

基于遗传算法的海运集装箱空箱调运成本优化^①

何静静, 王晓峰

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

摘要: 根据港口集装箱调运的特点, 对空箱调运的问题进行分析, 考虑租箱成本、运输成本、装卸成本和调运约束等条件, 以最小化调运成本为目标, 建立在保证重箱运输前提下的空箱调运的非线性整数模型. 文中使用简单遗传算法和加入遗传算子的遗传算法分别对模型实例进行求解, 实验表明, 当采用加入遗传算子的遗传算法时获得的结果比采用简单遗传算法的更好.

关键词: 空箱调运; 遗传算法; 遗传算子; 调运成本

Empty Container Repositioning Cost Optimization of Shipping Container Based on Genetic Algorithm

HE Jing-Jing, WANG Xiao-Feng

(Information Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: This paper analyzes the problem of empty container repositioning according to the characteristics of the port container repositioning. The paper considers leasing costs, transportation costs, loading/unloading costs repositioning constraints. The objective is to minimize repositioning costs. This integer nonlinear programming model of empty container repositioning is established under the premise that it guarantees heavy container dispatching. The paper uses the simple genetic algorithm and the genetic algorithm which has the genetic operator respectively to find the solution of the model instance. The experimental results show that the result of using the genetic algorithm that has the genetic operator is better than the result of using simple genetic algorithm.

Key words: empty container repositioning; genetic algorithm; genetic operator; repositioning costs

1 引言

集装箱运输具有运量大、装卸及运输快、节约包装材料、安全便捷等优点, 越来越多的散杂货选择集装箱运输, 所以集装箱运输已成为贸易中最重要的运输方式之一. 由于地区间经济贸易的不平衡性以及船运公司集装箱管理水平存在差异, 空箱调运在整个集装箱运输系统中占据了大量比重. 由于空箱调运产生的成本对船公司的运营收益产生了很大影响, 船公司对该问题非常重视, 并引发了学术界的研究兴趣. 集装箱调运问题主要研究的是何时从何地多少数量的空箱调运到有需求的指定地点.

国内外学术界对空箱调运问题进行了广泛研究. 施欣^[1]对海上空箱调运的过程进行分析, 并建立了系统优化模型. 针对空箱调运问题的调运费用情况, 王

斌等^[2]建立了考虑装卸费用情况下的空箱调运模型. 在空箱调运问题的操作模式上, Jing 等^[3]提出了(U, D)策略, 从而使港口在较低的成本下保持合适的箱量. 丁敏^[4]将(U, D)策略扩展应用到多个港口的空箱调运中. Shen 等^[5]则从商业视角来解决多地域大规模空箱调运问题出发, 构建了海运空箱调运决策支持系统. Shao 等^[6]在通过对两条航线两个港口的抽象化处理, 建立了随机的动态规划模型来解决空箱调运问题. Jing 等^[7]提出多班轮、多航线、多港口的空箱调运问题, 在调运成本问题上考虑的情况更为全面. Dong 等^[8]从建模优化的角度来考虑运输目的地随机情况的空箱调运问题. Massimo 等^[9]建立了多策略下的空箱调运问题.

本文在满足重箱运输的前提下, 建立集装箱空箱调运模型. 在模型中, 调运成本包括运输费用、租箱成

^① 收稿时间:2014-04-22;收到修改稿时间:2014-05-15

本和装卸费用, 目标函数是使调运成本最小; 在约束条件中综合考虑船的运输能力、运输时间、供给港的空箱量及需求港的需求量这些因素的关系. 用实例数据对模型进行验证, 证明了模型的正确性和加入遗传算子的遗传算法比简单遗传算法更有效.

2 集装箱空箱调运模型建立

2.1 模型的假设条件

由于集装箱运输的实际业务异常复杂, 变动因素较多, 给分析带许多困难, 为了建立模型方便, 需对海运集装箱运输系统进行一些优化假设.

假设 1: 各港口空箱的供给量、需求量已知, 供给港和需求港已确定;

假设 2: 不考虑箱型约束, 均为同一型号集装箱;

假设 3: 不考虑集装箱的修箱和废弃箱的问题;

假设 4: 每个港口附近都可以及时租到空箱, 进行空箱租借时只考虑空箱的租借费用, 其它费用忽略不计;

假设 5: 不存在转运现象, 空箱是直接由供应地向需求地的直达运输.

