

物流配送路径安排问题的混合蚁群算法

吴建军 刘 军

(北京交通大学交通运输学院)

摘要: 本文针对物流配送路径选择问题, 提出了一种混合蚁群算法, 以克服经典蚁群算法时间复杂性过大的难点。论文还研究了该算法解的二次优化方法以更适合实际情况。实证表明论文算法的求解效果良好。

关键词: 物流配送; 路径安排; 混合蚁群算法

中图分类号: U492.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-131X (2004) 08-0098-04

MIXED ANTS ALGORITHM OF ROUTING PROBLEM FOR LOGISTICS DISTRIBUTION

Wu Jianjun Liu Jun

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University)

Abstract: Aimed to overcome the disadvantages of time complexity about the Ants Algorithm, this paper proposes a mixed Ants Algorithm for solving the logistics distribution routing problem which can optimize the solution for the second time and make the solution suit to the practice. This algorithm is effectively which is proved by the number experiment provided by this paper.

Keywords: logistics distribution; vehicle routing; mixed ants algorithm

1 引言

物流配送是物流企业日常生产中一个非常重要的环节, 其效率高低直接影响物流企业的运作效益。在配送管理中, 经常需要决策的一个问题就是如何寻找一组费用最小的车辆径路, 将货物配送到每个客户手中, 也即所谓的车辆路线问题 (Vehicle Routing Problem, 简称 VRP)。物流企业的配送径路选择较之经典的 VRP 模型更为复杂, 因为它所涉及的约束条件与用户要求, 包括种类、品种搭配、数量、时间等方面的关系密切。配送是送货、分货、配货等活动的有机结合体。配送路线是否合理, 对加快配送速度、降低配送成本、提高服务质量及增加总体经济效益影响较大, 因此, 采用科学合理的方法确定配送线路是配送业务中一项非常重要的工作。

配送路线安排是一个 NP-hard 问题, 很难找到此问题的精确解, 特别在现实配送过程中, 由于需求点和路段数较多, 对这类问题的解一般都通过一组启发式算法或生物进化算法来求解。

2 物流配送路线安排模型及其意义

我们通常对物流配送路线安排问题可以作如下具体描述: (1) 客户独立均匀分布于配送区域, 都有非负需求, 且需求量不大于车的载重量; (2) 配送中心拥有多辆同种载重量的车, 且派出服务的每辆车的始、终点都在配送中心, 每辆车所服务的客户序列的总需求不能大于车的载重量; (3) 每个客户只能被访问一次, 每辆车只能服务一条路线; (4) 目标是使系统运作费用最小, 或路线数最少等。在实际的配送系统中, 有些情况不同于上面提到的典型 VRP 问题, 如配送中心往往拥有多种载重量的车辆, 客户需要在其指定的时间窗内接受服务。我们所考虑的费用包括每派出一辆车的固定费用, 车辆的走行费用和其它相关费用。目标是设计一组车辆路线, 使配送企业的运作费用最小。首先定义变量, 一般数学模型可以表示如下:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{点 } i \text{ 的任务由车辆 } k \text{ 完成} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } k \text{ 从点 } i \text{ 行驶到点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

则

$$\begin{aligned}
\min z &= \sum_i \sum_j \sum_k c_{ij} x_{ijk} \\
\text{s.t. } \sum_i g_i y_{ki} &\leq q \quad \forall k \\
\sum_i y_{ki} &= 1 \quad i = 1, \dots, l \\
\sum_i x_{kijk} &= y_{kj} \quad j = 0, 1, \dots, l; \forall k \\
\sum_j x_{kijk} &= y_{ki} \quad i = 0, 1, \dots, l; \forall k \\
\mathbf{X} &= (x_{ijk}) \in \mathbf{S} \\
x_{ijk} &= 0 \text{ 或 } 1 \quad i, j = 0, 1, \dots, l; \forall k \\
y_{ki} &= 0 \text{ 或 } 1 \quad i = 0, 1, \dots, l; \forall k
\end{aligned}$$

模型中, c_{ij} 表示从点 i 到点 j 的运输成本, 它的含义可以是距离、费用、时间等, 一般根据实际情况而定, 可以同时考虑车辆数和运行费用。 g_i 任务 i 的运输量。 q 为总容量。

