

舰载烟幕防御红外成像制导导弹的发射机动决策方案研究

刘松涛,高东华

(海军大连舰艇学院信息与通信工程系,辽宁 大连 116018)

摘要:舰载烟幕是防御红外成像制导导弹的一种有效措施和方法。针对反舰导弹的来袭方位、风向风速,如何确定烟幕的发射方案和本舰规避机动方案,是烟幕防御反舰导弹战术运用需要解决的关键问题。本文在工程化定性分析和分类思想的指导下,基于提出的交点判断和点矢量位置判断准则,给出了获得最优发射机动决策方案的具体过程和步骤。仿真结果和主观定性判断完全一致。依据烟幕防御反舰导弹的最优发射机动决策方案,可以使舰艇在末端防御的情况下,最大可能地赢得生存机会。

关键词:烟幕;红外成像制导导弹;发射机动决策;作战仿真

中图分类号:TN976

文献标识码:A

Research on the Decision Scheme of Launching and Maneuver for Shipborne Smoke Screen Defensing Infrared Imaging Guided Missile

LIU Song-tao, GAO Dong-hua

(Dept. of Information & Communication Engineering, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract: Shipborne smoke screen is an effective terminal defensing method for infrared imaging guided missile. According to the anti-ship missile's orientation and the wind's speed and angle, how to determine the scheme of smoke screen launching and ship maneuvering is a key problem for the tactical use of smoke screen defensing anti-ship missile. Based on the idea of engineering analysis and classifying, with the use of the proposed crossing point judging and point and vector's relative position judging rules, the process and step of achieving optimal decision scheme of launching and maneuver is given, and also the dynamic simulation system for finding the optimal decision scheme is designed with matlab programming language. The simulation results are consistent with that of subjective analysis. According to the optimal decision scheme of launching and maneuver for smoke screen defensing anti-ship missile, we can make our ship undamaged with the maximum probability in the condition of terminal defensing.

Key words: smoke screen; infrared imaging guided missile; decision of launching and maneuver; operational simulation

1 引言

舰载烟幕干扰是防御红外成像制导导弹的主要手段之一,其干扰机理主要运用了烟幕对目标红外辐射的遮蔽效应^[1-2]。烟幕干扰实现遮蔽效应的技术条件是:幕墙对红外辐射能量的一次衰减量应达到90%;幕墙的长度、高度尺寸要能遮挡住目标。这要求作战使用中,为了获得较高的干扰成功概率,指挥员必须要根据一定的威胁态势、作战环境、装备战技性能条件,利用烟幕布放和舰艇机动的决策方

案,决策出正确的烟幕布放位置和舰艇规避机动方向。可见,烟幕作战使用的核心问题是如何进行烟幕布放和舰艇机动的决策。发射机动决策是一个十分复杂的多重变量寻优问题,比如导弹的攻击方向、风向、舰艇的运动方向以及烟幕的布放位置都可以

基金项目:学院科研发展基金项目资助。

作者简介:刘松涛(1978-),男,工学博士,讲师,主要从事成像制导,图像融合,光电对抗等研究工作。E-mail:navylst@163.com

收稿日期:2008-09-23

在 360° 的方位内变化,而且烟幕的布放还有旋转变化的,另外,这些变量之间还有互相限制条件,比如烟幕应该布放在导弹攻击方向和舰艇之间等。在这诸多因素变化的情况下,如何在给定评估准则的条件下决策出最佳的烟幕布放和舰艇机动方向是相当困难的,但决策结果也是非常有意义的,可以使舰艇在末端防御的情况下,最大可能地赢得生存机会。

前期工作中以对抗激光制导导弹为例给出了有限作战态势下^[3],单因素(比如风向)变化对于干扰效果的影响,并简单定性给出了烟幕布放和舰艇规避机动的作战使用原则。本文试图考虑多重变量的影响,在给定评估准则的条件下,定量地求解出对抗红外成像制导导弹时最优的烟幕布放位置和舰艇规避机动方向。

