文章编号:1001 - 9081(2011)02 - 0332 - 03
doi:10.3724/SP.J.1087.2011.00332

蚁群优化算法在 Ad Hoc 网络路由中的应用

周少琼,徐 祎,姜 丽,王 锐
(合肥电子工程学院 信息系,合肥 230037)
(zsqiong1018@163.com)

摘 要:针对蚁群算法固有的搜索时间长、易陷入局部最优解的缺点,提出一种改进的基于蚁群算法的 Ad Hoc 网络路由算法。通过采取赌轮方式和扩散信息素提高路由搜索能力,绕开能量低的邻居节点均衡网络节点能量;同时对路由表做出修改,提高路由算法性能,增强算法的适应能力。经过与已有路由算法 AODV 的仿真比较,结果表明该算法不仅增加了路径的搜索多样性,减少了路径收敛时间,而且提高了网络的生存时间。

关键词:蚁群算法;节能;信息素;自组织网络
中图分类号: TP393.09 **文献标志码**:A

Ant colony optimization applied in Ad Hoc network routing

ZHOU Shao-qiong, XU Yi, JIANG Li, WANG Rui
(*Department of Information, Electronic Engineering Institute, Hefei Anhui* 230037, *China*)

Abstract: Concerning the shortcomings of ant colony algorithm such as inherent long search time, being easy to fall into the local optimal solution, an improved Ad Hoc network routing algorithm based on ant colony algorithm was proposed. By using the roulette wheel method and spreading pheromones to improve the routing searching capability, bypassing the low energy neighbor node to equilibrium network node energy, while modifying routing tables, the routing algorithm performance was improved, and the adaptability of the algorithm was enhanced. By comparing the improved routing algorithm with AODV, the simulation results show that the algorithm not only increases the search diversity of roads and reduces the convergence time, but also improves network lifetime.

Key words: ant colony algorithm; energy-aware; pheromone; Ad Hoc network

0 引言

移动 Ad Hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自治系统。网络通过无线连接构成任意的网络拓扑,适合建立临时的通信链接,如军事通信、野外工作、灾难救援等[1],因而这些移动终端是电池供电,能量有限。Ad Hoc 网络拓扑结构的频繁变化,特别高负载使得网络中的节点能量消耗过快,传统网络中的路由协议无法适用,需要重新设计适合的路由协议。在现有的路由协议技术中,路由的选择几乎都是基于节点跳数多少和距离的长短选择,没有考虑某些节点能量过早耗尽对网络稳定性和寿命的影响,不能很好地适应 Ad Hoc 网络。

蚁群算法[2]是一种模拟自然界蚁群行为的进化算法。蚂蚁在觅食走路所经过的路径上释放一种特有的分泌物——信息素,并通过信息素的正反馈机制达到发现最优路径的目的。蚁群算法应用到 Ad Hoc 网络主要分为两类:一类为在路由策略中,将代理修改为具有蚂蚁功能的代理,而整个网络为一个多代理系统,每只蚂蚁都相当于一个简单的代理,代理通过在节点间移动来获取路由协议信息从而实现路由功能,如 MARP[3], AntHocNet[4];另外一类为优化路由算法,将蚁群寻找食物过程类比路由寻找过程,将信息素用来选择下一跳节点,同时也可以表现网络的服务质量(Quality of Service, QoS)参数,如 RAMM[5]、ADRA[6]等,但也存在着搜索时间长,易陷入局部最优的缺点。本文提出结合无线自组按需平面距离矢量路由(Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing, AODV)[7]协议和蚁群算法,通过修改算法的搜索策略和信息更新机制,提出一种既提高算法的搜索能力又加快收敛速度,并延长网络生存时间的路由算法(Ad Hoc Network Routing Algorithm based on Pheromone, PANRA)。仿真结果表明,改进后的算法在求解 Ad Hoc 网络路由问题的能力有所提高。

