

分级网络中基于链路可靠性的簇间路由算法

王振朝, 荆 鑫, 王 静

(河北大学电子信息工程学院, 河北 保定 071002)

摘要:为减少分级 Ad Hoc 网络路由控制开销,降低洪泛信息冲撞概率和链路中断概率,提出一种基于链路可靠性的簇间路由选择算法,并给出实现步骤。在研究 Ad Hoc 分级结构网络特点和簇间路由特性的基础上,对影响簇间链路可靠性的多项因素进行分析,并定义相应的权值参数。将权值参数映射到蚁群算法的正反馈和启发信息的可变参数中,进而将蚁群算法应用于簇间路由发现机制。仿真结果证明,该算法可有效减少簇间路由的洪泛开销,提高路径寻优概率,从而增强簇间路由的可靠性。

关键词: Ad Hoc 网络; 分级结构; 路由算法; 蚁群算法; 权值参数

Inter-cluster Routing Algorithm Based on Link Reliability in Hierarchical Network

WANG Zhen-chao, JING Xin, WANG Jing

(College of Electronic & Information Engineering, Hebei University, Baoding 071002, China)

【Abstract】In order to reduce the routing overhead, probability of the information collision and rate of the link breaks in hierarchical Ad Hoc networks, a new inter-cluster routing algorithm based on the link reliability is proposed and described. Based on the research of the characteristics of the classification structure and inter-cluster routing, several key parameters in the inter-cluster routing are discussed and the corresponding weight parameter is defined. The weight parameter is mapped to the variables of Ant Colony Algorithm(ACA), so as to meet the demand of the network. And this ant colony optimization algorithm is applied to the inter-cluster routing. Simulation results show that the new algorithm is effective to reduce the flooding overhead, increase the probability of optimization and enhance the reliability of inter-cluster routing.

【Key words】 Ad Hoc network; hierarchical structure; routing algorithm; Ant Colony Algorithm(ACA); weight parameter

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.24.031

1 概述

根据网络逻辑结构的不同, Ad Hoc 网络的路由协议可分为平面路由协议和分级路由协议^[1]。其中, 分级路由协议采用分簇算法对节点进行层次划分, 网络被划分为多个簇区域, 形成特定的分级结构网络, 并在分级结构网络中建立簇内路由和簇间路由。

现有 Ad Hoc 网络分级路由协议的研究主要集中在对分簇算法的优化方面。文献[2-4]从增强簇稳定性、减少控制开销、降低簇头更换频率的角度, 改进分簇算法从而提高网络性能。上述研究的簇内路由和簇间路由多采用成熟协议中的查表法和洪泛法, 或根据采用的分簇算法的特点进行相应调整, 以适应特定分簇算法环境下的分级结构网络。一般而言, 无论网络规模大小, 簇内路由涉及的节点数目都有限, 且节点关系简单明晰, 采用上述研究中的简单路由方式便可满足网络性能要求。但是, 随着网络规模的增大, 簇间路由的复杂度增加, 因此, 需要对簇间路由进行系统的分析研究, 研究稳健性强的簇间路由优化机制, 以提高分级 Ad Hoc 网络路由的可靠性。

本文研究分级 Ad Hoc 网络的簇间路由算法, 在分析分级 Ad Hoc 网络的特点和对簇间路由性能的要求基础上, 利用蚁群算法的智能性和正反馈性, 构造簇间路由算法。

2 分级 Ad Hoc 网络及其簇间路由的特点

本文研究的目标系统是已完成分簇过程的分级 Ad Hoc 网络, 该网络中节点分为 3 类: 簇头节点, 簇成员节点和网关节点。簇头节点负责管理和维护簇结构和簇内节点信息,

为簇间通信提供合适的路由信息; 网关节点是簇间通信的接口界面; 簇成员节点只需维护局部信息, 功能简单。

Ad Hoc 网络节点具有高度的移动性, 簇拓扑结构易发生改变, 因此, 选择相对稳定的链路是分级 Ad Hoc 网络路由的难点和重点。而影响链路稳定性的主要因素可归纳如下:

(1)簇节点度(簇内节点的数目)

中继簇的簇内节点数过多时, 会使簇头担负的控制开销增加、耗电量增大, 而引发通信阻塞或簇的解体; 而中继簇的簇内节点数过少时, 由于簇间的中继距离减小, 中继簇跳数增加, 数据分组的投递时延增加。无论簇内节点数过多或过少都会影响通信链路。

(2)剩余电量

Ad Hoc 网络节点能量有限。而簇头节点在整个分级结构网络中具有重要地位, 其剩余电量是保证簇稳定性的重要指标; 网关节点是簇与簇间连接的桥梁, 其剩余电量是影响链路有效性的因素。

