

基于改进蚁群算法的 Ad hoc 路由协议的研究

冯 勇^① 廖瑞华^② 饶妮妮^{①*} 王炜华^②

^①(电子科技大学生物医学工程系 成都 610054)

^②(空军装备研究院通信所 北京 100085)

摘要: 现有 Ad hoc 网络路由协议技术研究中, 路由稳定性和可靠性问题尚未得到很好解决, 不能很好地适应 Ad hoc 网络。针对已有 Ad hoc 路由技术中存在的开销大以及网络稳定性较低的问题, 该文引入蚁群算法, 并对其进行改进。研究基于改进蚁群算法的 Ad hoc 路由协议, 并与比较成熟的 AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) 进行对比。仿真实验结果表明, 通过发挥网络中结点群体功能, 新协议减小了端对端传输延时, 改善了数据包传输成功率与协议开销, 有效地提高了网络的稳定性和通信效率。

关键词: Ad hoc 网络; 路由协议; 蚁群算法; AODV

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)10-2472-04

The Routing Protocol Based on Improved Ant Colony Algorithm for Ad hoc Networks

Feng Yong^① Liao Rui-hua^② Rao Ni-ni^① Wang Wei-hua^②

^①(Department of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

^②(Communication Institute of Air-Force Equipment Research Academy, Beijing 100085, China)

Abstract: Many of the existing proposed routing protocols could not give well stability and reliability and not fit in the needs for Ad hoc network. Because of the problems of great overhead and the lower stability in Ad hoc routing technology, an improved ant colony algorithm is proposed to study an ant-based Ad hoc routing protocol. Compared with the AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) routing protocol which is a very mature strategy in Ad hoc study, simulation results show that by bringing the node colony function into play, the improved ant colony routing protocol can reduce the end-to-end delay and the routing overhead and increase the packet delivery rate. The network performances such as the stability and the efficiency are improved effectively.

Key words: Ad hoc network; Routing protocol; Ant colony algorithm; AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector)

1 引言

无线移动 Ad hoc 网络是由一组自主的无线结点或终端相互合作而形成的, 是独立于固定的基础设施并且采用分布式管理的网络, 是一种自创造、自组织和自我管理网络^[1]。国内外有关 Ad hoc 网络的研究热点包括: 路由协议、MAC 协议^[2]和连通性^[3]等多个方面。其中, 路由协议的研究是 Ad hoc 网络成果最集中的部分^[4]。目前, 学者们已经提出了多种移动 Ad hoc 网络路由协议的改进, 大体分为两类: 一类称为表格驱动类路由协议(也称为主动式路由协议)。它是基于传统有线 LAN/WAN 的路由协议, 把每个移动结点当作一个路由器, 进行周期性的路由信息广播和更新, 因而其网络开销大, 如 DSDV 和 OLSR^[5, 6]等协议。另一类称为源结点初

始化按需驱动类路由协议(也称为反应式路由协议或者简称为按需路由协议)。当需要路由来传送数据包时才进行路由发现, 即仅构建和维护当前需要用来发送数据包的路由, 具有较小的通信控制(路由维护更新)开销, 如 AODV 和 DSR^[7, 8]等协议。两类路由协议各有其优缺点, 并各有其适用的情况, 如规模和移动性不同等情况。它们都在一定程度上达到了 Ad hoc 网络的某些要求。由于它们采用了洪泛的路由发现和机制(如 AODV), 所以其网络性能始终受到制约。随着 Ad hoc 网络技术的迅速发展, 迫切需要研究出一种能使网络性能更加优越的新的路由算法。本文正是基于这种设想提出以改进蚁群算法构建一种新的 Ad hoc 网络路由协议。

蚁群算法首先由意大利学者 Dorigo 于 1991 年提出, 并用该方法解决了一系列的组合优化问题^[9, 10]。它已经以多种方式应用于无线网络路由, 如类蚁路由算法^[11]以及按需距离矢量蚂蚁混合路由协议^[12]等, 能够形成可靠的并具有生存力

的路由算法,并利用按需和按表路由的许多优势来避免自身固有的缺憾。与盲扩散路由算法不同,其路由开销能够被有效控制,而开销的控制可以用来提高算法的规模。目前,有一些明显的例子可以证明,由生物学所引发的这种蚁群算法应用于通信网络路由较传统路由在网络性能上更有优势^[13-15]。

