

# 车辆运输路径规划问题研究

于 锐,曹介南,朱培栋

(国防科学技术大学 计算机学院,湖南 长沙 410073)

**摘 要:**为了更好地解决武警车辆运输路径规划问题,提高部队行动的迅速性,在考虑武警车辆运输实际需求的基础上,文中建立了开放式车辆路径模型,增加了诸多约束条件,例如车辆容量限制、时间窗限制等等。同时,论述了节约算法的基本原理,并采用设计改进的节约算法对开放式车辆路径问题进行了求解。通过实际案例的验证,采用改进的节约算法能够得到较满意的解,既能够满足时间限制,又能够节约运输里程和费用。结果表明,此种算法简明、易于理解,且可操作性强。

**关键词:**车辆运输;开放式车辆路径问题;路径规划;节约算法

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)01-0005-04

## Research for Routing Planning of Vehicle Transportation

YU Rui, CAO Jie-nan, ZHU Pei-dong

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** In order to better resolve the vehicle routing planning problem of armed police transportation, and increase the rapidity of military operations, the open vehicle routing problem(OVRP) model is constituted on the base of actual request of armed police transportation, which adds a good many limited conditions, such as vehicle capacity and time window restraint etc. At the same time, the basic principle of the saving algorithm is described, and this question was resolved using an improved saving algorithm. The more satisfactory answer is got through the verification of actual case. Not only can the time limit be met, but also the transport distance and transport charge are reduced. It is shown that this arithmetic is concise, comprehensible and operable.

**Key words:** vehicle transportation; open vehicle routing problem(OVRP); routing planning; saving algorithm

## 0 引言

“兵贵神速”历来是军事指挥家遵循的一条基本原则。现代条件下,随着交通工具的不断改善,部队的行动速度逐步提高,但来自周围环境的影响却不可小视,如道路崎岖不平、天气复杂多变、交通拥挤堵塞等等,都给交通工具的运行带来了迟滞。城市中,人员多,道路复杂,针对武警部队所担负任务的特殊性,如何规划好行车路径,在最短时间内到达目的地,起到兵贵神速的作用,是各级指战员都不容小视的首要问题。

军事交通运输不同于一般经济活动的商品运输,它是维护国家安全和社会稳定的军事活动,是关系部队战斗力的“生命线”。武警部队的分布特点是点多、线长、面广,车辆作为武警部队最主要的运输装备,不仅是武警部队实施快速机动和完成战斗任务的保证,而且是后勤运输保障的主力军,无论是平时还是战时,

主要依靠车辆进行运输<sup>[1]</sup>。因此,在研究武警部队的车辆路径问题时,要全面衡量、全面考虑,不仅要考虑到经济性、安全性,还要考虑到机动性、快速性,这对于武警部队的军事交通运输建设有着非常重要的意义<sup>[2]</sup>。

## 1 模型建立

车辆路径问题(Vehicle Routing Problem,简称VRP)最早是由Dantzig和Ramse于1959年在一篇学术论文中首次提出的<sup>[3]</sup>,而后由Christofides对其进行深化总结<sup>[4]</sup>。一般将VRP定义为:对一系列发货点/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/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、使用的车辆数最少、车辆按一定时间到达等)。

2000年,Sariklis和Powell发表了关于开放式车辆路径问题的第一篇理论研究论文<sup>[5]</sup>。开放式车辆路径问题不要求车辆在完成运输任务后返回原出发点,

收稿日期:2010-04-12;修回日期:2010-07-17

**作者简介:**于 锐(1980-),男,山东济南人,硕士,研究方向为计算机网络;朱培栋,博士,教授,研究方向为高性能路由技术、网络安全。

起点和终点不一致,故整个车辆行驶路线是一个开环,是开放式的。

现如今,武警部队部分用车已基本实现社会化保障,部队公务、生活用车保障社会化已成为一个研究的热门话题。针对处突、抗灾、抢险等一系列任务的特殊要求,武警部队出动必须实现机动化、快速化,但是各部队又分散而居,由部队统一保障车辆这肯定要耽误一定的时间。部队要想在领导决策后,第一时间由分散的各点出动,必须要就近借助地方车辆来保障。武警部队这类任务的行驶路线问题属于起讫点不是部队车场的开放式车辆路径问题,车辆完成任务后不必驰往部队车场,而是就此结束运输,它是否回其本身所在停车场或直接去完成其他任务等问题,这不是所关心的,在此不作讨论。

