

面向战场态势分析的知识体系及表示方法研究

彭若恒, 耿涛

(中国电子科技集团公司第二十研究所, 西安 710068)

摘 要: 全面准确的战场态势分析是实施有效指挥决策的必要支持。信息化、高强度、高度复杂的作战需求决定了基于共享知识的态势分析方法具有重要意义。本文对面向战场态势分析的知识体系及表示方法进行了综述和讨论。对“知识”等概念内涵进行了分析, 对战场态势分析有关等知识分类方法、知识库构建等进行了研究和分析, 并重点对态势分析中等不确定性知识表示与推理方法进行综合描述和对比。成果可以态势分析、辅助决策等问题等研究和工程实践提供参考和解决思路。

关键词: 态势分析; 知识; 不确定性

中图分类号: TP181

文献标识码: A

文章编号: 1674-7976-(2020)-02-140-06

Research on Knowledge Representation for Battlefield Situation Assessment

PENG Ruoheng, GENG Tao

Abstract: Considered battlefield situation assessment is beneficial to the warfare command and decision-making. Complex warfare situation leads to using an innovative situation assessment approach which be built upon the domain knowledge system and credible reasoning methods. The knowledge system and the uncertain reasoning methods within warfare domain were reviewed and discussed in this paper. Several relative confusable conceptions were distinguished and the knowledge classifications was summarized firstly, then discussion on the structure of knowledge bases was bright up, which given rise to the uncertain knowledge representation issues. So the significant uncertain theories and reasoning means to handle domain knowledge uncertainties were described and compared in the end. The contents of this research will be guidable to academically study and extend the patterns of the battlefield situation assessment.

Key words: Situation Assessment; Knowledge; Uncertainty

0 引言

信息条件下的现代战争, 战场信息量大, 战场态势错综复杂、瞬息万变, 指挥人员需要在高度的不确定性和时间压力下, 及时、准确地判断战场情况, 进而做出正确决策。全面准确的态势分析是实施有效指挥决策的必要支持。高度复杂的作战需求

决定了基于共享知识的态势分析软件是现代战争必不可少的知识工具。

知识发现与推理技术被广泛应用到如军事情报资料分析、指挥自动化与辅助决策、武器交战效果分析、地理数据分析等方方面面。利用知识推理、数据挖掘等智能化技术可以提取众多数据中隐含的关系和知识, 从而帮助从战役、战术各层面了解对手和战场态势, 掌握其作战特点, 便于根据战场上敌方的历史信息与当前状态来分析推理其作战计划和未来的行为。

收稿日期: 2020-03-15。彭若恒(1971.9—), 女, 陕西西安人, 经济师, 主要研究方向管理信息系统。

目前世界各国在交战态势分析和辅助决策方面做了大量的研究并且形成了很多实用化的系统,例如美国的 ASAS 全源分析系统、ENSCE 敌方态势估计系统、DARPA 支持面向美国陆军旅级的指挥与控制领域的研究项目“深绿”计划等,可在已知敌方作战意图基础上,预测敌方行动方案的可能性,为指挥员指挥决策提供依据。但是整体来说,态势知识的发现与推理目前还面临诸多挑战,感知手段的不断丰富导致可以参考的数据量快速增长、同时信息不确定性也不断增加,使得“战争迷雾”更加浓厚,而高强度、高复杂的作战需求又要求决策时效性进一步增强,这就给信息获取、知识的发现、加工、态势推理与辅助决策提出了更高的挑战。

1 战场态势知识体系

1.1 知识的概念

在信息价值链^[1]中,数据、信息、知识、智慧等概念之间存在着层次化递接的关系,如图1所示。

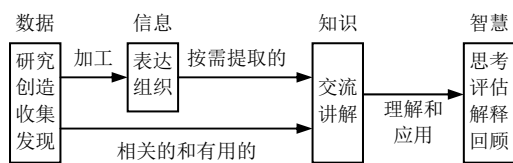


图1 信息价值链的四个层次

数据是一系列独立的、不相关的事实、测量结果、属性、量化特征及符号。信息是通过对数据的分析、整理,建立数据之间的联系并加以组织,形成具有领域特征的数据。知识则是在数据和信息之上经过提炼加工、更贴近行动的数据产品,作为行动和决策的依据和指南。智慧则体现了知识对于当前具体的决策需求的服务,并能够带来更优的决策效果。

