

【武器装备】

遗传算法在多车型军备物资配送 路径优化中的应用^{*}

陈城辉¹, 徐永能¹, 杨爱梅², 傅晓莉¹

(1. 南京理工大学 车辆与交通工程系, 南京 210094; 2. 安徽蚌埠解放军汽车管理学院, 安徽 蚌埠 233011)

摘要:结合部队物流客观实际和可能承担的军备物资保障任务, 构建了带有软时间窗的多车型军备物资配送线路 MVRPSTW 双层优化模型, 上层为多车型线路优化模型, 下层为配车方案整数规划模型. 通过遗传算法算子设计以及双层优化流程设计求解 MVRPSTW 模型, 并给出了具体应用算例, 应用结果证明该双层优化模型及遗传算法的有效性和合理性, 能迅速为后勤部队军备物资配送路径选择提供决策依据.

关键词:VRP; 软时间窗; 双层优化; 遗传算法; 军备保障运输

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)02-0013-04

随着现代武器科研和生产能力的提高, 给现代战争带来规模扩大、战场广阔、物资消耗巨大、装备损坏等特点, 后方军备物资的供应保障能力成为影响战争胜负的重要因素. 新的军事环境和军事后勤需求对部队军备物质的配送提出了严峻的考验, 一方面要保障前线战场军备物资充足、充分、及时的得到满足; 另一方面, 又要求用最少的保障资源提供最优的配送支援、用最低的保障成本和最短的保障时间实现最大的配送效益. 因此, 迫切需要对后勤军备物资配送车辆进行优化调度, 而这一问题属于典型的 VRP (Vehicle Routing Problems) 问题.

车辆调度问题 VRP 是由 Dantzig 和 Ramser 于 1959 年提出来的^[1], 一般指的是对一系列发货点和收货点, 调用一定的车辆, 组织适当的行车路线, 使车辆有序地访问它们, 在满足特定的约束条件下 (如: 货物的需求量与发货量、交发货时间、车辆载重限制、行驶里程限制、行驶时间限制等), 力争实现一定的目标 (如车辆行驶里程最短、运输总费用最低、车辆按一定时间到达、使用的车辆数最少等). VRP 已被证明属于 NP-难题, 很多学者提出的精确算法都无法求解实用性的大规模的 VRP 问题, 因此, 对于军备物资配送车辆路径优化问题求解, 本文中采用遗传算法进行优化求解问题的近似解, 并在计算时间和精度上保持一个平衡. 结合后勤保障部队的实际情况, 本文中考虑带有软时间窗的单配送中心多车型的封闭式车辆路径优化问题 (MVRPSTW: Multiple Vehicles Routing Problems with Soft Time Windows).

1 问题描述与 MVRPSTW 模型建立

1.1 军备物资配送问题分析

本文中所要研究的是多次配送下, 多车型、单一配送中心、多个离散军备需求地点的物资配送路径选择与优化问题, 每个军备需求点都有固定物资需求量及相应的服务时间区段, 拟启用不同容量类型最少的车辆总数, 从配送中心出发经过既定的线路后返回, 且要求车辆为非满载 (装载货运量小于车辆容量), 到达各个需求点时间应尽可能满足对应点时间窗要求, 若车辆不能按用户的要求到达, 则予以一定的惩罚. 多车型军备物资配送路径优化研究的目的在于通过合理安排配送车型车辆数和配送送路线, 使后勤调度中心能够用最少的车辆数, 在满足各个战地物资需求点服务约束 (时间窗约束和物资量约束) 条件下实现总运输里程最短、配送成本最低.

因此, 该问题首先要确定相应的配车类型和车辆数, 一旦车辆类型和数量确定下来, 多车型军备物资配送运输线路选择问题就转变成多重旅行商问题 TSP, 即当 VRP 模型中车辆数 K 为 1、车辆的容量 $Q_k = \infty$ 、固定费用 $C_R = 0$ 时, VRP 问题就变为 TSP.

1.2 基本假设与符号定义

1.2.1 基本假设

1) 所有配送车辆都从配送中心出发最终返回中心, 配送成本与运输里程成正比且所有车辆以相同速度匀速

^{*} 收稿日期: 2009-12-14

作者简介: 陈城辉 (1984—), 男, 硕士研究生, 主要从事城市公共交通网络与轨道维修决策研究.

行驶;

2) 每个战地需求点的位置、物资需求量和允许服务的时间窗口固定不变;

3) 每个车辆路径可以服务数量不等的需求点, 每个需求点在一次配送周期内只能接受 1 辆车的服务并且保证所有的需求点都能得到服务.

