

文章编号:1673-3819(2023)02-0122-08

## 面向平行仿真的多分支决策点生成策略研究

杨帆, 曹志敏, 贾贞, 吴章华

(江苏自动化研究所, 江苏连云港 222061)

**摘要:**在基于实时态势的平行仿真推演中,战场的不确定性要求仿真具备多分支推演能力。多分支推演过程中,通过决策点牵引,实现对相关分支的生成。传统的决策点选取依赖于专家系统,难以满足平行仿真对决策点的生成效率的要求,通过分析离线多分支推演和实时多分支推演的区别,提出了一种面向平行仿真的决策点生成策略,基于案例推理,快速判断并生成决策点,实现实时多分支推演,减少了部分无效分支的生成,保障了平行仿真下多分支生成的可信性和实效性。

**关键词:**平行仿真; 多分支推演; 决策点

**中图分类号:**TP391.9

**文献标志码:**A

**DOI:**10.3969/j.issn.1673-3819.2023.02.020

### Multi-branch decision point generation strategy for parallel simulation

YANG Fan, CAO Zhi-min, JIA Zhen, WU Zhang-hua

(Jiangsu Automation Research Institute, Lianyungang 222061, China)

**Abstract:** In the parallel simulation deducing based on real-time situation, the uncertainty of battlefield requires the ability of multi-branch simulation. In the process of multi-branch extension, the generation of related branches is realized by the traction of decision points. The traditional decision point selection depends on expert system, which is difficult to meet the requirement of parallel simulation on the efficiency of decision point generation. This paper analyzes the difference between off-line multi-branch inference and real-time multi-branch inference, and proposes a parallel simulation-oriented decision point generation strategy. Based on case-based reasoning, decision points are quickly determined and generated to realize real-time multi-branch inference, which reduces the generation of some invalid branches and guarantees the credibility and effectiveness of multi-branch generation under parallel simulation.

**Key words:** parallel simulation; multi-branch simulation; decision point

现代战争中,战争节奏的加快和战场态势的瞬息变化对指挥员快速决策能力提出新的挑战,现有指挥决策支持系统大多以定性分析为主,辅助决策模型多为静态,缺乏动态调整、演化与行为预测功能,难以满足作战过程中指挥员料敌先机、提前应对的需求<sup>[1]</sup>。为了将实时信息优势转化为决策优势,提高战时辅助决策的实用性,窦林涛等人采用平行仿真技术<sup>[2]</sup>,捕获实时战场态势,动态构建和修正仿真模型,生成与客观战场环境平行运行的战场仿真环境,通过模型的超实时仿真运行,对敌方目标的作战行动和意图做出预测。指挥决策系统中采用的计划推演<sup>[3]</sup>,对作战方案中各项任务涉及的平台、区域及时间节点都有精确描述和设定。这样的仿真方式难以满足战场态势不确定性的需求,单一的作战方案无法满足战场态势发展,人为临时调整方案会消耗大量时间,对指挥员和想定编辑人员的负荷较大。针对战争的不确定性,可以通过多分支推演的仿真手段解决<sup>[4]</sup>。

根据应用模式的不同,多分支推演可以分为离线多分支推演和实时多分支推演。针对在何时或何处分成分支,美军及北约国家军队提出了决策点军事概念,后由国防大学和国防科技大学引入国内<sup>[5-6]</sup>,为我军作战方案计划完善提供借鉴,主要将决策点运用在行动方案分析和仿真推演环节,通过采用决策点牵引相关分支计划和后续计划制定。多分支推演两种模式的区别见表1。

传统的多分支推演一般对仿真时效性要求不高,旨在战前准备阶段针对战争的不确定性,采用静态的仿真方法,通过采用大样本实验的手段,对多种实验因子进行实验设计,将作战方案的多个分支组合成不同的静态方案,生成多套可能作战方案,辅助指挥员进行决策。然而,现代战场态势的复杂性、多变性特点导致战场态势情报信息的爆炸式增长,战场态势评估和仿真方案设计的需求远远超出了传统基于人的经验和认知的计算机辅助决策能力,因此,人们需要能够对突发战场态势保留更强的临机决策能力。

面向平行仿真的多分支推演,区别于战前阶段的作战方案筹备,需要能够针对突发情况或关键态势节点动态生成分支,是一种基于实时态势的推演系统。而在基于实时态势的多分支推演系统中,依据什么动

