

1-2-2019

Dynamic Decision-Making Modeling for Army Operation Command Post Entity

Kang Kai

1. The Institute of Command Information System in PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;;

Yongliang Zhang

1. The Institute of Command Information System in PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;;

Chenxi Li

1. The Institute of Command Information System in PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;;

Jintang Pan

2. The Troop of 73906 PLA, Nanjing 210007,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.

Dynamic Decision-Making Modeling for Army Operation Command Post Entity

Abstract

Abstract: The paper presents a modeling method of dynamic decision-making for army operation command post entity based on the Bayesian Net (BN) to meet the demands of demonstrating the operational blue print and evaluating the plan with the support of subject matter experts and military rules. The method brings about the structured description for the decision-making rules, builds the BN model for battlefield situation, and actualizes the situation estimation based on the model of BN reasoning. Therefore it gives the reasonable analysis, the in-depth understanding and right dynamic estimation to the land battlefield dynamic situation, which embodies the complexity and self-adaptability of the joint operation. It provides a better solution to solve the dynamic decision-making modeling problem of the army operation command post entity.

Keywords

army operation, command post entity, modeling of dynamic decision making, Bayesian Net

Recommended Citation

Kang Kai, Zhang Yongliang, Li Chenxi, Pan Jintang. Dynamic Decision-Making Modeling for Army Operation Command Post Entity[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(2): 398-405.

陆军作战指挥实体动态决策建模问题研究

康凯¹, 张永亮¹, 李晨溪¹, 潘金堂²

(1. 解放军理工大学指挥信息系统学院, 江苏 南京 210007; 2. 解放军 73906 部队, 江苏 南京 210007)

摘要: 为满足现代战争陆军各级各类指挥所开展方案模拟论证与计划仿真评估的需要, 在领域专家经验以及军事规则的支持下, 提出了一种基于动态贝叶斯网络的指挥实体动态决策建模方法。通过对动态决策规则的结构化描述, 构建了陆战场态势的动态贝叶斯网络模型, 基于贝叶斯网络推理模型进行态势相关估计, 实现对陆战场的实时变化态势动态分析、理解与判断, 可以较好地体现作战系统的复杂自适应的特性, 为解决陆军指挥实体动态决策建模问题提供了一种较好的解决办法。

关键词: 陆军作战; 指挥实体; 动态决策建模; 贝叶斯网络

中图分类号: TP391.9; E211 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 02-0398-08
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201802004

Dynamic Decision-Making Modeling for Army Operation Command Post Entity

Kang Kai¹, Zhang Yongliang¹, Li Chenxi¹, Pan Jintang²(1. The Institute of Command Information System in PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China;
2. The Troop of 73906 PLA, Nanjing 210007, China)

Abstract: The paper presents a modeling method of dynamic decision-making for army operation command post entity based on the Bayesian Net (BN) to meet the demands of demonstrating the operational blue print and evaluating the plan with the support of subject matter experts and military rules. The method brings about the structured description for the decision-making rules, builds the BN model for battlefield situation, and actualizes the situation estimation based on the model of BN reasoning. Therefore it gives the reasonable analysis, the in-depth understanding and right dynamic estimation to the land battlefield dynamic situation, which embodies the complexity and self-adaptability of the joint operation. It provides a better solution to solve the dynamic decision-making modeling problem of the army operation command post entity.

Keywords: army operation; command post entity; modeling of dynamic decision making; Bayesian Net

引言

信息化条件下的联合作战, 指挥实体动态决策是在敌情和战场环境不十分明了、充满诸多不确定性因素的情况下进行的。因而, 在作战仿真中, 动态决策模型需要量化的不确定性因素无疑

是最多的, 也是最复杂的^[1]。在联合作战方案论证与评估中, 指挥决策模型是指挥实体行为模型中最复杂的一类使命空间模型, 一般需要定量与定性相结合的方法加以分析。

