

·理论研究·

# 军事智能辅助决策的理论与实践<sup>\*</sup>

胡桐清 陈亮

(军事科学院军事运筹分析研究所 100091)

**摘 要:** 本文简要阐述了军事智能辅助决策的理论基础以及若干军事智能辅助决策系统的实践。认为用军事运筹学与现代人工智能技术相结合来研制军事决策系统,已成为一个重要的研究方向,其主要特点是定量与定性研究相结合,数学模型与知识模型相结合。

**主题词:** 军事智能辅助决策 人工智能 军事运筹 专家支持系统

## 1 概 论

各类军事活动中,军事指挥决策是最具显著地位和最富内涵的领域。许多高科技都期望在此领域一展其能,然人工智能技术在此最是大有可为。所以,在各类军事专家系统中,用以辅助指挥决策的专家系统占有主导地位。

军事运筹学最早进入军事决策领域,它的宗旨就是为军事决策提供量化依据,应用现代数学方法和计算机技术建立各种数学模型,用以辅助军事指挥员进行情况判断、定下决心、预测战斗结果等。但是,现代战争作战指挥过程十分复杂,许多影响决策的因素不好量化,决策信息具有不确定性和不完全性。因此,随着军事运筹学在实际应用中的不断发展,势必寻求新的方法和技术途径,以便克服已显示出来的局限性。

70 年代末,人工智能随着知识工程的创立和应用取得了重要突破和进展,它在解决具有不好量化的、不确定性的和不完全性的问题方面具有很大的优势。80 年代以来,军事运筹学在描述和求解军事决策问题时不断应用现代人工智能技术,两者相结合逐渐形成一个重要的研究方向,其主要特点就是定量与定性研究相结合,数学模型与知识模型相结合。随着知识工程问题求解能力的扩大和逐步的改进完善,智能应用在两者结合中的份量越来越重,从而发展了以知识模型为主的各种辅助决策系统,诸如军事专家系统、军事专家支持系统、军事智能决策支持系统等。

智能辅助技术在指挥决策过程中的应用,集中在下列几个方面:

### 1、数据融合(Fusion)

现代战争信息来源十分广泛,如何快速准确地处理来自各信息源的大量实时数据是实现指挥自动化的一个重大研究课题。所谓数据融合就是利用计算机将来自各信源的大量数据编

成问题领域当前状态的模型, 这是一个连续处理的过程。一方面, 人们必须面对着不同类型数据的相关处理问题; 另一方面, 则有“新”“旧”数据的合并问题, 这个过程充满潜在的困难和不确定性。传统的数据融合技术不能很好地解决这些问题。专家系统技术基于符号推理能够使经验知识、常识知识、有关气象、地理等环境知识结合到系统中的求解过程, 并与传统融合技术相结合, 可以大大提高自动处理实时数据的能力, 扩大问题的求解范围、增强系统的可理解性和交互性, 实现目标意图、战场态势、任务和决心的估计和预测, 支持重大决策的制定。引入了专家系统技术的数据融合通常称为智能数据融合。

2、态势评估 态势评估为决策者提供分析和研究各种计算和候选方案的基础。一般说, 它是从数据融合阶段输入当前关于目标对象的简单模型, 推导出有关当前态势(当前事件集)的一个完整的高级描述, 同时对可能发生的事件进行预测。一般内容包括: 我情分析、地形分析、敌情分析、威胁估计、任务估计、毁伤结果评估、武器系统覆盖范围及状态等。

应用专家系统技术, 基于知识的态势评估是比较成熟的领域。原因在于任务的完成必须基于专家的推理判断, 与军事专家的战场经验、军事素质密切相关。同时, 问题的求解还依赖于所掌握的敌我双方的知识、当前环境知识、军事常识和交战规则等多种知识。

