

7-30-2020

Building Arc-spiral Search Models of Dipping Sonar Based on Transcendental Target Moving Course

Wu Min

Department of Teaching and Studying, Naval Flying Academy, Huludao 125001, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Building Arc-spiral Search Models of Dipping Sonar Based on Transcendental Target Moving Course

Abstract

Abstract: Based on the known probable moving course of submarine targets, and the actual searching process of anti-submarine airplane, to search the target in the finite domain, *the wind factor to affect searching process was analyzed. The arc-spiral searching model of dipping sonar and submarine moving models were built. In the factor of given ocean environments, the experimental results simulated and analyzed the arc-spiral searching course of dipping sonar.* The experimentation compared and analyzed the influence of searching probabilities on curve searching, sector searching, and arc-spiral searching manners. The experimental results indicate that the searching probability of arc-spiral searching manner of dipping sonar is better than curve and sector searching manners.

Keywords

aeronautical anti-submarine, dipping sonar, submarine, arc-spiral searching, searching probability

Recommended Citation

Wu Min. Building Arc-spiral Search Models of Dipping Sonar Based on Transcendental Target Moving Course[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(12): 2908-2912.

基于先验目标航向的吊声扇面螺旋线搜潜建模

吴铭

(海军航空兵学院作战指挥系, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要: 针对已知目标的大概航向, 需在有限范围内确定目标存在区的情况下, 结合反潜直升机实际搜潜过程, 分析了风因素对反潜机探测过程的影响; 依据潜艇机动规避条件建立了潜艇机动规避模型; 基于传统扇形搜索方法建立了一种新的反潜机吊放声纳扇面螺旋线形应召搜潜模型。仿真分析了在已知海洋环境条件下, 反潜机扇面螺旋线形应召搜潜轨迹, 对潜艇机动规避情况下扇面螺旋线形搜潜方法与传统的扇形、弧形搜潜方法的搜索概率进行了比较分析。结果表明, 扇面螺旋线形方法的搜潜概率优于扇形和弧形。

关键词: 航空反潜; 吊放声纳; 潜艇; 扇面螺旋线形搜索; 搜索概率

中图分类号: E925 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 12-2908-05

Building Arc-spiral Search Models of Dipping Sonar Based on Transcendental Target Moving Course

Wu Min

(Department of Teaching and Studying, Naval Flying Academy, Huludao 125001, China)

Abstract: Based on the known probable moving course of submarine targets, and the actual searching process of anti-submarine airplane, to search the target in the finite domain, the wind factor to affect searching process was analyzed. The arc-spiral searching model of dipping sonar and submarine moving models were built. In the factor of given ocean environments, the experimental results simulated and analyzed the arc-spiral searching course of dipping sonar. The experimentation compared and analyzed the influence of searching probabilities on curve searching, sector searching, and arc-spiral searching manners. The experimental results indicate that the searching probability of arc-spiral searching manner of dipping sonar is better than curve and sector searching manners.

Keywords: aeronautical anti-submarine; dipping sonar; submarine; arc-spiral searching; searching probability

引言

吊放声纳作为航空搜潜的重要装备, 以尺寸小、重量轻、使用机动灵活等优点在实际作战训练中得到了广泛使用^[1-6]。反潜机采用不同搜索阵形及潜艇采用不同的规避策略都会直接影响吊放声

纳的搜索概率^[6-11]。关于反潜机采用吊放声纳的搜潜阵形, 国内外已经进行了很多研究^[4-8]。但对于吊放声纳搜潜阵形的实际搜潜效果, 研究工作进行的还较少, 但缺乏必要的模型支持和仿真验证^[12-15]。文献[7]建立了反潜机吊放声纳扇形和弧形搜潜模型, 并针对不同潜艇运动模式对这2种方法的搜潜概率进行比较分析。本文在文献[7]基础上, 结合反潜直升机实际搜潜过程, 对传统的吊放声纳扇形搜索方法进行改进, 建立了一种新的吊放声纳扇面螺旋线形搜潜模型, 该模型基于已知敌潜艇的概略