1.2.2 符号定义

L —车辆类型集合, $L = \{1, 2, \dots, K\}$;

n_p —使用 p 类型的车辆数, $n_p \geq 0$;

O_p — p 类型车的装载容量;

C — n 个需求点的集合, $C = \{1, 2, \dots, n\}$;

d_i —第 i 个点的军备物资需求量, $i \in C$;

N — N 辆汽车的集合;

Q_k —第 k 辆车的装载容量, $k \in N$;

t_{ij} —车辆从需求点 i 到 j 的行驶时间;

c_{ij} —从 i 到 j 的行驶成本;

d_i —第 i 个点的需求量, $d_i > 0$;

S_{ik} —第 k 辆车到达需求点 i 的时间, $k \in N$;

T_{ik} —第 k 辆车在客户 i 的卸货时间, $k \in N$;

a —总运量扩展系数, 与车辆容量和各需求量是否匹配有关, $a \in [1.01, 1.3]$;

(E_i, L_i) —需求点 i 的时间窗口, 其中, E_i 是需求点 i 要求物资配送到达时间段的始点, L_i 是需求点 i 要求物资配送到达时间段的终点, 如果车辆在 (EE_i, E_i) 或者 (L_i, L_i) 期间到达 i , 则由于物资配送需求没能得到很好的满足, 造成一定的损失, 惩罚系数分别为 u, v , 而如果车辆在 EE_i 之前或在 L_i 之后, 由于时间相差太多绝对不允许. 惩罚函数定义为:

$$p_i(S_{ik}) = \begin{cases} u \cdot (E_i - S_{ik}), & EE_i < S_{ik} < E_i \\ 0, & E_i < S_{ik} < L_i \\ v \cdot (S_{ik} - L_i), & L_i < S_{ik} < LL_i \\ +\infty, & S_{ik} < EE_i \text{ 或者 } S_{ik} > LL_i \end{cases}$$

x_{ijk} —决策变量, 表示第 k 辆汽车是否从 i 出发后开向 j , 如果是, x_{ijk} 值为 1, 反之为 0;

y_{ik} —决策变量, 表示需求点 i 的任务是否由车辆 k 完成, 如果是, y_{ik} 值为 1, 反之为 0;

z_{ik} —决策变量, 表示车辆 k 给客户点 i 的载货量.

1.3 MVRPSTW 模型建立与说明

根据以上的问题分析可知, 优化的目标是期望用最少的车辆数和运输成本实现最大的军备物资配送效率, 因此, 建立如下的双层优化数学模型:

$$(P): \min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^N c_{ij} x_{ijk} + \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^N p_i(S_{ik}) \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n x_{i0k} = \sum_{i=1}^n x_{0ik} = 1 \quad k = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = \sum_{j=1}^n x_{jik} \quad i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^N y_{ik} \geq 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^N z_{ik} = d_i \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n z_{ik} y_{ik} \leq Q_k \quad k = 1, \dots, N \quad (6)$$

$$S_{ik} + T_{ik} + t_{ij} + M(1 - x_{ijk}) \leq S_{jk} \\ i, j = 1, \dots, n, k = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{0, 1\}, \quad z_{ik} \geq 0 \\ i = 0, \dots, n, j = 0, \dots, n, k = 1, \dots, N \quad (9)$$

其中 N 的组成由下层模型决定:

$$(L): \min N + \sum_{p \in L} n_p O_p - a \sum_{i \in C} d_i \quad (10)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{p \in L} n_p O_p \geq a \sum_{i \in C} d_i \quad (11)$$

$$N = \sum_{p \in L} n_p \quad (12)$$

上层模型中式(1)表示的是最终目标函数, 由实际运输成本以及时间惩罚项组成; 式(2)表示每辆车每次都是从配送中心出发最后又回到配送中心; 式(3)表示对每个需求点来说, 到达车辆次数等于离开的车辆次数; 式(4)表示每个需求点至少被服务一次; 式(5)每个需求点的需求量被满足; 式(6)表示每辆车每次的装载量不能超过其车型的装载容量; 式(7)表示每辆车在需求点 i 需要经过卸载、行驶后才能到 j 点, M 是适当大的正数, $M(1 - x_{ijk})$ 表示 j 点在第 k 辆车的行驶路线上; 式(8)表示变量 x_{ijk} 和 y_{ik} 之间的关系; 式(9)表示变量 x_{ijk} 和 y_{ik} 是 0-1, 变量 z_{ik} 是非负变量.

下层是一个典型的指派问题的整数规划模型, 期望用最少的车辆总数装载并满足所有需求点的物资需求, 这符合经济性原则. 运用整数规划方法能够求解车辆数, 以求解出派遣车辆数最少的派车方案.

由此可见, 军备物资配送路径优化问题的数学模型可用一个 0-1 型的整数规划来表示. 它可以看成是由旅行商问题、指派问题和最优装载问题组合而成的一个复杂问题.

