

基于直觉模糊与计划识别的威胁评估方法

王晓帆^{1,2} 王宝树¹

(西安电子科技大学 西安 710071)¹ (西安理工大学 西安 710048)²

摘 要 分析了威胁评估中信息的不确定性以及计划识别存在的不足,将直觉模糊理论与计划识别相结合,提出了一种基于直觉模糊理论的多属性计划识别方法。建立了基于直觉模糊多属性计划识别模型,给出了计算方法。用实例验证了模型的有效性和正确性。实验结果说明,该模型可以提高威胁评估的效率与可信度,能更直观地给出对态势预测的描述。

关键词 威胁估计,直觉模糊集,计划识别,多属性决策

中图法分类号 TP14, TP391 **文献标识码** A

Techniques for Thread Assessment Based on Intuitionistic Fuzzy Theory and Plan Recognition

WANG Xiao-fan^{1,2} WANG Bao-shu¹

(Xidian University, Xi'an 710071, China)¹ (Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)²

Abstract By analyzing the nondeterminary of the information in situation assessment and the insufficiency of plan recognition, a technique for multiple attribute plan recognition based on intuitionistic fuzzy theory was proposed through the combination of intuitionistic fuzzy theory and plan recognition. Therefore, multiple attribute plan recognition models based on Intuitionistic fuzzy sets were built up and calculating methods were given. Concrete examples demonstrated the validity and correctness of the models. The results of the experiment show that the models can promote the efficiency and reliability of thread assessment and give vivid description of trend anticipation.

Keywords Thread assessment, Intuitionistic fuzzy sets, Plan recognition, Multiple attribute decision making

1 引言

现代高科技战争瞬息万变,这就要求指挥员对敌、我、中立方态势的情况做出迅速准确的判断,因此对战场发展的态势进行预测迫在眉睫。

根据 JDL^[1] 描述,威胁评估(Threat Assessment, TA)处于第三级,其功能是量化判断敌方的兵力结构部署或武器装备系统对我方构成威胁的能力和敌方可能的行动意图。威胁估计就是根据当前战场的环境、气候、敌我双方的战场兵力装备部署、发生的一系列事件等诸多因素综合考虑,并对敌方的下一步行动(或目的)进行预测。威胁估计就是一个感知与事件检测、当前态势评估、未来态势预测^[2]的过程。威胁估计的目的是根据双方的态势状况,为有利于己方的态势发展部署实施下一步的行动计划。目前常用的方法有贝叶斯网络、模糊推理方法、黑板模型、多代理计划识别等^[3-6]。

计划识别是根据代理的行为序列来推断代理所追求目标的过程,着重于对当前已发生行为的分析和抽象,因而对动态问题有很好的适应性,与威胁估计中通过观察、分析战场中军事单元的动态行为来识别其计划的要求相一致,因此,威胁估计实质上是一个计划识别过程。

传统的计划识别的共同点是需要确定的信息,在综合考

虑多因素对威胁程度的影响及推理解释等方面存在欠缺或不足,不能直观地反应计划识别的程度,因此引入了基于直觉模糊理论的计划识别方法。

2 计划识别

战争中,敌我双方为达到各自的军事或经济目的而制定一系列相应的作战计划。整个作战计划是按照一定层次和关系组织的,如图 1 所示。

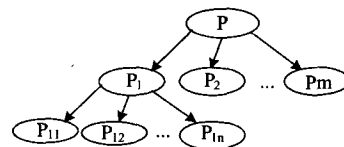


图 1 作战计划分解层次图

图 1 中 P 表示计划,是寻求能够达到所希望目的的行为(或计划)的序列的过程^[6]。一个计划 P 可以表示为

$$P = (G, (G_1, G_2, \dots, G_n), (C_1, C_2, \dots, C_m)) \quad (1)$$

式中, G 是执行该计划所能达到的目的的描述, $(G_1, G_2, \dots, G_n)$ 是与实现 G 相关的一系列事件(子目的)的集合, $(C_1, C_2, \dots, C_m)$ 是约束集。

计划识别记作对规划 P 的识别,即已知当前识别步,预测下一步规划元组,进而推理出该计划的目的(Goal),记作: Γ

到稿日期:2009-06-16 返修日期:2009-08-29 本文受国防科技预研基金(51315080202)资助。

王晓帆 男,博士生,主要研究方向为信息融合、人工智能, E-mail: wangxfok@xaut.edu.cn; 王宝树 教授,博士生导师,主要研究方向为智能信息处理、多传感器融合。

$(P(s_i) \rightarrow P(s_{i+1}), G(P)), i=0, 1, \dots, n$ 。其中 Γ 为规划识别的推理框架(方法), $G(P)$ 为当前规划 P 执行时所能达到的目的描述。

