参赛密码 

**（由组委会填写）**



**** 

**“华为杯”第十四届中国研究生**

**数学建模竞赛**

|  |  |
| --- | --- |
| **学 校** | **上海理工大学** |
| **参赛队号** | **10252087** |
| **队员姓名** | **1.仇福康** |
| **2.江磊** |
| **3.徐鸣** |

参赛密码 

**（由组委会填写）**



**** 

**“华为杯”第十四届中国研究生**

**数学建模竞赛**

题 目 多波次导弹发射中的规划问题

摘 要：

**为研究多波次导弹发射中的规划问题，本文综合运用了Dijkstra算法、0-1规划模型、数值计算方法、线性优化等建立了多波次导弹发射中的规划模型，并对发射任务提出了合理的机动方案和分配方案，在一定程度上解决了多波次导弹发射中的规划问题。**

**针对问题一，由于发射导弹在已知限定条件下仅涉及发射点的选取问题，我们通过编写MATLAB程序求得每一段之间的距离，通过总结规律设计最小路径模型，得出了在不同发射点下所呈现的不同路径。再通过Dijkstra算法求出每一个待机域到发射点的距离，从而建立0-1模型，将目标函数设为最短距离，求出了每一个待机地域距离最短的发射点，并对所处这些发射点的车载装置进行合理分配，从而确定了暴露时间。**

**针对问题二，**

**一．问题重述**

**1.1.问题背景**

大型国防工程施工、武器装备实验或部队大规模移动的隐蔽性关系到国家安全以及战争胜败。随着科学技术的不断发展，以导弹武器为代表的高精端武器被越来越多地运用到信息化战斗中，用导弹打击敌方的政治、经济、军事、交通等目标，可以达到对敌方的威慑、遏制和对己方后续攻势的展开提供支持的目的，可以说，导弹作战是最终取得战争胜利以及维护国家利益的重要因素，它已成为未来战场主要作战样式之一。但是，由于战争的复杂性，导弹一波次齐射很难达到相应的目的，所以多波次导弹作战就成了解决问题的有效手段。通俗地讲，多波次导弹作战就是导弹在整个作战过程中分为多批次打击敌方目标，即“打击—侦察—打击”，如此循环下去。多波次导弹作战打击敌方多个目标是一个复杂的随机过程，所以要想提高作战效率，对作战路线规划则提出了更高的要求。

高技术条件下的现代化战争 , 突发性急骤增强 , 对导弹部队的机动能力提出了更高的要求。机动路线制定的好坏直接决定着导弹暴露时间长短。要实现机动快、暴露时间短 , 就必须要有合理的机动方案 , 其中机动路线如何选择是机动作战决策的一个重要课题。在一定的作战意图下根据给定的打击目标和现有的武器条件，将可用的弹型、弹量、火力发射单位最优配置到各个目标上去，确定打击各目标所使用的弹型和数量，确定从哪个火力发射单位进行打击，以追求更快和最优的打击效果。

由此可见，对于多波次导弹发射中的规划方法就显得尤为重要，在这个大背景下，我们提出以下几个待解决的问题。

**1.2.问题提出**

问题一：

该部接受到实施两个波次的齐射任务（齐射是指同一波次的导弹同一时刻发射），每个波次各发射24枚导弹。给出具体发射点位分配及机动路线方案，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。方案需按题目后面对附件2说明中规定的格式给出，并存入文件“E队号.xls”中，随论文同时上传指定邮箱，作为竞赛论文评审的重要依据。统一以第一波次的发射时刻作为第二波次机动的起始时刻。

问题二：

转载地域的合理布设是问题的“瓶颈”之一。除已布设的6个转载地域外，可选择在道路节点J25、J34、J36、J42、J49附近临时增设2个转载地域（坐标就取相应节点的坐标）。应该如何布设临时转载地域，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。

问题三：

新增3台C类发射装置用于第二波次发射。这3台发射装置可事先选择节点J04、J06、J08、J13、J14、J15附近隐蔽待机（坐标就取相应节点的坐标），即这3台发射装置装弹后从待机地域机动到隐蔽待机点的时间不计入暴露时间内。每一隐蔽待机点至多容纳2台发射装置。待第一波次导弹发射后，这3台发射装置机动至发射点位参与第二波次的齐射，同时被替代的3台C类发射装置完成第一波次齐射后择机返回待机地域（返回时间不计入暴露时间）。转载地域仍为事先布设的6个的前提下，应该如何选择隐蔽待机点，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。