本文结合 Ad hoc 网络结构,建议一种改进的蚁群算法作为无线移动自组织网的网络层路由协议,并且设计和改进了蚁群路由协议算法。利用 OPNET 网络仿真软件搭建无线移动自组织网仿真平台,构建不同数目结点的模块。在此仿真平台上,对蚁群路由协议算法进行仿真,证实其有效性和可行性。通过仿真数据证明改进的蚁群路由协议算法在端对端传输延时、传输成功率以及协议开销等网络性能上比 AODV 路由算法有更大的优势。在网络拓扑结构动态变化比较大的情况下,解决诸如 AODV 等传统协议性能欠佳的问题。

2 蚁群算法

根据蚂蚁觅食的基本原理,科学家们设计了寻找最优路径的蚁群算法^[16],其主要步骤为

(1) m 只蚂蚁随机从蚁穴出发寻觅食物,遇到食物,衔住食物,沿原路返回;

(2) 蚂蚁在往返途中,在路上留下信息素标志。设 t 时刻在路径 (i, j) 上残留的信息素强度 $\tau_{ij}(t)$ 。初始时刻各路径上信息素强度相同,且 $\tau_{ij}(0) = C$ (C 为常数);

(3) 由蚁穴出发的蚂蚁,根据各条路径上信息素强度决定转移方向,转移概率由以下公式定义:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t)\eta_{ij}^\beta(t)}{\sum_{s \in M} \tau_{is}^\alpha(t)\eta_{is}^\beta(t)}, & J \in M \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中 P_{ij}^k 是在 t 时刻蚂蚁 k 由位置 i 转移到位置 j 的概率; η_{ij} 为位置 i 和 j 间连接时的本地启发值,这个值能表达邻近结点的信息,比如邻近排队延迟、存留能量、比特错误率等; α 表示轨迹的相对重要性 ($\alpha \geq 0$); β 表示本地启发值的相对重要性 ($\beta \geq 0$); M 是可用邻近结点位置序列,是由蚂蚁信息和寻路规则(比如无循环)定义的。

3 蚁群算法的改进

在传统蚁群算法的基础上,主要通过改进选择策略和引入信息素挥发机制——蚁群信息素强度的全局修正来形成一种改进的蚁群算法。具体步骤是:

(1) 为了避免蚂蚁一开始就失去解的多样性,在式(1)的基础上给出第 k 只蚂蚁按以下概率从位置 i 转换到位置 j 的定义,即

$$j = \begin{cases} \max\{\tau_{is}^\alpha\eta_{is}^\beta\}, & s \in M, r \leq p^0 \\ \text{依概率 } P_{ij}^k \text{ 选择 } j, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

其中 r 是在 $[0, 1]$ 区间均匀分布的随机数, p^0 是一个参数

($0 \leq p^0 \leq 1$)。参数 p^0 的大小决定了利用先验知识与探索新路径之间的相对重要性;每当一只位于位置 i 的蚂蚁选择一个将要到达的位置 j 时,它选取一个随机数 $0 \leq r \leq 1$ 。如果 $r \leq p^0$,则根据先验知识(按照式(2))选择最好的路径,否则按式(1)的概率来选择一条路径。

(2) 引入一个信息素挥发系数变量 ρ ($0 \leq \rho < 1$), $1 - \rho$ 则理解为轨迹衰减度。将信息素挥发的机制加入到传统的蚁群算法体系中,当根据式(1)得出转移概率之后,随着时间的推移,以前留下的信息素会逐渐挥发,经过 n 个时刻,蚂蚁完成一次循环,各路径上信息素强度根据下式进行调整:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho\tau_{ij}(t) + (1-\rho)\Delta\tau_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4)$$

其中 $\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在路径 (i, j) 上的信息素强度, $\Delta\tau_{ij}$ 表示本次循环中路径 (i, j) 上的信息素强度的增量,且

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q, & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过路径 } (i, j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中 Q 是与第 k 只蚂蚁所携带的信息素强度和本次循环所走过路径长度有关的量。

