

文章编号:1001-9081(2006)07-1697-03

## 一种基于蚂蚁算法的网络负载分担路由方法

肖晓丽,田悦宏,李 振

(长沙理工大学 计算机与通信工程学院,湖南 长沙 410076)

(ttxxli@163.com)

**摘要:**针对蚁群算法(Ant Colony System, ACS)在网络负载分担方面的不足,提出了一种改进的蚁群算法。该算法在同一网络中使用多个标记的蚁群,各个蚁群之间的外激素相互抑制,同一蚁群的外激素相互促进,从而通过减少在最短路径上的蚁群外激素数量来实现路由的负载分担。最后通过实验验证了该方法的可行性,并给出了实验结果。

**关键词:**蚁群算法;多蚁群;负载分担;路由选择;外激素

**中图分类号:** TP181 **文献标识码:** A

## An algorithm of load space sharing based on ant colony system

XIAO Xiao-li, TIAN Yue-hong, LI Zhen

(School of Computer & Telecommunication Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha Hunan 410076, China)

**Abstract:** An improved ant colony system was presented, which aimed at the drawback of ant colony system in network load space sharing. The algorithm used multiple ant colony to tag in same network and ectohormone of different ant colony restrain each other however which of same ant colony promote. This algorithm carry out the load space sharing by decreasing the number of ant colony's ectohormone in shortest path. The feasibility of the algorithm is proved by experiment and the results are given.

**Key words:** Ant Colony System(ACS); multiple ant colony; load space sharing; routing; pheromone

### 0 引言

在计算机网络中,路由选择一直是一个十分重要的问题,合理的路由选择算法能够适合网络特性从而达到快速收敛的目的。高效的路由算法同时还会对业务提供服务质量(QoS)保证。蚁群算法<sup>[1,2]</sup>(Ant Colony System, ACS)是受自然界蚂蚁寻路行为<sup>[3]</sup>的启发而产生的一种启发式的具有自组织能力的优化算法。但是传统的 ACS 并没有负载分担机制,因此在通信网络中会引起某些路径的拥塞。

本文提出一个基于蚂蚁算法的具有负载分担特性的路由算法,该算法通过不同蚁群在相同路径上留下的外激素之间的相互作用决定该路径上蚂蚁的数量,避免蚁群算法收敛时单一路径上的蚂蚁数量过多而导致拥塞,从而达到负载分担的目的。

### 1 蚁群算法

蚁群算法是借助于蚂蚁群体中个体之间的相互作用而实现优化问题的求解的。自然界中蚂蚁寻找食物主要依靠外激素,外激素主要两个方面的作用,一是蚂蚁之间通过外激素相互通信,使得蚂蚁能够利用以前的搜索结果;二是外激素的挥发作用,这使得搜索初期的距离较长的旅行路线对蚂蚁的影响逐渐减小。可以用图 1 来简单描述基本的蚂蚁算法。图中,节点 A, C 分别表示蚂蚁穴和食物源。开始时从 A 放出若干只蚂蚁到 E,这时它们会以相同的概率选择路径,每只蚂蚁在所经过的路径上要释放一定数量的外激素(pheromone),这些外激素以一定的速率挥发,蚂蚁判断前进的道路时选择信

息素强度最大的道路。可以看出通过路径 ABC, ADC 和 AC 的蚂蚁的返回所用的时间是不同的,所以在三条路径上的信息素的浓度也是不同的。路径 AC 上的浓度是最高的,所以在下一个时刻蚂蚁出发的概率就发生了变化。最后所有的蚂蚁都通过 AC 路径到达 C。