问题四：

道路节点受到攻击破坏会延迟甚至阻碍发射装置按时到达指定发射点位。请结合图1路网特点，考虑攻防双方的对抗博弈，建立合理的评价指标，量化分析该路网最可能受到敌方攻击破坏的3个道路节点。

问题五：

在机动方案的拟制中，既要考虑整体暴露时间尽可能短，也要规避敌方的侦察和打击，采用适当分散机动的策略，同时还要缩短单台发射装置的最长暴露时间。综合考虑这些因素，重新讨论问题（1）。

**二．模型假设与符号说明**

**2.1.问题假设**

针对问题一：

(1)假设参与作战行动的24台车载发射装置功能和性能上没有任何区别。

(2)假设在车载发射装置在行动过程中没有发生故障。

(3)假设第一波车载发射装置在发射导弹前已装好导弹。

针对问题二：

(1)假设导弹转弯性质的限制不在考虑范围内。

(2)假设不存在导弹发射失误和失败的情况。

(3)假设道路阻碍对车载装置的影响可以忽略不计。

(4)假设J25、J34、J36、J42、J49道路节点附近分配转载地域概率相等，不考虑其距离远近等其它因素。

针对问题三：

(1)

针对问题四：

1. 假设发射点依旧不能重复。
2. 假设每次发射装置发射导弹的命中率为百分百，排除空中导弹拦截的情况。
3. 假设可以忽略导弹水平攻击角与导弹发射角度所呈现的下降趋势。
4. 假设忽略天气等自然不可抗力对导弹发生成功的影响。

针对问题五：

(1)

**2.2.符号说明**

在此，对本文所有的符号进行定义。

|  |  |
| --- | --- |
| 符号 | 符号说明 |
| *A、B、C* | 发射装置 |
| *D1、D2* | 待机地域 |
| *Z01、Z02、Z03、Z04、Z05、Z06* | 6个转载地域 |
| *F01、F02……F59、F60* | 60个发射点位 |
| *J01、J02……J61、J62* | 62个道路节点 |
| *Lm=* | 单个小段之间的距离 |
| *v* | 128个划分点 |

**三．问题一的分析与建模**

**3.1.问题分析**

因为要求同一波次的导弹齐射，为了减少整体暴露时间，安排较短路径上的装载车较晚发射，从而避免其在发射区等待。

由上小节中的分析可以得出，最小暴露时间可以用如下数学模型来表示：

已知

邻近矩阵

根据上式做出关于,,的邻近矩阵,,，其中：

而目标求

其中:KD待机区域的总数， NDi为计划在从第i个待机区域出发的装载车的数量，分别为第j个等待区域和第1个发射点的坐标，d（DjFi）表示 , DjFi两点之间的最小行驶距离（并非空间上的直线距离）,代表k为A，B，C发射装置时的速度。

d（DjFi） 可以采用 Dijkstra 算法进行求解。Dijkstra算法是图论中求解距离最为经典的一种解法。针对本问题具体的做法是将所有待机区域、转载地域、道路节点和发射点作为节点构造网络图，然后将任何相互连接的节点的距离记为其欧式距离，不相邻的节点的距离记为无穷大，使用邻接矩阵表示该网络图，应用 Dijkstra 算法即可求解任何两点的距离。另外值得注意的是，在上式中求解过程中需要避免某个发射点Fi被重复采用。

通过上式分别求解在①待机地点D到发射地点F进行第一波齐射的最短消耗时间。②发射地点F到转载地点Z进行导弹补充的的最短消耗时间。③转载地点Z到发射地点F进行第二波齐射的最短消耗时间。

则得最短暴露时间：

**3.2.模型建立与求解**

**1.图的数据结构**

图的邻接矩阵存储方式是用两个数组来表示图。一个一维数组存储图中顶点信息，一个二维数组（邻接矩阵）存储图中的边或弧的信息。

设图G有n个顶点，则邻接矩阵是一个n\*n的方阵，定义为：  
    http://blog.chinaunix.net/attachment/201301/28/26548237_1359358455QE9d.png

