

AntNet 算法在 Ad Hoc 网络 QoS 组播路由中的研究^①

肖军弼, 刘战军

(中国石油大学(华东) 计算机与通信工程学院, 青岛 266580)

摘要: 由于网络拓扑结构变化频繁和节点能量有限的原因, Ad Hoc 网络中的 QoS 组播路由算法必须能够尽快地感知网络中路径的能量状态并且自适应地改变组播路由. AntNet 算法中的蚂蚁代理能够感知网络中各个子路径的能量状态和更新信息素, 从而使组播路由能够衡量整个网络的能量变化情况, 最后就找到了考虑到路径能量状态的 QoS 组播路由. 仿真实验表明, 该算法能够均衡节点能量从而提高网络性能.

关键词: Ad Hoc; AntNet; 路径能量; 组播路由; QoS

AntNet-Based Multicast Routing Algorithm of Mobile Ad Hoc Networks

XIAO Jun-Bi, Liu Zhan-Jun

(College of Computer&Communication Engineering, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China)

Abstract: or some reasons such as dynamic network topology and limited energy of nodes, the multicast routing algorithm of Ad Hoc network must be aware of the energy status of network nodes and be very self-adaptive to alter the multicast route as soon as possible. In this paper, the ant-agent of AntNet algorithm can gather the energy status of paths and update the pheromone. As a result, the multicast route can evaluate the changes of energy in whole network. The results of simulation show that this algorithm can balance node energy and improve the performance.

Key words: Ad Hoc; AntNet; energy of paths; multicast routing; QoS

随着通信技术和智能终端技术的快速发展, 基础网络设施的建设速度越来越不能满足人们对实时快速的信息交换要求. 移动 Ad Hoc 网络作为一种由一组具有无线收发功能的移动节点组成的、无需任何网络基础设施支持的多跳自治系统, 它的多跳性、临时性和无中心的特性决定了其在军事领域、自然灾害应急处理、科学考察、探险、交互式演讲、共享信息的商业会议、紧急通信等等领域的广阔前景.

组播是一种一点对多点或多点对多点的分组传输方式, 它能够最优化地利用网络资源. 在 Ad Hoc 网络中使用组播方式传输数据分组能够有效地节约网络带宽和节点的能量, 从而提高网络的整体性能. 网络拓扑结构动态变化、带宽和延迟受限等特点使得 Ad Hoc 网络 QoS 组播路由问题成为当前研究的热点. 典型的算法有 AODV^[1,2]、DSR^[3,4]、ODMRP^[5]. 但是, 它们都存在路由开销大, 不能适应网络拓扑结构动态变化的

不足^[6]. 因此, 研究人员纷纷从不同的角度提出了新的算法来提高网络的性能, 如 EERCCP^[7]和 BIAR^[8].

1 相关工作

蚁群优化算法(Ant Colony Optimization, ACO)是一种由意大利学者 Marco Dorigo 在 1991 年提出的用于解决复杂组合优化问题的启发式方法^[9]. 后来, Gianni Di Caro 和 Marco Dorigo 在 ACO 的基础上提出了用来解决电子通信网络路由问题的 AntNet^[10,11], 并取得了很好的研究成果. ARAMA^[12]就是基于蚁群算法的 Ad Hoc 网络组播路由算法, 但是其不能地及时适应网络拓扑变化. 为了解决网络拓扑随节点能量变化而变化的问题, 本文基于 AntNet 算法提出了一种能够感知网络中路径能量状态的 QoS 组播路由算法-AEQMR. 该算法将路径的能量状态引入到 QoS 约束条件, 从而均衡网络中各个节点的能量, 来达到增强

^① 收稿时间:2014-03-20;收到修改稿时间:2014-04-25

网络拓扑稳定性和提高网络吞吐量和性能的目的。

2 AntNet算法基本原理

AntNe 算法使用正向蚂蚁 $agentF_{s \rightarrow d}$ 和逆向蚂蚁 $agentB_{d \rightarrow s}$ 来完成不同的任务。当源点 S 没有目的节点的路由时, S 发出 $agentF_{s \rightarrow d}$ 进行寻路。在中间节点上, 与数据分组有相同队列优先级的正向蚂蚁 $agentF_{s \rightarrow d}$ 按照贪婪随机策略选择下一个将要到达的节点, 同时收集与该节有关的各种状态信息。目的节点会生成一个逆向蚂蚁 $agentB_{d \rightarrow s}$ 并把与之对应的正向蚂蚁 $agentF_{s \rightarrow d}$ 的数据按规则传递给该逆向蚂蚁, 然后删除该正向蚂蚁。逆向蚂蚁 $agentB_{d \rightarrow s}$ 行进的路径和对应的正向蚂蚁完全相同, 但是方向正好相反。高优先级队列的逆向蚂蚁在快速返回源节点的过程中, 使用收集到的信息对各节点的信息素表进行更新。因此信息素表就可以反映网络的最新 QoS 状态, 为建立路由提供可靠的依据。

