多车型冷链物流配送车辆的路径优化

孙国华[1]，屈冉冉[2]

（1.山东财经大学 管理科学与工程学院，山东 济南　250014；
2.天津大学 管理与经济学部，天津　300072）

摘　要：针对冷链物流配送系统中存在运输成本和载重量不同的多种车型的情形，通过构建整数规划模型分析了冷链物流配送车辆路径优化问题。由于配送车辆路径优化问题是典型的 NP-hard 问题，精确算法无法在短时间内求得大规模问题的最优解，因此提出了基于大车优先原则与基于满载优先原则的遗传算法。通过与基于两种原则的 C-W 节约算法进行对比，发现基于两种原则的遗传算法可以在较短时间内得到平均相对误差更小的解，从而验证了算法的有效性，同时对不同原则适用的情形进行了说明。将算法应用到 H 冷链物流公司实例中，得出基于两种原则的遗传算法求得的方案所需费用更少，进一步验证了算法的有效性。

关键词：冷链物流；车辆路径优化；多车型；遗传算法

中图分类号：F252.5　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：2095-929X(2020)03-0111-09

一、引　言

冷链物流是使货物始终处于规定低温环境下，保持货物品质、减少货物损耗的一种快速物流模式[1]。近年来，我国冷链物流发展迅速，2018 年冷链物流市场规模近 3 000 亿元，预计 2020 年将达到 4 700 亿元，复合增速达 21.5%[2]。作为冷链物流的一个重要环节，冷链物流配送被认为是物流行业中的“最后一块蛋糕”。通过科学合理的优化冷链物流配送车辆路径，可以实现降低配送成本，保证冷链产品质量，提高客户满意度的目标，因此，研究冷链物流配送车辆路径优化问题具有十分重要的实践价值。

冷链物流配送是近年来的一个研究热点，研究主要集中在考虑配送时间或者客户满意度的单车型冷链物流配送车辆路径优化问题。Hsu 和 Chen[3]针对不同温度要求的食品，研究了车队规模与配送调度优化问题。Govindan 等[4]研究了易腐品供应链网络中带有时间窗的选址—车辆路径优化问题。Yu 等[5]研究了易腐食品冷链配送问题，以成本最低及满足客户对各种食品的预先质量要求为目标，对冷链食品的配送问题进行了优化建模。Zhang 和 Chen[6]以最小化运输成本为目标，研究了多种不同特性冷冻食品的共同配送问题。Song 和 Ko[7]针对易腐食品的城市配送问题，建立了非线性规划模型并设计了启发式算法。吴瑶和马祖军[8]对时变路网环境下带时间窗的易腐品生产—配送集成调度问题进行了研究，建立了混合整数规划模型，并采用混合遗传算法进行了求解。丁秋雷等[9]建立了鲜活农产品冷链物流配送的干扰管理模型，并采用混合蚁群算法进行求解，生成了使系统扰动较小的调整调度方案。以上研究通常假设采用单一车型的车辆提供配送服

基金项目：国家自然科学基金项目“基于货架空间分配的生鲜农产品供应链协调研究”（71402084）。

作者简介：孙国华，男，山东肥城人，管理学博士，山东财经大学管理科学与工程学院副教授，研究方向：物流管理。

务,这与实际中企业通常采用多种不同车型的车辆提供配送服务具有一定的差距。因此,已有研究并不完全适用于解决实际中的多车型冷链物流配送车辆路径优化问题。

目前,有关多车型混合车辆路径问题的研究已有很多成果,Brandao[10]运用禁忌搜索算法研究了多车型车辆路径优化问题。Penna 等[11]在迭代局部搜索算法中引入了变邻域下降搜索程序与随机邻域排序,并用于解决多车型车辆路径优化问题。Leung 等[12]运用带有局部搜索的模拟退火方法,求解了装载空间具有二维装载约束的多车型车辆路径优化问题。Kopfer 等[13]研究了碳排放量最小的多车型车辆路径问题,发现采用混合车型进行配送可以极大地降低碳排放量。Dominik 和 Michael[14]考虑了电动商用车和传统燃油车共存的多车型车辆路径优化问题。潘雯雯等[15]研究了需求可拆分的多车型车辆路径优化问题,提出了路径优化和路径改进相结合的两阶段算法,对建立的混合整数规划模型进行了求解。田宇等[16]对集送货一体化的多车型车辆路径问题进行了研究,并提出了一种基于多属性标签的蚁群算法。上述研究主要针对常温商品的配送,而生鲜产品的配送具有很强的时效性,因此上述研究并不完全适用于解决冷链物流配送车辆路径优化问题。