收稿日期:2022-11-04

修回日期:2022-12-09

作者简介:杨帆(1997—),男,硕士研究生,研究方向为平行仿真。

曹志敏(1965—),男,研究员。

态生成分支,是一个关键难点<sup>[9]</sup>。针对平行仿真下的多分支如何动态选择决策点,本文展开了基于案例推

理的决策点生成策略研究。

表 1 实时多分支推演与离线多分支推演的区别

Tab. 1 The difference between real-time and offline multi-branch inference

	离线多分支推演	实时多分支推演
决策点设定	通过态势回溯确定关键决策点 <sup>[7]</sup> ; 人为设定决策点	人为设定决策点 <sup>[8]</sup> ; 规则遍历动态选取决策点
分支生成	需要对方案涉及的因素进行实验设计,组合成不同的静态方案,进行大样本实验	针对不同的仿真态势信息,系统能够动态生成作战方案
应用场景	战前的方案优选	战前的方案优选;战时的临机决策辅助
与平行仿真的关系	受限于效率,无法直接运用在平行仿真系统中	时效性好,能够应用于平行仿真系统中

## 1 基于案例推理的决策点生成策略

### 1.1 基本思路

决定点是指某个地理位置、特定关键事件、重要因素或职能等,其作用是可使指挥官获得对敌显著优势,或对取得成功有实质性贡献。如何判别当下触发条件是否满足决策分支的要求,关键是找到一条可采纳且有别于原有作战方案的决策作战行动。如何确定复杂多变态势场景存在新的作战方案,是判断决策点生成的核心。当前对决策点的研究分为人为选取和规则触发两类。人为选取决策点,依据于专家经验,能够定位仿真方案中对作战方案潜在的重要分支节点,但受限于效率的制约,不能完全描述平行仿真下的战场态势和作战任务。基于规则的选取决策点,相对于人为选取决策点,能够快速、全面发现潜在决策点,能够对战术级的任务变更有较好的反馈。但战场上的突发事件,包含多类复杂无序的要素信息,具有极强的不确定性,基于规则的决策点筛选方法难以准确、全面地定位态势关键节点。针对要素信息多,态势变化多的战场态势,就需要找到一种能够融合多种要素信息和表征多类不确定性的有别于传统的决策点生成策略,以扩大决策点选取的覆盖面,提高决策点覆盖层级,解决人为选取决策点效率低,规则生成决策点不完备等问题。

出于对上述问题的考虑,同时为了结合两组方法的优势,我们可以通过采用案例推理的方法<sup>[10]</sup>,充分利用专家经验,并结合规则控制,实现在平行仿真下快速生成决策点。经典案例包含多种仿真场景,且有较优的作战结果,能够对新的决策方案提供借鉴和支撑,利用经典案例的作战行为和较好的作战结果,能够找到可信的作战方法,是本研究中采用基于案例推理的

决策行为选取的技术出发点。

### 1.2 生成策略流程

在遍历决策点的可能触发条件的基础上,本文提出了一种基于案例推理、依据价值评判的平行仿真决策点优化生成策略。生成策略根据触发决策点判断时刻的仿真态势信息,提取关键特征属性,通过案例搜索,匹配高相似度案例,并根据相似度大小对不同态势下的决策点分别进行判断,最后依据系统前期确定的阶段性指标和阶段性的仿真态势预判,构建决策点态势价值评估指标,对决策点进行优劣选择,选取有效决策点,以实现多平台协同任务的分支决策。同时,提供规则补充判断,解决案例推理对单平台任务决策描述差的问题,实现在典型场景下的个体平台的决策分支,规则控制生成决策点。最后,将满足价值评估的分支决策记录到案例库中,进行案例补充,提高案例匹配度。具体流程如图 1 所示。

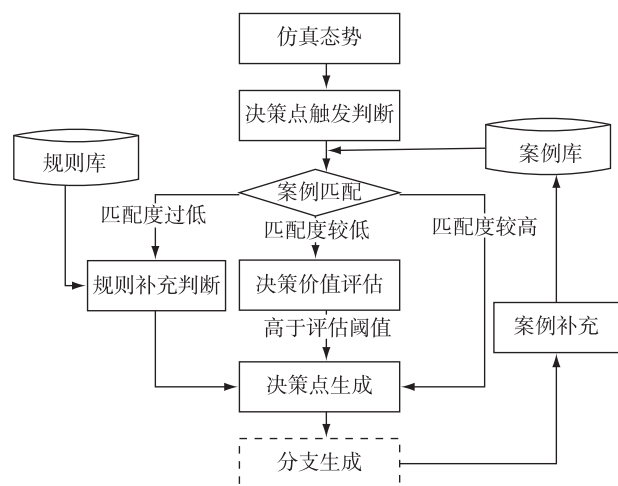


图 1 决策点生成策略流程

Fig. 1 Process of decision point generation strategy

## 2 决策点的初步筛选

### 2.1 决策点触发条件分类

在作战仿真中,决策点特指某一仿真时空节点处,指挥员做出某一特定行动方案的关键决定。确定决策点的触发条件是决策点生成策略的基础步骤,为决策点的生成提供了选取空间。为了保证决策点覆盖范围全面,决策点生成效率高,要求决策点的触发条件覆盖面广,同时具有代表性,能够将突发事件归结为代表性要素。结合作战方案设计,将可能影响决策点触发的条件分解为三个要素:敌情、空间、时间,由此总结出决策点触发条件。

