

潜艇战场损伤评估仿真中的关键技术研究

刘博¹, 马亮², 叶文¹, 范洪达¹

(1. 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 烟台 264001; 2. 海军潜艇学院导弹系水中兵器教研室, 青岛 266071)

摘要: 研究了潜艇战场损伤评估仿真中的两个关键问题, 在综合分析潜艇战场损伤因素的基础上, 提出了基于历史数据的损伤日志知识库, 并结合专家意见和损伤分析技术, 定义了新的仿真数据的综合获取技术, 定义和构建了仿真体系中各 Agent 的体系结构以及协作执行单元。仿真结果证明了数据综合获取技术和结构体定义的有效性。

关键词: 损伤分析技术; 损伤日志知识库; 战场损伤评估

Research on Key Technique in Simulation of Battlefield Damage Assessment for Uboat

LIU Bo¹, MA Liang², YE Wen¹, FAN Hong-da¹

(1. Department of Ordnance Science and Technology, Institute of Naval Aeronautic Engineering, Yantai 264001;

2. Department of Underwater Ordnance, Institute of Naval Submarine, Qingdao 266071)

【Abstract】 Two key problems of battlefield damage simulation assessment for submarine are proposed. Based on the comprehensive analysis of submarine battlefield damage factors, a knowledge base of submarine damage log based on the historic damage data is proposed, which is then defined as a new comprehensive obtaining technique of simulation data by combining the expert judgements and damage analysis technology. Architecture construction of different Agents and their coordination implementation unit are defined and constructed in the simulation architecture construction. Simulation results validate the veracity of data comprehensive obtaining technique and definition of architecture construction.

【Key words】 damage analysis technology; knowledge base of damage log; battlefield damage assessment

制约潜艇战场损伤评估仿真的一个核心问题是数据源的获取。单纯依靠艇员指挥员的评判意见(专家意见)或者损伤分析技术尽管也能进行评估, 但是准确度低、风险性大。为此在综合分析潜艇战场损伤因素的基础上, 提出了基于历史数据的损伤日志知识库, 并结合专家意见和损伤分析技术, 定义了新的仿真数据的综合获取技术。潜艇战场损伤仿真的另一个关键问题就是体系结构的定义。潜艇战场损伤的明显特点就是不确定性信息及其关联因素较多, 实时性较强。为此在HLA体系框架的基础上, 引入了多Agent技术。利用Agent技术的特点^[1-3]处理确定和不确定性问题, 并结合各自数据源的特点定义了各自的Agent体系结构, 以及各Agent之间的协调问题。

1 仿真数据的综合获取技术

战地数据应该是最可靠的损伤数据。美国国防部在莱特帕森空军基地成立了生存力/易损性信息分析中心(SURVIAC)^[4], 将其作为收集和分析战斗损伤的数据中心, 在战斗结束后到战场进行调查, 收集有关装备战场损伤资料。但是由于潜艇是在特定的威胁下受到损伤, 缺乏判断潜艇所受损伤程度的确切数据。因此数据的获取就成为仿真研究中的一个重要制约因素。

为此, 在分析传统损伤分析技术的基础上, 将技术分析数据、实时艇员和指挥员的评判意见及历史记录数据在一个评估框架内进行组合, 给出了潜艇战场损伤评估仿真中数据的综合获取技术。单一仿真和综合仿真分别表明, 应用数据

的综合获取技术可以大大提高评估结果的准确度, 减少了单一仿真中的不确定性信息和仿真结果的风险性, 是潜艇战场损伤评估分析中数据获取的有效手段。

1.1 技术分析数据

战场损伤分析技术主要包括 BFIA、BDTA 和 DMEA。BDIA 用于确定战场损伤分析对象(即基本功能项目), BDTA 与 DMEA 则用于分析装备战场损伤原因和结果之间的关系。文献[5~8]给出了完整的战场损伤分析过程, 基本概念如下:

(1)基本功能项目分析(BFIA)。确定基本功能项目, 即确定哪些项目需要做进一步分析, 找出战场损伤评估决策的对象, 建立结构树。

(2)损伤/故障模式影响分析(DMEA/FMEA)。对每一个基本功能部件, 应确定由各种威胁机理引起的损伤模式及其对系统基本功能的影响, 即最终影响。

(3)损伤/故障树分析(DTA/FTA)。损伤树分析是以最终影响为顶事件进行的确切损伤事件间因果关系的过程与方法。在已经完成 BFIA 和 DMEA/FMEA 的前提下, 建立损伤树时以 DMEA/FMEA 表中的某个最终影响为顶事件, 逐层详细分析可能引起此损伤的各个原因, 直至找出底事件。