### 3、定下决心

战斗组织阶段的主要任务是搜索情报、判断情况、定下决心。决心方案的优劣是取得作战胜利的关键, 可以说, 整个组织阶段的工作都是围绕定下正确决心而展开的。现代条件下, 决心过程是很复杂的可以看成是包含有许多子过程和参谋元素组成的金字塔, 或者说是包含许多个体的某些更大过程的最后阶段。这种最后阶段标志着要在几个候选方案中进行一种价值判别的选择, 而这种选择在很大的程度上由训练和经验引导。因此, 应用专家系统来快速生成和评估决心方案, 辅助首长定下正确决心, 是十分必要和有意义的。

### 4、作战计划和资源分配

计划问题就是对一系列活动按一定的约束条件进行安排, 以获得一个特定的行动顺序, 通过这个行动顺序可将问题领域的初始状态转换到目标状态。例如人们通过作战计划过程来决定发送一些什么样的作战命令。可以说计划过程就是如何将一个可用的资源集合与一个需求集合相匹配的过程。由于产生一个合理分配的过程被看作是状态空间的搜索过程, 且搜索空间可能很大, 因此, 启发式搜索技术是必要的, 以便产生一个可接受的计划系统。所以, 专家系统中有关计划问题求解技术, 诸如启发式搜索、约束传播方法、类属计划问题求解、面向对象的计划表示方法等都能在此得到广泛应用。

## 2 军事智能辅助决策的理论基础

### 2.1 决策论

我们要解决的问题是军事决策问题, 决策论自然成为其最基本的理论。决策是人们在政治、经济、技术和日常生活中普遍存在的一种选择方案的行为, 那么, 军事决策就是指挥员在军事活动中普遍存在的一种选择决心方案的行为。高技术的发展使现代战争尖锐化、复杂化, 因此, 正确的决策对战争成败具有更加重要的意义。

### 2.2 人工智能

军事决策活动大多具有半结构化或非结构化的形式, 很难用完全的数学式子或模型来描述它们, 而人工智能技术, 特别是知识模型可以较好的求解它们。所谓军事智能辅助决策就是让计算机去模拟军事专家的智能属性, 诸如思维、分析、推理、选择等, 从而帮助指挥员进行情况判断、定下决心。所以人工智能是这类辅助决策的核心理论。

### 2.3 模糊数学

对不确定性信息的处理是机器产生智能行为的关键, 而军事信息的模糊性和概念的含糊性是不确定性的主要具体体现。在军事人员的思维和语言中, 许多概念都是模糊的东西。而人脑善于判别和处理不精确的, 非定量的模糊现象, 并从中得出具有一定精度的结论。因此, 要模拟和描述人的智能属性就必然应用许多模糊数学的理论和方法。

### 2.4 界面技术

界面技术是计算机科学中日益发展的一个重要领域, 它的基本目标是人机交互友好。军事辅助决策要求设计一种具有很好的和深度嵌入的“用户界面”系统, 它可使人们能够容易地考察和控制问题求解过程。

## 3 若干军事智能辅助决策系统的实践

近几年来, 我们在数据融合、态势评估、定下决心、作战计划和资源分配等应用领域相继展开了多个军事智能辅助决策系统的研制, 有的已完成并通过了鉴定, 有的已基本完成和初步完成, 有的则正在继续研制, 下面对这些系统作简要介绍。

### 3.1 “传感器优化布设和数据融合系统”

由地面自动传感器(声、磁、红外、压力和振动)、中继站和情报处理终端组成传感器系统, 根据作战任务、战场态势和地形, 应用产生式规则进行传感器系统的优化布设辅助决策, 以便最有效地探测信息和传输信息。

数据融合则进行探测信息的校准、关联、目标跟踪和识别、目标意图和威胁等处理。本系统的主要特点是应用机动专家系统进行相关分析, 应用框架匹配和模糊推理进行目标意图和威胁处理。系统正在研制中。

### 3.2 “敌情分析判断专家系统”

系统属态势分析, 它对阵地防御之敌进行判断。共有十个模块功能: 指挥所、炮兵、防空、阵地编成、后方机构、电子战、兵力部署、反突击方向、间隙地和暴露翼侧、防御方向。知识表示以框架为主, 与产生式规则相结合。推理机制为框架模糊让步匹配和产生式正向推理。系统已基本完成, 关提交试用。