#### 1) 时间要素

与时间要素相关的决策点触发条件主要考虑主次分支的阶段性任务的完成时间节点,以阶段性任务的完成时间节点作为决策点的触发条件,该类决策点的触发,可以决定后续分支的决策内容。

#### 2) 空间要素

与空间要素相关的决策点触发条件,主要考虑作战编队执行任务的目标区域,在实际作战中,存在某些关键区域,能够影响敌我双方的作战效能,若推演过程中存在与这类区域的交集,可能要采纳原有方案之外的决策内容。

#### 3) 敌情要素

与敌情要素相关的决策点触发条件作为战场态势中不确定性的关键要素,也是决策点触发条件中的主要要素。这里主要考虑仿真过程中的态势新事件,如探测到新目标,探测丢失目标,敌我平台损毁等。

因为作战决策复杂性高,决策点的触发条件可能存在部分情况没有覆盖的问题,所以,对于多分支决策点的生成,仍然保留人在回路选取决策点的生成方法,决策点的触发条件如图2所示。

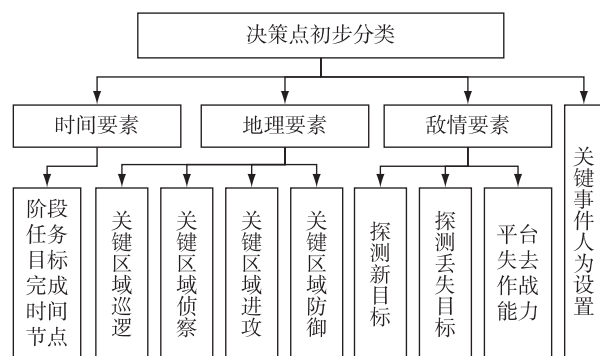


图2 决策点触发条件

Fig. 2 Decision point trigger condition

### 2.2 决策点描述

根据对决策点触发条件的描述,可以知晓在某一个分支方案中,决策点的数量不固定,当决策点数量超过1时,就会产生分支。再结合上节对决策点触发条件的分类,将决策点用多元要素组  $C_p(t, C_1, C_2, C_3, C_4)$  进行描述。其中,  $t$  为仿真时间,  $C_1 \sim C_4$  依次代表时间要素、空间要素、敌情要素特征属性集合和人为设置的规则,并根据决策点触发条件的设定,周期性读取仿真数据,每当有相应要素发生增加或减少的情况,记为触发决策点判断点。

## 3 基于案例推理和规则补充的决策结果预测

初步选取决策点后,错误的决策行为会导致价值评判较低,可能错过某些有效决策点,导致作战方案推演不够全面,无法满足决策多样化的要求。采用基于案例推理的决策行为选取技术,构建决策行为案例库,通过案例检索,快速匹配决策行为,预测对应决策行为结果,实现决策点的价值评判和选取。具体流程如图3所示,筛选作战态势特征属性后,通过计算相似度进行案例检索,快速匹配决策行为,当案例匹配度很高时,可以直接采用匹配案例作战结果作为预测,当案例匹配度较为模糊时,可以通过匹配案例决策方案,进行快速推演,并构建价值函数评判仿真结果,进行筛选。同时,针对案例过少时易遇到各案例匹配度都很低,出现决策点生成可信度不高的问题,一方面借助规则模型,筛选部分典型场景,辅助生成决策点;另一方面,将通过价值评估的模糊匹配度的案例补充进入案例库中,以提高案例匹配度。

### 3.1 规则表示与分支

规则的表示是一种知识的表现形式,采用 if-then 的表示方法能够描述决策条件和决策内容。该方法映射确定性关系,而单平台的决策行为能够以几种固定战术进行描述,通过规则控制决策点生成的方法实现生成单平台分支决策,可以有效解决案例推理生成单平台决策行为效率低的问题。但在作战过程中,决策触发条件和决策内容都具有模糊性,确定性的规则表示固化决策触发条件和结果,存在分支决策不可信的问题。因此,可以借鉴模糊数学的理念<sup>[11]</sup>,对决策触发条件信息进行规范化和模糊化,以战术规则描述决策内容,将规则表示为:

$$\text{if}(C_1(\alpha_1, \beta_1) \wedge C_2(\alpha_2, \beta_2) \wedge C_3(\alpha_3, \beta_3) \wedge C_4) \\ \text{then } R(CF, \tau)$$

