多波次导弹发射中的规划问题

问题一（导弹两波次齐射）

1. 问题分析及模型建立

问题一要求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，使得完成两个波次发射任务的整体暴露时间最短。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。每台发射装置只能载弹一枚，实施多波次发射时，完成了上一波次发射任务的车载发射装置需要立即机动到转载地域（用于将导弹吊装到发射装置的专门区域）装弹，完成装弹的发射装置再机动至下一波次指定的发射点位实施发射。

首先要考虑路径最短，但是2波次导弹齐射任务涉及到要返回转载点装弹，要考虑来回会车，等待装弹等特殊情况所消耗的时间。针对两波次导弹齐射任务提出分阶段的问题解决方案。下面针对2个阶段进行讨论。

1. 转载地域选择：优先考虑当前距离到转载地域最近的K个发射点，这里的距离可以包含等待时机造成的影响，甚至可以考虑加入对下一次波次的影响。
2. 发射节点选择：发射节点的随转载地域的确定而确定。

按波次迭代求解发射点、转载地域，可以得到整体每波次的安排。在根据整体的任务安排通过模拟求解时间，有了具体的时间后，就得到整个任务的详细安排。但是，由于图中的道路大多数都是单向行驶的，转载地域还需要考虑等待时机，使得具体的模拟过程如何进行变成了一个十分棘手的问题。可以考虑从以下几个角度入手简化模型的过程：

1. 由于发射点位置不同，每辆车行驶的时间也是不同的。可以考虑如何根据时间不同尽可能的给出一个最佳安排。
2. 道路上可能出现冲突，可以考虑如何尽量降低冲突时间。
3. 道路上可能出现冲突，可以考虑如何尽量降低冲突时间。

第一波次因为从待机区域出发的车已经装载了导弹，无需去转载地域进行装弹，所以，安排待机区域的距离最近的发射点发射导弹即为第一波次的最优解。此外，因为要求同一波次的导弹齐射，为了减少整体的暴露时间，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。由分析可以得出，最小暴露时间可以用如下数学模型来表示：



其中，KD待机区域的总数，NDJ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i个发射点的坐标，表示，两点之间的最小行驶距离（并非空间上的直线距离）。

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被采用多次。

假设需要花费最多时间的装载车需要的时间可以到达指定发射节点，而其他装载车可以晚一些再从待机地域出发，其最大延迟时间为，为其到达指定发射点所需的时间。那么任意一辆装载车经过某节点的时间为：



当确定好发射点之后，对发射点进行打击目标的安排。考虑到任何有存在相交的发射安排，所有发射点到对应的目标点之间的距离和肯定不是最小的。理由如下，假设除了A其他的发射路线的地面投影都不存在交点，那么交换当前B和C的打击目标图中就不存在任何交点，同时很明显所有发射点到目标点总的距离将会变小（三角形两边之和大于第三边）。由此可见，当图中所有发射点到对应的目标点之间的距离和最小时一定可以得到一个可行的目标安排。

可以利用这个性质来构建一个通用的数学模型来求解可行的目标打击安排。将确定好的发射节点集为，目标集为，可以构建一个发射节点集为到目标集为的有向图，图中的节点为全部发射节点集合目标集中的点，边为所有发射节点到所有目标构成一条边，边的长度为两点间的欧式距离。

若发射节点发射导弹到目标，则记，否则记，表示安排的导弹数，那么一个通用的可行的目标打击安排可由如下规划模型表示：





采用Dijkstr算法计算任意两点的距离，并求解这个规划问题。为使得总体上导弹到目标的时间达到了最小化，选择发射任务的合理分配方案。该问要综合考虑两个波次的最短路径，我们把待机点到转载点合成为一段，把转载点到发射点到转载点合成为一段，最后转载点到发射点为一段。各节点之间的距离，待机点到各发射点的距离我们已经求出。此时，我们还需要求出各转载点与发射点之间的距离。对于这种任意两点间的距离，我们利用与第一波次中相同的Dijkstra算法能简化计算。将各节点间的距离带入程序，最后得出各转载点与发射点之间的距离。

