

# 舰船补给物料搬运顺序优化问题的改进遗传算法<sup>①</sup>

段 芳<sup>1</sup>, 余培兵<sup>2</sup>, 朱卫锋<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(华中科技大学 自动化学院, 武汉 430074)

<sup>2</sup>(中国舰船研究设计中心, 武汉 430064)

<sup>3</sup>(金华职业技术学院 经济管理学院, 金华 321000)

**摘 要:** 现有的多搬运工具可并行条件下的物料搬运顺序优化模型, 其采用的标准遗传算法收敛速度慢且易陷入局部最优. 提出了该模型的改进遗传算法, 采用精英保留策略代替传统的轮盘选择方法, 使用自适应策略设计交叉算子和变异算子. 以某一具体的舰船补给物料搬运顺序优化问题为背景, 通过实例进行了计算. 结果表明, 改进遗传算法收敛速度大大提高, 具有较高的求解质量和效率.

**关键词:** 物料搬运顺序优化; 遗传算法; 改进遗传算法; 舰船补给

## Improved Genetic Algorithm of Material Handling Sequence Optimization Problem for Ship Material Supply

DUAN Fang<sup>1</sup>, YU Pei-Bing<sup>2</sup>, ZHU Wei-Feng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(School of Automation, HUST, Wuhan 430074, China)

<sup>2</sup>(China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

<sup>3</sup>(School of Economics and Management, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321000, China)

**Abstract:** The standard genetic algorithm was used to solve the existing optimization model of material handling sequence problem under the parallel process with multi handling tools. It had slow convergence speed and being easily trapped in local optimal. The improved genetic algorithm of the model is proposed in this paper, where elitism strategy instead of traditional roulette wheel selection method is adopted and the adaptive strategy is applied to design cross operator and mutation operator. As an example, a specific material handling sequence optimization problem is solved by the improved genetic algorithm. The results show that the improved genetic algorithm has faster convergence speed and better solution than the standard genetic algorithm.

**Key words:** material handling sequence optimization; genetic algorithm; improved genetic algorithm; ship supply

## 1 引言

随着国力的日渐强盛, 建造能长时间在海上航行以完成远海执法任务的大型船舶的需求越来越多, 该类船舶要求有较强的机动性和续航能力, 物料补给是影响其机动性和续航能力的重要因素. 舰船补给是指舰船出航前执行的物料补给任务, 包括油料、食品等. 舰船补给物料搬运顺序优化问题, 主要是求解物料的搬运顺序, 使得总体搬运时间最短. 舰船补给物料搬运顺序优化问题, 由于其特殊性, 目前研究较少, 此问题与 Job Shop 调度问题非常相似, 也属于 NP-hard 问题, 设计求解此问题的有效算法也是船舶优化领域

的重要课题. NP-hard 问题常用的求解方法有模拟退火算法、蚁群算法、遗传算法等.

遗传算法(GA)是一种通用的优化算法, 其编码技术和遗传操作比较简单, 优化不受限制性条件的约束, 且具有隐含并行性和全局解空间搜索等特点. 国内外学者对遗传算法的应用进行了大量的研究, 但应用 GA 求解实际的舰船补给物料搬运顺序优化问题很少, 胡陈<sup>[1]</sup>提出了一种多搬运工具可并行条件下的物料搬运顺序优化模型, 设计了遗传算法, 并将其模型和算法应用于具体的船舶补给案例. 但其所用的是标准的遗传算法, 对参数的选取有很强的依赖性, 算法收敛速

<sup>①</sup> 收稿时间:2015-01-04;收到修改稿时间:2015-03-09

度慢且容易使结果陷入局部最优. 针对遗传算法对参数选取的依赖、收敛速度慢且易陷入局部最优的问题, 有很多学者做过研究. 陶丽华、许之强<sup>[2]</sup>在解决 Job Shop 问题时, 采用自适应策略设计交叉算子和变异算子, 并将极值优化算法作为一种新的变异算子对标准遗传算法进行了改进. 陈长征、王楠<sup>[3]</sup>在指出了传统遗传算法中交叉和变异概率的选择具有盲目性的基础上, 提出了遗传算法中交叉和变异概率的改进措施, 结果表明改进算法克服了传统遗传算法难以解决的早熟和局部收敛的问题. 朱金钧等<sup>[4]</sup>也给出了有关自适应交叉率的基本思想: 为防止优良基因结构遭到破坏, 须使适应度大的解有较小的交叉概率和变异概率, 使适应度小的解有较大的交叉概率和变异概率.

