

## 摘 要

态势估计属于数据融合中的二级融合，它主要在一级融合的基础上，通过对数据的分析推理，识别敌军的行为模式，推断敌军意图，并对临近时刻的态势变化作出预测。本论文主要对平台事件/行为的检测及在此基础上的军事计划识别的实现技术做了深入的研究。

本文首先提出了态势觉察、态势理解及未来态势预测三级态势功能模型，然后具体描述了各个部分要实现的功能，接着讨论了态势估计问题的特点及一些用于态势估计的推理框架，其中重点研究了基于规划识别理论的态势估计模型。其次在对态势觉察技术的研究中，进一步完善事件分类及其检测算法，对机动事件及平台状态进行模糊化处理，对分群技术也做了一个基本的描述，并用面向对象技术对态势觉察模块进行了建模；在对态势理解及未来态势预测技术的研究中，详细定义了模糊时间关系、模糊空间关系，深入研究了基于模板的军事计划表示及基于模板匹配的推理算法，并在嵌入了专家系统工具 CLIPS 以实现平台计划的识别；最后想定了一个场景，对事件检测及平台计划识别算法进行了测试。

**关键字：**态势估计 规划识别 模板技术 专家系统

**ABSTRACT**

As the level 2 processing of data fusion, situation assessment is to recognize the activity patterns, conclude the intentions of enemy and forecast the changes of near future situation by analysing the data frames processed by the level 1 fusion. The paper mainly deals with the detection of events/actions of plates and the implement technologies of military plan recognition.

In the first part of this paper, a three-level situation assessment functional model, which consists of situation perception, situation recognition and situation projection, is proposed and it leads us to a functional decomposition of a multilevel situation assessment process, then the characteristics and reasoning modes of situation assessment are treated in detail with emphasis on the model based on plan recognition theory. In the study of the technologies of situation perception, the taxonomy of events and algorithms for detecting events are perfected, and the events and states are fuzzed, then a brief description of the technologies of clustering is presented; and situation perception is modeled by object-oriented techniques. In the study of the technologies of situation recognition and projection, fuzzy temporal relations and fuzzy spatial relations are defined in detail. The template-based military plan representation technology and template matching algorithm are studied in depth, and the recognition of plate plan is accomplished by embedding CLIPS in system. Finally, a scene is created to test the algorithms for detecting events and recognizing plate plans.

**Keyword :** Situation Assessment Plan Recognition Template Technology  
Expert System

## 创新性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：申屠晓峰 日期 2004.1.5

## 授权书

本人完全了解西安电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属西安电子科技大学。本人保证毕业后离校后，发表论文或使用论文工作成果时署名单位仍然为西安电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。（保密的论文在解密后遵守此规定）

本人授权西安电子科技大学图书馆保存学位论文，本学位论文属于\_\_\_\_（保密级别），在\_\_\_\_年解密后适用本授权书，并同意将论文在互联网上发布。

本人签名：申屠晓峰 日期：2004.1.5

导师签名：王宝树 日期：2004.1.5

## 第一章 绪论

数据融合 (Data Fusion) 概念的提出始于七十年代, 自从二战出现雷达传感器后, 人们通过情报综合将多源情报信息进行融合处理。随着多种类型传感器的出现, 战场环境呈现出多目标多传感器的特性, 各种类型的侦察手段和设备 (如雷达、声纳、红外、无源探测、光学等) 在探测距离和侦察内容上均大大增强, 而且传感器已经被配置在任何位置的动态、静态平台上, 极大地扩展了战场指挥员的视野。但是, 由此带来的是各类信息源所提供的情报信息海洋。如何从大量的、多类的情报信息中提取出对作战目标有用的、适宜的、准确的信息, 并且不损失情报信息中的有效成分成为当务之急。数据融合的概念孕育而生, 并在很多非军事领域也得到了广泛的应用, 如复杂机械的监控、医疗诊断及智能建筑等等。

### 1.1 数据融合理论知识

#### 1.1.1 数据融合概念

十几年来, 多传感器数据融合技术获得了普遍的关注和广泛应用, 融合一词几乎无限制地被众多应用领域所引用。这些应用领域主要有: 机器人和智能仪器系统; 战场任务和无人驾驶飞机; 图像分析与理解; 目标检测与跟踪; 自动目标识别; 多源图像复合。因此对于数据融合这样一个具有广泛应用领域的概念, 很难给出一个统一的定义。但有一点是肯定的, 数据融合是针对一个系统中使用多种传感器(多个和 / 或多类)这一特定问题而展开的一种数据处理的新研究方向, 因此, 数据融合又可称作多传感器融合(MSF)。根据国外研究成果, 数据融合比较确切的定义可概括为: 利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、综合以完成所需的决策和估计任务而进行的信息处理过程。按照这一定义, 多传感器系统是信息融合的基础, 多源数据是数据融合的加工对象, 协调优化和综合处理是信息融合的核心。

美国国防部 JDL (Joint Directions of Laboratories) 从军事应用的角度将数据融合定义为这样的一种过程<sup>[1][2][3][4][5]</sup>: 把来自许多传感器和信息源的数据和信息加以联合 (Association)、相关 (Correlation) 和组合 (Combination), 以获得目标位置和身份的精确估计 (Position Estimate & Identity Estimate), 以及对战场态势和威胁的完整与实时的评估 (Situation Assessment & Threat Assessment)。这一定义基本上是对数据融合所期望达到的功能的描述, 包括低层次上的位置和身份估计, 以及高层次上的态势评估和威胁估计。

下文所提到的数据融合概念, 除非特别指明, 一般都是指基于军事应用的数据融合。

### 1.1.2 数据融合的研究目标及意义

- 作战空间了解

作战空间了解包括对敌、友、中立各方位置、运动、行为以及所处地理环境（如地形、天气、空间、水深条件）等各方面信息的获取和理解能力，也包括向所有战术部队和支援部队（从联合部队指挥官到单兵）提供共用的战场态势图的能力。在一个联合系统内有效地集成作战空间了解将大大扩展作战人员的视野，使他们能更好地了解当前及预计作战条件，并能在不利的环境条件和遭到敌方对抗的情况下提高识别作战空间特征的能力。这种扩大的视野将保障并增强作战人员对战场态势和指挥方案的直观感受。

- 实现 C<sup>4</sup>ISR 一体化，提高系统整体效能

为确保我军获取、核实、保护和吸收能有效压制和控制敌部队所需要的信息，信息优势必须把指挥、控制、通信和计算机（C<sup>4</sup>），情报、监视及侦察（ISR）和信息战（IW）这些能力综合在一起，即集指挥、控制、通信、计算机及情报、监视、侦察于一体（C<sup>4</sup>ISR）。从信息上，将数个有源与无源传感器，乃至若干个系统或平台联系起来，在系统整体上实现战略、战役、战术指挥自动化系统的完整配置和互连互通，并与武器系统实现无缝连接；而在功能上实现指挥、控制、通信、情报侦察、预警探测、电子对抗及综合保障的一体化，以提高系统的整体效能，保持信息优势。这里，实现一体化，提高系统整体效能的关键技术之一就是多源数据/信息融合技术。

- 改善探测性能，提高空间分辨力

通过多传感器数据融合来较大程度提高各探测装置观测数据的利用率，提高整个系统对目标发现、跟踪和识别的能力，以获得比任何单一传感器更高的分辨力和精度，并用来支持防御反应能力和攻击方向（目标）的选择。

- 提高系统抗干扰、抗毁及反隐身能力

由于数据融合要求各传感器在空间、时间和频率上一般应具有冗余性、互补性，扩展了覆盖范围，即使一些传感器在某一时刻或某一区域被干扰、摧毁或由于隐身目标而失去探测能力，只要在监视区域内不是全部传感器被干扰或摧毁，总可能会探测或跟踪到目标。

### 1.1.3 数据融合处理模型

数据融合是一个在多级别上对传感器数据进行综合处理的过程，每个处理级别都反映了对原始数据的不同抽象，它包括从目标信号检测到威胁判断、火力分配和通道组织的完整过程，其结果表现为在较低级别对状态和属性的评估和在较高层次上对整个态势和威胁的估计。从这个角度讲，多传感器数据融合是对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理，从而产生新的有意义的信息，而这种新信息是任何单一传感器无法获得的。按照处理信息的抽象层次，

JDL 给出了数据融合的五级处理模型，如图 1.1 所示。

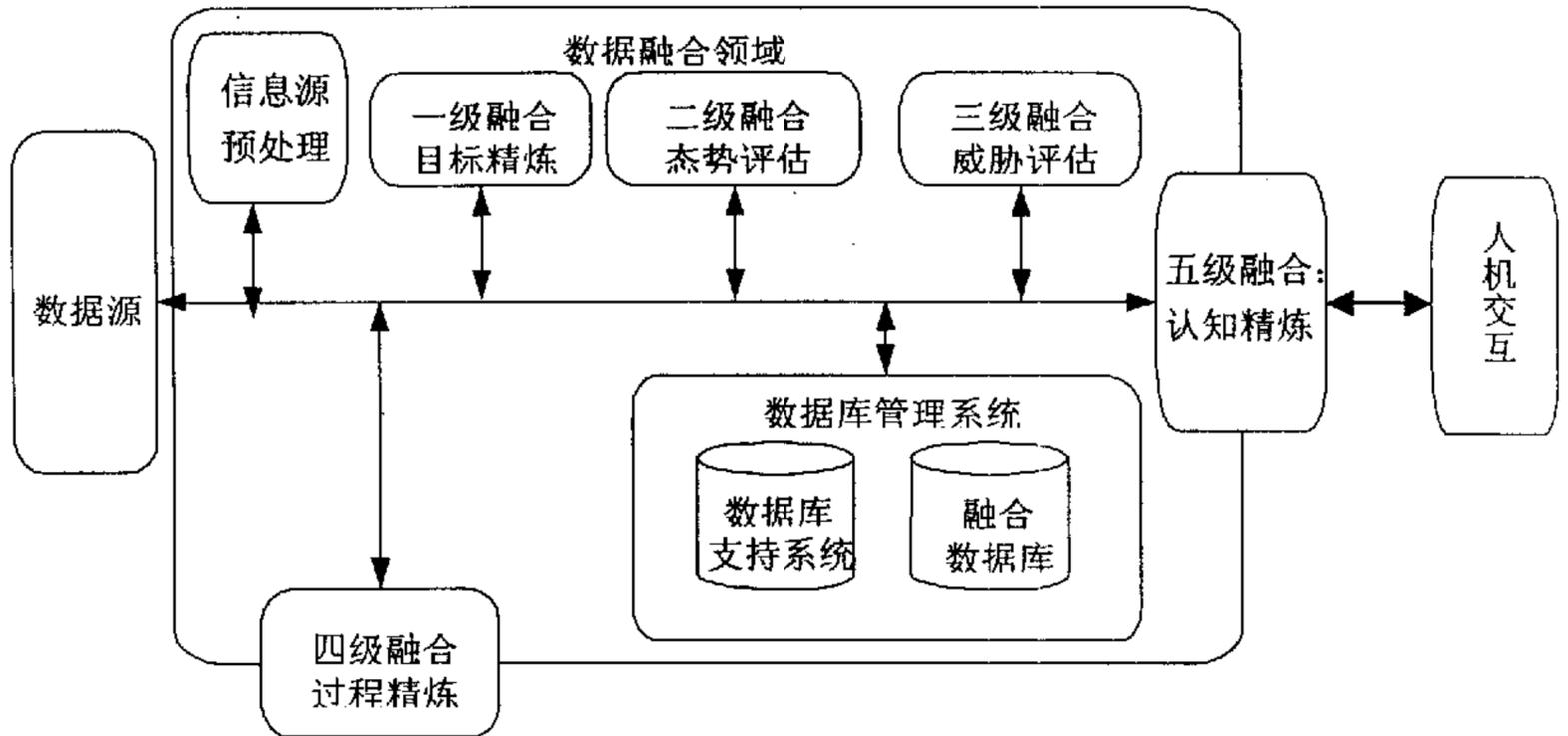


图 1.1 JDL 数据融合处理模型

JDL 模型为数据融合研究提供了一个框架和共同参考：

- 数据源预处理(Source Pre-Processing)

对原始数据或信号进行物理采集并依据信号级或像素级的数据关联和特征来估计和预测目标的存在性和可探测性。

- 一级融合：目标精炼(Object Refinement)

完成目标精炼过程，即以某种准则和算法，联合、相关、合并多传感器采集的目标位置、状态、特征参数和身份属性信息，以获取某个实体目标（譬如，辐射源、平台、武器、或地理上为一体的军事体系单元）的精确表示。它包括：数据对准；数据联合求精；数据关联与点迹和航迹指派。即估计目标位置、速度，识别属性及低级实体身份。

- 二级融合：态势估计(Situation Refinement)

完成态势分析，它包括：聚合单元实体目标为有意义的作战结构组织和武器系统；评估事件和活动以解释行为以及目标与事件间的上下文关系。为了确定聚合结构组织的作用与企图，在态势分析时，尤其强调关系信息，譬如，实体间的自然亲近关系、通信联络关系、因果关系、暂时隶属关系等。同时还要利用关于地形、水文、气象和其它环境信息的上下文解释来完成态势分析。

- 三级融合：威胁估计(Threat Refinement)

完成威胁估计，它包括：继续聚合过程以评估战术威胁，特别是要估计企图、致命因素、机会。完成威胁估计是十分复杂且困难的任务，其原因就在于它不仅要考虑可能的作战结果，而且要根据敌人的作战条例、训练水平、政治形势和当前态势，甚至指挥员风格等有关知识来确定敌人的企图与行动。

- 四级融合：过程精炼(Process Refinement)

该级融合可以视为一种超过程(meta-process)处理，它完成的关键功能是：监视、评估实时和长期的数据融合性能；辨别、标明需要什么样的信息来改善多级融合性能？为了采集适宜的信息，确定采用哪类传感器？哪一个专用传感器？哪一个数据库？四级融合使融合处理过程达到最佳化，或自适应最佳化。

- 五级融合：认知融合(Cognitive Refinement)

该级融合主要通过人员的参与，实现数据融合系统的人机交互，完善融合效果。

数据融合的五级处理模型通过动态监视融合处理过程，优化资源和传感器管理，实时反馈融合结果信息，以使融合处理过程具有自适应性，从而达到最佳融合效果。对于具体的数据融合系统而言，它所接收到的数据和信息可以是单层次上的，也可以是多种抽象层次上的。融合的基本策略是先对同一层次上的信息进行融合，然后将融合结果汇入更高的数据融合层次。总的说来，数据融合本质上是一种由低层到高层对多源信息进行整合，逐层抽象的信息处理过程。

## 1.2 态势估计

### 1.2.1 态势估计概念

态势估计到目前为止还没有统一的定义，然而有大量的关于态势估计的功能性描述定义，最著名的就是 JDL 的数据融合处理模型中的描述<sup>[4][5]</sup>：态势估计是建立关于作战活动、事件、时间、位置和兵力要素组织形式的一张多重视图，它将所观测的战斗力量分布与活动和战场环境有机地联系起来，识别已发生的事件和计划，得到敌方兵力结构、部署、行动方向与路线的估计，指出敌军的行为模式，推断出敌军的意图，做出对当前战场情景的合理解释，并对临近时刻的态势变化

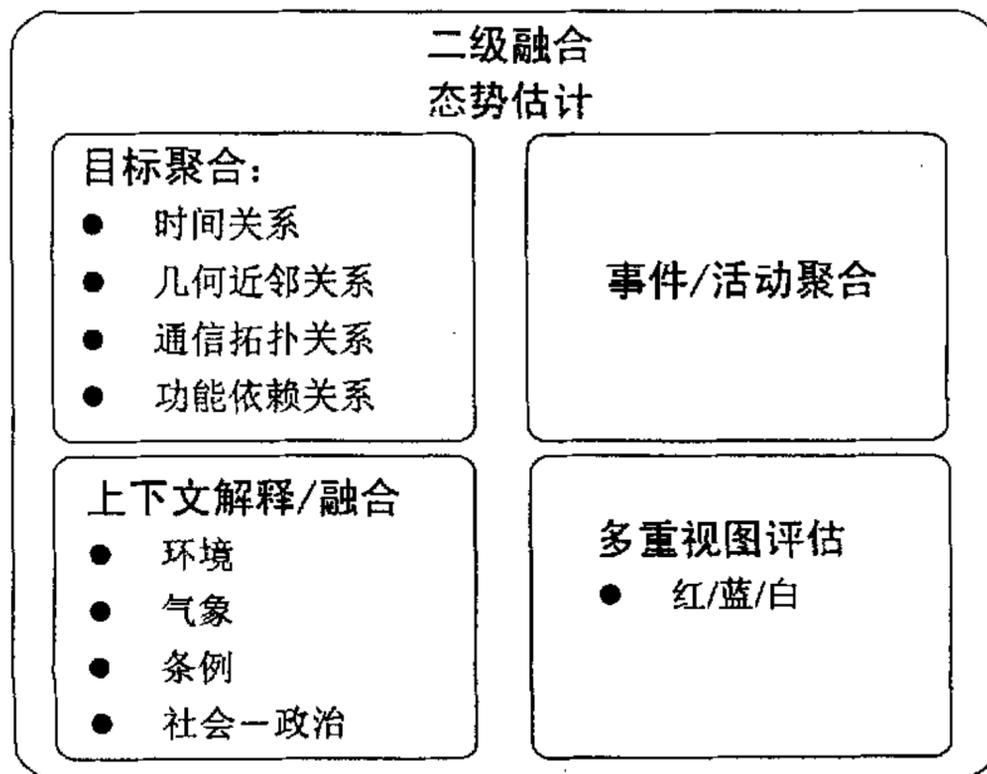


图 1.2 态势估计的功能图

做出预测。

从上述定义可以看出，态势估计是对战场中战斗力量部署及其动态变化情况进行解释，推断敌方意图，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。态势估计实际上是一个多重视图的处理过程，其结果应该为指挥员提供战场态势的多重视图。理想地看，态势估计的结果为：反映真实的战场态势，提供事件、活动的预测，并由此提供最优决策的依据。态势估计的功能图如图 1.2 所示。

### 1.2.2 态势估计和威胁估计

态势估计和威胁估计都是在决策级上进行的融合。威胁估计主要是根据当前战场态势评估敌方力量的杀伤力和危险性，进而确定敌方意图的征候与报警，其功能图如图 1.3 所示。

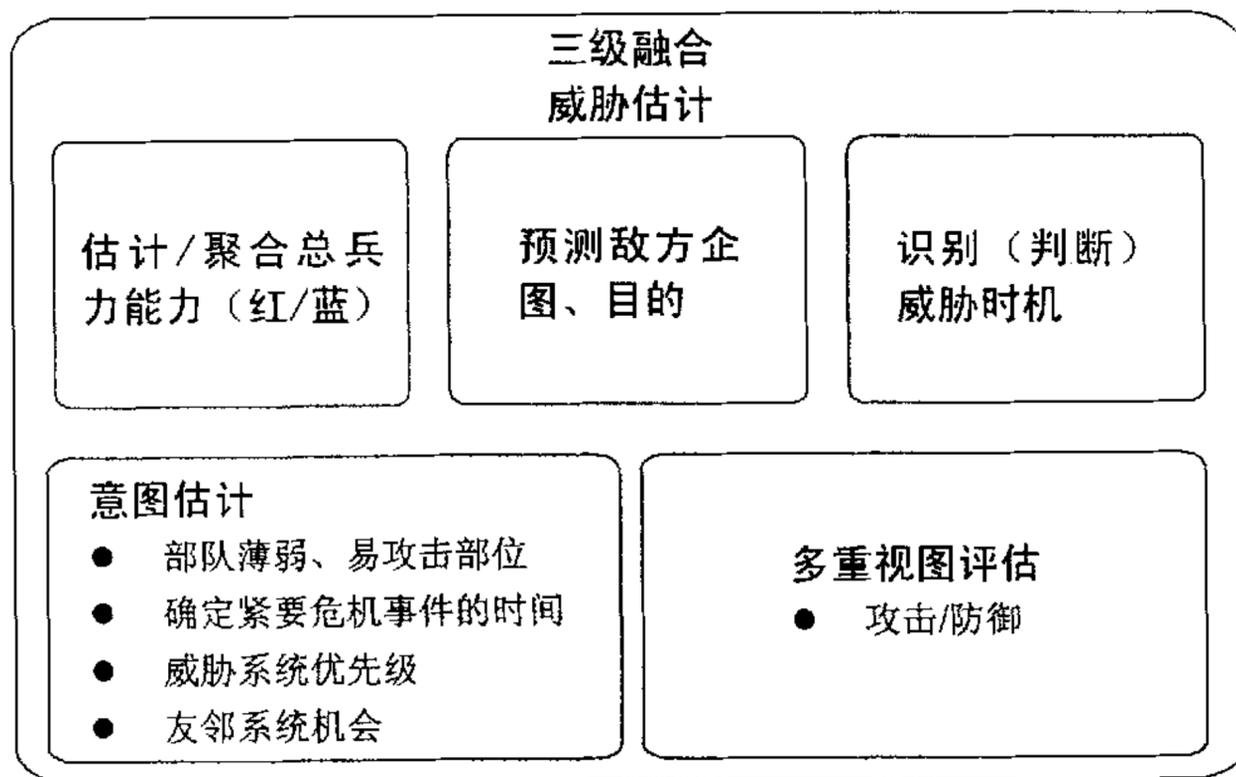


图 1.3 威胁估计的功能图

由于态势估计是面向多种军事领域的、多层次的，因而科研人员大多从他们所面临的实际领域出发选择适用的技术完成了诸多实验系统，基本上都是部分实现了数据融合处理模型中描述的功能，大都同时包含了态势、威胁估计这两层。也就是说实际的融合系统对态势估计和威胁估计的划分并不是截然分开的，其中，态势估计部分是通过识别敌军的行为模式来推断敌军意图，并对临近时刻的态势变化给予预测；而威胁估计是根据态势评估所提供的信息，依据一定的知识和规则，数值的形式指示出态势中的威胁及威胁大小的过程。我们认为对敌行为模式的识别有助于识别敌意图和目的，而对威胁的理解有助于对态势的评估，即这两个阶段是交互和并行的非线性处理过程。态势与威胁估计模型如图 1.4 所示。

