

# 模糊推理算法在 CBR/AHP 军交运输保障中的应用研究

冯鹏程<sup>1,2</sup>, 高社生<sup>1</sup>, 杨一<sup>1</sup>, 阎海峰<sup>1,3</sup>

(1.西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072; 2.武警后勤学院 军交运输系, 天津 300309)  
(3.中航工业 深圳南航电子工业有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:**针对遂行多样化任务军交运输保障决策需求和运动干部作战经验不足的矛盾,提出了基于 CBR/AHP 军交运输保障案例库的设计方法,设计了基于 AHP 权重和模糊推理的案例匹配算法,并结合实际遂行任务案例对算法进行了验证,结果表明,提出的算法辅助决策科学有效,能够满足运输辅助决策信息系统设计的理论需求,为军交运输保障辅助决策提供理论依据。

**关键词:**CBR(case-based reasoning); 军事交通运输; 信息系统; 数据库系统

**中图分类号:**U491      **文献标志码:**A      **文章编号:**1000-2758(2015)04-0677-05

遂行多样化任务军交运输保障具有突发性、不确定性、非例行性等特点,要求部队指挥员要具备实时科学决策能力。当前,这种决策的优劣主要依赖指挥员的作战经验和认知水平。如何利用现代信息技术,借鉴和发挥历次决策积累的经验,将经验性决策转向智能型决策,推进部队现代化建设,全面提升指挥决策水平,提高军交运输保障能力是一个重要的研究课题,该研究具有重要的现实意义。本文针对军交指挥的内容和要求,利用显式的规则与隐式的案例知识,依托案例推理 CBR(case-based reasoning)和层次分析法 AHP(analytic hierarchy process),应用案例推理与规则推理的原理,建立基于案例推理的军交运输保障辅助决策算法,为基于信息系统的军交运输保障辅助决策提供理论依据。

## 1 建立案例库

### 1.1 军交运输保障案例

CBR 系统的案例表示是基于知识表示的一种表现形式,其表示方法有:语义网络、框架表示法、谓词逻辑表示法、过程表示法等形式。针对军交指挥的内容和要求,本文采用语义网络,区分遂行任务、

军交运输保障应对和军交运输保障实施 3 个方面,来构成一个军交运输保障案例描述。

遂行任务描述的内容,可以划分为遂行任务发生地的自然环境、交通情况、经济状态,以及事件的类型、强度、规模等特征信息;军交运输保障应对描述主要包括部队保障计划概述、输送计划表、梯队输送装载计划表、部队行军路线运输保障图、交通保障、技术保障、油料保障、通讯保障、防卫保障等;军交运输保障实施包括经验材料、多媒体素材等。

当遂行突发事件相似时,军交运输保障的内容、原则、目标、要求也基本相同。此时,突发事件的基本特征,就会影响到事件发生后军交运输保障的情况。根据实际情况,可以抽取特征因素来描述突发事件,特征因素用集合  $F$  表示,  $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7\}$ , 这里  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$  和  $f_7$ , 分别表示时间、区域、类型、等级、交通环境、经济损失和人员损失。

### 1.2 确定特征因素权重

#### 1) 军交运输保障方案优化层次结构图

根据遂行任务描述的内容,将每层的若干要素进行分析,连线构成之间的相互关系,如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

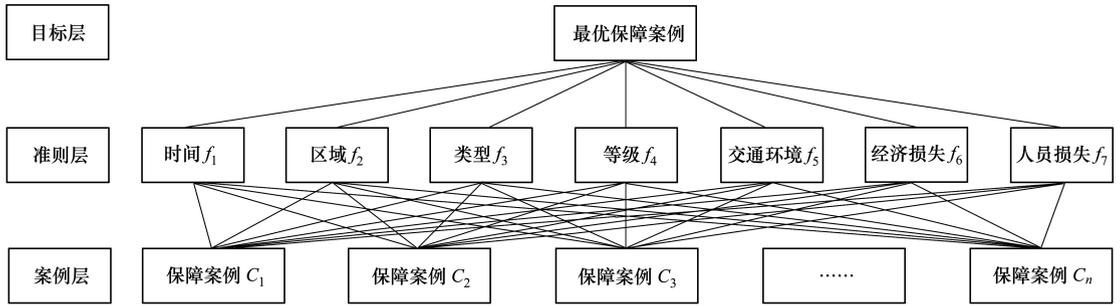


图 1 军交运输保障方案优化层次结构图

2) 计算特征因素权重

运用层次分析法,设计判断矩阵,由专家对因素

指标 ( $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7$ ) 相对最优保障案例 A 的重要性进行两两比较,结果表示为