2 基本思想

考虑多重变量的影响,直接求解最优的发射机动决策方案是非常复杂和困难的。为此,我们在两个基本思想的指导下进行问题的简化。

(1) 从工程实际的角度,结合定性分析,简化问题求解的空间。

烟幕只有布放在导弹和舰艇的连线方向才有效,另外,对于烟幕的平移和旋转变化的,将连续空间离散化,将平移离散化为每 100m 一种情况,旋转离散化为每 10° 角一种情况;

舰艇的运动方向只能在当前航向的左右舷 90° 范围内机动,因为实际作战情况下,时间非常短,舰艇掉头是不可能的。

(2) 从分类的角度进一步缩小问题求解的范围。

从对称性角度,导弹从左舷来袭和从右舷来袭是等价的,所以可将导弹的来袭方向 $D_direction$ 简化为 $0^\circ < D_direction \leq 180^\circ$ 。比如导弹从左舷来袭,这时又可将舰艇的运动方向限定在右舷 90° 的范围内机动,因为从定性的角度,舰艇朝着导弹来袭方向机动是不可能有利的。

在这个两个基本思想的指导下,我们可以得到导弹、烟幕和舰艇位置的空间分布简化示意图,如图 1 所示,其中已知条件是导弹来袭方向左舷 150° ,速度 300m/s ,与舰艇距离 8850m ;烟幕长度 1200m ,与舰艇距离 200m ,布放位置平行于舰艇,起始端与导弹和舰艇连线相交;风向 90° ,风速 4m/s ;舰艇航速 9m/s ,舰长 120m ,方向 90° 。

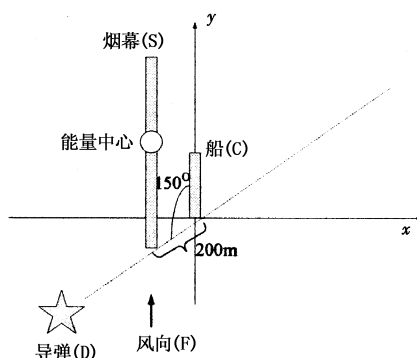


图1 导弹、烟幕和舰艇位置的空间分布示意图

烟幕布放和舰艇机动的最优求解问题最终简化如下:导弹从 $0^\circ \sim 180^\circ$ 某一角度来袭,风向为 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的某一角度,求解烟幕布放在什么位置,同时舰艇以多大角度右舷机动可以使舰艇最终距导弹最后两个时刻运动轨迹点连线的垂线段最长。

3 具体求解过程和步骤

烟幕布放和舰艇机动的最优求解问题主要包括五个方面:①仿真初始条件;②导弹、烟幕和舰艇的运动方程;③遮蔽条件;④仿真终止条件;⑤评估准则。

3.1 仿真初始条件

仿真时刻从烟幕布放到指定位置时开始计算,并以该时刻舰艇位置为坐标原点,舰艇航向为笛卡尔坐标系的 y 轴方向。假定舰艇、烟幕和导弹都在海平面内运动,这里海平面也就是笛卡尔坐标系平面。在这个平面内,我们考虑舰艇、烟幕和导弹的运动轨迹。仿真步长设为 1s 。

3.2 导弹、烟幕和舰艇的运动方程

(1) 导弹的运动方程

导弹的运动方向一直朝着能量中心,所以在每一仿真步骤中导弹的坐标点更新方程为:

$$\begin{cases} D(m+1,1) = D(m,1) + T_step \cdot D_v \cdot \sin(\text{Belta}) \\ D(m+1,2) = D(m,2) + T_step \cdot D_v \cdot \cos(\text{Belta}) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $(D(m,1), D(m,2))$ 为当前时刻导弹的坐标点; $(D(m+1,1), D(m+1,2))$ 为下一时刻导弹的坐标点; T_step 是仿真步长; D_v 是导弹的运动速度; Belta 是导弹与烟幕能量中心连线和 x 轴的夹角。

