基于潜艇声探测能力预测的感知行为决策方法

张东俊，张 涛，王 石
(海军 92337 部队，辽宁大连 116023)

摘要：针对作战行为对潜艇作战结果的影响较大，且难以通过传统基于指标体系的方法来寻求战法创新的问题，提出了基于潜艇声探测能力预测的感知行为决策方法，用于目标搜索阶段的优化决策。首先分析了传播环境、平台特性及作战行为对声探测能力的影响；其次建立了声探测能力的形式化表达，并针对影响因素的特点建立了可实时修正的预测模型，实现行为驱动的声探测能力预测；然后建立了总体约束下的感知行为优化框架及具体优化流程；最后以要地搜反潜为例对所提方法进行了实验验证。实验结果表明，该方法可在目标搜索阶段为感知行为决策提供了有效优化。

关键词：能力预测；行为决策；优化控制；作战实验
中图分类号：O429 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2018)-04-0309-07
DOI 编码：10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.04.003

A perceptual behavior decision method based on acoustic detectability prediction of submarine

ZHANG Dong-jun, ZHANG Tao, WANG Shi
(*Navy 92337 Troop*, *Dalian* 116023, *Liaoning*, *China*)

Abstract: Aiming at the problems that the combat result of submarine is affected greatly by combat behaviors and that the new combat method is difficult to seek based on traditional index system method, a perceptual behavior decision method, which is used for optimum decision in the target search stage, is proposed based on the prediction of acoustic detectability of the submarine. Firstly, the influence of acoustic propagation environment, platform characteristics and combat behaviors on acoustic detectability is analyzed. On the basis, the formal expression of acoustic detectability is found and the real-time correctable prediction model is established according to the characteristics of influence factors. The prediction of acoustic detectability is realized by behavior driven. Secondly, the framework of perceptual behavior optimization and its specific optimization process are set up under the overall constraint. Finally, the proposed method is verified by the example of anti-submarine in important sea area. The results show that this method can effectively optimize the perceptual behavior in the target search stage.

Key words: detectability prediction; behavior decision; optimization control; operational experiment

0 引 言

“知己知彼，百战不殆”，一直都是人们在战争中追求的目标。“知己知彼”是“百战不殆”的基础和前提，尤其在现代战争中，往往起着决定性的作用[1]。它一方面要求指挥员能有效地感知战场态势，同时对自身的感知能力有清醒的认识并能够通过指挥操纵等行为对感知能力进行优化。

作战实验是通过探索作战的因果关系以深入认识战争规律和指导规律的科学方法[2]。对于交战结果与交战进程呈强相关的作战类型，需要能够描述装备作战能力随作战进程所呈现的动态变化特性。例如，潜艇对潜、对舰作战中，交战结果具有较大的偶然性，并不能通过对比指标参数等方式来决定胜负，而是交战过程中某些关键行为决定了结果的走向。

在水下作战空间，声探测是作战装备探测感知的主要手段，受环境和平台状态的影响较大，具有较强的时变和空变特性[3]。目前声探测能力研究主要集中在平台装备战技术性能的影响分析上[4-5]，但对于在平台目标搜索阶段提高声探测能力的感知行为决策方面的研究并不多见。本文通过分析影响声探测能力的因素，建立潜艇声探测能力预测模型，实现动态连续估计，并搭建能力需求与行为决策之间的关系，以寻求在目标搜索过程中行为决策

收稿日期：2018-03-08；**修回日期**：2018-05-08
基金项目：中国博士后科学基金面上项目(2017M613384)
作者简介：张东俊(1966－)，男，辽宁大连人，硕士，高级工程师，研究方向为武器装备鉴定与作战实验建模仿真。
通讯作者：张涛，E-mail: radarads@sina.com

的科学性、合理性。

1 潜艇声探测能力影响因素分析

1.1 声探测原理

潜艇通过艏端、舷侧、拖曳等主/被动声呐探测目标。声呐系统的工作模型如图 1 所示。目标声源级 L_S 对于被动声呐就是目标辐射噪声声源级 L_{SN}，对于通信声呐就是对方发射器声源级 L_{SP}，对于主动声呐就是目标回声声源级 $L_{SP}-TL+TS$（这里 L_{SP} 是发射声源级，TL 是传播损失，TS 是目标强度）。

