

# 基于蚁群的 Ad Hoc 网络多路径路由的改进

秦 军<sup>1</sup>, 韩 晨<sup>2</sup>, 翟 钊<sup>2</sup>

(1. 南京邮电大学 教育科学与技术学院, 江苏 南京 210023;  
2. 南京邮电大学 计算机与软件学院, 江苏 南京 210023)

**摘 要:**在大规模的 Ad Hoc 网络中,带宽有限,并且节点移动会引起链路频繁中断,从而导致传输时延较大。针对这些缺点,文中提出了加入了链路失效预测的蚁群多路径路由算法 LA-ACO (Location Aided ACO)。通过蚁群算法的分布式计算来寻找多条路由,并利用多路径路由来进行数据包的负载平衡,同时进行链路失效的预测,利用蚁群的正反馈机制完成快速主动路由修复。在仿真得到的结果中可以发现,该算法有较好的寻优能力,并且适应于 Ad Hoc 网络的拓扑多变化的特性。

**关键词:**Ad Hoc 网络;链路失效预测;蚁群算法;多路径路由;负载平衡

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2014)05-0074-05

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.018

## Improvement of Ad Hoc Network Multipath Routing Based on Ant Colony

QIN Jun<sup>1</sup>, HAN Chen<sup>2</sup>, ZHAI Zhao<sup>2</sup>

(1. College of Education Science and Technology, Nanjing University of Posts &  
Telecommunications, Nanjing 210023, China;  
2. College of Computer and Software, Nanjing University of Posts &  
Telecommunications, Nanjing 210023, China)

**Abstract:**In large-scale Ad Hoc network, the bandwidth is limited, and the movement of nodes can cause link interrupted frequently which may lead to transport delay. Focusing on these problems, a new multipath routing algorithm of ant colony joined prediction of failed link is presented which called LA-ACO (Location Aided ACO). Through distributed computing of the ant colony algorithm to find multiple routing, use multipath routing to load balance for data packets, at the same time, predict the link which will be failed, by the positive feedback mechanism of the ant colony repair the link quickly and actively. The simulation results show this algorithm has good optimization ability, and is adapted to the change characteristics of Ad Hoc network topology.

**Key words:**Ad Hoc network; link failure forecast; ant colony algorithm; multipath routing; load balancing

## 0 引 言

移动 Ad Hoc 网络<sup>[1]</sup>是一种特殊的无线移动通信网络,它不需要固定基站设施,节点之间的通信需要借助于其他的移动节点,并形成多跳通信完成<sup>[2]</sup>。由于节点移动<sup>[3]</sup>、信道干扰<sup>[4]</sup>和能源消耗<sup>[5]</sup>以及 Ad Hoc 网络的多变的拓扑结构的影响,这使得设计一个高性能的路由协议具有很大的难度。针对 Ad Hoc 路由协议存在的各种问题,已开展了广泛的研究,如 AODV,

DSR, LAR, ZRP<sup>[6-8]</sup>等。大多数的路由协议都把跳数最少的那一条路由作为优先选择,但无论是什么样路由,一条路径的带宽总是有限的,当在同一时间内,或者是在很短的一段时间内,有相当数量的节点同时选择了这条跳数最短的路由,就会造成网络延迟增大,网络拥塞,某条路径上所有节点的能量消耗加快,这就对全网中节点的能量多少以及路由带宽大小的设置造成了很大的负担。

收稿日期:2013-07-22

修回日期:2013-10-27

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:江苏省高校自然科学基金(12KJB520009);江苏省教育科学“十二五”规划课题(D/2011/01/074)

作者简介:秦 军(1955-),女,教授,研究方向为计算机网络技术、多媒体技术、数据库技术;韩 晨(1989-),男,硕士,研究方向为计算机网络技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1613.038.html>

由于单路由的局限性,因此出现了多路路由<sup>[9]</sup>算法。根据节点相关性的不同,多路路由又被分为了不相关多路路由和相关多路路由。不相关多路路由通过建立多条与主路径节点不相关的路径来组成后备路径集,后备路径集合中的所有路径除了源节点和目的节点,不包括其他和主路径相同的节点。这些可以替换的后备路径在主路径失效时通常不会受到影响,但会比主路径耗费更大的代价。

