

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.013

## 基于灰色数据包络分析的指挥信息系统控制优势评估

赵师, 左学胜, 孙文纪

(蚌埠坦克学院 作战指挥室, 安徽 蚌埠 233050)

**摘要:** 综合运用灰色评估与数据包络分析方法, 建立了指挥信息系统控制优势评估指标体系, 对指挥信息系统控制优势进行了评估与优化。划分了指标灰类, 采用模糊三角数方法构造了判断矩阵, 并计算了指挥控制优势。最后, 对评估结果的不理想单元作了进一步的研究。

**关键词:** 灰色评估; 数据包络分析; 指挥信息系统; 控制优势

**中图分类号:** O224 **文献标识码:** A

## Command Information System Control Superiority Evaluation Based on Gray-DEA

ZHAO Shi, ZUO Xue-sheng, SUN Wen-ji

(Staff Room of Operation Command, Bengbu Tank Institute, Bengbu 233050, China)

**Abstract:** Establish the control superiority evaluation index system of command information system based on synthesized using gray evaluation and DEA method, evaluated and optimized the control superiority of command information system. Carved up the gray kind of index, constructed the estimate matrix based on blur triangle and computed the control superiority of command information system. Finally, aim at the validity of the no-ideality cell made a farther study.

**Keywords:** Gray evaluation; Data envelopment analysis; Command information system; Control superiority

### 0 引言

对指挥信息系统指挥控制优势进行评估, 是对现有部(分)队指挥信息系统信息指挥能力进行客观评价的重要内容。灰色评估模型对“小样本”、“贫信息”不确定性系统评估具有独特的优势, 能够给出灰色评估对象的具体数据乃至综合评估值。当评估结果不理想时, 可利用 DEA 有效性分析得出决策单元(DMU)不理想的原因、调整的方向以及调整后的结果预测等。故采用灰色评估方法(GA)

与数据包络分析(DEA)相结合的方法(GA-DEA), 对指挥信息系统控制优势进行评估与优化。

### 1 指挥信息系统控制优势灰色评估

#### 1.1 指挥信息系统控制优势评估指标体系的建立

指挥信息系统控制能力取决于指挥控制的范围、辅助决策的水平、系统服务水平和火力控制能力。围绕这4个方面建立指挥控制系统控制优势评估指标体系, 如图1。

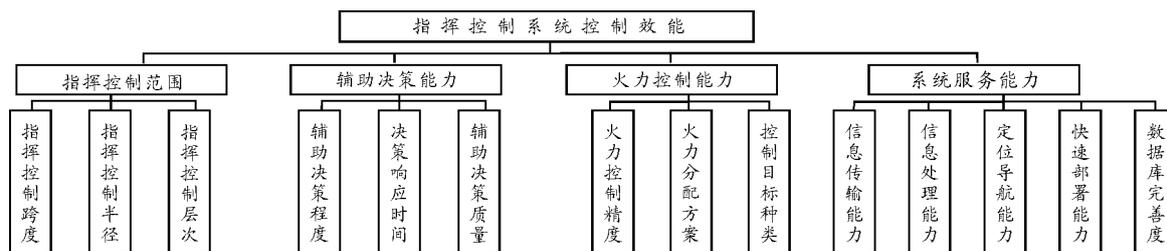


图1 指挥信息系统控制优势评估指标体系

#### 1.2 指挥信息系统控制优势评估方法及模型

##### 1.2.1 确定因素层次

设因素集为  $U = (U_1, U_2, \dots, U_m)$ ,  $U_i (i=1, 2, \dots, m)$  为第一层次中的第  $i$  个因素, 它由第二层次中的  $n$  个因素决定, 即  $U_i = (U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{in})$ ,  $U_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n)$ 。

