

基于遗传算法的物流配送车辆调度问题研究

龚延成¹, 郭晓汾², 尤晓铃¹, 赵 勇¹

(1 汽车管理学院车管系, 安徽 蚌埠 233011)

(2 长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 研究使用遗传算法求解物流配送组织过程中车辆调度问题. 通过把时间窗约束和车辆容量约束转嫁到最小费用目标函数中去, 建立适合于遗传算法的车辆调度模型. 阐述放回式随机复制算子和适应度函数, 设计描述行驶线路的染色体结构、初始群体生成方法、独特的交叉算子和交换变异算子, 构造完整的遗传算法. 并给出算例, 验证调度模型和遗传算法.

关键词: 物流配送; 车辆调度; 遗传算法

车辆调度是物流组织关键环节, 直接影响客户服务水平和配送成本, 其任务是根据客户需求分布和车辆相关数据, 以总费用最低为目标, 选派车辆, 确定每辆车的服务对象和行驶线路. 由于物流配送车辆调度问题属于异化的多重旅行商难题, 受到时间窗和车辆容量等约束影响, 难以构造出精确算法, 国内外专家把主要精力集中在构造启发式算法上^[1-2]. 遗传算法具备极强的鲁棒性和内在并行运行机制, 本文通过约束转换, 建立车辆调度模型, 并设计遗传操作方法, 构造完整的遗传算法.

1 物流配送车辆调度模型

配送费用由车辆费用、驾驶员补助、等待费用和延迟费用组成^[3]. 车辆费用由燃料费、折旧费和维修费等变动费用组成, 中心根据经营情况可核算出每车公里应摊的车辆费用. 驾驶员补助根据途中工作时间计算, 若工作时间超过 8 小时, 则超时部分应按加班补助计算. 客户通常要求货物在一定时间窗范围内送达, 否则中心需支付惩罚费用. 若提前到达, 支付等待费用; 若延迟到达, 支付延迟费用.

设配送中心向 l 个客户送货, 第 i 个客户货运量为 g_i , 卸货时间为 u_{ti} , 时间窗为 $[et_i, lt_i]$, 每小时延迟费用 r_i ; 中心与客户、客户与客户两两间的最短运距、平均车速和车辆费用分别为 d_{ij} 、 v_{ij} 和 r_{ij} ($i, j = 0, 1, 2, \dots, l$; 0 表示配送中心); 可用 m 类卡车送货, 第 p 类卡车有 n_p 辆, 装载容量为 v_p ($p = 1, 2, \dots, m$); 每小时等待费用为 r , 行车补助和加班补助分别为每小时 s 和 es ; 途中运行到中午 12:00 和下午 6:00 时安排 30 分钟吃饭时间, 车辆当天返回物流中心. 试确定车辆调度方案, 使配送费用 Z 最低.

令车辆 pq (第 p 类车的第 q 辆) 到达客户 i 时间为 t_i ; 弧段 (i, j) 表示中心与客户或客户与客户之间的最短路, $x_{ijpq} = 1$ 表示车辆 pq 经过弧段 (i, j) , $x_{ijpq} = 0$ 表示车辆 pq 不经过弧段 (i, j) ; $y_{ipq} = 1$ 表示车辆 pq 给客户 i 送货, $y_{ipq} = 0$ 表示车辆 pq 不给客户 i 送货; w_{tpq} 表示车辆 pq 在 8 小时内工作时间, ew_{tpq} 表示车辆 pq 加班时间; A 是足够大的正数, Z 是总配送费

用 假定各项费用呈线性变化, 则有目标函数:

$$\begin{aligned} M \min Z = & \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^l \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^{n_p} d_{ij} r_{ij} x_{ijpq} + \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^{n_p} (w_{tpq} \cdot s + ew_{tpq} \cdot es) \\ & + r \sum_{i=1}^l \max(et_i - t_i, 0) + \sum_{i=1}^l r_i \cdot \max(t_i - lt_i, 0) \\ & + A \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^{n_p} \max\left(\sum_{i=1}^l g_{iy_{ipq}} - v_p, 0\right) \end{aligned}$$

式中, $t_i = t_j + ut_j + d_{ij}/v_{ij}$, j 为 i 前一个站点, 若 $t_j < 12$ 且 $t_i \geq 12$, 或 $t_j < 18$ 且 $t_i \geq 18$, 则有 $t_i = t_i + 0.5$; $w_{tpq} = \min(t_{00} - t_0, 8)$, $ew_{tpq} = \max(t_{00} - t_0 - 8, 0)$, t_0 为发车时间, $t_0 = et_i - d_{0i}/v_{0i}$, i 是第一个停靠点, t_{00} 为收车时间

目标函数前四项是车辆费用、驾驶员补助、等待费用和延迟费用 若客户 i 不允许车辆延迟到达, 则 r_i 取足够大正数 第五项处理车辆容量约束, A 是足够大正数, 任一车辆超载会引起目标函数值急剧增加, 从而保证搜索时舍去不符合容量约束的解 车辆 pq 行驶线路连通性要求由遗传算法编码来保证