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 1/3 & 1/13 & 1/7 & 1/9 & 1/11 \\ 5 & 1 & 2 & 1/9 & 1/3 & 1/5 & 1/7 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1/11 & 1/5 & 1/7 & 1/9 \\ 13 & 9 & 11 & 1 & 7 & 5 & 3 \\ 7 & 3 & 5 & 1/7 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 9 & 5 & 7 & 1/5 & 3 & 1 & 1/3 \\ 11 & 7 & 9 & 1/3 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

对列向量做归一化处理,可得

$$B = \begin{bmatrix} 0.0204 & 0.0078 & 0.0094 & 0.0393 & 0.0086 & 0.0114 & 0.0186 \\ 0.1020 & 0.0389 & 0.0566 & 0.0568 & 0.0200 & 0.0204 & 0.0293 \\ 0.0612 & 0.0195 & 0.0283 & 0.0465 & 0.0120 & 0.0146 & 0.0228 \\ 0.2653 & 0.3502 & 0.3113 & 0.5115 & 0.4198 & 0.5109 & 0.6150 \\ 0.1429 & 0.1167 & 0.1415 & 0.0731 & 0.0600 & 0.0341 & 0.0410 \\ 0.1837 & 0.1946 & 0.1981 & 0.1023 & 0.1799 & 0.1022 & 0.0683 \\ 0.2245 & 0.2724 & 0.2547 & 0.1705 & 0.2999 & 0.3065 & 0.2050 \end{bmatrix} \quad (2)$$

求行向量和,并做归一化处理

$$W = \begin{bmatrix} 0.0165 \\ 0.0463 \\ 0.0293 \\ 0.4263 \\ 0.0870 \\ 0.1470 \\ 0.2476 \end{bmatrix} \text{ 对矩阵 } A \text{ 加权乘积, } AW = \begin{bmatrix} 0.1196 \\ 0.3285 \\ 0.2066 \\ 3.4665 \\ 0.6472 \\ 1.1608 \\ 2.0349 \end{bmatrix} \quad (3)$$

由  $AW = \lambda W$ , 得到

$$\lambda = 1/7 \left( \frac{0.1196}{0.0165} + \frac{0.3285}{0.0463} + \frac{0.2066}{0.0293} + \frac{3.4665}{0.4263} + \right.$$

$$\left. \frac{0.6472}{0.0870} + \frac{1.1608}{0.1470} + \frac{2.0349}{0.2476} \right) = 7.5833 \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} = \frac{7.5833 - 7}{7 - 1} = 0.0972 < 0.1$$

接近于 0, 满足一致性检验。

权向量 (特征向量)

$$W = [0.0165, 0.0463, 0.0293, 0.4263, 0.0870, 0.1470, 0.2476]^T$$

由此得出军交运输保障案例选择要求重要性依次为: 等级 ( $f_4$ )、人员损失 ( $f_7$ )、经济损失 ( $f_6$ )、交通环境 ( $f_5$ )、区域 ( $f_2$ )、类型 ( $f_3$ )、时间 ( $f_1$ )。