针对冷链物流配送车辆路径优化问题,本文将在考虑多种车型共存的前提下,构建整数规划模型,设计基于大车优先原则和满载优先原则的遗传算法对模型进行求解,并采用实验数据与仿真实例验证算法的有效性。

二、模型构建

(一) 问题描述

某冷链物流公司拥有一个配送中心和多种车型(载重量和运输成本不同)的车辆,并负责向区域内若干客户配送生鲜产品。配送车辆的最大载重量和配送时限已知,配送中心和客户的地理位置、客户的需求量确定。配送优化目标为:合理安排车辆配送路径,在保证满足车载容量约束、车辆数约束及车辆行驶时间约束的前提下,使得总配送费用最小。

(二)模型假设

1.配送中心库存量可满足所有客户需求;

2.配送中心有 K 种车型的冷藏车,车辆数足够完成配送任务,且车载容量大于单个客户的需求量;

3.车辆从配送中心出发,完成配送任务后返回配送中心;

4.由于生鲜产品具有很强的时效性,车辆必须在规定时限内完成配送任务;

5.客户需求不可分割,每个客户需被一辆车服务,且只能被服务一次。

(三)模型符号

1.标号

i,j :节点标号;

n :客户的个数;

k :表示第 k 种车型的车辆;

l :表示第 k 种车型的第 l 辆车。

2.模型使用参数

$G=(V,A,D)$:冷链物流配送网络;

$V=\{0\}\cup V_c$:节点集,其中 0 代表配送中心, $V_c=\{1,\ldots,n\}$ 为客户点集;

$A=\{(i,j)\mid i,j\in V,i\neq j\}$:有向弧;

K：车辆类型集；

d_{ij}：节点 i 到 j 的距离，$i,j \in V$；

$L_k = \{1,2,\ldots,M_k\}$：第 k 种车型的车辆集合，其中 M_k 为第 k 种车型的车辆数；

c_k：第 k 种车型车辆的单位运输成本；

f_k：第 k 种车型车辆的固定成本，主要包括驾驶员的工资成本和车辆折旧成本；

Q_k：第 k 种车型车辆的车载容量；

q_i：客户 i 的需求量；

t_{ij}：节点 i 到 j 的行驶时间；

s_i：客户 i 需要的服务时间；

T：车辆运行时间上限；

u_i^k：节点 i 在车辆 k 行驶路径中的位势。

3.**决策变量**

$$x_{ijl}^k = \begin{cases} 1 & \text{第 } k \text{ 种车型的第 } l \text{ 辆车从节点 } i \text{ 驶向节点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

（四）多车型冷链物流配送车辆路径优化模型构建

由以上的问题描述和假设条件，构建以运输成本最低为目标的冷链物流配送车辆路径优化模型，具体如下：

$$\min F = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V}\sum_{k\in K}\sum_{l\in K_k} c_k d_{ij} x_{ijl}^k + \sum_{k\in K}\sum_{l\in K_k} f_k x_{0jl}^k \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{i\in V}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L_k} x_{ijl}^k = 1 \quad (\forall j \in V_c) \tag{2}$$

$$\sum_{j\in V}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L_k} x_{ijl}^k = 1 \quad (\forall i \in V_c) \tag{3}$$

$$\sum_{i\in V_c} x_{ijl}^k - \sum_{i\in V_c} x_{jil}^k = 0 \quad (\forall j \in V, k \in K, l \in L_k) \tag{4}$$

$$\sum_{l\in L_k}\sum_{j\in V_c} x_{0jl}^k \leqslant M_k \quad (\forall k \in K) \tag{5}$$

$$\sum_{i\in V_c}\sum_{j\in V_c} x_{ijl}^k q_j \leqslant Q_k \quad (\forall k \in K, l \in L_k) \tag{6}$$

$$\sum_{i\in V}\sum_{\substack{j\in V \\ j\neq i}} x_{ijl}^k t_{ij} + \sum_{i\in V_c}\sum_{\substack{j\in V \\ j\neq i}} x_{ijl}^k s_i \leqslant T \quad (\forall k \in K, l \in L_k) \tag{7}$$

$$u_i^k - u_j^k + n x_{ijl}^k \leqslant n-1 \quad (\forall i,j \in V_c, i \neq j, k \in K, l \in L_k) \tag{8}$$

