

## 移动Ad Hoc网络模糊逻辑移动预测路由算法\*

高雪梅, 张信明<sup>+</sup>, 史 栋, 邹丰富

(中国科学技术大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230027)

### Fuzzy Logic Mobility Prediction Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks

GAO Xue-Mei, ZHANG Xin-Ming<sup>+</sup>, SHI Dong, ZOU Feng-Fu

(School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

+ Corresponding author: E-mail: xinming@ustc.edu.cn

Gao XM, Zhang XM, Shi D, Zou FF. Fuzzy logic mobility prediction routing algorithm for mobile ad hoc networks. *Journal of Software*, 2009,20(12):3205–3212. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3411.htm>

**Abstract:** The mobile ad hoc network (MANET) is a temporarily organized computer multi-hop communication network which is composed of mobile hosts equipped with wireless transmitters and receivers. These hosts can move at will, which results in a highly dynamic topology and imposes significant effect on the route stability and overall performance of the network. Based on the observation of the velocity and direction of these mobile hosts, this paper proposes a routing algorithm which can predict the link stability with fuzzy logic. The simulation results have proven that this protocol works well in extending the average lifetime of data connections, in increasing the data rate as well as the end-to-end throughput, and in decreasing the end-to-end latency and overhead substantially.

**Key words:** fuzzy logic; mobility prediction; link stability; routing algorithm; mobile ad hoc network

**摘 要:** 移动自组网是一种能够支持多跳的临时性计算机通信网络.它由一组带有无线收发装置的移动节点组成.节点能随机任意移动,可导致拓扑的动态变化,会对路由的稳定性乃至网络的整体性能产生重要的影响.通过对节点运动速度和运动方向的观察,使用模糊逻辑控制策略,提出了一种基于模糊逻辑预测链路稳定性的路由算法.仿真结果表明,该协议有效地提高了数据连接的平均存活时间、链路的数据传输率和端到端的吞吐量,同时减小了端到端的延迟和控制的开销.

**关键词:** 模糊逻辑;移动预测;链路的稳定性;路由算法;移动自组网

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

移动自组网由于其组网的便利性,在近几年中得到了广泛的发展.一个移动自组网是由一组能够自由移动的节点组成,这些节点相互间可以任意方式动态连接.在移动自组网中没有固定基站的支持,节点之间相互通过无线电发送包来通信.移动自组网在战场、搜救工作等方面都有着广泛的应用<sup>[1]</sup>.

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673171 (国家自然科学基金); the National Basic Research Program of China under Grant No.2006CB303006 (国家重点基础研究发展计划(973)); the Open Foundation of Key Laboratory of Software in Computing and Communication of Anhui Province of China 2005-2006 (安徽省计算与通讯软件重点实验室开放基金 2005-2006)

Received 2007-04-24; Accepted 2008-07-08

移动自组网区别于其他类型网络的根本之处,在于其节点的移动性带来的网络拓扑改变.在传统的有线网络中,由于节点是固定的,网络拓扑一旦确定就不会轻易改变,这给网络设计的各方面带来了很大的便利;我们可以根据收集到的信息,确定最优化目标,进而设计网络的各层协议的策略,比如路由等.在移动自组网中节点都是自组织的,没有控制中心的存在,无法很好地控制拓扑改变给网络带来的影响.在移动自组网中,路由协议为了克服移动性带来拓扑的改变对路由的影响必须进行路由维护,增加了网络的控制成本.

为了减小由于移动性带给网络性能的一些负面影响,已有研究提出了不同的解决策略.一种比较有效的方法就是针对网络的移动性对节点的移动性进行预测,选取稳定的路由来减少网络重路由的次数,从而达到提高网络性能的目的.

