

# Ad Hoc 网络的多路由协议模型<sup>\*</sup>)

崔国华 卢社阶 陈 晶 刘志远

(华中科技大学计算机科学与技术学院 武汉 430074)

**摘 要** 在 Ad Hoc 网络中,对于不同的节点移动模式、网络规模、节点分布和节点功能分类,很难用单一路由协议使网络路由性能和路由开销达到最优。在很多实际应用场合需要考虑部分节点同时支持多种路由协议,使网络路由协议的选择更加灵活、效率更高。基于已有的具体路由协议的更高层次,本文提出了一种 Ad Hoc 网络的多路由协议模型 MRM,用它实现一个多种路由协议可以同时运行的平台,这种模型使 Ad Hoc 网络在选择路由协议时具有更大的灵活性。为了清晰准确地表述这种路由模型的工作原理,本文引入了 DFA (Deterministic Finite Automaton) 工具对其进行描述,对比仿真数据,分析了采用 MRM 模型后对网络性能带来的影响。

**关键词** 通信技术,多路由协议平台,Ad Hoc,路由协议

## A Multi-routing Model for Wireless Ad Hoc Networks

CUI Guo-Hua LU She-Jie CHEN Jing LIU Zhi-Yuan

(Department of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** In wireless Ad Hoc networks, it is usually difficult to optimize the assignment of network router resources using a single type of routing protocol due to the differences in network scale, node moving mode, distribution and function. Therefore, in practice it is desirable that some nodes can support multiple routing protocols simultaneously so that there is more flexibility to choose one that works efficiently. Here we present a multiple routing model (MRM) for Ad hoc networks based on the higher level of current routing protocols for this purpose. Deterministic finite automation (DFA) was adopted to facilitate the description of the realization process of this model. Our simulation results demonstrate the applicability of the proposed model and its improvement on network performance.

**Keywords** Communication technology, Multi-routing protocol platform, Ad Hoc networks, Routing protocol

## 1 引言

无线 Ad Hoc 网络是随着无线通信技术的快速发展而出现的一种新型网络,具有机动性、快捷性等特点,在军事战术通信、应急通信、协同移动通信、无线接入系统和传感网络等领域得到广泛应用。在 Ad Hoc 网络中,每个节点兼有主机和路由两种功能。由于无线信道变化的不规则性,节点的移动、加入、退出等都引起网络拓扑结构的变化。路由协议的作用就是在这种环境中,适应网络拓扑结构变化,交换路由信息,定位目的节点位置,产生、维护和选择路由,并根据选择的路由转发数据,提供网络的连通性。它是移动节点相互通信的基础。

Ad Hoc 网络中节点的移动行为,有三种典型的移动模式:(1)随机移动模式<sup>[1]</sup>,节点以任意速度和方向移动,具有无记忆性和自由移动的特点;(2)随机间隙移动模式<sup>[2]</sup>,节点朝一个任意目的地运动,伴有周期性的停顿;(3)组移动模式<sup>[3]</sup>,考虑了若干移动行为相似的节点形成一个组,以组逻辑中心的行为来代表组移动行为。基于不同的移动模式和实际应用,可以采用不同的路由协议,以使路由性能和开销最优。目前 Ad Hoc 网络中的路由协议一般按形成路由的时机不同分为预选型和随选型两种,预选型路由协议一般采用表驱动方

式,每个节点都有一张完整的路由表,路由表需要频繁地更新以适应网络拓扑结构的动态变化。其优点在于节点发送数据的时延小,但由于频繁交换的路由信息中有很大部分并非发送数据所需,因此会浪费宝贵的通信带宽。如 DSDV<sup>[4]</sup>、WRP<sup>[5]</sup>、FSR<sup>[6]</sup>和 OLSR<sup>[7]</sup>等路由协议就属于此类;随选型路由协议并不事先生成路由,而是在源节点需要时才这样做,一般分为路由发现和路由维护两个过程,这种路由协议虽然会增加数据分组,因为等待路由建立产生的延时,但由于协议无需周期性地交换路由信息,节省了通信带宽。这类路由协议典型的有 AODV<sup>[8]</sup>、DSR<sup>[9]</sup>、TORA<sup>[10]</sup>等。不同的路由协议将网络看成不同的结构,实现不同的性能特点,适用于不同应用场合。

本文第 2 部分根据路由协议形成的网络结构不同,将现有路由协议分成平面型和层次型两种模型,并分析了它们各自的特点,指出了在实际应用中各自的局限性。第 3 部分结合一种 Ad Hoc 网络的实际应用,利用现有两种路由模型,均不能得到最优的路由性能,提出了一种多路由模型 MRM,使 Ad Hoc 网络的路由协议选择变得更加灵活。第 4 部分描述了实现这种模型的平台路由协议框架。在第 5 部分给出了仿真实验结果及其分析。最后,总结了 MRM 模型的意义,并指出了今后的研究方向。

