

# 装备巡回保障力量优化配置仿真建模研究

张 帅,冯 柯,田红伟,申金星

(解放军理工大学 野战工程学院,南京 210007)

**摘要:**将模拟退火算法与动态仿真相结合,建立了工程装备巡回保障力量配置的优化数学模型,给出了求解步骤;通过算例分析,将计算结果与静态优化结果做了比较,对模型和求解方法的科学性、合理性进行了验证;实验结果表明:该优化配置方法可以求得更加贴合作战工程装备保障实际的动态优化解,得到装备巡回保障过程中的较优方案。

**关键词:**装备巡回保障;模拟退火;动态仿真

**中图分类号:**TJ240;TP351

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2013)06-0088-03

## Simulation and Modeling for Optimal Allocation of Equipment Support Forces Based on Simulated Annealing Algorithm

ZHANG Shuai, FENG Ke, TIAN Hong-wei, SHEN Jin-xing

(College of Field Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** Simulated annealing algorithm and dynamical simulation are integrated to solve the optimized configuration problem of equipment itinerate support in the combat field project. By means of example analyzing, the result and the static optimization result are compared in this paper to make sure that this method is more usefully optimized, and via this method, the excellent project of equipment itinerate support can be searched.

**Key words:** equipment itinerate support; simulated annealing algorithm; dynamic simulation

在信息化条件下的未来战争中,工程保障对作战部队的机动能力和战场生存能力有很大影响,总的来讲,工程保障有着作战空间广阔、贯穿战争全过程的特点,极大地影响着战场态势的发展和战斗的成败。而工程保障的效率在很大程度上又取决于工程装备保障的及时性与修复率。战场条件下工程装备保障的实现形式主要是通过工程装备保障分队来完成装备保障任务。为了使工程保障中的工程装备能得到及时的技术保障,工程装备保障分队采取技术保障的基本组织形式主要有定点保障、伴随保障和巡回保障<sup>[1]</sup>三种主要方式。

目前我军针对巡回装备保障分队的数量配置及力量编组还没有量化标准,在实施过程中主要是依赖于类似专家意见或以往的作战经验等局部、静态的决策方式,而对于瞬息万变的战场态势而言,局部、静态的决策方式往往难以适应装备保障任务进程的发展。

本文基于模拟退火算法,并结合动态仿真对巡回工程装备保障力量的预测及应用提出了一种客观有效的配置方法。

## 1 概述

为便于掌控工程装备保障力量,及时完成装备保障任务,战时工程装备保障力量按照特定的方法配置。工程装备保障力量的编配一般按照指挥员意图,依据装备保障任务类型、重要性,在战前采取按区域的梯次配置方法形成集群式装备保障体系,即将多个工程装备保障分队集中在一起配置于一个相对固定的、合理的中心地域,形成装备保障群(队)<sup>[2]</sup>。指挥员对保障群(队)中派出的巡回保障小组提前进行合理配置与编组,当装备出现战损,适合战场现地修理进行抢救抢修时,巡回保障小组随时从各自的巡回地域快速机动至装备受损地点实施维修保障行动。

以某一作战地域内实施的某次作战演习为例分析,为简化问题,将该地域内所有可用道路抽象为路网信息图,如图1所示。假设该区域内有 $M$ 个重点工程保障部位,各自的坐标分别为 $A(a_1, a_2), B(b_1, b_2), C(c_1, c_2), D(d_1, d_2), \dots$ ,所有道路数据已知,相邻两个交叉路口之间的道路可近似看成是直线)。

