

一种基于证据推理的装备保障资源评估方法

周志杰¹, 刘涛源¹, 李方志², 赵福均¹, 胡冠宇³, 于传强⁴

(1. 火箭军工程大学 控制工程系, 西安 710025; 2. 96602部队 北京 102488;
3. 海南师范大学 信息科学技术学院, 海口 570100; 4. 火箭军工程大学 发射工程系, 西安 710025)

摘要: 为解决目前多属性决策分析在处理不确定性问题上存在的不足, 提出一种基于证据推理的装备保障资源评估方法, 该方法通过融合多种不确定信息得到装备保障资源水平. 首先, 构建装备保障资源评估指标体系, 根据专家知识获取指标权重; 然后, 基于规则的输入信息转化法, 将指标数据转换到统一的置信框架下, 并建立基于证据推理的评估模型. 针对模型参数难以精确主观确定的困难, 建立非线性优化模型, 基于投影协方差矩阵自适应进化策略算法求解得到最优参数. 对某单位装备保障资源实例进行评估, 并通过对比分析验证所提出方法的有效性.

关键词: 装备保障资源; 证据推理; 评估; 指标体系; 参数优化

中图分类号: TP181 文献标志码: A

An evaluation method of equipment support resources based on evidential reasoning

ZHOU Zhi-jie¹, LIU Tao-yuan¹, LI Fang-zhi², ZHAO Fu-jun¹, HU Guan-yu³, YU Chuan-qiang⁴

(1. Department of Control Engineering, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China; 2. Troops of No.96602, Beijing 102488, China; 3. College of Information Science and Technology, Hainan Normal University, Haikou 570100, China; 4. Department of Launch Engineering, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, China)

Abstract: In order to solve the shortcomings of the current multi-attribute decision-making analysis in dealing with the uncertainty, this paper proposes an evaluation method of equipment support resources based on evidential reasoning. To obtain the evaluation level, various types of information under uncertainty is integrated. Firstly, the evaluation index system of equipment support resources is established and the weights are obtained from expert knowledge. Then, the data of index is transformed into an unified belief framework using the rule-based transformation techniques, and the evaluation model is developed based on evidential reasoning. Aiming at the difficulty of subjective determination of model parameters, a nonlinear optimization model is proposed and the optimal parameters are obtained based on the projection covariance matrix adaptation evolution strategy. A practical evaluation and comparative analysis example of a unit's equipment support resources are studied to validate the effectiveness of the proposed evaluation method.

Keywords: equipment support resources; evidential reasoning; evaluation; index system; parameters optimization

0 引言

装备保障资源是使用与维修装备所需的物资与人员的统称, 对装备保障资源的评估, 其本质是根据所获取的关于评价指标的信息, 利用相应的多属性决策方法来推理得到保障资源评估结果^[1].

在装备保障资源评估领域, 陈国钦等^[2]研究了雷达装备规划保障资源能力评估, 提出一种基于D-S证

据理论的评估方法, 将规划保障资源能力的评估指标作为评估证据, 通过计算证据间冲突程度提高了评估的信度; 马晓峰等^[3]基于人工神经网络理论及BP网络原理, 建立了装备保障资源评估模型, 以完成对装备保障资源各基本内容的评估. 上述两种方法能够对装备保障资源进行有效的评估, 但还存在两点局限: 一是装备保障资源系统结构复杂, 应用D-S理论

收稿日期: 2017-03-18; 修回日期: 2017-07-24.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61370031, 60736026); 中国博士后科学基金面上项目(2015M570847, 2016T90938); 陕西省自然科学基金项目(2015JM6354); 装备预研基金项目(9140C890204KG11001).

责任编委: 赵春晖.

作者简介: 周志杰(1978—), 男, 副教授, 博士, 从事测试与故障诊断等研究; 刘涛源(1994—), 男, 硕士, 从事证据推理的研究.

†通讯作者. E-mail: zhouzj04@mails.tsinghua.edu.cn

可能存在冲突证据的组合问题^[4-5];二是依赖于丰富的历史数据.

