

基于 LINGO 的侦察型无人潜航器投送问题研究

彭云峰¹, 孙云宇², 陈君一²

(1. 陆军指挥学院, 江苏南京 210016; 2. 海军指挥学院, 江苏南京 210016)

摘要: 针对未来利用有人潜艇进行侦察型无人潜航器的投送问题, 借鉴了相关求解方法, 建立了类似有容量约束的车辆路径问题 (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) 模型, 提出了一种利用编程软件 (Linear Interactive and General Optimizer, LINGO) 进行快速求解的实现方式。同时, 通过假想具体算例, 验证了求解方法的正确、有效。最后根据求解结果, 思考了通过调整运载量差值来优化模型的方法, 并阐述了在实际任务中的优选思路, 为指战员提供了多样化决策方法。

关键词: LINGO; 无人潜航器; 投送问题; 路径规划; 线性问题; 辅助决策

本文著录格式: 彭云峰, 孙云宇, 陈君一. 基于 LINGO 的侦察型无人潜航器投送问题研究[J]. 新一代信息技术, 2023, 6(15): 13-17

中图分类号: TP18; C934

文献标识码: A

Study on Delivery Problem of Reconnaissance Unmanned Submarine Vehicle Based on LINGO

PENG Yun-feng¹, SUN Yun-yu², CHEN Jun-yi²

(1. Army Command College, Nanjing, Jiangsu 210016, China; 2. Naval Command College, Nanjing, Jiangsu 210016, China)

Abstract: For the future use of a submarine reconnaissance type unmanned submarine, the research is based on the relevant solving method, and the mathematical model of CRVP (Capacitated Vehicle Routing Problem) is established, and a method for the rapid solution of LINGO programming is proposed. At the same time, the method is verified by the hypothetical concrete example. Finally, according to the solution results, the method of optimizing the model by adjusting the difference of carrying capacity is considered, and the optimization idea in the actual task is expounded, which provides diversified decision-making methods for commanders and combatants.

Key words: LINGO; unmanned underwater vehicle; delivery problems; path planning; linear problem; auxiliary decision

Citation: PENG Yun-feng, SUN Yun-yu, CHEN Jun-yi. Study on Delivery Problem of Reconnaissance Unmanned Submarine Vehicle Based on LINGO[J]. New Generation of Information Technology, 2023, 6(15): 13-17

1 引言

随着无人技术的充分发展, 战场环境也伴随着发生了深刻的变化, 各种无人作战平台的潜力和作用日益凸显。无人潜航器是水下攻防的新质作战力量, 具备隐蔽性强、成本低廉、风险性小等优势。基于无人机集群对作战样式的颠覆性影响, 无人潜航器群也已成为海战装备体系的重点研发对象。侦察型无人潜航可执行水面和水下的情报侦察和目标探测任务, 也可提前预置进行近岸、港口等关键要域的驻留监控。其通常为中小型潜航器, 由于体积大小受限, 所以远程机动能力不足, 因而

依赖于“母舰”进行任务区域的远程投送。例如美国研制的“剃刀鲸”无人潜航器其大小如同鱼雷一般, 可通过有人攻击核潜艇先运载至目标侦察区域, 再经由鱼雷管发射和回收。使用无人潜航器对多个较远距离的目标任务区进行情报侦察, 指挥员通常会根据这些侦察区域的面积大小、敌情威胁差异程度、无人潜航器战损概率以及可能出现的其他情况, 对这些区域进行不同数量的无人潜航器投送。在考虑有人潜艇运载量有限的情况下, 如何规划合理路线, 既能满足这些侦察区域的投送需求, 又能使得任务完成时间最短, 也就形成了侦察型无人潜航器的投送问题。