形如：

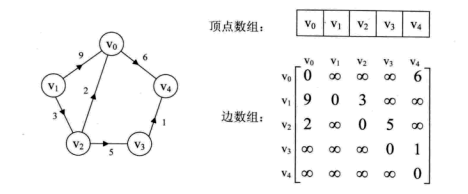
****

图3.2-1 邻近矩阵的表达

观察所给的作战区域的图，可作出题目中的邻近表，并生成图3.2。其中D[:],Z[:],F[:],J[:]到邻近表序号的映射关系为：

|  |  |
| --- | --- |
| D[01~02] | 1,2 |
| Z[01~06] | 3~8 |
| F[01~60] | 9~68 |
| J[01~62] | 69~130 |

我们将这题目中所有的点保存在mymap.mat中，而其道路邻近表矩阵W则通过excel软件画在map.xlsx中。方便在实验过程将其导入。

1. **对于每一小段距离的求解**

由于从待机地域移动到发射点位并不是走的一条直线，而是经过几小段道路采到达的，所以为了方便表示机动总距离，我们将发射点位、转载地域、道路节点统一看做划分点v ，把“作战区域内相关要素及道路的分布示意图”中的道路划分为小段。

设每一小段道路两端的划分点的坐标分别为Vi(xi, yi)和Vj(xj , yj)，则每一小段的欧氏距离为:

其中m表示划分出的小路段的数量。

1. **Dijkstra算法**

Dijkstra(迪杰斯特拉)算法是典型的单源最短路径算法，用于计算一个节点到其他所有节点的最短路径。主要特点是以起始点为中心向外层层扩展，直到扩展到终点为止。Dijkstra算法是很有代表性的最短路径算法，在很多专业课程中都作为基本内容有详细的介绍，如数据结构，图论，运筹学等等。注意该算法要求图中不存在负权边。

问题描述：在无向图 G=(V,E) 中，假设每条边 E[i] 的长度为 w[i]，找到由顶点 V0 到其余各点的最短路径。（单源最短路径）

算法思想：

设G=(V,E)是一个带权有向图，把图中顶点集合V分成两组，第一组为已求出最短路径的顶点集合（用S表示，初始时S中只有一个源点，以后每求得一条最短路径 , 就将加入到集合S中，直到全部顶点都加入到S中，算法就结束了），第二组为其余未确定最短路径的顶点集合（用U表示），按最短路径长度的递增次序依次把第二组的顶点加入S中。在加入的过程中，总保持从源点v到S中各顶点的最短路径长度不大于从源点v到U中任何顶点的最短路径长度。此外，每个顶点对应一个距离，S中的顶点的距离就是从v到此顶点的最短路径长度，U中的顶点的距离，是从v到此顶点只包括S中的顶点为中间顶点的当前最短路径长度。

算法步骤：

a.初始时，S只包含源点，即S＝{v}，v的距离为0。U包含除v外的其他顶点，即:U={其余顶点}，若v与U中顶点u有边，则<u,v>正常有权值，若u不是v的出边邻接点，则<u,v>权值为∞。

b.从U中选取一个距离v最小的顶点k，把k，加入S中（该选定的距离就是v到k的最短路径长度）。

c.以k为新考虑的中间点，修改U中各顶点的距离；若从源点v到顶点u的距离（经过顶点k）比原来距离（不经过顶点k）短，则修改顶点u的距离值，修改后的距离值的顶点k的距离加上边上的权。

d.重复步骤b和c直到所有顶点都包含在S中。

算法流程图如下：

图3.1 Dijkstra(迪杰斯特拉)算法流程图

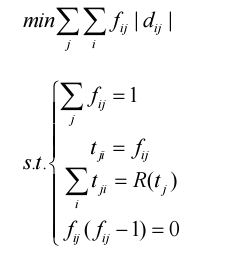
编程实现Dijkstra算法函数，将其以文件名mydijkstra.m保存在附件目录下，其调用格式为:

其中，Lst是存储了由起点start到终点end每一小段距离的邻接矩阵之和。即对于二维矩阵Lst，，满足

1. **0-1规划模型**

将确定好的发射节点集为{ fi} ，目标集为{ ti}，可以构建一个起点点集为{ fi } 到终点集为{ ti }的有向图，图中的节点为全部发射节点集和目标集中的点，边为所有发射节点fi到所有目标tj 构成一条边 dij，边的长度为两点间的欧式距离。