本文引用多搬运工具可并行条件下的物料搬运顺序优化模型, 对遗传算法进行改进, 运用精英保留策略代替传统的轮盘选择方法, 使用自适应策略设计交叉算子和变异算子, 并通过具体案例, 验证改进遗传算法的性能.

## 2 舰船补给物料搬运顺序优化模型

### 2.1 问题描述

舰船补给属于物料搬运系统的范畴, 物料搬运系统<sup>[5]</sup>是物流系统的构成要素, 是指将一系列相关的设备或装置用于一个过程或系统中, 协调合理地将物料进行移动、储存和控制, 降低搬运时间和费用是该类系统设计和主要目标. 而舰船补给物料搬运系统有以下特征:

- 1) 舰船上的搬运空间通常较为狭小;
- 2) 补给物料储存在不同的舱室, 物料搬运时的调度及顺序非常重要;
- 3) 要求在规定的或最短的时间内完成补给任务.

舰船补给物料搬运顺序优化问题可抽象成搬运网络进行描述, 节点代表物料的转运点或存储点, 连线代表物料经过的路径, 每种物料经过多个节点后到达存储点, 要求确定物料的搬运顺序, 使总体搬运时间最短, 假设条件如下:

- 1) 每种物料的搬运路线均已确定, 必须按照既定路线依次在指定节点上搬运;
- 2) 对于某一节点上同时有多种物料等待搬运时, 采取先到先服务的策略;
- 3) 在节点上, 某种物料一旦开始运输, 便不可中

断, 必须等到此物料搬运完成后, 才能在该节点上搬运下一种物料;

- 4) 允许物料之间存在固定的搬运先后顺序.

### 2.2 模型建立

整体建模思想是, 求取所有节点上所有运输工具的最后完成时刻, 数学模型构建如下<sup>[1]</sup>:

#### 1) 参数说明

$N$ : 物料种类总量

$K$ : 网络节点总数

$i$ : 物料编号,  $i=1,2,3,\dots,N$

$k$ : 网络节点编号,  $k=1,2,3,\dots,K$

$TQ_i$ : 第  $i$  种物料的补给量

$TS_k$ : 在  $k$  节点上的搬运工具的数量

$toolQ_{kj}$ : 在  $k$  节点上第  $j$  种搬运工具的搬运能力

$T_{ke}$ : 从节点  $k$  到节点  $e$  的单个搬运时间

$S_{ik}$ : 第  $i$  种物料在节点  $k$  上开始搬运的时间

$E_{ik}$ : 第  $i$  种物料在节点  $k$  上完成搬运的时间

$TQmix_{ijk}$ : 在  $k$  节点上, 物料  $i$  和  $j$  并行搬运时物料  $j$  的量

$TQM_{ik}$ : 在  $k$  节点上, 第  $i$  种物料作为整体搬运时的量

$tools_{ikt}$ : 物料  $i$  在节点  $k$  处使用搬运工具  $t$  的开始时刻

$toolE_{ikt}$ : 物料  $i$  在节点  $k$  处使用搬运工具  $t$  的结束时刻

$toolEmix_{ikt}$ : 在  $k$  节点上, 并行到此节点上的物料  $i$  在此节点上的结束时刻

$MP_k$ : 所有物料在节点  $k$  上的搬运结束时刻

$TC$ : 所有物料的搬运结束时刻

$M_{ek}$ : 节点  $e$ ,  $k$  之间的连通性, 其中有

$$M_{ek} = \begin{cases} 1, & \text{连通} \\ 0, & \text{不连通} \end{cases}$$

$R_{ij}$ : 物料  $i$ ,  $j$  之间的互斥性, 其中有

$$R_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{物料 } i, j \text{ 可并行} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$X_{ik}$ : 物料  $i$  能否到达节点  $k$ , 并在  $k$  上暂存

$$X_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{物料 } i \text{ 可以到达节点 } k \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$O_{ij}$ : 物料  $i$  与  $j$  的顺序关系,

$$O_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{物料的总搬运顺序优于物料 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

其中,  $i, k, N, K, M_{ek}, TQ_i, TS_k, toolQ_{kj}, T_{ke}, R_{ij}, X_{ik}$  为输入变量,  $S_{ik}, E_{ik}, TQmix_{ijk}, TQM_{ik}$ ,

$toolS_{ikt}$ ,  $toolE_{ikt}$ ,  $toolEmix_{ikt}$ ,  $MP_k$ ,  $TC$  为输出变量,  $O_{ij}$  为决策变量.