计划识别的过程即是根据领域知识, 观察代理行动的时序集合, 进行行动集合匹配, 进而预测计划的追求目标。传统的计划识别方法必须得到确定的情报信息, 而实际计划识别过程涉及许多不确定性的因素, 譬如目标类型的不确定性、目标攻击方式的不确定性、攻击时间的不确定性和作战区域气象条件、地理环境、军队的兵力部署情况的不确定性等。鉴于此, 我们在计划识别基础之上引入直觉模糊多属性决策方法。

3 直觉模糊集(Intuitionistic Fuzzy Sets, IFS)

传统的经典集合 Cantor 只能描述“非此即彼”的属性, Zadeh 提出的模糊集^[8]能描述“亦此亦彼”的属性, Atanassov 对 Zadeh 的模糊集进行拓展得到的直觉模糊^[9]还增加了“非此非彼”的属性。

定义 1^[9] X 是一个非空集合, 则称

$$A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X \} \quad (2)$$

为直觉模糊集, 其中 $\mu_A(x)$ 和 $\nu_A(x)$ 分别为 X 中元素 x 属于 A 的隶属度和非隶属度, 即

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1], x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0, 1] \quad (3)$$

$$\nu_A: X \rightarrow [0, 1], x \in X \rightarrow \nu_A(x) \in [0, 1] \quad (4)$$

且满足

$$0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, x \in X \quad (5)$$

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \nu_A(x), x \in X \quad (6)$$

式(6)表示 X 中元素 x 属于 A 的犹豫度或不确定度。

定义 2^[10] 设 $\alpha_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1}), \alpha_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$ 为直觉模糊数, $s(\alpha_1) = \mu_{\alpha_1} - \nu_{\alpha_1}, s(\alpha_2) = \mu_{\alpha_2} - \nu_{\alpha_2}$ 分别为 α_1, α_2 的得分函数, $h(\alpha_1) = \mu_{\alpha_1} + \nu_{\alpha_1}, h(\alpha_2) = \mu_{\alpha_2} + \nu_{\alpha_2}$ 分别为 α_1, α_2 的精确度, 则

1) 若 $s(\alpha_1) \leq s(\alpha_2)$, 则 α_1 小于 α_2 , 记作 $\alpha_1 < \alpha_2$;

2) 若 $s(\alpha_1) = s(\alpha_2)$, 则

a) 若 $h(\alpha_1) = h(\alpha_2)$, 则 α_1 等于 α_2 , 记作 $\alpha_1 = \alpha_2$;

b) 若 $h(\alpha_1) < h(\alpha_2)$, 则 α_1 小于 α_2 , 记作 $\alpha_1 < \alpha_2$;

c) 若 $h(\alpha_1) < h(\alpha_2)$, 则 α_1 大于 α_2 , 记作 $\alpha_1 > \alpha_2$ 。

定义 3^[10] 设 $\alpha = (\mu_\alpha, \nu_\alpha), \alpha_1 = (\mu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_1}), \alpha_2 = (\mu_{\alpha_2}, \nu_{\alpha_2})$ 为直觉模糊数, 则直觉模糊运算法则如下:

$$1) \bar{\alpha} = (\nu_\alpha, \mu_\alpha)$$

$$2) \alpha_1 \cap \alpha_2 = (\min(\mu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_2}), \max(\nu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_2}))$$

$$3) \alpha_1 \cup \alpha_2 = (\max(\mu_{\alpha_1}, \mu_{\alpha_2}), \min(\nu_{\alpha_1}, \nu_{\alpha_2}))$$

$$4) \lambda \alpha = (1 - (1 - \mu_\alpha)^\lambda, \nu_\alpha^\lambda), \lambda > 0$$

4 基于直觉模糊多属性决策的计划识别模型

计划 $P = (\mu_P, \nu_P)$ 的直觉模糊数计算方法如下:

1) 若计划 P 由 m 个相关规划 A_i 组成, 则 P 的直觉模糊数为

$$\mu_P = \sum_{i=1}^m (P(p|A_i) \mu_{A_i} + P(\bar{p}|\bar{A}_i) \nu_{A_i}), \nu_P = \sum_{i=1}^m (P(\bar{p}|A_i) \mu_{A_i} + P(p|\bar{A}_i) \nu_{A_i})$$

2) 若计划 P 由 m 个单独规划 A_i 组成, 则 P 的直觉模糊数为

$$\mu_P = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i}, \nu_P = \prod_{i=1}^n \nu_{A_i}$$

计划识别过程如下:

Step 1 根据已采集到的信息, 到领域知识库中匹配出可能将要发生的一组计划 $P_1, P_2, \dots, P_l$;