由此可见,外激素强度是形成正反馈的媒介,在 ACS 算法中它是需要考虑的核心问题。

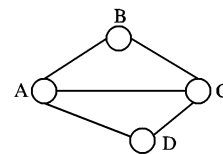


图 1 基本蚁群算法

### 2 蚁群算法的一般步骤

蚁群算法<sup>[3]</sup>的主要过程如下:算法初始化中,所有的边都被赋予一定的外激素。在每次搜索开始时,若干只蚂蚁被放在随机选择的城市中。蚂蚁各自开始自己的搜索过程。在搜索中,蚂蚁倾向于沿着外激素水平较高的边访问下一个城市。当所有蚂蚁完成了搜索后,进行全局外激素更新:所有连接边的外激素都有一部分挥发出去,然后每只蚂蚁根据它们已经完成周游的旅行费用更新它们走过的边的外激素水平。蚂蚁旅游费用越低,外激素水平增加就越显著。然后所有蚂蚁重新选择出发的城市,重新开始搜索。

假设一只蚂蚁正处于城市  $r$ , 它下一选择城市  $s$  进行访问的概率  $p_k(r, s)$  是用以下公式确定的:

收稿日期:2006-01-14 基金项目:湖南省教育厅项目(05C247)

作者简介:肖晓丽(1965-),女,湖南邵阳人,副教授,主要研究方向:计算机网络;田悦宏(1980-),男,陕西汉中,人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络;李振(1982-),男,山东沂蒙人,硕士研究生,主要研究方向:计算机网络。

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{\tau(r, s) * [\eta(r, s)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_k(r)} \tau(r, \mu) * [\eta(r, \mu)]^\beta}, & s \in J_k(r) \\ 0, & s \notin J_k(r) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\tau$  是外激素数量,  $\eta = 1/\sigma$ , 是从城市  $r$  到城市  $s$  的距离的倒数,  $J_k(r)$  是还未访问城市的集合,  $\beta$  是调整费用和外激素相对重要程度的常数, 一般取 2。

外激素全局更新按照式(2)进行:

$$\tau(r, s) = (1 - a) * \tau(r, s) + a * \sum \Delta\tau_k(r, s) \quad (2)$$

$$\Delta\tau_k(r, s) = \begin{cases} 1/L_k, & \text{如果}(r, s) \text{是蚂蚁 } k \text{ 走过的边} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $a \in (0, 1)$  是外激素挥发参数, 在蚂蚁算法中一般取 0.9。  $L_k$  是蚂蚁  $k$  的完成旅行的费用。

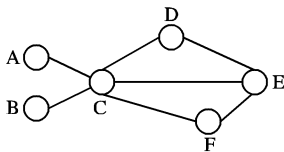


图2 两个蚁群路径选择

从上面的算法可以看出, 一般的蚂蚁算法进行的过程中所有的蚂蚁都是通过外激素最多的路径到达目的地, 所以如果该路径是到达不同目的的共同最优路径时, 在该路径上出现蚂蚁数量将是巨大的。这种现象在网络中是不合理的, 在这条路径上很有可能会导致堵塞, 最终导致整个网络的瘫痪。如图2中所示, 如果节点 A, B 都需要到达 E, 使用蚁群算法分别确定各自的最优路径 ACE, BCE 可以看出, 其中路径 CE 将成为该网络的瓶颈。而其他两条路径 CDE, CFE 在算法收敛以后却成为两条空闲链路。这种现象是由于蚂蚁算法路径选择所使用的标准所决定的。在蚂蚁算法中并没有考虑竞争现象, 从而使得节点 A, B 的最优解收敛到同一条路径上, 使得路径 CE 成为寻径的瓶颈。为了解决该问题必须对蚂蚁算法进行改进, 使得网络中数据的流量尽可能经过不同路径, 从而达到网络流量的负载分担。

### 3 改进蚁群算法

通过上述分析过程可以看出, 为了实现在不同路径上的负载分担必须对蚁群算法进行改进, 改进后的蚁群算法应该能够在不同路径上实现负载分担。

对不同数据流量进行标记以便不同的数据流量可以通过不同的路径。在本文中我们使用多个蚁群相互竞争实现这种负载分担的路由算法。对每个蚁群的外激素进行标记, 不同的外激素如果出现在同一条路径上那么外激素的挥发会加速, 使得在该路径上的不同的蚁群的外激素相互抑制, 从而使得该路径上的蚂蚁的数量降低。如果一条路径上只有一个蚁群中的蚂蚁, 则该算法就退化成一般的蚁群算法。

