

# 方向性天线对 MANETs 路由协议的性能影响研究<sup>\*</sup>

王 炫 李建东 张文柱

(西安电子科技大学信息科学研究所 西安710071)

**摘 要** 本文研究了方向性天线对 DSR 路由协议性能的影响。通过仿真证明了,当使用方向天线进行分组发送时,由于网络节点获取拓扑信息的效率降低,导致协议的分组交付率降低和路由开销数量增加。分析了此现象产生原因,并提出了一个改进方法:由 DSR 协议参与控制分组发送时使用的天线模式,对部分影响协议性能最为严重的分组采用全向发送,其余分组使用方向天线发送。仿真证明了使用该方法后,可以明显改善协议性能。

**关键词** 移动 ad hoc 网络,方向性天线,路由协议

## A Study on the Effect of Directional Antenna on Performance of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks

WANG Xuan LI Jian-Dong ZHANG Wen-Zhu

(Research Institute of Information Science, Xidian University, Xi'an 710071)

**Abstract** The effect of directional antenna on the performance of DSR routing protocol is studied in this paper. Simulation results prove that the performance of DSR descends in terms of packet delivery ratio and number of total routing packets, when directional antenna is used. The reasons are analyzed, and a modification method is presented, in which DSR controls antenna pattern used by transmitting node, part of packets are sent with omni-antenna and the others are sent with directional antenna. Simulation results also prove this modification can improve performance of DSR protocol effectively.

**Keywords** Mobile ad hoc network, Directional antenna, Routing protocol

## 1 引言

方向性天线技术为无线通信带来很多潜在的益处。尤其,它可以改善通信系统的空间复用能力,可能使更多的节点同时接入信道,也可以降低相互间的同道干扰从而改善网络的 MAC 性能。针对如何在 MANET 网络中使用方向性天线,以及会给网络性能带来何种改善等问题,已经有很多研究结果。它们主要研究集中在对基于竞争的 MAC 协议的性能的设计和性能评估方面,如文[1,2]。

但是,在 MANET 中,如果节点使用方向性天线进行发送,它的邻节点会更难发现它的存在,这有可能对 MANET 路由协议的路由探测和路由维护功能造成不利影响;因此方向性天线在 MANET 环境中的使用并不一定能够带来网络整体性能的提高。在本文中,以目前常用的 DSR 路由协议为研究对象,通过分析和仿真证明当低层使用方向性天线时,会产生 DSR 路由协议的开销增大,网络分组丢失率增高等不利影响。本文在分析原因的基础上,提出了对现有的 DSR 协议一个改进方法,通过仿真证明了其有效性。

## 2 DSR 路由协议简介

DSR<sup>[3]</sup>是一种使用于 MANET 的按需路由协议。由在 IETF (Internet Engineering Task Force) 中的 MANET (Mo-

bile Ad-hoc Networks) 工作组制定。DSR 已经以草案的形式提交给了 MANET 工作组,是最具有竞争力的方案之一。

DSR 使用 Route Discovery 和 Route Maintenance 两种主要机制来维护到任意目的节点的路由,这两种机制完全都是按需操作。它不需要在网络的任何层周期性地发送任何分组。这种特性导致在网络中的节点静止并且所有的通信路径已经被发现之后,协议导致的开销可以降低至 0。

值得注意的是 DSR 在设计时,假设了每个节点的网络接口硬件都可以工作在 promiscuous 接收模式,使硬件能够把每一个接收到的分组都递交到上层协议中,而不会根据目的地址进行过滤。工作在 promiscuous 接收模式下的网络节点,可以在转发或监听分组的过程中,利用从该分组的 DSR 头或 MAC 头中获得的有用信息,执行 DSR 协议中的一些性能优化方案,例如:存储监听到的路由信息到自己的 route cache 中;被动应答;防止 route reply storms;自动路径截短;扩大错误类型分组的影响范围等。这些性能优化方案,可以减少开销分组的数量,提高用于数据分组的路径的平均效率。如果网络中的节点使用全向天线,那么此时的无线信道具备内在广播特性,当节点的网络接口硬件工作在 promiscuous 接收模式时,节点可以监听到通信范围内所有正在进行的分组发送。而如果发送节点使用方向性天线时,使用 promiscuous 接收模式的邻节点能够监听到的分组数量将会减少,因此网络拓扑