3 多QoS约束组播路由的问题模型

Ad Hoc 网络抽象为一个加权图 $G(C, L)$, 其中 C 表示节点集合, $|C| = n$ 表示节点集合中元素个数, 每个节点有唯一的标识符 $c_i, 1 \leq i \leq n$, 节点的能量剩余用 $E_i, 1 \leq i \leq n$ 表示, L 表示节点间双向无线通信链路集合。如果两个节点能够互相接收无线信号, 就认为这两个节点是相邻节点, 并且该两节点之间只有一条链路 $l(i, j), i, j \in C$ 。

$P(s, d)$ 为源点 s 到端节点 d 的路径。为了简化计算, 对于任意链路 $l(l \subseteq L)$ 只定义了延迟、带宽和能量三种 QoS 约束:

$$\begin{cases} D(s, d) = \sum_{l \in P(s, d)} D(l) \leq \Delta Delay \\ B(l) \geq \min Bandwidth, l \subseteq P(s, d) \\ E(p) = \sum_{i \in P(s, d)} E(i) \geq \min E \end{cases}$$

4 算法设计

4.1 数据结构设计

算法中的数据结构主要有两种:

一是节点 i 的邻接表 N_i 、信息素矩阵 T_i 、网络状态统计模型 $M_i = [B(S_{i,d}), D(S_{i,d}), E(S_{i,d})]$ 。信息素矩阵 $T_i = [\tau_{ijd}, P_{ijd}]$ 同时也是节点 i 的路由表, τ_{ijd} 表示目的节点为 d 的前向蚂蚁向节点 j 前进时的信息素,

P_{ijd} 表示目的节点为 d 的数据分组被转发到节点 j 的概率, 如果数据分组比较多或组播分组则可以根据 P_{ijd} 的大小排列来选择不同的下一个节点来同时转发。网络状态统计模型 M_i 中保存了蚂蚁收集的以节点 i 为视角的网络状信息, 如从节点 i 到目的节点 d 的带宽、时延和路径能量状态的期望、方差和最近最优值。

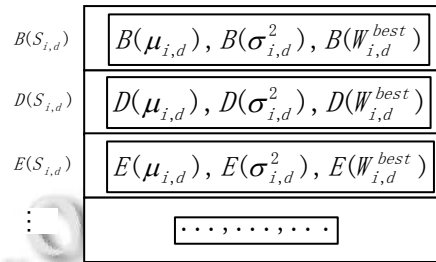


图 1 网络状态统计模型

二是前向蚂蚁和逆向蚂蚁使用相同的数据结构 $Agent = [A, Z, S_{s \rightarrow d}, Sb, Sd, Se, s, d, TTL]$, 其中 A 是蚂蚁序号, Z 是用来标识组播组的组号, $S_{s \rightarrow d}$ 用来记录前向蚂蚁到达目的节点所经过的节点序号, s, d 分别是源节点和目的节点, TTL 是人工蚂蚁在网络中的生存时间。在前向蚂蚁中 Sb, Sd, Se 记录了从源节点到中间节点的路径 QoS 信息。在逆向蚂蚁中, Sb, Sd, Se 记录了由前向蚂蚁的信息经差计算获得的从中间节点到目的节点的路径 QoS 信息。

表 1 人工蚂蚁的数据结构

前向蚂蚁结构		逆向蚂蚁结构	
A	前向蚂蚁序号	A	逆向蚂蚁序号
Z	组播组号	Z	组播组号
S _{s→d}	路径列表	S _{d→s}	路径列表
Sb	带宽列表	Sb	带宽列表
Sd	时延列表	Sd	时延列表
Se	路径能量列表	Se	路径能量列表
s	源节点序号	s	源节点序号
d	目的节点序号	d	目的节点序号
TTL	生存时间	TTL	生存时间

4.2 信息素矩阵初始化

AntNet 算法没有具体的初始化方法, 所以本文使用文献[13]提出的一种能够反映网络拓扑的信息表初始化方法: 如果目的节点 d 正好是当前节点 i 的一个相邻节点, 即 $d \in N_i$, 那么使用下式初始化:

$$\tau_{idd} = \frac{1}{n_i} + \frac{3(n_i - 1)}{2n_i^2} \tag{1}$$

对于其他的节点 $j \notin N_i$, 则使用下式初始化:

$$\tau_{ijd} = \begin{cases} 0, n_i = 1 \\ \frac{1}{n_i} - \frac{3(n_i - 1)}{2n_i^2}, n_i > 1 \end{cases} \quad (2)$$

并且公式(1)和(2)都满足 $\sum_{j \in N_i} \tau_{idj} = 1$.