假设 6: 所有的空箱调运过程都发生在工作时段 T 内, 也就是说没有空箱的流动在 $k=1$ 前开始, 也没有空箱的流动在 $k=T$ 后结束, 工作时段为 T 天, 分成 T 个阶段, 每个阶段代表一天.

2.2 模型的建立

为了便于模型的建立, 引入如下符号:

T: 计划期跨度;

S: 计划期 T 内供给港的集合;

D: 计划期内需求港的集合;

$x_{ij}^{kk'}$: k 时刻从供给港 i 运往需求港 j 在 k' 时刻到达的空箱数;

$c_{tij}^{kk'}$: k 时刻从供给港 i 运单位空箱到需求港 j 在 k' 时刻到达的运输成本;

t_{ij}^k : k 时刻从供给港 i 运空箱到需求港 j 所需时间;

n_i^k : k 时刻供给港 i 的空箱供给量;

c_{li}^k : k 时刻供给港 i 的单位空箱的装箱费用;

n_j^k : k' 时刻需求港 j 的空箱需求量;

$c_{ulj}^{k'}$: k' 时刻需求港 j 的单位空箱的卸箱费用;

$c_{vj}^{k'}$: k' 时刻需求港 j 的单位空箱的租箱费用;

$v_{ij}^{kk'}$: k 时刻从供给港 i 运往需求港 j 在 k' 时刻到达的船的最大容量;

$n_{ij}^{kk'}$: k 时刻从供给港 i 运往需求港 j 在 k' 时刻到达的船的重箱量;

定义两个时间序列发生器: $D(x_{ij}^{kk'}) = k$, $M(x_{ij}^{kk'}) = k'$; U 的返回值是 $x_{ij}^{kk'}$ 的最早装船时间, M 的返回值是 $x_{ij}^{kk'}$ 的最迟卸船时间.

在本文中, 空箱调运的成本只考虑运输成本、装卸成本和租箱成本.

运输成本:

$$f_1 = \sum_{\substack{k,k'=1,\dots,T \\ k' \geq k}} \sum_{i \in S, j \in D} x_{ij}^{kk'} \times c_{tij}^{kk'}$$

装卸成本:

$$f_2 = \sum_{\substack{k,k'=1,\dots,T \\ k' \geq k}} \sum_{i \in S, j \in D} x_{ij}^{kk'} \times (c_{li}^k + c_{ulj}^{k'})$$

租箱成本:

$$f_3 = \sum_{\substack{k,k'=1,\dots,T \\ k' \geq k}} \sum_{i \in S, j \in D} (n_j^{k'} - x_{ij}^{kk'})$$

通过归纳总结, 本文模型中的目标函数是使集装箱空箱调运总成本(运输成本、装卸成本和租箱成本)最小, 目标函数为:

$$\min Z = f_1 + f_2 + f_3$$

约束条件:

(1) 调运空箱量+重箱量 ≤ 船的最大容量

$$x_{ij}^{kk'} + n_{ij}^{kk'} \leq v_{ij}^{kk'}, \forall i \in S; \forall j \in D; k' \geq k; k, k' = 1, 2, \dots, T$$

(2) 船舶的空箱运出量 ≤ 港口的空箱现有量

$$\sum_{k \leq k'} \sum_{j \in D} x_{ij}^{kk'} \leq n_i^k, \forall i \in S; k = 1, \dots, T$$

(3) 确保时间上的可行性, 所有空箱进出港口在时间上是可行的, 也就是说在时间周期 T 内所有空箱进出港口能完成.

$$x_{ij}^{kk'} \times (U(x_{ij}^{kk'}) + t_{ij}^{U(x_{ij}^{kk'})}) - M(x_{ij}^{kk'}) \leq 0 \quad \forall i \in S; \forall j \in D;$$

$$k' \geq k; k, k' = 1, 2, \dots, T$$

(4) 非负性约束:

$$x_{ij}^{kk'} \geq 0 \text{ 且为整数}, \forall i \in S; \forall j \in D; k' \geq k; k, k' = 1, 2, \dots, T$$

以上各式中的 k 时刻是从供给港出发, 在 k' 时刻到达需求港所以同时出现 k 和 k' 的公式中都要求 $k' \geq k$.

