

一种体系化分布式水下防御能力验证系统设计与仿真

张德洋, 赵科莉, 邓烈威, 崔德宇, 李顺民

中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094

摘要 设计了一种基于真实-虚拟-构造(LVC)资源集成的体系化分布式水下防御能力验证系统;建立了系统的基本架构,设计了系统主要功能,根据功能需求设计了核心功能模型。同时,建立了基于各类影响因素的行动能力评估模型,能够辅助进行关键要素对行动能力影响的分析与研究。通过仿真试验,验证了系统的评估能力。

关键词 水下防御;体系化仿真;资源集成;能力验证;功能模型

海洋水下环境复杂多样,进行水下行动时态势不明朗、不透明,随着水下装备各种性能提升,对水下威胁目标的发现、打击和防御也愈发困难。综合考虑各类因素影响,行动中面对的水下威胁十分巨大,并且存在极大的不确定性^[1]。面对复杂环境和巨大威胁,水下防御行动需要各个成员的阵位分配与配合、机动行动的决策、装备设备的组织运用,涉及要素众多,组织运用复杂。

如何贴近实际进行行动模拟仿真,同时对行动能力指标分解,建立评估模型,从而进行水下防御行动的能力评估,是亟待解决的重要课题。通过能力评估,可以对行动的装备要素、运动要素、环境要素等影响进行研究和分析,对提高水下防御行动效

能具有重大意义。

真实-虚拟-构造(LVC)资源集成是一种体系性系统集成方法,基于LVC资源集成方法进行系统的体系结构设计,可以将各种真实、虚拟和构造的资源按需集成,综合运用计算机建模与仿真设施、虚拟仿真装备和真实装备,构建虚实结合的分布式模拟系统,可以克服资源的不足,解决系统使用事件、长度和重复性不够以及分析评价不及时等问题,对水下行动进行深入、全面的模拟和分析。

本研究通过对水下防御行动的假想和预设,进行行动要素的分解,设计行动要素中的典型功能模型,并提出相应的能力指标及相应的评估模型,以期实现对假想水下防御行动能力的验证。

收稿日期:2020-04-16;修回日期:2020-08-17

作者简介:张德洋,助理工程师,研究方向为电子与信息技术,电子信箱:zhangdeyoung@163.com

引用格式:张德洋,赵科莉,邓烈威,等.一种体系化分布式水下防御能力验证系统设计与仿真[J].科技导报,2020,38(21):118-127;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2020.21.015

1 系统总体设计

1.1 发展现状与需求分析

仿真技术以相似原理,利用模型对真实系统进行研究,本质上是对已有知识和经验在有限资源下的运用和实现,仿真技术的大量应用使得建模仿真支撑平台和开发成为国内外仿真领域关注的重点^[2]。水下行动涉及要素众多、流程复杂、不确定性大,验证行动能力十分困难,实际操作不确定性高,数据采集和评估困难,而实验室单一模型仿真模式难以全面模拟行动各类要素,构建一套虚实集合的体系模拟系统是平衡实际操作性和要素全面性的较好方案,通过对关键能力模型的设计可以较为真实地模拟实际能力,同时依据现有资源,依靠真实设备尽量贴近使用情况,从而较好地反映使用中的各类情况^[3]。

1.2 LVC 资源集成方法

LVC资源集成方法是将可用的真实设备、虚拟仿真和构造仿真资源,按需集成,分布式地进行数据采集、处理、信息表现和操作控制,并且这些分布式的功能系统之间可以通过互连互通进行实时协同工作^[4]。

1) 真实设备:指系统中真实的功能设备,具有逼真度较高、直观性较好的特点。真实设备的使用局限性较大,面临经费投入大、技术实现难等问题,受地域、时间、消耗等因素的影响较大。

2) 虚拟仿真:主要指由真实的人操作的虚拟设备,主要表现为功能模型集合,例如各类传感器

模拟器,还包括人机交互界面和计算机视景等。

3) 构造仿真:主要指在虚拟的环境中,虚拟的人操作虚拟的设备,通常表现为运行和分析工具支持的数据模型的集合,例如剧情导调模拟器、能力分析仿真模块等。

1.3 系统架构与功能设计

面向能力验证的系统构建面临许多挑战,一方面是能力要素体系的构建,既要考虑真实性和全面性,又要考虑经济性;另一方面是环境要素的构建,主要考虑对抗环境和自然环境两方面。单纯依靠真实设备或完全依赖虚拟仿真无法满足系统构建的需求,本系统的设计思想是:集成各种真实的、虚拟和构造的(LVC)资源,构建体系化、分布式的验证系统。

