国 防 科 技 大 学 学 报
第21卷 第5期　JOURNAL OF NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY　Vol. 21 No. 5 1999

机动导弹扇形区域打击模型及实现*

毕义明　伍发平　李景文
(西安第二炮兵工程学院系统工程研究所　西安　710025)

摘　要　考虑对机动导弹实施机动区域打击, 建立起在扇形区域瞄准点选取模型, 并通过计算机模拟进行了结果分析。该方法具有通用性, 对制定作战方案以及生存选择具有现实意义。

关键词　机动导弹, 瞄准点, 模型
分类号　TP391.9

A Model for Attacking Mobile Missile's Sector Base and its Realization

Bi Yiming　Wu Faping　Li JingWen
(Research Institute of Systems Engineering, Xian Institute of Secondary artillery Engineering, Xian, 710025)

Abstract　Attacking the mobile missile base is considered and an aiming-point-choosing model for striking its sector mobile region is presented. The model is realized and the result is analyzed. The model has generality for attacking mobile target and is also useful for making an operational decision.

Key words　mobile missile, aim-points, model

打击机动导弹除了发展先进的侦察监视系统和通讯传输系统以外, 作战运用技术也是一个十分重要的因素。机动导弹以其机动性、隐蔽性等特点而使得对其打击问题异常复杂, 也逐渐成为作战方案制定的关键问题。打击机动导弹不能直接瞄准发射车, 通常需要使用大量弹头对部署基地实施区域打击, 使对方的导弹失去报复能力。如何对机动部署的导弹实施有效的打击是本文研究的主要内容。

1　瞄准点选择模型

由于发射车在部署基地机动后攻方不能确知其位置, 因此需要以大量的弹头尽可能地覆盖其可能的机动区域。机动区域内瞄准点的有效选择是一重要研究课题, 本文采用在机动区域内瞄准点成60°的菱型四边形分布。瞄准点在机动区域的选取示意如图1所示。

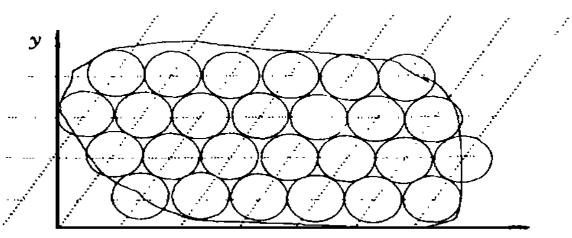

图1　机动区域瞄准点示意图
Fig.1　Graph of aim-point selecting

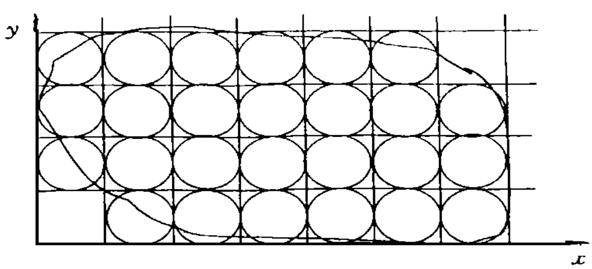

图2　机动区域瞄准点示意图
Fig.2　Graph of square aim-point method

采用何种几何模型是有差别的, 几何模型的选取直接影响覆盖率的大小, 也影响重叠区域的优化问题。本文采用的方法对于边缘问题、重复覆盖问题及瞄准点的优化问题都有较好的处理。对比另一

* 1999年3月15日收稿
第一作者: 毕义明, 男, 1963年生, 副教授

种正方形方法[1], 瞄准点在机动区域的实现示意如图2所示, 其覆盖率与本文所采用的菱形方法相比要低得多。覆盖率计算如下: 正方形法中, 每一个毁伤圆对应形成一个弧四边形, 菱形法中对应形成一个弧三角形, 正方形法覆盖率计算如下:

$$S_{\square} = 2R \cdot 2R = 4R^2, S_{扇} = 4 \times 1/4 \times \pi \cdot R^2 = \pi R^2$$

$$p_c = \frac{S_{扇}}{S_{\square}} = \frac{\pi R^2}{4R^2} = \frac{\pi}{4} = 0.785 \tag{1}$$

