

整车物流装载方案优化与验证

孙军艳^{1,2}, 吴冰莹¹, 来旭东¹

(1.陕西科技大学, 西安 710021; 2.西安理工大学, 西安 710048)

摘要: **目的** 以轿运车使用数量最少为目标研究整车物流中乘用车的装载问题, 以降低物流成本。**方法** 建立轿运车混合装载的数学模型, 并用枚举法列出混合装载的所有装载方案; 筛选装载率在 90%以上的方案建立组合矩阵, 以此和乘用车的数量类型等作为约束条件, 建立求解轿运车最少数量的数学模型; 用遗传算法求最优解, 并对计算结果进行验证。**结果** 仿真结果表明遗传算法计算得到的最优配载方案与枚举出的最优解相近, 但遗传算法计算时间仅为枚举法计算时间的 1/200 左右。**结论** 用遗传算法对整车物流中乘用车的装载问题求最优方案的方法收敛速度快, 计算结果与理论最优解相近, 可兼顾计算时间和计算效果。

关键词: 整车物流; 装载方案; 数学模型; 枚举法; 遗传算法

中图分类号: TB485.3; U691⁺.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0103-07

Optimization and Verification of Vehicle Logistics Loading Scheme

SUN Jun-yan^{1,2}, WU Bing-ying¹, LAI Xu-dong¹

(1. Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

ABSTRACT: The work aims to study the loading problem of vehicle logistics with the minimum number of car carrier as the goal so as to reduce logistics cost of the car. Mathematical model of the mixed loading of the car was established firstly. Different mixed loading schemes were compared and analyzed by enumeration algorithm. Schemes with loading rate more than 90% were screened out to establish a combination matrix. Then, the mathematical model of the minimum number of car carrier was set up by using the car's full load scheme and the cars' number and cars' type as the constraint conditions. Finally, the genetic algorithm was used to solve the optimal solution, and the calculation results were verified. The simulation results showed that the optimal loading scheme calculated by genetic algorithm was close to the optimal solution obtained by enumeration, but the computing time of the former was only about 1/200 of the latter. In conclusion, the genetic algorithm has fast convergence and closer results with the theoretical optimal solution. It has advantages of both computing time and calculation effect.

KEY WORDS: vehicle logistics; loading scheme; mathematical model; enumeration algorithm; genetic algorithm

整车物流是以整车作为物流服务标的物, 按照客户订单对交货期、交货地点、品质保证等的要求进行准时配送。随着我国汽车产业规模的迅速增

长, 专业化第三方整车物流模式应运而生, 如何合理配置有限的运输能力、降低物流成本, 是整车物流企业提升服务水平以及提高市场竞争力的重要

收稿日期: 2016-04-18

基金项目: 国家自然科学基金(11072192); 陕西省工业科技攻关项目(2015GY118)

作者简介: 孙军艳(1978—), 女, 陕西大荔人, 博士, 陕西科技大学副教授, 主要研究方向为物流信息技术、供应链管理。

途径之一^[1]。在整车物流的一系列活动中,科学的配载方式是提升运输工具使用效率的关键。目前由于装载车和被装载车有多种型号和规格,很多整车物流公司通常依赖调度人员的经验来制定运输和配载计划,在遇到复杂的大量的运输任务时,通常调度计划制定速度慢,效率低,满载率低,运输成本较高,因此对整车物流的装载方案的优化具有重要的实际意义^[2-4]。作者以整车物流运输工具轿运车和运输对象乘用车为研究对象,以轿运车使用数量最少为目标,设计轿运车装载优化方案并建立相应的数学模型,采用改进遗传算法^[5-10]求解最佳配载方案,并对最优解进行了验证。最后开发整车物流装载优化系统,实现了配载方案的优化。