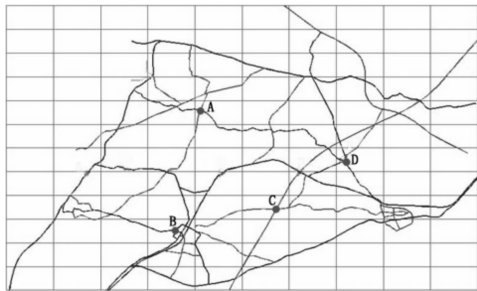


图1 路网信息图

从快速高效地完成装备保障任务需要的角度出发,战前拟在该地域配置若干巡回保障小组(每个小组配备数名专业修理工及相应的修理设备、箱组和机工具,具有一定的装备抢救抢修能力)。

巡回保障小组在作战地域内以保障群(队)所在地为基点,沿既定道路以摩托化方式巡回开进,当接到装备抢修任务时,迅速赶往装备战损地点对装备进行抢救抢修,快速恢复装备战斗性能。设巡回保障小组的平均巡回速度为 $V$ ,当接到抢修任务后赶往装备战损地点的平均行驶速度为 $V'$ 。巡回保障小组在该作战地域内的配置及巡回方案在保证作战隐秘性及确保巡回抢修效果的前提下,还要尽量满足:巡回保障小组在接到抢修任务后于 $t_1 \text{ min}$ 内赶到现场的比例不低于 $W$ (一般地, $W > 90\%$ ),而赶到各重点部位的时间必须在 $t_2 \text{ min}$ 以内。根据以上假设,现在需要解决的问题是:为保障作战需要,战前在该地域最少需配置多少个巡回保障小组。

## 2 模型的建立及求解过程

巡回保障小组要满足巡回到达时间限制的要求,即需要覆盖率达到一定要求,从而确定最少需要配置的巡回保障小组数量,假设在战前保障群(队)位置相对固定和巡回保障小组为静态的情况下计算所需要的最少巡回保障小组数目为 $n$ ,此时得到的是在一个接近最优分布下满足覆盖率的最小要求。但根据实际情况,巡回保障小组应该是以一定速度在作战地域内进行巡回开进,在接到维修任务命令后迅速赶往装备受损地域完成装备维修任务,随着时间的演化,巡回保障小组在作战地域内的分布是动态变化的,这就有可能偏离静态条件下的最优分布,进而在某些时段内达不到覆盖率要求。因此,考虑动态情况时完成装备保障任务所需的最小巡回保障小组数目一定大于或等于静态优化结果。

针对以上分析,可以采取静态和动态相结合的方法:首先利用静态优化方法得到一个结果状态,包含了所需的最少巡回保障小组数目及巡回保障小组战场配置地域分布。然后以这个结果状态作为动态仿真的初始状态,进行时间演化,演化的目标:覆盖率的增加;四个重点部位必须被覆盖。

如果演化时段内各个时刻的覆盖率都能够达到 $W$ 的要求,且重点区域都能在 $t_2 \text{ min}$ 内到达,那么这个数目就是可行的。反之,则应增加巡回保障小组数目,然后再利用动态仿真,检验增加巡回保障小组后能否满足要求,这个迭代过程一直到满足仿真作战要求为止。

### 2.1 基于模拟退火算法的静态优化

静态优化的情况,实际上是个组合优化问题。组合优化问题与金属物体的退火过程可进行如下类比:组合优化问题的解类似于金属物体的状态,组合优化问题的最优解类似于金属物体的能量最低的状态,组合优化问题的费用函数类似于金属物体的能量<sup>[3]</sup>。模拟退火算法是一种基于“退火原理”建立的随机搜索算法,作为对局部搜索算法的扩展,它与局部搜索算法的不同之处在于:它是以一定的概率选择邻域中目标函数值差的状态,在理论上已被证明是一种以概率1收敛于全局最优解的全局优化算法。选用模拟退火算法求解该问题的另一个优点是,其解的质量会随着搜索过程的推进而逐渐提高,而且在迭代的中后期,随着温度的逐渐降低,算法接受较差的解的概率逐渐降低,从而可以使解的质量大幅度提高,并保证该算法能得到较好的计算结果<sup>[4]</sup>。因而采用模拟退火方法,在可以承受的时间之内,寻求静态优化解。

