

# 基于拓扑维护的自适应多信道 Ad Hoc 路由协议<sup>\*</sup>)

任智 郭伟 周懿

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**摘要** 提出了无线移动 Ad hoc 网中一种基于拓扑维护的自适应多信道路由协议: MOLSR-TM, 该协议把拓扑维护状况感知和自适应控制算法引入 OLSR 以调整 HELLO 消息的发送频率和邻居记录表、拓扑记录表的刷新频率, 从而增强节点掌握网络拓扑的能力, 改善路由表项不全导致的分组寻路失败问题。性能分析和仿真结果表明: MOLSR-TM 能改善节点的拓扑维护状况, 增强动态拓扑适应能力, 提高数据成功率、端到端时延和网络吞吐率等性能。

**关键词** 无线移动 Ad hoc 网, OLSR, 多信道, 自适应, 拓扑维护

## An Adaptive Multichannel Ad Hoc Routing Protocol Based on Topology Maintenance

REN Zhi GUO Wei ZHOU Yi

(National Key Laboratory of Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** MOLSR-TM, an adaptive multichannel routing protocol based on topology maintenance is presented in this article. It introduces the perceiving of topology maintenance and an adaptive control algorithm into OLSR to adjust the transmitting frequency of control messages and the refresh rate of the neighbor table and the topology table. So that nodes can grasp network topology more accurately and the lost packets can be decreased. Performance analysis and simulation results show that MOLSR-TM can not only improve the status of topology maintenance and the ability of adapting the dynamic topology, but also improve the network performances, such as increasing the packet delivery rate and network throughput and reducing the end-to-end delay.

**Keywords** Wireless mobile ad hoc network, OLSR, Multiple channels, Self-adapting, Topology maintenance

## 1 引言

无线移动 Ad hoc 网<sup>[1]</sup> (WMANET; Wireless Mobile Ad hoc Network) 是由一组带有无线收发装置、既作主机又作路由器的网络节点通过无线链路连接而形成的一个多跳的临时性自治系统。在无线移动 Ad hoc 网中, 节点可以随机移动和任意组织, 因而网络拓扑会迅速和不可预料地变化。无线移动 Ad hoc 网可以作为一个独立的网络运行, 也可以作为子网接入到 Internet。

无线移动 Ad hoc 网具有多跳、动态拓扑、资源受限制等特点, 给路由协议的设计带来了特殊困难, 已有的有线网路由协议如 (RIP 和 OSPF) 因为无法适应动态拓扑而不能直接用于无线移动 Ad hoc 网。人们经过多年研究提出了许多可用于无线移动 Ad hoc 网的路由协议, 根据路由发现策略的不同, 主要分为周期性更新拓扑信息的先应式路由协议和根据需要来寻找路由的反应式路由协议两大类。下文将要介绍 OLSR<sup>[2]</sup> 就是一种采用链路状态机制的先应式路由协议<sup>[3]</sup>。

## 2 MOLSR 路由协议原理

### 2.1 OLSR

OLSR (Optimized Link State Routing) 是 IETF MANET 工作组确定为 RFC<sup>[4]</sup> 标准的一种先应式路由协议, 它在传统的链路状态路由协议的基础上改进而成。由于链路状态协议中的节点需要通过周期性的广播来交换各种控制信息并采取分布式计算来更新和建立自己的网络拓扑图, 而周期性的广

播会产生大量的控制开销, 因此, 为了减少这种开销, OLSR 缩减了链路状态更新消息分组的尺寸并采用了多点中继 MPR<sup>[5]</sup> (Multipoint Relay) 技术把链路状态更新消息的转发行动限制在部分邻居节点中进行。它对于传统 LS 协议的改进主要体现在以下两方面: 第一, 链路状态更新分组只包含某节点的邻居节点的一个子集; 第二, 从邻居节点中选出部分节点作为 MPR, 只有 MPR 节点才会转发链路状态更新分组 (如图 1)。OLSR 采用上述两种方法可以明显减少网络的广播开销, 适合节点密度大的无线移动 Ad hoc 网。