3 算法描述与实例

GA 是基于“物竞天择”的自然选择和群体遗传学基本原理, 进行一系列随机迭代、进化的搜索方法, 它模拟了自然选择和遗传过程中发生的繁殖、交配、变异现象, 根据适者生存、优胜劣汰的自然法则, 利用交叉、变异、逐代选择产生并最终得到优化个体.

3.1 算法设计

基于空箱调运模型的简单遗传算法的求解步骤:

步骤 1: 初始化控制参数: 种群规模 $popsiz$ e, 最大进化代数 $maxgeneration$, 交叉概率 pc , 变异概率 pm ;

步骤 2: 初始化种群: 变量编码采用二进制编码, 每个变量的编码长度为 li (本文中的变量的编码长度都取 6)将所有变量的编码连接为一个长串, 作为问题的编码;

步骤 3: 评价个体, 求最佳个体: (1)计算函数值: 将初始化种群时产生的以数据形式存储的二进制数转换成十进制数, 计算出满足约束条件的函数值; (2)计算适应度: 目标函数作为适应度函数, 若目标函数的值小于事先给定的上限常数, 则适应度为上限常数-目标函数值, 否则适应度值为 0; (3)求最佳个体: 根据适应度的值比较得出适应度最小的个体就是要求的最佳个体;

步骤 4: 根据设定的遗传概率, 进行下述遗传操作, 产生新一代群体:

(1)选择: 首先用 $rand()$ 函数产生 0~1 间的选择算子, 当适度累计值不为零时, 比较各个体所占总的适应度百分比的累计和与选择算子, 直到达到选择算子的值那个个体就被选出.

(2)交叉: 用 $rand()$ 函数产生随机概率, 若小于步骤 1 中初始化的交叉概率 pc , 则进行染色体交叉, 同时交叉次数加 1. 这时又要用 $rand()$ 函数随机产生一位交叉位, 把染色体的交叉位的后面部分交叉即可; 若大于交叉概率, 则进行简单的染色体复制即可.

(3)变异: 随机产生比较概率, 若小于步骤 1 中初始化的变异概率, 则 1 变为 0, 0 变为 1, 同时变异次数加 1.

步骤 5: 反复执行步骤 4、步骤 3, 直到进化代数

到最大代数, 停止进化, 最后的最佳个体作为问题的优化结果. 遗传算法的执行过程如图 1.

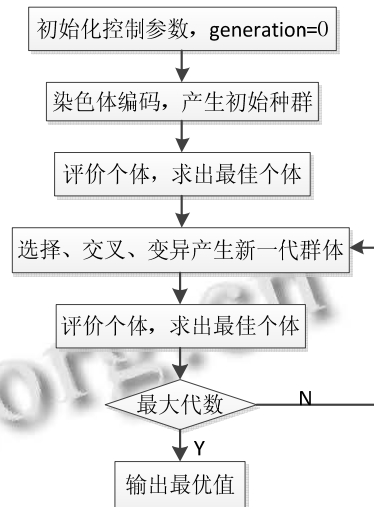


图 1 遗传算法的执行过程

由于遗传操作的随机性, 使得新一代个体产生没有明确的方向, 个体编码的基因组合不能保证向最优个体靠近, 遗传算法的迭代进化过程, 也就是高适应度的子代逐渐代替低适应度的父代的过程, 针对上述不足, 对标准遗传算法进行改进. 改进措施是引入“进化方向算子”, 在每一代的进化中, 该算子指导个体向更优的个体编码方向进化. 引入进化方向算子后, 可以认为当前代向子代个体的进化是由父代和当代个体及其适应度共同决定的.

个体的十进制表示形式与适应度分别为(t 为当前进化代数):

$$X_i(t) = [x_1^i(t), x_2^i(t), \dots, x_n^i(t)] \quad , \quad f[X_i(t)] \quad i=1,2,\dots,N$$

元素 $x_j^i(t)$ ($j=1,2,\dots,n$) 为十进制数, 表示第 t 代群体中, 第 i 个体的第 j 个变量, 变量范围 $x_j \in [x \min_j, x \max_j]$.

