

文章编号:1001-9081(2006)09-2172-03

## 一种混合路径选择准则下的多径路由算法

沈 洋, 郑宝玉, 赵贤敬

(南京邮电大学 信号与信息处理研究所, 江苏 南京 210003)

(shenyangid@yahoo.com.cn)

**摘要:** 在 Ad Hoc 无线网络环境下, 提出了一种基于 DSDV 的多径路由协议。通过新建一个类似路由表的邻居节点表结构, 来实现多径扩展。在选择路径时采用一种基于最佳信道状态准则和最短路径准则的混合路径选择准则, 该准则需要用到 MAC 层的信息, 涉及跨层设计; 多径的传输模式采用多径独立传输模式 (dividual transmission)。仿真表明, 新协议在多径独立传输模式下, 以少量的递交率性能为代价, 大幅度提高了整个网络的吞吐量, 增大了网络资源的利用率。

**关键词:** 多径路由; Ad Hoc 网络; 跨层; DSDV

**中图分类号:** TN92    **文献标识码:** A

### A multi-path routing protocol based on a hybrid criterion of choice

SHEN Yang, ZHENG Bao-yu, ZHAO Xian-jing

(Institute of signal and information processing,

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

**Abstract:** A multi-path routing protocol based on DSDV (Destination Sequenced Distance-Vector) in Ad hoc networks was proposed. A new neighbor node structure like routing table was established by which the multi-path mode can be expanded. The proposed protocol chooses routing by a hybrid criterion which is based on the shortest path criterion and the best channel state criterion. The hybrid criterion makes use of the information at physical layer related to cross-layer technique. The multi-path dividual transmission was employed as the transmission mode of paths. The simulation shows that, by the mode of multi-path dividual transmission, the proposed protocol greatly improves the throughput of the whole network at the expense of little delivery performance, and increases the utilization ratio of network resources.

**Key words:** multi-path routing; Ad Hoc networks; cross-layer; DSDV (Destination Sequenced Distance-Vector)

## 0 引言

移动 Ad Hoc<sup>[1]</sup> 网络 (MANET) 是一种完全由移动主机组成, 不必依靠中心节点或者基础网络设施运行的移动通信网络。在 Ad Hoc 网络中, 由于网络互连的多跳以及互连拓扑的动态变化的特性, 使得路由异常重要。近几年来, 随着通信技术的飞速发展, 各种实际需求也日益增长, 呈现出很多对路由协议的具体要求, 如: 如何提高网络的安全性、可靠性, 改善网络的服务质量, 如何充分利用网络资源, 提高网络中链路的使用效率和网络的服务能力, 改善网络的服务质量等。传统的路由协议 (如 DSDV<sup>[2]</sup>、DSR<sup>[3]</sup>、AODV<sup>[4]</sup> 等) 一般都是单径模式, 由于在 Ad Hoc 网络中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, 对多径路由的研究也成为学者们关注的热点。近年来, 国内外专家还提出了一些相应的多径路由协议, 如 DMPSR<sup>[5]</sup>、MDSR<sup>[6]</sup>、MSR<sup>[7]</sup>、SMR<sup>[8]</sup>、NDM<sup>[9]</sup>、AOMDV<sup>[10]</sup>。本文在结合 DSDV 路由协议的基础上, 提出一种新的多径路由协议, 在多径的传输模式上使用多径独立传输模式, 即在多径上同时传输不同的数据包。通过仿真表明, 新协议在多径独立传输模式下, 能更加充分地利用网络资源, 较大幅度地提高了整个网络的吞吐量。

## 1 DSDV 简介

DSDV 是一种主动式路由协议 (又称表驱动路由协议), DSDV 基于经典的 Bellman-Ford 路由选择过程的改进型路由表算法, 为了解决路由环路问题, 在目的节点端, 每个路由表项都被赋予一个序列号 (Sequence Number), 以区分路由信息的新旧。每个节点周期性地发送路由更新包来维护整个网络的路由表, 并且当节点的路由表在周期更新的间隔内出现变化时, 节点能够立即触发更新, 对路由表进行实时维护。