##### 1.2.2 采集数据并划分灰类区间及相应量化值集

按照评估要求所需划分灰类数  $s$ , 将各个指标的取值范围也相应地划分为  $s$  个灰类, 例如将  $j$  指标的取值范围  $[x_j^1, x_j^{s+1}]$  划分为  $[x_j^1, x_j^2], \dots, [x_j^{k-1}, x_j^k], \dots, [x_j^s, x_j^{s+1}]$ , 其中  $x_j^k (k=1, 2, \dots, s)$  的值一般可根据实际问题的要求或定性研究结果确定。一般划分为5类,  $S = \{\text{差, 较差, 一般, 较好, 好}\}$ 。因此, 在下面的评估中各指标的评价灰类均为5类。其中,  $j$  指标

收稿日期: 2009-12-30; 修回日期: 2010-03-05

作者简介: 赵师(1982-), 男, 河北人, 硕士, 助教, 从事装甲兵装备建模、作战效能评估研究。

对应的区间分别为  $[x_j^1, x_j^2]$ 、 $[x_j^2, x_j^3]$ 、 $[x_j^3, x_j^4]$ 、 $[x_j^4, x_j^5]$ 、 $[x_j^5, x_j^6]$ 。指标体系划分灰类如表 1。

表 1 评估指标灰类

指 标	单 位	代 号	灰类 1	灰类 2	灰类 3	灰类 4	灰类 5	
指挥控制范围	指挥控制跨度	个	C <sub>1</sub>	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
	指挥控制层次	个	C <sub>2</sub>	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
	指挥控制半径	km	C <sub>3</sub>	3-6	6-8	8-11	11-14	14-17
辅助决策能力	辅助决策程度	次/h	C <sub>4</sub>	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18
	决策响应时间	min	C <sub>5</sub>	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
	辅助决策质量	%	C <sub>6</sub>	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
火力控制能力	火力控制精度	%	C <sub>7</sub>	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
	火力分配方案	%	C <sub>8</sub>	45-57.5	57.5-70	70-82.5	82.5-95	95-107.5
	控制目标种类	种	C <sub>9</sub>	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
系统服务能力	信息传输能力	%	C <sub>10</sub>	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
	信息处理能力	%	C <sub>11</sub>	35-55	55-65	65-75	75-85	85-95
	定位导航能力	%	C <sub>12</sub>	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
	快速部署能力	%	C <sub>13</sub>	30-50	50-60	60-70	70-80	80-90
	数据库完善度	%	C <sub>14</sub>	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100

1.2.3 确定  $j$  指标关于  $k$  灰类的白化权函数

1) 令  $\lambda_j^k = \frac{(x_j^k + x_j^{k+1})}{2}$  为属于第  $k$  灰类的白化权函数值为 1,  $(\frac{x_j^k + x_j^{k+1}}{2}, 1)$  与第  $k-1$  个灰类的起点  $x_j^{k-1}$  和第  $k+1$  个灰类的终点  $x_j^{k+2}$  连接, 得到  $j$  指标关于  $k$  灰类三角白化权函数为:  $f_j^k(\cdot)$  ( $j=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,s$ )。对于指标  $j$  的一个观测值  $x$ , 由公式:

$$f_j^k(x) = \begin{cases} \frac{x_j^{k+2} - x}{x_j^{k+2} - \lambda_j^k}, & x \in [\lambda_j^k, x_j^{k+2}] \\ \frac{x - x_j^{k-1}}{\lambda_j^k - x_j^{k-1}}, & x \in [x_j^{k-1}, \lambda_j^k] \\ 0, & x \notin [x_j^{k-1}, x_j^{k+2}] \end{cases} \quad (1)$$

计算出其属于灰类  $k(k=1,2,\dots,s)$  的隶属度  $f_j^k(x)$ 。

2) 计算对象  $i$  属于  $k$  灰类的综合聚类系数  $\sigma_i^k$

其中,  $f_j^k(x_{ij})$  为  $j$  指标  $k$  子类白化权函数;  $\eta_j$  为指标  $j$  在综合聚类中的权重。

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j \quad (2)$$

3) 计算综合聚类系数向量  $\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \dots, \sigma_i^s)$ ,

由  $\max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k^*}$ , 判断对象属于灰类  $k^*$ 。