此外,用于解决多属性决策问题的方法还包括基于Bayes理论的方法和基于模糊理论的方法:

1) Bayes理论是一种能够对复杂不确定系统进行推理和建模的有效工具^[6],李俭川等^[7]总结了基于Bayes理论的方法主要优势^[8-9]:具有较强的不确定性问题处理能力,能有效地进行多源信息表达与融合.但是,基于Bayes理论的方法偏重于使用定量数据,无法有效使用诸如专家经验等定性知识,而且基于Bayes理论的方法只能处理概率不确定性,无法处理模糊不确定性和含糊性.

2) 1965年Zadeh提出模糊理论,1970年Bellman和Zadeh将模糊集理论引入多准则决策,提出了模糊决策分析的概念和模型,用于解决实际决策中的不确定性问题.陈小卫等^[10]应用模糊理论的方法研究了武器装备项目中的评估问题.文献^[11-12]指出,基于模糊理论的方法可以同时处理定量数据和定性知识,但是无法有效处理概率不确定性和不完整性.

装备保障资源系统结构复杂,指标数据多源,存在较大的不确定性.上述方法并不能有效地处理这些不确定信息,对装备保障资源进行准确的评估.周志杰等^[13]在D-S证据理论的基础上,提出了证据推理(Evidential reasoning, ER)算法. ER算法能够有效地利用多源信息解决多属性决策问题,对处理概率不确定和模糊不确定性问题具有较强的优势.

本文基于ER算法,提出一种能够有效利用多源信息解决装备保障资源评估问题的评估方法.针对模型参数难以精确主观确定的困难,建立非线性优化模型,基于投影协方差矩阵自适应进化策略算法求解得到最优参数.最后对某单位装备保障资源实例进行评估,并通过对比分析验证所提出方法的有效性.

1 基于ER的装备保障资源评估方法

建立如图1所示的装备保障资源评估模型,该模型包括4个部分:建立装备保障资源评估指标体系;根据指标信息转化方法,将指标数据转换到相对评估

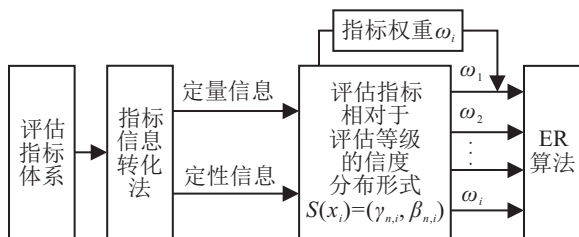


图1 装备保障资源评估模型

等级的信度框架中;根据专家知识获取指标权重;应用ER算法,融合指标置信度及权重信息,实现装备保障资源的评估.

1.1 装备保障资源评估指标体系

装备保障系统结构复杂,合理的保障资源是装备保障系统发挥其作战效能的物资基础和有效保障.装备保障系统所涉及的因素非常多,各要素之间的相互关联、作用和制约,共同决定了装备保障能力.通过调研、收集数据和专家咨询,对各维修资源及维修工作内容、流程进行分析,在兼顾定性和定量指标的基础上,建立如图2所示的评估指标体系.该评估体系包括总指标层、分指标层和基本指标层.总指标层是所要评估的装备保障资源评估的效能,分指标层由技术资料、保障器材与设备、备件器材准备、人员技术水平、训练与训练保障5个指标构成,基本指标层由武器系统技术资料、保障装备技术资料、设备数质量情况、设备配套率、备件储备结构、备件配套率、人员编配数量、人员技术素质、课目设置合理性、人员参加情况10个基本指标构成.

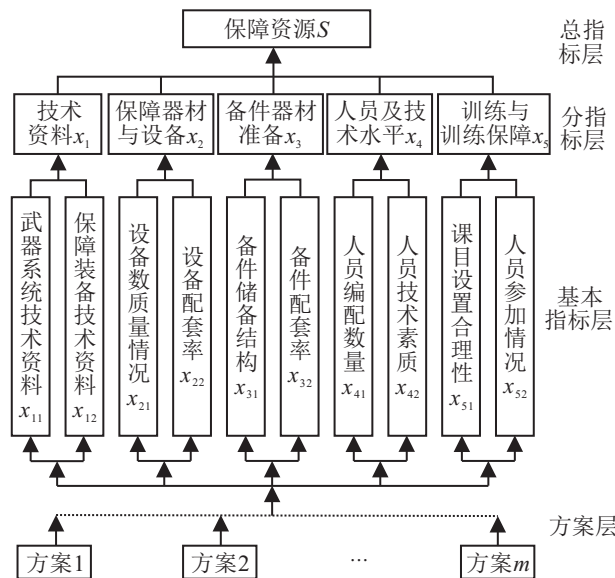


图2 装备保障资源评估指标体系

各评估指标的含义如下:

1) 技术资料. 技术资料是装备保障资源的重要组成部分,其配备的完整度一定程度上体现部队保障资源水平的高低,通常包括武器系统的技术资料 and 保障装备的技术资料,该指标可以从装备技术说明书、操作保养记录手册及保障分队演习训练所记录的资料等方面进行评估.

