

# 实现态势估计的一种模板匹配算法<sup>\*</sup>)

李伟生<sup>1,2</sup> 王宝树<sup>2</sup>

(重庆邮电学院计算机科学与技术研究所 重庆 400065)<sup>1</sup>

(西安电子科技大学计算机学院 西安 710071)<sup>2</sup>

**摘要** 态势估计可归为一个多假设动态分类问题。如何找到态势假设和发生事件间的关系,是态势估计系统需要解决的问题。本文讨论了基于模式的态势知识库的建立,给出了一种基于模板匹配的知识推理算法,并运用专家系统工具 CLIPS 实现了事件/活动、军事计划的模板表示及推理,表明了使用模板匹配的方法求解态势估计问题的可行性。

**关键词** 态势估计,信息融合,模板匹配

## A Template Matching Algorithm for Implementing Situation Assessment

LI Wei-Sheng<sup>1,2</sup> WANG Bao-Shu<sup>2</sup>

(Institute of Computer Science & Technology, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065)<sup>1,2</sup>

(School of Computer Science and Technology, Xidian University, Xi'an 710071)<sup>2</sup>

**Abstract** Situation assessment is a dynamic classification problem of multiple hypotheses. Finding out the hidden patterns between situation hypothesis and events is the problem needed to solve in situation assessment system. The establishment of situation knowledge library based on schema is first discussed in this paper. And then a knowledge inference algorithm based on template matching is presented. Finally, an expert system tool, CLIPS, is utilized to implement the template expression and inference of events or activities and military plans, which shows the feasibility by using the algorithm in solving the problem of situation assessment.

**Keywords** Situation assessment, Information fusion, Template matching

## 1 引言

作战指挥是个复杂的系统工程。在此过程中,指挥员必须根据敌我双方的态势,快速、准确地作出决策,以取得战争的主动权。然而,现代战争是立体战争,作战指挥越来越复杂,难度越来越大。错综复杂、瞬息万变的现代战场迫切要求 C<sup>4</sup>ISR 系统提供实时态势估计能力来辅助指挥员决策。

态势估计可归为一个多假设动态分类问题<sup>[1]</sup>。在信息融合信息中,它是对战场上战斗力量部署及其动态变化情况解释,推断敌方企图,预测将来活动,并提供最优决策依据与支持资源分配的过程。由于态势估计是对战场上获得的数据流的高层次关系提取与处理,更接近于人的思维过程,要涉及到众多的因素、参数、作战样式、条例和观点,它所进行的各种运算多半都是基于领域知识、模拟人脑思维的符号推理,在战役(术)对象多、协同关系复杂、机动频繁、战场态势变化快的真实情况下,要想给出一个置信度较高的估计模型是比较困难的。

本文首先讨论了基于模式的态势知识库的建立,在此基础上,给出了一种基于模板匹配的知识推理算法,并运用专家系统工具 CLIPS 实现了军事计划的模板表示,表明使用模板匹配来实现态势估计是有效可行的。

## 2 基于模式的态势知识库的建立

态势估计系统中专家根据观测得到的样本对敌方的目

标、计划进行推理,需要一些有关态势的知识,这些知识用来建立不同态势的活动类型。无论是单个平台突击还是多个平台协同作战,在制定作战计划时都需要考虑到时间、空间和因果方面的约束关系<sup>[1,2]</sup>。态势估计知识库应该尽可能地对战计划进行详细的描述。知识表示决定了态势估计系统的推理机制,知识表示模式的选择不仅与知识的有效存储有关,也直接影响着系统的知识获取能力和知识的运用效率。Noble<sup>[3]</sup>最早将模式理论应用于态势估计知识库的建立,并取得了良好的效果。

