

文章编号:1671-6906(2011)02-0014-04

# 基于最大最小蚂蚁系统的一种应急物流路径规划方法

金保华,张 亮,和振远

(郑州轻工业学院,郑州 450002)

**摘 要:** 根据应急物流中存在的一些问题,利用最大最小蚂蚁系统收敛速度快和避免局部最优的优势,提出了一种基于最大最小蚂蚁系统的应急物流路径规划方法.该方法通过最大最小蚂蚁系统将信息素限制在一个适当的范围之内,克服了传统算法收敛速度慢和易陷于局部最优的缺点.对应用最大最小蚂蚁系统的应急物流系统进行仿真实验,结果表明:该方法能快速实现应急物流配送,满足了实际需要,减少了物流成本.

**关 键 词:** 蚁群优化;最大最小蚂蚁系统;旅行商问题;应急物流

**中图分类号:** TP18 **文献标志码:** A **DOI:**10.3969/j.issn.1671-6906.2011.02.004

应急物流是指为突发事件提供紧急物资、资金、职员的一种特别活动.本文就应急物流选择最佳配送路线问题提出解决方法,即将最大最小蚂蚁系统(MMAS)应用到物流配送系统中,从而快速找到最优路径,完成配送.

蚁群算法是最近几年才提出的一种新型的模拟进化算法.蚂蚁系统(AS)是第一个蚁群算法,它最早是由意大利学者 Dorigo Maniezzo 等人在 20 世纪 90 年代初提出来,并用该方法求解旅行商问题(Traveling Salesman Problem, TSP)<sup>[1]</sup>、二次分配问题(Quadratic Assignment Problem, QAP)、job-shop 调度问题等,取得了一系列较好的实验结果.但蚂蚁系统容易出现搜索停滞现象.针对 AS 算法的不足,许多学者对其进行深入研究,最后在 AS 基础上提出了最大最小蚂蚁系统<sup>[2]</sup>.

最大最小蚂蚁系统通过只允许在最好的解方法中增加信息素来实现最优路径搜索.它使用简单的机制限制了信息素的增强,有效避免了搜索的过早收敛. MMAS 算法是当前解决 TSP 和 QAP 问题性能最好的方法之一.本文主要是将最大最小蚂蚁系统应用到应急物流路径选择中,并得到了较好的结果.

## 1 最大最小蚂蚁系统的原理

提升蚁群优化算法性能的关键是避免过早陷入搜

索停滞现象.为了解决这个问题,MMAS 在蚂蚁系统的基础上作了以下 4 个方面的改进:

(1) 在算法运行期间,只允许单只蚂蚁增加信息素.这只蚂蚁可能在当前迭代中找到最优解,或者在线索开始时就找到最优解.

(2) 为了避免出现搜索停滞现象,信息素范围限制在  $[\tau_{\min}, \tau_{\max}]$  之间.

(3) 将弧段信息素初始化为  $\tau_{\max}$ .

(4) 当系统达到停滞状态,或者在一定次数的迭代过程中不再有更优的路径出现时,则所有的信息素值都会被重新初始化.

### 1.1 信息素更新

在 MMAS 中,每次循环结束后只有一只蚂蚁更新信息素.信息素更新规则如下:

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta T_{ij}^{\text{best}} \quad (1)$$

式中:  $\Delta T_{ij}^{\text{best}} = 1/f(s^{\text{best}})$ ,  $f(s^{\text{best}})$  代表了循环最优解或者全局最优解的值. MMAS 主要使用迭代最优解.只用循环最优解或者全局最优解中的一个解进行信息素更新是 MMAS 中搜索过程最重要的方法.当仅用全局最优解时,搜索可能很快集中到这个解周围,而限制了搜索其他可能更好的解.如果只用循环最优解,可能导致大量的解元素得到偶然加强.当然,也可以用

混合策略,如用循环最优解为更新信息素的默认值,而全局最优解仅仅在循环固定次数后使用。

### 1.2 信息素最大最小值的设置

如果信息素更新只选择循环最优或全局最优中的一种时,更容易发生搜索停滞现象,最终出现其中一个选择点的信息素值明显比他点的信息素值高。蚂蚁依据公式(2)选择下一个节点:

$$P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta} (j \in N_i^k) \quad (2)$$

