

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.001

反舰导弹现在点射击捕捉概率的计算方法

汪新刚¹, 谢晓方², 陈文生³

(1. 海军航空工程学院 研究生 1 队, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001;
3. 海军 92001 部队 三码头装备修理所, 山东 青岛 266000)

摘要: 针对传统反舰导弹现在点射击捕捉概率计算方法存在的不足, 对反舰导弹现在点射击捕捉概率计算方法进行研究。阐述现在点射击使用的基本条件, 根据导弹雷达扫描特征、目标运动特征及反舰导弹自控终点分布, 确定了现在点射击目标位置域模型。并利用搜索论原理, 结合实际战斗中目标的分布特征, 推导出捕捉概率公式。结果表明, 该方法能提高射击解算、决策的准确性, 对中远程反舰导弹的战术使用具有一定的意义。

关键词: 反舰导弹; 搜索论; 现在点射击; 捕捉概率

中图分类号: O211.9; TJ412⁺.7 **文献标识码:** A

Calculating Method on Intercept Probability of Anti-Ship Missiles when Firing to Current Position

Wang Xingang¹, Xie Xiaofang², Chen Wensheng³

(1. No. 1 Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
3. Machine Shop of 3rd Dock, No. 92001 Unit of Navy Army, Qingdao 266000, China)

Abstract: To the shortcomings of traditional calculating method on intercept probability, intercept probability when firing to current position is studied. Determine the calculating method of intercept probability which is based on search theory. According to the scanning characteristics of missile's radar, target movement characteristics and the distribution of anti-ship missiles' self-control end target distribution model of firing to current position is established and the formula of capture probability is derived. This formula has certain significance.

Keywords: anti-ship missile; searching theory; firing to current position; intercept probability

0 引言

现在点射击是指在获得目标现在位置点参数条件下, 瞄准目标现在点的射击方式, 是现代反舰导弹的一种基本射击方法。其主要优点是不需要测定目标运动要素, 只需知道目标初始位置即可对目标射击, 可节省测定目标要素所需的时间, 提高快速反应能力。缺点是如果目标机动范围较大, 将影响导弹射击精度, 而且, 随着目标信息延迟时间和射程的增加, 导弹捕捉概率严重下降, 故只适用于目标信息延迟时间不长, 导弹捕捉概率有保障的情况。目标的捕捉概率解算是反舰导弹战术使用的重要环节。中远程反舰导弹发射前需进行解算、决策, 达到一定的捕捉概率方可对目标实施攻击, 因此, 正确选择反舰导弹捕捉概率计算模型, 对导弹攻击效果至关重要, 故对其进行研究。

1 传统的导弹现在点射击捕捉概率

导弹若能捕捉到目标, 自控终点左偏的允许极限必须使目标在搜索的最右边界线内, 右偏的允许极限值必须使目标在搜索的左边界线内, 传统的捕

捉概率公式为:

$$P = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{a-b}{E_z}\right) + \Phi\left(\frac{a+b}{E_z}\right) \right] \quad (1)$$

式中, $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$ 为拉普拉斯函数;

a 为导弹雷达侧向扫描半宽; b 为目标偏离导弹飞行方向的距离; E_z 为导弹自控终点侧向散布误差。

传统公式存在的问题包括:

1) 认为理想弹道从目标位置域中心穿过, 反舰导弹选择攻击方向时, 只能选择目标位置域相对中心, 只有完全对称的形状理想弹道才能从其中心穿过; 2) 只考虑导弹分布密度函数, 未考虑目标的分布密度函数; 3) 没有考虑 b 、 E_z 是随时间变化的函数。

如图 1, 两艘相同的舰艇同时被导弹攻击, 左侧舰艇靠近岛屿, 并以岸防机场为依托在岛屿附近海域活动, 右侧舰艇行动规则不确定, 依据传统公式, 导弹对两艘舰艇的捕捉概率相同。但由左侧舰艇活动区域靠近岛屿, 在目标位置域的上半部分分布密度较大, 因此导弹对左右舰艇的捕捉概率不同。