贝叶斯网络是人工智能领域中得到成熟发展的不确定知识表示方法, 是一种有效的不确定推理方法。贝叶斯网络具有坚实的理论基础, 已应用于诸多领域。贝叶斯网络现有研究主要集中于:
①网络推理方法研究。②贝叶斯网络应用研究。
③动态贝叶斯网络研究。



收稿日期: 2015-12-23 修回日期: 2016-03-15;
基金项目: 国家自然科学基金(61174198), 国家自然科学基金联合基金(U1435218), 江苏省自然科学基金(BK20140065), 江苏省工程技术研究中心(BM2014391);
作者简介: 康凯(1986-), 男, 山东, 硕士生, 助教, 研究方向为社会公共安全。

<http://www.china-simulation.com>

本文提出基于动态贝叶斯网络的动态决策建模方法,试图为解决陆军各级各类指挥所的动态决策问题提供一种可资借鉴的思路。

1 陆军作战指挥实体动态决策行为分析

作战方案仿真推演中,指挥实体是对具有指挥与控制功能的指挥员和指挥机构的抽象表达,具有一般物理属性,以及开展指挥勤务活动和实施指挥决策行为的能力,但不具备行动实体直接攻击对方的能力^[2]。陆军指挥实体指挥决策模型,是在特定使命空间中对指挥实体决策过程及结果的抽象描述,主要用来表达指挥实体任务理解、态势分析、条件判断及决策结果等内容,用以对陆军作战方案和计划实施“人不在回路”的仿真推演,满足联合战役指挥部和陆军各级各类指挥所,进行方案与计划模拟论证和仿真评估的需要。

为满足陆军不同级别作战方案与计划模拟论证的需要,可以将指挥实体决策行为模型分为两种类型:静态决策与动态决策,分别对应于筹划与组织作战行动阶段、控制与协调作战行动阶段的指挥决策活动,其基本过程描述如图1。静态决策是在组织战役战斗阶段的自动决策,是指在作战筹划阶段,指挥决策实体,基于已有敌情、

我情、上级任务及战场情况,分析判断情况、定下行动决心并形成作战命令的过程。动态决策是指在战役战斗实施阶段中的自动决策,是指决策实体在作战实施过程中,依据静态决策的结果和战场实时态势,对所属兵力实体的编组、配置和任务区分做出的实时调整或改变的过程。论文研究的动态决策问题即指后者。

2 基于贝叶斯网络的动态决策建模

2.1 动态决策问题分析及建模思路

指挥实体动态决策过程形式化描述为 $P(H|K,S)$:表示在已有军事领域知识 $K=\{K1,K2,K3,\dots,Km\}$ 和当前实时数据信息 $S=\{S1,S2,S3,\dots,Sn\}$ 情况下得到态势 $H=\{H1,H2,H3,\dots,Hp\}$ 假设结果^[3]。

对于这类需要对不确定性、不完全战场态势信息进行估计的动态决策问题,采用贝叶斯网络(Bayesian Network, BN)技术^[4-5]建立战场事件的概率模型,将多个作战实体在不同战场态势层次进行连接,从而构造、演化一个对陆战场态势能够进行感知、推理、预测的贝叶斯网络模型,是一种比较有效的战场态势估计的建模方法。