基金项目: 国家部委重点科研课题

作者简介: 刘博(1977-), 男, 讲师、博士研究生, 主研方向: 武器系统建模与仿真; 马亮, 副教授、博士研究生; 叶文, 讲师、博士研究生; 范洪达, 教授、博士生导师

收稿日期: 2007-01-20 **E-mail:** doctorliubo@126.com

(4)损伤定位分析。通过检查、检测及判断等手段确定引起损伤事件的损伤原因。战场损伤定位分析是针对损伤事件自上而下进行的检查分析、查找与判断损伤原因的过程。

1.2 实时艇员和指挥员的评判意见

潜艇不同于其他的武器装备，它的隐蔽性好、作战海域广、可实施远程奔袭和攻击。潜艇在实施远程奔袭和攻击时一旦战损，不能像飞机、坦克那样根据战损的不同程度实施中继或者基地级的评估与修复，而只能依靠潜艇自身的战场抢修能力，在有限的时间和资源条件下，实施自身的应急修复，以便迅速恢复战斗力或者自救。此时艇员和各级指挥员依据自身的工作经验给出的评判意见也非常关键，是战场损伤评估的重要因素。艇员和指挥员的实时评判意见是特殊的战场环境下给出的对整个战损情况的主观判断，虽然存在一定的不确定性，但是它包含了特殊环境下战损时的第一认知程度和经验知识，是战损评估仿真的重要参考数据。

1.3 历史损伤日志知识库

由于缺乏潜艇战损的确切数据，只能依靠潜艇部队作战训练中的损伤历史纪录，因此潜艇损伤日志知识库主要是结合潜艇部队的作战训练，抽取了最近5年内训练中常见损伤部件的损伤数据纪录，按照历史纪录的时间顺序，编辑成表，作为仿真研究的一个重要支持。

以潜艇作战系统为例，进行损伤分析，划分出基本功能项目，然后给出每一个基本功能项目的损伤历史纪录。它们可以作为ER算法的输入损伤因子。简表如下：

艇型：_____ BFI(基本功能项目)：_____

| 损伤原因 | | 损伤数据历史纪录 |
|------|--|----------|
| 时间 | | |
| | | |
| | | |
| | | |

1.4 数据的组合

ER算法是基于决策理论、集合理论、概率论和用于聚合多属性的D-S证据理论的一种处理不确定性信息及其关联问题的有效工具^[9-10]。它是在基于一个评估框架的基础上，应用拓展的D-S证据理论组合规则将属性信息进行组合，从而进行决策判断的新的算法。本文把战场损伤分析的结果和战时艇员及各级指挥员的评判意见以及损伤日志提供的知识作为损伤因子，应用新的ER算法，对战损装备进行评估，得到了较为准确地评估结果。组合后的评估流程如图1所示。

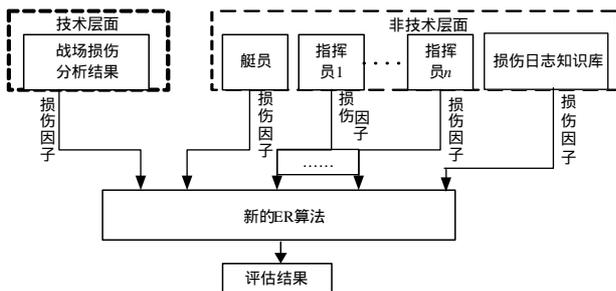


图1 潜艇战场损伤评估流程

需要注意的是，战场损伤分析是从技术层面给出的较为客观的评判意见。而艇员和指挥员的意见以及损伤日志知识则是从非技术层面给出的较为主观的评判意见。将主客观意见通过ER算法进行组合，可以得到更为准确地评判结果。

2 仿真体系中关键结构体的定义

定义和仿真潜艇不确定性损伤因素的属性，是潜艇战场损伤评估模型仿真中的难点。因为不确定性损伤因素既包含定性信息也包含定量信息，同时这些信息也是动态变化的，因此利用Agent的智能性、交互性等特点，正确定义和构建合理的Agent以实现不确定性因素和关联因素的处理，是潜艇战场损伤评估模型仿真中的关键。为此在基于多Agent和HLA的基础上，构建了一个分布式战场损伤评估体系结构，见图2。该体系结构中，基于HLA的通信层已用卡实现。

