

## 配送网络规划蚁群算法

赵建有, 闫 旺, 胡大伟

(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**分析了配送网络规划复杂的非线性组合优化问题,以配送网络中的运行费用、设施投资费用及可靠性费用之和最小为目标函数,建立了配送网络规划的数学模型,设计了相应的蚁群算法。应用结果表明该算法的计算结果与实际的配送网络规划线路相符,是可行的。

**关键词:**交通规划;蚁群算法;组合优化;配送网络

**中图分类号:**U491

**文献标识码:**A

## Ant colony algorithm of distribution network planning

ZHAO Jian-you, YAN Wang, HU Da-wei

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Based on analysing the complicated, nonlinear combinatorial optimization problem of distribution network planning, this paper put forward a mathematic model of network planning and an ant colony algorithm taking the minimum sum of operation cost, reliability cost and investment cost as object. The computing result of the algorithm accords with the real situation of network planning, which shows the algorithm is feasible. 3 figs, 7 refs.

**Key words:** traffic planning; ant colony algorithm; combinatorial optimization; distribution network

**Author resume:** ZHAO Jian-you(1963-), male, associate professor, 86-29-82334370, jyzhao@chd.edu.cn.

## 0 引言

配送网络规划的目的在于根据投资及运行费用最小的原则,在现有设施、线路基础上,在新的商业门店出现的情况下寻求一种规划方案,使得配送网络建设的投资费用和相关运行费用最小,同时满足相关约束条件和可靠性要求。这是一个复杂的优化组合问题,近年来,为解决此类问题涌现了一些智能算法,如遗传算法(GA)、搜索禁忌算法(Tabu Search)和模拟退火算法(SA)等,本文提出了一种基于蚁群算法<sup>[1,2]</sup>来求解配送网络扩展优化问题的数学模型,并设计了相应的求解算法及程序。

## 1 配送网络规划的数学模型

配送网络的规划问题就是寻求一种规划方案,

使该方案在满足特定的技术约束条件的前提下,能够使目标函数最小

$$f(x) = g(x) + L \quad (1)$$

式中: $g(x)$ 为线路运行费用; $L$ 为线路可靠性费用。本文只探讨单期配送网络规划问题,不考虑设施投资工期因素,因此问题的解(即规划方案)可用决策向量 $x$ 表示。向量 $x$ 中的元素 $x_i$ 对应一个待选线路。当 $x_i=1$ 时,表示该线路选中; $x_i=0$ 时,表示该线路未被选中( $i=1,2,\dots,n;n$ 为待选线路)。

## 2 蚁群算法

## 2.1 蚁群算法的原理

蚁群算法是受到对真实的蚁群行为的研究启发而提出的。他们在没有任何可见提示下却有能力找出其从窝巢至食物源的最短路径,并且能随环境的

变化而变化,适应性地搜索新的路径,产生新的选择。蚂蚁在寻找食物源时,能在其走过的路径上释放一种蚂蚁特有的分泌物——信息激素,而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质的存在及其强度,并以此指导自己的运动方向,使蚂蚁倾向于朝着该物质强度高的方向移动。因此,由大量蚂蚁组成的蚁群的集体行为便表现出一种信息正反馈现象:某一路径上走过的蚂蚁越多,则后来者选择该路径的概率就越大。蚂蚁个体之间正是通过这种物质信息的交流达到搜索食物的目的。

## 2.2 蚁群算法的实现

假设将  $m$  只蚂蚁放入到  $n$  个随机选择的城市中,那么每一只蚂蚁每一步的行动是,根据一定的依据选择下一个没有访问的城市;同时在完成一步(从一个城市到达另外一个城市)或者一个循环(完成对所有  $n$  个城市的访问)后,更新所有路径上的残留信息浓度。根据以上原理,选择下一个城市的依据为: $t$  时刻连接城市  $i$  和  $j$  的路径上残留信息的浓度  $\tau_{ij}(t)$ ,即由算法本身提供的信息;由城市  $i$  转移到城市  $j$  的启发信息  $\eta_{ij}$ ,该启发信息是由要解决的问题给出的,由一定的算法实现。那么, $t$  时刻位于城市  $i$  的蚂蚁  $k$  选择城市  $j$  为目标城市的概率是  $P_{ij}^k(t)$ 。为了避免对同一个城市的多次访问,每只蚂蚁都保存一个列表  $t(k)$ ,用于记录到目前为止已经访问的城市。在每一只蚂蚁完成对所有  $n$  个城市的访问后(即一个循环完成后),必须对残留信息进行更新处理,对旧的信息进行削弱,同时将最新的蚂蚁访问路径的信息加入  $\tau_{ij}(t)$  [3~5]。上述算法实现过程见图 1。

