

军事分析仿真评估系统模糊知识库研究

田 田¹ 陈 勇¹ 刘天甲² 赵鑫叶³

(总后勤部油料研究所 北京 102300)¹ (中国人民解放军 91550 部队 大连 116600)²

(国防科学技术大学 长沙 410073)³

摘 要 指挥员的决策需要大量的军事知识和态势信息,对于军事分析仿真评估系统,建立指挥控制模型更需要有详细的知识支撑,知识库的完备性对指挥控制模型的运行速度和效率具有决定性的影响。但真实的战场决策环境下存在着大量的模糊信息,能否很好地处理模糊信息成为制约知识库进一步发展的关键因素。因此,在深入研究军事分析仿真评估系统知识库的基础上,重点介绍了其模糊拓展的数据模型设计,最后通过实例验证了模型的正确性。

关键词 军事分析仿真评估系统,知识库,模糊知识库,模糊推理,作战仿真实体

中图法分类号 TB114.3 文献标识码 A

Research on Fuzzy Knowledge Base of Military Simulation and Analysis System

TIAN Tian¹ CHEN Yong¹ LIU Tian-jia² ZHAO Xin-ye³

(POL Research Institute of General Logistics Department, Beijing 102300, China)¹

(PLA Unit No. 91550, Dalian 116600, China)²

(National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)³

Abstract Decision of commanders requires a great deal military knowledge and situation information. For military analysis and simulation evaluation system, the construction of control and command model requires more detailed knowledge, and the completion of the knowledge base can dispose of the responsibility to the running speed and efficiency of control and command model. However, real decisions in the battlefield exist too much fuzzy information, so it is acknowledged that how to deal with fuzzy information enables a significant portion of the development of knowledge base. After delving into knowledge base of military analysis and simulation evaluation system, we present the design of fuzzy extended data model. In addition, we have demonstrated that its correctness by an illustrative example.

Keywords Military analysis and simulation evaluation system, Knowledge base, Fuzzy knowledge base, Fuzzy reasoning, Battle simulated entity

1 引言

随着信息化战争时代的到来,战争的形态和运行规律发生了巨大的变化,面向实施大规模联合作战和多样化军事任务指挥筹划需要,军事分析仿真评估系统(Military Analysis and Simulation Evaluation System, MAESS)应具备多元作战力量、多维战场空间、多种行动样式、各类保障系统融为一体的基于信息系统体系作战的模拟评估能力,支持联合作战方案论证选优、作战计划辅助拟制和推演评估、作战实施过程临机辅助决策、联合作战演习以及作战力量发展论证等功能,通过加速整个作战指挥和控制的信息链来全面提升军队的战斗力^[1-4]。

建立指挥控制(Command and Control, C2)模型需要有详细的知识支撑,知识库(Knowledge Base, KB)的完备性对指挥控制模型的运行速度和效率具有决定性的影响^[5,6]。国外大多数具有指挥控制能力的模型多配备有相应的知识库,知识库中分类录入了各种作战条令条例、战术原则、交战规则以及经典战例等,以供指挥控制模型调用,从而生成可信、可靠的

决策规划方案。

但是在指挥员的决策思维中,推理过程常常是近似的。例如,根据条件语句(假言)“若气象情况良好”,则“战略部署条件成熟”和前提(直言)“若气象情况非常良好”,立即可得出结论“战略部署条件非常成熟”。这种不精确的推理不可能用经典的二值逻辑或多值逻辑来完成。

而模糊推理可以较好地应用到此类情况。模糊推理以模糊集合论为基础描述工具,对以一般集合论为基础描述工具的数理逻辑进行扩展,是不确定推理的一种,在人工智能技术开发中有重大意义^[7,8]。指挥员模型可以利用传统的产生式规则等技术,结合模糊推理功能,完成态势评估、作战方案和行动的选择等。而参谋辅助部分则能够完成机动计划、再补给计划、火力支援协同等。模糊知识库包括敌方和友方各种指挥决策信息,用于作战行动选择和建立指挥员行为模型等^[9]。

2 MAESS 中指挥控制模型的建模

在 MAESS 中,所有的仿真方都是一致和平等的,通过

田 田(1980—),男,硕士生,工程师,主要研究方向为指挥自动化, E-mail:oraclepla@126.com;陈 勇(1982—),男,博士生,工程师,主要研究方向为指挥自动化;刘天甲(1984—),男,硕士生,工程师,主要研究方向为通信工程;赵鑫叶(1983—),男,硕士生,工程师,主要研究方向为系统仿真。