(3)节点的移动速度

节点的移动引发网络拓扑的变化, 尤其是高速移动的簇头节点易使簇结构发生改变, 导致网络重新分割或通信中断。

在构造簇间路由算法时应优先考虑上述因素对路由的影

基金项目: 河北省自然科学基金资助项目(F2009000224); 河北省科技攻关计划基金资助项目(072135190)

作者简介: 王振朝(1958—), 男, 教授、博士, 主研方向: 移动自组网, 数据通信; 荆 鑫、王 静, 硕士研究生

收稿日期: 2011-06-10 E-mail: wangzhenchaohbdx@163.com

响。本文将影响簇间链路性能的各参数的权值与蚁群算法中的可变参数相映射, 通过调整蚁群优化算法中的参数, 间接对路由选择策略进行调整。

3 基于链路可靠性的簇间路由算法

3.1 簇间路由的蚁群算法参数模型

(1)定义2类蚂蚁: 前向蚂蚁和后向蚂蚁。前向蚂蚁负责从源簇头到目的簇头的簇间寻路, 前向蚂蚁到达目的簇后, 转化成后向蚂蚁并沿原路径返回。

(2)时刻 t , 蚂蚁 k 由节点 i 转移到节点 j 的转移概率:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}]^\beta} & j \in allowed_k \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

其中, $allowed_k$ 表示蚂蚁下一跳允许选择的节点集合, 它随着蚂蚁 k 的寻路过程而动态改变; $\tau_{ij}(t)$ 为 t 时刻路径 (i,j) 上的信息量; η_{ij} 为路径 (i,j) 上的启发函数; α 、 β 分别为信息启发式因子和期望启发式因子。

(3)当后向蚂蚁经过链路 (i,j) 时, 对该链路上信息素按下式进行更新:

$$\tau(i, j) \leftarrow (1 - \rho)\tau(i, j) + \Delta\tau_{ij} \quad (2)$$

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

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{Q}{W_k} \quad (3)$$

其中, Q 为一常数, 表示信息素强度; W_k 表示链路第 k 只蚂蚁在本次循环中所走路程的总权值。根据式(2)和式(3)对链路上的信息素更新, 可见, W_k 越小, 该路径的信息素增量越大, 路径上留的信息素越多, 从而根据式(1)计算出的该路径的转移概率 p 越大。

3.2 权值参数的定义及计算

网络初始化后, 簇头 CH_i 通过与簇成员周期性地交互“Hello”数据包, 得到其簇内节点的个数 d_i 、网关节点的剩余电量、簇成员节点最近一次发送的功率值, 及簇头与网关节点发送、接收数据包的时间差。

(1)相对簇节点度

根据簇节点度对簇间路由的影响, 参考文献[5]给出的一个结论: 若 V_1 、 V_2 分别代表簇内、簇间的通信带宽, N 代表网络中节点个数, 则网络的最佳簇节点度 δ 为:

$$\delta = \frac{V_2}{V_1} \sqrt{N} \quad (4)$$

簇头 CH_i 计算其相对簇节点度 D_i :

$$D_i = |d_i - \delta| \quad (5)$$

(2)簇间剩余电量

簇 i 与簇 j 互为邻接簇, 两簇的簇间剩余电量 E_{ij} 为簇头和所对应的网关的电量和。新算法选择簇头和网关节点剩余电量相对较大的簇作为簇间路由的中继簇, 从而提高链路稳定性。

(3)平均相对移动速率^[6]

根据弗里斯自由空间电波传播公式, 通过从相邻节点 y 、 x 接收的2个连续信号功率的比, 可以知道此两节点间的相对移动速率 M_{y-x} 。对于任意节点 y , 如果其有 m 个相邻节点 x 、 y 就要计算 m 个 M_{y-x} 值, 再通过计算所有 M_{y-x} 相对0的二阶矩, 从而得到节点 y 相对其所有邻节点的平均相对移动

速率:

$$M_y = E(M_{y-x}^2) \quad (6)$$

M_y 越小说明 y 相对于其邻节点的移动性越低。

从簇的稳定性角度考虑, 使用簇头节点相对其簇内节点的平均相对移动速率更合理。每个簇头 CH_i 计算其相对于簇内所有成员节点的平均相对移动速率 M_i , 并记录到簇头节点信息列表中。

(4)簇间时延

中继簇相互传递数据分组的时延。将簇间时延 T 作为组合参数之一, 可以有效减少总路径时延。

(5)簇头节点 CH_i 计算并储存路径 (i,j) 间的组合权值:

$$W_{ij} = a \times D_i - b \times E_{ij} + c \times M_i + d \times T_{ij} \quad (7)$$