随着信息素的增加,蚂蚁更愿意选择这个解。结果是蚂蚁重复地建立同一个解,于是便产生了停滞现象。

为了避免进入停滞状态,MMAS 增加了  $\tau_{\max}$  和  $\tau_{\min}$  的限制,对所有信息素值  $\tau_{ij}(t)$ ,有  $\tau_{\min} \leq \tau_{ij}(t) \leq \tau_{\max}$ 。如果  $\tau_{ij}(t) > \tau_{\max}$ ,则重新设置为  $\tau_{ij}(t) = \tau_{\max}$ ;类似地,如果  $\tau_{ij}(t) < \tau_{\min}$ ,则重新设置为  $\tau_{ij}(t) = \tau_{\min}$ 。同时也要强调  $\tau_{\min} > 0$  和  $\tau_{\max} < \infty$ 。

通过公式(3)重新定义收敛概念:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tau_{ij}(t) = \tau_{ij} \leq \tau'_{\max} = \frac{1}{1-\rho} \cdot \frac{1}{f(s^{\text{opt}})} \quad (3)$$

式中: $f(s^{\text{opt}})$  是某个具体问题的最优解。

在 MMAS 中,最大信息素  $\tau_{\max}$  设置为渐进的最大估计值。在公式(3)中用全局最优解  $f(s^{\text{gb}})$  代替  $f(s^{\text{opt}})$  来实现。每找到一个新的方法, $\tau_{\max}$  就更新一次,其动态变化值为  $\tau_{\max}(t)$ 。

为了给  $\tau_{\min}$  确定合理值,先假设如下:

(1) 在停滞发生之前很快找到最优解。在这种情况下,在一次算法迭代中构造全局最优解的概率明显高于 0,并且在这个最优解附近可能找到更好的解。

(2) 信息素值的上限和下限之间的差异而不是启发式信息影响了最终的解结构。

第一个假设的有效性依赖于问题的搜索空间特征。它意思是在较优解周围可能找到最优解,比如 TSP 问题。第二个假设是在设置  $\tau_{\min}$  的对称方式的推导中,忽略启发式信息对概率的影响。

鉴于这些假设,通过限制算法线索最小值的收敛得到  $\tau_{\min}$  的最佳值。当 MMAS 收敛时,找到的最佳方法的概率为  $P_{\text{best}}$ ,  $P_{\text{best}}$  明显高于 0。事实上,在选择点选择相应解元素的概率  $P_{\text{dec}}$  直接依赖于  $\tau_{\min}$  和  $\tau_{\max}$ 。为了简单起见,算法中假设  $P_{\text{dec}}$  在所有决策点都不变。然后,蚂蚁做  $n$  次“正确”选择,并且用概率  $P_{\text{dec}}^n$  建立了最好的方法。通过设置  $P_{\text{dec}}^n = P_{\text{best}}$ ,即  $P_{\text{dec}} = \sqrt[n]{P_{\text{best}}}$  [3]。

因此,给定一个  $P_{\text{best}}$ ,能够确定  $\tau_{\min}$  的大概值。综合起来,在每个选择点上蚂蚁需在  $\text{avg} = n/2$  的各个

解元素中进行选择。根据公式(2)能够计算出概率  $P_{\text{dec}}$ ,即

$$P_{\text{dec}} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} + (\text{avg} - 1) \cdot \tau_{\min}} \quad (4)$$

从上式中解出  $\tau_{\min}$  的值为:

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max} \cdot (1 - P_{\text{dec}})}{(\text{avg} - 1) \cdot P_{\text{dec}}} = \frac{\tau_{\max} \cdot (1 - \sqrt[n]{P_{\text{best}}})}{(\text{avg} - 1) \cdot \sqrt[n]{P_{\text{best}}}}$$