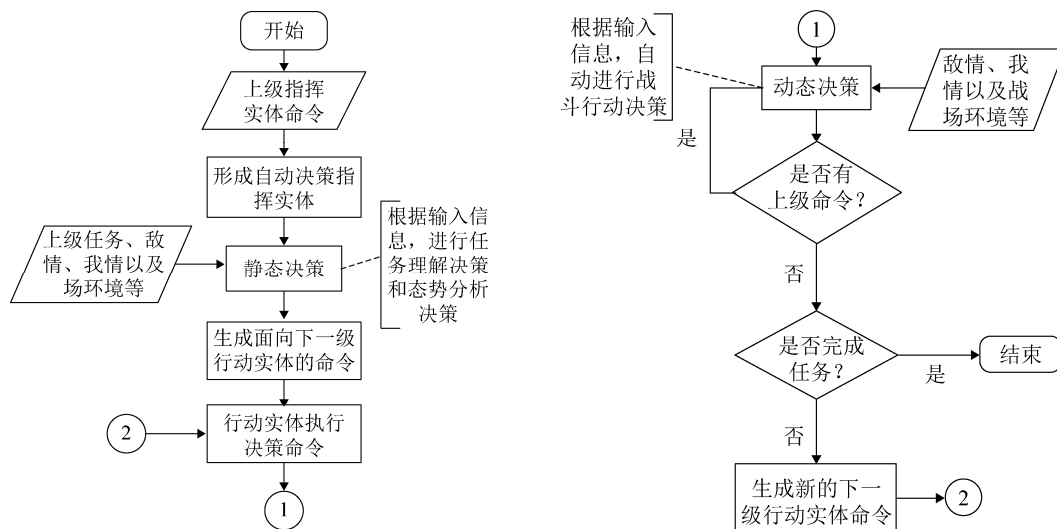


图1 陆军作战指挥实体自动决策的基本过程

Fig. 1 Basic process of the Army's combat command entity's automatic decision-making

2.2 动态决策规则的结构化描述

2.2.1 构造结构化的战场态势表

在动态决策过程中，建立态势表的关键在于态势特征的选取和量化，以及态势与态势特征的对应关系^[3]。陆军作战指挥实体动态决策概念模型，描述了进攻、防御战斗中组成战场综合态势的几种关键性因素，如任务完成程度、敌情、我情及地形条件等，对应建立起的陆军作战态势表见表 1。

2.2.2 建立动态决策命令表

从战场态势到生成动态决策命令的过程，是对人类思维过程的模拟，见图 2。一般而言，方案推演中根据作战领域知识建立陆战场态势特征与其态势的对应关系，进而在指挥决策动态决策规则支持下形成对当前态势的分类识别，最终得到相应行动决策命令。相对于静态决策模型得到的一组兵力部署命令集，动态决策最终形成的决策命令通常表现为个别行动决策命令，用以驱动相应行动实体完

成作战任务。从态势特征集合到态势空间集合，再到决策命令的映射关系是整个动态建模的核心，论文将在后续动态决策建模中给出相应的解决办法。

2.3 基于贝叶斯网络的动态决策模型

2.3.1 贝叶斯网络推理模型

贝叶斯网络(BN)是基于概率分析和图论的一种不确定性知识的表示和推理模型，利用变量之间的条件独立性大大减少了定义全联合概率分布所需的概率数目，在不确定性推理和决策问题中得到广泛应用^[4]。贝叶斯网络的每个节点表示一个随机变量，具有因果关系的节点之间用箭头相连，节点之间的关系使用条件概率表来描述。由给定节点的先验概率和条件概率可以得到各个节点的状态概率，以实现沿有向边按照条件进行概率传播，从而完成整个贝叶斯网络推理。贝叶斯网络利用变量之间的条件独立性，将联合分布分解为几个局部分布的乘积：

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_i P(x_i | pa_i)。$$

表 1 进攻战斗中陆军作战态势表描述实例
Tab. 1 Examples of army operational situation charts in offensive fighting

态势	态势特征						
	任务完成程度	敌战斗力指数	我方战斗力指数	地形通程度	地形防守情况	障碍状况	工事状况
态势 1	100	20	60	40	80	60	80
态势 2	80	80	80	30	50	70	60
.....							
态势 n	10	100	100	50	20	80	30