2 投送问题的解决方法

无人潜航器的投送问题与经典的车辆路径选择问题(Vehicle Routing Problem, VRP)相似。目前,车辆路径选择问题已得到了国内外学者的广泛关注并取得了丰富的成果。在构建数学模型方面,Sariklis等^[1]提出了以最小权重生成树以及惩罚过程的启发式求解方法。但开放式车辆路径问题(Open Vehicle Routing Problem, OVRP)是完成投送即任务结束,或需要按投送顺序逆向返回,所以该类开放式车辆路径解法不符合有人潜艇完成投送任务再返回潜艇基地的实际;Calvete等^[2]在经典车辆路线问题上,设计了附带服务时间偏好(软时间窗)的多目标路径优化模型,该模型思路是先计算所有可行路线,再选择最优路线集的枚举优化方法,因此该方法适用于中等规模的路径规划问题;Kovacs等^[3]对广义车辆路径问题进行了扩展,考虑了提高车辆到达时间一致性、最小化路径成本等,该方法是在多目标函数冲突下进行的多决策目标权衡分析;Ubeda等^[4]以绿色物流问题为背景,分析了将环境管理原则纳入决策过程的模型,即尽量减少CO₂排放的环境准则来解决路径规划问题;李淑琴等^[5]研究了多车型组合配送的低碳路径规划,采用软时间窗约束、车辆载重量约束等,以模拟退火算法进行问题求解;符卓等^[6]研究了以禁忌搜索算法进行需求可拆分的车辆路径问题解决;倪霖等^[7]主要针对物流服务人员在商品配送过程中出现的车辆空载资源浪费问题,以多家物流公司协同配送服务为背景,基于改进遗传算法研究了车辆送货同时也取货的路径规划,从而降低空载率。

在设计求解算法方面,Bianchessi等^[8]通过比较局部搜索算法与禁忌搜索算法,解决客户可能有提送需求或交付需求的问题;Repoussis等^[9]提出了一种混合进化策略来解决开放式车辆路径问题(OVRP),一定程度上解决了同构且非车场返回型车辆的路径规划问题;De Oliveira等^[10]针对考虑时间窗影响的车辆路径问题(Vehicle Routing Problem with Time Window, VRPTW),以总距离最小化为主要目标,设计了一种以非单调模拟退火算法与爬坡和随机重启相结合的优化算法;邓爱民等^[11]基于改进模拟退火算法,建立了有时间要求限制、车辆启动成本以及空载率影响等车辆路径问题的数学模型,并采用双终止准则解决问题;王征等^[12]研究了多配送中心带时间窗的车辆路径问题,提出一种变邻域搜索的优化算法。算法思路是在初始阶段采用聚类方法进行客户类型的分配,再利用混合算子搜索,最后引入模拟退火模型控制新解的接受;葛显龙等^[13]以区分自建物流成本和第三方物流

成本为背景,基于自然数序列的改进遗传算法,建立了相关带软时间窗约束条件的车辆路径模型;谷炜等^[14]基于遗传算法和模拟退火算法,针对大规模零售点车辆配送问题建立了先划分配送区域,再转化为若干个单车服务多点的两阶段启发式求解方法。户佐安等^[15]基于经典车辆路径问题,提出以模糊时间窗的时间满意度函数和货损率的货物完好满意度函数,求解客户满意度最大和运输成本最小的车辆路径规划问题。综上所述,结合侦察型无人潜航器群的侦察任务实际分析,其投送问题是闭合回路的车辆路径规划,属于中小型规模求解范围。所以,虽然需要严格引入数学手段,但计算量有限,不会随问题规模的超负荷增大而出现指数爆炸情景。可以预见,该投送问题运用线性规划的解,较大程度会优于人工智能的启发式算法。LINGO软件易于分析数学表达式,执行速度快,适合该类问题求解。

3 侦察型无人潜航器投送问题的数学模型

3.1 问题的描述

将侦察型无人潜航器群投送问题转化为CRVP(Capacitated Vehicle Routing Problem)进行描述,如图1所示。

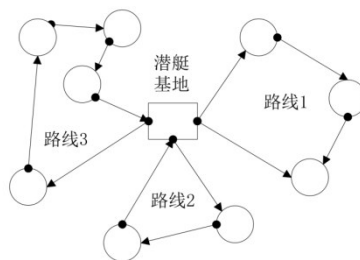


图1 投送问题示意图

设某指挥员受领侦察任务,现需要对数量为 n 的目标区域(节点)进行情报侦察。指挥员决定利用潜艇基地有人潜艇布放无人潜航器的样式对所有目标区域进行侦察探测或驻留监控以获取态势情报。根据各目标侦察区域的面积、敌情威胁等情况,分析了不同区域的无人潜航器需求数量。有人潜艇执行远程投送任务均从潜艇基地出发,完成若干目标区域投送任务后,返航基地进行补给。综合上述,指挥员需要根据各目标区域的位置距离、需求数量,在确保完成所有投送任务的基础上,规划用时最短且出动潜艇次数最少的合理方案。