由以上待机点到发射点的距离、发射点到转载点的距离，我们可以求出待机点到发射点到转载点的最短路径。

整体任务规划：

首先考虑如何去衡量当前距离转载地域的距离。同样这里需要考虑等待时机的影响，将这个影响用距离来衡量记为，将由于实际距离和等待产生的影响也用距离来衡量记为。对于第i个转载地域，用如下的方式计算与：



其中，为选择的装载车的总数。



优化方程：



解上述方程，则可以得到局部最优的发射点与转载地域，每波次完成迭代。

机动调度规划：

在问题分析中提出了利用模型进行求解。其输入为一个整体任务规划，输出为对应的机动调度方案。具体的做法是将所有的装载车与除待机动地域的所有节点视为可以产生碰撞的刚体。每当有车辆经过每个节点时，产生一个碰撞事件，捕捉碰撞事件计算是否会存在潜在的行驶冲突，如果有冲突则选择使某装载车进行避让。

机动调度整体上执行流程如下：

1. 所有装载车辆指定唯一的编号。根据本波次的任务安排为每辆装载车选择发射节点。
2. 装载车安装分配的发射节点选择适当的延迟，然后从待机区域出发驶向目标发射点。
3. 每辆装载车经过某个节点时产生碰撞事件，根据此时车辆的位置判断是否是本波次的所有车辆都在发射点就位。如有就位，执行发射任务，根据整体规划来选择转载地域与下波次的发射点或者终止任务；如果没有就位，判断是否存在潜在的冲突进行相应的处理。
4. 重复过程3）直到结束整个任务。由于，要求导弹齐发，所以决定各个装载车的暴露时间长短主要有装载车从待机区域出发的时间，在进行计算机模拟的时候，安排车辆从出发地域按路径长短分批出发，从而降低潜在的等待时间。

从D待机地出发->F发射地->Z转载地->F发射地(剩下来的)

第一波次:

D->F

第二波次:

F->Z->F(剩下)

J道路节点(类似十字路口)，边为阻塞式占用，所以存在会车等待时间。

连续两波次发射时，每个发射点位使用不超过一次。

到达发射点时刻 第二波次起始时刻

存在发射点等待时间，用于齐射

共 24 台 三种发射车，A:6,B:6,C:12

车辆初始位置：平均部署在D1,D2(各一半)

F发射地 只能容纳1台发射车。

Z转载地 最多容纳2台发射车。

Z转载地，不能同时作业，转载作业需10分钟。

主干道容量2，一般容量1

速度 主干道A:70,B:60,C:50,一般A:45,B:35,C:30。

目标：暴露时间最短。(转载不算)，需要考虑行车速度耗时，会车等待。

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。

导弹需要齐射。所以是最慢的车决定发射时机。也利用最慢车计算别人的齐射等待时间。

考虑过程式的情况，每辆车出发后即遇到 J ,

存在当前 J 阻塞，或通畅。阻塞则追加会车等待时间。

状态变化的标志是任意车辆到达一个新 J (意味着部分阻塞解除)。

图的快照是 部分边阻塞因为有车在跑，部分 J 有车在等待。

变量：发车次序(前车阻塞耗时),路径重叠(会车等待),路径距离(高速路与快车),

一辆车的耗时=path(固有耗时)+会车次数(条件耗时share，罚时)+齐射耗时(最慢车的暴露时间-其他人到达发射点时间，罚时)

考虑第二波次：

阶段 F->Z

特点：

1.依赖第一波次结果(F发射点选择)

2.允许部分节点 允许 重叠

3.同时开始机动，无发车次序

考虑 Z 是否可以路过？

耗时=路径距离+路径重叠(会车等待)+维修等待

阶段 Z->F(剩下)

耗时=路径距离+路径重叠(会车等待)+齐射耗时

耗时图= Function 耗时计算(每辆车各阶段选择的路径(D-F,F-Z,Z-F(剩下)),D的发车次序 ):{

}

外部所需： 重叠等待决策(往往采用早停策略)，齐射补时，转载等待

暴露时间==耗时图着色面积

2、问题求解