

2-20-2021

Correction Method of Action Parameters of Panzer Virtual Force Tactical Confrontation

Gao Ang

1. Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China; ;

Xiaolu Wang

2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

Zhiming Dong

1. Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China; ;

Guohui Zhang

1. Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, 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.

Correction Method of Action Parameters of Panzer Virtual Force Tactical Confrontation

Abstract

Abstract: Aiming at the problem of unreasonable virtual force tactical confrontation action parameters in the simulation training of armored force equipment system, resulting in unsatisfactory training effects, *the idea of estimating posterior probability with prior probability is adopted to correct the parameters. According to the OODA theory, the tactical confrontation movement of armored forces is decomposed and an index system of influencing factors is constructed; the parameter collection method is proposed to establish the Bayesian network correction model and to realize dynamic adjustment;* the expected optimization algorithm and the principal component analysis method are used to process the training data of the simulator to verify the effectiveness of the method. The comparison between the experimental results and the actual data shows that the method has a high confidence.

Keywords

virtual force, tactical action, dynamic Bayesian networks, expectation-maximization algorithm

Recommended Citation

Gao Ang, Wang Xiaolu, Dong Zhiming, Zhang Guohui. Correction Method of Action Parameters of Panzer Virtual Force Tactical Confrontation[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(2): 484-493.

装甲兵虚拟兵力战术对抗动作参数矫正方法

高昂¹, 王晓路², 董志明¹, 张国辉¹

(1. 陆军装甲兵学院, 北京 100072; 2. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076)

摘要: 针对装甲兵装备体系对抗模拟训练中, 虚拟兵力战术对抗动作参数不合理, 导致训练效果不理想问题, 采取用先验概率估算后验概率的思路对参数矫正: 按照 OODA 理论将装甲兵战术对抗动作分解, 并构建影响因素指标体系; 提出参数采集方法, 建立贝叶斯网矫正模型, 并实现动态调整; 使用期望优化算法对模拟器训练数据处理, 进而验证方法的有效性, 实验结果与实际数据对比表明, 该方法具有较高置信度。

关键词: 虚拟兵力; 战术对抗; 动态贝叶斯网络; 期望优化算法

中图分类号: TP319.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 02-0484-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-0527

Correction Method of Action Parameters of Panzer Virtual Force Tactical Confrontation

Gao Ang¹, Wang Xiaolu², Dong Zhiming¹, Zhang Guohui¹

(1. Army Academy of Armored Forces, Beijing 100072, China; 2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: Aiming at the problem of unreasonable virtual force tactical confrontation action parameters in the simulation training of armored force equipment system, resulting in unsatisfactory training effects, the idea of estimating posterior probability with prior probability is adopted to correct the parameters. According to the OODA theory, the tactical confrontation movement of armored forces is decomposed and an index system of influencing factors is constructed; the parameter collection method is proposed to establish the Bayesian network correction model and to realize dynamic adjustment; the expected optimization algorithm and the principal component analysis method are used to process the training data of the simulator to verify the effectiveness of the method. The comparison between the experimental results and the actual data shows that the method has a high confidence.

Keywords: virtual force; tactical action; dynamic Bayesian networks; expectation-maximization algorithm

引言

LVC (“L”实兵操作实装、“V”实兵操作虚装、“C”虚兵操作虚装)体系仿真是解决信息化条件下一体化联合作战背景中, 装备论证、作战试验、装备对抗训练、作战运用研究等诸多军事问题的有效途径^[1-2]。“L”、“V”、“C”元素间的互操作是仿真资源集成、共享与重用的核心, 系统中虚拟兵力“C”设计是否合理是直接影响军事问题研究

效果的重要因素。因虚拟兵力、模拟器的建模需求、建模精度不同, 容易在两者对抗交互时造成条件不对等、响应不匹配等现象, 影响基于 LVC 的试验、训练应用效果, 需要建立与模拟器物理效应基本一致的高精度、组件化虚拟兵力模型, 提高对抗的可信性。尤其在虚实对抗训练过程中, 虚拟兵力战术动作表现不真实, 导致训练效果不理想, 严重影响了战斗力生成。造成以上问题的

收稿日期: 2019-09-13

修回日期: 2019-12-12

基金项目: 军内计划课题(41405030302)

第一作者: 高昂(1988-), 男, 博士生, 研究方向为装备作战与保障仿真。E-mail: 15689783388@163.com

原因, 主要是虚拟兵力战术动作响应时间和准确度两个参数设置不合理。战术动作响应时间, 指完成战术动作所消耗的墙上时钟时间; 战术动作准确度, 指执行战术动作的准确程度。例如, 坦克车长使用终端标绘敌目标, 目标有种类、移动速度、距离、方位等属性, 标绘这些属性所消耗的墙上时钟时间即为战术动作响应时间, 属性标绘的准确程度即为战术动作准确度。战术动作响应时间和准确度是衡量部队战斗力的重要参数, 动作响应时间越小, 说明参训分队战术反应越敏捷; 动作准确度越高, 说明参训分队针对敌情做出战术动作的失误次数越少。因此, 通过调节虚拟兵力的动作响应时间与准确度参数在一定程度上可以达到模拟参演参训的红蓝双方虚拟兵力的战斗力, 进而循序渐进提升作战分队训练水平的目的。

1 研究思路

LVC 仿真系统中使用等步长时间推进机制, 同时使用事件队列, 在步长结束时, 汇集并计算所有发生在该步长内的事件。如图 1 所示, 对于战术动作响应时间和准确度的仿真, 目前主要采用 2 种方法: (1) 不考虑完成战术动作所需的实际, 动作响