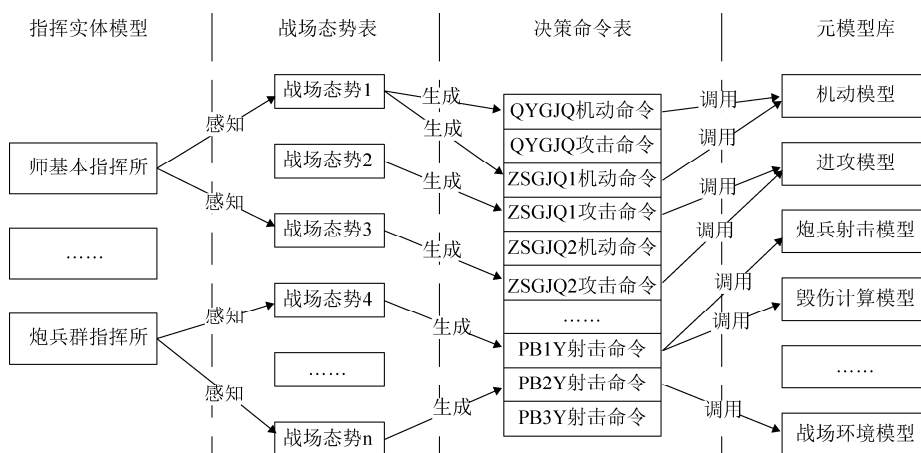


图 2 指挥实体从感知战场态势到生成动态决策命令的过程描述示例

Fig. 2 Process of an entity from perceiving the battlefield situation to generating a dynamic decision order

动态贝叶斯网络(DBN)是对静态贝叶斯网络在时间轴上的扩展,用来描述一个随时间而改变和演化的系统模型。动态贝叶斯网络是由 T 个隐含状态变量 $\mathbf{X} = \{x_0, x_1, \dots, x_{T-1}\}$ 序列的概率分布函数与 T 个观测变量 $\mathbf{Y} = \{y_0, y_1, \dots, y_{T-1}\}$ 的序列构成的, T 是所调查事件的时间界。它可用如下形式进行描述,即

$$P(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) = \prod_{i=1}^{T-1} p(x_i | x_{i-1}) \prod_{i=0}^{T-1} p(y_i | x_i) P(x_0)$$

(1) $p(x_i | x_{i-1})$ 指的是在不同时间片上的状态之间的概率函数。

(2) $p(y_i | x_i)$ 指的是在同一时间片上各个节点的概率函数。

(3) $P(x_0)$ 指的是在过程开始时的初始状态。

2.3.2 陆军战术部队指挥所动态决策中贝叶斯网络模型

运用 BN 进行动陆战场态势决策态势推理与预测时,需要解决两个关键问题:战场态势要素特征的提取和领域知识的获取,它们共同决定着 BN 网络的结构。由于态势要素增多时,网络结构的复杂度成倍增加,因而,在动态决策态势估计中首先依赖军事专家的领域知识进行必要的网络修改。陆战场态势估计过程中,合理选取反映战场态势的特征,并依据领域知识构建特征间的关联关系,进而构建起反映战场态势 BN 模型。其过程可分以下 3 个步骤展开:

一是确定反映战场态势的节点。BN 中的节点对应于反映战场态势的组成元素,即不同状态的战场事件,因而,首先须确定战场态势中有哪些事件发生。依据陆军作战指挥相关领域知识,可以将陆战场态势分为 4 个层次来表达:

第一层次应是指挥员首要关注的全局态势事件,表示指挥员对整个作战态势的总体分析与判断,可以认为是 H 节点。

第二层次是能够直接反映全局态势的诸多战场事件,依据动态决策概念模型中“元动作”描述组成要素的分析,可以初步确定第二层次的子态势事件

包括:任务完成程度、敌实力状况、我实力状况、地形条件、障碍状况、工事状况、气象条件等。显然,相应子态势组成了全局状态。针对不同的作战样式,相应子态势事件应有所不同,如进攻战斗中应分析我进攻能力状况、敌防守能力状况,以及地形通行程度、敌工事坚固状况等。

第三层次应是作战行动事件,如进攻战斗中的任务完成程度的子节点事件可以包括第一梯队左翼突击群攻击、第一梯队右翼突击群攻击、第二梯队攻击等。

第四层次是更小粒度仿真实体的作战行动事件,如第一梯队突击群攻击下的第一梯队左翼营攻击、第一梯队右翼营机动等。总体来看,动态决策中 BN 层次和节点的划分可以根据作战方案模拟论证的需求和仿真粒度来确定。