1 整车物流运输装载问题研究思路

1.1 轿运车基本情况和装载要求

目前用于运输乘用车的轿运车主要有 1-1 型和 1-2 型 2 种,其中 1-1 型车上下层均可各装 1 列,上下层长度均为 X_{11} ,上层宽度为 Y_{11} ,下层宽度为 Z_{11} 。1-2 型车上层可装 2 列,下层可装 1 列,上下层长度均为 X_{12} ,上层宽度为 Y_{12} ,下层宽度为 Z_{12} 。轿运车装载乘用车的具体装载要求和假设如下:每种轿运车上、下层装载区域均可等价看成长方形,各列乘用车均纵向摆放,相邻乘用车之间纵向及横向的安全车距均至少为 0.1 m,下层力争装满,上层两列力求对称,以保证轿运车行驶平稳;受层高限制,高度超过 1.7 m 的乘用车只能装在 1-1、1-2 型下层;在轿运车使用数量相同情况下,1-1 型轿运车的使用成本较低,1-2 型略高,同时物流公司的 1-2 型轿运车拥有量小,为方便任务安排,每次 1-2 型轿运车使用量不超过 1-1 型轿运车使用量的 20%。

1.2 乘用车基本情况

物流公司服务的汽车制造商众多,运输的乘用车类型和规格也形式多样。假设运往同一个地点的乘用车类型不超过 3 种。I 型乘用车长度为 L_1 ,宽度为 B_1 ,高度为 H_1 ,运输数量为 n_1 。II 型乘用车长度为 L_2 ,宽度为 B_2 ,高度为 H_2 ,运输数量为 n_2 。III 型乘用车长度为 L_3 ,宽度为 B_3 ,高度为 H_3 ,运

输数量为 n_3 。其中,III 型车为高度大于 1.7 m 的乘用车。

1.3 问题研究整体思路

考虑每种轿运车单独装载某种乘用车时的最大数量。然后,采用枚举法编程计算得到 1-1 型和 1-2 型轿运车分别混装 3 种乘用车的所有组合方式,选择装载率较大(即混合装载后轿运车剩余空间较小)的装载方式。接着以轿运车下层力争装满,上层两列力求对称(保证轿运车行驶平稳)为基础条件、以所运输的乘用车数量以及轿运车调运要求作为约束,以轿运车总使用数量最少为目标函数,建立数学模型。最后,用改进遗传算法编写程序,并开发整车物流装载优化系统,采用人机交互界面,实现配载方案的优化。

2 数学模型的建立

2.1 轿运车装载单种乘用车装载能力模型

考虑到装载要求中高度大于 1.7 m 的 III 型乘用车只能放置在轿运车下层,则建立数学公式分别计算 1-1 型和 1-2 型轿运车分别满载单种乘用车即乘用车 I, 乘用车 II 和乘用车 III 的数量。

$$\begin{cases} a_{i-\max} = (i+1) \left(\frac{X_{li}}{L_i + 0.1} \right) \\ b_{i-\max} = (i+1) \left(\frac{X_{li}}{L_2 + 0.1} \right), \quad i=1,2 \\ c_{i-\max} = \frac{X_{li}}{L_3 + 0.1} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $a_{i-\max}$, $b_{i-\max}$, $c_{i-\max}$ 分别为 1- i 型轿运车分别满载乘用车 I, II, III 的数量; L_2 , L_3 分别表示 I 型、II 型、III 型乘用车的长度; X_{li} 为 1- i 型轿运车的装载区域的长度,即轿运车车厢长度。

2.2 轿运车混装乘用车装载能力模型

在已知单型轿运车满载每种乘用车数量的前提下,使用枚举法,通过 Matlab 编程分别得到 1-1 型和 1-2 型轿运车的混合满载 3 种乘用车的所有组合方式。1-1 型轿运车混合装载模型方程组如下:

$$\begin{cases} x_{11}L_1+x_{21}L_2 \leq X_{11} \\ x_{11}L_1+x_{21}L_2 \geq X_{11}-\max(L_1, L_2, L_3) \\ x_{12}L_1+x_{22}L_2+x_{32}L_3 \leq X_{11} \\ x_{12}L_1+x_{22}L_2+x_{32}L_3 \geq X_{11}-\max(L_1, L_2, L_3) \\ x_{11}+x_{12} \leq a_{1-\max} \\ x_{21}+x_{22} \leq b_{1-\max} \\ x_{31}+x_{32} \leq c_{1-\max} \end{cases} \quad (2)$$