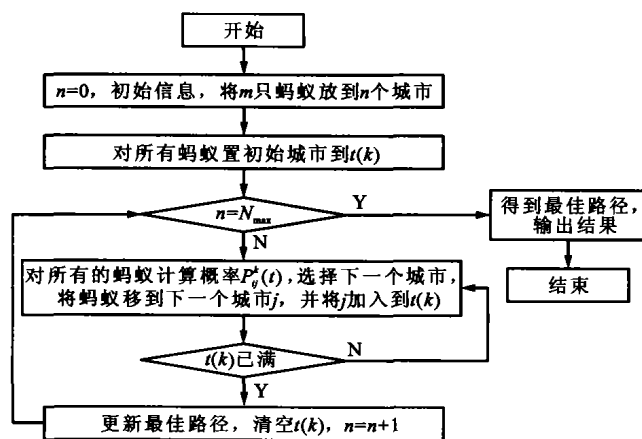


图 1 蚁群算法实现过程

Fig. 1 Realization process of ant colony algorithm

## 3 配送网络规划的蚁群算法

本文使用蚁群算法解决配送网络规划问题,针对

配送网络线路的特点,使蚂蚁的一次游程<sup>[6]</sup>以某种随机策略形成一棵生成树(即一个规划方案)。这里引入 3 个集合: $U_t^k$  为第  $k$  只蚂蚁  $t$  时刻连入树的节点集合; $V_t^k$  为第  $k$  只蚂蚁  $t$  时刻未连入树的节点集合; $E_t^k$  为  $t$  时刻所有待选路线的集合。采用的配送网络系统模型中区域配送中心、城市配送中心、门店和用户都统称为节点,一条边表示一对节点间的线路连接。边分为已存在边和待选边。待选边  $j$  上有 2 个权值,  $cost_j$  表示设施投资费用; $\tau_j$  表示  $j$  边上的信息数量。每次游程中,蚂蚁  $k$  都是从  $t=0$  时刻出发,在  $t$  时刻先以概率  $P_j^k(t)$  随机从集合  $E_t^k$  中选择边  $j$ ,然后更新集合

$$V_{t+1}^k = V_t^k - \{u\}$$

$$U_{t+1}^k = U_t^k + \{u\}$$

式中:节点  $u$  是边  $j$  的一个端点,且  $u \in V_t^k$ 。

最后更新集合  $E_t^k$ ,由于两节点集合的更新,使集合  $E_t^k$  中的某些边,若在  $t+1$  时刻被选中,会与已存边形成环状网,因此这些边所组成的集合  $A_{t+1}^k$  应从集合  $E_t^k$  中删去;同时,新连入树的节点  $u$  与集合  $E_{t+1}^k$  之间的可选边组成了集合  $B_t^k$ ,应并入集合  $E_t^k$ ,这确保了每个解都有可能被生成。于是,可得

$$E_{t+1}^k = E_t^k - \{j\} - A_{t+1}^k + B_t^k$$

重复执行上述过程,直到所有的负荷节点都被连入树。

蚂蚁  $k$  在  $t$  时刻从集合  $E_t^k$  中选择哪一条边是由转移概率决定的

$$P_j^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_j^\alpha(n) \eta_j^\beta}{\sum_{j \in E_t^k} \tau_j^\alpha(n) \eta_j^\beta} & (j \in E_t^k) \\ 0 & (j \notin E_t^k) \end{cases} \quad (2)$$

$$\eta_j = Q / cost_j$$

式中: $\eta_j$  为从集合  $E_t^k$  中选择边  $j$  的期望程度; $Q$  为常数; $\alpha$  和  $\beta$  用来调节  $\tau_j(n)$  和  $\eta_j$  对转移概率的影响程度; $\tau_j(n)$  为第  $n$  次循环边  $j$  上的信息数量,  $\tau_j(0) = C_0$ ,  $C_0$  是常数。

由此可以看出,边上的信息数量越多,且边上的建设费较小,则该边越易被选中。蚂蚁  $k$  完成一次游程后,使用评价函数  $g(x^k)$  评价该游程,  $x^k$  为蚂蚁  $k$  的游程表示的解。