对于人在回路操作影响能力生成的设备要素,需最大程度地使用真实要素来贴近真实使用,组成真实设备集群,具体包括各型实际的指挥控制设备,规模可根据实际需要进行配置。对于专业的功能模块,进行模型设计,由人进行简单操作,但主要依靠虚拟仿真实现其功能,组成虚拟仿真平台,具体包括各类服务模块、功能模块和辅助模块等。对于外围虚拟的环境要素及事后辅助分析工具,主要依托仿真技术构建,由计算机进行自动化表示,组成仿真导调和测试评估分系统,主要包括导演控制模块、剧情编辑模块和仿真评估模块等^[7]。在这3种分布式资源集合之间建立多层网络结构,实现互连互操作和必要的隔离,系统组成拓扑结构如图1所示。

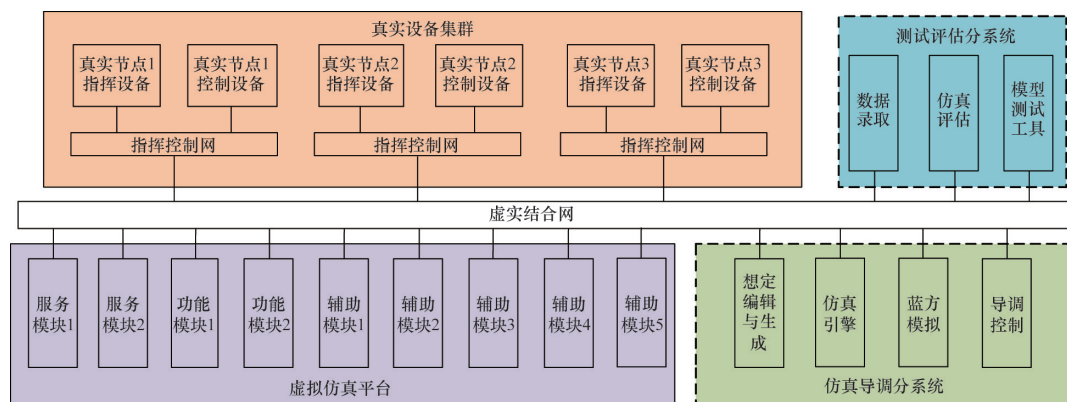


图1 系统组成拓扑结构

本系统集成的LVC资源主要包括真实设备集群、虚拟仿真平台、仿真导调和测试评估分系统。按照基础层、应用层、使用层的三层架构进行模拟系统构建,基础层主要是支撑整个平台硬件和操作

系统,是底层运行环境;应用层为支撑模拟系统构建的工具、数据、模型和中间件;使用层为模拟系统的载体,直接面向使用者进行交互,包括真实设备、配试仿真系统和导调评估系统^[5-6](图2)。

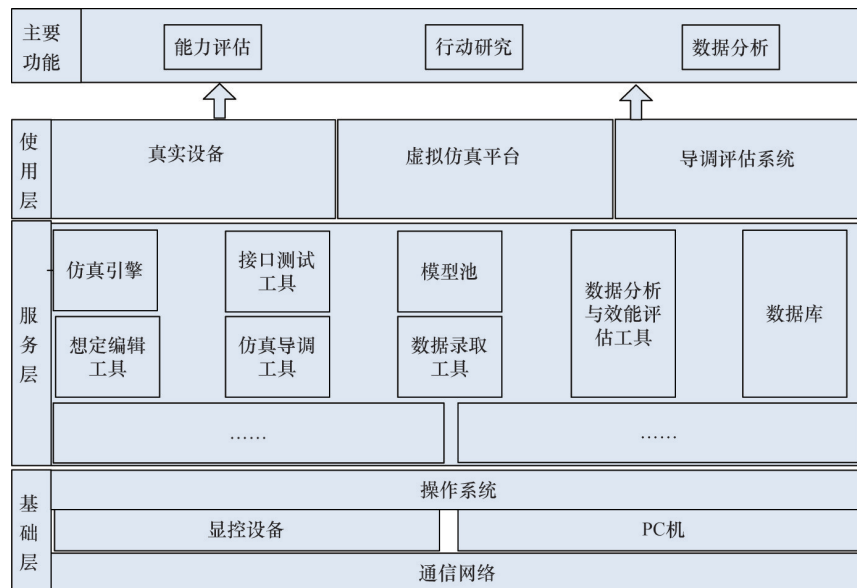


图2 系统总体架构

系统的主要功能是构建基于假想行动要素,面向对抗的分布式水下行动模拟环境,支持在模拟环境中进行行动仿真,并进行能力评估,具体如下:(1)具备对抗双方行动编辑和导调控制功能;(2)具备对各类设备使用过程中信息流转的模拟功能,包括系统中的节点间信息交互、人机交互等;(3)具备构建各类设备能力模型的功能,用以支撑使用过程中各设备内部的相关能力数据的解算和生成;(4)具备在水下行动模拟过程中对各类数据进行记录和评估的功能。