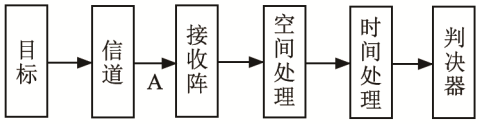

图 1 声呐系统工作模型

Fig.1 Sonar system working model

由图 1 可以看出，影响声探测能力的因素主要有三个：(1) 装备自身特性(功率、波形及接收指向性等)；(2) 目标特性(噪声声级、频率分布、散射特性等)；(3) 信道影响(衰减、畸变、干扰等)[6]。

由于目标特性不可控，故在作战运用中，仅考虑通过作战行为驱动以及利用环境或改变自身特性来改善声探测能力，将可以改变或利用的因素分为三大类：(1) 传播环境；(2) 平台特性；(3) 作战行为。它们一起作用于声呐方程中的传播损失 TL、接收指向性指数 D_I、混响级 L_R、检测阈 DT 等。

1.2 传播环境影响分析

声探测能力受环境的影响非常大，水声传播环境是一个复杂多变的信道。海洋介质中存在着分散或密集的非均匀散射体、海水不同尺度的流动以及温度和深度的影响，共同导致了海水的非均匀性，引起水声传播速度的变化、路径的变化以及衰减的差异。

海水中声速受温度 T、盐度 S、压力 P 的影响，其表达式为

$$c=1\,449.22+\Delta c_T+\Delta c_S+\Delta c_P+\Delta c_{STP} \tag{1}$$

海水中的传播损失根据环境的不同，呈现出巨大的差异：

$$TL=n10\lg r+\alpha r \tag{2}$$

式中，r 为传播距离，α 为吸收系数。当声信号的几何传播形式不同时(如平面波传播、柱面波传播、球面波传播)，n 的取值不同。

同时，海底地形、结构、沉积层以及声信道的时变、空变特性都影响着声波的吸收、散射和反射，最终反映到探测距离的变化。

1.3 平台特性影响分析

声呐系统的探测能力受所在平台的影响，主要是由于平台在不同任务下所采取的航行工况不同，导致不同的平台自噪声水平，影响接收时的信噪比，从而影响对目标的探测[7]。平台自噪声主要由机械振动噪声、流级噪声及螺旋桨噪声组成，对不同平台声呐其接收的信号各不一样。

1.4 作战行为影响分析

相对于平台噪声水平可能在较长一段时间内保持稳定，而变向、变速、变深机动等作战行为以及设备动用可能引起平台瞬时噪声发生变化，进而对声呐探测能力产生严重影响。

对拖曳声呐而言，平台的变向机动会造成阵形发生不同程度的改变，畸变阵因平台航速不同近似为抛物线形、勾形或圆弧形[8]，如图 2 所示。虽然可以通过阵形检测和补偿使声呐系统仍保持探测的能力，但其探测距离和声呐的指向性都将发生较大的变化。

同时，由于拖曳阵随潜艇航行状态的改变具有滞后性，在潜艇变深、变向等机动的过程中，应根据拖曳阵所处的实际情况，而不是依据艇的情况来估计拖曳声呐的探测距离和指向性。

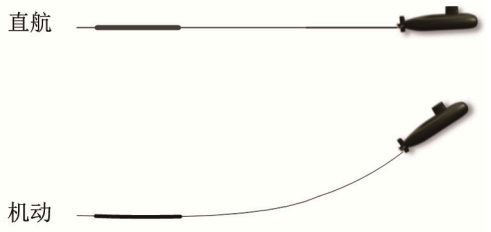

图 2 拖曳阵随潜艇机动产生阵形畸变

Fig.2 Distortion of towed array shape caused by submarine maneuver

2 声探测能力预测方法

装备的声探测能力首先是指以该平台为载体的声呐系统在特定环境下对特定目标在不同空间关系下的探测距离，可用最大探测距离 $[R_0,R_1,\cdots,R_N]$ 和探测信号的包络 $[A_0(\theta),A_1(\theta),\cdots,A_N(\theta)]$ 两组参数予以表示[9]。其中，探测包络是指装备上安装的各种声探测设备对特定目标探测范围的综合外沿。

声探测能力表示声呐探测系统对在 H_T 深度的目标的探测能力，综合表述为

$$[R_0\cdot A_0(\theta),R_1\cdot A_1(\theta),\cdots,R_N\cdot A_N(\theta)]|H_T \tag{3}$$

