

引用格式:谭安胜.反潜巡逻机声呐浮标应召搜索研究——态势分析与包围阵参数确定[J].电光与控制,2019,26(12):1-5. TAN A S. On-call search of anti-submarine patrol aircraft using sonobuoys——situation analysis and determination of bounding array parameters[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(12):1-5.

反潜巡逻机声呐浮标应召搜索研究 ——态势分析与包围阵参数确定

On-Call Search of Anti-submarine Patrol Aircraft Using Sonobuoys ——Situation Analysis and Determination of Bounding Array Parameters

谭安胜

(海军大连舰艇学院舰船指挥系,辽宁 大连 116018)



谭安胜

谭安胜(1963-),山东荣成人,军事学博士,教授,博士生导师,海军专业技术大校军衔。享受国务院政府特殊津贴。长期从事军事运筹学、作战指挥学和兵种战术学的教学与科研工作,在军事运筹、作战指挥、兵种战术等领域有较深入的研究。发表学术论文100余篇,出版专著3部,主持完成军队重点科研项目40余项。获军队科技进步一等奖2项、二等奖7项。曾获全军优秀博士学位论文奖。荣立三等功3次。

0 引言

反潜巡逻机对潜应召搜索,是在己方搜索兵力、固定探测器材甚至商(渔)船等发现敌潜艇且没有保持跟踪的条件下,对敌潜艇可能存在区(目标分布区)所进行的搜索。应召搜索应考虑的关键要素是:丢失目标位置点、延误时间、目标分布区域的大小、目标在区域内的分布规律及其变化、搜索兵力在目标分布区的行动方法。组织和研究应召搜索具体方

针对传统的采用单层包围阵对未知航向目标应召搜索方法的不足,提出了一种弱依赖于对敌可能潜航速度判断的主动、积极型搜索方法——多层包围阵搜索方法,并构建了参数确定模型,该方法可缩短发现目标的过程,能在有限时间内完成搜索任务,提高搜索效率。

关键词:反潜巡逻机;应召搜索;声呐浮标;目标航向未知;搜索方法

中图分类号:V271.4*8 doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2019.12.001

法的基点是:已知丢失目标位置点、延误时间。其中,延误时间,即从发现敌潜艇的兵力最后与潜艇接触的时刻(简称“最后接触点”)起至反潜巡逻机开始搜索时刻(飞至第一枚浮标投放点)止的时间。延误时间是敌潜艇分布区大小的决定性因素,是影响对潜应召搜索发现概率的主要因素。为缩小敌潜艇分布区域,发现兵力与敌潜艇丢失接触时,必须记录丢失接触时目标位置点坐标。为了确定搜索区域和搜索方法,必须分析在延误时间内敌潜艇可能的运动要素。为了提高搜索效率,反潜巡逻机实施应召搜索时,通常使用声呐浮标。应召搜索可分两种情况考虑:一是目标航向未知时的应召搜索问题;二是目标航向已知时的应召搜索问题。本文主要探讨目标航向未知时,反潜巡逻机使用声呐浮标实施应召搜索的相关问题^[1-8]。

1 搜索态势分析模型

1.1 基本假设

当敌潜艇航行方向未知时,对

目标分布做如下假设:1)目标航向在 $[0, 2\pi]$ 内服从均匀分布;2)目标速度在 $[v_{qmin}, v_{qmax}]$ 内服从均匀分布, v_{qmin}, v_{qmax} 分别是敌潜艇可能的最小和最大潜航航速。

1.2 模型建立

目标分布区如图1所示。

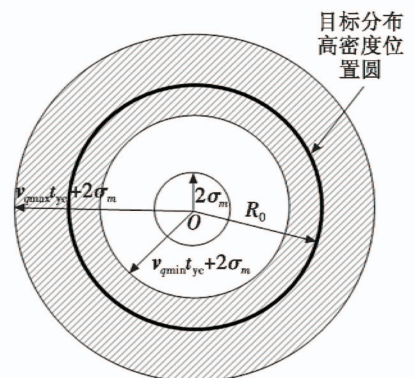


图1 目标分布区示意图

Fig.1 Target distribution area

其他兵力或器材于 t_0 时刻在 O 点丢失接触并召唤反潜巡逻机对潜进行搜索。设发现敌潜艇的兵力最后与潜艇接触的时刻起至反潜巡逻机接到起飞命令时刻止的时间为 t_g ,反潜巡逻机起飞(准备出动)所消