“侦查-定位-决策-行动”(Observe-Orient-Decide-Action, OO-DA)的建模方式,双方都可以通过态势进行判断,选择对自己最有利的作战方案。为此,MAESS大量采用人工智能的方法对指挥员进行建模^[4]:用户可以输入交战双方部队的兵力计划;建立用于决策的运行机制,提供规则处理机;允许用户通过人机界面改变指挥控制模型关键变量的取值;提供行为模板和规划策略,产生在一定时间内需要仿真兵力执行的任务与计划。同时,MAESS提供丰富的指挥官模型完成态势评估(Situation Assessment)和行动方案(COA, Course of Action)选择,提供指挥官行为模型(CBM, Commander Behavior Model),实现对各种方案进行判断和决策。指挥官行为模型采用混合型人工智能系统,通过使用模糊规则集的方式对作战条令条例进行建模和COA选择,从而扩充对于态势分析的性能,并使用棋盘竞争的策略执行判断。

MAESS的系统设计,首先借助指挥控制组件实现对各级真实作战实体决策思维过程的抽象,把决策过程和决策能力从仿真模型分离开来;然后对作战仿真实体活动规律或行为过程所依赖的模型数据、军事规则和行为特性进行抽象建模,利用一系列“If-Then-Else”形式的启发式规则来表达知识。设计的核心思想就是把作战仿真实体建设成为一个模型引擎,其决策过程和行为过程都被抽象成能够从外部观察、理解、修改和配置的内容。

近年来,随着Agent建模技术的日渐成熟,越来越多的研究将其应用于指挥控制建模,以更好地描述指挥控制过程中的思维和决策行为。Agent建模技术的基本思路是^[10]:在指挥控制模型中不同的Agent分别负责完成感知、通信、规划、协调等不同的任务;在基于Agent技术建模框架的基础上,结合规则方法、案例方法、贝叶斯方法等人工智能理论方法进行推理,自主完成指挥控制的态势评估、任务规划、控制协调等过程^[11]。

在军事作战仿真中,指挥控制体系具有实时性强、动态不确定性及群体性特点,通过构建多Agent体系结构来描述指挥决策过程,利用多个指挥决策Agent之间的复杂交互有效地实现作战仿真应用的目标。MAESS中的每个作战仿真实体(Agent)都具有一定的指挥控制能力(决策能力)。实体功能的复杂性决定了不同的实体具有不同的指挥控制能力。例如,一个陆地地雷场指挥控制实体执行一个基本功能,即阻止陆地实体试图突破雷区的限制;一个无穷的超复杂的决策过程是联合部队中的航空部队指挥官下达空中任务分配指令。给相关的实体增加一个指挥控制,那么大量的实体将会具有一定的专有的指挥控制功能^[12]。

3 军事分析仿真评估系统知识库

军事分析仿真评估系统知识库是专家系统在军事分析仿真评估系统中的实现,它以想定数据的形式把决策逻辑暴露给用户^[13]。MAESS中的知识库以插件的形式实现,知识库插件能够赋给任何参与战斗的实体,或者其指挥控制组件具有知识库插件接口的实体。在任何一个想定,它的联合作战指挥实体联合作战层各军兵种指挥实体以及联合层次各参战力量的情报指挥控制组件都至少需要一个知识库插件。知识库插件必须能够推理自身、敌人或环境信息,且推理过程必须使用户接受,通过知识库支持指挥控制模型。

3.1 知识库的组成

知识库由3个基本要素组成:事实(Facts)、规则(Rules)

和行动(Actions)。事实表示决策所需要的信息;规则用于对事实进行相互关联并计算其相互关系;行动是基于规则对外界作出反应的机制。

3.2 事实

知识库中推断的信息通过一系列的事实来表述。事实能够通过数值数据(例如,数量、百分比、时间等等),布尔类型的数据(例如,在/不在、计划内/计划外、部队待命/非待命)或者文本信息(例如,明确的警报、敌发起攻击前的状态等)进行刻画。事实被用来描述不同类型的信息。