收稿日期: 2014-06-15 修回日期: 2014-11-26;
基金项目: 国家自然科学基金项目资助(61271444);
作者简介: 吴铭(1977-), 男, 辽宁盘锦, 硕士, 讲师,
研究方向为战术指挥。

<http://www.china-simulation.com>

• 2908 •

航向,对传统的扇形搜潜方法进行改进,定义可在一定扇面内进行螺旋线形搜索,当超过限定的角度范围时,返回向扇面另一方向搜索。本文还建立了潜艇的机动规避模型,并在潜艇机动规避情况下,将本文方法和扇形、弧形搜索方法的搜潜概率进行仿真分析。

1 潜艇规避机动模型

当潜艇发现被探测或跟踪条件下,需通过改变航速、航向、航深等方式机动规避主动声纳的探测或跟踪,一般在规避机动运动时,若改变深度,可采用增加深度或者进入温跃层等措施;若改变速度,可采取极低速航行或较大速度迅速逃离;若改变航向,可采取避开探测点的方位。

1.1 潜艇规避机动条件

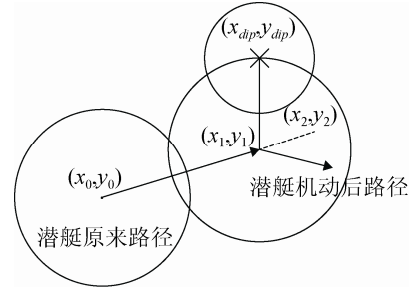
吊放声纳主动探潜过程中潜艇相对于吊放声纳有 4 种运动态势:(1) 潜艇在吊声探测过程中检测到吊放声纳主动信号,并进行规避机动,而吊放声纳没有发现潜艇;(2) 潜艇在吊放声纳开始探测时检测到吊放声纳信号,进行规避机动;(3) 吊放声纳开始探测即发现潜艇;(4) 相互均未发现对方。在前 2 种情况下,潜艇需采取规避机动措施,如图 1 所示,图中 (x_1, y_1) 为潜艇警戒规避的位置。

1.2 潜艇规避机动运动模型

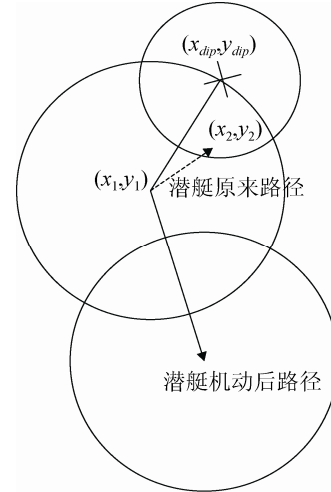
设潜艇发现吊放声纳初始时间 t_0 , 潜艇初始位置 $S_0(x_{sub0}, y_{sub0})$, 若已知潜艇概略航向 η_{sub} 和航速 v_{sub} , 潜艇航速在 $[v_{sub\ min}, v_{sub\ max}]$ 内随机取值, 潜艇被动声纳警戒距离 R_{alert} 。

从 t_0 时刻开始, 在随机时间段 $\Delta t(j)(j=0, 1, 2, \dots, i-1)$ 内潜艇匀速直线运动, 其开始位置为:

$$\begin{cases} x_{sub}(i) = x_{sub0} + \sum_{j=0}^{i-1} v_{sub}(j) \cdot \cos \eta_{sub}(j) \cdot \Delta t(j) \\ y_{sub}(i) = y_{sub0} + \sum_{j=0}^{i-1} v_{sub}(j) \cdot \sin \eta_{sub}(j) \cdot \Delta t(j) \end{cases} \quad (1)$$