4.3 路径选择规则

在 AntNet 算法中, 正向蚂蚁 $agentF_{i \rightarrow d}$ 在当前节点 i 选择相邻节点 j 作为下一个访问节点的概率 P_{ijd} 按照公式(3)^[8]计算, 并按其最大值选择.

$$\begin{cases} P_{ijd} = \frac{\tau_{ijd} + \alpha \eta_{ij}}{1 + \alpha(|N_i| - 1)}, j \in N_i \\ \eta_{ij} = 1 - \frac{q_{ij}}{\sum_{l=1}^{|N_i|} q_{il}} \end{cases} \quad (3)$$

其中, q_{ij} 是节点 i 与它的相邻节点 j 之间链路上的队列长度, α 是衡量启发值 η_{ij} 相对于信息素 τ_{idj} 的重要性. 启发值 η_{ij} 的值反映了节点 i 当前队列的瞬时状态, 可以被用来减少网络波动对算法的影响, 即链路上队列越小, 该链路被选择的概率就越大

4.4 网络状态统计模型更新规则

逆向蚂蚁使用公式(4)更新节点 i 的网络状态统计模型 M_i , 进而使节点 i 的信息素表也能够反映网络状态的变化情况.

$$\begin{cases} \mu_{id} \leftarrow \mu_{id} + \zeta(o_{i \rightarrow d} - \mu_{id}) \\ \sigma_{id}^2 \leftarrow \sigma_{id}^2 + \zeta((o_{i \rightarrow d} - \mu_{id})^2 - \sigma_{id}^2), 0 < \zeta < 1 \end{cases} \quad (4)$$

其中 $o_{i \rightarrow d}$ 是最近观测到的从节点 i 到节点 d 的各项 QoS 信息的状态. 因子 ζ 是衡量会真正影响平均值的最近样本数目的比重. 因为被 Ad Hoc 网络中节点的特点所限制, 所以设观测窗口的大小为 $w_{\max} = 5c/\zeta, c < 1$, c 的值一般设为 0.3.

4.5 节点信息素矩阵的更新规则

数据密集型页面往往由 Web 站点根据用户的查询请求动态生成, 从同一站点能得到大量同类型的动态页面.

当逆向蚂蚁从某个相邻节点 f 到达节点 i 后, 它就会对节点 i 上所有与节点 d 相关的数据结构进行更新, 其中公式(5)用来更新信息素 τ_{idj} :

$$\begin{cases} \tau_{ifd} \leftarrow \tau_{ifd} + r(1 - \tau_{ifd}) \\ \tau_{ijd} \leftarrow \tau_{ijd} - r\tau_{ijd}, j \in N_i \text{ 且 } j \neq f \end{cases} \quad (5)$$

其中, $0 < r \leq 1$ 是与当前逆向蚂蚁的 QoS 信息和过

去网络状态统计信息相关的信息素更新系数, 当前 QoS 信息越好, 它的值越大. r 的计算公式(6)如下:

$$\begin{aligned} r &= c_1 X + c_2 Y \\ X &= \frac{B(W_{i,d}^{best})}{B(o_{i,d})} + \frac{D(W_{i,d}^{best})}{D(o_{i,d})} + \frac{E(W_{i,d}^{best})}{E(o_{i,d})} \\ Y &= \frac{B(\sigma_{i,d}^2)}{(B(o_{i,d}) - B(W_{i,d}^{best}))^2} + \frac{D(\sigma_{i,d}^2)}{(D(o_{i,d}) - D(W_{i,d}^{best}))^2} + \frac{E(\sigma_{i,d}^2)}{(E(o_{i,d}) - E(W_{i,d}^{best}))^2} \end{aligned}$$

其中, c_1, c_2 分别表示当前路径在“好坏”和稳定性这两方面的比重, X, Y 分别表示当前路径在“好坏”和稳定方面的计算方法. 系统还可以根据具体要求在 X, Y 这两参数中添加系数来增加信息素更新的偏向性, 如提高路径能量状态在更新系数的权重, 这样就可以使蚂蚁选择规则更加侧重路径的能量状态, 从而均衡 Ad Hoc 网络中的节点的能量状态, 尽可能地延长节点的工作时间和网络的生存时间.