当  $m$  只蚂蚁都完成上述过程后,记录本次循环  $m$  次游程中的最优方案。同时,对各边上的信息数量根据下式进行修正

$$\tau_j(n+1) = \rho \tau_j(n) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_j^k(n) \quad (3)$$

$$\Delta\tau_j^k = \begin{cases} D/g(x^k) & (\text{本次循环中选中 } j) \\ 0 & (\text{本次循环中未选中 } j) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\rho(0<\rho<1)$ 为信息数量的挥发程度; $\Delta\tau_j^k(n)$ 为蚂蚁 $k$ 在第 $n$ 次循环留在边 $j$ 上的信息数量; $D$ 为常数参数。

$Q$ 、 $C_0$ 、 $D$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\rho$ 可以用实验方法确定其最优组合<sup>[7]</sup>。当上述过程完成后,则蚂蚁完成了一次循环。重复执行这些过程,当 $n < N_{\max}$ 继续执行此过程;当 $n = N_{\max}$ 时,计算结束; $N_{\max}$ 为预先设定的最大循环次数。

## 4 算例分析

本文给出算例为具有10个节点,2条现有线路和14条待选线路的连锁式配送网络规划问题。如图2所示,点1为配送中心,点7为次一级配送中心,实线为存在线路,虚线为待选线路。参数 $C_0 = 0.5$ ,  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 1$ ,  $\rho = 0.8$ ,  $Q = 1$ ,  $m = 30$ ,  $N_{\max} = 50$ <sup>[7]</sup>。最后经计算可得到总费用最小的规划方案,见图3,此方案与实际情况相符。

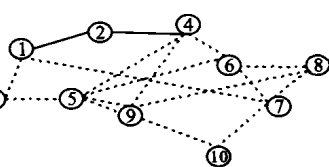


图2 线路分布  
Fig. 2 Lines distribution

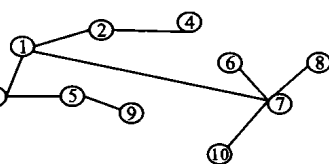


图3 规划方案  
Fig. 3 Planning conceptual scheme

基于蚁群算法的连锁式配送网络规划方法是可行和有效的。

## 参考文献:

### References :

- [1] 温文波,杜 维. 蚁群算法概述[J]. 石油化工自动化,2002,39(1):19—22.  
WEN Wen-bo, DU Wei. An abstract on the ant colony algorithms[J]. Automation in Petro Chemical Industry, 2002, 39(1):19—22. (in Chinese)
- [2] 张纪会,徐心和. 一种新的进化算法——蚁群算法[J]. 系统工程理论与实践,1999,19(3):84—87.  
ZHANG Ji-hui, XU Xin-he. A new evolutionary algorithm—ant colony algorithm[J]. Systems Engineering Theory and Practice, 1999, 19(3):84—87. (in Chinese)
- [3] 黎锁平,张秀媛,杨海波. 人工蚁群算法理论及其在经典 TSP 问题中的实现[J]. 交通运输系统工程与信息,2002,2(1):54—57.  
LI Suo-ping, ZHANG Xiu-yuan, YANG Hai-bo. Theory on artificial ant algorithm and its application in TSP problem[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2002, 2(1):54—57. (in Chinese)
- [4] 赵学峰. 一种求解 TSP 的混合型蚁群算法[J]. 西北师范大学学报,2003,39(4):31—34.  
ZHAO Xue-feng. A hybrid ant colony algorithm for solving TSP[J]. Journal of Northwest Normal University, 2003, 39(4):31—34. (in Chinese)
- [5] 伍文城,肖 建. 基于蚁群算法的中国旅行商问题满意解[J]. 计算机与现代化,2002,18(8):6—11.  
WU Wen-cheng, XIAO Jian. Satisfactory solution of Chinese travelling salesman problem based on ant colony algorithm[J]. Computer and Modernization, 2002, 18(8):6—11. (in Chinese)
- [6] 陈根军,王 磊,唐国庆. 基于蚁群最优的配电网重构算法[J]. 电力系统及其自动化学报,2001,13(2):48—53.  
CHEN Gen-jun, WANG Lei, TANG Guo-qing. An ant colony optimization based method for power distribution network planning[J]. Power System Technology, 2001, 13(2):48—53. (in Chinese)
- [7] 赵 强,敬 东,李 正. 蚁群算法在配电网规划中的应用[J]. 电力自动化设备,2003,23(2):52—54.  
ZHAO Qiang, JING Dong, LI Zheng. Power distribution network planning based on ant colony algorithm[J]. Power Automation Equipment, 2003, 23(2):52—54. (in Chinese)