其中,  $C_1 \sim C_4$  依次代表时间要素、空间要素、敌情要素特征属性和人为设置规则;  $R$  为决策内容;  $\alpha_i$  为

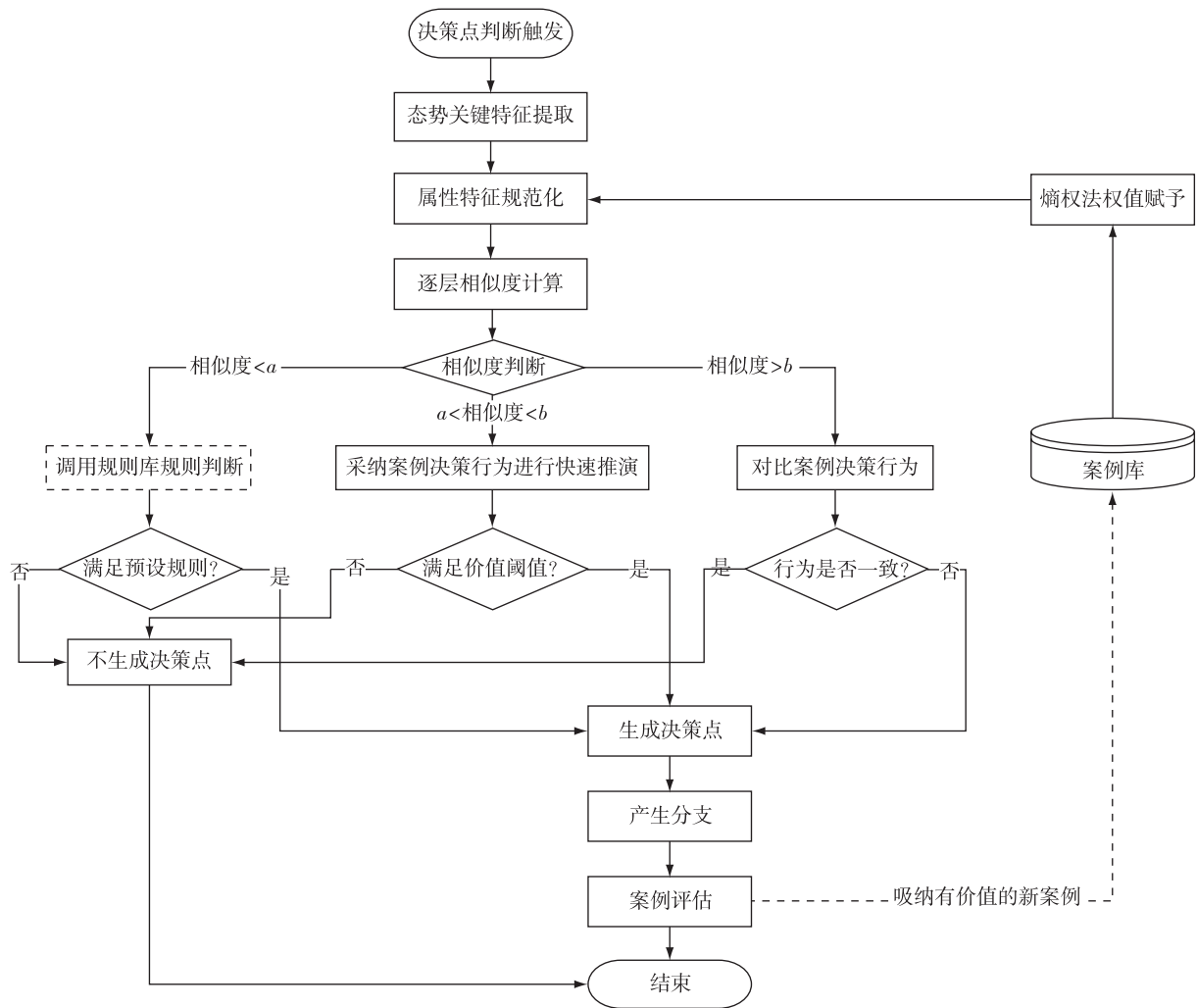


图 3 基于案例推理的决策结果预测流程图

Fig. 3 Decision result prediction flow chart based on case-based reasoning

策触发条件的模糊隶属阈值; $\beta_i$  为各决策触发条件对应权值,且  $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1, \beta_i > 0$ ;  $CF$  为规则的可信度; $\tau$  为规则成立的阈值,常取值 0.5~1。

### 3.2 案例表示方法

案例表示方法的选取涉及案例的解释和调用,框架表示法<sup>[12]</sup>作为经典的案例表示方法,其构建框架与人类决策和思考过程类似,可以清晰地描述案例关键特征,能够较为全面简化地描述复杂的战场态势,同时具备结构化的框架,有利于案例的搜索和调用,因此,本文采用框架表示法表示案例。

