

doi: 10.7690/bgzd.2022.10.013

# 基于模糊理论的武器装备模拟训练效果评估

刘春来

(武警士官学校军械系, 杭州 311400)

**摘要:** 针对武器装备模拟训练效果评估的问题, 运用模糊理论进行分析。从模拟训练和计算机自动评估的实际出发, 构建武器装备模拟训练效果评估指标体系; 基于模糊层次分析法, 建立武器装备模拟训练效果评估模型, 提出具体的评估方法步骤; 以某型装备分解结合模拟训练为例, 对评估方法步骤进行应用, 验证其有效性。结果表明, 该评估方法可为以计算机为平台的模拟训练自动评价提供参考。

**关键词:** 武器装备; 模拟训练; 模糊理论; 训练效果评估

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## Effect Evaluation of Weapon Equipment Simulation Training Based on Fuzzy Theory

Liu Chunlai

(Ordnance Department, Non-commissioned Officer Academy of PAP, Hangzhou 311400, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of effect evaluation of weapon equipment simulation training, fuzzy theory is used to analyze it. From the reality of simulation training and computer automatic evaluation, the evaluation index system of weapon equipment simulation training effect is constructed. Based on the fuzzy analytic hierarchy process, the evaluation model of weapon equipment simulation training effect is established, and the specific evaluation method and steps are put forward. Taking a certain type of equipment decomposition and combination simulation training as an example, the application of the evaluation method and steps is carried out to verify its effectiveness. The results show that the evaluation method can provide a reference for the automatic evaluation of simulation training based on computer platform.

**Keywords:** weapon equipment; simulation training; fuzzy theory; training effect evaluation

### 0 引言

随着计算机技术的发展, 模拟训练已成为我军军事训练的重要手段。武器装备作为部队装备体系的重要组成部分, 其模拟训练系统是利用仿真技术实现武器装备训练的虚拟化, 可实现武器装备的理论学习和模拟实践训练功能, 模拟训练通过对传统训练的部分替代, 对于减少武器装备的损耗, 降低训练成本, 提高训练效率具有重要意义。开展训练应对训练的效果进行评估, 传统的装备训练经过长期实践已有一套较成熟的训练效果评估方法体系; 但对于近几年快速发展的基于计算机操作的装备模拟训练, 传统的训练效果评估方法并不适用, 相关的研究也较少。为更好地反映模拟训练中受训人员的技能水平, 笔者采用模糊理论对武器装备模拟训练效果评估进行分析, 并在武器装备模拟训练系统研发中进行应用, 为系统的研发成功提供了帮助, 在实践中也取得了较好的效果。

### 1 武器装备模拟训练效果评估模型

#### 1.1 评估指标体系

在武器装备模拟训练中, 对训练效果的评估主要是依据评估模型进行计算机编程, 由武器装备模拟训练系统自动给出评估结果。结合武器装备模拟训练实际, 在咨询相关专家意见的基础上, 参考训练效果评估指标体系建立的原则<sup>[1-6]</sup>, 确定武器装备模拟训练效果评估指标体系如图 1 所示。

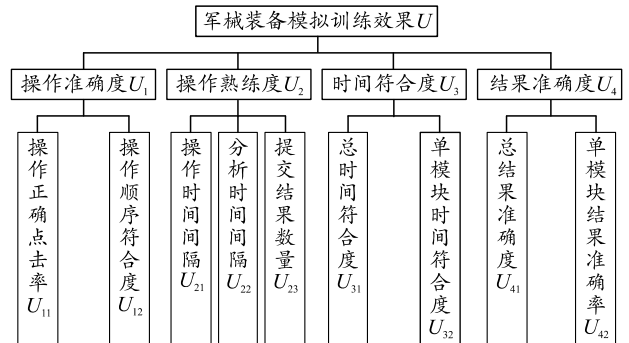


图 1 武器装备模拟训练效果评估指标体系

收稿日期: 2022-06-21; 修回日期: 2022-07-20

基金项目: 武警部队数据工程建设项目(SJ2018KT03)