1.2 态势知识的生成过程

面向战场态势分析的知识生成过程可分为态势信息获取、知识产品生成、知识产品展现三个部分^[2]。态势信息获取是知识生成的输入环节,知识产品展现则是知识产品生成的后续阶段,表现为作战态势的可视化以及互操作方法等。目前作战态势知识领域的研究也大多集中在信息获取与态势展现环节,重点是侦察监视、数据融合与共用作战态

势图(COP)技术等。

知识产品生成是知识生成过程核心环节,也是研究的难点,主要包括态势要素表达、态势信息统计描述、以态势推理为实现手段的态势评估与预测、知识库的构建与扩充等,最终将态势的逐层认知聚合为综合性作战态势认知产品。形成的产品能够在获取的目标和环境信息基础上描述战场时空、作战要素的现状,理解战场要素关联与发展趋势,并全面掌握态势现状及趋势对兵力行动的直接或潜在影响,是对战场态势描述/理解/预测等内容的有序综合。以态势理解和趋势预测为核心的作战态势知识生成技术研究是目前研究的难点。知识产品生成环节涉及到战场态势要素模型、推理框架与推理算法、以及知识库的构建与跟新等。

1.3 态势知识库的构建与更新

基于知识的战场态势分析很大程度上取决于态势知识库中的内容、结构及其表示形式。态势知识库的构建与更新是基于现有的基本态势数据,进行多种途径的知识提取和加工获得有价值的知识结构,并随感知信息的实时补充、迭代更新进行知识库的不断补充、完善和更新。构建态势知识库构建的过程如图2所示。

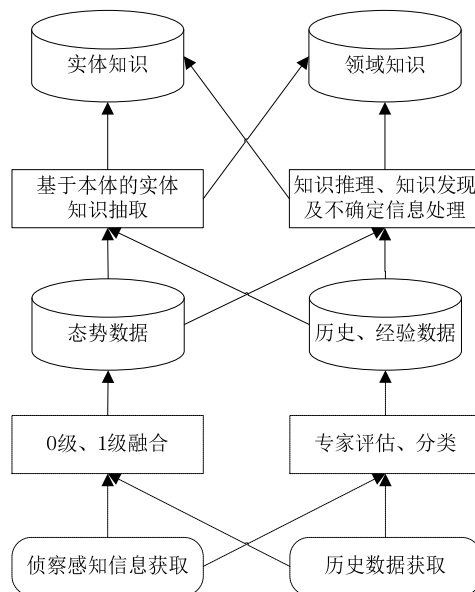


图2 态势知识库构建过程

这里将战场态势知识分为实体知识和领域知识两类。

实体知识是在历史和当前态势数据之上的通过规范化描述方法对战场态势的组成要素,即兵力、

武器部署、环境等及其关系的表达,具体包括敌我双方作战的部队建制、人员构成、装备组成、功能性能、位置/轨迹、任务内容、作战环境以及实体间基本连接关系的静态数据。

战场态势领域知识是根据具体作战领域、场景约束,围绕双方兵力部署、武器装备效能、作战企图、战法战术规则等态势知识的建模需求构建的作战领域有关的数据库,主要包括:

(1) 先验知识库:基于历史数据和经验,通过统计挖掘所形成的关于目标战术行为模式的知识,包括工作状态转换、行动序列模式的结构化知识;

(2) 目标分群知识:由目标分群推理过程得到的关于现实战场空间内不同的目标实体之间的编成组织关系和空间结构所构成;

(3) 目标价值知识:由目标价值分析得到的关于目标在其作战体系中的价值的知识,包括目标个体价值、网络价值及影响因素的关系构成;

(4) 作战能力知识:由作战能力评估过程得到的实体状态与作战评估因素之间的关系构成;

(5) 威胁知识:由威胁评估过程得到的关于目标状态、目标性质与特定的打击效果之间关系构成;

(6) 关键事件知识:由先验知识得到的关于实体状态变化事件、行为事件与作战能力、目标威胁意图之间的关系构成;

(7) 态势趋势预测的知识:双方整体或目标群的攻防企图及其作战效能的知识;

(8) 敌我作战意图知识:由战术目标/目标群的攻击意图推理过程得到的关于目标战术意图主要及其置信度的知识。

2 态势知识的表示方法

2.1 态势知识的基本表示形式

领域知识以(或者可以转换为)事实或规则两种方式进行表达^[3],作为知识库条目。

(1) 事实知识的表示形式

事实知识用于表达静态知识。产生式表示方法一般使用三元组(对象,属性,值)或(关系,对象1,对象2)来表示事实。考虑信息的不确定性,需要加入置信度/概率/模糊度等不确定度量并用四元

组表示即可。例如,用(对象,属性,值)三元组列表来表示:

(战机A,高度,4000)

