

# 遗传算法在大型露天矿卡车优化调度中的应用

姚再兴<sup>1,3</sup> 刘海娟<sup>2</sup>

( 1 辽宁工程技术大学力学与工程科学系, 辽宁 阜新 123000; 2 辽宁工程技术大学理学院, 辽宁 阜新 123000;

3.中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 卡车调度在采用单斗卡车工艺的露天矿中非常重要。卡车调度可以化为一个受多变量影响的最值问题。提出卡车调度分时段优化的数学模型, 及用遗传算法求解时编码、交叉、适应度计算、最优保存、变异等的新方法和新特点。

关键词: 卡车调度; 遗传算法; 露天矿

中图分类号: TD 824

文献标识码: A

文章编号: 1671 - 9816(2007)03 - 0044 - 04

Application of genetic algorithm of optimization trunk dispatching in large-scale surface mine

YAO Zai-xing<sup>1,3</sup> LIU Hai-juan<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanics and Engineering Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. College of Science, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 3. Mechanics Institute, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: truck dispatching is very important for shovel and truck technology in surface mine. The truck dispatching can be taken as a multivariable optimization problem. The mathematical model of optimization of truck dispatching by time interval is given, the new methods and new characteristics of encoding, chiasma (crossover), calculation of fitness, elitist strategy, mutation and so on are discussed.

Key words: truck dispatching; genetic algorithm; surface mine

## 1 引言

露天矿是一个以采掘为中心, 以运输为纽带的大型生产系统。生产计划指标和任务的完成, 生产过程的组织、实施是通过对采运设备, 尤其是对运输设备的实时调配来完成的。车流调配是否合理, 将直接影响露天矿整个生产系统的生产效率和经济效益<sup>[1]</sup>。车流调配可看作是在一定生产条件下, 以生产效率或经济效益为目标的最值问题<sup>[1]</sup>。

遗传算法<sup>[2]</sup>仿照生物界优胜劣汰的进化规律, 利用计算机的高速运算特点, 成为一种求解最值问题的有效方法。

## 2 露天矿卡车调度系统的数学模型

许多学者对露天矿卡车调度系统的数学模型做

了研究<sup>[3-7]</sup>。本文建立的模型以挖掘机和破碎站工作能力为约束, 一段时间内卡车运费和维护费用总和最小为目标。

假设在露天矿中有  $n$  台挖掘机,  $m$  个破碎站,  $k$  辆卡车, 挖掘机的装货能力和破碎站的卸货能力已知, 现要确定一个运输方案, 以便在完成生产任务的前提下使运费达到最小, 其数学模型描述如下:

$$c = \min \sum_{r=1}^k \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} c_{r1} X_{rij} + \sum_{j=1}^m \sum_{n=1}^n d_{ij} c_{r2} Y_{rij} + T_r c_{r3} \right)$$

约束条件:

$$\sum_{r=1}^k \sum_{i=1}^n c_r X_{rij} \leq A_j$$

$$\sum_{r=1}^k \sum_{i=1}^n c_r X_{rij} \leq B_j$$

式中:  $c$ ——一段时间内所有卡车的费用。

$d_{ij}$ ——从第  $i$  个挖掘机到第  $j$  个破碎站的距离, km;

$c_{r1}$ ——第  $r$  辆卡车的重车运费, 元/km;

$c_{r2}$ ——第  $r$  辆卡车的空车运费, 元/km;

$c_{r3}$ ——第  $r$  辆卡车的维护费, 元/km;

$T_r$ ——第  $r$  辆卡车的运行时间, h;

收稿日期: 2007-03-14

基金支持: 国家自然科学基金项目 (50504009)

国家自然科学基金重点项目 (504334020)

辽宁省科学技术基金 (20022155)

作者简介: 姚再兴 (1974-), 男, 内蒙古四子王旗人, 辽宁工程技术大学讲师, 中国科学院力学研究所博士生。学习与研究方向: 露天采矿、工程力学、岩土工程。

$X_{rj}$ ——第  $r$  辆卡车从第  $i$  个挖掘机到第  $j$  个破碎站的次数;