<sup>\*</sup> 基金项目:国家自然科学基金和微软亚洲研究院联合资助项目(60372048);高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划;国家自然科学基金重大项目 60390540 第 6 子课题;国家 863 计划重大课师(2001AA123031);教育部科学技术研究重点项目(01162)。王 炫 博士生,主要研究领域为无线 ad hoc 网络和个人通信系统。李建东 博士,教授,博士生导师,主要研究领域为个人通信、移动通信、分组无线网、分布式无线网络、软件无线电和移动 IP 等方面。张文柱 博士,主要研究领域为无线 ad hoc 网络的协议设计和移动通信网。

探测和维护效率会有所下降。

本文在对 DSR 路由协议的仿真研究过程中,使用了前面所述的基于 promiscuous 接收模式的优化方案。其余的部分参数设置见表1。

表1 DSR 的参数设置

路由保存时间 RouteCacheTimeout /s	900
为每个目的节点保留的最大路由记录个数数量	75
分组最大拯救次数	15
MAX-SALVAGE-COUNT	
发送分组前等待路由信息时,节点保留分组的时间长度 /s	900
非扩散路由请求分组超时	30
NonpropRequestTimeout /(ms)	
判断链路层出错前分组进行 DSR 重传的次数	1

### 3 仿真内容

我们的研究工作全部是在一台 PC 机上,使用的操作系统是 Red Hap Linux 7.2,仿真平台是 ns-2.1b9<sup>[6]</sup> (Network Simulator Version 2.1b9)。

仿真场景如下:50个节点被随机的放置1500 \* 300 m 的平整地域内;传播损耗模型使用自由空间模型;20个节点被选为 CBR 源节点,以每秒4个分组的速率产生512比特的数据分组,发送给随选择的目的节点;运动模型采用 random waypoint model,节点的最大运动速度 MAXSPEED 为20m/s,暂停时间参数为分别取为0、30、60、120、300、600、900秒,其中暂停时间为900代表所有节点从不运动,网络拓扑为固定的情况;仿真时间为900秒。

MAC 层协议使用经过修改的802.11。为了说明方向天线波束宽度对于仿真结果的影响,在仿真中使用了两种方向性天线。衡量路由协议性能的指标为:

分组交付率。成功到达目的节点的分组数量与源节点产生的总分组数之比。

路由分组数量。为完成一定数量的业务,在全网络中所有节点发送的路由开销分组总数量。

#### 3.1 方向天线模型

在仿真中,使用了两种方向性天线,其天线的归一化方向图如图1,2所示。这里的数据来自实际的某型4阵元和8阵元面阵方向天线的实测值。

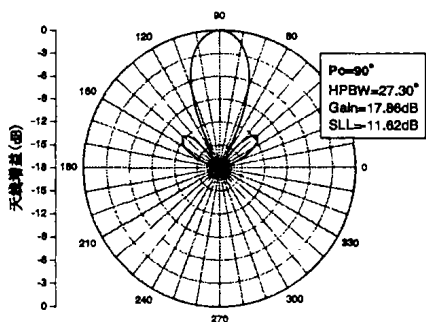


图1 4阵元面天线方向图

两种天线的波束主瓣宽度分别为27.30度和15.10度。最大副瓣电平与最大主瓣电平之比分别为-11.62 db 和-19.92 db。图中的方向增益为归一化表示,在仿真中,将两种天线的最大主方向增益设为15db。

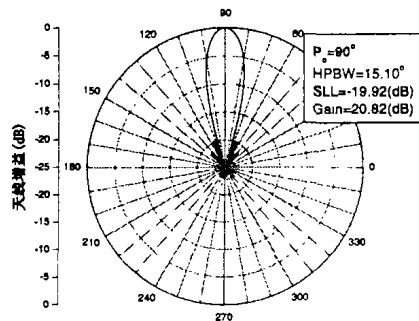


图2 8阵元面天线方向图

仿真中使用收发信机的参数如表2所示,它们的取值参考了文[1]中的设置。

表2 收发信机参数设置

使用全向天线时发射机的发射功率/dbm	15.0
使用方向性天线时发射机的发射功率/dbm	0.0
使用全向天线接收时,接收机的接收门限电平 /dbm	-73.0
使用方向天线接收时,接收机的接收门限电平 /dbm	-58.0
载波检测电平(全向天线)/ dbm	-79.0