设有 $m$ 个巡回小组和 $N$ 个路口点,并记第 $i$ 个路口的邻域为 $A_i$ 。目标是要寻找 $m$ 个路口,使得当每个路口有一个巡回保障小组时, $m$ 个邻域的并集所含的点数最多。

1) 解空间。解空间可表示为从 $\{1, 2, \dots, N\}$ 中选出 $m$ 个元素的所有可能组合的集合,即:

$$R = \{C = (c_1, \dots, c_m) \mid 1 \leq c_i \leq N, c_i \neq c_j \} (i, j = 1, \dots, m)$$

初始解可以选为 $C_0 = \{1, [N/m], \dots, N\}$ ,所有状态的转移都是在解空间里进行的。

2) 目标函数。任一集合 $A$ 中的元素个数计为 $LEN[A]$ ,此时目标函数为 $m$ 个邻域的并集的元素个数的极大值,即求:

$$\max n(\{c_1, \dots, c_m\}) = LEN(\bigcup_{i=1}^m A_{c_i})$$

3) 新解的产生。当前解为 $C = \{c_1, \dots, c_m\}$ ,对于任一个巡回保障小组,不妨设为第 $i$ 小组,其现在处在路口 $c_i$ ,这时新解的产生有两种方法:邻点法是在 $c_i$ 的相邻点中任选一点 $c'_i$ ,以此产生新解。邻域法:在的邻域内任选一点,以此产生新解。在算法中将上述两种方法交替使用。

4) 目标函数差。 $\Delta n = n(C') - n(C)$ 。

5) 接受准则。由于为最大优化问题,所以接受准则为当 $\Delta n > 0$ 时以概率1接受新解为当前解;当 $\Delta n \leq 0$ 时,则以概率 $\exp(\Delta n/bT)$ 接受新解为当前解,其中 $m$ 为控制参数, $T$ 为冷却参数。

通过以上计算方法,可以得到不同的巡回保障小组数目

对应的优化覆盖率结果。根据设定的覆盖率期望值即可选取相对应的巡回保障小组数目,该数目即是进行下一步动态仿真优化的初始状态。

## 2.2 基于仿真模型的动态优化

计算机仿真模型的建立一般可以分为两种方法:时间步长法和事件步长法。本文要研究巡回保障小组数目随时间演化的巡回方案,因此应采用时间步长法建立仿真模型。时间步长法的基本步骤:首先选取系统的一个初始起点为仿真时钟的零点,然后根据实际问题的需要,选定一个时间步长。于是从仿真时钟的零点开始,每推进一个时间步长,就对系统的活动和状态按照预订的规则和目的进行考察、分析、计算和记录,直到预定仿真结束时刻为止<sup>[5]</sup>。

1) 选定时间步长。首先,根据装备保障任务要求每隔 1 min 输出一次各巡回小组的位置坐标,因此仿真时间间隔至少要小于 1 min,并且最好为 1 min 的因子,使得每个输出时刻同时也是仿真经历的离散时刻;其次,由于巡回保障小组巡回时可能会在路口处转弯,那么在时间步长内巡回保障小组巡回的路程长度必须短于所有路段的最小长度。综上所述,时间步长可以取为 10 s。

2) 推进原则。为解决实际问题,将道路离散化成点,这相当于增加了交叉路口的数量。根据假设,巡回保障小组只有到达实际的路口(即原有的交叉路口)才存在选择路径的问题。为了避免短距离的贪心算法导致的局部最优的情形,在为巡回保障小组选择路线时,考虑的不是下一个点,而是下一个实际的路口。当巡回保障小组位于某个实际的交叉路口时,计算该小组位于与该路口直接相邻的各个路口时整体的覆盖率,选择覆盖率最高的方向,且允许巡回保障小组在路口进行掉头。