1.4 系统能力需求建模

按照自顶向下、逐步细化的方法,基于DoDAF进行能力需求结构化分解^[8],完成体系能力需求向系统节点实体的映射,水下行动整体能力需求建模如图3所示。

根据水下防御行动主要预想,对系统进行能力需求建模,由此开展关键功能模型构建和能力评估模型设计。

2 系统关键功能模型构建

虚拟仿真(virtual simulation)资源在本系统中具体指操作者可交互的模拟器,重点是模拟设备的结构和行为,系统关键功能模型属于虚拟仿真的核心,为系统的能力验证提供支撑。

2.1 单传感器探测模型设计

与光波、电磁波信号相比,声波在水中传播的能量损失很小,目前,声呐是水中的主要传感器,最主要的功能是探测。在本系统中,选用声呐的主动探测方式进行目标探测能力模型设计^[9]。主要解决的是探测距离和瞬时探测概率计算问题,该模型应用于系统的探测传感器模拟器中。

1) 探测距离模型。

声呐基本方程^[10]:

$$SE = S - N - DT \quad (1)$$

式中,SE表示输出端的信噪比与检测门限(DT)之差,选用信号余量为零时,检测门限刚好能满足指

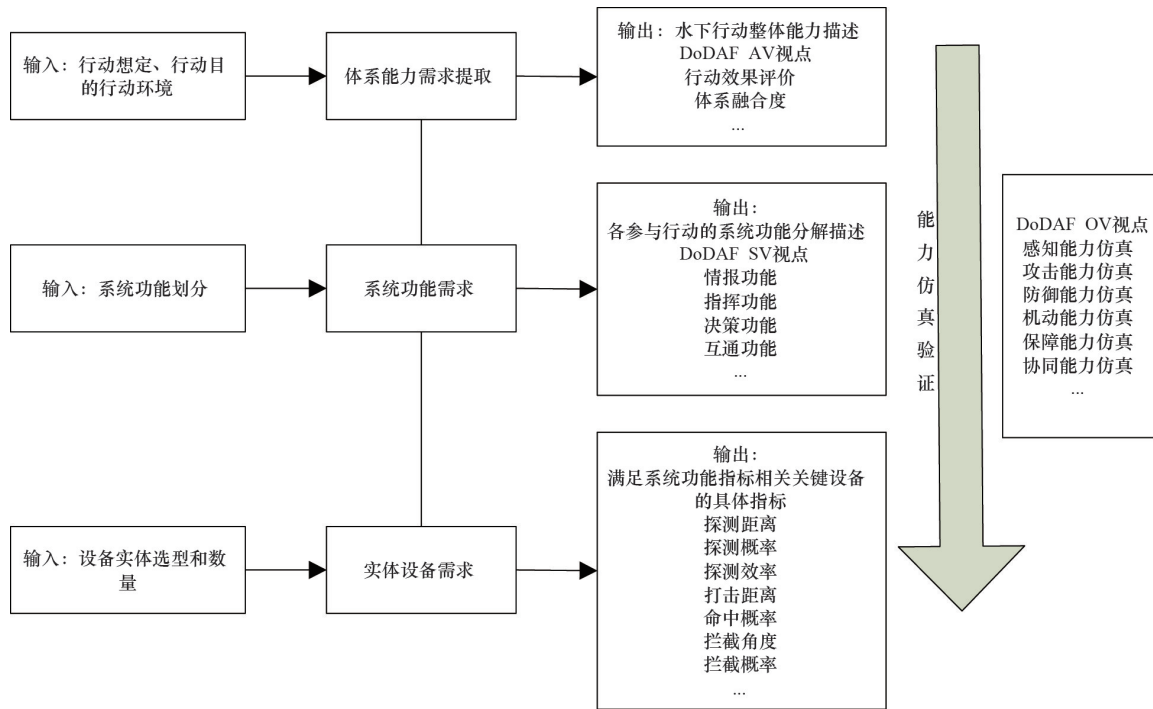


图3 系统能力需求建模

定的探测概率(信号余量为零时,探测概率为50%)时的情况来计算探测距离,声呐设备工作在主动模式时,典型的主动声呐方程为

$$SL - 2TL + TS - NL + DI = DT \quad (2)$$

根据经验,将传播损失主要考虑为球面拓展损失,所以有

$$TL = \frac{1}{2} (SL + TS + DI - DT - NL) = k \lg R \quad (3)$$

$$R = 10 \exp \left[\frac{1}{2k} (SL + TS + DI - DT - NL) \right] \quad (4)$$

式中,SL为声源级;TL为传播损失;TS为目标强度;DL为背景噪声指数;DI为接收指向性指数;DT为检测阈;R为声呐设备主动模式下的能量理想作用距离;k为扩展损失参数。

