

# 模糊综合评价在战术训练模拟系统中的运用

杨楠, 曹雷, 陈希亮, 周云

(解放军理工大学 指挥自动化学院, 江苏 南京 210007)

**摘要:**在分队战术训练模拟系统中,对参训者的操作质量进行评判是很有必要的。这有利于检验参训者的不足,提升参训者的作战能力,在之后的训练中更有针对性,大大提高了训练频度和训练效果。文中将模糊综合评价方法应用到分队战术训练模拟系统中,评价模型采用改进的指数标度的层次分析法确定各因素的权重,使得判断矩阵的一致性指标得到改善,并根据实际采用三角形式构造隶属函数。最后用一个实例对该方法进行验证,验证了该方法的有效性和实用性。

**关键词:**模糊综合评价;层次分析法;模拟训练;隶属函数

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)06-0203-04

## Fuzzy Comprehensive Evaluation Applied in Training Simulation System for Tactics

YANG Nan, CAO Lei, CHEN Xi-liang, ZHOU Yun

(Institute of Command Automation, PLAUST, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** It is necessary to evaluate the operation quality of the trainees in the training simulation system for tactics. The shortcoming will be tested and the force capability will be improved. The training will be more specific, that greatly improves the training frequency and effect. Fuzzy comprehensive evaluation method is applied to the training simulation system for squad tactics. The evaluation model uses AHP with improved index scale to confirm the weight of each element, which improves the consistency of judgment matrix, and membership function is structured using triangle form. The validity and utility of the method is affirmed by an example on this method at the end of the paper.

**Key words:** fuzzy comprehensive evaluation; AHP; simulating training; membership function

### 0 引言

在分队战术训练模拟系统中,要求参训者对单兵动作及分队战术进行操作,不仅要求动作前后顺序正确无误,也要求在动作的完整性以及操作的时机上符合要求。在操作完成后,应对操作结果进行评判,并对整个操作流程的质量给出相应的评价,这样才能使训练人员通过仿真训练找到不足,提高训练水平。然而,在仿真训练系统中,评判往往不能用传统的打分法来计量。这是因为仿真训练系统是针对军事技能进行训练的工具,它需要对参训者的动作、操作时间等各方面因素进行综合评估,再加上战术动作常用多、少、快、慢等模糊的修饰词来度量,涉及到大量的复杂现象和多种因素的相互作用,而且,评价中存在大量的模糊现象和模糊概念。因此,基于模糊变换的模糊综合评价方

法是仿真操作中评价操作质量优劣的最佳选择。

模糊集合理论<sup>[1]</sup>的概念于1965年由美国自动控制专家查德(L. A. Zadeh)教授提出,用以表达事物的不确定性。它是一种基于模糊数学的综合评价方法。该综合评价法根据模糊数学的隶属度理论把定性评价转化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价。它具有结果清晰、系统性强的特点,能较好地解决模糊的、难以量化的问题,适合各种非确定性问题的解决。在综合评价时,常用到模糊综合评价的方法进行量化处理<sup>[2]</sup>,取得了良好的效果。但权重的确定需要专家的知识 and 经验,具有一定的缺陷。为此,文中采用层次分析法来确定各指标的权系数,使其更有合理性,更符合客观实际并易于定量表示,从而提高模糊综合评判结果的准确性。

### 1 模型的建立

#### 1.1 模糊综合评价

模糊综合评价<sup>[3]</sup>是人类的一种重要的智力活动,

收稿日期:2011-10-16;修回日期:2012-01-18

基金项目:江苏省自然科学基金(BK2020130)

作者简介:杨楠(1984-),男,山东招远人,硕士研究生,研究方向为指挥自动化理论与技术;曹雷,教授,研究方向为计算机仿真、指挥自动化。

它对某事物根据多种因素分别给出的评判结果综合出一个综合各因素的评判结果<sup>[4]</sup>。其特点是评价结果不是绝对地肯定或者否定,而是以一个模糊集合来表示。

模糊综合评价涉及到以下三个要素:

- (1) 因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$
- (2) 评语集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$
- (3) 因素论域和评语论域之间的模糊关系

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$r_{ij}$  表示固定  $u_i$ , 得到评语  $v_j$  的程度, 也就是  $u_i$  对  $v_j$  的隶属度。因而  $R$  每一行代表一个因素的单因素评价。

## 1.2 确定因素集

首先应确定评价的指标体系, 针对分队战术训练模拟系统的自身特点选取评价因素。这里选取动作完整性、动作次序性、相邻动作间隔时间的符合率、武器使用熟练度作为考核操作人员的评价因素, 分别对应  $u_1$  到  $u_4$ 。