### 3.3 “进攻一号”军事专家支持系统

该系统已投入实用并通过了鉴定, 下面专述。

### 3.4 “侦察计划辅助拟制系统”和“战役机动智能化辅助决策系统”

这两个系统大致属于作战计划范畴。前者是侦察任务需求集合与侦察装备集合相匹配的过程属组合规划问题。系统采用了产生式规则推理和语义网络构造黑板控制机构(全局数据库)。该系统正在研制。后者应用智能搜索优选道路和模糊推理优化机动方案, 从而辅助军事人员快速合理地拟制机动计划, 该系统已初步研制完成, 正在推广使用。

## 4 《进攻一号》军事专家支持系统

### 4.1 概述

#### 4.1.1 系统概况

“进攻一号”军事专家支持系统是用来辅助集团军指挥员定下正确决心的计算机智能系统。系统遵循军事作战指挥程式,应用人工智能和军事运筹技术,建立了一个 4000 多条规则的军事知识库和一个定性 with 定量相结合的高效推理机制。系统能为指挥员定下决心提供大量的咨询信息,特别是详细的地形和敌情分析信息;能对指挥员制定的决心案进行论证评估;能自动生成决心一个基本案和二一个可行案,供指挥员定下决心作参考。所有这些,都是围绕“支持”军事专家进行决策活动展开的。

#### 4.1.2 军事背景

本系统以我集团军对野战阵地防御之敌进攻战役为背景。敌人野战阵地防御可能是扼守防线,也可能是孤立防守,但都已占领有利地形,构筑有较完善的野战阵地工事体系,兵力部署与火力配系基本就绪,但尚不稳固。我集团军对野战阵地防御之敌的进攻,可以是在上级编成内对扼守防线之敌的进攻,也可以是独立遂行对孤立防守之敌的进攻。

在进攻战役组织准备阶段,集团军指挥员的主要任务的定下决心。本系统就是生成和评估这个决心的。

### 4.2 问题提出与描述

#### 4.2.1 问题提出

我们从例证出发来提出问题。

一个部队单位(军、师、团)拟对野战防御阵地之敌发起进攻,在战斗组织阶段,其主要任务就是定下一个正确的决心。决心内容通常包含 7 个方面,我们则以计算机辅助生成主攻方向为例来阐述问题求解过程。

主攻方向由 3 点连成一轴线(曲线)来表示,我们将它们命名为起点、中点和终点,分别位于防御前沿、当前任务线和后续任务线上,如图 1 所示。所谓生成主攻方向就是生成我们所期望的 3 点。

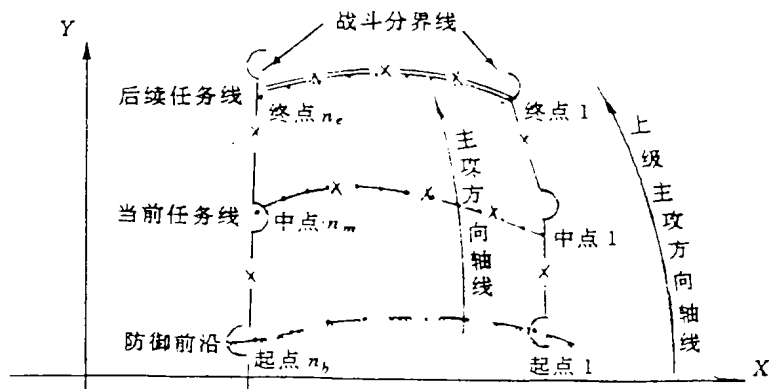


图 1 主攻方向选择示意图

理论上,就是要从 3 个无限点集合(3 点曲线)中优选起点、中点和终点,这就是运筹学中典型的优化理论问题。当然,可以很容易将连续曲线离散化(有多种方法),从而将无限点集合化为有限集合,如图 1。

作为优选,它的目标函数和约束条件是什么呢?