子代个体各变量对应的基因由下式确定:

$$x_q^k(t+1) = x_q^k(t) + S \times \text{sign}\{f[X_k(t)] - f[X_i(t-1)]\} \times \{x_q^k(t) - x_q^i(t-1)\} + T \times \text{sign}\{f[X_k(t)] - f[X_j(t-1)]\} \times \{x_q^k(t) - x_q^j(t-1)\}$$

其中: $q=1,2,\dots,n; S, T \in [0,1]$

限制新产生子代个体中基因心 $x_q^k(t+1)$

($q=1,2,\dots,n$)的取值不超过允许范围:

$$x_q^k(t+1) = \max\{x_q^k(t+1), x_{\max_q}, x_{\min_q}\}$$

$q=1,2,\dots,n$

加入遗传算子后遗传算法的求解步骤和简单遗传算法的求解步骤相比: 在步骤 1 中增加一个初始化参数进化方向概率 pd , 步骤 4 的在选择操作和交叉操作之间, 以概率 pd 随机选取三个个体 $X_i(t)$ 、 $X_j(t)$ 、 $X_k(t)$ ($i,j,k \in [1,2,\dots,n], i \neq j \neq k$) 按照上述两个公式实施进化方向操作.

3.2 算例描述

本算例中的数据大多通过调研各航运企业时取得, 另外一些则参考杂志上的数据设定的, 接近实际情况.

本算例中有 4 个供给港、5 个需求港; 工作时段为 5 天, 即 $T=5$, 将 T 分成 5 个阶段; $C_{ij}^{kk'}$ 、 C_{li}^k 、 C_{uj}^k 、 $C_{rj}^{k'}$ 和 $v_{ij}^{kk'}$ 一直保持不变, 与时间无关, t_{ij}^k 时间无关, 与起始时刻无关. 系统内各港口空箱供给和需求数据等信息已知, 以此来确定空箱调运和租赁如何结合起来使空箱调运的总成本最小.

表 1 港口 i 的供应量(单位: TEU)

供应港口	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
S1	14	347	567	168	468
S2	234	278	321	174	235
S3	378	429	215	675	550
S4	416	226	297	433	370

表 2 港口 j 的需求量(单位: TEU)

需求港口	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
D1	290	105	312	370	440
D2	417	201	51	806	623
D3	239	185	250	201	147
D4	421	722	150	156	381
D5	366	612	302	276	139

表 3 港口间的运输费(单位: \$/TEU)

C _{tij}	D1	D2	D3	D4	D5
S1	10	15	10	23	15
S2	12	11	27	25	10
S3	15	11	16	20	14
S4	33	13	24	15	16

表 4 装箱成本(单位: \$/TEU)

港口	S1	S2	S3	S4
C _{li}	4	2	3	5

表 5 卸箱成本(单位: \$/TEU)

港口	D1	D2	D3	D4	D5
C _{ulj}	3	1	2	2	4

表 6 租箱成本(单位: \$/TEU)

港口	D1	D2	D3	D4	D5
crj	10	16	15	20	12

表 7 港口间的空箱运输能力(单位: TEU)

港口	D1	D2	D3	D4	D5
S1	30	140	50	85	30
S2	90	70	60	45	35
S3	70	40	120	30	110
S4	40	50	50	60	45

表 8 i→j 运输时间(单位: 天)

t _{ij}	D1	D2	D3	D4	D5
S1	0	0	2	4	3
S2	0	3	4	2	0
S3	3	4	3	1	1
S4	2	1	3	0	4

3.3 结果及分析

算法用 Visual Basic 6.0 程序实现, 取种群规模 $N=30$, 进化代数 $G=500$, 交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 、 P_d 分别为 0.85、0.01、0.4, 简单的遗传算法和加入遗传算子的遗传算法程序各运行 10 次, 取最优结果.