文中主要讨论在节点不相关的情况下,多条路由来平衡源节点发出数据包的负载。

1 蚁群算法与 AntNet

蚁群算法来源于对自然界蚂蚁找到从蚁巢到食物源的最短路径方法的研究,而提出的一种模拟进化算法<sup>[10]</sup>。蚂蚁在寻找食物的运动过程中,能够在其所经过的路径上留下信息素(pheromone),信息素强度的大小将会影响每一个蚂蚁个体独立选择某条路径的概率。当一条路径上通过的蚂蚁增多时,该条路径上的信息素强度也随之增强,后继蚂蚁个体在进行路径选择时,选择该条路径的概率也会提高,导致更多的蚂蚁在该条路径上留下信息素,也就再一次地增加该路径上的信息素强度。强大的信息素会吸引更多的蚂蚁,这样便形成了一种信息的正反馈机制。通过这种正反馈机制,蚁群最终可以发现巢穴与食物源之间的最短路径。当出现障碍物时,蚁群可以绕过障碍物,并通过在经过路径上留下不同强度的信息素,最终也能找到最优路径。

AntNet<sup>[11]</sup>是一种典型的 ACO 算法,它解决了在电子通信中的网络路由问题。网络路由指的是引导信息从源节点向目的节点传输所必需进行的活动。该问题既重要又难以解决,重要性是指网络性能十分依赖网络路由的选择,而难点在于网络的固有特性,例如流量负载与网络拓扑,这些特性都具有明显的不确定性,并且通常因为时间的不同而不同。正是由于网络的这些不确定性,以及真实网络的物理分布性,使得在网络路由这个难题上蚁群算法可以发挥特有的优势。

与普通路由算法不同的是,在使用蚁群路由的网络中,每个节点都不再使用路由表,取而代之的是象征蚂蚁信息素的信息素表,当在进行路由搜索的时候,人工蚂蚁将利用每个节点上的信息素表来判断下一跳的节点。信息素表结构如表 1。

其中  $\tau_{i,d_i}$  代表在该节点上当目的节点为  $d_i$  的时候,选择邻接点  $i_1$  作为下一跳节点的信息素值。那么当在  $t$  时刻,目的节点为  $d$  的人工蚂蚁  $a$  到达该节点时选择  $i$  作为下一跳节点的概率即为:

表 1 信息素表结构

邻接点	$d_1$	$d_2$	$d_3$	...
$i_1$	$\tau_{i_1 d_1}$	$\tau_{i_1 d_2}$	$\tau_{i_1 d_3}$	
$i_2$	$\tau_{i_2 d_1}$	$\tau_{i_2 d_2}$	$\tau_{i_2 d_3}$	
$i_3$	$\tau_{i_3 d_1}$	$\tau_{i_3 d_2}$	$\tau_{i_3 d_3}$	
...				

$$P_{id}^a(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{id}(t)]^\alpha [\eta_i(t)]^\beta}{\sum_{s \in \text{table}_a} [\tau_{sd}(t)]^\alpha [\eta_s(t)]^\beta} & i \in \text{table}_a \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\text{table}_a$  是人工蚂蚁  $a$  下一跳可以选择的节点集合; $\eta_i(t)$  是启发式函数,通常可以选择为该节点到下一跳节点的距离的倒数,而距离的大小由该节点来维护,可以通过周期性的 hello 报文中地理位置的交互来计算两者的距离。式中通过设置  $\alpha, \beta$  的值,控制信息素、启发值的相对重要性。

2 加入了链路失效预测的蚁群多路径路由

2.1 算法提出

AntNet 算法依托于蚁群算法的多样性与正反馈,在 Ad Hoc 网络中都能得到不错的解,但是并没有考虑到 Ad Hoc 网络中带宽有限的问题,同时在链路失效时就直接进行重新路由,浪费了带宽。因此文中提出 LA-ACO 算法,基于蚁群算法是一种分布式算法<sup>[12]</sup>的特点,在 AntNet 的基础上将原来的单路径搜索修改为多路径搜索,并加入链路失效的预测。