收稿日期: 2010-05-18; 修回日期: 2010-07-22

作者简介: 汪新刚 (1978-), 男, 河北人, 博士研究生, 从事武器系统与运用工程研究。

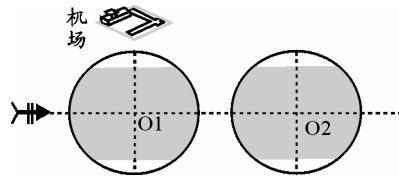


图 1 目标不同密度分布示意图

2 搜索论的基本原理

根据搜索论原理,若目标在 A 区域内验前密度为已知的 $g(a)$,

$$\iint_A g(a) dA = 1 \quad (2)$$

发现目标的概率 P 是目标位于 dA 的概率 $g(a)dA$ 与目标位于 dA 中条件下被发现的概率 P_{dA} 之乘积的积分:

$$P = \iint g(a) P_{dA} dA \quad (3)$$

从搜索者的角度出发,可得到结论如下:搜索者所在范围 B 验前密度为 $g(b)$,在 B 中分布函数为 1,发现目标的概率 P 是搜索者位于 dB 的概率 $g(b)dB$ 与搜索者位于 dB 中条件下发现目标的概率 P_{dB} 之乘积的积分:

$$P = \iint g(b) P_{dB} dB \quad (4)$$

3 基于搜索论的导弹捕捉概率

在美军鱼叉导弹的使用条令中,将我海军通常称呼的捕捉概率称为“照射概率”。美军认为,目标照射概率是指导弹导引头工作时,预定目标位于导引头搜索范围内的可能性,而导弹捕获概率则不同,它取决于目标的雷达反射截面、搜索范围内其他目标存在情况、海况和目标区降雨情况。笔者只研究导弹的照射概率,雷达波束扫描到的目标即为已捕捉,但为了名称上的统一,仍称其为捕捉概率。

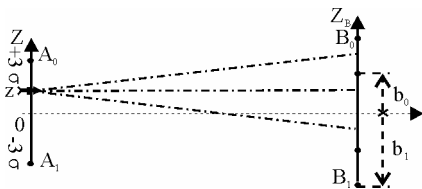


图 2 对线区域的捕捉示意图

如图 2,根据 3σ 原则,在 Z 方向,导弹落在 $[-3\sigma, 3\sigma]$ 的概率至少在 99.7%,设定为 1。 a 为雷达扫描半宽, $f(z_B)$ 为目标在 Z_B 轴的分布密度函数,导弹捕捉 B_0B_1 上目标的概率 $P_{B_0B_1}$ 是目标位于 dz_B 的概率 $f(z_B)dz_B$ 与目标位于 dz_B 中条件下被发现的

概率之乘积的积分;结合式 (4),可得导弹位于 A_0A_1 区域时对位于 B_0B_1 目标的捕捉概率为:

$$\begin{cases} P_{B_0B_1} = (1 / \sqrt{2\pi}\sigma) \int_{-3\sigma}^{+3\sigma} e^{(-z^2/2\sigma^2)} [\int_{mi}^{ma} f(z_B) dz_B] dz \\ ma = \max \{ \min \{ z + a; b_0 \}; -b_1 \} \\ mi = \min \{ \max \{ z - a; -b_1 \}; b_0 \} \end{cases} \quad (5)$$

