

军事专家系统与黑板模型

鲁汉榕 田 斌 (空军雷达学院)

摘 要

The importance of military expert systems is well known today. This paper outlines several technical aspects tightly associated with military expert systems and presents a blackboard model for implementing a radar tactics expert system.

随着人工智能(AI)研究与应用的深入和推广,各先进国家越来越重视AI在军事中的应用。普遍认为,一旦在军事中应用AI技术获得成功,那么相应的军事力量就可在世界上占绝对优势。

专家系统(ES)是人工智能应用最为成功的分支,而且人工智能其它分支(如机器视觉、语音识别、规划等)的核心也涉及专家系统理论和技术。因此,专家系统在军事中的应用具有重要的意义。

本文首先讨论军事专家系统的若干技术性问

题,然后深入探讨雷达战术专家系统并给出一个黑板模型。

1. 军事专家系统

所谓军事专家系统(MES)是专家系统原理、方法、技术在军事领域应用的总称。

1.1 ES在军事应用中的可行性和必要性

几乎所有的军事领域都适合于建立专家系统,其理由是:

支持关键的组织过程,而不是局限于临时的、小规模的和个人的过程。

解决数据能源危机。

建立一种组织的授权和基础:

——识别最终用户和支持的级别。

——根据决策的重要程度和关于决策咨询的投入产出而不仅仅是软件,确定应用的优先级。

——接近产生数据的部门和信息系统的组织,如果你不是其中一部分的话。

——将你的经营消息传播开,让管理部门知道你给公司的独特贡献是什么。

探索新的管理工具:基于文档的技术,有力的开发工具和远程通信的高速系统。

将智能技术和DSS建造技术结合起来,使有效的分析技术不仅成为切实可行的而且是值得使用的工具。

这一议事日程是雄心勃勃的,而且又非常实际。(参考文献略)

[颜永琪译自Decision Support System 3 (1987)253-265 萨师燧校]

值、伦理和信仰的“棘手”问题?

(3)富有创造性的人是如何学习的?我们应当如何设计DSS工具,从而实现促进学习的真正对话?

(4)模型化和定量化方法培育创造性思维究竟能起什么作用?

(5)在技术不断地集成化前提下,一个适用DSS演化的技术体系结构应当为何种形式?

(6)我们应当如何分析和测定决策、学习和变更的有效性和质量?

这些问题反映了用于理解决策支持的定义的转变,包括从:

运用现有的和适用的基于计算机的技术,帮助改进半结构化任务中管理决策的有效性到:

运用智能和有关的计算机技术,帮助改进重大决策的创造性和学习。

实践方面的重点列举如下:

选择你自己用于行动的定义,而不是仅仅接受被动作用和强调建立系统的特性。

第一，各具体军事领域一般来说专门程度高，范围比较狭小，且实现的目标、功能都有明确定义，适合专家系统“专门化”的特点。

第二，许多军事领域主要进行的是符号处理与逻辑运算，不存在固定的算法，需要使用启发式方法来解决问题。这适合专家系统的运算特点。

第三，很多军事领域都已积累了丰富的领域知识(如经验、规则、条文等)，且大多数领域都已经有了高水平的专家，因此获取知识不象其它领域那样困难；尤其是军队的统一管理制度，有利于军事专家和知识工程师紧密合作。

第四，军事领域的技术研究和开发往往有雄厚的技术、经济基础，经费来源、物资来源和人才来源十分充足，为开发专家系统创造了极有利的条件。

另一方面，(ES)在军事中也显得十分必要。在平时时期，能够利用ES进行战略规划、预测、和技术演练。也可利用它对少有的战例进行模拟作战，提高指挥员的作战指挥能力和应变能力。同时，ES对一些研究工作，如武器设计等有极大帮助。

在战争时期，ES尤其重要。最重要的一点是能为指挥员提供决策支持，包括战争态势分析、提供预案、分析预测的可能效果、辅助战术指挥等等，从而大大提高指挥员的指挥质量。同时，ES能代替人在激烈对抗的场合下工作，特别是象军用机器人、无人战车的出现，可以使人决胜于千里之外，保存有生力量。另外，ES能高速有效地完成一些需要智能参与但属于常规操作的工作，如地图处理、命令/文件生成与理解等，使军事人员把主要精力用于处理异常情况。