2) 目标函数

整体优化目标是所有物料运输总时间最小<sup>[1]</sup>:

$$Min(TC) = Max_{k=1,2,3,\dots,K} MP_k$$

其中的等式关系为:

$$MP_k = Max_{i=1,2,3,\dots,N} E_{ik}$$

$$E_{ik} = Max_{t=1,2,\dots,TS_k} \{toolE_{ikt}, toolEmix_{ikt}\}$$

$$TQM_{ik} = TQ_i - \sum_{j=1}^k TQmix_{jik}$$

$$S_{ik} = Min_{j=1,2,\dots,i-1}^{t=1,2,\dots,TS_k} toolE_{jkt}$$

$$E_{ik} = Max_{j=1,2,\dots,i}^{t=1,2,\dots,TS_k} toolE_{jkt}$$

$$toolS_{ikt} = Max\{Max_{j=1}^{i-1}(toolE_{jkt}), Max_{j=i+1}^N(toolEmix_{jkt})\}$$

$$toolE_{ikt} = toolS_{ikt} + \lambda * T_{ke}$$

3) 约束条件

当  $X_{ik} = X_{jk} = 1$  且  $O_{ij} = 1$  时,  $S_{ik} > S_{jk}$ ,  $S_{jk} \leq E_{ik}$

对于任意  $j$ , 都有  $TQmix_{ijk} \leq TQ_j$

### 3 改进遗传算法设计

文献[1]采用标准遗传算法对该模型进行求解, 标准遗传算法对参数要求高, 收敛速度慢且易陷入局部最优, 下面则对标准遗传算法进行改进, 采用精英保留策略、自适应策略设计交叉算子和变异算子.

#### 3.1 染色体编码

有效性以及对问题解空间表征的完全性. 本文针对的是舰船补给物料搬运顺序优化问题, 构建的数学模型中的决策变量  $O_{ij}$  无法直接转换成基因空间中的个体. 通过分析可知, 由任意一组有效的决策变量  $O_{ij}$ , 可得到整体的物料搬运顺序, 同样, 任意的物料搬运顺序对应着唯一的决策变量  $O_{ij}$ . 所以, 本文采取对物料搬运顺序进行编码的方式, 每个染色体是由多个基因组成的有序集, 每个基因代表物料编号, 在染色体编码中的出现位置决定其所对应物料的搬运顺序, 以 10 种物料为例, 染色体[4,8,7,2,3,0,1,9,5,6]表示补给物料有 10 种(下标以 0 开始), 从左至右, 第一个基因是 4, 表示第一个搬运的是编号为 4 的物料, 第二个搬运的是编号为 8 的物料, 依次类推. 若在补给中存在有序物料集(2,3), 即表示 2 物料在 3 物料之前运输, 且须紧邻, 则编码中须把 2 基因和 3 基因按顺序且紧邻放置, 则[4,8,2,7,3,0,1,9,5,6]和[4,8,7,1,3,0,2,9,5,6]都是非

法染色体.

#### 3.2 染色体解码

解码问题是“基因型”到“表现型”的转换, 也就是将染色体解转化为所求问题的解<sup>[6]</sup>. 以上述 10 种物料规模为例, 从染色体的第一位基因开始, 根据已知条件, 依次计算每种物料在每个节点上的开始时刻和结束时刻. 具体方法如下:

1) 从染色体的第一位基因开始, 得到第一个搬运的物料编号为 4, 则查找 4 物料的质量(对物料进行标准化包装)、对应的路线、经过的节点、节点上搬运工具的数量及容量. 从而可求得第一个搬运的物料在各节点上的开始时刻与结束时刻;

2) 读取染色体的第二位基因, 得到第二个搬运的物料编号为 8, 则同样查找 8 物料对应的各种属性. 由于其不是第一个运输的物料, 则当其到达节点时, 需要判断此节点上是否有其它物料正在搬运, 若有则需等待, 且在公共节点上按照先到先服务的策略; 还需要判断物料之间的互斥性, 若互斥, 则物料不可并行. 考虑这些约束条件, 可求得第二个搬运的物料在各节点上的开始时刻与结束时刻; 依此类推, 直到求得最后一个搬运的物料在各节点的开始时刻与结束时刻;

3) 通过上述两个步骤, 可求得此种搬运方案中, 每种物料在各节点的开始时刻与结束时刻, 结束时刻的最大值即为此种搬运方案的总体搬运时间.