标记  $n$  个蚁群为  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , 外激素分别标记为  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ 。处于城市  $r$  的  $A_i$  蚁群的蚂蚁, 它下一选择城市  $s$  进行访问的概率  $p_{i, k}(r, s)$  使用以下公式确定:

$$p_{i, k}(r, s) = \begin{cases} \frac{\tau_i(r, s) * [\eta(r, s)]^\beta}{\left\{ \sum_{\mu \in J_{i, k}(r)} \tau_i(r, \mu) * [\eta(r, \mu)]^\beta \right\} * \sum_j \theta_j}, & s \in J_{i, k}(r) \\ 0, & s \notin J_{i, k}(r) \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\tau_i$  是蚁群  $i$  的外激素,  $\eta = 1/\sigma$ , 是从城市  $r$  到城市  $s$

的距离的倒数,  $J_{i, k}(r)$  是蚁群  $i$  还未访问城市的集合,  $\beta$  是调整费用和外激素相对重要程度的常数, 一般取 2。在(3)式中  $\theta_j$  是其他蚁群对蚁群  $i$  在该路径上的概率抑制因子,  $\theta_j$  可以通过以下公式确定:

$$\theta_j = \begin{cases} \frac{\tau_j(r, s) * [\eta(r, s)]^\beta}{\sum_{\mu \in J_{j, k}(r)} \tau_j(r, \mu) * [\eta(r, \mu)]^\beta} + \frac{\tau_i(r, s) * [\eta(r, s)]^\beta}{\left\{ \sum_{\mu \in J_{i, k}(r)} \tau_i(r, \mu) * [\eta(r, \mu)]^\beta \right\} * \sum_j \theta_j}, & s \in J_{i, k}(r) \cap J_{j, k}(r) \\ 1, & s \notin J_{i, k}(r) \cap J_{j, k}(r) \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式表示了蚁群  $j$  在寻径的过程中对蚁群  $i$  的影响, 从而导致了在相同路径上两个蚁群的外激素的相互抑制, 使得在相同的链路上的两个蚁群的蚂蚁数量下降, 但是这个过程并不是立刻就达到稳定的, 在蚂蚁算法中当选择一条路径的概率发生变化时其他相关路径的选择概率同样要进行相应的更新, 更新必须满足以下的原则:

$$\sum_{s \in J_{i, k}(r)} p_{i, k}(r, s) = 1 \quad (5)$$

上式说明了在从  $r$  到其他所有可行节点的概率之和必须为 1。所以在上述算法的计算过程中需要对所有路径上的概率进行调整, 又会影响到该路径上的蚁群间的抑制概率的变化, 所以该调整过程必须动态进行。

外激素全局更新按照式(6)进行:

$$\tau_i(r, s) = (1 - a) * \tau_i(r, s) + \lambda_i * a * \sum \Delta\tau_{i, k}(r, s) \quad (6)$$

其中,

$$\Delta\tau_{i, k}(r, s) = \begin{cases} 1/L_{i, k}, & \text{如果}(r, s) \text{是蚂蚁 } k \text{ 走过的边} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$L_{i, k}$  是蚁群中的蚂蚁  $k$  的完成旅行的费用,  $\lambda_i$  是改进后的外激素挥发因子, 该值按照以下规则进行计算:

$$\lambda_i = \begin{cases} \frac{a_i}{\zeta_{ij} * (a_i + a_j)}, & \text{蚁群 } i, j \text{ 竞争同一条路径} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$\zeta_{ij}$  是外激素抑制参数, 通过确定激素挥发因子可以加速两个蚁群在竞争过程中的激素挥发程度, 动态减少该链路上的蚂蚁数量, 从而有效地达到负载分担的目的。改进后的蚁群算法在单一蚁群的情况下就退化成为传统的蚁群算法。