应在一个步长之内实现; (2) 按照经验数据设置固定数值的动作响应时间; 对于动作准确度多是建立影响因素模型, 然后, 对应每个影响因素设置影响系数, 各系数相乘得到概率, 再用蒙特卡洛方法仿真, 如侦察发现概率、识别概率, 射击命中概率、毁伤概率等, 然而, 各因素之间往往并不满足简单的加法、乘法关系, 无法反映真实的动作准确度。实际人在环的动作响应时间和准确度参数应该是一个从历史数据中学得的经验分布, 并且这个分布随着时间的变化而变化。

不考虑动作响应时间, 虚拟兵力的反应时间远远超出人类的反应时间(实际上是计算机采用概率计算太快, 而人执行动作需要耗时较长, 导致双方对抗时不对等), 导致虚拟兵力战斗力过强, 动作响应时间设置为固定值, 又与真实战术对抗中的动态变化的动作响应时间不相符。不考虑动作的准确度, 会使虚拟兵力做出的所有动作都是准确的, 与人类真实行为表现不符。虚拟兵力战术对抗动作参数矫正方法问题是训练仿真领域一直非常关注并具有现实意义的课题, 本文将以装甲兵虚拟兵力战术对抗动作参数矫正方法研究为突破口, 探索使虚拟兵力战术动作建模更加合理, 更加贴近实际的方法, 从而提升训练效果, 研究思路如图 2 所示。

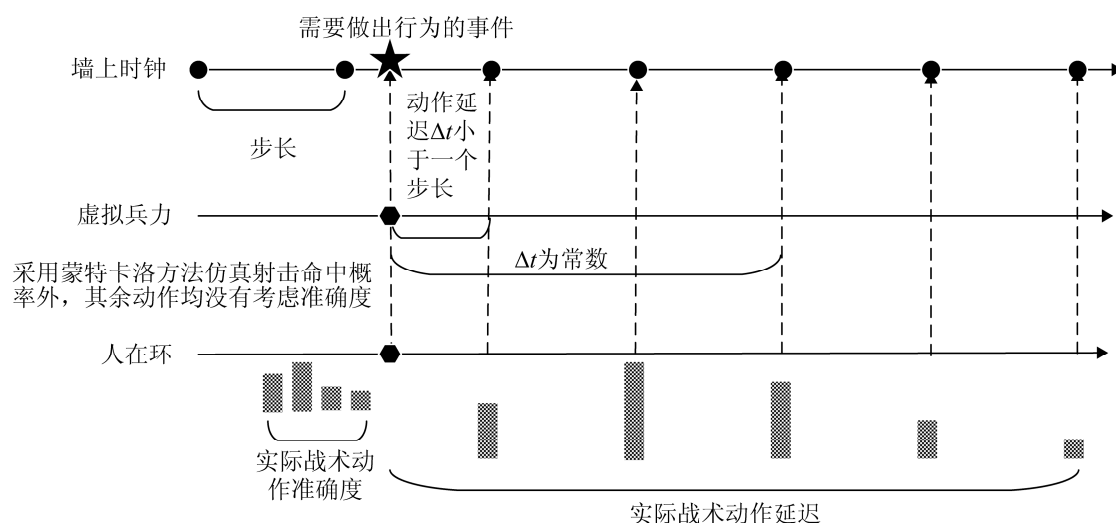


图 1 战术对抗动作参数示意图

Fig. 1 Schematic diagram of tactical confrontation action parameters

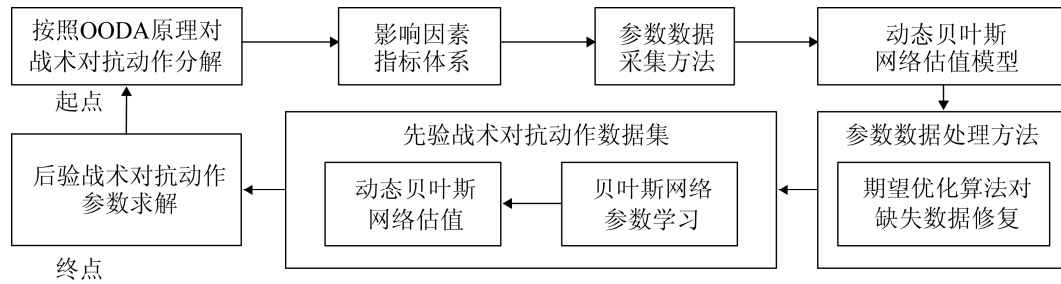


图2 战术对抗动作参数矫正研究思路图

Fig. 2 Research thinking diagram of tactical confrontation action parameter correction

按照OODA理论将装甲兵虚拟兵力战术对抗动作分解,并建立动作参数影响因素指标体系。提出战术对抗动作参数采集方法,并建立战术对抗动作参数矫正贝叶斯网模型,利用其增量学习特点,实现参数的动态调整。以模拟器训练数据为例,使用期望优化(Expectation-Maximization, EM)算法,对随机缺失数据处理,进而验证虚拟兵力战术对抗动作参数矫正方法的有效性。

2 战术对抗动作参数影响因素分析

动作,是实体在战斗行动中,为完成任务而在一段时间内持续进行的最小操作或行为。它是实体状态转换中,分辨率最高、最基本的行为要素。过程则是各个动作行为的持续以及动作之间的顺序和衔接。任务,是实体承担的达成一定目的的责任,通常由为达成目的而采取的一个或多个动作组成。CGF中的任务通常是对某一战斗行动目的和过程的总体描述,没有任务,就不会有一系列动作,行为也就没有了目的性。对行为的划分,应当适可而止,根据OODA环理论,战术对抗动作可分为涉及感知、共享、决策、指挥、打击5类动作,装甲兵分队战术对抗训练中,感知类动作主要是车长在装甲车内完成目标搜索与识别;共享类动作主要是车长使用电台上报敌目标或使用指控信息终端标绘敌目标并发送;决策类动作主要表现为指挥车车长接收战术情况定下决心;指挥类动作主要分为使用电台语音下达命令,或使用指控信息终端拟制并发送文电,打击类动作主要是车长指挥炮手完成对敌目标射击。本文对影响战术对抗动作参数的因素