4 基于改进蚁群算法设计路由协议

通过分析不难发现,蚂蚁觅食过程,即通过个体之间的信息交流与相互协作最终找到从蚁穴到食物源的最短路径,与无线网络路由问题有着惊人的相似之处。本文结合 Ad hoc 网络环境进行引申,将蚂蚁觅食过程中的“蚁穴”和“食物源”当作 Ad hoc 网络中的源结点和目的结点,将蚂蚁的行为当作网络中的数据通信,蚁群算法中有一个蚂蚁决策表,它包括所有结点选择下一路径的转移概率和关于结点的本地信息,蚂蚁使用这个表来指导其搜索朝着搜索空间中最有吸引力的区域移动,这正是网络通信中路由表的形成过程。因此,改进蚁群算法能够应用于无线 Ad hoc 网络的路由,通过信息素的释放寻找并维护从源结点到达目的结点的最优路由,按照信息素的挥发算法不断对各结点的信息素值进行更新,以适应网络动态变化的需要。

改进蚁群路由协议的设计主要包括路径探索和路由维护(包括路由断路和路径循环)等方面。

4.1 路径探索设计

当源结点 S 需要和目的结点 D 通信时,它首先在自己的路由表里查找是否存在这样一条从源结点到目的结点的路径,如果没有,它将开始路径探索过程。新路径的建立过程需要用到前向蚂蚁和后向蚂蚁的概念,他们是可移动的个体,将在移动过程中及时更新结点的信息和路径探索的状况。首先从源结点 S 出发的前向蚂蚁根据初始化可能性路由表随机地选择它的下一结点,到达这一中间结点 i 后,经查询非源结点 D , 中间结点 i 将它的 $ID(i)$ 和路径信息插入到前向蚂蚁信息中。然后,这只蚂蚁将被驱使前进到邻近的下

一结点。下一邻近结点是根据式(1)和式(2)的规则选择的,它的值是根据信息素强度和本地启发信息来计算的,邻近的一个结点将被选择,蚂蚁会朝向这一结点。当最终到达目的结点 D 后,前向蚂蚁立即消失,后向蚂蚁产生并携带着对应的前向蚂蚁的信息,包括经过的所有中间结点的ID和路径信息。然后,它沿着对应前向蚂蚁的路径反向返回并更新路径连接的信息素值。当它被中间结点 i 接收,结点从中收集信息并更新信息素值和对应前向蚂蚁目的地的可能路由表条目。信息素值根据前面提出的信息素强度的全局修正规则,由式(3)-式(6)更新。这样,根据全局修正的思想,蚂蚁经过路径上的信息素值将增加,在其它路径上的将减小。后向蚂蚁将被送到反向路径的下一结点。当它到达源结点 S ,在更新源结点 S 的信息素值后死亡,至此,路径探索过程完成。总体来看,前向蚂蚁存在的阶段是一个搜索可用路径的阶段,而后向蚂蚁的阶段则是路径更新的阶段。

4.2 路由维护设计

在移动Ad hoc网络中,结点的可移动性,网络拓扑结构的频繁动态变化都使得路由维护显得十分重要。路由断路和死循环是路由维护中必须解决的两个关键问题。

(1)路由断路 本文设计的路由断路方案是:当中间结点发现由路径不通或收到路由断路的消息后,它首先根据断路的路径信息删除自己对应的可能性路由表条目,然后查询可能性路由表条目,看是否能找到到达同一目的地的其他路径。如果有,则根据前面提出的转移概率选择一条最优的路径进行通信,然后更新每一条可能性路由表条目;如果没有到达对应目的地的可选路径,它就向其他结点继续发送路由断路消息。当源结点在通信完成前收到路由断路消息后,如果没有到目的地的其他路径,它将发起新的路径探索过程,直到通信完成。

(2)路径循环 在通信过程中,如果数据流在若干个结点之间形成循环,那么路径就会失效,造成路由失败。基于改进蚁群算法建立的路由协议在解决这个问题上有着独到的优势,其循环问题在路径探索阶段其实就已经解决了。在前向蚂蚁阶段,它所经过的每一中间结点都会将自己的ID加入到蚂蚁信息当中,蚂蚁对此都有记录并且它只搜索从未到达过的结点。因此,算法自身就很有效地避免了死循环问题。