耗的时间为 t_{qf} ,反潜巡逻机从机场(或待战空域)飞至搜索区第一枚浮标投放点的时间为 t_{fx} ,则应召搜索延误时间 t_{yo} 为

$$t_{yo} = t_{fj} + t_{qf} + t_{fx} \quad (1)$$

在实际作战中,对搜索者来说,敌潜艇的潜航速度是模糊的,只能根据其类型、战术企图、海区环境等对其速度范围进行估计。根据假设2),在延误时间 t_{yo} 内,敌潜艇可能的位置分布区域如图1中阴影部分。粗黑线圆代表敌潜艇以最可能的航速经 t_{yo} 时间所处的位置,称之为“目标分布高密度位置圆”。

令敌潜艇最可能的航速为 v_{qk} ,则在延误时间 t_{yo} 内,目标分布在以最后接触点 O 为圆心、 R_0 为半径的圆上,有

$$\begin{cases} R_0 = v_{qk} t_{yo} + 2\sigma_m \\ \sigma_m = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \end{cases} \quad (2)$$

式中: σ_1 为其他兵力确定最后接触点 O 位置误差的均方差; σ_2 为反潜巡逻机确认进入搜索区第1枚浮标投放点的位置误差的均方差。

显然,在目标航向未知时,应召搜索应当布置包围型浮标阵。包围型浮标阵的形状可以选择圆形,也可以选择方形(或正多边形)。为了表述方便,分别称之为“圆型包围阵”和“方型包围阵”,如图2所示。

如果采用“圆型包围阵”,应将浮标布设在敌潜艇可能位置圆上,如图2a所示;如果采用“方型包围阵”,每段浮标线应当外切于敌潜艇可能位置圆,如图2b所示。显然,这个敌潜艇可能位置圆应当是图1中的高密度位置圆。

由于敌潜艇实际潜航速度存在不确定性,敌潜艇高密度位置圆也是不确定的;由于包围型浮标阵的工作时间和反潜巡逻机留空时间存在有限性,应召搜索的可持续时间也是有限的。因此,研究布置包围型浮标阵实施应召搜索的具体方法时,应重点考虑两个问题:1)如何确

定敌潜艇所在的位置圆;2)如何在有限时间内完成任务。

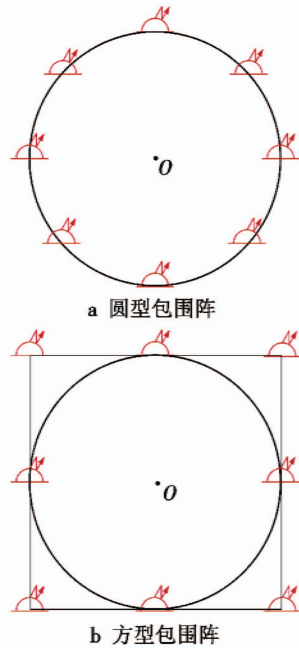


图2 包围型浮标阵

Fig.2 Bounding sonobuoy array

1.3 模型分析

由于敌潜艇高密度位置圆存在不确定性,在确定包围型浮标阵的位置时,为了能“包围”住潜艇,有两种策略:一是认为敌潜艇以最大可能航速 v_{qmax} 航行,以此为基准确定包围阵的半径;二是基于发现兵力测定的敌潜艇运动要素或基于指挥员对敌潜艇可能采用的航速 $v_{qk} \in [v_{qmin}, v_{qmax}]$ 的判断确定包围阵的半径。

当采用第1种策略时,如果敌潜艇真实航速低于可能的最大航速 v_{qmax} ,可能出现以下情况:1)潜艇还没有驶入包围阵,浮标已停止工作,避免这种情况的一种方法就是多次布置包围阵,此时浮标消耗量较大;2)即使浮标工作时间足够,而反潜巡逻机巡逻时间(在搜索区的留空时间) t_{xi} 可能不足,避免这种情况的一种方法是派遣另外的反潜巡逻机接班监听,此时兵力消耗量较大。当采用第2种策略时,若敌潜艇真实速度大于发现兵力测定的敌潜艇运动要素或大于 v_{qk} 时,反潜巡逻机还没有布置完浮标,目标可能已经

突破该包围阵,此时必须扩大半径再次布置包围阵,人为地增加了延误时间和浮标消耗量。另外,若潜艇在包围阵内进行战术机动,无论采用哪种策略,在浮标有效工作时间或反潜巡逻机留空时间内,潜艇始终没有驶入包围阵的探测范围,只有“等待”。