从我方作战单元、敌方目标、战术情况3个层面进行分析,初步建立指标体系如图3所示,其中,我方作战单元包括乘员等级、作战装备性能、作战单元状态3个因素,敌方目标包括目标种类、目标状态、目标距离3个因素,战术情况包括目标所处环境、战术情况2个因素。

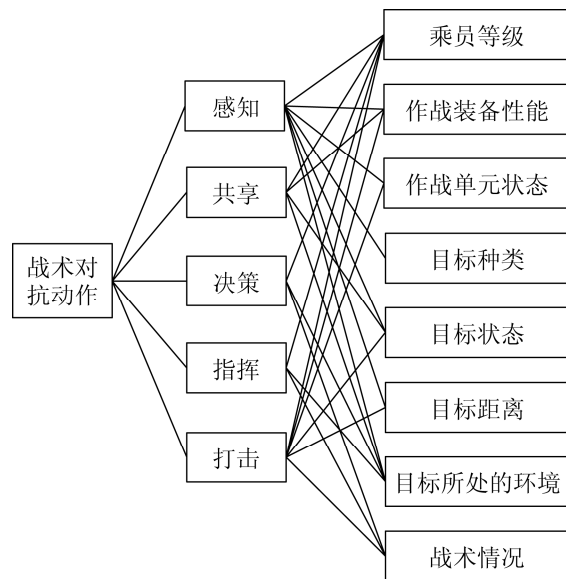


图3 战术对抗动作参数影响因素指标体系

Fig. 3 Index system of influencing factors of tactical confrontation action parameters

(1) 乘员等级: 乘员等级越高, 战场经验越丰富, 对武器的操作越熟练, 战术对抗动作响应时间越小, 准确度越高。

(2) 作战装备性能: 通信设备适用性是导致战术动作延迟的主要因素。通信设备包括车长使用的指控终端、电台等硬件设备以及战术指控软件等软件设备, 通信设备适用性越强, 操作使用越方便,

造成的战术动作响应时间越小。

(3) 作战单元状态: 运动中的单元观察目标难度较大, 停止间观察目标较容易; 运动中的单元射击命中概率较低, 停止间射击的命中概率较高。

(4) 目标种类: 对于装甲车内的车长, 车辆目标较大, 容易观察, 人员目标较小, 观察难度较大; 使用火炮射击, 对车辆的命中概率较高, 对人员的命中概率较低, 使用车载轻武器射击, 对车辆无损伤, 对人员的杀伤较大。

(5) 目标状态: 运动的目标较容易观察, 但是标绘、打击的难度较大; 静止的目标观察难度较大, 但是标绘, 打击的难度较小。

(6) 目标距离: 对车辆目标的观察距离较远, 对人员目标的观察距离较近。目标越远, 观察难度越大, 命中率越低, 目标越近, 越容易观察, 命中率越高。

(7) 目标所处的环境: 地形因素是影响陆军战术分队作战最重要的环境因素, 地形起伏所造成的坡度、比高、遮蔽程度对作战单元的机动、侦察、射击都可能造成影响。例如, 密林、疏林、无植被地形对在其中行动的部队隐蔽程度以及双方侦察效果会产生影响, 密林还会对机动、射击行为产生影响; 冲沟、弹坑等变形地对作战单元机动、射击、侦察造成影响。另外, 天气气象是对战斗行动和武器装备使用效果产生重大影响的自然因素, 需考虑昼夜、阴晴雨雪、风力、风向等。

(8) 战术情况: 战术情况复杂程度主要影响车长决策与指挥动作, 战术情况越复杂, 车长做出决策、指挥的响应时间越大, 准确度越低, 反之, 车长做出决策、指挥响应时间越小, 准确度越高。

3 战术对抗动作参数数据采集方法

数据采集可分为依托实装采集与依托模拟器采集两种方式, 依托实装进行专门数据采集的组织难度较大, 可利用训练演习机会, 成立数据采集专业组, 构建实装数据样本库。依托模拟器的数据采集组织较容易, 可在虚拟战场环境中设置特定的环

境条件对动作参数数据采集。本文采用模拟器采集数据, 旨在说明每类战术对抗动作参数的定义以及采集流程, 方法可扩展到实装数据采集。

step 1: 将装甲兵虚拟兵力对抗动作响应时间 $T=[T_1, T_2, T_3, T_4, T_5]$ 初始化为 $[0, 0, 0, 0, 0]$, 动作准确度 $A=[A_1, A_2, A_3, A_4, A_5]$, 初始化为 $[1, 1, 1, 1, 1]$, 分别表示战术对抗过程中的感知、共享、决策、指挥、打击类动作响应时间和动作准确度;

step 2: 获取感知类动作实际响应时间 Δt_1 及动作准确度 a_1 , 主要是测试车长在装甲车内完成目标搜索与识别动作的时间与准确度, 包括如下步骤:

(1) 根据目标种类 X_{11} 、目标运动状态 X_{12} 、目标所处环境 X_{13} 、目标距离 X_{15} , 将虚拟战场环境划分为若干测试区;

(2) 在各测试区设置目标、行驶标志等, 目标的个数为 m ;

(3) 将被测车长按操作水平等级分成 N 组进行;

(4) 记录每组被测人员从目标 j 出现到发现目标 j 的时间差 $\Delta t_{1_i_j}$ 及准确度 $a_{1_i_j}$, 如果车长正确识别目标, 记 $a_{1_i_j}=1$, 否则, $a_{1_i_j}=0$, $i=1,2,\dots,N$, $j=1,2,\dots,m$;

(5) 计算感知类动作实际响应时间

$$\Delta t_1 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \Delta t_{1_i_j} \quad (1)$$