## 2 新协议算法

新协议的多径模式是由传统的 DSDV 路由协议的单径模式扩展而来的。新协议中新建了一个类似路由表的邻居节点表结构, 邻居节点表的行结构中保存的元素有目的节点、可达该目的节点的所有邻居节点、相应的跳数和邻居节点的接收功率。源节点向目的节点发送数据包时, 首先查找邻居节点表, 按照一种基于最佳信道状态准则和最短路径准则的混合路径选择策略来选择下一跳, 即邻居节点, 然后向选定的几个邻居节点发包, 以后的转发工作类似 DSDV 路由协议, 这样就找到了可达目的节点的多条路径并同时实现了在多径上传输

收稿日期: 2006-03-16; 修订日期: 2006-05-23

基金项目: 国家自然基金资助项目 (60372107); 重庆市重点实验室开放课题基金资助项目

作者简介: 沈洋 (1982-), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要研究方向: 现代通信中的信号处理; 郑宝玉 (1945-), 男, 福建闽侯人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 现代通信中的智能信号与信息处理; 赵贤敬 (1978-), 男, 山东菏泽人, 博士研究生, 主要研究方向: 现代通信中的信号处理。

多个数据包。

## 2.1 单径扩展多径

新协议的多径路由模式由 DSDV 的单径模式扩展而来,在继承 DSDV 路由协议的基础上,新协议还需要建立一个类似路由表的邻居节点表结构,该结构保存了多个从源节点到目的节点路由的下一跳信息。利用邻居节点表结构,配合特定的路径选择准则,可以实现多径扩展。

### 2.1.1 邻居节点表的建立

Ad Hoc 网络中,开始发送数据包的节点称为源节点,最终接收数据包的节点称为目的节点。由于节点具有特定的发射功率和发射距离,数据包从源节点到目的节点通常不能一步到达,中间需要经过其他节点转发,这些承担转发工作的节点称为中间节点。源节点发射距离范围内的节点称为源节点的邻居节点,即是源节点一跳范围内的节点。在本文的算法中,要给每个节点建立一张类似路由表的邻居节点表。部分代码如下:

```
// 邻居节点表的行结构
class n_rtable_ent {
public:
    nsaddr_t dst; // 目的节点
    nsaddr_t negb[]; // 邻居节点(也为下一跳)
    double rxpr[]; // 接收功率
    uint metric[]; // 跳数
    ...
}

// 邻居节点表结构
class n_RoutingTable {
public:
    n_RoutingTable(); // 构造函数
    void UpdateRent( nsaddr_t dest, nsaddr_t negb, double rp, uint mc );
    ...
private:
    n_rtable_ent * rtab; // 指向邻居节点表行的指针
    ...
};
```

dst	negb[]	metric[]	rxpr[]
目的节点	邻居节点	跳数	接收功率

图 1 邻居节点表的行结构

从邻居节点表行结构及图 1 可以看出,邻居节点表每行保存的元素有:dst—目的节点地址,negb[ ]—邻居节点(保存可达对应目的地址的邻居节点),rxpr[ ]—接收功率,metric[ ]—对应的跳数。从某种意义上讲,上述的邻居节点表更像一张路由表,因为该表中包含了多条路由信息,发包时直接根据这张邻居节点表就可以查找路由信息。但表中保存了一个节点的可达目的节点的所有邻居节点,所以称为邻居节点表。

### 2.1.2 邻居节点表的维护

邻居节点表的维护类似路由表的维护,且邻居节点的信息从原来的路由包中就可提取,不需要向路由包中增加新的路由信息。表结构中的函数 UpdateRent(dest, negb, rp, mc) 用以更新邻居节点表。当节点 A 收到从节点 B 发送的一个路由更新包后,获得路由包中的目的节点地址(dst),发包节点 B 的地址,跳数(metric),并提取接收功率一起作为实参赋给函数 UpdateRent,以更新节点 A 的邻居节点表,这样就把节点 B 加到节点 A 的邻居节点表里。从上面可以看出,邻居节点