式中: $P_{\text{best}} = 1, \tau_{\min} = 0$ 。如果  $P_{\text{best}}$  太小,公式(4)中可能会有  $\tau_{\min} > \tau_{\max}$ 。在这种情况下,设置  $\tau_{\min} = \tau_{\max}$ ,这相当于在解结构中仅使用了启发式信息。根据公式(4),可以由给定的  $P_{\text{best}}$  确定  $\tau_{\min}$ 。因此,在 MMAS 中, $P_{\text{best}}$  提供了一个调查限制较低线索的好方法。

### 1.3 信息素的初始化

在算法开始时,所有边上的信息素初试值都设定为  $\tau_{\max}$  的一个估计值。随着算法的执行,默认路径被选择的概率很小。为了增加探索这些路径的可能性,在 MMAS 中,当算法接近停滞状态时,或者在指定次数的迭代中未能得到一条更优的路径时,就会触发信息素的重新初始化[4]。

## 2 MMAS 在应急物流配送中的应用

### 2.1 最佳路径的描述

配送是应急物流系统中的主要过程。车辆调度及路线安排是配送中心作出决策的重要内容,它直接影响到配送成本和服务质量。即时配送以某天的任务为目标,在充分掌握了这一天的配送地点、需求量、种类及要求到达时间的前提下,及时安排最优的配送路线并安排相应的配送车辆实行配送。因此一个好的物流配送算法对于应急配送系统是非常关键的,如果不对算法进行任何约束,那么将很难在合理的时间内得到满意解。将最大最小蚂蚁系统的思想应用到物流配送算法中,实现了对所选路线的合理安排,在成本和服务质量上达到了最佳。

应急物流配送系统是非常复杂的,在搜索最优路径过程中,有以下 2 个约束条件:

- (1) 所有车辆的行车速度相同;
- (2) 在各节点处理货物的时间也相同。

### 2.2 应急物流配送中的最大最小蚂蚁系统

在一趟应急配送过程中,将所有的配送点视作一个连通图上的点,车辆从一个配送中心出发,利用最短时间将货物送到各节点,最后到达另一配送中心。始发

点对应于 MMAS 中的蚁穴,终点对应于食物源,根据 MMAS 寻找最优路径.

选择最佳路径问题与蚂蚁进行觅食的过程类似<sup>[5]</sup>.给定一个有  $n$  个节点的路线图,蚂蚁从起点出发寻找到达终点的最短路径.根据 MMAS,设蚂蚁的数量为  $m$ ;  $n$  表示一趟配送中的配送节点数;  $N$  表示实验中总的循环周期数;  $d_{ij}$  表示节点  $i$  与节点  $j$  之间的距离;  $\eta_{ij}$  为能见度因子;  $\tau_{ij}$  表示  $t$  时刻边  $(i, j)$  上的信息素浓度; 初始时刻,所有的  $m$  只蚂蚁都集中在配送中心起点处,且赋予每条边上相等的信息素值  $\tau_{ij}(0) = \tau_{\max}$ . 蚂蚁在运动过程中,根据各条路径上的信息素量决定其转移方向,转移概率  $P_{ij}^k(t)$  由公式(2) 计算得到,它表示  $t$  时刻第  $k$  只蚂蚁( $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ ) 由节点  $i$  转移到节点  $j$  的概率.

### 2.3 应急物流系统中 MMAS 算法描述

算法开始时,设  $NC$  为实验中蚂蚁当前的循环次数,初始值设为 0,  $\text{Tabu}_k(s)$  用于记录第  $k$  只蚂蚁经过的节点,  $\text{Tabu}^1$  用于记录每次循环结束后找到的最短路径,  $q$  为  $\text{Tabu}^1$  表索引的序号,初始值为 0. 算法步骤如下:

(1)  $N$  表示循环周期数,边  $(i, j)$  上信息素初始值设置为  $\tau_{ij}(0) = \tau_{\max}$ ,再根据公式(4) 计算  $\tau_{\min}$  的值.  $t = 0$  时刻,  $m$  只蚂蚁位于起始点. 假设单只蚂蚁完成一个节点的旅行时间为 1.

