

整车物流的任务规划模型和算法

张雪婷¹,陈英武¹,王琦²,周浩¹,葛冰峰¹

(1.国防科学技术大学 信息系统与管理学院,湖南长沙,410073;

2.95972 部队,甘肃酒泉,735018)

摘要:针对不同规格轿运车对不同规格乘用车进行整车运输的物流规划问题,采用逐层递进的分析方法,对两种情形进行规划。首先,考虑点对点规划问题,基于规划单元对少量乘用车和少量轿运车进行整数规划建模;其次,针对多种车辆类型的复杂情形,通过两阶段法进行求解,即在整数规划的基础上对冗余车辆使用贪禁算法进行求解。建立了通用模型和算法,可为不同复杂度情形下整车物流问题提供良好的装载方案。实例结果得到近似最优解,各类轿运车使用率均达到了90%以上,平均使用率为97.91%。

中图分类号: O 221.4 **文献标志码:** A

1 引言

随着经济发展,汽车需求量大幅增加,而中国具有广阔的地理幅员和复杂的公路网络,需要乘用车生产厂家根据全国客户的购车订单,向物流公司下达到全国各地的运输计划^[1-2]。随着国内外汽车产业竞争加剧,乘用车整车物流(Finished Vehicle Logistics, FVL)作为第三利润来源正在变得越来越重要^[3]。

整车物流行业受市场影响大、变化性强,轿运车成本高、数量少,运输受长度、高度、重量等限制,使建模难度加大^[4-5]。目前很多物流公司面对复杂运输任务时仍以人工操作为主,效率低、成本高^[6]。理论上,关于整车物流装车问题的研究不多,Pillac 等人^[7]提出在事件驱动框架下利用预知变化产生动态车辆路径,可以解决具有动态随机需求的车辆约束问题。Lin 等人^[8]对比分析了模拟退火、禁忌搜索等算法在 CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) 问题上的求解效果。Novoa 等人^[9]讨论了单车辆动态随机的路径优化算法,并利用蒙特卡洛仿真模拟的成本来评估各算法的优劣。然而,整车物流虽隶属整数规划问题,但并非传统背包问题,因不只一个背包(轿运车),且背包类型不同,并且装包约束为多维约束,故难以用成熟算法求解。

收稿日期: 一年一月一日; **修回日期:** 一年一月一日

基金项目: 国家自然科学基金重点基金项目(71331008)

国家自然科学基金项目(71201168)。

作者简介: 张雪婷(1992-),女,(汉族),陕西渭南人,国防科学技术大学信息系统与管理学院,硕士研究生,研究方向:系统规划与管理决策

本文重点研究整车物流中的装车问题,在不考虑路径约束的情况下,采用基于分割理论^[10]的单层拼凑规划建模,快速得到近似全局最优解;针对多种类乘用车的运输规划问题采取两阶段法进行规划,先进行“最大半车装载”的初规划,再对遗留的“散车拼装”问题采用贪禁算法^[11]进行求解,具有良好的实用性和逻辑严密性。

2 问题描述

整车物流是在复杂约束条件下的整数规划问题,需构建合理有效的整数规划模型。为方便运输不同车辆,国内轿运车根据其装载方式主要分为1-1型,1-2型,2-2型轿运车^[12],其装载要求为:

(1) 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;

(2) 相邻乘车间纵、横向均保持安全车距 D ;

(3) 1-1型轿运车两层均装载1列乘用车,1-2型轿运车上层装载2列、下层装载1列乘用车,2-2型两层均装载2列乘用车;

(4) 高度超过1.7米的乘用车只能装在1-1、1-2型下层;

(5) 下层尽量装满,上层两列尽量对称。

为追求效益最大化,优化目标是成本最小:

(1) 轿运车使用数量越少成本越低;

(2) 同种轿运车中,1-1型轿运车的使用成本较低,2-2型较高,1-2型略低于前两者的平均值,即

$$\text{cost}_{1-1} < \text{cost}_{1-2} < \frac{\text{cost}_{1-1} + \text{cost}_{2-2}}{2} < \text{cost}_{2-2} \quad (1)$$