在 OLSR 中, 节点需要周期性发送 HELLO 控制消息。HELLO 消息用于侦听邻居节点的状态, 只在一跳的范围内广播, 不被转发。HELLO 的发送方式与协议开销紧密相关, 直接影响了协议的性能。此外, 节点所维持的邻居表和拓扑表需要定期刷新, 刷新频率的快慢也会影响协议的性能表现。

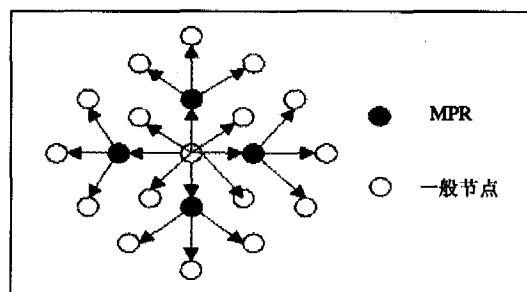


图 1 MPR 示意图

### 2.2 MOLSR: OLSR 的多信道扩展

<sup>\*</sup> 得到国家自然科学基金项目 (60472052)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目 (2004 年度) 和战术通信抗干扰技术国防科技重点实验室基金项目 (51434020105ZS04) 资助。任智 在读博士研究生, 研究方向为: 移动 Ad Hoc 网结构体系与路由算法及协议; 郭伟 教授、副院长, 博士生导师; 周懿 硕士研究生, 研究方向为: 移动 Ad Hoc 网路由协议。

目前广为接受的 MAC 层协议 IEEE802.11 以单信道模型为工作基础。当移动节点数增加时,网络中的竞争和碰撞也会随着增加,这将导致网络吞吐率的下降和时延的增大。多信道是应对此问题的方法之一<sup>[6]</sup>。多信道方式可以通过同时传输提高网络吞吐率,而且数据分组在等待所需带宽时不必局限于某个信道,因此时延也会减小。物理层无线收发技术的发展已使多个相对独立的信道同时工作成为现实,多信道收发将成为未来无线网络通信中的一种重要方式。因此,我们把工作于单信道的 OLSR 扩展为工作在 8 个相对独立的信道上的 MOLSRL (Multichannel OLSR),并为 MOLSRL 设计了如下的信道选择算法:选择之前统计所有信道的剩余带宽;剩余带宽大的信道优先;剩余带宽相等的情况下,随机选取。

### 3 MOLSRL-TM 路由协议

#### 3.1 原理

MOLSRL 通过多信道扩展提高了吞吐率,减小了分组时延,但它适应动态拓扑的能力仍然有限,具体表现为会出现节点的拓扑表和路由表项不全的现象。针对这个问题,我们把拓扑维护状况感知和自适应算法引入 MOLSRL,提出了 MOLSRL-TM (Multichannel Optimized Link State Routing Based on Topology Maintenance)。

MOLSRL-TM 的核心思想是:用路由表项的可用率作为指标来判断和感知当前节点对网络拓扑信息的维护程度(因为 OLSR 的路由表项是根据已知的网络拓扑信息运用 Dijkstra 算法得到的,故路由表项的可用程度和维护拓扑信息的优劣程度一致),并根据它自适应地调整 OLSR 中 HELLO 控制消息的发送频率和邻居表、拓扑表的刷新频率,以提高网络性能。

由于经典的 OLSR 中没有设计专门机制来感知节点内部拓扑信息的维护状况,并且 HELLO 控制消息的发送和邻居表、拓扑表的刷新使用固定的频率,节点无法根据网络拓扑的变化和自身拓扑信息的改变来调整拓扑更新操作,因此影响了节点的拓扑掌握能力。为改善这种状况,MOLSRL-TM 首先建立了拓扑维护状况的感知机制,然后打破参数值不变的常规,设计了基于拓扑维护的自适应算法,用拓扑维护状况来反向控制(状况好,则频率低,反之,则频率高)HELLO 消息的发送频率和邻居表、拓扑表的刷新频率,这些频率的改变会影响拓扑更新信息的发送与保持,进而影响到节点对拓扑信息的维护,因此在它们之间形成了一个自适应的闭环负反馈控制机制,如图 2(b)所示。在该机制作用下,节点掌握网络拓扑的能力得到提高。