Toh提出了一种基于相关性的路由选择算法<sup>[2]</sup>.在该算法中,网络倾向于选择稳定的链路,而不用那些暂时的链路.设 $r_{tx}$ 表示节点的传播距离, $v$ 表示两个节点的相对移动速度,那么具有 $A_{thresh}=2r_{tx}/v$ 以上生存期的链路,可以认为是稳定的.SSA(signal stability-based adaptive routing)路由算法<sup>[3]</sup>是将网络中的强连接链路和弱连接链路区分开来,在路由算法中定义了一个时间长度.如果网络中的链路已经存活了超过这个长度的时间,就可以认为该链路是强连接的.文献[4]提出了一种通过信号强度变化来预测两个节点 $i,j$ 之间链路的稳定性的方法.该文献定义了一个标准 $a_{ij}$ ,这是链路存活时间 $l_{ij}$ 的一个预测,它表示大概多久节点 $j$ 会离开节点 $i$ 的传播范围.节点 $i$ 周期性采样其接收到的来自节点 $j$ 的信号强度,根据信号强度的变化计算链路的稳定性.通过预测节点之间链路持续时间的长度,在路由请求时,在目标节点处,根据节点之间连接的稳定性选择一条稳定的路由.文献[5]提出了一种计算未来链路存在概率的模型,可以预测现有链路在经过一段时间后仍然存在的概率.还提出了一种基于随机游走的移动模型的一段时间后链路存在性的概率表达式.在得到链路存在性概率的基础上,推出了路径存在性的概率.这样就可以得到经过一段时间后,路径断开的概率.这为路由选择提供了一个参考标准.这个模型有一个缺陷:如果一条路径中的某条链路断开,那么网络必须马上进行重路由,而不会让相关节点等待一段时间,以让断开的链路重新连接上.文献[6]运用了模糊控制的策略,把两个节点的距离和速度作为输入量对链路的生存时间进行预测,在此基础上提出了 $\delta$ 度的簇算法.文献[7]提出了一种不需要知道节点移动速度,通过测量两个节点之间相对的距离来预测链路持续时间的方案.文献[8]利用模糊逻辑的思想对TDMA(time division multiple access)进行了改进,提高了信道的利用率.它利用节点间的距离和每个时槽内信道的利用率来进行移动预测,通过这样的预测来动态控制信道的使用情况.文献[9]提出了基于移动预测用于实时数据流的路由协议FORP(flow oriented routing protocol),它使用GPS(global positioning system)来获取节点的移动速度和运动方向,并利用这些信息作为移动预测的依据,其基本思想是首先预测路径上每一跳的LET(link expiration time),然后根据这条路径上最小的LET确定RET(route expiration time).文献还分析了信息准确度和错误信息对路由性能的影响.这些移动预测的方法最本质的原理是节点间的距离与通信半径的比较,从而计算链路的存活时间,稳定与否等问题.它们都是根据现在或者过去的状态来衡量将来的状态,这样很容易出现错误.因为随着时间的推移,现在或者过去稳定的链路在将来可能会很脆弱<sup>[10]</sup>.文献[11]通过对节点当前剩余电池能量和邻居节点之间链路稳定性的观察,使用模糊逻辑控制策略,提出了一种基于动态源路由的自适应路由协议.文献[12]从模糊理论的思想出发,将业务的多个QoS(quality-of-service)参数进行综合评判产生一类以语言变量描述的请求,在修改动态源路由协议为多径路由算法的基础上,对比各条路径综合模糊路由状态选择最适合业务请求的路径.

本文提出了一种基于模糊逻辑的方法来计算链路的稳定性从而进行移动预测的路由算法(fuzzy logic mobility prediction routing algorithm),与文献[6,8]不同,该方法利用与链路相关联的两个节点移动速度和移动方向,通过模糊控制机制对链路的稳定性进行预测,在路由选择时选取那些由稳定的链路组成的路由,从而达到提高网络性能的目的.仿真结果表明,一方面,由于具有对网络的自适应更新和优化功能,避免了大量的源路由重建从而提高了网络吞吐量;另一方面,由于采用了模糊逻辑的简单预测的方法,减少了网络开销,提高了数据的接收率.