2.2 算法基本步骤

文中提出的多路径路由算法 LA-ACO 中包含了路由发现、目的节点的处理以及源节点的处理三个部分,如图 1。

2.2.1 路由发现

(1) 首先初始化全网信息素为最大信息素允许值,防止路由算法开始就由于某条链路的信息素值被某只蚂蚁更新的过大,导致在算法的开始就陷入局部最优解。

(2) 当由源节点  $S$  需要向目的节点发送数据的时候,首先查看自己的路由表,若存在目的节点的信息,则直接转发,否则转(3)。

(3) 源节点  $S$  产生  $m$  只 Fant(前向蚂蚁),Fant 的分组格式如表 2 所示。

其中 antID 和 Source address 唯一标识一只蚂蚁,当蚂蚁被产生时,将源节点加入路由列表  $L$  中并在  $T_i[]$  中加入当前时间。接着依据该节点的信息素表,根据式(1)选择下一节点。

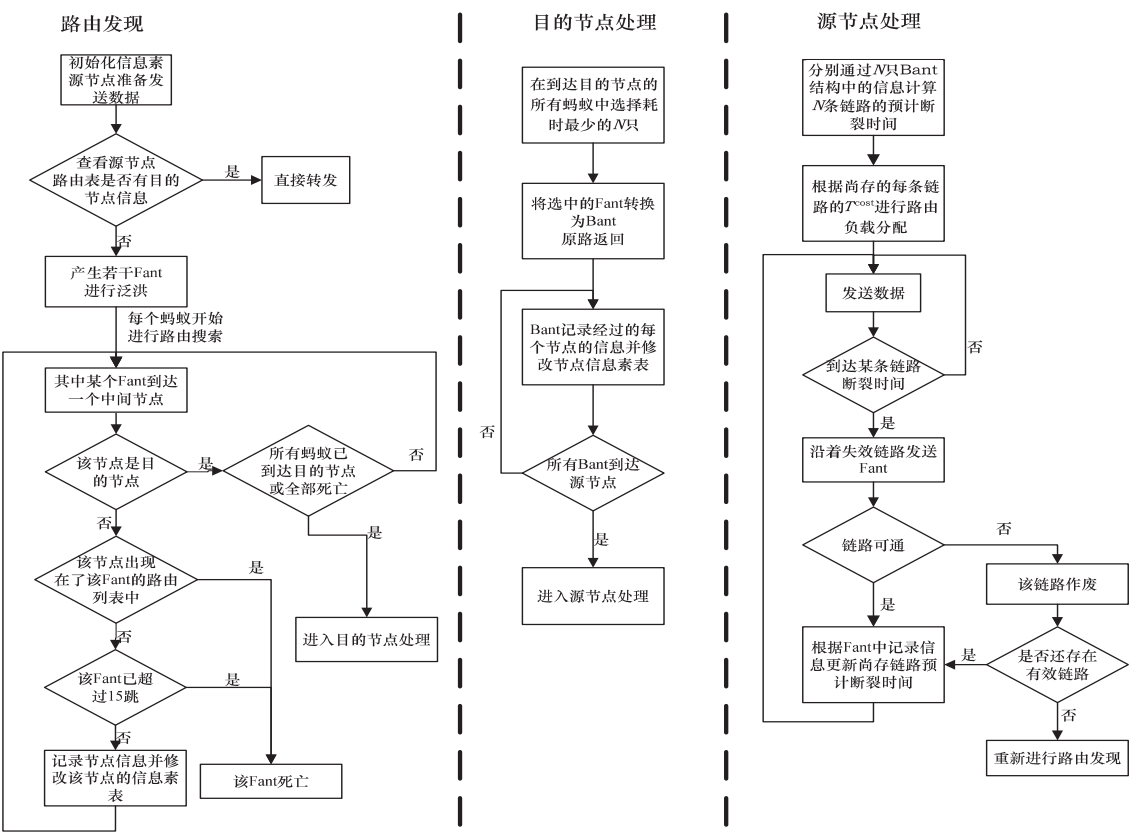


图 1 算法基本步骤

表 2 Fant 的分组格式

antID	Source address	Destinaion address	Number of hop	$L(S \cdots D)$	$T_f[]$	$T_b[]$	$P_f[]$	$P_b[]$	$N[]$
蚂蚁 ID	源节点地址	目的节点地址	已经过跳数	经过节点组成的路由列表	前向蚂蚁到达各节点时间	后向蚂蚁到达各节点时间	前向蚂蚁到达各节点时位置	后向蚂蚁到达各节点时位置	邻接点列表

(4) 当中间节点  $j$  收到来自节点  $i$  的 Fant 之后, 进行以下判断:

- ① 检查自己是否是目的节点, 是则转入目的节点的处理。
- ② 检查该节点是否出现在该蚂蚁的路由列表中, 出现则令该 Fant 死亡, 防止出现环路。
- ③ 若 Number of hop 数已经大于 15, 令该 Fant 死亡, 减小泛洪。
- ④ 若都不符合, 则转入(5)。

(5) 修改 Fant 中的路由表, 加入本节点。并将该节点的邻接点加入到邻接点列表  $N[]$  中, 同时将当前时间以及该节点的地理位置(可用二维坐标  $x, y$  表示)写入  $T_f[]$  和  $P_f[]$  中, 将 hop 数加一。最后对该节点的邻接点进行广播, 降低邻接点以目的节点为  $D$  时到该节点的信息素值, 目的是让其他蚂蚁以更大的概率选择其他节点。