3 少量乘用车物流整数规划模型

乘用车种类较少时,搭配排放方式较少,可采用全局优化方法进行求解,即将单层轿运车看成一

个整体，对其进行最大化装载，得到的一种装载方案为一个单层拼凑方案，规划时采用某方案的数目为决策变量。此方法进行整数规划称作单层拼凑规划。

3.1 输入条件和符号说明

需要运输 I 型乘用车 N_I 辆、II 型乘用车 N_{II} 辆，本节采用单层拼凑计划，其核心思想是对每层进行单排规划，由于轿运车每层只有 1 排、2 排两种情况，所以这里只考虑两种轿运车，1-1 型轿运车 Y_{1-1} 辆，1-2 型轿运车 Y_{1-2} 辆，其规划思想已涵盖各类轿运车情形。

表 1 对 1-1 型轿运车符号意义进行说明，1-2 型轿运车同理。

表 1 模型中有关 1-1 型轿运车的符号意义

符号	符号意义
$Q_{1-1,U}$	1-1 型轿运车上层有 $Q_{1-1,U}$ 种单层拼凑方案
$Q_{1-1,D}$	1-1 型轿运车下层有 $Q_{1-1,D}$ 种单层拼凑方案
$x_{1-1,U}(q)$	共用 $x_{1-1,U}(q)$ 个第 q 种上层方案
$x_{1-1,D}(q)$	共用 $x_{1-1,D}(q)$ 个第 q 种下层方案
$n_{1-1,U}^I(q)$	第 q 种方案轿运车上层装 I 型车数量
$n_{1-1,U}^{II}(q)$	第 q 种方案轿运车上层装 II 型车数量
$n_{1-1,D}^I(q)$	第 q 种方案轿运车下层装 I 型车数量
$n_{1-1,D}^{II}(q)$	第 q 种方案轿运车下层装 II 型车数量
$n_{1-2,U,L}^I(q)$	第 q 种方案 1-2 型轿运车上层两排装载 I 型轿运车的数量
$n_{1-2,U,R}^I(q)$	
$n_{1-2,U,L}^{II}(q)$	第 q 种方案 1-2 型轿运车上层两排装载 II 型轿运车的数量
$n_{1-2,U,R}^{II}(q)$	

3.2 约束条件

(1) 需求约束，即满载装载的乘用车总数要能够满足对该乘用车的需求。

$$\sum_{q=1}^{Q_{1-1,U}} x_{1-1,U}(q) n_{1-1,U}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-1,D}} x_{1-1,D}(q) n_{1-1,D}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q) n_{1-2,U}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) n_{1-2,D}^I(q) \geq N_I \quad (2)$$

$$\sum_{q=1}^{Q_{1-1,U}} x_{1-1,U}(q) n_{1-1,U}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-1,D}} x_{1-1,D}(q) n_{1-1,D}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q) n_{1-2,U}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) n_{1-2,D}^{II}(q) \geq N_{II} \quad (3)$$

(2) 整数约束，即每一个单层装载的乘用车数量均为非负整数。

$$x_{1-1,U}(q), x_{1-1,D}(q), x_{1-2,U}(q), x_{1-2,D}(q) \geq 0 \quad (4)$$

(3) 下层尽量装满：由于本模型是以整层车为装载单元，则只要满足下层的总数量不小于上层的总数量即可。

$$\begin{cases} \sum_{q=1}^{Q_{1-1,U}} x_{1-1,U}(q) \leq \sum_{q=1}^{Q_{1-1,D}} x_{1-1,D}(q) \\ \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q) \leq \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) \end{cases} \quad (5)$$

(4) 轿运车数量约束

$$\begin{cases} \sum_{q=1}^{Q_{1-1,D}} x_{1-1,D}(q) \leq Y_{1-1} \\ \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) \leq Y_{1-2} \end{cases} \quad (6)$$

由于需满足“下层优先满装”原则，故可用 1-1 型轿运车下层的总数表示 1-1 型轿运车的数量，用 1-2 型轿运车下层的总数表示 1-2 型轿运车的数量。

(5) 上层两列尽量对称：当上层两列乘用车之间装载总车长的差小于最短乘用车长时，即认为基本对称。

$$\left| \left[n_{1-2,U,L}^I(q) \cdot l_I + n_{1-2,U,L}^{II}(q) \cdot l_{II} \right] - \left[n_{1-2,U,R}^I(q) \cdot l_I + n_{1-2,U,R}^{II}(q) \cdot l_{II} \right] \right| < \min(l_I, l_{II}), q=1, 2, \dots, Q_{1-2,U} \quad (7)$$