(2) 烟幕的运动方程

烟幕的运动我们假定为在风的作用下进行平移,没有旋转变化的。另外,假定烟幕在运动过程中保持形状的不变,即没有烟幕的扩散现象。在这些假

定条件下我们可以得到烟幕能量中心坐标点的更新方程为:

$$\begin{cases} S(m+1,1) = S(m,1) + F_v \cdot T_{\text{step}} \cdot \cos(F_{\text{direction}} \cdot \pi/180) \\ S(m+1,2) = S(m,2) + F_v \cdot T_{\text{step}} \cdot \sin(F_{\text{direction}} \cdot \pi/180) \end{cases} \quad (2)$$

式中, $S(m,1), S(m,2)$ 为烟幕能量中心当前时刻的坐标点; $S(m+1,1), S(m+1,2)$ 为烟幕能量中心下一时刻的坐标点; F_v 为风的速度; $F_{\text{direction}}$ 为风向; T_{step} 为仿真步长。注意, 我们考虑风向的变化只会影响烟幕的运动, 不影响导弹和舰艇的运动。

烟幕的初始投放位置可以有多种情况, 但所有这些初始位置都可以通过一种投放情况经过平移和旋转变化得到, 如图 2 所示。令烟幕与导弹和舰艇连线的夹角为 θ , 则烟幕的旋转是指让 θ 从 $10^\circ \sim 170^\circ$ 以 10° 的递增量变化; 烟幕的平移是沿着某一固定的 θ 角, 并保持烟幕与导弹和舰艇连线的交点不变, 每次平移 100m, 如果烟幕的长度是 1200m, 则可以平移 12 次, 共有 13 种状态。将旋转和平移结合, 就构成了烟幕初始位置的所有可能情况。

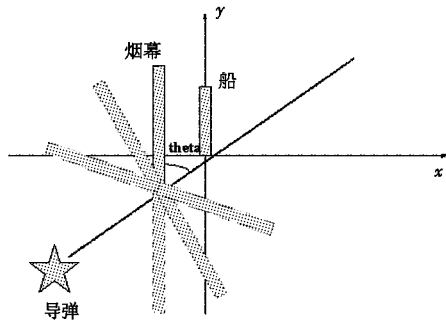


图 2 烟幕初始投放位置的平移和旋转变化情况

(3) 舰艇的运动方程

舰艇的运动我们不考虑舰艇机动转向的影响, 简化为以某一机动舷角为航向, 然后匀速直线运动。舰艇的运动方程为:

$$\begin{cases} C(m,1) = C_v \cdot (m-1) \cdot \cos(C_{\text{angle}} \cdot \pi/180) \\ C(m,2) = C_v \cdot (m-1) \cdot \sin(C_{\text{angle}} \cdot \pi/180) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $C(m,1), C(m,2)$ 为舰艇运动的坐标点; C_v 为舰艇的运动速度; C_{angle} 是舰艇的机动方向角。