1 AODV 路由算法

网络路由协议是实现网络通信最关键、最核心的问题。目前 Ad Hoc 网络的路由协议,一般分为主动式(即表驱动式)路由协议和反应式(即按需式)路由协议。AODV 属于按需式路由协议,综合了目标序列距离路由矢量算法(Destination Sequenced Distance Vector, DSDV)[8]和动态源路由协议(Dynamic Source Routing, DSR)[9]的特点,仅在需要发送数据时才建立路由,它采用 DSR 中路由发现和路由维护的基础原理,结合 DSDV 的逐跳路由、顺序编号和路由维护阶段的周期更新机制,包括路由发现和路由维护两个过程。

1.1 路由发现过程

当源节点有数据需要发送时,发起路由请求过程。源节点创建一个路由请求报文 RREQ,并向其邻节点广播。中间节点收到 RREQ 时,首先建立到上一跳的反向路由,接着查找自己的路由表,如果存在有到目的节点的有效路由,则通过

收稿日期:2010 - 07 - 18;**修回日期**:2010 - 08 - 28。

作者简介:周少琼(1985 -),男,江西萍乡人,硕士研究生,主要研究方向:Ad Hoc 路由协议; 徐祎(1959 -),男,江苏射阳人,教授,硕士,主要研究方向:通信对抗、无线通信、Ad Hoc 协议; 姜丽(1984 -),女,安徽六安人,助教,硕士,主要研究方向:信息安全、无线通信; 王锐(1979 -),男,安徽合肥人,讲师,硕士,主要研究方向:通信网、小样本信号分析。

已建立的反向路由返回路由应答报文 RREP;否则继续向邻节点广播 RREQ,直到该 RREQ 到达目的节点,由目的节点生成 RREP,并沿已建立的反向路由发送给源节点。

1.2 路由维护过程

由于自组网节点的移动性,网络拓扑结构发生改变,因而路由要连通必须进行路由维护。其思想是每个节点周期性地向邻节点广播 Hello 报文。如果在给定时间 t 后,邻节点还没有收到确认连接的 Hello 报文,则认为该节点已经与自己断开连接,将自己路由表中所有以该节点为下一条节点的路由都设为失效状态。AODV 路由协议允许进行本地链路修复,失效前一跳节点将启动路由发现过程,广播 RREQ 以便建立新路由。如果在给定时间里能重新建立起有效路由,就接着发送数据;如果建立路由不成功,则向上游节点发送 RERR。路由失败后先进行本地链路修复可以减少数据传送的延时,提高数据包的发送率。

2 算法改进策略

在移动 Ad Hoc 网络中,RREQ 报文包括目的节点地址、目的节点序列号、广播序列号、源节点地址、源节点序列号、上一跳地址和跳数等信息,在此基础上,在 RREQ 路由协议中加入随机信息素值和节点能量值两个参数值。RREP 报文包括源节点地址、目的节点地址、目的节点序列号、跳数和生存时间等,同样,在 RREP 报文中添加目的节点识别信息素值和节点能量值。

每一个节点都维护一张路由表,将蚁群算法引进后,路由表又被称为信息素表。将数据包的发送比拟成蚂蚁的运动,则数据包传输时就会根据信息素表中值的大小来合理选择下一跳节点。在路由寻找过程中,每发送一个 RREQ 路由请求报文的时候,源节点随机产生一个 0 到 1 之间的数值 σ,将初始化信息素值 τ_0 乘以 $(0.5+\sigma)$ 的值设定为随机信息素值 $\tau(C)$。在回复 RREP 时,设定初始目的节点识别信息素,也设定为 $\tau(C)$,并沿着反向路由进行扩散。