## 2 基于 CBR 的模糊推理算法

### 2.1 模糊推理基本流程

基于 CBR 的模糊推理过程可以表述为 4 个主要步骤,推理流程如图 2 所示。

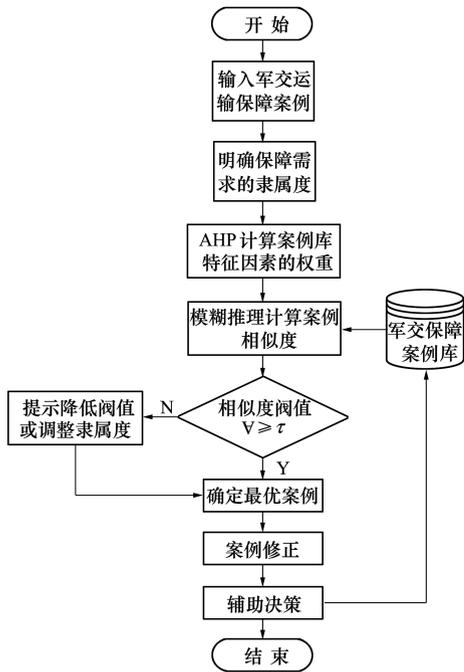


图 2 军交运输保障案例模糊推理流程

1) 案例库所储存的所有案例,在各特征因素下建立隶属度;对一个案例建立一个模糊集。对新预测方案的相似度,与案例库中已经存在的旧案例相似度进行比较;模糊匹配新、旧预测方案的相似度;这样,通过与已有案例最相近的案例比较,就可以发现新预测方案的答案。

2) 模糊化描述军交运输保障案例,建立起描述问题的模糊集,确定新预测方案在各特征因素下的隶属度。

3) 利用设定的相似度阈值进行预测。在特定环境条件下应对某类遂行任务事件的军交运输保障预测方案,还需要结合专家知识对此答案进行修正,反复比较新的预测结果与从案例库中检索出的已有案例答案的差别,尽量消除预测方案与已经存在的军交运输保障解决方案的差别,设法使 2 个方案的特征一致。

4) 把在特定环境条件下应对某遂行任务事件的军交运输保障预测方案的预测结果,变成新案例,

编入到案例库中,以便在下一次预测军交运输保障情况时,提高相似度<sup>[2-3]</sup>。

### 2.2 模糊推理算法

#### 1) 模糊化描述军交运输保障的案例

假设案例库中,已经储存  $n$  个军交运输保障的案例。

第  $i$  个军交运输保障的案例记为  $C_i (i=1,2,\dots,n)$ 。其特征因素集记为

$$F = F_i \{f_1, f_2, \dots, f_m\} \quad (5)$$

式中,  $F_i$  表示第  $i$  个案例的特征因素集,  $f_1$  至  $f_m$  表示特征因素集中的第  $m$  个特征因素。

军交运输保障案例  $C_i$ , 对于特征因素  $f_i (i=1,2,\dots,m)$ , 其隶属度是  $U_{C_i}(f_i)$ , 案例  $C_i$  对应的特征向量集为

$$\begin{aligned} V_{C_i} &= \{U_{C_i}(f_1), U_{C_i}(f_2), \dots, U_{C_i}(f_m)\} \\ &= \{U_{C_i}(f_j) \mid j=1,2,\dots,m\} \end{aligned} \quad (6)$$

设在特定环境条件下应对某类遂行任务的军交运输保障预测方案的特征向量集为  $V_T$ , 则

$$\begin{aligned} V_T &= \{U_T(f_1), U_T(f_2), \dots, U_T(f_m)\} \\ &= \{U_T(f_j) \mid j=1,2,\dots,m\} \end{aligned} \quad (7)$$

#### 2) 贴近度的计算

贴近度用来度量预测方案与已有案例的相似度。贴近度衡量的是 2 个模糊集的接近程度。设模糊集  $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C} \in \tilde{\psi}(X)$ , 贴近度为映射  $N$ 。

$$N: \tilde{\psi}(X) \times \tilde{\psi}(X) \rightarrow [0,1] \quad (8)$$

映射  $N$  满足下列一系列条件

$$\begin{aligned} N(\tilde{A}, \tilde{A}) &= 1, N(\tilde{X}, \varphi) = 0, N(\tilde{A}, \tilde{B}) = N(\tilde{B}, \tilde{A}) \\ \forall \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \subseteq \tilde{C}, N(\tilde{A}, \tilde{C}) &\leq N(\tilde{A}, \tilde{B}) \leq N(\tilde{B}, \tilde{C}) \end{aligned}$$

采用测度贴近度,对贴近度进行计算

$$N(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\int (\tilde{A}(X) \wedge \tilde{B}(X)) dx}{\int (\tilde{A}(X) \vee \tilde{B}(X)) dx} \quad (9)$$