# 1 基于模糊逻辑移动预测的路由算法(FLMPR)

## 1.1 预测机制

链路稳定度预测机制是预测传输路径稳定度的基础,在我们的链路稳定度预测机制中,模糊逻辑是非常重要的部分.一个典型的模糊逻辑控制系统包括 3 个步骤:模糊化、模糊推理和反模糊.模糊化就是对输入值根据输入变量模糊子集的隶属函数找出相应的隶属度.模糊推理<sup>[12]</sup>就是根据模糊规则进行推理,目前常用的模糊推理方法有最大-最小推理法和最大乘积推理法两种.模糊推理的结构仍是模糊量.反模糊化就是将模糊推理所得到的模糊量回复到精确的数值.反模糊化常用方法有:重心法、最大隶属度法和最大平均值法等<sup>[13]</sup>.

根据模糊逻辑控制系统的构造,首先就是模糊化.而动态的拓扑变化是自组网的突出特点,不稳定的路由将导致路由中断和路由更新,既降低了传统的网络性能(如延迟、吞吐量等),又加大了节点的能耗.因此,一个良好特性的路由应该尽可能地选择那些生存时间较长的链路,或者说应该选择那些相对比较稳定的节点.假定某时刻节点*i,j*之间可直接通信形成一条链路,节点*i*的速度为*v<sub>i</sub>*,方向为*θ<sub>i</sub>*;节点*j*的速度为*v<sub>j</sub>*,方向为*θ<sub>j</sub>*;节点最高速度为*v<sub>max</sub>*,节点速度相差最大为*π*.节点根据传过来的包头信息以及自己的速度,通过式(1)可以计算出此条链路上相关节点速度的相对度*v*.*v*可以用模糊集合来表示,图 1(a)表示节点速度相对度的模糊隶属度.5 个模糊集‘VS’,‘RS’,‘ML’,‘RL’,‘VL’分别表示速度相差‘很小’、‘较小’、‘中等’、‘较大’、‘很大’,论域为[0,1].

$$v = |v_i - v_j| / v_{max} \tag{1}$$

节点根据传过来的包头信息以及自己的运动方向,通过式(2)可以计算出此条链路上相关节点运动方向的相对度*d*.*d*可以用模糊集合来表示,图 1(b)表示节点速度相对度的模糊隶属度.5 个模糊集‘VS’,‘S’,‘M’,‘L’,‘VL’分别表示角度相差‘很小’、‘较小’、‘中等’、‘较大’、‘很大’,论域为[0,1].

$$d = |\theta_i - \theta_j| / \pi \tag{2}$$

定义链路的稳定度为*m*.*m*也是一个模糊量,如图 1(c)所示,5 个模糊集‘VN’,‘NS’,‘MS’,‘RS’,‘VS’分别表示‘很不稳’、‘不稳’、‘中等’、‘较稳’、‘很稳’,论域为[0,1].在模糊化的基础上,可以通过模糊推理的方法预测链路的稳定度.可以通过 IF-THEN 规则,以节点速度的相对度*v*的隶属度和节点运动方向的相对度*d*的隶属度为前件,可以推出后件与两个节点关联的链路的稳定度*m*,规则见表 1.

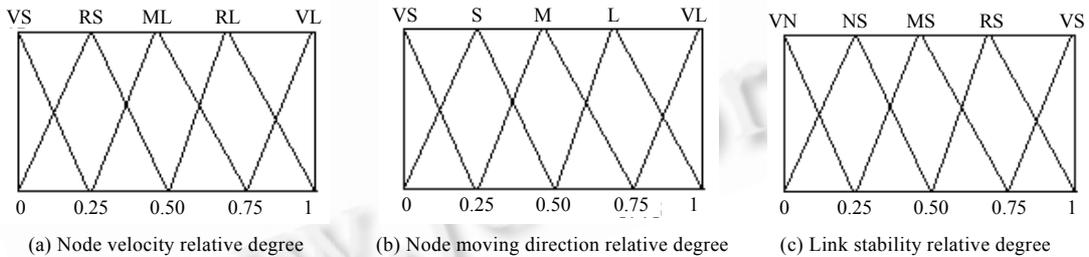


Fig.1 Fuzzy membership functions

图 1 各模糊量的隶属度函数

Table 1 Fuzzy logic of link stability

表 1 链路稳定度的模糊规则

	VS	S	M	L	VL
VS	VS	VS	RS	RS	MS
RS	VS	RS	RS	MS	MS
ML	RS	RS	MS	NS	NS
RL	RS	MS	NS	NS	VN
VL	MS	MS	NS	VN	VN

最后就是反模糊化.考虑到移动自组网自组织的动态性和计算的复杂度,模糊输出的反模糊化应用最简捷的最大隶属度法.