2 物流配送车辆调度遗传算法

车辆调度问题宜采用自然数编码^[4]。染色体“01302450”表示调度方案为: 2 台车给 5 个客户送货, 车辆 11 线路是“中心→客户 1→客户 3→中心”, 车辆 21 是“中心→客户 2→客户 4→客户 5→中心” 这种编码方式能够保证每辆车行驶线路的连通性 染色体长度= 车辆总数+ 客户数+ 1 车辆总数需要事先试算, 一般要求车辆总装载容量是总货物量的 1.05~1.3 倍

初始群体生成: 任意给客户和车辆排序; 从左向右累计客户需求量, 若第一辆车容量大于前 a 个且小于前 $a+1$ 个客户需求量之和, 则得第一辆车子串 1“12...a0”; 删去排序中前 a 个客户, 同理可得第二辆车子串 2; 如此反复, 直到车辆和客户被安排完 (若车辆安排完而仍有客户没安排, 则给客户重新排序后从头操作); 把子串顺序连接, 左端加 0 就得到一条初始染色体 重复操作, 直到符合群体规模 n

适应度函数由目标函数转化得到: $f_k = Z_{\min}/Z_k$ f_k 是染色体 k 的适应度函数, $Z_{\min}$ 是当代群体中最佳染色体的费用, Z_k 是染色体 k 的费用 适应度最大染色体对应配送成本最低调度方案

复制算子: 给 n 条染色体排序; 计算适应度 f_k ; 计算选择概率 $w_k = f_k / \sum f_k$; 计算累积概率 $u_k = \sum w_k$; 产生 $[0, 1]$ 区间均匀分布随机数 R , 若 $R \leq u_1$, 则复制染色体 1, 否则复制染色体 k , 使得 $u_{k-1} < R \leq u_k$, $k = 2, \dots, n$ 重复复制, 直到符合群体规模 n 为提高算法性能, 保留上代群体中最佳染色体

交叉算子: 按 2 个一串将双亲“01302450”和“02350140”基因分组, 得 0|13|02|450 和 0|23|50|140; 双亲 1 中子串“13”两端都为 0, 把“13”和所有“0”基因保留, 填充到空白染色体相同位置上; 删去双亲 2 基因 1 和 3, 把剩余基因按顺序填入空白位置, 得后代 1“01302540” 同理得后代 2“03250140” 若所有子串两端不全为 0, 则左移或右移“|”, 直到存在两端为 0 子串 3 交叉算子操作原理类似

变异算子: 对 2 交换变异算子, 在染色体中任意确定两个非零基因, 交换其位置, 就得到 1 条新染色体 对 3 交换变异算子, 任意确定 3 个非零基因, 把它们位置按不同方式交换, 可得到 5 条新染色体, 选择其中适应度最大的染色体作为运算结果

遗传算法设计最后一步是确定控制参数和算法终止条件 推荐控制参数取值范围是群体规模 $n = 20 \sim 50$, 交叉率 $P_c = 0.6 \sim 1.0$, 变异率 $P_m = 0 \sim 0.05$ 算法终止条件根据具体情况确定

3 算 例

某物流中心经营啤酒配送业务, 每天向 12 个客户运送箱装的啤酒, 有关数据如表 1 所示 测量比例为 1: 1000000 地图得到中心坐标为 (60, 140), 客户坐标 (x_i, y_i) , 中心与客户、客户与客户的最短运距通过公式 $d_{ij} = 1.2[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)]^{0.5}$ 近似计算 送货车辆

表 1 客户情况一览表

客 户	啤酒箱数	客户位置(毫米)		卸货时间(分钟)	时间窗	
		x 坐标	y 坐标		et	lt
1	120	30	114	60	8: 00	17: 00
2	200	40	36	90	8: 00	10: 30
3	120	48	96	60	8: 00	17: 00
4	150	52	120	80	8: 00	12: 00
5	140	92	154	70	8: 00	8: 30
6	60	92	66	40	8: 00	17: 00
7	110	94	100	60	8: 00	17: 00
8	180	108	100	90	8: 00	10: 45
9	90	44	160	50	8: 00	8: 30
10	160	20	54	90	8: 00	13: 00
11	140	108	32	60	8: 00	12: 30
12	150	130	88	70	8: 00	17: 00
合计	1620			820		

有两类,A 类装载容量是 500 箱, 每公里车辆费用 3 圆,B 类的装载容量为 400 箱, 每公里车辆费用为 2.5 圆 驾驶员补助每小时 10 圆, 加班补助每小时 20 圆, 途中运行到 12: 00 或 18: 00 时安排 30 分钟吃饭时间 车辆等待费用每小时 10 圆, 客户延迟费用均为每小时 100 圆 若最早发车时间为早晨 6: 30, 试确定车辆调度方案, 使总送货费用最低

根据单车容量和 1620 箱的总运量, 车辆行驶线可初步确定两种派车方案 方案 1:A 型车 2 台和 B 型车 2 台, 车辆总容量为 1800 箱 方案 2:A 型车 1 台和 B 型车 3 台, 车辆总容量为 1700