1.2.4 确定指标权重计算优势

信息优势指标权重的确定对评估的结果起着至关重要的作用。为了保留不确定的模糊信息, 采用

模糊层次分析法进行权重分配。

1) 构造两两比较判断矩阵

设有 10 名专家参与指挥信息系统指标判断矩阵的构造。采用模糊三角数表示模糊判断, 模糊数等级采用 1~9 标度。专家组在对重要度进行主观判断时有一定的置信度  $\delta$ , 当置信度分别为“很有把握”、“较有把握”、“把握一般”时,  $\delta$  分别取值 0.5、1、1.5。

$$a_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+] = \begin{cases} [a_{ij} - \delta, a_{ij} + \delta] & a_{ij} > 1, i \neq j \\ \left[ \frac{1}{1/(a_{ij} + \delta)}, \frac{1}{1/(a_{ij} - \delta)} \right] & a_{ij} < 1, i \neq j \\ [1, 1] & i = j \end{cases} \quad (3)$$

$a_{ij}$  为模糊判断矩阵中的元素, 满足  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ , 此判断矩阵  $A$  为正互反矩阵。

则, 综合 10 位专家的判断信息, 得到有如下综合判断矩阵  $A(a_{ij})$ :

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} [1, 1] & [1.5, 4.5] & [2.5, 3.5] & \left[ \frac{1}{5.5}, \frac{1}{3.5} \right] \\ \left[ \frac{1}{4.5}, \frac{1}{1.5} \right] & [1, 1] & [1.5, 2.5] & \left[ \frac{1}{5.5}, \frac{1}{3.5} \right] \\ \left[ \frac{1}{3.5}, \frac{1}{2.5} \right] & \left[ \frac{1}{2.5}, \frac{1}{1.5} \right] & [1, 1] & \left[ \frac{1}{7.5}, \frac{1}{6.5} \right] \\ [3.5, 5.5] & [3.5, 5.5] & [6.5, 7.5] & [1, 1] \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,  $a_{ij} = (a_{ij,1})^{\lambda_1} (a_{ij,2})^{\lambda_2} \dots (a_{ij,s})^{\lambda_s}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, 10$ 。

专家权重系数分别为  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{10}$ , 且  $\sum_{i=1}^{10} \lambda_i = 1$ 。

2) 计算归一化权重向量

计算专家组确定的权重向量  $A_w$ :

$$A_w = (\alpha x^- + \beta x^+) / 2 \quad (5)$$

其中,  $x^-$ 、 $x^+$  为矩阵  $A^-$ 、 $A^+$  最大特征值对应的归一化特征向量。 $\alpha$ 、 $\beta$  的取值分别为:

$$\alpha = \left[ \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^+} \right]^{1/2}, \quad \beta = \left[ \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^-} \right]^{1/2}$$

对得到的权重向量  $w_z$  进行归一化处理, 得到权重向量  $w$ 。计算得到:

$$\alpha = 0.8002, \quad \beta = 1.135$$

$$x^- = (0.1969, 0.1415, 0.0870, 0.5746)$$

$$x^+ = (0.2251, 0.1033, 0.0585, 0.6131)$$

由式 (4) 计算权重得到:

$$A_w = (\alpha x^- + \beta x^+) / 2$$

$$= (0.2065, 0.1152, 0.0680, 0.5778)$$

3) 一致性判断, 分析权重选择的合理性

为保证决策的可靠性, 采用  $\lambda_{\max}$  与  $n$  之差法,

对模糊判断矩阵进行一致性检验:

$$C.I. = \frac{(\alpha \lambda_{\max}^- + \beta \lambda_{\max}^+) / 2 - n}{n - 1} = 0.0271 < 0.1 \quad (6)$$

判断矩阵有可接受的一致性。

因此, 作战指挥信息系统侦察与获取能力  $U_1$ 、作战指挥信息系统处理与分发能力  $U_2$ 、指挥信息系统生存能力  $U_3$ 、指挥信息系统信息利用与防护能力  $U_4$  的权值是 0.2065, 0.1152, 0.0680, 0.5778。