式中， $n_{1-2,U,L}^I(q)$ 、 $n_{1-2,U,R}^I(q)$ 分别表示 1-2 型轿

运车上层两排装载 I 型轿运车的数量； $n_{1-2,U,L}^{II}(q)$ 、

$n_{1-2,U,R}^{II}(q)$ 分别表示 1-2 型轿运车上层两排装载 II 型轿运车的数量。

3.3 优化目标

优化目标为成本最低，目标函数为轿运车运输成本，即：

$$\min C = c_{11} \cdot \sum_{q=1}^{Q_{1-1,D}} x_{1-1,D}(q) + c_{12} \cdot \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) \quad (8)$$

其中， c_{11} 、 c_{12} 分别表示一辆 1-1 型、1-2 型轿运车成本。

3.4 整数规划模型

求解过程中，先根据约束条件穷举所有单层拼凑方案，然后按照规划模型求解每一个单层拼凑方案的数目。其整车物流规划模型如式 9 所示。

$$\min C = c_{11} \cdot \sum_{q=1}^{Q_{1,D}} x_{1-1,D}(q) + c_{12} \cdot \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q)$$

S.t.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{q=1}^{Q_{1,U}} x_{1-1,U}(q)n_{1-1,U}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1,D}} x_{1-1,D}(q)n_{1-1,D}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q)n_{1-2,U}^I(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q)n_{1-2,D}^I(q) \geq N_I \\ \sum_{q=1}^{Q_{1,U}} x_{1-1,U}(q)n_{1-1,U}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1,D}} x_{1-1,D}(q)n_{1-1,D}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q)n_{1-2,U}^{II}(q) + \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q)n_{1-2,D}^{II}(q) \geq N_{II} \\ x_{1-1,U}(q), x_{1-1,D}(q), x_{1-2,U}(q), x_{1-2,D}(q) \in N \\ \sum_{q=1}^{Q_{1,U}} x_{1-1,U}(q) \leq \sum_{q=1}^{Q_{1,D}} x_{1-1,D}(q) \\ \sum_{q=1}^{Q_{1-2,U}} x_{1-2,U}(q) \leq \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) \\ \sum_{q=1}^{Q_{1,D}} x_{1-1,D}(q) \leq Y_{1-1} \\ \sum_{q=1}^{Q_{1-2,D}} x_{1-2,D}(q) \leq Y_{1-2} \\ \left[\left[n_{1-2,U,L}^I(q) \cdot l_1 + n_{1-2,U,L}^{II}(q) \cdot l_{II} \right] - \left[n_{1-2,U,R}^I(q) \cdot l_1 + n_{1-2,U,R}^{II}(q) \cdot l_{II} \right] \right] < \min(l_1, l_{II}), q = 1, 2, \dots, Q_{1-2,U} \end{array} \right. \quad (9)$$

4 多种乘用车物流规划贪婪算法

$$\Delta c = \bar{c} \cdot \Delta S \quad (11)$$

当乘用车规格较多时，采用上述算法运算量大幅增加。这时，可分两阶段处理。第一阶段每辆轿运车装载同种乘用车，对不能满载的冗余车辆进行第二阶段的半车拼装，即采用贪婪算法进行近似最优解的求解。

目标函数值 z 为：

$$Z = a \cdot \bar{c} + b \cdot \Delta c \quad (12)$$

其中， a 、 b 为加权值。

以长为 L ，宽为 W 的 1-1 型轿运车为例，若其某一层装了 $K(K \geq 2)$ 种乘用车，第 k 种轿运车装了 n_k 辆，该车车长为 l_k ，则该车的冗余面积 ΔS 为：