由式(4)可知,同一传感器在相同环境条件下对不同目标探测时,能力作用距离仅与被探测目标的目标强度有关,不妨假设对某一目标强度为 TS_1 的目标作用距离为 R_1 ,根据式(4)可得,对一目标强度为 TS_2 的目标理想作用距离

$$R_2 = 10^{\frac{TS_2 - TS_1}{2k}} R_1 \quad (5)$$

为方便计算,根据经验假定一组数据: TS_1 和

R_1 ,用以计算对某一目标强度为 TS 的目标理想作用距离 R 。

考虑到环境对作用距离的影响,在式(5)中增加环境影响因素,可得实际探测距离计算模型为

$$R_{\text{最大}} = 10^{\frac{TS_{\text{实}} - TS_1}{2k}} R_1 \quad (6)$$

$$R_{\text{实}} = R_{\text{最大}} Z \quad (7)$$

根据传感器性能给出 TS_1 和 R_1 标准值, k 取固定值,在一次行动中保持任一传感器的数值一致;假设当水文条件为优时, $Z=1$;当水文条件为中时, $Z=0.6$;当水文条件为差时, $Z=0.4$ 。

2) 瞬时探测概率模型。

在确定探测距离时,选取了信号余量为0时,即假定探测概率为50%时的边界情况进行计算。事实上,当被探测目标在探测距离范围内时,信号余量大于0,即探测概率会增加,在仿真计算时需要考虑。

考虑信号余量不为0的情况,有主动声呐方程

$$SE = SL - 2TL + TS - NL + DI - DT \quad (8)$$

根据式(2)和式(3)有

$$SL + TS - NL + DI - DT = 2k \lg R_{\text{最大}}$$

式中, $R_{\text{最大}}$ 表示理论上的最大探测距离。对 $R_{\text{最大}}$ 范围内的任一点 $R_{\text{内}}$, 有

$$\begin{aligned} SE_{\text{内}} &= SL - 2k \lg(R_{\text{内}}) + TS - NL + DI - DT \\ &= 2k \lg(R_{\text{最大}}) - 2k \lg(R_{\text{内}}) \end{aligned} \quad (9)$$

式中, $SE_{\text{内}}$ 表示对探测范围内某一点进行探测时的信号余量。

在计算探测距离时, 声呐方程中的参数被假设为确定的值, 如果用声呐方程来预测探测概率, 那么声呐方程中的参量应该是随机变量, 且每个变量应服从正态分布, 相互独立。每个参量的分布由均值和标准差决定。式(8)中计算的 $SE_{\text{内}}$ 即作为信号

余量的均值, 只需确定标准差就可以确定分布函数^[11]。计算信号余量方差的方程如下:

$$\sigma_{SE}^2 = \sigma_{SL}^2 + 2\sigma_{TL}^2 + \sigma_{TS}^2 + \sigma_{NL}^2 + \sigma_{DI}^2 + \sigma_{DT}^2 \quad (10)$$

式中, σ_{SL} 表示 SL 的标准差; 其他以此类推, 根据各值典型值计算 $SE_{\text{内}}$ 的标准差。

考虑 $SE_{\text{内}}$ 函数密度图, 它是一个正态分布, 根据均值和标准差可以得到概率密度曲线。瞬时探测概率即为图4显示阴影部分, 0值的右侧部分, 可直接积分算得; 当 SE 的均值为 0 dB 时, 探测概率为 50%, 均值越大, 探测概率越大; 当 SE 的均值为 5 dB 时, 探测概率为 73.4%。信号余量密度曲线与探测概率关系如图4所示。