及动作准确度

$$a_1 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m a_{1_i_j} \quad (2)$$

式中: N 为被测人员分组的组数; m 为设置的目标个数;

step 3: 获取共享类动作实际响应时间 Δt_2 及动作准确度 a_2 , 主要是测试车长利用通信设备向上级报告目标的动作时长与动作准确度, 包括如下步骤:

(1) 根据目标所处环境 X_{23} 、目标运动状态 X_{24} 将虚拟战场环境划分为若干测试区;

(2) 在各测试区设置目标、行驶标志等, 目标的个数为 m ;

(3) 将被测车长按操作水平等级分成 N 组进行, 并对通信设备的适用性进行分级;

(4) 记录每组被测人员使用通信设备上目标 j 的时间差 Δt_{2_ij} , 以及目标 j 的第 k 属性的正确情况 $a_{2_ij_k}$, 如果目标 j 的第 k 属性上报正确, 记 $a_{2_ij_k}=1$, 否则, $a_{2_ij_k}=0, k=1,2,\dots,M$;

(5) 计算共享类动作实际响应时间

$$\Delta t_2 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \Delta t_{2_ij} \quad (3)$$

及动作准确度

$$a_2 = \frac{1}{MNm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^M a_{2_ij_k} \quad (4)$$

式中: N 为被测人员分组的组数; m 为设置目标个数; M 为上报目标的属性的个数;

step 4: 获取决策类动作实际响应时间 Δt_3 及动作准确度 a_3 , 主要是测试指挥车车长接受战术情况后定下决心的动作时长与动作准确度, 包括如下步骤:

(1) 将被测车长按操作水平等级分成 N 组进行;

(2) 根据作业想定, 将战术情况按复杂程度分级, 向指挥车车长上报战术情况;

(3) 指挥车车长根据战术情况定下决心;

(4) 记录每组被测人员获知战术情况 j 至定下决心的时间差 Δt_{3_ij} , 战术情况 j 第 k 个处置要点的准确度 $a_{3_ij_k}$, 如果战术情况 j 第 k 个要点处置正确, 记 $a_{3_ij_k}=1$, 否则, $a_{3_ij_k}=0$;

(5) 计算决策类动作实际响应时间

$$\Delta t_3 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \Delta t_{3_ij} \quad (5)$$

及动作准确度

$$a_3 = \frac{1}{MNm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^M a_{3_ij_k} \quad (6)$$

式中: N 为被测人员分组的组数; m 为战术情况的个数; M 为第 j 个战术情况处置要点的个数;

step 5: 获取指挥类动作实际响应时间 Δt_4 及动作准确度 a_4 , 主要是测试指挥车车长根据想定命令使用通信设备向战斗车下达命令的动作时长与动作准确度, 包括如下步骤:

(1) 将被测车长按操作水平等级分成 N 组进行;

(2) 根据作业想定, 将战术情况按复杂程度分

级, 向指挥车车长出情况, 诱导车长下达指挥命令;

(3) 指挥车车长接受情况向战斗车下达命令;

(4) 记录每组被测人员接受完情况 j 至向战斗车下达命令的时间差 Δt_{4_ij} , 针对情况 j 下达的命令中第 k 个要点的准确度 $a_{4_ij_k}$, 如果针对情况 j 下达的命令中第 k 个要点正确, 记 $a_{4_ij_k}=1$, 否则, $a_{4_ij_k}=0$;

(5) 计算指挥类动作实际响应时间

$$\Delta t_4 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \Delta t_{4_ij} \quad (7)$$

及动作准确度

$$a_4 = \frac{1}{MNm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^M a_{4_ij_k} \quad (8)$$

式中: N 为被测人员分组的组数; m 为情况诱导的次数; M 为第 j 次情况诱导中, 指挥命令包含的要素个数;

step 6: 获取打击类动作实际响应时间 Δt_5 及动作准确度 a_5 , 主要是测试指挥车车长涉及打击类动作时长与动作准确度, 包括如下步骤:

(1) 根据射击距离 X_{52} 、射击单元状态 X_{53} 、目标所处环境 X_{54} 、目标运动状态 X_{55} 、目标种类 X_{56} 将虚拟战场环境划分为若干测试区;

(2) 在各测试区设置目标、行驶标志等;

(3) 将被测车长、炮手按操作水平等级分成 N 组进行;

(4) 车长指挥炮手完成打击类动作;

(5) 记录每组被测人员完成打击类动作时间 Δt_{5_ij} 及打击动作的准确度 a_{5_ij} , 如果命中目标, 记 $a_{5_ij}=1$, 否则, $a_{5_ij}=0$;

(6) 计算打击类动作实际响应时间

$$\Delta t_5 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m \Delta t_{5_ij} \quad (9)$$

及火力打击动作准确度

$$a_5 = \frac{1}{Nm} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m a_{5_ij} \quad (10)$$

式中: N 为被测人员分组的组数; m 为设置目标的个数;

step 7: 将战术对抗动作响应时间 T 设置

为 $T=[T_1+\Delta t_1, T_2+\Delta t_2, T_3+\Delta t_3, T_4+\Delta t_4, T_5+\Delta t_5]$, 动作准确度 A 设置为 $A=[a_1, a_2, a_3, a_4, a_5]$ 。

4 战术对抗动作参数矫正 BN 模型

4.1 静态 BN 模型构建

贝叶斯网络(Bayesian Network, BN)是用图论和统计学理论处理不确定性知识的方法, 网络中的每个节点表示一个随机变量, 具有因果关系的节点用箭头相连, 并用条件概率表示节点间关系, 由给定节点的条件概率与先验概率计算各节点状态概率, 以实现概率的传播, 从而完成推理。BN 方法数学理论基础稳固, 具有较强的概率表达能力, 多源信息融合能力^[3-4]。

