

应急机动通信兵力派遣问题的通用模型

花文健, 李炳杰

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:分析应急通信兵力派遣问题的一般组织方式,得出指派问题成本损失与时间优化的具有优先级的多目标分层非线性规划数学模型。给出求解该问题的宽容完全分层序列算法及具体实例。

关键词:通信派遣;多目标分层规划;分层序列算法

中图分类号:E967.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)04-0038-03

通信兵力派遣是指在一定的作战要求下,如何使用机动通信兵力使其保障效能尽可能高的行动。尤其是在战役进行中,我方一部分通信力量被毁伤需要再补充且可用机动通信力量又十分有限时,应急机动通信兵力派遣的“优化”问题就显得更加重要,因此,对在应急条件下,在规定的某种通信组织方式及其保障行动下,有必要对通信力量的指派问题建立一种模型,并结合通信指挥平时训练经验和演习经验,研究派遣方案的生成。

战时,在作战地域内根据具体任务的紧急程度、优先级别及可派遣兵力数量等因素有不同的保障行动模式。在战役准备阶段,通信派遣的特点是充分使用保障兵力,各方向独立开设,即向地域内需要通信保障的地点派出足够的装备和人员,各地点开通仅依靠本地点所派人员及装备。随着战役进行,通信网质量下降,欲保持通信指标,可通过重新选择地点(在允许的范围内)或在原地点补充通信兵力来实现,但开通时间非常紧迫。当战场毁伤量超过能补充的限度时,可用通信兵力不能满足若干地点独立开设的要求,再补充时采用“区分方向、集中开通”的方法,即将地域内的保障地点分为若干方向,根据每个方向上的毁伤情况、保障对象的重要程度及所用通信装备的特点,派遣具备综合操作技能的人员和所需装备,在此方向上各点实施“流水作业”,快速替换、维修原有装备或将所补充的装备一一开通。根据第一类保障对象地理分布的特点,可认为每个方向上只存在一个保障点,对于方向上集中派遣的综合技术人员可认为在点内实施“流水作业”。

1 问题模型

设地域内有 n 个方向需同时实施机动通信保障任务。其中 m ($m < n$) 个方向是紧急保障方向。第 i 个方向预期保障的线路数为 L_i 。

设通信保障的装备有 k 类,第 j 类装备的编制数为 E_j ($j=1,2,\dots,k$)。第 j 类装备可提供的线路数为 a_j ,第 j 类装备在第 i 方向上平均开通时间为 t_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,k$)。第 i 方向预期开通时间 T_i 。第 i 方向单位线路未开通对整体通信保障系统的损失系数为 β_i ($i=1,2,\dots,n$),第 i 方向开通第 j 类装备单位线路的成本系数 γ_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,k$),第 i 方向未按预期时间开通的单位时间损失系数 ζ_i ($i=1,2,\dots,n$)。

设计划在第 i 方向实施保障第 j 类装备的数量为 x_{ij} ($i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,k$),则第 i 方向开通线路数为 $\sum_{j=1}^k a_j x_{ij}$,开通时间 $\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij}$ 。

定义函数: $\delta(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$, 则各方向由于指派策略以及装备数量的限制而未全部开通保障线路造

成的损失为 $\beta_i(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij})\delta(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij})$, 由于未按时完成通信保障任务而造成的损失为 $\zeta_i(\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i)\delta(\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i)$ 。

按照“紧急保障方向成本损失、其余保障方向成本损失、紧急保障方向时间及其余保障方向时间”的优先优化原则次序可得到野战机动通信派遣的分层多目标非线性优化如下^[1]

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_j \gamma_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \beta_i (L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \delta(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \quad (1)$$

$$\min \sum_{i=n-m}^n \sum_{j=1}^k a_j \gamma_{ij} x_{ij} + \sum_{i=n-m}^m \beta_i (L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \delta(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \quad (2)$$

$$\min \sum_{i=1}^m \zeta_i (\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \delta(\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \quad (3)$$

$$\min \sum_{i=n-m}^n \zeta_i (\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \delta(\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \quad (4)$$

$$S. T \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq E_j \quad (j = 1, 2, \dots, k) \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k) \quad (6)$$

2 模型算法

模型(1)~(6)为具有4个优先层次的分层次多目标优化问题,为避免利用简单完全分层序列法可能在某一层出现唯一最优解的情况,可利用文献[2]介绍的宽容完全分层序列算法。其步骤如下:

step1. 以式(1)为目标函数,式(5)、(6)为约束条件,求解约束问题得到最优解 $x_{ij}^{(1)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$) (不一定唯一)以及最优目标值 $M^{(1)}$ 。

Step2. 以式(2)为目标,以式(5)、(6)及

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k a_j \gamma_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^m \beta_i (L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \delta(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \leq M^{(1)} + \delta_1 \quad (7)$$

为约束条件,利用二分试探法^[3]取合适的宽容值 δ_1 ,求解优化问题得最优解 $x_{ij}^{(2)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$) (不一定唯一)及最优目标值 $M^{(2)}$ 。

Step3. 以式(3)为目标函数,类似 Step2,取宽容值 δ_2 ,以式(5)、(6)、(7)及

$$\sum_{i=n-m}^n \sum_{j=1}^k a_j \gamma_{ij} x_{ij} + \sum_{i=n-m}^m \beta_i (L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \delta(L_i - \sum_{j=1}^k a_j x_{ij}) \leq M^{(2)} + \delta_2 \quad (8)$$

为约束条件,求解优化问题得最优解 $x_{ij}^{(3)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$) (不一定唯一)及最优目标值 $M^{(3)}$ 。