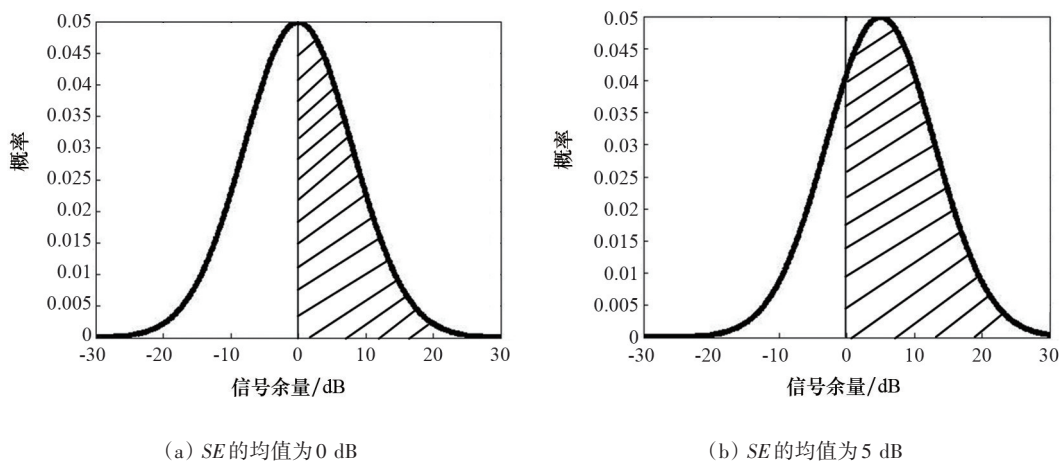


图4 信号余量概率密度曲线

综合可得实际探测概率计算模型为

$$P_{\text{探}} = 1 - \frac{1}{\sigma_{SE} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{[t - (2k \lg R_{\text{最大}} - 2k \lg R_{\text{内}})]^2}{2\sigma_{SE}^2}} dt \quad (11)$$

在仿真过程中, 当蓝方目标进入探测距离内后, 每次进行主动探测时, 调用探测概率模型进行模拟仿真计算。

2.2 单武器打击模型设计

与探测能力模型相比, 影响打击能力的因素虽然很多, 但主要考虑武器本身性能影响。

对命中概率研究主要基于全通道误差估计和武器本身性能, 在行动仿真过程中相对独立, 在本系统中不做重点研究, 其公式为^[12]

$$P_{\text{打}} = P_{zy} P_{wc} P_{zh} (1 - P_{gr}) \quad (12)$$

式中, $P_{\text{打}}$ 表示攻击武器的命中概率; P_{zy} 表示武器正常发射不出故障的概率; P_{wc} 表示武器搜索范围对蓝方目标分布误差范围的覆盖概率; P_{zh} 表示武器成功爆炸毁伤蓝方目标的概率; P_{gr} 表示蓝方目标成功实施干扰的概率, 在使用中根据搭载武器的种类和蓝方目标的性能给定一些固定参数直接进行计算输出。

在仿真过程中, 对于红方已经探测到的蓝方目标进行可打击性判断, 在武器打击范围内时, 实施攻击, 每次发射武器时, 调用命中概率模型进行模拟仿真计算。

2.3 单设施防御模型设计

红方对蓝方的攻击需进行防御拦截, 主要指标为拦截概率, 拦截前需要对物体进行探测。拦截能

力模型主要考虑探测距离、发现概率、拦截距离、拦截成功率等,对蓝方来袭武器拦截概率采用式(13)计算

$$P_{\text{拦}} = 1 - (1 - P_{\text{gr}})(1 - P_{\text{dw}}) \quad (13)$$

式中, $P_{\text{拦}}$ 代表红方拦截概率; P_{gr} 代表红方防御性武器成功干扰蓝方武器的概率; P_{dw} 代表蓝方武器故障和相关误差参数。

在仿真过程中,首先根据红方探测能力对蓝方攻击武器进行探测,若成功探测且其进入我拦截范围内后实施拦截,调用拦截概率模型进行模拟仿真计算。

3 能力评估设计

构造仿真(constructive simulation)资源在本系统中具体指仿真引擎和仿真评估工具,操作者为仿真导调分系统提供输入,且不直接参与仿真评估过程,系统在不受外界干预的情况下运行并输出结果。能力评估设计是仿真评估的核心,为系统进行能力验证设定规则。

3.1 能力评估整体性分析

能力评估可以从2个层次来进行评价,第1层是考虑各类能力指标的基础上进行的评估分析,即特定样式行动能力评估;第2层是考虑多种样式体系能力基础上的综合评估分析^[13-14],即体系能力评估,评估分析体系如图5所示。

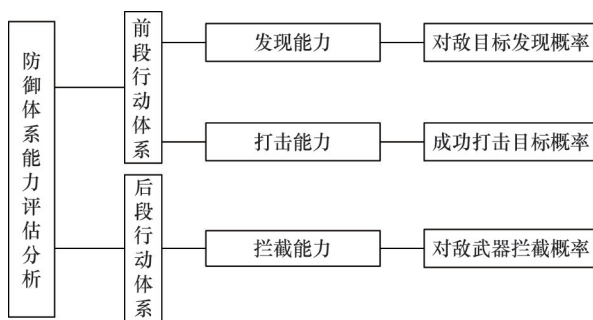


图5 行动体系能力评估分析

3.2 能力指标含义及影响要素分析

研究的水下防御行动主要预想为:对蓝方目标发现、打击,以及对来袭武器的防御,在对行动体系

能力进行评估时,以此为依据进行能力指标分析^[15]。

1) 发现能力。

指当各类蓝方物体出现时,红方能够探测到并识别出的能力。主要影响因素为:红方的成员组成、方位部署、行动方式、传感器探测距离、环境影响等,也与蓝方成员的方位部署、行动方式及抗探测能力有关。