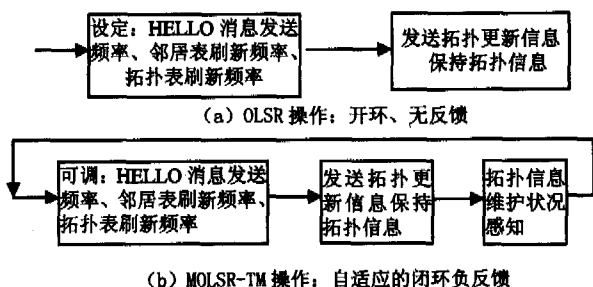


图 2 MOLSRL-TM 的自适应控制算法

在 MOLSRL-TM 中,我们确定了一个反映路由表项可用情况的指标:路由表项可用率。其定义为:

$$K = \frac{E_A}{T_N} \quad (1)$$

其中  $E_A$  表示可用的路由表项数, $T_N$  表示网络中的节点总数。

MOLSRL-TM 的自适应算法如下:

- (1) 设定 3 个值  $A_{min}$ 、 $A_{mid}$ 、 $A_{max}$  作为路由表项可用率参数  $K$  的门限, $0 < A_{min} < A_{mid} < A_{max} < 1$ ;
- (2) 设正常的 HELLO 消息发送频率为  $F_{normal}$ ,另设  $F_{fast}$ 、 $F_{faster}$ 、 $F_{fastest}$ ,  $0 < F_{normal} < F_{fast} < F_{faster} < F_{fastest}$ ;
- (3) 设邻居表正常的刷新频率为  $N_{normal}$ ,另设  $N_{fast}$ 、 $N_{faster}$ ,  $0 < N_{normal} < N_{fast} < N_{faster}$ ;
- (4) 设拓扑表正常的刷新频率为  $T_{normal}$ ,另设  $T_{fast}$ 、 $T_{faster}$ 、 $T_{fastest}$ ,  $0 < T_{normal} < T_{fast} < T_{faster} < T_{fastest}$ ;
- (5) 仿真开始  $S$  秒后启动自适应算法,每隔时间  $P$ ,重新计算一次  $K$  值;
- (6) 如果  $K > A_{max}$ ,说明节点对网络拓扑掌握良好,各种参数均使用  $normal$  值。
- (7) 如果  $A_{max} > K > A_{mid}$ ,说明掌握程度下降,使用  $F_{fast}$ 、 $N_{normal}$ 、 $T_{fast}$ ;
- (8) 如果  $A_{mid} > K > A_{min}$ ,说明掌握程度已恶化,则使用  $F_{faster}$ 、 $N_{fast}$ 、 $T_{faster}$ ;
- (9) 如果  $K < A_{min}$ ,说明掌握程度已相当差,使用  $F_{fastest}$ 、 $N_{faster}$ 、 $T_{fastest}$ 。

#### 3.2 性能分析

路由协议的性能可以从多个方面进行考察<sup>[7]</sup>。我们重点选择了以下四方面:

##### (1) 收敛性能

MOLSRL-TM 和 MOLSRL 同样采用链路-状态算法,因此收敛性能一致。如果节点掌握的网络拓扑中存在通往目的节点的路径,MOLSRL-TM 就能在有限的时间内找到它。即使不存在所求路径,MOLSRL-TM 的运算也会在有限的时间内停止。在运算过程中,不会产生环路(loop)和无穷计算问题<sup>[8]</sup>。