本文针对战场临时决策展开研究,选取的特征属性需要既能够简化、概括地描述战场态势,又能和战场决策内容息息相关,保证简化检索过程和案例保存。考虑案例库存在大量案例时,会导致案例匹配的时效性下降,因此,对案例库进行分层优化。编队组成类型对编队决策有至关重要的影响,将案例依据编队类型进行预划分,提高案例匹配效率,如海空作战、舰艇反

潜作战等。在此基础上,分析了经典场景下的想定方案,结合作战任务的指标评估,依据专家意见,定义案例表示模板为  $case(D, S, R)$ ,其中,  $D$  为应急事件基础信息的数据集;  $S$  为决策处置信息的数据集;  $R$  为事件结果信息的数据集。针对海空作战场景,总结出多个特征属性作为描述战场决策的特征属性,并对其进行部分量化处理,具体见表 2。

### 3.3 案例匹配算法

常用的相似度计算方法有最近相邻法、归纳推理法、知识引导法等<sup>[13]</sup>。本文采用经典的最近相邻算法,并结合熵权法,确定特征权重。关键步骤具体如下:

1) 在进入决策点判断流程后,选取敌我双方的编队平台类型构成、作战能力、相对距离等特征属性,并对部分参数进行标准化和归一化,记录当前态势信息为  $X(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ,其中  $x_i$  为第  $i$  个特征属性值;

2) 对案例库进行案例匹配,计算特征属性局部相似度  $sim(x_i, y_i)$ ,其中,  $x_i$  为当前态势第  $i$  个特征属性,  $y_i$  为历史案例第  $i$  个特征属性。对不同类别的特征属性

进行归一化,以编队大型平台数量和规模属性为例,两者分别是数值型和枚举型的特征属性,其中,  $m$  为当前特征的类型总数。

$$Sim(x_i, y_i) = 1 - \left| \frac{x_i - y_i}{\max(i) - \min(i)} \right| \quad (1)$$

$$Sim(x_i, y_i) = 1 - \left| \frac{x_i - y_i}{m} \right| \quad (2)$$

表2 部分特征属性展示

Tab. 2 Shows part of the feature attributes

数据集	槽	侧面	侧面描述	值的类型
事件基础信息数据集 $D$	我方编队	大型平台数量	舰艇、飞机、潜艇等平台数量	数值型
		构成类型	舰艇编队,舰艇飞机组合编队,飞机编队,飞机地面编队,地面编队,舰潜部队,潜艇编队	无序枚举型
		对敌编队作战能力	强,中,弱	有序枚举型
	敌方编队	能否进攻敌编队	敌方是否处于进攻范围	布尔型
		大型平台数量	舰艇、飞机、潜艇等平台数量	数值型
		构成类型	舰艇编队,舰艇飞机组合编队,飞机编队,飞机地面编队,地面编队	无序枚举型
决策处置信息数据集 $S$	相对作战距离	对敌编队作战能力	强,较强,中,较弱,弱	有序枚举型
		能否进攻敌编队	处于进攻范围,距离进攻范围较近,距离进攻范围较远,无法进攻	有序枚举型
		距离	近,较近,中,较远,远	有序枚举型
	机动行为	行为方式	固定位置,向编队迫近,远离敌编队,保持原动作	无序枚举型
		战术决策	自主进攻,自主防御,区域巡逻,伴舰/机跟踪	无序枚举型
		我方平台损毁	损毁数量	平台损毁数量
事件结果信息的数据集 $R$	敌方平台损毁	损毁数量	平台损毁数量	数值型
	任务时间内完成	是否在阶段时间内完成任务指标	是否在预设时间内完成目标	布尔型
	阶段指标完成度	指标完成度	差,及格,一般,良好,优秀	有序枚举型

3) 利用熵权法计算每个特征属性的权值<sup>[14]</sup>,首先根据式(3)对局部相似度标准化,获得特征属性相似度标准值  $Q_i$ ,再通过式(4) 计算对应特征属性熵值,最后代入式(5) 计算得出对应权值  $\omega_i$ :

$$Q_i = \frac{Sim(x_i, y_i)}{\sum_i^m Sim(x_i, y_i)} \quad (3)$$

$$e_i = -(\ln m)^{-1} * \sum_{j=1}^m Q_j \ln Q_j \quad (4)$$

$$\omega_i = \frac{1 - e_i}{n - \sum_i^n e_i} \quad (5)$$

4) 计算全局相似度,通过上述步骤,得到每个特征的局部相似度  $Sim(x_i, y_i)$  和对应权值  $\omega_i$ ,通过累加得到每个历史案例的全局相似度  $SIM(X, Y)$ :

$$SIM(X, Y) = \sum_i^n \omega_i * Sim(x_i, y_i) \quad (6)$$

### 3.4 价值评估与案例补充

针对案例库案例较少时,容易导致各案例匹配度都很低,出现决策点生成可信度不高的问题,案例库需要有选择地补充高效案例。为此设计了相应的价值评估函数和流程实现对案例及决策点的评估,具体如下:

1) 当  $SIM(X, Y) < a$  时,说明案例首次出现,对于未来的决策有借鉴意义,需要将其纳入案例库中;

2) 当  $a < SIM(X, Y) < b$  时,无法直观评价匹配案例的优劣,需要通过快速推演,对作战结果进行评估,对此定义了决策点价值评估函数,由双方的相对毁伤比和阶段任务完成度构成:

$$DPV = \beta_1 LR_{ix} + \beta_2 LR_{iy} + \beta_3 RLR + \beta_4 T_{ix} \quad (7)$$

$$F_k = \sum_{l=1}^n w_l * D_l + Z_l \quad (8)$$

$$F = \sum_{k=1}^m F_k \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{aligned} LR_{ix} &= \frac{F_{ixl}}{F_{ix}} \\ LR_{iy} &= \frac{F_{iyl}}{F_{iy}} \\ RLR &= \frac{LR_{iy}}{LR_{ix}} \\ T_{ix} &= \sum_{r=1}^t w_r * t_{ixr} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

式中,  $\beta_1 \sim \beta_4$  分别为各指标函数权值,通过专家经验,定义对应数值;  $F_k$  为第  $k$  种作战单元的战斗实力;  $w_l$

为第  $l$  类武器;  $D_l$  为第  $l$  类武器的火力指数;  $n$  为携带武器种类数量;  $Z_l$  为特殊因素带来的影响; 式(9) 计算了某一编队的作战实力, 结合式(9) 和推演后留存和损毁的作战实力概念给出红蓝双方剩余作战实力  $F_{ix}$ 、 $F_{iy}$  和歼灭作战实力  $F_{ixl}$ 、 $F_{iy}$ , 并以此设置红方、蓝方相对毁伤率  $LR_{ix}$ 、 $LR_{iy}$  以及双方相对毁伤率  $RLR$ ;  $T_{ix}$  为设置的阶段指标完成度,  $w_r$  为第  $r$  指标权值,  $t_{ixr}$  为第  $r$  指标完成度,  $t$  为指标总数。

通过仿真快速预测决策行为结果, 收集相关数据, 根据式(7)~(10) 计算案例价值, 若预测结果价值高于原案例决策结果, 则采纳当前分支行为, 确定生成决策点, 同时对本案例库匹配案例价值, 择优录入案例库。

### 4 应用实例

本文以四艘舰艇在指定区域巡逻发现敌方潜艇为例。我方各舰艇分别携带 2 枚远程鱼雷和 2 枚远程鱼

雷, 敌方携带 4 枚远程鱼雷, 设置阻拦敌方到达目标区域和敌方潜艇损毁率为主要指标。想定设定四艘舰艇执行巡逻计划, 遭遇敌方潜艇后, 将直接进行火力压制, 以击毁或逼退敌方潜艇为任务目标。敌方潜艇采用智能体操控行为, 具有规避、打击、逃跑、投放诱饵等多类行为。这里提供三组案例数据进行说明。

在仿真进行到某一时刻时, 舰艇编队发现敌方潜艇, 决策点集合  $C_p$  中敌情因素发生变化, 开始对决策点生成进行判断, 收集当前态势的特征属性信息, 得到事件基础信息数据集  $D$  (舰艇编队, 3, 中, 处于进攻范围, 潜艇编队, 1, 弱, 不处于进攻范围, 较近)。以两个基础案例为例, 相关数据见表 3。

根据式(1)~(2) 计算特征属性相似度, 然后根据式(3)~(5) 计算对应权值, 最后计算总相似度, 相关数据见表 4。

表 3 案例相关信息

Tab. 3 Information related to the case

		当前态势	案例 1	案例 2		
事件基础信息数据集 $D$	我方编队	大型平台数量	4	6	3	
		构成类型	舰艇编队	舰艇编队	舰艇编队	
		对敌编队作战能力	中	强	较弱	
		能否进攻敌编队	处于进攻范围	距离进攻范围较近	距离进攻范围较近	
		大型平台数量	1	3	1	
		构成类型	潜艇编队	舰艇编队	潜艇编队	
		对敌编队作战能力	弱	中	弱	
决策处置信息数据集 $S$	敌方编队	能否进攻敌编队	不处于进攻范围	不处于进攻范围	不处于进攻范围	
		相对作战距离	距离	较近	中等	中等
		机动行为	行为方式	在指定区域巡逻	向发现目标跟进	对目标跟进, .....实行包围
		战术决策	战术目的	自主攻击进入区域内的敌方目标	部分舰艇追踪目标, 进行驱逐	待舰艇实现包围, 开始火力打击