重复(4)至(5), 当蚂蚁全部死亡或未死亡的蚂蚁已经全部到达目的节点  $D$  结束, 转入目的节点的处理。

2.2.2 目的节点的处理

- (1) 设置最大路径数  $N$ (文中取 3), 符合条件路径数  $NUM=0$ 。
- (2) 在到达的 Fant 的路由列表最后加入本节点, 在前向蚂蚁到达各节点时间数组  $T_f[]$  中记录 Fant 到达时间。
- (3) 通过每只 Fant 中记录时间的数组, 用到达目的节点  $D$  的时间减去从源节点  $S$  出发的时间, 就可以得出每只 Fant 所寻路径的耗时  $T^{cost}$ , 并将此耗时  $T^{cost}$  作为评价路径解质量的依据。首先选取  $T^{cost}$  最小的路径作为主路径, 将  $NUM$  加一。再依次从  $T^{cost}$  次小的路径中选取与主路径节点不相交的简单相关路径(即次优路径中所有节点都是主路径的邻接点的路径), 每找到一条符合条件的路径就将  $NUM$  加一。当  $NUM>N$  时停止, 转入(4)。
- (4) 将产生被选中的  $NUM$  个路径的 Fant 转化为后向蚂蚁 Bant(分组格式相同), 按记录的路由列表原路返回。在返回过程中, 每经过一个节点  $j$ , 将当前的时间与该节点的地理位置记入  $T_b[]$  和  $P_b[]$ , 并修改

节点信息素表:

$$\tau_{id} = (1 - \rho)\tau_{id} + \rho\Delta\tau_{id} \quad i, j \in L \text{ 且 } i, j \text{ 相邻} \quad (2)$$

式中,  $\Delta\tau_{id}$  为蚂蚁在经过链路  $(i, j)$  时在此链路上留下的信息素增量;  $\rho$  为信息素挥发因子, 则  $1 - \rho$  表示信息素残留因子,  $\rho$  的取值范围为  $[0, 1]$ 。