若考虑置信度度量,则用(对象,属性,值,置信度)四元组列表来表示事实:

(战机A,高度,400,0.75)

(2) 规则知识的表示形式

规则知识用于表达实体状态、行为间因果关系的动态知识。常以“if...then...”的形式进行表示。考虑关系的不确定性推断,需要在规则中体现出因果关系的不确定性因素。以可信度型式为例,规则的表示方法的基本形式是:

if A then B (CF(B, A))

其中,A代表一组前提或状态;B代表若干结论或动作;CF(B, A)是该规则的可信度。

2.2 态势知识的不确定性分析

外部世界通常难以采用精确、定量关系进行描述,复杂的战场态势分析过程中越来越受到各种不确定性因素的影响,这些不确定性信息主要来自以下几个方面:

(1) 信息来源的不确定性。战场电磁环境复杂多变,传感器的探测性能会受到极大影响,从而导致测量结果的失真和不可靠。战场感知手段的不完备、不精确或者测量设备本身的不可靠会导致信息来源的不确定性。

(2) 信息度量的不确定性。战场态势分析的信息来源极其广泛,异构的信息源传递多种表现为不同尺度、粒度、维度、型式、特征差异等不同度量的信息,态势分析过程需要对这些不同度量的信息具有广泛的适应性。

(3) 概念的不确定性。概念是采用该领域内共同认可的词汇对事物本体及相互关系明确的规范化说明^[4]。而对于概念的理解偏差会导致领域知识产生偏差,会导致知识推理过程的失真。

(4) 知识推理算法本身的不确定性。不同的算法基于特定的理论基础,而且面向不同的应用环境,算法与应用环境不匹配就会导致部分信息的流失,这种流失积累到一定程度会给知识推理带来不确定性,进而导致对态势理解的偏差。

(5) 知识推理结果理解的不确定性。知识推理的结果将用于过程优化(未来形势的规划)和认知优化^[5],对于推理结果的不同理解,将直接导致

指挥控制、资源分配、武器控制的不同结果。

3 关键技术

3.1 面向对象的态势要素建模关键技术

不同作战场景下的态势要素数量众多,实体知识库构建与更新时,需要对各类自由表达的数据型式进行合理的组织和规范化表达,这是态势分析与推理的前提。

面向对象的态势要素建模关键技术应用在态势知识实体知识库构建研究中,是将态势定义为一个具有准备的时空关系的各类物体的有序集合,抽象出物体基类,几何基类等,派生出各要素的属性特征和时空关系。通过建模将实体的属性以及其为特性封装起来,并通过对象之间的继承关系和约束关系表示它们的结构和联系,该方法具有属性继承特征描述结构化等优点,可以描述对象之间的纵向关系。其方法如下:

Step1: 确定应用领域中的实体,形成态势评估领域的概念字典。通过这些构成应用领域中最基本的对象。

Step2: 生成应用领域中的对象类。分析对象的操作和属性,将具有相同属性和相同操作的对象抽象为对象类。

Step3: 确定对象类之间的关系,从而获得基本对象的关系集合 R 。对象类之间的关系常常体现为继承、聚集、隶属等。

Step4: 扩充关系集合 R , 确定词汇集合中术语之间的语义联系。

Step5: 确定领域中的约束规则,包括时间性约束、排斥约束等。

3.2 不确定性知识推理技术

态势推理是空间态势认知产品生成的核心部分,是完成态势理解、威胁估计、态势预测等的主要手段。针对大量现实存在的具有不完整、不精确或者不确定特征的态势数据,采取合理有效的数据表征和推理方法进行态势知识推理,获得战场态势领域知识的全面理解、预测是研究的重点。

各种不确定性信息具有不同的特点,需要采用多种数学工具来表征不确定性信息,有时还需要混合使用这些工具来表征复杂的不确定性信息。下面对几种不确定推理技术进行分析:

3.2.1 基于模板的知识表示与推理方法

基于模板(TBR)的推理技术本质上是一种确定性的推理方法。其推理方法的关键是建立包含可能出现的全部态势类别的模板,然后根据态势感知根据观测到的情况提取当前态势要素的特征集合,并与模板中的因素进行对比,确定模板的支持度与否定度,来解释当前态势或预测下一步的发展趋势。案例推理(CBR)技术是新发展的一种把问题求解和学习相融合的一种推理方法,它包含了模板(或称之为案例)修正、学习和更新过程,实现案例库的扩充,可用于先验资料掌握较少的情况下难以构建案例库,使知识推理的过程更加智能化,更具备适应能力。