<sup>\*</sup>)国家自然科学基金(60403027)。崔国华 博士生导师,主要研究领域为信息安全、网络安全和密码学;卢社阶 博士研究生,主要研究领域为无线网络安全与路由协议安全与仿真;陈 晶 博士研究生,研究方向无线网络安全、路由协议安全及仿真;刘志远 博士研究生,研究方向无线安全、路由协议安全。

## 2 现有 Ad Hoc 网络的路由协议模型

路由协议模型是由节点功能分布和节点路由行为所决定的。路由协议可用 DFA<sup>[11]</sup> 来进行描述,具体地说,某个节点的路由状态机描述了在路由发现和路由维护过程中节点的路由状态变化和行为规范。因而本文将路由协议模型形式化表述为一个二元组集合  $\{(N_i, M_j)\}$ , 其中  $N_i$  表示网络中的节点  $i$ ;  $M_j$  是节点  $i$  所对应的一个路由状态机,用来表示节点在特定路由协议下的路由状态置换及相应行为方式。对于单一路由协议的 Ad Hoc 网络,本文把现有 Ad Hoc 网络的路由模型分成平面型路由模型和层次型路由模型。

### 2.1 平面型路由模型

在这种模型中,系统中所有节点在任何时刻完全对等,在路由的产生和维护过程中充当着相同的角色,并且在整个通信过程中,节点的路由状态及行为规范是完全相同的,不会随运行环境的变化而变化,即节点的路由状态变化规则是完全固定不变的,节点  $N_i$  所对应的路由状态机  $M_j$  是相同的。

典型地,以按需路由协议 AODV 构建的网络为例。将其模型抽象出来,可以表述为:对于  $\forall N_i \in N$  ( $N$  是全体节点集合),它所对应的路由协议状态机  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ,  $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\}$ ,  $\Sigma = \{P, T, req, rep, err\}$ , 其中  $q_0$  表示初始状态,  $q_1$  表示收到一个路由分组,  $q_2$  表示收到路由请求包,  $q_3$  表示收到路由回复包,  $q_4$  表示收到路由错误包,  $q_5$  表示系统定时时间间隔到。  $P$  表示输入数据包,  $T$  表示输入定时器时间片到,  $req, rep, err$  分别表示请求路由包、回复路由包和路由错误包, 状态转换函数  $\delta = \{\delta(q_0, P) = q_1, \delta(q_1, req) = q_2, \delta(q_1, rep) = q_3, \delta(q_1, err) = q_4, \delta(q_0, T) = q_5\}$ 。进一步地,对于状态  $q_2, q_3, q_4, q_5$ , 状态的处理可以分别使用  $M_{req}, M_{rep}, M_{err}, M_T$  进行, 其中  $M_{req}$  为处理请求路由包状态机,  $M_{rep}$  为处理回复路由包状态机,  $M_{err}$  为处理路由出错包状态机,  $M_T$  处理定时器时间间隔到状态机。对于按需路由协议,  $M_T$  不会被用到, 因为不需要定时更新路由信息和发送 Hello 报文。

在这种路由模型中,所有节点在接入网络时完全自由,真正体现了动态自组网的特点,节点没有主次之分,移动管理简单。但在这种平面结构下,由于路由消息要传播到整个网络,无线带宽的使用效率和网络的伸缩性会受到影响。当网络规模扩大时,路由开销会显著增大。

### 2.2 层次型路由模型

这种路由模型以 HSR 和 CBRP、ZRP<sup>[12,13]</sup> 等路由协议为代表,一般将节点分成不同的簇或区,在整个通信过程中,节点会在不同时刻充当不同的角色。系统中的节点按其路由过程中充当的角色不同,可以分为普通节点和网关节点或簇头节点,普通节点和簇头节点的路由状态集和路由规则是不同的。在这种结构中,每个簇有一个簇头节点,多个簇头也可以组织成一个簇,依次形成一个立体的、分层次的网络结构。以 HSR 协议构建的网络为例,这种模型将全体节点分成三个子集:普通节点集、网关节点集和簇头节点集。这三种节点所对应的路由协议的路由状态机分别为  $M_1, M_2, M_3$ 。对于  $\forall N_i \in N$ , 它所对应的路由协议状态机记为  $M_j = (Q_j, \Sigma_j, \delta_j, q_0^j, F_j)$ ,  $j \in \{1, 2, 3\}$ , 节点在网络拓扑结构不断变化的过程中,其所处的角色也会随之变化。因此,这样的系统中,除了每个节点在不同时刻会对应不同的路由状态机外,这些状态机也可作为节点的状态来构造节点路由状态机状态的状态机,记为  $M_i = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ,  $Q$  是状态机的状态的集

合,  $\Sigma$  是状态机的状态转换的输入集,  $\delta$  是状态机状态转换函数,  $q_0$  是状态机所处的初始状态,  $F$  是状态机所处的终止状态,  $F = \{M_1, M_2, M_3\}$ 。