在知识库中,一个实体所需要考虑的信息被称为事实,它是规则的驱动。知识库通过一系列的事实与仿真进行交互。依据事实的结果值,判断用户定义的行动是否能够被触发。例如,当一个战斗实体接收到“受攻击(UnderFire)”消息时,阶段将由“预备敌对(REHOSTILITIES)”状态转换为“敌对(HOSTILITIES)”状态,而后,一组命令将被触发,使得相应的实体与敌方实体展开战斗,其武器系统也将变为“自由开火(weapons free)”状态。

3.3 规则

事实通过评价与其相关的值建立规则。一个或者更多的规则能够用于建立事实的值。规则总是按照用户界面指定的顺序进行评估,直到满足规则的条件。一旦满足规则的条件,事实将会设置相应的值。

具有单个“If-Then-Else”规则的事实将会呈现两个值。如果一个事实需要超过两个值,例如阶段或者状态,或者有着复杂的一系列条件,更多的规则将会增加。具有多重规则的事实应该格式化成多个“If-Then”规则和一个最后的声明。最后的声明为用户提供选择一个“If-Then-Else”规则,或一个静态值(例如True或Default),或者使用事实自身转换的值作为一个参考。“If-Then-Else”规则一旦被使用,一般都是放在最后,“Else”则覆盖了其余所有条件,并进行逻辑计算。下面片段代码1用于判断使用“moveOrder”规则后声明的真假,如果移动命令发出时间在[200,300)这个范围内,或移动命令是完整的,或“移动命令的最终活动是攻击”为假,声明为假,否则为真。

表1 “moveOrder”规则代码

```

if[{owner} move Order is N]
and [{current Time} ≥ 200]
and [{current Time} < 300]
or [{owner} move Order is Complete]
or [(owner) move Order final Activity = # ATTACK] not]
then false

```

3.4 行为

知识库行为在仿真推演中负责设置事实值、发送命令以及激发有关的行为。不同的知识库针对不同的决策有着不同的行为。所有的知识库都有设置事实值的能力。

行为的执行依赖于事实评估的改变——事实被估计成一个与它以前值不同的值(例如阶段从阶段1变为阶段2)。值改变之后,针对新的值在指定值对应行为的值列表中进行查找。如果需要,行为能够被定义成每个可能的事实值。输入和控制类型的事实不允许执行行为,因为在仿真的开始阶段它们只允许有一个值,并且不知道之后的值。

行为只在事实的值改变时执行,因此在事实评估的过程中行为是不会被执行的。然而如果一个事实的值返回了另一

个值,并且之前没有声明,行为将会在下一次执行。

4 军事分析仿真评估系统模糊知识库

作战仿真实体必须处理的信息从知识库中获取,依赖于事实值通过规则进行推理,触发事先编码的事件。例如:知识库确定何时改变阶段/状态和协调联合行动,这都源自其决策,它可能推理未来事件并采取必要的初步行动。模糊知识库(Fuzzy Knowledge Base,FKB)在知识库的基础上,进一步支持模糊逻辑、布尔和标准逻辑状态,即基于部分知识或矛盾的知识产生解答,并且大规模地减少所需的规则。

公共的规范和结构化表示是信息自动化交换的前提。结构化信息以数据模型(Data Model)的形式进行表示,以通用的方法学或技术(例如 UML、XML)建立及文档化^[14]。数据模型定义了信息(数据)的标准元素,这些元素构成了军事分析仿真评估系统模糊知识库设计的基础。

4.1 模糊知识库的数据模型设计

模糊知识库的数据模型包括:模糊数据库基本信息、模糊知识库事实、模糊知识库规则、模糊知识库行为、模糊知识库隶属度函数、模糊知识库梯度数、模糊梯度数模型等。这里重点介绍其中主要的几种模型。

1. 模糊数据库模型:用于描述模糊知识库模型的基本信息,如图 1 所示。其中 FUZZY_KB_ID 表示模糊知识库的标识符,FUZZY_KB_DESCRIPTION 表示模糊知识库的描述信息。

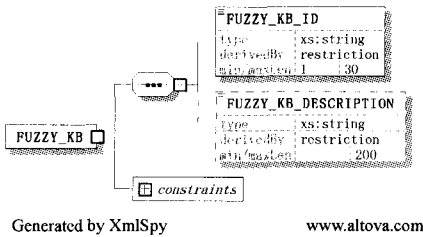


图 1 模糊知识库基本信息模型

2. 模糊事实模型:用于描述模糊知识库中的事实,如图 2 所示。其中 FUZZY_KB_PRI_FACT 表示用于模糊知识库的主要推理事实,FUZZY_KB_ID 表示模糊知识库的标识符,FUZZY_KB_FACT_REFRESH_TIME 表示当模糊知识库重新启动的时候,知识库重新计算之前需要的等待时间,FUZZY_KB_FACT_VALUE 表示模糊知识库的事实值。