而菱形方法中覆盖率计算如下:

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} \cdot 2R \cdot 2R \cdot \sin 60° = \sqrt{3} R^2, S_{扇} = 3 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \frac{1}{6} = \frac{\pi}{2} R^2 \tag{2}$$

$$p_c = \frac{S_{扇}}{S_{\Delta}} = \frac{\pi/2R^2}{\sqrt{3}R^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0.9069$$

可见其覆盖率达0.9069, 比正方形方法覆盖率高。

假设一导弹机动部署阵地为扇形, 则打击瞄准点选取如图3所示, 其中, 可能瞄准点为

$$\begin{cases} x_i = 2 \cdot k \cdot R_d + i \cdot R_d (k = 0, 1, 2, \cdots, M, M < \left[\dfrac{1.5 \cdot R}{2 \cdot R_d}\right]) \\ y_i = \sqrt{3} \cdot i \cdot R_d (i = 0, 1, 2, \cdots, N, N < \left[\dfrac{R}{R_d} + \epsilon\right]) \end{cases} \tag{3}$$

R 为扇形机动区域半径, R_d 为毁伤半径, ϵ 为精度要求, 即所要达到的打击效率, 一般取0.3～0.5, 其中1.5的选取是为了确保瞄准点覆盖机动区域。可能瞄准点取舍条件为

$$\begin{cases} |x_i| \le R + \epsilon \cdot R_d \\ |y_i| \le R + \epsilon \cdot R_d \\ x_i^2 + y_i^2 \le (R + \epsilon \cdot R_d)^2 \\ y_i / x_i \le \tan(\theta + \delta) \quad i = 1, 2, \cdots, N \end{cases} \tag{4}$$

其中 θ 为扇形机动区域角度, δ 为精度要求, 一般取 $-1°$～$1°$。

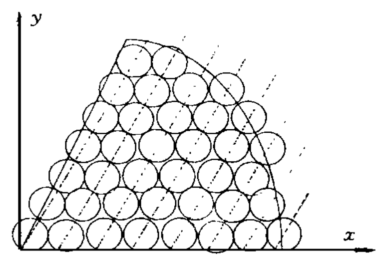

图3 机动区域瞄准点示意图

Fig.3 Graph of aim-point in sector area

2 瞄准点优化问题

上述瞄准点的选取是基于攻方打击机动战略导弹所必需的最低限度弹量, 也即在确定的机动区域下最少弹量。至于攻方为了有更高的打击效率, 使用超过最小弹量的弹头来打击, 超过的弹头该如何安排? 即如何优化安排这些攻击弹头, 使得整个打击效率最高? 本文仍采用均匀分布之策略, 通过将毁伤半径按比例放大或缩小, 然后重新调整瞄准点分布, 这样既可实现弹头覆盖面最大, 又解决了重叠覆盖问题。毁伤半径折算公式为

$$R_d = \sqrt{N_{\min}/N} \cdot R_{d0} \tag{5}$$

其中, N 为实际打击弹量, $N_{\min}$ 为最小打击弹量, R_{d0} 为依据实际当量所得的毁伤半径。在计算发射车是否被覆盖时将毁伤半径重新折算为 R_{d0}。

可以证明, 该方法所采取的超量重叠覆盖方法其所形成的覆盖区域也是比较科学的, 比目前所用的正方形法要大。当 $R_d \ge 0.87R_{d0}$ 时, 如果按照四边形选取方法, 其处理重叠覆盖问题的示意图如图4, 则其覆盖率为

$$P_{c1} = \frac{S_{扇} - S_{重}}{S_{\Delta}} = \frac{\pi R_{d0}^2 - 4 * R_{d0}^2 * (\theta - \sin\theta\cos\theta)}{4R_d^2}$$

$$= \frac{N}{4N_{\min}}(\pi - 4\theta + 4\sin\theta\cos\theta) \tag{6}$$

而对于菱形选取方法, 其处理重叠覆盖问题的示意如图5, 其覆盖率为

$$P_{c2}=\frac{S_{扇}-S_{重}}{S_{\Delta}}=\frac{\frac{\pi}{2}R_{d0}^2-3*R_{d0}^2*(\theta-\sin\theta\cos\theta)}{\sqrt{3}R_d^2}=\frac{N}{2\sqrt{3}N_{\min}}(\pi-6\theta+6\sin\theta\cos\theta) \tag{7}$$