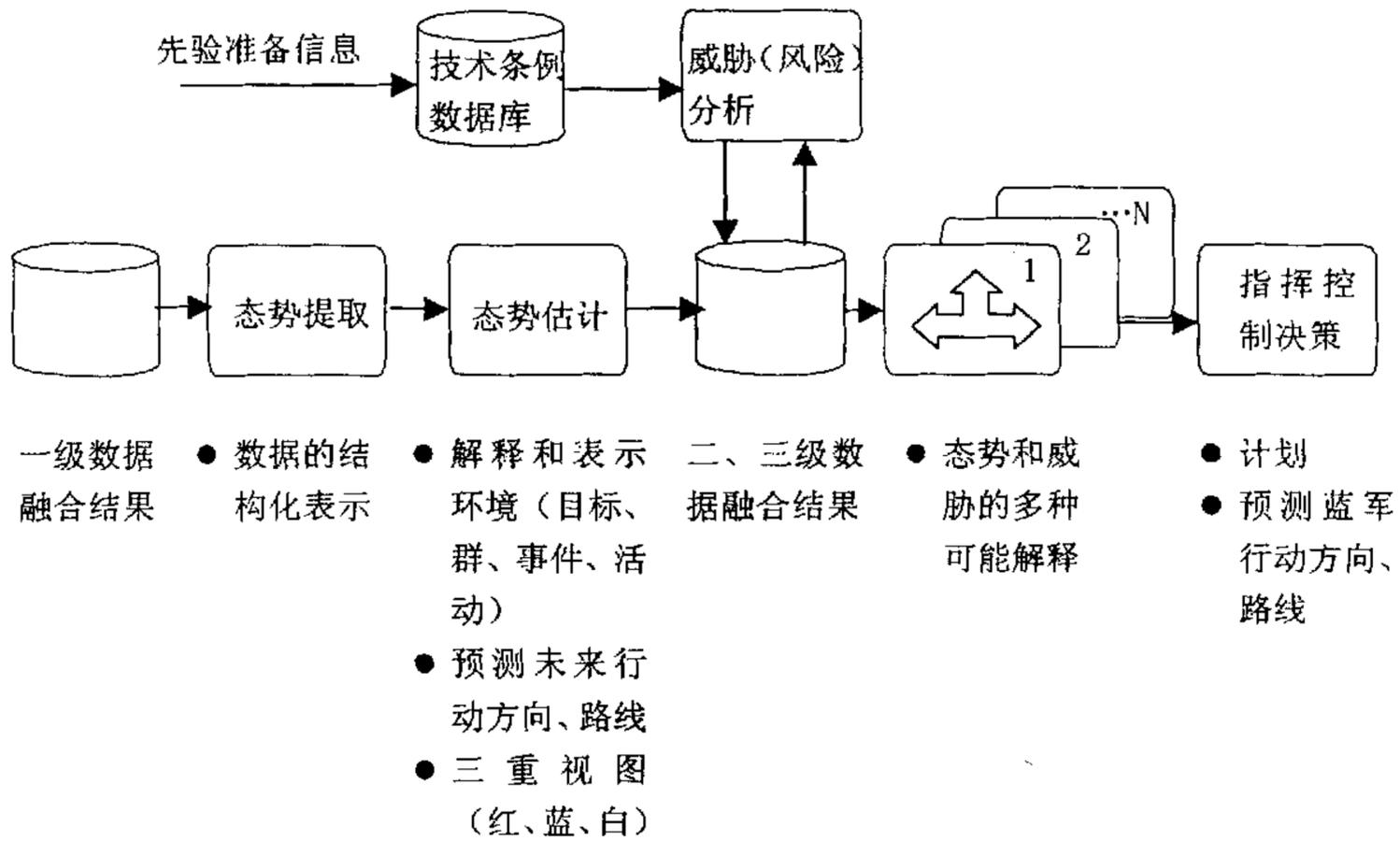


图 1.4 态势与威胁估计模型

### 1.2.3 态势估计国内外研究现状

国外态势估计技术发展比较迅速,在态势估计理论或系统结构的研究和开发方面取得了很大进展。从海湾战争,可以肯定美国已有较成熟的联合作战态势评估系统,比如 ASAS(全源分析系统)实际上就是面向多源信息融合及态势评估的群体决策支持系统。1995~1998 财年美国国防部启动的 46 项先期概念技术演示验证项目之一:战场了解和数据分发系统(BADD),通过对来自一组类型各异传感器数据的融合处理,旨在增强指挥官对战场态势感知的支持。此外,在 1998 年美国国防部公布的《2010 年联合作战设想》中,对作战能力要素“有效使用兵力”和“任务规划”的阐述中,都明确要求:“借助一体化辅助决策提供实时融合的作战空间态势。为快速搜索和捕获目标、作战协同和目标选择、目标移交和交战的信息处理提供支持”、“协同态势评估”、“作战空间的统一理解和表达”。

由于态势和威胁估计都是对战场上获得的数据流的高层次关系提取与处理过程,更接近于人的思维过程,要涉及到众多的因素、参数和观点,所以它比一级处理更复杂;而它所进行的各种运算又都是基于各类知识、模拟人脑思维的符号推理,因此要想给出一个可信度很高的模型很困难。目前,在态势评估中,主要是应用认知模型的方法,如专家系统、黑板模型、逻辑模板匹配、品质因数法等。较为典型的系统有:早期 Moshe Ben-Bassat 的模式类态势识别系统和基于专家系统的态势模型框架研究;G. W. Hopple 等人的 IPB(战场情报准备系统),IPB 是一个为指挥员提供敌人过去、现在活动并估计其进一步的企图和行为的传感器数据融合系统;

David F. Nobel 的基于计划模板的态势辅助系统; J. Azarewicz 的多代理计划识别模板匹配战术态势估计系统; Carling, R. L. 的海上实时知识基态势估计系统; W. X. Zhang 的模板匹配态势警觉模型; 空战中的单平台多传感器决策为主 (RPD) 态势估计模型以及主要用于军事态势仿真和计划识别的 Multi-Agent 模型等。这些系统都部分的实现了态势估计的某些功能, 它们的发展代表了对态势估计问题研究的过程, 从基于产生式规则的知识基系统到逻辑模板匹配、多代理计划识别模型的研究, 说明态势估计的理论研究和工程实现正在深入的发展之中, 但还没有一个完善的体系框架。

国内对数据融合的研究还主要集中在一级融合方面, 对多源信息融合中的态势评估与威胁估计的理论研究基本上是刚刚开始。康耀红在其专著<sup>[2]</sup>中认为态势估计主要应用模板技术和基于人工智能技术的规划理论、知识基的方法, 但他没有具体指出如何应用这些理论; 国防科技大学在态势估计建模及时空推理方面已作了一些研究如姚春燕的态势估计时间推理方法, 其将态势估计归为一个多假设分类问题, 提出了模糊时间<sup>[10]</sup>、最大后验概率<sup>[11]</sup>、假设检验统计<sup>[14]</sup>等时间推理方法; 李兵的应用于态势特征和态势类匹配的条件代数  $C^3I$  知识库组织方法<sup>[12]</sup>以及姚莉的用于军事态势估计的分布式人工智能 (DAI) 协作知识模型等; 还有的一些科研单位对高层融合技术进行了积极的、有益的尝试, 如西安电子科技大学吴霁博士的规划识别态势估计<sup>[16]</sup>模型, 其应用两级规划识别模型及路径规划识别来实现态势估计; 北方工业大学赵姝明的战场态势实时闭环控制系统, 其主要解决态势描述方面的问题; 电子部 28 所为某军区空军研制的战区空情判断专家系统能识别出空中目标的国籍、机型、活动性质, 该系统有 1400 条规则, 具有较高质量的知识库结构。总体说来, 国内目前态势估计的理论研究还没有统一的、能为大家普遍接受的观点; 在工程上主要是建立军事专家系统, 运用黑板结构来实现面向具体军事领域 (如防空) 的态势、威胁估计系统。

在威胁估计研究方面主要有何友、张由余、许斌等人建立的基于对策论、多属性决策以及多因子动态加权、Pi-Sigma 模糊神经网络等威胁估计模型。这些系统大多是应用于空防对抗指挥自动化系统中的, 且为了简化问题而将对敌军意图、目的推理过程略去, 仅仅从目标类型、速度、航向、干扰能力、空袭样式等方面来计算这些属性的权值, 采用影响因子加权的方法来计算单个目标的威胁等级, 达到对目标进行排序的目的。

由于数据融合中军事保密的问题, 上面介绍的国内外态势估计模型大多是实验室原型系统, 且其中描述性和构筑框架的多, 给出理论和方法及性能评估的少, 有效的定量评估的则更少; 另外, 在真实军事环境下的态势估计需要有关武器装备特性数据、作战知识手册、军事专家经验、各种地理、地图数据 (如地理信息

系统 GIS、战术标图等) 及气象等信息, 要全面获取这些数据并满足系统快速处理的要求, 是有很大困难的; 并且现有的研究成果表明单一的数学方法很难完全实现高层数据融合的功能, 且对问题域的描述还不是很清楚, 适用的系统模型和推理算法还没有。

总之, 要构建一个实际的态势估计系统, 还需大量的理论研究和工程实践, 但对数据融合中态势估计问题的研究是非常有价值的。

### 1.3 论文主要内容和本人所做工作

作为十五国防军事预研的第三年, 本论文的主要研究内容就是在前两年对态势估计及实现技术研究的基础上, 建立和实现态势评估的功能模型、系统模型和推理算法, 着重点在于实现技术的研究。在论文工作期间, 本人主要完成了以下工作:

- 1) 在第二章中, 详细描述了态势觉察、态势理解和态势预测的三级功能处理模型, 及各级所要完成的功能; 在此基础上, 讨论了几个具体的态势估计推理框架, 即态势估计数学模型; 其中着重描述了基于规划识别的态势估计模型。
- 2) 在第三章中, 对态势觉察技术进行了深入的研究, 着重描述了实现了态势觉察部分的事件提取及模糊化处理, 并利用面向对象技术 (UML、设计模式等) 对态势觉察模块进行建模。
- 3) 在第四章中, 对态势推理中的时间空间关系及军事计划的模板实现技术进行了一些初步的研究, 并运用专家系统工具 CLIPS 初步实现了军事计划的模板表示及基于模板匹配的军事计划识别。
- 4) 在第五章中, 首先讨论了面向态势估计的仿真系统与面向一级融合的仿真系统的异同点; 随后想定了一个具体的场景, 并对该场景进行了详细的说明; 最后通过场景测试, 进一步验证了事件检测算法及用于军事计划识别的模板匹配算法。

## 第二章 态势估计模型

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。所以它比一级融合处理更复杂；同时，它所进行的各种运算又多半都是基于领域知识，模拟人脑的符号推理。在战役（战术）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，要想给出一置信度较高的模型是比较困难的。本章节在态势估计问题描述的基础上，详细讨论了态势估计功能模型，并介绍了实现态势估计的几种推理框架。

### 2.1 态势估计问题描述

态势估计是建立关于作战活动、事件、时间、位置、状态和兵力要素组成的一张多层视图。它根据环境内的对象的时序行为序列来识别对象正在执行的计划，并同时给出对象行为意图的推测、判断，做出对当前战场情况合理的解释，指出敌军的兵力部署与行为，推断出敌军的意图，并对临近时刻的态势变化做出预测。态势估计需要建立红、蓝、白三种视图，其中红、蓝色视图描述我方、敌方关于作战活动、事件、位置和兵力要素形成的画面；而白色视图则描述战场环境情况。战场态势需要综合红、蓝、白视图中各要素的估计结果，以便为指挥员提供战场态势的多重视图，反映真实的战场态势，提供事件、活动的预测，为最优决策提供依据。

### 2.2 态势估计功能模型

真实环境下态势估计的对象是作战区域中随时间推移而不断动作并变化着的作战实体，态势估计实际上就是对这样一个动态变化的对象感知并提取出来的态势元素进行觉察、认识、理解和预测的处理过程。为此，我们提出态势估计的三级功能模型，即态势觉察、态势理解和未来态势预测，如图 2.1 所示。

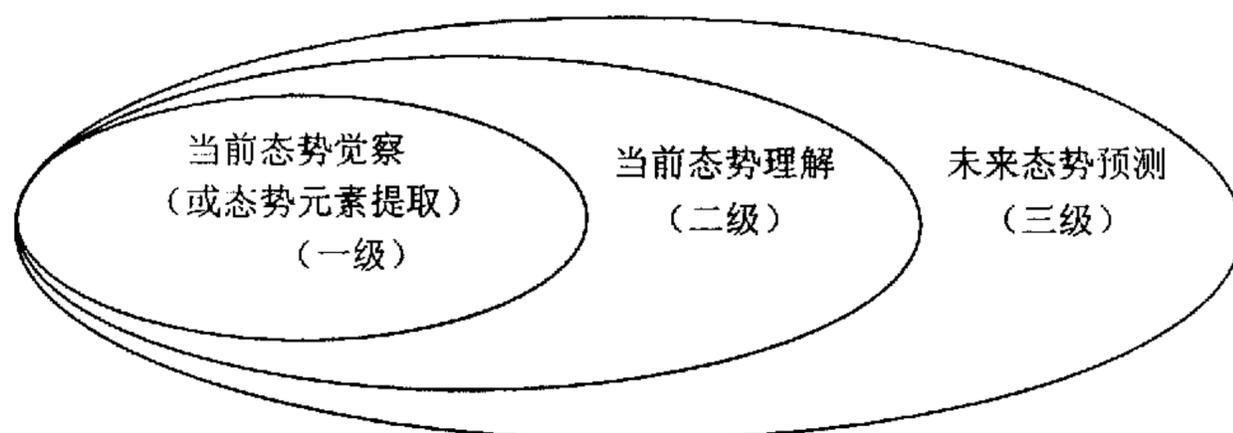


图 2.1 态势估计三级功能模型

### ● 一级估计：态势觉察

其输入为该时刻当前战场环境下诸威胁单元（如舰艇、飞机、指挥所、雷达站等）信息，可表示为：

$$S = \{P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n\}$$

其中， $P_i$  是第  $i$  个威胁单元在该时刻的状态信息集合，以七元组形式给出：

$$P_i = \{\text{时间, 批号, 实体类型, 位置, 速度, 加速度, 辐射源}\}$$

所谓态势觉察就是将  $P_i$  与历史态势和领域中事件模式类特征模板进行比较、分析、判断，从而提取出所关心的战场态势元素，如：

发现新的目标事件；

目标消失事件；

辐射源（雷达、电台、干扰机、…）开/关机事件；

目标机动（加速、拐弯、爬高、俯冲、……）事件；

机群或舰队分批/合批事件等；

提取出的态势元素用三元组表示：

$$A = \{\text{时间属性值, 事件的定性值, \langle 事件的定量值 \rangle}\}$$

它表示特定平台的状态变迁。以上这些态势元素是进行平台计划推理的基本信息，以此为基础可进行各种时间关系、空间关系、因果关系的定义和匹配。

态势觉察需要解决的另一个问题是目标聚合或编群问题。此阶段根据诸威胁单元信息，按照战役、战术条例、通信拓扑关系、几何近邻关系、功能依赖关系及先验模板，采用自底向上逐层分解的方式对描述威胁单元的信息进行抽象和划分，以形成关系级别上的军事体系单元假设，即：

$$S' = \{\dots, P_d \cup P_e \cup P_f, P_i \cup P_j, \dots, P_n, R\}$$

其中  $R$  是对多军事体系单元假设关系的描述，指事件发生的时间、空间及逻辑上的关系，将影响态势判断时对时间、空间以及因果关系的推理。

目标编群将关于目标对象的可用数据按空间、功能及相互作用等属性逐级分群，以揭示目标之间的相互联系，确定相互合作的功能，从而解释问题领域的各种行为。编群按低级到高级顺序分为四个层次，如图 2.2 所示。

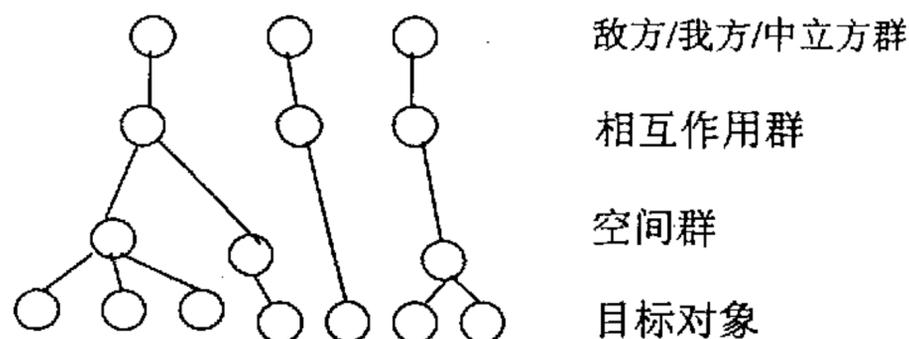


图 2.2 态势估计抽象层次

各层次描述如下：

★ 目标对象：各个威胁单元

★ 空间群：按空间一维或多维簇分类分析而划分的群。同一群中的成员空间位置相近、行为相似。用于描述空间群的参数包括：编群方式、威胁单元数目、群的范围、每一威胁单元的有关参数等

★ 相互作用群：多个相关的空间群形成一个相互作用群。每个相互作用群都有一个战役（战术）目标，通过其多个空间群相互协同作战来实现。这些空间群可能有不同的攻击或防御目标，但它们都是为了实现共同的战略目标。描述相互作用群的参数包括：威胁单元类型和数量、群的构成方式、同盟关系、群重心位置和空间范围、移动平均速度、群成员描述等

★ 敌方/我方/中立方群：将所有相互作用群按敌方、我方和中立方标识划分为三个大群，形成战场的三个阵营

★ 战术态势模型的建立：敌方群和我方群存在一定的对抗关系，这些敌对的相互作用关系集构成当前战术世界的全部状态，即可能发生的冲突状态，对所有相互作用关系的识别和推导形成最终的当前战术态势模型

目标编群过程是一个逐步求精的推理过程，问题求解的主要难度在于群的递增建立和群结构的动态维护。在战役对象多、协同关系复杂、机动频繁、战场态势变化快的真实情况下，聚类 and 编群这是整个态势估计的基础，也是要解决的关键问题和技术难点之一。

#### ● 二级估计：态势理解

根据一级评估生成的状态集，结合领域专家的军事知识对当前态势进行解释，判断敌方战场部署（进攻、防御、集结、...）和行动企图（穿插、迂回、逃跑、...），是对敌方意图和作战计划的识别。设态势空间框架 $\Theta = \{A, B, C, \dots\}$ ，其元素为战场空间中可能出现的全部态势分类； $M = \{X, Y, Z, \dots\}$ 为态势特征集合，表示战场空间中所出现的事件。所谓二级评估（态势理解）实际上就是求解态势特征集合与态势空间框架的对应关系：

$$f: M \rightarrow \Theta$$

由此对态势事件进行分类识别，形成态势假设对战场实体对象、编群及其活动、事件和计划给予解释。该过程高度依赖军事领域知识，特别是外军作战条例、作战样式、指挥官的指挥风格与习惯、社会—政治背景、天气、地形等。为此，建立完整、准确的军事事例库及先验模板是必须的。这是态势估计需要解决的第二个关键问题。