1.2 ES在军事应用中的领域选择及主要应用领域

在军事中应用ES，首先要选好应用的领域，这是ES能发挥效力的关键因素之一。如果选择的问题领域太复杂，则很难实现ES，即使实现了也是不稳定的，可靠性和效率都很低；如果选择的问题太简单，则失去应用ES的意义。这就存在着一个解题范围问题：要使ES能实现(manageable)和实用(practical)，ES处理的问题应具有什么样的适当范围呢？

选择适当范围就是选定大的应用方向，然后细分，看是否合适，不合适则继续，直到找到合适的为止。这里，我们结合ES在对空防御系统中的应用，画出一树形结构图，逐层分析ES的适合范围(图1)。

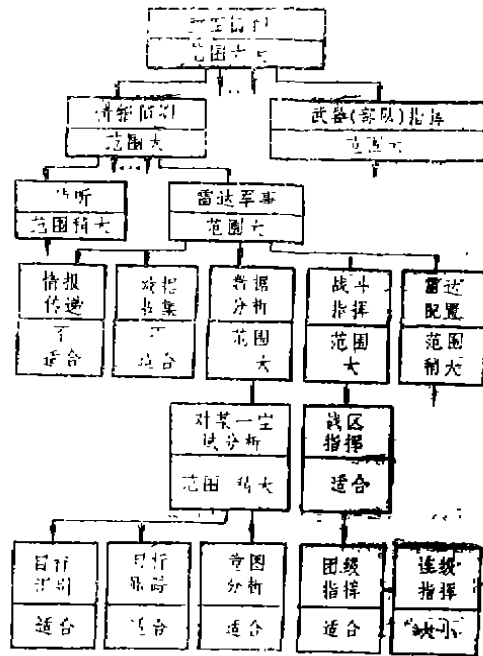


图1

用上述分析方法，对ES在军事应用中的主要大领域，我们可得出具体能实现ES的问题领域：

- 数据解释：包括从大量情报数据中识别出重要的(敏感的)和相关的数据库。
- 战略规划与分析：包括长短期军事/国防战略的自动/半自动设计与分析。
- 战术设计：最优战术的计算机自动/辅助设计。
- 战争规划与管理：例如规划战争时间、地点、延续时间等。
- 战场管理
- 威胁评估：敌我双方重大军事行动(活动)对我方的威胁程度分析。
- 敏感事件识别：大范围内有影响，有意义事件的自动识别。
- 兵力分析与配置
- 意图分析与预测
- 情报分析与评价
- 军事教育、训练、演习等
- 兵器故障自动诊断与维护
- 后勤保障，包括军需用品的分布与供应、供应线路、仓库管理等
- 决策支持：包括在智能C³I中的应用。
- 命令/文本的生成与理解。
- 语音识别与合成：如声控武器。

- 军用机器人/无人战车的决策控制
- 地图处理
- 作战模拟
- 气象分析与预报
- 智能武器：如备有ES的战略导弹不仅寻向能力强，且对反导弹武器的规避能力也强。
- 力量需求分析
- 密码学与通讯
- 机器翻译
- 计算机辅助武器设计
- 其它

总之，军事领域中的ES一般从事解释、预测、设计和规划等活动。

1.3 军事专家系统(MES)的开发

由于军事应用的特点，对MES特别是战时的MES有一些特殊的性能要求：

高可靠性 要求在大多数情况下能做出正确决策，在恶劣环境(如剧烈振动、高温、强辐射等)中也能正常工作。

良好的实时性能 能对大量的信息作出快速、有效的反应，并能迅速转换工作状态。

强解释功能 MES的推理解释功能特别重要。因为军事行动往往具有高损耗的不可逆性和致命的效果，决策或结论必须慎之又慎。ES辅助决策，提供全面详细的解释有助于说服决策人员，使决策人员发现问题之所在。

大灵活性 现代军事活动复杂多变，要求军事专家系统具有足够的灵活性(弹性)，以适应不可预测的因素变化。

为了实现上述性能要求，在开发和建造军事专家系统时，技术上应考虑如下问题：

1) 知识表示

知识表示的好坏直接影响到MES的性能。在MES的设计中，知识表示方式应具有良好的直观性、简洁性(空间效率)、抽象能力、推理效率(时间效率)、表达能力、模块性、易扩充性和可维护性、知识粒度与推理步长的合理性、易并行性、(推理)易控制性，以及易实现性等。