其中, 动作完整性是指操作者完成的动作  $n_i$  与相应标准规定应完成的动作总数  $n$  之比, 即:

$$u_1 = \frac{n_i}{n}$$

动作次序性是考察操作者所完成的动作的操作顺序是否正确, 可以表示为在整个操作过程中, 实际完成符合顺序动作的总数  $n_i$  与应完成动作总数  $n$  之比, 即:

$$u_2 = \frac{n_i}{n}$$

在战场上, 战机非常重要, 战术对相邻动作的时间间隔有着严格的限制, 相邻动作之间的间隔过短或者过长, 都有可能使得整个战术动作的整体质量下降甚至变得毫无意义。因此, 相邻动作间隔时间的符合率作为评价指标很有必要。相邻两个动作之间的间隔时间由专家给出一个时间区间, 相邻动作间隔时间的符合率即为满足专家给定的时间区间的动作数  $n_i$  与应完成的动作总数  $n$  之比, 即

$$u_3 = \frac{n_i}{n}$$

武器使用熟练度对于在战场上有效地保护自己, 消灭敌人起到了很重要的作用。在模拟仿真时, 操作者对于武器的使用是否熟练, 使用时机是否准确由专家评定给出,  $u_4 \in [0, 1]$ 。

## 1.3 确定评语集

对于不同的评价指标, 往往会形成不同的等级。如对一些职员的销售业绩的评价有很好、较好、一般、

差、很差等。文中根据研究的内容采用优秀、良好、中等、较差、很差作为评价等级, 分别用  $v_1$  到  $v_5$  表示。

## 1.4 权重的确定

一般来说, 因素集中的各个因素在整个评价中所起的作用有大有小, 不尽相同。因此, 因素集中的各个因素应有不同的权重, 以显出各自对评价结果不同的重要性。各因素权重可以记为  $\underline{W} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ ,

其中  $\omega_i$  表示第  $i$  个因素的权重, 且满足  $\sum_{i=1}^m \omega_i = 1$ 。

综合评价中权重的确定方法主要有德尔菲确定权重法、层次分析确定权重法、熵值确定权重法, 模糊聚类分析确定权重法等<sup>[5]</sup>, 这里使用层次分析法(AHP)。层次分析法(Analytic Hierarchy Process)是美国运筹学家 T. L. Saaty 教授于 70 年代初期提出的一种实用的多准则决策方法, 它将定量与定性相结合, 将人的主观判断用数量的形式进行表达和处理<sup>[6]</sup>。AHP 常采用 1-9 标度判断重要性<sup>[7]</sup>, 但用这样的方法分析的结果, 得出的权系数用于计算, 往往并不可靠<sup>[8]</sup>。为此, 一些学者先后提出改进的标度方法<sup>[9-11]</sup>, 以改善定权过程中判断矩阵的一致性。这里采用文献[10]提出的指数标度方法。

### (1) 因素重要性比较。

由于两两比较判断采用什么样的标度应该符合合理性原则及传递性原则, 这里为了有利于决策者对因素之间做出正确的比较, 将重要性标度等级及语言表达分为六个等级, 标度等级和标度定义如表 1 所示。

表 1 标度等级和标度定义表

相对重要程度	定义	说明
1	同等重要	两个目标同样重要
a	稍微重要	由经验认为一个目标比另一个稍微重要
a <sup>2</sup>	重要	由经验认为一个目标比另一个重要
a <sup>4</sup>	明显重要	深感一个目标比另一个目标重要
a <sup>6</sup>	强烈重要	强烈感到一个目标比另一个重要的多
a <sup>8</sup>	极端重要	相比之下一个目标过于重要, 使得另一个可有可无

按 Saaty 提出的在数字上人的判断极限值为 9, 则应有  $a^8 = 9$ , 即  $a = 1.3161$ 。

### (2) 构造判断矩阵。

根据两两重要性的对比, 得到一个判断矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nn} \end{bmatrix}$$

- (3) 计算特征向量  $\bar{W}$ 。
- i. 计算判断矩阵每一行元素的乘积  $M_i$
- $$M_i = \prod_{j=1}^n u_{ij}, (i, j = 1, 2, \dots, n) \tag{1}$$
- ii. 计算  $M_i$  的  $n$  次方根  $\bar{W}_i$
- $$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \tag{2}$$
- iii. 对向量  $\bar{W} = (\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n)^T$  作归一化处理,
- 即
- $$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \tag{3}$$
- iv. 指数标度下的一致性评价
- 判断矩阵的优劣标准要看是否满足以下两个条件:
- ① 人的判断思维一致性;