作者简介: 刘春来(1989—), 男, 河南人, 硕士, 讲师, 从事武器装备维修研究。E-mail: 70450721@qq.com。

上图中的评估指标体系根据计算机自动评价的特点, 从操作准确度、操作熟练度、时间符合度、结果准确度 4 方面进行评估。各评估指标的含义描述如下。

#### 1) 操作准确度。

在武器装备操作过程中, 操作是否正确直接关系到装备的状态和安全, 提高装备的操作准确度是进行模拟训练的重要目的。本文中操作准确度通过操作正确点击率  $U_{11}$ 、操作顺序符合度  $U_{12}$  2 个指标来衡量。操作正确点击率是指在操作过程中正确点击次数占总点击次数的比率; 操作顺序符合度是指操作的顺序步骤与该项目参考操作顺序的匹配度, 用百分比表示。

#### 2) 操作熟练度。

操作的熟练程度直接影响装备操作水平, 进行模拟训练的另一个重要目的是提高受训人员装备操作的熟练程度。本文中操作熟练度通过操作时间间隔  $U_{21}$ 、分析时间间隔  $U_{22}$ 、提交结果数量  $U_{23}$  这 3 个指标来衡量。操作时间间隔  $U_{21}$  是指开始操作后, 包括正确操作和错误操作的 2 次操作之间平均时间间隔, 用实际操作时间间隔与参考时间间隔的比率表示; 分析时间间隔  $U_{22}$  是指在项目开始到开始进行实质操作前, 进行操作前分析所使用的平均时间间隔, 用实际分析时间间隔与参考分析时间间隔的比率表示; 提交结果数量  $U_{23}$  是指在一次训练中提交的结果次数与参考提交结果次数的匹配度, 为便于计算机实现, 该指标用实际提交结果次数与参考提交结果次数之差的绝对值与参考提交结果次数的比率表示。

#### 3) 时间符合度。

操作时间是衡量操作水平的重要指标。本文中时间符合度通过总时间符合度  $U_{31}$ 、单模块操作时间符合度  $U_{32}$  来衡量。对于一个仿真训练项目, 有的由多个模块组成, 有的由单个模块组成。对于每一个仿真训练项目, 系统都设置了操作总参考时间和相应模块操作时间, 时间符合度就是实际操作时间与参考操作时间的比值。

#### 4) 结果准确度。

操作结果是衡量操作人员操作效果的指标。本文中结果准确度通过总结果准确率  $U_{41}$ 、单模块结果准确率  $U_{42}$  来衡量。结果准确率就是提交的所有结果中正确结果的比率。

在上述武器装备模拟训练评估指标体系中, 所

有评价指标都是由计算机编程设定模拟训练项目数据库的设定参考值, 并由计算机对模拟操作过程进行测定、记录以及计算, 该指标体系用于评估模拟训练效果, 不需要人工评价, 能够大大提高模拟训练评估结果的客观性。

### 1.2 计算指标权重

确定各评估指标的权重是进行模拟训练效能评估的必要步骤, 常用的权重计算方法有很多, 如比较加权法、层次分析法、专家评价法等<sup>[7-8]</sup>。笔者采用层次分析法对指标权重进行计算。

