

# 战略相控阵雷达的专家系统控制方案\*

## A Design of Expert System Control for the Strategic Phased Array Radar

凌 棕\*\*

(南京电子技术研究所)

**提要** 本文叙述了将专家系统原理应用于大型战略相控阵雷达控制系统中的若干设想,其中包括构造计算机系统、确定推理规则、知识库及建立事实数据库等内容,并在此基础上逐步形成含雷达控制软件和专家系统控制模式的混合系统,期望藉以提高相控阵雷达的智能化、自动化控制水平。

**关键词:**相控阵雷达,专家系统,雷达数据处理。

**Abstract** Several designs of expert system principles being used in large strategic phased array radar are presented, including computer system configuration, confirmation of rational rules, knowledge banks and data bases construction. A mixed system with radar control software and expert system control mode is proposed, through which the control level of intelligence and automation for phased array radars is expected to have a rise.

**Key words:** phased array radar, expert system, radar data processing.

### 一、引 言

近年来,先进的大型战略相控阵雷达系统的功能和操作内容日趋复杂,为进一步挖掘其功能潜力,有必要探索应用智能自动化技术的途径。

随着计算机技术的飞速发展,智能自动化技术在雷达数据处理和实时控制两方面都占据了不可替代的位置。这主要体现在运用计算机软件可以使得雷达系统的操作与运行具有极大的灵活性。

相控阵雷达的灵活性在于具备可使波束瞬时指向监视空域中任意点的能力,故存在产生许多新型操作策略的可能,如可以在覆盖域、检测概率、虚警率和跟踪性能之间实时地进行折衷处理。假设计算机资源无限、软件运行时间充分短,便可以得到最佳的雷达运行状态。而实际应用中,各种折衷考虑必须包括雷达系统能力等,因此得到的答案虽然令人满意,但却非最佳。

雷达系统的整机工作性能常常处于变化之中。在工作了一段时间以后,发射机、接收机等设备的工作参数会发生一些变化,导致信噪比下降,从而影响目标检测及测角精度。针对这些变化,应及时采取相应对策,以维持目标检测概率和跟踪性能。

专家系统也许可以成为建立并控制雷达系统的灵活且有扩展能力的有效途径。随着相控

\* 本文1991年9月24日收到,1991年11月14日收到修改稿。

\*\* Ling Zong (Nanjing Research Institute of Electronics Technology).

阵雷达操作策略和参数管理知识的增加,实现一些新的事实数据和推理规则,便可以很快地建立起新的雷达控制系统。假设这种系统由过程性的雷达工作软件模块和非过程性的专家系统控制程序构成,除能够完成传统的雷达操作功能外,还能实时进行空情估计和操作优化,从而可以加速雷达控制系统的开发,并期望改进雷达自动控制性能。

## 二、专家系统简介

定义:专家系统是一个(或一组)能在某特殊领域内以专家水平去解决该领域中困难问题的计算机程序。

在传统的程序方法中,对于待解决的任务,首先要根据它的内在规律性建立数学和物理模型,最后以算法的形式安排在计算机中,使机器按预定步骤完成数据的处理和计算,而程序的编制方法是告诉机器每一步应该怎么做。

在专家系统中,解决问题所需的知识同使用知识的方法是独立分开的。机器求解问题不是按预先确定的步骤进行的,而是根据环境条件及要达到的目标,在控制策略指导下,通过搜索来寻找问题的解答。

传统的完成数据处理任务的程序仅是知识的过程性描述,只能表达完全正确的知识,处理完整、准确的数据。而专家系统则利用人类解决问题时常用的推理法则,透过研究知识的表示、使用和获取的方法,模仿人类专家的思维方式去解决问题。

事实上,常规的应用软件也可以在一定程度上执行“专家”任务,按照“专家”——研制人员的意图按部就班地操作。如果运行一段时间以后,研制人员有了新的意图,则须修改程序,甚至修改系统结构,以期实现新的功能。

应用软件系统与专家系统间的主要区别在于:一旦应用软件系统研制完毕,即体现了研制人员当时的“专家”水平,欲提高这一水平,必须更改软件系统;专家系统研制成功以后,却总结了研制人员解决问题的能力 and 知识范畴,可以通过学习途径来增强能力和扩大知识面。

## 三、相控阵雷达控制的基本内容

雷达控制主要包含三项功能:1. 目标搜索和检测;2. 目标截获;3. 目标跟踪。相控阵雷达为完成这三项任务,控制内容可划分成以下五个部分:

### 1. 搜索方式控制

- 全空域自动搜索
- 屏式搜索
- 局部空域搜索

### 2. 目标截获方式分析

- 截获回波分析
- 跟踪丢失后重新捕获
- 数学跟踪丢失后重新捕获

### 3. 目标检测

- 目标回波分析

- 点迹相关分析
- 航迹相关分析
- 4. 跟踪方式控制
  - 改变跟踪间隔
  - 外推预测照射
  - 跟踪机动目标
- 5. 雷达参数管理
  - 波束宽度
  - 搜索时间与跟踪时间
  - 雷达能量
  - 雷达工作比

一般来说,以上诸部分功能由传统的雷达工作软件自动完成,属于过程性控制程序。这类程序可以在一定程度上执行“专家”的任务。但随着对事物认识过程的深化、控制水平的提高及设备条件的改进,新增加的控制策略无法立即在程序中实现,除非更改软件系统设计,而这种改动常常是繁琐、易出错和难以迅速完成的。

相控阵雷达除了按照预定程序进行雷达控制外,一般还应根据实战需要进行人工干预,用以实现操作人员的意图。干预内容应有:

1. 选择搜索方式
  - 人工录取目标
  - 改变扫描方式和区域
2. 选择跟踪方式
  - 取舍跟踪目标
  - 改变数据采样率
  - 选择跟踪滤波算法
3. 管理雷达参数
  - 选择检测方法
  - 管理能量与频率
4. 选择显示方式

另外,雷达系统性能的蜕化,如发射机功率下降、接收通道一致性变坏等,将导致信噪比降低,需要及时调整检测策略,以保持目标检测概率和测角精度,从而维持雷达跟踪性能。

这几部分任务深刻而灵活地反映了操作人员——“专家”的经验知识和操作水平,且不易或不可能在开发雷达控制软件时全面加以考虑,故宜由专家系统来完成。

#### 四、相控阵雷达专家系统控制的构想

根据到达专家系统的目标报告速度和空情状况,通常专家系统执行速度要比雷达控制软件系统慢  $1/20 \sim 1/2$ ,故目前尚不可能将专家系统程序嵌入雷达控制程序,只能分级联机处理。

### 1. 运行环境

我们设想在 Intel-520 计算机上用 C 语言和宏汇编语言进行雷达工作软件的设计和调试, 在 PC 机上用 LISP 语言开发专家系统程序, 然后构造局部网络, 进行机间通讯与数据调度管理。雷达工作参数按约定的格式送入专家系统, 专家系统将数据进行分析处理, 结果和意见则以指令形式传回雷达控制系统, 其示意性框图如下。

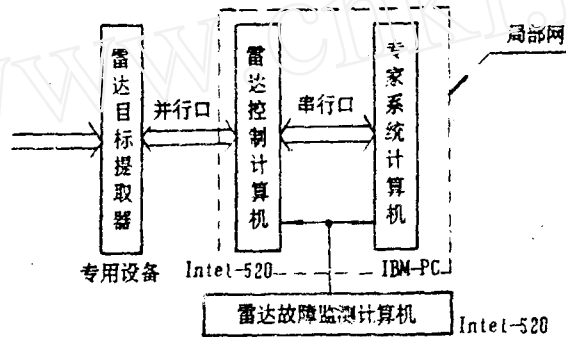


图1 系统框图

### 2. 确定准则与知识库

初步设想在本系统中应汇集如下一些准则, 随着专门知识的逐渐增多, 再不断补充新的准则, 使专家系统日臻完备。

#### ① 目标优先级排定

当雷达资源不足, 而空域中某些目标比其它目标更为重要时, 需按目标的相对重要性来排序, 编制重复照射的优先级和时间次数。

#### ② 资源管理

应在空域搜索监视和重复照射目标这两大任务之间作出折衷考虑, 以便充分利用雷达资源。在每一搜索帧时间内, 计算出维持目标搜索、检测性能时可资利用的重复照射时间之和。

#### ③ 目标截获

为确认目标, 以便建立跟踪状态, 需要收集足够多的目标信息, 经过分析判断来得出有无真正目标的结论。由于目标截获时刻数据较少(仅 1 至 2 点), 须给予较密的照射间隔, 利用已获数据来不断调整滤波系数。为得到最佳时间间隔和滤波系数, 必须根据空情进行综合决断。

#### ④ 选择跟踪滤波算法(跟踪目标个数)

相控阵雷达同时跟踪多个目标的能力受目标照射时间和跟踪预测运算时间的限制。这两个因素都与跟踪算法有很大关系, 较高的预测精度可导致增大跟踪间隔, 每个目标总的照射停留时间就可以减少, 遂可以增加同时跟踪的目标个数。但高精度算法计算过程复杂且耗费时间, 为多目标跟踪所不宜。所以, 应视空情而选取适当精度的算法, 既确保有效跟踪重点目标, 又尽量不舍弃可跟踪的目标。