5 仿真实验与结果分析

5.1 仿真思路与仿真模型

仿真工具选用OPNET,在传输层使用UDP(User Datagram Protocol,用户数据报协议)和CBR(Constant Bit Rate,恒定比特率,本实验设定为10)数据源的方式产生数据。仿真开始后,数据源在0到180s之间随机选取一个数开始发送数据直到仿真结束;在MAC层,本文选用802.11b DCF协议。仿真场景是根据随机路点模型(Random Waypoint Model, RWM),由一些开始随机放置的可移动结点组成,并且它们在 $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ 的矩形仿真区域内持

续运动。

RWM模型中,每个可移动结点在仿真的初始阶段都随机地选择一个区域中的目的地,以均匀的速度直线遍历到目的地;然后,每一可移动结点停留在这个目的地一段时间,称为停留时间(pause time)。当停留时间结束,它又将随机再选择一个新的目的地,然后通过同样的方式遍历到这个新的目的地,如此反复地进行。整个仿真过程中,可移动模型RWM反复重复着运动的程序,这就将导致基础网络的拓扑结构持续变化,这使得基于改进蚁群算法的路由协议在仿真过程中将持续修正路由表。最终,将得到从源结点到目的结点的端对端传输延时性能指标。

5.2 实验参数

本仿真实验中设置的模型参数如表1所示。

表1 实验参数

参数名称	数值
结点数目	10, 20, 40, 80, 100
速度/方向	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40(m/s)
停留时间	15, 30, 60, 120, 240, 480(s)
仿真时间	500(s)
数据包发送率	1 packet/s
仿真区域	$1000\text{m} \times 1000\text{m}$
移动模型	RWM随机路点模型
路由协议	改进的蚁群算法路由协议和AODV协议

5.3 实验结果和分析

AODV是一个十分经典和研究比较成熟的路由协议,已经被应用于无线Ad hoc网络中。由于它所采用的洪泛的路由发现和维护机制,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,从而证实改进蚁群算法路由协议的有效性和可行性,分析其网络性能。

(1)不同停留时间情况下的端对端传输延时性能(结点数目设为40) 停留时间指从一网络拓扑结构变为另一新拓扑结构的时间。停留时间与网络的移动性密切相关,停留时间越短,意味着网络动态变化越快,实验结果如图1所示。从图1中可以看出,在不同的停留时间下,蚁群路由的传输延时比传统的AODV要小,这是因为蚁群路由算法能够提供较为稳定的连接,并能保证提供最优的路径(跳数最少或延时最短)。随着停留时间的增加(网络的动态变化减小)。两者的传输延时都呈现减小的趋势,而AODV减小的趋势相对缓慢,这是两个算法的自身特性所决定的,即蚁群算法会在路由过程中及时有效地去除不需要的路由信息(非最优的结点和路径),而AODV将始终保留这些信息并在以后发送这些信息,这就意味着将发送更多的数据包,产生更多的延时。在动态情况下,显然蚁群路由协议具有更加优良的性能。

(2)不同结点移动速度下的端对端传输延时性能(结点数目设为40) 图2是在逐渐增加结点移动速度的情况下,蚁群路由和AODV在端对端传输延时指标上的比较曲线。结点移动速度的增加,意味着网络拓扑结构变化率加快,网络的动态变化越大。从图2不难看出,两种路由都出现了传输延时的增加,说明网络的动态变化性对网络性能的影响很大。然而在相同速度下,蚁群路由的性能均比AODV的好,例如,在速度达到40m/s时,蚁群路由和AODV的端对端传输延时分别为0.15 s和0.35 s, AODV的延时是蚁群路由的两倍多。进一步从图2中还可以看出,蚁群路由曲线比AODV的平坦,说明它受结点移动速度的影响比AODV要小。因此,蚁群路由更适合于拓扑结构动态变化性大的网络环境。

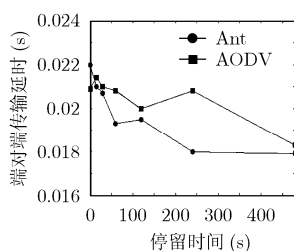


图1 平均端对端传输延时与停留时间关系曲线

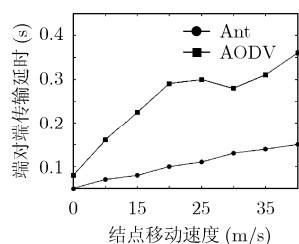


图2 端对端传输延时与结点移动速度的关系曲线

此外,本试验还开展了不同停留时间情况下数据包传输成功率与协议开销和不同结点移动速度下数据包传输成功率等性能的仿真实验。结果表明,蚁群路由的上述性能均优于AODV(受篇幅限制,数据未给出)。