Step 2 分解各计划 $P_i = (G, (G_1, G_2, \dots, G_n), (C_1, C_2, \dots, C_m))$, 根据情报或专家领域知识给出各子计划(事件)发生的直觉模糊数;

Step 3 把所有计划的直觉模糊数集成为直觉模糊矩阵 $D = (d_{ij})_{l \times m}$;

Step 4 根据专家领域知识库确定的各子计划(事件)的权重系数, 计算得到各计划 P_i 的综合属性值矩阵; 如果知识库中权重系数未知, 则由军事专家给定各计划 P_i 的综合直觉模糊数属性值, 对其加权平均, 得到最终各计划 P_i 的加权综合直觉模糊属性值;

Step 5 计算直觉模糊决策矩阵 D 的得分矩阵 $S = (s_{ij})_{l \times m}$;

Step 6 对各计划进行排序, 预测当前最可能发生的计划。

5 计算实例

假设地方派出侦察机侦查我沿海军事布防情况, 派出战斗机拦截, 我方根据获得的情报进行预测当前敌机可能采取的计划。根据 1) 距离; 2) 能见度; 3) 释放电磁干扰; 4) 是否释放导弹来预测敌机可能采取计划: a) 相持; b) 规避; c) 进攻。我方获得的情报如表 1 所列, 各态势因素在计划中的权重系数如表 2 所列。

表 1 我方获取的敌机信息

距离 (远/近)	能见度 (可见/不可见)	释放电磁干扰 (是/否)	释放导弹 (是/否)
(0.3, 0.6)	(0.6, 0.25)	(0.3, 0.3)	(0.08, 0.81)

表 2 态势因素在各计划中的权重系数

	距离	能见度	释放电磁干扰	释放导弹
相持(P1)	0.3	0.3	0.3	0.1
规避(P2)	0.5	0.2	0.2	0.1
攻击(P3)	0.3	0.1	0.3	0.3

1) 计划矩阵 $D = ((0.3, 0.6) \quad (0.6, 0.25) \quad (0.3, 0.3) \quad (0.08, 0.81))$

2) 多属性决策矩阵

$$P = \begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D^T \cdot w1 \\ D^T \cdot w2 \\ D^T \cdot w3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0.10, 0.86) & (0.24, 0.66) & (0.10, 0.70) & (0.01, 0.98) \\ (0.16, 0.77) & (0.17, 0.76) & (0.07, 0.79) & (0.01, 0.98) \\ (0.10, 0.86) & (0.09, 0.87) & (0.10, 0.70) & (0.02, 0.94) \end{pmatrix}$$

3) 计算得分矩阵

$$\begin{pmatrix} (0.10, 0.86) \oplus (0.24, 0.66) \oplus (0.10, 0.70) \oplus (0.01, 0.98) \\ (0.16, 0.77) \oplus (0.17, 0.76) \oplus (0.07, 0.79) \oplus (0.01, 0.98) \\ (0.10, 0.86) \oplus (0.09, 0.87) \oplus (0.10, 0.70) \oplus (0.02, 0.94) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0.39, 0.39) \\ (0.36, 0.45) \\ (0.28, 0.49) \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ -0.09 \\ -0.21 \end{pmatrix}$$

即 $P1 > P2 > P3$, 敌机最可能选择“相持”策略。

如果态势因素在各计划中的权重系数未知, 则由多个领域专家给出各因素的权重系数, 进行加权平均, 得到各态势因素在各计划中的权重系数, 如表 3 所列。

表 3 专家给定态势因素在各计划中权重系数

		距离	能见度	释放电磁干扰	释放导弹
专家 1	相持(P11)	0.32	0.31	0.28	0.09
	规避(P12)	0.48	0.19	0.21	0.12
	攻击(P13)	0.28	0.12	0.31	0.29
专家 2	相持(P21)	0.30	0.33	0.26	0.11
	规避(P22)	0.45	0.22	0.19	0.24
	攻击(P23)	0.29	0.10	0.31	0.30
专家 3	相持(P31)	0.26	0.3	0.35	0.11
	规避(P32)	0.47	0.28	0.20	0.05
	攻击(P33)	0.30	0.06	0.32	0.32

各专家权重为 0.3, 0.3, 0.4, 则加权结果如表 4 所列。

表 4 加权平均后态势因素在各计划中的权重系数

	距离	能见度	释放电磁干扰	释放导弹
相持(P1)	0.29	0.312	0.302	0.104
规避(P2)	0.467	0.226	0.20	0.128
攻击(P3)	0.291	0.09	0.314	0.305

其他计算步骤同实例, 最终得到得分矩阵为

$$\begin{bmatrix} 0.397 & -0.381 \\ 0.366 & -0.441 \\ 0.307 & -0.489 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.016 \\ -0.075 \\ -0.182 \end{bmatrix}$$