2) 保障器材与设备. 装备保障器材与设备是指用于装备维修保障的机具、仪器、仪表等工具的统称,是装备保障工作中不可缺少的内容,其评估指标相应确定为设备数质量情况、设备配套率情况.可利用统计方法,从保障分队的保障设备数量、功能发挥情况

和与作战装备的配套率情况等方面对该指标进行评价。

3) 备件器材准备. 通常指对武器装备中的关键部件或易发生故障的部件进行多个备份, 是保证武器装备效能发挥的基础, 保障力量生成和提高的重要途径. 评价备件器材准备可从备件储备结构和备件储备率两个方面进行, 通过对保障分队的备件管理体制和储备率的检查评分实现评估。

4) 人员及技术水平. 装备保障资源中的人员因素, 主要从人员编配数量、人员故障排除技术水平、故障维修技术水平等方面考虑, 通过对保障分队的人员编配情况的统计和技术素质的考核来完成对该指标的评价。

5) 训练与训练保障. 装备保障训练的水平, 应从训练的课目内容、时间设置、人员参加情况、考核成绩几个方面考虑, 因此通过课目设置合理性和人员参加情况两项指标来衡量训练与保障训练水平。

考虑到部队保密要求, 指标体系构建并不完整, 但基本涵盖了实际指标体系的核心内容, 结构合理. 同时, 本文侧重于评估方法的验证, 该指标体系满足评估需求。

1.2 指标信息转化方法

根据图2评估指标体系, 在装备保障资源评估过程中, 存在大量定量或定性的指标数据, 将这些不同类型的数据转换到统一的框架下是应用ER算法的前提. 信度分布形式描述的主要优点在于: 精确的数值数据、随机数据、不确定的主观分布型数据都可以在信度分布结构框架下建模. Yang提出的基于规则的输入信息转化技术, 依据决策者的知识与经验, 实现装备保障资源评估中定量与定性数据向统一信度框架的转换, 有效减小了主观不确定性. 通过变换, ER评估模型的输入向量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ 可以表示为如下信度分布形式:

$$S(x_i) = \{(\gamma_{n,i}, \beta_{n,i}), i = 1, 2, \dots, M, n = 1, 2, \dots, N_i\}. \quad (1)$$

1.2.1 定量信息转化

假设 $H = \{H_n, n = 1, 2, \dots, N\}$ 为评估装备保障资源总体效能所用的统一评估等级. 当输入 x_i 为定量信息时, 首先由决策者或专家建立一条规则, 将 x_i 的参考值 $A_{n,i} (n = 1, 2, \dots, N_i, N_i$ 表示参考值的个数) 与数值量 $\gamma_{n,i}$ 建立起对应关系, 即

$$\gamma_{n,i} \text{ means } A_{n,i}. \quad (2)$$

假设专家对较大值 $\gamma_{n+1,i}$ 的偏好程度高于较小

值 $\gamma_{n,i}$, 令 $\gamma_{N,i}$ 和 $\gamma_{1,i}$ 分别为最大值和最小值, 那么输入 x_i 的转化公式如下:

$$\beta_{n,i} = \frac{\gamma_{n+1,i} - x_i}{\gamma_{n+1,i} - \gamma_{n,i}}, \quad (3)$$

$$\beta_{n+1,i} = 1 - \beta_{n,i}, \quad (4)$$

$$\beta_{s,i} = 0, s = 1, 2, \dots, N_i, s \neq n, n + 1, \quad (5)$$

其中 $\beta_{n,i}$ 为指标 x_i 相对评估等级 H_n 的信度表达形式。

1.2.2 定性信息转化

装备保障资源指标体系中, 如“人员技术水平”、“课目设置合理性”等定性指标, 无法根据定量的方法计算得到, 而部队决策者和专家对体系指标掌握全面、准确, 在装备保障资源研究领域具有一定的权威性. 所以, 一般直接由部队决策者或专家根据经验知识给出评估指标相对于参考值 $A_{n,i}$ 的置信度 $\beta_{n,i}$. 例如, 如果 $\varepsilon_{n,i}$ 为专家给出的定性输入信息相对于 $A_{n,i}$ 的置信度, 则 $\beta_{n,i} = \varepsilon_{n,i}$, 从而实现定性信息向置信框架的转化。