表和路由表同步更新。

### 2.1.3 多径的选择策略

Ad Hoc 网络中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,而如何合理选择路径则是至关重要的。选择路径的方法有很多,可以根据路径最短、信道状态最佳、节点剩余能量最大、业务量最小和链路状态最好最稳定等标准来选择。本文根据最佳信道状态和最短路径两个准则来设计一个混合的路径选择准则,下面先介绍一下最佳信道状态准则和最短路径准则,然后设计混合路径选择准则。

在无线网络中,传输信号的强度一般随着距离而迅速降低,一个数据包如果要使得在接收者方能正确接收,接收功率必须大于某一个接收功率阈值(threshold),所以接收功率越大能够接收到数据包的可能性就越大。又因为本文仿真中节点的发射功率设为恒定,意味着到达某个节点的信号接收功率越大,那么信号的衰减就越小,信道的状态也就越好(即信噪比越大)。本文根据这个理论基础来设计最佳信道状态准则,即源节点发送数据包时,选择两个接收功率最大的邻居节点作为下一跳,向其发包。虽然在网络层不能直接提取节点的发射功率,但可以利用跨层(cross-layer)的思想,从 MAC 层提取节点的接收功率,再通过 MAC 层和网络层的接口将其反馈回网络层,所以最佳信道准则实际上是一种跨层设计。

顾名思义,最短路径就是源节点到目的节点之间跳数最少的路径。最短路径准则是指在能够到达目的节点的邻居节点中,选择跳数最少的邻居节点作为下一跳。我们知道,DSDV 路由协议中路径的选择就是基于最短路径准则。

下面来设计一种基于最佳信道状态准则和最短路径准则的混合路径选择策略。本文选择路径的条数是两条,第一条路径按最短路径准则来选择,选出的路径一定是最短路径。第二条路径首先按最佳信道状态准则来选择,为了避免最佳信道状态准则下选出的路径跳数太大,规定如果该条路径跳数(metric)大于某个设定的阈值(算法中设定这个阈值为 5),则放弃本次选择,并仍然按最短路径准则来选择第二条路径,再选出的路径一定是次最短路径。

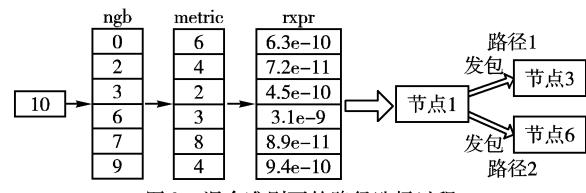


图 2 混合准则下的路径选择过程

图 2 是节点 1 向节点 10 发送数据包时混合准则下的多径选择过程。首先按照最短路径准则选择第一条路径,图 2 中跳数最小所对应的节点是 3,于是节点 1 选择节点 3 作为下一跳,向其发包;再按照最佳信道状态准则来选择第二条路径,图 2 中接收功率最大所对应的节点是 7,但该条路径的跳数是 8,大于设定的阈值 5,所以放弃本次选择,然后仍然按照最短路径准则来选择第二条路径,图中剩下的路径中,对应跳数最小的邻近节点是 6,于是节点 1 选择节点 6 作为下一跳,向其发包。这样就在节点 1 和节点 10 之间,按照上面设计的混合准则找到了两条路径。

## 2.2 多径的传输模式

一般而言,多径的传输模式有两种:中继转发重传(retransmission)和多径独立传输(individual transmission)。区别在于中继转发重传是在多径上传输相同的数据包,而多径独立传输是在多径上传输不同的数据包。本文采用两径独立传输模式,是指在两条选定的路径上同时传输两个不同的数据包。相比中继转发重传模式下在两条路径上同时传输相同的数据包,以提高网络递交率为目的,而多径独立传输模式是在两条路径上同时传输两个不同的数据包,可以提高网络的吞吐量性能。但多径独立传输模式下以增加网络的业务量为前提,会增加网络拥塞程度,在网络负载较大的情况下,不仅不能提升网络的递交率,反而会降低递交率。