#### 1) 构造判断矩阵。

针对不同评估指标对模拟训练效果影响程度的不同, 采用专家加权平均法, 首先应用 1~9 的比例标度方法进行重要性打分, 然后将专家打分值按式(1)进行平均化处理:

$$\bar{U}_{ij} = \sum_{x=1}^n U_{ijx} / x \quad (1)$$

式中:  $U_{ij}$  为  $U_i$  对  $U_j$  的相对重要性权值;  $n$  为专家的数量;  $U_{ijx}$  为第  $x$  位专家的评估值。利用式(1)对评估指标进行逐项计算得到的值, 进行矩阵排列便得到判断矩阵:

$$P=(U_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

#### 2) 计算权重。

计算权重就是求出判断矩阵  $P$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量  $W$ 。计算公式如下:

$$P_w = \lambda_{\max} W \quad (3)$$

将所得到的特征向量  $W$  进行归一化处理, 即为各指标的权重比例。

#### 3) 一致性检验。

笔者的判断矩阵是通过专家加权平均法得到的, 包含着人的主观判断, 还需进行一致性检验, 验证所得到的权重向量是否合理。检验公式如下:

$$CR=CI/RI \quad (4)$$

式中:  $CR$  为判断矩阵的随机一致性比率;  $CI$  为判断矩阵的一般一致性指标。它由式(5)得出:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1} \quad (5)$$

式(4)中:  $RI$  为判断矩阵的平均随机一致性指标, 对于 1~9 阶的判断矩阵,  $RI$  值如表 1 所示。

表 1 平均随机一致性指标  $RI$  的值

$n$	$RI$	$n$	$RI$	$n$	$RI$
1	0	4	0.90	7	1.32
2	0	5	1.12	8	1.41
3	0.58	6	1.24	9	1.45

当  $CR < 0.10$  时, 认为  $P$  具有满意的一致性, 即权重的分配是合理的; 否则, 需调整  $P$  中的元素, 直到其具有满意的一致性为止。

### 1.3 建立模糊评估矩阵

在利用模糊层次分析法进行效能评估时, 必须建立各评价指标的模糊评判矩阵, 即确定评估指标对评价集的隶属度。

#### 1) 建立评价集。

借鉴传统操作考核评估成绩评定方法, 笔者将评估结果集用  $V$  表示:

$$V = \{V_1, V_2, V_3, V_4\} = \{\text{优秀, 良好, 合格, 不合格}\}。$$

#### 2) 确定隶属度函数。

隶属度函数是用来确定评估结果与评价集对应关系的函数。在实际评估过程中, 确定隶属度函数的方法有多种, 常用的有经验法、统计试验法、专家咨询法等方法, 常用的函数有三角模糊数、梯形模糊数、正态分布函数等。对于武器装备模拟训练各评估指标, 笔者用专家经验法和统计试验法结合起来确定隶属度的函数曲线。经过曲线拟合, 对于不同的指标得到不同的隶属度函数曲线, 对于统计结果在  $0 \sim 1$  范围内, 结果越大越好的指标 ( $U_{11}$ 、 $U_{12}$ 、 $U_{41}$ 、 $U_{42}$ ) 其隶属度函数曲线如图 2 所示。

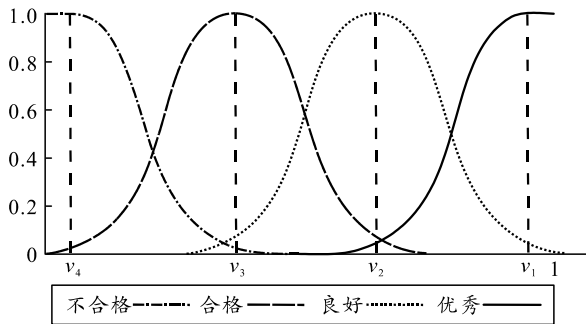


图 2 越大越好指标函数曲线

对于统计结果没有限制, 结果越小越好的指标 ( $U_{21}$ 、 $U_{22}$ 、 $U_{23}$ 、 $U_{31}$ 、 $U_{32}$ ) 其隶属度函数曲线如图 3 所示。

