舰载直升机吊声的搜潜方法探讨

白 晶 韩 亮

(北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

摘 要: 针对应召反潜中敌潜艇直线形规避行为,提出了双机协同反潜的预测搜索法.在一定探测域余量下,使联合探测角度最大,确定了初始探测点.通过预测敌潜艇在舰载直升机工作时间段内的航程,形成按照两个声纳相背的方向、半径不断扩大的环形搜索路径.通过 Matlab 实例仿真,验证此法的探测成功率在 70% 以上.对实际的舰载直升机反潜具有参考作用.

关 键 词: 反潜直升机; 声纳; 预测搜索; 仿真

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2007)03-0282-04

Search method of dipping sonar on ship borne antisubmarine aircraft

Bai Jing Han Liang

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: To aim at the enemy submarine's linear elusion in the mustering instance of the ship borne antisubmarine aircraft, a forecasting search method based on the cooperation of two ship borne antisubmarine aircrafts was proposed. The initiatory detecting spot was confirmed grounded on the definite detecting surplus and the maximum combinable detecting angle. Through forecasting the enemy submarine's voyage at the moment that the ship borne antisubmarine aircrafts worked, an arc search path was formed, which ceaselessly enlarged the radius and apposed the orientation of the dipping sonares. The search method was simulated and validated by Matlab. The success probability of the method is more than 70%. So the search method possesses the reference meaning to the actual ship borne antisubmarine aircrafts.

Key words: antisubmarine aircrafts; sonar; forecasting search; simulation

目前,舰载直升机已经成为水面舰船反潜的重要装备.它随舰船行驶到中、远海域,由舰船上起飞执行反潜任务,这样既可以发挥直升机反潜攻防兼备、机动灵活的特点,又可以克服直升机航程受限的缺点,是现代反潜战中的重要发展方向.

舰载直升机执行反潜任务有两种情况:①没有任何敌潜艇信息,对某块可疑海域进行搜索;②根据其它兵力提供某一时刻潜艇的信息,对潜艇进行搜索.对于第①种情况下,选用搜索概率大的搜索路径排查式搜索.而第②种情况,就复杂一些,要考虑的问题是如何确定初始探测点、选择何种搜索路径等.

本文主要研究第②种应召情况下,由两架反潜直升机组成的编队协同搜索潜艇的方法,通过仿真算例进行验证.

1 应召反潜任务概况

敌潜艇发觉我方兵力对其侦查时,会采取措施中断我方的接触,同时,为尽快摆脱我方的搜索攻击,在周围地形、海区不受限制的情况下,潜入海水中某一深度的平面内以最快速度直线形逃跑.所以,从失去接触时刻到 t 时刻,敌潜艇的位置是以失去接触的位置为圆心、R 为半径的圆周上的某一点.R 是敌潜艇在 t 时间内航行的路程.

收稿日期: 2006-03-31

作者简介: 白 晶(1978—),女,吉林榆林人,硕士生, jilinbaijing@163.com.

随着 t 的增加,R 逐渐增大[1].

我方从失去接触时刻起,舰载直升机从舰船起飞,开始搜索敌潜艇.直升机的工作过程是这样的[2]:直升机按照航线飞行到初始探测点的海平面上空,下降到一定高度悬停,按吊放声纳操作规程放下水下分机到合适深度,开机搜索敌潜艇.若发现敌潜艇,把探测到的信息传送给指控中心,根据命令执行动作.若没有发现敌潜艇,收起水下分机爬升到一定高度,飞往下一个探测点,依工作流程进行新的一次搜索.

2　预测搜索法

在敌潜艇逃跑的 t 时间内,包含了直升机空中飞行的时间 T_f、吊放声纳的时间 T_w 和声纳在水中的探测时间 T_s.在实际的海域里,我方的探测区域是由数个离散的声纳探测域组成的.在 T_s 内,敌潜艇行驶的路径通过声纳的探测域才能被发现.所以探测点的确定要考虑在 T_f 和 T_w 时间内敌潜艇的航程.