现有的知识表示都有一些不足之处，单一地选择其中一种往往不能满足要求，应该采用多种知识表示的混合。比较典型的有产生式系统与框架或语义网的结合、框架结构与逻辑表示的结合、黑板模型等。这些都是基于规则和基于模型的知识表示的结合。

同时，由于军事领域中存在的知识大多是经验型非确定的，因此特别应考虑非精确性知识的表示和处理。许多已有的MES都在知识表示中引入了不确定因素的评判条件和表示技术，如信度因子。

但应特别强调的是，在MES中应采用和实现深层知识表示。已有的典型知识表示(产生式系统、逻辑、语义网、框架等)都是一些浅层知识表示。

浅层知识主要反映的是专家的表层知识，即采用规则表示形式的启发式知识，这仅仅反映了所观察到的某些现象之间的经验相关性，而规则前提中描述的现象和结论中的现象之间的内在特征并不十分清楚。现代战争中，指挥员的经验知识主要来自于平时的战术演练和对已往仅有的少数战例的研究和模拟作战，参加过很久以前的战争的人不很多。浅层知识表示的就是这些经验知识。但现代战争的手段日新月异，战争中的情况在千变万化，光靠过去的经验往往不合时宜，难以适用。

好在人类具有悠久的战争历史，人们在长期的军事研究中已经总结出一整套军事理论，发现了一些战争准则，这些理论、准则成为进行现代战争的基本依据。现代指挥员要能自如地指挥战争，必须对军事理论有深刻全面的理解，并能熟练地运用。同样，MES要真正能适应未来战争需要，也必须对军事理论，至少是相关的理论有所了解，并能运用它们进行推理。这就是深层知识表示及深层推理的任务。

深层知识是相对浅层知识而言的，它反映了对问题领域更深入的理解。深层问题求解模型使系统能够对其上执行启发式操作的完备搜索空间有所了解。

关于深层知识表示方式及其推理正处于研究中。已提出了一些深层知识表示方式，包括数学模型、功能模型、物理法则、因果规律、同态知识表示等。在具体军事应用中选用哪一种，应根据问题领域内在规律的特征和相互关系来决定，甚至要自行设计很专门的知识表示方式(也包括浅层知识表示)

2) 推理技术

现存的推理技术，如前/后向链接(产生式系统)、过程附加与缺省推理(框架)、性质继承与传播(语义网)、归结原理(逻辑)等，都是针对某一特定的浅层知识表示方法而设计的，推理能力都较弱。

由于在MES中往往采用混合知识表示方法，在

考虑推理技术时应采用综合/混合型的推理技术,一般的做法是,针对所用的不同知识表示同时使用两种或多种推理技术,分别处理不同结构的知识,但这存在几种推理技术的调度问题,兼容结合于统一推理机中的问题等。不过使多种推理技术共存的一大好处是有可能实现并行推理,当将一个任务分解成多个子任务,对各子任务使用不同表示方式表示时,就有可能使用相应的推理技术同时进行推理。

另外,也是最重要的一点,就是对深层知识的处理,即深层推理。深层知识及其表示有着显著的特点,采用上面任何一种推理(处理)方法都不合适,需要研究深层推理技术,以提高系统的性能。但无论研制出怎样的深层推理技术,都应该注意与浅层推理的协调,即何时使用浅层推理、何时使用深层推理,两者将发生怎样的联系等。一般来说有如下几种解决方法:

深浅层完全分离 系统首先使用经典的ES浅层推理方式作启发式推理,当工作失败时,转入深层求解。

深浅层结合 系统先使用浅层推理,失败时使用深层推理。但系统在执行浅层推理时应用深层模型来保证所有可用知识的正确性和相容性,而在执行深层模型时,则使用非常一般的浅层知识来决定何时用深层模型中的哪个部分。经验知识可作为深层推理活动的组织者和管理者。