### 4 实验

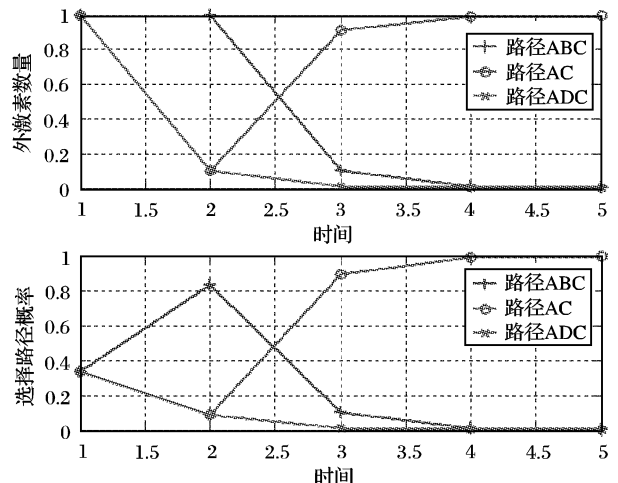


图3 各条路径的外激素变化和选择路径的概率变化

使用 Matlab 6.5 对上述算法进行仿真。在试验中首先使用单一蚁群算法在图 1 所示的网络结构中进行试验。按照传统的蚁群算法之中  $\alpha = 0.9$ ,  $\beta = 2$ , 同时每个节点使用概率表  $P = p_{ij}$  记录每个可能目标节点下一跳选择各个相邻节点的概率<sup>[1]</sup>, 同时保持一张邻接表  $I = i_{ij}$ , 初始的外激素数量  $\tau_{init} = 1$ , 所有路径成本均取 1。

在使用蚁群算法进行路由的过程中, 最优的路径上将会有大量的蚂蚁通过, 同时在非最优化的路径上蚂蚁数量将急剧减少, 最后该路径上将没有蚂蚁通过。这样就造成了网络路径负载过于集中, 导致网络拥塞。试验中路径 AC 成为蚁群算法的唯一最优解, 而其他两条路径上将不会有蚂蚁通过。

使用改进后的蚁群算法, 在图 2 所示的网络拓扑中进行

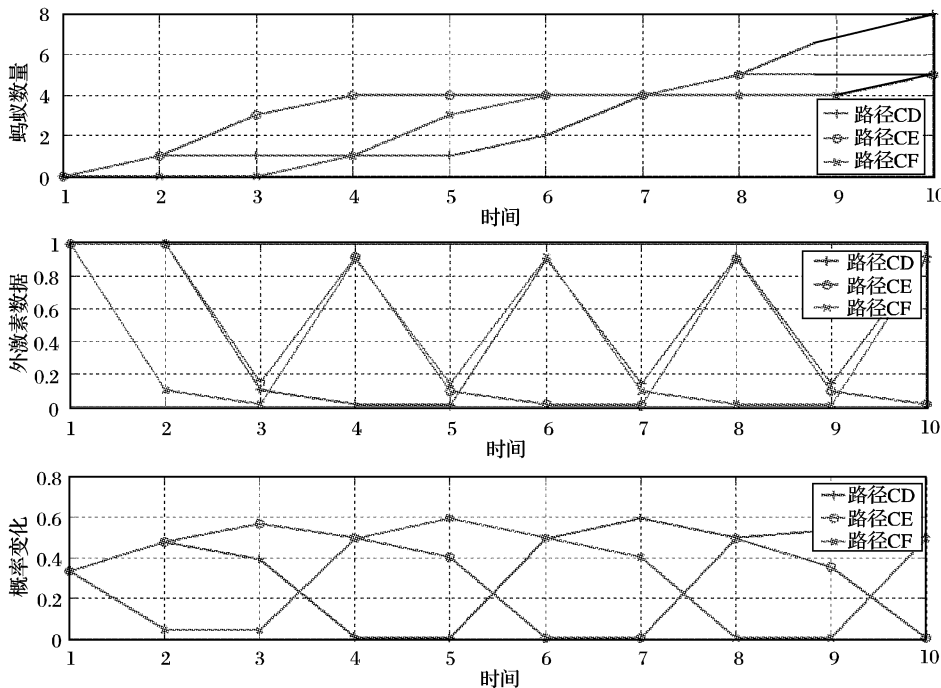


图 4 各条路径上参数的变化

试验, 标记不同的蚁群 A, B 有相同的目的地 E, 试验中主要针对同一时间间隔内路径 CD, CE, CF 上蚂蚁的数量和外激素的变化如图 4 所示。可以看出改进后的蚁群算法不再将单一路径作为最优解从而实现负载分担。