其中, $a+b+c+d=1$ 。

(6)寻路结束后, 目的簇头节点计算路径的总权值:

$$W_k = \sum W_{ij} \quad (8)$$

4 算法实现

4.1 蚂蚁分组结构

由蚁群算法在分级网络中的传输特性, 将蚂蚁分组格式设为:

fl	SA	CsA	DA	J_k	$tabu_k$	$Visited-W_i$	W_k
------	------	-------	------	-------	----------	---------------	-------

其中, fl 为蚂蚁分组序列号; SA 为源节点 ID 号; CsA 为源簇头的 ID 号; DA 为目的节点的 ID 号; J_k 为蚂蚁 k 的跳数计数值; $tabu_k$ 为禁忌表, 用来记录蚂蚁 k 当前所走过的簇头节点 ID 号, 即源路由列表; $Visited-W_i$ 为蚂蚁 k 访问过的链路的加权值数组; W_k 为蚂蚁 k 走过的路径的总权值。

4.2 路由发现与建立

参数初始化时, 设置簇头节点的初始化信息素值和启发函数 $\eta_{ij}=1/W_{ij}$, 设置源簇头管理的迭代次数值, 并为每只蚂蚁设定跳数计数值和禁忌表。

(1)源节点 S 欲发送数据到目的节点 D 时, 首先查找自己的邻居列表, 看是否有到达 D 的路由信息, 若存在则直接发送数据分组。否则转到第(2)步。

(2) S 将 D 的 ID 发送给 S 所在簇的簇头 CH_s , CH_s 查找自己的簇成员列表, 看是否有 D 的信息, 若有则返回分组给 S , 再由 S 发起簇内通信。否则转到第(3)步。

(3)源簇头 CH_s 产生 k 只前向蚂蚁, 令 k 只蚂蚁同时出发, 蚂蚁分组各自依转移概率, 从邻接簇集合中选择一个簇作为下一跳, 并通过作为中继节点的网关(或分布式网关)节点转发到该邻接簇。

(4)当中间簇头 CH_j 经由网关收到来自簇头 CH_i 的前向蚂蚁时, 依次进行如下处理: 检查目的节点 ID 是否在自己的簇成员列表内, 若存在则转入目的簇处理过程; 检查禁忌表中是否包含当前簇头地址, 若包含则丢弃该蚂蚁, 以避免形成环路; 蚂蚁跳数值减一并检查是否大于 0, 若不大于则丢弃该蚂蚁。若上述条件都不满足, 则转入第(5)步。

(5)簇头 CH_j 按式(1)计算出其所有下游邻接簇的转移概率。蚂蚁记录簇头中的 W_{ij} 信息并更新禁忌表, 然后再次依转移概率进行转发。

当 k 只蚂蚁全部到达目的节点所属簇或被丢弃后, 转入目的簇处理过程:

目的簇的簇头节点把自己的 ID 号写入蚂蚁禁忌表中的最后一项; 根据蚂蚁分组记录的信息按式(8)计算得出 W_k , 并记录到蚂蚁分组中; 将记录路径的前向蚂蚁转成后向蚂蚁,

按原路径经网关返回,并按式(2)和式(3)更新后向蚂蚁走过的链路上的信息素。

当所有后向蚂蚁都到达源簇头后,源簇头 CH_s 将迭代次数减一,并判断迭代次数是否大于 0,若大于则返回寻路过程的第(3)步继续迭代寻路。否则,源簇头按 W_k 的升序排列源路由(W_k 值越小路径的整体性能越好)。将排序后存有的第 1 条蚂蚁路径作为最终簇间路由,源簇头 CH_s 返回簇间路由信息给源节点 S ,簇间路由寻找成功。

5 仿真与分析

模拟网络环境设定为在一个 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的区域内随机放置 100 个节点,通信范围设为 100 m。本文考虑的节点皆为同质节点,簇间的通信带宽与簇内带宽一样,根据前文中对最佳节点度的计算,本网络中 δ 为 10。网络节点的初始能量随机分配。各个指标的权重因子: a 、 b 、 c 、 d 分别为 0.3、0.2、0.1、0.4,且 $a+b+c+d=1$ 。可以通过调整各个参数对应的权重因子来适应不同的网络情况。蚁群算法的各个参数设定如下: $\alpha=0.1$ 、 $\beta=0.2$ 、 $\rho=0.13$ 、 $Q=4$ 、 $NC_{\max}=16$ (该参数是经过实验多次验证得到)。设定蚂蚁个数 $k=9$ 。

分别对 CBRP 路由协议的路由算法和本文提出的算法的性能进行仿真比较。仿真设定, CBRP 簇间寻路时发送 $NC_{\max} \times m$ 个 RREQ 分组,为 2 种算法提供相同的仿真条件。在相同的仿真环境下,对 2 种算法进行 200 次寻路仿真。