为建立合理的数学模型,现做出以下假设:

(1)潜艇基地拥有足够数量的无人潜航器;

(2)所有目标区域位置距离已知;(3)已完成目标区域面积、敌情分析,获知各区域需求的侦察型无人潜航器数量;

(4)已知有人潜艇的最大无人潜航器运载量;

(5)规划后的每条投送路线中,各目标区域的无人潜航器需求数总合不超过有人潜艇的最大运载量;

(6)有人潜艇的单次投送任务可对多个目标区域进行,但每个目标区域只会投送1次。

3.2 模型的建立

目标函数:

$$\min = \sum_{i \in N_j} \sum_{j \in N} X_{ij} * d_{ij} \quad (1)$$

约束条件:

$$\text{当 } i=j \text{ 时, } X_{ij}=0 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N_0} X_{ik} = 1, k \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N_0} X_{kj} = 1, k \in N \quad (4)$$

$$U_{(k)} > U_{(i)} + Q_{(k)} - C + C * (X_{ki} + X_{ik}) \quad (5)$$

$$-(Q_{(k)} + Q_{(i)}) * X_{ki}, \forall i \neq k \quad (6)$$

$$C \geq U_{(k)} \geq Q_{(k)} \quad (7)$$

$$S = \left\lceil \sum_{i \in N} Q_{(i)} / C \right\rceil \quad (8)$$

式(2)~(8)中, N 表示潜艇基地和全部目标区域作为节点的集合;其中,节点0表示潜艇基地; N_0 表示所有目标区域作为节点的集合 $\{1, 2, \dots, n\}$; d_{ij} 表示两节点之间的距离; C 表示投送无人潜航器数量; X_{ij} 表示有人潜艇投送目标区域*i*后,继续投送目标区域*j*; S 表示当前有人潜艇出动次数。

目标函数为等式(1),表示求解有人潜艇完成所有目标区域投送任务后总航程最短,进而在潜艇速度一定的情况下,投送任务用时最短;约束条件为等式(2)~(8),其中等式(2)~(4)是确保有人潜艇完成所有目标区域的投送任务,同时禁止某一目标区域被多次投送;等式(5)是限制投送顺序,确保有人潜艇先对目标区域*i*投送,再对目标区域*j*投送;等式(6)是确保在目标区域*k*处累计投送量符合客观实际;等式(7)是确保当前有人潜艇出动次数*S*非整数时,进行向上取整;等式(8)表示决策变量取值为0或1。

4 算例分析

4.1 算例描述

假想算例:某作战指挥员受领侦察任务,拟对8个目标侦察区域布放无人潜航器进行情报侦察。结合上级情况通报,获得各目标侦察区域坐标及对应的侦

察型无人潜航器需求数量如表1所示。现派遣有人潜艇进行远程投送任务,有人潜艇单次至多运载12艘无人潜航器。投送任务从基地出发,完成后返航基地。指挥员考虑:在确保完成所有投送任务的情况下,规划总航程最短使得任务用时短且出动潜艇次数最少的方案。

表1 任务相关数据表

节点	坐标	需求量
潜艇基地	(50,50)	0
目标区域 1	(93,54)	2
目标区域 2	(62,71)	2
目标区域 3	(23,75)	3
目标区域 4	(11,52)	1
目标区域 5	(20,38)	2
目标区域 6	(42,20)	1
目标区域 7	(59,10)	2
目标区域 8	(75,25)	3

4.2 基于 LINGO 求解

根据 LINGO 的语法习惯,为解决上述算例问题,编写程序代码如下:

SETS:

matrix/1..9/:Q,U;

complex(matrix,matrix):D,X;

ENDSETS

DATA:

C=12;

Q=0 2 2 3 1 2 1 2 3;

D=OLE('C:\Users\ejy\Desktop\data.xlsx','data1');

! 对表格1数据进行处理,以Excel文件形式进行调用;

ENDDATA

min=@sum(complex:X*D);

@for(matrix(k)|k#gt#1:x(k,k)=0;

@sum(matrix(i)|i#ne#k:X(i,k)=1;