$y_{rj}$ ——第  $r$  辆卡车从第  $j$  个破碎站到第  $i$  个挖掘机的次数;

$A_j$ ——第  $j$  个破碎站的一段时间的卸货能力;

$B_i$ ——第  $i$  个挖掘机的一段时间的装货能力;

$C_r$ ——第  $r$  辆卡车的容量。

### 3 算法描述

用遗传算法求卡车调度方案具有遗传算法的一般特点,如遗传、变异、优胜劣汰等。卡车调度的个性也使求解它的遗传算法具有鲜明的特点。本节各部分介绍遗传算法在求解该问题的特点。关于遗传算法的共性(如复制)有诸多文献<sup>[8,9]</sup>介绍,这里不再赘述。

#### 3.1 编码(染色体确定)

破碎站用小写字母表示;挖掘机用大写字母表示。某台卡车的运行路线用它所到的破碎站和挖掘机的字母连成串表示。这样的字符串是大小写相间的,可称为一条运输线路也可称为子染色体。例如,设有  $a, b, c$  3 个破碎站,有  $A, B, C, D$  4 台挖掘机。某台卡车在破碎站  $a$  卸货后,在挖掘机  $B$  装货,再到破碎站  $c$  卸货可用字符串  $aBc$  表示。在一定时间内,所有卡车的运输路线是这段时间内的一个运输方案,称为 1 条染色体。由此 1 条染色体可用类似于字符矩阵的字符集合表示。矩阵的行数是卡车的数量,每一行表示一辆卡车的路线,各行的字符个数一

般不同。

aBcAbAaD
BaCbAa
DbCa

表示在一段时间内露天矿里 3

台卡车的 1 个运输方案(即 1 条染色体)。

染色体要成为 1 个技术可行的运输方案必须满足的技术可行性条件是:

对整个方案而言,总是在 1 个时间段内执行的。在这个时间段内,各生产要素相对稳定。根据生产实际,这个时间段可以是 1 个工作日、1 班或 1 小时。

从破碎站开出的卡车可以开往任何一台挖掘机,除非所到的挖掘机在本时间段不能给该卡车装车。

从挖掘机开出的卡车可以开往任何一台破碎站,除非所到的破碎站在本时间段没有多余的受货能力。

染色体的每一行都是对就卡车在本时间段能够完成的运输任务。

#### 3.2 初始群体的产生

初始群体是遗传算法能够进行的基础。当 1 条

卡车运输线路确定后,其它卡车采用同样的运输线路,这样就得到 1 条染色体。虽然第一辆卡车的运输线路在技术上也许并不适合其它卡车,但在适应度要求下通过多代的变异、突变,仍改变染色体局部不良性状。将该条染色体复制多次得到初始群体。

产生初始群体的关键是产生 1 辆卡车的运输线路,这条线路可在满足染色体技术可行性 4 个条件的前提下随机产生。产生卡车 1 条运输路线的框图如下:

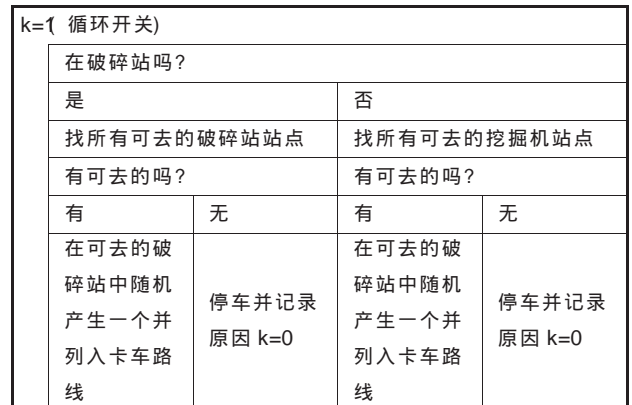


图 1 产生卡车 1 条运输路线的框图

#### 3.3 适应度的计算

目标函数追求的是运费最少,所以取运费的负数作为适应度。实际问题中,卡车运送的货物越少其运费越低,则它的适应度就会越高。而这与实际不符,为了避免这种情况的出现,在计算适应度之前引入惩罚函数  $\rho(X_j)$  取为该种运输方案完成率的 4 次幂,从而第  $j$  种方案  $X_j$  的计算费用为

$$C(X_j) = \text{cost}(X_j) / \rho(X_j), \text{ 其中 } \text{cost}(X_j) \text{ 为该种方案的实际运输费用。适应度是 } -\text{cost}(X_j) / \rho(X_j)。$$