表 4  $C_p$  决策点判断时特征属性及总相似度

Tab. 4 Feature attributes and total similarity of  $C_p$  decision points

案例	特征属性相似度										总相似度
案例 1	0.333	1.0	0.6	0.8	0	0.143	0.6	1	0.8	0.0897	
案例 2	0.667	1.0	0.8	0.8	1	1	1	1	0.8	0.983	

因为案例 2 的相似度超过设定阈值, 且采纳新的决策行为, 无需进行价值评估, 所以当前时刻判断可以直接作为决策点, 以生成对应分支, 进行推演。分支树如图 4 所示。

在主分支中, 三艘舰艇在发现敌方潜艇进入射程后, 采取直接进攻手段, 各自发射 2 枚远程鱼雷, 而敌

方潜艇在发现红方远程鱼雷后, 放下诱饵诱导红方远程鱼雷进攻, 并发射 2 枚鱼雷进行拦截, 被击中一枚鱼雷后迅速向右后方退后隐藏, 我方舰艇很快丢失敌方目标, 而敌方潜艇之后一段时间通过逃避我方侦察范围, 成功突破目标区域。

在分支 2 中, 我方舰艇编队采用包围策略, 其中一

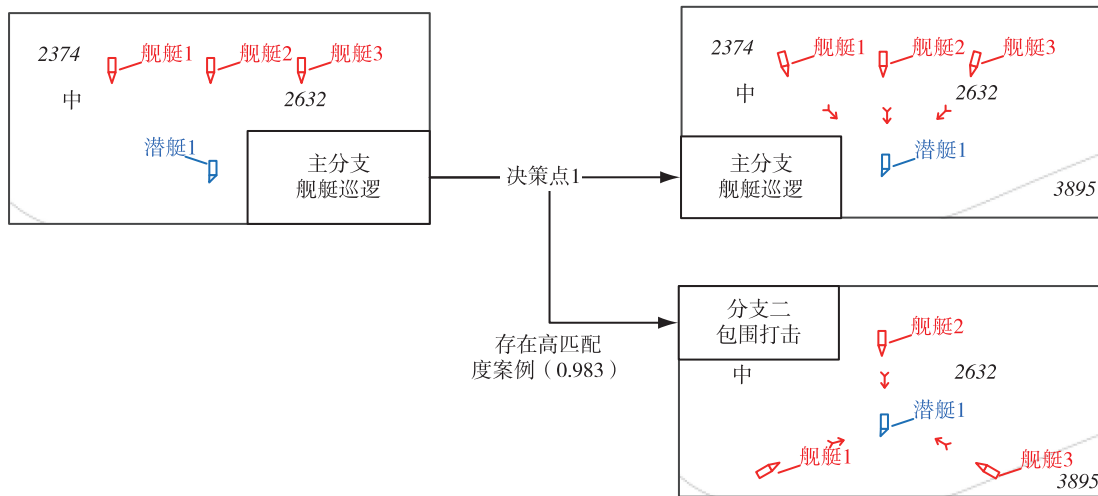


图4 主次分支示意图

Fig. 4 Schematic diagram of primary and secondary branches

舰艇原地侦察目标潜艇,另外两艘舰艇关闭传感器向目标潜艇包围。在形成包围圈后,各对目标发射1枚远程鱼雷,敌方舰艇发现红方远程鱼雷后,通过释放诱饵、发射红方远程鱼雷(1枚)、自行规避等行为躲避射击后,向右后方隐退,但是时刻在包围圈内,最终突破无果,我方完成任务目标。

根据式(7)~(10),计算两个分支价值,取 $\beta_1 \sim \beta_3$ 为0.15, $\beta_4$ 为0.55,忽略特殊因素,取 $Z$ 为0,红方权值 $w_1$ 分别为0.5, $D_1$ (近程鱼雷)为1.5, $D_2$ (远程鱼雷)为1;蓝方 $w_1$ 为1, $D_1$ 为1.5,并设置任务完成度中的权值 $w_1$ 为0.8, $w_2$ 为0.2。计算出红方、蓝方相对毁伤率 $LR_{ix}$ 、 $LR_{iy}$ ,双方相对毁伤率 $RLR$ 和任务完成度 $T_{ix}$ ,求出最终价值 $DPV$ 进行对比,具体数值见表5。可得分支2效果优于主分支,采取后提高了分支可信度。

表5 主次分支价值对比表

Tab. 5 Comparison of primary and secondary branch values

分支	$LR_{ix}$	$LR_{iy}$	$RLR$	$T_{ix}$	总价值 $DPV$
主分支	0.667	1.0	1.5	0.06	0.508
分支2	0.25	0.333	1.333	0.8	0.727 5