4 现在点射击目标位置域特征分析

目标位置域主要由目标运动误差和目标探测误差组成,目标运动误差服从均匀分布,目标探测误差服从正态分布。

4.1 目标位置域的计算分析

均匀分布误差与正态分布误差的合成成为:

$$R_m = \sqrt{\frac{3}{2\rho^2} e^2 + r_m^2} = \sqrt{6.49e^2 + r_m^2} \quad (6)$$

e 为探测误差分布的中间误差; r_m 为目标运动引起的误差。

导弹雷达对目标的扫描过程中,目标运动引起的误差不断变化。对于直线飞行的导弹,导弹发射至导弹雷达扫描到目标位置域的最短飞行时间 t_0 为:

$$t_0 = \frac{L - v_d(T_0 + t_0) - d}{v_m} \quad (7)$$

式中, L 为导弹和目标的直线距离; v_m 为导弹速度; v_d 为舰艇速度; T_0 为延迟时间,侦查平台对目标定位到导弹发射的时间; d 为导弹雷达扫描距离。

对于可航路规划的导弹,确定飞行路线后,可确定进入目标区的方向和飞行距离,同样可使用上述公式计算 t_0 。

雷达实时扫描到的目标位置域边界到雷达扫描中心线的垂直距离为:

$$b = \sqrt{(v_d(T_0 + t_0 + t_1))^2 - (v_d(T_0 + t_0) - (v_m t_1))^2} \quad (8)$$

其中, t_1 为导弹雷达进入目标位置域后导弹的飞行时间。

若 $v_d(T_0 + t_0 + t_1) = v_d(T_0 + t_0) - v_m t_1$, 则导弹雷达对目标位置域扫描完毕。

4.2 目标位置域仿真

发射平台与目标距离为 180 km、其延迟时间为 30 min、雷达扫描距离为 35 km、导弹飞行速度为 240 m/s、探测误差为 1 km。

目标位置域为对称图形,上半部分见图 3。以目标现在点位置为原点,以导弹飞行方向为 X 轴、其垂直方向为 Z 轴建立直角坐标系。

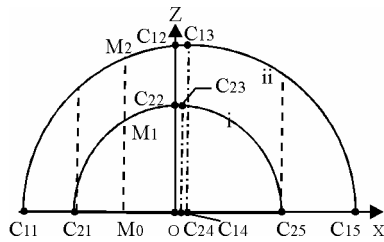


图 3 目标位置域分布图

舰艇的最大速度 30 节/时: 导弹飞行到可扫描到 C₁₁ 点的时间为 8.399 min, 雷达在 C₁₁ 与 C₁₅ 的扫描时间 306.9 s, 导弹雷达从 C₁₁ 扫描到 O 点的时间 143.574 7 s, 导弹雷达从 C₁₁ 扫描到 C₁₄ 点的时间 153.441 8 s。C₁₃ 点纵坐标值为目标位置域在 Z 方向的最大值。

C₁₁ (-35.457 9, 0); C₁₂ (0, 36.673 8); C₁₃ (2.368 1, 36.749 8); C₁₅ (39.198 1, 0)

巡航速度 20 节/时: 导弹飞行到可扫描到 C₂₁ 点的时间为 7.627 min, 雷达在 C₂₁ 与 C₂₅ 的扫描时间 205.1 s, 导弹雷达从 C₂₁ 扫描到 O 点的时间 98.142 0 s, 导弹雷达从 C₂₁ 扫描到 C₂₄ 点的时间 102.537 8 s。

C₂₁ (-23.554 1, 0); C₂₂ (0, 25.563 8); C₂₃ (1.055 0, 23.540 7); C₁₅ (39.198 1, 0)

舰艇的最大速度出现在试航、规避攻击等特殊时机, 且保持最大速度的时间有限。因此, 舰艇的最大可能分布: 在区域 i 与区域 ii 内均匀分布。其中, 区域 i: 舰艇以战术航速航行形成的目标位置域; 区域 ii: 舰艇以最大航速航行形成的目标位置域。

5 基于搜索论的捕捉概率分析

对不同的舰艇, 当最大速度和战术巡航速度发生变化时, 图 3 的示意图形状不变。

在 C₁₁ 到 C₂₁ 位置域内, 依据式 (5), 雷达对任意垂直于 Z 轴的线性区域 M₀M₂ 的捕捉概率 P_{M1} 为:

$$P_{M1} = \int_{\max(-3\sigma(t), -a)}^{\min(3\sigma(t), R(T_0+t)+a)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t)}} e^{-\frac{z^2}{2(\sigma(t))^2}} * \frac{z+a}{R(T_0+t)-a} dz \quad (9)$$