1.3 基于专家知识的权重获取方法

指标权重是指标在整体评估中的相对重要程度以及所占比例的大小量化值, 目前常见的权重确定方法主要分为主观赋权法、客观赋权法、主客观综合集成赋权法3类。

对于装备保障资源评估指标而言, 其权重值的确定反映该保障单位的使命任务和发展方向. 由于评估指标的大部分数据在一定时间内都相对稳定, 如“保障装备技术资料”等, 这种非消耗性物件的数量、效用在一定时间内变化很小, 所以对于这类指标可收集的定量信息少, 常见的客观赋权法并不具备实效性. 主观赋权法中的专家知识不但能够很好地将理论与工程实际结合起来, 专家集体决策确定指标权重也更贴近保障单位建设和发展实际。

同时, 考虑到专家决策中的主观因素, 为减少决策失误, 第2节将构建评估指标优化模型, 优化得到最优权重值 ω' , 有效弥补装备保障资源评估中主观不确定性的缺陷。

1.4 基于ER的装备保障资源评估方法

为了实现利用指标数据和ER算法实现对装备保障资源的评估, 首先假设 $x = [x_1, x_2, \dots, x_i], x_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 表示第 i 个评估指标, M 表示指标个数。

假设指标权重为 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i], \omega_i$ 表示第 i 个评估指标 x_i 的相对重要程度, 权重归一化为

$$0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^M \omega_i = 1. \quad (6)$$

定义装备保障资源水平的 N 个评估等级

$$H = \{H_1, \dots, H_n, \dots, H_N\}, \quad (7)$$

其中 H_n 为装备保障资源第 n 个评估等级,表示装备保障资源满足战备完好性与持续作战的能力的等级. H 的选择根据所研究的问题不同具体选择,一般来讲,划分等级越多,对系统的保障资源现状的描述便越详细越具体,但评估等级越多,计算量就越大. 评估指标 $x = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ 可用如式(1)的信度分布形式描述. 其中: $\beta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \leq 1, \beta_{n,i}$ 为第 i 个指标 x_i 被评估为等级 H_n 的信度. 如果 $\sum \beta_{n,i} = 1$, 则评估 $S(x_i)$ 是完备的,若 $\sum \beta_{n,i} \neq 1$, 则评估是不完备的.

基于 ER 迭代算法, Yang 等^[14-15] 进一步提出了 ER 解析算法,即

$$\hat{\beta}_n = \mu \times \left[\prod_{i=1}^M \left(w_i \beta_{n,i} + 1 - w_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \right) - \prod_{i=1}^M \left(1 - w_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \right) \right] / \left(1 - \mu \times \left[\prod_{i=1}^M (1 - w_i) \right] \right), \quad (8)$$

$$\mu = \left[\sum_{n=1}^N \prod_{i=1}^M \left(w_i \beta_{n,i} + 1 - w_n \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \right) - (N - 1) \prod_{i=1}^M \left(1 - w_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \right) \right]^{-1}, \quad (9)$$

其中 $\hat{\beta}_n$ 为相对于评价结果 H_n 的置信度. 得到最后的评估结果为如下信度分布形式:

$$S(x) = \{(H_n, \hat{\beta}_n), n = 1, 2, \dots, N\}. \quad (10)$$

2 参数优化模型

基于 ER 的装备保障资源评估方法,其指标权重来自于专家的经验知识,具有主观不确定性. 但专家又把握装备保障资源建设的中心和方向,他们能依据保障单位任务需求变化,在全部资源保持不变的条件

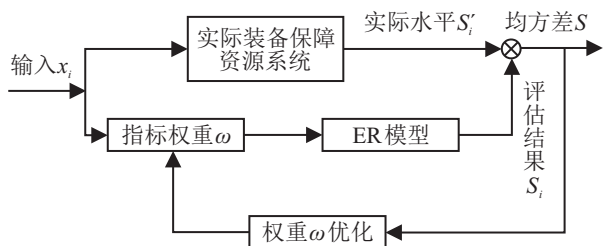


图3 指标权重优化模型

下,准确地指导各指标在人员、经费投入等领域的调整,使保障资源发挥最高效益. 因此,建立如图3所示的权重优化模型,由专家设置各指标约束条件,通过求解目标函数,不断优化指标权重,以获取最优的权重值,使评估结果更接近真实情况,提高保障资源评估模型的精确性.