信息素增量定义如下:

$$\Delta\tau_{id} = \frac{Q}{T_{i \rightarrow j}^{\text{cost}}} \quad (3)$$

其中,  $Q$  为一常数, 表示信息量。

(5) 当所有 Bant 到达源节点  $S$ , 转入源节点处理过程。

### 2.2.3 源节点的处理

(1) 通过 Bant 中每个节点在  $P_f[\ ]$  和  $P_b[\ ]$  中记录的对应的地理位置, 可以大致估算出节点  $i$  的绝对移动速度:

$$\vec{v}_i = (v_x, v_y) = \frac{(x_i^b - x_i^f, y_i^b - y_i^f)}{t_i^b - t_i^f} \quad (4)$$

其中,  $(x_i^b, y_i^b)$  是  $P_b[\ ]$  中记录的节点  $i$  的坐标;  $(x_i^f, y_i^f)$  是  $P_f[\ ]$  中记录的节点  $i$  的坐标;  $t_i^b, t_i^f$  是 Fant 和 Bant 到达节点  $i$  的时间;

(2) 假设两节点之间最大的通信距离是  $D$ , 那么在路由列表中任意相邻的节点  $i$  与节点  $j$  之间的距离为:

$$d = \sqrt{[(x_i + tv_{x_i}) - (x_j + tv_{x_j})]^2 + [(y_i + tv_{y_i}) - (y_j + tv_{y_j})]^2} \quad (5)$$

节点  $i$  与节点  $j$  之间链路预计要断裂的时间为:

$$t_{ij} = \frac{-2(x_i - x_j)(v_{x_i} - v_{x_j}) - 2(y_i - y_j)(v_{y_i} - v_{y_j}) + \alpha}{2[(v_{x_i} - v_{x_j})^2 + (v_{y_i} - v_{y_j})^2]} \quad (6)$$

其中,  $(x_i, y_i)$  与  $(x_j, y_j)$  是任意相邻的节点  $i$  与节点  $j$  的坐标;  $\alpha = \{ [2(x_i - x_j)(v_{x_i} - v_{x_j}) + 2(y_i - y_j)(v_{y_i} - v_{y_j})]^2 - 4[(v_{x_i} - v_{x_j})^2 + (v_{y_i} - v_{y_j})^2][(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 - D^2] \}^{\frac{1}{2}}$ 。

每条路由的最长存活时间取决于该条路由中最先断裂的链路, 即

$$T_{i \rightarrow j}^{\text{alive}} = \min(t_{ij}) \quad i, j \in L_k \quad (7)$$

其中,  $L_k$  是在 Bant 与 Fant 中记录的路由列表。

(3) 负载分配, 将  $T_{i \rightarrow j}^{\text{alive}}$  升序排列, 假设得到多条路由存活的序列为  $(T_a^{\text{alive}}, T_b^{\text{alive}}, \dots, T_{\text{NUM}}^{\text{alive}})$ 。那么在 0

$\sim T_a^{\text{alive}}$ , 每条路由的负载为:  $L_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{\text{NUM}} \frac{1}{T_j^{\text{cost}}}}$ 。当时间经

过了  $T_a^{\text{alive}}$  后, 存活时间为  $T_a^{\text{alive}}$  的路由有可能失效了, 所以要依次进行以下的操作:

① 重新进行负载分配:

$$L_i = \frac{\frac{1}{T_i^{\text{cost}}}}{\sum_{j=1}^{\text{NUM}} \frac{1}{T_j^{\text{cost}}}} \quad i, j \neq a \quad (8)$$

② 由源节点  $S$  沿着失效的路由  $a$  发出 Fant; 若不通, 那么路由  $a$  作废, 从路由存活序列中删除路由  $a$ ; 若通, 根据 Bant 中的参数, 重新计算  $T_a^{\text{alive}}$ , 更新路由存活序列中的  $T_a^{\text{alive}} = T_a^{\text{alive}} + T_a^{\text{alive}}$ , 重新排列路由存活序列, 并进行重新负载分配。