即  $A_w = (0.2065, 0.1152, 0.0680, 0.5778)$ 。同理可计算二级指标权重。

$$A_{1w} = (0.3481, 0.3841, 0.2678)$$

$$A_{2w} = (0.1210, 0.5527, 0.3262)$$

$$A_{3w} = (0.2163, 0.4226, 0.3611)$$

$$A_{4w} = (0.361, 0.195, 0.141, 0.195, 0.105)$$

在计算过程中, 可利用 Matlab 软件来求取权值, 并计算出矩阵的特征值和特征向量。

4) 优势计算, 以指挥信息系统服务能力为例, 采集数据见表 2。

由白化权函数和指标权重, 计算指标  $i$  属于  $k$  灰类的综合聚类系数  $\sigma_i^k$ :

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot w_j; \quad i=4, j=1,2,3; k=1,2,3,4,5$$

表 2 数据采集表

指标	信息传输能力	信息处理能力	定位导航能力	快速部署能力	数据库完善度
采集数据	62	70	68	72	75

其中,  $f_j^k(x_{ij})$  为对象  $i$  第  $j$  个指标属于  $k$  灰类的白化权函数,  $w_j$  为  $j$  指标权重。则其综合聚类系数向量为:

$$\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \sigma_i^3, \sigma_i^4, \sigma_i^5)$$

$$= (0.0586, 0.1532, 0.3918, 0.2548, 0.1416)$$

假设在系统使用过程中采集训练数据, 关于系统的信息侦察获取能力指标得到这样一组评价分数: 6.5、6、6.5、8、5。则按 10 分制对结果赋值计算总分为:

$$E_1 = 6.5 \times 0.1416 + 6 \times 0.2548 +$$

$$6.5 \times 0.3918 + 8 \times 0.1532 + 5 \times 0.0586$$

$$= 6.5145$$

按照量化标准, 其评价结果应为 0.65145, 说明指挥信息获取能力为一般偏好的水平。其他指标的评价值可用此法。

## 2 灰色 DEA 模型评估不理想单元

在灰色评估过程中, 向量  $\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \dots, \sigma_i^s)$ 。

其中,  $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j$ , 给出了考虑所有因素

的影响时, 决策单元 (DMU)  $P_0$  对评价集中各元素的聚类情况, 同时, 加权平均法即可得到它的综合评价结果为  $V^{(p)} = \sum_{j=1}^n b_j^{(p)} v_j$ , 当  $P_0$  的灰色评估结果不理想时, 就要通过 DMU 的 GA-DEA 有效性分析来调整。

方案的 GA-DEA 有效性定义如下:

方案  $P_0$  为 GA-DEA 有效当且仅当:

$$(G-D) \left\{ \begin{array}{l} \min \left[ \psi - \frac{\sum_{j=1}^k g_{ij}^{(p_0)} v_j}{\sum_{j=1}^k g_{ij}^{(p)}} W_i \right] = V_{F-D} \\ s.t. \frac{\sum_{j=1}^k g_{ij}^{(p)} v_j}{\sum_{j=1}^k g_{ij}^{(p)}} W_i \leq \psi \\ \sum_{i=1}^m W_i = 1, W_i \geq 0, i=1,2,\dots,m \\ P=1,2,\dots,n \end{array} \right. \quad (7)$$

(下转第 43 页)

过虚拟仪器的操作面板实现网络化测试: 适配器完成信号的转接; 隔离与调理模块对输入信号和后端设备进行隔离, 并根据各总线设备的采集电压要求对信号电压进行适当的变换。箭上各路信号通过信号隔离与调理模块接入各总线仪器, 信号经隔离变换后输入到各总线设备进行数据采集, 最后主控计算机与测试客户端对采集的信号进行处理、实时显示和存储, 通过网络主控计算机的信息可以分屏显示在各个测试端计算机上, 以实现客户端对主控计算机的监控。

#### 4 结束语

在分析新一代 LXI 总线技术以及虚拟仪器技术的基础上, 结合目前测试领域的发展现状, 提出了基于 LXI 总线和虚拟仪器测试系统的软硬件构建方案, 建立了一种网络化测试平台。该技术的研究将有利于我国自动化测试领域的发展与建设。

\*\*\*\*\*

(上接第 39 页)

