

指挥控制系统决策软件研究与设计

韩冬梅

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文介绍了关于指挥和控制策略的多专家集成的多级、分布式专家系统。给出了分级控制策略,并引入了分级、分层的黑板结构。最后对元系统、主要子系统和黑板结构进行了原型设计。

关键词: 分布式; 专家系统; 黑板结构; 知识树; 知识模型; 决策矩阵; 有向图; 元知识

1 引言

指挥控制中心是现代对抗武器系统的枢纽,指挥决策系统是指控中心完成指挥与控制任务的核心。由于指挥决策面临着更加复杂、激烈的高新对抗环境,以往的指挥决策理论不能满足要求,将专家系统运用于指挥决策已势在必行。

本文提出多专家集成的多级、分布式专家系统(MGES),它包括一个元控制专家系统(MGES-A1),作为决策的控制机构。包括协调解决问题的诸子系统(MGES-B1)、(MGES-B2),……,采用分级控制策略,引入分级、分层的黑板结构,进行层间、子任务间通讯,能够协调各子系统,完成指挥决策任务。

在系统设计阶段,对元系统及主要子系统进行原型设计。包括知识库的建立,用专家系统工具EX-TOOL进行知识模型化。完成作为“黑板”的全局数据库、态势数据库设计,是实时数据输入、输出接口。最后,生成决策信息表,体现决策过程及响应。

2 多级、分布式专家系统(MGES)结构的确立及其组成

1 理论基础

将专家系统应用于指挥决策已势在必行,但传统的专家系统已无能为力。本文中所讨论几种典型专家系统体系结构,在传统专家系统基础上有了很大发展,但单纯套用哪种,都给系统建造带来局限性。因此,对其分析,综合各体系结构之所长,为确立系统的体系结构奠定理论基础。

(1) 对于指挥决策这一复杂的任务,采用多级系统将明显地降低系统的复杂性。它适用于复杂任务的问题求解。

(2) 引用元知识结构,将系统控制知识提取,利用整个系统控制。

(3) 采用分布式结构,为系统并行工作提供可能,提高系统工作效率。

本文提出的多级、分布式专家系统体系结构,是以以上几种结构为基础的。

2 决策系统分析

(1) 通过对决策任务分析,将其分解为各子任务。由于子任务具有并行协调工作的特点,采用分布式的、并列任务分布,说明使用分布式结构的可行性,并将子任务作为系统中间层。

(2) 对系统知识进行层次抽象,将知识抽象为三个层次,即为元知识层、子任务知识层、领域知识层。这种层次的、利用元知识控制的知识组织机制,减少系统建造复杂性。表明知识的可分离和可抽取性,为系统层次化设计奠定基础。

(3) 对子任务的求解,采用了面向推理、计算、过程的求解策略,因此,子任务组成即有专家系统,又有功能模块。

(4) 为满足系统实时性要求,系统设计动态数据存储区,实时接收数据。设置人工干预中断,保持良好人机接口。设置紧急任务标志,及时发布决策命令,加速紧急决策的实时响应。