② 标度值一致性。

对于判断矩阵  $P$ , 若  $\omega_i$  为因素  $i$  的权重, 在完全一致性判断矩阵中, 应有:

$$u_{ij} = \frac{u_{in}}{u_{jn}}$$
$$u_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}$$

由于判断思维过程仅仅取决于人的因素, 使得在分析判断的时候会出现较大的思维一致性偏差。因此要求权重比与对应的相对偏差尽可能的小, 判断矩阵  $P$  的平均相对偏差为:

$$\varepsilon_P = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} \tag{4}$$

其中  $\varepsilon_{ij} = \frac{|\omega_i/\omega_j - u_{ij}|}{u_{ij}}$

1.5 选择模型

定义评语集合  $V$  上的模糊子集为

$$\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad 0 \leq b_j \leq 1$$

当知道模糊权重向量  $\underline{W}$  和模糊关系矩阵  $\underline{R}$  后, 就可得到模糊综合评价矩阵  $\underline{B} = \underline{W} \circ \underline{R}$ , 即

$$[b_1, b_2, \dots, b_n] =$$

$$[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m] \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

式  $\underline{B} = \underline{W} \circ \underline{R}$  中的“ $\circ$ ”为广义运算符号, 常用的模型有以下几种<sup>[12,13]</sup>:

- $M(\wedge, V), M(\cdot, V), M(\cdot, \oplus), M(\wedge, \oplus)$
- 考虑到在整个评判过程中, 应对操作者的操作进行全面综合评判,  $M(\wedge, V)$  和  $M(\cdot, V)$  属于主因

素突出型综合评价模型, 适合在某些专门考察特定操作的单项训练中运用。文中采用  $M(\cdot, \oplus)$  以考察各因素的影响, 即:

$$b_j = \min[1, \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot r_{ij}] \tag{6}$$

方便全面反映操作者的操作情况。

2 模型的求解

2.1 构造隶属函数

根据在分队战术训练模拟系统中的操作质量综合评价目标和评语要求将隶属函数定为偏小好型。采用三角形形式分布, 如图 1 所示。论域  $x$  对应评语集合的优秀、良好、中等、较差、很差的中心值分别取值为 0.1 到 0.5。也可以根据不同的评语要求对完成的操作记录进行统计, 确定因素集对评语集中不同评语隶属函数的中心值。

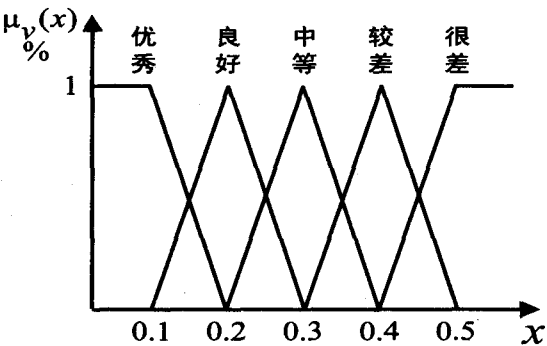


图 1 采用三角形形式的隶属函数分布形式  
各评语对应的隶属函数形式为:

$$\mu_{v1}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq x_1 \\ 1 - \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 0 & x < 0 \text{ 或 } x > x_2 \end{cases} \tag{7}$$

$$\mu_{vj}(x) = \begin{cases} \frac{x - x_{j-1}}{x_j - x_{j-1}} & x_{j-1} \leq x \leq x_j \\ 1 - \frac{x - x_j}{x_{j+1} - x_j} & x_j < x \leq x_{j+1} \\ 0 & x < x_{j-1} \text{ 或 } x > x_{j+1} \end{cases} \quad j = 2, 3, 4 \tag{8}$$

$$\mu_{v5}(x) = \begin{cases} 0 & x < x_4 \\ \frac{x - x_4}{x_5 - x_4} & x_4 \leq x \leq x_5 \\ 1 & x_5 < x \end{cases} \tag{9}$$

其中,  $x_1$  到  $x_5$  分别为 0.1 到 0.5。

2.2 建立评价指标

由因素集的四个因素指标之间的重要性得出评价矩阵如下(两两之间的重要性由专家根据实际环境给出):

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a & 1 & a^2 \\ \frac{1}{a} & 1 & \frac{1}{a} & a \\ 1 & a & 1 & a^2 \\ \frac{1}{a^2} & \frac{1}{a} & \frac{1}{a^2} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

