

一种面向军事态势估计的规划识别框架(SAOPR)研究

贺升平, 赵 烨

(陕西省宝鸡市 96411 部队 28 分队, 陕西 宝鸡 721013)

摘 要: 提出了一种基于“认识-预测-验证”闭环过程的面向态势估计的规划识别框架(SAOPR), 并研究了相应的实现方法. 首先研究了闭环机制在态势估计之对应流程, 针对该流程以及态势估计背景, 定义了若干基本态势元素的概念和 SAOPR 的体系结构, 描述了该问题的规划识别求解算法. 设计和实现了 SAOPR 的规划识别知识模型, 在态势评估系统中有着良好的应用前景.

关键词: 规划识别; 态势估计; 知识模型; 预测

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0169-04

Research of Situation Assessment Oriented Plan Recognition(SAOPR)

HE Sheng-ping, ZHAO Ye

(28 Branch, 96411 Unit, Baoji 721013, China)

Abstract: A new framework of situation assessment oriented plan recognition (SAOPR) based on the closed loop of “Cognition, Prediction, Validation” is proposed for the application of situation assessment, and its implementing method has been researched too. In this paper firstly the workflow of the closed loop process is analyzed and the SAOPR framework is extracted. For to explain the describability and the calculability of the closed loop process, several concepts of situation elements are defined and the SAOPR architecture including the plan recognition algorithm is designed. Then the plan recognition knowledge model of SAOPR has been discussed. It is expectable for SAOPR to play a useful role in situation assessment system.

Key words: PR; situation assessment; knowledge model; prediction

1 引言

规划识别(plan recognition, PR)是 80 年代以来兴起的人工智能研究新领域, 其研究对象是根据 agent 的行为序列来推断 agent 所追求目标的过程, 其着重于对当前已发生行为的分析和抽象(认识), 因而对动态问题有很好的适应性^[1]. 规划识别的研究者曾指出, 规划识别可解释为“等”和“看”两步^[2]: 即首先选择合理的规划假设来解释观测到的 agent 行为, 然后在该假设规划下, 预测和观察 agent 的未来行为. 由于 agent 通常有多个候选规划可以执行, 因而需要用观测到的 agent 行为去验证、修正当前的假设.

传统规划识别在“等”的过程中, 实际隐含有修正计划的过程. 即不断地根据时间的推移, 加入根据战场情景和敌方行为. 这一过程实际上是一个“认识-预测-验证”的闭环推理过程. 在这一个过程下, 可以利用 t 时刻产生的假设来预测 agent 在 $t+1$ 时刻的行为, 并将预测的结果作为一个 $t+1$ 时刻系统的输入, 来修正和筛选 t 时刻做出的假设^[3].

规划识别传统的研究领域面向单一的 agent 环境. 而态势估计领域则是一个相对复杂的多 agent 环境. 在一个态势估计系统中, 存在多个不同的行为、事件和规划层次, 因此必须对“认识-预测-验证”闭环系统中信息传递的内容和表示方法进行充分研究, 对其层次结构和推理机制做出严格规定, 以

收稿日期: 2009-04-13; 修回日期: 2009-06-11

基金项目: 国防“十一五”装备预研项目(51331030201)

确保系统认知的正确性和完整性. 鉴于这一闭环规划识别机制在态势估计中有很好的应用前景, 因此对这一技术有着探讨和研究的必要^[4-5].

2 SAOPR 的规划识别过程与算法

面向态势估计系统的规划识别过程决定于战场环境内军事实体(即规划识别的 agent)的时序行为. 一个军事实体(以下简称实体)是一个智能 agent. 在态势估计问题中, 由于决策者与对立方实体处于敌对状态, 只能通过观察对方实体的行为来识别该实体可能的战术, 其过程与规划识别完全一致, 因此态势估计是一个规划识别问题. 同时, 战争又是一种集体行为. 如在防空作战中各种打击力量与周围环境相互作用, 为了总的作战目标相互协同, 根据战场态势变化不断调整自身行动^[6]. 这样, 对敌方的态势估计不仅是一个规划识别问题, 而且还是一个多代理的规划识别问题.

针对空中威胁的战场环境及其态势元素, 文中给出下述概念和定义.

定义 1 实体(Entity). 可以用一个三元组 $\langle t, Id, Attribute \rangle$ 来表示. 其中, Id 是实体的标识, 具有唯一性; Attribute 是实体的属性集, $Attribute = \{a_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, 例如, 属性集合可以包括实体的名称、类型、身份、攻击能力、实体行为等. 实体的属性随实体类型的不同而不同. 例如, 实体是战斗机, 则实体行为可以是正向平直飞行、机动拐弯、俯冲、横滚等^[7].

