

# 基于 CBR 的反导作战方案生成技术

吴林锋, 王 刚, 杨少春, 余晓东

(空军工程大学导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘要** 为提高反导作战的实时性、有效性,提出了一种基于案例推理的思想来解决作战预案的匹配难题。首先分析了作战预案在作战管理系统中的地位及应用;然后结合案例推理 CBR (Case Based Reasoning, CBR) 特点,对反导作战预案的表示、索引、检索匹配、调整学习 4 大关键问题进行深入的分析;最后通过一个预案匹配使用实例表明:基于 CBR 的反导作战方案生成技术在反导作战管理系统中的应用有效性,为实时反导作战方案的确定提供了决策支持和理论依据。

**关键词** CBR;反导;作战预案;作战方案

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.05.010

**中图分类号** TP273 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)05-0045-05

相对传统的防空作战预案而言,由于弹道导弹发射区域、关机点、飞行弹道、落点有规律和可预知,和保卫目标、防御资源的部署有重点、有选择性防御等特性,使得反弹道导弹的作战预案在实际作战过程中有决定性的意义<sup>[1-3]</sup>。依据对弹道目标的前期预警信息,大致可以掌握威胁目标的轨迹、攻击意图、作战样式等目标基本特性;基于这些预警信息,可以在离线仿真推演形成的作战预案库内迅速找到应对类似威胁的作战预案,并初步给出实时传感器探测跟踪的任务规划方案、拦截火力规划方案,为部队的战斗等级转进、作战任务的执行提供更多的反应时间。

尽管反导作战预案在作战方案生成中如此重要,但是目前对一个完整的反导作战预案描述研究还很少,而且如何在众多的作战预案中选择最为合理的匹配作战预案更是反导作战方案生成的一个难点。案例推理的思想就是通过联想或类比,将过去解决此类问题的先验知识用于解决当前的问题。鉴于此,本文提出了一种基于案例推理的思想来解决作战预案的匹配难题。

## 1 CBR 在反导作战预案匹配中的应用分析

在分层式反导作战管理系统中,体系级作战管理系统中的预案应用模块主要实现了离线状态基于仿真推演的作战预案制定功能、基于预案和预警情报的实时作战预案生成两大功能。在实时作战预案生成阶段,从作战预案库中通过检索匹配算法,得到的实时作战预案可以作为最终作战方案生成的直接依据,见图 1。

CBR 之所以在作战预案匹配、形成作战方案中之有效,是由其具有正则性、一致性、易适应性<sup>[4-6]</sup>等特性决定的。在 CBR 中来说,每一个案例可以看作是一个作战预案,经过检索匹配得到的适应解可以看作是匹配得到的最优作战预案。为了解决预案的匹配难题,本文分析作战预案的表示、索引、检索匹配、调整学习等关键技术<sup>[7-9]</sup>,并通过一个算法实例来表明所采用方法的有效性。

\* 收稿日期:2011-05-12

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2010JM8013);空军工程大学研究生创新基金资助项目(Dx2010206)