##### (2) 计算复杂度

由于增加了几个参数,MOLSRL-TM 的节点存储量稍有变大,但存储复杂度仍然和 MOLSRL 一样,为  $O(N)$ ;MOLSRL-TM 的控制开销会随着控制消息发送频率的加快而增加,但比起 MOLSRL 来没有质变,仍然为  $O(N)$ 。

##### (3) 网络拓扑维护的优劣程度

我们用路由表项可用率来表征节点维护其掌握的网络拓扑的优劣程度,路由表项可用率的定义请见公式(1)。MOLSRL-TM 加快控制消息的发送频率,有利于节点得到更多的网络拓扑信息,提高对拓扑的掌握程度,从而更好地维护拓扑。在公式(1)中, $E_A \uparrow$ ,  $T_N \rightarrow \Rightarrow K \uparrow$ ,说明 MOLSRL-TM 在拓扑维护方面优于 MOLSRL。

##### (4) 传输性能

###### ① 数据传送成功率 $S$

$$S = \frac{P_A}{P_T} \quad (2)$$

其中  $P_A$  表示成功到达目的地的分组数, $P_T$  表示发送的分组总数。MOLSRL-TM 能掌握更精确的网络拓扑,使可用的路由表项增加,能够为更多分组找到去往目的地的路由,因此  $P_A \uparrow$ ,  $P_T \rightarrow \Rightarrow S \uparrow$ 。

② 平均端到端时延  $D(s)$

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (rt_i - st_i) \quad (3)$$

其中  $N$  表示成功传输的分组数,  $rt$  表示分组到达目的节点的时间,  $st$  表示分组产生时间。MOLSR-TM 提高了节点掌握网络准确拓扑的能力, 可以为更多分组找到去往目的地的真实的最短路径, 因此  $\sum (rt_i - st_i) \downarrow, N \rightarrow D \downarrow$ 。

③ 吞吐率  $T$  (bit/s)

$$T = \frac{B_A}{T_S} \quad (4)$$

其中  $B_A$  表示成功到达目的地分组所包含的比特数,  $T_S$  表示有数据发送的仿真时间。相同业务模型, 相同仿真时间内, MOLSR-TM 通过促进节点对网络拓扑的掌握而使到达目的地的分组数增加,  $B_A \uparrow, P_T \rightarrow T \uparrow$ 。

4 仿真试验

为定量了解 MOLSR-TM 的性能, 我们进行了大量的仿真实验并得到了相应的结果。

4.1 仿真条件

硬件平台是奔腾 4PC 机, 操作系统是 WINDOWS2000, 仿真软件是 OPNET8.1.A<sup>[9]</sup>。

4.2 仿真参数设置

网络模型是:  $1000 \times 1000m^2$  的正方形区域内, 40 个节点随机均匀分布, 都能随机移动, 每个节点通信距离均为 300m。节点移动模型是:  $X(n+1) = X(n) + Dstep \times \cos\alpha, Y(n+1) = Y(n) + Dstep \times \sin\alpha, \alpha$  是一个在  $(0, 2\pi)$  均匀分布的随机角度,  $Dstep$  是步长, 分别等于 0m、5m、10m、15m 和 20m, 每秒移动 1 步, 对应于节点速度分别为 0m/s、5m/s、10m/s、15m/s 和 20m/s, 从仿真时间 0s 开始移动, 直到仿真结束。业务模型是: 8 packets/s, 每个分组目的地随机确定, 分组长度为 1024bit, 从仿真时间 5s 开始发送数据分组, 直到仿真结束。传输层协议为 UDP, 数据分组发出后无需确认。8 个信道相对独立地同时工作, 信道速率均为 11Mbps。每个信道的 MAC 层都采用 802.11<sup>[10]</sup> 协议, CSMA/CA 方式, 未使用 RTS/CTS 握手机制, 直接用 DATA-ACK 模式收发分组, 失败重发次数最大值为 7。物理层采用跳频方式, 工作频率 2.4GHz。