层次型路由协议模型,网络拓扑结构的细节通过节点的层层聚合被隐藏起来,降低了大型网络的存储要求和通信载荷,路由信息分层传播,需要在全局传播的信息较少,因此具有较好的伸缩性,其不足之处是,大部分层次型结构路由协议管理比较复杂,一些节点,如簇头节点和网关节点比其它节点需承受更大的通信和计算载荷,因而,网络的可靠性会因为这些关键节点的处理能力受到制约。

## 3 多路由协议模型 MRP

上述的两种路由模型各具特点,适用于不同的网络环境和应用需求。在 Ad Hoc 网络的某些特定的应用中,以上两种路由模型可能并不适用。本文提出一种多路由模型,将 Ad Hoc 网络节点按功能和移动特点分类,不同特点的节点选取适应该特点的路由协议,部分节点可同时支持多种不同的路由协议,多种不同的路由协议在全网同时工作。对于其中某一路由协议,网络中不支持该路由协议的其他节点作为扩充节点,起到延展路由协议串路的作用,全网节点均直接或间接参与该路由协议中,使物理上存在的串路在该路由协议的运行过程中也逻辑存在。这种路由模型,提高了 Ad Hoc 网络在路由协议选择方面的灵活性,提供了一个多路由协议共存的平台。图 1 给出多路由协议平台的结构。为了建立多路由模型的概念,3.1 节给出了要用到的几个定义,3.2 节描述了其工作原理。

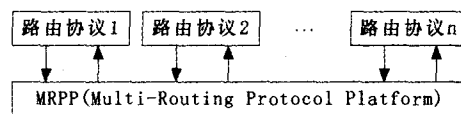


图 1 多路由协议平台

### 3.1 相邻节点、扩充节点

**定义 1** 如果节点  $N_i$  和  $N_j$  ( $i \neq j$ ) 支持相同的路由协议, 当且仅当  $N_i$  和  $N_j$  间存在一条不包含支持该种路由协议节点的无环串路时,  $N_i$  和  $N_j$  称为该路由协议下的协议相邻节点。

**定义 2** 若某种路由协议下的协议相邻节点  $N_i$  和  $N_j$  之间存在一条无环串路  $(N_i, N_{x_0}, N_{x_1}, \dots, N_{x_k}, N_j)$ , 且节点  $N_{x_0}, N_{x_1}, \dots, N_{x_k}$  均不能支持该路由协议, 则称节点  $N_{x_0}, N_{x_1}, \dots, N_{x_k}$  为协议相邻节点  $N_i$  和  $N_j$  的扩充节点。

扩充节点只作为协议相邻节点间通信的一个信道,如同中继器一样,只实现路由报文的转发,在物理上不能直接通信的协议相邻节点间建立起一条可达的通路,本身不具体实现该路由协议的任何操作,它实际上是同种路由协议串路的扩展。

**定义 3** 前向路由分组是指不包含下一跳信息的路由分组,如 Hello 报文分组,路由请求分组;后向路由分组是指包含下一跳或从源节点到目的节点全部路由信息的路由分组,如路由回复分组。

### 3.2 多路由模型

为了便于说明多路由模型的工作原理,本文以一个实际应用为例进行描述。为了完成一项任务,该任务分成两个子任务交由 Task A 组和 Task B 组独立承担,并受 Leader 组的协同指挥。此时系统中的节点有以下三个特点:

1)三组节点并不集中,而是随机、相互穿插地散布在整个活动区域内;

2)Task A 组和 Task B 组节点之间无直接数据交换需求;

3)三组不同角色的节点的移动特点明显不同。

在这种情况下,很明显,无论是采用层次路由模型还是采用平面路由模型中的哪种单一路由协议,都无法正好适应这些特点,使路由形成开销更小,效率更高。一个最为合理的办法就是让 Task A 组和 Task B 组分别采用两种不同的路由协议,使之最能适应其移动特点和组内通信需求。由于 Leader 组有与两组节点通信的要求,所以 Leader 组需同时支持这两种路由协议。这时,一个需要解决的问题是由于全部节点按两种路由协议分组后,使本来可以存在的串路失效。本文用扩充节点的概念很好地解决了这一问题。图 2 给出了多路由协议网络拓扑结构实例。