作者简介:吴林锋(1987-),男,江西鹰潭人,硕士生,主要从事防空反导作战管理与指挥控制研究。

E-mail:wulinfeng7719@163.com

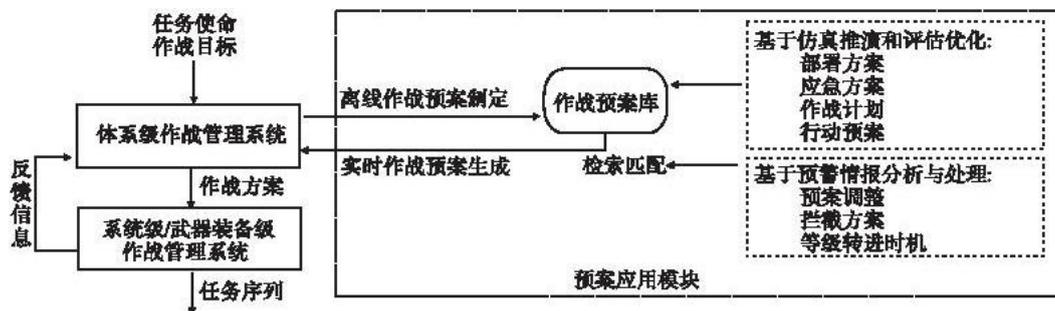


图1 作战预案在作战管理系统的应用

Fig. 1 Battle scheme's application in the BM system

## 2 基于 CBR 的反导作战预案关键技术

作战预案库中存储的每一个作战预案都是经过仿真推演和评估优化后得到的最优作战方案,在预案生成和使用过程中涉及到的关键技术主要包括:①作战预案的表示——便于生成、存储;②作战预案的索引——便于快速检索匹配;③作战预案的检索匹配算法——匹配决策依据;④作战预案的调整学习——预案的使用并丰富预案库的知识。

### 2.1 基于框架层次结构的作战预案表示

框架层次结构是人工智能中用来表达特殊事件或经验的有效机制,用框架描述结构很适合于表达 CBR 中的每一个预案。在反导作战预案中,需要存储的信息主要包括任务、目标、决策、效能 MTDE (Mission Target Decision Efficiency, MTDE) 等内容,通过反导作战过程中关键要素分析,本文给出了反导作战预案的框架层次结构<sup>[4]</sup>,见表 1。

表 1 反导作战预案的框架层次结构

Tab. 1 The frame hiberarchy of anti - missile battle scheme

槽序列	反导作战预案 No. XX	
槽 1: 上级任务	侧面 1: 重要点目标防御	侧面值: < 防御等级 $m_1$ >
	侧面 2: 区域目标防御	侧面值: < 防御等级 $m_2$ >
	侧面 3: 联合防空作战防御	侧面值: < 防御等级 $m_3$ >
槽 2: 目标	侧面 1: 类型	侧面值: < 目标型号 $K$ >
	侧面 2: 射程	侧面值: < 发点、落点、末速度、再入角 >
	侧面 3: 突防方式	侧面值: < 微变轨 >
	侧面 4: 诱饵类型	侧面值: < 轻或重 >
	侧面 5: 诱饵数量	侧面值: < 4 >
	侧面 6: 干扰方式	侧面值: < 电磁干扰 >
槽 3: 传感器 决策方案	侧面 1: 部署情况	侧面值: < 地点、类型、数量 >
	侧面 2: 协同探测跟踪策略	侧面值: < 截获时机、区域 >
	侧面 3: 引导方式	侧面值: < 预警雷达引导跟踪雷达 >
	侧面 4: 协同识别	侧面值: < 对象、时机、方法 >
槽 4: 火力单元 决策方案	侧面 1: 末段高层武器部署情况	侧面值: < 地点、类型、数量 >
	侧面 2: 末段低层武器部署情况	侧面值: < 地点、类型、数量 >
	侧面 3: 协同拦截策略	侧面值: < 高低拦、高拦、低拦 >
	侧面 4: 火力——目标分配结果	侧面值: < 目标火力编号 >
	侧面 5: 预期拦截效果	侧面值: < 拦截概率 >
槽 5: 作战结果	侧面 1: 拦截结果	侧面值: < 成功或失败 >
槽 6: 效能评估	侧面 1: 传感器协同效能	侧面值: < 截获时间、概率 >
	侧面 2: 火力单元协同效能	侧面值: < 漏截数 >

框架层次结构表示方法层次性强,便于模块化实现,同时,每一个槽的每个侧面可以有一个或多个值,甚

至也可以是其它框架,具有灵活性、可扩充性等特征。

## 2.2 基于 MTDE 的作战预案索引

预案的索引就是这个作战预案的关键词或关键字组合,它是区别各作战预案的依据,一个好的索引能够平衡预案数据的组织结构,并实现快速最优检索匹配。本文中的预案是按照 MTDE<sup>[4]</sup>来索引的,见表 2。