#### ● 三级估计：未来态势预测

基于已得出的当前态势，对未来可能出现的态势情况进行预测，即已知  $t$  时刻的态势  $S(t)$ ，求  $\{S(t+T), S(t+2T), \dots\}$ 。作战对象未来位置的变化可以根据航迹的状态方程、机动性、作战目的进行预测。但对未来高级行为的估计比较困难。

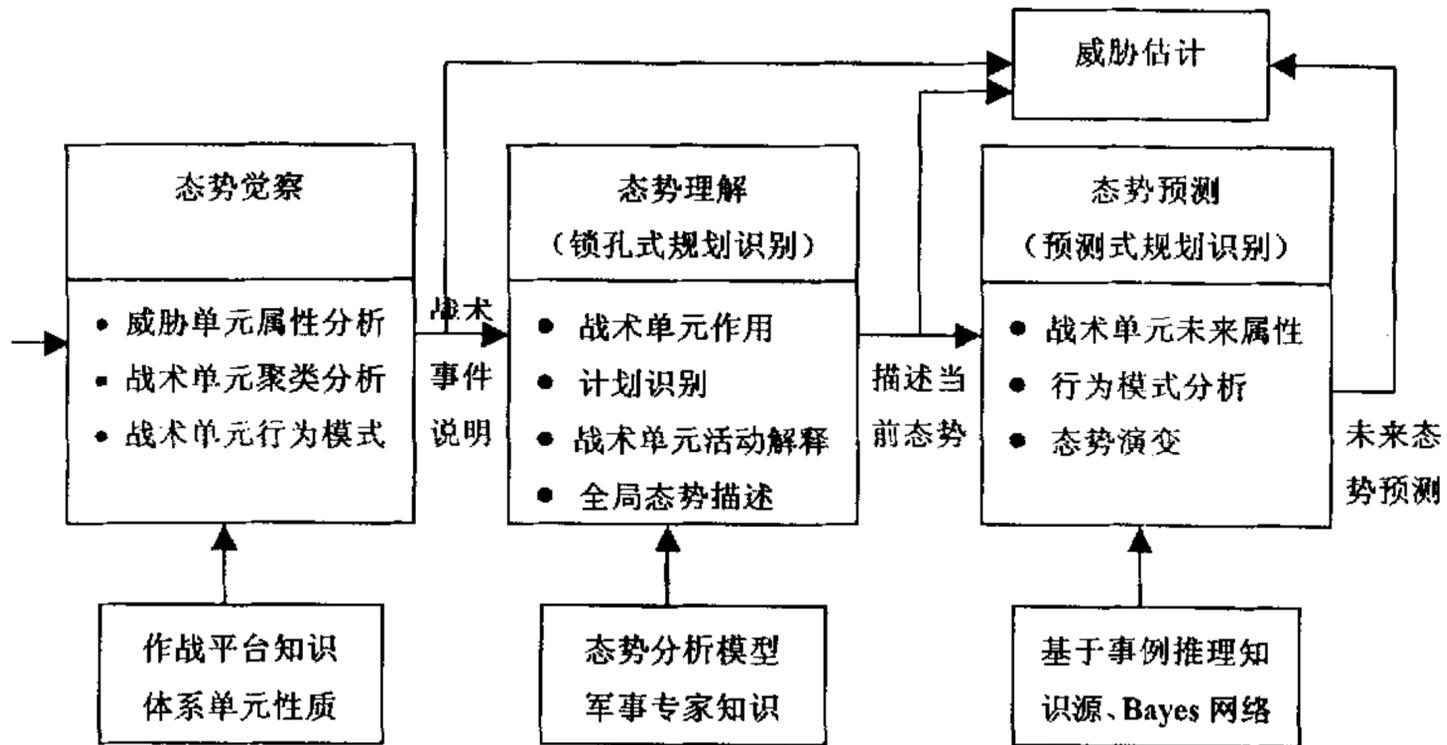


图 2.3 态势估计的求解过程

## 2.3 态势估计的推理框架

### 2.3.1 态势估计问题的特点<sup>[13]</sup>

态势估计是军事智能决策过程中重要的环节，其以军事知识和军事经验为基础，自适应地对急剧动态变化的战场场景进行监控，按照军事专家的思维方式和经验，自动对实时多源数据进行分析、推理和判断，做出对当前战场情境合理的解释，为军事指挥员提供较为完整准确的当前态势分析报告。这个推理过程是基于知识启发式的求解过程，是将基于知识的推理算法应用于态势估计推理框架来完成的，因此推理框架的实现是解决态势估计问题首要考虑的问题。这样，对各种类型的战术态势估计系统，需要抽取推理框架的共同特点，将不同研究者对战术态势估计的理解统一起来，以进一步开发适用于态势估计的推理算法，指导战术态势估计系统的设计。由于推理框架是根据问题的结构特点建立的，因此我们首先讨论态势的结构特点。

Bassat 认为态势估计问题具有多角度、多成员、层次性的特征。所谓多角度，是指对某一个态势的辨别是通过从战场的多个侧面认识态势特征得到；多成员是指从某一角度看，几种备选假设同时共存；层次性是指底层线索为高层线索的组成部分，高层线索可以为底层线索提供证据。

### 2.3.2 态势估计推理框架<sup>[13]</sup>

#### ● 匹配滤波器网络框架

Kirillov<sup>[26]</sup>提出了匹配滤波器网络框架。他首先将态势估计任务简化为确定有关正在（已经、将要）发生的事件的 what、when、where 属性，从句法方面对态势估计任务进行分解，将它的语义压缩在各子任务内部，框架结构如图 2.4 所示，子任务的功能结构如图 2.5 所示。

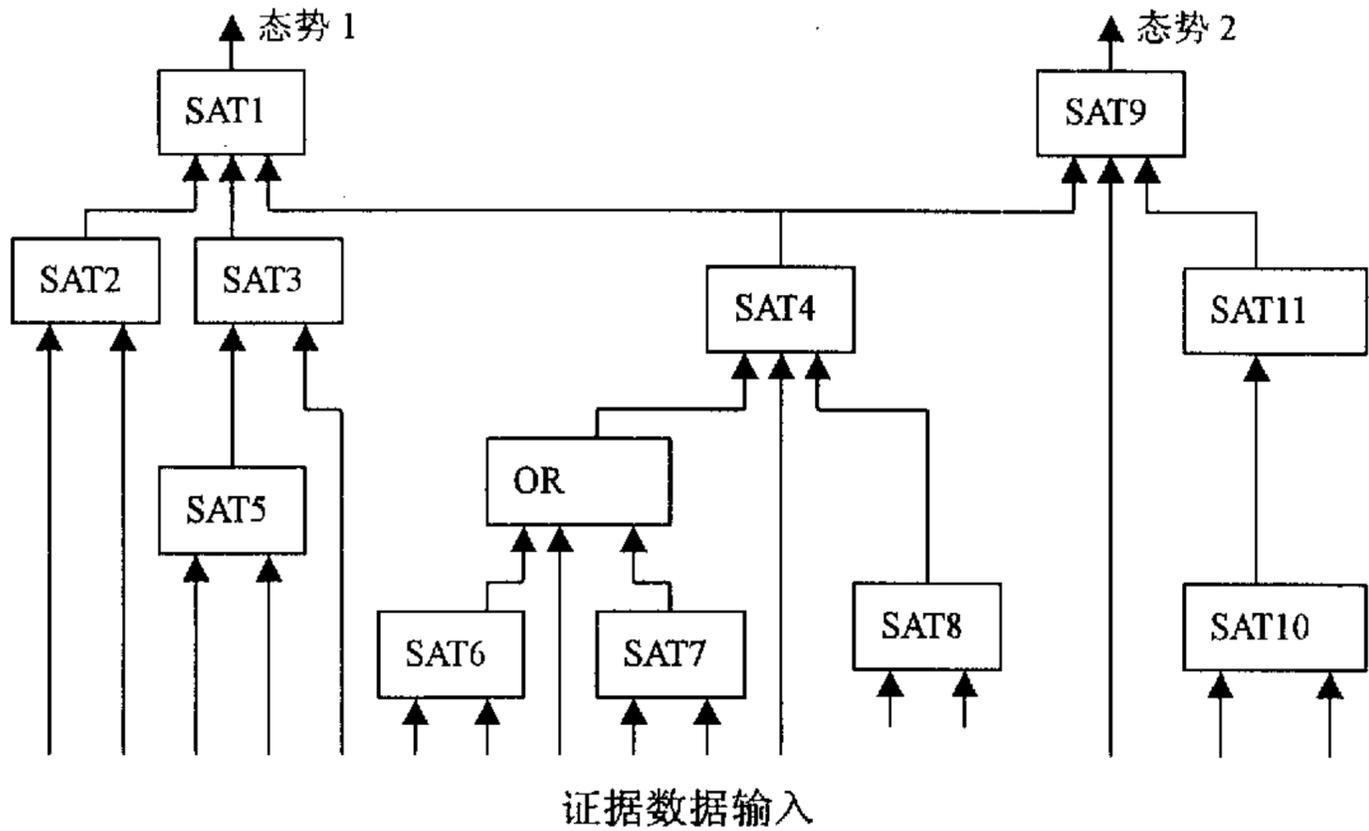


图 2.4 态势估计中匹配滤波器网络框架示例

从图中可以清楚地看到，在句法层，可将态势估计任务或子任务的输入和输出表示为关于某些事件的消息，第  $i$  个子任务第  $k$  端的消息可表示为某一谓词  $A_{ik}$  的不变形式：

$$Message_{ik} = A_{ik}(X_{ik}, S_{ik}, T_{ik}) \quad i=1, \dots, m; \quad k=0, 1, \dots, n$$

$X_{ik}$ ,  $S_{ik}$ ,  $T_{ik}$  分别是  $A_{ik}$  类型的事件的定性定量值、空间属性值和时间属性值的集合。从语义方面看，可以将图 2.4 中所示的元件（子任务）看作一个非线性逻辑/空间/时间滤波器，它和某些事件特征相匹配。当输入消息参数相应于这种事件特征时，相应的态势就被检测到。

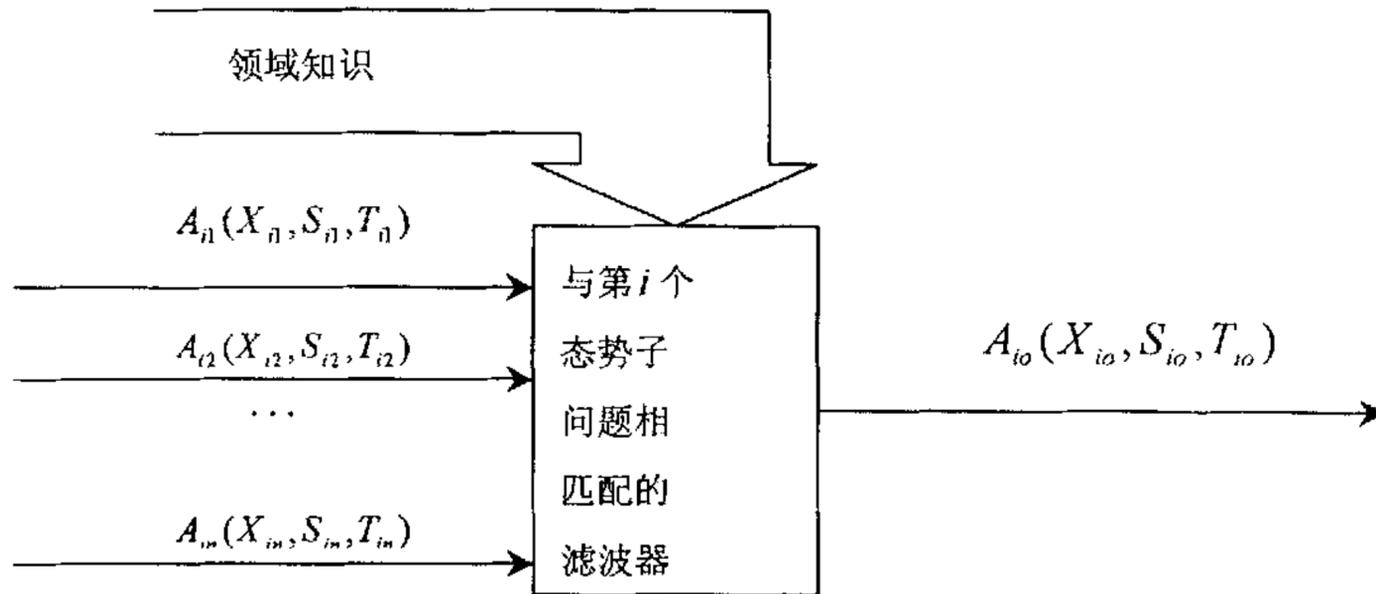


图 2.5 匹配滤波器结构，领域知识用于合成滤波器特征函数

● 基于图解的推理框架：

Nobel 提出了一种基于图解的信息表示理论，图解的思想来源于认知科学和社会心理学，应用图解可以表示对某一客观对象的理解。Nobel 提出的图解结构分为三层：第一层作为特征槽，定义态势特征，如平台位置，平台类型，平台间空间关系等；第二层为限制层，定义对允许填入槽中的特征的限制，限制是弹性的，允许不同特征以变化的程度填入槽中，如果图解中足够多的槽被充分填充，图解即被“激活”；第三层作为推断和行动选择层，定义了使用于此图解的推断和行动。态势这样复杂的抽象概念需要一个两维图解网络结构：一维是类属类型，即底层图解是高层图解的一种；另一维是部属类型，即底层图解为高层图解的一个槽提供详细信息，在这一结构中，最高层的图解表示对态势最深刻的理解，底层的槽对应于态势的可观测特性。部属层次中的底层图解被激活后，可以填入高层图解的槽，进而部分激活高层图解。被激活的高层图解驱动与它相连的底层图解，因而使这些底层图解更容易识别与它匹配的态势特征。在这种结构下，态势数据输入底层图解会建立一个激活“流”，激活“流”通过层次结构，可以形成对态势的一个理解。

● 基于描述的推理框架

该框架形式化描述可检测的事件和态势，定义子描述与父描述的关联，通过匹配各描述命题的前件来识别态势。一个“描述”是一个事件序列，一个“事件”是出现在某一具体时间段内的可检测的活动。每一事件以子描述或命题来表示，是父描述出现的线索。每个描述包括若干子描述和命题，每个子描述又包括若干子描述和命题，如此下去，直到最底层为止。对每一子描述，均定义了入口条件和时间关系限制。推理过程是在自上而下和自下而上两个方向上，不断将输入数据与各命题的前件、子描述的入口条件以及时间限制相匹配的过程。

- 基于模板的计划识别推理框架<sup>[25]</sup>

Azarewicz 等人首先建立了一个军事目标/任务/计划层次结构<sup>[26]</sup>。在这一结构中顶层的节点是某一军事目标，各子目标作为它的子节点；对任一子目标节点，将用来完成它的各项任务作为它的各个子节点；对每一任务子节点，将用来完成这项任务的各个计划作为它的各个子节点。

他们对各个节点采用统一的模板表示方法。每个节点有三个槽，即条件属性、执行过程、效果。

- 条件属性是参数集合，它的满足为特定的目标、任务、计划或事件提供证据，包含以下几个槽：
  - 前提(Preconditions)：为任务、计划或事件的执行指定必要的条件，如通过监控确定目标位置后，才能进行攻击任务。
  - 约束(Constraints)：代理执行该过程前必须满足的一些条件，如代理实施攻击计划前必须保证目标在射程之内。
  - 期望条件(Expected conditions)：代理执行该过程前期望满足的条件，如双方开战前局势紧张。
  - 可观测到的条件(Observable conditions)：实时可观测信息，如搜索雷达开机，支持目标搜索这一假设。
  - 关键指示器(Critical indicators)：用于自下而上的顶层假设激活。
- 执行过程：该节点的子节点。这包括子目标、任务、计划或事件。
- 效果：任务的执行情况，如攻击任务成功，则可把目标被摧毁就是其效果。（包含两方面的情况，即任务完成情况、自己的损失情况）

时间、空间和因果限制均包含在条件属性中。推理过程通过在自上而下和自下而上两个方向上，不断将输入数据与节点的条件属性相匹配而进行。

## 2.4 基于规划识别的态势估计模型

### 2.4.1 规划识别的定义

规划识别(Plan Recognition)是根据代理的行为序列来推断代理所追求的目标的过程。

### 2.4.2 规划识别的分类

按照 Kautz<sup>[20]</sup>的定义，规划识别被分为两类：合作式规划识别(intended plan recognition)和锁孔式规划识别(keyhole plan recognition)。其中合作式规划识别是指被观察的代理有意识的规划它的动作或行为以使规划识别实施者能准确的识别它的意图，因此在合作式规划识别过程中，代理对规划识别者是非常合作的。而锁孔式规划识别则不同，被观察的代理一般不支持规划识别者去识别它的计划或意图，它对规划识别者的态度至少是不支持的。

### 2.4.3 规划识别中的几个基本概念

- 代理(agents): 处于某一环境中, 为达到其预定目标, 具有在环境中灵活的、自主的行动能力的实体。代理具有以下几个特点:
  - 1) 自治性(autonomy): agent 能够在没有人或其它 agent 干预下运行, 并具有某种控制自身行为和内部状态的能力;
  - 2) 反应性(reactivity): agent 能够感知其所处的环境, 并能对环境的变化作出及时而适当的反应;
  - 3) 自主性(proactivity): agent 能够感知其所处环境的变化, 并主动做出基于目标的行为;
  - 4) 可通信性(communicability): agent 具有与人或其它 agent 进行交互的能力。
- 目的(goal): 描述某个预计/期望的状态, 它是代理产生一系列行为的最根本动机。
- 计划(plan): 代理的与目的和任务领域相关的一系列行为, 在任务领域中执行了这些行为, 将达到指定的目的。
- 规划(planning): 寻求能够达到所希望目的的行为序列的过程, 它和规划识别是对两个相逆问题的求解。
- 观测者(observer): 试图识别代理目的和计划的人或系统。
- 观测(observation): 观测者对某个代理执行的事件或行为的观测信息。

### 2.4.4 规划识别过程

规划识别过程可以分为两步:

首先建立求解领域的计划库(plan library), 描述求解目标及达到该目标的计划连同实现该计划的代理执行的完整行动序列。该计划库就是观测者解释代理在采取某种方法做某件事时所拥有的知识。它一般按以下的抽象层次关系组织:

目标[方法 1[行动步骤(或序列)], 方法 2, ……]

其中行动序列可能具有各种时间、空间或因果等限制, 目标实现方法中可能引入目标而形成递归。

其次观测者解释代理的行为, 按照行为在获得目标中的作用来推理猜测代理的目的及计划, 并且基于该计划来预言代理随后的行为。该推理过程有两种推理模式: 假设代理追求某目标, 搜索实现该目的的方法, 推理出描述该方法的行动序列, 进而匹配观测结果; 或者观察代理的行动, 用行动序列去匹配方法, 进而形成代理追求目标。

### 2.4.5 规划识别和态势估计

作为态势估计的重要组成部分, 军事计划识别实质上是规划识别在军事领域的应用。但由于军事领域本身所固有的特点, 使得军事计划识别跟规划识别理论

比起来有了一些特殊性。

首先，军事计划识别不是合作式规划识别，而跟锁孔式规划识别也有一点差异。因为待识别的敌方军事计划的主体—敌方作战单元不但不支持我方对其计划或意图的识别，而且通过伪装、隐蔽和欺骗(CC&D)来影响或妨碍我方对其作战计划和意图的识别。

其次，由于战场环境中系统所关心的对象有多个，且多个对象之间可能相互通信、合作、协同，因而军事计划识别又是一个多代理规划识别问题。

而且，对立方的各作战要素在一次特定的战役中，虽然其作战意图较为固定，但其采取的行为步骤高度依赖战场环境及我方各作战要素的行动，它们会根据战场环境变化灵活多变的方法来实现其目的。该过程是作战意图单一性和作战样式多样性的统一。