二是确定战场态势节点间的关系。确定了节点,并在军事领域专家的指导下建立节点间的关联关系,就可确定 BN 的结构。战场作战事件之间有着较强的因果关系,如第二层的第一梯队左翼突击群攻击、第一梯队右翼突击群攻击等事件是师指挥所判断任务完成程度的依据所在,通过类似的分析可得到其他节点间的关系。对整个态势节点间复杂依赖关系的分析涉及大量的军事知识,需要技术人员和军事人员相互配合共同完成。

三是确定陆战场态势节点的初始概率分布。确定节点概率分布是为了计算每个节点的状态概率提供数据。进行概率分配计算有两种情况:对没有父节点的顶层事件由军事领域专家指定其先验概率 $P(E_i)$;对有关父节点的事件指定其条件概率 $P(E_i / Pa(E_i))$ 。

由于不同层次、不同使命任务、不同作战样式的力量编成与部署是不同的,因而不可能有通用的 BN 结构来描述复杂多变性的战场态势。某机步旅在集团军编成内,配属陆航、电子对抗等力量,运用群队式兵力部署,编成前沿攻击群、纵深攻击群、炮兵群、空中火力突击队、特种战斗队等力量,保障集团军纵深攻击力量及时加入战斗。以陆军某师对防御之敌进攻战斗为例,给

出某师指挥所动态决策过程中战术态势估计模型。根据战场态势特征间的因果关系，在军事专家的指导下建立师进攻战斗群队式部署时的部分战场态势 BN 结构，如图 3。

动态决策过程中，作战事件节点包括多种状态。图 3 中，圆形节点表示态势节点：OAS 表示全局态势；TE, MY, EN, TA, OB, WO, ME 分别代表地形条件、我方进攻能力、敌方防守能力、任务完成程度、障碍通行状况、工事坚固程度和气象状况；PA, DE, QYQC, ZSQC, PBQC, QYQD, ZSQD, PBQD 分别代表地形通行状况(有利、不利)、地形防守状况(有利、不利)、前沿攻击群作战能力状况(有、无)、纵深攻击群作战能力状况

(有、无)、炮兵群战斗力状况(有、无)以及它们的任务完成程度(完成、未完成)；OB, WO, ME 分别代表障碍状况(能通行、不能通行)、工事状况(坚固、不强固)以及天气情况(有利、不利)。方形节点表示作战事件节点：1LEYC, 1RIYC, 2TDYC, LEYD, RIYD, 2TDYC 分别代表：前沿攻击群编成的第一梯队左翼营作战能力状况(有、无)、第一梯队右翼营作战能力状况(有、无)及它们任务完成程度(完成、未完成)。

在此基础上，精简部分节点，得到师进攻战斗全局战场态势的 BN 模型，具体节点信息见表 2。同时还须为各节点进行概率分配，本文采用军事领域专家根据经验给出的结果作为节点条件概率。