综合算法的修改策略,基本上继承了 AODV 路由算法的路由建立和维护规则。

2.1 算法规则

2.1.1 状态转移规则

每一数据包根据状态转移规则选择下一跳,状态转移选择采取赌轮的方式,可以加大路由请求包在搜索路径时增大随机性,不容易陷入到局部最优解。在 t 时刻,第 K 个数据包从节点 i 到节点 j 的选择规则如下:

$$j=\begin{cases}\operatorname{argmax}\{[\tau_{i,j}(t)]^{\alpha}[\eta_{i,j}(t)]^{\beta}\}, & \tau_{i,j}(t)<\tau(C)\\ Eq(2), & \text{其他}\end{cases}$$

$$j\in N_i \tag{1}$$

$$p_{i,j}^{k}(t)=\begin{cases}\dfrac{[\tau_{i,j}(t)]^{\alpha}[\eta_{i,j}(t)]^{\beta}}{\sum\limits_{s\in N_i}[\tau_{i,s}(t)]^{\alpha}[\eta_{i,s}(t)]^{\beta}}, & j\in N_i\\ 0, & \text{其他}\end{cases} \tag{2}$$

其中:$\tau(C)$ 是一个随机产生的信息素值,如果 $\tau_{i,j}(t)<\tau(C)$,则最佳下一跳由式(1)决定;否则下一跳根据式(2)选择。$\tau_{i,j}(t)$ 表示连接节点 i 和节点 j 之间的信息素值,包括数据包每经过一次留下的信息素,更新增加或减少的信息素和目的节点识别信息素。N_i 表示此包将可以访问的邻居节点的集合。$\eta_{i,j}(t)$ 为由节点 i 转移到节点 j 的启发程度,为能见度因素,设定为 $1/counts$,$counts$ 为源节点到当前节点的跳数。参数 α 为信息素启发因子,其值越大表示蚂蚁(控制报文)倾向于选择信息素轨迹较大的路径,表示轨迹的相对重要性;而 β 为跳数启发因子,其值越大则蚂蚁(控制报文)倾向于选择较少的跳数到达目的节点的路径,表示跳数的相对重要性。

2.1.2 信息素的更新规则

当信息包在路径上传输时,信息素的值会发生变化。如有信息包经过,路径上信息素的值就会增加,而没有信息包经过的路径的信息素会挥发。$\tau_{i,j}(t)$ 的值由式(3)进行更新。

$$\tau_{i,j}(t+\Delta t)=\rho\tau_{i,j}(t)+(1-\rho)\Delta\tau_{i,j}^{k}(t) \tag{3}$$

其中:ρ 是信息素挥发因子;$\Delta\tau_{i,j}^{k}(t)$ 为在链路 (i,j) 上增加的信息素值,$\Delta\tau_{i,j}^{k}(t)=Q(E_{\text{remain}}/E_{\max})$,$Q$ 为常数,E_{remain} 表示剩余能量,$E_{\max}$ 为初始能量。剩余能量越低,则增加的信息素就越少,选择此路径的可能性就会降低,从而达到绕开节点能量低的节点,使得网络中节点能量消耗均衡。

2.1.3 目的节点识别信息素扩散规则

在 RREP 路由应答报文回复时,设定一个目的节点识别信息素,此信息素在反向路由建立过程中,进行信息素扩散。当下一控制包寻找目的节点时,越接近目的节点,信息值越大,找到目的节点的时间就会减少,因而可以加快收敛时间,提高路由搜索效率。根据 RREQ 中提供的节点跳数 n,目的节点信息素按照 $1/2^n$ 进行扩散,即 $\tau_n=\tau(C)/2^n$。

2.2 算法步骤

为了利用蚁群算法在动态网络中寻找最优路径,每个节点保存与信息素值有关的概率表来代替 AODV 路由表。在概率表中有目的节点地址、目的节点序列号、目的节点序列号有效标志、其他状态标志和路由标志、网络接口、跳数、预发送节点列表、寿命,而下一跳节点信息域中包括信息素值、节点能量值和概率选择表。