2.1 目标函数

目标函数为装备保障资源评估结果与期望值的均方差^[16],即

$$\min s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - S_i')^2. \quad (11)$$

其中: S_i 为根据装备保障资源评估模型得到的评估结果, S_i' 为评估期望值.

2.2 约束条件

在作战保障时,保障需求大、范围广,而装备保障资源有限,因此需设置指标权重的取值范围. 对于分指标层,共包含5个指标,指标权重 $\omega_i (i = 1, 2, \dots, 5)$ 的约束条件为

$$\begin{cases} A_i \leq \omega_i \leq B_i, i=1, 2, \dots, 5; \\ \sum_{i=1}^5 \omega_i = 1, A_i, B_i \in [0, 1]. \end{cases} \quad (12)$$

基本指标的权重 $\omega_{i,j} (i = 1, 2, \dots, 5, j = 1, 2)$ 的约束条件为

$$\begin{cases} a_{i,j} \leq \omega_{i,j} \leq b_{i,j}, i = 1, 2, \dots, 5, j = 1, 2; \\ \sum_{j=1}^2 \omega_{i,j} = 1 a_{i,j}, b_{i,j} \in [0, 1]. \end{cases} \quad (13)$$

2.3 基于P-CMA-ES的权重优化算法

装备保障资源评估模型最优权重的选择是一个带有约束条件的优化问题. 采用投影协方差矩阵自适应进化策略算法 (Projection covariance matrix adaptation evolution strategy, P-CMA-ES)^[17] 对指标权重进行优化,使原始的 CMA-ES 算法^[18] 能够更好地处理约束问题. 文献[17]提出利用投影操作使解在优化过程中能被投射到约束可行域内,以提高评估模型的精度. P-CMA-ES 算法的基本步骤如下.

Step 1: 采样操作. 在解空间中以初始解为中心点,利用正态分布随机生成种群,种群中个体的个数可以在优化之前根据实际情况进行选择,此时种群的总体形态是一个多维空间中的椭球,椭球长轴对应种群的协方差矩阵.

Step 2: 选择与重组操作. 根据适应度值,在初始种群中选择若干优秀解作为下一代种群,然后计算新

种群的中心点。

Step 3: 投影操作. 将新生成的种群通过投影操作映射到约束可行域中, 使得新种群的个体可以满足约束条件. 在本文的情况中, 由于权重求和为1, 可行域为解空间中的超平面, 投影操作可通过垂直映射的方法实现。