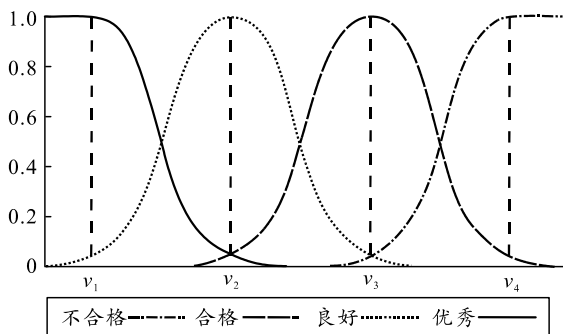


图 3 越小越好指标函数曲线

由图 2、3 可见, 无论对于何种指标, 笔者利用专家经验和统计试验相结合的方法得到的隶属度函数曲线都近似呈正态分布, 图中  $v_i (i=1, 2, 3, 4)$  表示每个评估指标对相应的评价结果统计出的均值。为便于计算, 笔者将图 2、3 中的曲线用正态分布函数进行表达, 作为评估指标的隶属度函数, 隶属度函数数学表达式为:

$$\Phi(v_p) = \exp[-((v_p - v_{mnp})/\sigma_{mn})^2]。 \quad (6)$$

式中:  $v_{mnp}$  为评估指标  $U_{mn}$  对于评价结果  $v_p$  的统计值的均值;  $\sigma_{mn}$  为评估指标  $U_{mn}$  对评价结果  $v_p$  的统计值的方差。

#### 3) 建立模糊评判矩阵。

根据上述隶属度函数, 对于每一个评估指标  $U_{mn}$  都能得到对应 4 个评价结果的 4 个隶属度, 将 4 个隶属度进行归一化处理后即得到评估指标  $U_{mn}$  对评价集的隶属度向量为  $[r_{mn1}, r_{mn2}, r_{mn3}, r_{mn4}]$ , 则  $U_m$  中的  $n$  个评估指标即可构成一个  $n$  行 4 列的模糊评判矩阵:

$$R_m = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & r_{n4} \end{bmatrix}。 \quad (7)$$

### 1.4 计算评估结果

#### 1) 计算评判向量。

将 1.2 节中得到的权重向量和 1.3 节中得到的评判矩阵相乘, 并利用分层计算的方法即可得到模拟训练效果的模糊评判向量<sup>[9-10]</sup>:

$$B = W \times R = W \times \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{pmatrix} = W \times \begin{pmatrix} W_1 * R_1 \\ W_2 * R_2 \\ \vdots \\ W_m * R_m \end{pmatrix}。 \quad (8)$$

将模糊评判向量  $B$  采用加权平均法进行归一化处理后得到的向量即为最终的评估结果向量。

#### 2) 确定评估等级。

为使武器装备模拟训练的评估成绩更符合人们的思维习惯, 笔者按照百分制对评价集中各评估结果按照各自代表的操作水平高低在  $[0, 100]$  区间内进行量化赋分, 其评语集赋分量化结果如表 2 所示。

表 2 评语集量化区间赋值

评估	评价值	评估	评价值
优秀	[85, 100]	合格	[60, 70]
良好	[70, 85]	不合格	[0, 60]

由于按照最大隶属度的方法确定评估结果，对各评估信息利用不够充分，且对于同一等级结果的好坏无法区分，笔者采用加权平均法确定评估结果，计算公式如下：

$$U = \sum_{i=1}^n b'_i \times (d_i + d'_i) / 2。 \quad (9)$$

式中  $d_i, d'_i$  分别为对评价结果  $v_i$  赋分的下限和上限。

## 2 应用实例

利用武器装备模拟仿真训练系统可以进行多种武器装备的分解结合、技术检查、勤务使用和故障分析排除等模拟训练，通过不同的训练内容，可以锻炼不同的操作技能。对于不同的训练科目，其训练水平的评价指标亦不相同。现以某型装备分解结合模拟训练考核效果的评估为例，说明武器装备模拟训练效果评估的过程。