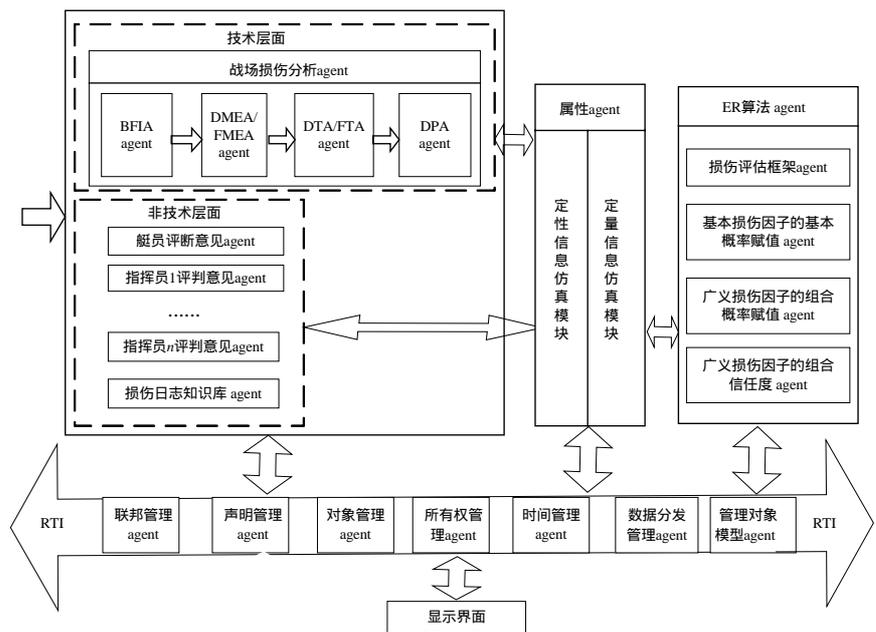


图2 多主体的分布式战场损伤评估体系结构

2.1 技术层面 Agent 体系结构的定义

战场损伤分析是从技术层面给出的分析结果，其Agent的体系结构定义如图3所示。

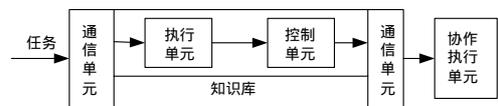


图3 技术层面 Agent 体系结构

2.2 非技术层面 Agent 体系结构的定义

艇员和指挥员的意见以及损伤日志知识则是从非技术层面给出的较为主观的评判意见，这种定性的评判信息是动态变化的，其第一认知程度可能会随时更新。尤其是损伤日志知识库，作为经验的积累，它总是处于不断的更新状态，因此可以定义如图4所示的Agent体系结构。

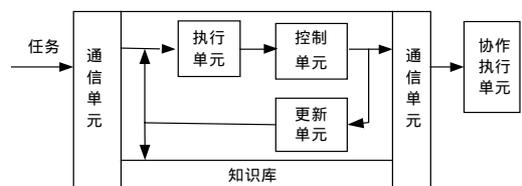


图4 非技术层面 Agent 体系结构

2.3 多 Agent 之间协作体系结构的定义

除了基本结构体系的定义以外,还有最为关键的各 Agent 之间的协作体系^[11-13]。

定义如下协作执行单元的结构:

CIU = (CS, CM, CC)

CIU: 协作执行单元(Coordination Implementation Unit)

其中:

(1)协作结构(Coordination Structure, CS)

协作结构主要是指 Agent 之间协作时的对应关系,通常包括一对一协作、一对多协作、多对一协作、多对多协作、任务互换协作。

(2)协作机制(Coordination Mechanism, CM)

协作机制是指 Agent 之间协作时应遵循的规则。多 Agent 协作中所涉及的最主要的一种协作形成机制为协商机制(negotiation mechanism)。

Rubinstein 曾给出协商机制中策略方法讨价还价过程的数学描述。借鉴他的这种协商机制,考虑到 MDBDAA 的实际情况,给出了如下的协作机制。

设 T 为一个协商周 $require = (r_1, r_2, \dots, r_N, \dots)$ 为一个协商周期内请求协商的协商序列, $acknowledge = (a_1, a_2, \dots, a_N, \dots)$ 为一个协商周期内回应请求的应答序, $C(require, acknowledge)$ 为协商结局, $D(require, acknowledge)$ 为协商次数。如果 $D(require, acknowledge) = N$, 即 $D(require, acknowledge) \neq \infty$, 则说明经过有限步可达成协作请求 $C(require, acknowledge)$ 。协作流程如图 5 所示。

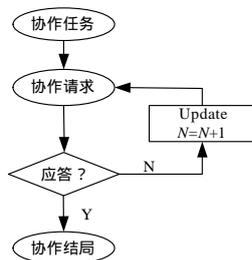


图 5 Agent 之间的协作流程

(3)协作通信(Coordination Communication, CC)