式中： x_{11} , x_{12} , x_{13} 为混装时 1-1 型轿运车上层所装乘用车 I 型、II 型、III 型车的数量； x_{21} , x_{22} , x_{23} 分别表示混装时 1-1 型轿运车下层所装乘用车 I 型、II 型、III 型车的数量。

与 1-1 型轿运车不同，1-2 型轿运车上层两列对称，混合装载模型方程组如下：

$$\begin{cases} y_{11}/2L_1+y_{21}/2L_2 \leq X_{12} \\ y_{11}/2L_1+y_{21}/2L_2 \geq X_{12}-\max(L_1, L_2, L_3) \\ y_{12}L_1+y_{22}L_2+y_{32}L_3 \leq X_{12} \\ y_{12}L_1+y_{22}L_2+y_{32}L_3 \geq X_{12}-\max(L_1, L_2, L_3) \\ y_{11}+y_{12} \leq a_{1-\max} \\ y_{21}+y_{22} \leq b_{1-\max} \\ y_{31}+y_{32} \leq c_{1-\max} \end{cases} \quad (3)$$

式中： y_{11} , y_{12} , y_{13} 分别为混装时 1-2 型轿运车上层所装乘用车 I 型、II 型、III 型车的数量； y_{21} , y_{22} , y_{23} 分别为混装时 1-2 型轿运车下层所装乘用车 I 型、II 型、III 型车的数量。

每一组结果表示一种装载方案，其中装载率 μ 表示在该装载方案下，所有装载车辆总长度(包括安全距离)占轿运车可装载区域总长度的百分比。

1-1 型轿运车装载率计算公式如下：

$$\mu_1 = [(x_{11}+x_{12})(L_1+0.1)+(x_{21}+x_{22})(L_2+0.1)+x_{32}(L_3+0.1)] \times (2X_{11})^{-1} \quad (4)$$

1-2 型轿运车装载率计算公式如下：

$$\mu_2 = [(y_{11}+y_{12})(L_1+0.1)+(y_{21}+y_{22})(L_2+0.1)+y_{32}(L_3+0.1)] \times 2X_{12}^{-1} \quad (5)$$

1-1 型轿运车装载方案见表 1，同理可得 1-2 型所有装载方案，此处不再赘述。

当满足上述方程组的解即装载方案过多时，会造成模型过于复杂，计算时间过长，故此时筛选装载率大于 90% 的装载方案作为备选装载方案，以便程序运行。

表 1 1-1 型轿运车装载方案
Tab.1 Loading scheme of car carrier 1-1

满载方案序号	装载 I 型车数量		装载 II 型车数量		装载 III 型车数量	装载率 μ
	上层	下层	上层	下层	下层	
1	X_{11}	X_{12}	X_{21}	X_{22}	X_{32}	

2.3 轿运车装载乘用车方案的模型建立

以上述备选装载方案和预计所运输的乘用车数量为一个约束条件，以每次运输 1-2 型轿运车使用量不超过 1-1 型轿运车使用量的 20% 为另一个约束条件，以完成运输任务使用最少轿运车数量为目标函数，建立如下的整数线性规划优化模型。设第 i 种运载方式使用 1-1 型轿运车 x_i 辆，每辆轿运车装载 I, II, III 型乘用车分别为 A_{1i} , A_{2i} , A_{3i} 辆；设第 k 种运载方式使用 1-2 型轿运车 y_k 辆，每辆车装载 I, II, III 型乘用车分别为 B_{1k} , B_{2k} , B_{3k} 辆。由此所建立的数学模型如下：