(a) 潜艇在吊声探测过程中发现吊声



(b) 潜艇在吊声探测开始时发现吊声

图 1 潜艇规避机动态势

在反潜机第 i 个吊放声纳主动探测过程中, 计算 $t_{hbeg}(i)$ 时刻吊放声纳与潜艇的距离 $l(t_{hbeg}(i))$, 由对应的潜艇目标强度可确定吊放声纳最大作用距离 $R_{dip}(t_{hbeg}(i))$, 及 $[t_{hbeg}, t_{hend}]$ 时间段内潜艇位置点 $(x_{sub}(t_{hbeg}(i)), y_{sub}(t_{hbeg}(i)))$ 与 $(x_{sub}(t_{hend}(i)), y_{sub}(t_{hend}(i)))$ 组成的线段距离吊放声纳最近的距离 l_{min} , 若 $l(t_{hbeg}(i)) < R_{dip}(t_{hbeg}(i))$, 则潜艇被吊放声纳探测到; 若 $l_{min} > R_{alert}$, 则双方都探测不到对方, 潜艇沿原来路径运动; 若 $R_{dip}(t_{hbeg}(i)) < l(t_{hbeg}(i)) < R_{alert}$, 则潜艇在 $t_{hbeg}(i)$ 时刻开始机动; 若 $l_{min} < R_{alert}$ 且 $l(t_{hbeg}(i)) > R_{dip}(t_{hbeg}(i))$, 则潜艇在运动过程中声纳进入潜艇警戒范围内, 潜艇在发现吊放声纳时即开始警戒规避: 求出开始发现吊声的时刻 t_{alert} , 并求出应时刻潜艇的位置 $(x_{sub}(t_{alert}), y_{sub}(t_{alert}))$, 并在这一位置开始警戒规避; 若潜艇开始警戒, 则根据规避的原则进行规避, 更新路径; 如果双方都探测不到对方, 则随机产生潜艇路径, 更新路径。

1.3 潜艇的规避航向

假设 t 时刻潜艇的位置为 $S(t) : (x_{sub}(t), y_{sub}(t))$, 吊放声纳的位置为 $D(t) : (x_{dip}(t), y_{dip}(t))$, 则此时吊放声纳与潜艇的方位角:

$$\theta = \arctan\left(\frac{y_{dip}(t) - y_{sub}(t)}{x_{dip}(t) - x_{sub}(t)}\right) \quad (2)$$

潜艇向吊放声纳航行时对应的角度为 θ , 沿吊放声纳方位角反方向的航向角对应的角度为 $\theta + \pi$, 正横方向朝向吊放声纳对应的航向角为 $\theta + \frac{\pi}{2}$, $\theta + \frac{3\pi}{2}$ 。由以上分析可知潜艇在机动规避时, 潜艇的航向应当避开图中阴影部分范围内的角度, 如图 2 所示, 即潜艇当时航向在 $[\theta - \Delta\theta, \theta + \Delta\theta]$, $[\theta + \pi - \Delta\theta, \theta + \pi + \Delta\theta]$, $[\theta + \frac{\pi}{2} - \Delta\theta, \theta + \frac{\pi}{2} + \Delta\theta]$, $[\theta + \frac{3\pi}{2} - \Delta\theta, \theta + \frac{3\pi}{2} + \Delta\theta]$ 4 个区间范围内时即改变航向, 新航向可在 4 个范围之外随机产生^[16]。

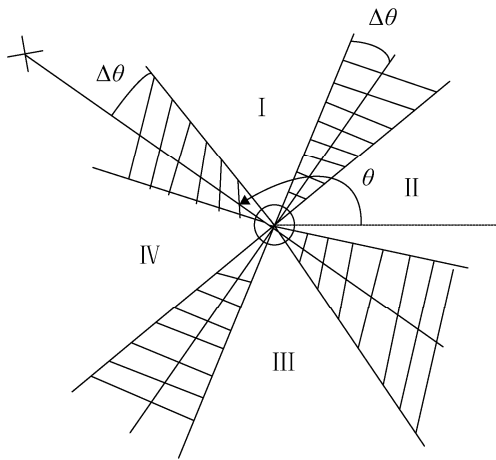


图 2 潜艇规避航向的范围

2 扇面螺旋线形搜潜模型

假设目标规避方向任意, 发现目标的初始位置与反潜机相距一定距离, 则反潜机以最大速度飞往初始发现海区, 可采用螺旋线形进行搜索。这样能保证在搜索过程中, 反潜机飞行的任一时刻都能与潜艇保持在以潜艇初始位置点为圆心, 以潜艇在延迟时间内的航行距离为半径的圆上^[17]。基于螺旋