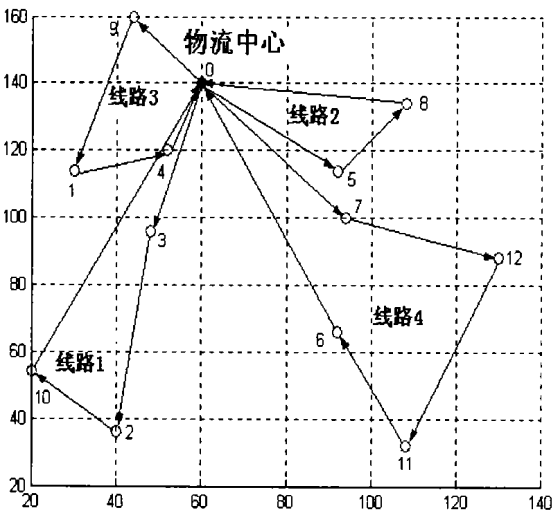


图 1 车辆行驶线路示意图

箱 染色体长度 $12+4+1=17$, 采用 2 和 3 交叉算子, 以及 2 和 3 交换变异算子. 取群体规模 $n=20$, 交叉率 $P_c=0.85$, 变异率 $P_m=0.001$, $A=9999$. 算法终止条件设定为: 若迭代算法达到 600 代; 若最佳染色体连续保持 20 代; 若某代染色体的平均适应度达到这一代最佳染色体适应度的 0.90 倍

运算结果如下: 方案 1 总费用是 2750.98 圆, 详细结果参见如表 2-1 和表 2-2, 车辆行驶线路如图 1 所示; 虽然方案 2 车辆平均实载率大于方案 1, 但其总费用却大于方案 1. 这是由于方案 2 的车辆容量约束太紧, 导致总行驶里程显著增大, 各项费用增加. 因此, 采用车辆调度方案 1 是经济合理的

表 2-1 车辆调度方案计算结果(1)

序 号	车 型	车辆容量/最大 装载量(箱)	总里程 (公里)	路途总时间 (小时)	车辆费用 (圆)	驾驶费用 (圆)	总费用 (圆)
1	A	500/480	274	7.9	820.41	78.91	899.32
2	B	400/320	138	4.3	345.65	43.04	388.69
3	A	500/460	323	8.5	967.72	90.86	1058.58
4	B	400/360	142	5.0	354.12	50.27	404.39
合计		1800/1620	877	25.7	2487.90	263.08	2750.98

表 2-2 车辆调度方案计算结果(2)

线 路	车辆路径及发车、收车和到达客户时间	路段里程(km) 和车辆装载量(箱) 变化情况
1	0→3→2→10→0	55→73→32→114
	7:05→8:00→9:53→12:05→14:59	480→360→160→0
2	0→5→8→0	49→31→58
	7:11→8:00→9:21→11:29	320→180→0
3	0→7→12→11→6→0	63→46→72→45→97
	6:58→8:00→9:26→11:28→13:23→15:30	460→350→200→60→0
4	0→9→1→4→0	31→58→27→26
	7:30→8:30→9:28→10:35→12:31	360→270→150→0

4 结 语

构造遗传算法求解物流配送中心车辆调度问题可以得到令人满意的解决方案. 建立目标函数时应考虑时间窗、驾驶员途中吃饭、加班时间补助等问题, 使模型尽可能贴近实际情况, 保证最终解的准确性. 遗传算法宜采用自然数编码, 复制运算应保留上代染色体中适应度最大的染色体, 并要设计特殊的初始群体生成方法、交叉算子和变异交换算子, 以提高解的收敛速度. 遗传算法的终止条件与问题本身复杂程度、程序效率和对解的精确度要求有关, 应根据具体情况, 通过适当运算分析后确定

参考文献:

[1] Desaulniers G, Lavigne J, Soumis F. Multi-depot vehicle scheduling problem with time windows and waiting costs

- [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 111(6): 57—72
- [2] 李军. 车辆调度问题的分派启发式算法[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(1): 27—33
- [3] 罗纳德 H. 巴罗著, 王晓东, 胡瑞娟等译. 企业物流管理—供应链的规划、组织和控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 145—173
- [4] 赵赫, 杜端甫. 遗传算法求解旅行推销员问题时算子的设计与选择[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(2): 62—65

Solving the Vehicle Routing and Scheduling Problems by Genetic Algorithms

GONG Yan-cheng¹, GUO Xiao-fen², YOU Xiao-ling¹, ZHAO Yong¹

(1. Department of Auto. Mgt., Automobile Management College, Bengbu Anhui 233011, China)

(2. School of automobile, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: This paper adopts the genetic algorithms to solve the vehicle routing and scheduling problems with time windows. The objective is to minimize the total costs involving penalties associated with window restrictions and capacity restrains. We design a chromosome structure suitable to describe the delivery route, construct a specific cross operator and a variable operator, and propose a put-back random duplicate operator and suitable-degree function. A numerical example is used to demonstrate the algorithms.

Keywords: physical distribution; vehicle routing and scheduling problems; genetic algorithms