为了简便, 下面以 3 种物料、5 个节点为例, 给出解码结果, 其搬运网络如图 1 所示, 节点信息如表 1 所示, 物料信息如表 2 所示.

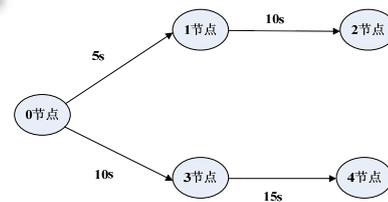


图 1 3 种物料的搬运网络

图中标明了节点编号以及线路上搬运工具的单次搬运时间.

表 1 节点信息表

节点编号	搬运工具数量(个)	单个搬运工具容量(包)
0	1	50
1	1	50
3	1	50

表 2 物料信息表

物料编号	物料名称	物料路径	物料质量(包)
0	粮食	0-3-4	50
1	蔬菜 1	0-1-2	30
2	蔬菜 2	0-1-2	70

其中, 蔬菜 1 和蔬菜 2 可并行, 蔬菜 1 必须在蔬菜 2 之前运输, 且须紧邻. 则若染色体 1 为[0,1,2], 经过上述解码步骤, 可得每种物料在各个节点上的搬运开始时刻与结束时刻(单位为: S), 如表 3 所示.

表 3 染色体 1 解码结果

物料编号	起始节点		中间节点			终点
	开始时刻	结束时刻	到达时刻	开始时刻	结束时刻	结束时刻
0	0	10	10	10	25	25
1	20	25	25	25	35	35
2	30	35	35	45	55	55

由上表可知, 最大的结束时刻为 55S, 则可知 [0,1,2]经过解码可得其搬运方案的总体搬运时间为 55S.

说明: 在表 3 中, 对于 0 物料即粮食, 其中间节点为 3 节点, 而对于蔬菜 1 和蔬菜 2, 其中间节点为 2 节点. 结束时刻并没有包括搬运工具返回到此线路的初始节点, 如 2 物料到达中间节点(1 节点)的时刻为 35S, 但由于 1 节点上只有 1 个搬运工具, 且此搬运工具在 35S 时才到达 2 节点, 45S 才返回 1 节点, 所以 2 物料在 1 节点上的开始时刻为 45S.

而对于染色体 2[1,2,0], 其解码结果如表 4 所示.

表 4 染色体 2 解码结果

物料编号	起始节点		中间节点			终点
	开始时刻	结束时刻	到达时刻	开始时刻	结束时刻	结束时刻
1	0	5	5	5	15	15
2	10	15	15	25	35	35
0	20	30	30	30	45	45

由表 4 可知, [1,2,0]经过解码可得其搬运方案的总体搬运时间为 45S.

### 3.3 适应度函数

在遗传算法中, 适应值体现个体生存环境中的适应程度, 适应程度高的个体将获得更多的产生后代的机会. 适应值  $f$  可从目标值转化而来, 在本文中, 目标值( $TC$ )是搬运方案的总体搬运时间, 目标值越小, 表明搬运时间越短, 则方案越好. 而遗传算法是努力

将基因的适应度函数最大化<sup>[7]</sup>, 因此将适值函数设定为  $f = T_{all} - TC$ , 其中  $T_{all}$  为所有物料单独串行搬运时的时间和, 从而可保证  $f > 0$ , 且  $f$  值越大, 说明  $TC$  越小, 其对应的搬运方案的适应度越高.

### 3.4 精英保留策略

从群体中选择优胜的个体、淘汰劣质个体的操作叫选择, 个体适应度越大, 其被选择的概率就越高、反之亦然. 传统的遗传算法一般是通过轮盘赌的方式进行选择, 在舰船补给物料搬运顺序优化问题中, 选择的方式比较简单, 总体搬运时间较小的个体选中的概率较高, 然而由于遗传算子操作的随机性可能造成最优个体的丢失, 导致收敛周期较长的问题<sup>[8,9]</sup>, 因此本文拟采用精英保留策略. 选择到目前为止适应度最高的个体, 进入下一代, 这样最优个体能一直繁殖下去; 然后用轮盘赌选择方法选择  $p-1$  个不同个体进入下一代, 其中  $p$  为种群大小. 这样父代中的个体具有同等的选择机会, 既能保证最优个体保留到下一代和淘汰最劣个体, 又能保证子代的多样性.