若发射节点fi 发射导弹到目标tj ，则记fij= 1，否则记fij= 0 ，R(tj)表示 tj安排的导弹数，那么一个通用的可行的目标打击安排可由如下 0-1 规划模型表示



我们通过MATLAB软件仿真以及附件1所给定的坐标将作战区域道路示意图进行简化并将节点标记成数字以方便后续问题解决，具体如下图：

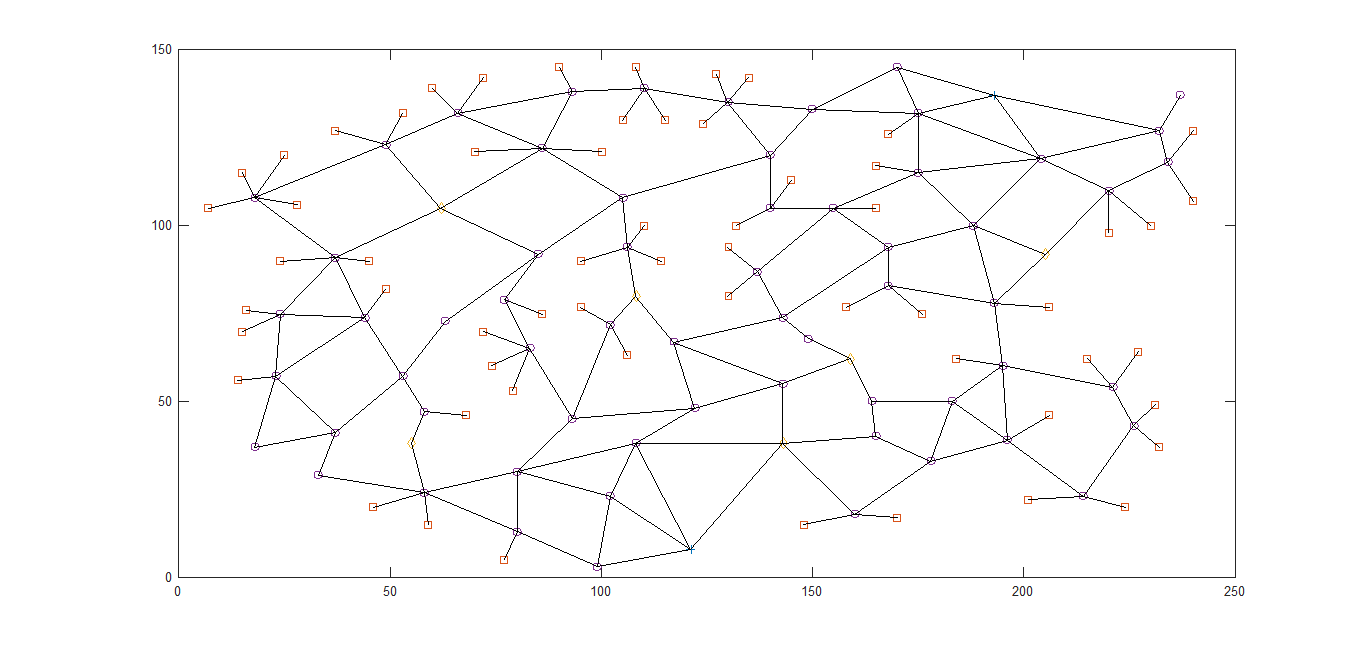


图3.2 未做标记的作战区域道路示意图

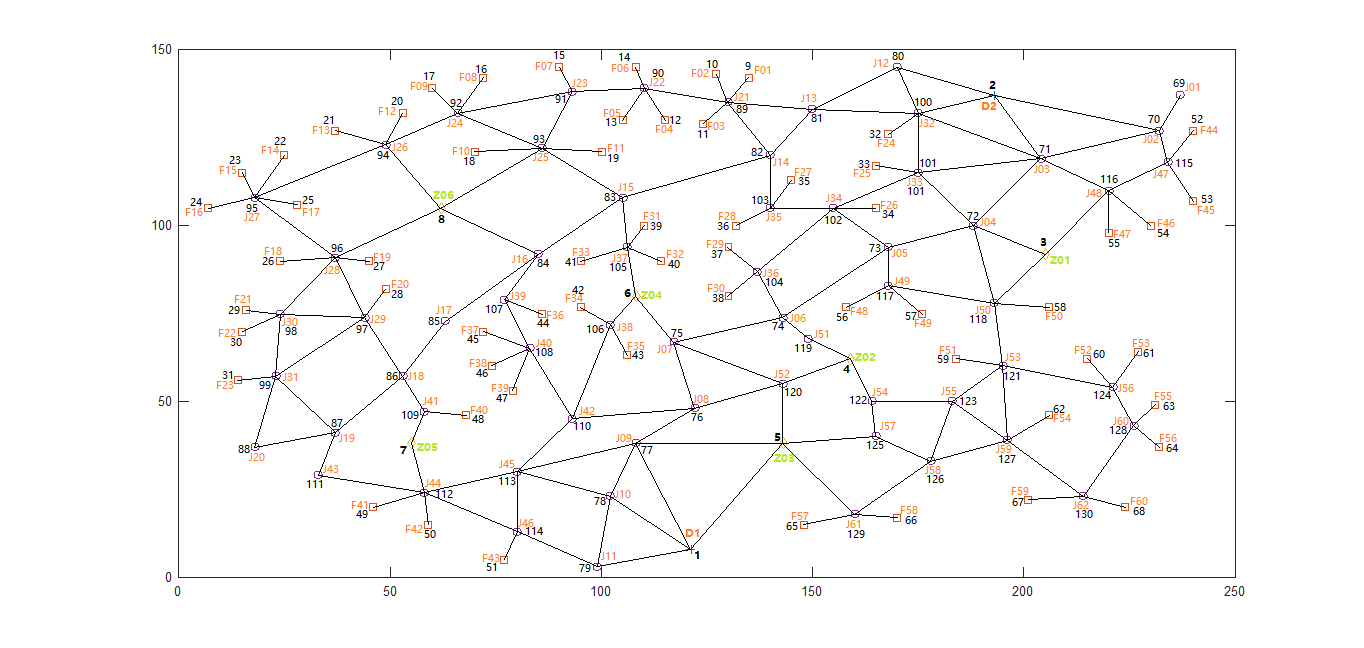


图3.3 更改节点数字编号后的作战区域道路示意图

**具体节点对应对象如下表**

|  |  |
| --- | --- |
| **原节点设置** | **现节点设置编号** |
| *D1、D2* | 1,2 |
| *Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6* | 3,4,5,6,7,8 |
| F1*、*F2....F59*、*F60 | 9,10,...,67,68 |
| J1*、*J2...J61*、*J62 | 69,70,...,129,130 |