## 1.2 基于模糊逻辑移动预测的路由算法

FLMPR基于DSR(dynamic source routing动态源路由协议)<sup>[14]</sup>协议.DSR协议是一种典型的按需路由协议.它的特点是使用了源路由的路由机制,每一个需要发送的数据包都在报文头部字段中提供了源节点到目的节点的路由信息,因此中间节点并不需要实时地维护网络路由来转发数据包.只有在节点需要发送数据包且节点不知道到目的节点完整路由的情况下,节点才会激活路由发现机制,寻找到达目的节点的路由.该策略有效地消除了其他路由协议中间断性的路由广播报文和邻居探测报文.

DSR 机制包括路由发现和路由维护两部分.当某个源节点要发送一个数据分组,但本身缓存中不具有到达目的节点的路由信息时,源节点就发起一次路由搜索.为了建立一条路由,源节点洪泛一个具有唯一 ID 的路由请求报文(RREQ),当中间节点收到一个 RREQ 时,它首先判断是否收到过该 ID 的请求,如果有,则丢弃;如果没有,则检查路由缓存中是否具有到达该 RREQ 指定的目标节点的路径,如果有,则沿着该 RREQ 经过的路由向源节点反向发送一个包含路径信息的路由应答报文(RREP);如果没有,则通过洪泛继续前传 RREQ,一直到达目的节点.路由维护机制则是当路径中的某个节点发现路径失效(由于拓扑变化或者信道差错)时,就发起一个路由错误报文(RRER)给源节点,源节点尝试使用缓存中的其他可以到达目标节点的路径,或者再一次发起路由搜索来寻找一条新的路由.

DSR 避免了周期性的路由广播,但 DSR 是基于最短路由的算法,而并非是最稳定路由,因此导致频繁的路径切换.我们的路由算法 FLMPR 是在 DSR 路由算法的基础上改进而来的,它不仅保留了原来路由算法的框架,还增加了链路的稳定性,利用链路的稳定性来控制网络中数据的发送路径.在该算法中,每条链路根据关联的两个节点的运动趋势即上节所述的算法来定义自己的稳定性.每个路由都有自己的稳定度,不同的稳定度对应不同的路由需求,而网络总是试图寻找最稳定的路由.与 DSR 路由算法一样,基于模糊逻辑预测的路由算法 FLMPR 也可以分为两个阶段:路由发现和路由维护.在路由发现阶段,网络对通信请求尽可能地寻找稳定性最高的路由.而在路由维护阶段,网络对不再符合要求的路由进行维护.

### 1.2.1 路由发现

当一个源节点和一个目的节点需要通信时,如果在路由表中没有选路信息,源节点通过广播一个路由请求分组(RREQ)给它的邻居节点,当节点  $i$  收到一个 RREQ 时,作如下处理:

- (1) 如果节点  $i$  已经收到重复 RREQ 时,丢弃冗余的 RREQ,不转发.
- (2) 如果节点  $i$  没有到达目的节点的路由,根据第 1.1 节的模糊策略计算自己与上一跳节点间的链路的稳定性  $M$ ,如果计算结果为  $MS,RS$  和  $VS$ ,则将自己的地址加入 RREQ 分组头中进行转发,否则丢弃该分组.
- (3) 如果节点  $i$  的路由缓存中查到了一个达到目的节点的未过时的路由,合并 RREQ 和路由缓冲中的路由,节点  $i$  按照 RREQ 中的路径方向单播一个路由请求响应报文(RREP)给源节点.
- (4) 如果 RREQ 到达了目的节点,则由目的节点沿 RREQ 的路径反向单播一个 RREP 给源节点.