在本仿真中,我们主要考虑的是方向性天线的空分复用和降低同道干扰能力,而不希望通信距离和网络拓扑因为节点使用了不同的天线而发生变化。因此对接收和发送采取了功率控制。使用以上的参数设置和自由空间传播模型计算出的通信距离为250米,同道干扰的距离为500米。

#### 3.2 对802.11 MAC 的修改

在我们的研究中,假定每个网络节点都能使用方向性天线和全向天线进行工作。每个节点在接收邻节点发送的分组时,波束形成算法能够很快在传输物理层帧头的同步序列期间计算出到达分组的 DOA,而不需要使用额外的训练序列。

为了能够在低层使用方向天线,对802.11 MAC 协议<sup>[4]</sup>定义的帧交换过程做以下修改:

对于单播帧的交换过程定义如下:

- 源节点使用全向天线发送 RTS 帧。
- 所有天线状态没有锁定的邻节点调整自己的接收天线指向,在物理帧头同步比特的传输时间内找到到达分组的 DOA,使自己天线的主瓣方向指向该方向;设定天线状态为锁定状态;并接收 RTS 帧剩余的部分。
- 所有接收节点从 RTS 中取出目的节点的地址信息,如果本节点是目的节点,则保持天线的指向和锁定状态;如果本节点不是目的节点,把自己的天线状态恢复为非锁定状态。
- 目的节点使用方向天线向源节点发送 CTS 帧。源节点使用同样的方式调整天线方向,并接收 CTS 帧。
- 随后进行 DATA、ACK 帧的交换,过程与802.11相同。
- 当一次 frame sequence 交换过程结束后,收发双方把自己的天线方向调整为非锁定状态。

对于广播帧的交换过程比较简单。所有节点在发送广播帧时,使用全向天线发送,所有邻节点则以方向性天线进行接收。

信道的部分参数设置如下:DATA 帧的发送使用2Mbps 信道速率,RTS、CTS、ACK 的发送使用1 Mbps 信道速率;MAC 头长度为28字节,PHY 头长度设为24字节;RTS Threshold 为80字节;不使用分段传送功能。其余的参数使用协议默认值。

#### 3.3 仿真结果

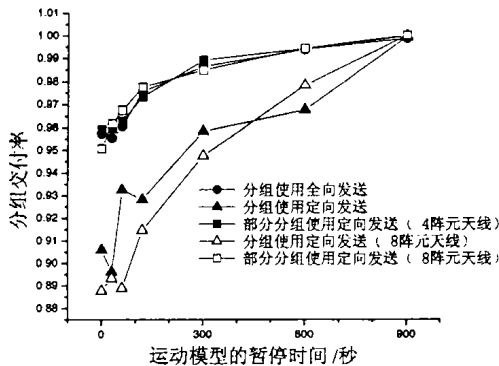


图3 分组交付率

在仿真中,首先完成的是不改变 DSR 协议的前提下,所有节点分别以全向天线、4阵元方向天线、8阵元方向天线进行收发时的场景,所得到的结果分别显示在图3,4中。

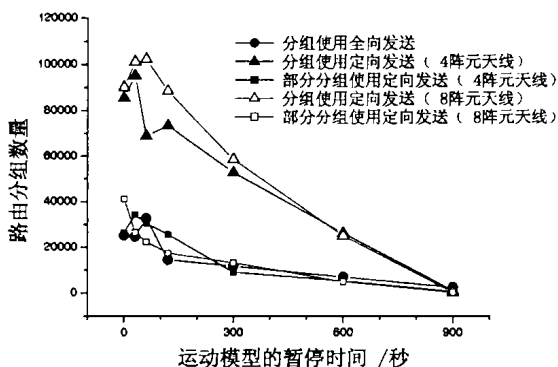


图4 路由分组数

图中可以看出随着节点运动能力的增强,在网络中的路由分组数量增加、分组交付率下降。当暂停时间为900秒,所有节点在仿真期间都处于静止状态,网络拓扑保持不变,此时的分组交付率可以达到最高约99.95%,网络中用于路由探测和维护的分组数量非常小,在1000个以下。当暂停时间为0至60秒之间,网络的性能最差,分组交付率最低降至95.5%,而路由分组的数量最高达到32688个。当网络中的节点使用4阵元方向天线进行分组收发时,在所有的暂停时间参数取值条件下,路由分组发送数量大大高于使用全向天线的场景,最高时达到95156个,约为全向天线时的3倍。同时,分组交付率比使用全向天线时有所下降,当暂停时间取值在0至60秒之间,分组交付率最低降至89.6%。而当使用8阵元方向天线进行同样的仿真时,得到的结果显示网络性能更加恶化。路由分组发送