自适应算法的参数设置为:  $A_{min} = 0.96, A_{mid} = 0.98, A_{max} = 0.995, F_{normal} = 0.5s^{-1}, F_{fast} = 1s^{-1}, F_{faster} = 1.25s^{-1}, F_{fastest} = 1.67s^{-1}, N_{normal} = 0.5s^{-1}, N_{fast} = 0.83s^{-1}, N_{faster} = 1.25s^{-1}, T_{normal} = 0.125s^{-1}, T_{fast} = 0.167s^{-1}, T_{faster} = 0.278s^{-1}, T_{fastest} = 0.417s^{-1}; S = 6s, P = 3s$ 。

4.3 仿真结果及分析

(1) 数据传送成功率

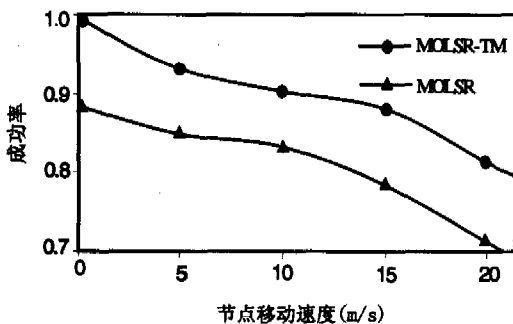


图3 数据传送成功率比较

如图 3 所示, 随着节点移动速度的增加, 两个协议的数据传送成功率都有所下降。但采用了基于拓扑维护的自适应算法后, MOLSR-TM 掌握了更精确的网络拓扑, 能够将更多的数据分组成功送达目的地, 因而数据传送成功率更高。

(2) 平均端到端时延

从 3.3 节中的公式 (3) 中得知, MOLSR-TM 在平均端到端时延的性能上优于 MOLSR, 图 4 也验证了这一点。其原因在于掌握了更精确网络拓扑的 MOLSR-TM 可为更多的分组找到去往目的地的真实的最短路径。

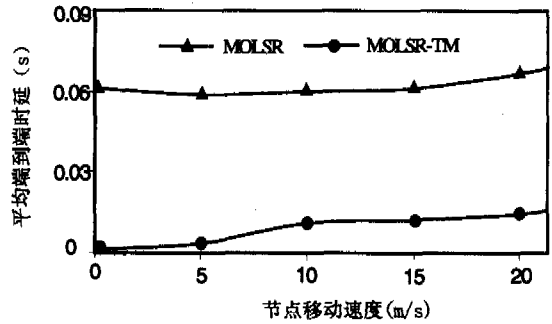


图4 平均端到端时延

(3) 吞吐率

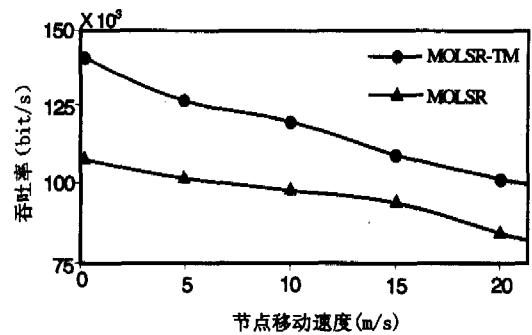


图5 吞吐率的差别

从图 5 中可以看出, 节点移动速度的增加降低了网络吞吐率; 5 种情况下 MOLSR-TM 的吞吐率均优于 MOLSR。与提高数据传送成功率同理, MOLSR-TM 通过采用自适应算法增加了到达目的地的分组数, 因此在业务模型和仿真时间相同的情况下, 吞吐率增大。