线形搜索的优点, 本文对传统扇形搜索方法进行改进, 提出了一种新的吊放声纳搜潜方法, 即扇面螺旋线形搜潜。如果已知敌潜艇的概略航向 η 或敌潜艇受海域地理条件限制只能向某一方向航行时, 螺旋线形搜索可在一定扇面内进行, 当超过限定的角度范围时, 返回向扇面另一方向搜索。

反潜直升机的航线在极坐标下的对数螺旋线方程为^[13]:

$$r = r_0 e^{K(\theta - \theta_0)} \quad (3)$$

其中, K 是与反潜直升机的平均搜索速度 V_{helave} 和想定潜艇平均航速 V_{subave} 有关的参量:

$$K = 1 / \sqrt{(V_{helave} / V_{subave})^2 - 1} \quad (4)$$

$$r_0 = V_{subave} \cdot T_{delay} \quad (5)$$

$$\theta_0 = \arctan\left(\frac{y_{hel0} - y_{sub0}}{x_{hel0} - x_{sub0}}\right) \quad (6)$$

式(5)中 T_{delay} 为延迟时间, 指直升机从接到搜潜任务到开始首次探测所用时间。

令 $\Delta\theta$ 为搜索区域边界偏离潜艇概略航向的角度, 则式(6)可进一步表示为:

$$\theta_0 = \eta - \Delta\theta \quad (7)$$

其中, θ_0 为搜索区域边界所对应的角度。

对于式(3)螺旋线搜索阵形中的每个角度 θ_i , 令 $m = \text{round}((\theta_i - \eta + \Delta\theta) / (2\Delta\theta))$, 则扇面螺旋线形搜潜中各个探测点对应的角度 θ'_i 可表示为:

$$\theta'_i = \eta + (-1)^{m+1} \cdot \Delta\theta + (-1)^m [\theta_i + (1-2m) \cdot \Delta\theta - \eta] \quad (8)$$

对上述极坐标系下各吊放声纳探测点位置进行转换, 可得直角坐标系下其位置为:

$$\begin{cases} x(\theta'_i) = x_{sub0} + r_0 \exp(K \cdot (\theta'_i - \theta_0)) \cdot \cos(\theta'_i) \\ y(\theta'_i) = y_{sub0} + r_0 \exp(K \cdot (\theta'_i - \theta_0)) \cdot \sin(\theta'_i) \end{cases} \quad (9)$$

3 仿真分析

3.1 单机吊放声纳扇面螺旋线形搜潜过程仿真

仿真条件设置如下: 以直升机初始位置 (x_{hel0}, y_{hel0}) 为原点, 即 $(0,0)$ (nmile); 续航时间 3.5 h; 平飞高度 150 m; 悬停高度 30 m; 最佳上

升速度 130 km/h; 巡航速度 230 km/h; 起飞准备时间 0.2 h; 提升吊放声纳平均速度 5.0 m/s; 下放吊放声纳平均速度 4.0 m/s; 声纳一次探测工作时间 $T_{\text{det}} = 5 \text{ min}$; 平均海深 150 m; 海况为 2 级; 海洋环境噪声级 70 dB; 混合层深度 30 m; 海底底质沙底; 近场传播异常 $K_L = 4.2 \text{ dB}$; 浅海衰减系数 $\alpha_T = 3.1 \text{ dB}$; 将吊放声纳的工作深度设为 30 m; 潜艇航速范围 6~18 kn; 潜艇警戒声纳的检测阈为 10 dB; 风速 10 m/s; 风向北偏东 30° (设定正东方向为 x 轴方向); 吊放声纳的战术作用距离为 3 nmile; 潜艇警戒声纳对吊放声纳主动工作时的预警距离约为 6.2 nmile。

