

基于蚁群算法的煤炭运输优化方法

李 智

(武汉工业学院 电气信息工程系, 湖北 武汉 430023)

摘 要: 蚁群算法是指通过人工模拟蚂蚁搜索食物的过程来求解运输优化问题的一种算法。给出蚁群算法模型及算法步骤。研究一种带容量限制和考虑损耗的煤炭运输数学模型的优化计算, 并给出算法步骤。运用蚁群算法对某一钢铁企业煤炭运输问题进行优化计算, 计算结果符合实际生产情况。

关键词: 铁路运输组织; 煤炭运输; 蚁群算法; 优化计算

中图分类号: U294.15: TP18 **文献标识码:** A

1 引 言

人工蚂蚁算法是受到人们对自然界中真实蚂蚁群体行为的研究成果的启发而提出的一种基于种群的模拟进化算法, 属于随机搜索算法的一种。最早由意大利学者 M.Dorigo 等人提出, 在充分利用蚂蚁群体搜索食物的过程和著名的旅行商问题 (TSP) 之间的相似性, 通过人工模拟蚂蚁搜索食物的过程求解 TSP 问题, 获得了成功, 故称之为“人工蚁群算法”, 简称“蚁群算法”^[1]。在随后的研究中, 又成功地将蚂蚁算法应用于二次分配问题^[2]、Job-shop 调度问题^[3]、网络动态路由优化^[4]、信带频率分配问题^[5]等的求解。

蚁群算法是一种随机搜索算法, 与遗传算法、模拟退火算法等模拟进化算法一样, 通过候选解组成的群体在进化过程来寻求最优解^[6], 具有以下特点。

(1) 较强的鲁棒性: 对基本蚁群算法模型稍加修改, 即可应用于其它问题的求解。

(2) 分布式计算: 蚁群算法是一种基于种群的算法, 具有并行性。

(3) 易于与其它的方法相结合: 蚁群算法很容易与其它的启发式算法相结合, 以改善算法的性能。

诸多研究表明, 蚁群算法具有很强的寻优能

力, 不仅利用了正反馈原理, 在一定程度上加快了进程的速度, 而且是一种本质并行的算法, 不同个体之间不断进行着信息交流和传递, 从而能够相互协作, 有利于发现较好的解。

2 蚁群算法

2.1 蚁群算法原理^[7]

自然界蚂蚁群体协作行为主要包括: 在没有任何外界指导信息的情况下, 蚂蚁群体总是能找到从食物源到巢穴的最短路径; 蚁群中个体从事不同的劳动, 群体可以很好地完成个体的劳动分工; 蚁群中死去蚂蚁的个体可以聚集在一起, 形成相对较大的坟墓。受这些蚂蚁群体行为的启迪, Dorigo 等人提出了几类不同的蚂蚁算法模型。其中, 对蚂蚁群体总是能找到从食物源到巢穴的最短路径这种情况而抽象建立的算法模型被称为蚂蚁系统。理论和实践上都证明这种算法模型对求解组合优化问题效果良好, 下面说明蚂蚁系统的生物原型——真实蚂蚁群体的工作原理。

研究表明, 自然界蚂蚁寻找到从巢穴到食物源的最短路径是通过一种正反馈的机制实现的, 单个蚂蚁在自己行走的路径下留下一种挥发性分泌物, 称之为信息激素, 后来的蚂蚁根据前进道路上信息数量的多少选择前进方向, 在经过一个长的过程后, 在较短路径上蚂蚁留下的信息激素的量变得较

大,而蚂蚁越来越多地集中在信息激素量较大的路径上,从而找到了一条最短路径。

蚂蚁行为的实质是简单个体的自组织行为体现出来的群体行为,每个蚂蚁行为对环境产生影响,环境的改变进而对蚁群行为产生控制压力,影响其他蚂蚁的行为。通过这种机制,简单的蚂蚁个体可以相互影响,相互协作,完成一些复杂的任务。

自组织使得蚂蚁群体的行为趋向结构化,其原因就是包含了一个反馈的过程,这也是蚂蚁算法最重要的特征。正反馈是系统演化发展的原因,这个过程利用了全局信息作为反馈,通过对系统演化过程中较优解的自增强作用,使得问题的解向着全局最优的方向不断进化,最终能有效地获得相对较优的解。

2.2 蚁群算法模型及其实现

Dorigo 等人提出的蚂蚁群体优化的元启发式规则较好地描述了蚁群算法的实现过程,其过程可以表示如下。

当没有达到结束条件时,执行以下活动:

(1) 蚂蚁的行为,即是蚂蚁在一定的限制条件下寻找一条路径;

(2) 轨迹(即信息激素)浓度的挥发;

(3) 后台程序,主要是完成单个蚂蚁无法完成的任务,比如说根据全局信息对信息激素浓度进行更新;