每当路由过程到达路由存活序列中的一个时间节点, 就进行一次上述过程。

(4) 当所有路由都作废 (此时路由存活序列为空), 源节点重新开始路由。

## 3 仿 真

用 NS-2.34 软件进行仿真试验来比较 AODV 和 LA-ACO, 以验证上述算法的有效性<sup>[13]</sup>。仿真场景: 节点的移动采用随机点移动模型, 移动节点的无线覆盖距离设置为 200 m, 信道带宽为  $2 \times 10^6$  bit/s, MAC 层协议采用 IEEE 802.11b DCF, 随机在  $1\,000 \text{ m} \times 1\,000 \text{ m}$  的区域内分布 50 个移动节点, 节点的移动速度为 10 m/s, 并选取 10 对移动节点发送恒定比特速率数据流。每秒发送 1 个长度为 512 B 数据包。在场景中根据设定节点的停留时间来改变节点的移动性, 停留时间从 0 到 300 s 依次取值为 0、50、100、150、200、250、300。LA-ACO 算法中各参数取值为  $N=3, \rho=0.5, Q=10$ , 启发因子  $\alpha, \beta$  均设置为 2。

图 2 显示了 LA-ACO 和 AODV 的分组投递率的比较, 随着节点停留时间的增长, 节点的移动频率随之减小, 可以发现 LA-ACO 和 AODV 的分组投递率都有不同程度的增加, 通过纵向比较可以发现, 在不同程度的节点移动频率上, LA-ACO 的分组投递率都优于 AODV, 并且这种优势在节点移动频率高的场景中体

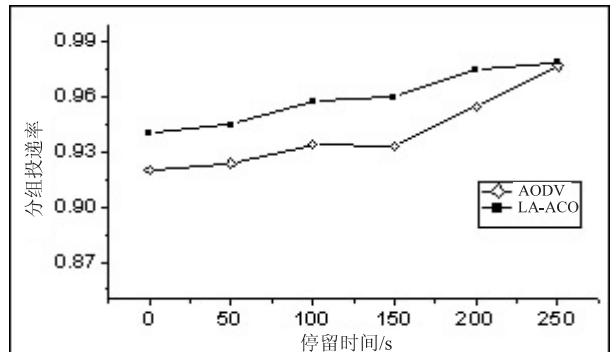


图 2 分组投递率比较

现的更明显。这是因为 LA-ACO 算法能建立多条路径,平衡流量负载;动态更新路径的信息素,并利用信息素的强度作为启发在以后的路由中合理平衡网络流量,提高网络总体吞吐量。

由图 3 可以看出,LA-ACO 和 AODV 的平均端到端的延时随着节点移动性的减弱而减少,同样通过纵向比较,可以发现相同的节点移动频率上,LA-ACO 的平均端到端时延都要小于 AODV,这是因为 LA-ACO 能够依据不同网络状态,自适应地选择轻负载路由,在多条路径间进行负载均衡,并通过路由修复机制缩短了重发延时,然而 AODV 却不具有这种应对路由出现高负载的方法。

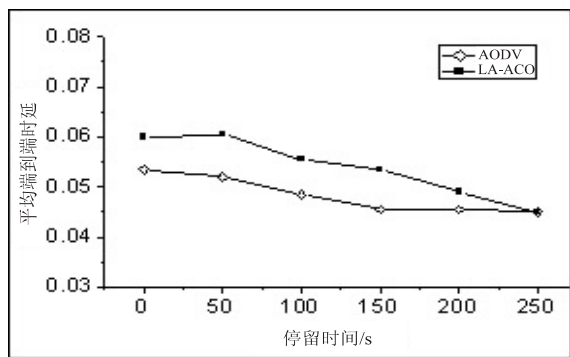


图 3 平均端到端时延比较

## 4 结束语

文中对 NetAnt 路由协议进行了分析,针对 NetAnt 路由协议没有考虑带宽有限,同时在链路失效时直接进行重新路由这一缺点,对其进行了多路径路由的修改,在链路修复部分引入了链路中断预测机制。利用 NS-2.34 对改进后的协议进行了仿真分析,仿真结果表明,改进后的协议能有效减少端到端平均时延,提高分组投递率,这对改善网络的整体性能具有十分重要