Step4. 以式(4)为目标函数,类似 Step2,取宽容值 δ_3 ,以式(5)、(6)、(7)、(8)及

$$\sum_{i=1}^m \zeta_i (\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \delta(\sum_{j=1}^k t_{ij} x_{ij} - T_i) \leq M^{(3)} + \delta_3 \quad (9)$$

为约束条件,求解优化问题得最优解 $x_{ij}^{(4)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$) (不一定唯一)及最优目标值 $M^{(4)}$ 。

取 $x_{ij}^* = x_{ij}^{(4)}$ 为问题(1)~(6)的弱有效解。最优目标值 $M \leq M^{(1)} + M^{(2)} + M^{(3)} + M^{(4)} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$ 。

3 实例

某地域内实施机动通信保障。设保障装备有车型1、车型2、车型3共3类(记为 $j = 1, 2, 3$),如表1所示(上标*为紧急方向)。

令 $n = 5, m = 2, E_1 = 6, E_2 = 25, E_3 = 4, L_1 = 78, L_2 = 90, L_3 = 160, L_4 = 74, L_5 = 68, T_1 = 230, T_2 = 220, T_3 = 340, T_4 = 200, T_5 = 200, \gamma_{11} = \gamma_{21} = \gamma_{31} = \gamma_{41} = \gamma_{51} = 3, \gamma_{12} = \gamma_{22} = \gamma_{32} = \gamma_{42} = \gamma_{52} = 1.5, \gamma_{13} = \gamma_{23} = 6, \gamma_{33} = \gamma_{43} = \gamma_{53} = 5,$

$\beta_1 = 10, \beta_2 = 8, \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 7, \zeta_1 = 1, \zeta_2 = 2, \zeta_3 = \zeta_4 = \zeta_5 = 1$ 。利用 Lingo 规划软件对以上给定的模型参数执行本文算法。

求解 Step1 问题, 得到满足模型第一优先层次的最优解: $x_{11} = 0, x_{12} = 10, x_{13} = 0, x_{21} = 0, x_{22} = 12, x_{23} = 0, x_{31} = 1, x_{32} = 1, x_{33} = 1, x_{41} = 2, x_{42} = 1, x_{43} = 1, x_{51} = 2, x_{52} = 1, x_{53} = 1$, 目标值 $M^{(1)} = 264$ 。

求解 Step2 问题, 通过二分试探法得到合适的宽容值 $\delta_1 = 15$, 得到满足模型第一、二优先层次的弱有效解: $x_{11} = 0, x_{12} = 10, x_{13} = 0, x_{21} = 0, x_{22} = 11, x_{23} = 0, x_{31} = 3, x_{32} = 2, x_{33} = 2, x_{41} = 2, x_{42} = 2, x_{43} = 1, x_{51} = 1, x_{52} = 0, x_{53} = 1$, 目标值 $M^{(2)} = 1394$ 。

求解 Step3 问题, 取合适的宽容值 $\delta_2 = 6$, 得到满足模型第一、二、三优先层次的弱有效解: $x_{11} = 0, x_{12} = 10, x_{13} = 0, x_{21} = 0, x_{22} = 11, x_{23} = 0, x_{31} = 4, x_{32} = 0, x_{33} = 2, x_{41} = 2, x_{42} = 4, x_{43} = 0, x_{51} = 0, x_{52} = 0, x_{53} = 2$, 目标值 $M^{(3)} = 20$ 。

求解 Step4 问题, 取合适的宽容值 $\delta_3 = 8$, 得到满足模型(1)~(6)的弱有效解: $x_{11} = 0, x_{12} = 10, x_{13} = 0, x_{21} = 0, x_{22} = 11, x_{23} = 0, x_{31} = 0, x_{32} = 3, x_{33} = 3, x_{41} = 2, x_{42} = 1, x_{43} = 1, x_{51} = 4, x_{52} = 0, x_{53} = 0$, 目标值 $M^{(4)} = 12$ 。

由此得到本文实例的指派方案(即模型(1)~(6)的弱有效解)为

$$X = (x_{ij})_{5 \times 3} = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 0 \\ 0 & 11 & 0 \\ 0 & 3 & 3 \\ 2 & 1 & 1 \\ 4 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

各方向完成保障线路分别为 80、88、120、64、48 条。完成时间分别为 250、220、330、200、212 min。最优目标值 $M = 252 + 1394 + 20 + 12 = 1678 < M^{(1)} + M^{(2)} + M^{(3)} + M^{(4)} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 1721$ 。

参考文献:

- [1] 袁亚湘, 孙文瑜. 最优化理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 解可新, 韩立兴. 最优化方法[M]. 天津: 天津大学出版社, 2001.
- [3] More J J, Wright S J. Optimization software guide [J]. Frontiers in Applied Mathematics, 1993, 14(1): 54-71.
- [4] 张明智, 娄寿春, 何章明. 指挥控制系统决策支持需求研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(3): 22-25.

(编辑: 门向生)

A Common Model on Mobile Communication Force by Emergency Dispatch

HUA Wen-jian, LI Bing-jie

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: In this paper, a priority-ranked multi objective layered nonlinear programming model of the problem on the loss of dispatch cost and optimized dispatch time is put forward to solve the question about the emergency dispatch of mobile communication force, and an algorithm of layered sequence is given to solve this model by analyzing a general mode of mobile communication organization. Finally, an algorithm of tolerant and complete layered sequence for solving this problem is given together with a concrete example.

Key words: communication dispatch; multi objective layered programming; algorithm of layered sequence