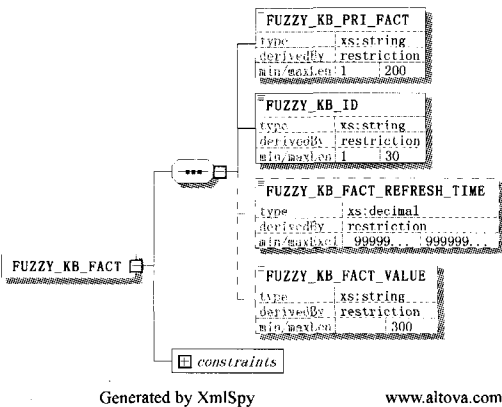


图 2 模糊知识库事实模型

3. 模糊知识库规则模型:用于描述模糊知识库中的规则,如图 3 所示。其中 FUZZY_KB_RULE_NAME 表示模糊知

识库的规则名称,FUZZY_KB_LOGIC_AND_VALUE 表示模糊逻辑“AND(与)”函数的参数值,FUZZY_KB_LOGIC_OR_VALUE 表示模糊逻辑“OR(或)”函数的参数值,FUZZY_KB_RULE_PRIORITY_VALUE 表示与主要事实相关联的规则优先级值(值越小代表优先级越高),FUZZY_KB_MEMBERSHIP_FUNC_NAME 表示在知识库模糊逻辑中使用的隶属度函数名称(比如“冷、热、好、差”等)。

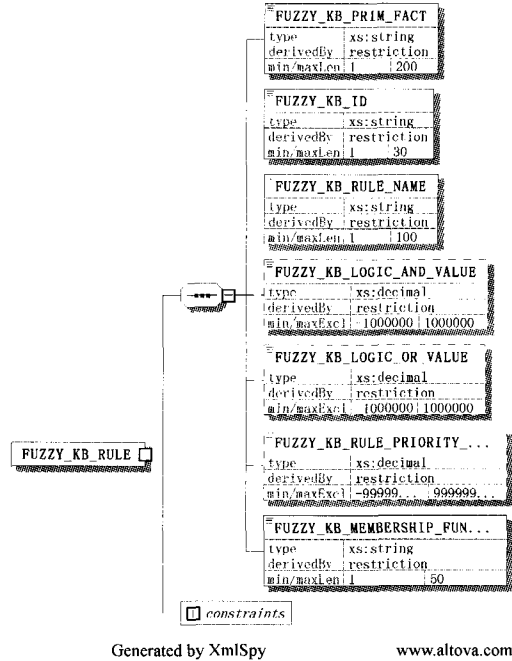


图 3 模糊知识库规则模型

4. 模糊知识库隶属度函数模型:用于描述模糊知识库隶属度函数模型,如图 4 所示。其中 FUZZY_KB_MEMBERSHIP_FUNC_NAME 表示模糊知识库逻辑使用的隶属度函数名称,FUZZY_KB_MBRSH_FUNC_DESCRIPTION 表示模糊知识库逻辑使用的隶属度函数的描述信息。

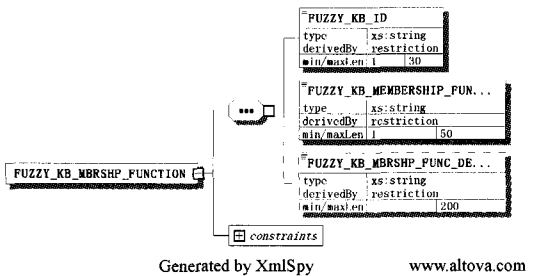


图 4 模糊知识库隶属度函数模型

5. 模糊知识库梯度隶属度模型:用于描述模糊知识库梯度隶属度模型,如图 5 所示。其中 FUZZY_KB_TRAPEZOID_NAME 表示执行模糊逻辑的模糊梯度数名称。