$$\min f(x_i, y_k) = \sum_{i=1}^{Q_1} x_i + \sum_{k=1}^{Q_2} y_k \quad (6)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{Q_1} A_{1i}x_i + \sum_{k=1}^{Q_2} B_{1k}y_k \geq n_1 \\ \sum_{i=1}^{Q_1} A_{2i}x_i + \sum_{k=1}^{Q_2} B_{2k}y_k \geq n_2 \\ \sum_{i=1}^{Q_1} A_{3i}x_i + \sum_{k=1}^{Q_2} B_{3k}y_k \geq n_3 \\ 20\% \sum_{i=1}^{Q_1} x_i - \sum_{k=1}^{Q_2} y_k \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中： n_1 , n_2 , n_3 分别为运输的 I, II, III 型乘用车的总数量； Q_1 为 1-1 型轿运车装载方案数量， Q_2 为 1-2 型轿运车装载方案数量。

3 模型实现及实例验证

3.1 运输实例

假设物流公司要运送 I 型乘用车 156 辆，II 型乘用车 102 辆及 III 型乘用车 39 辆，物流公司拥有的轿运车规格：1-1 型车上下层长度均为 19 m，上层宽度为 2.7 m，下层宽度为 2.7 m；1-2 型车上下层长度均为 24.3 m，上层宽度为 3.5 m，下层宽度为 2.7 m。乘用车型号规格：I 型乘用车长度为 4.61 m，宽度为 1.7 m，高度为 1.51 m；II 型乘用车长度为 3.615 m，宽度为 1.605 m，高度为 1.394 m；III 型乘用车长度为 4.63 m，宽度为 1.785 m，高度

为 1.77 m。根据上述实例,制定运输计划,计算所得此次运输计划所需要的轿运车的最少数量以及每辆轿运车的装载方案。

3.2 轿运车混装乘用车装载能力计算

首先对轿运车装载单种乘用车和混装所有乘用车的装载能力求解得到满足条件的所有装载方案见表 2 和表 3(部分结果)。

表 2 1-1 型轿运车满载方式及装载乘用车装载率
Tab.2 Load mode and loading rate of car carrier 1-1

满载方式序号	装载 I 型车数量		装载 II 型车数量		装载 III 型车数量		装载率/%
	上层	下层	上层	下层	上层	下层	
1	4	4	0	0	0	0	99.16
2	4	3	0	0	0	1	99.21
3	4	3	0	1	0	0	96.54
4	4	2	0	0	0	2	99.26

表 3 1-2 型轿运车满载方式及装载乘用车装载率
Tab.3 Load mode and loading rate of car carrier 1-2

满载方式序号	装载 I 型车数量		装载 II 型车数量		装载 III 型车数量		装载率/%
	上层	下层	上层	下层	上层	下层	
1	10	5	0	0	0	0	96.91
2	10	4	0	0	0	1	96.94
3	10	4	0	1	0	0	95.55
4	10	3	0	0	0	2	96.97

3.3 基于遗传算法的装载方案模型求解

遗传算法具有较好的逼近最优解和使求解运算时间大大减少的优点,能够兼顾运算时间和效率 2 个方面。但是遗传算法容易陷入局部最优解,出现“早熟收敛”等现象。针对此情况,设计了改进的遗传算法,并应用于轿运车装载方案模型求解。

1) 文中采用二进制编码方法,即使用固定长度的二进制串来表示群体中的个体,基因型 i_m (或 j_n)= $\{0, 1\}$, 其中 i_m 为 1-1 型第 m 种装载方式的轿运车编码, j_n 为 1-2 型第 n 种装载方式的轿运车编码。 N_Q 为满足装载率要求的 $Q=m+n$ 种装载方案(包含 1-1 型 m 种和 1-2 型 n 种), 每种方案染色体长度定义为 4, 则个体染色体总长度为 $4N_Q$ 。则在进化群体中个体染色体结构表示为: $(i_{11}, i_{12}, i_{13}, i_{14}, \dots, i_{m1}, i_{m2}, i_{m3}, i_{m4}, j_{11}, j_{12}, j_{13}, j_{14}, \dots, j_{n1}, j_{n2}, j_{n3}, j_{n4})$ 。这样,按照每四位进行解码,即可求得每种装载方案