3 蚁群算法简介

3.1 蚁群算法的基本原理

蚁群算法是对自然界蚂蚁的寻径方式进行模拟而得出的一种仿生算法。为了说明蚁群算法的原理, 先简要介绍一下蚂蚁搜寻食物的具体过程。

在蚂蚁群找到食物时, 它们总能找到一条从食物到巢穴之间的最优路径。这是因为蚂蚁在寻找路径时会在路径上释放出一种特殊的信息素。当它们碰到一个没有走过的路口时, 就随机地挑选一条路径前行。与此同时释放出与路径长度有关的信息素。路径越长, 释放的信息素浓度越低。当后来的蚂蚁再次碰到这个路口时, 选择信息素较高路径的概率就会相对较大。这样形成了个正反馈。最优路径上的信息素浓度越来越大, 而其它的路径上的信息素会随着时间的流逝而消减。最终整个蚁群会找出最优路径, 不仅如此, 蚂蚁还能够适应环境的变化, 当蚁群运动路线上突然出现障碍物时, 蚂蚁能够很快地到最优路径, 这个过程和前面所描述的方式是一致的, 就不再详述。在整个寻径过程中, 虽然单个蚂蚁的选择能力有限, 但是通过信息素的作用, 整个蚁群之间交换着路径信息, 最终找出最优路径。

3.2 蚁群系统模型及其实现

我们以求解 n 个客户的配送路线问题为例说明蚁群系统模型。对于其它问题, 可以对此模型稍作修改便可应用。为模拟实际蚂蚁的行为, 首先引进如下记号: 设 m 是蚁群中蚂蚁的数量, d_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, n$) 表示客户 i 和客户 j 之间的费用 (可以表示为距离、时间等形式), $b_i(t)$ 表示 t 时刻位于客户

i 的蚂蚁的个数, $m = \sum_{i=1}^n b_i(t)$ 。 $\tau_{ij}(t)$ 表示 t 时刻在 ij 连线上残留的信息量。初始时刻, 各条路线上信息量相等, 设 $\tau_{ij}(0) = C$ (C 为常数)。蚂蚁 k ($k = 1, 2, \dots, m$) 在运动过程中, 根据各条路线上的信息量决定转移方向, $p_{ij}^k(t)$ 表示在 t 时刻蚂蚁 k 由位置 i 转移到位置 j 的概率:

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

其中, $\text{allowed}_k = \{0, 1, \dots, n-1\} - \text{tabu}_k$ 表示蚂蚁 k 下一步允许选择的客户。与真实蚁群系统不同, 人工蚁群系统具有一定的记忆功能, 这里用 tabu_k ($k = 1, 2, \dots, m$) 记录蚂蚁 k 目前已经走过的客户。随着时间的推移, 以前留下的信息逐渐消逝, 用参数 $1 - \rho$ 表示信息消逝程度, 经过 n 个时刻, 蚂蚁完成一次循环, 各路径上信息量要根据下式作调整,

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (2)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (3)$$

$\Delta\tau_{ij}^k$ 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中留在路线 ij 上的信息量, $\Delta\tau_{ij}$ 表示本次循环中留在路线 ij 上的信息量。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L_k & \text{若第 } k \text{ 只蚂蚁在本次循环中经过 } ij \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

其中, Q 是常数, L_k 表示第 k 只蚂蚁在本次循环中所走路线的费用值 (可以表示为长度)。在初始时刻, $\tau_{ij}(0) = C$ (const), $\tau_{ij} = 0$, 其中, $i, j = 0, 1, \dots, n-1$ 。 α, β 分别表示蚂蚁在运动过程中所积累的信息及启发式因子在蚂蚁选择路线中所起的不同作用。 η_{ij} 表示由客户 i 转移到客户 j 的期望程度, 可根据某种启发式算法具体确定。根据具体算法的不同, $\tau_{ij}(t)$ 、 $\Delta\tau_{ij}$ 及 $p_{ij}^k(t)$ 的表达形式可以不同, 要根据具体问题而定。M. Dorigo 曾给出三种不同模型, 分别称之为 ant-cyclesystem, ant-quantitysystem, ant-densitysystem。参数 $Q, C, \alpha, \beta, \rho$ 可以用实验方法确定其最优组合。停止条件可以用固定循环次数或者当进化趋势不明显时便停止计算。