### 1.1 基本假设

(1) 一般情况下,部队的人员数是充盈的,发生人员缺少的情况概率较小,也就是说,这里不考虑部队人员缺少的情况。令  $M$  为部队数量的集合,  $M = \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $I$  为任务点数量的集合,  $I = \{1, 2, \dots, I\}$ ,  $R$  为  $M$  与  $I$  的并集,  $R = M \cup I$ ;

(2) 车辆的速度  $v$ 、最大载重量  $w$ 、单位距离运输费用  $c$  为已知;

(3) 任一任务点  $i$  的需人/物情况  $d_i$  为已知;

(4) 任一任务点  $i$  的最迟到达时间  $f_i$  为已知;

(5) 部队、各任务点之间的所有路段距离  $l_{ij}$  为已知;

(6) 每个任务点需要人/物的数量不超过车辆的载重量,每个任务点只由一辆车进行保障。实际情况中,每个任务点所需要的人员/物资数量可能会大于一辆车的最大载重量,这时可以用车队替代“一辆车”。假设条件均满足,在这里仅用“一辆车”进行表述,以简化问题。

### 1.2 数学模型

模型中的决策变量为:

$x_{ij}$  为 0,1 变量,表示车辆由任务点  $i$  到任务点  $j$  (1 表示由  $i$  到  $j$ , 0 表示  $i$  不到  $j$ );

$w_{ij}$  为由任务点  $i$  到任务点  $j$  的运输量,即车辆由任务点  $i$  出发后,在到达  $j$  之前,车上现有的人员/物资的数量;

$t_i$  为任务点  $i$  的到达时间。

这里,目标函数是使得系统的总费用最小,是一个混合整数规划问题:

$$\min f = c \sum_{i=1}^R \sum_{j \neq i}^R l_{ij} x_{ij}$$

约束条件为:

(1) 确保每一个任务点的人员/物资在最迟时间

之前到达。

$$f_j \geq t_j (\forall j \in I)$$

(2) 人员/物资顺次到达的任务点的时间函数。

$$t_j = \sum_{i=1}^R (x_{ij} \cdot \frac{l_{ij}}{v} + t_i) (\forall j \in I)$$

(3) 车辆从部队出发。

$$t_m = 0 (\forall m \in M)$$

(4) 从每个任务点经过的车辆有且只有一辆。

$$\sum_{j=1}^R x_{ij} = \sum_{j=1}^R x_{ji} = 1 (\forall i \in I, i \neq j)$$

(5) 所有的车辆停靠于部队。

$$w_{mi} \leq x_{mi} w (\forall i \in I, m \in M)$$

(6) 进入任一任务点之前,车上有足够的人员/物资保障任务点的需求,而对于进入部队则无约束。

$$\sum_{i=1}^R x_{ij} (w_{ij} - d_j) \geq 0 (\forall j \neq i, j \in I)$$

(7) 车辆经过部队时补充人员/物资,经过任务点时运输量的改变关系式。

$$\sum_{i=1}^R x_{ij} (w_{ij} - d_j) = \sum_{k=1}^R x_{jk} w_{jk} (\forall j \neq i, j \in I)$$

(8) 使  $x_{ij}$  取 0,1 变量。

$$x_{ij} \in \{0, 1\} (\forall i \neq j, i \in R, j \in R)$$

## 2 算法研究

车辆路径问题的求解算法,可将其归纳为精确算法和启发式算法两大类。精确算法基于严格的数学手段,在可以求解的情况下,其解质量较好,但当运算量较大,尤其是针对大规模的问题时就几乎无法求解。而面对这些问题,启发式方法基本能在可接受的时间里,找到可接受的满意解,这是精确算法难以做到的<sup>[6]</sup>。在实际的车辆路径问题中,各种约束条件错综复杂,启发式算法显示出了它的巨大优越性,也正因如此,它在实际应用中要更为广泛<sup>[7]</sup>。针对配送问题的实际要求,带时间窗约束的改进节约算法是目前研究的热点<sup>[8]</sup>。在文中,在研究 C-W 节约算法原理的基础上,针对武警部队军交运输车辆行驶中的开放式车辆路径问题,有针对性地设计改进了节约算法。