### 1.2.2 路由维护

基于 FLMPR 除了能够在路由发现阶段避免使用稳定性差的链路外,还能通过路由维护来避免节点相互远离导致的链路不稳定.在该算法中,当两个节点通过一条给定的路由进行通信时,路由中的中间节点替源节点转发包.在这个过程中,有些中间节点可能会运动出邻节点的通信范围以外,从而导致链路的不稳定,路由规则不再被满足.在这种情况下必须通知源节点.

在该算法中,一个中间节点准备转发一个包时,会首先对它与上一跳节点间链路的稳定性进行估计.如果节点发现对移动信息分析结果是它们的移动将导致链路不稳定,这时就生成一个稳定性错误包给源节点,告诉源节点必须另外找一条路由来发送包,同时当前的路由不再可用.在路由维护阶段,FLMPR 和 DSR 的不同之处在于:DSR 只有在链路断开、路由不再可用时,才进行路由维护;而基于模糊逻辑的移动预测的路由算法在链路不太稳定的情况就进行路由维护,这样就减少了数据的丢失,提高了网络的吞吐量.

## 2 性能仿真以及评价

### 2.1 仿真模型及评价指标

仿真采用经过Monarch项目组扩展后的NS-2<sup>[15]</sup>系统.模拟中采用的移动模型是研究中普遍使用的随机位点模型.在这个模型中,每个节点都预先选择一个目标,然后以某个速度朝这个目标前进.到达这个目标后,停顿一段时间,再选择下一个目标.节点以这种方式一直运动下去.在这个模型中,停顿时间是预先设定的,并且是不变的.节点移动的速度是在 $[0, V_{max}]$ 间均匀分布的.模拟中 $V_{max}$ 的值为 5,10,15,20 和 25m/s,停顿时间为 0s.模拟时间为 900s,节点的发送半径为 250m.使用的网络拓扑是 1000m×1000m的正方形区域里分别随机放置 50 个和 100 个节点形成的拓扑.度量指标: (1) 连接的平均存活时间(average link lifetime);(2) 平均端到端包延时(average end-to-end packet latency),数据发送到接收的间的时间间隔;(3) 数据传输率(data delivery ratio),收到数据包与发送数据包的比率;(4) 控制开销(control overhead),控制比特与所发数据比特的比例;(5) 端到端吞吐量(end-to-end throughput),节点接收到的数据包数.

### 2.2 正方形区域下的仿真结果

实验是在 1000m×1000m的场景下进行的,在此区域里随机放置 50 个和 100 个节点,相应的CBR(constant bit rate)流为 20 个和 40 个,数据发送速率为每秒 8 个包,包长为 512 字节.在网络性能方面,我们首先给出连接的平均存活时间.图 2 所示为不同节点运动速度下,网络中连接的平均存活时间.由图 2 可看出,我们提出的FLMPR方法下连接的平均存活时间要大于传输链路保持连接时间的预测模型FORP<sup>[9]</sup>.

图 3 给出了不同节点运动速度下,网络拓扑不同时,网络中节点的平均端到端的延迟.随着节点运动速度的不同,两个协议的延迟都有一些波动,FLMPR 中端到端的延迟要略小于 FORP.我们选取的是稳定的链路,而 FORP 选择的是预计将来生存时间最长的路径,而在此段时间内路径也可能断开,这样就会造成更大的延迟和网络延迟的波动.图 4~图 6 分别给出了不同网络密度下节点运动速度与数据的传输率(报文提交率)、控制开销以及端到端的吞吐量之间的关系.我们的数据传输率、端到端的吞吐量都要优于 FORP,同时还降低了控制开销.