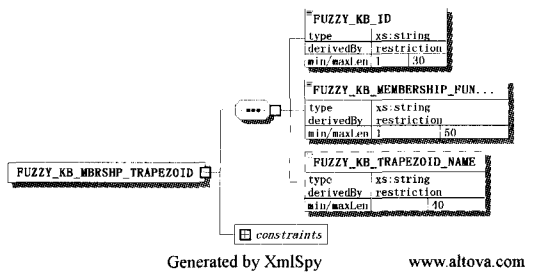


图 5 模糊知识库梯度隶属度模型

6. 模糊知识库梯度数模型:用于描述模糊知识库梯度数模型,如图6所示。其中X0_VALUE表示模糊梯度数的左下横坐标值,X1_VALUE表示模糊梯度数的左上横坐标值,X2_VALUE表示模糊梯度数的右上横坐标值,X3_VALUE表示模糊梯度数的右下横坐标值。

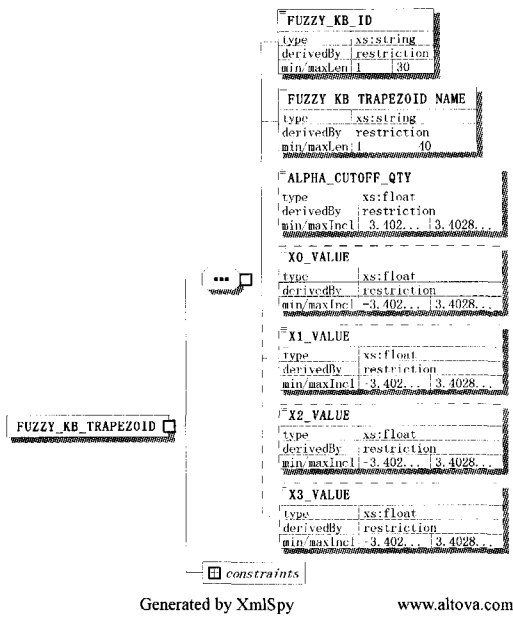


图6 模糊知识库梯度数模型

4.2 模糊知识库推理应用

知识库采用即插即用的模式,适用于任何实体单元。根据不同作战态势下定制的理想数据,在已有的模糊知识库子集中,根据不同的作战实体单元选定不同的事实、规则、行动,构建其所属的模糊知识库全局实例,并将它们分配给每一个实体单元或者实体单元组。每一个单独的单元模糊知识库将成为相应的事实、规则及行动的结果,如图7所示。系统为用户提供了图形化用户接口(GUI),用于直观地构建模糊知识库实例。

对于 MAESS,其中高层次的事实、规则和相关联的行为并不完全适用于所有的战术火力。对于不是高层次的实体单元,重点强调战术条令和战术、技术、流程开发与其相关联的事实、规则和行,而不是战区级的决策。

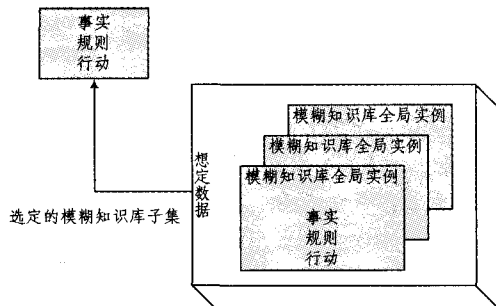


图7 模糊知识库应用模式

4.3 模糊知识库推理应用

下面以海军数据融合中的威胁评估为例,介绍模糊知识库在海军指挥控制模型中的初步推理应用。威胁评估算法的目的是使用数学方法评估感知到的某关心地域的威胁情况,为联合司令部制定决策提供依据,尤其是在战前阶段,更加需要考虑威胁情况。该算法综合评估敌方接近兵力及我方军队

位置,得出威胁级别,联合部队指挥控制模型根据该结果快速做出兵力部署决策。

海军指挥控制模型涉及的主要算法有:命令传递模型算法、命令发布/接收规则、动态命令响应规则、命令优先级排序算法、命令调用算法、命令触发规则、具体行动过程算法等。命令由发送者发至接受者。发出者的命令参数包括:(1)设置优先级;(2)发布该命令所需要的所有的指导信息;(3)时间;(4)位置;(5)取消命令。接收者的命令参数包括:(1)决定如何完成命令;(2)感知态势,选择合适的行动;(3)命令完成后发出消息;(4)完成;(5)偏离时间。

