

改进的蚁群算法在矿山物流配送路径优化中的研究

杨瑞臣, 云庆夏

(西安建筑科技大学, 西安 710055)

摘要:物流配送路径优化问题是公认的 NP 难题, 本文运用一种新型的模拟进化算法——蚁群算法对其进行求解。针对车辆路径问题及蚁群算法各自的特点, 本文对蚁群算法进行多方面改进, 以优化其搜索能力和加快收敛速度。文中通过对实例计算求解, 取得了满意的结果, 从而证明了新算法的有效性。

关键词:蚁群算法; 车辆路径问题; 物流配送

中图分类号:TD5

文献标识码:A

文章编号:1006-2602(2004)06-0016-03

STUDY OF IMPROVED ANT COLONY SYSTEM IN THE ROUTING OPTIMIZATION FOR PHYSICAL DISTRIBUTION IN MINES

YANG Rui - chen, YUN Qing - xia

(Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China)

Abstract: Physical distribution routing optimizing is a famous NP - Hard problem. This paper use ant colony system (ACS), which is a novel simulated evolutionary algorithm, to solve the problem. According to the features of the Vehicle Routing Problem and the algorithm, ACS is improved to enhance the searching ability and convergence. Satisfied computational results on given problems are reported, which shows that the improved ACS is useful and effective.

Key words: ant colony system; vehicle routing problem; physical distribution

1 概述

在露天矿山中, 运输费用通常占矿石成本的 60% ~ 70%。因此, 运输路径的优化具有巨大的经济意义。通常, 矿山运输路径的优化包括矿石、废石及材料的运输, 可统称为物料配送路线的优化。它是一类 NP - HARD 问题, 精确的算法有分枝定界法、K 状树法、Lagrang decomposition 等, 但它们只能求解相对简单的问题。有些研究者提出过几种启发式算法, 如节约法、扫描法等, 这些方法尽管能够解决此类问题, 但也存在一定的缺陷, 如节约法的组合零乱、边缘点难以组合, 扫描法非渐进优化等^[1]。近年来遗传算法、禁忌搜索算法、模拟退火算法等都在此问题上进行了运用, 并取得了成功。

本文另辟新径, 将蚁群算法应用于物流配送路径优化的求解, 并对算法中有关部分进行改进以提

高求解效率。

从一般意义上讲, 物流配送是指按顾客的要求, 用多个车辆从配送中心对顾客进行配给。各顾客点的位置和需求量为已知, 各车辆的载重量已知, 力求寻找一个优秀的配送方案, 使得总代价最小(所用车辆尽量少, 行车总距离尽量短), 同时满足以下条件及假设:

① 所有的配送车辆以配送中心为起点并最终回到配送中心。

② 每条配送路径上各需求点的需求量之和不超过车辆的载重量。

③ 每条配送路径的长度不超过车辆一次允许行驶的最大距离。

④ 每个需求点的需求由且仅由一辆车一次送货满足。

2 蚁群算法的基本思想

蚁群算法是一种模拟自然界蚂蚁觅食行为的启发式搜索算法。蚂蚁觅食时, 会在所经过路线上留下一一种称为信息素(pheromone)的物质, 以此来标识

基金项目: 陕西省自然科学基金资助课题 (No. 2001J06)

收稿日期: 2004-07-28

作者简介: 杨瑞臣 (1978 -), 男, 汉族, 西安建筑科技大学硕士研究生, 研究方向为计算机应用。

路线,其它蚂蚁可以并且习惯追踪此信息素爬行。在确定位置的食物和蚁穴之间,较近的路线,蚂蚁重复爬行的次数就更高些。由于每只蚂蚁每经过一次都要释放信息素,这样重复次数多的路线由于其信息素浓度较大就更容易被其它蚂蚁选中,这样整个蚁群就由开始的多路线爬行逐渐集中到最短的路线上爬行,使路线得到优化选择。意大利学者 M. Dorigo 模拟此过程提出了蚁群算法^[2]。以生活在离散时空、具有一定记忆能力的人工蚂蚁替代真实自然界的蚂蚁,对旅行商问题(TSP)、任务分配问题进行启发式的蚂蚁搜索,已取得了很好的效果。下面,我们用蚁群算法来解决物料配送路径优化问题。