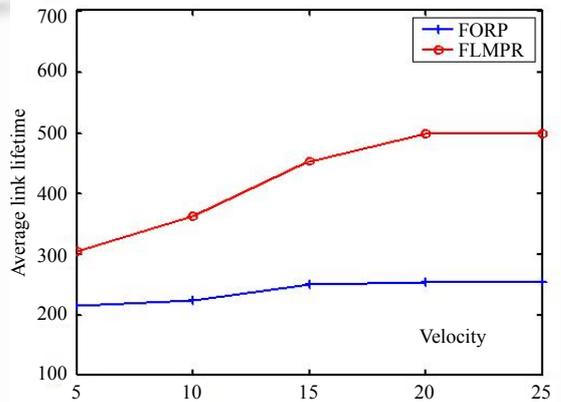
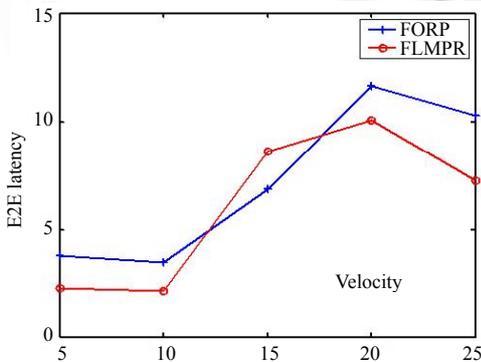
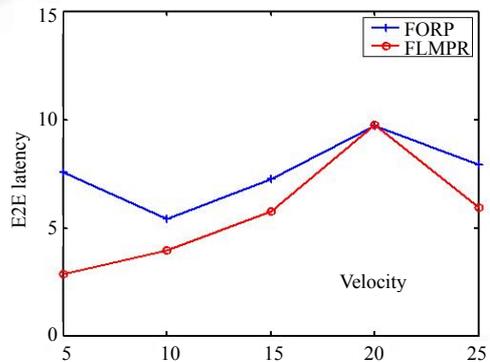