同时,传统的态势回溯选取决策点的方法是在推演结果分析基础上实现的,时间耗度很大,本文的方法在推演过程中实现决定点的生成判断,提高了决策点的生成效率。

### 5 结束语

本文研究了面向平行仿真的多分支决策点生成策略方法。相对于传统的人在回路选取决策点和规则生成决策点策略,本方法根据经典案例具备完整的作战

行为和优秀的作战结果,能够支撑找到可信的作战方案,保证了决策点生成的可信性和时效性。同时,基于案例推理的决策点生成策略能够较好地描述复杂的协同作战任务,解决了规则难以对战役级任务描述的问题,为在平行仿真推演系统中生成战役级任务的分支提供了一种实现思路。

### 参考文献:

[1] 吴章华,曹志敏,贾贞. 基于实时态势的作战仿真推演技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(1): 93-97.  
 WU Z H, CAO Z M, JIA Z. Investigation on warfare simulation and deduction technology based on real-time situation[J]. Command Control & Simulation, 2018, 40(1): 93-97.

[2] 窦林涛,初阳,周玉芳,等. 平行仿真技术在指控系统中的应用构想[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(1): 62-69.  
 DOU L T, CHU Y, ZHOU Y F, et al. Conception of the application of parallel simulation technology in command and control system[J]. Command Control & Simulation, 2017, 39(1): 62-69.

[3] 沈良,李微. 海上作战计划推演评估系统设计与应用[J]. 指挥信息系统与技术, 2020, 11(2): 89-93.  
 SHEN L, LI W. Design and application of maritime operational scheme deduction and evaluation system[J]. Command Information System and Technology, 2020, 11(2): 89-93.

[4] 金欣,周芳,李青山. 多分支作战推演——一种面向不确定性的分析工具[C]//2019第七届中国指挥控制大会论文集. 北京, 2019: 614-620.

- JIN X, ZHOU F, LI Q S. Multi branch operational exercises—an analysis tool for uncertainty[C]//Proceedings of the 7th China Command and Control Conference in 2019. Beijing, 2019:614-620.
- [5] 王春雷, 李业军, 王成. 美军“决策点”术语分析及运用研究[J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44(2): 126-129. WANG C L, LI Y J, WANG C. Analysis and application research on the decision point term of U. S. armed forces [J]. Command Control & Simulation, 2022, 44(2): 126-129.
- [6] DDDAS Workshop Report.NSF sponsored workshop on dynamic data driven applications systems [EB/OL]. (2006-1-19).<http://www.cise.nsf.gov/dddas>.
- [7] 王永利, 谢科, 景欣然, 等. 态势回溯关键技术[J]. 指挥信息系统与技术, 2022, 13(1): 1-6, 21. WANG Y L, XIE K, JING X R, et al. Key technologies on situation backtracking [J]. Command Information System and Technology, 2022, 13(1): 1-6, 21.
- [8] 曹占广, 于屏岗, 王阔. 基于决策点控制的作战方案并行仿真[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 669-676. CAO Z G, YU P G, WANG K. Paralleling simulation of operation plan based on decision point controlling [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 669-676.
- [9] 周芳, 丁冉, 程文迪, 等. 情报数据驱动的平行仿真实体模型动态匹配方法[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4(1): 50-58. ZHOU F, DING R, CHENG W D, et al. A dynamic matching method of parallel simulation entity models based on intelligence data-driven [J]. Journal of Command and Control, 2018, 4(1): 50-58.
- [10] 吴文芊. 基于 CBR 的铁路隧道工程措施方案决策研究 [J]. 四川建筑, 2022, 42(1): 121-124.
- WU W Q. Research on CBR-based decision-making of railway tunnel engineering measures [J]. Sichuan Architecture, 2022, 42(1): 121-124.
- [11] 胡中豫, 申涛, 李高峰, 等. 基于案例与规则推理的干扰查找专家系统 [J]. 计算机工程, 2009, 35(18): 185-187, 190. HU Z Y, SHEN T, LI G F, et al. Interference finding expert system based on case reasoning and rule reasoning [J]. Computer Engineering, 2009, 35(18): 185-187, 190.
- [12] 张国军, 李浩, 凌云翔. 基于案例推理的地震应急救援决策方法 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(4): 60-64. ZHANG G J, LI H, LING Y X. Earthquake emergency rescue decision research based on case-based reasoning [J]. Fire Control & Command Control, 2019, 44(4): 60-64.
- [13] 谢丽敏. 基于 KNN 的居民地案例推理选取及优化模型 [D]. 郑州: 战略支援部队信息工程大学, 2018. XIE L M. Research on residents selection and optimization model based on KNN and case-based reasoning [D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2018.
- [14] 陈森, 王振北, 刘龙严, 等. 城镇降雨径流污染控制典型工程案例绩效评估 [J]. 净水技术, 2021, 40(11): 84-89, 120. CHEN M, WANG Z B, LIU L Y, et al. Performance evaluation of urban rainfall runoff pollution control for typical project cases [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(11): 84-89, 120.

(责任编辑:张培培)