数量最高达到101145,分组交付率最低降至88.95%。

现在分析以上结果的产生原因。本仿真的目的是测试,当网络节点使用方向天线时,DSR 路由协议的性能变化。因此要去除 MAC 性能改善带来的影响。仿真过程中网络总的业务负荷设置比较低,以保证拥塞和碰撞不会成为导致分组丢失的主要因素。分组交付率下降的主要原因是:由于网络拓扑变化频繁,而路由协议不能快速和高效地反应这些变化,导致分组在传输过程中使用了过时的错误路由。在 DSR 协议中,所有网络节点都可以通过转发分组或监听信道上正在传送的分组而获得路由信息。当节点使用全向天线进行发送时,所有的邻节点都可能收到发送分组,从而探测到链路存在,并从接收到的分组头中读取网络拓扑信息。但是当节点使用方向天线进行发送时,邻节点接收到发送分组的概率和频率也大大减小。对于全网络来说,会使路由探测和路由维护的效率降低,因此需要发送更多的路由分组。同时,由于路由表中路由记录更新变慢,源节点使用过时的错误路由进行发送的情况增多,导致分组交付率的下降。而当使用波束宽度更窄的天线时,上述的现象变得更加显著。

如果要解决路由协议效率下降的问题,可以要求节点在发送时使用全向天线。但是这样做会造成通信系统的空间复用能力下降。因此我们考虑对部分影响 DSR 性能最为严重的分组发送进行全向发送,而对其余的分组仍使用方向天线发送。为了找出对协议性能影响最为严重的操作过程,我们以使用4阵元天线,暂停时间为120秒的场景作为基础,进行了多次的仿真。仿真的结果如表3所示。

这里对协议进行一些修改,在 DSR option 中增加一个1比特的域“dir\_ant\_disable”,当源节点产生一个路由分组或数据分组的时候,设置该域。如果该域被置为1,代表此分组在本节点发送和中转节点转发过程中禁止使用方向性天线。另外对于数据分组的发送也做修改。在节点的 route cache 中记录主用路由的使用次数记录,每个数据分组使用该路由由发送后,该记录值加1;如果主用路由发生改变,该值恢复为初始值0。源节点在为每个数据分组设置源路由时,需要判断该路由已经被连续使用的次数,如果该记录值小于门限 DirAnt-Threshold,则设置 DSR option 中的 dir\_ant\_disable 域为1,规定该分组只能使用全向天线发送。这样做的目的是:当数据分组中携带有近期发生过更新路由信息时,使用全向天线发送分组,以便让更多节点能够接收到该分组,并及时获取分组中所包含的路由信息,同时又不过多地增加使用全方向天线发送的次数,以便提高网络的空间复用能力。

表3 仿真结果

仿真场景	Error 分组发送次数	路由分组总数	分组交付率	全向天线发送的分组比例
全部分组发送使用全向天线	5102	12530	98.2%	100%
全部分组发送使用定向天线	61489	73511	92.7%	0
Error 分组使用全向天线,其余分组使用定向天线	8074	25859	96.9%	3.2%
Error 分组及部分数据分组使用全向天线 (DirAntThreshold=2)	8140	25602	97.8%	15.1%

从中可以看出,影响协议性能的主要是 Error 分组的发送方式。当 Error 采用全向天线进行发送时,路由分组的总数和分组交付率已经和全部分组使用全向天线时的情况比较接近。而当部分数据分组也使用全向发送时,路由性能进一步改

善。

对其它的暂停时间取值的场景进行仿真所得到的结果见图3,4中“部分分组使用全向发送”对应的曲线。可以看出它们的性能已经非常接近全部使用全向天线的情况。但是使用全

# 移动自组网中信息层次扩散的可靠性和健壮性分析<sup>\*</sup>

郭敬林 李航 朱智林 陈平

(西安电子科技大学软件工程研究所 西安710071)

**摘要** 讨论了移动自组网的层次结构生成过程,并利用任意度随机图理论为该生成过程建模。同时,基于逾渗理论分析了信息在该层次结构中扩散的可靠性和健壮性。并结合应用,给出了节点扇出与信息层次扩散的可靠性和健壮性之间的关系。最后,通过仿真验证了理论分析的正确性。