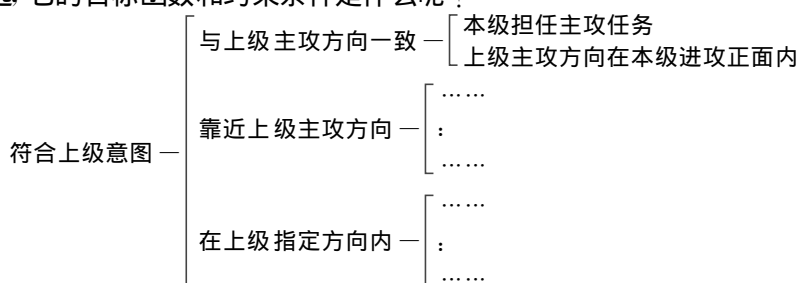


图 2 符合上级意图子树示意图

以优选起点为例,要在防御前沿线上的有限点集合中选出最好的进攻起点和突破口,根据军事上的要求,有 3 个主要因素,即符合上级意图、位置恰当(包含敌情对我突破有利)、地形有利。遗憾的是,这 3 个主要因素是很难直接量化的抽象的上层概念,但军事指挥员又的确是根据这 3 个主要因素来选突破口的。应用逻辑学理论来模拟指挥员的思维过程,发现这 3 个因素是众多子因素逻辑推理的结果,并分层次形成树形结构,三因素为树根,这就是通过知识获取得到的所谓知识树如图 2 所示。

类似地可以形成中点和终点的知识树。

要得到最佳进攻方向的方案,就要建立如下评价因素集:

$ES = \{ \text{起点与中点的距离, 中点与终点的距离, 起点与中点之间地形, 中点与终点之间的地形, 起点可信度, 中点可信度, 终点可信度} \}$

其中,可信度就是模糊综合评判值,是利用模糊推理模型求得的。各因素权重值为:

$$W = \{ W_1, W_2, \dots, W_m \}$$

根据评价因素集和权重集,最后实现对主攻方向的优选。

由上所述,主攻方向的决策问题将优化方法与智能技术紧密地结合在一起。而且要以此为基础去选用和创立两领域内的各种方法。

#### 4.2.2 问题的一般描述

上述例子虽然具有特殊性,但就广泛一类军事决策问题而言,它又具有代表性,其实质就是决策因素不完全、不确定和不易量化,解决办法就是应用人工智能技术。下面对此类问题进行一般性描述。

(1) 形成候选方案集:

$$B = \{ B_i \mid i = 1, 2, \dots, I \}$$

(2) 每个方案可由若干属性来表征,则有属性集:

$$A = \{ A_j \mid j = 1, 2, \dots, J \}$$

属性集中所有元素分类形成若干子树,树叶节点称为基本属性,则有基本属性集:

$$\underline{A} = \{ \underline{A}_k \mid k = 1, 2, \dots, K \}$$

$$\underline{A} \subset A$$

(3) 若干棵子树的根节点属性形成子目标, 则有子目标集:

$$G = \{ G_l \mid l = 1, 2, \dots, L \}$$

(4) 对于每一给定的战场态势,  $I$  个候选方案分别由  $J$  个属性来表征, 亦即由  $J$  个属性来评价, 如果这种评价由属性特征量表示, 则有  $J \times I$  阶属性特征量矩阵:

$$X_{J \times I} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1I} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2I} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{J1} & x_{J2} & \cdots & x_{JI} \end{bmatrix} = (x_{ji}) \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, I$$

每个属性的论域为  $D_j$ , 属性空间可定义为  $D_j$  的笛卡儿积, 亦即  $D = D_1 \times D_2 \times \cdots \times D_J$ 。一个  $J$  元组  $(d_1, d_2, \dots, d_J)$  定义了该空间中任何一个点, 也就是说, 当每个候选方案的  $J$  个属性被精确定义后则此方案表示了空间  $D$  上的一个点。