通过以上分析, 列出对动作参数产生影响的各关键因素, 而后对建模对象特征进行分析, 明确因素之间的相关关系, 确定模型结构, 最后通过机器学习的方法确定模型网络各节点参数, 建立战术对抗动作参数动态矫正模型。构建战术对抗动作参数矫正贝叶斯网结构如图 4 所示。

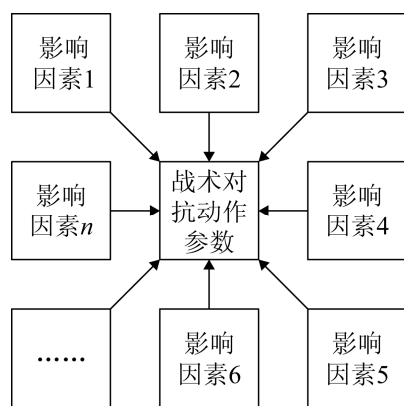


图 4 战术对抗动作参数矫正贝叶斯网结构

Fig. 4 Structure of Bayesian network corrected by tactical countermeasures

列出所述 5 类动作的响应时间和准确度的影响因素, 并进行量化操作: $X_{in}(i=1,2,\dots,5; n=1,2,\dots, N_i)$, (N_i 为第 i 类动作的响应时间或准确度影响因素的个数)。

感知类动作影响因素 $X_{1n}(n=1,2,\dots,5)$, 包括:

$X_{11}=\{H_1, H_2, H_3\}$ 表示目标种类, $X_{12}=\{H_4, H_5\}$ 表示目标运动状态, $X_{13}=\{H_6, H_7, H_8, H_9\}$ 表示目标所处环境, $X_{14}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示车长等级, $X_{15}=\{H_{13}, H_{14}, H_{15}\}$ 表示目标距离, 这里假设对车辆的最大观察距离为 3 000 m, 对人员的最大观察距离为 2 000 m;

共享类动作影响因素 $X_{2n}(n=1,2,3,4)$, 包括:

$X_{21}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示车长等级, $X_{22}=\{H_{16}, H_{17}, H_{18}\}$ 表示通信设备适用性, $X_{23}=\{H_6, H_7, H_8, H_9\}$ 表示目标所处环境, $X_{24}=\{H_4, H_5\}$ 表示目标运动状态;

决策类动作影响因素 $X_{3n}(n=1,2)$, 包括:

$X_{31}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示车长等级, $X_{32}=\{H_{19}, H_{20}, H_{21}\}$ 表示战术情况复杂程度;

指挥类动作影响因素 $X_{4n}(n=1,2)$, 包括:

$X_{41}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示车长等级, $X_{42}=\{H_{19}, H_{20}, H_{21}\}$ 表示战术情况复杂程度;

打击类动作影响因素 $X_{5n}(n=1,2,3,4,5,6)$, 包括:

$X_{51}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示车长等级, $X_{52}=\{H_{10}, H_{11}, H_{12}\}$ 表示射手等级, $X_{53}=\{H_{13}, H_{14}, H_{15}\}$ 表示射击距离, 这里假设最大有效射程为 3 000 m, $X_{54}=\{H_4, H_5\}$ 表示射击单元状态, $X_{55}=\{H_6, H_7, H_8, H_9\}$ 表示目标所处环境, $X_{56}=\{H_4, H_5\}$ 表示目标运动状态。其中, H_1 表示车辆, H_2 表示人员, H_3 表示掩体, H_4 表示目标处于机动状态, H_5 表示目标处于停止间状态, H_6 表示所处地形隐蔽, 无明显标志物, H_7 表示所处地形隐蔽, 有明显标志物, H_8 表示所处地形开阔, 无明显标志物, H_9 表示所处地形开阔, 有明显标志物, H_{10} 表示车长等级为特级, H_{11} 表示车长等级为二级, H_{12} 表示车长等级为三级, $H_{13} \in (0 \text{ m}, 1 \text{ 000 m}]$, $H_{14} \in (1 \text{ 000 m}, 2 \text{ 000 m}]$, $H_{15} \in (2 \text{ 000 m}, 3 \text{ 000 m}]$, H_{16} 适用性良好, H_{17} 适用性适中, H_{18} 适用性较差, H_{19} 表示战术情况复杂, H_{20} 表示战术情况适中, H_{21} 表示战术情况简单。

4.2 参数学习

静态贝叶斯网络构建完毕之后, 通过机器学习方法获得模型中节点参数的过程称为参数学习。

在完备数据集条件下,模型参数学习方法有极大似然估计、参数估计、参数平滑等方法,对比各方法学习精度,本文采用极大似然估计方法对参数的完备数据集进行学习^[5]。

由于分队训练使用的仿真系统具有不稳定性,故而必须考虑数据由于各种不确定因素造成的缺失。此时,采用 EM 算法对产生的不完备数据进行修正。EM 算法的基本思想是:根据已有数据样本,借助随机产生的缺失数据变量,通过期望值之间的迭代,估计缺失数据似然函数^[2,6-7],基本实现过程如下:

step 1: 输入观察变量数据 Y , 即战术动作参数, 隐变量数据 Z , 即缺失数据变量, 联合分布 $P(Y, Z | \theta)$, 条件分布 $P(Z | Y, \theta)$;

step 2: 输出模型参数 θ ;

(1) 选择参数的初始值 $\theta^{(0)}$, 开始迭代;

(2) 记 $\theta^{(w)}$ 为第 w 次迭代参数 θ 的估计值, 在第 $w+1$ 次迭代的 step 2 (2) 步, 计算

$$Q(\theta, \theta^{(w)}) = E_Z[\log P(Y, Z | \theta) | Y, \theta^{(w)}] = \sum_Z \log P(Y, Z | \theta) P(Z, Y | \theta^{(w)}) \quad (11)$$