如图 1 所示,起始于原点的虚线代表敌潜艇的运动轨迹,线段 OB_1 表示在 T_f 和 T_w 时间段内敌潜艇的航程,线段 B_1B_2 表示在 T_s 时间段内敌潜艇的航程.声纳能够探测到敌潜艇的极限位置是敌潜艇的运动轨迹和声纳探测域相切.当声纳探测点放在图中的 A_s 或 A'_s 时,刚开始探测时就可以探测到敌潜艇;若探测点的位置在线段 A_sA_e 或 $A'_sA'_e$ 上,在 T_s 时间段内必定有一时刻可以探测到敌潜艇;当声纳的探测点在图中的 A_e 或 A'_e 时,那么在探测结束的时刻探测到敌潜艇;若探测点在线段 $A_sA'_s$ 或 $A_eA'_e$ 上时,敌潜艇的轨迹就可以穿入声纳探测域,声纳就可以探测到敌潜艇.所以图 1 显示了一个声纳的探测点的可选域,只要声纳的探测点位于矩形 $A_sA'_sA'_eA_e$ 中,就可以探测到敌潜艇.

在这个矩形范围内如何选取探测点,要根据具体的情况.对于应召反潜情况,由于不知道敌潜艇的逃跑角度,还要时间最短,所以采用的办法是

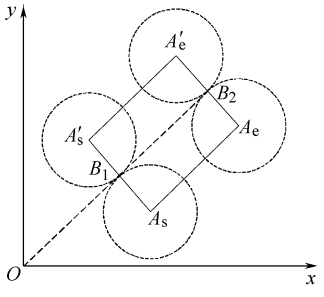


图 1　声纳探测点的可选域

由最近的距离开始探测,按照两个声纳相背的方向,逐渐排除搜索角度的预测搜索法.

2.1　建立坐标系

将舰船的位置和失去接触时的位置投影到水平面上,两点的连线为水平的 x 轴,指向舰船方向为正,失去接触时的敌潜艇位置为圆心 O.极坐标系中极轴为 x 轴,角度逆时针为正.

2.2　初始探测点 $A_1(x_1, y_1)$ 的确定

初次探测时声纳 1 和声纳 2 联合可探测的角度越大,探测到潜艇的可能性越大.由于声纳 1 和声纳 2 的对称关系,以下只详细计算一边声纳的情况.

在 T_f 和 T_w 时间内,如图 2 所示,敌潜艇的航程可能是 l_1, l_1 是点 O 到点 B_1 的距离,$l_1 = V_g(T_f + T_w)$,V_g 是我方估计的敌潜艇速度.只要敌潜艇的逃跑角度在 α_1 内,则声纳 1 吊放在 A_1 点就可以探测到.若要 α_1 大,则 A_1 的 y_1 值愈大愈好,两个声纳可探测域的角度也就愈大,由文献[1]可知,反潜直升机吊放声纳探测敌潜艇时,相邻探测点间的距离通常为 1.25～1.6 倍的声纳有效探测半径 r.由关系式:

$$y_1 = 0.8r \tag{1}$$

$$r^2 + (l_1)^2 = (x_1)^2 + (y_1)^2 \tag{2}$$

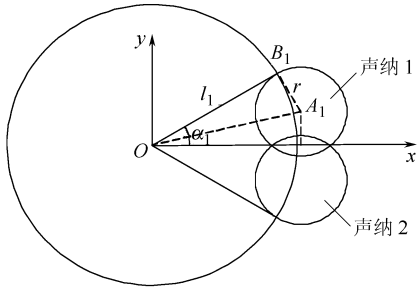


图 2　初始探测点示意图

联立(1)式、(2)式,可以求出 x_1,y_1 的值,这样初始探测点 A_1 就确定下来了.