(2) 设  $s$  的初始值为 1( $s$  为  $\text{Tabu}$  表索引的序号),  $\text{Tabu}_k(1)$  为初始点.

(3) 循环开始,  $NC$  从 0 开始,当  $NC$  大于  $N$  时,循环结束.

(4) 从  $k = 1$  只蚂蚁开始搜索路径,如果  $\text{Tabu}_k(s)$  不是终点,由公式(2) 计算下一个节点的概率  $P_{ij}^k(t)$ ,在  $t$  时刻,第  $k$  只蚂蚁在  $\text{Tabu}_k(s - k)$  中选择要经过的节点. 设第  $k$  只蚂蚁选择节点  $j$ ,则将  $j$  插入  $\text{Tabu}_k(s)$  中. 一直循环,直到所有蚂蚁都达到终点.

(5) 计算第  $k$  只蚂蚁的长度  $L_k$ . 选择  $L_k$  最短时的值,将第  $k$  只蚂蚁经过的路径按照  $\tau_{ij}(t + 1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^k$  进行更新. 其中  $\rho$  是一个系数,  $(1 - \rho)$  为信息素的蒸发率. 然后将该路径复制到  $\text{Tabu}^1(i + 1)$  中,根据公式(3) 计算出  $\tau_{\max}(t)$ ,如果  $\tau_{ij}(t) > \tau_{\max}(t)$ ,则  $\tau_{\max}(t) = \tau_{ij}(t)$ ,否则  $\tau_{\max}(t)$  不变. 根据公式(4) 计算  $\tau_{\min}(t)$  的值,如果  $\tau_{\min}(t) > \tau_{\max}(t)$ ,设置  $\tau_{\min}(t) = \tau_{\max}(t)$ .

(6) 循环次数  $NC$  自动加 1,回到步骤(3) 继续执行.

(7) 得到记录每次循环中最短路径的  $\text{Tabu}^1$  表,

比较  $\text{Tabu}^1$  中的各路径长度,选出最佳的路径.

## 3 实验分析

本文选取 12 个节点进行实验. 各节点坐标如表 1 所示.

表 1 12 个节点的坐标

节点	1	2	3	4	5	6
横坐标	81	91	83	71	64	68
纵坐标	7	38	46	44	60	58
节点	7	8	9	10	11	12
横坐标	83	87	74	71	58	54
纵坐标	69	76	78	71	69	62

实验中各参数设置如表 2 所示.

表 2 参数设置

参数	$\alpha$	$\beta$	$\rho$	$\tau_{\max}$
参数值	0.1	2.0	0.1	1.0

其中:  $\alpha$  为信息量  $\tau_{ij}(t)$  对蚂蚁选择该路径的影响因子,它反映了蚂蚁在运动过程中所积累的信息量,  $\alpha$  越大,蚂蚁选择以前走过的路径的可能性就越大,  $\alpha$  越小,搜索过程越早陷入局部最优;  $\beta$  为期望度  $\eta_{ij}(t)$  的影响因子,它反映了蚁群搜索过程中先验性因素的作用大小,  $\beta$  值越大,算法收敛速度越快;  $\rho$  为信息素挥发因子,由于信息素  $\rho$  的存在,当问题的规模较大时,会使从未被搜索到的路径上的信息素减小到接近于 0.

为了便于比较,分别选取 6、12、20 只蚂蚁进行实验,最后的最优路径如图 1 所示.

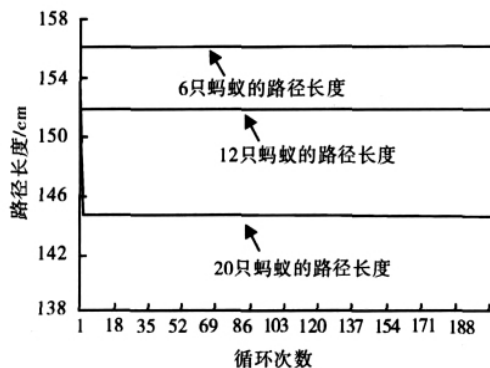


图 1 6、12、20 只蚂蚁的路径长度对比图

循环过程中,信息素值的动态变化如图 2 所示.