$$\Delta S = \left(L - \sum_{k=1}^K n_k l_k \right) \cdot W \quad (13)$$

首先进行优先级排序。优先考虑有特殊要求的乘用车，避免后期的选择局限性：

在进行贪婪算法的过程中，必须要在一定的约束条件下进行贪婪选择。

(1) 高度高于阈值的乘用车优先级高；

(2) 宽度小于阈值，即能够双排运输的乘用车优先级高；

(3) 车长越长的，优先级越高。

(1) 组合装载的车辆小于轿运车长度：

设第一阶段模型处理之后对 M 种乘用车的需求量分别为 $N_{d1}, N_{d2}, \dots, N_{dM}$ ，还剩余的 P 种轿运车数量分别为 $y_{r1}, y_{r2}, \dots, y_{rP}$ 。

$$L - \sum_{k=1}^K n_k l_k \geq 0 \quad (14)$$

贪婪算法，即找到一个乘用车组合使得它们按一定的比例装入某一轿运车时，存在最小目标函数值，目标函数值 z 为轿运车单位面积成本 \bar{c} 与满载时冗余面积成本 Δc 的加权和。

(2) 组合乘用车数量不多于需求量，其中， ΔN_k 表示第 k 种乘用车还需运 ΔN_k 辆：

$$n_k \leq \Delta N_k \quad (15)$$

定义 \bar{c} 为轿运车平均单位面积成本，即轿运车平均成本除以该车装载面积。其中 c 为轿运车平均运输成本， L 为轿运车车长， W 为轿运车车宽。

贪婪算法的具体步骤如下：

Step(1): 将乘用车类型按优先级排序；

Step(2): 在某一城市根据优先级从高到低的顺序，将优先级最高的所有乘用车选定，穷举其余乘用车与其组合的方案；

$$\bar{c} = \frac{c}{L \cdot W} \quad (10)$$

Step(3): 对每一个方案进行算法的约束验证和目标函数计算；

Δc 为冗余面积成本， ΔS 为轿运车没有装载乘用车部分的面积，即冗余面积。

Step(4): 按照目标函数值最小的规则进行贪婪选择乘用车；

Step(5): 将装好的轿运车发往目的地;

Step(6): 判断乘用车是否有剩余, 没有剩余就结束, 否则返回 Step(2)。

其流程图如图 1 所示:

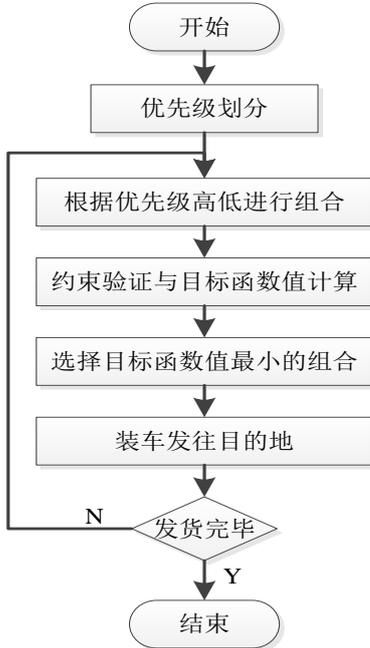


图 1 贪婪算法流程图

5 示例

测试样例中的 45 种乘用车规格来自 <http://www.pcauto.com.cn/>, 乘用车的需求数量由 0-50 之间的整数随机生成。装载要求如下: 共有三种轿运车(表 2 所示), 各列乘用车纵向摆放, 相邻乘用车之间纵向及横向的安全车距至少为 0.1 米, 下层力争装满, 上层两列力求对称, 高度超过 1.7 米的乘用车只能装在 1-1、1-2 型轿运车的下层。

表 2 三种轿运车规格

轿运车型	长度(mm)	上层宽度(mm)	下层宽度(mm)
1-1	1900	2700	2700
1-2	2430	3500	2700
2-2	1900	3500	3500