其中，$H_T=0$ 表示目标在海面。$A(\theta)=a(\theta)\cdot e^{i\theta}$ 表示

以平台为原点，其水平空间内的探测包络($a \leqslant 1$)。

2.1　基于传播环境的探测能力预测方法

海洋环境的复杂多变性使得装备的声探测能力受海水深度、季节、海区位置、海底底质等多种因素影响，给探测带来了不确定性。需要通过建立基于海洋环境数据的预测模型，实时、动态地预测装备声探测能力。

影响声探测能力的海洋环境因素主要有：海况、水深和水声环境。海况可分为良好、一般、恶劣三档；水深可分为深海、浅海；水声环境随季节、海区位置而变化，其中声速梯度(正梯度、负梯度、温跃层、深海声道、表面声道、汇聚区等)对声探测的影响非常明显，典型的声速梯度对于水声传播的影响如图 3 所示。

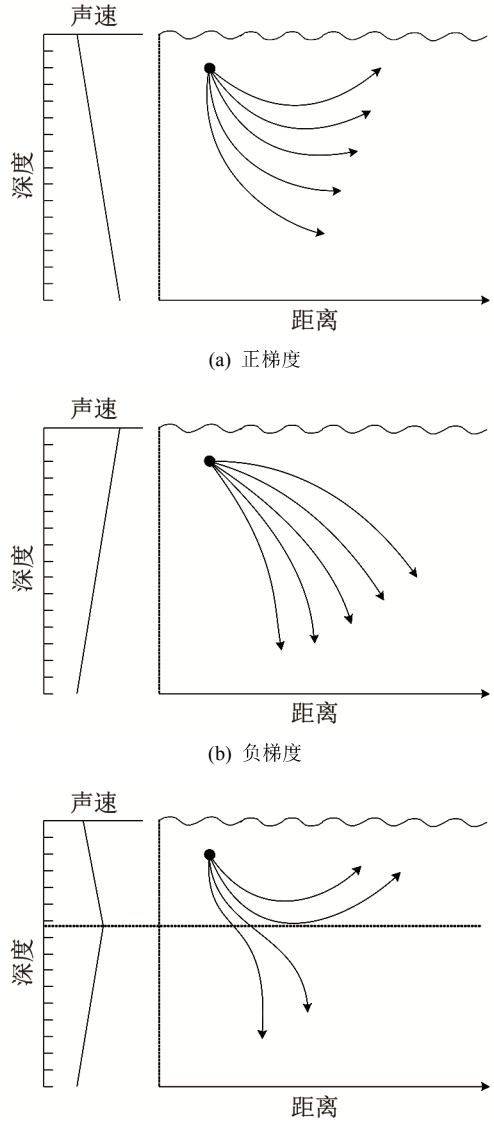

图 3　典型声速梯度对水声传播的影响

Fig.3　The effect of typical sound velocity gradient on underwater acoustic propagation

从式(1)可知，声速受海水温度的影响，随季节的变化而变化。图 4 为在某海域一个月的实测的温度数据。

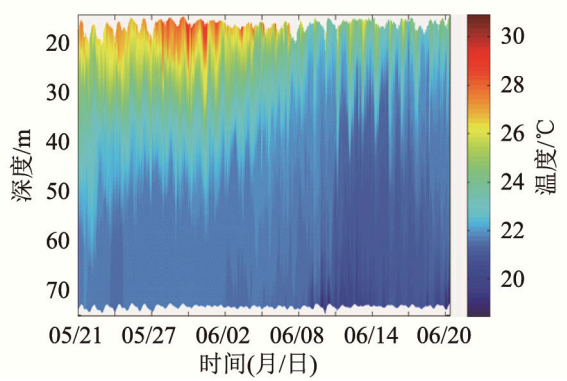

图 4　某海域一个月实测温度变化情况

Fig.4　Temperature variation measured in a certain sea area for one month

由于传播环境对声探测影响的复杂性，本文仅以传播损失为例进行说明。声速梯度是影响传播损失 *TL* 的最主要因素，同时 *TL* 还跟声呐系统所处的深度密切相关。图 5 为在某海域实测的声源深度对传播损失的影响情况。