### 3.5 自适应交叉算子的设计

交叉操作: 交叉运算是遗传算法中组合出新个体的主要方法, 通常有映射交叉、次序交叉、循环交叉、基于位置的交叉等方法. 在舰船补给物料搬运顺序优化问题中, 由于物料之间部分内部有序, 为了避免在随机交叉的过程中, 打破规定的物料搬运顺序, 这里采用特殊的循环交叉方式<sup>[1]</sup>. 为了阐述交叉过程, 这里以 10 种物料模型为例, (2,3)为有序物料集(物料 2 在物料 3 之前搬运, 且紧邻), 两个合法父代分别为 [4,8,7,2,3,0,1,9,5,6]和 [2,3,7,4,6,5,9,0,1,8]. 若产生的随机数作为交叉点的位置, 很有可能会把 2, 3 两种紧邻有序的物料分开, 从而产生非法染色体, 所以这里将产生的随机数作为此次操作中位置不变的基因编号, 如产生的随机数为 1 和 2, 代表父代中 1 基因和 2 基因所处位置不变, 由于基因 2 与基因 3 有序且紧邻, 则基因 3 所处位置也不变, 其余基因进行循环交叉. 同样, 若产生的随机数为 1 和 3, 则由于基因 2 与基因 3 有序且紧邻, 则父代中基因 1、基因 2、基因 3 所处的位置不变, 其余基因进行循环交叉, 其交叉操作如图 2 所示.

交叉概率控制着交换操作被使用的频度, 较高的交叉率可以达到更大的解空间, 从而降低停在非最优解上的机会, 但是交叉率太高, 会导致搜索不必要的

解空间而耗费大量的计算时间<sup>[4]</sup>。为了能尽量地保留较优个体, 尽快淘汰较差个体, 这里采用自适应交叉概率进行种群的交叉运算, 即当两个父代个体适应度的平均值低于种群平均适应度值时, 需要提高交叉概率, 以便能尽快产生新的个体, 淘汰较差的个体; 当两个父代个体适应度的平均值高于种群平均适应度值时, 需要降低交叉概率, 尽量保留较优个体. 自适应交叉概率<sup>[2]</sup>为:

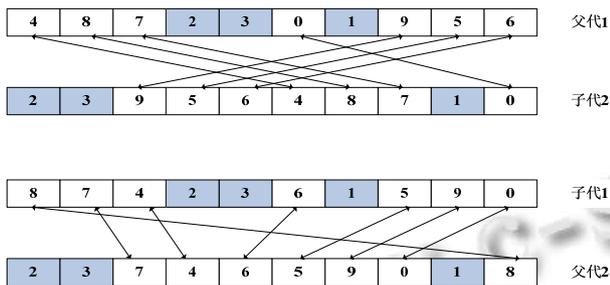


图 2 特殊的循环交叉操作

$$P_c = \begin{cases} P_{c\_max} - \frac{(P_{c\_max} - P_{c\_min})(f' - f_{avg})}{(f_{max} - f_{avg})}, & f' > f_{avg} \\ P_{c\_max}, & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

式中:  $P_c$  为自适应交叉概率;  $P_{c\_max}$  为最大交叉概率,  $P_{c\_min}$  为最小交叉概率.  $f_{max}$  为种群最优解适应值.  $f_{avg}$  为种群平均适应值,  $f'$  为两个父染色体适应值的平均值.

### 3.6 自适应变异算子的设计

变异操作: 变异在遗传操作中属于辅助性的搜索操作, 主要目的是维持群体的多样性. 在舰船补给物料搬运顺序优化问题中, 由于物料之间部分内部有序, 普通的变异方式会导致非法染色体的产生, 这里采用特殊的变异方式<sup>[1]</sup>. 随机产生两个变异点, 若产生的变异点所处的基因属于有序物料集, 则此变异点自动跳转到此有序物料集的首位物料编号所处的位置, 然后再进行两点变异. 其中有序物料集里的物料会一起变异到另外位置, 以染色体[2,3,7,4,6,5,9,0,1,8]为例, (2,3)为有序物料集(物料 2 在物料 3 之前搬运, 且须紧邻), 若产生的变异点为 1 和 6(下标以 0 开始), 变异点 1 所处的基因为 3, 变异点 6 所处的基因为 9, 由于基因 3 属于有序物料集, 且有序物料集的首位物料编号为 2, 而基因 2 所处的位置为 0, 则自动将变异点更改为 0 和 6, 其变异操作如图 3 所示:

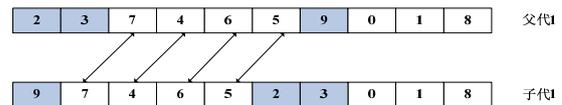


图 3 变异操作

由于变异的方向是随机的, 并不会朝着使适应度大的方向去变异, 为了使变异得到性能较好的子代, 在进行变异时, 会对个体进行多次变异, 得到一个变异集, 从变异集中选出最佳个体作为新生子代, 加入到新种群中, 这样保证能得到较好的子代.