由式(4)对其进行一致性判断得  $\varepsilon_p = 0.0103$ , 判断矩阵被接受。

将  $a = 1.3161$  代入得:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1.3161 & 1 & 1.7321 \\ 0.7598 & 1 & 0.7598 & 1.3161 \\ 1 & 1.3161 & 1 & 1.7321 \\ 0.5773 & 0.7598 & 0.5773 & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

由式(1)~(3)得出:

$$W = [0.30, 0.23, 0.30, 0.17] \tag{11}$$

2.3 应用模型评定成绩

现有操作者 A 和操作者 B 的指标评判, A 的动作完整性为 0.82, 动作次序性为 0.72, 相邻动作间隔时间的符合率为 0.77, 武器使用熟练度为 0.8。B 的动作完整性为 0.72, 动作次序性为 0.77, 相邻动作间隔时间的符合率为 0.82, 武器使用熟练度为 0.8。由于隶属函数采用偏小好型, 所以在测评中使用  $1 - u_i$  作为评估数据, 即  $u_1, u_2, u_3$  的错误率和  $u_4$  的不熟练度, 用  $\bar{u}_i$  表示。

由式(7)~(9)可得出操作者 A 和 B 的评价因素关于各评语的隶属关系如表 2 所示:

表 2 隶属关系

	$\bar{u}_i$	优秀	良好	中等	较差	很差
$\bar{u}_1$	0.18 0.28	0.2 0	0.8 0.2	0 0.8	0 0	0 0
$\bar{u}_2$	0.28 0.23	0 0	0.2 0.7	0.8 0.3	0 0	0 0
$\bar{u}_3$	0.23 0.18	0 0.2	0.7 0.8	0.3 0	0 0	0 0
$\bar{u}_4$	0.20 0.20	0 0	1.0 1.0	0 0	0 0	0 0

(表中的“|”左侧代表操作者 A 的值, 右侧代表操作者 B 的值)

将  $W = [0.30, 0.23, 0.30, 0.17]$  及表 2 所形成的模糊关系矩阵代入式(5)就可以算出模糊综合评价矩阵:

$$B_A = (0.06, 0.67, 0.27, 0.0)$$

$$B_B = (0.06, 0.63, 0.31, 0.0)$$

根据最大隶属度原则可以判定操作者 A 和 B 的最终评价结果为良好, 但是 A 的整体成绩略优于 B。通过实验可以看出, 当评判因素的值相差不大时, 通过模糊综合评价方法能够很好地评判出操作者的优劣。

3 结束语

文中根据分队战术训练模拟系统自身的特点, 应用模糊综合评价, 对操作者训练的操作质量提供一个综合评判的方法。实验证明基于层次分析法的模糊综合评价方法在分队战术训练模拟系统中得到了较好的应用。模型符合实际情况, 有利于提高模拟训练受训者的训练水平, 具备较好的应用价值。

参考文献:

[1] Zadeh L A. Fuzzy Sets[J]. Information and control, 1965(8): 338-353.

[2] 张 林. 高校环境质量评价体系的分析与研究[J]. 甘肃科技, 2006, 22(12): 120-121.

[3] Shen X, Guo X C. Multi-level fuzzy assessment method for high way network planning evaluation in China[J]. Intelligent Transportation System, 2002(3): 496-499.

[4] 何新贵. 模糊知识处理的理论与技术[M]. 第 2 版. 北京: 国防工业出版社, 1998.

[5] 杨卫平, 段丹青, 黄烟波. 警务绩效的模糊综合评价方法研究[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 228-231.

[6] Saaty A L. Modeling unstructured decision problems, the theory analytical hierarchies [J]. Math. Comput. Simulation, 1978, 20(2): 147-158.

[7] 岳超源. 决策理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[8] 侯岳衡, 沈德家. 指数标度及其与几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 1995, 15(10): 43-46.

[9] 王 浩, 马 达. 层次分析标度评价与新标度方法[J]. 系统工程理论与实践, 1993, 13(5): 24-26.

[10] 杨永清, 许先云. 改进的层次分析法用于矿井安全管理的综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 1999(6): 121-125.

[11] 舒 康, 梁镇伟. AHP 中的指数标度法[J]. 系统工程理论与实践, 1990, 10(1): 6-8.

[12] 王光远. 论综合评价几种数学模型的实质及应用[J]. 模糊数学, 1984(4): 81-88.

[13] 陈永义, 刘云丰. 综合评判的数学模型[J]. 模糊数学, 1983(1): 61-70.