定义  $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$  为有限集合  $X$ , 则上式改写为

$$N(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\sum_{j=1}^m u_{\tilde{A}}(X_j) \wedge u_{\tilde{B}}(X_j)}{\sum_{j=1}^m u_{\tilde{A}}(X_j) \vee u_{\tilde{B}}(X_j)} \quad (10)$$

对相似性判断运算,依据 1.2 中 AHP 分析方法计算的结果,赋予各特征因数不同的权重。为此设  $\{w_1, w_2, \dots, w_m\}$  的是特征因素  $\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$  的影响权重集,该影响权重集满足

$$\sum_{j=1}^m \omega_j = 1, (j=1,2,\dots,m) \quad (11)$$

为提高决策准确程度,将权重结合进(10)式,得到贴适度计算公式

$$N(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_j(u_{A_j}(X_j) \wedge u_{B_j}(X_j))}{\sum_{j=1}^m \omega_j(u_{A_j}(X_j) \vee u_{B_j}(X_j))} \quad (12)$$

### 3) 案例的相似性判断

依据贴适度计算公式(12),计算与军交运输保障案例库中各已知案例间特征因素的相似度。把计算所得各案例特征因素的贴适度作为相似度,取超过相似度阈值  $\tau$  的案例,作为在特定环境条件下应对某类遂行任务事件的军交运输保障预测方案的预测结果。且贴适度  $N(\tilde{T}, \tilde{C}_i)$  最大者为在特定条件下应对某遂行任务军交运输保障预测方案的最相似案例。以最相似案例中的军交运输保障数据为依

表 1 军交运输保障案例对突发事件特征因素的隶属度

特征因素/案例	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$
$C_1$	0.8	0.4	0.2	0.5	0.6	0.3	0.5
$C_2$	0.5	0.5	0.8	0.3	0.4	0.2	0.4
$C_3$	0.6	0.4	0.3	0.1	0.2	0.6	0.8
$C_4$	0.5	0.2	0.1	0.7	0.5	0.1	0.3
$C_5$	0.2	0.6	0.2	0.8	0.4	0.3	0.2
$C_6$	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.5
$C_7$	0.4	0.7	0.9	0.2	0.8	0.2	0.4
$C_8$	0.6	0.3	0.7	0.3	0.4	0.1	0.4
$C_9$	0.7	0.9	0.3	0.5	0.2	0.2	0.1
$C_{10}$	0.5	0.6	0.8	0.3	0.3	0.4	0.1

依据突发事件情况通报,可近似给出此次军交运输保障对 7 个特征因素的隶属度表示为

$$u_r(f) = \frac{0.3}{f_1} + \frac{0.6}{f_2} + \frac{0.2}{f_3} + \frac{0.8}{f_4} + \frac{0.1}{f_5} + \frac{0.4}{f_6} + \frac{0.5}{f_7}$$

上式中,  $T$  表示军交运输保障决策方案。

由 1.2 节基于 AHP 的计算已知各特征因素的权重为

$$W = [0.016\ 5, 0.046\ 3, 0.029\ 3, 0.426\ 3, 0.087\ 0, 0.147\ 0, 0.247\ 6]^T$$

根据公式(9),利用 Matlab 编程设计函数 AHPCBAJunJiaoAnLi(0.3,0.6,0.2,0.8,0.1,0.4,0.5)计算出预测案例与案例库中 10 个案例的贴适度分别为

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_1) = 0.673\ 0 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_2) = 0.483\ 9$$

据,对军交运输保障的各项需求,根据具体情况,进行适当修正和调整,作为军交运输保障预测方案的最优预测结果<sup>[4-5]</sup>。

## 3 算 例

突发事件发生时,负责地区维稳任务的机动部队进入战备状态,对其军交运输保障需求进行辅助预测,内容包括部队机动的方式、机动时间、机动路线和所需的车辆保障、技术保障、交通保障等情况。

假设保障案例库中,保存有遂行多样化任务部队军交运输保障案 10 个,即  $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}\}$ 。已有保障案例对 7 个特征因素的隶属度分别为表 1 所示。

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_3) = 0.380\ 9 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_4) = 0.678\ 5$$

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_5) = 0.804\ 5 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_6) = 0.456\ 5$$