式中, t 为雷达可扫描到 M₀M₂ 时导弹的飞行时间; R(T₀+t) 为 M₀M₂ 长度; 3σ(t) 为雷达扫描到 M₀M₂ 时导弹的侧向飞行误差。服从正态分布, 是导弹飞行距离的函数。

在 C₂₁ 到 C₂₅ 位置域内, 雷达对任意垂直于 Z 轴的线性区域 M₀M₂ 的捕捉概率 P_{M2} 为:

$$P_{M2} = \int_{\max(-3\sigma(t), r(T_0+t)-a)}^{\min(3\sigma(t), R(T_0+t)+a)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t)}} e^{-\frac{z^2}{2(\sigma(t))^2}} * \frac{z+a-r(T_0+t)}{R(T_0+t)-a} dz \quad (10)$$

若 3σ(t) < r(T₀+t) - a, 则 P_{M2} = 0。其中, r(T₀+t) 为 M₀M₁ 直线长度。

在 C₂₅ 到 C₁₅ 位置域内, 雷达对任意垂直于 Z 轴的线性区域 M₀M₂ 的捕捉概率 P_{M3} 为:

$$P_{M1} = \int_{\max(-3\sigma(t), -a)}^{\min(3\sigma(t), R(T_0+t)+a)} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t)}} e^{-\frac{z^2}{2(\sigma(t))^2}} * \frac{z+a}{R(T_0+t)-a} dz \quad (11)$$

依据式 (5), 导弹对 C₁₁ 到 C₂₁ 位置域内目标的捕捉概率为:

$$\begin{cases} P_1 = \int_{C_{11}}^{C_{21}} \frac{P_{M1}R(T_0+t)}{S_1} dx \\ S_1 = \int_{C_{11}}^{C_{21}} R(T_0+t) dx \end{cases} \quad (12)$$

导弹对 C₂₁ 到 C₂₅ 位置域内目标的捕捉概率为:

$$\begin{cases} P_2 = \int_{C_{21}}^{C_{25}} \frac{P_{M2}(R(T_0+t)-r(t))}{S_2} dx \\ S_2 = \int_{C_{21}}^{C_{25}} (R(T_0+t)-r(t)) dx \end{cases} \quad (13)$$

导弹对 C₂₅ 到 C₁₅ 位置域内目标的捕捉概率为:

$$\begin{cases} P_3 = \int_{C_{25}}^{C_{15}} \frac{P_{M3}R(T_0+t)}{S_3} dx \\ S_3 = \int_{C_{25}}^{C_{15}} R(T_0+t) dx \end{cases} \quad (14)$$

则导弹对整个目标位置域内对目标的捕捉概率为:

$$P = \frac{P_1S_1 + P_2S_2 + P_3S_3}{S_1 + S_2 + S_3} \quad (15)$$

6 结束语

该方法提高了射击解算、决策的准确性, 对中远程反舰导弹的战术使用具有一定的意义。

参考文献:

- [1] 马逢时, 何良材. 应用概率统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990: 60-62.
- [2] 程云门. 评定射击效率原理[M]. 北京: 解放军出版社, 1986: 30-33.
- [3] 徐建平, 汤国建. 反舰导弹目标捕捉概率的研究[J]. 战术导弹技术, 2008(6): 45-48.
- [4] 赵建军, 王光辉. 反舰导弹自控终点及其误差散布[J]. 火力指挥与控制, 2003(10): 15-18.
- [5] 唐震, 王希全, 包小林. 潜射战术导弹模拟训练系统的设计[J]. 四川兵工学报, 2009(4): 30-32.