#### 2.4.6 基于规划识别的态势估计模型

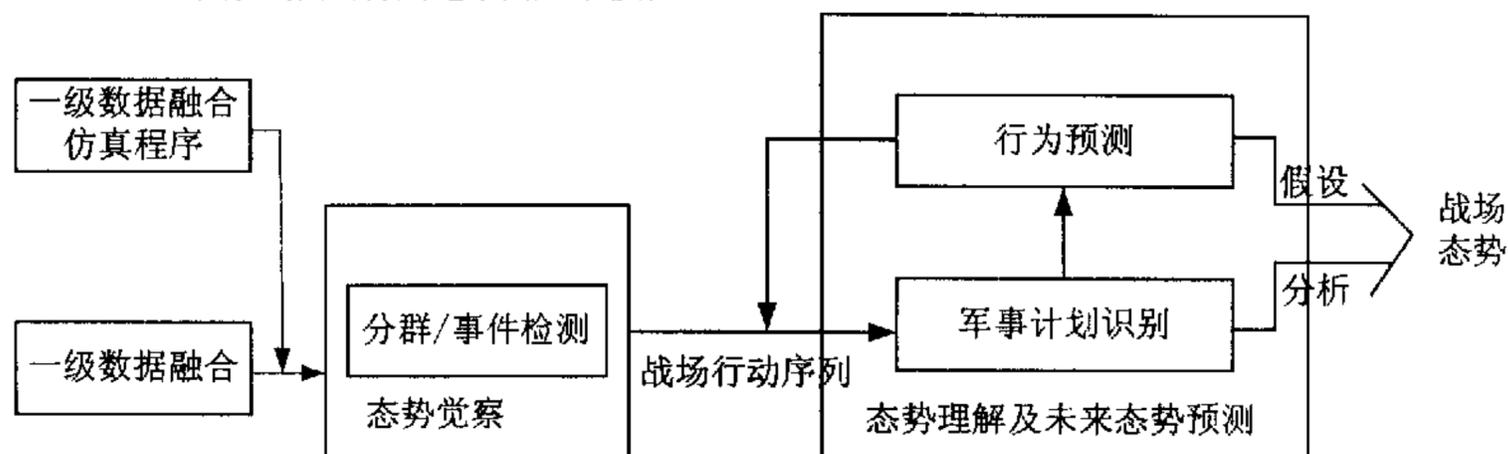


图 2.6 基于规划识别的态势估计模型

按照态势估计的功能模型，我们提出基于规划识别的态势估计模型。在态势觉察阶段，通过分群形成各层次作战单元实体：平台、空间群、相互作用群及敌我中立群，即形成在各个层次上的代理(agent)，在此基础上提取各个层次上代理的事件/行为。相应的，军事计划也可基于各层次作战单元实体进行分类。基于分群进行事件检测对于识别敌方作战计划、作战意图是非常必要的。因为各个层次军事计划所关注的重点不同，如平台军事计划的识别更关注平台发生的行为/事件序列及对平台间的协同关系的识别，而高层军事计划的识别可能更关注空间群发生的行为/事件序列及对空间群间的协同关系的识别。

态势理解及预测的任务便是通过对基于群层次结构的事件/行为这些信息对敌方各作战单元的行动计划、目的进行分析、识别，并对作战单元未来的进一步的行为进行预测。

## 2.5 本章总结

本章对态势估计的功能模型进行了详细的讨论和研究，并基于态势估计问题多角度、多成员、层次性的特点，介绍了当前在态势估计领域一些较流行的推理

框架。最后对态势估计的关键理论—规划识别理论的定义、分类及基本概念进行了介绍，对规划识别过程进行了整体性描述，指出了规划识别和态势估计的异同点，并对基于规划识别理论的态势估计模型进行了初步研究。

## 第三章 态势觉察技术研究

态势觉察的主要任务是聚类分群形成各层次军事体系单元, 然后对它们分别进行态势要素提取, 即事件检测。这是进行态势高层推理的基础。本章主要论述了平台事件的分类、检测算法及机动事件的模糊化策略。对分群也做了一个总体上的描述。最后, 利用面向对象技术 (UML、设计模式等) 对态势觉察模块进行建模。

### 3.1 态势觉察问题描述

态势觉察问题可以根据其输入、输出及处理过程描述如下:

态势觉察输入为某特定时刻  $t$  时当前战场环境下的各平台的信息, 表示为:

$$S(t) = \{P_1(t), P_2(t), \dots, P_i(t), \dots, P_n(t)\} \quad i=1, 2, \dots, n$$

其中,  $P_i(t)$  是某个平台  $i$  在  $t$  时刻的状态信息集合:

$$P_i(t) = (\text{平台类型, 敌我属性, 位置, 速度, 辐射源, 武器载荷, 航迹批号, 时间, \dots})$$

态势觉察处理过程  $T$  可以记为:

$$T: X_{SN} \times X_{DB}^{SL} \rightarrow X_{\Phi}^{SK}$$

其中,  $X_{SN}$  即一级融合的输出向量  $\{S(0), S(1), \dots, S(t), \dots\}$ , 描述战场所有平台在各个时刻的属性及行为信息;  $X_{DB}^{SL}$  即军事专家关于态势特征的认识, 其物理实现是领域事件特征及聚类编群数据库, 由知识工程师和领域专家共同建立;  $X_{\Phi}^{SK}$  表示态势觉察部分输出的与态势类型相关的特征向量。态势觉察过程是一个多层次由底向上逐层提取事件、聚类分群的过程。

态势觉察输出的特定的态势类型特征向量  $X_{\Phi}^{SK}$  的描述可为三元组:

$$(\text{事件} E, \text{态势空间} S, \text{关系} R)$$

其中, 事件  $E$  指在当前时刻该具有一定意义的态势空间  $S$  下的行为事件, 可能为某平台的基本事件, 也可为某个群的“群事件”; 态势空间  $S$  是经过聚类分群对目标平台进行抽象和分类形成的军事体系单元假设, 即  $S = \{\dots, P_i \cup P_k \cup P_p, \dots, P_q \cup P_m, \dots\}$ , 聚类分群由下而上, 形成多层次的分类假设; 关系  $R$  指事件发生的时间、空间及逻辑上的关系, 涉及到态势理解判断对于时间、空间以及因果关系的推理。态势觉察的输出送入态势理解作进一步的评估处理。

### 3.2 平台事件的检测及模糊化处理

#### 3.2.1 事件与状态

平台出现后在任一时刻的状态都包含多方面的信息, 如速度信息、高度信息、方向信息雷达开关机信息等等, 即有  $n$  个论域:  $U_1 \times U_2 \times U_3 \times \dots \times U_n$ 。如平台某一时刻的状态为 (搜索雷达处于开机状态, 跟踪雷达处于开机状态、炮瞄雷达处

于关机状态、低速、低空、……)。

事件的发生在某个侧面改变了平台的状态,如经过加速,平台的速度从低速变为高速;经过爬高,平台的高度从低空变为中空;雷达开机事件使雷达从关机状态变为开机状态等等。

事件表示的一般格式为:

(事件发生的主体,时间,事件类型,用于描述该类型事件的信息)

它详细描述了事件的 Who、When、What 属性,其中事件类型有加速、拐弯等机动事件,还有雷达开关机等辐射源事件。

事件判别一般方法为:对于第  $i$  个平台将其多个时刻的状态信息集合

$$P_i(t), P_i(t-1), P_i(t-2), \dots$$

与领域知识库中事件模式类特征模板进行比较、分析、判断,从而提取出所需要的平台的基本事件。

### 3.2.2 事件的类型

平台事件大致可分为

#### 1) 普通事件:

平台出现、消失等

#### 2) 机动事件:

加速,减速(这里的速度是指绝对速度即速率,不包含方向信息);

拐弯(这里的判断是不是拐弯是根据平台航迹投影到水平面后得到的是直线还是曲线来定义的);

爬高、俯冲(这里爬高、俯冲是根据平台航迹在垂直面上的投影情况来定义的,即平台高度的变化);

……

#### 3) 辐射源事件

(雷达、电台、干扰机、…)开/关机事件;

### 3.2.3 事件的检测及其表示

#### 3.2.3.1 普通事件

##### 1) 平台出现

事件发生的条件:新平台出现或者已经消失的平台重新出现。

事件发生说明:目标平台进入我方传感器侦察区域;某目标平台出现分批情况,如航空母舰弹射作战飞机、飞机发射导弹、潜艇发射鱼雷等;某目标平台经过若干时间的隐蔽后重新被发现。

事件的表示:

(平台 id, “平台出现”, 时间, 位置)

##### 2) 平台消失

事件发生的条件：若干个融合时间周期某平台均未出现，判定为“目标消失”。

事件发生说明：消失的原因可能是发生合批情况或被击落或脱离侦察范围等。

事件的表示：

(平台 id, “平台消失”, 时间, 位置)

### 3.2.3.2 机动事件

平台机动可分为加速（减速）、爬高（俯冲）、拐弯等，它的检测较普通事件要来得复杂，因为它涉及检测时间及检测门限的选取。不同类型平台间，其选取方法会有所不同。譬如，对于舰船来说，拐弯比较慢，其检测时间应设的长一点，可能要历时好几个时间片，而飞机由于其机动性强，拐弯非常迅速，其检测时间用一个时间片足已。

一般来说，平台机动的不是一个时间点，而是一个时间段，因此我们把机动事件的检测分为机动开始检测和机动结束检测两个步骤。

#### 1) 加速（减速）

加速（减速）开始的条件：

- a) 平台处于匀速运动状态
- b) 平台在检测时间  $\tau$  内平台速率增加（减少）的数值  $\geq$  该类型平台的加速（减速）判别门限

加速（减速）结束的条件：

- a) 平台处于加速（减速）运动状态
- b) 平台在检测时间  $\tau$  内平台速率增加（减少）的数值  $<$  该类型平台的加速（减速）判别门限

事件发生说明：不同类型的平台在移动过程中加速（减速）门限和检测时间会有所不同。

事件的表示：

(平台 id, “加速（减速）”, 开始时间, 开始速度, 结束时间, 结束速度)

#### 2) 拐弯

拐弯开始的条件：

- a) 平台处于直线运动状态
- b) 在检测时间  $\tau$  内平台的航向与原航向在水平面上的偏差  $\geq$  该类型平台的拐弯判别门限

拐弯结束的条件：

- a) 平台正在拐弯
- b) 在检测时间  $\tau$  内平台的航向与原航向在水平面上的偏差  $<$  该类型平台的拐弯判别门限

事件发生说明：不同类型的平台在移动过程中拐弯门限和检测时间会有所不

同。

事件的表示：

(平台 id, “拐弯”, 开始时间, 开始方向, 结束时间, 结束方向)

### 3) 爬高 (俯冲)

爬高 (俯冲) 开始的条件：

- a) 平台处于水平运动状态
- b) 在时间间隔  $\tau$  内平台的航向与原航向在垂直面上的偏差  $\geq$  该类型平台的爬高 (俯冲) 判别门限

爬高 (俯冲) 结束的条件：

- a) 平台正在爬高 (俯冲)
- b) 在时间间隔  $\tau$  内平台的航向与原航向在垂直面上的偏差  $<$  该类型平台的爬高 (俯冲) 判别门限

事件发生说明：考虑到运动物体模型以及重力影响，平台的爬高与俯冲判别门限往往并不相同。

事件的表示：

(平台 id, “爬高 (俯冲)”, 开始时间, 开始高度, 结束时间, 结束高度)

### 3.2.3.3 辐射源事件

#### 1) 辐射源开机

事件发生的条件：平台当前时刻的辐射源列表中出现了历史状态辐射源列表中未出现的某辐射源型号 XXX 型，则判定：“辐射源 XXX 型号开机”。

事件发生说明：平台在作战过程中需要使用各种类型的雷达，如战斗机在作战前会打开搜索雷达寻找攻击目标，然后打开瞄准雷达展开攻击；平台与平台以及基地之间可能会通过某类型的电台进行联络。各种类型辐射源开机都代表着敌方某种行动即将展开。识别辐射源类型并进而通过平台所携带的辐射源识别该平台类型是一级数据融合中的关键性技术。辐射源开机事件可以具体分为：雷达开机事件、通信机开机事件、干扰机开机事件（包括全频干扰、锡箔干扰等）。

事件的表示：

(平台 id, “辐射源开机”, 时间, 辐射源型号)

#### 2) 辐射源关机

事件发生的条件：平台的历史状态辐射源列表中某辐射源型号 YYY 型未在当前时刻辐射源列表中出现，则可判定：“辐射源 YYY 型号关机”。

事件发生说明：平台在作战过程中，因无线电缄默躲避敌方辐射源侦察设备等原因，辐射源往往在完成其任务后立即关闭，因此，辐射源关机事件代表着敌方某个行动如搜索目标、攻击或电台联络已经完成，具有一定的意义。辐射源关机事件可以具体分为：雷达关机事件、通信机关机事件、干扰机关机事件等。

事件的表示:

(平台 id, “辐射源关机”, 时间, 辐射源型号)

### 3.2.4 平台的状态变迁

通过事件检测, 大量的原始数据信息得到进一步的提炼。事件全面描述了平台在某一时刻或在某个时间段内的在某个侧面的状态变化信息。如

(加速,  $(t_1, t_2)$ ,  $(v_1 \rightarrow v_2)$ ) (表示在时间段  $(t_1, t_2)$  内, 平台发生加速事件, 平台速度从  $v_1$  变为  $v_2$ );

(辐射源开机,  $t$ , radar1) (表示在  $t$  时刻, 平台的 radar1 开机);

.....

根据检测到的平台基本事件序列, 可以生成平台的当前及历史状态信息, 从而能重现平台从被发现到消失这段时间内的详细信息。

如下面是某平台从被发现到消失的所有事件信息:

(发现新平台,  $t_0, p_0$ ), 平台在  $t_0$  时刻在  $p_0$  位置被发现;

(加速,  $(t_1, t_2)$ ,  $(v_1 \rightarrow v_2)$ ), 平台在时间段  $(t_1, t_2)$  内通过加速速率从  $v_1$  变为  $v_2$ ;

(辐射源开机,  $t_3$ , radar1), 平台在  $t_3$  时刻 radar1 开机;

(俯冲,  $(t_4, t_5)$ ,  $(h_4 \rightarrow h_5)$ ), 平台在时间段  $(t_4, t_5)$  内通过俯冲高度从  $h_4$  变为  $h_5$ ;

(辐射源关机,  $t_6$ , radar1), 平台在  $t_6$  时刻 radar1 关机;

(爬升,  $(t_7, t_8)$ ,  $(h_7 \rightarrow h_8)$ ), 平台在时间段  $(t_7, t_8)$  内通过爬升高度从  $h_7$  变为  $h_8$ ;

(拐弯,  $(t_9, t_{10})$ ,  $(\alpha_9 \rightarrow \alpha_{10})$ ), 平台在时间段  $(t_9, t_{10})$  通过拐弯方向角从  $\alpha_9$  变为  $\alpha_{10}$ ;

(平台消失,  $t_{11}$ ), 平台在  $t_{11}$  时刻消失。

通过平台的这些事件信息, 可得到该平台状态的详细信息:

#### ● radar1 状态:

$t_0 \rightarrow t_3$ :

在该时间段内该辐射源处于关机状态。

$t_3 \rightarrow t_6$ :

在该时间段内该辐射源处于开机状态。

$t_6 \rightarrow t_{11}$ :

在该时间段内该辐射源处于关机状态。

#### ● 速度:

$t_0 \rightarrow t_1$ :

在该时间段内平台的速率约为  $v_1$ 。

$t_1 \rightarrow t_2$ :

在该时间段内平台的速率从  $v_1$  加速到  $v_2$ ; 该过程如近似为匀加速直线运动, 则可得到该平台在该时间段内任一时刻的速率。

$t_2 \rightarrow t_{11}$ :

在该时间段内平台的速率约为  $v_2$ 。

● 高度:

$t_0 \rightarrow t_4$ :

在该时间段内平台的高度约为  $h_4$ 。

$t_4 \rightarrow t_5$ :

在该时间段内平台的高度从  $h_4$  降为  $h_5$ ; 该过程如近似为匀速俯冲运动, 则可得到该平台在该时间段内任一时刻的高度。

$t_5 \rightarrow t_7$ :

在该时间段内平台的高度约为  $h_5$ 。

$t_7 \rightarrow t_8$ :

在该时间段内平台的高度从  $h_7$  升为  $h_8$ ; 该过程如近似为匀速爬高运动, 则可得到该平台在该时间段内任一时刻的高度。

$t_8 \rightarrow t_{11}$ :

在该时间段内平台的高度约为  $h_8$ 。

● 方向角:

$t_0 \rightarrow t_9$ :

在该时间段内平台的运动方向约为  $\alpha_9$ 。

$t_9 \rightarrow t_{10}$ :

在该时间段内平台的运动方向从  $\alpha_9$  变为  $\alpha_{10}$ ; 该过程如近似为匀速圆周运动, 则可得到该平台在时间段内任一时刻的方向角

$t_{10} \rightarrow t_{11}$ :

在该时间段内平台的运动方向约为  $\alpha_{10}$ 。

从上面这个例子, 我们可以看到通过事件检测, 原始数据信息得到进一步的提炼, 在数据量大大减少的情况下, 仍可以得到平台从出现到消失这段时间内任一时刻的状态的各个侧面的信息。

以上这些信息只是是进行平台的基本事件及状态信息, 还可根据需要以此为基础进行其它事件及状态的检测和查询。如根据敌方平台的位置信息可知它是否进入我边境, 是否进入我火炮攻击范围等等。

### 3.2.5 平台状态及其机动事件的模糊化处理

态势理解中的军事计划识别系统以此为基础可进行推理。但是象其它领域的知识一样, 很多军事知识都具有一定的模糊性, 如高空飞行、突然转弯、突然加速等

等。因此我们在进行军事计划识别之前，有必要对某些平台事件（主要是机动事件）及状态进行模糊化处理。

### 3.2.5.1 状态的模糊化处理

#### ● 根据高度（仅限于飞机平台）

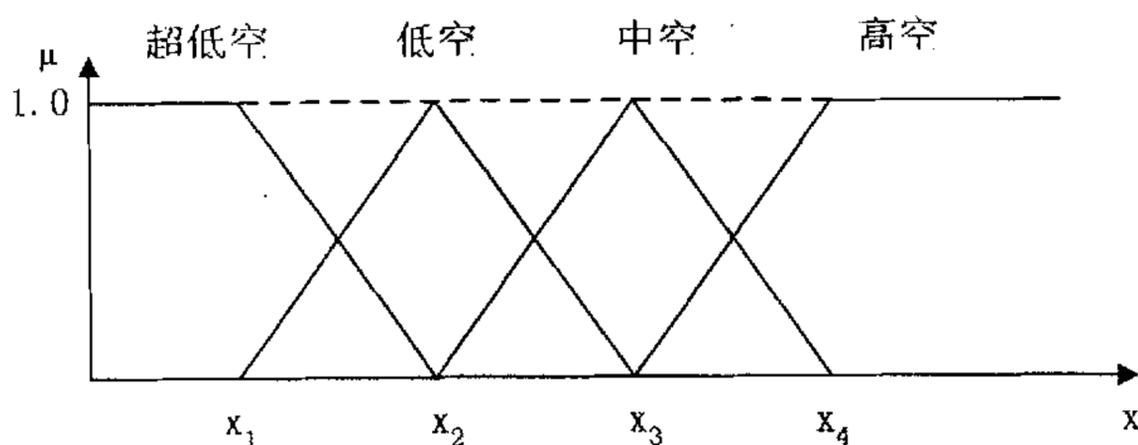


图 3.1 高度状态的模糊化结果

平台状态可分为高空、中空、低空、超低空等。其中  $x$  为平台高度。

#### ● 根据其速度

平台状态可分为高速、中速、低速等。其隶属度函数的定义与上类似。由于飞机和舰船在速度方面的差异，它们的高速、中速及低速的隶属度函数也会有不同。

### 3.2.5.2 机动事件的模糊化处理

#### ● 加速（减速）

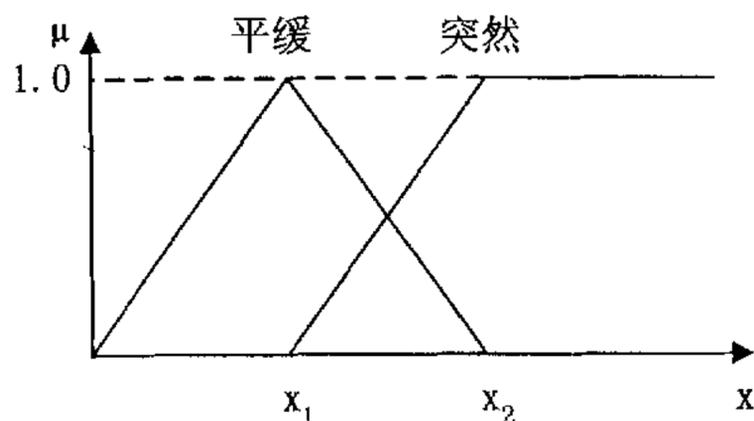


图 3.2 加速（减速）的模糊化结果

在这里，我们把加速（减速）分为两级：突然、平缓。其中  $x = \Delta v / \Delta t$ ，如对于加速事件：（加速， $(t_1, t_2)$ ， $(v_1 \rightarrow v_2)$ ）， $x = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1)$ 。由于飞机和舰船在加速度方面的差异，故在突然加速（减速）和平缓加速（减速）隶属函数的定义上也会有所不同。