2) 打击能力。

指发现蓝方物体后,能够成功打击到的能力。主要影响因素为:红方的成员组成、方位部署、行动方式、打击工具距离、打击工具成功概率等,也与蓝方成员的方位部署、行动方式及抗打击能力有关。

3) 防御能力。

指当蓝方向红方成员发射攻击物体后,红方通过各成员配合,发现并有效拦截攻击物体的能力。主要影响因素为:红方的成员组成、方位部署、行动方式、传感器探测距离以及对抗蓝方攻击物体的反应时间、干扰或拦截的距离和成功率等。

影响行动能力要素有很多,在进行仿真系统构建时,按需选取要研究的要素,进行相关设计。

3.3 评估模型设计

1) 发现能力。

仿真 N 次,假设蓝方物体数量为 x (每次仿真都相同),统计每次仿真过程中发现蓝方物体的次数 M_i ($i = 1, 2, \dots, N$) (单次内对一物体发现后即不再对后续发现重新计数,表示探测即识别和定位),发现能力为

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{Nx} \quad (14)$$

2) 打击能力。

仿真 N 次,假设蓝方物体数量为 x (每次仿真都相同),统计每次仿真过程中发射打击工具的次数 X_i ($i = 1, 2, \dots, N$),统计每次仿真过程中命中蓝方物体的次数 Y_i ($i = 1, 2, \dots, N$),打击能力为

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{x \sum_{i=1}^N X_i} \quad (15)$$

3) 拦截能力。

仿真 N 次,统计单次仿真中红方成员被蓝方命中2次以上的次数 Q ,拦截能力为

$$C = 1 - \frac{Q}{N} \quad (16)$$

4) 体系能力。

单一能力打分模型

$$S = \begin{cases} 100, & x \geq h \\ 100x/h, & \frac{h}{2} \leq x < h \\ 0, & x < \frac{h}{2} \end{cases} \quad (17)$$

式中, S 表示某能力评定成绩; x 表示能力仿真实测值; h 表示能力标准要求值。

体系能力评估模型:

$$T = \theta_{jg}(\omega_{fx}S_{fx} + \omega_{dj}S_{dj}) + \theta_{fy}\omega_{lj}S_{lj} \quad (18)$$

式中, T 表示行动能力评定成绩; θ_{jg} 表示进攻行动样式评定权重; θ_{fy} 表示防御行动样式评定权重; S_{fx} 、 S_{dj} 、 S_{lj} 分别表示发现、打击、拦截能力打分。

4 系统能力仿真实验

进行仿真系统构建,采用控制变量方法,对一次水下防御行动的能力进行验证,根据LVC理念,仿真系统逻辑上采用分层方式,基本层次结构如图6所示。

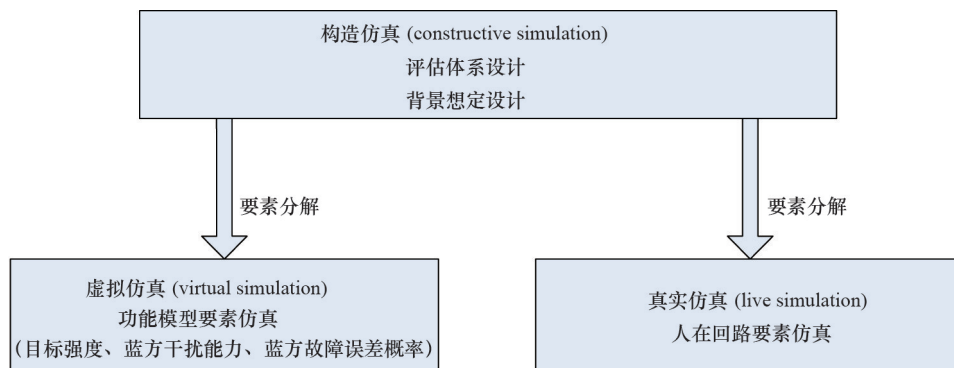


图6 基本层次结构示意图

评估体系设计:系统仿真评估模型设计,为系统进行能力验证设定规则,支撑行动能力仿真评估和分析。主要从发现能力、打击能力、防御能力和整体体系能力的角度进行行动能力验证,并按照能力指标进行要素分解。

想定背景设计:想定背景主要包括红蓝双方的基本行动设定和行动规则设定,主要影响红方的成员组成、方位部署、行动方式;蓝方成员的方位部署、行动方式、环境影响等要素,在本次系统构建中,假设为定量,支撑仿真验证。

功能模型要素仿真设计:进行探测、打击和防御3个关键功能模型构建,根据探测模型设计可知,蓝方目标强度(蓝方抗探测能力,影响红方探测

的信号余量)对红方发现能力有很大影响;根据打击模型设计可知,蓝方干扰概率对红方打击能力有很大影响;根据防御模型设计可知,蓝方武器故障和相关误差参数对红方防御能力有很大影响,选取上述3个关键要素为研究对象,假设为变量,进行仿真验证。