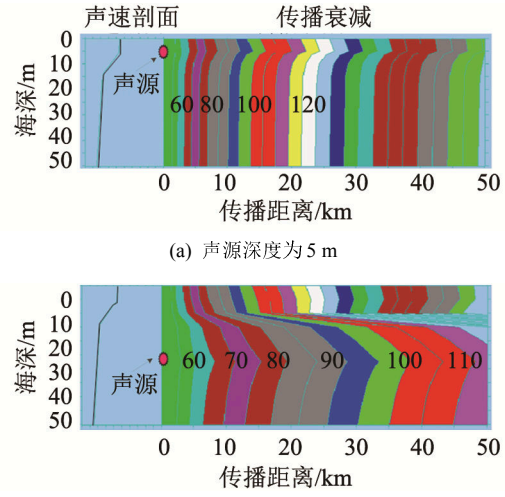

图 5　实测声源深度对传播损失影响

Fig.5　The influence of sound source depth on propagation loss (from actual measurement)

由图 5 可以看出，由于声源处于不同的深度(5 m 和 30 m)，相应的声速梯度不同(5 m 处为正梯度，30 m 处为负梯度)，故传播损失的差异非常明显。在损失相同声能的情况下，更深位置的声信号传播的距离增加 1 倍以上。

综上所述，传播环境不仅影响声呐的探测距离，同时影响探测包络的形状。

探测距离 *R* 主要由声信号的传播损失决定[10]，水声环境和平台所处的位置决定了声传播损失模

型，可将 $TL=10\lg r$ 作为基准传播损失，为计算方便，将传播损失进行分级。

1 级：$TL=10\lg r$；

2 级：$TL=10\lg r+10\lg r_0$；

3 级：$TL=15\lg r$；

4 级：$TL=15\lg r+10\lg r_0$；

5 级：$TL=20\lg r$；

6 级：$TL=20\lg r+10\lg r_0$；

其中，r 表示声呐与声源的距离，r_0 表示声线跨度。在实际使用中，可根据当时的实际环境采取不同等级的传播损失，以预测最大的探测距离。

当不同的方向上传播损失存在较大的差异时，可在不同的角度上使用不同的传播损失等级 $TL_{估}$，根据角度步进的大小不同形成不同精度的探测包络(各方向最大探测距离的连线)，从而实现基于环境的声探测能力预测。

首先，根据平台所处深度以及所测量的水声环境估计传播损失等级 $TL_{估}=N(1,\cdots,6)$；

其次，根据任务对手的目标声源级 L_S、平台自身的空间处理增益 G_S、时间处理增益 G_T 以及检测阈 DT，估计声呐对目标的最大探测距离，乘以其声呐探测包络，得到声呐探测能力；

$$\begin{cases} TL_{估}=L_S-L_N+G_S+G_T-DT \\ TL_{估}=n\cdot 10\lg r+\alpha r \end{cases} \tag{4}$$

式(4)中，L_S 对于被动声呐为目标辐射噪声声源级，对于主动声呐为目标回声声源级。

最后，估计出下潜到不同深度时对应的声探测能力大小。

2.2 基于平台自噪声的探测能力预测方法

利用潜艇平台布设的声呐阵元，可对平台各部位的自噪声进行实时监测，构建不同航行工况下的平台自噪声图谱，并对自噪声水平进行分级，与海洋背景噪声 N_0 一起影响声呐检测的背景噪声。

1 级：$L_N=N_0+N_{s1}$(静止)；

2 级：$L_N=N_0+N_{s2}$(低航速)；

3 级：$L_N=N_0+N_{s3}$(静音航速)；

4 级：$L_N=N_0+N_{s4}$(经济航速)；

5 级：$L_N=N_0+N_{s5}$(中航速)；

6 级：$L_N=N_0+N_{s6}$(中高航速)；

……

根据实时航行工况选择噪声等级 $L_{N估}$ 对探测距离 R 进行预测。

2.3 基于阵形估计的声探测能力预测方法

受拖曳平台机动、海流扰动以及水动力的影响，拖曳阵阵形会发生不同程度的畸变，直接影响探测距离、探测包络以及探测精度(包括方位精度、距离精度和深度精度)。

采用文献[11]中的拖曳阵阵形估计的自适应 Kalman 滤波算法，实现对畸变阵形的精确估计。并以此为基础，计算拖曳阵探测包络 $S_1(\theta)$(各方位最大探测距离连线的归一化值)，并与平台其他声呐系统的探测包络进行融合，故声探测能力的综合包络可表示为