2.3　确定搜索路径

在搜索任务中动态确定的探测点组成了搜索路径.所谓动态确定就是要利用上一次的探测情况,实时计算出这次的探测点.两边的声纳确定方法是相同的,以一个声纳的计算为例,这次探测点的位置要位于上一次的可探测域角度的边延长线上,还要满足飞机在两个探测点间飞行所用时间 $T_f + T_q$(上次所用的时间)$+ T_w$ 时间内,敌潜艇所航行过的轨迹和声纳的此次探测域相切.这是一个极限的位置,这样是因为在上一次没有探测到敌潜艇,说明敌潜艇不在上次可探测的角度内,这次在上一次的基础上加入了一个可探测的最大

角度,依此方法,不断地排除敌潜艇不存在区域的角度,当两个声纳的吊放位置和 X 轴的夹角均大于180°时,一次完整的搜索任务完成.由于两个声纳同时这样探测,实际完成了以失去接触的点为中心的不断扩大搜索半径的360°搜索.由图3可以看出,确定第2个探测点的关系式:

$$\alpha_1 = \arctan(y_1/x_1) + \arctan(r/l_1) \quad (3)$$

$$y_2 = x_2 \tan\alpha_2 \quad (4)$$

$$T_f = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \Big/ V_p \quad (5)$$

$$l_2 = V_g(T_q + T_w + T_f) \quad (6)$$

$$(x_2)^2 + (y_2)^2 = r^2 + (l_2)^2 \quad (7)$$

$$\alpha_2 = \arctan(r/l_2) \quad (8)$$

(5)式中 V_p 表示直升机的飞行速度.(7)式中 l_2 是图3中点 O 到点 B_2 的距离.联立(3)式~(7)式第2个探测点 A_2 就可以确定了,并且可以通过(8)式确定 α_2,便于确定下一个探测点.

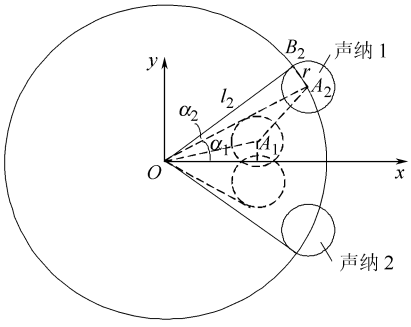


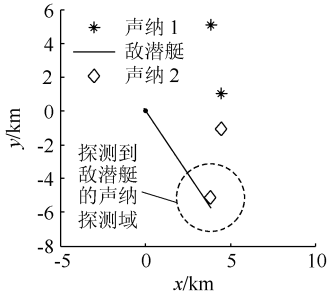
图3 确定声纳搜索路径示意图

3 算例论证

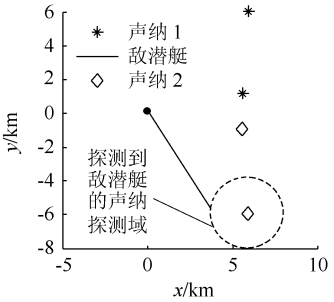
为了验证算法,采用了 Matlab 仿真.假定我方收到其他兵力的警戒信号,显示某一位置有可疑敌潜艇出没,随即失去和目标的接触,敌潜艇直线型逃跑.我方舰载直升机立刻从舰船上起飞,按搜索方法开始工作.参数假定:敌潜艇逃跑的速度 V_s 服从[10 15]kn之间的均匀分布,逃跑角度 α_s 服从[0° 360°]之间均匀分布.直升机的平均飞行速度 V_{pa} 为100 km/h,吊放声纳的平均时间 T_{wa} 为60 s,声纳的平均探测时间 T_{sa} 为4 min,声纳的有效探测半径 r 为2 km,舰船与失去接触点距离为50 km.