3 在理论分析和系统具体领域分析的基础上,产生了用于指挥决策系统的多级、分布式专家系统结构及组成。如图 1 所示。

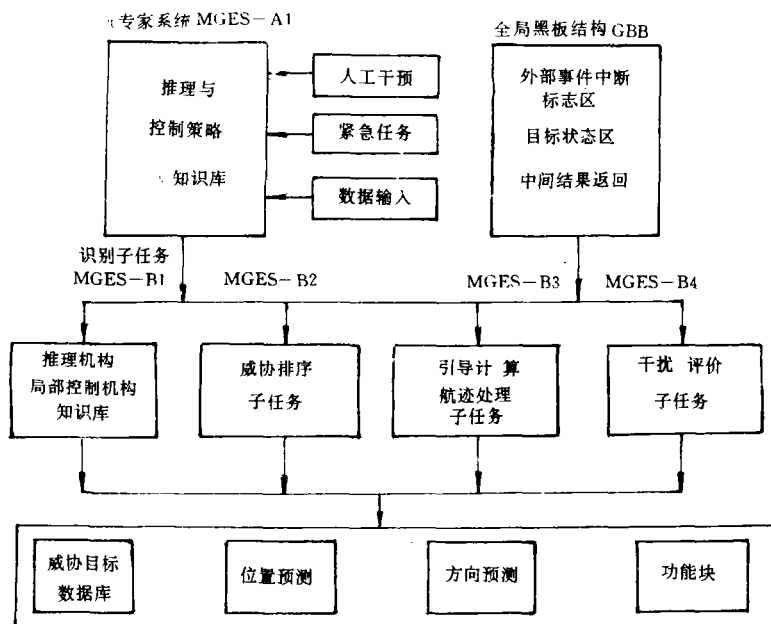


图 1

MGES-A1 是元知识控制专家系统,位于系统上层,职能是以传感器传送的目标状态作为事实依据,负责对各子任务的协调、调度、控制,触发规则进行推理,依推理的不同分支路径获得不同的决策命令。MGES-A1 是 MGES 的主要处理系统,是 MGES 的核心。

MGES-B1 是目标识别子专家系统。目的是将威胁目标分类。它运用模式识别作为指导思想,综合运用探测源信息,进行目标参数分析,特征提取,将特征与类别的关系用产生式规则来描述,通过 MGES-B1 子推理机,完成对多目标识别。

MGES-B2 是威胁判别子任务,采用运筹学决策矩阵方法,对目标速度、性质、方向、距离综合权衡,给出目标威胁排序,确定实施干扰的主攻目标。

MGES—B3 是航迹管理子任务,进行主攻目标的航迹生成、修改、查询处理,完成对主目标的确认和丢失后的航迹预测。

MGES—B4 是干扰评价子任务,职能是监视干扰效果,确定干扰是否成功。

上面四个子任务均位于 MGES 的中间层。

MGES 的最后一层,是系统的领域知识,为中间层提供服务,被中间子任务所调用。

4 决策系统 MGES 的控制策略

MGES 采用了分布的、层次的控制策略。

在系统的控制中,将控制分为全局控制与局部控制两层。

系统全局控制实质是如何构造一个元知识系统,它是一个元级知识的控制机构,负责协调各子系统工作和控制层间通讯。元系统的控制流程如图 2 所示。

首先初始化并装入专家模型,取传感器数据至“黑板”GBB,触发元推理机工作。协调子任务,当返回中间结论,再次触发推理机,循环直至给出决策命令。同时下一决策周期开始,到整个任务结束为止。

5 MGES 的黑板结构

黑板结构是为实现 MGES 的控制策略而引人。

采用多级,多层黑板结构,从而减少复杂数据流的“碰撞”。

MGES 采用全局黑板 GBB 和局部黑板 LBB 的两级黑板结构,每级采用多区域结构。层间、子任务间通讯都是通过共享全局黑板 (GBB)信息实现的。

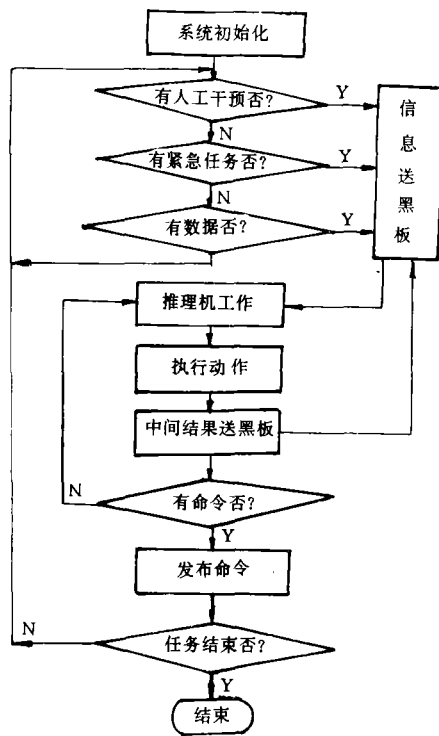


图 2

3 决策软件设计

3.1 元专家系统(MGES—A1)设计

MGES—A1 在 MGES 中主要起控制、协调子系统的作用,最后生成作战决策命令。主要由知识库和推理组成。

系统以目标状态为主线进行决策分析,采用决策树的分析手段,它体现决策的基本过程,知识的提取与分离,为建造知识库奠定基础。元专家系统决策树如图 3—1、图 3—2 所示。

