处理非对称性的网络。

2.4 对路由协议的分析与评价

表驱动路由协议 DSDV 使节点维护的路由表可以较准确反映网络的拓扑结构。节点一旦发送报文,可以立即获取目的节点路由。因此,该路由协议的时延较小,但是协议需要付出大量的路由控制报文,开销较大。在网络规模和移动性增大到一定程度时,大部分表驱动路由协议表现一般。相反,按需路由协议 DSR 不需要周期性维护尚未需要的路由,只有在发送报文之前才需要获取路由,因此产生的路由控制信息比表驱动路由协议要少得多。但因为数据传输之前必须先获取路由,所以存在一定的时延。按需路由协议适用于网络载荷不太重、节点移动速度不太大的场合。

理论上,看,AODV 也是按需路由协议的一种,但是它又结合了表驱动路由的某些特点。它的性能的好坏有待于进一步的实验验证。文^[10]中对协议的仿真并没有说明是基于哪种数据流;文^[11]中传输的是基于 UDP 的 CBR 数据流,表明 DSR 的综合性能高于 AODV;文^[12]讨论了基于不同发送速率下的路由协议的性能,对节点的处理采用的是使之暂停运动,以暂停时间作为一个变量而不是节点的移动速度。

本文采用的是基于 TCP 传输的仿真,移动节点以不同的速度进行运动,这样可以比较出在移动速度一样的情况下三种路由协议的性能表现,并且能从移动速度的不断加快得到协议性能的变化趋势。

3 Ad Hoc 网络协议仿真

3.1 NS2 仿真程序设计

NS2(Network Simulator),即网络模拟器,是目前应用最为广泛的无线网络仿真软件之一^[12]。最初的 NS2 不支持无

线仿真功能,1998 年 CMU 的 Monarch 工作组将无线模块引入到 NS2 中,可以支持对 Ad Hoc 网络或无线局域网等无线网络的仿真。无线仿真模块以 MoblieNode(移动节点)为基本核心,并通过一些附加特性来支持多跳的 Ad Hoc 网络或无线局域网的模拟。

仿真场景主要包括节点运动场景设计和网络流量场景设计。节点运动场景用来描述仿真过程中网络的运行区域、节点的数目、节点运动的总时间、网络中各个节点的运动方式。网络流量场景描述在一段时间内有哪些数据流在节点之间传输、速率是多少等信息。仿真场景文件可以自定义设置,但是为了验证协议的实际性能,本文采用随机的复杂场景测试,这样能比较准确地反映出路由协议的性能。

测试 AODV 协议的仿真结果如图 1 所示,图中的圆圈代表移动节点,中间是节点号。四周扩散的波纹表示节点在向邻居节点发送信号。

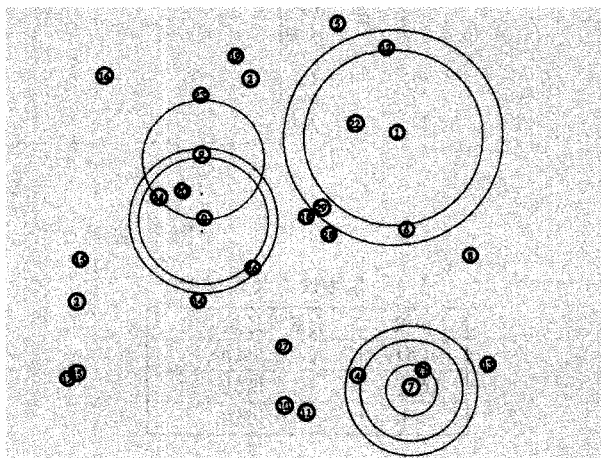


图 1 AODV 协议仿真示意图

3.2 性能指标的定义

衡量 Ad Hoc 网络路由协议的性能指标主要有三种,即有效发送量、时延、丢包率。这三种都是定量的指标,计算方法如下^[13]:

(1)有效发送量,是应用层信源发送的分组数目与信宿接收的分组数目之比(同一个分组重复发送的次数不计算在内)。该项指标描述的是通过应用层观察到的网络所支持的最大吞吐量,也可以反映网络为发送者提供服务的质量。

$$\text{有效发送量} = \frac{\text{成功接收分组}}{\text{发送分组数}} \times 100\% \quad (1)$$

(2)平均时延,用下面的公式表示,其中 N 表示成功传输的分组数, tr 表示分组到达目的节点的时间, st 表示分组被发送的时间。

$$\text{端到端平均时延} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (rt_i - st_i) \quad (2)$$