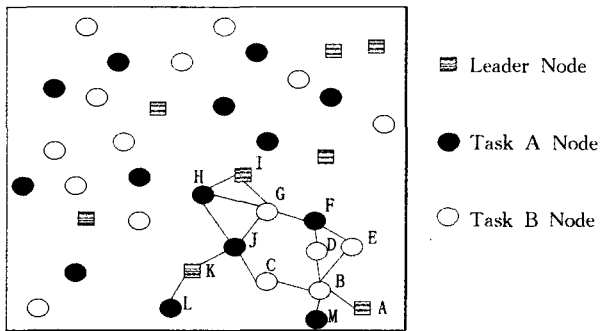


图 2 多路由协议模型网络拓扑结构实例

图 2 中,节点 M、F、J、H、L 属于 Task A 组,节点 B、C、D、E、G 属于 Task B 组,节点 I、K、A 属于 Leader 组,根据 Task A 组节点移动较快的特点,该组节点可选用 AODV 路由协议,相反,Task B 组节点选用 DSDV 路由协议,Leader 组同时支持这两种路由协议。若 Leader 组的节点 A 要和 Task A 组的节点 H 通信,由于节点 B、C、D、E 均不有支持 AODV 协议,因而在节点 A 和 H 间不存在逻辑上可达的串路。但当把节点 B、C、D、E 当作扩充节点,让其如同中继器一样转发其所不支持的 AODV 路由协议的报文,则节点 M、F、J 均成为节点 A 的协议相邻节点。节点 A 发路由请求报文,该请求报文经扩充节点 B、C 的转发到达节点 J, J 按 AODV 协议处理该请求报文,最后节点 H 收到请求报文,并回复该路由请求,需说明的是,此处存在多条路由,具体形成哪条路由,与路由请求报文到达各节点的次序有关,具体规则见 4.2。

扩充节点的行为方式,简单地说就是进行路由分组的转发。它能看到并修改路由分组中的公有信息部分,根据该部分信息,区分该包为前向路由包还是回应路由包,若是前向包,则将自己加入到所经过的扩充节点序列中,然后广播。若是后向包,则取出下一跳,并将下一跳节点从回应路由包节点序列中删除,然后将该包转发到下一跳。

#### 4 MRM 模型的多路由平台协议 MRPP (Multi-Routing Platform Protocol)

##### 4.1 MRPP 路由分组格式

为了实现 MRM 模型,需要使所有节点都能识别一组路由分组的公共信息,在原有路由报文的报头加上统一的信息,这些新加入的信息将是多路由协议工作的依据。为了支持多

种路由协议同时工作,将多路由平台的路由报文格式定义为 [MR\_ID, Fw\_Bw, HPs, H(RP), MRH\_LEN, HL, RP], 其中,MR\_ID 是路由协议的标识符,用以区分不同路由协议; Fw\_Bw 用以标识一个路由分组是前向分组还是后向分组,0 表示前向分组,1 表示后向分组;HPs 是从一个节点到该协议相邻节点允许经过的扩充节点的个数,每经过一个扩充节点,该数目减 1,用以避免路由分组在扩充节点构成的环路中的无限传递;H(RP)是对某种路由协议的原始路由分组进行 Hash 运算后所得的函数值,该值在每个收到该分组的节点中缓存,用以判断该分组是否曾被收到过,即本节点在某时段内是否收到过该分组,由此判断该路由分组是否是新鲜的,以避免路由报文的重放。MRH\_LEN 是添加在原始路由报文前的报头长度,依此可提取原始报文和新添加的报头;HL 是一个扩充节点表,即报文在两个协议相邻节点之间所经过的不支持该路由协议的节点表,对于前向分组,其中保存的是从一个支持某种路由协议的节点到其协议相邻节点已经经过的扩充节点序列,每经过一个扩充节点,该节点将自己添加进该列表。由此可以在相邻节点中建立一个协议相邻节点-扩充节点表。例如图 4 中 F 点和 J 点,可得到一个节点 F 和点 J 的协议相邻节点-扩充节点表,如表 1 和表 2 所示。对于后向分组,HL 中保存的是从本节点到该路由分组的协议相邻节点所需经过的扩充节点序列,每经过一个扩充节点,该节点将自己从列表中删除;RP 是某种路由协议的原始路由报文。

表 1 F 点的协议相邻节点-扩充节点表

邻节点	扩充节点
M	D, B
A	D, B
J	G
H	G
I	G

表 2 J 点的协议相邻节点-扩充节点表

邻节点	扩充节点
H	—
I	G
F	G
A	C, B
M	C, B
K	—

##### 4.2 MRPP 路由报文的处理

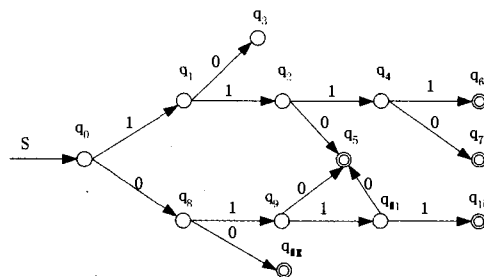


图 3 MRPP 的状态转换图

有了上面的报文格式,当一个节点收到一个 MRM 路由报文后,就可以根据收到的报头所提供的信息,进行路由报文的处理了。其处理过程可用 DFA 工具进行清晰描述。定义

$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ ,  $Q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8, q_9, q_{10}, q_{11}, q_{12}\}$ ,  $\Sigma = \{0, 1\}$ , 其中 1 表示逻辑值真, 0 表示逻辑值假。  $\delta = \{\delta(q_0, 0) = q_8, \delta(q_0, 1) = q_1, \delta(q_1, 0) = q_3, \delta(q_1, 1) = q_2, \delta(q_2, 0) = q_5, \delta(q_2, 1) = q_4, \delta(q_4, 1) = q_6, \delta(q_4, 0) = q_7, \delta(q_8, 0) = q_{10}, \delta(q_8, 1) = q_9, \delta(q_9, 0) = q_5, \delta(q_9, 1) = q_{11}, \delta(q_{11}, 0) = q_5, \delta(q_{11}, 1) = q_{12}\}$ ,  $F = \{q_3, q_5, q_6, q_7, q_{10}, q_{12}\}$ 。 MRM 平台协议的状态转换图如图 3 所示。