**备注：以下问题我们将以现节点设置编号进行讨论优化，结果填写在附件2时，我们会将对应结果转换回原节点设置表示。**

该问题的求解过程大致可以分为第一波发射点−−−−−→第一波导弹发射−−−−−→第二波发射点转载地域−−−−−→第二波导弹发射。

由于第一波不用考虑发射装置的使用问题，我们可以直根据上述每段最小距离的求解以及Dijkstra算法和0-1规划模型确定其发射点。

* 1. 第一波齐射路径选取模型的考虑：

根据题意，设在初始时A、B、C三类车载发射转置分散地位于D1和D2的位置

设每个发射点到各待机区域的最短距离为Ls，s 表示发射点的数量，t表示待机区域的数量。设从每个发射点到待机区域需要路过的小路段有n 个。则可得到：

Lst=L1+L2+L3+...+Ln-1+Ln

在这里我们可以利用MATLAB软件再结合Dijkstra算法，可以求出具有邻近表特征的矩阵Lst。（行列号分别代表某一序号点）

wi是代表连接每i小段路径的邻近表。

我们通过建立0-1规划模型求解到每一个待机域到M个发射点的最短距离。引入0-1规划的模型的变量xi和xj，其含义表示该发射点是否被待机区域选取，以排除不理想的路径，其中i和j均表示发射点的数量。





设总距离为L，待机区域数量为P，则目标函数可以表示为：

设发射装置的数量为N，由于N套车载发射装置是平均部署在两个待机地域的，所以我们要在每一个待机区域安排套，所以对每个待机区域要求个到其距离最近的发射点，即确定如下限制条件：