Fig.2 Average link lifetime  
图 2 连接的平均存活时间



(a) 50 nodes 20 CBR flows  
(a) 50 个节点 20 条流



(b) 100 nodes 40 CBR flows  
(b) 100 个节点 40 条流

Fig.3 End-to-End latency  
图 3 端到端的延迟

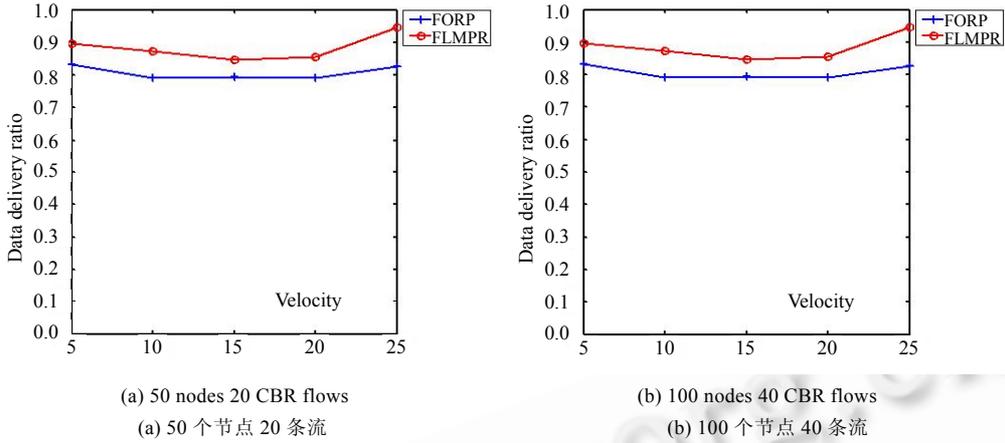


Fig.4 Data delivery ratio

图4 数据传输率

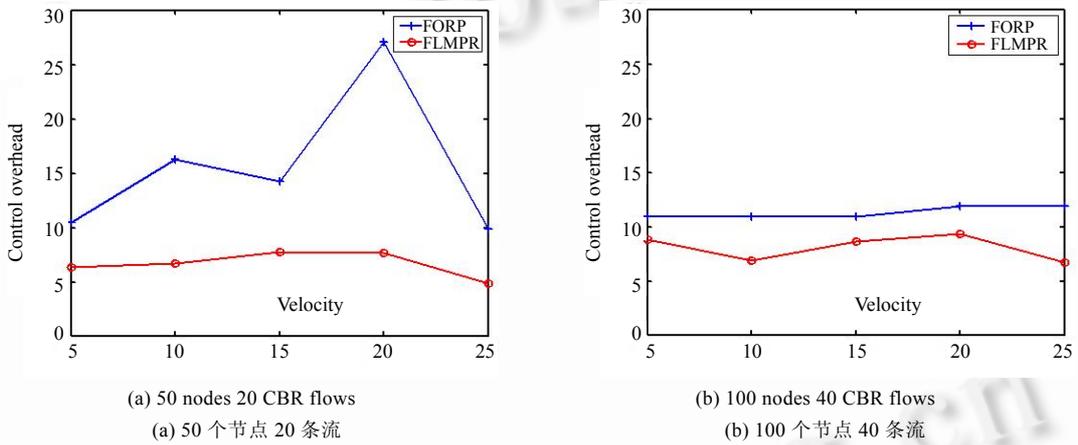


Fig.5 Control overhead

图5 控制开销

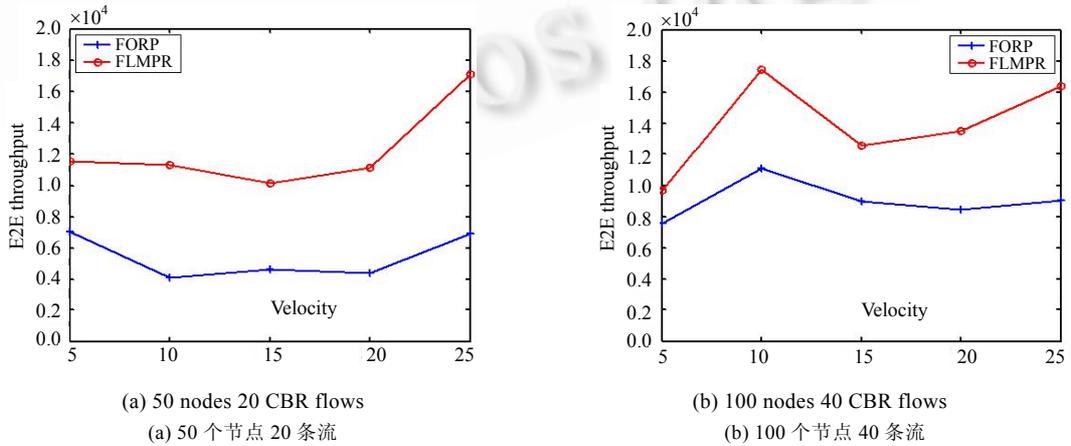


Fig.6 End-to-End throughput

图6 端到端吞吐量

### 3 结束语

本文提出的基于模糊逻辑进行移动预测的路由算法是针对移动自组网动态拓扑的特性而设计的.它保留了动态源路由协议的按需路由发现策略和源路由机制,在路由发现和路由维护过程中引入了模糊控制的自适应机制,改善了网络的性能.仿真实验表明,此协议是一种有效的自适应路由协议,它不仅减小了网络的延迟,同时还具有较好的报文提交率,降低了控制开销,网络的吞吐量也有所提高.文中使用了简单的预测方法.在下一步的工作中我们将结合文献[16,17]的工作,期望把预测建立在数学模型的基础上,用较精确的数学模型描述节点的运动特点,在该数学模型上建立预测机制,进行网络链路状态的预测并考虑采用文献[18]等使用的智能算法计算链路状态.