实验最后,运用 MMAS 搜索到的最优路径如图 3 所示.

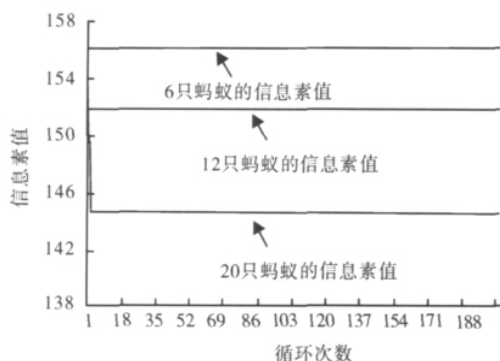


图2 6、12、20只蚂蚁的信息素变化图

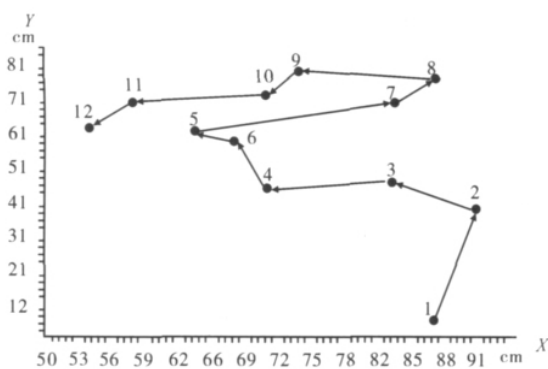


图3 搜索最优路径图

由上述实验结果可看出,通过 MMAS 能在很短时

间内找到最短路径,在应急配送系统中起到很大的作用.实验过程中,当蚂蚁数量与问题中的节点数量相同时,搜索到的路径最短.

应急物流最关键的因素是突出物流配送的时效性.当突发事件发生时,如何选择一条最短配送路径是至关重要的.很多算法被用在求解应急物流路径选择问题上,并得到较好的效果,常用的算法有模拟退火算法、蚂蚁系统等.模拟退火算法能较好地求解较具体的问题,但其难以知道什么时候最优解已经被求得.相对而言,最大最小蚂蚁系统在应急物流路径选择中比模拟退火算法和蚂蚁系统有更好的效果.

## 4 结 语

应急物流在我国出现较晚,尚属一个新概念.我国应急物流体系还很不完善,需要加强这方面的理论和实践研究.本文将最小最大蚂蚁系统应用到应急物流路径选择中,并得到了较好的结果.但最大最小蚂蚁系统虽然克服了易出现搜索停滞现象等不足,但还没有形成系统的分析方法,其数学基础较薄弱,实验中参数的选择基本上都是基于经验的.

## 参考文献:

- [1] Barbarosoglu, Oğur. A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem[J]. *Computers & Operations Research*, 1999, 26: 255—270.
- [2] Stutzle T, Hoos H H. Max-Min ant System [J]. *Future Generation Computer System*, 2000, 16(8): 889—914.
- [3] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004, 24—27.
- [4] 张学敏, 张航. 基于改进蚁群算法的最短路径问题研究[J]. *控制理论与应用*, 2009, 28(6): 4—6.
- [5] 刘祥. 基于蚁群算法的物流配送算法[J]. *科技情报开发与经济*, 2009, 19(10): 89—91.

# A Method of Contingency Logistics Path Planning Based on Max-Min Ant System

JIN Bao-hua, ZHANG Liang, HE Zhen-yuan

(Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** According to the problems in Contingency Logistics, using the advantage of fast convergence and avoiding local optimum of Max-Min ant system, the Contingency Logistics path planning method based on the Max-Min ant system is proposed in this paper. This method overcomes the slow convergence and easy-trapped local optimum of conventional algorithms through that the Max-Min ant system limits the pheromone in an appropriate range. Finally, simulation experiments are executed for contingency logistics system which using the Max-Min ant system, experiments show that the method fast achieves the contingency logistics and distribution, which not only meets the actual needs, but reduces the cost of logistics.

**Key words:** ant colony optimization; Max-Min ant system; traveling salesman problem; contingency logistics