1) 设定常数 Q、α、β 和 τ_0 值。

2) 当有数据需要发送的时候,开始建立路由。每发送一个 RREQ 时,随机产生一个随机数 σ,根据 σ 计算出随机信息素值 $\tau(C)$。

3) RREQ 每到达一个节点,收集节点信息,AODV 路由协议中信息素值与 $\tau(C)$,再根据式(1)或者(2)选择下一跳。

4) 每经过一个节点,按照式(3)进行一次局部信息素更新,一直到达目的节点或者有到达目的节点路由的中间节点为止。

5) 目的节点或者有到达目的节点路由的中间节点收到 RREQ 之后,会产生 RREP 来建立反向路由,根据 RREQ 提供的跳数信息进行目的节点识别信息素扩散。

6) 在路由建立之后,为了维护路由,此算法也利用 Hello 消息报文来进行路由维护。在 Hello 报文中添加能量条目,动态地通知邻居节点能量的剩余情况,为选择路由时提供更为准确的能量信息。

3 仿真结果分析

AODV 是一个十分经典和研究比较成熟的路由协议,已经被应用于移动 Ad Hoc 网络中,但是其性能仍然有许多需要改进的地方。本实验将改进蚁群算法路由协议与 AODV 进行比较,使用被广泛应用的 NS2 模拟器[11]仿真,从而证实了改进蚁群算法路由协议的有效性和可行性,并分析其网络性能。

3.1 仿真场景设置

网络拓扑结构设计为 $n(20 \leqslant n \leqslant 80)$ 个移动节点的网络模型,各节点随机分布在 1 000 m × 1 000 m 的平面矩形区域,每一个节点的最大传输范围为 250 m,随机任意方向运动,节点停留时间为 0 s,实验模拟时间为 500 s,运动最大速率为 5 m/s ~ 40 m/s,每增长 5 仿真一次,连接为 CBR 协议,最大连接数为 18,数据速率为 4 pkt/s。在本算法中,设置参数值 $Q = 10, \alpha = 1, \beta = 1.5, \rho = 0.7, \tau_0 = 10$,节点初始能量为 10 J[12]。

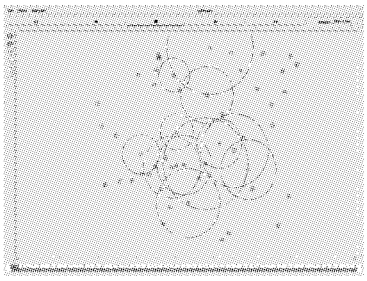

图 1 仿真过程场景

3.2 仿真结果

通过统计实验得到的数据文件,可以分别得到 AODV 和 PANRA 协议的数据包端到端平均延迟和网络生存时间。

平均端到端延迟包括路由查找延迟、数据包在接口队列中的等待延迟、传输延迟及 MAC 层的重传延迟等。从图 2 可以看出在延迟方面算法有很大的改进,这是因为改进路由算法在保证搜索路径多样性的基础上,采取了扩散目的节点识别信息素,使得节点收敛速度加快,减少搜索时间。同时采取节点能量均衡策略,使得节点死亡时间推后,导致链路在后期寻找路由的时间也相对有所较少,从而导致平均端到端延迟有一定减少。

