

# MANET 主观路由信任研究

郭伟<sup>1</sup> 熊忠伟<sup>2</sup> 徐仁佐<sup>2</sup>

(武汉大学计算机科学学院 武汉 430072)<sup>1</sup> (武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)<sup>2</sup>

**摘要** Mobile Ad Hoc Network(MANET)网络的路由行为依赖于开放环境下自治移动节点间的相互合作。在对MANET路由信任关系及其特性进行分析的基础上,将节点的路由信任度量表述为基于转发行为经验的二项事件后验概率计算问题,利用概率模型解决节点的主观路由信任度量与数学评价问题,实现路由信任关系的量化与预测。以此为基础,将MANET信任路径转化为路由参与节点信任的合成,从而将端到端信任路由选择转化为最大生成树的求解问题,实现了信任路由的度量与选择。

**关键词** Mobile Ad Hoc Network,路由协议,信任管理模型,信任度量

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Research of Subjective Routing Trust in MANET

GUO Wei<sup>1</sup> XIONG Zhong-wei<sup>2</sup> XU Ren-zuo<sup>2</sup>

(School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)<sup>1</sup>

(State Key Lab. of Software Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)<sup>2</sup>

**Abstract** The routing behavior of Mobile Ad Hoc Network (MANET) is dependent on the cooperation of autonomous mobile nodes under the open environment. Based on the analysis of the MANET route trusting relationship and the characteristic, this article indicated the binomial event posterior probability of the node forward experience that is the foundation for the node route trust measure on. Using probabilistic model, the subjective route trust measure and mathematics estimate problem can be solved, and the route trusting relationship quantification and the forecast can be realized. Taking this as the foundation, the article transformed the MANET path trust as the trust synthesis of route participation node, and thus held the problem confiding in finding the solution that end-to-end routing trust changes into maximal spanning tree, and realized trust measurement and choice in routing.

**Keywords** Mobile Ad Hoc network, Routing protocol, Trust management model, Trust measurement

## 1 引言

MANET(Mobile Ad Hoc Network)网络是一组携带无线收发装置的、移动节点组成的多跳自治系统。由于不需要固定通讯基础设施与集中式管理,因而其在战场、突发事件、电子会议等需要临时快速配置网络的场景中有着巨大的应用前景。然而,能源的匮乏、拓扑结构的动态变化、无线信道的完全开放,甚至恶意侵害都会对节点的路由转发行为产生影响;而开放的网络环境、集中控制机制的缺乏,不仅使传统的加密、身份认证等安全机制无法有效地约束MANET节点的路由行为,而且使节点追求自身最大利益,在使用网络资源的同时拒绝耗费自身有限的资源为其它节点提供转发服务成为可能。节点在如此缺乏稳定信任约束的路由合作中表现出的自私性等问题是其自身利益驱动的结果。而研究表明,这种转发过程中的自私行为会严重影响网络的性能<sup>[1]</sup>。即使存在少量的自私节点(10%~40%)也会导致网络性能显著下降16%~32%<sup>[2]</sup>。

为抑制MANET网络节点的恶意路由行为,近年来相继提出了若干基于声誉(Reputation)的路由解决方案<sup>[3]</sup>,尝试根据路由经验解决恶意与自私性节点的不合作行为。其中最具代表性的包括: Buchegger等提出的针对自私路由行为的基于DSR的反应式路由协议CONFIDANT,该协议允许节点根据声誉记录情况对路由行为做出调整<sup>[4]</sup>; Pietro Michiardi等人提出的CORE则是通过联合声誉机制来抵御节点自私性路由行为<sup>[5]</sup>。目前,信任路由协议主要致力于节点异常行为的检测与分析,而对路由信任的本质、路由信任的可度量性及评估方法没有进行深入的研究。

为此,本文以DSR路由协议为基础,对MANET路由信任概念及其特性进行分析,利用节点转发概率模型将路由信任抽象为分布式环境下评估主体对客体的基于经验的主观期望。并以此为基础,根据路由转发机制将信任路径转化为路由参与节点的信任合成,从而将端到端信任路由选择转化为最大生成树的求解问题,实现了信任路由的度量与数学评价。

第2节在分析DSR源路由机制的基础上,对MANET节

到稿日期:2008-10-14 返修日期:2009-01-23 本文受863国家重点基金项目(2007AA012420)资助。

郭伟(1966—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、软件工程等,E-mail:guo\_w@jhun.edu.cn;熊忠伟(1961—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为计算机网络、软件工程等;徐仁佐(1946—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为软件工程、软件可靠性工程等。