## 3 仿真和算法的性能分析

### 3.1 仿真环境和仿真参数

本文基于 NS-2 仿真环境实现多径路由算法。NS(Network Simulation)是一个源代码开放的离散时间模拟器软件,其中包括 DSDV 在内的 Ad Hoc 路由协议无线模块的支持。它拥有丰富的构件库,对链路、队列、分组、节点等通用实体都进行了建模,并用对象实现了这些实体的特征和功能。

本文中仿真模拟了 50 个节点随机分布在  $1000 \times 1000\text{m}$  的正方形区域,每个节点使用 IEEE802.11 的 MAC 层协议。网络接口服从 WaveLan 无线接口规范,射频(Radio Frequency)发送功率为  $281.8\text{mW}$ ,有效传播距离为  $250\text{m}$ 。仿真中产生 cbr 数据流,每秒发送 1 个长度包长为  $512\text{Byte}$  的包。节点移动的暂停时间为 0s(即不停地移动),模拟场景的持续时间为 300s。仿真中选择节点的最大移动速度和节点间最大连接数作为研究对象。

### 3.2 仿真结果

实验 1:多径独立传输模式下,固定节点的移动速度为  $3\text{mps}$ ,节点间最大连接数从 1 变化到 17 过程中 DSDV 协议和新协议的吞吐量和递交率对比,分别如图 3、4 所示。

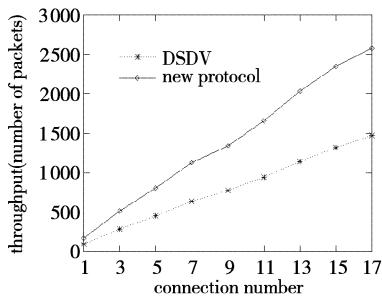


图 3 恒定节点移动速度吞吐量比较

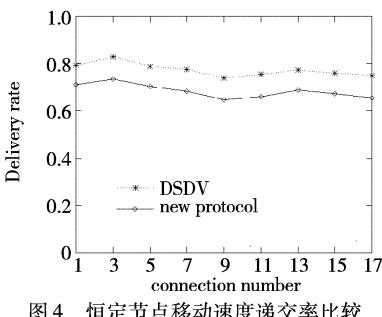


图 4 恒定节点移动速度递交率比较

实验 2:多径独立传输模式下,固定节点间的最大连接数 5,节点的移动速度从  $1\text{mps}$  变化到  $17\text{mps}$  过程中 DSDV 协议

和新协议的吞吐量和递交率对比,分别如图 5、6 所示。

### 3.3 性能分析

首先定义吞吐量和递交率两个概念,本文仿真中的数据包使用的是 cbr 流,包长恒定,模拟场景的持续时间也恒定为 300s,能正确反应协议之间性能对比的前提下,简单定义吞吐量为目的节点接收数据包的个数,递交率定义为目的节点接收数据包个数与上源节点发送数据包个数的比值。