(3)丢包率

$$\text{丢包率} = \frac{\text{发送端发送的包数} - \text{接收端接收的包数}}{\text{发送端发送的包数}} \times 100\% \quad (3)$$

3.3 仿真结果及各协议性能比较

本文对 DSDV、DSR 及 AODV 这三种典型的网络协议进行比较。建立一个 $1000 \times 1000 \text{m}^2$ 的场景,即网络拓扑的范围为 $1000 \times 1000 \text{m}^2$,这样一个比较大型的场景适合无线网络的特点。在 $1000 \times 1000 \text{m}^2$ 区域内,分布 30 个移动节点。由于影响 Ad Hoc 网络路由性能最关键的因素之一是节点的移动速度,为此对节点使用不同的移动速度,以保证仿真的真实

性。另外在 30 对节点中,随机选取建立 10 对连接,发送和接收的数据包都采用基于 TCP 的数据流。TCP 是一种面向连接、提供可靠字节流服务的网络传输层协议,其最大优点在于自适应重传和拥塞控制机制。随着移动自组网研究的深入,未来传送多媒体数据和 Qos 保证,使得基于 TCP 的传输占据了很重要的位置。

3.3.1 有效发送量

图 2 显示了随速度增长各协议有效发送量的比较情况。横坐标是仿真中节点移动的速度(单位:m/s),纵坐标是有效发送量(%)。总体上来看,AODV 协议的有效发送量最差。用数学上加权求平均的方法,计算的三种协议总的有效发送量见表 1。有效发送量 DSR 略好于 DSDV,AODV 最差。

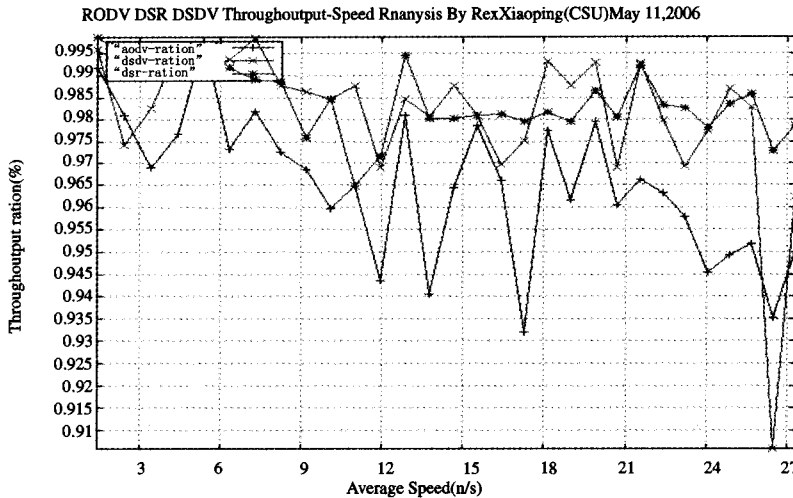


图 2 随速度增长各协议有效发送量比较图

表 1 各协议有效发送量

协议	有效发送量(%)
AODV	0.9595
DSDV	0.9769
DSR	0.9822

有效发送量都随之降低。DSR 协议保持得较好,对速度变化表现出良好的适应性。AODV 有效发送量曲线波动很严重,DSDV 在 26.5m/s 时,曲线突然下降,不排除是误差的可能,但也反映了 DSDV 协议为目的节点只维护一个路由,当网络拓扑失效时,暂无可替换的路由,导致分组发送失败,从而造成有效发送量突然降低。