由于实体的某些属性(如位置、航向、行为等)是变化的, 因此实体也是一个动态的概念.

定义 2 态势(Situation). 文中把“态势”理解为一个动态的概念, 即在某一时刻战场敌我双方及作战环境的所有因素的总和. 令敌方实体集为 E_1 , 我方实体集为 E_2 , 第三方实体集为 E_3 , 当前作战环境(天气、地理因素等)用 CE 表示, 则某一时刻战场态势可用 5 元组表示为: $S(t) = \langle t, E_1, E_2, E_3, CE \rangle$

定义 3 意图(Purpose). 指在某一个作战时间区间 $[t_1, t_2]$ 内, 敌实体集 E_1 企图达到的某一种战场态势. 令态势集合为 S , 则有 $Purpose \in S$.

从上述意图的定义可以看出, 意图是一种特殊的态势, 而敌实体 E_1 的在时间区间 $[t_1, t_2]$ 内的所有行为都是围绕达到该态势和实现该意图而服务的.

定义 4 规划(Plan). 在时间区间 $[t_1, t_2]$ 内敌实体集 E_1 为在某一初始态势下, 为达到态势 In-

tend $\in S$ 而执行的特定的战术行为序列集合 $\{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$. 其中, E_1 的任意一个行为 a_i 并不表示某一个实体的行为, 而是代表敌实体群的一个集体协作行为. 上面已指出, 态势估计是一种多 agent 规划识别过程. 多 agent 系统中的各个 agent 通过相互协商与合作来实现其目的, 这种协作就是战术配合.

战术行为 a_i 可以用三元组表示为 $a_i = \{E, M, P\}$. 这里 $E = \{e_i\}$ 表示参与战术的实体构成; $P = \{p_j\}$ 表示战术的行为构成. $M = \{\{e_i, p_j\}\}$, M 是战术规划, 表示为战术中各实体对应的基本行为序列.

定义 5 态势事件. 是指对当前态势产生影响和变化的各类战场事件, 包括战术、兵力、环境等各方面. 在本系统中, 只研究和定义了敌方战术和兵力变化的相关事件. 例如, 敌在某时间区间内实施某一种战术行为 a_i , 就可以看作该区间发生的一个事件.

在此基础上, 可以抽象出态势估计问题的规划识别过程(图 1).

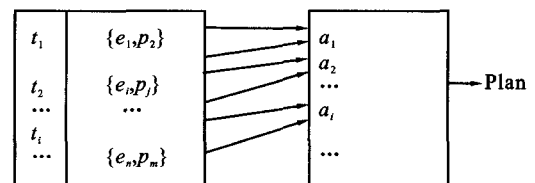


图 1 态势估计的规划识别过程

图 2 是 SAOPR 的基本结构. SAOPR 包括态势提取、态势分析、态势预测三部分. 其中, 在态势预测部分建立了两级预测反馈机制: 其一是实体级预测并反馈; 主要对实体的行为进行预测, 并将该行为反馈到系统输入端; 其二是事件级预测并反馈. 一方面, 事件级的预测结果用以产生对实体行为序列的预测, 另一方面, 对于一些特殊的事件(如出现新的目标点等), 因不涉及现有实体, 则直接反馈该事件到态势分析的事件输入端, 与态势提取结果比较后处理.

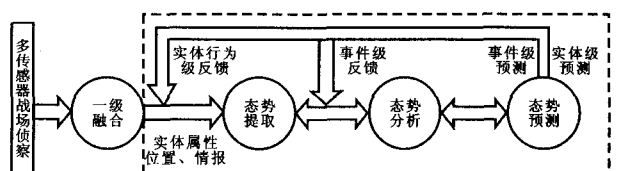


图 2 SAOPR 基本结构

令当前战场实体集为 E , t 时刻战场观测结果为 $O(E, t)$; SAOPR 的在上一时刻的事件假设集为

P. 基于上述定义, SAOPR 的规划识别过程可描述为算法 1.

算法 1 SAOPR 的规划识别过程

Step1: SAOPR 获得当前的实体 E 行为的观测 $O(E, t)$.

Step2: 将观测 $O(E, t)$ 映射到某一序列元素 a_i . 判别 a_i 与 ω 集元素的相容性; 若不相容, 则在候选假设集 P 中添加新的事件假设;

Step3: 调整候选态势事件集 P 中元素的可信度;

Step4: 自底向上推理, 更新中间各节点直至态势假设集及集合元素的可信度;

Step5: 选择各态势假设, 并自上而下反推, 预测尚未发生的时序事件, 加入事件假设集.