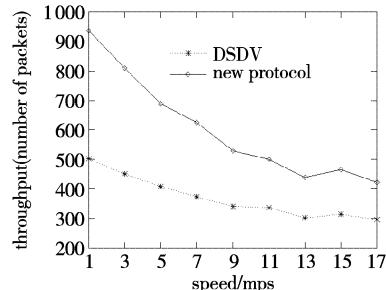


图 5 恒定节点间最大连接数吞吐量比较

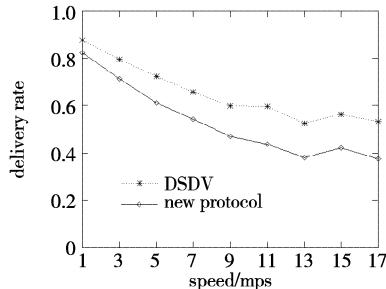


图 6 恒定节点间最大连接数递交率比较

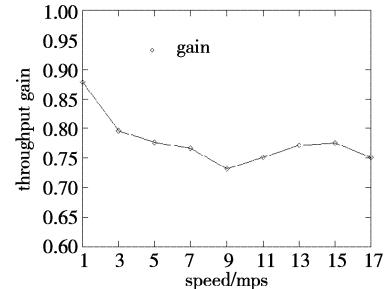


图 7 恒定节点移动速度下的吞吐量增益

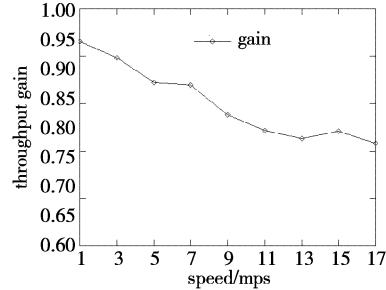


图 8 恒定最大连接数下的吞吐量增益

从图 3、5、7、8 可以看出,当新协议采用多径独立传输模式时,在两条选定的路径上同时传输两个不同的数据包,对比 DSDV 协议,更加有效地并行利用当前网络资源(链路和路由器),获得了很好的吞吐量性能增益。还可以看出,当恒定节点的最大连接数,节点的移动速度逐渐变大时,网络的吞吐量随之减小。这是因为当节点移动较快时,网络的拓扑结构变化迅速,经常会引起链路失效,导致丢包。当恒定节点的移动速度,节点间的最大连接数逐渐变大时,吞吐量随之增大,因

(下转第 2181 页)

知应用层收到数据。另外当收发双方在通讯速度上存在差异时,接收方会自动发送过载帧,在帧的发送之间提供一个延时,从而控制数据流动速度。也就是说在 CAN 总线中,物理层和数据链路层基本都可以用硬件实现,差错控制和流量控制都由硬件自动完成。因此,在 CAN 总线的应用层协议中无需再考虑数据出错情况下的控制协议,要考虑的主要的是针对于应用层的通讯控制。控制信息帧与数据帧的格式相同,所不同的是报文标识符中的帧类型为 0,数据场中的 8 字节数据是控制信息码,而不再是实际数据。数据场的控制信息采用如图 5 所示的格式。

其中控制命令码表明该控制信息帧所代表的命令含义,如新建管道连接、重发指定管道指定帧等命令;命令参数值是该命令码需要附带的一些参数,如管道被强行释放时可以由参数值指定原有通讯数据是否丢弃等;通道状态字用来存储发送方的各通道的占用状态,接收方通过比较该状态和自己存储的通道标志字可以检测哪些通道处于通讯状态,哪些通道处于死锁状态,以便及时对标志字进行修正,保证有更多的可用传输通道。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
控制命令码		命令参数值		通道状态字		预留	

图 5 控制信息帧的数据场格式

(上接第 2174 页)

为连接数变大,网络的业务量随之变大,整个网络的发包次数增多,使得吞吐量增大;但吞吐量性能增益减小,是因为网络业务量增大的同时,新协议使得网络拥塞加剧,导致丢包率上升,所以吞吐量增益会下降。

从图 4、6 可以看出,相比 DSDV 路由协议,新协议的递交率性能下降。这是因为新协议是在多径独立传输模式下,两个路径同时传输两个不同的数据包,网络业务量增大一倍,在网络负载比较大的时候,容易引起网络拥塞,导致链路失效,引起丢包。但也可以看到,新协议递交率性能下降的幅度并不大,对追求网络资源利用率,提高整个网络吞吐量的实际需求来说,是可行的。

总的来说,新协议在多径独立传输模式下,以少量的递交率性能为代价,大幅度提高了网络的吞吐量,提高网络资源的利用效率。

## 4 结语

本文提出了一种新颖的基于 DSDV 无线 Ad Hoc 网络多径路由协议。在选择路径时采用一种基于最佳信道状态准则和最短路径准则的混合路径选择准则,该准则需要用到 MAC 层的信息,涉及跨层设计;多径的传输模式采用多径独立传输模式。新协议以少量的递交率性能为代价,大幅度增加整个网络的吞吐量,提高了整个网络资源的利用率。