MAESS中的数据融合算法,涉及对未识别的资源进行推理。但是对未识别的资源进行融合,计算量大且不必要。当仅通过某些特殊的资源可以唯一标识一类作战仿真实体时,对资源进行分析才有意义。因此,模糊知识库中增加了一个推理层。首先,用户必须定义作战仿真实体可以对事实“AgentTypesForResourceAnalysis”进行模糊推理;然后,调用已有的事实“SubmarineType”进行分析并返回实体类型。当不对实体进行资源分析时,就始终把实体解析为实体类型的第一级分类。不能进行模糊融合的资源要把它们的资源映射到真实的资源,而能进行模糊融合的资源要构建其对资源的感知,由未知的资源逐渐获取真实资源的名字。

该算法包括两个关键因素:战斗能力和接近时间。依据武器模型的数量和类型,使用武器装备自身的装备标准单元(standard unit of armament, SUA)参数,评估每个威胁单元具有的战斗能力分值,得到该算法的第一个因素;算法的第二个因素与威胁单元的位置、接近速度和我方部队的范围相关,一般来讲,威胁单元越接近给定地点,带来的威胁越大,不同距离上的威胁是不一样的,比如攻击型舰艇导弹比鱼雷的威胁大,因为其移动速度快;子母弹的威胁比普通导弹的威胁大,因为他们使用了增程的武器模型。

允许用户为每种类型的舰艇防护威胁系统设置一个相对的威胁值(通过定义一个“高威胁的最小数”——系统为某个区域产生最大威胁值为100的量),然后基于这个数值,对一个值在0到100之间进行插值。找出能评估该目标的威胁的所有地对空系统,运用模糊逻辑系统处理每个地对空系统给出的威胁值,得到一个总体的目标区域威胁值(0到100)。模糊逻辑使用的公式为: $A+B-A*B$,其中A和B为各个地对空系统给出的威胁值,归一化为0到100之间。用户也可定义飞机平台对计算出的威胁值的“危险承受度”,这是通过定义一个范围来完成的,然后防空规划对舰艇平台的危险承受度与估计出的威胁值进行匹配。

结束语 指挥控制模型的要旨是模拟指挥人员的思维过程,而单纯地应用数学模型难以解决此问题。因此,国外逐步将人工智能技术引入指挥控制建模,例如,CCTT SAF采用的基于规则的方法,ModSAF采用的有限状态机方法^[15]。

本文面向 MAESS,扩展指挥控制模型的模糊知识库插件功能,指挥控制模型可以通过感知功能与战场环境交换信息,将战场的各种态势变化作为指挥控制模型进行判断推理的前提条件,通过现实态势与知识库中源态势的比较,进行实时模糊推理,进而完成指挥控制模型的规划、决策等功能,极大地增强了模拟评估系统指挥控制模型的人工智能水平和决策可信度。

(下转第164页)

$l_4: f(x, L) = \text{好} \Rightarrow f(x, GE) = \text{优秀}$

从中提取出简化的序决策规则:

$l_1': f(x, L) \geq * \Rightarrow f(x, GE) = \text{优秀}$ (对象 2、6、7 支持)

$l_2': f(x, L) \geq \text{中} \Rightarrow f(x, GE) \geq \text{中}$ (对象 2、4、6、8 支持)

$l_3': f(x, L) = \text{好} \Rightarrow f(x, GE) = \text{优秀}$ (对象 6 支持)

又因为 * 表示的是缺失值, 这里表示的含义是可以与任何属性值都进行比较, 所以序决策规则的简化形式如下:

$l_1'': f(x, L) = \text{好} \Rightarrow f(x, GE) = \text{优秀}$ (对象 6 支持)

$l_2'': f(x, L) \geq \text{中} \Rightarrow f(x, GE) \geq \text{中}$ (对象 2、4、6、8 支持)

因此, 从表 1 的不完备不协调序决策系统中提取出优化且简化后的确定性序决策规则为:

$l_1'': f(x, L) = \text{好} \Rightarrow f(x, GE) = \text{优秀}$

$l_2'': f(x, L) \geq \text{中} \Rightarrow f(x, GE) \geq \text{中}$

结束语 属性约简和规则提取一直是粗糙集理论中的热点问题。对于不完备信息系统, 这两个方面的研究已趋于成熟。然而, 对于属性值域具有偏序关系的不完备信息系统, 其有关结果仍有待完善或深入, 特别是确定性序决策规则的获取方面。本文在不完备不协调序决策系统中提出了广义优势决策函数的概念, 在此基础上给出了区分矩阵的属性约简算法, 进而得到了获取优化、简化的确定性序决策规则的有效方法。有关结论对不完备不协调序决策系统的决策分析研究具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] Pawlak Z. Rough sets [J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 341-356
- [2] 张文修, 吴伟志, 梁吉业, 等. 粗糙集理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2001