$$A(\theta)_{预测}=S_1(\theta)\cup\cdots\cup S_N(\theta) \tag{5}$$

融合后更新声探测能力包络形状，实现对声探测能力的实时预测。

传播环境、平台特性、作战行为对声探测能力产生的综合影响，根据各因素的影响情况综合预测声探测能力：

$$R_{预测}\cdot A(\theta)_{预测}=f(R_{基}\cdot A_{基}(\theta),\ TL_{估},\ L_{N估},\ A(\theta)_{估}) \tag{6}$$

3 总体能力约束下的感知行为优化决策

在执行某项作战任务的感知阶段，需要通过行为驱动以调整探测能力、实现对战场态势感知的最优化。由于探测能力与隐蔽能力、攻击能力、防御能力以及保障能力相关，有时候不能一味追求探测能力的最优而损害了其他能力的发挥。所以需要在总体能力的优化控制下采取合适的感知行为，实现约束下的最优感知。

3.1 感知行为建模

感知行为是为调整或保持探测感知能力而采用的作战行为，包括指挥行为和操纵行为。指挥行为主要是作战进程中指挥员的口令，可表示为

$$C=\{C_1,C_2,\cdots,C_{n_C}\} \tag{7}$$

操纵行为主要是在作战进程中，各战位依据操纵规程对指挥员口令的响应，并作用于装备系统。可表示为

$$O=\{O_1,O_2,\cdots,O_{n_O}\} \tag{8}$$

指挥行为与操纵行为之间的关系为：

$O_i\triangleleft C=\Omega_{O_i\triangleleft C}=\{C_1,C_2,\cdots,C_{n_{O_i,C}}\}$，表示能产生操纵行为 O_i 的指挥行为集合 $\Omega_{O_i\triangleleft C}$；

$C_i\triangleright O=\Omega_{C_i\triangleright O}=\{O_1,O_2,\cdots,O_{n_{C_i,O}}\}$，表示指挥行为 C_i 下的操纵行为集合 $\Omega_{C_i\triangleright O}$。

操纵行为集 $\Omega_{C_i\triangleright O}$ 作用于装备系统，引起装备系统状态的变化，导致装备隐蔽能、探测能、攻击能、

防御能、保障能 $\{E_1, E_2, \cdots, E_{n_E}\}$ 发生变化。

3.2　总体能力约束下的感知行为优化决策

3.2.1　动态约束条件设置

不同的作战任务对装备的各能力需求存在较大差异。且同一个作战任务的不同作战阶段，对装备各能力的需求也是不一样的，随着作战进程的推进动态地变化。

对探测感知能力的优化需考虑总体能力需求的动态约束。将作战进程划分为作战能量积蓄、感知、传递、转化四个阶段[12]，根据作战阶段和作战目的构建动态约束条件。

约束条件包括装备各能力的范围及控制优先级。可表示为

$$Cp_i \geqslant V_{Li} \bigcup Y_i = N \tag{9}$$

其中，V_{Li} 为取值的下限，Y_i 表示该能力的控制优先等级，N 为装备各能力的总数，值越小表示优先级越高。

3.2.2　感知行为优化决策

在作战过程中，最为常见的行为是根据态势变化不断调整自身的状态(能力)以适应作战要求。但通常情况下，作战单元对态势的了解是不完全的，备选方案和策略也不是完全的，而且在不同的阶段所期望达到的目标也不一样，这就难以实现决策的全局最优，而优化决策的目的是求取在可选方案下对阶段目标的满意解。

对于感知行为优化决策，就是要在总体能力约束条件下通过方案寻优，实现在备选方案空间内的最优满意解，以满足感知阶段对平台装备感知能力的需求。感知行为优化框架如图 6 所示。

感知行为优化过程如下：

(1) 创建感知行为方案个体。根据感知行为集，构建由单个指挥行为或指挥行为序列(包括响应指挥行为的操纵行为)，形成行为方案；

(2) 总体能力估计。对行为方案所引起的装备系统状态变化以及空间位置变化等进行各分项能力估计，判断其是否满足约束条件(指挥员根据对作战任务的理解以及对战场态势的判断确定总体能力约束条件)；