#### 3.4 最优保存策略

在遗传算法的运行过程中,通过对个体进行交换、变异等遗传操作而不断地产生新个体。虽然随着群体的进化过程会产生越来越多的优良个体,但由于复制、交换、变异等操作的随机性,它们有可能破坏掉当前群体中适应度最好的个体,因此会降低群体的平均适应度,并且对遗传算法的运行效率、收敛性都有不利的影响。

使用最优保存策略可解决这一问题。当前群体中适应度最高的个体不参与交换和变异运算,而是用它来替换掉本代群体中经过交换、变异等遗传操作后所产生的适应度最低的个体。

#### 3.5 交换算子

采取单点交换,将群体中各条染色体进行配对,其中奇数条染色体与下一个与其相邻的偶数条染色

体进行配对。

设种群的交换概率为  $P_c$ , 其中  $P_c \in (0, 1)$ 。当种群规模  $N$  为偶数时, 产生  $N/2$  个  $(0, 1)$  之间均匀分布的随机数  $(i=1, 2, \dots, N/2)$ ; 当种群规模为奇数时, 产生  $(N-1)/2$  个  $(0, 1)$  之间均匀分布的随机数  $i (i=1, 2, \dots, (N-1)/2)$ 。当  $i < P_c$  ( $P_c$  交换概率) 时, 则将与之对应的第  $2i-1$  条染色体和第  $2i$  条染色体对进行交换, 交换的规则是:

(1) 两条染色体的对应行之间进行交换。

例如: 假设第一个随机数  $i_1 < P_c$ , 即第一条染色体与第二条染色体被选中进行交换, 其中假设

$$X_1 = \begin{bmatrix} aBcAbAaD \\ BaCbAa \\ DbCaA \\ cCaBbAa \\ AaBbCaDc \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} aAbDaBc \\ BaDcBbAc \\ DcDaA \\ cAbCdB \\ AbDcC \end{bmatrix}$$

那么  $X_1$  的第  $i$  行分别与  $X_2$  的第  $i$  行这两个子染色体进行交换  $(i=1, 2, \dots, 5)$ 。

(2) 设两条染色体第  $i$  个子染色体的长度最小值为  $k_i$ , 在  $2$  与  $k_i$  之间任取一个整数  $m_i$ , 并将两个子染色体  $m_i$  后面的部分染色体进行交换。

例如: 取  $X_1$  与  $X_2$  的第五行

$$X_1(5, :) \neq AaBbCaDc$$

$$X_2(5, :) \neq AbDcC$$

显然两个子染色体长度的最小值是  $5$ , 从而在  $2$  与  $5$  之间随机产生一个整数  $m$ , 假设  $m=3$ , 则从第三位以后将两行进行交换得:

$$X_1(5, :) \neq AaDcC$$

$$X_2(5, :) \neq AaBbCaDc$$

依此, 假设  $m_1=3, m_2=2, m_3=4, m_4=3, m_5=2$ , 则  $X_1$  与  $X_2$  交换后产生的两个新染色体为

$$X_1 = \begin{bmatrix} aBbDaBc \\ BaDcBbAc \\ DbCaA \\ cCbCdB \\ AbDcC \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} aAcAbAaD \\ BaCbAa \\ DcDaA \\ cAaBbAa \\ AaBbCaDc \end{bmatrix}$$

### 3.6 变异算子

设种群规模为  $N$ , 则随机产生  $N$  个  $(0, 1)$  之间均匀分布的随机数  $(i=1, 2, \dots, N)$ 。当  $i$  小于变异概率  $P_m$  时, 对第  $i$  条染色体实施变异操作, 其操作规则如下:

(1) 染色体中的每行 (即每辆卡车的路线) 都进行变异。

(2) 在卡车路线中随机选取一个位置, 若对应的为破碎站名, 则在破碎站名向量中任取一个字母来代替它。若对应的为挖掘机名, 则在挖掘机名向量中任取一个字母来代替它。变换运算见图 2。

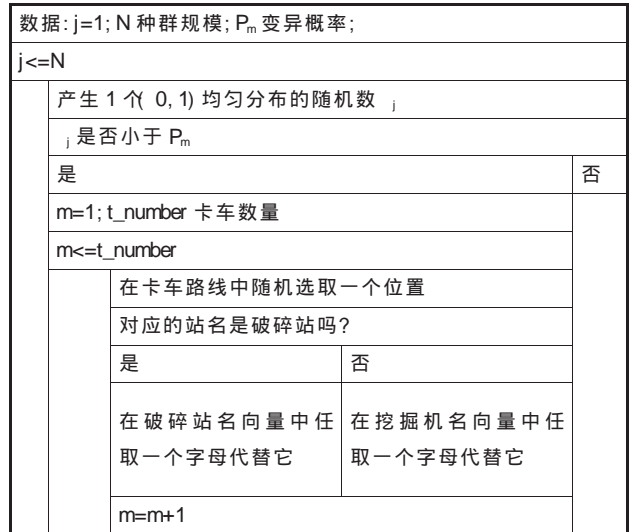


图 2 变异运算的框图

### 3.7 修复

鉴于问题的实际情况, 经过遗传操作产生的新群体中, 有些染色体可能不是可行解。所以在尽可能保留遗传结果的前提下, 有必要对不可行解进行修复, 使之满足要求成为可行解。对群体的修复可看作是对某一卡车线路修复的重复, 因此, 修复的关键是对子染色体的修复。

对子染色体进行修复的框图见图 3。

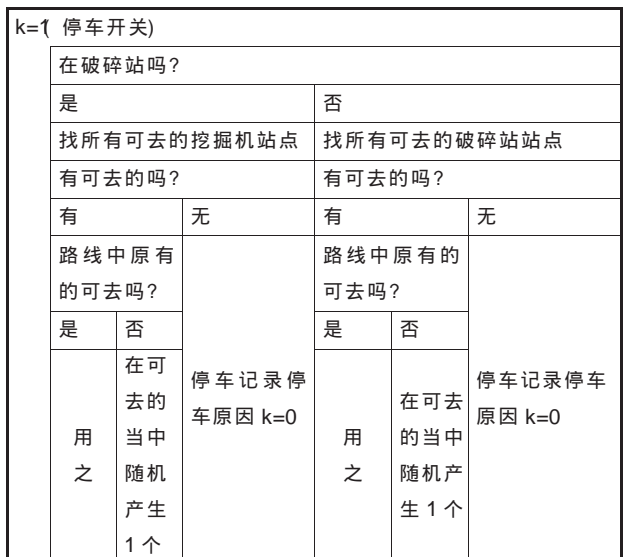


图 3 对子染色体修复的框图

### 4 结语

在用单斗卡车工艺采矿中, 卡车调度可化为受多变量影响的最值问题。本文提出卡车调度分时段

优化的数学模型在一段时间内是一个静态方案,然而依靠计算机的高速运算,每一方案都必须可依据实时数据即时给出,因此可以实现实时调度。

遗传算法提供了求解最值问题的通用思想。在求解卡车调度问题时,遗传算法的编码、交叉、适应度计算、最优保存、变异等都有显著的新的特点。应用遗传算法需要具体问题具体分析。

生产中的不确定因素使卡车调度方法必须具有灵活性和实时性。文章《一种露天矿卡车实时调度算法》(待发表)中的优化方法就是本文提出的确定卡车调度方案的遗传算法。

参考文献:

[1] 刘海娟. 大型露天矿卡车实时调度系统的遗传算法研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2003.  
[2] Holland J.H. Outline for a logical theory of adaptive systems