$$x_{ijl}^k \in \{0,1\} \quad (\forall i,j \in V, k \in K, l \in L_k) \tag{9}$$

公式(1)为目标函数，表示最小化总配送成本，其中第一部分是可变运输成本，第二部分是车辆的固定成本；式(2)和式(3)保证每个客户均被某种车型的某辆车服务一次；式(4)保证驶入客户 j 与驶出客户点 j 的是同一辆车；式(5)保证每种车型的使用数量不大于该种车型的车辆总数 M_k；式(6)保证每辆车不违反车载容量约束；式(7)保证配送车辆在规定时间内完成配送任务；式(8)保证配送路径中不包含子回路；式(9)定义了变量 x_{ijl}^k 的取值范围。

三、算法设计

车辆路径问题是经典的 NP-hard 问题，运用精确算法无法在较短时间内得到最优解，因此有必要采用智

能算法对所研究的问题进行求解。由于冷链物流配送系统存在多种车型,首先需要解决的问题就是车型选择问题。从减少车辆数降低车辆固定成本的角度,应该优先使用大车;从提高车辆利用率的角度,应该优先考虑车辆满载。因此,本文提出了大车优先和满载优先两种原则,并与遗传算法相结合对所研究的问题进行了求解。

大车优先原则:在安排车辆时,依据车载容量的大小,优先给车载容量大的车辆分配任务,在所有大车均被分配配送任务后,再考虑给车载容量小的车辆分配任务。这样做的好处是可以减少配送车辆数,降低车辆固定成本,容易实现配送的规模经济。

满载优先原则:在安排车辆时,依据客户累积需求量的大小,优先将相应的客户分配给满载率高的车型。这样做的好处是提高了车辆利用率,减少了车辆的空驶距离。

(一)编码与解码

采用基于客户直接排序的自然数编码方式编码,将配送中心设定为编号 0,各个客户按照 1,2,…, n 进行编号,自然数的排列顺序表示车辆访问客户的顺序。$popsize = N$ 表示种群中有 N 个个体。

基于大车优先的解码机制:针对每一个后代,在不违反车辆行驶时间的前提下,依据排序对客户的需求量进行累加,优先考虑是否违反未安排任务的大车的车载容量限制,如果不违反,则将客户分配给相应的大车服务,否则,重新累加,并将客户安排给车载容量小的车辆服务。重复该步骤,直至所有的客户都被纳入车辆路径中。

基于满载优先的解码机制:针对每一个后代,在不违反车辆行驶时间的前提下,依据排序对客户的需求量进行累加,优先考虑是否达到某种车型车辆车载容量的 P 比例($P \in [0.95,1]$),如果该车型有车辆未被安排配送任务,则停止累加,并将客户分配给相应的车辆服务;否则,继续累加;重复该步骤,直至所有客户被纳入车辆路径中。

(二)适应度函数设计

由于多车型冷链物流配送车辆路径优化问题以总配送费用最小为目标函数,因此取 $fitness = \frac{1}{F}$ 为适应度函数,利用其评价个体的好坏。适用度越高,说明总配送费用越小,对应的个体越好。

(三)遗传算子的设计

1.选择算子

采用适应度比例方法对个体进行选择,淘汰率为 P_s。淘汰适应度较小的个体,适应度较高的个体则直接复制到下一代,这样可以减少算法的操作个数,提高总体的运算速度。

2.交叉算子

采用部分匹配交叉策略 PMX 完成交叉操作。

(1)根据均匀随机分布产生两个基因交叉点,定义这两点之间区域为一匹配区域,如A=3 4 6 | 8 1 2 | 9 7 5,B=2 7 1 | 9 5 3 | 6 4 8。

(2)使用位置交换操作交换两个父串的匹配区域,得到:A_1=3 4 6 | 9 5 3 | 9 7 5,B_1=2 7 1 | 8 1 2 |6 4 8。

(3)对于 A_1和 B_1两个子串中匹配区域以外出现的重复节点,依据匹配区域内位置映射关系进行逐一交换。对 A_1匹配区域以外的 9、5、3 分别以 8、1、2 替换得:A_2=2 4 6 | 9 5 3 | 8 7 1,同理,B_2=3 7 5 | 8 1 2 |6 4 9。

3.变异算子

个体采用对调变异策略,通过在个体中随机选取两个变异点,将两点的基因值进行交换,其中个体变异的概率为 P_m。

(四)终止准则

采用进化代数 $gen = T$ 作为循环迭代终止的条件,如果 $gen > T$ 则算法结束,输出适应度值最高的解,否则,重复上述过程。

(五)算法步骤

遗传算法步骤如图 1 所示:

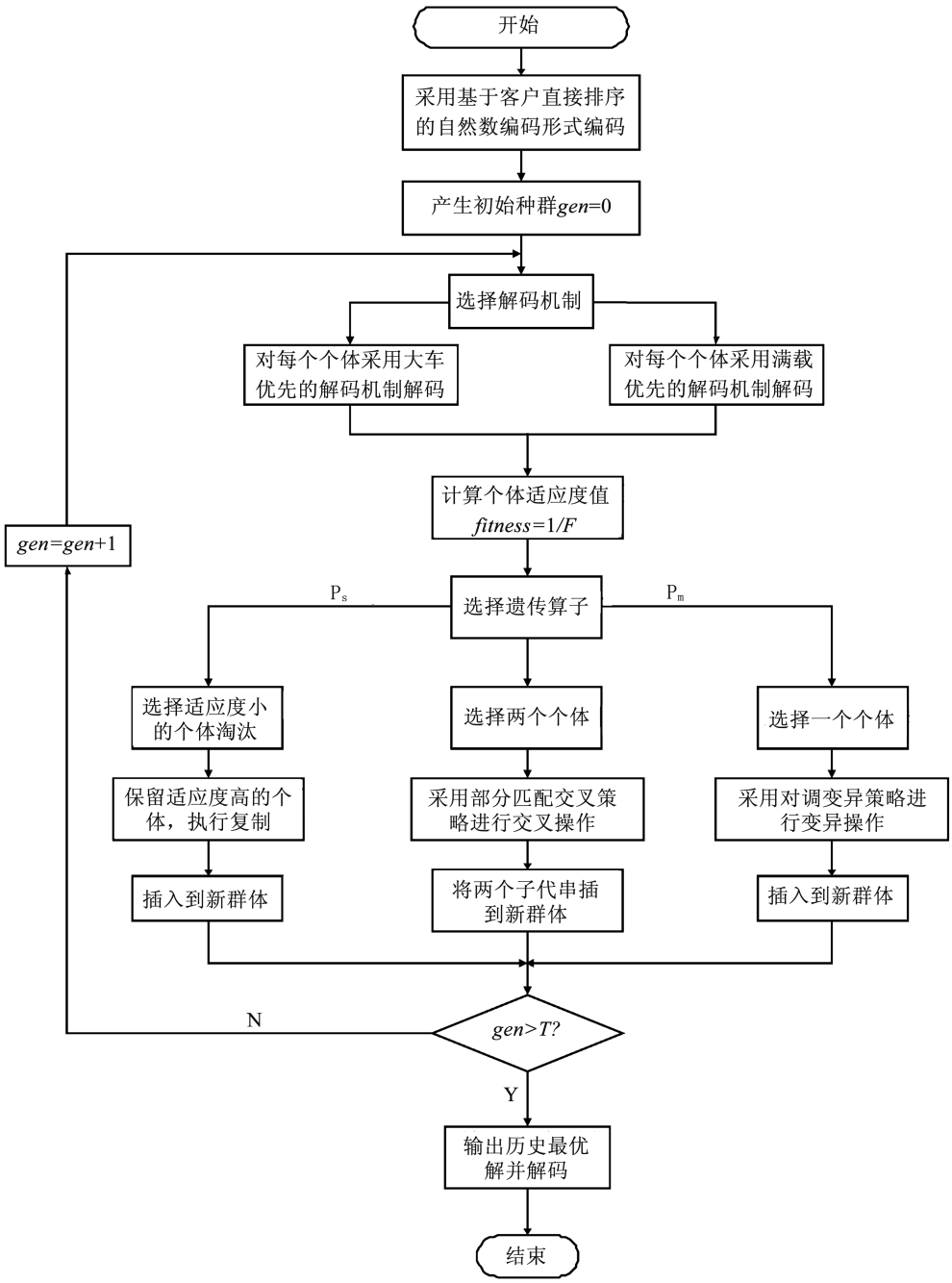


图 1　遗传算法步骤

四、实验仿真

(一)数值实验

为了验证算法的有效性,通过随机生成的算例进行了实验仿真,在 Intel(R)Core(TM)i5-6200U 2.30GHZ CPU,4GB RAM 和 64 位 Windows 7 操作系统的机器上,针对规模为 5~9 的冷链物流配送车辆路径优化问题,随机生成客户及配送中心的距离矩阵,并采用本文设计的算法各运行了 10 次。

