

·测试、试验与仿真·

## 电子战系统作战效能的评估

余辉<sup>1</sup>, 苏震<sup>2</sup>, 刘荣<sup>1</sup>, 周磊<sup>1</sup>

(1. 63880 部队, 河南 洛阳 471003; 2. 二炮司令部, 北京 100093)

**摘要:** 电子战系统作战效能评估是电子战领域的一项重要课题. 从电子战系统作战效能概念入手, 介绍了层次分析法、模糊评判法和灰色系统理论方法 3 种效能评估的方法, 分析了各自优缺点. 熟练掌握这些评估方法, 可以为电子战系统的研制、鉴定和使用提供可靠准确的数据.

**关键词:** 电子战系统; 作战效能; 评估; AHP; 模糊评判; 灰色理论

**中图分类号:** TN976

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2010)03-0075-03

## Operation Effectiveness Evaluation of EW System

YU Hui<sup>1</sup>, SU Zhen<sup>2</sup>, LIU Rong<sup>1</sup>, ZHOU Lei<sup>1</sup>

(1. 63880 Army Unit, Luoyang 471003, China; 2. the Second Artillery Command, Beijing 100093, China)

**Abstract:** The operation effectiveness evaluation of EW system is an important subject in the field of EW. According to the concept of EW system operation effectiveness, three evaluating methods including AHP, fuzzy judgment and grey theory are introduced, their advantages and shortcomings are analyzed. Mastering these methods skillfully, we can provide the credible and exact data for developing, identifying and using EW systems.

**Key words:** EW system; operation effectiveness; evaluation; AHP; fuzzy judgment; grey theory

### 1 电子战系统作战效能基本概念

电子战系统作战效能评估对于电子战装备的发展及使用是十分重要的,且意义重大. 首先认识作战效能概念. 作战效能是指在规定条件下,运用武器系统的作战兵力执行作战任务所能达到预期目标的程度<sup>[1]</sup>. 作战效能涉及整个作战过程, 是任何武器系统的最终效能和根本质量特征. 电子战系统的作战能力通过对其作战效能的评估得以体现, 电子战系统的作战效能评估, 是利用一切可能的手段定量计算和评估电子战系统对敌方执行规定的作战任务时所能达到预期目标可能的程度<sup>[2]</sup>.

一般研究电子战系统作战效能评估主要做以下工作<sup>[3]</sup>:

- (1) 建立评估电子战系统作战效能的指标体系;
- (2) 评估指标的确定方法.

### 2 电子战系统作战效能评估的主要方法

电子战系统是复杂的武器系统,其作战效能呈现出较为复杂的层次结构,有些较高层次的效能指标与其下层指标之间只有相互影响,而无确定的函数关系,这时只有通过对其下层指标进行综合评价才能评估其效能指标. 常用的综合评价方法有层次分析法、模糊评判法和灰色系统理论方法. 下面分别介绍.

#### 2.1 层次分析法<sup>[1,4-6]</sup>

层次分析法是一种实用的多准则决策方法,该方法以其定性与定量相结合处理各种决策因素的特点,以及系统、灵活、简洁的优点,得到了广泛的重视和应用. 所谓层次分析法,即根据问题的性质和要达到的目标分解出问题的组成因素,并按因素间的相

收稿日期: 2009-04-20

作者简介: 余辉(1977-),男,工程师,硕士,主要研究方向为设备电子试验技术.

互关系及隶属关系,将因素层次化,组成一个层次结构模型,然后按层分析,最终获得最低层因素对于最高层(总目标)的重要性权值,或进行优劣性排序. AHP法把一个复杂的无结构问题分解组合成若干部分或若干因素(统称为元素),例如目标、准则、子准则、方案等,并按照属性的不同,把这些元素分组形成互不相交的层次,上一层次对相邻的下一层次的全部或某些元素起支配作用,这就形成了层次间自上而下的逐层支配关系,这就是一种递阶层次关系.在AHP中递阶层次思想占据核心地位,通过分析建立一个有效合理的递阶层次结构对于能否成功地解决问题具有决定性意义.

### (1) 构建评估对象的层次结构

首先把目标(评估对象)分解成为一个个的小问题,每一个问题称为一个元素,然后再把这些元素按不同属性分成若干组,形成不同的层次.以同一层次元素作为准则,它对下一层次元素起支配作用,同时又受到上一层次元素的支配,这种从上至下的支配关系就形成了一个递阶层次结构.层次数的多少要由评估对象的复杂程度和分析深度来决定,其底层元素即为所求的评估指标.