Step 4: 更新协方差矩阵操作. 根据种群中最优解和初始协方差矩阵更新种群的协方差矩阵, 引导种群分布向最优解靠近。

Step 5: 重复上述操作, 算法满足条件停止迭代, 输出最终的最优解作为评估模型的最优参数向量。

2.4 基于ER的装备保障资源评估步骤

根据装备保障资源评估指标体系, 利用ER算法对装备保障资源进行评估和参数优化时, 具体步骤如图4所示。

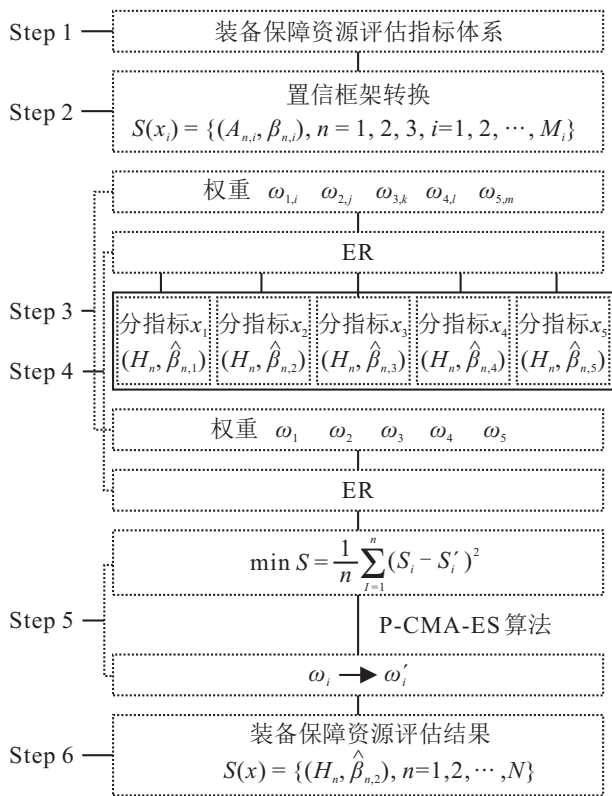


图4 装备保障资源评估步骤

Step 1: 构建装备保障资源评估指标体系. 在指标体系中, 总指标层为保障资源 S ; 分指标层 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , 分别表示技术资料、保障器材与设备、人员技术水平等; 基本指标层 $x_{1,i}, x_{2,j}, x_{3,k}, x_{4,l}, x_{5,m}$, 分别表示武器系统技术资料、保障装备技术资料等。

Step 2: 基于规则的输入信息转化法和专家知识, 将多源信息转换到式(1)的置信框架下, 即将基本指标层所有指标数据转化为相对于评估等级的信度分布形式。

Step 3: 根据项目调研, 从专家和决策者中获取评估指标权重。

Step 4: 基于ER解析算法, 如式(8)和(9), 依次对基本指标层和分指标层指标进行融合评估, 得到如式(10)的装备保障资源评估结果。

Step 5: 采用P-CMA-ES算法求解目标函数, 完成指标权重优化, 得到最优权重值下的装备保障资源评估模型。

Step 6: 对优化后的模型进行测试, 验证基于ER算法的装备保障资源评估模型的精确性。

3 实例应用

应用该装备保障资源评估模型, 对某保障单位的装备保障资源进行评估. 在评估中, 选择3个评估等级: “无法满足(H_1)”、“基本满足(H_2)”、“满足(H_3)”. 根据该单位在保障任务重的实际表现, 评审专家组依据评分标准和经验, 对装备保障资源水平进行量化评估, 该评估值真实反映了保障单位的装备保障资源水平. 选取20组装备保障资源数据, 其中14组作为训练数据, 通过对模型的训练得到最优权重值; 剩余6组作为测试数据, 验证模型的准确性。

3.1 指标数据转换

应用规则的输入信息转化技术, 结合专家经验, 将定量指标和定性指标转化到统一的信度框架下: 以 $\beta_{n,j}^i (i = 1, 2, 3, j = 1, 2, n = 1, 2, 3)$ 表示第 i 个分指标中第 j 个基本指标评价为等级 n 的置信度, 以 $\beta_{n,i}$ 表示分指标层第 i 个指标评价为等级 n 的置信度。

3.2 指标权重获取

根据图2所构建的评估指标体系, 将分指标层的权重表示为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_5$, 则基本指标层的权重可表示为 $\omega_{1,1}, \omega_{1,2}, \omega_{2,1}, \dots, \omega_{5,2}$, 由专家知识得到的各评估指标的初始权重如表1所示。

表1 各指标初始权重

ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5
0.15	0.25	0.15	0.25	0.2
$\omega_{1,1}$	$\omega_{1,2}$	$\omega_{2,1}$	$\omega_{2,2}$	$\omega_{3,1}$
0.35	0.65	0.36	0.64	0.4
$\omega_{3,2}$	$\omega_{4,1}$	$\omega_{4,2}$	$\omega_{5,1}$	$\omega_{5,2}$
0.6	0.48	0.52	0.6	0.4

3.3 参数优化

专家给出各指标权重的约束范围. 分指标层指标约束范围为

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.1 \leq \omega_1 \leq 0.2, \\ 0.2 \leq \omega_2 \leq 0.4, \\ 0.1 \leq \omega_3 \leq 0.3, \\ 0.25 \leq \omega_4 \leq 0.4, \\ 0.1 \leq \omega_5 \leq 0.3, \\ \sum_{i=1}^5 \omega_i = 1; \end{array} \right.$$