模式通常用一组具有约束性关系的槽以及和其它模式之间的相互关系表示。槽对应着该模式所表示的实体的特性。模式的槽也能够采用模式的形式来描述。因此,模式具有嵌入式的层次关系。模式识别是用计算机来模拟和实现人的识别和理解能力,依靠这种自动技术,机器将自动地把待识别模式分配到各自的模式类中去。模板匹配是应用最广泛的模式识别方法之一。通过设计开发的态势知识提取工具获取的知识称为模板。模板和模式的结构类似,也由槽、约束关系以及和其它模板的层次性相互关系组成,但二者并不等价,因为模式是有助于组织记忆的认知结构,而模板则是通过知识提取得到的数据结构。与槽相关的约束关系定义和限制了填入槽中的具体值的特点。这些约束关系可以限制填入槽中的值的范围(典型范围和允许范围),在典型范围内的值比在允许范围内的值更加优先被填入槽中,不在允许范围内的值则不能够被填入槽中。通过槽具有的约束关系,每个槽可以采用不

<sup>\*</sup>)本课题得到国防科技预研基金项目资助。李伟生 博士,副研究员,主要研究方向为智能信息处理。王宝树 教授,博士生导师,主要研究领域为多传感器信息融合技术。

同的方式进行填充,这样就可以用较弹性的方法表示人类知识的某种程度上的模糊性、不精确性,甚或略有矛盾的情况。

根据态势估计领域的需要,模板中应该包括的信息有:目标及实现目标的计划、事件/活动之间的相互关系、不同类型的态势上报数据作为态势推理证据的相对数值等。每个事件槽作为模板的证据主要由两个数值(支持度和否定度)确定:当发现相应于该槽的事件时,前者给出了该事件出现作为证据所增加的模板的信任度;当未发现相应于该槽的事件时,后者给出了未出现该事件作为反面证据所减少的模板的信任度。在使用这些态势模板进行具体的态势活动推理时,这些数值对推理过程及结果会产生影响。

Azarewicz<sup>[4]</sup>把态势知识库表示为目的、计划、任务和事件的4级层次结构,在这个层次结构中包含了作战单元可能的军事目标及各作战单元通过协同达到这个目标的方式。其中计划描述的是作战各编队如何协同共同完成目标的过程。而任务描述的是在编队内部各平台如何协同完成编队子目标的过程。模板中的槽定义了该军事计划的作战意图、计划的参与者、各参与者的行动步骤及弹性约束关系。其中作战意图槽描述了该军事计划的最终目标,即目标态势。为了达到一个作战意图,可以有多种作战方案,因此同一个作战意图一般都对应于多个军事计划模板。参与者槽规定参与者的类型、数量及其它属性。由于军事计划在实施时高度灵活机动的特点,我们在模板中在各参与者的行动步骤中允许引入子目标,生成子计划模板来增强模板的通用性。弹性约束槽定义了各个行动步骤间弹性的空间时间关系。

Noble<sup>[3]</sup>举例描述了美军较为典型的对敌方水面战斗群实施空中打击的作战计划,由层次性的嵌入模板组织形成。在层次性的嵌入模板组织结构中,各个模板的名称显示在模板的顶部,横向表示时间的推演,纵向对应于参与者。事件以方框表示,按照其在计划中最典型的时间顺序排列在每一行上。在态势知识库中可以定义4种事件之间的相互关系:导致(Causes),前一事件是后一事件发生的原因,如“发现敌方目标”因而才会“发起进攻”;使能(Enables),前一事件是后一事件发生的条件,如只有“装载弹药”才有“发起进攻”的能力;领先(Precedes),事件的发生必须按照一定的时间顺序;伴随(Accompanies),事件同时发生。

以模板表示的作战计划只是较为典型的情形,但在实际作战过程中,战场中所观测到的结果(行动序列)并不是精确地与模板一致。因此,计划模板包括基本组成和可选组成两部分。可选事件在实例化模板时,可以发生,也可不发生;而所有其它的事件则为必须事件,即在根据这些模板生成活动的实例时,这些事件槽必须被填充。进攻过程中发生的事件千变万化,事件之间的时间间隔、执行打击任务的飞机的类型和数量也可能不一样,在设计模板时应对其设置允许的最大、最小值和典型的最大、最小值。虽然现代战争作战样式灵活多变,基于各种军事高新技术的新战术也层出不穷,但很多基本的作战条例及步骤可能在较长一段时间内都不会有大的改动,所以结构比较固定的模板用来表示军事计划有一定的适应性。