(上接第 156 页)

参考文献

- [1] 黄柯棣, 邱晓刚, 等. 建模与仿真技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2011
- [2] 胡晓峰, 罗批, 司光亚, 等. 战争复杂系统建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2005
- [3] 胡晓峰, 杨镜宇, 司光亚, 等. 战争复杂系统仿真分析与实验[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008
- [4] 黄柯棣, 赵鑫业, 杨山亮, 等. 军事分析仿真评估系统关键技术综述[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(12): 2439-2447
- [5] Alberts D S, Hayes R E. Understanding command and control [M]. Washington D C: CCRP, 2006: 167-177
- [6] David J B. Modernizing our Cognitive Model[C]//The 2004 9th Command and Control Research and Technology Symposium, 2004
- [7] Lukasiewicz T, Straccia U. Managing uncertainty and vagueness in description logics for the semantic Web[J]. Journal of Web Semantics, 2008(6): 291-308
- [8] Bobillo F, Straccia U. On qualified cardinality restrictions in fuzzy description logics under Lukasiewicz semantics[C]//12th International Conference of Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU

- [3] 李金海, 吕跃进. 决策系统的快速属性约简算法[J]. 电子科技大学, 2007, 36(6): 1237-1240
- [4] 覃丽珍, 姚炳学, 李金海. 基于信息量的完备覆盖约简算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(10): 235-239
- [5] Kryszkiewicz M. Rough set approach to incomplete information systems[J]. Information Sciences, 1998, 112: 39-49
- [6] Kryszkiewicz M. Rules in incomplete information systems[J]. Information Sciences, 1999, 113: 271-292
- [7] 黄兵, 周献中. 不完备信息系统分配约简与规则提取的矩阵算法[J]. 计算机工程, 2005, 31(17): 20-22
- [8] Leung Y, Wu Wei-zhi, Zhang Wen-xiu. Knowledge acquisition in incomplete information systems: A rough set approach[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 168: 164-180
- [9] Wu Wei-zhi. Attribute reduction based on evidence theory in incomplete decision systems[J]. Information Sciences, 2008: 1355-1371
- [10] Meng Zu-qiang, Shi Zhong-zhi. A fast to attribute reduction in incomplete decision systems with tolerance relation-based rough sets[J]. Information Sciences, 2009, 179: 2774-2793
- [11] Greco S, Matarazzo B, Slowinski R. Rough sets theory for multicriteria decision analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 129: 1-47
- [12] Shao Ming-wen, Zhang Wen-xiu. Dominance Relation and Rules in an Incomplete Ordered Information Systems[J]. International Journal of Intelligent Systems, 2005, 20: 13-27
- [13] 杨习贝, 杨静宇, 吴小俊, 等. 不完备系统中基于优势关系的最优可信规则获取[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(3): 518-523
- [14] Qi Y S, Sun H J, Yang X B, et al. Approach to approximate distribution reduct in incomplete ordered decision system[J]. Journal of Information and Computing Science, 2008, 3(3): 189-198

2008). 2008: 1008-1015

- [9] 黄福卷, 熊平, 张冲, 等. 防空 C3 I 系统作战效能的模糊综合量化评估[J]. 火力与指挥控制, 2005: 174-176
- [10] Guizzardi G, Wagner G. Towards an ontological foundation of agent-based simulation [C]// Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, 2011
- [11] Chan W K V, Son Y-J, Macal C M. Agent-Based Simulation Tutorial-Simulation of Emergent Behavior and Differences Between Agent-Based Simulation and Discrete-Event Simulation[C]// Johansson B, Jain S, Montoya-Torres J, et al., eds. Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2010: 135-150
- [12] Livet P, Müller J-P, Phan D, et al. Ontology, a Mediator for Agent-Based Modeling in Social Science[J]. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2010
- [13] 曹文君. 知识库系统原理及其应用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1995
- [14] Tolk A, Diallo S Y. Model-based data engineering for Web services[J]. Internet Computing, IEEE, 2005, 9(4): 65-70
- [15] 李敏勇, 张建昌. 新指挥控制系统原理[J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004(2)