

【其他研究】

基于模糊综合评估法的指挥自动化系统效能评估

唐世庆, 逯刚刚

(装甲兵工程学院 信息工程系, 北京 100072)

摘要: 确立了较为完备的指挥自动化系统效能评价指标体系, 建立了基于模糊综合评估的指挥自动化系统效能评价模型, 对指挥自动化系统效能评估具有一定的意义。

关键词: 指挥自动化系统; 效能评估; 模糊综合评估; 层次分析法

中图分类号: E917

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2010)08-0123-03

指挥自动化系统^[1-2]是战争机器的神经网络和必备手段, 是兵力的粘合剂和倍增器, 他实现了军队指挥的自动化, 可显著提高指挥员和参谋人员的指挥决策效能。指挥自动化系统的作战效能^[3-4]是指在特定的作战环境下使用指挥自动化系统的作战兵力执行作战任务能达到预期目标的程度。随着指挥自动化系统在现代高技术战争中地位的日益凸显, 其效能评估问题也变得越来越重要。他影响着系统从需求论证、设计、研制开发、应用到实战效果评估的全生命周期。由于指挥自动化系统的复杂性, 无论是其评估指标体系的确定还是评估方法的计算都存在很多不确定性因素, 故要全面系统地对其进行定量分析和综合评估是一件相当困难的事情, 而利用 AHP 法和模糊综合评估法对其进行评估则能很好地解决系统的不确定性问题。

1 指标体系的确立

要进行效能评估, 首先需建立起评价的指标体系。指标体系可以通过分析系统的能力需求和系统基本功能来建立。指挥自动化系统的功能主要取决于系统的应用背景及应用需求, 其基本功能主要包括指挥控制功能、信息功能(获取、传输、处理能力)、综合保障功能、安全保密功能和系统对抗功能。

根据指挥自动化系统的功能和特征建立递阶层次结构, 如表 1 所示。

2 模糊综合评估模型

模糊综合评估^[5-6](fuzzy comprehensive evaluation,

FCE)也称模糊综合评判, 是以模糊数学为基础, 应用模糊关系合成的原理, 对受到多种因素制约的事物或对象, 通过将一些边界不清的、不易量化的因素定量化进行综合评价的一种方法。其基本思想是首先定义一组评语(评价等级)集合, 如(优、良、中、一般、差), 然后通过多个专家打分, 获取所有评价指标的评价矩阵, 再将所有指标的评价值利用一组设定的隶属函数转化为隶属度, 并最终生成相应隶属度权重矩阵, 最后通过引入指标权重向量, 经过模糊变换运算得到一个具体的评估结果。其中隶属函数用于计算各评价值隶属于某评价等级的程度。其模糊综合评估法的评估流程如图 1。

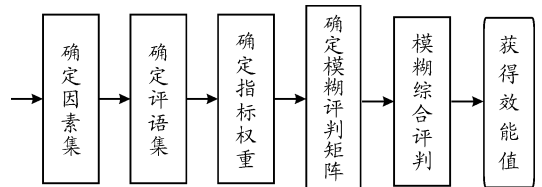


图 1 模糊综合评判流程

2.1 确定评估因素集(指标)

U_i 表示评估指标体系主因素层。 $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{im}\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, 表示评估指标体系的分因素层, 并将分因素按照特点以及隶属情况分别划入相应的主因素层。

2.2 确定评语集 V

评语集为指标的评价等级数, 可采用“优、良、中、差”或一级、二级、三级、四级等评语进行描述。

2.3 指标权重的确定

通过对指标进行两两比较建立判断矩阵来比较 n 个指标对某准则 C 的影响大小, 并用 1~9 的比例标度对重要程度进行赋值, 形成判断矩阵 A 。通常使用 AHP^[7-8]法

确定指标的权重 W 。

表1 指挥自动化系统效能评估指标体系

效能 度量	子效能 度量	性能 度量	尺度 参数
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	指挥 控制 能力 U_1	指挥控制 规模 U_{11}	指挥控制范围 U_{111}
			指挥控制时间 U_{112}
			人员编制规模 U_{113}
	指挥 控制 能力 U_1	辅助决策 能力 U_{12}	科学决策能力 U_{121}
			决策响应时间 U_{122}
			威胁判断能力 U_{123}
	指 挥 自 动 化 系 统 效 能	协同作战 能力 U_{13}	互联互通互操作能力 U_{131}
			控制协调能力 U_{132}
			时间同步精度 U_{133}
	指 挥 自 动 化 系 统 效 能	信息获取 能力 U_{21}	侦察探测范围 U_{211}
			发现目标概率 U_{212}
			识别定位能力 U_{213}
	指 挥 自 动 化 系 统 效 能	信息 能力 U_2	通信容量 U_{221}
信道种类 U_{222}			
传输速率 U_{223}			
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	信息 能力 U_2	误码率 U_{224}	
		传输延时 U_{225}	
		信息处理 能力 U_{23}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	信息 能力 U_2	处理质量 U_{231}	
		融合能力 U_{232}	
		存储分发能力 U_{233}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	综合 保障 能力 U_3	系统抗毁性 U_{311}	
		系统生存 能力 U_{31}	
		三防能力 U_{312}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	综合 保障 能力 U_3	系统重组能力 U_{313}	
		环境适应能力 U_{314}	
		设备维护能力 U_{321}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	综合 保障 能力 U_3	系统保障能力 U_{322}	
		后勤保障 能力 U_{32}	
		机要保障 U_{331}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	作战信息 保障 U_{33}	测绘气象信息保障 U_{332}	
		水文地形信息保障 U_{333}	
		设备抗毁能力 U_{411}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	安全 保密 能力 U_4	系统防护能力 U_{412}	
		信息保密能力 U_{421}	
		安全管理能力 U_{422}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	安全 保密 能力 U_4	电子干扰能力 U_{511}	
		电子防御能力 U_{512}	
		物理性摧毁能力 U_{521}	
指 挥 自 动 化 系 统 效 能	系统对 抗能力 U_5	高能电磁摧毁能力 U_{522}	
		软杀伤对 抗 U_{51}	
		硬杀伤对 抗 U_{52}	