3.3 遮蔽条件

根据烟幕干扰反舰导弹的机理, 在导弹、烟幕和舰艇的运动过程中, 只有舰艇一直处于烟幕遮蔽

的状态下, 干扰才有效。我们提出了交点判断准则, 来判断舰艇是否处于烟幕的遮蔽状态下, 如图 3 所示。

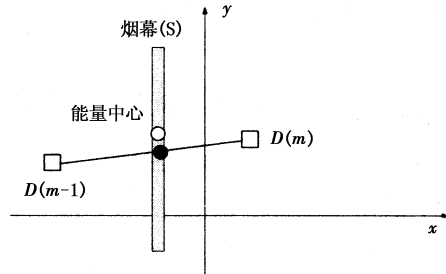


图 3 烟幕与导弹运动轨迹的交点示意图

首先根据当前时刻烟幕起点 ($X_{\text{limit1}}, Y_{\text{limit1}}$) 和终点坐标 ($X_{\text{limit2}}, Y_{\text{limit2}}$), 以及导弹和舰艇的坐标点 $D(m), C(m)$, 求出交点坐标 ($\text{Cross}_X, \text{Cross}_Y$), 然后依据以下两种情况进行判断: ① 烟幕垂直于 x 轴, 即 $X_{\text{limit1}} = X_{\text{limit2}}$, 这时 if $\text{Cross}_Y < Y_{\text{limit1}} \parallel \text{Cross}_Y > Y_{\text{limit2}}$, 舰艇没有被遮蔽; ② 烟幕不垂直于 x 轴, 即 $X_{\text{limit1}} \neq X_{\text{limit2}}$, 这时 if $\text{Cross}_X < X_{\text{limit1}} \parallel \text{Cross}_X > X_{\text{limit2}}$, 舰艇没有被遮蔽。

3.4 仿真终止条件

当导弹攻击的航迹穿过烟幕时, 认为某种战场态势下的发射机动决策仿真结束。我们提出了点矢量位置判断准则, 来判断导弹航迹是否穿过烟幕。具体准则是指首先沿顺时针方向找到烟幕直线矢量, 然后判断导弹轨迹点在烟幕直线矢量的左侧还是右侧, 如果在左侧, 仿真继续; 否则, 仿真结束。

3.5 评估准则

烟幕布放和舰艇机动方向最优是在一定准则意义下的最优。考虑到导弹引爆后也可能沿着原航迹向前飞行一段时间, 评估准则选用舰艇一直处于遮蔽状态下, 仿真结束时刻舰艇距导弹运动轨迹的最后两点连线的垂线段 d 最长, 如图 4 所示。

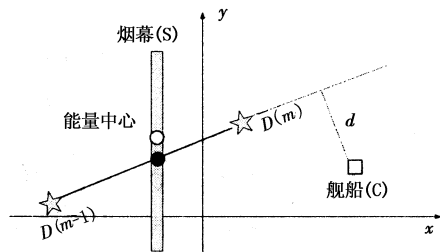


图 4 舰艇和导弹运动轨迹的最后两点连线的垂线段示意图

$$d = \frac{|(D(m,2) - D(m-1,2)) \cdot C(m,1) + (D(m-1,1) - D(m,1)) \cdot C(m,2) + D(m-1,2) \cdot D(m,1) - D(m-1,1) \cdot D(m,2)|}{\sqrt{(D(m,2) - D(m-1,2))^2 + (D(m,1) - D(m-1,1))^2}} \quad (4)$$

其中, $(D(m,1), D(m,2))$ 和 $(D(m-1,1), D(m-1,2))$ 是导弹运动轨迹的最后两点; $(C(m,1), C(m,2))$ 是仿真结束时舰艇的坐标点。

4 仿真结果

根据给出的获得烟幕防御反舰导弹的最优发射机动决策方案的过程和步骤, 利用 Matlab 语言, 设计实现了烟幕防御反舰导弹的发射机动决策仿真系统。在这里我们主要利用仿真系统给出了三个实验: ①导弹来袭方向一定(左舷 150°), 风向在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 变化时, 对舰艇与导弹航向的最长垂线段有何影响; ②风向一定(270°), 导弹来袭方向在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化时, 对舰艇与导弹航向的最长垂线段有何影响; ③任意输入一组导弹来袭方向和风向的参数值, 最优决策结果是什么? 下面分别对这三个实验进行定性和定量的分析。

4.1 风向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响

在导弹来袭方向一定的情况下, 考虑风向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响。比如导弹来袭方向是左舷 150° , 风向从 $0 \sim 355^\circ$ 变化时(变化间隔为 5°), 我们考察舰艇与导弹航向的最长垂线段的变化规律, 如图 5 所示。当风向与导弹来袭方向基本一致时, 舰艇与导弹航向的最长垂线段的长度大约 $600 \sim 700\text{m}$, 当风向与导弹来袭方向基本相反时, 舰艇与导弹航向的最长垂线段的长度大约 $900 \sim 1000\text{m}$, 特别在风向为 200° 时, 最长垂线段达到 1040m 。这和我们主观定性判断时顺风 and 逆风的影响完全一致。另外, 最长垂线段的长度有几个突变情况, 这是由于仿真误差造成导弹航向最后两点的连线方向发生变化, 从而导致垂线段的长度也发生了比较明显的变化。