表 2 基于 MTDE 的作战预案索引

Tab.2 The index of battle scheme based on MTDE

作战预案 No. XX	M	T	D	E
1	重要点目标防御	1 000 km	2 发弹(低 2)	成功(80%)
2	重要点目标防御	3 500 km	4 发弹(高 2 低 2)	成功(95%)
3	区域目标防御	2 枚 2 500 km	6 发弹(高 1 低 2)	成功(90%)
4	联合防空作战防御	电子干扰	2 发弹(高 1 低 1)	失败(10%)

## 2.3 基于海明距离的作战预案检索匹配算法

在关键的作战预案检索匹配阶段,其基本过程描述见图 2。

在这里,采用基于海明距离的检索匹配算法,在计算海明距离之前必须将作战预案的各预案要素进行统一量化处理,权值分配。对于关键的 M、T 要素而言,取其权值都为 1, D、E 要素则都取值在 0-1 之间,而且  $\sum w_i > 1$ , 相似度的值也可以小于 0。

用海明距离计算新输入问题与库中预案的相似度:

$$\text{sim}(X, Y) = 1 - \text{dist}(X, Y) = 1 - \sum_i w_i \text{dist}(x_i, y_i) \quad (1)$$

式中:  $X$  为输入问题的案例化描述;  $x_i$  为问题  $X$  的属性;  $Y$  为预案库中的已有案例;  $y_i$  为  $Y$  的属性;  $w_i$  为第  $i$  个属性的权值;  $\text{dist}(x_i, y_i)$  为:

$$\text{dist}(x_i, y_i) = \frac{|x_i - y_i|}{|\max_i - \min_i|} \quad (2)$$

式中  $\max_i$  和  $\min_i$  分别为案例的第  $i$  个属性经统一量化处理后的最大值和最小值。对于符号属性值,如果  $x_i = y_i$ , 则  $\text{dist}(x_i, y_i) = 0$ , 否则  $\text{dist}(x_i, y_i) = 1$ 。比如任务中的重要点目标防御和区域目标防御之间的  $\text{dist}(x_i, y_i) = 1$ 。

## 2.4 作战预案的调整与学习

作战预案的调整就是通过检索匹配获得相似预案后,对匹配预案作出适应性调整,可以是直接向匹配预案中加入一些新内容,也可以是将匹配预案的部分内容进行改造,得到最终作战方案。在这里,采用转换型适配策略(Transformational Adaptation)和参数调整(Parameter Adjustment)的调整适配技术,它的基本思想就是比较检索到的案例与新问题所关心的属性之间的差别,从而将最终的目标方案向合适的方向调整<sup>[10]</sup>。

作战预案的学习是指 CBR 系统不断获取新知识、改进旧知识的过程,一个 CBR 系统会在应用过程中学习更多知识和经验,形成一个新案例,这时计算其与所有旧案例之间的相似度,满足一定阈值后,才以实际案例的形式存储于预案库中,丰富预案库的同时也保证了预案库中案例的质量。

# 3 基于 CBR 的作战预案检索匹配算法算例

## 3.1 作战预案在作战管理系统中的使用流程

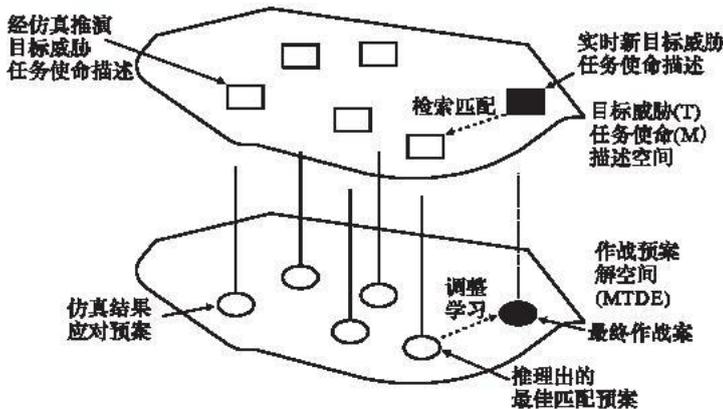


图 2 基于 CBR 的作战预案检索过程描述

Fig.2 The process description of battle scheme's searching based on CBR

在反导作战方案生成阶段,需要依据弹道目标前期预警信息、上级下达的作战任务目标和预案库检索匹配策略等基本信息进行作战方案确定,其作战预案处理流程见图 3。

作战预案库依据 T、M 和匹配策略等输入信息在预案库中进行检索匹配,匹配成功后经方案调整就可形成最终作战方案,向下级下作战任务序列,并通过预案学习机制进行预案存储;图中另一条辅助流程就是实时作战方案计算处理,能够对作战方案的调整阶段起到辅助决策作用。