达到条件,结束。

由于最初的蚁群算法思想起源于离散的网络路径问题,下面以一维搜索为例,引申到 n 维空间的函数求解。

在函数优化问题中,假定优化函数为:

$$\min Z = f(x) \quad x \in [a, b]$$

设 m 个人工蚂蚁,刚开始时位于区间 $[a, b]$ 的 m 等分处,蚂蚁的转移概率定义为:

$$p_{ij} = \frac{\tau_j^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{j=1}^m \tau_j^\alpha \eta_{ij}^\beta} \quad (1)$$

其中, p_{ij} 表示蚂蚁从位置 i 转移到位置 j 的概率; τ_j 表示蚂蚁 j 的邻域吸引强度; η_{ij} 表示目标函数差异值,即 $\eta_{ij} = f_i(x) - f_j(x)$; 参数 $\alpha, \beta \in [1, 5]$, 该范围的取值是一个经验值,目前尚无理论上的依据。

强度更新方程:

$$\tau_j^{t+1} = \rho \tau_j^t + \sum_k \Delta \tau_{kj} \quad (2)$$

$$\Delta \tau_{kj} = Q/L_j \quad (3)$$

$\Delta \tau_{kj}$ 表示第 j 只在本次循环中吸引强度的增加; Q 为正常数,其范围 $0 < Q < 10\,000$; L_j 表示本次循环中 $f(x)$ 的增量,定义为 $f(x+r) - f(x)$; $0 \leq \rho \leq 1$, 体现强度的持久性。于是,函数 $f(x)$ 的寻优就借助 m 个蚂蚁的不断移动来进行: 当 $\eta_{ij} \geq 0$ 时,蚂蚁 i 按概率 p_{ij} 从其邻域 i 移至蚂蚁 j 的邻域; 当 $\eta_{ij} \leq 0$ 时,蚂蚁 i 做邻域搜索(搜索半径或步长为 r), 即每个蚂蚁要么转移至其他蚂蚁处,要么进行邻域搜索。

由此可见,当蚂蚁的数量足够多,搜索半径足够小,这种寻优方式相当于一群蚂蚁对定义区间 $[a, b]$ 做穷尽的搜索,逐渐收敛到问题的全局最优解。

上述函数优化过程不受优化函数是否连续、是否可微等限制,较之经典搜索方法具有明显的优越性和稳定性。

函数优化问题的蚁群算法步骤:

(1) $count \leftarrow 0$ ($count$ 是迭代步数或搜索次数); 各 τ_j 和 $\Delta \tau_j$ 初始化;

(2) 将 m 个蚂蚁置于各自的初始邻域; 每个蚂蚁按概率 p_{ij} 移动或做邻域搜索;

(3) 计算各个蚂蚁的目标函数 $Z_k (k = 1, 2, \dots, m)$, 记录当前的最好解;

(4) 按强度更新方程修正轨迹强度;

(5) $\Delta \tau_j$ 修正, $count \leftarrow count + 1$;

(6) 若 $count$ 小于预定的迭代次数,则转到步骤 (2);

(7) 输出目前的最好解。

在具体的算法过程中,邻域设定可根据具体优化问题来定,比如一维问题就是直线搜索,二维问题可定义为圆等。搜索半径的大小和所要得到的最优解的精度有关,若问题的局部最优点密集,全局最优解不易得到时,则必须设置较小的 r , 蚂蚁个数 m 则主要和搜索空间(定义域)有关,搜索空间越大,所需要的蚂蚁个数越多。

3 煤炭运输问题及数学模型

煤炭运输问题的求解是一个十分复杂的过程,由于各行业、各部门的运输条件不同,其数学模型的表达方式也不一样,有的甚至是组合优化问题,在数学上属于典型的 NP 难解问题。这类问题如采

用传统的数学方法很难求出其优化解,而蚁群算法这一建立在现代优化理论基础上的生物进化算法,却能有效地解决此类问题。

煤炭运输问题根据目标的类型,可以将问题分为线性问题与非线性问题;单目标问题和多目标问题。根据约束的类型又可将问题分为二维问题或三维问题,以及平衡问题和非平衡问题。煤炭运输问题往往都带有容量的上下限和损耗费用。

本文主要讨论一种带容量限制和考虑损耗的煤炭运输数学模型的优化计算。

设由产地 A_i 运送煤炭到需求地 B_j , 且损失费用为 h_{ij} (元), 运量的下限为 f_{ij} (个单位), 运量的上限为 d_{ij} (个单位), 并设由 A_i 地运送到 B_j 的煤炭量为 x_{ij} (个单位), 则带有容量和损耗费用的平衡煤炭运输数学模型可描述为:

$$\min z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_{ij} y_{ij} \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$f_{ij} \leq x_{ij} \leq d_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} > 0 \\ 0, & x_{ij} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad i = 1, 2, \dots, m; \\ j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (10)$$

式 (4) ~ (10) 中, 诸常数均非负, 在编制程序时, 将下界限制 $f_{ij} \leq x_{ij}$ 经变量替换 $x'_{ij} = x_{ij} - f_{ij}$, 可以化为非负限制。

