

Ad hoc网络稳定的蚁群多路由算法

吕建军¹, 李志蜀¹, 刘勇²

(1. 四川大学计算机学院 成都 610065; 2. 中国科学院成都计算机应用研究所 成都 610041)

【摘要】针对Ad hoc网络路由协议中存在的路由老化和对拓扑变化适应性差的问题,提出了一种基于稳定拓扑和蚁群优化的多路由算法(SAMR),路径质量由路径的拓扑稳定度和时延来度量,并映射为蚁群信息素,利用蚁群优化进行路由的动态更新和维护,以避免路由老化。仿真表明,在动态环境下SAMR相比AODV能提高网络的吞吐量、降低传输时延。

关键词 Ad hoc网络; 蚁群优化; 多路由算法; 拓扑稳定度

中图分类号 TP393.4

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.04.028

A Stable Ant Multipath Routing Algorithm in Ad hoc Networks

LÜ Jian-jun¹, LI Zhi-shu¹, and LIU Yong²

(1. College of Computer Science, Sichuan University Chengdu 610065;

2. Chengdu Institute of Computer Application, Chinese Academy of Sciences Chengdu 610041)

Abstract In order to solve the problem of dated routes and poor flexibility to variations in topology in Ad hoc routing protocols, a multipath routing algorithm based on stable topology and ant colony optimization (SAMR) is proposed. In SAMR, pheromones of a path are used to reflect the quality of the path, which are a function of two parameters: topology stability and end-to-end delay. Routes are dynamically updated and maintained to avoid being dated by ant colony optimization algorithm. Simulation results show that in dynamic conditions, SAMR can improve network throughput and reduce end-to-end delay.

Key words Ad hoc networks; ant colony optimization; multipath routing algorithm; topology stability

移动Ad hoc网络又称MANET^[1],是一种特殊的无线移动通信网络,具有多跳路由和拓扑动态变化的特点。Ad hoc网络路由协议^[2]是当前研究的热点之一,典型的路由协议如AODV^[3]、DSR^[4]等,在建立路由后如果路径没有失效则一直使用,降低了路由协议的控制开销,但带来了路由老化的问题,而且对拓扑变化的适应性差。当路径上的节点移动使链路断开时,必须进行新的路由请求重新建立路由,带来了较大的时延。因此,路由协议要能适应拓扑的动态变化,随拓扑的变化进行更新,使得数据包可以在路径断开前切换到可用路径上。

本文提出了一种基于稳定拓扑和蚁群优化的Ad hoc网络多路由算法SAMR。SAMR算法用节点在本地获取的局部拓扑稳定度信息计算路径的拓扑稳定度,以路径的拓扑稳定度和时延度量路径质量,并把蚁群优化算法(ant colony optimization, ACO)^[5-6]应用于Ad hoc网络中,将路径质量映射为蚁群信息素,通过更新信息素动态更新路由质量信息,避免路径老化。

1 蚁群优化算法

蚁群优化算法是针对AS(ant system)的各种改进算法进行总结后提出的用于求解离散优化问题的通用框架,具有正反馈、分布式计算和启发性搜索等特点。蚂蚁搜索到食物源到蚁穴之间的最短路径,在蚁穴和食物源之间移动时,会沿途释放一种挥发性的信息素,其他的蚂蚁会沿着存留信息素的路径前进,通过信息素的不断更新最终收敛于最优路径。蚁群优化算法的关键特征是通过模仿蚂蚁的集体行为,解决网络中路由的组合优化问题,提高网络的稳定性、可靠性,增强网络的健壮性。目前很多学者将蚁群优化算法用于Ad hoc网络的路由算法设计。Ant-AODV^[7]将一定数目的蚂蚁作为蚁群代理,收集并传输经过节点的有用信息。该算法没有利用蚁群的信息素优化策略。AntHocNet^[8]以按需的方式建立路由,以主动方式进行路由维护,增强了网络的鲁棒性,但增加了网络开销。POSANT^[9]根据目的节点的地理位置信息确定路径信息素的大小,降低

收稿日期: 2009-01-13; 修回日期: 2009-12-17

基金项目: 四川省技术创新基金(2008PT013)

作者简介: 吕建军(1973-),男,博士生,主要从事计算机网络与信息系统方面的研究。

了路由发现时间和蚂蚁分组的数目,但在移动网络环境中,目的节点物理位置发生变化时,很难及时获得新的位置信息,不适合在移动环境中应用。

2 路径度量

将Ad hoc网络抽象为图 $G(V,E)$,其中 V 为网络中非空节点集合,元素 $v \in V$; E 为网络中连接节点对的通信链路集合; $e_{ij}=v_i v_j$ 是 V 中的有序节点对,为图 G 中一条从 v_i 到 v_j 的路径。