### References:

- [1] IETF mobile ad hoc network charter. 2002. <http://www.ietf.org/html.charter/manet-charter>
- [2] Toh CK. Associativity-Based routing for ad hoc mobile networks. *Wireless Personal Communications Journal, Special Issue on Mobile Networks and Computing Systems*, 1997. 103–139.
- [3] Dube R, Rais CD, Wang KY. Signal stability based adaptive routing (SSA) for ad-hoc mobile networks. *IEEE Personal Communication*, 1997. 36–45.
- [4] Paul K, Bandyopadhyay S, Mukherjee A, Saha D. Communication aware mobile hosts in ad-hoc wireless network. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Personal Wireless Communications (ICPWC)*. 1999. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=759590&tag=1](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=759590&tag=1)
- [5] McDonald AB, Znati TF. A path availability model for wireless ad-hoc networks. In: *Proc. of the IEEE WCNC*. 1999. 35–40. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=797781](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=797781)
- [6] Zhao CX, Wang GX. Fuzzy-Control-Based clustering strategy in MANET. In: *Proc. of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*. 2004. 1456–1460. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1340883](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1340883)
- [7] Jiang SM, He D, Rao JQ. A prediction-based link availability estimation for mobile ad hoc networks. In: *Proc. of the IEEE INFOCOM*. 2001. 1745–1752. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=916672](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=916672)
- [8] Yan YC, Li DM, Dan X. Slot assignment of spatial TDMA in ad hoc radio networks using fuzzy set theory. In: *Proc. of the IEEE MWC*. 2004. 497–500. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1321934](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1321934)
- [9] Su W, Lee SJ, Gerla M. Mobility prediction and routing in ad hoc wireless networks. *Int'l Journal of Network Management*, 2001,11:3–30.
- [10] Meghanathan N. Comparison of stable path selection strategies for mobile ad hoc networks. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Systems and Mobile Communications and Learning Technologies*. 2006. [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1628313](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1628313)
- [11] Xu L, Zhang BY. Fuzzy control based adaptive source routing protocol in ad hoc network. *Mini-Micro Systems*, 2005,26(10):1703–1706 (in Chinese with English abstract).
- [12] Zhang X, Feng MY, Cheng S, Ding W. Fuzzy logic QoS dynamic source routing for mobile ad hoc networks. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2005,27(11):1806–1813 (in Chinese with English abstract).
- [13] Tang BY, Lu LJ, Wang WJ. *Fuzzy Control Theory and Application Technology*. Beijing: Tsinghua University Press, 2002 (in Chinese).
- [14] Johnson D, Hu Y, Maltz D. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks (DSR) for IPv4. IETF RFC 4728, 2007. <http://tools.ietf.org/html/rfc4728>
- [15] <http://www.monarch.cs.rice.edu/software.html>
- [16] Wei XH, Chen GL, Wan YY, Zhang XM. Longest lifetime path in mobile ad hoc networks. *Journal of Software*, 2006, 17(3):498–508 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/498.htm>
- [17] Shi D, Zhang XM, Gao XM, Zhu WB, Zou FF. A link reliability-aware route maintenance mechanism for mobile ad hoc networks. In: *Proc. of the 6th Int'l Conf. on Networking (ICN)*. 2007. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1260695>
- [18] Zhang XM, Zeng YL, Gan GZ, Chen GL. Finding the minimum MPR set in OLSR protocol with genetic algorithms. *Journal of Software*, 2006,17(4):932–938 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/932.htm>

## 附中文参考文献:

- [11] 许力,郑宝玉.自组网环境下基于模糊控制的自适应动态源路由协议.小型微型计算机系统,2005,26(10):1703-1706.
- [12] 张勋,冯美玉,程胜,丁炜.移动自组网模糊逻辑 QoS 动态源路由算法.电子与信息学报,2005,27(11):1806-1813.
- [13] 汤兵勇,路林吉,王文杰.模糊控制理论与应用技术.北京:清华大学出版社,2002.
- [16] 魏晓海,陈国良,万颖瑜,张信明.移动自组网中的最长生命期路径.软件学报,2006,17(3):498-508. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/498.htm>
- [18] 张信明,曾依灵,干国政,陈国良.用遗传算法寻找OLSR协议的最小MPR集.软件学报,2006,17(4):932-938. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/17/932.htm>



高雪梅(1982-),女,河南济源人,硕士,主要研究领域为无线网络.



史栋(1982-),男,硕士,主要研究领域为无线网络.



张信明(1964-),男,博士,副教授,CCF 高级会员,主要研究领域为无线网络,IP 网络 QoS 控制,网络性能分析.



邹丰富(1984-),男,硕士生,主要研究领域为无线网络.