许多文献利用蚁群算法来解决某些实际问题并取得了良好的效果。在求解过程中此算法具有能较快发现最好解的优点。蚁群算法的缺点是易陷入局部最优解, 爬山能力差, 而且其求解最优解的速度比较慢。

可是我们知道,遗传算法已经比较成熟,许多改进的遗传算法具有了很强的搜索最优解的能力。所以,基于这种思想,我们提出了利用蚁群算法产生基本可行解,然后再利用遗传算法进行二次优化,以求得问题最优解。这样两种算法相结合,可以更为准确的来解决实际问题。

3.3 参数设定

在蚂蚁系统中需要设定的系数有参数 Q 、 C 、 α 、 β 、 ρ , 以及蚂蚁的数目等。

α 的大小表明留在每个点上的信息量受重视的程度,其值越大,蚂蚁选择以前选过的可能性越大, α 过大会使搜索过早陷于局部最小点。 β 的大小表明启发式信息受重视的程度。

蚂蚁数目越多,算法的全局搜索能力越强,但蚂蚁数目增加,将使算法的收敛速度减慢。而且在蚂蚁数目相同时,随问题的规模的增大,算法的全局搜索能力降低。

Q 的值将会影响到算法的收敛速度, Q 过大会使算法收敛于局部最小值, Q 过小又会影响算法的收敛速度。随问题规模的增大, Q 的值也需要随之变化。

经实验和参考相关的文献,我们选择 $\alpha = 2$, $\beta = 4$; $Q = 1$; $\rho = 0.85$ 选取蚂蚁的数目与网络中节点的数目(在运输调度问题中,也就是与运输网络中的节点数相同)相同。

4 基于混合蚁群算法的配送路线问题的求解

对于遗传算法的研究现在已经趋于成熟,我们就不再介绍。下面只给出混合蚁群算法的伪代码:

(1) 初始化:

Set $t = 0$, 每条边上的 $\tau_{ij}(0) = 0$, 并且 $\Delta\tau_{ij} = 0$, 放置 m 个蚂蚁到起点路口上, $NC = 0$, $W_k = 0$, $CA_{(\min)} = 0$

(2) Do while True

(3) 令 $s = 1$, (s 是 tabu list 的下标)

For $k = 1$ to m do

把第 k 个蚂蚁的初始客户编号放置到 $tabu_k$

(s) 中

(4) Repeat until tabu list is full

Set $s = s + 1$

For $k = 1$ to m do

根据概率 p_j^k 来选择下一步应该到到达的客户编号, 将第 k 个蚂蚁移到路口 j 并将 j 插入到 $tabu_k$ (s) 中。如果 j 等于终点客户的编号, 停止该蚂蚁此次寻

径循环的活动。

(5) For $k = 1$ to m do

If 蚂蚁 k 找到了终点客户 then

计算第 k 个蚂蚁的总路径费用 W_k , 更新目前找到的最小费用路线, 记录此时最小费用路线所对应的费用值 $CA_{(\min)}$

For $k = 1$ to m do

更新各条边上的信息素浓度

(6) 对每一条边计算 $\tau_{ij}(t+1)$

Set $t = t + 1$

Set $NC = NC + 1$

Set $\Delta\tau_{ij} = 0$

(7) if ($NC < NC(\max)$) then

清空所有的 tabu list

Goto step 3

Else

Goto step 7

(8) 对此时最小费用路线运用遗传算法进行二次优化

计算更新目前找到的最小费用路线并记录最小路线对应的费用值 $CG_{(\min)}$

If $|CG_{(\min)} - CA_{(\min)}| < \text{给定的任意小的正数}$ then

得出最小费用路线

终止整个程序

Else

Goto step 2

5 实例验证及对比分析

有八个分仓库和一个中心仓库的配送系统, 各分仓库对中心仓库的需求为 d_i ($i = 1, \dots, 8$) (单位为吨), 中心仓库只有两辆车用于配送, 每辆车的容量皆为 8 吨, 已知中心仓库与各分仓库间的距离如表 1 (其中 0 表示中心仓库), 要求合理安排车辆的行驶路线, 使总运行费用最少, 即总运输里程最小。运用本文提供的混合蚁群算法对上述问题进行求解, 以 matlab6.5 为工具, 在 P-4 PC 机运算, 得最终的物流优化路径为: $0 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow 0$, 运输总距离为 67.5, 耗时为 21 秒。显然, 此方案既满足车辆容量约束又满足了各分仓库的需求, 是上述车辆路径问题的一个可行解。用遗传算法求解得最优路径为: $0 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 0$, 相应的总运输距离为 71.5, 耗时为 37 秒。而用蚁群算法对同一问题进行求解, 得线路安排为: $0 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 7 \rightarrow 3 \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ 相应的运输距离为: 79.5, 耗时为 83 秒。