随着 Ad Hoc 网络的不断发展,在 Ad Hoc 网络上传送不同类型的业务的需求日益增加,对路由协议的要求也越来越高。把传统的路由协议和多路径机制结合起来,更能充分利用网络的资源,从而能有效地提高网络丢包率、时延、负载平衡等方面的性能,以满足实际中的不同需求。本文作者的下一步工作将继续考虑涉及跨层设计,采用基于几种路径选择准则的混合准则,并结合路由的独立性原理,实现新的节点独立的多径路由协议。

## 2 结语

设计的基于管道的支持多线程通讯的通讯协议,实现了监控系统中的命令和数据并行传输的问题,基于帧号和位图有效地解决了 CAN 总线本身的短帧结构给较大数据量传输所带来的弊端。这种通讯协议不仅可以用在煤矿安全监控系统中,对于其他基于现场总线的工业控制系统和监测系统都有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] 董珂,李克强,冯能莲,等. CAN 总线技术及其在混合动力电动车上的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版),2003,43(8):1130-1133.
- [2] 黄天成,余智欣,袁学文. 一种新型的 CAN 现场总线与以太网互连方案的设计与研究[J]. 计算机工程与应用,2005,41(4):125-127.
- [3] SJA1000 stand-alone CAN controller[Z]. Philips Semiconductors application note, 1997.
- [4] 马晨普. 一种适合于铁路机车车辆适用的 CAN 协议开发[J]. 电力机车与城轨车辆,2005,28(4):17-23.
- [5] 杨飞,郑桂林. 基于 CAN 总线的监控系统设计[J]. 微计算机信息,2005,21(7):34-36.
- [6] 潘健,陈立彬,童星. 基于 CAN 总线的网络监控系统[J]. 现代电子技术,2005,28(6):70-71.

### 参考文献:

- [1] DOW CR, LIN PJ. A study of recent research trends and experimental guidelines in mobile ad-hoc network[A]. Advanced Information Networking and Applications. AINA 2005[C]. Taipei, China, 2005.
- [2] PERKINS CE, BHAGWAT P. Highly dynamic destination sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers [A]. Proceedings of the SIGOMM'94 [C], 1994. 234-244.
- [3] JOHNSON DB, MALTZ DA. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks[A]. IMIELINSKI T, KORTH H, eds, Mobile Computing[C]. Kluwer Academic, Publishers, 1996. 152-181.
- [4] PERKINS CE. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing Internet-draft [DB/OL]. <http://moment.cs.ucsb.edu/AODV/aodv.html>, 1999.
- [5] WISITPONGPHAN N, TONGUZ OK. Disjoint Multi-path Source Routing in Ad Hoc Networks: Transport Capacity[A]. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference[C], 2003. 2207-2211.
- [6] MARINA MD, DAS SR. On-Demand Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of IEEE ICCCN 99[C]. Boston, MA, 1999. 64-70.
- [7] WANG L, ZHANG LF, SHU YT, et al. Multipath Source Routing in Wireless Ad Hoc Networks[A]. proceedings of the 2000 IEEE Canadian conference on Electrical and Computer Engineering[C]. Halifax, Nova Scotia, Canada, 2000. 479-483.
- [8] LEE SJ, GERLA M. Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks[A]. Proceedings of IEEE ICC 2001[C]. Helsinki, Finland, 2001. 3201-3205.
- [9] 孙磊,葛临东. 一种节点独立的 MANET 网络多径路由协议[J]. 计算机工程与应用,2005,(1).
- [10] MAHESH KM, DAS SR. On-demand Multipath Distance Vector Routing in Ad Hoc Networks[A]. Proceedings of the 2001 IEEE Ninth International Conference on Network Protocols[C], 2001. 14-23.
- [11] 徐雷鸣,庞博,赵耀. NS 与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.