### (2) 确定判断矩阵

建立指标两两相互比较的判断矩阵.假设一组指标为  $n$  个,2个指标  $i$  和  $j$ ,用  $l_{ij}$  表示  $i$  和  $j$  对其上层指标的影响程度之比,则判断矩阵为

$$L = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $l_{ij} = \frac{1}{l_{ji}}$ ,  $l_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \dots, n$ .

### (3) 确定给指标的权重

首先进行层次单排序,再求判断矩阵  $L$  的最大特征值  $\lambda_{\max}$ ,再利用

$$LW = \lambda_{\max} W \quad (2)$$

求出  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量  $W$ ,  $W$  即为同一层次中相应元素对于上一层次中某因素相对重要性的权重  $W_i$ .

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{l_{ij}}{\sum_{k=1}^n l_{kj}} \quad (3)$$

其次,进行一致性检验.一致性指标  $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ,一致性比率  $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$ ,随机一致性

指标  $RI$  的值如表 1 所示.

表 1 随机一致性指标  $RI$  值

$N$	1	2	3	4	5	6	7
$R.I.$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36
$N$	8	9	10	11	12	13	14
$R.I.$	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

若一致性比率  $C.R. < 0.1$ ,判断矩阵  $L$  具有满意的一致性,  $\lambda_{\max}$  所对应的特征向量  $W$  即为权重;若一致性比率不满足  $C.R. < 0.1$ ,则需重新调整判断矩阵.

### (4) 计算系统的效能

设评估的系统对各元素的满意程度  $r_1, r_2, \dots, r_n$ ,则系统的效能为  $A$ .满意程度  $r_1, r_2, \dots, r_n$  是利用各元素与标准值或期望值比较得到的.

$$A = \sum_{i=1}^n \omega_i r_i \quad (4)$$

## 2.2 模糊数学方法<sup>[7-9]</sup>

电子战装备的效能评估即是按照一定的要求和规律对其效能进行评价和分类,由于现实评价和分类过程中部分影响因素或指标往往伴随着模糊性,所以用模糊数学方法来对电子战装备效能进行评价和分类是很自然的,从一定程度上也是符合客观实际的.常用的方法有模糊聚类和模糊综合评判决策分析法.一般步骤如下:

(1) 建立对电子战系统作战效能综合评判模型,各个指标对应的评判集  $V$ ;

考虑各级评判的精度需求,同时考虑计算的一致性,将系统的作战效能评估等级进行划分,可以将评判等级模糊子集定义为

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} \quad (5)$$

对于不同的评估子集,集合中各元素的含义不相同.

(2) 基本不建立各级单因素评判,确立模糊分布,并构成模糊评价矩阵;

建立各级从  $U$  到  $V$  的模糊映射关系

$$f: U \rightarrow F(V) \quad (\forall u_i \in U) \quad (6)$$

$$u_i \rightarrow f(u_i) = \frac{r_{i1}}{v_1} + \frac{r_{i2}}{v_2} + \cdots + \frac{r_{i5}}{v_5} \quad (7)$$

$$0 \leq i \leq 1.0, j = 1, 2, \dots, 5$$

确立模糊分布:对于在前面可以用准确数学模型描述的评价因子,需要通过公式计算数值,然后变换到模糊域内相应的隶属度.通过确立模糊分布(隶属

函数),可以求出模糊关系矩阵  $R_1, R_2, R_3$  中的元素  $r_{ij}$ ,即评判因素  $u_i (i=1,2,3,\dots)$  对评判等级  $v_j (j=1,2,3,\dots)$  的隶属度  $u_{ij}(u_i)$ . 各级评估因素相对于某一个评判等级的隶属度是受多方面因素影响的. 这里,采用最常见的模糊分布,即假定每个评判因素对每个评判等级的隶属函数是正态分布. 其形式为

$$u_{ij}(u_i) = \exp\left[-\left[\frac{u_i - m_{ij}}{\delta_{ij}}\right]^2\right] \quad (8)$$

式中,  $u_{ij}(u_i)$  为第  $i$  个因素  $u_i$  对第  $j$  个评判等级  $v_j$  的隶属度;  $m_{ij}$  为第  $i$  个因素  $u_i$  对第  $j$  个评判等级  $v_j$  的统计值的均值;  $\delta_{ij}$  为第  $i$  个因素  $u_i$  对第  $j$  个评判等级  $v_j$  统计值的方差.