从图 2 中还能看出,随着节点移动速度的加快,三协议的

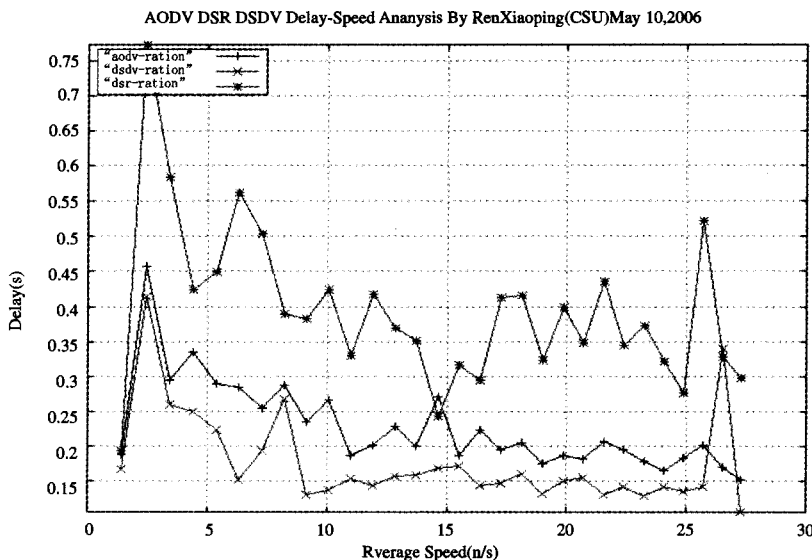


图 3 随速度增长各协议延时比较图

在 AODV 协议中,如果与邻居的链路断开,节点就认为这个邻居节点已经不存在,然后就在邻接表中删除了该点的信息。AODV 协议每隔 1s 发送“HELLO”消息来发现邻居节点,在单跳的 TCP 链路中,间歇性的冲突会频繁发生,链路断开的概率很大,节点认为邻居节点不存在使得接收双方都停止了发送数据。AODV 无后备路由,在重新寻找路由的过程中会暂时发生数据发送停顿现象,多跳 TCP 链接中数据转发比较慢,冲突较少,但是停顿现象不明显,故而 AODV 的有效

发送量最小,而 DSR 和 DSDV 比 AODV 的性能好^[14]。

3.3.2 时延

从图 3 中可以看出,在相同速度下,DSDV 具有最小的端到端延时,而 DSR 和 AODV 延时较大。分析其原因,DSDV 属于先验式路由协议,在需要发送数据时,通过查表直接获取路由,故延时较小。而 DSR 和 AODV 属于反应式路由协议,在需要发送数据时才寻找可用路由,因此延时较大。另外,在 TCP 传输中使用 DSR 协议,发送端会选用跳数较多的路径,

数据发送速率会显著下降,时延增加;而在单跳链路 AODV 发送停顿时,将丢弃发送端缓存中所有等待发送的数据包,而重发需要等待周期性的重建路由的“HELLO”消息,故而延迟也比较明显。相对而言,DSDV 的时延最小。

3.3.3 丢包率

图 4 显示了随速度增长各协议丢包率的比较情况。横坐标是仿真中节点移动的速度(单位:m/s),纵坐标是丢包率(%)。AODV 的丢包率一直高于 DSDV 和 DSR,DSDV 和 DSR 的丢包率曲线很接近。

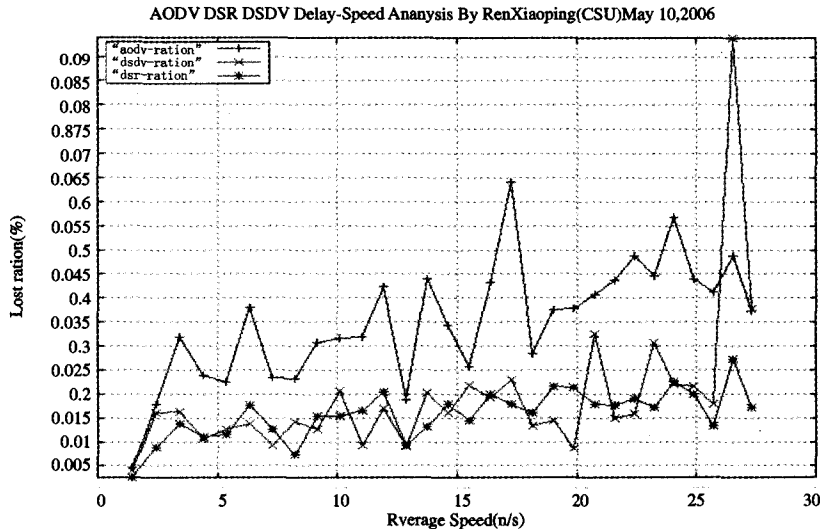


图 4 随速度增长各协议丢包率比较图

采用加权平均方法对比三种协议的丢包率情况见表 2。AODV 的丢包率最大,DSDV 的次之,DSR 的丢包率最低。这是因为单跳链路中 AODV 发送数据包停顿时,将丢弃发送端缓存中所有等待发送的数据包,网络丢包率则显著上升。DSDV 和 DSR 协议无相似的因素,故此 AODV 的丢包率最大。