综上所述，第一波模型建立如下：

即求出min｛｝，则就知道了第一段待机地点D[01:02]到发射地点F [01:60]的最短路径，以此类推是，计算出

3.3.转载路径选择模型的考虑：

运用Dijksta算法计算出所有第一波发射点F1[0:60]到

3.4.第二波齐射路径选择模型的考虑：

（1）转载地域的确定

对于第一波求出的N个发射点分别表示为，P个转载地域分别表示为，N个发射点到各转载地域的距离分别表示为，路过的各小段道路的长度分别表示为，n表示路过的小段道路的数目。它们之间存在如下关系：



（2）发射点的确定

设各转载区域到每个发射点（除第一波用过的发射点）的最短距离为（s=1,2,…,S；z=1,2,…,P）；s表示S个发射点，z表示P个待机区域。从每个发射点到待机区域需要路过的小路段有n个。则可得到：



采用Dijkstra算法，可求。

我们建立0-1规划模型求解到每一个转载地域距离最短的N个发射点。引入0-1变量表示对每个转载地域是否选取该发射点。



设总距离为L2，则目标函数可以表示为：



综上所述，第二波模型建立如下：





根据第一波模型和第二波模型的综合得出总模型建立如下：





1. **问题二的分析与建模**

**4.1.问题分析**

根据对问题二的理解，在除已布设的6个转载地域外，在道路节点附近临时增设2个转载地域（可选J25、J34、J36、J42、J49）。为了使其他车载发射转置在发射后能够尽快地由发射点位抵达这两个增设的转载地域点，应该求出这5个转载地域到所有发射点（Z01~Z06）的最短时间消耗。由于A、B、C三辆转载装置在不同路径上的各自也速度不同，因此我们认为必须分解所经过路径上点与点之间的距离，使分解的点与点距离除以三辆转载装置的行驶速度，就可以的到每小段路上的耗费时间。

为了存储所有点与点之间的距离，记矩阵

dist(u,v)=

***s.t***

其中为点坐标，u，v分别代表邻近矩阵

点到点的距离矩阵

**4.2.模型建立与求解**

1. **问题三的分析与建模**

**5.1.问题分析**

由题意可知，新增3台C类发射装置用于第二波次发射。这3台发射装置可事先选择节点J04、J06、J08、J13、J14、J15附近隐蔽待机。每一隐蔽待机点至多容纳2台发射装置。待第一波次导弹发射后，这3台发射装置代替已参加3第一波齐射的发射装置，并机动至发射点位参与第二波次的齐射。

为了简化问题，我们假定已参加第一次齐射的3台C类发射转置台在第一次齐射后立即退出战场，即假设原3台C类发射装置不会影响其他A、B、C类发射转置对战场区域道路的使用。通过已知作战区域道路示意图（图1），可知战场区域中总共有175条道路，而车载发射转置只有27（24+3）台，容易证得：

所以只要这3台已参加第一波齐射的C类发射转置刻意避开其他发射转置正在或即将使用的道路，总可以找到一条不影响其他发射装置对战场区域道路的使用的路径。

在验证上述的假设可以成立后，继续对问题进行分析。可将问题等价于求

J04、J06、J08、J13、J14、J15分别到其他发射地F2[01:60]的最短路径，其中发射地不得为第一波次的发射地F1[01:60]的同一地点。

**5.2.模型建立与求解**

应放两台台C类发射装置在J08上，放一台在J15上。可使3台C类发射装置能够最快地抵达第二波齐射的备选F2[01:60]

1. **问题四的分析与建模**

**6.1.问题分析**

问题四要求结合作战区域道路示意图的特点并加上对敌我双方相互博弈这些因素的考虑来建立评价指标。我们不妨换位思考，站在敌方的角度考虑，进而问题则便成为根据作战区域道路的特点哪几个对方的道路节点最容易被攻破。看似敌我双方的一个身份互换，实则主动性以及问题的考虑方式则变得更为主观。