图 1 为在一次寻路过程中 2 种方法得到的路径总权值变化曲线。

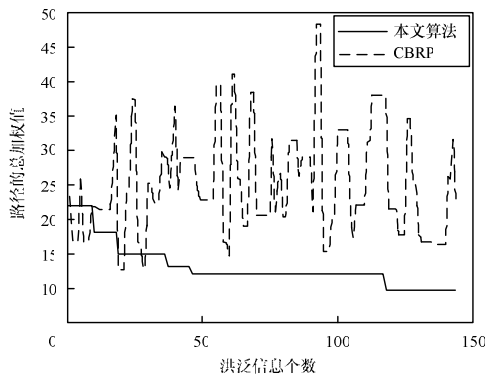


图 1 寻路过程的路径权值曲线

由图 1 可以看出,新算法的寻路结果要优于 CBRP 的路由算法的寻路结果。新算法每代的结果与其上一代相比都有一定的优化,并逐代趋向最优,且新算法利用蚂蚁的智能性减少了不必要的信息洪泛,减小了信息冲撞概率。

(上接第 93 页)

参考文献

- [1] Moon Y H, Nah J H. An Efficient Flow Scheme for Identification Various Applications in IP-based Networks[J]. International Journal of Computer Science and Networks, 2008, 12(8): 168-175.
- [2] Corte M, Dusi M, Gringoli F. Traffic Classification Through Simple Statistical Fingerprinting[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007, 37(1): 5-16.
- [3] Gebski M, Penew A, Wong R K. Protocol Identification of Encrypted Network Traffic[C]//Proc. of the 2006 IEEE/WIC/ACM International Conf. on Web Intelligence. [S. l.]: IEEE Press, 2006: 957-960.
- [4] Chen Shuo, Wang Rui, Wang Xiaofeng. Side-channel Leaks in

本文算法相对 CBRP 路由方法优化、相同、劣化的统计数据,如表 1 所示。由表 1 可以看出,新算法寻到路径优解的概率有明显提高。

表 1 2 种算法的性能比较

比较项	次数	比例/(%)
本文算法优于 CBRP	154	77
本文算法与 CBRP 性能相同	38	19
本文算法劣于 CBRP	8	4

6 结束语

本文提出一种适用于分级 Ad Hoc 网络的基于链路可靠性的簇间路由选择算法。新算法将蚁群算法的智能性、正反馈性引入到簇间路由中,均衡考虑影响簇间路由可靠性的多项因素,并定义了相应的权值参数,将其与蚁群算法中的可变参数相映射,进而将蚁群算法应用于簇间路由发现机制。该算法只需用到局部的网络状态信息,具有较强的分布性、鲁棒性,并且蚂蚁算法本身依概率转移的路由选择策略避免了路由结果陷入局部最优,减少了信息洪泛量,提高了算法的寻优概率。权值参数的引入,降低了结构不稳定的中继簇的选择概率,提高了链路的可靠性。仿真结果证明,该算法有效地提高了簇间路由的性能。

参考文献

- [1] Younis O, Heed F S. A Hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2004, 3(4): 366-379.
- [2] 王新生, 刘洋. 基于能耗负载平衡的自组网分簇算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(12): 136-137, 140.
- [3] Gao Li, Mu Dejun. A Novel Clustering Algorithm for Ad Hoc Network[C]//Proc. of the 4th IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2009: 445-448.
- [4] Leng Supeng, Zhang Yan. A Novel K-hop Compound Metric Based Clustering Scheme for Ad Hoc Wireless Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(1): 367-375.
- [5] Xu Kaixin, Hong Xiaoyan, Gerla M. An Ad Hoc Network with Mobile Backbones[C]//Proc. of IEEE International Conference on Communications. Los Angeles, USA: IEEE Press, 2002(5): 3138-3143.
- [6] 魏亚青, 李杰, 郑丁. Ad Hoc 网络中一种基于传输功率的分簇算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(21): 111-113.

编辑 顾逸斐

Web Applications: a Reality Today, a Challenge Tomorrow[C]//Proc. of 2010 IEEE Symp. on Security and Privacy. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 191-206.

- [5] Herrmann D, Wendolsky R, Federrath H. Website Fingerprinting: Attack Popular Privacy Enhancing Technologies With Multinomial Naïve-bayes Classifier[C]//Proc. of ACM Conf. on Cloud Computing Security. [S. l.]: ACM Press, 2009: 31-42.
- [6] 黄君毅, 吴静, 张晖. IP 流量分类算法中特征选择作用分析[J]. 计算机工程, 2010, 36(16): 68-70.
- [7] Bernaille L, Teixeira R, Salamati K. Early Application Identification[C]//Proc. of CoNEXT'06. New York, USA: [s. n.], 2006: 1-12.

编辑 索书志