2.4 确定模糊评估矩阵

建立一个从因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 到评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 的模糊映射即隶属函数, 然后根据隶属函数得到的值生成模糊隶属度矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$ 。其中: r_{ij} 表示第 i 个因素 U_i 对第 j 个评判等级 v_j 的隶属度。

2.5 模糊综合评判

由 $e = (A_1, A_2, A_3) [R_1, R_2, R_3]^T = (e_1, e_2, e_3)$ 可求得各单项指标的评估结果向量。其中: A_i 表示各指标对应的权重。对每层的评估结果向量进行归一化处理, 最后得到总效能评估向量, 再取评语集对应的具体评分值 $V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, 由 $E = B \times V$ 可得系统最终的效能。

3 实例计算

3.1 确定因素集、评语集和指标的权重

根据模糊评估理论, 多级模糊综合评估的基本思想是: 将众多的因素划分为若干层次, 使每层包含的因素较少; 按最底层中的各因素进行综合; 评估逐层依次往上进行, 一直到最高层得出总的评估结果。由于指挥自动化系统指标体系有 4 层, 因此采用三级模糊综合评估模型。在三级模糊综合评估模型中, 如何将集 W 和集 U 进行合理的划分是很关键的。

3.1.1 根据指标体系建立因素集

根据表 1 所建立的指标体系, 指挥自动化系统效能 U 分成 5 个子集 U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 , 且 $U_i \cap U_j = 0 (i \neq j)$ 。其余因素集已经标注在表 1 中。

3.1.2 确定评语集

评语集是系统可能运行的状态的集合。本文中采用四级评定, 即 $V = (v_1 = \text{优}, v_2 = \text{良}, v_3 = \text{中}, v_4 = \text{差})$, 采用百分制, 各级具体量化取值范围如表 2 所示。

表 2 四级量化取值范围

等级	优	良	中	差
取值范围	90 ~ 100	80 ~ 90	60 ~ 80	0 ~ 60

3.1.3 确定指标权重

利用层次分析法可得到各级评估指标的权重如下。

一级指标权重为:

$$A = (0.3, 0.3, 0.15, 0.1, 0.15)$$

二级指标权重为:

$$A_1 = (0.4, 0.3, 0.3), A_2 = (0.4, 0.4, 0.2),$$

$$A_3 = (0.3, 0.4, 0.3), A_4 = (0.4, 0.6),$$

$$A_5 = (0.6, 0.4)$$

三级指标权重为:

$$A_{11} = (0.4, 0.3, 0.3), A_{12} = (0.4, 0.2, 0.4),$$

$$A_{13} = (0.4, 0.4, 0.2), A_{21} = (0.3, 0.4, 0.3),$$

$$A_{22} = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2), A_{23} = (0.3, 0.4, 0.3),$$

$$A_{31} = (0.3, 0.2, 0.3, 0.2), A_{32} = (0.5, 0.5),$$

$$A_{33} = (0.4, 0.4, 0.3), A_{41} = (0.6, 0.4),$$

$$A_{42} = (0.6, 0.4), A_{51} = (0.5, 0.5), A_{52} = (0.4, 0.6)$$

3.2 组织专家对受评估对象进行打分

由于篇幅所限, 这里只对一级指标即指挥控制能力进行效能打分, 见表 3。

表3 指挥自动化系统指挥控制能力效能打分

U_{111}	U_{112}	U_{113}	U_{121}	U_{122}	U_{123}	U_{131}	U_{132}	U_{133}
70	70	80	70	80	80	70	70	80

3.3 构造隶属度函数

根据已经确定的评语集和评语取值区间构造如下评分隶属度函数:

$$V_Y = \begin{cases} 1, 90 < u \leq 100 \\ 1 - \frac{90-u}{100-90}, 80 < u \leq 90 \\ 0, 60 < u \leq 80 \\ 0, u \leq 60 \end{cases} \quad (1)$$