根据以上叙述,利用 MATLAB 软件进行仿真,取定一定的仿真时间,每间隔一次时间步长,记录该时段末各个巡回保障小组的位置信息,并计算此时所有巡回保障小组在该保障地域内所能达到的覆盖率。记录下所有的仿真覆盖率结果,整个仿真时间段内覆盖率结果满足期望值  $W$  要求所对应的巡回保障小组数目即是最佳的优化数目。

## 3 实例应用

给定实验数据如下:

作战地域内重点工程保障部位坐标:  $A(63, 3)$ ,  $B(57, 2)$ ,  $C(58, 6)$ ,  $D(60, 10)$ , 其他道路数据也已知;巡回保障小组平均巡回速度:40 km/h;巡回保障小组接到任务后迅即赶往装备战损地点的平均行驶速度:60 km/h;巡回保障小组赶往现场的时间要求:3 min 以内;巡回保障小组赶往重点工程保障部位的时间要求:2 min 以内;覆盖率要求:大于 90%。

按本文给出的优化步骤求解结果如下:

表 1 为通过模拟退火算法搜索得到的不同巡回保障小组数目对应的静态优化覆盖率结果值。

表 1 静态优化时模拟退火算法的搜索结果

巡回小组数目	6	7	8	9
优化覆盖率/%	84.08	86.62	89.02	90.12

从表 1 中的结果可以看出,在给定的实验数据条件下,当巡回保障小组数目达到 9 个时,已经可以满足覆盖率大于 90% 的要求。根据前面的分析,这个数值就是进行动态仿真优化的初始状态。

利用 MATLAB 软件进行仿真,仿真时间取为 2 h,每间隔一次时间步长,记录该时段末各个巡回保障小组的位置信息,并计算此时所有巡回保障小组在该保障地域内所能达到的覆盖率结果。图 2—图 4 为仿真结果的散点图(横坐标为仿真时间,纵坐标为对应仿真时刻的覆盖率)。

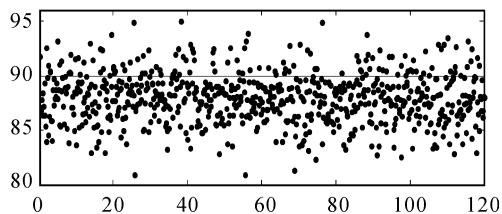


图 2 9 个巡回小组的仿真结果

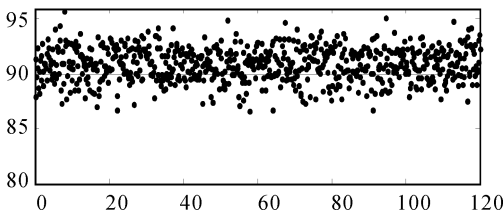


图 3 10 个巡回小组的仿真结果

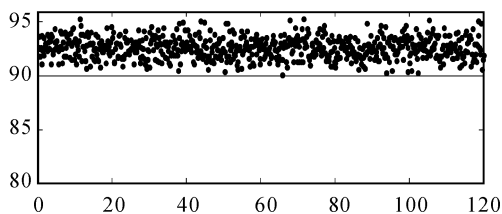


图 4 11 个巡回小组的仿真结果

根据以上仿真结果,表 2 为巡回保障小组数目不同时所做的不同覆盖率所占百分比的统计信息。可以看出,当配置 9 个巡回保障小组进行巡回时,覆盖率达到 90% 以上的时段只有 18.16%。也就是说随着时间的演化,系统状态已在很大程度上偏离了静态优化时的结果。也进一步验证了静态优化的结果并不能满足题目要求的推论,由此也可以看出:静态优化算法在处理此类问题时的局限性。当巡回保障小组数再增加一个变为 10 个时,情况得到很大的改善:90% 以下的比例只占到 27.4%。当巡回保障小组数目达到 11 个时,则在所有仿真时段内,90% 的覆盖率目标都可以得到满足。

(下转第 100 页)