基本指标层指标约束范围为

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.3 \leq \omega_{1,1} \leq 0.55, \\ 0.45 \leq \omega_{1,2} \leq 0.7, \\ 0.3 \leq \omega_{2,1} \leq 0.5, \\ 0.5 \leq \omega_{2,2} \leq 65, \\ 0.3 \leq \omega_{3,1} \leq 0.5, \\ 0.5 \leq \omega_{3,2} \leq 0.65, \\ 0.3 \leq \omega_{4,1} \leq 0.55, \\ 0.45 \leq \omega_{4,2} \leq 0.7, \\ 0.4 \leq \omega_{5,1} \leq 0.55, \\ 0.3 \leq \omega_{5,2} \leq 0.5, \\ \sum_{j=1}^2 \omega_{i,j} = 1. \end{array} \right.$$

根据约束条件,应用基于P-CMA-ES优化算法的优化模型求解目标函数,得到最优权重值如表2所示.

表2 优化后的权重分布表

ω_1'	ω_2'	ω_3'	ω_4'	ω_5'
0.1200	0.3200	0.1200	0.3200	0.1200
$\omega_{1,1}'$	$\omega_{1,2}'$	$\omega_{2,1}'$	$\omega_{2,2}'$	$\omega_{3,1}'$
0.3000	0.7000	0.3250	0.6750	0.4634
$\omega_{3,2}'$	$\omega_{4,1}'$	$\omega_{4,2}'$	$\omega_{5,1}'$	$\omega_{5,2}'$
0.5366	0.3000	0.7000	0.5500	0.4500

3.4 基于ER的装备保障资源评估

第3.1节和3.2节将不同类型指标的数据转换到统一的信度框架下,根据专家知识得到了各级指标权重,第3.3节应用P-CMA-ES算法优化指标权重,得到了最优权重值,装备保障资源评估模型的精度进一步提高.将评估指标信息录入开发的评估演示软件中,依次对评估指标体系中的基本指标层和分指标层指标进行融合,得到装备保障资源评估结果如图5所示.



图5 装备保障资源评估系统

信度分布、柱状图、饼状图3种表现形式有助于决策者和专家对评估结果形成感性认识,为部队装备保障资源决策提供参考依据.

应用优化前后的装备保障资源评估模型、模糊理论、D-S证据理论对6组数据进行评估测试,求得其与期望值的均方误差如表3所示.

表3 各类评估方法均方差误差比较

评估方法	MSE
优化前的ER	7.2647×10^{-5}
优化后的ER	4.6366×10^{-5}
模糊理论	3.5617×10^{-4}
D-S证据理论	9.0596×10^{-4}

通过比较,对于装备保障资源评估问题,基于模糊理论和D-S证据理论的评估误差比基于ER算法的评估误差高出一个数量级,若采用前者方法得到的评估结果指导实践,则可能会严重偏离保障任务需求实际.同时,基于P-CMA-ES的指标优化权重方法有效提高了ER算法的评估精度,因此,所提出方法的精确性和有效性得到了验证.

4 结论

本文针对装备保障系统结构复杂化、指标数据少、定性与定量指标相结合等特点,在分析Bayes理论、模糊理论、D-S证据理论等常见评估方法的优缺点的基础上,提出一种基于证据推理的装备保障资源评估方法.该方法能综合融合各类定量、定性的不确定信息,在构建评估指标体系的基础上建立了装备保障资源评估模型,考虑评估指标权重来自于主观决策,属于定性数据.因此,建立了基于P-CMA-ES的权重优化模型,通过训练和测试,确定最优权重值,评估模型精度得到进一步提高.最后开发设计了装备保障资源评估软件,实现了装备保障资源水平的快速有效评估,能够为领导层的决策提供快速、准确的依据.