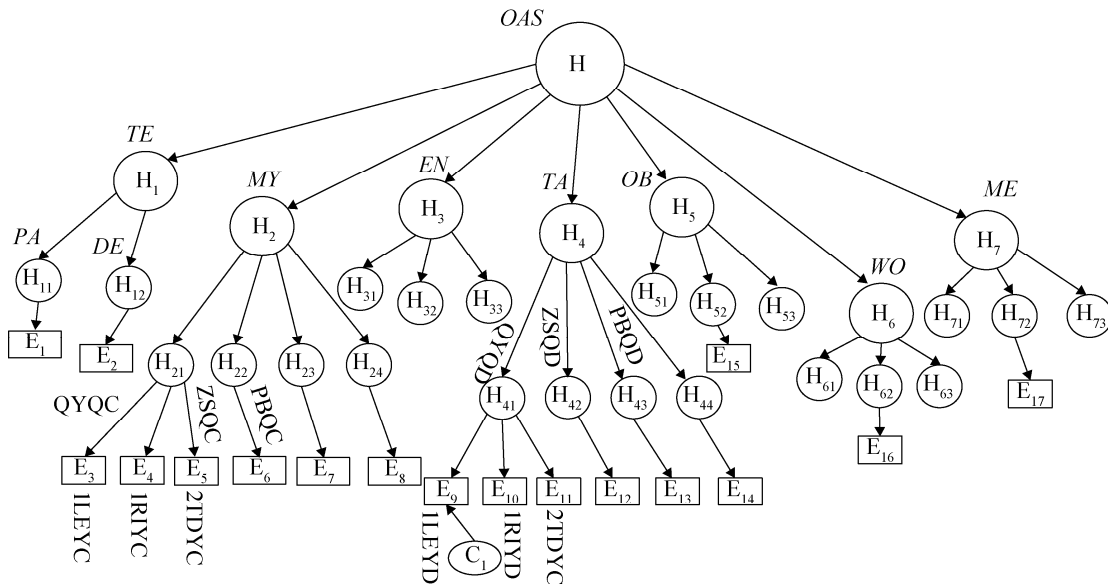


图 3 进攻战斗中师指挥实体战术态势估计的 BN 模型(部分)

Fig. 3 The BN model (partial) of tactical situation estimation of attacking commander's commanding entity

表 2 态势节点信息

Tab. 2 Situation node information

一级节点	二级节点	三级节点
全局态势(OAS)	我方进攻强度(MY)	QYQC 前沿攻击群作战任务完成程度(完成、未完成)
		ZSQD 纵深攻击群作战任务完成程度(完成、未完成)
		JJZDD 联合火力打击任务完成程度(完成、未完成)
全局态势(OAS)	我方进攻强度(MY)	QYQC 前沿攻击群作战强度(强, 弱)
		ZSQD 纵深攻击群作战强度(强, 弱)
		JJZDD 联合火力打击强度(强, 弱)
全局态势(OAS)	敌方防守能力(EN)	左翼前沿防守状况(强固、弱)
		中央突破口防守状况(强固、弱)
		右翼前沿防守状况(强固、弱)

根据对模型的描述, 本文使用 Netica 软件构建机步旅进攻战斗全局战场态势的动态贝叶斯贝叶斯网络。Netica 软件以联合树推理算法^[6]作为技术平台, 将根节点概率分布及子节点条件概率输入软件后, 运用该算法进行推理。静态贝叶斯网络模型结构如图 4 所示, 对应的在时间片上进行扩展的动态贝叶斯网络模型结构如图 5 所示。本文采用军事领域专家根据经验给出的结果作为节点的条件概率, 部分节点的条件概率和相邻时刻的条件转移概率如表 3~6 所示。

作战想定: 假设战前机步旅指挥所向敌后派出某特战侦察连, 通过多种手段侦察与综合研

判, 得出在我机步旅实施纵深攻击阶段以下三个相邻时刻的研判数据, 如表 7 所示。

表 8 给出了动态贝叶斯网络模型仿真下 3 个时刻各个状态的概率值和静态贝叶斯网络仿真的结果。随着时间的推移, 我方攻击强度降低, 敌方防守能力增强, 我方的状态逐步趋于劣势, 需要增兵增火可能性增加。而贝叶斯模型的推理结果显示, 全局态势需要增兵增火的概率递增, 维持现状和减兵减火概率和都是递减的。概率值变化规律与实际判断相符, 可及时准确地为战场指挥人员提供辅助决策。