图 3 为单机吊放声纳扇面螺旋线形搜潜过程的仿真图。图中小圆表示吊放声纳的作用距离，大圆表示潜艇的警戒距离，粗折线表示潜艇的运动轨迹。表明潜艇进行了 3 次警戒机动规避，成功的规避了直升机的搜索。

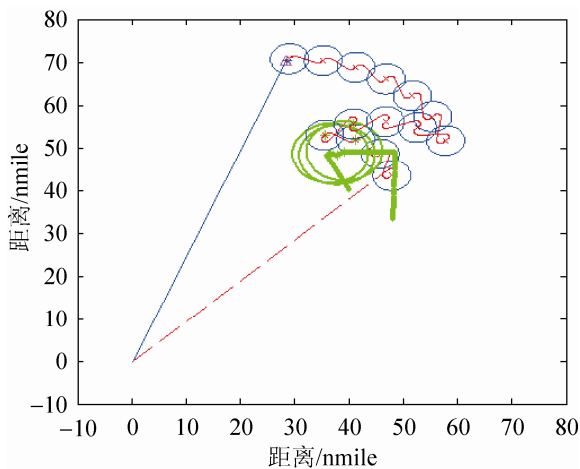


图 3 单机扇面螺旋线搜潜过程仿真图

3.2 与不同吊放声纳阵形搜潜概率比较分析

设在某作战海区，反潜直升机采用扇形、弧形和扇面螺旋线形搜索算法对规避机动潜艇进行搜索，图 4 依据蒙特卡洛法仿真比较这 3 种搜索方法的搜索概率。

可知，已知敌潜艇的概略航向 η 或敌潜艇受海域地理条件限制只能向某一方向航行，潜艇采取规

避机动时，扇面螺旋线形搜索优于扇形和弧形搜索。

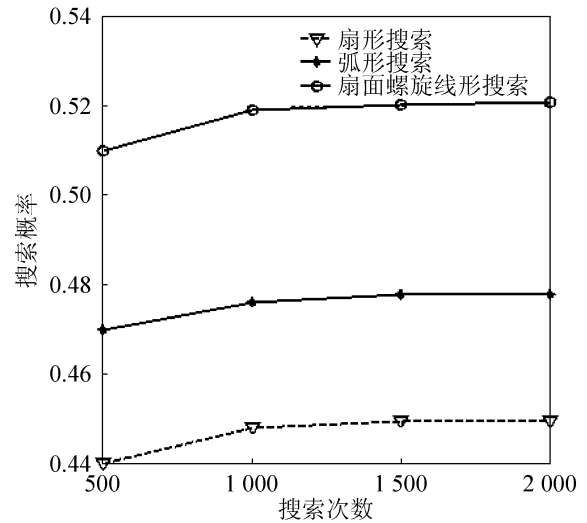


图 4 不同方法搜索概率比较

4 结论

(1) 依据潜艇机动规避条件建立了潜艇机动规避模型;

(2) 基于吊放声纳螺旋线形搜索方法的优点，本文对传统扇形方法进行改进，提出了一种新的吊放声纳搜潜方法，即扇面螺旋线形搜潜;

(3) 文中采用蒙特卡洛统计法对扇面螺旋线形、弧形和扇形方法的搜索概率进行仿真分析，由仿真结果可知：吊放声纳扇面螺旋线形搜索方法优于弧形和扇形搜索方法。

因而，在实际航空反潜中，需根据所获得的潜艇运动态势信息合理选择搜潜样式和有关的搜潜战术手段，才能获得较高的搜潜概率。

参考文献:

- [1] Ketter T N. Anti-Submarine warfare in the 21st century [R]// ADA27660, 2004. USA: ADA, 2004.
- [2] Fahrettin Akbori. Autonomous-Agent based simulation of antisubmarine [D]. USA: Naval Postgraduate School, Monterey California, 2004.
- [3] A Tactical Action Officer Antisubmarine Warfare Expert System Prototype [R]// AD-A175258, 2004. USA: ADA, 2004.
- [4] Martin John. Multiplying the effectiveness of helicopter ASW sensors [J]. Sea Technology, 2006, 47(11): 33-36.