(3) 构成各级模糊评价矩阵,进行综合评判

在求出各级模糊评价矩阵  $R$  和给出  $A$  后,则可根据式(10)计算出系统综合效能等级的评判向量.

$$R_I = \begin{matrix} r_{i1 \times 1} & r_{i1 \times 2} & \dots & r_{i1 \times n} \\ r_{i2 \times 1} & r_{i2 \times 2} & \dots & r_{i2 \times n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{in \times 1} & r_{in \times 2} & \dots & r_{in \times n} \end{matrix} \quad (9)$$

$$B = A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (10)$$

模糊方法采用模糊集来对指标进行量化,元素属于模糊集的隶属度是客观存在的,但都是根据模糊统计或指派等方法主观臆造的,所以应用模糊数学方法对电子战装备的效能进行评价和分类的关键是建立符合实际的隶属度函数.

### 2.3 灰色系统理论方法<sup>[10-12]</sup>

信息不完整的系统称之为灰色系统. 在电子战装备作战效能评估中,由于认识能力有限,很多影响因素或指标知之不准或不可能知道,所以可以用灰色系统理论来解决电子战装备的作战效能评估问题. 可以利用灰色理论的灰色关联分析和灰色聚类分析等方法对装备的效能进行评估,针对电子战系统作战效能的评估给出了灰色关联分析模型,并进行了讨论. 灰色关联分析法对电子战装备效能评估的工作流程如图 1 所示.

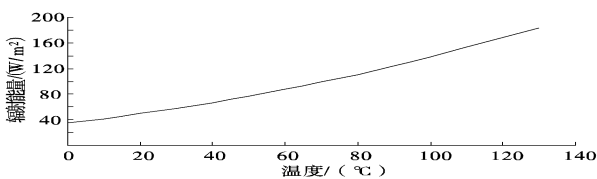


图 1 电子战系统作战效能的灰色关联分析流程

灰关联评估模型:假设战术、技术指标  $U_{11}, U_{12}, \dots, U_{n1}, U_{n2}, \dots, U_{nm}$  能通过试验中测量得到,  $X_1 = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(j)\}, \dots, X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(j)\}$  分别是不同装备指标  $U_{11}, U_{12}, \dots, U_{n1}, U_{n2}, \dots, U_{nm}$  的测试值序列,  $X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(j)\}$  是战术、技术指标的要求值. 基于灰色关联理论,序列  $X_0$  看作是参考序列,序列  $X_c (c=1,2,\dots,i)$  为比较序列,假设序列  $X_0$  和  $X_c$  已经过规范化处理,则灰关联系数  $\gamma(x_c(k), x_0(k))$  通过下式计算得到

$$\gamma(x_c(k), x_0(k)) = \frac{\min_c \min_k |x_c(k) - x_0(k)| + \xi \max_c \max_k |x_c(k) - x_0(k)|}{|x_c(k) - x_0(k)| + \xi \max_c \max_k |x_c(k) - x_0(k)|} \quad (10)$$

式中,  $\xi$  为分辨系数,通常取值为 0.5.

聚集灰关联系数  $\gamma(x_c(k), x_0(k))$  在各点的值,得到灰关联度的算式如下

$$\gamma(x_c, x_0) = \frac{1}{j} \sum_{k=1}^j \gamma(x_c(k), x_0(k)) \quad (11)$$

$E = \gamma(x_c, x_0)$  即认为是电子战系统的作战效能.

## 3 结 论

对于电子战系统的作战效能评估,上述层次分析法、模糊评判法和灰色系统理论方法各有所长.

(1) 层次分析法在处理一个由相互联系、相互制约的众多因素构成的复杂而又往往缺乏定量数据的系统时显示出其特有的优越性. 它用定性和定量相结合的方法处理各决策因素的特点,并且具有系统、灵活、简洁的优点;由于层次分析法中,建立判断矩阵通常采用专家打分或统计的方法,这样某些因素会出现空缺或不准确.

(2) 模糊综合评估的结果与模型综合评判模型的因素、各因素的权重、评价集以及模糊算子的选取紧密相关,上述 4 个方面直接影响着评判的结果;在进行模糊综合评判时,当因素较多时最好选用多极模糊综合评判用的指标体系集(因素集);只要获得足够的信息,模糊综合评估准则完全有能力给出一个较为合理的评估结果.

(3) 灰色理论方法所处理的是客观数据、小样本数据. 对于电子战装备的效能评估,受客观条件的限制,获得关于装备作战效能的数据很有限,但是这些少量的数据和信息就已经反映了装备的作战效能.