表 2 各协议丢包率比较

协议	丢包率(%)
AODV	0.0399
DSDV	0.0239
DSR	0.0177

从图 4 还可以看出,随着节点移动速度的加快,三种协议的丢包率都有所上升。在高速情况下,丢包率变高了,这是因为当网络拓扑变化很快,当前路由失效时导致分组发送失败,从而在寻找到新路由之前造成数据分组的大量丢失。

3.3.4 实验结果分析

综合以上的仿真结果,可得到如下结论:在有效发送量方面来看 DSR 好于 DSDV,AODV 最差;从延时方面分析,DSR 具有最小的端到端延时,而 AODV 又比 DSR 好;在丢包率分析时,AODV 的丢包率最大,DSDV 的次之,DSR 的丢包率最低。

传统的对 Ad Hoc 路由协议的性能分析,采用 UDP 数据流作为分析对象,而 TCP 协议在互联网中应用较为广泛,基于 TCP 传输环境的性能分析和比较是有利用价值的^[15]。

由于该实验的局限性,以及 Ad Hoc 网络应用环境的多样性,上述路由协议具有其自身的优缺点,从而可以应用于不同的网络环境,因此很难说哪个协议更好,而只能说哪个协议适用于什么环境。所以希望一种路由算法可以较好地解决所有路由问题,那是不可能的,这要根据具体环境具体对待。

总结 本文对三种典型的 Ad Hoc 网络路由协议进行了理论分析,并对其进行了仿真以分析路由协议的性能。仿真是基于 TCP 传输的,并以影响 Ad Hoc 网络的关键因素——

速度,作为分析的重点。分析过程中对于结果不明显曲线,采用了数学上的加权求平均的方法,保证了分析结果的准确性。本文的性能评价对移动自组网的实际应用,尤其是未来在移动自组网中传输基于 TCP 的多媒体数据流,可以提供重要的选取路由协议的理论依据。

我们下一步的主要工作是在具体平台上实现路由协议,如脱离仿真平台组成实际的移动自组网,更加真实地评价各路由协议的性能。

参考文献

- Perkins C. Ad Hoc Networking. USA: Addison-Wesley, 2000
- Croson M. Mobile Ad hoc Networking(MANET); Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. IETF RFC 2501, 1999
- 郭永洪,李光胜,毛启容,等. Ad Hoc 网络组播路由协议研究现状、问题和方向. 计算机应用与软件, 2006, 4(1): 16~66
- 孙宝林,李腊元,李相棚. 移动 Ad Hoc 网络多播路由协议的研究进展. 计算机工程与应用, 2004, 32(5): 139~143
- Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for mobile computers. SIGCOMM, 1994. 234~244
- Maltz B J. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. Internet draft(DSR), IETF Mobile Ad Hoc Networking Working Group, 1998. 12
- Perkins C, Royer E. Ad Hoc on demand distance vector(AODV) routing. Internet Draft, 1998. 8
- 张远,郭虹,刘洛琨. AODV 协议中扩展环搜索与邻节点列表的实现. 计算机工程, 2006, 32(10): 113~115
- Misra P. Routing protocol for Ad Hoc mobile wireless network. <http://www.Cisohio-state.edu/jain/cis788-99/adhoc-routing/index.html>, 2001. 5
- 胡昱,叶湘滨,陈利虎. Ad Hoc 路由协议在不同移动环境中的性能仿真. 计算机仿真, 2005, 22(11): 140~144
- 牛秋娜,王美琴,王英弄,等. 基于 ns-2 的 MANET 路由协议仿真及性能评估. 计算机应用研究, 2006, 9: 240~246
- 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS 与网络模拟. 北京:人民邮电出版社, 2003
- 林志伟,许力,郭晓莲. 移动自组网中路由协议对 TCP 性能的影响. 计算机工程, 2006, 32(2): 124~126
- 张歆彦,张尧弼. 基于 TCP 传输的 Ad Hoc 路由协议性能分析. 微型电脑应用, 2005, 21(2): 38~40