点间路由信任关系的主观性及其可度量性进行分析;第3节对 MANET 路由信任模型及传输路径的信任合成等问题进行研究,并对信任路径的可选择性进行讨论;最后总结全文并对未来工作提出展望。

## 2 基于经验的路由信任

### 2.1 DSR 动态源路由发现机制

DSR(Dynamic Source Routing)是一种基于源路由的按需路由协议<sup>[6]</sup>,每个报文头包含有完整的源-目的节点路由信息,中间节点不需要维护路由信息。DSR 主要包括 Route Discovery 和 Route Maintenance 两个过程。以 Route Discovery 为例,若某节点需要发送数据报文,而其路由缓存不包含有效的到目的节点的路由,该节点将以泛洪方式向周围节点发送路由请求报文 RREQ。RREQ 报文包含(Target address, Initiator address, Route record, Request ID),接收该 RREQ 的中间节点根据报文所携带的序列号与源路由等信息独立判断并决定是转发还是回复。中间节点在转发过程中会将本节点加

入到报文路由表中。目的节点收到后,就能从报文中提取出完整的路径信息。目的节点再沿着这个路径反向发送应答报文 RREP 给源节点,待源节点收到 RREP 报文,整个路由发现的过程结束,源节点根据其中所包含的信息进行随后的报文发送。

图1描述的 DSR 源路由发现过程中,中间节点的路由转发状态表明:一方面,路由参与节点使用预先定义的协议规范进行路由信息的交换和传递,协商实现节点间的路由行为;另一方面,节点对自己的路由行为有独立的控制权,并根据自身的内部状态与路由知识自行决定是否参与与其它节点的寻径与转发合作。由于节点的报文转发行为不受请求转发节点的约束并会因此消耗其相对匮乏的资源,作为相对独立节点间的相互合作,MANET 路由协议的寻径与转发任务的完成依赖于不同利益的路由参与节点间对转发合作的主观意愿。这种松散的耦合毫无疑问与现有 MANET 路由协议基于节点间的路由行为均是尽力而为(Best-Effort)合作机制的假设是相违背的<sup>[7]</sup>。

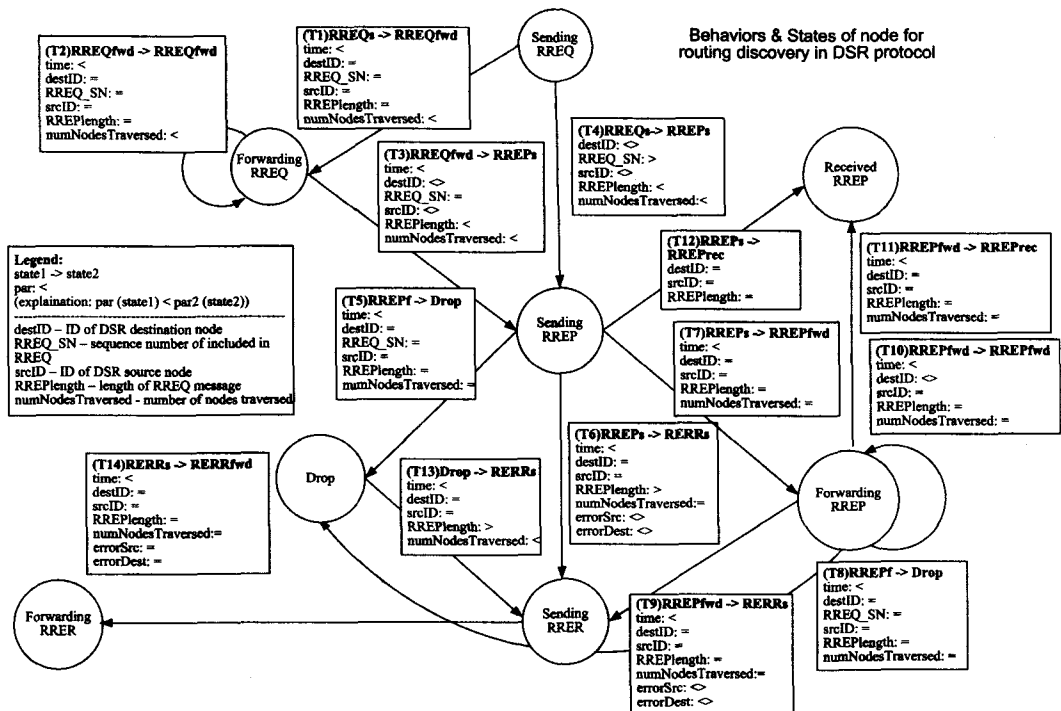


图1 DSR 路由发现过程中中间节点的有限状态机图

### 2.2 路由信任概念与定义

作为开放环境中独立行为主体间的报文转发合作,彼此间对转发行为的相互信任是 MANET 路由行为的基础。这种主观信任根据节点在 MANET 路由报文转发活动中所扮演的角色,可以理解为授信节点(Trustor)对受信节点(Trustee)某项转发行为的预期与依赖<sup>[8,9]</sup>。并有如下定义:

定义1(信任节点,Trusted Node)是具有某种报文转发服务能力的可移动无线网络实体,其中请求转发服务的网络实体为授信节点,被请求转发服务的网络设备为受信节点,而为第三方节点提供信任推荐的网络设备则称推荐信任节点(Recommendation)。依据路由行为上下文的不同,某个节点可以是授信节点,同时也可以推荐信任节点。

定义2(路由信任,Routing Trust)是在 MANET 路由交互过程中授信节点对受信节点未来完成某种路由行为的可

能性的一种主观评价。节点根据直接路由行为的历史经验形成的对另外一个节点的路由信任,又称直接路由信任(Direct Routing Trust);而通过第三方推荐信息间接获得的信任则称为间接路由信任(Indirect Routing Trust);推荐路由信任(Recommendation Routing Trust)则是一个节点相信另一节点推荐其它节点的能力。

定义3(路由声誉,Routing Reputation)是网络节点成员根据其对该节点路由行为的历史观察或评价信息而共同得出的对该节点未来路由行为的一种期望,是一种普遍的观点<sup>[10]</sup>。

显然,路由信任和路由声誉是两个不同的概念。声誉强调的是网络中节点集合对某个节点的共同期望,具有社会性,是一种客观信任;而路由信任强调的则是授信节点个体对受信节点的主观信任。由于直接经验、评估属性、评价标准等的



其中,  $\forall L(i) \in E$ , 链路  $L(i)$  的信任权值为  $T(i)$ 。由此, 基于信任的单源最佳路由选择问题可以表述为对给定信任网络寻找从信源到信宿的最优路径  $p^*$ , 使得  $p^*$  与网络中可能存在的其它路径相比路由信任权值  $T_{p^*} > T_p$ , 即满足条件:

$$T_{p^*} = \sum_{L(i) \in p^*} T_{L(i)} \rightarrow \max \quad (3)$$

**定理 1** 设  $G$  为一网络,  $G$  中的链路  $L$  的信任权值为  $T_L$ , 若  $T$  是  $G$  根据链路权值的最大生成树, 则对于  $G$  中的任意两个节点  $S$  和  $D$ , 树  $T$  中从  $S$  到  $D$  的唯一的  $P \rightarrow S \rightarrow D$  就是网络  $G$  中从  $S$  到  $D$  的最大信任路径。

证明: 设  $P^*$  是网络  $G$  中从  $S$  到  $D$  的最大信任路径, 若  $P^*$  上的所有链路均在  $T$  上, 即  $P^* \in T$ ,  $P^*$  为从  $S$  到  $D$  的唯一路径, 此种情况无需证明。

若  $P^*$  不是最大生成树  $T$ , 则至少有一条链路不在  $T$  上, 设  $A \rightarrow C$  为  $P^*$  上的第一条不属于  $T$  的链路, 树  $T$  中从  $A$  到  $E$  的唯一路径是  $A \rightarrow C \rightarrow E$ , 则  $P \rightarrow A \rightarrow E \cup A \rightarrow C$  构成环路, 如图 4 所示。

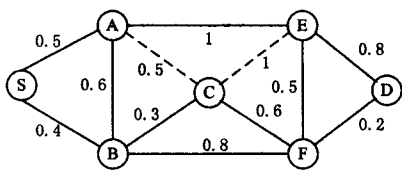


图 4 信任路由选择示意图

对于任意  $T \rightarrow A \rightarrow C$  和  $T \rightarrow C \rightarrow E$ , 若存在  $T \rightarrow A \rightarrow E > T \rightarrow A \rightarrow C$  或  $T \rightarrow A \rightarrow E > T \rightarrow C \rightarrow E$ , 则  $T' = \{A \rightarrow C\}$  或  $\{C \rightarrow E\} \cup A \rightarrow E$  也构成一生成树, 并且  $T'$  上的信任权值之和大于  $T$  上的链路信任权值之和, 显然与  $T$  为最大生成树的前提相矛盾。