0) =  $q_5$ ,  $\delta(q_{11}, 1) = q_{12}$ ,  $F = \{q_3, q_5, q_6, q_7, q_{10}, q_{12}\}$ 。 MRM 平台协议的状态转换图如图 3 所示。

图 3 中, 各种不同路由由状态的意义和在该状态下路由协议应完成的动作如表 3。

表 3 MRPP 中状态的含义及动作表

状态	意义	处理规则
$q_0$	节点收到一个 MRM 路由包	取出 MR_ID, 判断本节点是否支持该路由协议
$q_1$	节点支持 MR_ID 所指定的路由协议	取出 Fw_Bw, 判断是否是前向包
$q_2$	路由分组为前向分组	取出 H(RP), 查节点缓存的原始路由包 Hash 函数值列表, 判断该原始路由包是否新鲜
$q_3$	路由分组为后向分组	从 HL 中删除本节点, 根据 HL 转发分组至下一跳
$q_4$	路由分组为新鲜分组	取出 H(RP) 值放入缓存列表, 取出 HPs, 更新本节点的协议相邻节点-扩充节点表。打开 RP 原始路由报文, 按原始路由协议作相应处理。判断是否应回复路由信息
$q_5$	旧包或无需处理包	丢掉该包
$q_6$	需回复路由信息	根据本节点的协议相邻节点-扩充节点表, 封装一个后向路由包, 转发该包
$q_7$	不需回复路由信息	广播或根据协议相邻节点-扩充节点表转发下一跳
$q_8$	节点不支持 MR_ID 所指定的路由协议	取出 Fw_Bw, 判断是否是前向包
$q_9$	收到分组为路由前向包	取出 H(RP), 查节点缓存的原始路由包 Hash 函数值列表, 判断该原始路由包是否是旧包
$q_{10}$	收到分组为路由后向包	取出包头下一跳信息, 转发
$q_{11}$	路由包为新包	HPs 自减 1, 判断 HPs 是否小于 0
$q_{12}$	路由包生命周期未结束	取出 H(RP) 值放入缓存列表, 将本节点添加进 HL 中, 广播该包

程序代码过程如下:

```

if( bCanSupportProtocol( OriginalProtocol(P) ) )
if( blsForwardPacket(P) )
if( blsNewPacket( GetHashValue(P) ) )
    put H(RP) into buffer;
    get RP, process according to original protocol rules;
    if( bNeedReply )
        encapsulate a backward packet according to the
        protocol-neighbor-intermediate table, forward it;
    else
        broadcast P or forwarding P according to
        protocol-neighbor-intermediate table;
    endif
else /* is not a new packet */
    drop the packet;
endif
else /* is a backward packet */
    get the next hop information from RP;
    find the protocol-intermediate nodes from rotocolneighbor-in-
    termediate table, add them to the HL of the packet, then for-
    ward it;
endif
else /* not support the protocol */
if( blsForwardPacket(P) )
if( blsNewPacket( GetHashValue(P) ) )
    HPs--;
    if( HPs > 0 )
        put the H(RP) into buffer;
        add itself into HL, broadcast the packet;
    else
        drop the packet;
    endif
else /* is not a new packet */
    drop out the packet;
endif
else /* is a backward packet */
    delete itself from HL;
    forwarding the packet according to HL;
endif
endif
endif
    
```

其中:

OriginalProtocol(P): 从原包 P 中获取原始路由协议类型。

bCanSupportProtocol(int ProtocolID): 判断本节点是否支持 ProtocolID 所指定的路由协议。

blsForwardPacket(P): 根据包 P 中的 Fw\_Bw, 判断该包是否为前向包。

GetHashValue(P): 返回包 P 中的 H(RP) 的值。

blsNewPacket(char \* HashValue): 根据 HashValue 判断本节点的缓存中是否保存有该值, 以判断该包是否为一个新路由包。

### 4.3 路由协议的注册

由于系统中可以支持多种路由协议, 各种不同的原始路由协议在 MRM 模型支持下独立运行, 因而, 对于支持某种原始路由协议的节点, 应在 MRM 平台上注册该原始路由协议, 以使 MRM 模型可以识别并能够正确完成相应的交互。

#### (1) 注册 MR\_ID

每个节点存有一张该节点所能支持的路由协议所对应的 MR\_ID 表。当一个节点要支持某种路由协议时, 首先应将该路由协议对应的 MR\_ID 添加到 MR\_ID 表中, 当节点收到 MRPP 路由包时, 正是根据这张表判断自己是否支持该包中原始路由 RP 包路由协议的。

#### (2) 注册路由状态处理函数

每个路由协议, 都把节点分成不同的路由状态, 对于不同的路由状态  $q_i \in Q$ , 都有一个该状态的处理函数对其进行处理, 因而要添加一个路由协议到某个节点, 需为该协议的每个路由状态注册路由状态处理函数。