(下转第 84 页)

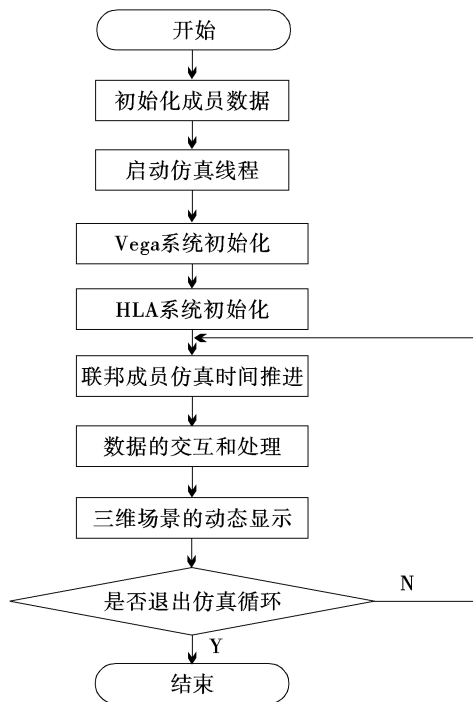


图 2 HLA 和 Vega 集成设计流程图

实现多线程同步控制,实现时间推进与帧同步刷新功能.图 2 给出了一个完整的基于 HLA 仿真框架的

光电视景仿真联邦成员的程序设计流程图.

## 5 结 束 语

结合 HLA 和 Vega 2 种不同的仿真开发平台,介绍了光电场景仿真的开发过程,提出了视景仿真开放中遇到一些关键问题的解决办法,较好地满足了光电仿真的实时性和直观性要求,在实际应用中取得了良好的仿真效果,为类似的视景仿真系统提供了相应参考.

## 参考文献

- [1] 龚卓蓉. Vega 程序设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2002:28-52.
- [2] 周彦,戴剑伟. HLA 仿真程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002:30-37,175-177,222.
- [3] 宋海松,张威. 基于 HLA 技术框架和 Vega 的程序设计方法研究[J]. 计算机仿真,2005(6):237-240.
- [4] 张开胜,曹之新,张建伟. 基于 HLA 的水面舰艇战术训练模拟系统仿真设计[J]. 舰船电子工程,2008(3).
- [5] 查荣,周希辰,唐霜天,等. 基于 HLA 的仿真程序设计研究[J]. 雷达与对抗,2008(3).
- [6] 王琳,孟晓风,钟波,等. 交互式飞行视景仿真系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报,2008,20(1).

(上接第 77 页)

所以灰色理论方法从少量的数据入手,通过灰生成的手段来对装备的作战效能进行评估,是一种新型的有效手段.

(4)而灰色理论方法与模糊数学的主要区别在于研究对象的内涵和外延的性质上.模糊数学着重研究“认知不确定”问题,其研究对象具有“内涵明确、外延不明确”的特点;灰色理论方法着重研究“内涵不明确、外延明确”的对象,重点解决模糊数学不能解决的“小样本、信息不确定”问题,其特点是少数数据建模.

实践中往往采用几种方法混合使用,如模糊层次法、灰色模糊法、灰色层次法等,各取其长,以期得到客观全面、准确定量的效能值,为评估电子战系统提供准确的数据.

## 参考文献

- [1] 郭齐胜,鄧志刚. 装备评估概论[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 邵国培. 电子对抗作战效能分析[M]. 北京:解放军出

版社,1998.

- [3] 陈永光,柯宏发. 电子信息装备试验灰色系统理论运用技术[M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [4] 时俊红. 武器系统效能评估方法浅论[J]. 火控雷达技术,2003(12):47-50.
- [5] 唐宏,陈少卿. 指挥控制系统的效能评估[J]. 系统仿真学报,2001(13):392-394.
- [6] 李宗吉,王树宗. 武器装备系统效能评估的几种方法[J]. 海军工程大学学报,2000(1):97-101.
- [7] 刘琳,陈云翔. 综合电子战系统作战效能评估[J]. 火力与指挥控制,2008,33(3):97-99.
- [8] 高晓滨. 电子战系统效能的模糊评估方法[J]. 火力与指挥控制,2005,30(1):69-72.
- [9] 刘普寅,吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,20001.
- [10] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中工学院出版社,1990.
- [11] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [12] 柯宏发,陈永光. 基于灰关联理论的电子装备作战效能评估[C]//中国运筹学会第八届学术交流会议论文集:681-686.