利用知识树描述了通过目标状态的决策分析,体现出调用子任务协调工作、生成决策命令的过程。同时将有关知识进行分类和层次表示,每一节点的诸子节点层分别构成一类知识,作为“描述”知识成分,两节点及节点间的连线,表示节点间的相互关系,作为知识的“关系”成分,子任务节点作为知识的“过程”成分,因此,将知识模型化,把这三种知识成分装入知识库结构中,形成元知识库。

总之,元专家系统(MGES—A1)的设计,通过“知识树”,体现了决策分析过程,在此基础上,完成元知识库建立,模型化,确立推理方式及规则集冲突消解策略,并利用元推理机,得到决策结论。下面围绕着元系统所调用的各子任务设计而展开。

3.2 目标识别子专家系统(MGES—B1)设计

利用专家系统进行多目标识别的过程,就是根据传感器一组数据,求得其特征值,并利用特征对知识库中规则检索,如果特征满足于某个规则的阈值,则识别完毕,以求得识别结果。如图 3 所示。

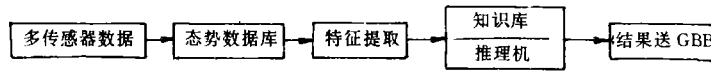


图 3

目标识别子任务需要完成的工作是特征的提取、知识库的生成、态势数据库的建立、制定推理策略。

(1) 特征的提取

对目标性质的描述表达为:

$$P=H(\text{机动特征, 激光能量特征、形状、面积、速度、角速度})$$

(2) 知识库生成:

目标识别子专家系统知识库的建立以及知识的模型化,是建立在目标识别知识有向图的基础之上,如图 5 所示(略)

目标识别有向图,基本上表达了对威胁目标进行识别的特征知识依据。

(3) 阈值修正

由于采用了基于 EXPERT 的试探机构的知识表示及推理机,其特点之一就是允许数值计算,并根据数值计算结果进行推理,而目标识别的特征值提取正是通过计算求出,这也是选择此种机构的原因之一。

在这一规则中,出现了数值量参与推理,而不仅仅局限于符号推理。

应当指出,有关的阈值 A 的范围的获取,是通过大量的事例统计得到的。目标识别系统的产生式规则集中的规则多为数值量参与推理,可以说阈值的选取对推理的结论的准确度影响极大,有些阈值经查阅、统计、初步得到,而有些阈值因实例及可查资料甚少,难以给出,目前,我们设定了一些初始值,由于阈值的范围值在系统设计中,增加了其修正的能力,并通过对知识库的不断完善过程,使其达到合理,这实际上也是知识获取的过程。

采用两种方式进行阈值的修正:

① 静态修正:

直接修改模型文件,由于知识库模型文件是可编辑的文本文件,因此,可根据实际需要,随时静态修改模型文本文件,而无须修改程序本身,从这一点看,具有良好的灵活性和可维护性。

② 动态修改:

是指在系统运行过程中的阈值修正,当系统在运行中,积累了一定的实例,将经过统计的阈值范围,对原有阈值修正。本系统根据原有的知识表示结构,设计了接口函数。程序流程图如图 4 所示。

- a、设计查找函数 GETF(X),并以标识为关键字;
- b、得到目标编号;
- c、设计阈值修正函数 CHK(N,I)

(4) 子系统的控制策略,用以协调、控制自身子专家系统的工作,并将最终结论送全局黑板。其控制过程是在态势数据库提供目标特征参数的基础上,触发推理机工作,得到多目标识别性质、方向、距离、速度的排序矩阵,为威胁排序提供依据。