令集合 $N_i \subset V$ 为节点 v_i 的邻居节点集,记作 $N_i = \{v_j | e_{ij}(v_i, v_j) \in E, v_j \in V\}$ 。如果 $i=1,2,\dots,k-1$,且 $v_i, v_{i+1} \in E$,则 $P=(v_1, v_2, \dots, v_k)$ 为图 G 中一条从 v_1 到 v_k 的路径。选择路径时延 D_p 和路径拓扑稳定度 T_p 作为路径质量的度量。路径时延为加性度量,拓扑稳定度定义如下。

定义 1 令时刻 t 节点 i 的邻居节点集合为 $N_i(t) \subset E$,时刻 t 观测的局部拓扑稳定度为:

$$\tilde{T}_i(t) = \frac{\text{Num}(N_i(t) \cap N_i(t-T))}{\text{Num}(N_i(t) \cup N_i(t-T))} \quad (1)$$

式中 T 为观测周期;函数 $\text{Num}(X)$ 为集合 X 中元素的个数。

节点 i 的局部拓扑稳定度为:

$$T_i(t) = \mu T_i(t-T) + (1-\mu)\tilde{T}_i(t) \quad (2)$$

式中 μ 为加权平滑因子, $0 \leq \mu \leq 1$ 。

T_i 反映了节点 i 与其邻居节点间链路的通断变化情况, T_i 越大,表明节点 i 的局部拓扑越稳定。节点通过周期性广播消息HELLO获取邻居节点的连接信息,记录在本节点的邻居节点集 $N_i(t)$ 中, $N_i(t)$ 的更新采用AODV中定义的方法。节点根据式(1)、式(2)计算本节点的局部拓扑稳定度。

定义 2 路径 $P=(v_1, v_2, \dots, v_k)$ 的拓扑稳定度是指该路径上所有节点的局部拓扑稳定度的乘积,路径的拓扑稳定度为:

$$T_p(t) = \prod_{i=1}^k T_i(t) \quad (3)$$

3 SAMR算法

3.1 算法设计思想

本文将蚁群优化算法应用于Ad hoc网络的路由算法设计中,将路径的拓扑稳定度和传输时延作为路径质量度量,提出了基于稳定拓扑和蚁群优化的多路由算法。为克服蚁群算法收敛速度慢的缺点, SAMR在路由建立过程中采用与AODV类似的洪泛法,以降低路由建立时间;在路由建立后,通过周

期性地选择数据包携带人工蚂蚁分组信息进行路由更新。人工蚂蚁就是一些探测包,在经过的路径上留下人工信息素,记录路径质量信息,通过统计路径上的信息素可以计算出数据包在每个节点的转发概率。

当蚂蚁分组到达节点 i 时,节点 i 能够动态更新节点 i 到蚂蚁分组源节点的信息素路由表,信息素值更新方法为:

$$\tau_{ij}(t + \Delta t) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \rho\Delta\tau_{ij} \quad (4)$$

式中 τ_{ij} 为节点 i 到节点 j 的信息素值; $\rho \in [0,1]$ 为信息素挥发系数,表示信息素挥发的速度; $j=1,2,\dots,k$; k 为节点 i 的邻节点个数; $\Delta\tau_{ij}$ 为最新 Δt 时间内信息素增量,且:

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} \left[\lambda_1 T_p + \lambda_2 \frac{(D_p)_{\min}}{D_p} \right] Q & \text{蚂蚁分组经过了链路 } v_i v_j \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中 λ_1 、 λ_2 为不同度量的权重因子; Q 为信息素强度; $(D_p)_{\min}$ 为节点获得的到达目的节点时延的最小值。

在节点转发数据包过程中,由于路径上的信息素随着路径质量动态更新,因此要实时计算出全部邻居节点的转发概率,再根据概率结果选择信息素较大的路径进行转发,使网络流量能够动态分配,网络资源得到有效利用。在节点 i ,由节点 j 转发到达目的节点 D 的转移概率为:

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{i,j}(t)}{\sum_{k \in N_i} \tau_{i,k}(t)} & j \in N_i \\ 0 & j \notin N_i \end{cases} \quad (6)$$