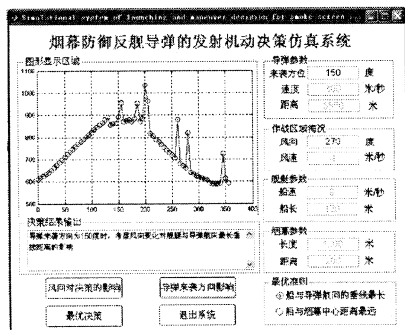


图5 风向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响

4.2 导弹来袭方向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响

在风向一定的情况下, 考虑导弹来袭方向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响。比如风向是 270° , 导弹来袭方向从左舷 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化时(变化

间隔为 5°), 我们考察舰艇距导弹运动轨迹的最后两点连线的垂线段长度的变化规律, 如图 6 所示。当导弹来袭方向与风向基本一致或相反时, 而且这个方向与舰艇运动方向又基本是垂直关系时, 垂线段的长度比较短, 大概在 700m 左右。当导弹来袭方向在风向的垂直方向并且和舰艇运动方向基本平行时, 垂线段的长度比较长, 大概在 850m 左右。和风向分析里的原因一样, 最长垂线段的长度突变情况也是由于仿真误差引起的。

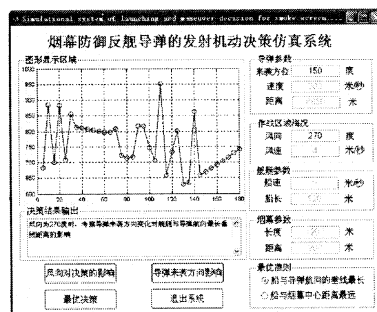


图6 导弹来袭方向对舰艇与导弹航向的最长垂线段的影响

4.3 最优决策结果输出

对风向和导弹来袭方向的分析都是单因素的影响分析, 下面我们同时考虑这两个因素的影响, 输入任意一组导弹来袭方向和风向的参数值, 考察仿真系统给出的最优烟幕布放和舰艇机动方向的决策是否合理。比如风向 180° , 导弹来袭方向为左舷 120° 时, 主观分析的结果是烟幕布放在导弹和舰艇连线的垂直方向 90° , 舰艇向右机动航行, 根据这种发射机动决策, 舰艇和烟幕的垂直距离为 465m 。而最优发射机动决策的仿真程序给出的结果如下:

舰艇和烟幕的垂直距离最远为 742m , 通常导弹的杀伤半径大约 50m , 加上舰艇的安全距离 150m , 最大也就 200m 左右, 如图 7 所示。所以说根据仿真程序给出的参数进行烟幕发射, 舰艇机动方向为右舷 90° 时, 在给定的战场态势下, 舰艇可以获得最大的生存机会。这和我们主观分析的结论基本是一致的, 但明显优于主观分析的发射机动决策方案。

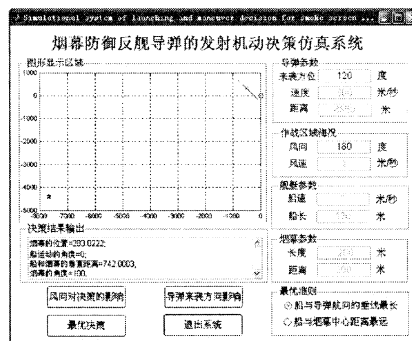


图7 风向 180° 、导弹来袭方向左舷 120° 时最优决策结果

5 结束语

本文在工程化定性分析和分类思想的指导下,基于提出的交点判断和点矢量位置判断准则,给出了获得最优发射机动决策方案的具体过程和步骤,并利用 Matlab 语言设计了动态寻优仿真系统。通过仿真分析表明,本文给出的方法较好地解决了舰艇末端防御反舰导弹过程中烟幕的布放和舰艇机动方向的最优化问题。但在基于工程化考虑的同时,也忽略了一些问题,比如烟幕的形成过程和扩散过程等^[4],如果将这些因素考虑进来,仿真结果将会更加接近真实战场环境下烟幕布放和舰艇机动的作战效果。