参考文献(References)

- [1] 单志伟. 装备综合保障工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 332-335.
(Shan Z W. Equipment comprehensive protection project[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 332-335.)
- [2] 陈国钦, 张尊泉, 张伟. 基于证据理论的雷达装备规划保障资源能力评估方法[J]. 现代电子技术, 2005, 28(21): 11-13.
(Chen G Q, Zhang Z Q, Zhang W. One method to assess the ability of planning guaranteed resources of radar equipment based on D-S evidence theory[J]. Modern Electronics Technique, 2005, 28(21): 11-13.)
- [3] 马晓峰, 刘军, 何海龙. 基于神经网络的装备保障资源评估[J]. 装备学院学报, 2005, 16(1): 40-43.
(Ma X F, Liu J, He H L. Evaluation of equipment support resources based on neural network[J]. J of Equipment College, 2005, 16(1): 40-43.)
- [4] 郭惠昕. 基于模糊集的证据组合方法及其应用[J]. 控制与决策, 2008, 23(2): 229-232.
(Guo H X. Approach to evidence combination based on fuzzy theory and its applications[J]. Control and Decision, 2008, 23(2): 229-232.)
- [5] 韩德强, 杨艺, 韩崇昭. DS证据理论研究进展及相关问题探讨[J]. 控制与决策, 2014, 29(1): 1-11.
(Han D Q, Yang Y, Han C Z. Advances in DS evidence theory and related discussions[J]. Control and Decision, 2014, 29(1): 1-11.)
- [6] 陈英武, 高妍方. 贝叶斯网络扩展研究综述[J]. 控制与决策, 2008, 23(10): 1081-1086.
(Chen Y W, Gao Y F. Survey of extended Bayesian networks[J]. Control and Decision, 2008, 23(10): 1081-1086.)
- [7] 李俭川, 胡莺庆, 秦国军, 等. 基于贝叶斯网络的故障诊断策略优化方法[J]. 控制与决策, 2003, 18(5): 568-572.
(Li J C, Hu Y Q, Qin G J, et al. Optimizing method for fault diagnosis strategy based on Bayesian networks[J]. Control and Decision, 2003, 18(5): 568-572.)
- [8] Stephenson T A. An introduction to Bayesian network theory and usage[R]. Switzerland: IDIAP-RR 00-03, Dale Molle Institute, 2000.
- [9] Bresnick T A, Buede D M, Tatman J A. Introduction to Bayesian networks[C]. The 66th MORS Symposium. California: Naval Postgraduate School Monterey, 1998: 23-25.
- [10] 陈小卫, 王新政, 李春荣, 等. 基于模糊理论的武器装备项目中评估研究[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(8): 23-27.
(Chen X W, Wang X Z, Li C R, et al. Evaluation of weapon equipment project based on fuzzy theory[J]. Firepower and Command Control, 2012, 37(8): 23-27.)
- [11] 霍琰, 庄毅, 薛羽. 基于群体一致性强度的模糊评估方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(1): 153-157.
(Huo Y, Zhuang Y, Xue Y. Method of fuzzy evaluation based on group consistency intensity[J]. Control and Decision, 2014, 29(1): 153-157.)
- [12] 王坚强. 模糊多准则决策方法研究综述[J]. 控制与决策, 2008, 23(6): 601-612.
(Wang J Q. Overview on fuzzy multi-criteria decision-making approach[J]. Control and Decision, 2008, 23(6): 601-612.)
- [13] 周志杰, 杨剑波, 胡昌华, 等. 置信规则库专家系统与复杂系统建模[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 15-20.
(Zhou Z J, Yang J B, Hu C H, et al. Confidence rule base expert system and complex system modeling[M]. Beijing: Science Press, 2011: 15-20.)
- [14] Yang J B, Singh M G. An evidential reasoning approach for multiple-attribute decision making with uncertainty[J]. IEEE Trans on Systems, Man, & Cybernetics, 1994, 24(1): 1-18.
- [15] Yang J B. Rule and utility based evidential reasoning approach for multiple attribute decision analysis under uncertainty[J]. European J of Operational Research, 2001, 131(1): 31-61.
- [16] 宿勇. 基于遗传算法和蒙特卡洛仿真的保障资源优化配置方法[J]. 指挥控制与仿真, 2015(5): 99-103.
(Su Y. Optimization method of support resources configuration program based on GA and Monte Carlo simulation[J]. Command Control and Simulation, 2015(5): 99-103.)
- [17] Zhou Z J, Hu G Y. A model for hidden behaviour prediction of complex systems based on belief rule base and power set[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 2017, 99: 1-7.
- [18] Hansen N. The CMA evolution strategy: A comparing review[J]. Studies in Fuzziness & Soft Computing, 2006, 192: 75-102.

(责任编辑: 郑晓蕾)