在数值算例中,配送中心有两种车型,其固定成本分别为 f_1 和 f_2。其中,遗传算法参数设置为:$popsize = 150$, $gen = 500$, $P_s = 0.2$, $P_m = 0.3$。

仿真结果由表 1 和表 2 所示,其中表 1 给出了每种算法的平均计算时间,表 2 给出了每种算法同精确算法相比的平均相对误差(相对误差=绝对误差/最优值×100%)。

表 1　算法的平均计算时间　　单位:秒

算法	节点 5	节点 6	节点 7	节点 8	节点 9
基于大车优先的遗传算法	2.55	2.60	2.67	2.68	2.80
基于满载优先的遗传算法	2.64	3.15	3.24	3.47	3.64
基于大车优先的 C-W 节约算法	0.21	0.35	0.45	0.54	0.67
基于满载优先的 C-W 算法	0.11	0.17	0.18	0.22	0.21
精确算法	1.23	4.93	15.83	330.00	2013.17

表 2　平均相对误差

项目	算法	节点 5	节点 6	节点 7	节点 8	节点 9
f_1 和 f_2 相差较小	基于大车优先的遗传算法	0.00	0.77	1.49	2.50	2.83
	基于满载优先的遗传算法	0.28	0.86	1.62	2.70	2.84
	基于大车优先的 C-W 节约算法	4.91	6.03	8.62	13.78	13.80
	基于满载优先的 C-W 节约算法	6.26	6.70	11.04	17.04	17.71
f_1 和 f_2 相差较大	基于大车优先的遗传算法	11.40	11.63	11.79	12.74	14.72
	基于满载优先的遗传算法	6.89	7.02	8.91	9.26	10.62
	基于大车优先的 C-W 节约算法	16.56	20.06	21.69	22.10	30.21
	基于满载优先的 C-W 节约算法	10.09	16.00	16.87	17.27	17.16

由表 1 可以看出,随着节点规模的增大,精确算法所需的计算时间急剧增加,当节点数为 9 时,精确算法的计算时间已经超过 30 分钟,而 C-W 节约算法与遗传算法都可以在较短时间内求得较优解。由表 2 可以看出,不论是基于大车优先还是满载优先的原则,遗传算法求解的解整体优于 C-W 节约算法求解的解。进一步分析发现,基于大车优先原则与基于满载优先原则在不同情形下各具优势。当不同车型的车辆固定成本相差较小时,基于大车优先原则的算法求出的结果平均相对误差较小,即大车优先原则较优;当不同车型的车辆固定成本相差较大时,基于满载优先原则的算法求得的结果相对误差较小,即满载优先原则较优。说明大车优先原则适用于不同车型车辆固定成本相差较小的情形,满载优先原则适用于不同车型车辆固定成本相差较大的情形。

(二)H 物流公司仿真实例

为了进一步验证算法的有效性,利用本文设计的算法对 H 冷链物流公司的实际问题进行了求解。

1.基本数据

H 冷链物流公司是位于 B 市的一家第三方冷链物流公司,占地约 5 600 平方米,主要为市内的 37 家便利

店提供冷链物流配送服务。目前,公司自有 4.2 米与 3.5 米两种车型的厢式冷藏货车负责配送,两种车型在市区内平均运行速度均为 30 千米/小时;车辆晚上 11 点出发开始执行配送任务,次日凌晨 7 点完成配送任务返回配送中心。

配送中心和客户的位置如图 2 所示(其中 H 处为 H 物流公司位置,其他标记为便利店位置)。



图 2　配送中心和客户位置分布

车辆信息如表 3 所示。

表 3　车辆信息

车辆类型	数量(辆)	载重计量(件、包、个等)	固定成本(元)	距离成本(元/公里)	配送总时间(小时)
A	6	300	120	5	8
B	5	165	100	3	8

配送中心编号为 0,其位置经纬度为(116.354 667,39.817 295)。部分客户的位置、订单需求量、服务时间等信息如表 4 所示(客户从 1 开始编号)。