图4为敌潜艇逃跑角度较小时声纳探测点与敌潜艇轨迹示意图,是在 $V_s = 10.272$ kn,$\alpha_s = -0.982$ rad情况下,V_{pa} 和 V_g 不同时的探测结果.

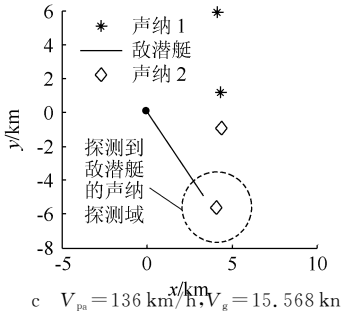
3幅图都是探测两次成功.其中图4a和图4b中 V_{pa} 是相同的,但 V_g 是不同的.而图4b和图4c中 V_g 是相同,但 V_p 是不同的.可以看出图4a中 V_g 小于图4b中 V_g,探测的余量越来越小,在图4b中,探测即将结束时,敌潜艇的实际轨迹刚到达探测域的边缘.由于 α_s 比较小,所以即使 V_g 偏离 V_s 很大,仍然是探测成功的.图4b中 V_{pa} 小于图4c中 V_{pa},在图4c中,敌潜艇的实际轨迹穿入声纳的探测域一定距离,所以 V_{pa} 与 V_s 比值增大,探测成功的可能性也是提高的.



a $V_{pa} = 100$ km/h,$V_g = 11.676$ kn



b $V_{pa} = 100$ km/h,$V_g = 15.568$ kn



c $V_{pa} = 136$ km/h,$V_g = 15.568$ kn

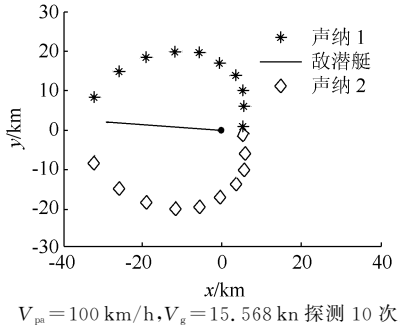
图4 $V_s = 10.272$ kn,α_s 较小时声纳探测点与敌潜艇轨迹示意图

图5为敌潜艇逃跑角度较大时声纳探测点与敌潜艇轨迹示意图,是在 $V_s = 12.027$ kn,$\alpha_s = 3.078$ rad的情况下,V_{pa} 和 V_g 不同时的探测结果.

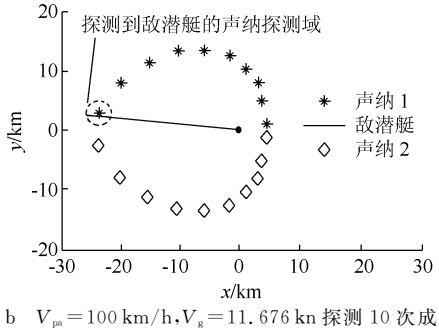
3幅图中只有图5b探测成功.其中图5a中 V_g 与 V_s 偏差过大时,探测10次失败了,而图5b中 V_g 与 V_s 偏差小于图5$_a$ 中的偏差,探测10次成功了,且这两次的 V_{pa} 是相同的.再比较图5b和图5c可见,V_g 是相同的,图5c中 V_{pa} 大于图5b中 V_{pa},结果是 V_{pa} 大的探测失败.

为了验证此法的探测成功率,对敌潜艇直线形规避行为进行了2 000次的随机试验,结果显示,此法的探测成功率在70%以上.而且在相同

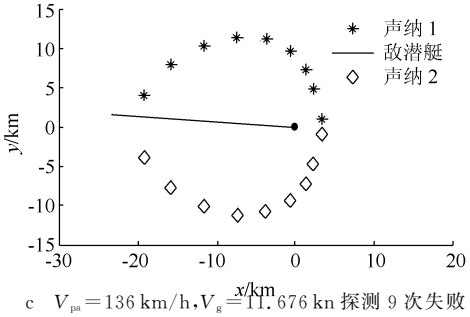
V_{pa}情况下,r 增大时探测成功率是提高的. 在 $V_{pa}=100$ km/h 情况下, $r=2$ km 时,此法的探测成功率是 72%,当 r 增大到 4 km 时,此法的探测成功率是 88%.