2 MVRPSTW 模型遗传算法设计

2.1 遗传算法概述

20 世纪 60 年代, 美国 J. Hold 教授和他的学生从生物遗传学“物竞天择, 适者生存”的自然规律中得到灵感和启迪, 创立了基于自然选择的编程技术—遗传算法 (Genetic Algorithms). 遗传算法是一种“生成+检测”的迭代搜索算法, 通过构建染色体、种群选择、染色体交叉和变异等过程, 实现自适应随机搜索, 具备优良的鲁棒性和潜在的并

行计算机制,能够以很大的概率找到问题的全局最优解,因此,在求解 VRP 等组合优化方面的问题,遗传算法具有很大的优势.

2.2 操作算子设计

遗传算法是以群体中所有个体为操作对象,每个个体对应问题的一个解,选择复制、交叉和变异是遗传算法的 3 个主要操作算子,因此,需要构造染色体(解)、确定适应度函数以及 3 个主要操作算子,针对带时间窗约束的多车型配载线路问题,具体算法设计如下.

2.2.1 染色体编码及适应度函数

车辆线路选择问题宜采用自然数编码^[2].“0”表示配送中心,“1,2,⋯,n”表示需求点集合.由于一辆车起终点都为 0,则染色体长度=车辆总数+需求点数+1,如两辆车配送染色体形如:“01302450”.

构造的一个染色体对应一个配送方案,而方案的好坏则需要通过定义适应度函数来评价,本文将将个体 h 的适应度 $fitness(h)$ 定义为同代群体中最佳个体的综合路权

Z_{min} 与该个体综合路权 Z_h 的比值,即: $fitness(h) = \frac{Z_{min}}{Z_h}$.

2.2.2 种群更新

种群的选择复制一般是采取按比例的适应度分配 $P_i = f_i / \sum f_i$,然后采用轮盘赌选择法^[3];交叉算子在设计过程中,考虑到染色体包含多个虚拟节点基因“0”,普通交叉算子容易产生大量的不可行解,为保留双亲优良基因组合,加快算法的收敛速度,本文中构造特殊的 2 交叉算子,按 2 个基因作为一串将基因分组,确定双亲交叉位置并通过交叉组合^[4-5]实现双亲染色体交叉;变异算子模仿自然界中基因突变现象采用随机多次对换方式,每次变异操作对换染色体中 2 个基因的位置,本文中考虑到多个虚拟基因 0 的存在,采用 2 交换变异算子.

2.2.3 控制参数与收敛原则

遗传算法设计还需要确定参数和算法终止条件.本文中选择的控制参数包括群体规模 $popsize = 20 \sim 50$,交叉率 $P_c = 0.6 \sim 1.0$,变异率 $P_m = 0 \sim 0.05$.由于考虑了多种配送车型,派送方案的不同也可能影响最终的配送效益,因此,本文将算法收敛原则设置为最佳染色体适应度与平均适应度的绝对误差不超过容限值,并且配车数微调后目标函数值不大于原配车方案.

2.3 遗传算法流程设计^[6-7]

根据所建立的多车型军备物资配送线路双层优化模型可知,在利用构建的遗传算法进行线路优化配置前,需要初步确定派车方案,即需要调用的车辆数目和车辆型号,在确定初始配车方案无解的情况下,则需要重新指派配车;此外,最优的配车方案并不能保证配送效果最优,因此,需要适当的调整配车方案并搜索相应的最优路径,因此,本文中设计了遗传算法双层优化流程,如图 1 所示.

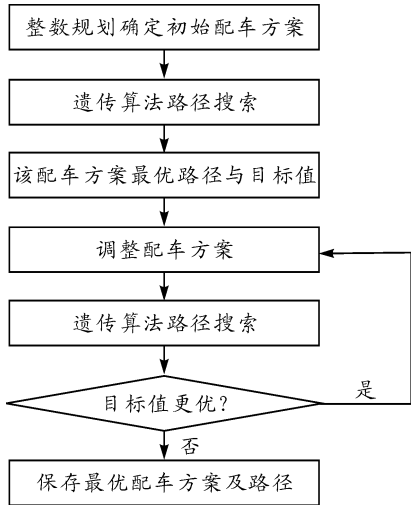


图 1 多车型 VRP 问题遗传算法流程设计

利用 Matlab 数学软件将该算法流程程序化,该算法程序在 windowsXP、windows2000 系统环境下运行良好.

3 应用算例分析

3.1 算例描述

假设某后勤部队共有 1 个军备物资配送中心,配有 3 种车型,A 类车装载容量是 500,B 类车装载容量为 400,C 类车装载容量为 600,平均车速均为 60 km/h,现需要按照指标要求完成向 12 个一线作战需求点提供物资的运输任务,由于运力紧张,决定采用配载方式完成运输任务.发车时间为早晨 6:30,要求运输任务安排车辆和选择运输线路,使得在满足物资供应时间要求前提下总运输里程最低,具体数据信息见表 1.