3.2.2 概率论与贝叶斯推理技术

概率论与贝叶斯推理主要用于对概率性信息的处理。根据假设的先验概率和观测概率来确定假设的后验概率,将目标判为后验概率最大的那一类目标,称之为贝叶斯推理法。贝叶斯推理法对先验知识较充分的融合问题能达到很好的效果。但其缺点是定义先验概率函数困难,当多个潜在假设和多种条件独立事件存在时其推理过程较为复杂,而且概率分布需要满足可加性因而不能解决一般的不确定性问题。

3.2.3 模糊集理论与模糊推理技术

模糊集和模糊推理^[6]是目前常用的用于处理模糊信息的不确定性推理方法。模糊集通过隶属度函数来描述信息模糊性。通过模糊推理规则及合成计算方法可以进行模糊推理。直觉模糊集与直觉模糊推理技术是其最新发展,兼具从正反两方面的隶属度来表达属性的不确定性程度,提高推理结果的可靠性。

3.2.4 D-S 证据理论与证据推理技术

D-S 证据理论也是常用的不确定信息处理方法。识别框架、基本可信度分配和证据合成规则是D-S 证据理论的关键内容。D-S 证据理论中证据模型依赖于对 mass 函数的物理意义的解释,依据不同的解释可以构造多种不同形式的证据合成规则。由 Dezert 和 Smarandache 提出的超幂集概念和由此引出的DSmT合成规则是证据合成算法的最新发展。由于证据模型存在广泛的物理解释,证据模型可以对多种不确定性信息进行建模,其适用范围也比较广,但是这种广泛性带来的问题是其合成结果缺乏

坚实的理论基础,因而可靠性值得怀疑。

3.2.5 可能性理论与可能性推理

可能性理论^[7]用于对可能性信息的处理。同样,设 $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ 是一个互不相容事件的完备集合,可能性 $\pi[\theta_i]$ 表示集合中每一个事件 θ_i 发生的置信度的限度, $0 \leq \pi[\theta_i] \leq 1$ 。对于任意一个不确定事件 $A \subseteq \Theta$, 分别定义其可能性测度 $\Pi(A)$ 和必要性测度 $N(A)$, 如式 (1)、式 (2) 所示。

$$\Pi(A) = \sup_{\theta \in A} \{\pi(\theta)\} \quad (1)$$

$$N(A) = 1 - \Pi(\bar{A}) \quad (2)$$

可能性推理分为合取型公式和析取型公式,其中合取型公式如式 (3) ~ 式 (5) 所示。

$$\pi_a^I(\theta) = \frac{\min\{\pi_1(\theta), \pi_2(\theta)\}}{\sup_{\theta \in \Theta} \min\{\pi_1(\theta), \pi_2(\theta)\}} \quad (3)$$

$$\pi_b^I(\theta) = \min\{\pi_1(\theta), \pi_2(\theta)\} + 1 - \sup_{\theta \in \Theta} \min\{\pi_1(\theta), \pi_2(\theta)\} \quad (4)$$

$$\pi_c^I(\theta) = \max\{0, \pi_1(\theta) + \pi_2(\theta) - 1\} \quad (5)$$

析取型公式如式 (6) ~ 式 (8) 所示。

$$\pi_a^U(\theta) = \max\{\pi_1(\theta), \pi_2(\theta)\} \quad (6)$$

$$\pi_b^U(\theta) = \pi_1(\theta) + \pi_2(\theta) - \pi_1(\theta) \cdot \pi_2(\theta) \quad (7)$$

$$\pi_c^U(\theta) = \min\{\pi_1(\theta) + \pi_2(\theta), 1\} \quad (8)$$

其中,合取型公式用于各信息源都比较可信的情况下,而析取型公式可以消除某些不可靠信息源的不利影响。

3.2.6 主观可信度理论与 CF 模型

可信度是人对于命题的可信程度的主观判断。对于某些难以用精确的数学模型进行描述的问题,用可信度来表示知识及证据的不确定性是一种可行的方法。CF 模型是基于可信度表示的不确定性推理的基本方法,一般形式为:

$$\text{IF } E \text{ THEN } H, CF(H, E)$$

其中, E 为前提条件, H 为结论, $CF(H, E)$ 为可信度因子 (Certainty Factor, CF) 或规则强度,表

示是该条知识的可信度。 $CF(H, E)$ 的值越大,就该证据就越支持结论 H 为真。前提条件的不确定性也用可信度因子表示, E 的可信度表示为 $CF(E)$ 。由此可以得到结论的可信度如式 (9)。