的使用数量结果。

2) 种群的初始化。初始群体中个体的基因型使用随机数生成,由于文中问题目标函数为最小值求解,为了减少初始群体计算结果的不稳定性,仅在生成初始种群时,改变 0—1 随机数分布概率,使随机数产生 0 的概率为 0.7,产生 1 的概率为 0.3。为增加搜索空间范围,初始群体种群规模取为 80。

3) 个体适用度评价。在遗传算法中,以个体适用度的大小来确定该个体被遗传到下一代群体中的概率。个体适应度越大,该个体遗传到下一代的概率也越大。将目标函数值 $f(X)$ 变换为个体的适应度 $F(X)$ 。变换方法:

$$F(X) = \begin{cases} C_{\max} - f(X), & f(X) < C_{\max} \\ 0, & f(X) \geq C_{\max} \end{cases}$$

式中: $C_{\max}$ 为一个相对较大的数,文中取 1000。

4) 选择复制算子。基本遗传算法使用轮盘赌选择法,即通过一定概率选择若干个体遗传到下一代,在文中,改进基本遗传算法,使用一种最优保存策略作为选择复制算子,即使用当前群体中适应度最高的个体替换掉当代群体中适应度最低的个体,以保证当前最优个体可以稳定遗传到下一代参与其他运算。

5) 交叉、变异算子。文中采用单点交叉,运算过程见图 1。



图 1 单点交叉运算过程

Fig.1 Single-point crossover operation process

从每个个体的第 3 位开始交叉,交叉之后得到 2 个新的个体。这样 2 个子代个体就分别具有了 2 个父代个体的某些特征。利用交叉有可能由父代个体在子代组合成适应度更高的个体。文中采用基本位变异,变异运算过程见图 2。



图 2 变异运算过程

Fig.2 Variation calculation process

6) 终止条件。按照算法流程图循环计算,达到最大遗传代数时终止算法。

上述算法用 Matlab 软件编写计算程序,需要

确定群体大小 M ，终止代数 T ，交叉概率 P_c ，变异概率 P_m 等 4 个运行参数，这些参数对遗传算法的求解结果和求解效率都有一定的影响，实际应用中需要多次实验才能确定出这些参数的合理取值。定义 $M=40$ ， $P_c=0.8$ ， $P_m=0.01$ ， $T=300$ ，运行时计算结果难以收敛，见图 3a。计算过程中发现降低变异概率 P_m ，同时增加种群规模 M ，有利于计算的收敛。取 $M=60$ ， $P_c=0.7$ ， $P_m=0.005$ ， $T=300$ 时，其收敛过程见图 3b。经多次实验确定的最优参数为 $M=80$ ， $P_c=0.6$ ， $P_m=0.001$ ， $T=300$ ，在此参数下运行时，计算结果收敛于稳定的解，其收敛过程见图 3c。