表 1 距离与需求量表
Table 1 Distance and demand

c_{ij}	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	4	6	7.5	9	20	10	16	8
1	4	0	6.5	4	10	5	7.5	11	10
2	6	6.5	0	7.5	10	10	7.5	7.5	7.5
3	7.5	4	7.5	0	10	5	9	9	15
4	9	10	10	10	0	10	7.5	7.5	10
5	20	5	10	5	10	0	7	9	7.5
6	10	7.5	7.5	9	7.5	7	0	7	10
7	16	11	7.5	9	7.5	9	7	0	10
8	8	10	7.5	15	10	7.5	10	10	0
Demand	1	2	1	2	1	4	2	2	2

6 结论与展望

针对蚁群算法时间复杂性大的缺点,运用混合蚁群算法来求解物流配送路径安排问题并对解进行二次优化,使结果更加符合实际情况。最后进行了实例验证,证明该算法具有良好的并行性和搜优性。但是蚁群算法还不像其它的启发式算法那样已形成系统的分

析方法和具有坚实的数学基础,特别是参数的选取更多的是依靠实验和经验,没有相关的定理来确定,这些都表明其在理论和实践方面尚有许多问题需要更加深入研究与解决。笔者将在以后的工作和研究中,就如何进一步减少其搜优时间以及在动态环境下实时地进行搜索最佳路径作进一步的研究和探索。

参 考 文 献

- [1] A. Colomi, M. Dorigo and V. Maniezzo, Distributed optimization by ant colonies [C]. Proc. First Europ. Conf. Artificial Life, F. Varela and P. Bourgine, Eds. Paris, France: Elsevier, 1991, pp. 134 ~ 142
- [2] 周勇,陈洪亮. 蚁群算法的研究现状及其展望 [J]. 微型电脑应用, 2002, 18 (2): 5 ~ 7
- [3] 马良. TSP 及其扩展问题的混合型启发式算法 [J]. 上海理工大学学报, 1999, 21 (1): 25 ~ 28
- [4] 王颖,谢剑英. 一种自适应蚁群算法及其仿真研究. 系统仿真学报, 2002, 14 (1): 31 ~ 33
- [5] Dorigo, M., Gambardella, L. M., Ant colonies for the traveling salesman problem [J]. BioSystems 43 (1997): 73 ~ 81

吴建军 北京交通大学博士研究生,主要从事现代物流系统优化及交通运输规划与管理。通讯地址:100044 北京交通大学交通运输学院

刘 军 北京交通大学教授,博士生导师,交通运输学院党委书记。主要从事物流信息系统及电子商务、交通规划与管理。

(上接 37 页)

参 考 文 献

- [1] 傅传国、蒋永生等. 框架结构大跨度预应力整体转换结构体系受力特点分析 [J]. 东南大学学报, 1999

(4): 117 ~ 122

- [2] 傅传国、蒋永生等. 框架结构大跨度预应力整体转换结构体系的变形特点 [J]. 东南大学学报, 1999 (4A): 212 ~ 215

傅传国 教授,博士,土木学院院长。主要从事混凝土结构设计理论及抗震防灾领域的教学与科研工作。获省级科技进步二等奖 2 项、三等奖 2 项,厅级一等奖 1 项;出版专著和教材 4 部,发表论文 50 余篇。通讯地址:250014 山东济南和平路 47 号 山东建筑工程学院土木学院

蒋永生 教授,博士生导师,长期从事教学科研工作,重点研究高强混凝土结构、地下建筑结构设计方法及其应用。发表论文近百篇,获省级科技进步一等奖 2 项、国家教学研究成果二等奖 2 项,出版专著教材 12 部。

温凤军 研究员,长期从事建筑结构设计与研究。