应该看到深浅层推理各有所长。浅层推理,当它的知识适用时,得出结果的方法往往直接,效率较高;而深层推理,由于其所用的知识描述的是事物内部错综复杂的关系,推理过程往往接近于对深层知识的盲目搜索,因此得出结果的过程往往是间接的,速度也较慢。废弃浅层推理,将会降低系统的效率;废弃深层推理,将影响系统的灵活性、全面性。最佳的选择是将两者有机地结合起来。

总之,在MES中必须考虑多种推理技术的综合使用,深浅层推理协调工作等问题,而且应该也必须实现常识推理、非单调推理、定性推理、并行推理等困难的技术。

3) 知识获取

在MES中,应强调自动知识获取,即学习。这是因为现代战争是瞬息万变的,实用的MES必须具有很强的学习能力,才能适应环境变化的需要,同时,战时MES,特别是激烈对抗环境中的MES,往往没有人参与,MES必须能进行完全独立的自学。这里就存在MES怎样识别环境的剧烈变化,怎

样选择要学的知识等问题。

4) 系统组织

军事应用领域虽然比较狭窄,但牵涉的知识面却很广。MES往往具有庞大的知识库,复杂的组织结构,为了使MES能有效工作,必须巧妙地安排知识库系统,使其呈功能模块结构。各模块之间相对独立,可以有自己的知识表示、组织方式和相应的单推理器,可以构成所谓的组合式专家系统。(关于这点将在下一节深入讨论。)

由于开发和建造MES具有以上的性能要求和技术考虑,MES的开发过程也具有如下特点:

- 开发周期长,开发MES的目的是从可能发生的战争,而不是从经济角度来考虑的。同时,MES中往往要求采用和实现新的技术。因此,宁可慢一点也要保证实现MES必备的性能

- 耗资巨大,需要多方面专家合作

- 开发过程从确定知识表示方式开始。

2. 雷达(团)战术专家系统

基于雷达的军事活动都可纳入雷达军事范围,从图1可以看出,有许多领域适于实现雷达军事专家系统,这里仅讨论可作为雷达团指挥及情报指挥自动化核心的雷达(团)战术专家系统。

雷达(团)实时战术专家系统实质上是一种现场数据解释系统,它从雷达数据(方位、速度、高度、距离、发现时间、批次等)中提取或推知其所蕴含的信息,系统功能包括:

- 重点搜索方向的确定
- 重点监视方向的确定(指令接力跟踪,目标消失后估计重现方向)
- 目标真伪判别(航空/天器或非航空/天器)
- 型号判别(飞机、导弹、飞机型号...)
- 数量及批次判定
- 意图及威胁程度判定
- 多种情报仲裁(对同一目标)
- 多目标取舍跟踪(战时、目标多、雷达少)
- 识别佯动目标与牵制目标
- 对反雷达武器的防御计划与措施
- 其它

显然,在一部机器上由单一ES实现上述所有功能是不切实际的;只有多个ES分别实现其中一个或多个功能,然后将这些子ES有机地组合成一个ES群来协同实现系统整体功能,这就是功能分布式专家系统的基本思想。

我们先讨论由ES实现系统几个子功能,并提

出实现的黑板模型，然后讨论功能分布式雷达团战术专家系统的有关问题。

ES实现将涉及目标真伪与型号判别，得出目标轨迹，进行意图分析和威胁评估等功能，可称之为空中态势专家系统，它接收已经变换、选择的目标雷达数据，提供某空域中飞行情况或态势图。

2.1 空中态势专家系统的目标知识库

空中态势ES的工作本质是对目标数据进行初步解释，不能用精确算法描述其推能过程，必须基于知识进行。

其目标知识库至少应包括如下知识：

- 目标真伪与型号判别用：典型飞行器技术参数(速度、高度)。
- 目标跟踪用：典型飞行器，特别是可能的敌方飞机、导弹等的活动规律、飞行的一般轨迹；重点敌方飞机、导弹的战术手段；飞行预报中可能的航迹。
- 意图分析和威胁评估用：当前国际及区域政治、军事态势；飞行预报中的正常活动；空中管制规则；敌方军事观点及战略、战术思想；相邻国敌意程度。
- 其他。