经历第一阶段的整车拼装规划后, 大部分的车辆都已经完成了规划, 剩余的需求量以及具体规格如表 3 所示。

对剩余的车辆采用基于贪婪算法的两阶段规划法进行运算, 得到三种类型的轿运车运输装载方案, 以及乘用车和它们上之间的安全距离所占用的总长度(如表 4 所示)。

表 3 乘用车规格与经过第一阶段运输后目的地剩余的需求数

乘用车编号	车型名称	长度(mm)	宽度(mm)	高度(mm)	剩余需求量	乘用车编号	车型名称	长度(mm)	宽度(mm)	高度(mm)	剩余需求量
1	五菱扬光	3820	1495	1860	2	24	标致 307	4212	1712	1531	1
2	路宝	3588	1563	1533	2	25	帕萨特	4789	1713	1470	2
3	夏利两厢	3745	1615	1385	2	26	瑞虎	4285	1714	1715	2
4	派力奥	3763	1615	1440	3	27	帅威	4590	1715	1767	2
5	F0	3460	1618	1465	1	28	领航者	4800	1716	1880	2
6	QQ6	3998	1640	1535	2	29	F8	4490	1717	1405	1
7	自由舰	4194	1680	1440	4	30	马自达 6	4670	1718	1435	3
8	威志三厢	4245	1680	1500	1	31	科鲁兹	4603	1719	1480	2
9	利亚纳	4230	1690	1550	1	32	皇冠	4855	1720	1480	0
10	骏逸	4420	1690	1590	3	33	天籁	4930	1721	1475	2
11	CITY 锋范	4400	1695	1470	2	34	尊驰	4880	1722	1450	0
12	雅绅特	4310	1695	1480	2	35	志翔	4600	1723	1475	1
13	马自达 2	4270	1695	1480	0	36	江淮宾悦	4865	1724	1450	2
14	得利卡	4945	1695	1970	0	37	325i	4531	1725	1421	3
15	桑塔纳	4687	1700	1450	2	38	索纳塔	4747	1726	1440	2
16	嘉誉	4574	1704	1845	3	39	大切诺基	4610	1727	1763	3
17	福美来	4466	1705	1410	1	40	福克斯	4480	1728	1500	0
18	凯越	4580	1706	1460	0	41	雅阁	4945	1729	1480	2
19	赛拉图	4350	1707	1470	2	42	奥迪 A6	5035	1730	1485	2
20	朗逸	4608	1708	1465	3	43	克莱斯勒	5015	1731	1475	0
21	思域	4500	1709	1450	1	44	华翔驭虎	5160	1732	1870	2
22	天语 SX4	3735	1710	1605	1	45	红旗豪华	6831	1733	1478	1
23	速腾	4544	1711	1464	3						

表 4 针对 A 点运输的轿运车装载方案

轿运车类型	乘用车编号	总长	
2-2 型	下第一排	15,15,10,10	18514
	下第二排	10,11,11,12	17830
	上第一排	12,13,8,9	17355
	上第二排	7,5,2,2,4	18993
1-1 型	下	14,31,16,16	18996
	上	42,42,36,4	18998
1-1 型	下	45,26,1,4	18998
	上	41,25,21,17	19000
1-1 型	下	44,28,23,7	18998
	上	41,25,38,24	18093
1-1 型	下	44,28,23,7	18098
	上	33,33,29,19	19000
1-1 型	下	36,39,39,39	18995
	上	32,32,20,19	18968
1-1 型	下	27,27,16,37	18585
	上	38,30,30,20	18995
1-1 型	下	37,37,26,6	17645
	上	30,20,31,35	18781
1-1 型	下	6,1,3,3	15608
	上	22	3735

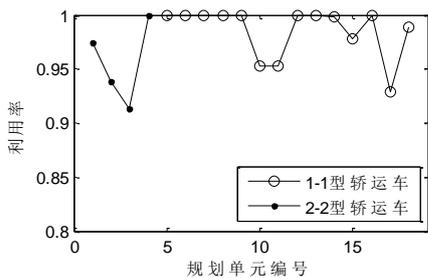


图 2 轿运车装载使用率

拼装的轿运车中只有最后一辆 1-1 型轿运车冗余量较大，其余轿运车均几乎装满，共计 2-2 型轿运车 1 辆，1-1 型轿运车 8 辆，总共有 20 排。由于算法的不断进行，需要装载运输的乘用车越来越少，已经没有能够与轿运车很好匹配的乘用车组，所以最后一辆或者两辆轿运车的冗余会比较大。前 18 排的轿运车使用率如图 2 所示。

图 2 中各类轿运车的使用率均达到了 90% 以上，平均使用率为 97.91%。随着贪婪算法的进行，使用率会急剧下降，这是因为剩余乘用车的数目在不断减小，匹配难度加大，能够高效匹配的乘用车数目在减少。目标函数为最低成本，而运输成本与轿运车使用率之间存在依赖关系，轿运车使用率越高，运输成本越小。