表 4　部分客户数据

客户编号	位置经度	位置纬度	需求量	卸货时间(小时)	客户编号	位置经度	位置纬度	需求量	卸货时间(小时)
1	116.320919	39.751867	4	0.0667	6	116.325119	39.850699	42	0.7000
2	116.366967	39.851380	5	0.8333	7	116.343495	39.936061	27	0.4500
3	116.421054	39.845556	21	0.3500	8	116.333036	39.898632	16	0.2667
4	116.302823	39.890557	18	0.3000	9	116.402249	39.892238	10	0.1667
5	116.328054	39.890642	103	1.7167	10	116.366339	39.934910	14	0.2333

2.车辆路径优化方案

基于上述数据,采用本文设计的算法进行了求解,具体配送路线如图 3~图 6 所示,不同配送方案的总费用如表 5 所示。

从图 3~图 6 可以看出,基于大车优先的 C-W 节约算法得到的配送方案共使用 6 辆 A 型冷藏车进行配送服务,基于满载优先的 C-W 节约算法得到的调度方案共使用 7 辆车进行配送,其中 4 辆 A 型车,3 辆 B 型

车。基于大车优先的遗传算法在第 476 代求得最优解,求得的方案需要 5 辆 A 型车;满载优先的遗传算法在第 486 代求得最优解,求得的方案需要 7 辆车进行配送,其中 3 条路线由 A 型车配送,4 条路线由 B 型车配送。不难看出,基于大车优先原则的 C-W 节约算法和遗传算法求得的配送方案分别比基于满载优先原则的 C-W 节约算法及遗传算法需要的车辆更少且费用较少。对比四个方案的运输费用可以看到,不论是基于大车优先还是满载优先的原则,遗传算法求解的解整体优于 C-W 节约算法求解的解。因此,针对这个实例,遗传算法求得的配送方案结果更优。