#### ⑤ 雷达性能退化应对

当雷达系统性能下降等引发信噪比变小时, 应采取检测对策, 以确保搜索发现概率及目标

跟踪性能。

### 3. 构造事实数据库

基于规则的专家系统是为数据所驱动而工作的,即用对输入的数据直接响应来进行控制,而不是按预定的步骤来进行控制,故需合理地设计事实数据库及通讯规程。

一般而言,进入本专家系统的雷达数据应分为雷达状态和目标特征两大类。雷达状态参数包括:搜索方式、跟踪方式、数据率,各分机 BITE 信息等;目标特征参数包括:目标距离、方位、仰角、被击中次数、威胁度、照射时间、飞行器类型等。将这些参数数据仿雷达信息安排表的形式编排,以中断方式定时送入专家系统计算机内磁带上,形成独立的文件表,供推理程序调度、分析用。专家系统对数据的处理意见以指令形式传送,随机地经串行中断传输进入控制计算机,并启动通讯接收程序,将控制指令内容送入控制计算机内存中的指定工作单元。

有了以上三部分内容作基础,便可构造出一个最基本的相控阵雷达专家系统控制方案。在专家系统实现过程中,将优先采用分析式解法,因其比启发式解法花费的计算量少。首先初步解决一些我们对之理解甚少的问题,随着认识过程的深入,逐渐换用其它解法,以期改善解答方式,即不断地改进了专家系统性能。

## 五、推理过程举例

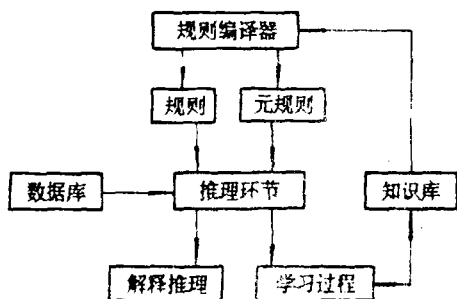


图2 推理机制结构图

仅以雷达机性能下降(源于发射机功率降低或接收机通道一致性变差等)造成信噪比降低,由此产生对应检测策略为例,说明专家系统进行数据处理时的推理过程。

### 1. 推理机制结构图

推理机制是分层次的,首先运行规则编译器,以便将知识库中的检测策略加工成规则和元规则。规则作用于数据,产生检测门限和判决准则。解释推理用来记忆推理路径,以便说明推理过程。学习环节在系统知识不充分时,通过询问向外界索取知识并经分析整理添加到知识库中。推理机制结构图见图2。

推理机制结构图见图2。

### 2. 元规则和规则的使用

规则  $r_i$  形式

$r_i$ : 若条件为信号幅度降至  $A_i$ , 则得结论 1(归属级别 1), 其余得结论 2(归属级别 2), 如

若  $A_1 = A_i$ , 则得级别  $= x_1$

若  $P \in \{P_5, P_6, P_7, P_8\}$ , 则得级别  $= x_2$

其余得级别 = 依  $A_i P$  的组合接近度对  $x_i$  的排序序列。

元规则  $R$  形式

$R$ : 若  $r_i$ , 则选用  $r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}, \dots$

### 3. 模糊推理和接近度计算

假定信噪比下降幅度可划分为  $M$  个级别,但这仍然未必能概括全部信噪比下降情况,致使判定实际信号幅度归属哪个级别时会出现模糊现象,即不属于这  $M$  个级别之一。解决办法

是定义接近度,计算其与  $M$  个级别的接近度,接近度最大者便被认为是归属于这一级别,从而可以求得预定的对策。

接近度定义在幅度  $A$  和相位  $P$  上,对每种  $A$  和  $P$  都赋一权值,任何两个  $A$ (或两个  $P$ )的权值差为这两者的距离,距离愈小,两者愈接近。权值大小主要反映人们在描述上的误差,权值范围为  $[0, 100]$ 。

接近度的计算过程:

基本模式有

幅度:  $A_{b1}, A_{b2}, \dots, A_{bn}$

相位:  $P_{b1}, P_{b2}, \dots, P_{bn}$

测得信号有

幅度:  $A_{m1}, A_{m2}, \dots, A_{mn}$

相位:  $P_{m1}, P_{m2}, \dots, P_{mn}$

以  $A$  为例的接近度算法

(1) 计算  $A_{mx}$  与每个  $A_{b1}, A_{b2}, \dots, A_{bn}$  的距离,取其中最大者为  $A_{mx}$  对该模式中的距离即  $\max J(A_{mx})$ 。