Step6: 按所有事件假设预测实体 E 的各种行为结果.

Step7: 将预测结果赋值到 ω 集. 转 Step1.

3 SAOPR 的规划识别知识模型与实现

作为规划识别技术在态势估计的一个应用手段和具体的实现方法, 内部涉及到很多具体细致的环节, 最基本的就是知识的层次定义. 这里在前面 SAOPR 基本概念基础上, 并对有关概念定义如下.

定义 6 实体(agent)基本行为. 实体 e_i 的基本行为用 $\{e_i, p_j\}$ 表示, 反映某一时刻实体 e_i 的状态(含实体的行为和属性特征). 不仅反映实体的行为, 也反映实体的威胁能力等属性特征.

这样, 事件就可以看作是各 agent 在观察时间区间内, 其多个有序的行为构成的行为序列集合. 一个事件在态势规划中可对应多个 agent 的一组行为, 也可对应一个有独立意义的 agent 的行为. 这里的事件和行为之间的关系对应了 Kqutz 的分解关系. 假如“敌机逼近我方目标”可以分解为“敌机距我不足 80km”, “敌机距我不足 50km”, “敌机距我不足 30km”三个子过程, 则按 Kqutz 方法可以表达为:

$$\forall x \text{ lay_aboard}(x) \supset \text{interval_80}(f_1(x)) \wedge \text{interval_50}(f_2(x)) \wedge \text{interval_30}(f_3(x))$$

$$\text{and lay_aboard} = \text{true} \quad \text{if} \quad \text{interval_80} = \text{true}, \text{interval_50} = \text{true}, \text{interval_30} = \text{true}$$

同时, 行为序列和事件之间是一种 $N:1$ 的关系, 即一个事件可以由多种不同的行为序列来达成. 即多种不同的行为序列可以抽象为同一个事件. 此时, 行为序列和特定事件之间构成了 Kqutz 的抽象关系. 若“敌机逼近我方目标 0”可以通过两种行为

序列来完成: (1)“敌机抵达地区 11, 敌机抵达地区 12, 敌机抵达地区 13”; (2)“敌机抵达地区 21, 敌机抵达地区 22, 敌机抵达地区 23”, 前者为航线 1, 后者为航线 2, 则按 Kqutz 方法可以表达为:

$$\forall x \text{ lay_aboard}(x) \supset \text{lane_1}(x) \wedge \text{lane_2}(x)$$

$$\text{and lay_aboard} = \text{true} \quad \text{if} \quad (\text{lane_1} = \text{true} \text{ and } \text{lane_2} = \text{false}) \text{ or } (\text{lane_2} = \text{true} \text{ and } \text{lane_1} = \text{false})$$

抽象关系隐含了 Kqutz 的互斥假设的前提. 即若某一事件可以若为多个行为序列的抽象, 则这些行为序列必然是互斥的, 两两不同的.

定义 7 过渡态势是在某一初始态势下, 目标经过一系列事件所达到的某一预定结果(战场局面).

定义 8 阶段规划是在某一过渡态势下, 达到另一个过渡态势时目标所需的固有的事件序列. 阶段规划通过对相应事件序列的抽象, 揭示群 agent 的战术行为.

因此, 规划也是目标自初始态势至意图时所需要完成的一系列阶段规划的序列. 同时, 规划也可以抽象为一系列有序的过渡态势的集合.

显然, SAOPR 系统中的“事件”只是相当于 Kqutz 模型中的较低层次的事件, 而 SAOPR 的阶段规划和规划才是 Kqutz 模型真正意义上的“事件”. 本文这样定义术语, 主要是为了遵从态势估计系统的习惯用法.

在 SAOPR 系统中, 建立了分层多级的结点结构. 同时还规定了各级结点的运算关系, 这也是在 SAOPR 系统中建立结点关联的基本原则:

- (1) 某一事件由某个行为序列来证实;
- (2) 某一实体初级过渡态势由初始子态势与在该时间区间内对应发生的多事件证实;
- (3) 各级过渡态势由自次一级过渡态势加相应产生变迁的不同的事件集证实;
- (4) 各级阶段规划由自次一级阶段规划加相应产生变迁的不同的事件集证实.