网络生存时间定义为从仿真开始至第 1 个节点剩余能量耗尽为止[13]。如图 3 所示,网络的生存时间有一定的提升。

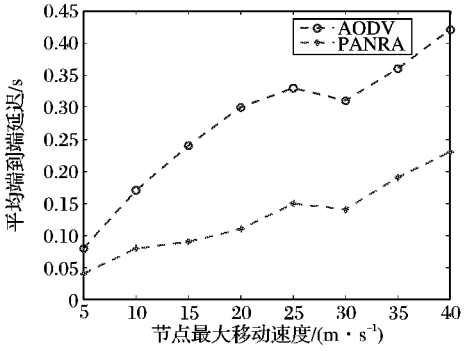

图 2 平均端到端延迟比较

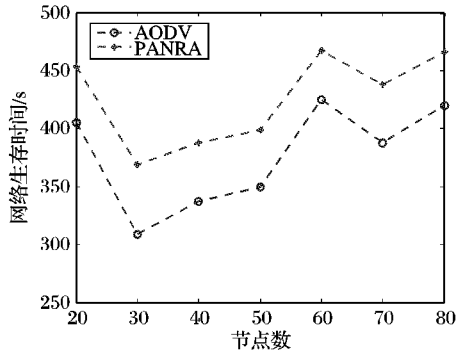

图 3 网络生存时间比较

这是因为在网络中,采取了避开节点能量低的节点,使得整个网络中的节点能量得到均衡消耗,网络不会因为某些重要节点过早耗尽能量而死亡。

4 结语

本文针对蚁群算法应用到 Ad Hoc 网络路由时出现的搜索时间长和易陷入局部最优解的缺点,提出了采取利用随机信息素进行赌轮的方式来增加路径的多样性和通过扩散目的节点识别信息素来指引控制报文快速收敛到目的节点。同时为了均衡网络节点能量,在信息素更新过程中,增加的信息素与节点能量关联,在建立路由过程中绕开节点能量低的邻居节点,达到延长网络生存时间的目的,但是在一定程度上增加了网络路由字节开销,在下一步工作研究中有待解决。

参考文献:

[1] ABOLHASAN M. A review of routing protocols for mobile Ad Hoc networks[J]. Ad Hoc Networks, 2004, 2(2): 1 – 22.

[2] DORIGO M. Optimization, learning and natural algorithms [D]. Milano, Italy: Dipartimento di Elettronica, Politecnico di, 1992.

[3] MARWAHA S, THAM C K, SRINIVASSAN D. Mobile Agents based routing protocol for mobile Ad Hoc networks [C]// IEEE GLOBECOM. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002: 17 – 21.

[4] DICARO G, DUCATELLA F, GAMBARDELLA L. AntHocNet: An adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile Ad Hoc networks[J]. European Transactions on Telecommunications, Special Issue on Self-Organization in Mobile Networking, 2005, 16(2): 443 – 455.

[5] GUNNES M, SPANIOL O. Routing algorithms for mobile multi-hop Ad-Hoc networks[C]// Proceedings of International Workshop on Next Generation Network Technologies, European Comission Central Laboratory for Parallel Processings. [S. l.]: Bulgarian Academy of Sciences, 2002: 10 – 24.

[6] ZHENG XIANGQUAN, GUO WEI, LIU RENTING. An ant-based distributed routing algorithm for Ad-Hoc networks[C]// International Conference on Communications, Circuits and Systems. Chengdu: [s. n.], 2004: 412 – 417.

[7] PERKINS C E, ROYER E M. Ad Hoc on demand distance vector routing [C]// The Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1999: 90 – 100.

[8] PERKINS C. E, BHAGWAT P. Highly dynamic Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) routing for mobile computers [C]// The ACM SIGCOMM Conference on Communications Architectures. New York: ACM, 1994: 234 – 244.

[9] JOHNSON D B, MALTZ D A, HU Y-C. IETF 4728, The dynamic source routing protocol for mobile Ad Hoc networks (DSR) [S]. IETF, 2007.

[10] 冯勇,廖瑞华,饶妮妮,等. 基于改进蚁群算法的 Ad Hoc 路由协议的研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(10): 2472 – 2475.

[11] 方路平,刘世华,陈盼,等. NS-2 网络模拟基础与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2008: 89 – 104.

[12] AHOKRANI H, JABBENHDARI S. A novel ant-based QoS routing for mobile Ad Hoc networks[C]// The First International Conference on Ubiquitous and Future Networks. Hong Kong: [s. n.], 2009: 79 – 83.

[13] 鲍彦茹,舒炎泰,陈海明. 基于 AODV 且考虑重传的节省能量路由协议[J]. 计算机应用, 2007, 27(1): 22 – 25.