目标函数式 (4) 中的第一项是总的煤炭运输价; 第二项是总的运输损耗费用。

式 (5)、式 (6) 是煤炭产地生产量、需求地需求量的约束; 式 (7) 是容量约束; 式 (8) 是当选择某条线路时, 就有损耗费用产生的条件约束, 当 $y_{ij} = 1$ 时, 该线路有损失费用产生, 反之, 无损失费用产生; 式 (9) 是平衡条件约束; 式 (10) 是决策变量的非负约束。

4 实例仿真

以某钢铁运输企业的实际运输为例。有 3 个煤

炭产地, 5 个需求地的情况, 从 i 产地 ($i = 1, 2, 3$) 到 j 需求地 ($j = 1, 2, 3, 4, 5$) 的运价 c_{ij} 、损耗费用 h_{ij} 及运输量上限 d_{ij} 分别如表 1、表 2 和表 3 所示, 运输量的最小限制取 0。

表 1 运价

产地	需求地/万元·(万 t) ⁻¹					发送量/万 t
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
A ₁	10	20	5	9	10	9
A ₂	2	10	8	30	6	4
A ₃	1	20	7	10	4	8
需求量	3	5	4	6	3	

表 2 运输损耗费用

产地	需求地/万元					发送量/万 t
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
A ₁	2	5	4	5	1	9
A ₂	2	10	3	8	10	4
A ₃	7	10	12	2	10	8
需求量	3	5	4	6	3	

表 3 运输量上限

产地	需求地/万 t					发送量/万 t
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
A ₁	2	3	4	1	1	9
A ₂	2	2	1	3	3	4
A ₃	4	2	0	3	1	8
需求量	3	5	4	6	3	

采用 MatLab 语言编制煤炭运输的蚁群算法优化计算程序, 仿真程序在 CPU1133MHz, RAM256MB 的 PC 机上运行, 仿真计算结果如表 4 所示。

表 4 运输优化结果

产地	需求地/万 t					发送量/万 t
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
A ₁	0	3	4	1	1	9
A ₂	0	0	0	2	2	4
A ₃	3	2	0	3	0	8
需求量	3	5	4	6	3	
minZ = 296 (万元)						

目标函数最优值 296 万元, 即合计总费用 296 万元, 其中煤炭运输价 244 万元, 损耗费用 52 万元。

5 结束语

本文通过采用蚁群算法对含有容量限制和损耗费用的煤炭运输问题进行了求解, 计算结果表明结

论是正确的。

仿真过程还表明, 蚁群算法求解此类问题, 不需要技术人员具有过多、过深的数学知识, 也不论优化对象的数学模型是否具有可导、连续等特点, 都能够正确地进行求解, 因此, 特别适合各行各业

工程上的普及应用。

相信随着蚁群算法等基于生物学原理发展起来的优化计算方法研究的不断深入和发展, 其应用领域也会越来越广泛, 各行业的一些复杂难解的工程实际问题的求解会变得更加容易。

参 考 文 献

- [1] Dorigo M, Bocabeau E, Theraola G. Ant Algorithms and Stigmergy [J]. Future Generation Computer System, 2000, 16: 851—871.
- [2] Maniezzo V, Colomi A. The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem [J]. IEEE Trans on Knowledge and Data Engineering, 1999, 1 (5): 769—778.
- [3] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V, Trbian M. Ant System for Job-shop Scheduling [J]. Belgian Journal Operations Research Statistic Computation Science, 1994, 34: 39—53.
- [4] 张素兵, 刘泽民. 基于蚂蚁算法的分级 QOS 路由调度方法 [J]. 北京邮电大学学报, 2000, 23 (4): 11—15.
- [5] Maniezzo V, Carbonaro A. An Ants Heuristic for the Frequency Assignment Problem [J]. Future Generation Computer System, 2000, 16: 927—935.
- [6] 马 良. 来自昆虫世界的寻优策略—蚂蚁算法 [J]. 自然杂志, 1999, 21 (30): 161—163.
- [7] 魏 平, 熊伟清. 用于一般函数优化的蚁群算法 [J]. 宁波大学学报, 2001, 14 (4): 52—55.
- [8] 李致中, 史 峰, 孙 焰, 等. 铁道运输管理的数学模型及算法 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995.
- [9] 谢 政, 多 磊, 汤泽滢. 带容量限制和手续费用的运输问题 [J]. 系统工程, 1998, 16 (5): 25—30.

Optimization Model of Coal Transportation Based on Ant Colony Algorithm

LI Zhi

(Department of Electric and Information Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan Hubei 430023, China)

Abstract: The main idea of Ant Colony Algorithms is to artificially simulate the process of ants seeking food to find optimal solutions to the transportation problem at hand. Ant Colony Algorithms Model and concrete steps are introduced in the optimization of a mathematical model of coal transportation problems with volume restriction and consideration of loss. Simulation result shows that optimization of coal transportation problems for one iron & steel enterprise conforms to production reality.

Key words: Railway traffic organization; Coal transportation; Ant colony algorithm; Optimization calculation

(责任编辑 刘卫华)