通过上述分析可以看出,传统的采用一层包围阵的搜索方法,是一种“强依赖”于对敌可能潜航速度判断的“被动”、“等待”型搜索,缺乏“主动性”,发现目标的过程长,搜索效率低,当延误时间较长时,难以在有限时间内完成搜索任务。我们可以反向思维,即是否可以采用一种“弱依赖”于对敌可能潜航速度判断的“主动”、“积极”型搜索,以缩短发现目标的过程,提高搜索效率,实现在有限时间内完成搜索任务呢?可以考虑采用布置多层包围型浮标阵的搜索方法,如图3所示,即在目标最大可能分布区内,按一定规则布置多层包围阵。

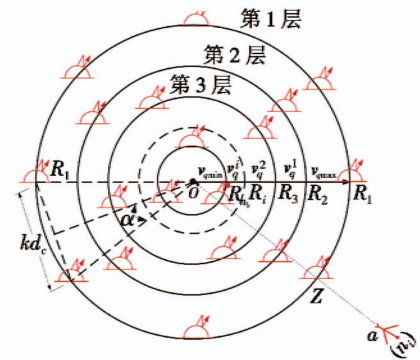


图3 多层包围阵分析示意图

Fig.3 Analysis of multi-layer bounding array

这样,在包围阵搜索期间(实际上是对包围阵的有效监听期间),敌潜艇必定经过其中的一层,从而消除敌潜艇“实际航速模糊性”对搜索行动带来的“被动性”,同时也将加速发现敌潜艇。

2 多层包围阵参数确定模型

多层包围阵的布置需要解决两

个核心问题：一是布设几层；二是每层布设位置。这主要取决于下列5个要素：延误时间、敌潜艇可能的航速范围、浮标有效工作时间、反潜巡逻机在搜索区留空时间以及布听阵方法。

2.1 第1层参数确定模型

2.1.1 模型建立

参考图3。设共需要布设 n_b 层包围阵，第 i 层包围阵的半径为 R_i ， $i=1,2,\dots,n_b$ ，则第1层包围阵距最后接触点 O 的距离 R_1 应当为反潜巡逻机布阵完毕，对应敌潜艇最大可能航速 v_{qmax} 时，敌潜艇可能的分布范围。若将第1层包围阵平均分成 n_1 个浮标段，由 n_1 架反潜巡逻机同时布设，反潜巡逻机在布设浮标阵时的飞行速度为 v_{abz} ，则有

$$R_1 = v_{qmax} t_{yo} + 2\sigma_m + \frac{2\pi R_1}{n_1} \cdot v_{qmax} \quad (3)$$

令 $\frac{v_{abz}}{v_{qmax}} = m_1$ ，并整理得

$$R_1 = \frac{v_{abz} t_{yo} + 2\sigma_m \cdot m_1}{m_1 - 2\pi/n_1} \quad (4)$$

式中，关键是参数 t_{yo} 的确定，即如何

确定第1层包围阵第1枚浮标投放点 Z 的位置。第1枚浮标投放点的位置 Z ，是由反潜巡逻机待战空域（或机场）与搜索区的相对位置以及第1层包围阵的半径 R_1 的大小决定的。

设最后接触点 O 距反潜巡逻机所在位置（待战空域或机场）的距离为 D_0 ，假设反潜巡逻机起飞后以最短路径接敌，即航向通过 O 点飞行，则任意时刻 t 反潜巡逻机与最后接触点 O 的距离 $D(t)$ 为

$$D(t) = D_0 - v_{ajd} t \quad (5)$$

式中， v_{ajd} 为反潜巡逻机接敌时的平均飞行速度。

当 $t = t_{fx}$ 即 $D(t_{fx}) = R_1$ 时，反潜巡逻机抵达第1层包围阵的第1枚浮标投放点 Z 的位置，则有

$$D_0 - v_{ajd} t_{fx} = \frac{v_{abz} t_{yo} + 2\sigma_m \cdot m_1}{m_1 - \frac{2\pi}{n_1}} \quad (6)$$

将式(1)代入式(6)并整理得

$$t_{fx} = \frac{(m_1 - \frac{2\pi}{n_1}) D_0 - v_{abz} (t_{y_j} + t_{qf}) - 2m_1 \sigma_m}{v_{ajd} (m_1 - 2\pi/n_1) + v_{abz}} \quad (7)$$