这里, $P(Z | Y, \theta^{(w)})$ 是在给定观测数据 Y 和当前的参数估计 $\theta^{(w)}$ 下隐变量数据 Z 的条件概率分布;

(3) 求使 $Q(\theta, \theta^{(w)})$ 极大化的 θ , 确定第 $w+1$ 次迭代的参数估计值 $\theta^{(w+1)}$;

$$\theta^{(w+1)} = \arg \max_{\theta} Q(\theta, \theta^{(w)}) \quad (12)$$

(4) 重复 step 2 (2) 和 step 2 (3), 直到收敛。

4.3 战术对抗动作参数动态矫正

为提高参数估计的准确性, 必须有效的实时的处理新增数据, 并不断上传到历史数据集中, 并根据动作参数值所在区间的概率分布, 对参数进行估计, 具体算法如下:

step 1: 构建静态贝叶斯网络。采集真实环境中各影响因素下所述 5 类动作的响应时间时间和准确度 $Y_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$, 根据贝叶斯法则通过已有数据集的先验概率 $P(X_{ij})$ 计算后验概率

$P\{Y_i | X_{in} (i=1, 2, 3, 4, 5; n=1, 2, \dots, N_i)\}$, 实现对 BN 模型的动态估计, 即

$$P(Y_i | X_{in}) = \frac{P(X_{in} | Y_i) P(Y_i)}{P(X_{in})} \quad (13)$$

step 2: 构建样本库: $\{Y_i | X_{in}\}$ 。

step 3: 参数数值计算: 计算所述 5 类动作的响应时间 Δt_i 及准确度 a_i , 将装甲兵虚拟兵力战术对抗动作响应时间 T 设置为 $T=[T_1+\Delta t_1, T_2+\Delta t_2, T_3+\Delta t_3, T_4+\Delta t_4, T_5+\Delta t_5]$, 动作准确度 A 设置为 $A=[a_1, a_2, a_3, a_4, a_5]$ 。具体包括:

(1) 令 $m=1, k=1$ 设置阈值 R ;

(2) 根据 Y_i 的值将样本空间分为 q_i 个区间, 每个区间长度为:

$$\begin{aligned} \{Y_i | X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN_i}\} &\in \{[\min(Y_i), \min(Y_i) + b_i], \\ &[\min(Y_i) + b_i, \min(Y_i) + 2b_i], \dots, \\ &[\min(Y_i) + (q_i - 1)b_i, \min(Y_i) + q_i b_i]\} \\ b_i &= \frac{\max(Y_i) - \min(Y_i)}{q_i} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \{Y_i | X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN_i}\} &\in \{[\min(Y_i), \min(Y_i) + b_i], \\ &[\min(Y_i) + b_i, \min(Y_i) + 2b_i], \dots, \\ &[\min(Y_i) + (q_i - 1)b_i, \min(Y_i) + q_i b_i]\}; \end{aligned}$$

(3) 统计各因素影响下, Y_i 在每个区间出现的频率:

$$\begin{aligned} P_{ij} &= P\{Y_i | X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN_i} \in [\min(Y_i) + (j-1)b_i, \\ &\min(Y_i) + jb_i]\} (i=1, 2, \dots, 5; j=1, 2, \dots, q_i) \\ P_{inx} &= \max(P_{ij}) (i=1, 2, \dots, 5; \\ n &= \text{index}(j | \max(P_{ij})); j=1, 2, \dots, q_i); \end{aligned} \quad (15)$$

(4) 取 $\alpha \in (0, 1)$, 计算 $r_{i0} = (\alpha(\min(Y_i) + (n-1)b_i) + (1-\alpha)(\min(Y_i) + nb_i)) \times P_{inx}$;

(5) 比较 P_{inx} 与阈值 R , 如果 $P_{inx} \geq R$, 则输出 $\Delta t_i = r_{i0}$ 或 $a_i = r_{i0} (i=1, 2, \dots, 5)$, 并将装甲兵虚拟兵力战术动作响应时间 T 设置为 $T=[\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4, \Delta t_5]$, 准确度 A 设置为 $A=[a_1, a_2, a_3, a_4, a_5]$, 结束 step 3, 如果 $P_{inx} < R$, 则进行(6);

(6) 计算 $n-m-1$, 如果 $n-m-1 \geq 0$, 则

$$\begin{aligned} P_{i(n-m)} &= P\{Y_i | X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN_i} \in [\min(Y_i) + \\ &(n-m-1)b_i, \min(Y_i) + (n-m)b_i]\} \end{aligned} \quad (16)$$

如果 $n-m-1 < 0$, 则令

$$P_{i(n-m)} = 0; \quad (17)$$

(7) 计算 $n+m$, 如果 $n+m \leq q_i$, 则

$$P_{i(n+m)} = P\{Y_i | X_{i1} X_{i2} \dots X_{iN_i} \in [\min(Y_i) + (n+m-1)b_i, \min(Y_i) + (n+m+1)b_i]\} \quad (18)$$

如果 $n+m > q_i$, 则令

$$P_{i(n+m)} = 0; \quad (19)$$

(8) 计算 $k \% 2$, 如果 $k \% 2 = 1$,

$$P_{inx} = P_{inx} + \max(P_{i(n-m)}, P_{i(n+m)}) \quad (20)$$

$$r_{i0} = r_{i0} + (\alpha(\min(Y_i) + (c-1)b_i) + (1-\alpha)(\min(Y_i) + cb_i)) \times \max(P_{i(n-m)}, P_{i(n+m)}) \\ (c = \text{index}(\max(P_{i(n-m)}, P_{i(n+m)}))) \quad (21)$$

$k=k+1$, 跳转至步骤(5);