#### (3) 注册回调函数

有些状态处理函数完成协议的处理后, 需要将处理完成后的结果通知多路由协议平台, 由 MRPP 作进一步的相应处理。这就需要 MRPP 底层的功能函数作为参数传给状态处理函数。即实现对 MRPP 底层函数的回调。并不是每个路由状态处理函数完成协议的处理后, 都需要做这样的回调动作, 但为了使状态处理函数接口实现接口的统一, 给每个路由状态处理函数添加一个函数指针作为参数。

完成上述的注册工作并实现相应的回调函数功能, 一个节点就可以支持该原始路由协议了。

## 5 仿真实验及结果分析

实验平台为 Pentium II 800MHz, 256MB RAM, 使用的

操作系统是 Linux 2.4.18,网络仿真平台是 ns2.28(network simulator version2.28)。仿真中,系统中所建连接从某随机时间开始以 2packets/s 的速度发送长度为 512B 的包,节点运动范围为 1200m × 1200m。全体节点按角色分成三组: Leader 组固定为 5 个节点,最大移动速度为 50m/s,间歇时间为 25s; Task A 组节点最大移动速度为 45m/s,间歇时间为 0s; Task B 组节点最大移动速度为 5m/s,间歇时间为 0s。

图 4 给出了 Leader 组+Task A 组节点采用 AODV 路由协议时数据传输速率和 Leader 组+Task B 组节点采用 DSDV 路由协议时数据传输速率,Task A 组和 Task B 组成员分别取 5、10、15、20、25、30。图 5 给出了网络全部节点分别采用 AODV 和 DSDV 路由协议及采用本文所提出的多路由平台上 Leader 组支持多种路由协议(此处同时支持 AODV 协议和 DSDV 协议),Task A 组和 Task B 组节点分别采用 AODV 和 DSDV 路由协议,每组节点数同时取为 5、10、15、20、25、30 个时的数据传输速率。

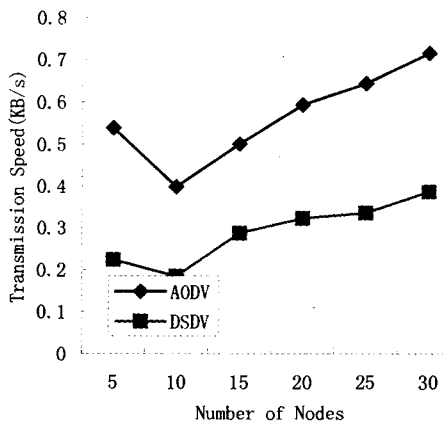


图 4 Task A、Task B 独立路由传输速率

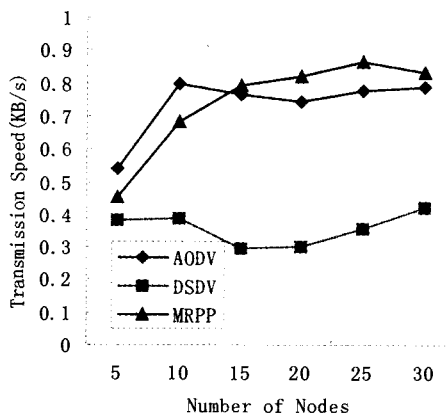


图 5 全部节点共同参与路由时的传输速率

图 6 和图 7 给出了对应于图 4 和图 5 运行状况的丢包率。通过图 4 和图 5、图 6 和图 7 的对比可以看出,全体节点同时参与路由时的传输速率较部分节点形成路由时的数据传输速率要高,尤其当系统中每组节点均较少时更为明显。分析原因:(1)当 Leader 组+Task A 组、Leader 组+Task B 组分别形成路由时,当节点数较少时,由于没有借助扩充节点,形成信息孤岛,丢包严重,数据传输速率低。(2)当全体节点均参与路由时,起初 AODV 协议性能更优,这是因为节点数较少,全体节点用 AODV 协议时路由开销对速度影响并不明

显。然而随着节点的增加,AODV 协议对包的处理过程开始迅速变得复杂,路由信息所占用的网络带宽和处理负荷明显增加,而部分节点采用 AODV 协议,部分节点采用 DSDV 协议的 MRM 模型开始表现出其优越性。因为不同特点的节点,依据其特点采用不同的路由协议,使同种路由协议的网络规模变小,路由开销相应变小,从而效率更优。