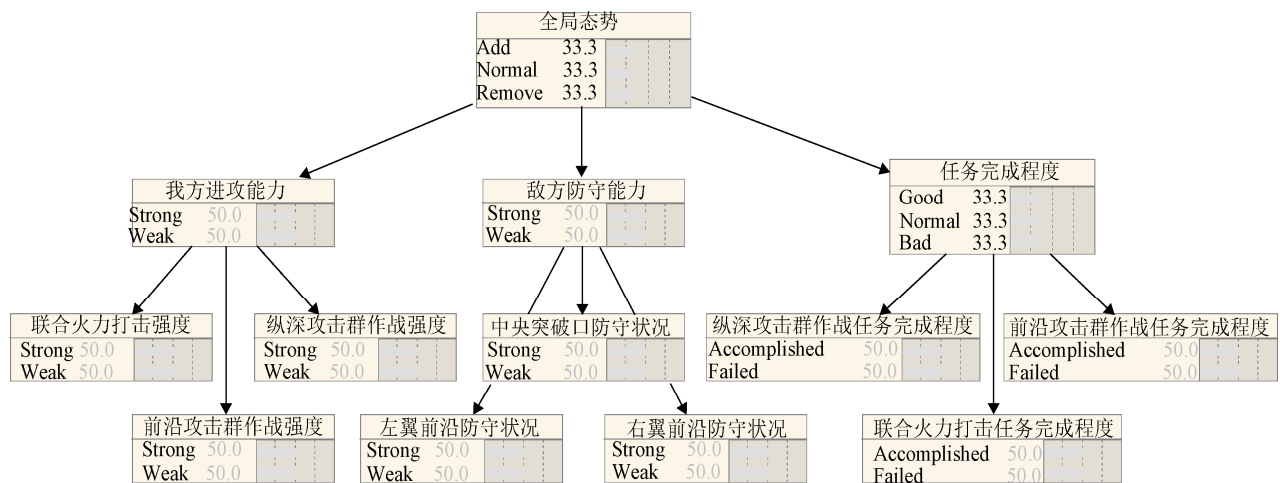


图 4 静态贝叶斯网络模型结构
Fig. 4 Static Bayesian network model structure

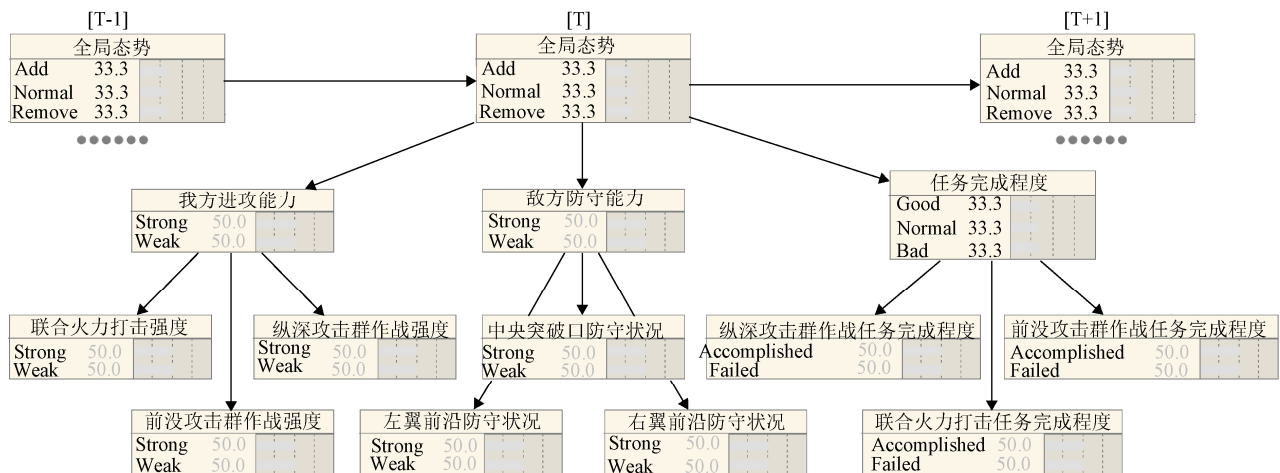


图 5 动态贝叶斯网络模型结构
Fig. 5 Dynamic Bayesian network model structure

表3 全局态势下任务完成程度的概率

Tab. 3 Probability of task completion in global situation

全局态势	P(任务完成程度 全局态势)		
	好	中	差
增兵增火	0.20	0.3	0.50
按计划执行	0.25	0.5	0.25
减兵减火	0.50	0.3	0.20