图 3 是 SAOPR 知识的层次联系图. SAOPR 的知识层次模型思想来源于 Kqutz 模型, 但相对于 Kqutz 对于事件的重视, SAOPR 更加强调了 agent 环境, 即事件发生前的战场态势. 通常的规划识别系统并不如此强调环境的影响, 在 SAOPR 系统中, 无论在规划识别的哪一步, 都首先要明确此时的所谓“过渡态势”, 完全是由于战场态势估计的应用背景所决定的.

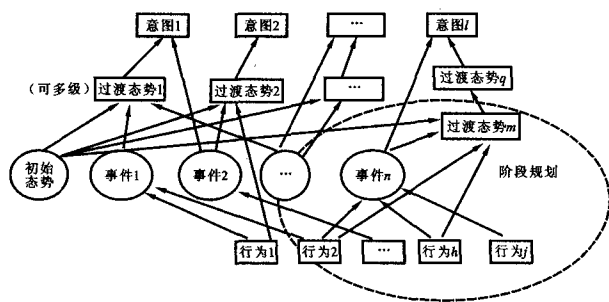


图3 SAOPR的知识层次定义

4 知识模型描述算例

图4是建立在SAOPR的定义基础上的一个态势估计问题的规划识别知识模型例子。在这个例子中, S_1 代表初始态势, $S_7(I_1)$, $S_8(I_2)$, $S_9(I_3)$ 是三个目标态势(敌方意图)。其中, 存在若干中间过度态势(S_2, S_3, S_4, S_5, S_6), 且相互之间可以转化。例如, 通过 $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_5 \rightarrow S_9$ 的规划可达成进攻意图 $S_9(I_3)$, 也可通过 $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_9$ 迂回达到该企图, 也可通过 $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_6 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5 \rightarrow S_9$ 的规划达成该企图, 甚至可以通过 $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_3 \rightarrow S_5 \rightarrow S_9$ 的规划达成企图。

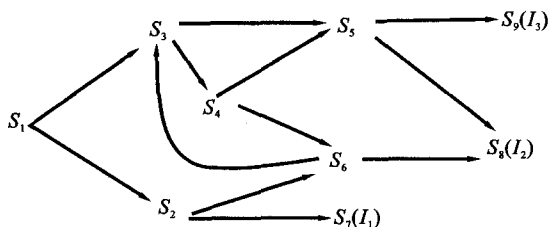


图4 SAOPR的规划识别知识模型例子

由于战场条件的限制和约束, 上述规划图并非恒定不变的, 而是存在时间非齐次特性。例如, 按阶段规划 $S_1 \rightarrow S_3$ 时, 初次达到的 S_3 态势(简称“初态 S_3 ”)同时存在向过渡态势 S_5 及 S_4 转移的可能; 但按规划 $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_3$ 后, 则二次返回的 S_3 态势(简称“次态 S_3 ”)则只存在向过渡态势 S_5 转移的可能, 此时不再可能发生 $S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_5$ 的转移路径。其原因是经过规划 $S_1 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4 \rightarrow S_6 \rightarrow S_3$ 后, 次态 S_3 和初态 S_3 的时间条件限制已截然不同。实际上, 一个战场态势估计的规划识别模型具有如下特点:

(1) 在同样起始态势下, 出现不同的证据序列(行为, 事件), 则会形成不同的态势。

(2) 在不同的态势下, 通过不同的证据序列可归到同一态势。

(3) 在不同的起始态势下, 执行相同的行为序列, 可能得到不同态势。

(4) 通过不同的证据序列, 态势间可以形成回路, 但存在多种非时齐约束。

因此, 战场态势变化并不是一个可逆的系统。为此, 本文把时限也作为状态区分的因素。这样, 两个 S_3 被区分为不同的态势 S_3 和 (S'_3) , 由此也消除了原图中的环路。更新后的规划识别知识模型见图5。

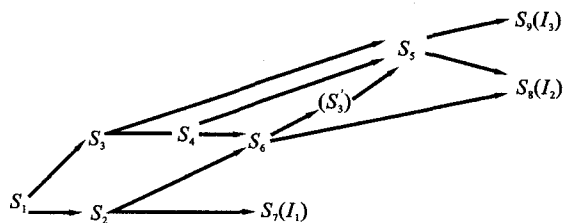


图5 更新后的规划识别知识模型例子

5 结束语

文中通过研究, 得出以下结论:

(1) “认识-预测-验证”的闭环规划识别机制是一种可全面和自然描述战场态势估计过程方法, 同时通过对该过程的形式化, 可看出该过程是可定义和可描述的。

(2) 在面向态势估计的闭环规划识别过程实现模型中, 存在一定的知识层次, 包括行为, 事件, 态势, 意图等结点, 各结点可分割为多个层次, 低级对于高级结点是一种证据支持关系。