则延误时间为

$$t_{yo} = (t_{y_j} + t_{qf}) + \frac{(m_1 - 2\pi/n_1) D_0 - v_{abz} (t_{y_j} + t_{qf}) - 2m_1 \sigma_m}{v_{ajd} (m_1 - 2\pi/n_1) + v_{abz}} \quad (8)$$

式中， t_{y_j}, t_{qf} 根据反潜巡逻机待战状态和待战等级具体确定。

从式(4)可以看出，应召包围浮标阵的最大半径不仅取决于延误时间，而且还取决于反潜巡逻机布阵速度与敌潜艇最大可能航速之比，以及布听阵方法。其中，浮标段数 n_1 隐含着“布阵”和“听阵”方法对 R_1 的影响。这充分说明搜索者与目标构成的“搜索对抗系统”，其内部的相互作用关系是非线性的，这种相互作用的非线性，造就了应召搜索的复杂性。

2.1.2 仿真计算与分析

考察延误时间 t_{yo} 和第1层包围阵半径 R_1 ，随最后接触点 O 距反潜巡逻机所在位置（待战空域或机场）的距离 D_0 、用于同时布阵的浮标段数（即布阵飞机数） n_1 、敌潜艇最大可能航速 v_{qmax} 的变化规律。计算结果如表1和图4所示。

表1 延误时间、第1层包围阵半径随各因素变化规律

Table 1 The changing of delayed time and radius of the first-layer bounding array with different factors

v_{qmax}/kn	参数	D_0/km											
		100			300			500			700		
		$n_1=1$	$n_1=2$	$n_1=3$	$n_1=1$	$n_1=2$	$n_1=3$	$n_1=1$	$n_1=2$	$n_1=3$	$n_1=1$	$n_1=2$	$n_1=3$
12	t_{yo}/h	0.71	0.72	0.72	1.05	1.07	1.07	1.39	1.41	1.42	1.74	1.76	1.77
	R_1/km	30.38	24.26	22.73	42.07	33.59	31.48	53.76	42.93	40.22	65.45	52.26	48.97
	δ	-	0.20	0.06	-	0.20	0.06	-	0.20	0.06	-	0.20	0.06
13	t_{yo}/h	0.70	0.72	0.72	1.04	1.06	1.07	1.38	1.41	1.41	1.72	1.75	1.76
	R_1/km	33.69	26.23	24.43	46.84	36.48	33.97	59.99	46.72	43.51	73.15	56.96	53.05
	δ	-	0.22	0.07	-	0.22	0.07	-	0.22	0.07	-	0.22	0.07
14	t_{yo}/h	0.70	0.71	0.72	1.03	1.06	1.06	1.37	1.40	1.41	1.71	1.74	1.75
	R_1/km	37.26	28.26	26.16	51.99	39.44	36.50	66.73	50.62	46.85	81.46	61.79	57.19
	δ	-	0.24	0.07	-	0.24	0.07	-	0.24	0.07	-	0.24	0.07
15	t_{yo}/h	0.69	0.71	0.71	1.02	1.05	1.06	1.36	1.39	1.40	1.69	1.73	1.74
	R_1/km	41.12	30.34	27.91	57.57	42.48	39.07	74.02	54.62	50.23	90.47	66.75	61.39
	δ	-	0.26	0.08	-	0.26	0.08	-	0.26	0.08	-	0.26	0.08
16	t_{yo}/h	0.68	0.71	0.71	1.01	1.05	1.05	1.34	1.39	1.39	1.67	1.73	1.74
	R_1/km	45.33	32.48	29.68	63.64	45.60	41.67	81.95	58.73	53.66	100.27	71.85	65.65
	δ	-	0.28	0.09	-	0.28	0.09	-	0.28	0.09	-	0.28	0.09
备注	$v_{abz} = 400 \text{ km/h}; v_{ajd} = 550 \text{ km/h}; \sigma_m = 2 \text{ km}; \delta = (R_1(n_i) - R_1(n_{i+1}))/R_1(n_i)$												