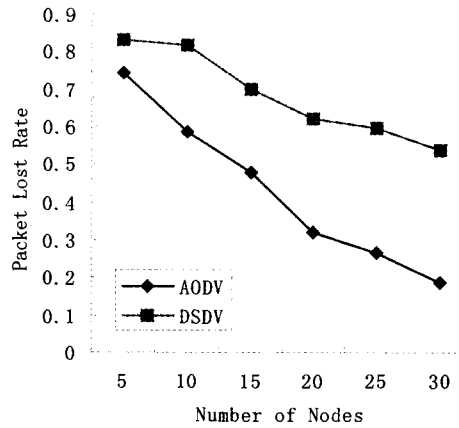


图 6 Task A、Task B 独立路由丢包率

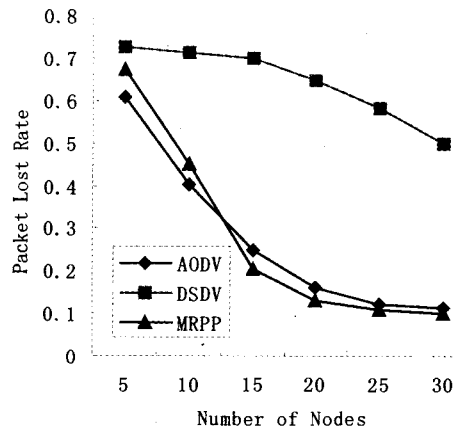


图 7 全部节点共同参与路由时丢包率

总的来说,仿真结果表明,当网络规模较大时,在 MRM 平台上对不同移动模式的节点组采用相对较优的路由协议,利用扩充节点作为链路的延伸,所得到的数据传输速率和丢包率均优于系统不同节点组采用不同路由协议但不借助扩充节点或全体节点采用同一种路由协议时系统所得到的相同指标。

**结论** 本文基于各种具体路由协议的更高层次,提出了一种 Ad Hoc 网络的多路由协议模型,给出了该模型的运行结构和具体实现方法,并结合实际应用,进行了仿真实验,实验结果表明该多路由模型是切实可行的,且能够更灵活地实现某些特定场合下的路由功能,使 Ad Hoc 网络在路由协议选择方面变得更加灵活。目前在 Ad Hoc 网络实际应用的路由协议中,都必须考虑协议的安全性。本文所提出的多路由协议平台是基于理想的网络环境,每个节点均按理想的行为方式操作,未考虑恶意节点的存在,在实际应用中是不真实的。鉴于此,下一步的工作是从安全的角度出发,将该模型完善成一个安全可靠的、实用的多路由协议平台。

参考文献

1 Davies V. Evaluating mobility models within an ad hoc network. Colorado School of Mines, Golden, CO, USA, 2000

- 2 Johnson D, Maltz D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In: Imelinsky T, Korth H, eds. *Mobile Computing*. Netherland: Kluwer Academic Publishers, 1996. 153~181
- 3 Hong X, Gerla M, Pei G, et al. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In: *Proc. of ACM-IEEE MSWiM*, Seattle WA, 1999. 53~60
- 4 Perkins C, Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers. In: *The ACM SIGCOMM Conf. on Communications Architectures*, London, 1994
- 5 Garcia-Luna-Aceves M S. An efficient routing protocol for wireless networks. *ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications (Special Issue on Routing in Mobile Communications Networks)*, 1996, 1 (2): 183~197
- 6 Pei G, Gerla M, Chen T W. Fisheye state routing: A routing scheme for ad hoc wireless networks. In: *The IEEE Int'l Conf. on Communications (ICC)*, New Orleans, LA, 2000
- 7 Clausen T, Jacquet P, Laouiti A, et al. Optimized link state routing protocol for ad hoc networks. In: *IEEE INMIC*, Pakistan, 2001
- 8 Perkins C, Royer E. Ad-hoc on-demand distance vector routing. In: *Mobile Computing Systems and Applications*, 1999. *Proceedings. WMCSA'99. Second IEEE Workshop*, 1999. 90~100
- 9 Johnson D B, Maltz D A. *Dynamic source routing in ad hoc wireless networks*. In: *Mobile Computing*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 1996. 153~181
- 10 Park V D, Corson M S. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks. In: *The IEEE Conf. on Computer Communications (IN FOCOM)*, Kobe, 1997
- 11 蒋宗礼,姜守旭. *形式语言与自动机理论*. 北京: 清华大学出版社, 2003
- 12 Pearlman M R, Haas Z J. Determining the optimal configuration for the zone routing protocol. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (Special Issue on Wireless Ad Hoc Networks)*, 1999, 17 (8): 1395~1414
- 13 Hass Z J. A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks. In: *IEEE Int'l Conf. on Universal Personal Communications (ICU PC'97)*, San Diego, 1997

(上接第 26 页)

起信息传输的循环,使得性能下降。

目前的跨层设计的方法有许多,不同的跨层设计方法对应着不同的网络应用,如何统一跨层设计中层与层之间的交互界面和设计框架,以及不同的跨层设计如何互联互通也是我们面临的难题。此外,针对不同的网络应用,裁剪相应的跨层方法,满足用户的要求,减轻开发的压力也是我们需要解决的问题。

传统的网络体系结构协议栈不同层之间相对独立,便于标准化和配置。而跨层设计结构主要通过增加协议栈中不同协议层的直接通信,共享有效信息来提高网络性能,需要协议栈内部不同层之间的相互作用。这两种结构的互联互通面临着巨大的挑战。因此,设计具有弹性的松散耦合的跨层设计结构,在保持传统网络各层相对独立性的同时,优化网络的性能是未来的发展方向。