#### 2.1 DMU 不理想的原因分析

若应用 GA-DEA 模型进行计算时,  $P_0$  为 GA-DEA 无效, 则由 GA-DEA 有效的定义可知存在  $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \in LDT$ , 使得:

$(G_1^{(p_0)}, G_2^{(p_0)}, \dots, G_m^{(p_0)}) \leq (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ , 表明  $P_0$  的整体性能还未达到 Pareto 有效的状态, 与可能的一组综合指标  $G^{(p_0)} + \tilde{s}$  相比, 不理想的原因表现在集合  $I = \left\{ i \mid \tilde{s}_i \neq 0 \right\}$  中的指标的性能未能达到较理想的程度, 需要进一步调整。

#### 2.2 DMU 的调整

若  $P_0$  为 GA-DEA 无效, 那么  $G^{(p_0)} + \tilde{s} \in LDT$ , 且  $(G_1^{(p_0)}, G_2^{(p_0)}, \dots, G_m^{(p_0)}) \leq G^{(p_0)} + \tilde{s}$ , 那么可将评价值  $G^{(p_0)}$  提高至  $G^{(p_0)} + \tilde{s}$ 。

#### 2.3 调整后预计的结果

当已经确定了各指标的权重, 进一步通过同样调整, 评价可能提高的程度, 对  $P_0$  的各项指标评价价值进行加权处理, 则得调整前后总的评价值  $L_1$ 、 $L_2$  分别为:

#### 参考文献:

- [1] 同江, 蔡远文. LXI 总线技术在运载火箭测试中的应用[J]. 导弹与航天运载技术, 2009(2): 45-47.
- [2] 谢志敏, 孟上, 王丰磊, 等. LXI 总线技术在测量领域中的应用研究[J]. 海军航空工程学院学报, 2009, 24(1): 78-81.
- [3] 李蟠, 增晨晖, 许文正. 总线技术在虚拟仪器中的发展及应用[J]. 理论与方法, 2008, 27(11): 11-13.
- [4] 任江涛, 蔡远文. 新一代总线技术 LXI 在航天测试领域的应用[J]. 航天控制, 2007, 25(107): 79-83.
- [5] 同江. 基于 LXI 总线的运载火箭测试技术研究[D]. 北京: 装备指挥技术学院, 2008.
- [6] 张重雄. 虚拟仪器技术分析与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [7] 陆绮荣. 基于虚拟仪器技术个人实验室的构建 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [8] 方威, 傅建平, 赵金辉, 等. 基于虚拟仪器技术的火炮复进机气液量与泄漏检测仪[J]. 四川兵工学报, 2009(4): 71-73.

$$L_1 = \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}^{(p_0)} v_j}{\sum_{j=1}^n r_{ij}^{(p_0)}} a_i^0 \tag{8}$$

$$L_2 = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}^{(p_0)} v_j}{\sum_{j=1}^n r_{ij}^{(p_0)}} + \tilde{s}_i \right| a_i^0 \tag{9}$$

由式 (8)、式 (9) 可得  $\max_{1 \leq j \leq n} v_j \geq L_2 \geq L_1 \geq \min_{1 \leq j \leq n} v_j$ 。

#### 3 结论分析

对计算得到的综合评价结果进行 GA-DEA 有效性检验可知, 其指挥信息系统系统服务能力将满足 Pareto 有效状态, 从而证明了将指挥控制系统系统服务能力综合评价的结果提高到一个新水平是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 陈少卿, 张金明, 周彦. C<sup>4</sup>ISR 系统信息优势与制信息权评估方法研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(5): 1060-1063.
- [2] 王涛, 端木京顺, 王晓钧. 基于模糊综合评价 DEA 方法的信息化部队作战能力评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2006, 20(3): 70-72.
- [3] 郭铭, 屈洋. 装甲兵作战效能评估[M]. 北京: 解放军出版社, 2006.
- [4] 张最良. 军事运筹学[M]. 北京: 军事科学出版社, 2005.
- [5] 曹建儒, 赵捷. 信息时代军队指挥自动化[M]. 北京: 军事科学出版社, 2002.