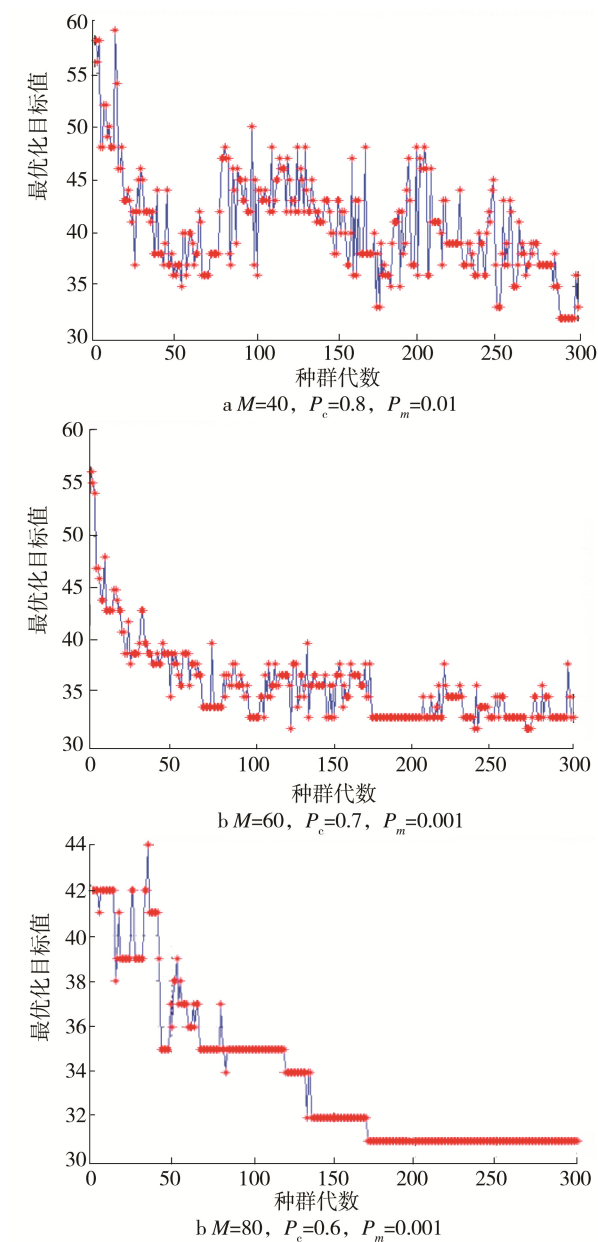


图 3 遗传算法收敛过程

Fig.3 Convergence process of genetic algorithm

采用遗传算法求得的最优装载方案见表 4。可得计算结果，1-1 型轿运车需要数量为 26；1-2 型轿运车需要数量为 5；数量合计为 31。

表 4 遗传算法装载方案
Tab.4 Loading scheme by genetic algorithm

满载方式 序号	I 型车 数量		II 型车 数量		III 型车数量 下层	装载方案 车型数量	装载率/%
	上层	下层	上层	下层			
1	0	0	5	0	4	9	98.67
2	0	1	5	0	3	0	98.62
3	4	0	0	0	4	0	99.37
4	4	1	0	0	3	1-1 1	99.32
5	4	2	0	0	2	1	99.26
6	4	3	0	0	1	1	99.21
7	4	4	0	0	0	14	99.16
8	4	0	8	0	5	0	99.05
9	4	1	8	0	4	1-2 0	99.03
10	4	1	8	4	1		99.95
11	4	2	8	4	0		99.92

3.4 装载方案最优解的验证

为验证遗传算法求解结果的正确性，采用枚举法对所有可能解进行了逐一检验，求解出的全局最优方案见表 5。由计算结果可得，1-1 型轿运车需要数量为 26，1-2 型轿运车需要数量为 5，数量合计为 31。

表 5 枚举法最优装载方案
Tab.5 Optimal loading scheme by enumeration method

满载方式 序号	I 型车 数量		II 型车 数量		III 型车数量 下层	装载方案 车型数量	装载率/%
	上层	下层	上层	下层			
1	0	0	5	0	4	5	98.67
2	0	1	5	0	3	4	98.62
3	4	0	0	0	4	0	99.37
4	4	1	0	0	3	1-1 0	99.32
5	4	2	0	0	2	0	99.26
6	4	3	0	0	1	7	99.21
7	4	4	0	0	0	10	99.16
8	4	0	8	0	5	0	99.0
9	4	1	8	0	4	1-2 0	99.03
10	4	1	8	4	1		99.95
11	4	2	8	4	0		99.92

对比表 4 和表 5 可知，采用遗传算法求解的轿运车装载方案最优解与用枚举法求得的全局最优解相近：使用的 1-1 型轿运车数量都是 26 辆；使用的 1-2 型轿运车均为装载方式 11，且数量都是 5

辆;轿运车总数量都是 31 辆。不同之处在于 1-1 型轿运车的详细装载方式不同:遗传算法主要采用了装载方式 1, 4, 5, 6, 7, 数量分别为 9, 1, 1, 1, 14 辆;枚举法主要采用了装载方式 1, 2, 6, 7, 数量分别为 5, 4, 7, 10 辆。