3 配送路径优化问题的蚁群算法

我们用一赋权有向图 $G = (V, A, d)$ 来表示配送路径问题,其中 $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为一系列点的集合。 v_0 用来表示配送中心, $v_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 表示各顾客, $A = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ 为一系列弧的集合, d_{ij} 与弧 (v_i, v_j) 相联系,表示 v_i 到 v_j 的距离,对于顾客 v_i 给定了需求量 q_i (其中 $q_0 = 0$), 在前述第1节的约束下,寻找最短的路径,当然,使用车辆也应尽可能少。

我们用人工蚂蚁替代车辆来服务顾客点,当下一个要服务的顾客点会使运载总量超出汽车载重量,或者使运距超过一次最大行驶距离时,就返回到配送中心 v_0 ,表示这辆车完成此次运输,该辆车接着出发服务其余顾客,直到所有顾客点都得到了服务,此时代表该车的蚂蚁完成一次巡游。当所有蚂蚁都巡游一次,记为一次循环。一次循环后,根据各蚂蚁巡游历程的好坏(目标函数值),计算信息素增量,更新相关路径上的信息素。由于人工蚂蚁具有记忆和判别的能力,蚂蚁在 i 顾客点选择服务的下一个顾客点 j 时,主要考虑两个因素,一是 i, j 两顾客点之间的关系的亲密程度,称为可见度,记为 η_{ij} ;另外考虑的是由迄今完成的循环所得路径方案体现出来的由 i 到 j 的可行性,即信息素浓度 τ_{ij} 。易见,在蚁群配送优化迭代中,关键部分有三个:

① 顾客 i 到顾客 j 的转移概率

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in allowed} [\tau_{ih}]^\alpha [\eta_{ih}]^\beta} & \text{if } v_j \in allowed, \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$allowed = \{v_i | v_j \in V, v \in i \text{ 是此次尚未服务到的顾客}\}$

② 可见度 η_{ij} 的表示

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (2)$$

③ 信息素浓度更新规则

$$\tau_{ij}^{new} = \rho \cdot \tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^{n_k} \Delta \tau_{ij}^k \quad (3)$$

此种蚁群算法可以求解配送路径问题,但存在计算量大,易出现收敛过早或停滞等缺点。

4 蚁群算法的改进

根据以上的分析,针对关键部分分别作改进,以提高搜索能力及效果。本文从下述三方面进行改进。

(1) 可见度的改进

由于在配送问题中,配送中心是车辆的起始点及终点,但(2)式作为局部启发量,没有考虑到中心点的作用,使得最优解不易很快被发现。鉴于此,我们引入节约值 $SAVE$, 用此改造可见度。记 $SAVE_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$, 即由 i 到 j 所能节约的路径长度。改造后:

$$\eta_{ij} = \frac{SAVE_{ij}}{d_{ij}} \quad (4)$$

(2) 信息浓度更新规则的改进

为了加速收敛,我们有限度增加全局最优解的影响力。每次循环后,只对全局较优的 k 个解所在路上的信息素浓度进行更新。规则如下:

$$\tau_{ij}^{new} = \rho \cdot \tau_{ij}^{old} + \lambda \sum_{k=1}^{n_k} \frac{k+1-\mu}{L^\mu} \quad (5)$$

其中, $1-\rho$ 为挥发度(即 ρ 为信息素挥发后所剩的浓度), k 为取较优解的个数, L^μ 为第 μ 最优的目标值, λ 为更新系数,用以控制信息素浓度增加的幅度。

(3) 参数的改进

为了加快收敛速度,同时又兼顾增大搜索范围,在蚁群循环时,我们在不同阶段(循环次数),采用不同的挥发度 $1-\rho$ 及不同的更新系数 λ 。在初始时为了扩大搜索范围,我们采用较小的挥发度,较小的更新系数。在即将结束时,为了加快收敛,采用较大的挥发度,并加大更新系数。

5 实例计算

本文对文献^[3]中的两个实例分别用改进的蚁群算法在 matlab6.0 环境中进行了计算比较。

实验1:某物流中心有2台配送车辆,其载重量均为8t,车辆每次配送的最大行驶距离为50km,配

送中心(其编号为0)与8个客户之间及8个客户相互之间的距离 $d_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, 8)$, 8个客户的需求量 $q_j(j = 1, 2, \dots, 8)$ 均见表1。要求合理安排车辆配送路线,使配送总里程最短。