(2) 对每个  $x=1, \dots, u$  计算  $\max J(A_{mx})$ 。

(3) 计算累积距离,采用最大最小原则。

$$J(A) = \min[\max J(A_{m1}), \max J(A_{m2}), \dots, \max J(A_{mu})]$$

同理,

$$J(P) = \min[\max J(P_{m1}), \max J(P_{m2}), \dots, \max J(P_{mu})]$$

组合距离:  $J = a_1 J(A) + a_2 J(P)$

其中  $a_1, a_2$  为加权系数,依幅度和相位的使用大小而定。接近度可定义为

$$J' = 1 - \frac{J}{J+1} \cdot 100\%$$

模糊推理过程:

首先对测得的信号进行精确推理,成功则得到应归属的相应级别,否则计算幅度、相位与基准值的接近度,选接近度最大者为相应的级别。

根据不同的信噪比级别,按专家系统知识库中所归结的相应检测策略(检测门限和判决准则)向控制系统发出指令。

#### 4. 系统的解释功能

在系统调试阶段,可在专家系统计算机的 CRT 上再现推理路径上所用的规则及元规则,并解释为什么要选用某条规则或元规则,为进一步改善系统性能提供方便。

## 六、结束语

国外先进经验表明,专家系统技术对于成功地开发雷达控制系统并建立用于相控阵雷达控制的知识库是十分有益的。这项技术的采用促使我们深刻理解过程控制软件的执行性能与系统操作策略的叙述性、语言灵活性之间的平衡关系。我国对专家系统的研究起步较晚,但发展很快,许多行业都拥有了自己的专家系统,唯其在雷达工作应用中仍有空白。如何运用专家

系统技术来改进相控阵雷达的性能,目前尚属一项崭新的课题。本文所叙述的一些不成熟的构想,仅供雷达系统专家和计算机行家参考。

### 参 考 文 献

- [1] A. Farina, "Radar Data Processing", Research Studies Press LTD. , 1985.
- [2] 林尧瑞等编著,《专家系统原理与实践》,清华大学出版社,1988.
- [3] 黄可鸣,《专家系统导论》,东南大学出版社,1988年.
- [4] Robert J. Mckenzie, "Expert System Control for Airborne Radar Surveillance", AIAA Computer in Aerospace Conf. 6th 1987.

~~~~~  
(上接第 40 页)

### 参 考 文 献

- [1] L. E. Brennan, I. S. Reed, "Theory of Adaptive Radar", IEEE Trans, Vol. AES-9, No. 2, pp. 237-252, 1973.
- [2] L. E. Brennan, J. D. Mallett, I. S. Reed, "Adaptive Arrays in Airborne MTI Radar", IEEE Trans. , Vol. AP-24, No. 5, pp. 607-615, 1976.
- [3] J. E. Hudson, "Adaptive Array Principles", Peter Peregrinus Ltd. , Stevenage, UK, and New York, 1981.
- [4] R. Klemm, "Adaptive Airborne MTI, An Auxiliary Channel Approach", IEE Proc. F, Vol. 134, No. 3, pp. 269-276, 1987.
- [5] R. Klemm, "Adaptive Clutter Suppression for Airborne Phased Array Radars", IEE Proc. F, Vol. 130, No. 1, pp. 125-131, 1983.
- [6] J. Chapmon, "Partial Adaptivity for the Large Array", IEEE Trans. . Vol. AP-24, No. 5, pp. 685-966, 1976.

~~~~~  
(上接第 55 页)

- [5] S. Grossberg, The Adaptive Brain I ; Cognition, Earning, Reinforcement, and Rhythm, and The Adaptive Brain II ; Vision, Speech, Language, and Motor Control, Elsevier/North-Holland, Amsterdam(1986).
- [6] T. Kohonen, "Self-Organization and Associative Memory", Spring-Verlag, Berlin(1984).
- [7] J. J. Hopfield, "Neurons with Graded Response Have collective Computational Properties like Those of Two-State Neurons", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol81, pp3088-3092, May, 1984.
- [8] 梁民, "一种雷达目标识别的方法及其实验研究", 现代雷达, 1991 年第 1 期 pp53-63.
- [9] 胡步法, "一种用于舰船雷达目标识别的新方法及其实现的研究", 国防科技大学电子技术系硕士论文, 1987. 2.
- [10] P. E. Zwicke & I. Kiss, Jr, "A New Implementation of the Mellin Transform and Its Application to Radar Classification of Ships", IEEE Trans. Vol. PAMI-5, No. 2, 1983.