变异概率控制了新基因导入群体的比例, 若太低, 一些有用的基因就不能进入选择; 若太高, 则随机的变化太多, 则后代就可能失去从双亲继承下来的优良特性. 为了能尽量地保留较优的个体, 尽快淘汰较差的个体, 变异操作采用自适应变异策略来改善进化性能, 自适应变异概率<sup>[2]</sup>为:

$$P_m = \begin{cases} P_{m\_max} - \frac{(P_{m\_max} - P_{m\_min})(f' - f_{avg})}{(f_{max} - f_{avg})}, & f' > f_{avg} \\ P_{m\_max}, & f' \leq f_{avg} \end{cases}$$

式中:  $P_m$  为自适应变异概率,  $P_{m\_max}$  为最大变异概率,  $P_{m\_min}$  为最小变异概率.  $f_{max}$  为种群最优解适应值.  $f_{avg}$  为种群平均适应值,  $f'$  为父染色体适应值.

### 4 改进遗传算法的性能测试

选取如下三个典型函数, 利用传统遗传算法(GA)和本文改进遗传算法(IGA)对这三个函数分别进行编码求解, 并对结果进行比较分析:

$$\max f_1 = \exp(-0.001x) \cos^2(0.8x) \quad x \in [0, 100]$$

$$\max f_2 = 4 - (x^2 + 2y^2 - 0.3 \cos(3\pi x) - 0.4 \cos(4\pi y)) \quad (x, y) \in [-1, 1]$$

$$\max f_3 = 0.5 - \frac{\sin^2(\sqrt{x^2 + y^2}) - 0.5}{[1 + 0.001(x^2 + y^2)]^2} \quad (x, y) \in [-100, 100]$$

初始种群数为 300, 最大迭代次数为 500, 交叉概率为 0.8, 变异概率为 0.1, 表 5 给出了 GA 和 IGA 分别对各函数求解 100 次的统计结果. 由表 5 可知, 对于三个函数, IGA 的优化值明显高于 GA; 且对于  $f_1$  和  $f_2$  而言, 收敛速度优于 GA; 对于  $f_3$  而言, 复杂度较高, IGA 会不断地寻求最优解, 可能导致其收敛速度慢于 GA.

表 5 算法比较

函数	最大值	算法	优化值的 平均值	开始收敛的代数
$f_1$	1.0	GA	0.938	21

	IGA	1.0	1
$f_2$	4.7	GA	3.903
		IGA	4.699
$f_3$	1.0	GA	0.547
		IGA	0.997
			84

由于变异的方向是随机的, IGA 会涉及到对个体进行多次变异, 下面则对变异的次数以及多次变异所增加的复杂度的综合性价比进行分析, 以  $f_3$  为例, 其最大值为 1.0, 假设  $|1-f| < 0.001$  时  $f$  为满意解, 其中  $f$  是优化算法所得的优化值, 利用 IGA 在不同的变异次数下对  $f_3$  分别求解 100 次, 统计结果如表 6 所示:

表 6 变异次数性价比分析

变异次数	优化值的最大值	优化值的平均值	优化值方差	满意解次数	运行时间
1	0.999	0.993	0.022	62	0.709
10	0.999	0.996	0.017	73	0.99
20	0.999	0.996	0.010	84	2.655
30	0.999	0.997	0.017	92	4.134
40	0.999	0.997	0.012	90	5.324
50	0.999	0.997	0.009	91	6.191

由表 6 可知, 当变异次数从 1 增加到 30 时, 优化值的平均值和满意解的次数不断增加; 当变异次数从 30 增加到 50, 优化值的平均值和满意解的次数基本保持不变, 而运行时间不断增加, 由此可知, 考虑到算法的性能和复杂度, 本文所提的改进遗传算法最佳的变异次数为 30.