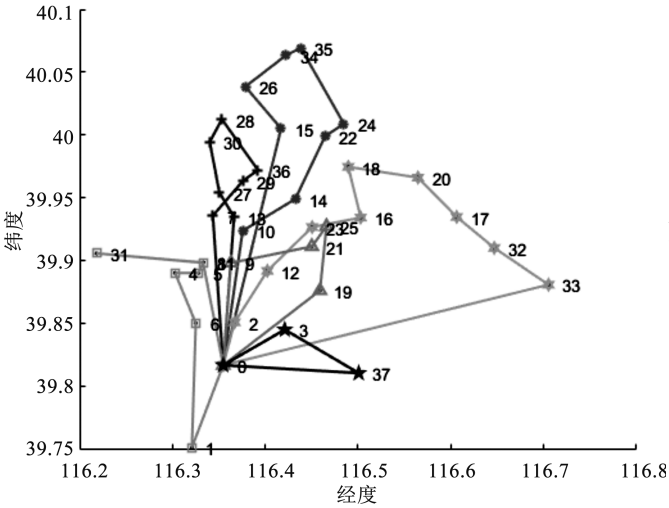


图 3　基于大车优先的 C-W 节约算法生成的配送线路

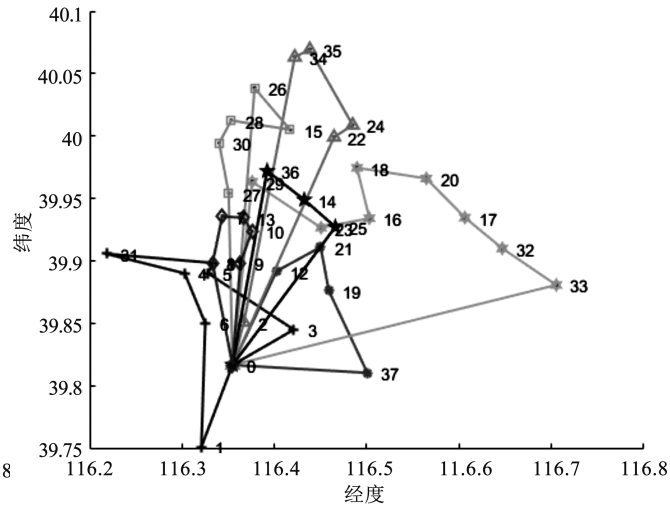


图 4　基于满载优先的 C-W 节约算法生成的配送线路

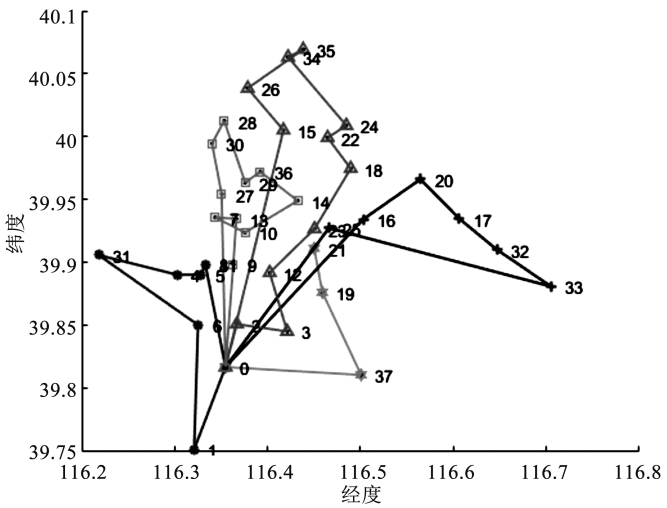


图 5　基于大车优先的遗传算法生成的配送线路

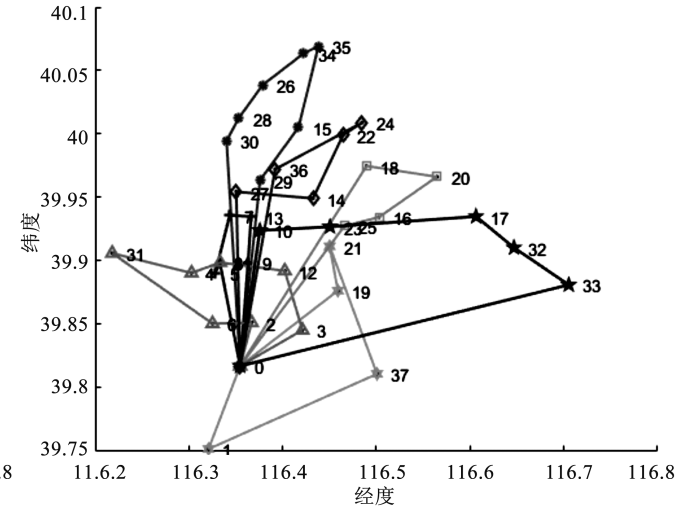


图 6　基于满载优先的 C-W 节约算法生成的配送线路

表 5　总运输费用　　单位:元

算法	大车优先原则	满载优先原则
C-W 节约算法	2745.0	2812.7
遗传算法	2497.5	2602.0

五、结　论

本文针对冷链物流配送系统中存在多种车型的情形,构建了整数规划模型研究了冷链物流配送车辆路径

优化问题。由于车辆路径问题为经典的 NP-Hard 问题,精确算法无法在短时间内得到最优解,因此设计了基于大车优先原则和满载优先原则的遗传算法对所研究的问题进行求解。为了验证算法的有效性,采用实验数据与仿真实例对算法的有效性进行了验证,并与精确算法和基于大车优先与满载优先的 C-W 节约算法进行了比较。研究发现:基于两种原则的遗传算法均可以在较短时间内得到可行解,而且相对 C-W 节约算法,可行解的相对误差更小;当不同车型车辆固定成本相差较小时,基于大车优先原则的遗传算法所得配送方案更优,当不同车型车辆固定成本相差较大时,基于满载优先原则的遗传算法所得配送方案更优。最后,将提出的算法应用于 H 冷链物流公司的实际配送中,发现基于大车优先原则和满载优先原则的遗传算法求得的配送方案比相应的 C-W 节约算法求得的方案更优,进一步验证了提出的遗传算法的有效性。

本文研究的冷链物流配送车辆路径优化问题只考虑了配送时间限制,在今后的研究中将进一步考虑制冷成本、货损成本等因素对车辆路径的影响。

参考文献:

[1]李玉鹏, 魏俊美, 王召同,等. 冷链物流"最后一公里"快速配送方法研究[J].工业技术经济, 2017 (1): 51-60.

[2]中商产业研究院.2018 年中国冷链物流市场规模预测及发展趋势分析[EB/OL].(2018-08-22)[2019-01-04]. https://baijiahao.baidu.com/s? id=1609498515892574256&wfr=spider&for=pc.

[3]HSU C I, CHEN W T. Optimizing fleet size and delivery scheduling for multi-temperature food distribution[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38:1077-1091.

[4]GOVINDAN K, JAFARIAN A, KHODAVERDI R, et al. Two-echelon multiple-vehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152: 9-28.

[5]YUH H, MU C C, CHENG L C. Distribution planning for perishable foods in cold chains with quality concerns:formulation and solution procedure[J]. Trends in Food Science & Technology,2017, 61: 80-93.