即 $P1 > P2 > P3$, 敌机采取“相持”策略。

结束语 本文在态势评估领域将直觉模糊理论与计划识别相结合, 建立了基于直觉模糊多属性决策的计划识别模型,

克服了计划识别中信息在传播中“易”丢失的缺点。实验表明, 此模型计算量小, 能直观地反应出采取某计划的倾向度。

参考文献

[1] Hall D L, Llinas J. An Introduction to Multisensor Data Fusion [J]. Proceedings of IEEE, 1997, 85(1): 6-3

[2] ENDSLEYMR. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems[J]. Human Factors, 1995, 37(1): 3264

[3] Das S, Lawless D. Trustworthy Situation Assessment via Belief Networks[C] // Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion. 2002, 1: 543-549

[4] Rao B S, Durrant-Whyte H A. Decentralized Bayesian Algorithm for Identification of Tracked Targets[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(6): 1683-1698

[5] 雷英杰, 王宝树. 基于直觉模糊决策的战场态势评估方法[J]. 电子学报, 2006, 34(12): 2175-2179

[6] 李伟生, 王三民, 王宝树. 基于计划识别的态势估计方法研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(3): 532-536

[7] 雷英杰, 王宝树, 路艳丽. 基于直觉模糊逻辑的近似推理方法[J]. 控制与决策, 2006, 3: 306-310

[8] Zadeh L A. Fuzzy Sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338-353

[9] Atanassov K. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20: 87-96

[10] Xu Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2007, 15: 1179-1187

[11] 王晓帆, 王宝树. 基于贝叶斯网络和直觉模糊推理的态势估计方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(11): 2742-2746

(上接第 164 页)

由图 5 可知, 该省文史类本科第一批考生第一志愿报考中国语言文学类专业在各地域保持着较稳定的趋势。其中, 华北地区的最低录取分一直高于其他地域, 而西北地区几乎一直处于最低位置, 二者在 2002 年分数之差高达 53 分; 另外, 2006 与 2008 年各地域的最低录取分都有所升高, 而 2007 年各地域的最低录取分都有所下降。

因此, 倘若考生在填报志愿时第二志愿为华北高校, 则落榜的风险较大。反之, 如果考生的第一志愿为华北地区高校, 而第二志愿为西北地区高校或者直接避开录取分数较高的华北、华东地区而选择西北地区同类高校, 可以扩大自己的选择范围, 降低风险, 提高录取几率。总之, 考生填报志愿时需要正确处理地域问题。

结束语 本文利用某省招生自考办公室丰富的数据资源, 将普通高考招生录取系统的海量数据经过抽取、转换、清洗预处理后装载到 OLAP 数据仓库中, 并建立志愿数据分析多维数据集, 最后对这些数据进行多维分析并将结果以图形的方式进行展现。本文的分析结果对高考考生填报志愿具有指导意义。下一步的工作重点是借助数据挖掘技术, 利用已建立的数据仓库或多维数据集, 进一步揭示出隐含在志愿数据中的规律和信息, 从而为考生的志愿填报进行合理导向。

参考文献

[1] 李德铭. 高考志愿填报问题及其对策[J]. 甘肃教育, 2007, 3(05): 7-8

[2] Inmon W H. 数据仓库(原书第三版)[M]. 王志强, 林友芳, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2003

[3] 朱德利. SQL Server 2005 数据挖掘与商业智能完全解决方案[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 189-191

[4] Vincent R. Building a Data Warehouse: With Examples in SQL Server [M]. New York: Springer, 2008: 6-7

[5] Brian K, Erik V. SQL Server 2005 Integration Services 专家教程[M]. 冯飞, 译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 20-29

[6] 张宁, 贾自艳, 史忠植. 数据仓库中 ETL 技术的研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 70(24): 213-216

[7] Brian L. Microsoft SQL Server 2005 商业智能实现[M]. 赵志恒, 武海峰, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 135-139

[8] 高永金. 走进象牙塔——与广大考生谈如何填报好高考志愿[J]. 中学生数理化: 高中版, 2005(05): 34-35

[9] George S, Sivakumar H. MDX 解决方案(第 2 版)[M]. 李仁见, 董霖, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2008: 10-18

[10] Melome E, et al. SQL Server 2005 Analysis Services 标准指南(中文版)[M]. 武桂香, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2008: 56-61

[11] 柳进, 胡政, 唐降龙. OLAP 数据仓库在电网调度决策中的研究与应用[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 296-311

[12] Han Jiawei, Micheline K. 数据挖掘: 概念与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 39-41

[13] 陈祖力. 填报志愿有技巧[J]. 广东教育, 2005, 10(3): 67-68

[14] 李红. 智能决策支持系统的发展现状及应用展望[J]. 重庆工学院: 自然科学版, 2009, 23(10): 140-144