### 2.1 某型装备模拟训练评估指标体系

装备的分解结合操作过程主要是下达开始操作命令后，受训者按照正确的分解顺序和要领对装备进行分解，分解完毕后，按照结合的顺序对装备进行结合。笔者结合分解结合模拟训练的实际，选择某型装备分解结合评估指标体系如表 3 所示。

表 3 分解结合模拟训练效果评估指标体系

总指标	第 1 层次指标	第 2 层次指标
分解结合模拟训练效果	操作准确度 $U_1$	操作正确点击率 $U_{11}$
		操作顺序符合度 $U_{12}$
	操作熟练度 $U_2$	操作时间间隔 $U_{21}$
		提交结果数量 $U_{22}$
	时间符合度 $U_3$	总时间符合度 $U_{31}$
结果准确度 $U_4$	总结果准确率 $U_{41}$	

### 2.2 指标权重确定

邀请 10 位专家对评估指标体系中各指标进行评估。以第 1 层次指标为例，采取 1.2 节中介绍的方法和步骤计算指标权重。其判断矩阵为：

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 7/3 & 2/3 & 3/4 \\ 3/7 & 1 & 1/4 & 1/3 \\ 3/2 & 4 & 1 & 4/3 \\ 4/3 & 3 & 3/4 & 1 \end{bmatrix}。$$

根据判断矩阵，利用方根法求出特征向量，并经归一化处理得：

$$W = (0.232, 0.097, 0.376, 0.294)。$$

最后计算得出：

$$\lambda_{\max} = 4.003。$$

同时可求得  $CI=0.001, RI=0.9, CR=0.001, CR=0.001 < 0.1$ ，说明判断矩阵具有满意的一致性，各指标权重的分配是合理的。

利用同样的计算方法可得： $W_1=(0.65, 0.35), W_2=(0.25, 0.75), W_3=(1), W_4=(1)$ 。

### 2.3 建立评估矩阵

某次分解结合模拟训练各评估指标对各评价结果的均值，均方差如表 4 所示，对于同一评估指标其对不同评价结果的均方差都是相同的。

表 4 评估指标对各评估等级的均值、均方差

评估指标	评估等级 $v_p$				均方差 $\sigma$
	优秀	良好	合格	不合格	
$v_{11}$	0.95	0.75	0.50	0.15	0.25
$v_{12}$	0.95	0.75	0.50	0.15	0.25
$v_{21}$	0.80	1.00	1.50	2.50	0.50
$v_{22}$	1.00	1.25	1.70	2.00	0.40
$v_{31}$	0.80	1.00	1.50	2.50	0.50
$v_{41}$	0.90	0.80	0.50	0.15	0.20

某次分解结合模拟训练各评估指标经计算机统计的统计值如表 5 所示。

表 5 各评估指标的统计值

评估指标	评价结果	评估指标	评价结果
$u_{11}$	0.86	$u_{22}$	1.23
$u_{12}$	0.91	$u_{31}$	1.38
$u_{21}$	1.32	$u_{32}$	0.85

将表 4、表 5 中的各统计值，代入式(6)中，按模糊评估矩阵计算的方法，即可得到模糊评估矩阵。

以评估指标操作准确度  $U_1$  为例，采用 1.3 节中的方法建立评估矩阵。

由于  $U_{11}=0.86$ ，其对评价集的隶属度向量为  $(0.878, 0.824, 0.126, 0)$ ，经过归一化后的值为  $(0.48, 0.451, 0.069, 0)$ 。 $U_{12}=0.91$ ，其对评价集的隶属度向量为  $(0.975, 0.664, 0.068, 0)$ ，经过归一化后的值为  $(0.571, 0.389, 0.04, 0)$ ，则得到评估指标操作准确度  $U_1$  的评估矩阵为：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.480 & 0.451 & 0.069 & 0 \\ 0.571 & 0.389 & 0.040 & 0 \end{bmatrix}。$$