若以  $T$  中的路径  $A \rightarrow E$  替换  $P^*$  中的链路  $A \rightarrow E$ , 则会得到一条新的路径  $P'$ , 其信任权值  $\geq P^*$ , 且路径  $P'$  中不在  $T$  上的链路数目比路径  $P^*$  中不在  $T$  上的链路数目少 1。

重复以上过程, 最终可以得到一条从  $S$  到  $D$  的完全在  $T$  上的简单路径  $P \rightarrow S \rightarrow D$ , 其路径信任值不小于  $P^*$  的信任值。因为  $P^*$  是网络  $G'$  中的一条最大信任路径,  $P \rightarrow S \rightarrow D$  一定也是网络  $G'$  中的一条最大信任路径(注意在树  $T$  中从  $S$  到  $D$  的路径是唯一的)。

据此, 可以利用路由选择算法(如 Kruskal 算法等)实现 MANET 网络端到端的最优信任路径的发现需求, 通过路径信任权值的最大化并导致该路径各条链路信任权值趋于最大化, 实现网络传输性能的提高。

**结束语** 本文对开放环境下 MANET 信任路由的基本性质与信任度量问题进行研究, 在对路由信任关系及其特性进行分析的基础上, 利用概率模型解决节点的主观路由信任度量与数学评价问题, 实现路由信任关系的量化与预测。以此为基础, 本文将 MANET 信任路径转化为路由参与节点信任的合成, 尝试根据直接经验动态评价节点间的路由信任关系, 对基于信任的端到端路由选择的可能性进行了论证。

然而, MANET 的开放性与动态性, 使得节点间的路由信任关系随合作的进行而不断变化, 其动态信任关系对传输路

径信任的量化与预测具有十分重要的意义。今后的工作重点是对信任动态性的本质属性作进一步的理论研究。此外, 在现实网络环境中, 最佳路径的选择经常会涉及多个评价标准, 因此利用不同的度量参数描述信任传输路径的路由转发特性, 建立不同的路由选择模型, 实现不同的信任路由选择策略, 具有十分重要的现实意义。

## 参考文献

- [1] Zhou L, Haas Z. Securing Ad Hoc Networks [J]. IEEE Networks Special Issue on Network Security, 1999, 13(6): 24-30
- [2] Zhang Y, Lee W. Intrusion detection in wireless ad-hoc networks [C]//Proceedings of Sixth International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom' 2000). Boston, MA, 2000: 275-283
- [3] Srinivasan A, Teitelbaum J, Liang H, et al. Reputation and Trust-Based Systems for Ad Hoc and Sensor Networks [C]//Boukerche A, ed. Algorithms and Protocols for Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. Wiley & Sons, 2008
- [4] Buchegger S, Boudec J L. Performance analysis of the CONFIDANT protocol [C]//Proceedings of the Third ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. ACM New York, 2002: 226-236
- [5] Michiardi P, Molva R. CORE: A collaborative reputation mechanism to enforce node cooperation in mobile ad-hoc networks [C]//Proceedings of IFIP Communication and Multimedia Security Conference (CMS' 2002). Portoroz, Slovenia, 2002: 107-121
- [6] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks [J]. Mobile Computing, 1996, 12(6): 153-181
- [7] Abolhasan M, Wysocki T, Dutkiewicz E, et al. A Review of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks [J]. Ad Hoc Networks, 2004(2): 1-22
- [8] McKnight D H, Cummings L L, Chervany N L. Initial Trust Formation in New Organization Relationships [J]. Academy of Management Review, 1998, 23(3): 473-490
- [9] Gambetta D. Can We Trust Trust [C]//trust: making and breaking cooperative relations. Basil Blackwell, Oxford, 1990
- [10] Jøsang A, Ismail R, Boyd C. A Survey of Trust and Reputation Systems for Online Service Provision [J]. Decision Support Systems, 2007, 43(2): 618-644
- [11] Obreiter P. A Case for Evidence-Aware Distributed Reputation Systems-Overcoming the Limitations of Plausibility Considerations [C]//Second International Conference on Trust Management (iTrust' 04). Oxford, 2004: 33-47
- [12] Massa P, Avesani P. Controversial Users demand Local Trust Metrics: an Experimental Study on Epinions. com Community [C]//Proceedings of the 25th AAAI (American Association for Artificial Intelligence) Conference. 2005: 121-126
- [13] Provey D. Electronic Trust Policies Using a Risk Management Model [C]//Proceedings of the 1999 CQRE Congress on Secure Networking. 1999: 1-16