表1 实验1的已知数据

$d_{ij}(\text{km})$ $i \backslash j$	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
$q_i(\text{t})$	-	1	2	1	2	1	4	2	2

文献[3]采用混合遗传算法,得到的平均最优

解是69.1 km。

本文采用蚁群算法,取蚂蚁数为16,最大循环次数 NC 为10,取 $\alpha = 1, \beta = 2$,循环次数 $NC < 7$ 时,取 $1 - \rho = 0.1, \lambda = 1$,当 $NC \geq 7$ 时,取 $1 - \rho = 0.3, \lambda = 2$ 。随机求解10次。得到结果如表2,10次计算,除一次结果为69外,其余均得到了最优解67.5,试验结果十分理想。

表2 实验1的改进蚁群算法的计算结果

计算次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
配送总距离(km)	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	67.5	69	67.5	67.65

实验2:某物流中心有5台配送车辆,车辆的最大载重量均为8 t,一次配送的最大行驶距离均为50 km,需要向20个客户送货。物流中心的坐标为(14.5 km, 13.0 km), 20个客户的坐标及其货物需求量见表3。

表3 实验2的已知数据

客户编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
横坐标 x/km	12.8	18.4	15.4	18.9	15.5	3.9	10.6	8.6	12.5	13.8	6.7	14.8	1.8	17.1	7.4	0.2	11.9	13.2	6.4	9.6
纵坐标 y/km	8.5	3.4	16.6	15.2	11.6	10.6	7.6	8.4	2.1	5.2	16.9	2.6	8.7	11.0	1.0	2.8	19.8	15.1	5.6	14.8
货物需求量 q/t	0.1	0.4	1.2	1.5	0.8	1.3	1.7	0.6	1.2	0.4	0.9	1.3	1.3	1.9	1.7	1.1	1.5	1.6	1.7	1.5

文献[3]采用混合遗传算法,得到的平均最优解是122.0 km。

本文采用蚁群算法,取蚂蚁数为20,最大循环

次数 NC 为10,取 $\alpha = 1, \beta = 3$,循环次数 $NC < 7$ 时,取 $1 - \rho = 0.1, \lambda = 1$,当 $NC \geq 7$ 时,取 $1 - \rho = 0.3, \lambda = 2$ 。同样随机求解10次。得到结果如表4:

表4 实验2的改进蚁群算法的计算结果

计算次序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
配送路径总长/km	114.7	114.4	112.7	113.0	112.2	115.4	109.6	114.4	108.6	109.6	112.5

比较文献[3]中结果而言,得到了比较理想的结论,其中两次得出108.6 km的满意解,路径为0-5-14-2-12-9-10-7-1-0-8-19-15-16-13-6-0-18-20-11-17-3-0-4-0,图形见图1,但10次计算所用车辆均为4辆,没有得出使用3辆车完成配送任务的结论。

6 结束语

蚁群算法是一种新型的模拟进化算法。本文用蚁群算法完成了物流配送车辆路径问题的求解^[4]。根据物流配送的特殊性,对蚁群算法进行了改进,并取得了比较理想的效果。对蚁群算法及车辆路径问题的研究有一定的参考价值。

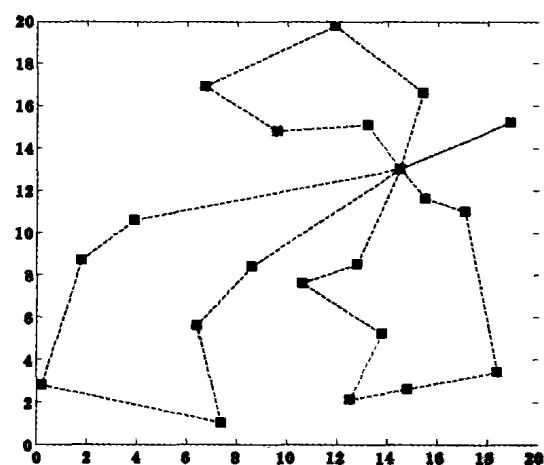


图1 配送路径图

(下转第28页)