**关键词** 移动自组网,层次扩散,逾渗理论,可靠性,健壮性

## Analysis of Reliability and Robustness in Hierarchical Information Diffusion of Mobile Ad Hoc Networks

GUO Jing-Lin LI Hang ZHU ZHI-Lin CHEN Ping

(Software Engineering Institute, Xidian University, Xi'an 710071)

**Abstract** The paper discusses the build of hierarchical structure in the mobile ad hoc networks and uses random graph of arbitrary degree distribution to model procedure. In the mean time, the paper analyzes the hierarchical information diffusion based on percolation theory and gives the relationships among the node fan-out, information reliability and information robustness combined with applications. Finally, the theory analysis is verified by the simulation results.

**Keywords** Mobile ad hoc networks, Hierarchical diffusion, Percolation theory, Reliability, Robustness

在军事战术环境中,地面移动节点和 UAV(Unmanned Airborne Vehicles, 无人机)、微型卫星之间构成了一种层次网络。军事应用中的移动自组网(Mobile Ad hoc Networks)即属于该类网络。可靠性和健壮性是衡量战术网络性能的重要指标。研究信息在该层次网络上扩散的可靠性和健壮性,对设计通信协议具有指导意义。

Strogatz 揭示了网络功能与其结构之间存在着密切关系<sup>[1]</sup>。本文以任意度随机图理论为基础,分析移动自组网的结构,并建模移动自组网中信息的层次化扩散过程。同时基于逾渗理论分析了该层次化信息扩散过程的可靠性和健壮性,并结合应用,给出了节点扇出与信息扩散的可靠性、健壮性之间的关系。

## 1 信息层次扩散模型

### 1.1 问题的提出

与其它网络中的节点不同的是,移动自组网中的节点同时又起到路由器的作用。对于大规模的应用来说,多跳(Multi-hop)的通信方式几乎是必然的选择。在移动自组网中,信息扩散的时间复杂度和网络的直径有关。Watts 等研究的“small world”现象为缩短网络直径提供了解决思路<sup>[2]</sup>。在网格(grid)状的节点之间,只须加少量的“捷径(short Cut)”,网络的直径将显著缩短。地面节点之间通过多跳可以实现捷径,但对大规模的应用来说,这样做需要中转节点较多,捷径不易建立,而通过上层的 UAV(或微型卫星)实现则容易很多。地面节点和若干 UAV 之间构成了一个层次状网络。显然此时 UAV 是该

<sup>\*</sup>)“十五”军事预研项目资助,项目编号413150501。郭敬林 博士生,研究方向:离散事件仿真,软件工程。李航 博士生,研究方向:嵌入式系统。朱智林 博士生,研究方向:形式验证技术。陈平 博士生导师,教授,研究方向:面向对象技术,软件工程等。

向天线进行发送的分组所占比例并不高,因此仍然能够保证网络空分复用能力的提高。

**结论** 本文研究了 MANET 网络中,节点使用方向性天线工作时,对于网络层路由协议性能的影响。本文以 DSR 协议为研究对象,通过仿真证明了在使用方向天线时,协议性能会因为路由探测和维护效率的降低而变差。提出了解决这个问题的方法,即通过使用全向天线发送部分携带重要路由信息的分组,可以改善路由协议性能;而其余的绝大多数分组使用全向天线进行发送,以便提高系统的空间复用能力。

## 参考文献

1 Takai M, Martin J, Bagrodia R. Directional Virtual Carrier Sensing

for Directional Antennas in Mobile Ad Hoc Networks. Intl. Conf. on Mobile Computing and Networking. In: Proc. of the 3rd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing, New York, NY, USA: ACM Press, 2002. 183~193

2 Bellofiore S, Balanis C A. Smart-Antenna Systems for Mobile Communication Networks. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2002, 44(3): 145~154

3 Johnson D B, Maltz D A, Hu Yih-Chun, Jetcheva J G. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR). Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-09. txt, April 2003

4 LAN/MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Std. 802. 11[S], 1999

5 Yum T S, Hung K W. Design Algorithms for Multihop Packet Radio Networks with Multiple Directional Antennas Stations. IEEE Transactions on Communications, 1992, 40(11): 1716~1724