可以比较，两者的覆盖率之比函数如下：

$$\eta=\frac{P_{c1}}{P_{c2}}=\frac{\sqrt{3}(\pi-4\theta+2\sin2\theta)}{2(\pi-6\theta+3\sin2\theta)} \tag{8}$$

当 $\theta=0$ 时，

$$\eta=\sqrt{3}/2=0.866 \tag{9}$$

而其导函数为

$$\eta'=\left(\frac{\sqrt{3}(\pi-4\theta+2\sin2\theta)}{2(\pi-6\theta+3\sin2\theta)}\right)'=\frac{\sqrt{3}(-\cos2\theta+1)}{(\pi-6\theta+3\sin2\theta)^2}>0 \tag{10}$$

函数 η 关于 θ 单调递增，因而 η 关于 R_d 单调递减，而当 $\theta=30°$，即 $R_d=0.87R_{d0}$ 时

$$\eta=\frac{\pi+3\sqrt{3}}{9}=0.926 \tag{11}$$

可见，当 $R_d\geq0.87R_{d0}$ 时，菱形方法的重叠覆盖后的覆盖率比正方形法高，当 $R_d\leq0.87R_{d0}$ 时，菱形方法已经实现全部覆盖，而正方形法则要在 $R_d\leq0.71R_{d0}$ 后才实现全部覆盖，所以，菱形法的优化重叠覆盖法要比目前所采用的方法好。

当打击弹量 N 少于最小覆盖弹量 $N_{\min}$ 时，各方法的效果没有差别，此时，覆盖率由公式计算可得

$$P_c=\frac{NS_1}{S}\quad N<\frac{(0.9S)}{S_1} \tag{12}$$

其中 S 为机动区域的总面积，S_1 为单发弹头的毁伤面积，N 为打击弹量。

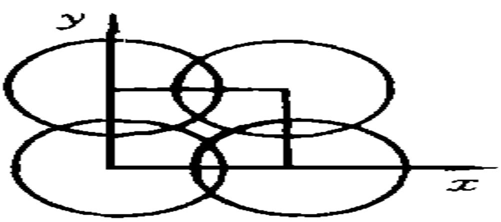

图 4 四边形重叠覆盖法示意

Fig. 4 Graph of square over-cover method

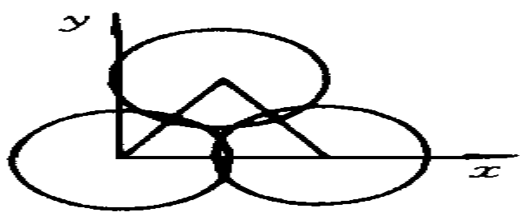

图 5 菱形重叠覆盖法示意

Fig. 5 Graph of over-cover method

3 模拟实现

机动区域的生存模型主要用 M-C 模拟的思想来实现，首先运用菱形法产生机动区域瞄准点，然后以瞄准点为基准，以 CEP 为圆概率偏差，随机产生实际爆点(即实际弹着点)。再在机动区域随机均匀产生发射车的机动点，最后判断发射车是否在以各爆点为中心，以各发导弹的实际毁伤半径为半径的圆内，若在，则发射车被毁，否则，发射车生存。

在整个流程中，机动区域瞄准点的均匀分布是比较难实现的几何问题。扇形机动区域由于其形状的复杂性，边缘问题处理相对要困难一点，其流程相对复杂，若机动区域角度 $\theta\leq60°$，其流程如下：