用同样的计算方法可得：

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.258 & 0.405 & 0.306 & 0.031 \\ 0.361 & 0.501 & 0.126 & 0.012 \end{bmatrix}；$$

$$R_3 = [0.191 \quad 0.352 \quad 0.396 \quad 0.012]；$$

$$R_4 = [0.488 \quad 0.488 \quad 0.024 \quad 0]。$$

### 2.4 计算评估结果

按照 1.4 节中的计算方法可得：

$$R = \begin{pmatrix} W_1 \times R_1 \\ W_2 \times R_2 \\ W_3 \times R_3 \\ W_4 \times R_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0.512 & 0.429 & 0.059 & 0 \\ 0.335 & 0.477 & 0.171 & 0.017 \\ 0.191 & 0.352 & 0.396 & 0.012 \\ 0.488 & 0.488 & 0.024 & 0 \end{bmatrix};$$

$$B = W \times R = (0.367, 0.422, 0.186, 0.006)。$$

将得到的评判向量  $B$  按照加权平均法进行归一化处理, 即得到某型装备分解结合训练效果的模糊向量为:

$$B' = (0.374, 0.43, 0.19, 0.006)。$$

按照评估等级确定的方法, 利用式(9)计算得到本次某型装备分解结合模拟训练的效果为:

$$U = \sum_{i=1}^n b'_i \times (d_i + d'_i) / 2 = 80.4。$$

则对本次分解结合模拟训练的效果评价为 80.4 分, 评价等级为良好。

### 3 结束语

笔者基于模糊数学理论对武器装备模拟训练的效果评估问题进行了研究, 主要有以下 3 点结论:

1) 提出一种基于模糊理论的武器装备模拟训练效果评估方法, 建立了包含操作准确度、操作熟练度、时间符合度和结果准确度 4 个 1 级指标在内的评估指标体系, 构建了武器装备模拟训练效果评估方法模型。

2) 研究结果在武器装备模拟训练系统研发中得到应用, 较好地解决了武器装备模拟训练效果评估难的问题。

3) 研究结果对于各种自动评价问题具有较好

的借鉴意义, 也可供其他以计算机为平台的模拟训练评估参考。

但需要指出的是, 本文中的评估方法也不尽完美, 对于涉及到影响装备模拟训练效果的难以量化因素, 还有待进一步研究和完善。

### 参考文献:

- [1] 孙吉, 杨志飞, 刘义, 等. 基于模糊理论的装备模拟训练操作效果评估[J]. 通信对抗, 2011(2): 54-59.
- [2] 潘建峰. 船舶动力电力训练系统操作水平综合评估算法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2015.
- [3] 卢皓, 刘全胜, 绍思杰, 等. 某新型坦克武器系统训练模拟器使用成绩评定方法[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(10): 122-124, 136.
- [4] 郝亮亮, 张金生, 李婷, 等. 导弹武器模拟训练考评系统设计[J]. 系统工程与电子技术, 2020(4): 843-849.
- [5] 陈莹华, 杨玲. 面向仿真系统的自动测评关键技术研究[J]. 计算机与现代化, 2012(11): 59-61, 65.
- [6] 刘春来, 郭三学, 高义旗. 基于模糊层次分析法的非致命防暴弹作战效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(3): 60-63.
- [7] 郑娜娥, 赵智昊, 任修坤, 等. 基于模糊评判的模拟训练效果评估模型[J]. 软件, 2016(9): 68-71.
- [8] 熊会祥, 朱元昌, 邱彦强, 等. 基于 AHP-模糊综合评估方法的虚拟装备训练评估模型[J]. 兵工自动化, 2008, 27(12): 37-40.
- [9] 孙杰, 刁俊良, 李修和. 基于模糊综合评判的电子对抗装备作战运用训练效果评估[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(3): 105-107.
- [10] 王钦钊, 郭傲兵, 李小龙. 基于 AHP 的装甲分队模拟训练成绩评估方法[J]. 计算机仿真, 2015(10): 458-462.