(上接第 279 页)

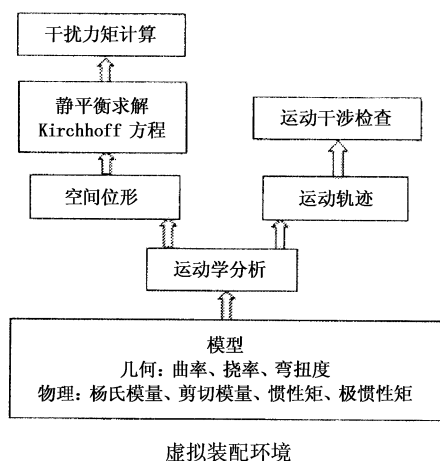


图6 管路虚拟装配分析

2)以虚拟样机代替实物样机,以虚拟装配过程代替实际试装过程,可缩短研制周期、降低研制风险及成本并可对更多的布局方案进行试验,从中选择最优的方案。

3)以运动变形与力矩分析结果为基础,将管路的布局设计由经验性设计转为科学的、可预知的设计。

5.2 测量方法的改进

为了对管路的影响进行定量分析,应直接对管路在运动过程中的变形与应变进行测量,可采用如图7所示的非接触光学测量方式进行。

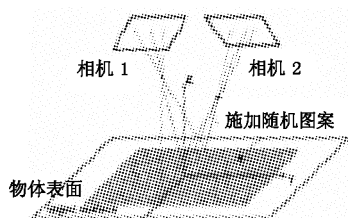


图7 测量原理

参考文献:

- [1] 高东华. 舰艇电子对抗作战指挥[M]. 北京:海潮出版社,2002.
- [2] 高东华. 舰艇电子对抗战术[M]. 北京:解放军出版社,2004.
- [3] 高东华,张祥林. 舰载烟幕干扰对抗激光制导反舰导弹的战术研究[J]. 激光与红外, 2005, 35(6): 427-429.
- [4] 姜宁,胡维礼,马颖,等. 舰艇电子对抗系统的仿真研究[J]. 系统工程与电子技术,2001,23(4):91-93.

通过两支高速 CCD 摄像机以及专门的图形匹配算法,根据三角测量原理确定管路表面各点的三维坐标,实现全场的、非接触式的三维变形和应变的测量。

将以上两项措施结合起来,用以改进 J-T 制冷器供气管路的布局设计与装配过程,可有效地将干扰力矩控制在允许的范围内。

6 结论

J-T 制冷器供气管路对凝视红外成像导引头稳定平台产生干扰力矩,该项干扰的存在影响了稳定平台的控制精度。本文在对其进行详细分析的基础上,提出应在研发前期引入虚拟装配技术设计管路布局方案,结合管路变形与应变的直接测量技术,从源头上解决此问题。

参考文献:

- [1] 王春生,喻松林,高山. 一种精确制导用凝视红外成像系统设计[J]. 激光与红外,2007,37(4):332-334.
- [2] 张盈华,万中南. 红外凝视成像导引头随动系统误差分析[J]. 红外与激光工程,2006,35(1):25-30.
- [3] 武强,纪明. 光电稳定/跟踪平台的干扰力矩自动化检测识别[J]. 应用光学,2001,22(3):41-44.
- [4] 王三煜. 制冷器在导弹系统中的应用[J]. 红外技术,2005,9,27(5):399-402.
- [5] 张英会. 弹簧[M]. 北京:机械工业出版社,1980.
- [6] J C L' eon, U Gandiaga, D Dupont. Modeling flexible parts for virtual reality assembly simulations which interact with their environment [C]// IEEE Int. Conf. on Shape Modeling and Applications, May, 2001, 7(11): 335-344.