a　$V_{pa}=100$ km/h,$V_g=15.568$ kn 探测 10 次失败



b　$V_{pa}=100$ km/h,$V_g=11.676$ kn 探测 10 次成功



c　$V_{pa}=136$ km/h,$V_g=11.676$ kn 探测 9 次失败

图 5　$V_s=12.027$ kn,α_s 较大时
声纳探测点与敌潜艇轨迹示意图

4　结　论

敌潜艇的逃跑角度、直升机的平均飞行速度和声纳的有效探测半径都是影响探测结果的因素. 在敌潜艇的逃跑角度很大的情况下,估计的敌潜艇速度对探测结果影响很大. 在逃跑角度小的情况下,即使对敌潜艇的估计速度与实际速度偏差很大,按此法仍然是可以探测成功的. 另外,直升机的平均飞行速度与敌潜艇的实际速度比过大或过小都会导致探测失败,并且声纳的有效探测半径越大,探测的成功率就越大.

本文提出的方法对应召反潜情况具有在短时间内搜索范围大的特点,并且在预测速度合适、直升机平均飞行速度与敌潜艇实际速度比合适的时候具有很高的搜索概率,可达到 70% 以上. 对于潜艇复杂的规避行为只要稍加改进预测点即可. 对实战中的舰载直升机反潜具有参考意义.

参考文献(References)

[1] 张圣云,张安,王连柱,等. 反潜飞机对潜搜索法研究[J]. 火力与指挥控制,2006,31(1):70－74
Zhang Shengyun, Zhang An, Wang Lianzhu, et al. A study on searching for submarine by anti-submarine[J]. Fire Control and Command Control,2006,31(1):70－74(in Chinese)

[2] 赵绪明,孙明太. 吊放声纳搜索效率模型探讨[J]. 电光与控制,2005,12(2):37－41
Zhao Xuming, Sun Mingtai. Discussion on search efficiency model of dipping sonobuoy[J]. Electronics Optics & Control, 2005,12(2):37－41(in Chinese)

[3] Ketter T N. Anti-Submarine warfare in the 21st century [R]. ADA27660,2004

[4] Jorgensen J T. United States navy's ability to counter the diesel and nuclear submarine threat with long-range antisubmarine warfare arecraft[D]. Annapolis, Maryland,US:US Naval Academy,2002

[5] 孙明太,王涛,赵绪明. 反潜直升机吊声搜潜效能的建模仿真[J]. 火力与指挥控制,2005,30(3):33－36
Sun Mingtai,Wang Tao,Zhao Xuming. Modeling and simulation the efficiency of the dipping sonar on the antisubmarine helicopter[J]. Fire Control and Command Control, 2005, 30(3): 33－36(in Chinese)

[6] Fahrettin AKBORI. Autonomous-agent based simulation of anti-submarine warfare operations with the goal of protecting a high value unit[D]. Monterey,California,US:Naval Postgraduate School,2004

[7] 李长明,杨健,王晶. 舰载直升机反潜搜索最佳方案优选模型及应用[J]. 火力与指挥控制,2005,30(8):68－71
Li Changming,Yang Jian,Wang Jing. Optimization model of optimal plan for shipborne helicopter anti-submarine searching and its application[J]. Fire Control and Command Control,2005,30(8):68－71(in Chinese)

[8] Boqart C D,Kay S R,King D,et al. A heuristic algorithm for position estimation[C/OL]. Malvern:IEE Colloquium, 1996 [2006-03-01]. http://ieeexplore.ieee.org/iel3/5133/13953/00644140.pdf

(责任编辑:刘登敏)