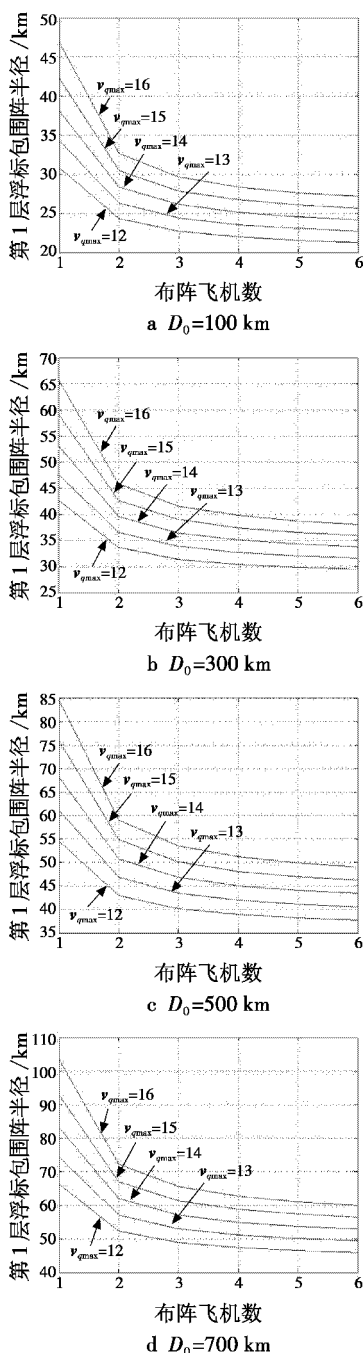


图4 第1层包围阵半径 R_1 随 n_1 的变化规律

Fig. 4 The changing of the radius of the first-layer bounding array with n_1

从表1和图4可以看出,在给定条件下:

1) 延误时间主要由反潜巡逻机至搜索区的距离决定,为了缩短延误时间,应召搜索时,反潜巡逻机应当根据具体情况,采用空中待战的方式或提高机场待战的等级;

2) 第1层包围阵的半径主要由

延误时间、布阵速度与敌潜艇最大可能航速之比和同时布设浮标段数决定。

延误时间越长、布阵速度与敌潜艇最大可能航速之比越小,半径越大;同时,布设浮标段数 n_1 越多,半径越小。当同时布设浮标段数由1增加至2时,第1层包围阵半径减小20%~28%,当由2增加至3时,减小只有6%~9%。所以,每层包围阵通常应当至少设置成2个浮标段,由至少2架反潜巡逻机同时布阵,在反潜巡逻机留空时间和浮标携带量满足要求时, n_1 架反潜巡逻机应当同时依次布设内层的包围阵;否则,应增加反潜巡逻机数量。如果留空时间和(或)剩余浮标量不能满足监听时间和(或)备用浮标量的要求,应当另派反潜巡逻机负责监听。

2.2 后续层参数确定模型

确定相邻2层包围阵间距的依据是:在包围阵搜索期间,敌潜艇必定经过其中的一层。为此,第2层以及后续各层包围阵应当逐渐向目标分布高密度区内侧收缩。收缩的距离应当基于对敌潜艇可能的速度范围的估计,即敌潜艇可能航速自第1层的最大可能速度 v_{qmax} 开始依次递减,直至最小可能航速 v_{qmin} 。这样,无论敌潜艇采用多大的航速,都能保证在短时间内,使敌潜艇必定经过其中的一层包围阵。

参考图3。设第 i 层包围阵的搜索时间为 t_{ss}^i ,则在第 i 层包围阵搜索时间即将结束时,潜艇能够抵达该层包围阵的最小航速 v_q^i 为

$$v_q^i = \frac{R_i}{(t_{yc} + \Delta t_i) + t_{ss}^i} \quad i=1,2,\dots,n_b \quad (9)$$

式中, Δt_i 为布阵方法对第 i 层延误时间的修正量。

设第 i 层包围阵的布阵时间为 t_{bz}^i ,布阵结束后对该层包围阵的监听时间为 t_{jt}^i ,则有

$$t_{ss}^i = t_{bz}^i + t_{jt}^i \leq \min(t_c, t_{xl}) \quad (10)$$

式中, t_c 为浮标持续工作时间(值班

时间)。

根据 v_q^i 即可确定第 $i+1$ 层包围阵的位置。考虑到模型的通用性,令 $v_q^0 = v_{qmax}$,则第 i 层包围阵半径 R_i 为

$$R_i = \frac{v_{abz}(t_{yc} + \Delta t_i) + 2\sigma_m \cdot m_i}{m_i - 2\pi/n_i} \quad (11)$$

s. t.