3.2 算法实现

3.2.1 路由发现

步骤 1 初始化信息素,设置各链路信息素的初始值。

步骤 2 源节点发送前向蚂蚁(forward ant, FA), FA中记录经过的节点列表、路径时延和路径的拓扑稳定度信息。

步骤 3 中间节点收到FA后,根据节点列表判断是否出现环路,如果有环路,则丢弃FA。中间节点根据FA中携带的路径度量,建立或更新到源节点的信息素路由表项,信息素由式(4)、式(5)计算得到。节点利用本节点获取的信息更新FA中的度量信息,

并继续广播转发FA。

步骤 4 目的节点收到FA后, 建立或更新到源节点的信息素路由表项。前向蚂蚁死亡, 目的节点生成后向蚂蚁(backward ant, BA), BA中记录反向路径的时延和拓扑稳定度信息, 并复制FA中的节点条目, 目的节点对每一个FA都产生BA回复, BA沿FA节点指示路径反向传输, 实现多条路径的建立。

步骤 5 中间节点收到BA后, 建立或更新到目的节点的信息素路由表项, 更新BA中的路径度量信息, 然后按节点序列指示的下一跳节点继续转发BA。

步骤 6 源节点收到BA后建立或更新到目的节点的信息素路由表。源节点收到一个BA建立一条到目的节点的路径, 收到多个BA建立多条到目的节点的路径。源节点收到第一个BA时, 就可以发送数据包。数据包的转发概率根据式(6)计算。

3.2.2 路由更新

步骤 1 源节点每发送K个数据分组, 就选取一个分组添加路径度量信息和经过节点的列表, 通过更新分组(refreshing packet, RP), 路由表进行更新。更新分组采用普通数据分组规则进行转发。

步骤 2 中间节点收到RP后, 更新本节点到源节点的信息素路由表, 并根据节点获取时间、邻节点、观测周期等信息更新RP中的路径度量。RP后续处理与普通数据包相同。

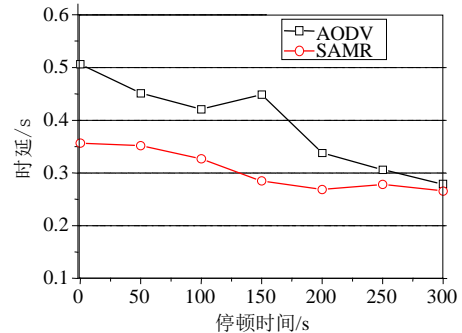
步骤 3 目的节点收到RP时, 对源节点的信息素路由表进行更新, RP中的数据部分和普通数据包处理相同。之后, 产生BA返回源节点进行正向路径更新。中间节点收到BA的处理和路由发现时相同。

4 仿真分析

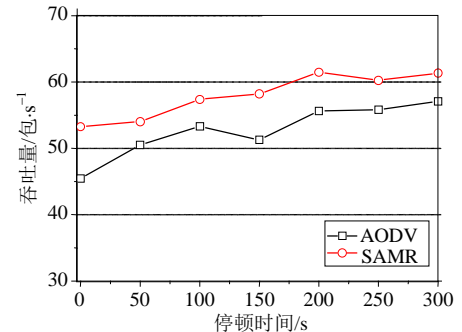
用OPNET^[10]软件进行SAMR和AODV的仿真试验, 以验证算法的有效性。

仿真基于同一场景: 节点移动采用随机点移动模型, MAC层协议使用IEEE 802.11b DCF, 移动节点的无线覆盖距离为200 m, 信道带宽为 2×10^6 bit/s, 在1 000 m \times 1 000 m的区域内随机分布50个移动节点, 选取10对移动节点发送恒定比特速率数据流(CBR)。每个仿真组合选取5个不同的种子, 将平均值作为仿真结果。在移动模型中设定不同的停顿时间(pause time)改变节点的移动性, 停顿时间取值为0、50、100、150、200、250、300 s, 节点的移动速度为10 m/s。SAMR算法中各参数取值为 $T=3$ 、 $\mu=0.7$ 、 $\rho=0.3$ 、 $Q=10$ 、 $\lambda_1=0.5$ 、 $\lambda_2=0.5$ 、 $K=10$ 。