如果 $k \% 2 = 0$,

$$P_{inx} = P_{inx} + \min(P_{i(n-m)}, P_{i(n+m)}) \quad (22)$$

$$r_{i0} = r_{i0} + (\alpha(\min(Y_i) + (c-1)b_i) + (1-\alpha)(\min(Y_i) + cb_i)) \times \min(P_{i(n-m)}, P_{i(n+m)}) \quad (23)$$

$m=m+1$, $k=k+1$, 跳转至(5)。

5 战术对抗动作参数矫正实例

5.1 实验过程

使用某训练分队模拟器训练的数据, 筛选其中

对打击类战术对抗动作准确度参数存在影响的数据项, 部分原始数据见表 1。数据中以序号代替每组实验采集的参数数据编号, 记录了车长等级、射手等级、射击距离、射击单元状态、目标所处环境、目标运动状态、打击准确度等数据。本片段为第 551~553 组参数数据采集编号, 其中第 552~553 条数据因 LVC 系统不稳定出现系统缺失。对数据缺失现象, 应用 EM 算法流程处理, 以求获取完备数据集。经数据处理, 得到战术对抗数据集见表 2。

应用前 500 条数据对 BN 模型结构以及参数学习, 如图 5 所示, 将其作为 BN 模型的先验概率。从图 5 中分析, 射击单元多是在 1 000 m 距离内, 对具有独立标志物的目标单元, 实施停止间射击, 符合实际战场情况。将 501~550 条数据作为新增数据进行增量学习后, 得到 BN 动态估计模型, 使用 551~560 条数据对模型验证。

当预测某类战术对抗动作参数时, 模型以历史数据为依据, 在具体战术情况下判断对抗动作参数的概率分布, 并根据 4.3 预测估计参数值。表 3 为特级车长、射手, 在 1 000 m 范围内, 对开阔地形上有明显标志物的静止目标, 实施停止间射击的打击准确度估值。

表 1 打击类战术对抗动作原始数据
Tab. 1 Raw data of strike tactical counter actions

序号	车长等级	射手等级	射击距离/m	射击单元状态/(km/h)	目标所处环境	目标运动状态/(km/h)	打击准确度
551	特级通信手	特级射手	865	0	(开阔地, 独立房屋)	0	0.9
552	二级通信手	二级射手	缺失	0	(丛林地, 2 号高地)	0	0.78
553	三级通信手	三级射手	2 100	缺失	(城镇地, 独立树)	30	0.62

表 2 打击类战术对抗动作处理后数据
Tab. 2 Data processed after tactical counter actions of strike type

序号	车长等级	射手等级	射击距离/m	射击单元状态/(km/h)	目标所处环境	目标运动状态/(km/h)	打击准确度
551	H_{10}	H_{10}	H_{13}	H_5	H_9	H_5	0.9
552	H_{11}	H_{11}	H_{13}	H_5	H_7	H_5	0.78
553	H_{12}	H_{12}	H_{15}	H_5	H_7	H_4	0.62

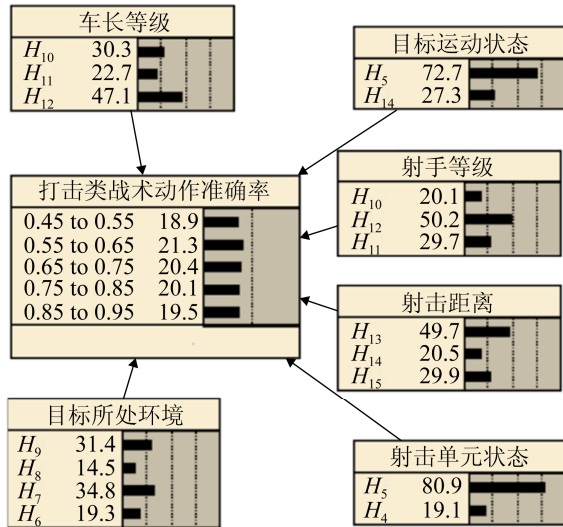


图5 BN模型数据学习结果
Fig. 5 BN model data learning results

表3中,当使用静态BN时,模型输出结果分布集中在[0.85, 0.95]区间,应用4.3算法,估计结果为0.873 9。当使用动态BN模型时,模型输出结果分布在[0.85, 0.95]区间的概率更高,根据4.3估

表3 打击类战术对抗动作准确度估计

Tab. 3 Estimation of accuracy of strike tactical counteraction

BN 估计参数 类型	准确率分布					结果估计 真实值 0.9
	[0.45,0.55)	[0.55,0.65)	[0.65,0.75)	[0.75,0.85)	[0.85,0.95]	
静态	0.004 9	0.004 9	0.004 9	0.014 6	0.971	0.873 9
动态	0.001 6	0.001 6	0.001 6	0.011 0	0.984	0.885 6

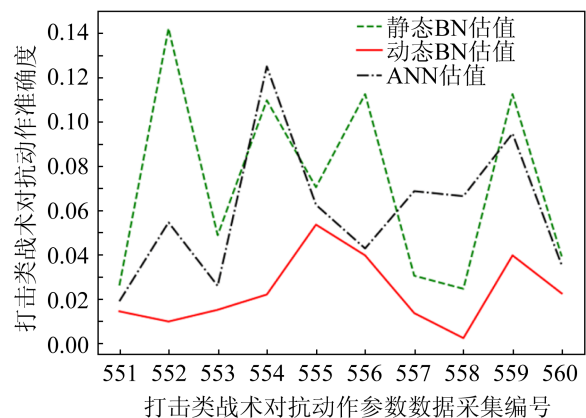
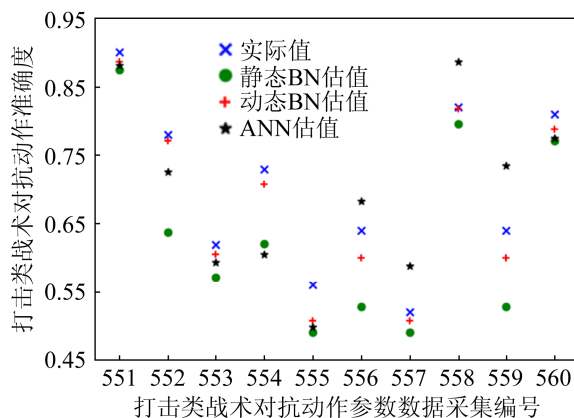