例：1) 攻击能力 $Cp.A$ 估计

$$Cp.A = \mu_1^A w_k e^{-\mu} + \mu_2^A F_k \tag{10}$$

其中，w_k 是武器威力，取值范围约定为：0～100；μ 是武器能力衰减因素，取值范围约定为：0～1；F_k 是跟踪能力经验值，取值范围约定为：0～100；μ_1^A、μ_2^A 是系数，满足 $\mu_1^A + \mu_2^A = 1$，$\mu_1^A, \mu_2^A > 0$。

2) 防御能力 $Cp.G$ 估计

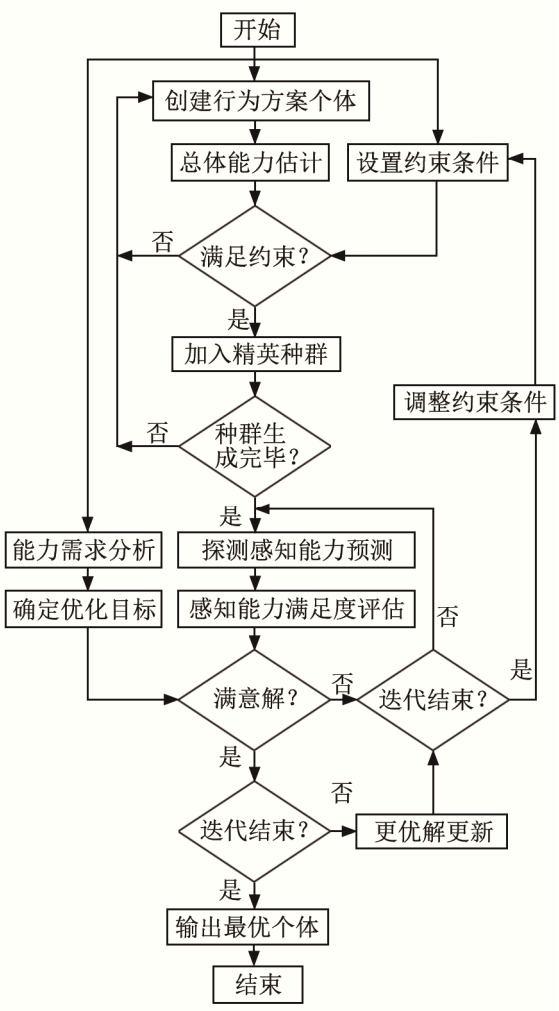

图 6　感知行为的优化流程

Fig.6　Optimization process of perceptual behavior

$$Cp.G = \mu_1^G T_k + \mu_2^G Mov_k \tag{11}$$

其中，T_k 是防御鱼雷能力，取值范围约定为：0～100；Mov_k 表示平台规避鱼雷的能力，取值范围约定为：0～100；μ_1^G、μ_2^G 是系数，满足 $\mu_1^G + \mu_2^G = 1$，$\mu_1^G, \mu_2^G > 0$。

(3) 构建精英种群。对于满足约束条件的行为方案个体，则加入精英种群；

(4) 行动方案的感知能力预测。对精英种群中的行动方案个体，根据其引起的探测感知装备的状态变化以及平台的空间变化，通过第 2 节中的声探测能力预测方法，预测执行该行动方案的感知能力的影响；

(5) 感知能力满足度评估。根据能力需求分析所确定的优化目标和预测的感知能力，构建目标函数 $L[E_{\mathrm{DT}}, E_{\mathrm{D预测}}]$ 评估感知能力对需求的满足度(E_{DT} 为感知能力需求)；目标函数 L 的取值范围为 0～1。