$$CF(H) = CF(H, E) \cdot \max(0, CF(E)) \quad (9)$$

3.2.7 粗糙集理论与知识获取

粗糙集理论是一种处理不精确数据的数学理论。为了近似定义 RS , 先定义两个精确集 (上下近似集)。即给定一个近似空间 $A = (U, R)$, 对于每个子集 $X \subseteq U$, 定义两个子集, 如下:

$$\underline{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \subseteq X\}$$

$$\bar{R}(X) = \{x \in U \mid [x]_R \cap X \neq \emptyset\}$$

其中, $\underline{R}(X)$ 称为 X 的 R 下近似集, $\bar{R}(X)$ 称为 X 的 R 上近似集。它们之间的差将被称为 X 的 R 边界域, 如式 (10) 所示。

$$BN_R(X) = \bar{R}(X) - \underline{R}(X) \quad (10)$$

集合 X 的不精确性是由于边界域的存在而引起的, 集合的边界域越大其精确性越低。这种不精确性用近似精度的概念来表达, 由等价关系 R 定义的集合 X 的近似精度如式 (11) 所示。

$$\alpha_R(X) = |\underline{R}(X)| / |\bar{R}(X)| \quad (11)$$

RS 把客观世界对象抽象为一个信息系统, 也称为知识表达系统, 并认为信息融合过程是由知识表达系统获取规则知识的过程。一个规则知识获取的过程可以用二元组 $\langle S, K \rangle$ 来描述, 其中 S 代表以上所述的知识表达系统, 而 K 代表所发现的规则知识, 由 $S \Rightarrow K$ 的过程便是规则知识获取的过程。信息系统的决策规则获取是对示例集进行归纳学习而抽象得到规律性知识的过程, 并可以在将来的决策过程中利用这些规律知识对未知的决策对象集进行决策判断。这个过程包括系统属性辨识、原始数据的采样和离散化、属性值的完备化、方案预筛选、属性约简、决策规则极小化等步骤。

4 总结

本文对面向战场态势分析的知识体系及表示方法进行了综述和讨论。首先对面向战场态势分析

分知识体系进行了分析；然后在此基础上，对与作战系统描述、态势分析和推理、作战指挥决策等有关的知识分类方法、知识库构建等进行了研究和分析。进一步，针对现实作战环境复杂性增加、多模态、网络化特征明显，战场态势分析过程中越来越受到各种不确定性因素的影响等问题，对面向对象的态势要素建模关键技术，态势分析中的不确定性知识表示与推理方法进行分析，从理论基础、基本原理、适用领域及优劣等方面进行了对比。本文的研究将对指控领域态势分析、辅助决策等问题的研究和工程实践提供参考和解决思路。

参考文献：

- [1] 吴鹏, 苏新宁等. 决策过程的知识价值链[J]. 中国图书馆学报, 2005.3, 31(156): 25-29.
- [2] 强立, 杨凡德 等. 空间态势认知产品生成及关键技术研究[J]. 指挥控制与仿真, 2018.6, 40(3): 5-13.
- [3] 林晓强, 常国岑等. 态势评估领域知识的表示方法研究[J]. 航天电子对抗, 2006.6, 22(6): 62-64.
- [4] Zhang J, Wang Y, et al. An interaction framework of service-oriented onto-logy learning [C]//Proceedings of the 21st ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2012: 2303-2306.
- [5] 赵宗贵, 李君灵 等. 战场态势估计概念、结构与效能[J]. 中国电子科学院学报, 2010.6, 5(3): 226-230.
- [6] Zadeh L A. Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1978, 1: 3-28.
- [7] Georgescu I. Possibility Theory and the Risk [M]. U.S.A.: Springer, 2012.1.

（上接第 139 页）

参考文献：

- [1] Parker D, Zimmermann D C. Phased arrays. Part 1. Theory and architectures [J]. IEEE Trans on MTT, 2002, 50(3): 678-687.
- [2] 张祖伦. 相控阵雷达中相位误差分析及补偿方法[J]. 雷达科学与技术, 2010, 35(2):34-37.
- [3] 丁鹭飞, 耿富录. 雷达原理(第三版)[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [4] 沈文辉, 周希朗, 宫新保. 提高相控阵天线波束指向精度的方法[J]. 上海交通大学学报, 2004.38(2):233-235.
- [5] 杨东萍, 未连保, 衣尚军. 相位误差对相控阵天线影响分析与改进[J]. 无线电工程, 2013.43(3):24-26.
- [6] 王晟劫. 基于 5G 大规模阵列天线波束指向精度的研究[J]. 通信设计与应用, 2017, 12(6):22-23.