### 3.2 多预案检索匹配计算算例

在检索匹配阶段,为了便于说明问题和验证方法的有效性,做如下假设:

1) 新问题  $X$  的描述见表 3(以各要素某一关键侧面值为例)。

表 3 新问题描述

Tab. 3 The description of new problem

新问题描述	M	T	D	E
$X$	重要点目标防御	3 000 km	4 发弹	成功 >90%

作战任务是重要点目标防御,来袭目标是一枚射程大约 3 000 km 的弹道导弹,要求采用发射 4 枚拦截弹的高防御级别,拦截成功率不低于 90%。

2) 预案库中已存储的作战预案描述见表 4(各要素相对应侧面值)。

表 4 预案库部分作战预案描述

Tab. 4 The part battle schemes description in the scheme - base

作战预案 No. XX	M	T	D	E
1	重要点目标防御	1 000 km	2 发弹	成功(80%)
2	重要点目标防御	3 500 km	4 发弹	成功(95%)
3	区域目标防御	2 枚 2 000 km	6 发弹	成功(90%)

3) MTDE 各要素权值和最大值、最小值取值见表 5。

表 5 要素取值范围

Tab. 5 The range of each element

要素	M	T	D	E
权值	1	1	0.5	0.5
最大值、最小值	0、1	800 - 3 500 km	0 - 4 发弹	0 - 100%

基于以上假设,则新问题  $X$  与作战预案 1 的距离结果为:

$$\text{dist}(X, 1) = \sum_i w_i \frac{|x_i - y_i|}{|\max_i - \min_i|} = 1 \times 0 + 1 \times (3\,000 - 1\,000) / (3\,500 - 800) + 0.5 \times (4 - 2) / (4 - 0) + 0.5 \times (0.9 - 0.8) / (1 - 0) = 1.04$$

同理:  $\text{dist}(X, 2) = 0.21$ ,  $\text{dist}(X, 3) = 1.495$

所以:

$$\text{sim}(X, 1) = 1 - \text{dist}(X, 1) = 1 - 1.04 = -0.04; \text{sim}(X, 2) = 1 - \text{dist}(X, 2) = 1 - 0.21 = 0.79$$

$$\text{sim}(X, 3) = 1 - \text{dist}(X, 3) = 1 - 1.495 = -0.495$$

计算结果显示,相似度最高的作战预案 2,主要是因为权值较高的任务和目标 2 大关键要素最为相似,都同为点目标防御,来袭目标射程也最为相近,这与实际作战应用情况是相符的。因此我们把作战预案 2 选为匹配预案,经方案调整阶段进行部分参数调整就可作为最终作战方案。