表4 全局态势下我方进攻能力的概率

Tab. 4 Probability of our offensive ability in the global situation

全局态势	P(我方进攻能力 全局态势)	
	强	弱
增兵增火	0.2	0.8
按计划执行	0.7	0.3
减兵减火	0.9	0.1

表5 全局态势下敌方防守能力的概率

Tab. 5 Probability of enemy defensive ability in the global situation

全局态势	P(敌方防守能力 全局态势)	
	强	弱
增兵增火	0.8	0.2
按计划执行	0.3	0.7
减兵减火	0.1	0.9

表6 增兵增火相邻时刻的条件转移概率

Tab. 6 Probability of conditional transfer at adjacent time of increasing strength

全局态势 (T时刻)	P(T+1时刻全局态势 T时刻全局态势)		
	增兵增火	按计划执行	减兵减火
增兵增火	0.50	0.50	0
维持现状	0.33	0.34	0.33
减兵减火	0	0.50	0.50

表7 特征每一时刻的观测值

Tab. 7 Feature values at each moment

节点	时刻		
	0	1	2
前沿攻击群作战任务完成程度	0.14	0.35	0.39
纵深攻击群作战任务完成程度	0.15	0.44	0.50
联合火力打击任务完成程度	0.14	0.38	0.42
前沿攻击群作战强度	0.50	0.23	0.05
纵深攻击群作战强度	0.45	0.33	0.05
联合火力打击强度	0.47	0.25	0.04
左翼前沿防守状况	0.63	0.75	0.85
中央突破口防守状况	0.65	0.77	0.89
右翼前沿防守状况	0.63	0.77	0.91

表8 全局态势的动态贝叶斯网络推理结果

Tab. 8 Results of dynamic Bayesian network reasoning in the global situation

节点	时刻			
	0	1	2	静态
增兵增火	0.49	0.59	0.64	0.52
维持现状	0.40	0.35	0.32	0.40
减兵减火	0.11	0.06	0.04	0.08

3 结论

作战系统的复杂自适应特性为联合作战方案仿真推演实验提出了挑战。基于BN模型的陆军指挥实体动态决策建模方法,为解决“人不在回路”的作战方案与计划的模拟论证提供了一种较好的方法。实践应用证明^[7],基于动态贝叶斯模型的作战方案仿真推演中,推理模型能够保存节点每次更新的结果,并随着更新事件信息不断循环计算整个网络概率分布,最终完成对战场态势的识别。仿真结果说明:可以根据战场不确定性信息完成预测与评估,为战场指挥员提供及时准确的辅助决策,最终达到优化决策,提高作战指挥效能的目的。

参考文献:

- [1] 史越东. 指挥决策定量分析[M]. 2版. 北京: 解放军出版社, 2012: 20-21.
Shi Yuedong. Quantitative Analysis of Command and Decision[M]. 2th Edition. Beijing: Chinese People's Liberation Army Publishing House, 2012: 20-21.
- [2] 柴宇球. 陆军作战学[M]. 2版. 北京: 军事科学出版社, 2013: 10-49.
Chai Yuqiu. Army Operations[M]. 2th Edition. Beijing: Military Science Publishing House, 2013: 10-49.
- [3] 程岳, 王宝树, 李伟生. 实现态势估计的一种推理方法[J]. 计算机科学, 2002, 29(6): 111-113.
Cheng Yue, Wang Baoshu, Li Weisheng. A Reasoning Method to Realize Situation Assessment[J]. Computer Science, 2002, 29(6): 111-113.
- [4] 冀俊忠, 刘椿年, 沙志强. 贝叶斯网络模型的学习、推理和应用[J]. 计算机工程与应用, 2003(5): 24-27.
Ji Junzhong, Liu Chunnian, Sha Zhiqiang. Bayesian Belief Network Model Learning, Inference and Applications[J]. Computer Engineering and Applications, 2003(5): 24-27.

(下转第413页)