**结束语** 随着 Ad hoc 无线网络技术的发展,跨层设计越来越受到人们的重视。跨层设计是 Ad hoc 无线网络的重要研究课题,通过跨层设计能较好地克服 Ad hoc 无线网络无中心控制节点、网络拓扑快速变化、节点资源和网络带宽受限等问题带来的影响,提高网络的性能。

本文探讨了跨层设计的定义、原因及优势,并将现有的跨层设计进行了分类和比较,指出了今后的跨层设计方向是设计具有松散耦合的跨层结构。

### 参 考 文 献

- 1 Chlamtac I, Conti M, Liu J. Mobile Ad Hoc Networking: Imperatives and Challenges [J]. *Ad Hoc Networks*, 2003, 1(1): 13~64
- 2 Corson M S, Macker J P, Cirincione G H. Internet-based Mobile Ad Hoc Networking [J]. *IEEE Internet Computing*, 1999, 3(4): 63~70
- 3 Goldsmith A J, Wicker S B. Design challenges for energy constrained Ad Hoc wireless networks [J]. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 2002, 8~27
- 4 Conti M, Maselli G, Turi G, Giordano S. Cross-layering in mobile ad hoc network design [J]. *IEEE Computer special issue on ad hoc networks*, February 2004
- 5 Shakkottai S, Rappaport T S, Karlsson P C. Cross-layer Design for Wireless Networks [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(10): 74~80
- 6 ElBatt T, Ephremides A. Joint Scheduling and Power Control for Wireless Ad-hoc Networks [J]. *IEEE Transaction on wireless communications*, 2004, 3(1): 74~85
- 7 Toumpis S, Goldsmith A J. Performance, optimization, and cross-layer design of media access protocols for wireless Ad hoc networks [J]. *IEEE ICC*, 2003, 3: 2234~2240
- 8 Tanenbaum A S. *Computer Networks (Third Edition)*. Prentice Hall International, Inc. 1996
- 9 Conti M, Crowcroft J, Maselli G, Turi G. A Modular Cross-layer Architecture for Ad hoc Networks. In: Jie Wu, ed. *Handbook on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc Wireless, and Peer-to-Peer Networks*. CRC Press LLC, 2004
- 10 Radunovic B, Boudec J Y L. Joint scheduling, power control and routing in symmetric, one-dimensional, multi-hop wireless networks [J]. *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt)*, 2003
- 11 Crowcroft J. Is layering Harmful? [J]. *IEEE Network Magazine*, 1992, 6(1): 22~24
- 12 Tsatsanis M K, Zhang R, Banerjee S. Network-assisted diversity for random access wireless networks [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2000
- 13 So J, Vaidya N. Multi-channel MAC for ad hoc networks; Handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver [C]. In: *Proceedings of ACM MOBIHOC*, 2004
- 14 Cao Min, Raghunathan V, Kumar P R. Cross-Layer Exploitation of MAC Layer Diversity in Wireless Networks submitted to ACM MOBIHOC, 2006
- 15 Xu Y, Heideman, Esten D. Adaptive energy-conserving routings for multihop ad hoc networks; USC Informatics Sciences Institute. Research Re@527. October 2003. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/johh/PAPER/SIXu00a.html>
- 16 Setton E, Yoo T, Zhu Xiaoqing, Goldsmith A, Girod B. Cross-Layer Design of Ad Hoc Networks For Real-time Video Streaming [J]. *IEEE Wireless Communications*. August 2005. 59~65
- 17 Xylomenos G, Polyzos G C. Quality of service support over multi service wireless internet links [J]. *Computer Networks*, 2001, 37 (5): 601~171
- 18 Kliazovich D, Granelli F. Cross-Layer Congestion Control in Multi-hop Wireless Local Area Networks [C]. In: *First International Conference on Wireless Internet (WICON'05)*, 164~171
- 19 Ho W, Lee Y H, Andersen T D. A Simple and Effective Cross Layer Networking System for Mobile Ad Hoc Networks [C]. *PIMRC*, 2002. 1952~1957
- 20 Li Yun, Ephremides A. Joint Scheduling, Power Control, and Routing Algorithm for Ad-Hoc Wireless Networks [C]. In: *Proceedings of the 38th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2005
- 21 Chiang M. To Layer or Not to Layer: Balancing Transport and Physical Layers in Wireless Multihop Networks [C]. In: *Proc. of Infocom*, March 2004
- 22 Chiang M. Balancing transport and physical layers in wireless multihop networks; Jointly optimal congestion control and power control [J]. *IEEE J. Sel. Areas Commun*, 2005, 23(1): 104~116
- 23 Lin X, Shroff N B, Srikant R. A tutorial on cross-layer optimization in wireless networks [J]. *IEEE J. Sel. Areas Commun*, 2006, 24(8): 1452~1463
- 24 Kawadia V, Kumar P R. A Cautionary Perspective on Cross Layer Design [J]. *IEEE Wireless Commun*, 2005, 12(1): 3~11