[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1962, (3): 297-314.  
[3] 赵勇, 张莹. 基于流率饱和度的露天矿卡车实时调度模型 [J]. 矿冶, 2004, 13(2): 71-74.  
[4] 宋子岭. 露天矿卡车调度模糊决策系统模型 [J]. 煤炭学报, 2004, 29(B10): 16-19.  
[5] 邱为. 大型露天矿计算机卡车调度系统的模拟 [J]. 露天采煤技术, 2002, (2): 13-16.  
[6] 胡群, 张阳, 沈当阳, 等. 露天矿无线通讯卡车调度系统 [J]. 露天采煤技术, 2002, (1): 3-6.  
[7] 孔庆山, 李国, 杨宏贤. 露天矿卡车调度系统数学模型的建立 [J]. 中国矿业, 1997, (6 29): 80-83.  
[8] 郭嗣宗, 陈刚. 信息科学中的软计算方法 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2001.  
[9] 陈国良, 王煦法, 庄镇泉, 等. 遗传算法及其应用 [M]. 3版, 北京: 人民邮电出版社, 2001.

(上接第43页)

加密、梁柱节点和主次梁交接节点处均做特殊处理。相关加固施工工艺按 CECS25 90 标准要求施工, 具体作法见加固示意图(图3、图4)。

5.2 施工中应注意的问题

- (1) 粘贴钢板前必须将混凝土基层清理干净, 剔除松动部分, 再用丙酮清洗;
- (2) 钢板粘贴面必须打磨和粗糙处理, 直至出现金属光泽, 并用砂轮打磨处纹道;
- (3) 钢板粘贴好后, 立即用锚栓进行加压, 以使胶液从钢板边缝挤出为宜;

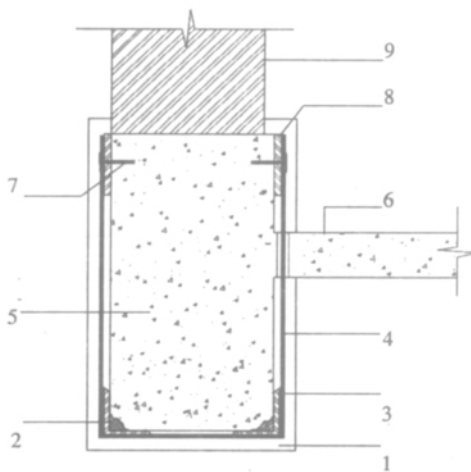


图3 加固方法示意图

(4) 所有的粘钢工作必须在箍筋与钢板焊接完成并经相关人员验收合格后方可进行;

(5) 箍筋穿板后留下的孔隙用 CGM 水泥基灌料进行封闭。

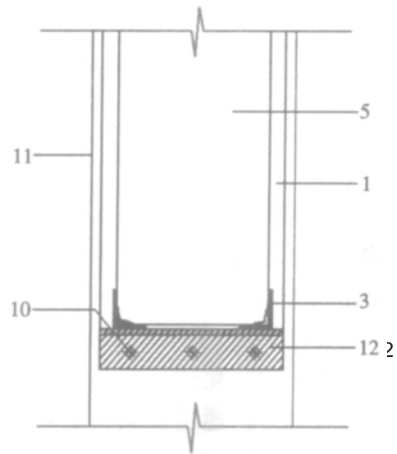


图4 梁柱连接节点加固示意图

图中: 1- 高强砂浆保护层; 2- 角部用 CGM 灌料填实; 3- L75 x 6 角钢; 4- 箍筋  $\phi 10@150/200$ ; 5- 纵向框架梁; 6- 廊道底板; 7- 锚栓  $\phi 10@500$ ; 8- 100 mm x 6 mm 钢板; 9- 围护墙体; 10-  $\phi 20$  锚栓, 植筋方式锚固; 11- 框架柱; 12- L100 x 6 角钢;

6 加固处理后的预期效果

加固处理后, 101 输煤栈桥建筑各子项、项目(或组合项目)达到 A 级或 B 级, 各评定单元达到一级或二级, 消除了安全隐患, 保证布沼坝露天矿的正常生产, 为小龙潭电厂提供稳定的煤源, 保障滇南电网的平稳运行。