4.1 仿真方案

1) 想定背景。

红方力量往目的地进发,行进过程中处于蓝方威胁之下,需利用自身能力进行水下防御。面对未知威胁,红方利用传感器进行水下探测,一旦发现蓝方设施,立即进行打击。蓝方采用伏击战术,如未被红方摧毁,则红方一旦进入其攻击范围,便实

施打击。

2) 参数配置。

将体系能力的部分影响要素假设为固定参数进行配置:红方成员假设为2个平台;方位部署见

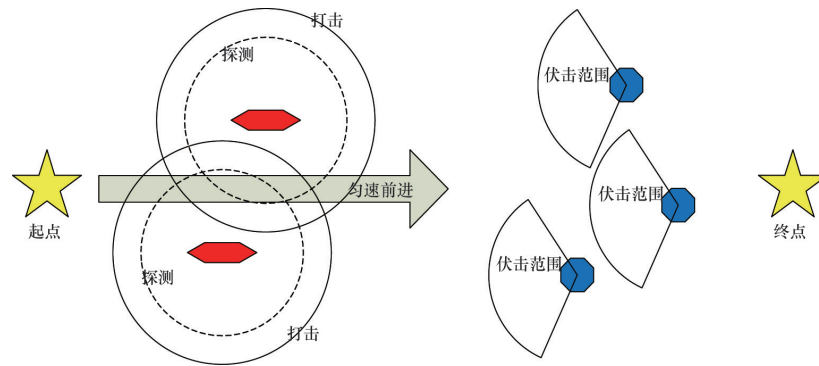


图7 方位部署示意

将作为研究对象的因素假设为变量进行配置:将蓝方目标强度假设为变量,假定取值10~20 dB(进而影响单传感器探测概率);将干扰红方武器的概率假设为变量,假定取值20%~40%;对红方实施打击时武器的故障和误差参数假设为变量,假定取值8%~16%,据此进行体系能力的验证和分析。

4.2 仿真过程

所有设备开机,确认网络连接正常,在仿真导调分系统中配置初始部署位置。操作人员为真实设备集群进行指挥控制操作,各成员按机动参数机动,在虚拟仿真平台进行参数配置,运行各模拟器,实施水下防御行动。探测模拟器按照能力模型进行持续自动探测,并周期上报结果,任一操作人员在真实设备上发现蓝方设施即可由操作人员实施进一步行动,蓝方成员一旦发现红方成员进入其伏击范围即进行攻击,每个蓝方成员最多进行3次攻击,若被红方成功打击即失去行动能力,不可再进行攻击。