- [5] Forrest R. N. Some notes on search, detection and localization modeling [R]// ADA135938, 2003. USA: ADA, 2003.
- [6] 吴芳, 杨日杰, 高青伟. 主/被动联合多基地航空搜潜建模与仿真 [J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 319-323. (Wu Fang, Yang Rijie, Gao Qingwei. Building and Simulating The Associated Multi Station Aeronautical Search Models Composed of Active and Passive Sonars [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2010, 36(3): 319-323.)
- [7] 吴芳, 杨日杰. 基于先验目标航向的吊放声纳应召搜潜建模与仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(20): 6630-6633. (Wu Fang, Yang Rijie. Modeling and Simulation for Based on Transcendental Target Moving Course [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2009, 21(20): 6630-6633.)
- [8] 杨日杰, 何友, 孙明太. 航空搜潜装备搜潜范围建模与仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15(11): 1547-1549. (Yang Rijie, He You, Sun Mingtai. Search Scope Modeling and Simulation Research for Aviation Searching Submarine Equipments [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2003, 15(11): 1547-1549.)
- [9] 吴芳, 杨日杰. 多机吊放声纳应召搜潜建模与仿真 [J]. 航空学报, 2009, 30(10): 1948-1953. (Wu Fang, Yang Ri-jie. Model Building and Simulation Based on Definite Second Time Submarine Search by Multi-aircraft Dipping Sonar [J]. ACTA AERONAUTICA ET ASTRONAUTICA SINICA, 2009, 30(10): 1948-1953.)
- [10] 吴芳, 杨日杰. 基于先验目标航向的主被动联合多基地航空搜潜建模与仿真 [J]. 航空学报, 2010, 31(1): 151-154. (Wu Fang, Yang Rijie. Building and simulating associated multi station aeronautical search models composed of active and passive sonars [J]. ACTA AERONAUTICA ET ASTRONAUTICA SINICA, 2010, 31(1): 151-154.)
- [11] 吴芳, 杨日杰, 高青伟. 基于马尔科夫过程的水下运动目标启发式搜索 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(5): 1088-1093. (Wu Fang, Yang Rijie, Gao Qingwei. Heuristic Search for Moving Underwater Targets Based on Markov Process [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(5): 1088-1093.)
- [12] 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 Airfly [J]. Fire Control and Command Control, 2006, 31(1): 70-74.)
- [13] 白晶, 韩亮. 舰载直升机吊声的搜潜方法探讨 [J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(3): 282-285. (Bai Jing, Han Liang. Search method of dipping sonar on shipborne antisubmarine aircraft [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007, 33(3): 282-285.)
- [14] 赵晓哲, 王在刚, 孙永侃. 舰载直升机吊放声纳搜潜效率的仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3): 785-787. (Zhao Xiaozhe, Wang Zaigang, Sun Yongkan. Simulation Research of Sling Sonar's Antisubmarine Efficiency [J]. Journal of System Simulation (S1004-731X), 2006, 18(3): 785-787.)
- [15] 吴芳, 吴铭, 杨日杰. 反潜机吊放声纳扩展螺旋线形搜潜建模 [J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(9): 1137-1141. (Wu Fang, Wu Ming, Yang Rijie. Building extended spirality searching model of dipping sonar of anti-submarine airplane [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011, 37(9): 1137-1141.)
- [16] 杨日杰. 水声对抗原理与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 89-92. (Yang Rijie. Technology and application of modern underwater acoustic warfare [M]. Beijing, China: National Defence Industry Press, 2008: 89-92.)
- [17] 张圣云. 对运动目标螺旋搜索模式分析 [J]. 兵工学报, 2007, 28(3): 339-342. (Zhang Shengyun. Analysis on Spiral Search Pattern for Moving Target [J]. ACTA ARMAMENTAR, 2007, 28(3): 339-342.)