可见，即使该ES只实现系统的几个子功能，其知识库仍将是庞大复杂的。为了获得良好的性能，应使系统知识库呈模块结构，如图2所示。

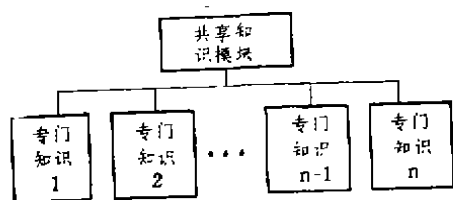


图2

2.2 空中态势专家系统系统组织

1) 组合专家系统

如上所述，系统知识库被分成了多个功能模块，各个模块的知识具有自己的特点。根据专门化就是高效的原则，应对各个模块采用合适的(但可能不相同的)知识表示方法和相应的推理技术，从而构成了组合专家系统，即一个专家系统中同时存在多种知识表示方法和推理策略。

2) 系统组织

组合专家系统的引入使系统实现变得更复杂，带来的问题是怎样使各功能模块协调工作。有多种

系统组织方式/方法，如日程表、 Δ -极小搜索法、黑板模型等，这里特别强调的是黑板模型(BBM)，BBM作为一种控制复杂系统工作的手段，提供了控制系统各部分相互通信、协调工作的方法。

在BBM中，整个系统被看成由一块黑板和一组知识源(KS)组成。黑板实际上是一种全局性数据(知识)存储结构；而知识源就是独立的知识模块和相应的推理策略构成的子专家系统。系统工作时，若一知识源被唤醒，则它检查当前黑板的内容，并根据黑板内容，运用自己的知识或产生一个新的假设写到黑板上，或修改某个已有的假设、或删除黑板上某个假设。黑板模型的一般结构如图3所示。

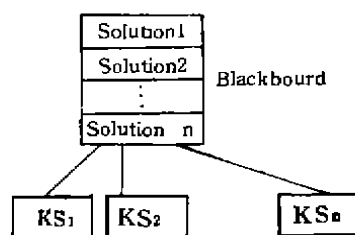


图3

2.3 空中态势专家系统实现的深入探讨

1) 黑板结构

在空中态势ES中，知识源被分成三个等级，即真伪/型号判别知识源、航迹跟踪知识源、意图分析知识源，各知识源以节点为单位修改、增删黑板上的内容。节点结构总的来说以类似于框架的知识表示方法表示，但对应于不同的知识源具有不同的属性。一知识源只能产生或删除一类节点；对应于各知识源的节点在黑板上联结成了树状结构。系统黑板模型结构示意图如图4。

知识源

intension-analysis
track-trace
type-identifier

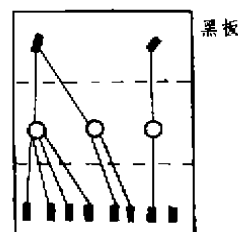


图4

2) 各层节点可能的结构

真伪/型号 判别层

level: type-identify

Attributes: report-time

report-data: if added evoke

type-identifier

North position

East position

North velocity

East velocity

Height

type

credibility

associated-tracks

航迹跟踪层:

level track-tracing

Attributes: last-associated

type-report

predicted-position

report-history

track credibility

report counter

意图分析层

level: intension-analysis

Attributes: possible intension

original nation

menance level

report history

3) 各知识源结构及系统工作过程

各知识源一般由下述几部分构成:

- 调度条件 表明唤醒该知识源的条件
- 知识模块 该知识源工作所需要的知识
- 推理机制 处理知识的方法, 往往是隐含的
- 动作 指出知识源被唤醒后应进行的动作序列, 包括基于知识的推理、简单的条件判断和运算、对黑板相应内容的增删、修改

附录一示出了各知识源可能的结构和内容。当然, 这里提供的结构和内容都是示意性非形式化的, 具体实现中, 还应考虑细化、精化各个部分, 以及怎样使黑板结构适应所选用的语言、开发环境等。

由附录一所示, 第一层的type credibility推断、第二层的modify操作和第三层的find操作等都是基于知识推理实现的。

也可以由各层节点和各知识源的结构和内容看出整个系统的工作过程:

当雷达数据到达时, 由型号判别知识源生成关于类型的节点, 该节点在黑板上的出现唤醒了上一层的航迹跟踪知识源, 该知识源判定或形成下层新节点所处的航迹; 当一个航迹节点下属有3个以上的低层节点时, 就应唤醒上一层的意图分析知识源进行意图分析和威胁评估。

当一批目标撤消时, 由型号判别知识源删除相应层中对应目标的所有节点, 然后由上层删除对应节点; 在第三层, 当一节点下属的低层节点数为0时, 删除该节点。

2.4 功能分布式雷达团战术专家系统

前面详细讨论了雷达战术专家系统中一个子系统的实现, 为了实现系统整体功能, 还需有以下几个子系统或子专家系统:

- 确定重点搜索方向专家系统
- 多目标取舍跟踪专家系统 (包括识别伴动目标与牵制目标)
- 防御反雷达武器专家系统

对这些子系统仍可采用黑板模型来解决协调问题。此时, 知识源是一个个独立的专家系统, 它们之间可有很大的差别; 黑板也成了一种由多部机器(微机)共享的数据结构。显然让知识源访问黑板的任何部分将会导致混乱。为此应将黑板划分为几块, 设立黑板管理机构, 规定每个知识源对黑板上各块的访问权限和优先级, 保证一次只有一个知识源对黑板上的某一内容进行操作。

在这种情况下, 知识源的调度也不再是前面描述的那种线性激活, 而采用一种幽灵调度或随机调度 (opportunistic scheduling), 每个知识源随时都在监视着黑板的变化, 当有相关的内容出现在黑板上时, 就激活自己进行工作, 抓住机会修改、删除、增加黑板上的内容。

另外一个问题是, 当两个或多个子专家系统发生冲突时应该怎么办。这可以设计一个任务分解/仲裁机构, 由它将复杂任务分解成多个子任务写到黑板上, 让各个子系统选择适合自己的任务进行工作, 当出现对同一子任务的两个或多个解答时, 由仲裁机构进行仲裁。

总之, 功能分布式雷达团战术专家系统中每个子系统是相互独立的, 它们通过黑板模型来协同完成系统功能。

3. 结束语

本文讨论了军事专家系统的若干技术性问题,提出了功能分析式专家系统的初步思想。应当看到,黑板模型作为一种良好的系统组织方法,在军事专家系统乃至任何领域的专家系统的开发和实现中具有普遍的意义,使用黑板模型来组织复杂系统至少有如下好处:

- 概念清晰、分工明确
- 提供了巨大的并行可能性
- 可靠性高,当一个子系统失效时不会影响其它系统工作。

今后待做的工作是:

- 研究雷达军事专家系统的学习问题
- 研究各种军事专家系统联网问题,特别是黑板模型中各知识源结论的仲裁和协商、复杂任务分解、知识库的划分、共享知识库的结构以及并行机制引入后的有关问题。

目前,我们正在研究利用黑板模型进行多机并行处理任务,在单机上实现单个子系统及其黑板模型等有关问题。

(附录一略)

参考文献

- [1] Donal A. Waterman 'A Guide to Expert System' Addison-Wesley Publishing Company
- [2] Luc. Steels《第二代专家系统》赖德盛等译《计算机科学》1988, 1 p9—15
- [3] John R. delay 'Multisystem Integration Using Blackboard' Expert Systems Workshop Proceedings 1986 p181—184
- [4] R. Worden 'Blackboard System'
- [5] E. 丽奇《人工智能引论》 p352—357 李卫华等译 广东科技出版社
- [6] M. D Rychener, R. Banaes-alcantara and E. Subrahmanian 'A Rule-Based Blackboard Kernel System: Some Principles in Design' IEEE 1984 Workshop on Principles of Knowledge-Based Systems, p59—64
- [7] 鲁汉榕《论军事专家系统中的若干问题》空军雷达学院学报 p27—33 1989.1
- [8] 徐健《目标识别与威胁评估专家系统》空军雷达学院八七级硕士研究生论文 1990.1
- [9] 《空军雷达团战术》 秘密

下期主要内容预告

John McCarthy谈专家系统
为软件工程的未来建立基础
符号与代数计算的新阶段
形式化软件规范技术
协议工程概论与进展
非单调推理十年进展
分布式专家系统中的问题定义与分解
解释归约——解决多种解释问题的一种途径