MDBDAA 的状态更新与同步主要是依赖于底层的基于 HLA 的通信服务实现的。

由此定义如图 6 所示的协作系统体系结构。

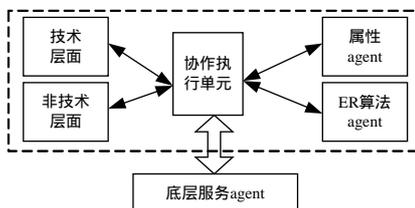


图 6 多 Agent 协作体系结构

3 结论

(1)结合潜艇战场损伤因素,定义了一种新的仿真数据获取技术,该技术从主客观层面充分考虑了所有可能的数据获取途径,为潜艇战场损伤仿真评估提供了重要的数据支持。

(2)基于多 Agent 和 HLA 的分布式战场损伤评估体系结构(MDBDAA)是本课题的核心框架。定义了该框架中关键结构体单元的体系结构,并进行了仿真实践。

(3)在解决以上关键问题的基础上,以某型潜艇作战系统

战场损伤仿真评估为例,在ER算法的评估框架内,分别以不同的数据源进行了仿真^[14-15],评估结果见图 7~图 9。

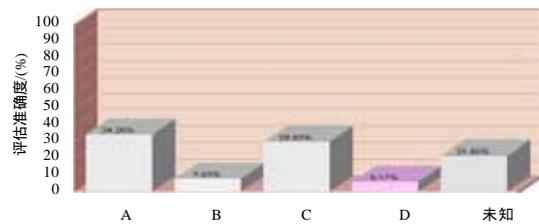


图 7 某型潜艇作战系统损伤评估结果(基于专家意见)

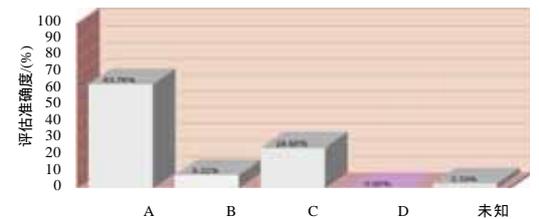


图 8 某型潜艇作战系统损伤评估结果(基于专家意见和分析结果)

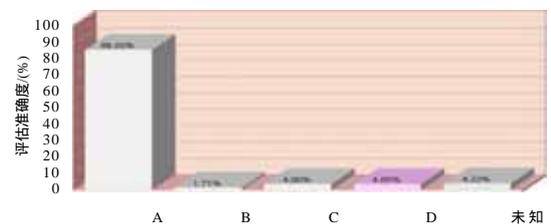


图 9 损伤评估结果(基于专家意见、分析结果和损伤日志知识库)

在不断增加数据源的情况下,其评估结果的准确度大大提高,由最初的 34.26%,到 63.76%直到 86.03%。尽管未知信息由 21.60%到 3.33%再到 4.22%,出现了下降时小范围内的反复,但并不影响最终的评估结果。

参考文献

- [1] 曹军海. 多 Agent 仿真中 Agent 行为的形式化描述方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(11): 2398-2400.
- [2] 廖守亿. 复杂适应系统及基于 Agent 的建模与仿真方法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(1): 113-117.
- [3] 倪建军. 一种复杂适应系统仿真的 Agent 混合结构模型[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(2): 207-211.
- [4] 雍丽英. 基于多智能体的战损建模[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2004.
- [5] 石全, 李建平, 康建设. 基于知识库的 BDAR 分析方法研究[J]. 计算机工程, 2000, 26(9): 137-142.
- [6] 王润生, 贾希胜, 刘利, 等. 战场损伤分析过程及存在问题研究[J]. 兵工学报, 2004, 25(2): 139-142.
- [7] 石全, 杜晓明, 王润生. 装备战场损伤评估理论与技术[M]. 军械工程学院出版社, 2005: 31-46.
- [8] 王润生, 贾希胜. 基于损伤树模型的战场损伤评估研究[J]. 兵工学报, 2005, 26(1): 72-76.
- [9] Yang J B. Multiple Attribute Design Evaluation of Large Engineering Products Using the Evidential Reasoning Approach[J]. J. Eng. Design, 1997, 8(3): 211-230.
- [10] Wang J, Yang J B. A Subjective Safety Based Decision Making Approach for Evaluation of Safety Requirements Specifications in Software Development[J]. Int. J. Reliab., Qual., Saf. Eng., 2001, 8(1): 35-57.

(下转第 272 页)