(4) 路由表项可用率

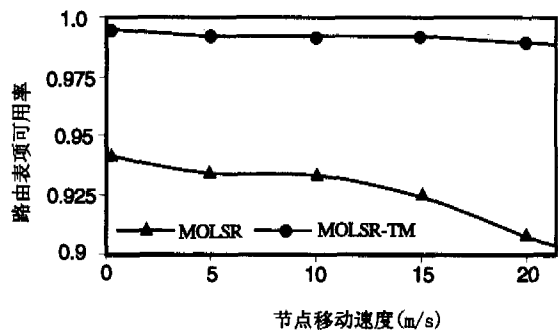


图6 路由表项可用率的不同

两个协议的路由表项可用率都很高, 它们随着节点移动速度的增加而下降, 但 MOLSR-TM 表现更优, 正如图 6 所示。MOLSR-TM 更优的原因在于其所引入的自适应算法增强了对网络拓扑的掌握和维护能力, 节点感知网络拓扑更及

(下转第 62 页)

请求后,立即访问本地 UDDI 注册中心,查询与服务请求匹配的 Web 服务,进一步从 UDDI 注册中心中得到 Web 服务的 WSDL 文档<sup>[11]</sup>。

• Monitoring agent(监控代理): 监控 Web 服务的调用,目的是根据实际得到的 Web 服务的 QoS 值来计算 Web 服务评量,将评量结果发送给 Query optimizer 的同时,存储一份拷贝在 Rating repository(评量数据库)<sup>[12, 13]</sup>。Monitoring agent 定期地访问 Web 服务,更新评量数据库中 Web 服务的评量值。

• Query optimizer(查询优化器): WS-Broker 的核心组件,根据 Web 服务预定的 QoS 值计算相对服务质量,结合其服务评量计算得到综合评估值。根据综合评估的结果选择最优的 Web 服务,返回客户端。

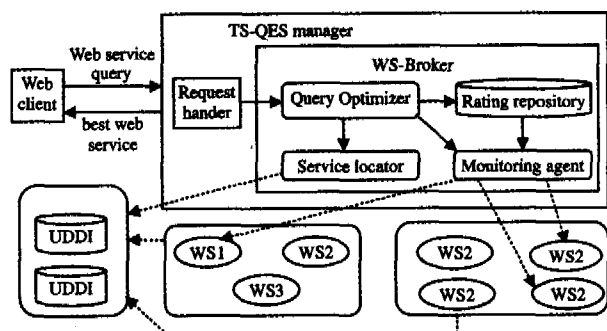


图 2 TS-QES 系统框架

客户端发送请求给 TS-QES manager, WS-Broker 采用 2.3 节中定义的质量评估算法将查询到的相匹配的 Web 服务进行评估,进一步选择正确的、最优的 Web 服务返回给客户端,由客户端完成最后的服务调用。

**结束语** 随着 Web 服务技术的成熟,电子商务应用体系从需求上对 Web 服务的质量评估提出了迫切的要求。本文讨论了 Web 服务质量属性(服务价格、执行延迟、可访问性、准确性、可信度)的概念,并结合 Web 服务评量与 Web 服务相对质量,给出了从整体上对 Web 服务质量进行综合评估

的计算方法,并且提出一个 Web 服务评估模型,根据 Web 服务质量评估算法对选定的 Web 服务进行综合评估,从中选择质量最优的 Web 服务,提供给用户。最后在具体的实现中给出一个应用系统的实例。在今后的工作中,将进一步研究从质量评估算法的角度出发,在实际应用中如何有效地提高 Web 服务的质量。