3.3 威胁判别子任务的设计

威胁判别子任务是通过对空中来袭目标对保卫目标构成威胁的各项性能指标进行综合权衡,得到目标的威胁排序,以求得主跟目标。

经过分析,将目标性质、目标方向、目标距离、目标速度作为度量目标威胁值的性能指标。

度量威胁目标威胁程度的诸性能指标是通过传感器参数进行动态分析,且只能得到多目标威胁性能的排序结果,因此采用了序数形式的决策矩阵法。决策矩阵如表 1 所示。

表 1

属性 目标	01	02	03	.....	0j	.....	0m	
	W1	W2	W3	.....	Wj	.....	Wm	
A1	u11	u12	u13	.....	u1j	.....	u1m	E(A1)
A2	u21	u22	u23	.....	u2j	.....	u2m	E(A2)
.				.				.
Ai	ui1	ui2	ui3	.....	ui4	.....	uim	E(Ai)
.				.				.
An	un1	un2	un3	.....	un4	.....	unm	E(An)

A_i 表示第 i 个威胁目标 ($i=1, N$);

O_j 表示每一目标的第 j 个属性 ($j=1, M$);

W_j 表示每一目标第 j 属性重要性程度;

U_{ij} 表示第 i 个威胁目标 (A_i) 下 O_j 属性威胁程度信息, U 被称为决策矩阵。

$E(A_i)$ 是目标综合多属性的总威胁程度值。

一般情况下, U_{ij} 可表示为序数形式和基数形式两种。

根据本系统特点,即目标多属性的威胁程度,是通过目标识别子任务进行求解,并且只能得到多目标的各个属性的排序值,即只能得到各属性序数形式的排序系列,因此为了将序数形式转化为基数形式的威胁程度值,采用了某属性下威胁目标程度的排序等级差矩阵如表 2 所示。

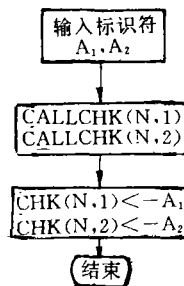


图 4

表 2

	A1	A2	.....	Ak	.....	An
A1	r11	r12	.....	r1k	.....	r1n
A2	r21	r22	.....	r2k	.....	r2n
·						
Ai	ri1	ri2	.....	rik	.....	rin
·			·			
An	rn1	rn2	.....	rnk	.....	rnn

其中, r_{ik} 表示 O_j 属性下, 第 i 威胁目标威胁程度高于第 k 目标威胁程度的排序等级差。

$$r_{ik} = \begin{cases} -(U_{ij} - U_{kj}) & \text{当 } U_{ij} - U_{kj} \leq 0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

计算出各目标威胁程度主在各属性下优先排序等级差矩阵后, 可计算各目标威胁程度的综合高低排序等级差矩阵元素 R_{ik} 。

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^M W_j \cdot r_{ik} \quad (i, k = 1, \dots, N) \quad (2)$$

再将一个目标相对于其它目标的威胁度加起来后, 得到该目标的总的威胁程度度量值。

$$E(A_i) = \sum_{k=1}^N R_{ik} \quad (i = 1, \dots, N) \quad (3)$$

最后将威胁排序结果送“公共黑板”, 供元专家系统推理使用, 并将控制权交给元专家系统, 完成了目标威胁权衡, 制定主跟目标的子任务。

3.4 黑板结构的设计

由于决策系统的复杂性, 数据流的复杂性, 而采用了分级、层次的黑板结构。因此, 在设计过程中, 将分别按不同级、不同区域分别设计。

(1) 全局黑板的设计:

在不同区域中设置相应变量, 并设置相应数据结构, 定义子任务间参数传递关系等。

因此, “全局黑板”反映了决策系统整体的数据流状况, 同时反映出此黑板信息是在动态变化着的, 同时可见其数据流动的多支路复杂性。

(2) 局部黑板的设计

局部黑板主要由目标参数态势数据库组成。

态势数据库设计思想:

目标参数态势数据库是局部黑板的主要组成部分, 是进行识别的信息来源, 作为触发目标识别子专家系统工作的事实数据库, 整个决策系统传感器信息大部分由此流入。

由于武器系统采用了多传感器信息获取技术(因为每种传感器的信息都有一定的局限性, 只提供一部分不完备的信息), 所以在进行态势数据库设计中, 采用了多传感器信息统一相关处理, 使不相关信息互充 & 充, 以减少信息的不确定性; 多信息源信息相关, 提供信息的冗余, 提高系统的容错力, 提高信息的准确性。