#### ● 拐弯

拐弯经过模糊化后，也分为两级：急速、慢速。其隶属度函数的定义与上类似。

#### ● 爬高（俯冲）

爬高（俯冲）经过模糊化处理后，也分为两级：急速、慢速。其隶属度函数的

定义与上类似。

### 3.3 分群技术

#### 3.3.1 群的定义

态势觉察中需要利用提取的态势特征元素把平台按照空间和功能进行分群从而推断更高级别的战术态势描述，分群的基本思想是对有用的数据进行分组，以便后续评估确定态势元素之间的相互关系，并能够据据此从各个层次解释战场态势的行为特性。

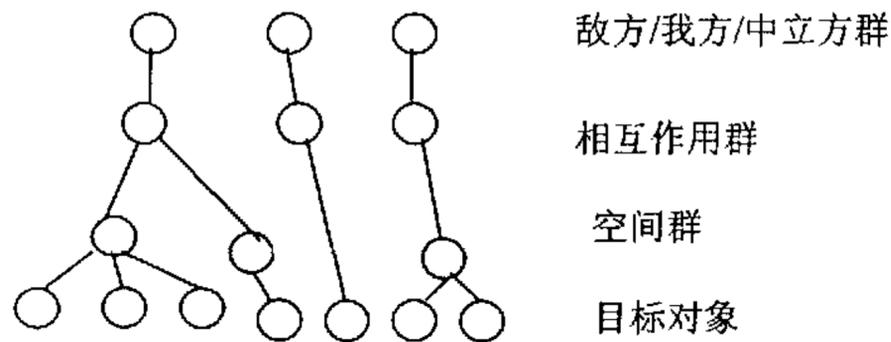


图 3.3 分群示意图

分群可以提供两方面的重要功能：第一，允许把评定结果反馈到数据合成过程中以弥补丢失的信息，即根据进一步的观测，有可能对过去的某些细节重新进行推理。如，敌方舰船群的所有成员中都应该是敌方的，若在其后的新数据给出了不同的结果，其中某舰敌我属性为中立，则可以立即检测出这个矛盾，并重新审查修正原来的结论；第二，群形成概念简化了群证据相关，即一份简要的报告可以只给出某个水面战斗群的位置，而不需要逐个给出单舰的位置。

##### 3.3.1.1 空间群

空间群类似于作战仿真中的批次的概念，其形成比较简单，即如果某类型平台在某个同样类型空间群重心的规定距离之内，并且，该平台速度矢量与此空间群的群速度矢量相近，则将该平台划分为该空间群。空间群的空间范围相差较大，飞机空间群范围在 10—30Km 左右，而舰船空间群范围则可能达到 80Km。军事交战中，经常采用二机或三机编队方式进行协同，类型一般相同，同为战斗机或轰炸机，距离较近，分群时即可作为空间群处理。

空间群的参数有：空间群的类型（战斗机/轰炸机/电子战飞机/驱逐舰/...）；空间群的重心位置；空间群的速度（航向）；空间群的范围；空间群的成员等。

##### 3.3.1.2 相互作用群

如果两个或两个以上的空间群为完成类似目的（进攻或防御某一目标）相互依赖，则可以将这些空间群形成一个相互作用群。相互作用群是解释态势中主要战术要素的关键依据。

根据我们的理解，相互作用群可能由空中、水面、陆地等各个空间群组合而

成, 从多个方向以不同行为进行协作。如, 海空协同作战时, 航母提供运载和巡航导弹发射平台, 战斗机获取空中优势, 驱逐舰进行对岸炮击, 潜艇进行反舰活动, 所有的这些群的目的即是为了攻占某个战略要害, 可以将它们组合成为攻击该要害的相互作用群。

相互作用群有两个重要类型: 防御群和攻击群。

防御群用于表示友方/敌方兵力使用的防御掩护屏, 如反潜掩护屏、防空掩护屏, 具有以下参数: 防御群的类型, 如反潜、防空等; 防御群的组成; 作战方式; 武器的杀伤范围等。

攻击群是考虑了空间和功能参数后得到的敌我双方平台的子集, 如若干从各个方位向敌方某个固定目标靠近的空间群构成一个攻击群。攻击群的参数有: 攻击群的类型; 攻击的可能目标; 攻击作战的阶段等。

### 3.3.1.3 敌我中立群

某些态势评估中, 为了描述敌方/我方/中立方的战术态势, 需要多个相互作用群, 所以需要更高层次的群来描述重要战术要素之间的关系。因此, 可以用敌方所有相互作用群组成敌方群, 用我方所有相互作用群组成我方群, 用中立方所有相互作用群组成中立群。某些情况下可以排除中立群。敌我中立群这个层次抽象地表示了战场上的战略运用范畴。

### 3.3.2 分群实现

目标分群或聚类问题也称为群形成 (Group Formation) 过程, 它是态势估计需要实现的一个重要功能。目标编群策略是一种前向推理过程, 其基本思想是根据一级融合输入的诸威胁单元信息, 按照一定的知识采用自底向上逐层分解的方式对描述威胁单元的信息进行抽象和划分, 形成关系级别上的军事体系单元假设, 以便揭示可以帮助确定态势元素之间的相互关系, 并据此解释感兴趣的所有元素的特性。

分群的过程就是对群的递增建立和群结构的维护过程, 与此同时, 还需要不断刷新、推理群的各种参数, 如群的类型, 群的空间范围, 群的速度、重心位置、方向角等。因为群结构的变化比较缓慢, 群的分裂与合并的概率比较小, 我们采用了比较简单的分群方法, 即每次按照不同的时间间隔对各层次群的进行处理, 如设每融合数据处理周期为  $\tau$ , 则每隔  $4\tau$  进行一次空间群的分群处理, 当空间群发生变化或经过  $8\tau$  进行相互作用群的划分, ..., 以此类推进行处理, 构建各层次的群结构。分群的实现主要以空间群为例, 详细说明。

分群实现主要基于最近邻 (NN) 法, 由于不同类型的平台的运动参数有所不同, 具体的分群门限也需分别制定。我们在分群中考虑了各平台的位置和速度信息, 在实际应用时为了避免形成可能没有任何战术意义的群, 同一群中的成员除了空间位置、速度相近外, 行为还应该相似, 即用尽可能多的参数来分配。

## 3.4 态势觉察的模型建立

### 3.4.1 统一建模语言(UML)和设计模式概述

- 统一建模语言 UML<sup>[27]</sup>

UML 是一种标准的图形化建模语言，它是面向对象分析与设计的一种标准表示。它易于使用、表达能力强，且与具体的实现和软件过程无关，对在面向对象的设计和开发中涌现出的高级概念（例如协作、框架、模式和组件）提供强有力的支持，而且它集成了最好的软件工程实践经验。

在软件开发过程中，难点莫过于一个项目的参与者包括领域专家、软件设计开发人员、客户以及用户之间的交流问题。而 UML 这种标准化的表示方法有效地促进了具有不同背景的人们之间的交流，有效地促进了软件设计、开发和测试人员的相互理解。

- 设计模式<sup>[28]</sup>

设计模式集成了面向对象软件设计的许多成功经验，并以一种易于理解的方式描述出来，使人们可以更加简单方便地复用成功的设计和体系结构。将已证实的技术表述成设计模式也会使新系统开发者更加容易理解其设计思路。设计模式帮助你做出有利于系统复用的选择，避免设计损害了系统复用性。通过提供一个显式类和对象作用关系以及它们之间潜在联系的说明规范，设计模式甚至能够提高已有系统的文档管理和系统维护的有效性。简而言之，设计模式可以帮助设计者更快更好地完成系统设计。

一个特定的设计模式命名、抽象和确定了一个通用设计结构的主要方面，这些设计结构能被用来构造可复用的面向对象设计。设计模式确定了所包含的类和实例，它们的角色、协作方式以及职责分配。每一个设计模式都集中于一个特定的面向对象设计问题或设计要点，描述了什么时候使用它，在另一些设计约束条件下是否还能使用，以及使用的效果和如何取舍。

### 3.4.2 态势觉察建模

#### 1、 态势估计序列图

该序列图描述了在系统开始工作及工作结束时各对象的交互过程。其中相关对象有主框架(CMainFrame)、数据转发器(CFrameTransmitter)、态势知识库(CKnowledgeBase)。

主框架在用户发出运行指令后，便初始化数据转发器对象，读取态势知识库，接着数据转发器便开始接收到的数据转发给相应的平台或基地进行处理。在运行结束后，通知转发器停止转发数据。

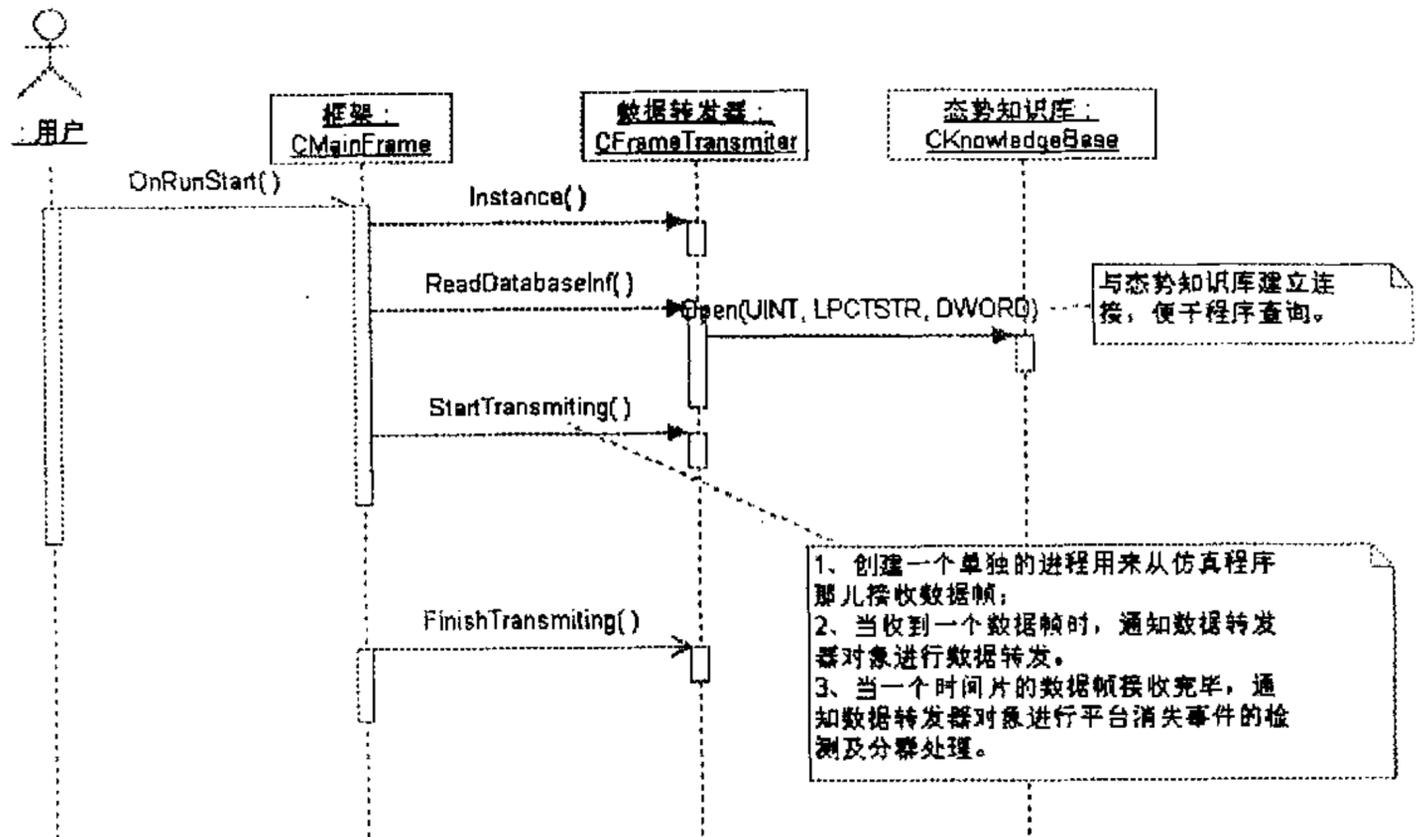


图 3.4 态势估计序列图

## 2、数据转发处理的序列图

该序列图描述了平台数据帧处理过程中，数据转发器(CFrameTransmitter)、平台(CPlate)、地图视图(CMapView)及事件视图(CEventView)等对象的交互过程。

数据转发器接收到平台数据帧后，把平台数据帧转发给特定的平台，然后由平台进行事件的检测，并更新各视图显示；当一个时间片的数据帧接收完毕后，进行平台消失事件的检测、分群处理及军事计划识别。

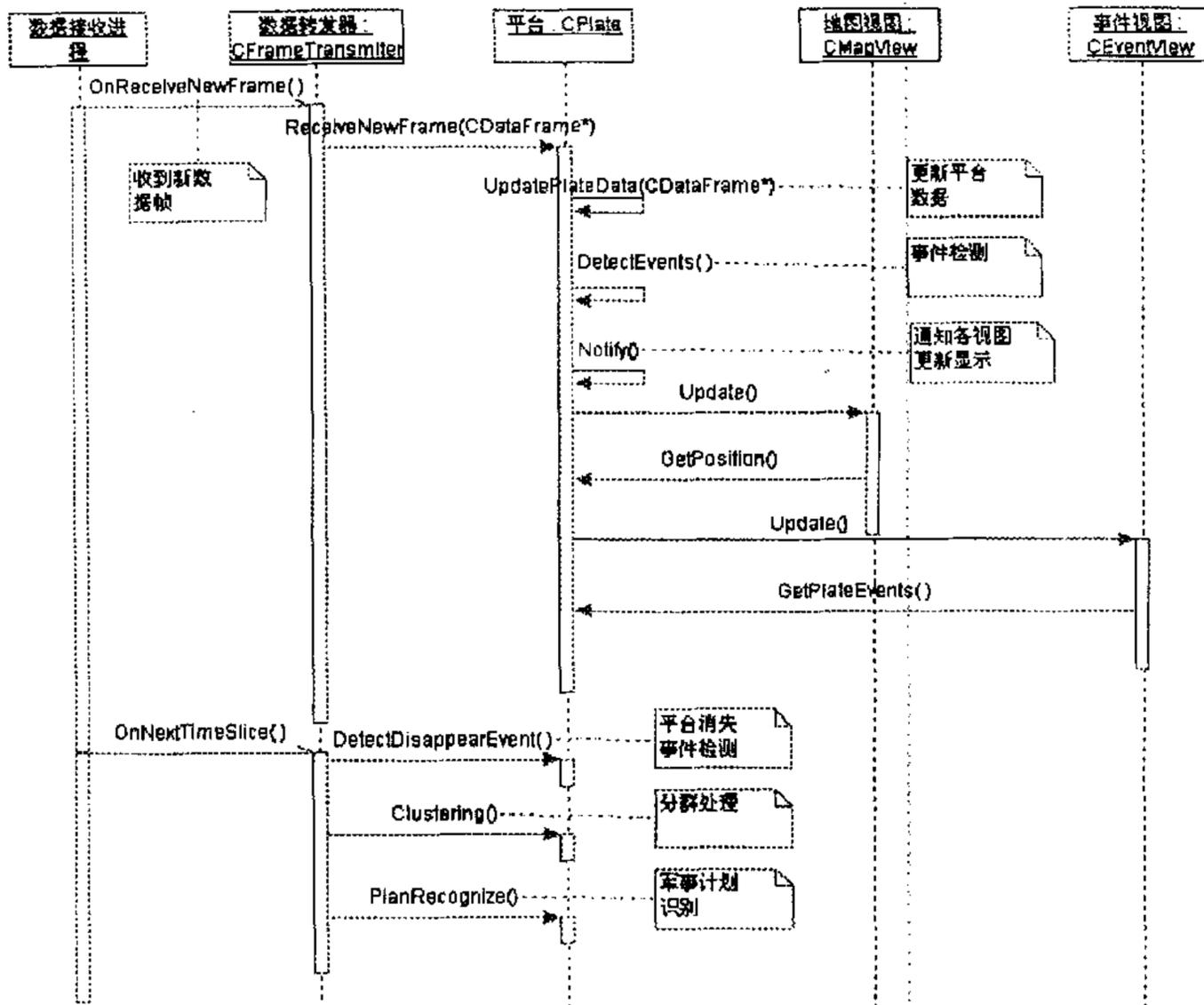


图 3.5 数据转发处理序列图

### 3.4.3 设计模式的运用

#### 1、Observer（观察者）模式的应用

Observer 模式定义了对象间的一种一对多的依赖关系, 当一个对象的状态发生改变时, 所有依赖于它的对象都得到通知并被自动更新。该设计模式使目标和观察者间的抽象耦合, 即一个目标所知道的仅仅是它有一系列观察者, 每个都符合抽象的 Observer 类的简单接口。目标不知道任何一个观察者属于哪一个具体的类。这样目标和观察者之间的耦合是抽象的和最小的。该设计模式还支持广播通信, 即目标发送的通知不需指定它的接收者。通知被自动广播给所有已向该目标对象登记的有关对象。目标对象并不关心到底有多少对象对自己感兴趣; 它唯一的责任就是通知它的各观察者。这使得在任何时刻都可以自由得增加和删除观察者。处理还是忽略一个通知取决于观察者。

在态势估计系统中, 领域内对象 (如平台、基地) 在每收到一个数据帧它的状态都可能改变, 其中它的状态包括位置状态、加速度、辐射源状态、事件序列、分群信息等等。而这些信息被分别显示在事件视图、地图视图和分群视图中一个或多个视图上, 并要求在状态信息改变时立刻更新各视图显示。因此在这里, 我们把各视图类定义成领域相关类的“观察者”。其类层次结构如下:

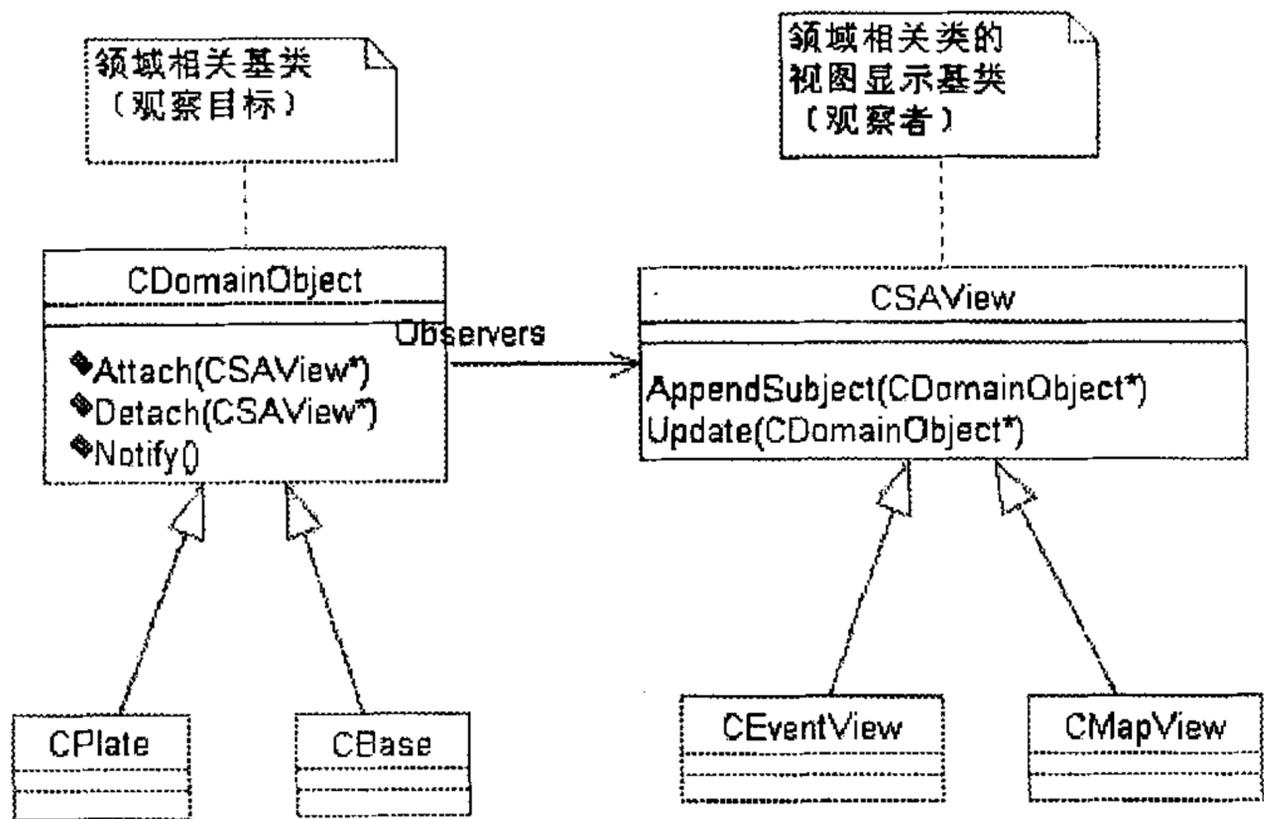


图 3.6 观察者模式中的类层次结构

其中领域相关基类 CDomainObject 定义如下:

```

class CDomainObject : public CObject
{
public:
    virtual ~CDomainObject();
    virtual Attach(CSAView* pView);
    virtual Detach(CSAView* pView);
protected:
    CDomainObject();
private:
    List<CSAView*> *m_pObservers;
}
void CDomainObject::Attach(CSAView* pView)
{
    m_pObservers->Append(pView);
}
void CDomainObject::Detach(CSAView* pView)
{
    m_pObservers->Remove(pView);
}
  