**6.2.模型建立与求解**

1. **带禁忌列表的 Bellman方程**

按照逆向求解的思路从后至前依次分析。

（1）在第n波次的导弹火力打击任务中,从发射车当前的状态开始，根据发射点不重复的约束，采用策略只有在满足以下条件的时候才可行，

也就是说和两个状态不能对应同一个 发 射 点. 令 禁 忌 列 表，也就是其他任意阶段中,与状态对应同一发射点的状态的集合。

可行的最优方案为

其中，=,是所有的执行后会使系统转移到中状态的控制决策变量集合。

记

其中,是最优策略,是最优策略上第2n+1阶段的状态。

将最优策略上第2n+1阶段的状态对应同一个发射点的所有状态加入到禁忌列表, 令 禁 忌 列 表 。

（2）在第n-1波次的导弹火力打击任务中,从发射车的当前的状态开始,根据发射点不重复的约束,采用策略只有在满足以下条件的时候才可行，

也就是说和 两个状态不能对应同一个发射点. 令 禁忌列表,也就是其他任意阶段中,与状态对应同一发射点的状态的集合。

可行最优方案为

其中,

其中,是所有的执行后会使系统转移到中状态的控制决策变量集合。

将最优策略上第阶段的状对应同一个发射点的所有状态加入到禁忌列表, 令 禁 忌 列 表

（k）在第n－k 波次的导弹火力打击任务中(k＝1,2,···,n-1)从发射车的当前的状态开始,根据发射点不重复约束,采用策只有在满足以下条件的时候才可行，

也就是说和两个不能对应同 一 个 发 射 点。令 禁 忌 列 表,也就是其他任意阶段中,与状态对应同一发射点的状态的集。

可行的最优方案为

其中，

其中,是所有的执行后会使系统转移到中状态的控制决策变量集合。

将最优策略上第阶段的状态对应的禁忌列表加入本级禁忌列表，令禁忌列表

。

1. **模型的建立**

假设导弹发射车平时隐蔽待机，接收到多波次火力打击任务之后，要为每一辆发射车规划火力打击行动方案，具体包括一系列连续经过的发射点和导弹装载仓库，要求发射点不能重复，并且总路线的长度最短，这称为导弹火力打击行 动规划问题。

设在网络G ＝(V,E),V＝P＋D ＋F＋C 上，其中，P是发射车的平时隐蔽待机点的集合，待机点pi ∈P的发射车的集合为Li，每个发射车上的导弹数量为一个单位，D 是导弹仓库的集合，导弹仓库di ∈ D的导弹数量为|di|个单位,发射点的集合为F，普通道路节点的集合为C，E 是网络的边集。下面建立导弹火力打击行动规划问题的抽象动态规划模型

假设导弹火力打击任务的波次数为n，则令系统的阶段数为２n＋２。令 X 代表系统的状态集合，xk ∈X 代表发射车第k阶段的状态，XK ⊂X 代表第k 阶段状态的集合。

第０阶段的状态为 X０ ＝{s},是一个虚拟的状态,是产生计算的起点;

第１ 阶段的状态集合为 X１ ＝M１(P),其中,M１:P → X１ 是一个停车场点到第１阶段状态的一一映射;

第２ 阶段的状态集合为 X２ ＝M２(D),其中,M２:D → X２ 是一个导弹仓库点到第２阶段状态的一一映射;

第３阶段 的 状 态 集 合 为 X３ ＝M３(F),其 中,M３:F → X３ 是一个发射点到第３阶段状态的一一映射;

......;

第２i(n ＞i ≥ ２)阶 段 的 状 态 集 合 为 X２i ＝M２i(D),其中,M２i:D → X２i 是一个导弹仓库点到第２i阶段状态的一一映射;

第２i＋１(n ＞i≥２)阶段的状态集合为X２i＋１＝M２i＋１(F),其中,M２i＋１:F → X２i＋１ 是一个发射点到第２i＋１阶段状态的一一映射;

第２n＋２阶段,也就是最后一个阶段的状态为X２n＋２ ＝{e}.令U 代表系统的决策变量集合.uk 代表第k阶段可以采用的某个决策变量.记U(x)⊂U 为状态x 可取的决策变量集合。记g(xk,uk)为在状态xk 采用决策uk 的时候所需要支付的费用.

记 M 函数μ:X →U 的集合,对 ∀x ∈X,均有μ(x)∈U(x).