的意义。

## 参考文献:

- [1] 王 华,薛 涛,崔云平,等. Ad Hoc 网络技术[J]. 硅谷, 2012(17):9-10.
- [2] Ramanathan R,Redi J. A brief overview of Ad Hoc networks: challenges and directions[J]. IEEE Communications Magazine, 2002,40(5):20-22.
- [3] 石丛军,任清华,郑 博,等. MANET 节点移动模型仿真研究[J]. 计算机工程,2009,35(14):101-103.
- [4] 王浩波,黄 伟,刘存才. 无线信道干扰概率对网络性能影响分析[J]. 通信系统与网络技术,2012,38(1):10-11.
- [5] 田旺兰. 无线传感器网络中影响能源消耗的因素的研究[J]. 电脑知识与技术,2008,4(3):742-744.
- [6] Perkins 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>.
- [7] Johnson D, Hu Y, Maltz D. The Dynamic Source Routing (DSR) protocol for mobile ad hoc networks for IPV4[EB/OL]. [2008-12-13]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>.
- [8] 常慧君,单 洪. Ad Hoc 路由协议 LAR 的性能分析与研究[J]. 微计算机应用,2009,30(3):20-24.
- [9] 安辉耀,卢锡城. 移动自主网络多路径路由技术研究进展[J]. 计算机工程与科学,2006,28(2):4-9.
- [10] 秦 军,付珍珍,王小丽. 基于蚁群的 Ad Hoc 网络分簇路由算法[J]. 计算机技术与发展,2012,22(1):72-75.
- [11] Chandra S,Shrivastava U,Vaish R,et al. Improved-AntNet: ACO routing algorithm in practice[C]//Proc of 11th international conference on computer modelling and simulation. Cambridge:[s. n.], 2009:25-29.
- [12] 周少琼,徐 祎,姜 丽,等. 蚁群优化算法在 Ad Hoc 网络路由中的应用[J]. 计算机应用,2011,31(2):332-334.
- [13] 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.

(上接第 73 页)

## 参考文献:

- [1] 3GPP TS29.273. Evolved Packet System (EPS);3GPP EPS AAA interfaces[S]. 2010.
- [2] 王志新,张 华,黎永明. 虚拟技术及其应用[J]. 上海理工大学学报,1998,20(1):49-55.
- [3] 刘保华,黄考利,杨锁昌. 虚拟仪器的软件实现方法[J]. 自动化博览,2002(1):34-36.
- [4] 李子臣,王文静. 网络时代经济高效的数据存储方式:虚拟存储[J]. 现代情报,2002(6):119-121.
- [5] 郭御风,李 琼,刘光明,等. 虚拟存储技术研究[J]. 计算机应用研究,2004,21(2):56-60.
- [6] 乔维德. 虚拟仪器技术及其展望[J]. 电气时代,2005(12):18-20.

- [7] 杨 达,高 欣. 浅谈虚拟光驱及应用[J]. 工业技术与职业教育,2001,9(4):15-16.
- [8] 肖 凌,李之棠,梅 松. 一种基于虚拟网卡的 Windows-VPN 体系结构研究[J]. 小型微型计算机系统,2007,28(9):1586-1590.
- [9] Rigney C,Rubens A C,Simpson W A,et al. Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)[S]. RFC 2865,2000.
- [10] Fajardo V,Arkko J,Loughney J,et al. Diameter base protocol[S]. RFC 6733,2012.
- [11] 3GPP TS23.402. Architecture enhancements for non-3GPP accesses version10.0.0[S]. 2010.
- [12] 3GPP TS23.234. 3GPP system to Wireless Local Area Network version10.0.0 (WLAN) interworking; System description[S]. 2010.

# 基于蚁群的Ad Hoc网络多路径路由的改进


作者:

秦军, 韩晨, 翟钊, [QIN Jun](#), [HAN Chen](#), [ZHAI Zhao](#)

作者单位:

[秦军, QIN Jun\(南京邮电大学 教育科学与技术学院, 江苏 南京, 210023\)](#), [韩晨, 翟钊, HAN Chen, ZHAI Zhao\(南京邮电大学 计算机与软件学院, 江苏 南京, 210023\)](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#)

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

2014(5)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjtz201405018.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201405018.aspx)