$$V_L = \begin{cases} 1 - \frac{u-90}{100-90}, 90 < u \leq 100 \\ 1, 80 < u \leq 90 \\ 1 - \frac{80-u}{80-60}, 60 < u \leq 80 \\ 0, u \leq 60 \end{cases} \quad (2)$$

$$V_Z = \begin{cases} 0, 90 < u \leq 100 \\ 1 - \frac{u-60}{90-80}, 80 < u \leq 90 \\ 1, 60 < u \leq 80 \\ 1 - \frac{60-u}{60}, u \leq 60 \end{cases} \quad (3)$$

$$V_C = \begin{cases} 0, 90 < u \leq 100 \\ 0, 80 < u \leq 90 \\ 1 - \frac{u-60}{80-60}, 60 < u \leq 80 \\ 1, u \leq 60 \end{cases} \quad (4)$$

3.4 求模糊综合评判矩阵 R

将专家评分代入隶属度函数,由 m 个指标的隶属权重构成的隶属度权重评价矩阵 R_{11}, R_{12}, R_{13} 等:

$$R_{11} = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, R_{12} = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$R_{13} = \begin{pmatrix} 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

其中:所求得的模糊综合评判矩阵中 r_{ij} 表示指标 i 隶属于等级 j 的隶属度,这里分为 4 个等级,即优、良、中、差。

3.5 求取评估结果向量

由公式 $e = (A_1, A_2, A_3) [R_1, R_2, R_3]^T = (e_1, e_2, e_3)$ 可求得各单项指标的评估结果向量

$$e_{B11} = (0.4, 0.3, 0.3)R_{11} = (0, 0.65, 1, 0.35),$$

$$e_{B12} = (0.4, 0.2, 0.4)R_{12} = (0, 0.8, 1, 0.2),$$

$$e_{B13} = (0.4, 0.4, 0.2)R_{13} = (0, 0.6, 1, 0.4)$$

再由 $B_1 = A_1 \times [R_{11}, R_{12}, R_{13}]^T$ 可得上一级评估指标的评估结果向量。其中: $R_{ij} = e_{Bij}, e_{B1} = (0.4, 0.3, 0.3)R_1 =$

$(0, 0.65, 1, 0.35)$ 。

同理可以求得其余 4 项子功能的评估结果向量:

$$e_{B2} = (0, 1, 0.5, 0.5), e_{B3} = (0, 0.85, 1, 0.15)$$

$$e_{B4} = (0, 0.75, 1, 0.25), e_{B5} = (0, 0.8, 1, 0.2)$$

再由 $B = A \times [R_1, R_2, R_3, R_4, R_5]^T$ 可得上一级评估指标的评估结果向量 $e_B = (0, 0.8, 1, 0.2)$, 再对 $e_{B1}, e_{B2}, e_{B3}, e_{B4}, e_{B5}$ 进行归一化处理得:

$$e_{B1} = (0, 0.325, 0.5, 0.175), e_{B2} = (0, 1, 0.5, 0.5),$$

$$e_{B3} = (0, 0.85, 1, 0.15), e_{B4} = (0, 0.75, 1, 0.25),$$

$$e_{B5} = (0, 0.8, 1, 0.2)$$

取优、良、中、差对应的具体评分值 $V = \{95, 85, 75, 60\}$, 由效能 $E = B \times V$ 可得:

$$E = 80.545, E_1 = 75.625, E_2 = 80.535,$$

$$E_3 = 85.455, E_4 = 78.785, E_5 = 79.425$$

4 结束语

指挥自动化系统是一个复杂的大系统,其效能评估的方法有多种,且各有不同的特点。应用层次分析法和模糊综合评判法对指挥自动化系统的作战效能进行评估,需要考虑的因素比较具体。科学地将定性和定量结合起来,能使计算结果更加客观全面。通过对具体实例的分析可知,基于模糊综合评判的模型符合实际作战需要,能够克服系统的不确定性因素,具有良好的可行性、可用性和通用性,对其他系统的评估有一定的借鉴作用,对指挥自动化系统的论证、设计、研发、维护及作战运用研究也都具有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] 童志鹏,刘兴.综合电子信息系统[M].2版.北京:国防工业出版社,2008.
- [2] 刘桂芳,张健,陈凤滨.高技术条件下的 C^4 ISR-军队指挥自动化[M].北京:国防大学出版社,2002.
- [3] 雷中原.基于模糊综合评判的舰艇电子战系统作战效能评估[J].电子信息对抗技术,2006,21(4):42-44.
- [4] 周刚.电子战系统作战效能 Fuzzy 评估[J].舰船电子对抗,2002,25(1):7-9.
- [5] 董允心,张杰,唐宏,等.效能评估方法研究[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [6] 胡晓惠,蓝国兴,申之明,等.武器装备效能分析方法[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [7] 王莲芬,许树柏.层次分析法引论[M].北京:中国人民大学出版社,1992.
- [8] 段绍展.层次分析法在电子武器效能评估中的应用[J].电子信息对抗技术,2006,21(1):38-40.