### 2.1 C-W 节约算法原理

在一个仓库(或车场)和  $N$  个取/送货物点组成的分布式二级供应链中,车辆的行驶路线安排问题非常复杂。由于精确算法的计算量太大,所以需要采用启发式算法<sup>[9]</sup>。节约法(Saving Method)是一种常见的启发式算法,它运用一些经验法则来降低优化模型的精确程度,并通过模仿人的跟踪校正过程来求得运输路线的满意解(不一定是最优解)<sup>[10]</sup>。

设仓库(或车场)是  $P_0$ ,  $N$  个零售商分别是  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , 已知任意两个节点  $P_i$  和  $P_j$  之间的最短距离

$d_{ij}(i, j = 0, 1, 2, \dots, n)$ 。从仓库(或车场)为两个节点  $P_i$  和  $P_j$  取/送货物的路线方案有两个,一是连接这两个节点合并取/送货物,二是直接往返分别为两个节点取/送货物。很显然,前者比后者节约的运输距离为:

$$Z_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$$

上面的式子就是著名的节约量公式。根据三点的位置关系,节约量  $Z_{ij} \geq 0$ <sup>[11]</sup>。

节约法求解路线安排问题采用的是典型的启发式思路。首先,以所有节点均采用直接往返的方式作为初始的可行安排。计算每两个节点连接后的节约量,按节约量由大到小的顺序进行排列,然后在初始安排的基础上进行调整:如果两个节点连接后,所在线路的运输量之和不超过车辆的承载限制,那么连接这两个节点;如果所在线路的运输量之和超过车辆的承载限制,就不连接这两个节点,转而判断节约量稍小的另两个节点之间能否连接,直到所有可能连接的节点全部连接完成后,即得到路线安排的满意解<sup>[12]</sup>。

## 2.2 改进的节约算法

从多个部队出发的多辆车分别把人员/物资送至多个任务点,形成多回路运送路径,这是一个派遣问题。但这里,所考虑的情况又与传统的派遣问题有所区别:

(1)与派遣问题中的仅一次补货不同,文中车辆可沿途多次到部队补充人员/物资;

(2)派遣问题中,车辆完成任务后需要返回原来的出发点,文中车辆完成任务后可停靠于任意一点。

针对问题的特殊性,将一种逐渐优化的启发式搜索方法与节约算法相结合,设计的启发式算法可以避免求解非线性规划问题,既简化了模型、提高了求解速度,又可在较短的时间内得到问题的较优解。

设计的改进节约算法的主导思路是:首先,找到一个可行运送方案,在此基础上计算出各相互连接、又不在同一运送路线上的路段的节约值,然后按照由大及小的顺序,依次将各路段插入运送路线中,经多次搜索、循环即可得最终的运送路径。

具体步骤如下:

Step1:基于分区策略,按以往的管辖区域,将部队与其辖域内的各任务点连接,得到  $I-1$  条子回路(这里为方便起见,将部队简称为  $ZD$ ,将任务点简称为  $RD$ ):

$ZD_m \rightarrow RD_i \rightarrow ZD_m (m \in M, RD_i \text{ 为 } ZD_m \text{ 辖域内任一任务点})$ ,即得一可行运送方案;

Step2:按各任务点的自然连接,对任意两相邻的任务点  $RD_i, RD_j$  计算其节约值:

$$s(RD_i, RD_j) = l(ZD_m, RD_i) + l(ZD_{m_2}, RD_j) -$$

$$l(RD_i, RD_j) (m_1, m_2 \in M);$$

Step3:将所有  $s(RD_i, RD_j)$  按其值由大到小排列;

Step4:按照  $s(RD_i, RD_j)$  的大小顺序,逐个考察其端点  $RD_i, RD_j$ ,若满足以下条件,就将路段  $(RD_i, RD_j)$  插入到运送路线中:

①  $RD_i$  和  $RD_j$  不在一条运送路线上;

②  $RD_i$  和  $RD_j$  均与  $ZD$  相邻;

③ 插入后形成的回路中,所有  $ZD$  都可以补充人员/物资,能满足此回路中所有  $RD$  的需求,能满足任一任务点的最迟到达时间要求;

Step5:返回 Step4,直至考察完所有可插入路段;