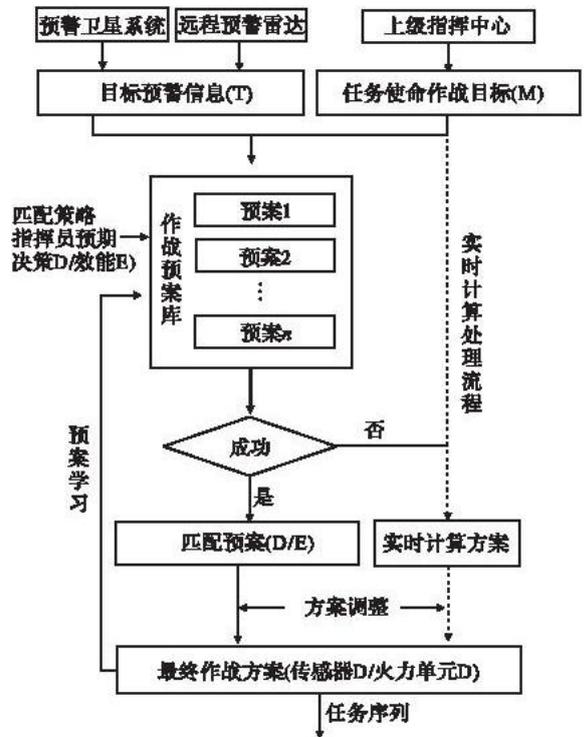


图 3 作战预案处理流程

Fig. 3 The processing flow of battle scheme

## 4 结束语

反导作战预案在生成反导作战方案过程中具有重要意义,本文结合 CBR 特点,对反导作战预案的 4 大关键问题进行了深入分析,并通过一个算法实例解决了最优预案的匹配难题,为实时反导作战方案的确定提供了决策支持和理论依据。同时在相关的预案检索匹配模型算法上仍然可以采用目前更为合理的智能优化算法作为后续改进的方向之一,为作战方案生成技术的完善优化提供了平台和方法支撑。

### 参考文献:

- [1] 梁维泰,王俊,杨进佩. 反弹道导弹指挥控制系统结构初探[J]. 指挥信息系统与技术,2010,1(1):5-9.  
LIANG Weitai, WANG Jun, YANG Jinpei. A primary study on the architecture of command and control system for ballistic missile defense[J]. Command information system and technology,2010,1(1):5-9. (in Chinese)
- [2] Gerald Brown, Matthew Carlyle, Douglas Diehl, et al. A two-sides optimization for theater ballistic missile defense[J]. Operations research, 2005, 53(5):745-763.
- [3] David B, Weller. Command and structure of the ballistic missile defense system[D]. Monterey: Master thesis of naval post graduate school, 2004.
- [4] 杨瑞平 黄晓冬. 计算机生成兵力智能决策方法及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2011.  
YANG Ruiping, HUANG Xiaodong. The intellectualized decision-making methods of computer generated forces and their application[M]. Beijing: Publishing house of electronics industry, 2011. (in Chinese)
- [5] Kolodner J L. An introduction to case-based reasoning[J]. Artificial intelligence review,1992,6(1):3-6.
- [6] Barletta R. An introduction to case based reasoning[J]. AI expert, 1991,15(8):43-49.
- [7] Schaaf J W. Fish and shrik: a next step towards efficient case retrieval inlarge scaled case bases[C]//Advances in case-based reasoning. Lausanne: Third European workshop,1996:362-376.
- [8] DU Xiao-ming, YU Yong-li, HU Hui. Case-based reasoning for multi-attribute evaluation[J]. Systems engineering and electronics,1999,21(9):45-48.
- [9] Watson I, Marir F. Case-based reasoning;a riview[J]. The knowledge engineering review, 1994,9(4):335-381.
- [10] 张建华 刘仲英. 案例推理和规则推理结合的紧急预案信息系统[J]. 同济大学学报, 2002,30(7):890-894.  
ZHANG Jianhua, LIU Zhongying. Case-based reasoning and rule-based reasoning for emergency preparedness information system[J]. Journal of tongji university, 2002,30(7):890-894. (in Chinese)

(编辑:田新华)

## The Generation Technology of Anti-missile Battle Scheme Based on CBR

WU Lin-feng, WANG Gang, YANG Shao-chun, YU Xiao-dong

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

**Abstract:** The anti-missile battle case is the precondition and foundation of generating the anti-missile scheme, optimizing resource and improving the validity. This paper, firstly, analyzes the position and application of the battle scheme in the BM system; then, by combining the characteristics of CBR, deeply analyzes the four key problems of battle case's expressing, index, matching, adjusting and studying. Finally through a matching example, a conclusion is reached that the generation technology is effective in application to the BM system, which can provide a decision support and theory basis for the determination of a real time anti-missile scheme.

**Key words:** CBR; anti-missile; battle case; battle scheme