### 3 态势评估中基于模板匹配的知识推理算法

在基于模式的态势知识库的基础上,我们讨论一种基于模板匹配的知识推理算法。模板匹配可以描述为如图1所示的过程。

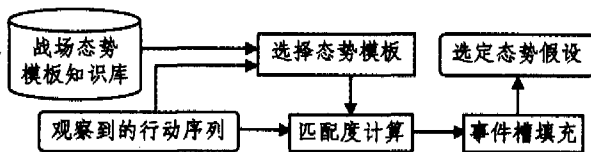


图1 态势估计的模板匹配过程

模板匹配按照3个步骤进行:

Step1:根据观测到的敌方的行动,综合系统知识库中的军事态势模板进行诊断,建立特定态势假设模板结构。

Step2:计算观测到的敌方行动与特定态势模板结构的匹配程度,测试这个模板结构以决定它是否能够充分地解释说明已被观测到的敌方的行动。由于战场上发生的事件/行为是逐步地发生的,是一个序列,因此在进行模板匹配的时候,对于已经发生的事件/行动序列{a}和模板中的事件序列{A}的匹配度可以分为以下3种情况进行计算:

1)  $\forall a_i \in \{a\} \wedge a_i \in \{A\}$ ,即表示某类型的事件既在军事计划中,也在战场环境下已发生。这时将观测到的态势特征与模板结构中的约束关系槽定义的范围(典型的和允许的)进行比较,设典型值区间为 $[L_i, G_i]$ ,允许值区间为 $[L_p, G_p]$ ,且 $[L_i, G_i] \subseteq [L_p, G_p]$ ,按照下面的式子进行匹配度(degree of match)的计算:

$$DOM_i = \begin{cases} 0, & x < L_p \\ (x - L_p) / (L_i - L_p), & L_p \leq x < L_i \\ 1, & L_i \leq x \leq G_i \\ (G_p - x) / (G_p - G_i), & G_i < x \leq G_p \\ 0, & x > G_p \end{cases} \quad (1)$$

如果态势特征很好地符合了这些范围的要求(达到一定的匹配度),则对该槽进行填充。每填充一个槽将增加观测到的行动对于模板的支持度,设行动对模板中军事计划的影响度为 $\omega_i$ ,则发生的n个行动对模板的支持度MB(Measure of belief)为:

$$MB = \sum_{i=1}^n \omega_i DOM_i \quad (2)$$

2)  $\forall a_i \in \{a\} \wedge a_i \notin \{A\}$ ,即表示某类型的事件不在军事计划中,但在战场环境下发生了该事件。在这种情况下,主要计算 $a_i$ 的出现对于模板的否定度 $MD_1$ (Measure of disbelief)。

3)  $\forall a_i \notin \{a\} \wedge a_i \in \{A\}$ ,即表示某类型的事件在军事计划中,但在战场环境下没有发生该事件。在这种情况下,主要计算 $a_i$ 的不出现对于模板的否定度 $MD_2$ 。

Step3:计算事件对模板的总的支持度或否定度。如果行动序列对特定态势模板结构的不支持度达到一定阈值,则抛弃该假设模板结构;如果观测到的行动序列与特定态势模板结构足够匹配,这个特定态势模板结构就可以用来解释当前的战场态势。

上述步骤中,建立态势假设模板结构的过程与人的认知过程相对应,即从长期存储的模板里剪裁出适应于特定态势的模式。系统所建立的特定态势的模板结构具有槽、约束关系以及和其它模板结构的层次性关系等,是对观测到的敌方活动的一种假设模型。计算匹配度的过程反映了模式的任