图6 打击类战术对抗动作准确度预测

Fig. 6 Accuracy prediction of strike tactical counteraction

5.3 模型评价与误差分析

为评价估计结果的准确性,本文采用模型估值

计结果为0.885 6,与实际结果0.9更接近。这是因为在训练过程中,分队的训练水平发生了变化,静态BN是对所有的历史数据学习,动态BN对历史数据实现增量式,因此,动态BN可以更好的反应参数的变化。

5.2 结果对比分析

为验证所建立模型的有效性,采用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)与静态BN估值、动态BN估值结果进行对比分析。如图6所示,图6中给出了第551~560条参数数据的准确值,以及通过动态BN、静态BN、ANN估值得出的结果,以及各估值与实际数据的绝对误差,从中可以看出,动态BN估值与实际参数数据呈现较高的一致性,故应用动态BN进行战术对抗动作参数估计具有可行性。

与实际参数值的均方根误差 Δs 的方法评价模型的准确性。均方根误差具有对误差极值非常敏感的特点,可以反应模型的精确度^[5],如式(24):

$$\Delta s = \sqrt{\frac{1}{u} \sum_{v=1}^u (\hat{x}_v - x_v)^2} \quad (24)$$

式中: u 为样本数量; $\hat{x}_v$ 为模型估计值; x_v 为参数实际值, 计算结果如表 4 所示。

表 4 模型均方根误差统计表
Tab. 4 Statistical table of root mean square error of model

估值模型	均方根误差
静态 BN	0.080
动态 BN	0.028
ANN	0.067

从表 4 可以看出动态 BN 估值模型精度最高, ANN 模型其次, 静态 BN 模型最低, 这是因为 ANN 对数据具有较强的拟合能力, 因此精度高于静态 BN 模型, 但是, ANN 模型无法对动态数据增量学习, 而动态调整的 BN 模型能更好的反映参数数据的变化情况, 因此, 动态 BN 模型精度高于 ANN 模型。战术对抗动作参数估值是一个充满不确定性的过程, BN 模型是应用历史数据进行机器学习的一种方法, 在能够用历史数据进行复现的不确定性发生时, 该模型能得到较好的估计结果。

6 结论

本文应用贝叶斯网络对战术对抗动作参数进行估计, 将领域专家经验、分队模拟器训练历史数据作为先验知识, 建立贝叶斯网络, 在数据处理时, 应用 EM 算法对缺失数据修复, 实验结果表明, 采用动态贝叶斯网络方法估值具有较高的准确度, 此方法还可以通过各项指标变化分析动作参数变化规律, 从而为制定训练计划、战斗力提升方案提供依据。下一步方向为研究从战例案例小样本中采集数据的方法, 以及针对“L”“V”“C”元素交互的网络响应时间远大于交互时限的情况, 开展如何有效降低信息传输响应时间问题的研究, 如导弹拦截仿真强实时问题, 导弹离目标距离越近, 导航系统与攻击目标交互的频度越高, 可能导致交互频度无法在广域网上实现。若不能有效降低信息传输响应时间, 将导致 LVC 仿真系统无法仿真这类交互关系。

参考文献:

- [1] 张昱, 张明智, 胡晓峰. 面向 LVC 训练的多系统互联技术综述[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(11): 2515-2521.
Zhang Yu, Zhang Mingzhi, Hu Xiaofeng. Overview of Multi-system Interconnection Technology for LVC training[J]. Journal of System Simulation, 2013, 25(11): 2515-2521.
- [2] 薄中, 冯策, 孙超, 等. 美军联合任务环境下的能力试验方法分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2018, 13(4): 471-475.
Bo Zhong, Feng Ce, Sun Chao, et al. Analysis of Capability Test Method Under Joint Mission Environment of the US Military[J]. Journal of Chinese Academy of Electronics, 2018, 13(4): 471-475.
- [3] 范敏. 基于贝叶斯网络的学习与决策方法研究及应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
Fan Min. Study and Application of Learning and Decision-making Methods based on Bayesian Network[D]. Chongqing: Chongqing University, 2008.
- [4] 康凯, 张永亮, 李晨溪, 等. 陆军作战指挥实体动态决策建模问题研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(2): 398-404, 413.
Kang Kai, Zhang Yongliang, Li Chenxi, et al. Research on Dynamic Decision Modeling of Army Combat Command Entity[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 398-404, 413.
- [5] 邢志伟, 蒋骏贤, 罗晓, 等. 基于贝叶斯网的离港航班滑行时间动态估计[J]. 计算机工程与应用, 2018, 54(24): 66-71, 203.
Xing Zhiwei, Jiang Junxian, Luo Xiao, et al. Dynamic Estimation of Departure Flight Taxiing Time based on Bayesian Network[J]. Computer Engineering and Application, 2018, 54(24): 66-71, 203.
- [6] 马亚龙, 邵秋峰, 孙明, 等. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013: 79-82.
Ma Yalong, Shao Qiufeng, Sun Ming, et al. Evaluation Theories and Methods and Their Military Applications[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2013: 79-82.
- [7] 潘科, 潘宣宏, 郭新奇, 等. 空中加油机作战效能设计参数的主成分分析[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(4): 21-24.
Pan Ke, Pan Xuanhong, Guo Xinqi, et al. Principal Component Analysis of Operational Efficiency Design Parameters of Aerial Refueling Tanker[J]. Ship Electronic Engineering, 2017, 37(4): 21-24.