(6) 满意解判定。当目标函数 L 大于所设定的

满意解门限 L_s 时，保存满意解，判断是否优于上一个满意解，若更优则更新满意解。若已完成迭代则输出最优解。

最优解即为下一步感知能力优化的行动方案，实现了感知行为的优化决策。

4 实例分析

4.1 想定设置

红方作战平台 A 接收外部信息引导对位于海区 Q 内的蓝方作战平台 B 进行搜索攻击。假定在搜索(探测感知)阶段，红方作战平台 A 的探测方式为{Rd1, Rd2, Rd1+Rd2}(主动探测、被动探测、主被动结合探测)，搜索方式为{Rs1, Rs2}(工字型搜索、S 型搜索)，水平方向机动方式为{Rmh1, Rmh2, Rmh3}，垂直方向机动方式为{Rmp1, Rmp2, Rmp3}，深度选择为{Rh1, Rh2, Rh3, Rh4, Rh5}；蓝方作战平台 B 航行深度为 Bh1，机动方式为 Bs1，规避策略为 Bg1，探测方式为 Bd1。蓝方作战平台 B 在探测方式 Bd1 下的感知能力 E_{Bdl} 要大于红方作战平台 A 的感知能力 E_{Rdl}，平台 B 的探测距离为平台 A 的 k(1.2<k<1.8)倍。

4.2 感知行为优化决策

(1) 优化参数设置

行为序列的最大长度为 8(为保证计算的实时性，将基本作战行为单元组合成行为序列的最大长度进行限定)；红方总体能力的约束条件为 $\{Cp.H\geqslant 40; Cp.A\geqslant 65; CP.G\geqslant 70; Cp.S\geqslant 68\}$，即隐蔽能力不小于 40、攻击能力不小于 65、防御能力不小于 70、机动能力不小于 68；迭代次数为 1 000；满意解门限 $L_s=0.8$。

(2) 初始态势

红方作战平台 A 初始位置位于海区 Q 下边沿中间，蓝方作战平台 B 初始位置随机位于海区 Q 内。

(3) 实验结果

按照总体约束下的感知行为优化流程，仿真得到 1 000 个行为方案个体执行后对感知能力需求的满足度，其中超过满意解门限的个体数量为 33，如图 7 所示。

第 787 个行动方案个体的满意度最高，为 0.96，红方作战平台 A 对应的搜索方案为：Rd1+Rd2 探测方式、Rs2 搜索方式、Rmh2+Rmp3 机动方式以及 Rh4 搜索深度。在后续采取固定攻防策略条件下，采用该搜索方案对蓝方作战平台 B 的毁伤概率为 0.51、红方作战平台 A 有效防御概率为 0.46，较所有方案的平均值分别提升了 34.2%和 58.6%。

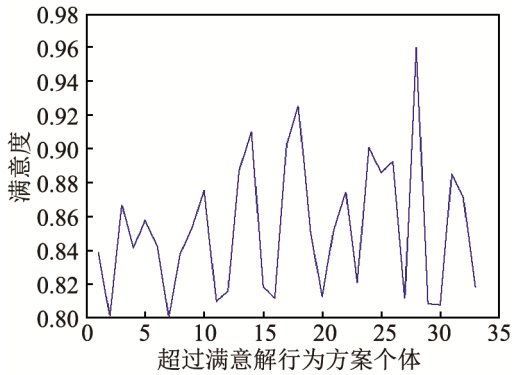

图 7 行为方案满意度评估

Fig.7 Evaluation of satisdfication for behavioral program

5 结 语

在潜艇作战任务中，能否对目标实现探测感知是其能否克敌制胜的首要条件。潜艇声探测作为最主要的探测感知手段，受到环境、作战行为的影响和驱动，在寻求感知能力优化的同时往往涉及到其他能力的总体平衡，在复杂场景下仅仅依靠人来决策是不够的，还应增加基于能力预测的辅助决策手段帮助指挥员采取合理的行动策略。

本文据此提出的基于声探测能力预测的感知行为决策方法，有助于在潜艇目标搜索阶段提供科学合理的感知行为决策，可为作战实验自动化仿真推演、战法训法快速创新提供一种行之有效的实现途径。

参 考 文 献

[1] 乔正伟, 羊彦, 侯静. 战场态势感知系统评价方法[J]. 指挥控制与仿真, 2016, **38**(5): 47-51.
QIAO Zhengwei, YANG Yan, HOU Jing. Evaluation methods of battlefield situational awareness system[J]. Command Control & Simulation, 2016, **38**(5): 47-51.

[2] 吕跃广, 方胜良. 作战实验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
LÜ Yueguang, FANG Shengliang. Operational experiments[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2007.

[3] ETTER P C. Underwater acoustic modeling and simulation[M]. CRC Press, 2013.