在军事决策中, 军事专家会对各属性提出其应满足的目标, 相当于对各属性加于某种限制  $G_j$ 。在大多数情况下, 这种反映军事专家思维过程限制是不精确的, 通常以语言变量的形式出现, 例如, 符合上级企图、地形有利等, 因此可以应用模糊集理论。加于各属性的目标  $G_j$  实际上构成了论域  $D_j$  上的模糊集  $F(D_j)$ , 其隶属度函数为

$$\mu_{G_j}: D_j \rightarrow [0, 1]$$

$\mu_{G_j}(x_{ji})$  表示候选方案  $B_j$  的属性特征量对目标  $G_j$  的满足程度。

由此, 可以将属性特征量矩阵转变为属性隶属度矩阵:

$$R_{J \times I} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1I} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2I} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{J1} & r_{J2} & \cdots & r_{JI} \end{bmatrix} = (r_{ji})$$

$$j = 1, 2, \dots, J \quad i = 1, 2, \dots, I$$

此时, 所有  $D_j$  上的这些模糊子集  $F(D_j)$  的笛卡儿积形成了  $D$  上的模糊子空间  $F(D)$ , 即:

$$F(D) = F(D_1) \times F(D_2) \times \cdots \times F(D_J)$$

此模糊子空间即为决策目标空间。

(5) 基本属性、中间属性(树枝节点)和子目标属性(根节点)构成知识树, 根据模糊推理得子目标可信度(隶属度)。这样, 对于每一给定的战场态势, 关于所有子目标  $G_l$ , 为每一候选方案提供一个属性隶属度值, 并形成属性隶属度矩阵:

$$S_{L \times I} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1I} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2I} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{L1} & S_{L2} & \cdots & S_{LI} \end{bmatrix} = (S_{li}) \quad (2)$$

$$l = 1, 2, \dots, L, \quad i = 1, 2, \dots, I$$

每个  $S_{li}$  可视为在子目标  $G_l$  下对候选方案  $B_i$  的一个评价。

(6) 在决策过程中, 各子目标  $G_l$  在决策中的作用是不同的, 各子目标  $G_l$  的重要程度由权重  $w_l$  来表征, 则有权集:

$$W = \{W_l \mid l = 1, 2, \dots, L\}$$

一般,  $W$  根据军事专家的经验来决定。

(7) 依据军事运筹方法, 将  $S_{li}$  聚合起来, 得到综合评价集:

$$E = \{E_i \mid i = 1, 2, \dots, I\}$$

因此, 整个问题可表示为一个模糊优化问题:

$$\begin{cases} \text{模糊优化目标} & \text{Opitf}(A_1, A_2, \dots, A_k) \\ \text{模糊约束} & G_l(A_1, A_2, \dots, A_k) \quad l = 1, 2, \dots, L \end{cases} \quad (3)$$

$G_l$  约束为若干知识树, 根据基本属性的隶属度(模糊可信度), 推得子目标的模糊可信度。

由  $\max\{E_i\}$  使函数  $f$  具有最优值(最大隶属度原则)的  $B_i$  就是最佳方案。

问题的关键在于求得属性隶属度矩阵  $S_{L \times I}$ , 而这是需要构造专家系统, 大量获取军事知识, 进行非精确推理才能解决的, 可以说主要工作量是在此。

### 4.3 系统实现

#### 4.3.1 知识表示和知识库

在军事指挥决策专家系统中, 决心生成方面的知识表示多采用产生式系统的规则表示及其推理机制, 而情报决策多采用框架表示及其匹配机制。本文只介绍前者。

事实的表示形式如下:

(对象 属性 值 权值 可信度)

每一个事实均包含五项内容, 例如: (本级 起点 工事构筑不完善 0.2 0.8)。这条事实表示在敌防御前沿的当前候选点处, 敌方工事构筑不完善的可信度为 0.8, 该条事实的权重为 0.2。

每一个事实就是表示知识树(推理树)上的一个节点, 这其中当然可分为树叶节点(证据节点)事实库、中间节点(中间假设)事实库和假设(结论节点)事实库。既然应用模糊推理, 所以根据输入的实时数据和基础数据库中的数据, 要计算出每一个树叶节点的模糊隶属度(可信度), 这就是对树叶节点事实库进行初始化, 由它们推出中间节点和结论节点的可信度。

推理中除了要使用事实库外, 还要用到规则库, 其基本形式如下:

((samestyle 对象 1 属性 1 值 1)

(samestyle 对象 2 属性 2 值 2)

.....