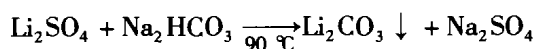
机过滤。洗涤滤饼的水,返回配酸器。滤液送至除杂工序处理。

3.3 除杂工序

上述滤液先加入适量草酸钠溶液除去 Ca^{2+} ,再用浓度 30% 的液碱处理至 pH12,使 Mg^{2+} 生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$,过滤。滤液中含有 Fe^{2+} 和 Al^{3+} ,因此在送入浓缩器中加热时,同时加入少量硫酸中和至 pH6.7~7.0,并加入少量双氧水使 Fe^{2+} 完全氧化成 Fe^{3+} ,这样就可使上述杂质离子生成氢氧化物沉淀。为使料液脱色,还应往溶液中加入少量粉状活性炭^[2]。浓缩操作的终点为溶液中含 Li_2SO_4 200 g/L 时为止。料液经板框过滤机过滤后,澄清的滤液送至沉淀工序待用。

3.4 沉淀工序

先将纯碱配制成准饱和溶液(15℃时,约为 20°Be'),经澄清后,将上层清液精细过滤。过滤好的碱液送入反应罐中,加热至 90℃。在充分搅拌下,以细流状慢慢地加入净化合格的 Li_2SO_4 溶液,立即生成白色的 $\text{Li}_2\text{CO}_3 \downarrow$:



在此操作过程中,应随时检查罐内料液的 pH 值(用广泛 pH 试纸测定),发现其 pH 值由 12 开始下降,就应减慢加入 Li_2SO_4 溶液的速度,以免锂盐过量,造成碳酸锂沉淀吸附、包裹 SO_4^{2-} 。沉淀作用的终点是 pH9.0~10.0。当沉淀终点 pH<9.0 时,成品 SO_4^{2-} 指标有上升趋势;当其 pH>10.0 时,纯碱耗用量增大,影响生产成本。因此,上述沉淀作用终点的 pH 值必须要求操作人员加以精细控制。

沉淀作用达到终点后,继续保温搅拌一段时间。复查其 pH 值无变化后,则可将罐内料浆送入 WH-800 型过滤式离心机内,分离母液后进行洗涤。母液补加少量硫酸调整 pH 值为中性后,用于回收硫酸钠。洗涤回水返至浸取工序稀释浓硫酸用。沉淀

经仔细洗涤后,离心甩干,送至后处理工序。

3.5 后处理工序

上述处理好的 Li_2CO_3 沉淀,含水量为 3%~5% 左右,将其送到用蒸汽间接加热的转筒干燥器内进行干燥,干燥终点为含水量 0.1% 以内。经干燥合格的碳酸锂再经粉碎、筛析、取样化验、分装即为成品。

4 产品质量和经济效益

按本文所介绍的生产工艺所生产制得的碳酸锂的质量指标如下:

含量(Li_2CO_3),% > 98.0 氯化物(Cl),% < 0.05

硫酸盐(SO_4),% < 0.10 氧化钠(Na_2O),% < 0.12

氧化钙(CaO),% < 0.12 氧化铁(Fe_2O_3),% < 0.01

重金属(Pb),% < 0.001 水分,% < 0.10

由上述数据清晰地表明,采用经改进后的新工艺所生产出的碳酸锂的质量是令人满意的,而且产品尤其以硫酸盐、重金属等杂质指标的低微程度而获得了用户的青睐。

经对新法生产碳酸锂的工业化生产实践的经济核算,新工艺的工厂成本仅为 12 000 元/t 左右,目前市场上碳酸锂的销售价格为 29 600 元(今后仍有上升的势头),其利润率可达 60% 以上,从而具有十分显著的技术经济效益和社会效益。

鸣谢:本工艺及其改进在工业化大生产过程中,专家组[侯瑞星]高工做了大量的努力和工作,谨表诚挚的怀念之情!

参考文献

- [1] 秦玉楠. 精细化工中活性炭的使用技术和经验[J]. 中国铝业, 2004, 28(5).

(上接第 18 页)

参考文献

- [1] 郎茂祥. 基于遗传算法的物流配送路径优化问题研究[J]. 中国公路学报, 2002, 15(7).
- [2] Dorigo M, Gambardella L M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computa-

tion, 1997, 1(1).

- [3] 郎茂祥, 胡思继. 用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J]. 中国管理科学, 2002, 10(10).
- [4] Bernd Bullnheimer, Richard F Hartl, Christine Strauss. An improved Ant System algorithm for the Vehicle Routing Problem[J]. Annals of Operations Research, 89 (1999) 319-328.