[4] 蔡爱华, 何建伟. 声探测精度对深弹命中率影响分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, **11**(6): 618-624.
CAI Aihua, HE Jianwei. Impact analysis of the acoustic detection accuracy on operational efficiency of depth charge[J]. Journal of CAEIT, 2016, **11**(6): 618-624.

[5] 陈剑, 鲁民月, 庞天照. 潜艇噪声水平对声呐探测性能影响分析[J]. 舰船科学技术, 2009, **31**(12): 22-25.
CHEN Jian, LU Minyue, PANG Tianzhao. The noise level of submarine bring to the influence of the sonar detection capability[J]. Ship Science and Technology, 2009, **31**(12): 22-25.

[6] 汪德昭, 尚尔昌. 水声学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

WANG Dezhao, SHANG Erchang. Underwater acoustics[M]. Beijing: Science Press, 2013.

[7] 刘宁. 典型潜艇水下辐射噪声空间分布特性测试与分析技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
LIU Ning. The test and analysis technique research of space distributing characteristic on typical submarine's radiated noise[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2005.

[8] 焦君圣. 本艇机动时拖曳阵的阵形估计及左右舷分辨方法[J]. 声学与电子工程, 2007(4): 16-20.
JIAO Junsheng. The submarine maneuvering system estimation and resolution method of towed array starboard[J]. Acoustic and Electronic Engineering, 2007(4): 16-20.

[9] 吴小勇. 反潜体系的搜索能力优化方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012.
WU Xiaoyong. Research on searching capabilities optimization of anti-submarine equipment system of systems[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2012.

[10] 刘孟庵, 连立民. 水声工程[M]. 浙江: 浙江科学技术出版社, 2002.
LIU Meng'an, LIAN Limin. Underwater acoustics engineering[M]. Zhejiang: Zhejiang Science and Technology Press, 2002.

[11] 朱沛胜, 黄勇, 张扬帆, 等. 拖曳阵阵形估计的自适应 Kalman 滤波算法[J]. 声学技术, 2007, **26**(1): 1-5.
ZHU Peisheng, HUANG Yong, ZHANG Yangfan, et al. Towed array shape estimation using adaptive Kalman filters[J]. Technical Acoustics, 2007, **26**(1): 1-5.

[12] 张宇, 黄建新. 应用 OODA 环模型研究装备对体系贡献程度[J]. 现代防御技术, 2017, **45**(2): 177-182.
ZHANG Yu, HUANG Jianxin. Study on contribution degree of equipment to system of systems using OODA loop model[J]. Modern Defence Technology, 2017, **45**(2): 177-182.

• 简 讯 •

2018 中国声学学会水声学分会学术研讨会在上海召开

中国声学学会水声学分会学术研讨会于 2018 年 7 月 14 日在上海召开。本次会议由中国声学学会水声学分会(简称：水声学分会)主办、中国科学院声学研究所东海研究站(简称：东海站)承办、上海市声学学会协办。水声学分会主任杨益新、上海市声学学会理事长孟昭文、副理事长胡长青、秘书长龚农斌以及中国科学院声学研究所东海研究站站长许伟杰等出席了会议。来自中国科学院声学研究所、西北工业大学、哈尔滨工程大学、厦门大学、中国船舶重工集团公司第七一五研究所、七二六研究所、七六〇研究所等水声专业相关单位的代表 140 余人，共聚一堂，展开了丰富的学术研讨和交流。

大会开幕式由东海站党委书记张伟才主持。水声学分会杨益新主任、上海市声学学会龚农斌秘书长、东海站许伟杰站长分别致辞。

本次会议旨在促进科研院所、高等院校、企业以及其它社会组织之间在水声学领域取得的最新研究成果的高层次交流，探讨最新的研究热点；为青年学者搭建展示科研成果的交流平台，激励创新人才脱颖而出；提高学术交流水平，打造国内声学领域顶级的学术示范品牌。

会议特邀中国科学院声学研究所李风华研究员等 8 位知名水声学专家做大会主题报告。报告内容主要集中在当前水声学的热点研究问题及水声领域的关键技术等方面。

本次学术研讨会展示了水声学科学技术的最新研究成果，激荡起了一次新的思维，涌现出了一批新的水声人才，同时也将中国声学学会水声学分会的建设推向了新的高度，全面体现了水声学分会的新发展，使每位参会人员都享受了一场学术盛宴。

大合影

大会会场

中国声学学会水声学分会