另外, 态势数据库作为外部传感器参数的存贮, 必须满足实时数据的动态存贮。

数据结构设计:

为了满足这些条件, 态势数据库结构采用了环形队列结构, 如图 5 所示。队列中的每一元

素为一单链结构的地址表。

队列是一种按照先进先出的顺序存取队列结构中元素的线性信息表(FIFO),环形队列是在队列的基础上,将队列头尾相接,形成环路,其优点在于节省内存地址空间。

由于目标识别的特征值提取,需要对多帧数据的动态分析,因此设数据库结构存贮五帧数据,为了保证数据在系统运行的过程中,丢弃旧帧、存贮新帧,并保持总帧数的不变,因此采用环形队列。当接收新帧数据时,指向数据库地址指针增 1,新帧地址指向原第一帧数据(被丢弃数据)。

建立诸数据结构的目的是,为获取目标参数的特征值,通过其计算结果,为识别专家系统提供推理的事实依据。

由此得知:“黑板”实质是作为整个系统的数据流动的输入输出通道,通过对全局黑板结构以及局部黑板的设计,态势数据库解决了触发元专家系统以及识别子专家系统工作的外部事实的获取,并实现了层间以及子任务之间的通讯,提供了推理的工作空间。

最后,本系统通过元专家系统的“动作介面”,在元推理过程中,协调调度各子任务工作,最终得到决策的结果。

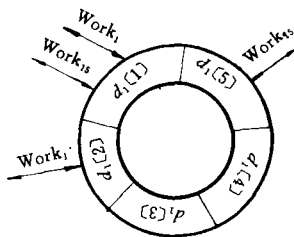


图 5

4 结 束 语

本文通过对指挥决策系统任务的分析,提出了一个多级、分布式专家系统体系结构运用于指挥决策系统,有效地解决了系统复杂性及其信息不确定性等问题给系统设计带来的困难,通过分级、分层的黑板结构,减少了数据输入输出的“拥塞”,解决了子任务的通讯问题,通过对诸分系统的设计,将专家知识进行层次化,简化知识的复杂性,并将深层领域知识表示为“过程体”,简化设计的复杂性。最后将决策信息实时显示,再现决策过程。

由于本系统的研究正处于原型阶段,尤其对有关知识的获得尚属初期模型建立阶段,特别是对于指挥人员军事决策的经验知识知之很少,是待获取的重要知识之一,由于本系统的多级、分布式结构,以及知识库的模型文件的可编辑性,都给系统的完善以及修改工作创造了良好的方便条件。

本系统通过运行、测试,基本上满足了决策系统的要求,实践证明,这个基于知识的指挥决策系统作为原型是切实可行,而且是较为良好的。

参 考 文 献

- [1] 管纪文,刘大有等著,《知识工程原理》. 吉林大学出版社,1988
- [2] 姚玉川,薛源福,宫雷光,《知识系统》. 大连理工大学出版社,1988
- [3] 曲成义,唐德顺等著,《决策支持系统与专家系统》. 社会科学出版社,1988
- [4] 李根深,刘玉树,张惠,陆纪兴,《军用智能决策支持系统》. 兵器工业出版社,1991

- [5] 李维铮、郭耀煌等著,《运筹学》. 清华大学出版社,1982
[6] 胡世功、申黎平等著,《国外陆军战术 C³I 手册》. 兵器工业出版社,1989
[7] 《混合语言程序设计指南与软件开发工具》. 中科院希望高级电脑技术公司

The Investigation and Design of Command Control System Decision Software

Han Dongmei

(Changchun Institute of Optics and Fine Mecchanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper presents the multistage and distribution expert integrated system for the command and control strategy. It gives the graded control strategy and blackboard structure is adopted. Finally, this article gives the designs of meta system, main Subsystem and blackboard structure.

Key words: Distribution, Expert system, Blackboard structure, Knowledge tree, Knowledge model, Strategy array, Direction drawing, Meta knowledge