@sum(matrix(j)|j#ne#k:X(k,j)=1;

@for(matrix(i)|i#ne#k:U(k)>U(i)+Q(k)-C+C*(X(k,i)+x(i,k))-(Q(k)+Q(i))*x(k,i));

Q(k)<=U(k);

U(k)<=C;

@for(complex:@bin(x));

S=@floor(@sum(matrix(t):Q(t))/c+0.999999);

@sum(matrix(j)|j#gt#1:x(1,j))>=S;

End

运行LINGO可求得结果,如图2、图3所示。分析得出最优投送方案有2条路线,分别为:潜艇基地→目标区域6→目标区域7→目标区域8→目标区域1→目标区域2→潜艇基地;潜艇基地→目标区域3→目标区域4→目标区域5→潜艇基地。

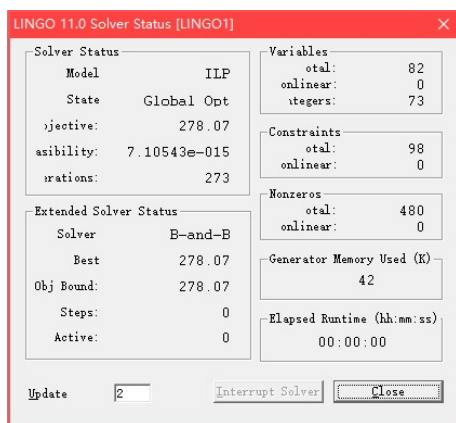


图2 求解结果-1

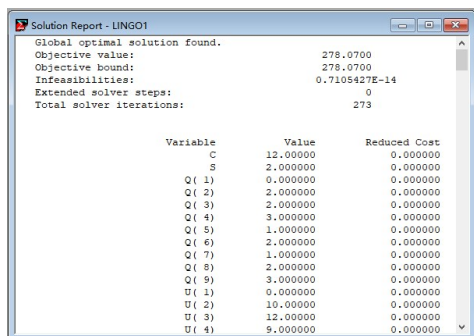


图3 求解结果-2

4.3 优化改进

仔细观察可发现:该方案总航程距离为278.07,但路线1有人潜艇布放10艘无人潜航器,路线2有人潜艇布放6艘无人潜航器,两者运载量差距较大,也导致路线1航程远大于路线2航程。现实考虑是:若潜艇基地有多艘有人潜艇执行投送任务,则该算例的次优解可能由于单条路线航程相对缩短,致使总任务时间缩短,故思考通过限制运载量差值进行方案优化。

在初始模型上增加的优化条件:

$$(1) F = \sum_{i \in N} Q_{(i)} / \left(\sum_{i \in N} Q_{(i)} / C \right);$$

$$(2) C' = F * (1 + w).$$

其中, F 表示潜艇的平均运载量; C' 表示规划方案后有人潜艇最大运载量; w 表示平均运载量的向上偏移率。

运用到具体算例中,指挥员将 w 取值为15%,求得优化方案如图4所示。

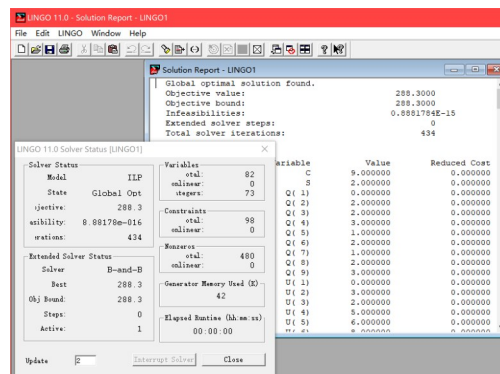


图4 优化结果

根据程序结果,分析得出最优投送方案有2条路线,分别为:潜艇基地→目标区域6→目标区域7→目标区域8→目标区域1→潜艇基地;潜艇基地→目标区域5→目标区域4→目标区域3→目标区域2→潜艇基地。

5 结论与建议

将两种方案相关数据对比,如表2所示。从结果可得:通过引入平均运载量 F 及其向上偏移率 w ,一定程度上缩小了多条路线的运载量差值。在算例中:优化使方案1较远的路线1航程缩短,因此,若多艘有人潜艇同时执行任务,方案2投送任务总航程略大于方案1,但仍然缩短了总任务时间,达到了优化效果。