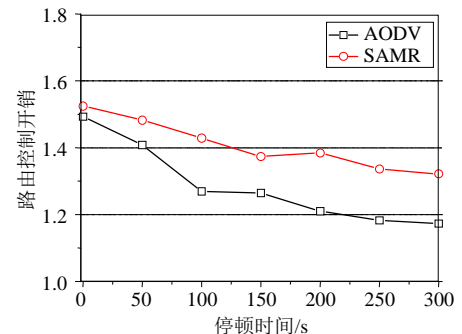
仿真时间为400 s, 源节点从100 s开始发送数据流, 发包频率为15 包/s, 包大小为4 096 bit。因此, 停顿时间为0 s时, 对应最大移动场景, 停顿时间为300 s时, 对应静止场景。随着停顿时间的增加, 节点的移动性逐渐减弱, 仿真结果如图1所示。



a. 停顿时间与时延的关系



b. 停顿时间与吞吐量的关系



c. 停顿时间与路由控制开销的关系

图1 仿真结果图

分析仿真结果, 得出如下结论:

(1) SAMR和AODV的时延都随着节点移动性的减弱而降低, SAMR的时延性能优于AODV。SAMR选择较稳定的节点进行数据转发, 并且根据路径质量动态调整路由权重, 此外, 路由发现过程中建立多条路径可增强网络的健壮性, 时延性能得到提高。

(2) SAMR和AODV的吞吐量随着节点移动性的减弱而增加, SAMR的吞吐量比AODV有明显提高, 在快速移动场景中性能更好。原因在于SAMR算法能建立多条路径, 均衡网络流量; 动态更新路径的信息素, 依据更新的信息素合理分配网络流量, 提高网络吞吐量。

(3) SAMR的路由控制开销比AODV有所增加。这是因为在SAMR中,为了建立从源节点到目的节点的多条路径,中间节点要对多个前向蚂蚁进行转发,目的节点要相应返回多个后向蚂蚁;在路由维护过程中,目的节点收到周期性的路由更新分组后,要发送后向蚂蚁进行路由更新,额外的控制包增加了路由控制开销。

5 总 结

为提高Ad hoc网络路由算法对动态拓扑的适应性,避免路由算法更新策略带来的路径老化问题,本文提出了一种稳定拓扑和蚁群优化的Ad hoc网络多路由算法SAMR。SAMR利用稳定拓扑度量反映路径上节点的局部拓扑稳定度,以建立较为稳定的路径;利用蚁群优化算法的思想进行路由更新,避免了路径老化问题。仿真结果表明,SAMR在动态环境下的时延和吞吐量均得到提高。但由于周期性的路由优化增加了控制开销,需要进一步研究路由更新算法,以降低控制开销。

参 考 文 献

- [1] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰. Ad hoc网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005: 64-92.
ZHENG Shao-ren, WANG Hai-tao, ZHAO Zhi-feng. Ad hoc networks[M], Beijing: Posts & Telecom Press, 2005: 64-92.
- [2] 刘元安, 唐碧华, 胡月梅. Ad hoc网络中的路由算法[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(2): 1-7.
LIU Yuan-an, TANG Bi-hua, HU Yue-mei. Routing algorithm in ad hoc networks[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2004, 27(2): 1-7.
- [3] PERKINGS C, BELDING-ROYER E, DAS S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing[EB/OL]. [2008-12-13]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>. 2003.
- [4] JOHNSON D, HU Y, MALTZ D. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPV4[EB/OL]. [2008-12-13]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>. 2007.
- [5] DORIGO M, CARO G D. Ant colony optimization: a new meta-heuristic[C]//Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. Washington: IEEE Press, 1999: 1470-1477.
- [6] 唐 泳, 马永开. 用改进蚁群优化算法求解多目标优化问题[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(2): 281-284.
TANG Yong, MA Yong-kai. An improved ant colony algorithm for multi-objective optimization[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2005, 34(2): 281-284
- [7] MARWAHA S, THAM C K, SRINIVASAN D. Mobile agents based routing protocol for mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings of GLOBECOM' 02. Taipei, China: IEEE Press, 2002: 163-167.
- [8] CARO G D, DUCATELLE F, GAMBARDELLA L M. AntHocNet: an adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks[J]. European Transactions on Telecommunications, 2005, 16(5): 443-455.
- [9] KAMLI S, OPATRYN J. POSANT: a position based ant colony routing algorithm for mobile ad-hoc networks [C]//Proceedings of ICWMC '07. Guadeloupe: IEEE Press, 2007: 21-26.
- [10] 王文博, 张金文. OPNET modeler与网络仿真[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
WANG Wen-bo, ZHANG Jin-wen. OPNET modeler and network simulation[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2003.

编辑 税 红