从状态x０ 开始,采用策略π＝{μ０,μ１,􀆺}的费用为

Jπ(x０)＝∑g(xk,μk(xk

其中,状态序列 {xk}是由以下系统的状态转移方程产生

1505719588(1)

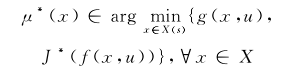
系统的目标是寻找最优策略π,使得总的费用最少,因此,系统的目标函数为

1505719636(1)

根据 Bellman方程,有以下递推关系

1505719668(1)

最优策略(也称为最优性条件）为



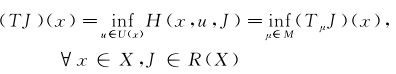
记

**1505719764(1)**

对于任一策略μ ∈ M 定义映射Tμ:R(X)→R(X)为

1505719830(1)

定义映射T 为



对于某函数J ∈ R(X),以及非静态策略π ＝{μ０,μ１,􀆺},对于任一整数 N ≥１,定义函数

1505719916(1)

1. **模型求解**

导弹部队在隐蔽在待机地域D1和D2，每一波次发射24个导弹，每一个火力单元需要通过网络机动到某一个发射点Fi进行发射，然后进入装载区域进行装弹，再进入下一个发射点进行第二波次导弹发射，在前几题的问题背景下可以得出同一个发射点不会被重复利用。给出以下作战区域网络图中的节点坐标。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 要素编号 | X坐标（单位：km） | y坐标（单位：km） | 要素编号 | X坐标（单位：km） | y坐标（单位：km） |
| 1 |  |  | 66 |  |  |
| 2 |  |  | 67 |  |  |
| 3 |  |  | 68 |  |  |
| 4 |  |  | 69 |  |  |
| 5 |  |  | 70 |  |  |
| 6 |  |  | 71 |  |  |
| 7 |  |  | 72 |  |  |
| 8 |  |  | 73 |  |  |
| 9 |  |  | 74 |  |  |
| 10 |  |  | 75 |  |  |
| 11 |  |  | 76 |  |  |
| 12 |  |  | 77 |  |  |
| 13 |  |  | 78 |  |  |
| 14 |  |  | 79 |  |  |
| 15 |  |  | 80 |  |  |
| 16 |  |  | 81 |  |  |
| 17 |  |  | 82 |  |  |
| 18 |  |  | 83 |  |  |
| 19 |  |  | 84 |  |  |
| 20 |  |  | 85 |  |  |
| 21 |  |  | 86 |  |  |
| 22 |  |  | 87 |  |  |
| 23 |  |  | 88 |  |  |
| 24 |  |  | 89 |  |  |
| 25 |  |  | 90 |  |  |
| 26 |  |  | 91 |  |  |
| 27 |  |  | 92 |  |  |
| 28 |  |  | 93 |  |  |
| 29 |  |  | 94 |  |  |
| 30 |  |  | 95 |  |  |
| 31 |  |  | 96 |  |  |
| 32 |  |  | 97 |  |  |
| 33 |  |  | 98 |  |  |
| 34 |  |  | 99 |  |  |
| 35 |  |  | 100 |  |  |
| 36 |  |  | 101 |  |  |
| 37 |  |  | 102 |  |  |
| 38 |  |  | 103 |  |  |
| 39 |  |  | 104 |  |  |
| 40 |  |  | 105 |  |  |
| 41 |  |  | 106 |  |  |
| 42 |  |  | 107 |  |  |
| 43 |  |  | 108 |  |  |
| 44 |  |  | 109 |  |  |
| 45 |  |  | 110 |  |  |
| 46 |  |  | 111 |  |  |
| 47 |  |  | 112 |  |  |
| 48 |  |  | 113 |  |  |
| 49 |  |  | 114 |  |  |
| 50 |  |  | 115 |  |  |
| 51 |  |  | 116 |  |  |
| 52 |  |  | 117 |  |  |
| 53 |  |  | 118 |  |  |
| 54 |  |  | 119 |  |  |
| 55 |  |  | 120 |  |  |
| 56 |  |  | 121 |  |  |
| 57 |  |  | 122 |  |  |
| 58 |  |  | 123 |  |  |
| 59 |  |  | 124 |  |  |
| 60 |  |  | 125 |  |  |
| 61 |  |  | 126 |  |  |
| 62 |  |  | 127 |  |  |
| 63 |  |  | 128 |  |  |
| 64 |  |  | 129 |  |  |
| 65 |  |  | 130 |  |  |

1. **问题五的分析与建模**

**7.1.问题分析**

**7.2.模型建立与求解**

1. **结论与分析**
2. **模型评价**

**参考文献**

**附件：**