[6]ZHANG Y, CHEN X D. An optimization model for the vehicle routing problem in multi-product frozen food delivery[J]. Journal of Applied Research and Technology, 2014, 12(2): 239-250.

[7]SONG B D, KO Y D. A vehicle routing problem of both refrigerated-and general-type vehicles for perishable food products delivery [J]. Journal of Food Engineering, 2016,169: 61-71.

[8]吴瑶,马祖军. 时变路网下带时间窗的易腐食品生产—配送问题[J]. 系统工程理论与实践, 2017, 37(1): 172-181.

[9]丁秋雷,姜洋,王文娟,等. 鲜活农产品冷链物流配送的干扰管理模型研究[J]. 系统工程理论与实践,2017,37(9):2320-2330.

[10]BRANDAO J. A tabu search algorithm for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem[J]. Computers & Operations Research. 2011,38: 140-151.

[11]PENNA P H V, SUBRAMANIAN A, OCHI L S. An iterated local search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem[J]. Journal of Heuristics, 2013, 19(2): 201-232.

[12]LEUNG S C H, ZHANG Z Z, ZHANG D F, et al. A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(2): 199-210.

[13]KOPFER H W, SCHONBERGER J, KOPFER H. Reducing greenhouse gas emissions of heterogeneous vehicle fleet[J]. Flexible Services and Manufacturing Journal, 2014, 26(1-2): 221-248.

[14]DOMINIK G, MICHAEL S. Routing a mixed fleet of electric and conventional vehicles[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 245(1): 81-99.

[15]潘雯雯,郭海湘,周光勇,等. 基于两阶段算法的需求可拆分多车型车辆路径问题[J]. 中国管理科学, 2016, 24(S11): 55-61.

[16]田宇,伍炜勤,吴其震. 基于标签算法的异车型混合集送多属性车辆路径问题研究[J]. 管理工程学报, 2015,29(3): 191-198.

Routing Optimization of Multi-model Cold Chain Vehicle with Travel Time Limit

SUN Guohua[1], QU Ranran[2]

(1. *School of Management Science and Engineering*, *Shandong University of Finance and Economics*, *Jinan* 250014, *China*; 2. *Department of Management and Economics*, *Tianjin University*, *Tianjin* 300072, *China*)

Abstract: Aimed at the situation that there are many types of vehicle with different transportation cost and load capacity in the cold chain logistics distribution system, this paper analyzes the routing optimization of cold chain logistics distribution vehicle by constructing integer programming model. Because the distribution vehicle routing optimization is a typical NP-hard problem and the exact algorithm can't get the optimal solution of a large-scale problem in a short time, a genetic algorithm is proposed based on the heavy-vehicle priority principle and the full-load priority principle. Through a comparison with C-W saving algorithm based on these two principles, it is found that the genetic algorithm based on the two principles can get a solution with smaller average relative error in a short time, which verifies the effectiveness of this algorithm. And meanwhile the application of different principles is explained. When the algorithm is applied to the example of H cold chain logistics company, the solution achieved by the genetic algorithm based on the two principles needs less cost, which further verifies the effectiveness of the algorithm.

Key words: cold chain logistics; vehicle routing optimization; multi-type vehicle; genetic algorithm

(责任编辑　高　琼)

(上接第 57 页)

Research on Operating Efficiency of Agricultural Insurance in China: from the Perspective of Company

LIU Suchun, LIU Xinyi, LIU Juan

(*School of Insurance*, *Shandong University of Finance and Economics*, *Jinan* 250014, *China*)

Abstract: Agricultural insurance institutions are an important part of the construction of agricultural insurance system, and the scientific evaluation of its operating efficiency can provide reference for the improvement of China agricultural insurance system. By using Three-stage DEA Malmquist model and selecting the panel data from 2013 to 2017, this paper calculates statically and dynamically the operating efficiency of 17 China insurance companies running agricultural insurance business. The empirical results show that after the removal of environmental factors and statistical noise, total factor productivity decreases by 10.5% annually, and the agricultural insurance operating efficiency of about 20% of insurance companies is DEA effective. The overall development trend of China agricultural insurance companies operating agricultural insurance is good and the scale efficiency is high, but the pure technical efficiency level and technical progress index are not high with further room for improvement. It is suggested to take individualized measures, pay attention to the innovation of agricultural insurance operation technology, and further improve the operating efficiency of agricultural insurance institutions.

Key words: agricultural insurance; three-stage DEA; Malmquist; operating efficiency

(责任编辑　高　琼)