### 参考文献

- 1 Daniel A, Menasce. QoS issues in web services. *IEEE Internet Computing*, 2002. 72~75
- 2 Balke W-T, Badii. Assessing Web services quality for call-by-call outsourcing. In: Fourth Intl. Conf. on, Dec. 2003. 173~181
- 3 Kalepu, Krishnaswamy, Loke. Verity: a QoS metric for selecting Web services and providers. In: Fourth Intl. Conf. on, Dec. 2003. 131~139
- 4 Ouzzani, Bouguettaya. Efficient access to Web services. *Internet Computing*, 2004, 8(2): 34~44
- 5 Zhou-Chen, Chia, Liang-Tien. Web services discovery with DAML-QoS ontology. *International Journal of Web Services Research*, 2005. 43~66
- 6 Gouscos, Kalikakis, Georgiadis. An approach to modeling Web service QoS and provision price. In: Fourth Intl. Conf. on, Dec. 2003. 121~130
- 7 Zeng Liangzhao. QoS-aware middleware for Web services composition. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 2004. 311~327
- 8 Li-Jie, Tang Weiqing. Adding QoS to web service transaction management. In: 2004 IEEE Conf. on Cybernetics and Intelligent Systems, 2004. 1307~1312
- 9 Bilgin, Soydan, Singh. A DAML-based repository for QoS-aware semantic Web service selection. In: IEEE Intl. Conf. on Web Services, 2004. 368~375
- 10 Yoon S H, Kim D J, Han S Y. WS-QDL containing static, dynamic, and statistical factors of Web services quality. In: *Web Services*, IEEE Intl. Conf. on July 2004. 808~809
- 11 Tian, Gramm, Ritter. Efficient Selection and Monitoring of QoS-Aware Web Services with the WS-QoS Framework. In: *IEEE/WIC/ACM Intl. Conf. on*, Sept. 2004. 152~158
- 12 Yu-Tao, Lin Kwei-Jay. Service selection algorithms for web services with end-to-end QoS constraints. In: *IEEE Global Telecommunications Conf.* 2003. 3590~3595
- 13 Teixeira, Meireles M. Using adaptive priority scheduling for service differentiation QoS-aware web servers. In: *Computing and Communications Conf.* 2004. 279~285

(上接第 34 页)

时、准确,因而计算出的可用路由表项更多。

从以上仿真结果可以看出, MOLSR-TM 在多个重要性能上比 OLSR 有提高,说明它更能适应动态拓扑,究其原因在于它所采用的自适应算法增强了节点对网络拓扑的掌握能力。

**结束语** 无线移动 Ad hoc 网所具有的多跳和动态拓扑等特点为它的路由技术研究带来了挑战。多年的研究产生了大量的路由算法和协议,但在适应苛刻环境和提高网络性能等方面有待进一步提高<sup>[11]</sup>。OLSR 是较有代表性的一个先应式路由协议,本文以它为基础进行了多信道扩展和自适应控制的改进,提出了 MOLSR-TM 路由协议,并从性能分析和仿真试验等方面验证了它在适应动态拓扑能力上对 OLSR 的提升。在以后的研究中,我们将在协议开销等方面对 MOLSR-TM 作进一步的优化。

### 参考文献

- 1 IETF. Mobile ad hoc networks charter. [EB/OL]. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, 2005

- 2 Clausen T, Jacquet P, Laouiti A, et al. Optimized Link State Routing Protocol[C]. *IEEE INMIC*, Pakistan, 2001
- 3 Xiaoyan H, Kaixin X, Gerla M. Scalable routing protocols for mobile ad hoc networks[J]. *IEEE Network*, 2002, 16(4): 11~21
- 4 Jacquet P, et al. Optimized Link State Routing Protocol. RFC3626, IETF MANET Working Group, 2003
- 5 Qayyum A, Viennot L, Laouiti A. Multipoint relaying: An efficient technique for flooding in mobile wireless networks[C]. 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2001
- 6 Zhang L, Soong B, Xiao W. A new multichannel MAC protocol for ad hoc networks based on two-phase coding with power control (TPCPC)[C]. *Information, Communications and Signal Processing*, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia, 2003. 1091~1095
- 7 Corson S, Macker J. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. RFC 2501, 1999
- 8 Tanenbaum A. *Computer Networks (Third Edition)*. Prentice Hall: 272~273
- 9 Xinjie C. Network simulations with OPNET [C]. *Simulation Conference Proceedings*, 1999. 307~314
- 10 ANSI/IEEE Std 802.11b, 1999 Edition [S]
- 11 Ramanathan, Redi J. A Brief Overview of Ad Hoc Networks, Challenges and Directions [J]. *IEEE Communications Magazine*, 50<sup>th</sup> Anniversary Commemorative Issue, 2002