表2 方案数据对比

	航程	运载量
方案1路线1	166.38	10
方案1路线2	111.69	6
方案1总航程	278.07	$C=12$
方案2路线1	150.02	8
方案2路线2	138.28	8
方案2总航程	288.30	$C'=9$

但侦察型无人潜航器投放问题,不能仅凭数据对比完成指挥决策,还需紧密结合作战实际分析。初始模型追求的是总航程最短方案。优化模型旨在前者的次优范围解中,找寻运载量均衡,能缩短总任务时间的方案。

选择初始模型的可能情况:

(1)任务为长期执行的例行性任务,对抗烈度低,主要考虑投送成本;

(2)多艘有人潜艇作战人员的训练水平有差异,因此任务分配时可由训练水平高的舰艇担负航程远、任务重的投送路线。

选择优化模型的可能情况:

(1)多艘有人潜艇遂行投送任务,且侦察任务时间具有紧迫性。

(2)企图分散风险,不会由于投送任务过于集中在某一潜艇,而出现潜艇因故障、遭遇险情、躲避敌情,致使全局任务完成最差。

可以看出,基于 LINGO 解决无人潜航器投送问题的方法简单、执行效率高。另一方面,对于指挥决策中的线性问题,便于进一步思考改进,快速求解新方案,为指挥员解决复杂问题决策提供辅助支撑。

参考文献

- [1] SARIKLIS D, POWELL S. A heuristic method for the open vehicle routing problem[J]. Journal of the Operational Research Society, 2000, 51(5): 564-573.
- [2] CALVETE H I, GALE C, OLIVEROS M, et al. A goal programming approach to vehicle routing problems with time window[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 177(3): 1720-1733.
- [3] KOVACS A A, PARRAGH S N, HARTL R F. The multi-objective generalized consistent vehicle routing problem[J]. European Journal of Operational Research, 2015, 247(2): 441-458.
- [4] UBEDA S, ARCELUS F J, FAULIN J. Green logistics at Eroski: a case study[J]. Production Economics, 2011, 131(1): 44-51.
- [5] 李淑琴, 杨斌, 赵磊, 等. 需求带时间窗的环保多车型组合配送路径优化[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2013, 38(2): 388-394.
- [6] 符卓, 刘文, 邱萌. 带软时间窗的需求依订单拆分车辆路径问题及其禁忌搜索算法[J]. 中国管理科学, 2017, 25(5): 78-85.
- [7] 倪霖, 刘凯鹏, 涂志刚. 考虑同时取送货的城市快递共同配送路径优化[J]. 重庆大学学报, 2017, 40(10): 30-39.
- [8] BIANCHESSI N, RIGHINI G. Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery[J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(2): 578-594.
- [9] REPOUSSIS P P, TARANTILIS C D, BRAYSSY O, et al. A hybrid evolution strategy for the open vehicle routing problem[J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(3): 443-455.
- [10] DE OLIVEIRA H B C, VASCONCELOS G C. A hybrid search method for the vehicle routing problem with time windows[J]. Annals of Operations Research, 2010, 180(1): 125-144.
- [11] 邓爱民, 毛超, 周彦霆. 带软时间窗的集配货一体化 VRP 改进模拟退火算法优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(5): 186-192.
- [12] 王征, 张俊, 王旭坪. 多车场带时间窗车辆路径问题的变邻域搜索算法[J]. 中国管理科学, 2011, 19(2): 99-109.
- [13] 葛显龙, 辜羽洁, 谭柏川. 基于第三方带软时间窗约束的车辆路径问题研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(3): 689-693.
- [14] 谷伟, 张群, 卫李蓉. 基于 GIS 的物流配送中心末端大规模车辆路径优化问题研究[J]. 中国管理科学, 2013(S1): 379-389.
- [15] 户佐安, 贾叶子, 李博威, 等. 考虑客户满意度的车辆路径优化研究[J]. 工业工程, 2019, 22(1): 100-107.

作者简介

彭云峰(1980—),男,硕士研究生,中职,研究员,主要研究方向:作战指挥。

孙云宇(1991—),男,硕士研究生,初职,研究员,主要研究方向:无人机、智能化作战。

陈君一(1990—),男,博士研究生,初职,研究员,主要研究方向:作战指挥、人工智能。