(1) 产生初始点 $(x_0,y_0)=(R_d,\sqrt{3}R_d)$，记录此点，作为基准点。

(2) 沿与 x 轴方向成 60°的直线产生下一个点 (x_i,y_i)，其坐标值由上一个点确定。

$$x_i=x_{i-1}+R_d,\ y_i=y_{i-1}+\sqrt{3}R_d \tag{13}$$

(3) 确定该点的取舍，即毁伤半径是否在机动区域内(允许打击圆有部分在机动区域外，根据打击要求确定出入大小)：

$$(x_i+y_i)^2\leq(R-0.2\times R_d)^2,\ \frac{x_i}{y_i}\leq\tan\theta+\epsilon \tag{14}$$

若满足，则记录此点，进入（2），若不在机动区域内进入下一步（4）；

（4）将基准点沿 x 轴方向平移 $2R_d$，产生新的瞄准点：

$$x_i = x_{i-1} + 2R_d, y_i = \sqrt{3}R_d \tag{15}$$

判断是否继续产生新的瞄准点：

$$x_i <= R \tag{16}$$

不满足条件，则转入步骤（7）；满足，则进入下一步（5）。

（5）沿与 x 轴方向成60°的直线产生下一个点(x_i, y_i)，其坐标值由上一个点确定，可由公式(13)产生。

（6）由公式(14)确定该点的取舍，若满足，则记录此点，转入步骤(5)，若不在机动区域内进入(7)。

（7）结束。

若机动区域角度 $\theta \geq 60°$，其流程如下：

（1）～（6）步同 $\theta \leq 60°$ 时的产生办法；

（7）将由(1)～(3)步产生的瞄准点作为基准点，再次沿 y 轴方向产生新的瞄准点：

$$x_i = x_k \quad y_i = y_k + 2 \times k \times R_d \quad k = 0, 1, \cdots, n, \quad n \text{为基准数} \tag{17}$$

（8）由公式(14)确定该点的取舍：若不满足条件，若 $k < n$ 转入步骤(2)，或 $k > n$ 进行步骤(11)；若满足条件，则记录此点，进入下一步(9)；

（9）再次沿 y 轴方向产生下一个瞄准点：

$$x_i = x_{i-1} \quad y_i = y_{i-1} + 2 \times R_d \tag{18}$$

（10）由公式确定该点的取舍，若不满足条件，若 $k < n$ 转入步骤(2)，或 $k > n$ 进行步骤(11)；若满足条件，则记录此点，转入步骤(9)；

（11）结束。

4 结果分析

下面是在给定条件下对机动导弹杀伤概率的计算机模拟：($R = 4000$m, $\theta = 60°$, $\Delta p = 0.03$MPa, $CEP = 30$m, $L = 3$ 辆, $V = 45$km/h, $T_P = 0$, $Q = 500$kg, 计算得 $N_{min} = 6$)

3(0.532)	4(0.658)	6(0.863)	8(0.946)	10(0.989)

可见杀伤概率与机动导弹机动区域半径、预警时间有很大关系，其机动半径越大，需要攻击的弹头数越多。下面是在 $T_P = 0.05$h 条件下结果(其它条件不变，计算得 $N_{min} = 13$)：

8（0. 602)	10（0. 776)	13（0. 898)	14（0. 944)	17（0. 981)

攻方为达到90%的摧毁概率，前者需要约6～8枚弹头，而后者则需要13枚

5 结论

本文采用的菱形法选取瞄准点来打击导弹区域，是打击机动导弹的一种新的思路和方法，该模型已在计算机上实现，对于制定打击机动导弹方案具有现实意义。

参考文献

1 邹志波等. 机动导弹射前生存能力研究，科研报告，1998

2 伍发平. 机动导弹生存能力研究［硕士学位论文］. 二炮工程学院，1999

3 Sloss Leon. Nuclear Employment Policy and Optimal Exchange Strategies，1995