```

```
void CDomainObject::Notify()
{
    ListIterator<CSAView*> i(m_pObservers);
    for(i.First();!i.IsDone();i.Next())
    {
        i.CurrentItem()→Update(this);
    }
}
```

视图显示基类 CSAView 的定义如下:

```
class CSAView : public CView
{
    void AppendSubject(CDomainObject*);
    virtual void Update(CDomainObject*);
}
```

CSAView 的子类重载 Update 函数, 并显示领域相关类对象的事件信息、分群信息或航迹信息。

## 2、Strategy(策略)模式的运用

Strategy 模式定义一系列的算法, 把它们一个个封装起来, 这使得算法可独立于使用它的客户而变化, 而且使用策略模式可以避免暴露复杂的、与算法相关的数据结构。

在态势估计系统中, 平台的事件检测算法间存在较大的差异。首先是关注点的不同, 如加速减速事件的检测主要是根据平台的速度变化情况, 爬高俯冲事件的检测则是根据平台的高度变化情况; 其次是不同类型平台间的事件检测门限不同。而且对于平台机动事件的检测来说, 一般要求记录最近一个检测时间段内的平台某些状态信息, 如拐弯事件的检测需要记录最近一个检测时间段内平台的方向角信息, 看其变化速率是否超过检测门限来判定拐弯事件是否发生。

根据事件检测的这些特点, 我们引入 Strategy 模式。在 Strategy 模式中, 我们用对象来表示算法, 对象内包含与特定平台特定算法相关的事件检测门限, 检测时间及相关历史状态信息, 并提供接口用来进行事件的检测。这样平台事件检测算法的改变就不会影响到平台类, 而且也避免了那些与特定事件检测相关的信息“污染”平台类。

现设计平台类和平台机动事件检测类的层次结构如下:

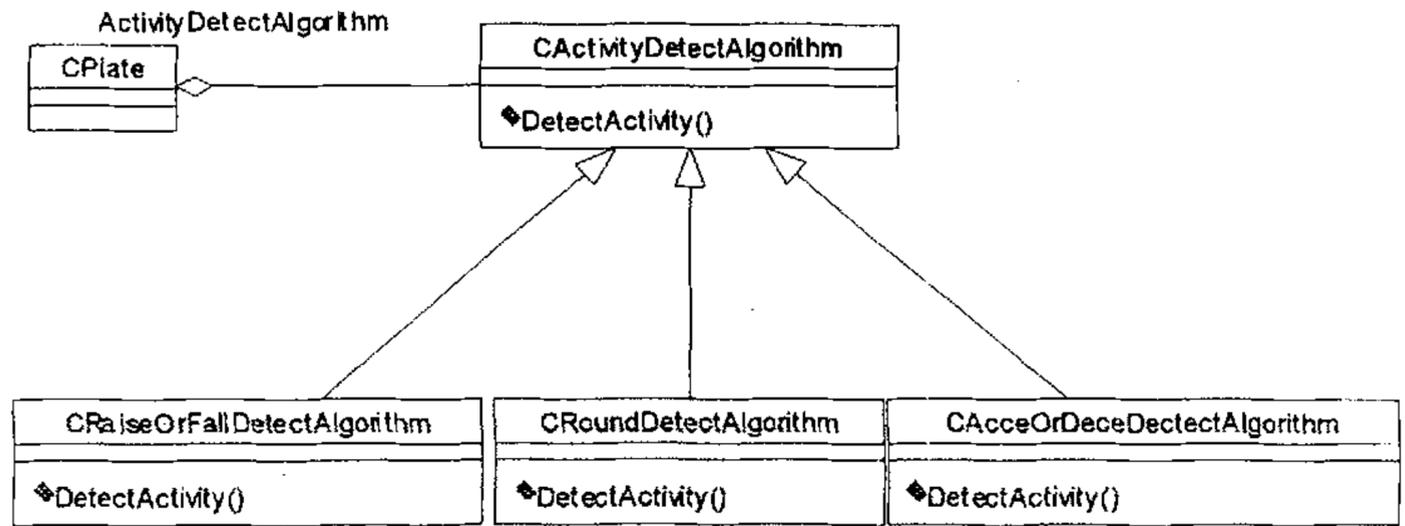


图3.7 策略模式中的类层次结构

平台机动事件算法对象由平台根据其平台类型负责创建，在创建时初始化算法对象的检测门限、检测时间等信息。在创建好算法对象以后，在每个时间片进行该平台机动事件的检测(DetectActivity)。

其中类CActivityDetectAlgorithm定义如下：

```

class CActivityDetectAlgorithm
{
    CPlate* m_pPlate;//相关平台
    CEventDectectInf* pEventDetectInf;//事件检测门限信息
    CStateInfList m_stateList;//该平台的历史状态信息
    CActivity* m_pActiveActivity;//当前活动的的机动事件
protected:
    CActivityDetectAlgorithm(CPlate*);
public:
    virtual CActivity* DetectActivity()=0;
    ~ CActivityDetectAlgorithm();
}
  
```

现以拐弯事件为例来描述拐弯的检测过程：

```

CActivity* CRoundDetectAlgorithm::DetectActivity()
{
    CActivity* result=NULL;
    //获得平台当前的方向角信息，并放入方向角历史信息队列中
    CRoundState* currentState=new CRoundState(m_pPlate->GetTime(),m_pPlate->
    GetVelocity());
    m_stateQueue.Push(currentState);//把当前方向角信息放入队列，并删除检测时
    间  $\tau$  前的信息
    bool isRounding;
    //根据平台方向角的历史变化信息判断平台是否在拐弯
    //1) 当前方向角 -  $\tau$  时间前的方向角  $\geq$  拐弯门限值，则表明  $\tau$  时间前正在拐弯
    //2) 当前方向角 -  $\tau$  时间前的方向角  $<$  拐弯门限值，则表明  $\tau$  时间前不在拐弯
    .....
}
  
```

```

//如果在拐弯且当前有活动的拐弯机动事件，则该拐弯继续，并返回NULL（因
//为该机动事件未结束）；如果在拐弯且当前无活动的拐弯机动事件，则创建
//新的平台拐弯事件，并返回NULL（因为该机动事件未结束）。
//state表示  $\tau$  时间前的方向角为状态信息
if(isRounding)
{
    if(!m_pActiveActivity)
        m_pActiveActivity=new CRoundActivity(state);
}
//如果没在拐弯且当前有活动的拐弯机动事件，则拐弯结束，并返回该活动的
拐弯机动事件。
else if(m_pActiveActivity)
{
    m_pActiveActivity->End(state);
    result=m_pActiveActivity;
    m_pActiveActivity=NULL;
}
return result;
}

```

另外，其它事件的检测算法类也可根据该模式来建立。

### 3、其它设计模式的运用

Singleton（单件）模式保证一个类仅有一个实例，并提供一个访问它的全局访问点。Singleton模式有许多优点：首先，Singleton类封装它的唯一实例，所以它可以严格的控制客户怎样以及何时访问它。其次，Singleton模式是对全局变量的一种改进，它避免了那些存储唯一实例的全局变量污染名空间。在态势估计系统中，CFrameTransmitter（数据帧转发器）、CKnowledgeBase（知识库）都可以用Singleton来实现。

Visitor（访问者）模式用类来表示一个作用于某对象结构中的各元素的操作。它使你可以在不改变各元素的类的前提下定义作用于这些元素的新操作。访问者使得增加依赖于复杂对象结构的构件的操作变得容易了。仅需增加一个新的访问者即可在一个对象结构上定义一个新的操作。而平台类对象的组成元素较多，其中有表示平台可能型号及置信度信息的平台可能型号类对象，还包含表示平台配备的辐射源可能型号及置信度信息的辐射源可能型号类对象数组，还有平台的历史事件信息。各个相关类都有自己特定的访问接口，由于系统需要对平台中的各对象进行很多不同的并且不相关的操作，Visitor可以将相关的操作定义在一个类中，而使不使这些操作“污染”平台类。当该对象结构被很多应用共享时，用Visitor模式让每个应用仅包含需要用到的操作。

### 3.5 本章总结

态势觉察是态势理解及预测的基础。准确而全面的态势要素提取对态势推理来说至关重要。本章主要对态势觉察技术进行了较为深入的研究。首先详细讨论了事件的分类、定义及检测方法，并对平台状态及机动事件进行模糊化处理；随后介绍了目标分群技术；最后，利用面向对象技术（UML、设计模式等）对态势觉察模块进行建模。

## 第四章 态势理解及预测技术研究

在态势估计系统中，态势理解和态势预测过程通常是密不可分的，通过对当前态势的深刻理解，同时也就能得到态势的未来发展趋势。因此在这里，我们把我们将态势理解和预测技术联合起来考虑，对它们的实现技术进行一些初步的研究，其中主要侧重于模糊时间空间关系的定义、基于模板的计划表示和基于模板匹配的推理算法，最后，利用专家系统工具 CLIPS 初步实现了军事计划的模板表示及基于模板匹配的军事计划识别。

### 4.1 态势理解及预测技术问题描述

#### 4.1.1 态势理解问题描述

根据一级估计生成的态势特征向量，结合领域专家的军事知识对当前态势进行解释，用于判断敌方战场布施（进攻、防御、行军、欺骗、集结等）和行动企图（穿插、迂回、逃跑等），是对敌方意图和作战计划的识别。

在态势分析过程中，军事领域知识起着决定作用，根据知识建立态势特征与态势识别的对应关系，形成对当前态势的分类识别：设态势空间  $\Theta = \{A, B, C, \dots\}$ ，其元素为战场空间中可能出现的全部态势分类， $M = \{X, Y, Z, \dots\}$  为当前态势推理中得到的态势特征集合，表示战场空间中所出现的事件。所谓二级评估（态势理解）实际上就是求解态势特征集合与态势空间框架的对应关系：

$$f: M \rightarrow \Theta$$

由此对态势特征进行分类识别：

$$M/f = \{\tilde{X} \mid \tilde{X} = f^{-1}(A)\},$$

其中：

$$\tilde{X} = f^{-1}(A) = \{X \mid X \in M, f(X) = A\}$$

即由态势 A 可适用的情况所构成的态势特征子集合。

这样，形成的态势假设对战场实体对象、编群及其活动、事件和计划给予解释，就将态势特征空间进行一次粗集划分，完成了对当前态势判断的一次识别。实际上，对态势特征的分类就是对其所属态势类别的判断，对应与人类思维认识的渐进性，这个过程是多级识别的，即存在映射集合：

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$$

其中元素  $f_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 描述了集合  $M = \{X, Y, Z, \dots\}$  中元素在  $i$  层所具有类别特征与态势类别的对应关系，我们将映射集合  $F$  叫推理框架。

通过  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  对  $M = \{X, Y, Z, \dots\}$  进行多级识别，最后达到由态势特征到态势类型的认识。

从以上可以看出，态势理解过程高度依赖军事领域知识，需要依靠丰富的领域

知识建立对应识别规则试探性的求解，将基于知识的推理算法应用于这个过程来完成。为此，建立完整、准确的军事事例库及先验模板（态势知识库）是必须的。

#### 4.1.2 态势预测问题描述

基于已得出的当前态势，对未来可能出现的态势情况进行预测，即已知 $t$ 时刻的态势 $S(t)$ ，求 $\{S(t+T), S(t+2T), \dots\}$ 。对应于不同级别的预测，可以是多实体军事单元的未来状态的预测，也可是高层全局态势演变的预测（如由攻击状态变为防御状态）。作战对象未来位置的变化可以根据航迹的状态方程、机动性、作战目的进行预测。但对未来高级行为的估计比较困难。

### 4.2 时间空间关系的定义

#### 4.2.1 模糊数学基础<sup>[19]</sup>

L-R 模糊数及其运算：

定义：设 $L$ 是实数域 $R$ 到 $[0, 1]$ 的映射

$L: R \rightarrow [0, 1]$

$x \rightarrow L(x)$

若 $L$ 满足以下条件：

- 1)  $L(x) = L(-x)$  (对称)
- 2)  $L(0) = 1$
- 3)  $L(x)$ 在 $[0, +\infty]$ 单调递减

则称 $L(x)$ 为模糊数的基准函数。以下函数都可作为基准函数，

- 1)  $L(x) = \begin{cases} 1, x \in [-1, 1] \\ 0, \text{其它} \end{cases}$
- 2)  $L(x) = \max\{0, 1 - |x|^p\}, p \geq 0$
- 3)  $L(x) = \exp(-|x|^p), p \geq 0$
- 4)  $L(x) = 1/(1 + |x|^p), p \geq 0$

定义：设 $L(x), R(x)$ 为模糊数的基准函数，若：

$$\underline{A}(x) = \begin{cases} L((m-x)/\alpha), x \leq m, (\alpha > 0) \\ R((x-m)/\beta), x > m, (\beta > 0) \end{cases}$$

则称 $\underline{A}$ 为L-R模糊数，记为 $\underline{A} = (m; \alpha, \beta)_{LR}$ ，其中 $L, R$ 分别为左右基准函数， $m$ 称为均值， $\alpha, \beta$ 分别称为左、右分布。

为简单起见，下面要讨论的L-R模糊数的左右基准函数都采用 $L(x) = \max(0, 1 - |x|)$ 。且当 $\alpha = \beta$ 时，记为 $\underline{A} = (m; \alpha)$ 。

#### 4.2.2 模糊时间关系

- 1) 两个时间点之间的模糊关系：

设有时间点 $x, y$ ，一般来说，它们有三种关系：领先(before)、同时(equal)、

落后 (behind), 分别用  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  表示。

下面是这三种时间关系的一种简单的隶属度函数表示。

$$R_1(x,y) = \begin{cases} 1, & x-y \leq -a \\ -(x-y)/a, & -a < x-y < 0 \\ 0, & x-y > 0 \end{cases}$$

$$R_2(x,y) = \begin{cases} 0, & x-y \leq -a \\ 1+(x-y)/a, & -a < x-y \leq 0 \\ 1-(x-y)/a, & 0 < x-y \leq a \\ 0, & x-y > a \end{cases}$$

$$R_3(x,y) = R_1(y,x)$$

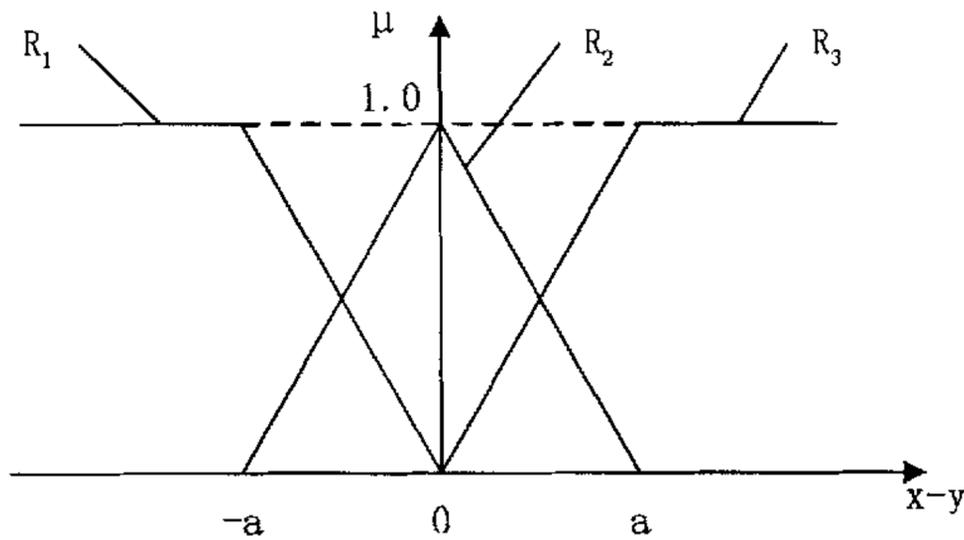


图 4.1 模糊时间关系的隶属度函数

对于态势评估的军事计划的表示及识别, 该种时间关系的分类就显得过于简单, 它不能表示一个时间点“领先”(或“落后”)另一个时间点的量化信息。而且, 即使对于“同时”这种时间关系,  $a$  的取值也会根据实际情况有所不同。因此, 在这里我们采用对时间关系参数化的方法动态生成时间关系的隶属度函数。

■ 领先:

$R_1(X,Y)$ : 时间点  $X$  领先于时间点  $Y$   $\underline{m}$  (秒), 其中  $\underline{m}=(m; \alpha, \beta)_{LR}$

因此对于  $\forall x \in X, y \in Y, R_1(x,y)=\underline{m}(y-x)$ 。

特别的, 当  $\beta \rightarrow +\infty$  时, 它表示的时间关系为: 时间点  $X$  领先于时间点  $Y$   $\underline{m}$  (秒) 以上。

■ 同时

$R_2(X,Y)$ : 时间点  $X$  与时间点  $Y$  相差  $\underline{m}$  (秒), 其中  $\underline{m}=(0; \alpha, \beta)_{LR}$

因此  $\forall x \in X, y \in Y, R_2(x,y)=\underline{m}(y-x)$  或  $\underline{m}(x-y)$ 。

■ 落后

$R_3(X,Y)$ : 时间点  $X$  落后于时间点  $Y$   $\underline{m}$  (秒), 其中  $\underline{m}=(m; \alpha, \beta)_{LR}$

因此对于  $\forall x \in X, y \in Y, R_3(x,y) = m(x-y)$ 。

特别的, 当  $\beta \rightarrow +\infty$  时, 它表示的时间关系为: 时间点  $X$  落后于时间点  $Y$   $m$  (秒) 以上。

## 2) 两个时间段之间的模糊关系:

设有两个时间段  $X, Y$ , 一般说来, 它们有 13 种时间关系, 如图 4.2 所示。

Relation	Symbol	Symbol for Inverse	Pictorial Example
X before Y	<	>	
X equal Y	=		
X meets Y	m	mi	
X overlaps Y	o	oi	
X during Y	d	di	
X starts Y	s	si	
X finishes Y	f	fi	

图 4.2 两时间段的 13 种关系

下面以 during 关系为例来说明时间段关系的判定过程。设有时间段  $X = (stime1, etime1)$  [表示该时间段的开始时间为  $stime1$ , 结束时间为  $etime1$ , 以下类同], 时间段  $Y = (stime2, etime2)$ , 则

$$X \text{ during } Y \Leftrightarrow stime1 \text{ behind } stime2 \wedge etime1 \text{ before } etime2$$

其它关系的判定也类似。

### 4.2.3 模糊空间关系

对于空间点  $X$  来说, 空间点  $Y$  可能的位于它的前方、左前方、右前方、左侧、右侧、左后方、右后方、后方、正上方及正下方。

正下方:

$$R(X, Y) = A_1(\alpha)$$

其中  $\alpha$  表示俯仰角, 即点  $X$  与点  $Y$  的连线与水平面的夹角, 如图 4.3 所示, 当  $Y$  位于  $X$  的上方时,  $\alpha > 0$ ; 当  $Y$  位于  $X$  下方时,  $\alpha < 0$ ;  $-\pi/2 \leq \alpha \leq \pi/2$ 。