务,即作为认知完备的目的在于评价模式与所处理的数据的匹配程度,每填充一个槽将增加态势活动与特定态势模板的

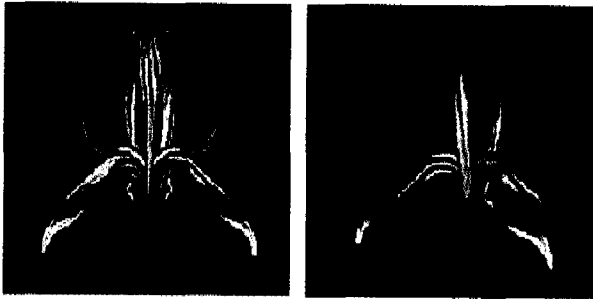


图3 基于B样条曲线的重建结果

**结论** CB样条曲线是三次样条曲线的推广,这种曲线不仅能够处理不规则曲线和曲面,并且提供了圆和圆柱精确的重新产生,在工程表示和处理曲线、曲面上有很好的应用。本文利用CB曲线的仿射不变性,将其作为三维重建的一种单元,用来重建空间的自由曲线。与传统方法相比较,本文方法在重建精度和算法复杂度上都有较大的改善,并能直接从灰度图中计算出空间自由曲线的模型,在应用时更加方便。首先,在边缘提取时,使CB样条曲线表示不规则物体可以尽可能

地减少近似误差的影响。其次,使用CB样条曲线可以避免点对点的对应,使用一定数量的点代替整个边缘集,不仅加速了匹配过程而且减少了错误匹配的发生。

**参考文献**

- 1 Tang Li, Wu Chengke, Tsui H T, Shi gang Liu. Algorithm for 3D reconstruction with both visible and missing data. Electronics Letters, 2003, 39(23): 1640~1642
- 2 Grossmann E, Santos-Victor J. Least-squares 3D reconstruction from one or more views and geometric clues. Computer Vision and Image Understanding, 2005, 99(2): 151~174
- 3 Gu Kaining, Tang Zesheng, Sun Jiaguang. Reconstruction of 3D solid objects from orthographic projections. Computer Graphics Froum, 1986, 5(4): 317~324
- 4 Lequette R. Automatic construction of curvilinear wire frame Views. Computer -Aided Design, 1988, 20(4): 171~179
- 5 kuo M H. Reconstruction of quadric surface solids from three-View engineer -ing drawings. Computer-Aide Design, 1998, 30(7): 517~527
- 6 Xiao Y, Ding M, Peng J. B-spline-based Stereo for 3D Reconstruction of Line-like Objects Using Affine Camera Model. Int. J. Pattern Recognition Artifact Intelligence, 2001, 15(2): 347~358
- 7 张纪文, 罗国明. 三次样条曲线的拓广——C曲线. 计算机辅助工程, 1996

(上接第230页)

总的匹配程度的评估值,当其充分匹配时,这个特定态势模板就用来解释当前的战场态势,如推断敌方的目标,推理一些未被发现的参与者、过去未发现的事件、将要发生的事件,以及对敌方活动的特征数值进行判断等。由于特定态势模板结构中槽的约束关系表示了可被填入该槽的典型、允许数值,将观测到的敌方活动的特征数值与之相比较则可以得到敌方活动的特征数值。

**4 基于CLIPS的模板匹配实现**

CLIPS是用C语言设计的一种多范例编程语言,它支持基于规则的、面向对象的和面向过程的编程,在人工智能领域中得到了广泛的应用<sup>[5]</sup>。下面以一个简单的例子来说明事件和计划在CLIPS中的表示及CLIPS的模板匹配过程:一个平台被对方雷达锁定、受到攻击的威胁时通常要实施规避的作战计划。该计划有一个计划实施者,一个目标。计划实施者的相关事件有施放干扰和快速机动等;目标也有一个相关事件:火控雷达开机。为便于讨论,设检测到计划实施者的事件为快速机动。其中约束关系有:

- (1)计划实施者属于蓝方,目标属于红方。
- (2)红方火控雷达开机锁定蓝方。
- (3)雷达开机事件领先于快速机动时间的典型值为3~4秒,允许值为0~6秒。