(samestyle 对象  $n$  属性  $n$  值  $n$ )

(resultstyle 对象  $k$  属性  $k$  值  $k$ ))

由不同性质的规则库构成各知识源模块(知识源), 如符合上级意图知识源、位置恰当知识源、地形有利知识源等。

#### 4.3.2 模糊处理模型

现介绍基于模糊推理建立了一个处理不确定性信息的知识模型, 负责对各类树叶节点进行隶属度值初始化。以对地形信息的模糊处理为例, 介绍如下:

将作战地域划分为小方格。方格的编号沿  $x$  方向  $i = 1, 3, \dots, m$ ; 沿  $y$  方向  $j = 1, 2, \dots, n$ , 则得到一方格集合  $T = \{t(i, j)\}$ 。

每一方格的高程认为是相等的, 为  $h(i, j)$  则得到一标高集合  $H = \{h(i, j)\}$ 。  
格号的计算公式是  $i = [x/500] + 1, j = [y/500] + 1$  (中括号表示取整)。  
我们知道, 作战地域中任一区域都可由一条封闭曲线描述, 则令

$$U_k = \{t(i, j) \mid t(i, j) \text{ 号方格的中点落在封闭曲线内部}\}$$

显然  $U_k \subseteq T$   
现定义  $U = 2^T$  为论域, 即论域定义为集合  $T$  的幂集,  $U_k \in U$ 。有了论域, 各种描述地形的模糊概念就可以定义为论域  $U$  上的模糊子集。例如:

定义 1 “较起伏地” 是论域  $U$  上的一个模糊集合“ (记为  $A$ ), 有隶属函数  $\mu: \mu \rightarrow [0, 1]$  。

定义 2  $Poss(u \text{ 是较起伏地}) = \mu_A(u)$ , 作为推理中证据的可信度。

结合具体问题, 进行隶属度的计算。

4.4 推理机制

军事知识的表示颇具模糊性的, 如表示“地势较起伏”、“敌工事构筑较完善”、“二梯队就配置在距敌前沿××公里左右”等等。在证据节点事实库的可信度统一在模糊隶属的基础上, 则可实现正向、反向模糊推理(可能性推理”, 求得中间节点和假设(结论)节点的可信度。  
在模糊推理中, 可使用如下三条原则来计算和传递可信度。

- (1) 前提的总可信度  $= \sum_{i=1}^m W_i C_i$ , 其中  $W_i$  为权值  $C_i$  为可信度之值。
- (2) 结论的可信度  $C^* = (\sum_{i=1}^m W_i C_i) \circ W_i$ , 其中  $W_i$  表示结论部分的权值。
- (3) 同一结论的多条规则的可信度取其最大值, 即  $\max_{1 \leq j \leq p} [C_j^*]$ , 其中  $p$  为同一结论的规则数。

4.5 系统输出

4.5.1 解释子系统

要使生成决心和评估决心易于军事人员接受, 解释文应由规范化的军语所组成。本系统采用预制文本与类似于脚本法相结合的模糊解释机制。

4.5.2 决心文输出

辅助决策的专家系统必须能自动生成决心文和自动标绘决心图, 并按军用格式拷贝输出。生成心文的方法就是预制文本法, 而决心图在图形输出部分给出。

4.5.3 图形输出

系统应用大量的图形功能进行地形分析、介绍战场态势、反映推理过程、显示决策结果、并最终标绘和输出可实用的战斗心图。

参考文献

- 1 coombs, M. J. (ed. ). *Deuelopments of Expert Systems*. New York: Academic Press, 1984.
- 2 曲成义等编译. 决策支持系统与专家系统. 北京: 社会科学文献出版社, 1988 年.
- 3 汪培庄著. 模糊集合论及其应用. 上海: 上海科学技术出版社, 1983 年.