$$\begin{cases} t_{yc} = t_{fj} + t_{qt} + t_{fx} \\ \Delta t_1 = 0 \\ m_i = \frac{v_{abz}}{v_q^{i-1}} \\ v_q^0 = v_{qmax} \\ v_q^i = \frac{R_i}{(t_{yc} + \Delta t_i) + t_{ss}^i} \quad i=1,2,\dots,n_b \\ v_q^{n_b} \leq v_{qmin} \\ t_{ss}^i = t_{bz}^i + t_{jt}^i \leq \min(t_c, t_{xl}) \\ t_{bz}^i = \frac{2\pi R_i}{n_i v_{abz}} \end{cases}$$

式中, n_i 为同时布设第 i 层包围阵的反潜巡逻机数量。

式(11)就是布设多层包围阵时,各层包围阵布设参数计算的通式。 $v_q^{n_b} \leq v_{qmin}$ 的含义是:当计算的敌潜艇最小航速 v_q^i 不大于当时环境条件下敌潜艇可能的最低航速 v_{qmin} 时,停止计算。停止计算时 i 的值,就是需要布设的包围阵的层数 n_b 。

3 结束语

目标航向未知时的应召搜索,既可布设单层包围型浮标阵,也可布设多层包围型浮标阵。为了在有限的时间内完成搜索任务,必须采取主动积极的搜索和加速发现敌潜艇的措施,此时应当采用布设多层包围型浮标阵的搜索方法。布设多层包围型浮标阵时,既可由外层至内层依次布设,亦可由各层包围阵同时布设,或依次布设与同时布设相结合。当延误时间较长,又采用布设单层包围阵的搜索方法时,应当安排反潜巡逻机在包围阵中使用磁探仪按区域搜索的方法进行协同搜索,或安排水面舰艇编队在包围阵中使用舰壳声呐或拖曳声呐按区

域搜索的方法进行协同搜索;当反潜巡逻机携带的浮标量不足以布设包围型浮标阵时,则应基于对态势的判断在敌潜艇最可能脱离的方向布设拦截型浮标阵,这相当于目标航向已知时的应召搜索问题。另外,研究反潜巡逻机应召搜索问题,必须将“布阵—听阵—布听阵关系”综合一体考虑,这个问题将另文探讨。

参考文献

- [1] 谭安胜,王新为.反潜巡逻机声呐浮标区域搜索研究——布听同步搜索[J].电光与控制,2017,24(5):1-9.
- [2] 谭安胜,王新为,尹成义.反潜巡逻机声呐浮标巡逻搜索标准线列阵及布阵方法[J].电光与控制,2018,25(7):1-7.
- [3] 谭安胜,王新为,尹成义.反潜巡逻机声呐浮标巡逻搜索态势分析模型[J].电光与控制,2018,25(4):1-6.
- [4] 谭安胜.水面舰艇编队作战运筹分析[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [5] 谭安胜,王新为.反潜巡逻机声呐浮标区域搜索研究——布听异步搜索[J].电光与控制,2017,24(6):1-7.
- [6] 张最良,李长生,赵文志,等.军事运筹学[M].北京:军事科学出版社,1993.
- [7] 孙明太.航空反潜战术[M].北京:军事科学出版社,2003.
- [8] 屈也频.反潜飞机搜潜效能评估与决策建模[M].北京:国防工业出版社,2011.

Abstract: To overcome the shortcomings of the traditional method of on-call search for the unknown-heading target by using single-layer bounding array, an active search method using multi-layer bounding array is put forward, which is weakly dependent on the judgment of the enemy submarine's possible sailing speed. The parameter determination model is also constructed. The proposed method can shorten the process of discovering targets, complete search tasks in a limited time, and improve the search efficiency.

Key words: anti-submarine patrol aircraft; on-call search; sonobuoy; target of unknown heading; search method

下 期 要 目

一类非线性系统的新型固定时间滑模控制
改进的 SSD 红外图像行人检测算法
机载近距数据通信系统方案设计和验证
一种基于多尺度形态学的 SVD 降噪方法研究
基于轨迹预报的空间目标断续航迹关联算法
基于毫米波辐射成像的浅埋金属探测

基于 DOB 观测器的机载光电稳定平台扰动抑制方法
四旋翼飞行器自适应收缩反步控制
舰船升沉测量的自适应算法
3D 可视化破片战斗部威力试验仿真系统设计
一种改进的整周模糊度去相关算法
基于局部自适应阈值的跳频信号提取和检测