图 5 给出了在单蚁群寻径过程中加入另一蚁群后各条路径上通过的蚂蚁数量。在开始的一段时间内路径 CE 上的蚂蚁数量显著增加, 这是由于单一蚁群的外激素作用导致的, 同时其他两条路径 CD, CF 只有少量蚂蚁通过; 在一段时间后加入另一蚁群, 当两个蚁群在该路径 CE 上竞争时, 该路径上单位时间通过的蚂蚁数量开始下降同时蚂蚁选择其他路径的几率增加。可以看出在此过程中蚂蚁的数量在路径 CE, CD, CF 上都有一定的数量蚂蚁通过。

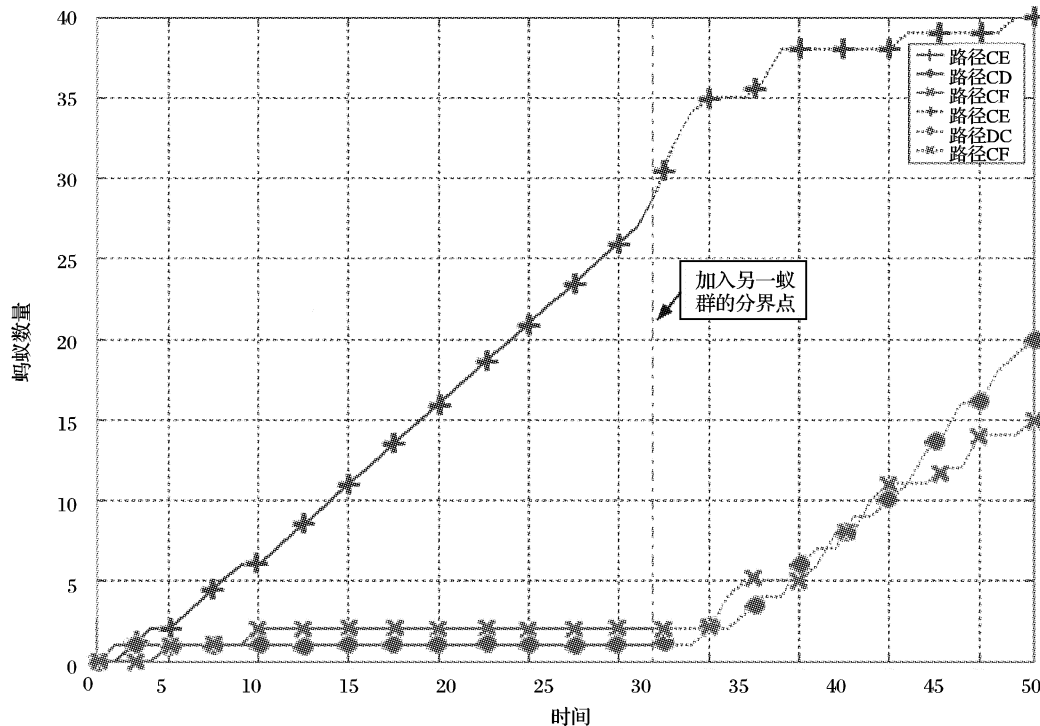


图 5 各条路径上蚂蚁数量变化

参考文献:

[1] SCHOONDERWOERD R, HOLLAND O, BRUTEN J, et al. Ant-based load balancing in telecommunications networks[J]. Adaptive Behavior, 1996, 5(2): 169 - 207.  
 [2] CARO GD, DORIGO M. Mobile agents for adaptive routing[EB/OL]. <http://iridia.ulb.ac.be/~m.dorigo>, 2001.  
 [3] BONABEAU E, THERAULZA G. Swarm smarts[J]. Scientific American, 2000, 6(2): 74 - 79.  
 [4] DORIGO M, GAMBARELLA LM. Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1997, 1(1): 53 - 66.