单层拼凑方案可较好的解决乘用车数量远大于轿运车单位载货量的问题，因为在这种情形下进行

封装和打包是可行的。贪婪算法对多种乘用车拼车装载时候的整数规划问题进行求解，可得到较优的结果。

6 结束语

本文考虑整车物流中的装车问题，对乘用车装载问题进行基于分割理论的规划单元整数规划建模；再对多规格乘用车情形采用两阶段法进行求解，第一阶段采用整数规划方法，第二阶段对冗余车辆使用贪婪算法进行规划。方法具有一定的承接性、通用性和创新性，在追求近似最优解的前提之下，更注重模型构建和算法设计，为解决现实整车运输问题提供了良好解决方案，可有效改进人工经验调度模式，加速实现现代物流的精细化和科技化发展。

参考文献 (References)

- [1] Hu Z H, Zhao Y, Tao S. Finished-vehicle Transporter Routing Problem Solved by Loading Pattern Discovery[J]. Annals of Operations Research, 2015, 1(11):1-20.
- [2] 吴保峰, 刘仲英. 我国整车物流发展趋势及资源整合问题研究[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 367-371.
- [3] Ferrucci F, Bock S, Gendreau M. A Pro-active Real-time Control Approach for Dynamic Vehicle Routing Problems Dealing with The Delivery of Urgent Goods[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(1): 130-141.
- [4] Chen L, Hà M H, Langevin A, et al. Optimizing Road Network Daily Maintenance Operations with Stochastic Service and Travel Times[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 64: 88-102.
- [5] Gribkovskaia I, Laporte G, Shlopak A. A Tabu Search Heuristic for A Routing Problem Arising in Servicing of Offshore Oil and Gas Platforms[J]. Journal of the Operational Research Society, 2008, 59(11): 1449-1459.
- [6] 叶青, 金隼, 王华, 等. 汽车运输车虚拟装载仿真系统关键技术研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 2342-2345.
- [7] Pillac V, Guétet C, Medaglia A L. An Event-driven Optimization Framework for Dynamic Vehicle Routing[J]. Decision Support Systems, 2012, 54(1): 414-423.
- [8] Novoa C, Storer R. An Approximate Dynamic Programming Approach for The Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands[J]. European Journal of Operational Research, 2009, 196(2): 509-515.
- [9] Dethloff J. Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up[J]. OR-Spektrum, 2001, 23(1): 79-96.
- [10] Zhang K, Yuan C M, Gao X S, et al. A Greedy Algorithm for Feedrate Planning of CNC Machines Along Curved Tool Paths with Confined Jerk [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2012, 28(4): 472-483.
- [11] 傅少川, 胡梦飞, 唐方成, 禁忌搜索算法在单分配多枢纽辐射式物流网络中的应用[J]. 中国管理科学, 2012, 20(3), 145-151
- [12] Azi N, Gendreau M, Potvin J Y. A Dynamic Vehicle Routing Problem with Multiple Delivery Routes[J]. Annals of Operations Research, 2012, 199(1): 103-112.

Planning Model and Algorithm for Finished Vehicle Logistics

ZHANG Xueting¹, CHEN Yingwu¹, WANG Qi², ZHOU Hao¹, GE Bingfeng¹

(1. College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410073, Hunan, China; 2. Army 95972, Jiuquan 735018, Gansu, China)

Abstract : Aiming at planning the finished vehicle logistics of cars and car transporters of different specifications, this paper studied the planning methodology for two kinds of situations in sequence. More specifically, in consideration of the point to point planning problem, a planning unit based on integer programming model was first proposed for a small amount of vehicles and car transporters. Then, with regard to the more complex condition of various vehicles, a two-phase method was presented, in which the foregoing integer programming was succeeded by greedy algorithm to arrange the remaining vehicles. This paper proposed a general integer programming model and methodology for finished vehicle logistics in complicated cases, while the approximate optimal solution of experiment indicates that all kinds of car transporters utilization rates reach above 90%, and the average utilization rate is 97.91%.

Key words : finished vehicle logistics; integer programming; greedy algorithm; segmentation theory