双方行动至红方成功到达目的地或蓝方完全被成功打击,最后进行数据统计和分析。

4.3 结果分析

仅考虑蓝方目标强度因素时,由式(14)统计仿真数据,红方发现能力与蓝方目标强度关系如图8所示。

图7;行动方式假设为匀速运动环境假设为良好探测环境。蓝方成员假设为2个平台;方位部署见图7;蓝方行动假设为原地伏击。

仅考虑蓝方干扰概率因素时,由式(15)统计仿真数据,红方打击能力与蓝方干扰概率的关系如图9所示。

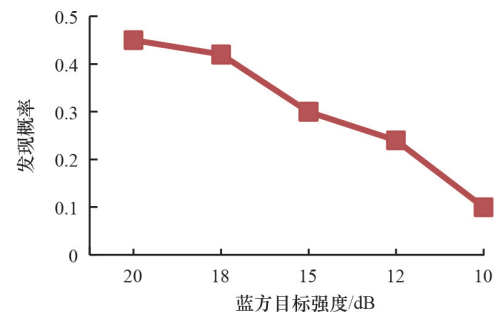


图8 蓝方目标强度对红方发现能力的影响分析

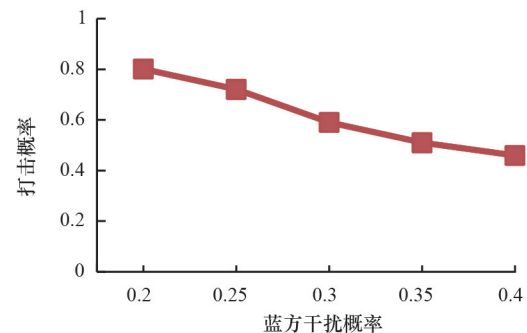


图9 蓝方干扰能力对红方打击能力的影响分析

仅考虑蓝方故障和误差概率参数时,由式(16)统计仿真数据,红方拦截能力与蓝方故障和误差概

率的关系如图 10 所示。

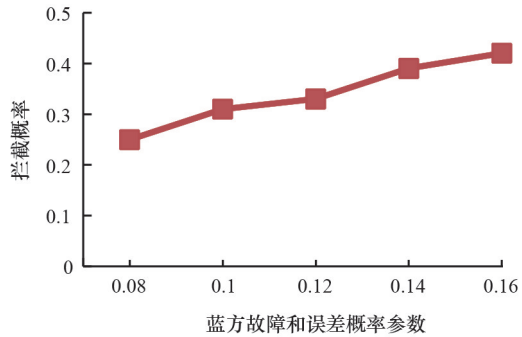


图 10 蓝方故障和误差概率对红方拦截能力的影响分析

整体能力评估:假设蓝方目标强度为 15 时,红方发现能力标准要求值 $h_{rk}=50\%$;假设蓝方干扰概率为 30% 时,红方打击能力标准要求值 $h_{dj}=75\%$;假设蓝方故障和误差概率参数为 0.15 时,红方拦截能力标准要求值 $h_{lj}=60\%$ 。假设 $\theta_{jk}=60\%$, $\omega_{rk}=80\%$, $\omega_{dj}=20\%$, $\theta_{lj}=40\%$, $\omega_{lj}=100\%$ 。

经式(17)计算, $S_{rk}=93$ 、 $S_{dj}=90$ 、 $S_{lj}=80$ 。

经式(18)计算, $T = 60\% \times (80\% \times 60 + 20\% \times 79) + 40\% \times 100\% \times 68 = 65.5$ 。

5 结论

实现了一种体系化分布式的水下防御能力验证系统的设计与仿真。在系统设计方面,基于 LVC 资源集成方法,设计了系统的基本架构,进行了系统的能力需求建模,根据能力需求,建立了主要功能模型,针对预想的行动要素建立了行动能力评估模型。在系统仿真方面,设计了仿真方案,采用分层方式,完成了 LVC 三类要素对行动能力影响的分析,主要进行了蓝方不同目标类型、干扰能力、故障和误差概率,以及红方人在回路的反应时间对其防御能力影响的分析,并完成了体系性整体能力评

估,验证了系统的可行性。

参考文献 (References)

- [1] 王小非. 海军作战模拟理论与实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 5-8.
- [2] 杨明, 张冰, 马萍, 等. 仿真系统 VV&A 发展的五大关键问题[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(11): 1506-1513.
- [3] 南银波, 曾广荣. 基于 HLA 的反潜巡逻机浮标搜潜模型仿真框架结构设计[J]. 国外电子测量技术, 2017, 36(5): 78-85.
- [4] 曹裕华, 张连仲, 等. 装备体系试验与仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 119.
- [5] 黄广连, 阳东升, 张维明, 等. 分布式作战体系中作战资源集成方法[J]. 计算机仿真, 2009, 26(11): 25-28.
- [6] 黄广连, 阳东升, 张维明, 等. 分布式作战体系的描述[J]. 舰船电子工程, 2007, 10(5): 17-20.
- [7] 张建华, 徐培德. 武器装备的综合集成方法[J]. 武器装备自动化, 2006, 25(3): 8-10.
- [8] 岳增坤, 陈炜, 夏学知. 基于 DoDAF 的体系结构模型设计与验证[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(5): 1407-1415.
- [9] 侯学隆, 宋伟健, 许海峰. 航空主动声纳对潜发现概率模型[J]. 系统仿真技术及其应用, 2011, 14(12): 327-330.
- [10] Waite A D. 实用声纳工程[M]. 王德石, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 113.
- [11] Wagner D H, Mylander W C, Sanders T J. 海军运筹分析[M]. 姜青山, 郑保华, 译. 北京: 国防工业出版社, 2009: 94.
- [12] 郭利民, 邱兴业. 基于全通道误差估计的协同反潜效能评估[J]. 科技导报, 2018, 36(24): 53-60.
- [13] 胡晓峰, 张昱, 李仁见, 等. 网络化体系能力评估问题[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(5): 1317-1323.
- [14] 魏继才, 张静, 杨峰, 等. 基于仿真的武器装备体系作战能力评估研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(21): 5093-5097.
- [15] 罗鹏程, 傅攀峰, 周经伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1): 72-75.

Design and simulation of a systematical and distributed underwater defense capability verification system

ZHANG Deyang, ZHAO Keli, DENG Liewei, CUI Deyu, LI Shunmin

Systems Engineering Research Institute, China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100094, China

Abstract The paper designs a systematical and distributed underwater defense capability verification system based on LVC live-virtual-constructive (LVC) resource integration, and establishes its basic structure and core function models. Moreover, a capability evaluation model based on various influencing factors is proposed to analyze and study the influence of key elements. The capability of the system is verified through simulation experiments.

Keywords underwater defense; systematical simulation; resource integration; capability verification; function models ●



(责任编辑 王丽娜)