从运算速度来看,采用枚举法程序运行 10 次,平均运行时间为 847.586 s,大约 14 min,其计算结果稳定为最优解 31 辆。在同样数据和运行环境情况下,使用遗传算法程序平均运行时间 4.215 s,仅为枚举法计算时间 847.586 s 的 1/200 左右,具体情况见表 6。在 10 次运算中,有 8 次运行结果与枚举法运行结果相同,有 2 次运行结果与枚举法结果有偏差,不过偏差数量只有 1 辆,在可接受范围之内。即遗传算法大大缩短了模型求解时间,并且能最大程度的接近问题的最优解或近似最优解。

表 6 枚举法和遗传算法结果比较

Tab.6 Comparison of enumeration method and genetic algorithm results

运行次数 序号	枚举法		遗传算法	
	运行时间/s	最优解/辆	运行时间/s	最优解/辆
1	820.653	31	4.307	31
2	857.880	31	4.280	31
3	839.144	31	4.324	31
4	850.788	31	4.249	32
5	843.399	31	4.235	31
6	860.856	31	4.195	32
7	867.543	31	4.098	31
8	850.908	31	4.101	31
9	843.319	31	4.260	31
10	841.365	31	4.099	31
平均值	847.586	—	4.215	—

4 整车物流装载系统的开发

使用 Matlab 软件进行 GUI 用户界面设计,编写整车物流装载优化系统用户程序。用户可以通过下拉框选择 3 种乘用车类型,在选择车型下拉框下面文本框可以显示车型信息,包括该车型的车长、车宽和车高。

计算结果的统计见图 4,可显示最优计算方案、运行时间等。计算得出的详细装载方案,表格中最后一列表示该种载在方案的使用数量,下方显示结果汇总见图 5。遗传算法计算过程,可显示遗传算

法收敛过程图,以查看运行结果稳定性见图 6。



图 4 计算完成

Fig.4 Calculation completed



图 5 查看结果

Fig.5 View results

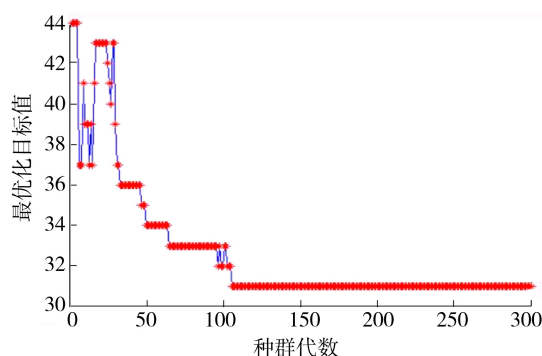


图 6 计算过程

Fig.6 Calculation process

5 结语

通过分析整车物流装载过程,建立了整车物流中轿运车装载方案的数学模型。采用改进遗传算法对模型进行求解,并进行了验证。结果表明采用改进遗传算法大大缩短了模型求解时间,并且能最大程度的接近问题的最优解或近似最优解。借助 Matlab 工具开发了整车物流运输调度系统,实现了配载方案的优化。后续考虑增加运输车型,改进模型并完善系统,以适应更加复杂的整车物流运输模式^[11-15]。

参考文献:

- [1] 覃亮, 王志成, 孟磊, 等. 整车物流中轿运车装载方案优化研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(8): 1868—1874.
QIN Liang, WANG Zhi-cheng, MENG Lei, et al. Study on Optimization of Loading Plan in Car Carrier of Vehicle Logistics Transportation[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(8): 1868—1874.
- [2] 吴虎胜, 张凤鸣, 赵法利. 利用自适应混合遗传算法求解平车装载问题[J]. 铁道学报, 2013, 35(12): 1—8.
WU Hu-sheng, ZHANG Feng-ming, ZHAO Fa-li. Solution of Flatcars Loading Problems Based on Adaptive Hybrid Genetic Algorithm [J]. Journal of the China Railway Science, 2013, 35(12): 1—8.
- [3] 杨广全, 李玉坤, 刘飞. 基于遗传算法的集装箱装车配载方案的优化[J]. 中国铁道科学, 2014, 35(6): 124—130.
YANG Guang-quan, MA Yu-kun, LIU Fei. GA-based Matching Scheme Optimization for Container Loading onto Railway Vehicle[J]. China Railway Science, 2014, 35(6): 124—130.
- [4] 徐佳毅. 建立整车物流装运模型及最优算法的应用研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
XU Jia-yi. Application Research on the Establishment of Vehicle Logistics Shipping Model and Optimal Algorithm[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [5] 钱丹. 第三方整车物流配载优化建模及算法研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
QIAN Dan. Research on third Party Automobile Logistics Loading Optimization Model and Algorithm[D]. Nanchang: Nanchang University, 2015.
- [6] 高忠生, 符祖峰. 基于交互式算法的物流厢式货车配载、配送联合优化[J]. 物流技术, 2014, 33(5): 224—226.
GAO Zhong-sheng, FU Zu-feng. Joint Optimization of Loading and Distribution of Logistics Vans Based on Interactive Algorithm[J]. Logistics Technology, 2014, 33(5): 224—226.
- [7] 刘瑞瑞. 基于遗传模拟退火算法的三维离线装箱优化问题研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
LIU Rui-rui. Research on 3D Offline Bin Packing Optimization Based on Genetic Simulated Annealing Algorithm[D]. Changchun: Jilin University, 2014.
- [8] 祝慧灵, 计明军. 集装箱船舶全航线配载优化模型与改进遗传算法[J]. 交通运输工程学报, 2014(5): 59—67.
ZHU Hui-ling, JI Ming-jun. Optimal Model and Improved Genetic Algorithm of Containership Stowage on Full Route[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014(5): 59—67.
- [9] 郭玉华, 陈治亚, 汤波, 等. 多车多件货物装载布局优化模型与算法[J]. 中国铁道科学, 2011, 32(3): 111—116.
GUO Yu-hua, CHEN Zhi-ya, TANG Bo, et al. Optimization Model and Algorithms for Loading and Packing Multiple-category Freight into Multi-vehicle[J]. China Railway Science, 2011, 32(3): 111—116.
- [10] 井祥鹤, 周献中, 徐延勇. 多型号平车装载问题的混合遗传算法[J]. 铁道学报, 2006, 28(6): 10—15.
JING Xiang-he, ZHOU Xian-zhong, XU Yan-yong. A Hybrid Genetic Algorithms for the Loading Problem of Multiple-Type Flatcars[J]. Journal of the China Railway Science, 2006, 28(6): 10—15.
- [11] TIERNEY K, PACINO D, JENSEN R M. On the Complexity of Container Stowage Planning Problems[J]. Discrete Applied Mathematics, 2014, 169(2): 225—330.
- [12] 黄安琪, 刘静华, 王田苗, 等. 小范围物流系统运输设备的创新研究[J]. 包装工程, 2015, 36(16): 104—106.
HUANG An-qi, LIU Jing-hua, WANG Tian-miao, et al. Innovative Study on the Transportation Equipment for Logistics Systems within a Small Area[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(16): 104—106.
- [13] 倪卫涛. 面向智能物流环境的运输包装系统研究[J]. 包装工程, 2014, 35(23): 33—36.
NI Wei-tao. Transport Packaging System Oriented to Intelligent Logistics Environment[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(23): 33—36.
- [14] 田学, 朱恩文, 任涛, 等. 乘用车物流运输装载模型研究[J]. 数学的实践与认识, 2015(15): 101—112.
TIAN Xue, ZHU En-wen, REN Tao, et al. Research on Logistics Transportation Loading Model of Passenger Vehicles[J]. Mathematics In Practice and Theory, 2015(15): 101—112.
- [15] 尹雄. 货运物流运输网络中的配送装载业务优化[J]. 物流技术, 2014(24): 57—61.
YIN Xiong. Optimization of Distribution and Loading Service in Freight Transportation Network[J]. Logistics Technology, 2014(24): 57—61.