4.6 算法步骤

1) 当有新数据要发送且没有到达目的节点的有效路由时, 源节点就会每隔时间发送一个前身蚂蚁到不断寻找和优化路径;

2) 每只前向蚂蚁都按照路径选择规则, 从当前节点的邻接节点中随机选择下一跳节点并记录各个节点以及节点间链路的各项 QoS 信息. 前向蚂蚁通过重复的这个动作来不断前进, 直到目的节点;

3) 目的节点会通过复制前向蚂蚁来生成一个对应的高队列优先级的后向蚂蚁. 后向蚂蚁沿着与相应前向蚂蚁完全相反的路径使用单播方式快速返回源节点并更新节点上的网络状态统计模型、信息素矩阵.

4) 经过一定的时间, 网络中就会建立起一个动态的满足 QoS 约束的网状路由

5 仿真实验分析

5.1 仿真环境设置

具体的 OMNET++ 的仿真场景为: 在一个面积为 $2000 \times 1000 \text{m}^2$ 的平面区域中, 50 个随机分布的无线节点以 0-10m/s 的速度随机移动, 且所有节点的无线传输范围为 200m. Ad Hoc 网络的中各链路的初始状态为: 链路的初始带宽在 [1M, 2M] 内随机分布, 链路的时延在 [40ms, 80ms] 内随机分布. 网络中存在 1 个组播源和 8 个组播目的节点, 而其他节点则随机向其他节点发起通信请求. 各个节点在模拟开始的 0 到 20s 时间内随机开始每隔 10ms 就发送一个 64byte 的数据分组.

所有节点的无线传输类型都为 20CBR, 无线信道模型为双向射线路径损耗模型, MAC 层使用 MANET 中常用的 802.11b DCF 协议. 具体参数如表 2:

表 2 算法参数设置表

节点电池容量	3000mAh
时间间隔 Δt	30ms
观察窗口 W	50
生存时间 TTL	15
α	0.45
ζ	0.1
c_1	0.7
c_2	0.3

5.2 实验结果分析

根据仿真实验的结果, 本文从延迟变化和能量变化两方面来进行分析:

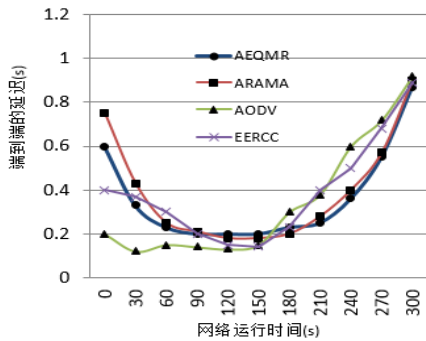


图 2 端到端的延迟随时间的变化

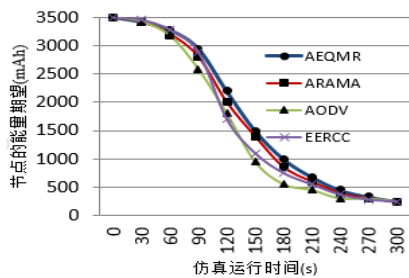


图 3 节点的平均能量随时间的变化

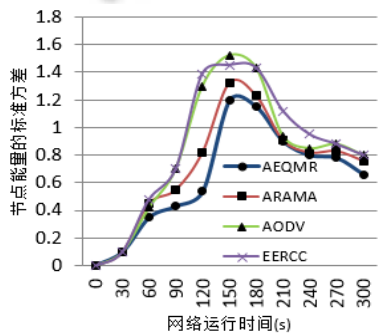


图 4 节点能量的方差随时间的变化

1) 从端到端的时延方面来看: 在前 150s 时间里, AEQMR 和 ARAMA 的端到端时延明显要比 AODV 的长. 这是由于 ARAMA 和 AEQMR 在选择路由时为了均衡网络中的数据流量和路由的能量消耗, 考虑了网络的状态信息和路由的能量状态, 因此它们在构建的路由不一定会是时延最短的, 这是造成了它们的端到端的专题片有所延长, 但是不会对通信质量造成明显的影响. EERCCP 对 AODV 的是拥塞机制进行了适当改进, 所以其时延在前期能量充足的时候会会比较短.