### 5 实验结果与分析

为了验证本文所述求解舰船补给物料搬运顺序优化问题的改进遗传算法的性能, 针对具体舰船补给案例, 分别采用标准遗传算法和本文提出的改进遗传算法进行编码求解, 并对结果进行比较. 以某一具体舰船为例, 其搬运网络如图 4 所示, 补给物料包括食品和其他物料, 其补给物料信息如表 7 所示:

表 7 附加说明: 有序物料集有(物料 L-物料 I), 表示物料 L 在物料 I 之前搬运, 且需紧邻; 食品大类先于其余物料搬运; 食品类均可并行, 其余物料不可并行.

#### 5.1 采用标准遗传算法的结果

使用 Java 编写算法程序, 遗传算法参数设置如下: 初始种群为 300, 迭代次数为 500, 交叉概率为 0.8, 变异概率为 0.05, 若连续 100 代的解相同, 则结束迭代, 现列出其中几种运行结果如表 8 所示:

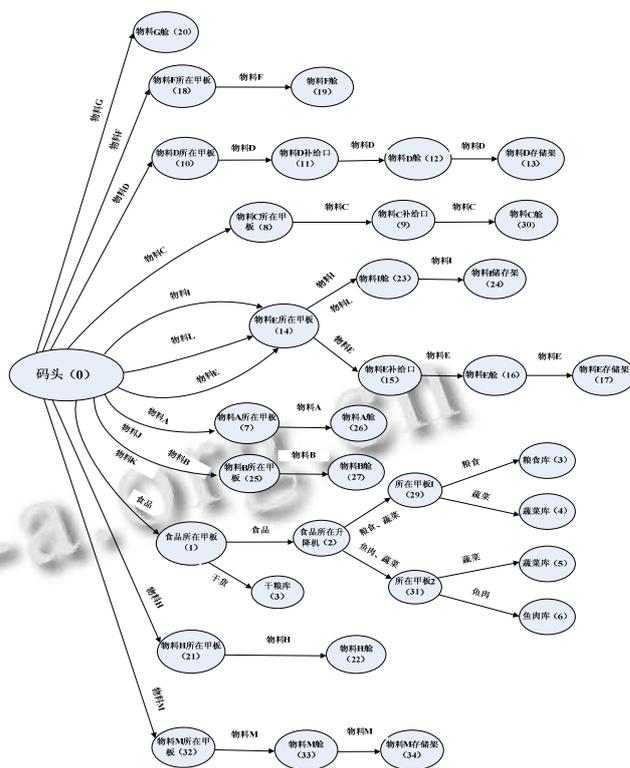


图 4 某舰船搬运网络

表 7 补给物料信息

物料名	食品为包、其余物料为箱)	物料搬运路径
粮食	36	0-1-2-29-3
干货	112	0-1-3
蔬菜 1	296	0-1-2-29-4
蔬菜 2	584	0-1-2-31-5
肉	192	0-1-2-31-6
鱼	136	0-1-2-31-6
A	52	0-7-26
B	38	0-25-27
C	338	0-8-9-30
D	298	0-10-11-12-13
E	172	0-14-15-16-17
F	64	0-18-19
G	204	0-20
H	4	0-21-22
I	18	0-14-23-24
J	2	0-7
K	2	0-25
L	1	0-14-23
M	40	0-32-33-34

表 8 标准遗传算法结果

迭代次数	物料搬运顺序	总搬运时间(S)
460	干货-粮食-蔬菜 1-鱼-蔬菜 2-肉-K-D-E-J-B-C-H-L-I-G-A-M-F	124784
461	蔬菜 2-鱼-干货-蔬菜 1-粮食-肉-J-H-G-A-E-D-L-I-K-B-C-M-F	124722

...	...	...
498	干货-蔬菜 1-鱼-蔬菜 2-粮食-肉 -D-C-F-L-I-B-A-J-H-K-G-E-M	124936
499	蔬菜 1-粮食-鱼-干货-蔬菜 2-肉 -L-I-D-E-J-B-C-H-G-A-M-F-K	124726
500	蔬菜 1-干货-鱼-粮食-蔬菜 2-肉 -D-E-J-B-C-L-I-H-G-A-M-F-K	124743

5.2 采用改进遗传算法的结果

使用 Java 编写算法程序, 遗传算法参数设置如下: 初始种群为 300, 迭代次数为 500,  $P_{c\_max}=1$ ,  $P_{c\_min}=0.1$ ,  $P_{m\_max}=1$ ,  $P_{m\_min}=0.1$ , 若连续 100 代的解相同, 则结束迭代, 现列出几种运行结果如表 9 所示:

表 9 改进遗传算法结果

迭代次数	物料搬运顺序	总搬运时间(S)
1	蔬菜 2-肉-鱼-蔬菜 1-干货-粮食 -J-A-B-L-I-K-G-C-D-H-E-M-F	124906
2	干货-粮食-蔬菜 2-鱼-蔬菜 1-肉 -D-A-J-B-L-I-H-C-E-M-G-K-F	124784
...	...	...
10	蔬菜 1-干货-蔬菜 2-鱼-粮食-肉 -L-I-B-A-H-C-K-E-D-G-M-F-J	124670
...	...	...
112	粮食-蔬菜 2-鱼-干货-蔬菜 1-肉 -L-I-A-C-E-B-G-H-D-M-F-K-J	124611
...	...	...
211	粮食-蔬菜 2-鱼-干货-蔬菜 1-肉 -L-I-A-C-E-B-G-H-D-M-F-K-J	124611

5.3 算法比较

下面给出传统遗传算法和改进遗传算法的迭代过程曲线, 分别如图 5, 6 所示(由于本文研究的舰船补给物料搬运顺序优化问题属于 NP-hard 问题, 传统遗传算法在较短的时间内很难收敛到某一个解):

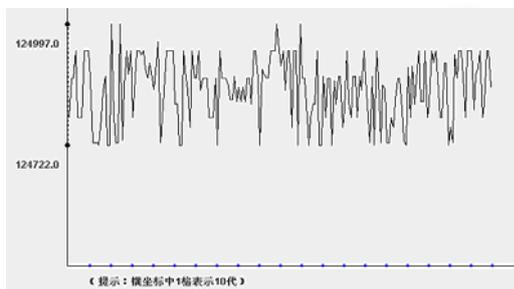


图 5 传统遗传算法迭代曲线图

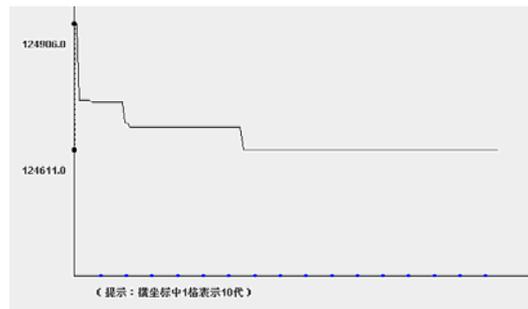


图 6 改进遗传算法迭代曲线图

反复运行多次, 可得到类似的结果. 由表 8、表 9 及迭代曲线可见, 改进遗传算法较标准遗传算法而言, 能跳出局部最优, 找到更优的解, 并且加快算法的收敛速度.

6 结论

本文对舰船补给物料搬运顺序优化问题进行描述, 引用多搬运工具可并行条件下的物料搬运顺序优化模型, 针对标准遗传算法收敛速度慢以及易陷入局部最优的问题, 采用改进的选择算子、交叉算子和变异算子, 最后通过对实际案例进行编码和求解, 对标准遗传算法和改进遗传算法所得结果进行比较, 证明了改进遗传算法的有效性.

参考文献

- 1 胡陈. 大型船舶物资补给搬运顺序规划问题研究[学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- 2 陶丽华, 许之强. 改进遗传算法对实际 Job Shop 问题的解决. 机械工程师, 2014, (1): 127-130.
- 3 陈长征, 王楠. 遗传算法中交叉和变异概率选择的自适应方法及作用机理. 控制理论与应用, 2002, 19(1): 41-43.
- 4 朱金钧, 高凯, 周万珍. 遗传算法在数据挖掘中的应用. 计算机工程与应用, 2003, 39(17): 203-206.
- 5 徐美霞. 场区内物料搬运系统的优化[学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- 6 张超勇, 饶运清, 刘向军, 李培根. 基于 POX 交叉的遗传算法求解 Job-Shop 调度问题. 中国机械工程, 2004, 15(23): 2149-2153.
- 7 席卫东, 乔兵, 朱剑英. 基于改进遗传算法的柔性作业车间调度. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(7): 1151-1153.
- 8 段亚南, 何霆, 褚滨生. 基于自适应混合启发算法求解一类 JSP 问题. 计算机工程与设计, 2004, 25(7): 1206-1207, 1217.
- 9 陆涛栋. 求解车间作业调度的遗传算法[学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2005.