6 结束语

采用改进的蚁群算法路由协议,无线Ad hoc网络的性能比传统的AODV路由协议有较大的改善。在相同的停留时间下蚁群路由与AODV相比曲线更为平坦,受网络拓扑结构动态变化的影响更小,更能适应动态变化较大的网络环境。当网络规模变大或者结点移动速度加快时,尤其是当结点移动速度达到40m/s的时候,蚁群路由的端对端传输延时缩减为AODV的一半,从而大大提高了路由协议的适用范围。在数据包传输成功率和协议开销等性能上,改进的蚁群算法路由协议也优于AODV。然而,改进的蚁群路由协议也不是适应所有的环境。当结点移动速度达到30m/s,即可移动结点以每小时108 km的速度移动时,改进的蚁群算法路由协议虽然在端到端延时方面比传统的AODV路由协议有了很大改善,但仍然未达到无线移动自组织网的网络性能要求。综上所述,改进的蚁群算法路由协议应用于无线移动自组织网的网络环境是有效和可行的,其网络性能比传统AODV路由协议的网络性能有较大提高,可作为一种新的Ad hoc网络路由协议方案。

参考文献

[1] Ramanathan R and Redi J. A brief overview of mobile Ad hoc

- networks: Challenges and direction[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40(5): 20-23.
- [2] Karn P. MACA-A new channel access method for packet radio [A].ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference[C]. Ontario, Canada, 1990: 134-142.
- [3] Bettstetter C. On the minimum node degree and connectivity of a wireless multihop network [C]. Proc.MobiHoc, Lausanne, Switzerland, 2002: 80-91.
- [4] Royer E M and Toh Chai-Keong. A review of current routing protocols for Ad hoc mobile wireless networks [J]. *IEEE Personal Communications*, 1999, 6(2): 46-55.
- [5] Perkins C and Bhagwat P. Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers[J]. *Computer Communication Review*, 1994, 24(4): 234-244.
- [6] Clausen T and Jacquet P. Optimized link state routing protocol (OLSR). RFC3626, October, 2003.
- [7] Perkins C, Royer E M, and Das S R. Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing. IETF Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-07.txt, November, 2000.
- [8] Johnson D and Maltz D. Dynamic Source Routing in Ad hoc Wireless Networks. Mobile Computing[M]. Edited by Tomas Imielinski and Hank Korth, Kluwer Academic Publishers, 1996: 153-181.
- [9] Dorigo M, Maniezzo V, and Colnari A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics*, 1996, 26(1): 29-41.
- [10] Dorigo M and Caro G D. Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial Life*, 1999, 5(3): 137-172.
- [11] Cgmarra D and Loureiro A A F. A GPS/ant - like routing algorithm for Ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'00)*, Chicago, IL, USA, September, 2000: 1232-1236.
- [12] Marwaha S, Tham C K, and Srinivasan D. Mobile agents based routing protocol for mobile Ad hoc networks. In *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, Taipei, 2002: 163-167.
- [13] Gutjahr W J. ACO Algorithms with guaranteed convergence to the optimal solution. Technical report, University of Vienna, ISDS 2001-02.
- [14] Heissenbittel M and Braun T. Ants-based routing in large scale mobile Ad-hoc networks. *Kommunikation in verteilten Systemen(KiVS03)*, Leipzig, Germany, March, 2003: 181-190.
- [15] Gilnes M, Sorges U, and Bouazizi I. ARA-the ant-colony based routing algorithm for MANETs. *International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'02)*, Vancouver, British Columbia, Canada, IEEE Computer Society Press, 2002: 79-85.
- [16] Dorigo M, Bonabeau E, and Theraulaz G. Ant algorithms and stigmergy [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2000, 16: 851-871.

冯 勇: 男, 1981 年生, 硕士生, 研究方向为移动通信。

廖瑞华: 男, 1960 年生, 本科生, 研究方向为无线移动通信。

饶妮妮: 女, 1963 年生, 教授、博士生导师, 研究方向为信号与信息处理、生物信息学等。

王炜华: 女, 1977 年生, 博士生, 研究方向为无线移动通信。