在后 150s 的时间里, AODV 和 EERCCP 的路由时延变得明显比 ARAMA 和 AEQMR 要大. 这是由于 AODV 和 EERCCP 中部分中间节点的转发任务较重, 造成能量消耗过快, 使得数据分组不得不选择延迟较长的路由, 而 ARAMA 和 AEQMR 中的节点能量消耗均衡, 从而端到端的时延变化平滑. 同时, 由于 ARAMA 的前向蚂蚁使用单播方式寻路, 所以它建立最优路由的时间要比 AEQMR 长一些.

2) 从节点能量方面来看: 随着网络的运行, AODV 和 EERCCP 中节点的能量期望呈现快速下降的趋势, 同时节点的能量方差呈现快速增长的趋势, 这说明网络中有一部分节点由于传输了相对过多的流量而导致大量能量被消耗, 而其他节点的负载则相对较小. 与 AODV 和 EERCCP 相比, ARAMA 和 AEQMR 在选择路由的时候同时考虑了网络的状态变化和路由的能量状态, 平衡了网络中的数据流量, 不会使得某些节点过度转发数据分组, 因此 ARAMA 和 AEQMR 的能量变化情况要比 AODV 的平滑许多.

3) AEQMR 和 ARAMA 这两个算法相比可以发现: 在端到端的时延方面和网络节点的能量期望这两个网络性能评价标准上, 两个算法的性能没有明显的优劣之分. 但是, 在网络运行时间的中间部分, AEQMR 在网络节点能量方差的表现上面要比 ARAMA 好, 这说明 AEQMR 对网络状态, 特别是路径能量变化趋势的预测性能要更加准确一些, 因为它是以中间节点到目的节点的网络状态作为路由更新依据的.

6 结语

Ad Hoc 网络要求其组播路由协议具有自适应性, 能均衡节点的能量. 本文在基于 AntNet 算法提出了一种能够感知网络能量分布的蚁群组播路由算法, 它将路径能量状态作为一种 OoS 约束项归入路由链路的评价

价系统中,使信息素能够更加及时、全面和准确地反映网络状态,达到了适应网络拓扑动态变化,平衡数据流量,均衡节点能量和提高网络性能的目的。在以后工作中,仍需要对算法的规则和参数设置进行进一步的调整和优化,提升算法对不同 Ad Hoc 网络环境的适应性。

参考文献

- 1 Perkins C, Perkins C, Das S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. RFC 3561, 2003, 7.
- 2 吴国风,邵臣. Ad Hoc 网络中 AODV 路由协议的分析与改进. 计算机系统应用, 2010, 19(10): 221-224.
- 3 Johnson D, Johnson D, Maltz D. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile Ad Hoc networks for IPv4. RFC 4728, 2007, 2.
- 4 Khatawkar SD, Pandiyaji KK, Patil RM, Sa VM, Kulkarni UL. Performance comparison of DSDV, AODV, DSR routing protocols for MANETs. Proc. of 2012 International Conference on Computer Networks and Communication Systems (CNCS 2012), Kuala Lumpur, Malaysia, 2012: 44-48.
- 5 Lee SJ, Su W, Gerla M. On-demand multicast routing protocol in multihop wireless networks. ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications, 2002, 7(6): 441-453.
- 6 Menon VG, Sreekala CS, Johnny V, Tony T, Alias E. Performance analysis of traditional topology based routing protocols in mobile Ad hoc networks. The International Journal of Computer Science & Applications (TIJCSA), 2013, 2(1): 1-6.
- 7 Rao KS, Kumar RS, Venkatesh P, Naidu RVS, Ramesh A. Development of energy efficient and reliable congestion control protocol for multicasting in mobile Ad hoc networks compare with AODV based on receivers. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 2012, 2(2): 631-634.
- 8 Karia DC, Godbole VV. New approach for routing in mobile ad-hoc networks based on ant colony optimisation with global positioning system. Networks, IET. 2013, 2(3): 171-180.
- 9 Dorigo M, Maniezzo V, Colomi A. The ant system: Optimization by a colony of cooperating Agents. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part B, 1996, 26(1): 29-41.
- 10 Caro GD, Dorigo M. AntNet: A Mobile Approach to Adaptive Routing [Technical report] IRIDIA/97-12. Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 1997.
- 11 Dorigo M, Stutzle T. 张军, 胡晓敏, 罗旭耀等译. 蚁群优化. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- 12 Osama H, Tarek S, Jong LM. Probability routing algorithm for mobile ad hoc networks' resources management. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(12): 2248-2259.
- 13 Baran B, Sosa R. A new approach for AntNet routing. Proc. of Ninth International Conference on Computer Communications and Networks. Las Vegas, USA. 2000.