简单的遗传算法运行结果:

表 9 港口之间的调运情况

时间	调运量
k=1	S1->D1(14); S2->D5(30); S2->D1(60); S4->D4(50)
k=2	S1->D1(25); S2->D5(30); S2->D1(80); S1->D2(120); S4->D4(50); S3->D4(30); S3->D5(100); S4->D2(50)
k=3	S1->D1(30); S2->D5(35); S2->D1(70); S1->D2(51); S4->D4(60); S3->D4(30); S3->D5(90); S2->D4(40); S4->D1(40)
k=4	S1->D1(30); S2->D5(30); S2->D1(90); S1->D2(130); S4->D4(60); S3->D4(30); S3->D5(110); S4->D2(50); S1->D3(50); S2->D4(40); S4->D1(40); S2->D2(70); S3->D1(70); S3->D3(101); S4->D3(50)
k=5	S1->D1(30); S2->D5(30); S2->D1(90); S1->D2(140); S4->D4(60); S3->D4(30); S3->D5(109); S4->D2(50); S1->D3(50); S2->D4(40); S4->D1(40); S2->D2(60); S3->D1(70); S3->D3(47); S4->D3(50); S3->D2(40); S4->D4(45)

表 10 各个港口的租箱情况

	D1	D2	D3	D4	D5
k=1	224	417	239	371	336
k=2	0	31	185	642	482
k=3	172	0	250	20	177
k=4	140	556	0	20	136
k=5	210	333	0	206	0

总的费用是 141039.

遗传算子后运行结果:

表 11 港口之间的调运情况

时间	调运量
k=1	S1->D1(0); S1->D2(10); S2->D5(20); S2->D1(40); S4->D4(30)
k=2	S1->D1(30); S2->D5(20); S2->D1(60); S1->D2(80); S4->D4(60); S3->D4(15); S3->D5(75); S4->D2(30)
k=3	S1->D1(12); S2->D5(30); S2->D1(46); S1->D2(35); S4->D4(52); S3->D4(16); S3->D5(65); S4->D2(8); S1->D3(2); S2->D4(28); S4->D1(35)
k=4	S1->D1(20); S2->D5(33); S2->D1(80); S1->D2(48); S4->D4(50); S3->D4(18); S3->D5(68); S4->D2(25); S1->D3(28); S2->D4(34); S4->D1(3); S1->D5(2); S2->D2(70); S3->D1(40); S3->D3(81); S4->D3(23)
k=5	S1->D1(15); S2->D5(28); S2->D1(77); S1->D2(56); S4->D4(21); S3->D4(22); S3->D5(81); S4->D2(44); S1->D3(38); S2->D4(43); S4->D1(25); S1->D5(30); S2->D2(70); S3->D1(45); S3->D3(65); S4->D3(44); S3->D2(40); S4->D4(35)

表 12 各个港口的租箱情况

	D1	D2	D3	D4	D5
k=1	250	407	239	391	346
k=2	15	91	185	647	517
k=3	219	8	248	54	207
k=4	227	663	69	54	176
k=5	278	413	0	260	0

总费用: 134713

4 结语

本文力求与实际情况接近, 在模型中充分考虑了运输成本、装卸成本、租箱费用和运输时间, 建立了在满足重箱运输前提下的集装箱空箱调运模型. 并用简单遗传算法和带有遗传算子的遗传算法在 Visual

Basic 6.0 下进行编程实验, 得出了具体的调运和租箱方案; 带有遗传算子的遗传算法克服了简单遗传算法新一代个体的产生没有明确方向的缺点, 实验结果表明改进算法也在一定程度上节省了调运成本.

尽管本文在建立模型时力求接近实际, 但依然和实际存在差距, 算法也还有改进的余地, 以后再继续在这两方面加以改进.

参考文献

- 1 施欣. 集装箱海运空箱调运优化分析. 系统工程理论与实践, 2003, 23(4): 70-75.
- 2 王斌, 卢毅勤, 朱木元. 集装箱空箱海上调运优化模型. 船海工程, 2006(6): 72-74.
- 3 Li JA, Liu K, Leung SCH, et al. Empty container management in a port with long-run average criterion. Mathematical and Computer Modelling, 2004, 40(1): 85-100.
- 4 丁敏, 孙文一, 顾伟红. 集装箱空箱调运的启发式算法优化研究. 中国航海, 2008, 31(1): 75-78.
- 5 Shen WS, Khoong CM. A DSS for empty container distribution planning. Decision Support Systems, 1995, 15(1): 75-82.
- 6 Lam SW, Lee LH, Tang LC. An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2007, 15(4): 265-277.
- 7 Dong JX, Song DP. Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(6): 860-877.
- 8 Song DP, Dong JX. Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports. Transport Policy, 2011, 18(1): 92-101.
- 9 Di Francesco M, Crainic TG, Zuddas P. The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(5): 758-770.