(3) 算例表明, 文中所提出的规划识别知识模型可清晰地描述战场态势变化的过程。故在态势评估系统中有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Kautz H. A formal theory of plan recognition[D]. New York: University of Rochester, 1987.
- [2] Schmidt F, Sridharan N S. The plan recognition problem: an intersection of psychology and artificial intelligence[J]. Artificial Intelligence, 1978(11): 45-83.
- [3] Spangler W E. The role of artificial intelligence in understanding the strategic decision-making process[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 1991, 3(2): 149-159.
- [4] 程岳. 数据融合中的态势估计技术研究[D]. 陕西: 西安电子科技大学, 2002.
- [5] Xuezhi Wang, Thorns G. Robustness analysis at the technical level of situation assessment[C]// Seventh International Conference on Information Fusion. Australia: University of Melbourne, 2004(2): 1263-1268.

(下转第178页)

- cessing Workshops. Los Alamitos, CA: IEEE, 2004.
- [6] Berqia Amine, Angoma Blaise, Mikou Noufissa, et al. Fairness and QoS in Ad-Hoc networks [C] //Proc of IEEE Vehicular Technology Conf. Singapore: IEEE, 2008.
- [7] Qiu Jigang, Fan Guangbin, Long Yi, et al. A multi-channel protocol with QoS provision in Ad Hoc network [C]// SPIE 6354: Conf on Network Architectures, Management, and Applications IV. Bellingham WA: SPIE, 2006: 63541Z-1-63541Z-8.
- [8] Kuang Tianbo, Williamson Carey. A bidirectional multi-channel MAC protocol for improving TCP performance on multihop wireless Ad Hoc networks[C]// Proc of the 7th ACM Int Symp on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. Italy: Venezia, ACM, 2004.
- [9] 杨超, 张红斌, 杨卫东, 等. 一种新的无线 Mesh 网路由协议[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(3):882-887.
- [10] Anand Prabhu Subramanian, Milind M Buddhikot, Scott Miller. Interference aware routing in multi-radio wireless mesh networks[C]// Proc of the 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks. Reston, Virginia: IEEE, 2006.
- [11] Rangwala Sumit, Jindal Apoorva, Jang Ki-Young, et al. Understanding congestion control in multi-hop wireless mesh networks [C]// Proc of MobiCom'08. San Francisco, California: ACM, 2008.
- [12] Rojviboonchai Kultida, Yang Fan, Zhang Qian, et al. AMTP: a multipath multimedia streaming protocol for mobile Ad Hoc networks[C]// Proc of the 40th IEEE Int Conf on Communications. Seoul, Korea: IEEE, 2005.
- [13] Tam Waihong, Tseng Yuchee. Joint multi-channel link layer and multi-path routing design for wireless mesh networks[C]// Proc of INFOCOM'07. Anchorage, Alaska: IEEE, 2007.
- [14] Setton Eric, Yoo Taesang, Zhu Xiaoping, et al. Cross-layer design of Ad Hoc networks for real-time video streaming[J]. IEEE Wireless Communications, 2005(8): 59-65.
- [15] Tang Jian, Xue Guoliang, Zhang Weiyi. Cross-layer optimization for end-to-end rate allocation in multi-radio wireless mesh networks [J]. Wireless Networks, 2009 (15):53-64.
- [16] Andreopoulos Yiannis, Mastronarde Nicholas, Schaar Michaela van der. Cross-layer optimized video streaming over wireless multihop mesh networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(11):2104-2115.

作者简介:

崔华力 男,(1978-),博士研究生.研究方向为无线 Mesh 网络、QoS、网络测量.

钱德沛 男,(1952-),教授,博士生导师,CCF 高级会员.研究方向为高性能计算机、网络技术、计算网络管理、性能测量、无线传感器网络.

刘 轶 男,(1968-),博士,教授.研究方向为无线传感器网络、嵌入式系统.

伍卫国 男,(1964-),博士,教授,博士生导师.研究方向为计算机体系结构、嵌入式系统.

彭 绯 女,(1975-),博士,副教授.研究方向为无线传感器网络.

(上接第 172 页)

- [6] 刘强,薛惠锋.基于多 Agent 的指控系统防空作战效能评估仿真研究[J].微电子学与计算机,2008,25(2):126-128.
- [7] 贺升平,覃征.一种新的机动目标功能合群算法[J].微

电子学与计算机,2006,23(6):16-17.

作者简介:

贺升平 男,(1968-),博士,高级工程师.研究方向为规划识别技术和软件工程.