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_7) = 0.396\ 3 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_8) = 0.446\ 0$$

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_9) = 0.521\ 7 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_{10}) = 0.424\ 7$$

通过比较案例相似度的大小,设阈值  $\tau = 0.8$ ,可以得知,预测案例与案例库中的案例  $C_5$  相似。

如果改变此次军交运输保障对 7 个特征因素的隶属度为

$$u_r(f) = \frac{0.4}{f_1} + \frac{0.3}{f_2} + \frac{0.8}{f_3} + \frac{0.1}{f_4} + \frac{0.7}{f_5} + \frac{0.3}{f_6} + \frac{0.6}{f_7}$$

则函数 AHPCBAJunJiaoAnLi(0.4,0.3,0.8,0.1,0.7,0.3,0.6)的计算结果为

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_1) = 0.553\ 9 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_2) = 0.572\ 6$$

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_3) = 0.638\ 4 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_4) = 0.324\ 5$$

$$N(\tilde{T}, \tilde{C}_5) = 0.297\ 5 \quad N(\tilde{T}, \tilde{C}_6) = 0.572\ 2$$

$$N(\bar{T}, \bar{C}_7) = 0.6682 \quad N(\bar{T}, \bar{C}_8) = 0.5416$$

$$N(\bar{T}, \bar{C}_9) = 0.2640 \quad N(\bar{T}, \bar{C}_{10}) = 0.3984$$

相似度没有超过阈值 0.8 的;调低阈值  $\tau = 0.6$ , 则案例  $C_3, C_7$  满足相似度要求。表明算法对不同隶属度的决策具有区分差异性。

## 4 结 论

本文将模糊理论应用于军交运输保障案例的研究中,提出了军交运输保障案例库建设的 7 个特征因素,设计了一种基于 AHP/CBA 的模糊推理算法,

并通过算例对提出的方法进行了验证。结果表明,设计基于 CBAP/CBA 的军交运输保障案例库,改变传统条件下基于经验的决策方法,推进武警部队后勤保障手段信息化、管理科学化,是完全可行的。需要指出的是,智能化的案例推理方法在案例数量较多时,决策结果会更贴近需求。因决策案例库只有 10 个案例,此次突发事件的军交运输保障方案预测,还应在相似案例的基础上,结合专家意见进行适当修改、调整,才能符合遂行任务军交运输保障实际。

## 参考文献:

- [1] Feng Pengcheng, Gao Shesheng, Xue Li. Auto Unit Emergency Transportation Support Ability Evaluation Based on FAHP[C] //Proc IEEE Symp Rob Appl, 2012: 307-310
- [2] Roger C S, David B L. Creativity and Learning Case-Based Ex-Plainer[J]. AI, 2008, 40(1/2/3): 45-60
- [3] 李建洋,陈雪云. 基于案例推理中案例表示的研究[J]. 合肥学院学报, 2007, 17(3): 23-27  
Li Jianyang, Chen Xueyun. Research on Case-Representation in Case-Based Reasoning System[J]. Journal of Hefei University, 2007, 17(3): 23-27 (in Chinese)
- [4] Shi Zhongzhi. An Applying Case-Based Reasoning to Engine Oil Design[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 2007, 11: 167-172
- [5] Ashim Bose, Maria Gini. A Case-Based Approach to Planar Linkage Design[J]. Artificial Intelligence in Engineering, 2007, 11: 107-119

# A Fuzzy Index Arithmetic Application for Military Communications and Conveyance Service Case Database Based on CBR/AHP

Feng Pengcheng<sup>1,2</sup>, Gao Shesheng<sup>1</sup>, Yang Yi<sup>1</sup>, Yan Haifeng<sup>1,3</sup>

(1. Department of Automatic Control, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)  
 (2. Logistics University of PAPF Military Transportation Department, Tianjin, 300309, China)  
 (3. AVIC Shenzhen Nanhang Industry GE. Co., Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** This paper analyzed the main content of the military communications and transportation case; combined with case based reasoning technique, a CBR/AHP case searching algorithm was designed in the military communications and transportation case database and verified by an example. It could provide the theoretical basis for the military transportation information system.

**Key words:** case based reasoning, military communications and conveyance, information systems, data base systems