表 1 算例需求点基本信息

需求点	需求量	x	y	卸载 时间	时间窗	
					E_i	L_i
0	0	60	140			
1	120	30	114	25	10:00	14:00
2	200	40	36	40	8:30	10:30
3	120	48	96	25	11:00	14:00
4	150	52	120	35	9:30	12:00
5	140	92	114	30	7:30	8:30
6	60	92	66	20	12:00	14:00
7	110	94	100	25	11:30	14:00
8	180	108	134	35	9:45	10:45
9	90	44	160	20	7:00	8:30
10	160	20	54	35	10:00	13:00
11	140	108	32	30	10:00	12:30
12	150	130	88	30	11:00	14:00

为简化起见,配送中心与各个需求点之间的运输距离

近似为直线距离,假设总运量扩展系数 $\alpha = 1.01$,则初始配车方案为 AAAB,总容量为 1 700.

3.2 求解结果分析

通过构建派车方案及路径染色体,在 Matlab 平台上应用所设计的遗传算子对问题进行选择复制、交叉、变异等操作,实现对派车方案及路径方案的优化.不同的配车方案最优路径可能不同,按照以上设计的多车型 VRP 遗传算法流程调整配车方案,下表 2 是得到的 4 次派车方案迭代的最优路径方案.

表中 2 个 0 之间表示一辆车路径,可以看出,第 3 个方案即 1 辆 B 型车和 2 辆 C 型车消耗的配送资源最小,运输总里程最短为 653 km,具体运输线路及各车运行变化情况见图 2 和表 3 所示.

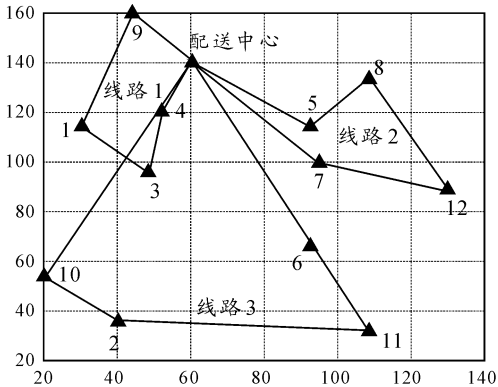


图 2 多车型路径优化运输线路

表 2 四次派车方案最优路径

派车方案	总容量	遗传算法最优线路方案	总里程/km	目标值
AAAB	1 700/4	0 9 8 7 0 2 10 0 1 3 4 0 5 12 11 6 0	780	832
AABB	1 800/4	0 8 7 0 9 1 4 0 5 12 11 6 0 10 2 3 0	741	793
BCC	1 700/3	0 9 1 3 4 0 10 2 11 6 0 5 8 12 7 0	653	705
CCC	1 800/3	0 9 1 3 4 0 10 2 11 6 0 5 8 12 7 0	653	705

表 3 车辆运行变化情况

车型	停靠点	发车、到达需求点和收车时间	里程/km	装载量
B	9、1、3、4	6:30→6:56→8:04→8:54→9:44→10:41	146	480
C	10、2、11、6	6:30→8:05→9:07→10:55→12:03→13:41	308	560
C	5、8、12、7	6:30→7:12→8:07→9:33→10:41→11:59	209	580

4 结束语

结合部队物流可观实际和可能承担的军备物资保障任务,构建了带有软时间窗的多车型军备物资配送线路 MVRPSTW 双层优化模型,并设计遗传求解算子与双层优化流程,通过具体算例表明,该遗传算法及流程能快速求解本文所提出的 MVRPSTW 双层优化模型,能迅速为后勤部队军备物资配送路径选择提供决策依据;同时,通过改变参数和条件,该模型及算法同样适用于单车型、硬时间窗和满载等约束下的多重 TSP 路径优化问题,具有一定的实用可行性.

参考文献:

[1] CORDEAU J F, LAPORTE G. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows

[J]. Journal of the Operational Research Society, 2001, 52(8):928-936.
[2] 唐坤. 车辆路径问题的遗传算法[J]. 东华大学学报:自然科学版,2002,28(1):66-70.
[3] 黎钧琪,石国桢. 改进遗传算法及其在物流配送中心选址优化的应用[D]. 武汉:武汉理工大学,2003.
[4] 占书芳. 并行遗传算法在带软时间窗车辆路径问题中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2006.
[5] 陈一永,韩江,龚延成. 带时间窗约束的配载车辆调度问题研究[J]. 物流技术,2005(3):48-50.
[6] 钟晓声,李应歧. 一种基于遗传算法的防空导弹火力分配优化方法[J]. 四川兵工学报,2009(7):20-23.
[7] 杨尚达,李世平. 遗传算法研究[J]. 兵工自动化,2008(9):60-62.

(责任编辑 周江川)