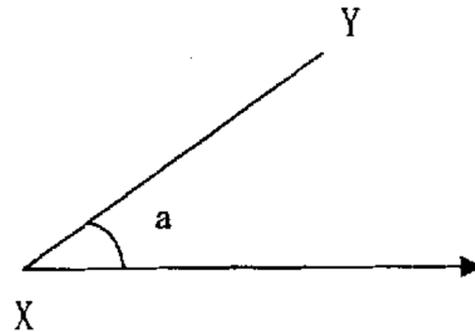


图 4.3  $\alpha$  角的定义

$A_1$  是定义在论域  $[-\pi/2, \pi/2]$  上的一个模糊集合, 其隶属度函数如图 4.4 所示。

正上方:

$$R(X, Y) = A_2(\alpha)$$

其它空间关系:

$$R(X, Y) = A_0(\alpha) \wedge B_i(\beta)$$

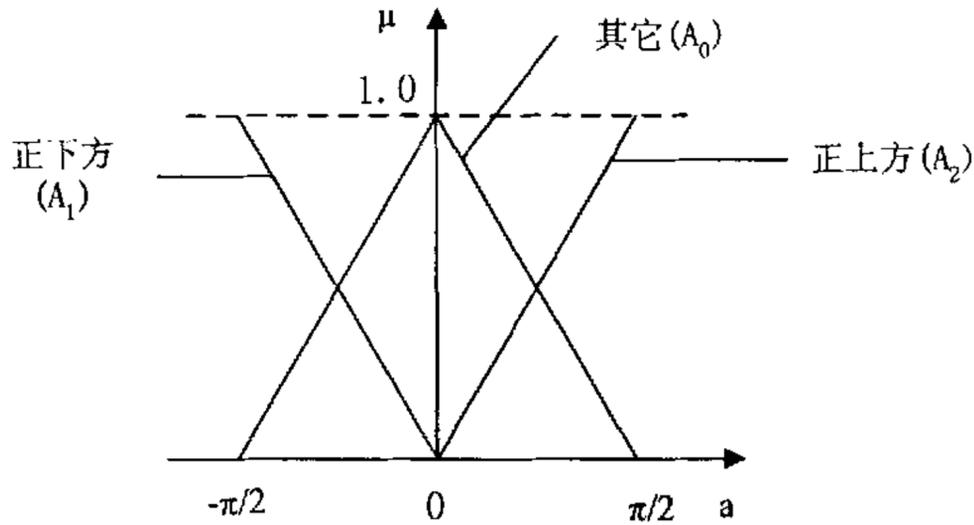


图 4.4 隶属度函数  $A_i$  的定义

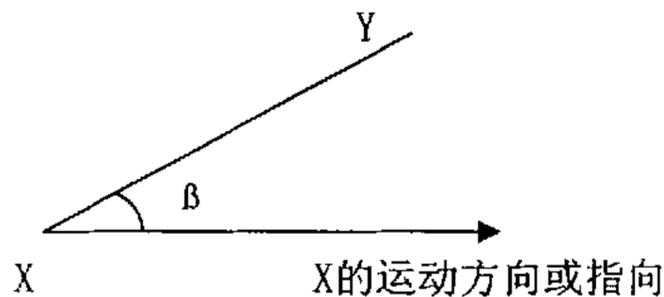


图 4.5  $\beta$  角的定义

其中  $\beta$  为在水平投影面上 X 的运动方向或指向与 X 到 Y 的连线之间的夹角，如图 4.5 所示。

$B_i$  是定义在论域  $[-\pi, \pi]$  上的模糊集合，其隶属度函数定义如图 4.6 所示。

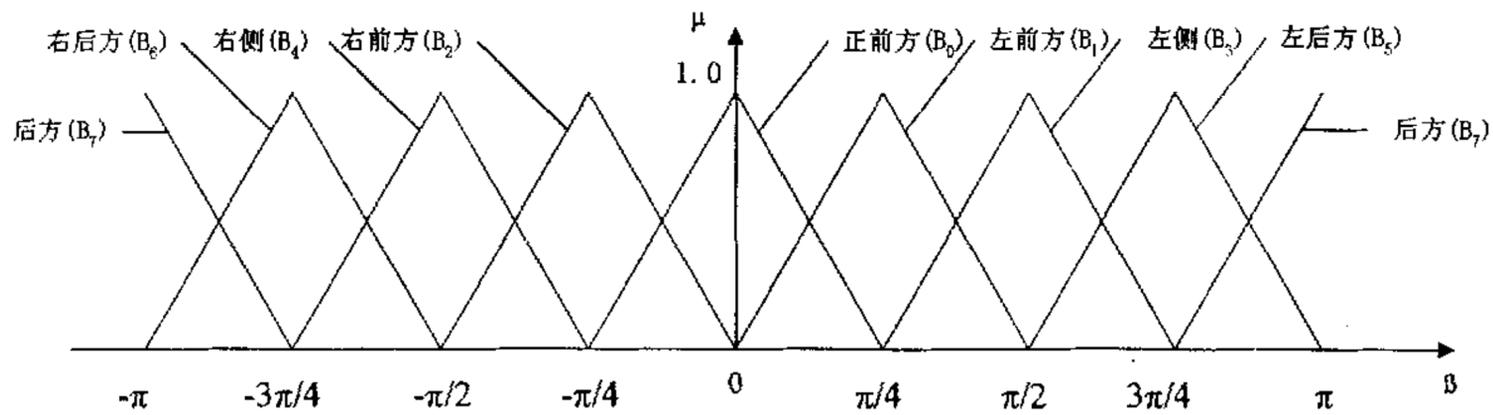


图 4.6 隶属度  $B_i$  的定义

### 4.3 基于模板的军事计划表示和推理

#### 4.3.1 基于模板的军事计划表示

用于态势评估的知识库重点是描述军事作战计划方面的知识，只有在具备这些知识的基础上，通过适当的推理机制才能够各个抽象层次理解敌方当前的行为并预测其下一步的行动。不管是单个平台突袭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、因果方面的约束关系。所谓时间约束，即作战计划的每个步骤之间有特定的时序关系，如在施放电子干扰后一定时间内发起进攻；空间约束，即参与作战的平台与敌方目标以及己方平台之间的距离关系，如只有在特定的高度、距离内对敌方目标发起进攻最为有效；因果约束，指作战计划在执行的过程中各个步骤之间具有特定的因果联系，如只有在预警机侦察到敌方目标的情况下，才有可能引导我方对之展开攻击。态势评估知识库应该尽可能地对战计划进行详细的描述，选择一个合适的知识组织、表示方法尤为重要。

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很长一段时期内都不会有大的改动。如美军的作战条例明确规定当有飞机被敌方雷达锁定以后，要施放干扰，逃避打击；中距空战的过程分为发现目标、接敌和攻击。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。

我们用目标/编队计划/子目标/平台计划层次结构来表示军事计划。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。其中我们把军事计划分为两类：编队计划和平台计划。编队计划描述的是作战各编队如何协同共同完成目标的过程。而平台计划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。

我们用统一的模板表示法来表示军事计划。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

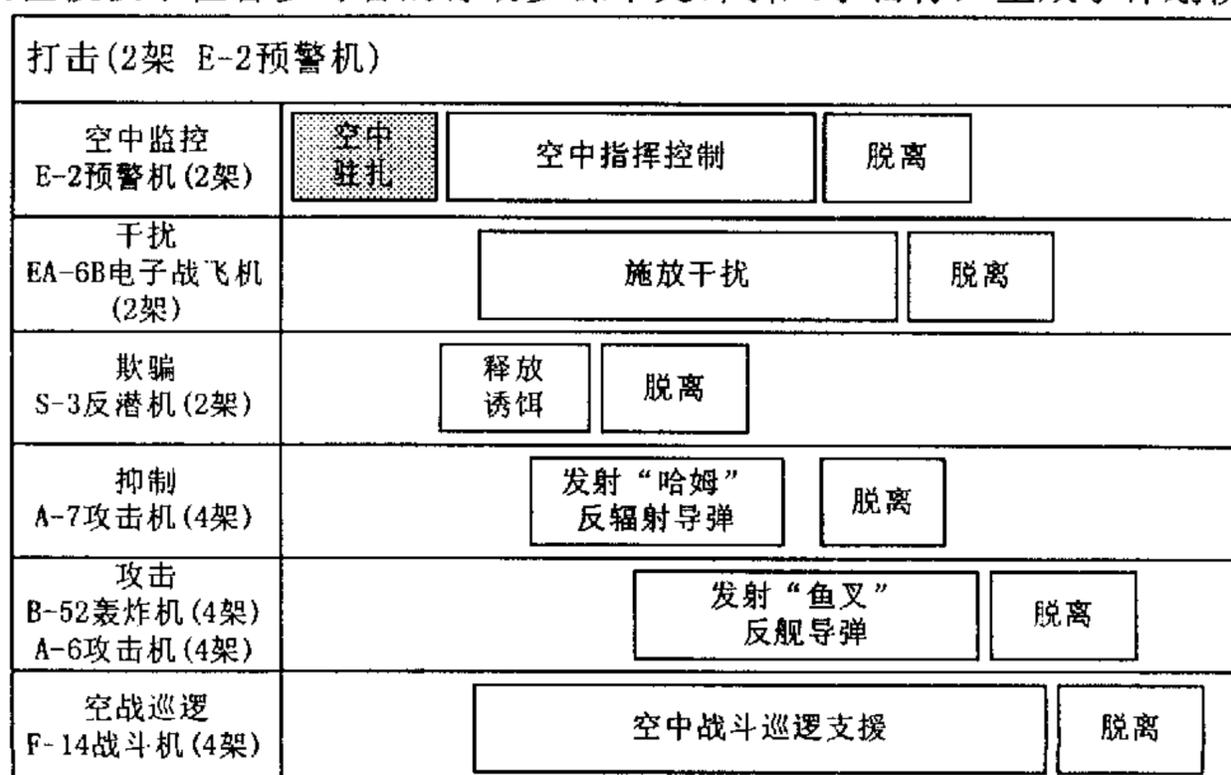


图 4.7 打击水面战斗群的编队计划

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。

如图 4.7 是一个打击水面战斗群的一个具体编队计划。作战目标显示在模板的顶部，横向表示时间的推演，每一行对应于一个编队，各编队的行动步骤按最典型的时间顺序排列在每一行上。在该计划中有执行空中监控任务的预警机编队、有实施干扰的电子战编队、……。通过多个编队的协同共同完成作战目标：打击水面战斗群。

而对于执行空战巡逻的战斗机编队来说，步骤“空中战斗巡逻支援”具有很大的灵活性。如果发现敌方目标，则会实施进攻，即引入平台进攻子目标；如果战斗机遇到敌方导弹来袭，则会实施规避，即引入平台规避子目标。

下面是关于平台规避的典型计划。

规避	
实施者	快速机动
目标	发射导弹

图 4.8 平台规避计划

图 4.8 描述了当平台受到攻击时实施规避的作战计划。该计划的意图或目的是为了躲避目标的攻击。它有一个计划实施者，一个目标。计划实施者有一个相关事件：快速机动；目标也有一个相关事件：发射导弹。其中约束关系有：

- 1) 计划实施者属于敌方，目标属于我方。由于只要对敌方平台进行军事计划识别，故会有此约束。
- 2) 目标发射导弹攻击实施者。因为目标属于我方，故其攻击目标可通过上报的信息获知。
- 3) 发射导弹事件领先于快速机动大约  $m$  秒。该时间关系须经模糊化处理。

#### 4.3.2 基于模板匹配的推理算法

推理过程计算被观测到的敌方的行动与特定模板结构的匹配程度，测试这个模板结构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。这个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。匹配过程中，将观测到的态势特征与特定模板的约束关系槽进行比较，如果态势特征很好地符合了这些约束关系，则将该槽进行填充。每填充一个槽将增加态势活动与特定模板结构的总的匹配程度的评估值。匹配过程在每个检测到新的态势活动时都会进行，从而导致某些特定态势模式的匹配度随时序而不断上升。

当战场环境复杂，多个作战平台联合协同作战时，可以通过多代理进行态势评估模板匹配，在匹配的过程中形成不同抽象程度的代理对（军事聚合体），并推理出其具体的行动计划，同时，可以用部分匹配的模式去预测该代理对下一步的

行动,为下一步的观测提供注意要点,从而完成整个态势评估的识别和预测过程。

当特定态势的数据结构与观测到的态势足够匹配时,这个特定态势数据结构就可以用来解释当前的战场态势:

- 1) 推断敌方的目标。特定态势数据结构的目标就代表着观测到的敌方活动的意图。
- 2) 推理一些未被发现的参与者、过去未发现的事件、将要发生的事件等。
- 3) 对敌方活动的特征数值进行相对的判断。由于特定态势数据结构槽的约束表示了可被填入该槽中的数值,这样,将被观测到的敌方活动的特征数值与之相比较就可以得到相对的数值。

由于战场上的发生的事件/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,要计算已经发生的事件/行为序列 $\{a_i\}$ 跟模板中的事件序列 $\{A_i\}$ 的匹配度,这可以分为三种情况:

- 1)  $\forall a \in \{a_i\} \wedge a \in \{A_i\}$ ,即表示某类型的事件既在军事计划规划中,而且在战场环境下已发生。在这种情况下,主要计算事件  $a$  对于模板计划的支持度。
- 2)  $\forall a \in \{a_i\} \wedge a \notin \{A_i\}$ ,即表示某类型的事件不在军事计划规划中,但在战场环境下发生了该事件。在这种情况下,主要计算  $a$  对于模板计划的不支持度。
- 3)  $\forall a \notin \{a_i\} \wedge a \in \{A_i\}$ ,即表示某类型的事件在军事计划规划中,但在战场环境下改事件没有出现。在这种情况下,主要计算  $a$  的不出现对模板计划的不支持度。

在模板匹配实现的过程中,可以综合采用贝叶斯推理、CF 理论、证据理论等不确定推理方法实现其推理过程。

## 4.4 CLIPS 在军事计划识别中的应用

### 4.4.1 CLIPS 简介<sup>[18]</sup>

CLIPS(C Language Integrated Production System)是美国航天局/约翰逊太空中心(NASA/Johnson Space Center)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。

基于规则的 CLIPS 编程语言的推理和表示能力与 OPS5 相似,但功能更强。在语法方面,CLIPS 规则与 ART、ART-IM、Eclipse 和 Cognate 语言的规则极为相似。CLIPS 中面向对象的编程能力也就是指面向 CLIPS 对象的语言(COOL),它除了加入许多新的思想之外,还结合了其它面向对象语言的特征,如公共 LISP 对象系统(CLOS)和 SmallTalk。CLIPS 中面向过程的编程语言的特征类似于 C、Ada 和 Pascal 语言,语法上类似于 LISP。

#### 4.4.2 CLIPS 中知识库的表示

在 CLIPS 中知识库主要由两部分组成：事实和规则。其中事实是基于框架表示的知识，而规则是基于产生式表示的知识。

##### ● 事实

事实可分为两种：有序事实和自定义模板事实。

有序事实由关系名、后跟零个或多个值组成。如：

```
(number-list 5 3 6 5 7)
```

而自定义模板事实由关系名、后跟零个或多个槽以及它们的相关值组成，如：

```
(event (id 1)
      (time 10)
      (type appear))
```

有序事实可直接创建，而自定义模板事实在创建之前必须先定义自定义模板结构。自定义模板结构的一般格式是：

```
(deftemplate <relation-name> [<optional-comment>]
  <slot-definition>*)
```

<slot-definition>的语法描述为

```
(slot <slot-name>) | (multislot <slot-name>)
```

根据此语法描述，则可定义 event 模板如下：

```
(deftemplate event "事件模板"
  (slot id (type INTEGER))
  (slot time (type INTEGER))
  (slot type (type SYMBOL)))
```

##### ● 规则

规则的一般格式是：

```
(defrule <rule name> [comment]
  <patterns>* ; 规则前件
=>
  <actions>*) ; 规则后件
```

如 (defrule hostile-plate-appear-alert

```
  (event (id ?id&:(= (owned ?id "enemy")))
        (time ?time)
        (type appear))
=>
```

```
  (output "警告：敌方新平台出现！"))
```

该规则表示一旦发现敌方新平台，就输出警告信息。

### 4.4.3 CLIPS 的推理机制

CLIPS 的推理过程是一个模式匹配的过程。它会用事实列表中的相应数目的事实的所有组合去匹配每一条规则的前件，一旦这些事实与规则的前件匹配上，该规则就被激活(Activated)并放入议程(Agenda)(已被激活的规则集合)等待执行。CLIPS 提供了多种简单而功能强大的匹配方式来完成匹配过程。下面简要介绍其中三种主要的匹配方式。

- 简单模式匹配

```
(defrule plate-appear-alert
  (event (type appear))
  =>
  (output "警告：新平台出现！"))
```

该规则的匹配过程如下：在事实列表中查找 event 结构的事实，如果其 type 字段值为 appear，则该规则被激活并被放入议程等待执行。该规则的执行过程输出新平台出现的警告信息。

- 变量约束匹配

```
(defrule plate-appear-alert
  (event (id ?id)
  (type appear))
  (event (id ?id)
  (type disappear))
  =>
  (output "警告：平台出现后已消失！"))
```

该规则的匹配过程的如下：在事实列表中选定一个 type 字段值为 appear 的 event 事实，接着把它的 id 字段值赋给变量?id，然后在事实列表的其它事实中选定一个 type 字段值为 disappear 且 id 字段值为?id 的事实；如果匹配过程成功，则该规则被激活并被放入议程等待执行。该规则的执行过程输出平台出现后消失的警告信息。

- 字段约束匹配

```
(defrule hostile-plate-appear-alert
  (event (id ?id&:(= (Owned ?id "enemy") 1)); 字段约束匹配
  (time ?time)
  (type appear))
  =>
  (output "警告：敌方新平台出现！"))
```

该规则的匹配过程如下：在事实列表中选定一个 type 字段值为 appear 的 event

事实，并且该事实的 id 字段值满足约束：owned(id,"enemy")==1，即该平台是敌方平台，最后把它的 time 字段值赋给变量?time。如果匹配过程成功，则该规则被激活并被放入议程等待执行。该规则的执行过程输出敌方新平台出现的警告信息。

#### 4.4.4 在 VC++ 项目中嵌入 CLIPS

由于 CLIPS 源代码是用 C 语言编写的，为了使 CLIPS 项目其它模块相互调用，故需先将 CLIPS 源代码转化为 C++，然后将它嵌入到 VC++ 中，并在 VC++ 中编写 CLIPS 的外部函数，由 CLIPS 调用将参数传递给 VC++ 且将处理结果返回 CLIPS 的技术，其结果是令人满意的。CLIPS 和 VC++ 交互过程图如下：

将 CLIPS 嵌入 VC++ 项目的步骤如下：

- a) 将除 main.cpp 以外的 CLIPS 源代码拷贝至用户目录中。
- b) 打开当前工程中的 Project|Add To Project 菜单项，将所有源文件添加到项目中。

- c) 在所有要调用 CLIPS 函数的地方加入头文件说明。

```
#include "clips.h"
```

- d) CLIPS 外部函数的声明和定义。

如在规则

```
(defrule hostile-plate-appear-alert
```

```
  (event (id ?id&:(= (Owned ?id "enemy") 1)); 字段约束匹配
        (time ?time)
        (type appear))
```

```
=>
```

```
  (output "警告：敌方新平台出现！"))
```

中的 Owned 函数可声明如下：

```
void UserFunctions()
```

```
{
```

```
  DefineFunction2("Owned", 'f', PTIF
```

```
Owned_Clips, "Owned_Clips", "22si");
```

```
}
```

其定义如下：

```
extern float Owned(int id, char* str);
```

```
float Owned_Clips()
```

```
{
```

```
  if(ArgCountCheck("owned", EXACTLY, 2) == -1)
```

```
    ASSERT(false);
```

```
  int id=RtnLong(1);
```

```

char* str=RtnLexeme(2);
return Owned(id,str);
}

```

#### 4.4.5 事件及平台计划模板在 CLIPS 中的表示

平台机动事件的表示:

```

(deftemplate plateActivity
  (slot id (type INTEGER))
  (slot type (type SYMBOL))
  (multislot time (type INTEGER))
  (slot qualitativeValue (type SYMBOL));该机动的定性值
  (multislot quantitativeValue (type FLOAT)))
(deftemplate plateEvent
  (slot id (type INTEGER))
  (slot time (type INTEGER))
  (slot type (type SYMBOL)
    (allowed-symbols appear disappear emitMissile)))