为了验证态势估计中基于CLIPS的模板匹配方法的可行性,由仿真程序生成一个场景,并模拟产生各类传感器的数据,然后由信息融合系统对这些数据进行处理。态势估计系统接受一级融合的输出,仿真程序提供的各平台在当前时刻由侦察设备获取的参数数据(如位置、速度、平台携带的辐射源等)经过目标跟踪和识别后进入态势估计系统。设红方战斗机起飞以后,根据来犯敌机的大致方位进入迎击航向。当搜索到目标并确认是敌机后,双方都可能实施机动进入有利的攻击阵位,并在对方处于导弹射程之内时发射导弹进行攻击。同时,受攻击的一方则在发现对方火控雷达锁定自己后立刻实施急速拐弯,规避导弹的攻击。这样,战斗机可能实施两种计划:攻击或规避。实施攻击计划的相关事件一般有起飞、搜索、快速爬高、锁定目标、干扰、俯冲攻击、拐弯等,这里只考虑较简单的情形,认为攻击计划由搜索目标、锁定目标和发射导弹组成,如图2所示。且设火控雷达开机(锁定目标)事件领先于搜索雷达关机(搜索到目标)事件的时间典型值为5~7秒,允许值为1~12秒,发射导弹事件领先于火控雷达

开机事件的时间典型值为4~6秒,允许值为2~8秒。

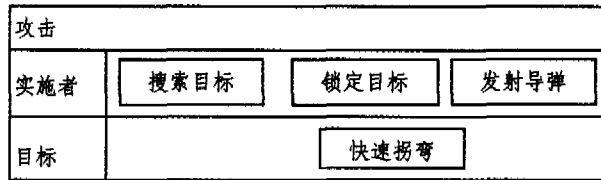


图2 平台攻击计划

设通过场景检测到蓝方战斗机的一系列事件:

- 0分0秒,发现目标;
- 0分0秒,radar-AN/APS-115开机;
- 1分12秒,radar-AN/APS-115关机;
- 1分20秒,radar-AN/APG-63开机……

可以看出,蓝方搜索雷达在1分12秒关机,火控雷达在1分20秒开机,计算这两个事件与攻击模板中相应槽的匹配度分别为1和0.8。设这两个事件对攻击模板的影响度分别为0.3和0.4,在这两个事件发生时,可以得到发生事件对模板的总的支持度为 $MB=0.31+0.4 \times 0.8=0.62$ ,认为与该模板相匹配,即识别到蓝方战斗机的攻击计划,该计划的执行时间被认为是相关事件的发生时间。

**结束语** 本文讨论了基于模式的态势知识库的建立,给出了一种基于模板匹配的态势估计知识推理算法,并运用专家系统工具CLIPS实现了事件/活动、军事计划的模板表示及推理,表明了使用模板匹配的方法实现态势估计是有效可行的。使用模板匹配的优点在于能直接表示和聚类大量数据,并且模板的范围和复杂性可以选择。缺点是结构相对固定,且来自多传感器系统的一个观测可能与多个可能的事件或活动相联系,使模板设置控制涉及到复杂的数据管理问题。

**参考文献**

- 1 姚春燕. 战术态势估计中时空推理理论与技术研究:[国防科技大学博士论文], 1999
- 2 Kirillov V P. Constructive Stochastic Temporal Reasoning in Situation Assessment. IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics, 1994, 21(7): 1099~1113
- 3 Noble D F. Schema-Based Knowledge Elicitation for planning and Situation Assessment Aids. IEEE Trans. on SMC, 1989, 19(3): 473~482
- 4 Azarewicz J, Fala G, Heitchecher C. Template-Based Multi-Agent Plan Recognition for Tactical Situation Assessment. In: Proc. of 5th Conf. on Artificial Intelligence Applications, March 1989. 247~254
- 5 Giarratano J, Riley G 著. 印鉴,等译. 专家系统原理及编程. 机械工业出版社, 2001