Step6:去掉各线路中的最后一条路段  $(RD_i, RD_j)$ ,即为所得的运送路线。

## 2.3 算法复杂度分析

假设每两个任务点都相邻,计算的次数为  $I(I-1)/2$ ,而实际情况中,任务点之间两两并不一定相邻,因此,步骤2的运算次数  $n_{\text{Step2}} < I(I-1)/2$ 。步骤(4), (5)循环的次数由步骤(2)运算的次数决定,即  $n_{\text{Step4,5}} = n_{\text{Step2}}$ ,故本算法可以在多项式复杂度  $O(I^2)$  内完成。

## 3 应用案例

武警\*支队突然接到上级“派兵协助公安机关抓捕流窜抢劫犯”的命令,具体任务情况是这样的:近期,有一伙流窜抢劫作案的犯罪嫌疑人,在外地作案多起,可以说是屡犯重案,警方锁定凶犯后已立即发布通缉令。公安机关通过侦查,发现这伙流窜犯将于近日流窜至我市,这给我市人民的生命、财产安全带来了极大地威胁。公安机关要求我们在各交通要道重兵把守,设卡堵截,协助抓捕这伙流窜犯。可以说,时间紧,任务重。为此,支队成立了专门的抓捕领导小组,并迅速制定了应急作战方案,要求执行任务的部队要在接到命令后第一时间出发,立即赶往设卡点。

(1)执行任务的人员分别由3个中队提供,简称为  $ZD$ ,每个中队都有一定管辖区域,在地图上用小三角旗表示;

(2)各部队要在指挥部的统一部署下,和公安民警混合编成18个战斗小组,分别在18个进出路口设卡堵截,堵截点(即任务点)简称为  $RD$ ,在地图上用黑点表示;

(3)考虑到时间比较紧张,稍有迟误就可能造成无法设想的后果,而由支队统一保障车辆,来回途中必然耽搁一定的时间。故支队首长决定,执行任务用车由各中队自行筹备,可租用地方车辆,目标是在规定时间之内使各部队按时到达指定地点,同时考虑经济因素,以使得整体费用尽量低;

(4)线路上的数字为道路的距离,单位为 km。每个中队都租用地方的大客车,载人量为 40 人/辆。这里,根据大客车平时的运行速度,将大客车运送的平均时速定为 71km/h。

各任务点所需人员数量和时间限制见表 1,部队及任务点分布见图 1。

表 1 各任务点所需人员数和时间限制

任务点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
所需人员数	10	10	12	10	14	9	14	12	12
时间限制	0.41	0.27	0.6	0.19	0.23	0.39	0.2	0.25	0.43
任务点	10	11	12	13	14	15	16	17	18
所需人员数	9	11	8	13	9	10	10	10	9
时间限制	0.15	0.31	0.48	0.11	0.45	0.53	0.41	0.24	0.31

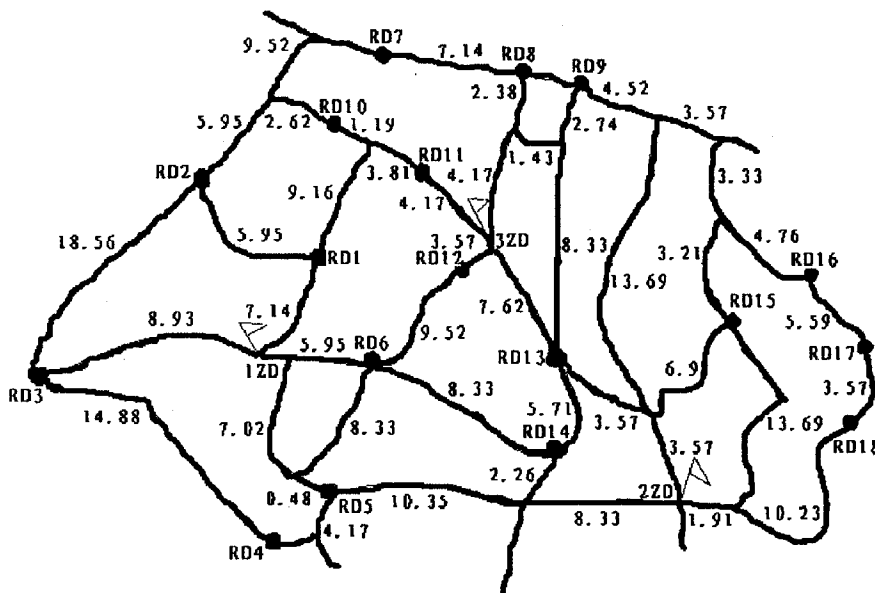


图 1 部队及任务点分布图

按各部队的所辖区域,基于分区策略,应用 TSP (旅行商问题) 优化算法,得到最初的可行运送方案为:

(1)  $1ZD \rightarrow RD_1 \rightarrow RD_2 \rightarrow RD_3 \rightarrow RD_4 \rightarrow RD_5 \rightarrow RD_6 \rightarrow RD_1$

(2)  $2ZD \rightarrow RD_{13} \rightarrow RD_{14} \rightarrow RD_{15} \rightarrow RD_{16} \rightarrow RD_{17} \rightarrow RD_{18} \rightarrow RD_{13}$

(3)  $3ZD \rightarrow RD_8 \rightarrow RD_7 \rightarrow RD_6 \rightarrow RD_5 \rightarrow RD_4 \rightarrow RD_3 \rightarrow RD_2 \rightarrow RD_1 \rightarrow RD_{11} \rightarrow RD_{10} \rightarrow RD_{12} \rightarrow 3ZD$

总费用为 539.4 元,总共需要 7 辆大客车完成所有的运输任务。

在可行运送方案的基础上,以改进的节约算法求得最后解为:

(1)  $1ZD \rightarrow RD_5 \rightarrow RD_4 \rightarrow RD_3$

(2)  $2ZD \rightarrow RD_{13} \rightarrow RD_{14} \rightarrow RD_{15} \rightarrow RD_{16} \rightarrow RD_{17} \rightarrow RD_{18} \rightarrow RD_{13}$

(3)  $3ZD \rightarrow RD_{11} \rightarrow RD_{10} \rightarrow RD_2 \rightarrow RD_1 \rightarrow RD_3 \rightarrow RD_{12} \rightarrow 3ZD$

$RD_8 \rightarrow RD_7 \rightarrow RD_6 \rightarrow RD_5$

总费用是 481.0 元,比原方案运输费用减少了 58.4 元,总费用降低了 10.8%,并且,总共只需要 5 辆大客车即可完成全部运输任务。

#### 4 结束语

文中针对武警部队军交运输车辆运行的实际特点,运用设计的改进节约算法,对实际行驶路线进行了路径规划,其结果是运行距离大大缩短,节约的运输成本相当可观,符合部队的实际需求。

#### 参考文献:

- [1] 敖云晖,战仁军. 关于构建武警部队运输安全保障系统的思考[J]. 农业装备与车辆工程,2008(5):55-56.
- [2] 莫宝宝,任卫国. 浅谈武警运输信息化建设规划[J]. 办公自动化杂志,2007(5):19-20.
- [3] Dantzig G, Ramser J H. The truck dispatching problem [J]. Management Science, 1959,10(6):80-91.
- [4] Christofides N, Mingozzi A, Toth P. The vehicle routing problem [C]//Combinatorial Optimization. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1979.
- [5] Sariklis D, Powell S. A heuristic method for the open vehicle routing problem[J]. Journal of the Operational Research Society, 2000,51:564-573.
- [6] 廖良才,王 栋,周 峰. 基于混合遗传算法的物流配送车辆调度优化问题求解方法[J]. 系统工程,2008,26(8):27-31.
- [7] 李 军,郭耀煌. 物流配送车辆优化调度理论与方法[M]. 北京:中国物资出版社,2001.
- [8] 张丽艳,庞小红,夏蔚军,等. 带时间窗车辆路径问题的混合粒子群算法[J]. 上海交通大学学报,2006,40(11):1890-1894.
- [9] Lee C G. Vehicle routing and inventory control for in-bound logistics[D]. Michigan: The University of Michigan, 2001.
- [10] Dror M, Trudeau P. Split delivery routing[J]. Naval Research Logistics, 1990,37:383-402.
- [11] 王 鑫,谭 畅. 一种解决车辆调度问题的算法研究[J]. 控制工程,2006(5):193-195.
- [12] 陈功玉. 车辆路线安排的改进节约算法[J]. 系统工程, 2008,26(11):67-68.