```

平台的规避计划的模板实现

```

(defrule plate-plan-evading
  (declare (salience 0));设定该规则的优先级
  ;以下是与该计划相关的事件
  (plateActivity (id ?idOfHostilePlate&.(= (Owned ?id "enemy") 1));敌方平
台急转弯
  (type round)
  (time ?roundStartTimeOfHostilePlate ?roundEndTimeOfHostilePlate)
  (qualitativeValue fast))
  (plateEvent (id ?idOfOurAgent);我方平台发射导弹
  (type emitMissile)
  (time ?emitMissileTimeOfOurAgent)
=>
  (bind ?matching-degree
    (min (Owned ?idOfHostilePlate "enemy");平台?id1 属于敌方
    (Owned ?idOfOurAgent "us");平台?id2 属于我方
    (Before ?emitMissileTimeOfOurAgent ?roundStartTimeOfHostilePlate
3 3 3) ));我方导弹发射后大约 3 秒后, 对方平台实施快速拐弯以规避我方导弹来
袭

```

```
(if (> ?matching-degree 0.5) then
  (assert (platePlan
    (type "规避")
    (time ?roundStartTimeOfHostilePlate ?roundEndTimeOfHostilePlate)
    (roles "实施规避计划的目标" ?idOfHostilePlate "规避的目标"
      ?idOfOurAgent)
    (possibility ?matching-degree))))))
```

#### 4.5 本章总结

态势理解及预测是态势估计的重点。由于这部分的理论还不是很成熟，而且涉及军事知识库的建立及复杂的符号推理，再加上国内外的资料也比较缺乏，因此在实现上存在着较大的难度。本章主要就态势推理中的时间空间关系及军事计划的模板实现技术进行了一些初步的研究，并运用专家系统工具 CLIPS 初步实现了军事计划的模板表示及基于模板匹配的军事计划识别。

## 第五章 态势估计仿真及结果分析

### 5.1 面向态势估计的战场仿真

在数据融合系统的开发过程当中，需要对系统各种算法的正确性、算法的执行效率、系统与系统之间的接口一致性进行综合测试和评估。但是由于现实条件所限，一般不用各类传感器直接产生的数据对系统进行测试，而是用仿真程序生成一个场景，并模拟产生各类传感器的数据，然后由数据融合系统对这些数据进行处理。

由于一级融合（目标跟踪、目标识别）属于底层数据处理，仿真程序只需提供各平台在当前时刻经过侦察设备获取的参数：空间位置、速度等数据供航迹关联、属性关联处理；平台所携带的辐射源的数据以进行辐射源识别、平台识别。所以，各个平台运行的过程中并没有其特定的作战意图，而且，平台相互之间没有协作的关系，即在具体的战场仿真场景中，符合一级融合需要的仿真数据表现为一条条互相不耦合的、独立的、无真实意图的航迹。

而态势估计对仿真的要求则比较高，首先事件检测部分要求仿真关于事件的知识定义与其保持一致，如对快速拐弯、高速爬升、高空飞行等的定义，知识定义上的不一致，将直接导致事件的错误检测；其次是要场景要符合一定的逻辑，如对于战斗机发射空对空导弹这个场景，要求导弹出现时战斗机和导弹位置重合，且导弹速度与战斗机速度相同，而对于目标被导弹击中这个场景，则要求导弹消失时，目标的位置与导弹的位置重合。

因此面向态势估计的仿真程序跟面向一级融合的仿真有着较大差异。面向态势估计的仿真要求在场景设置时能直接通过命令接口生成符合一定逻辑的目标行为或事件，而不是通过繁琐的参数设置来生成这些具有一定意义的场景，如飞机从××机场/航母上起飞、××导弹阵地发射导弹、飞机降落在××机场/航母上等等。

## 5.2 测试场景及说明

### 5.2.1 场景描述

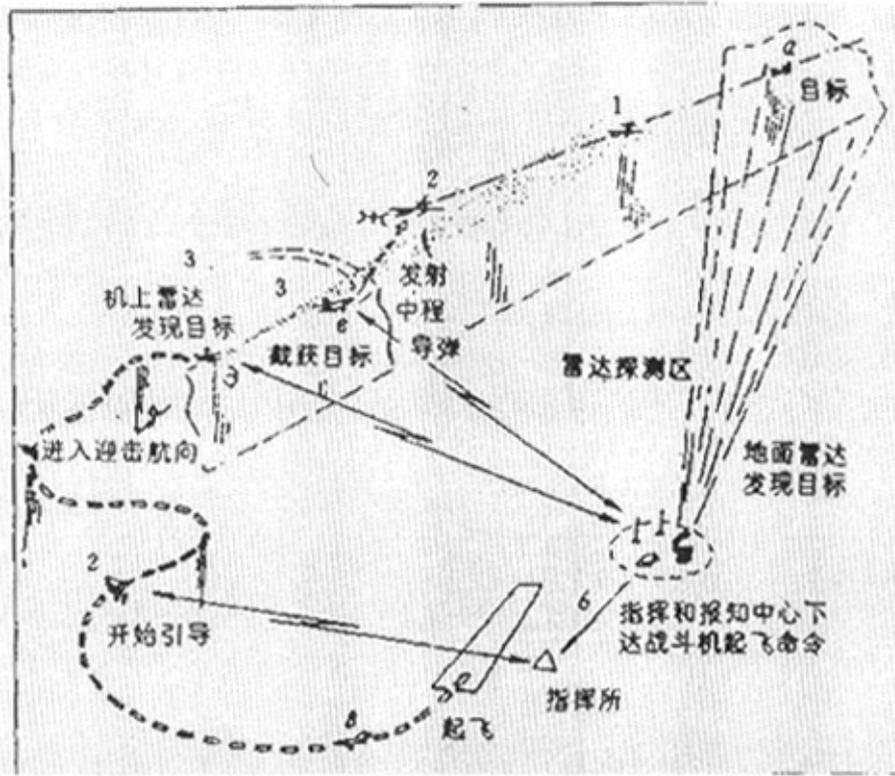


图 5.1 一个用于测试事件检测及平台计划识别算法的场景

该场景描述了当有一架敌侦察机进入我领空进行侦察活动时，我方派出歼击机对其进行截击的整个过程，如图 5.1 所示。该场景各目标的具体行动步骤如下：

- 1、指挥中心接到地面侦察站报告：敌方有一型号为 EP3EII 的侦察机（猎户座侦察机）进入我领空进行电子侦察活动。并把其高度、速度、航向等基本数据报告给指挥中心；
- 2、指挥中心立刻下达战机起飞的命令，执行截击任务；
- 3、米格-21“鱼窝”歼击机接到命令后起飞；
- 4、指挥中心通过无线电把目标相关信息及目标与歼击机的相对方位，对歼击机进行引导；
- 5、歼击机进入迎击航向后，机载雷达开机进行目标搜索；
- 6、歼击机的机载雷达发现目标后，打开敌我识别器，识别其敌我属性。在确认该目标是敌机后，并开始接敌过程。在接敌过程中，操纵雷达使其处于自动跟踪状态以截获目标，并实施机动占据有利的攻击位置。而后，发射中程导

弹对敌侦察机进行攻击；

- 7、 敌方侦察机发现我歼击机向它发射导弹后，通过急拐弯实施规避计划；
- 8、 敌方侦察机规避计划成功后逃逸；
- 9、 我方歼击机返航。

### 5.2.2 场景说明

我方歼击机起飞以后，根据来犯侦察机的大致方位实施拐弯，使敌机处于其前方；随后在指挥所的精确引导之下，进入迎击航向，即使敌侦察机的飞行方向和我歼击机的飞行方向处于同一个垂直面内；等指挥所引导歼击机进入其雷达的探测距离内时，歼击机的雷达开机搜索目标，这是中距空战中第一个步骤—发现并识别目标；当搜索到目标并确认是敌机后，便进入中距空战的第二个步骤—接敌，即操纵雷达使其处于跟踪状态，同时实施机动进入有利的攻击阵位。演习和实战经验证明，从目标的前半球进入，比目标稍低，采取增大仰角的攻击方法，可使目标始终稳定在雷达波束的基准线上，飞行员可不必保持直接对准敌机的飞行方向。这样既便于隐蔽接敌，获得突然效果，又能处于敌机红外制导的导弹攻击范围之外。因此我歼击机在发射导弹之前，先机动到敌机的前下方，然后实施爬高，等敌机进入我歼击机导弹的射程之内，随即发射导弹进行攻击—这是中距空战的第三个也是最后一个步骤。而与此同时，敌侦察机在发现我歼击机发射导弹后立刻实施急速拐弯，规避我歼击机的导弹攻击。

## 5.3 测试结果及分析

整个态势估计的显示有五个视图（其中分群视图被隐藏）。事件视图显示了所有平台的事件信息，其中平台的普通事件显示其事件类型及其事件发生时间，机动事件显示机动事件的开始时间、开始状态、结束时间、结束状态及其模糊化结果。在计划视图中显示识别出来的军事计划，其中包括计划的类型、参与者（计划实施者及相关目标）、计划实施时间、计划假说置信度。地图视图直观的表示了各平台出现以后的运动轨迹并标出了事件标记。数据视图显示的是态势部分接收到的经过一级融合处理后的数据。

在该场景的实现过程过程中，在不影响对敌方平台的事件检测和平台计划识别（规避计划）的前提下，我们做了某些简化和近似。

### 5.3.1 事件检测

EP3EII 是一架侦察机，它的机动事件检测相关门限信息如下：

加速检测时间及门限(s,m/s <sup>2</sup> )	2,2
加速模糊化参数(m/s <sup>2</sup> )	4,9
减速检测时间及门限(s,m/s <sup>2</sup> )	2,2

减速模糊化参数(m/s <sup>2</sup> )	4,9
拐弯检测时间及门限(s,°/s)	2,8
拐弯模糊化参数(°/s)	1,2.5
爬高检测时间及门限(s,m/s)	2,30
爬高模糊化参数(m/s)	10,35
俯冲检测时间及门限(s,m/s)	2,30
俯冲模糊化参数(m/s)	10,35

表 5.1 侦察机的事件检测信息

这些保存在数据库中的信息规定了在进行各个机动事件的检测时所需要的信息，包括事件检测时间及门限信息，还有模糊化时所要用到的参数信息。就拿加速事件检测来说，根据表 5.1 所示，其检测时间为 2 秒，当  $v_2 - v_1 / \Delta t > 2 \text{m/s}^2$  时，才能检测到加速事件。随后在对加速事件的模糊化过程中，根据其模糊化参数生成其突然加速和平缓加速的隶属度函数，如图 5.2 所示。

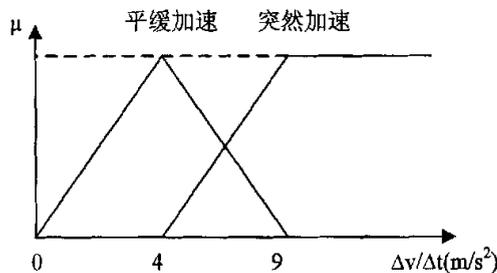


图 5.2 侦察机平缓加速和突然加速的隶属度函数

平台在进行机动事件检测的过程中，保存最近检测时间  $\Delta t$  内的速度信息，通过计算其变化率来进行事件的检测。

其它机动事件的检测也非常类似。

在该场景中通过对敌侦察机的事件检测，检测到了一系列事件：

- 1)  $t=0$ ，目标出现事件：(在  $\times$  机场起飞)
- 2)  $t=(0,48)$ ，加速，速度从 0 加速为  $462.8(\text{m/s})$ ；经模糊化处理，该加速为突然加速(1.0)；
- 3)  $t=(0,48)$ ，爬高，高度从 0 升为  $1913.82(\text{m})$ ；经模糊化处理，该爬高为快速爬高(1.0)；
- 4)  $t=(88,128)$ ，拐弯，方向角从  $161.45$  变为  $273.24(^{\circ})$ ；经模糊化处理，该拐弯为急速拐弯(1.0)；
- 5)  $t=(88,216)$ ，减速，……；
- 6)  $t=(136,192)$ ，拐弯，……
- 7)  $t=(88,216)$ ，减速，……

- 8)  $t=(208,216)$ , 拐弯运动, ……
- 9)  $t=216$ , 目标消失。(该飞机在××机场降落)



图 5.3 测试结果

### 5.3.2 平台计划识别

这里通过基于模板匹配的军事计划识别, 识别到敌方侦察机的一个规避计划。该规避计划有相关相关事件, 一个是我歼击机的发射导弹事件(1分26秒); 一个是敌侦察机的快速拐弯事件(从1分28秒到2分08秒)。由于发射导弹事件和快速拐弯在时间上相差大约3秒, 在进行模糊匹配时, 其匹配度为0.667。该计划解释了敌侦察机的快速拐弯事件。

计划的显示包括参与该计划的各个角色, 及计划执行时间。在这里, 有两个角色, 一个规避计划的执行者—敌侦察机, 一个是规避目标—我歼击机, 规避计划的执行时间被认为是相关拐弯事件的发生时间。

## 5.4 本章总结

一个好的面向态势估计的仿真系统对于测试态势估计的各种算法来说至关重要。本章首先讨论了面向态势估计的仿真系统与面向一级融合的仿真系统的异同点; 随后想定了一个具体的场景, 并对该场景进行了详细的说明; 在该场景的实现过程中, 由于现有仿真系统功能上的一些局限性, 我们在不影响算法测试的情况下, 对场景做了一定的简化; 通过测试, 进一步验证了事件检测算法及用于军

事计划识别的模板匹配算法的准确性。

## 结束语

态势估计属于数据融合中的二级融合，它通过建立作战活动、事件、位置、时间和兵力要素组织形式的一张多层视图，帮助我方指挥及作战人员更直观的、更全面的了解战场态势，并通过对敌方的行为模式、敌我兵力要素的分布等情况的分析，给出敌方可能的作战意图以及未来的可能的态势变化，对为我方的决策、指挥提供强有力的支持。

规划识别是态势估计的关键理论之一，《美国国防部关键技术计划》也把它作为态势估计的支持理论和技术之一而进行重点研究。Kautz 对于规划识别构成及求解的形式化描述，求解过程的非确定性推理以及 Wait and See 的求解策略构成了目前规划识别的理论体系。

本文主要在十五前两年对态势估计的理论及其实现技术研究的基础上，进一步完善事件分类及其检测算法；引入平台状态的概念，指出事件发生的过程，实质上就是平台状态发生改变过程；对机动事件及平台状态进行模糊化处理，以便于态势知识的表示及推理；在深入了解规划识别理论的基础上，指出态势估计过程实质上就是一个多代理的规划识别过程，并提出基于规划识别的态势估计模型；对模糊时间关系、模糊空间关系进行了详细定义，以进行态势推理；深入研究了基于模板的军事计划表示及基于模板匹配的推理算法；学习使用专家系统工具 CLIPS，并把它嵌入到态势估计模块，并用 CLIPS 初步实现了平台军事计划的模板表示及识别；使用 Rose2002 对态势估计进行建模，并在程序中通过引入多个设计模式来优化程序结构。

在研究工作中，由于时间及资料的不足，对态势估计的理论及实现技术方面的研究还不够深入，未来态势估计的研究重点应集中在：

- 1) 对态势评估系统模型进一步进行研究，完善态势觉察部分的实现，包括平台行为的检测、群事件/行为的检测。
- 2) 对基于模板的军事计划表示和识别进行深入的研究。进一步完善基于模板实现的军事计划表示；如何综合运用多种推理方法完善基于模板匹配的态势推理也是今后要重点要解决的问题。
- 3) 关于军事计划识别其它实现技术的研究。贝叶斯网络、D-S 证据理论是用于解决规划识别问题的两种主要方法，如何应用这些理论进行军事计划识别也有待于进一步的探索。

## 致谢

本论文从选题到最终完成，每一阶段都得到了我的导师王宝树教授的指导与帮助。王老师不仅在理论上给予了正确的指引，而且在具体的系统实现过程中提出了很多的宝贵意见，使得我的论文能够很好的完成。王老师认真严谨的治学态度和一丝不苟的治学精神使得我在三年的研究生学习生涯中受益匪浅，在以后的日子里会激励我不断向自我和困难挑战。在此谨向王老师表示深深的敬意和衷心的感谢。

同样还要感谢课题组的李伟生和王三民博士，他们给予我很多理论上的指导和帮助。感谢课题组的张明远、孙道贺、洪敏煌、邓未央、苗启广等同学的帮助和鼓励，使我能顺利的完成论文工作。

最后，还要感谢一直默默支持我的父母和家人。

## 参考文献

- [1] 康耀红. 数据融合理论与应用. 西安电子科技大学出版社, 1997.
- [2] 赵宗贵编译. 数据融合方法概论. 电子工业部第二十八研究所, 1998.
- [3] 刘同明, 夏祖勋, 解洪成. 数据融合技术及其应用. 国防工业出版社, 1998.
- [4] Waltz E. Llinas J. Multisensor Data Fusion. Artech House. 1990.
- [5] David L. Hall. An Introduction to Multisensor Data Fusion. Proceedings of IEEE Vol.85, No.1, January 1997.
- [6] 程岳. 数据融合中态势估计技术研究. 西安电子科技大学硕士论文, 2002.
- [7] Alan N.steinberg, Revision to the JDL data Fusion Model, SPIE Conference on Sensor Fusion, Vol3719, 1999, PP430-441.
- [8] Dale A.Lambert, Assessing Situation, Proceedings of information decision and Control 99, pp503-508.
- [9] G D Whitaker. An Overview of Information Fusion. <http://www.dera.gov.uk/>.
- [10] 姚春燕, 杨宏文等. 态势估计中一种模糊时间推理方法. 模糊系统与数学. Vol. 14, No.3, 2000.
- [11] 姚春燕, 郁文贤. 态势估计中一种基于最大后验概率估计的时间推理方法. 国防科技大学学报. Vol.20, No.6, 1998.
- [12] 李兵, 郁文贤. C<sup>3</sup>I 系统知识库的类特征模式. 模糊系统与数学. Vol.13 No.3 1999.
- [13] 姚春燕, 郁文贤. C<sup>3</sup>I 系统中战术态势估计的推理方法. 国防科技大学学报. Vol.20 No.5 1998.
- [14] 姚春燕, 胡卫东, 郁文贤. 态势估计中基于假设检验的统计时间推理方法. 国防科技大学学报. Vol.21, No.4, 1999.
- [15] 马云. 数据融合中态势评估技术研究. 西安电子科技大学硕士论文, 2003.
- [16] 吴霁. 态势评估关键技术研究. 西安电子科技大学博士论文, 1996.
- [17] 蔡自兴, 徐光祐. 人工智能及其应用. 清华大学出版社, 1996.
- [18] Joseph Giarratano, Gary Riley 著, 印鉴等译. 专家系统原理及编程. 机械工业出版社, 2001.
- [19] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用. 清华大学出版社, 1996.
- [20] H.A.Kautz. A formal theory of plan recognition and its implementation. In J. Allen, H.Kautz, R.Pelavin, and J.Tenenberg, editors, Reasoning About Plans, pages 69-125. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1991.
- [21] George Montague Ferguson. Knowledge Representation and Reasoning for M

- 
- [22] Fixed-Initiative Planning. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy. Rochester, New York, 1995.
- [23] Slobodan Ribaric, etc, A Model for Fuzzy Temporal Knowledge Representation and Reasoning, IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings, August 22-25, 1999, Seoul, Korea.
- [24] E. Charniak, R.P. Goldman, A Bayesian Model of Plan Recognition, Artificial Intelligence, 1993, 64:53-79.
- [25] Yulin Yao, A Petri Net Model for Temporal Knowledge Representation and Reasoning, IEEE Trans. On System, Man and Cybernetics, Vol. 24, No. 9, September 1994.
- [26] Azarewicz J. etc. Template-Based Multi-Agent Plan Recognition For Tactical Situation Assessment. in Proc. of 5<sup>th</sup> Conf. on Artificial Intelligence Application, March, 1989.
- [27] Kirillov V. P. Constructive Stochastic Temporal Reasoning in Situation Assessment. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, August, 1994, 21(7):1099-1113.
- [28] 蒋慧, 吴礼发, 陈卫卫. UML 核心编程技术. 北京希望电脑公司, 2001.
- [29] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson 等, 设计模式可复用面向对象软件的基础, 1994.

## 在读期间研究成果

(1) 参加十五武器装备预研基金项目：《智能化多源数据/信息融合技术研究》，负责“态势估计”模块；

(2) 王宝树，申屠晓锋. 态势估计模型的研究及实现. 计算机工程，中文核心期刊，已录用，2004年第6期发表.