模糊变权法在通信指挥效能评估上的应用

杨建宏，　韩　林
(空军工程大学 电讯工程学院，陕西 西安　710077)

摘　要:根据综合评估中加大评价过低项目权重的思想,给出了模糊变权法求变化权重的方法,并在通信指挥效能评估中以通信方案的选择为例,运用模糊变权法对通信方案进行评估选优。

关键词:通信指挥;通信方案;效能评估;模糊变权法
中图分类号:E911　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1009-3516(2003)02-0041-05

通信指挥是通信指挥员及其指挥机关为保障作战指挥的顺畅,对通信工作的筹划决策和实施进行的组织计划、管理、协调、控制等活动。通信指挥效能是指通信指挥系统在实施指挥活动中发挥作用的有效程度,即通信指挥员的能力、指挥系统的运行状态和他们共同活动结果的综合体现。

通信指挥效能评估包括对指挥员能力、指挥机构和指挥活动质量的评估,重点是对指挥活动质量的评估。它主要包括对通信方案、通信组织计划等进行评估,为指挥决策者提供决策支持和建议。

效能评估的方法有很多,如层次分析法、灰色评估法等,本文采用模糊变权法对通信效能进行评估,这主要是基于2点考虑:①通信指挥中很多因素难以得到定量值,评估人员只能对其给出定性的、模糊的评估和判断,相比于其他评估方法,用模糊数学的区间数对各评估对象进行评价能较好地降低主观误差。②方案的选用与否,除了取决于综合评价的优劣,还受约束于某些因素的最低限度,而这些限制往往很难定量表示,如常说的“质量不能太差”,“效率不能太低”等。对于这种模糊限制,其他评估方法很难有效解决,而模糊变权法通过加大评估得分过低的项目的权重,突出了评价得分过低的项目,从而引起综合评估得分的下降,较好地解决了这一问题。

1　模糊变权法

模糊变权法认为评估中各因素的权重随评估向量的不同而变化,即 $w_i = w_i(u_1,\cdots,u_i,\cdots,u_n)$,$\omega_i \in [0,1]$为因素 C_i 的权重($i=1,2,\cdots,n$),u_1、u_2、$\cdots$、u_n分别为 n 个因素 C_1、C_2、$\cdots$、C_n 的评价得分(u_i 无量纲或量纲相同,且 $u_i \in [0,u_m]$,常取 $u_m=1,10$,或100),定义 $u_i=0$ 时表示 C_i 完全失去了作用,$u_i=u_m$ 时表示 C_i 为理想值。

定义1:总体十分完善理想情况下 C_i 的权重 $w_{mi}=w_i(u_m,\cdots,u_m,\cdots,u_m)$为基础权重。

定义2:C_i 的权重 w_{0i}为 C_i 功能完全消失时 C_i 的上确界权重,它体现了加大评估值过低项目权重的思想,w_{0i}可由下式求出:

$$w_{0i}=(u_{m1},\cdots,u_{m(i-1)},0,u_{m(i+1)},\cdots,u_{mn})=\frac{w_{mi}}{\min\limits_{1\leqslant j\leqslant n} w_{mj}+\max\limits_{1\leqslant j\leqslant n} w_{mj}} \qquad \begin{array}{l} i=1,2,\cdots,n \\ j=1,2,\cdots,n \end{array} \tag{1}$$

显然,对于任意 i 变权法具有下列性质:

1) $w_i = w_i(u_1,\cdots,u_i,\cdots,u_n)$是 u 的非增函数

2)综合评价值$\sum\limits_{j=1}^{n} w_j u_j$ 是关于 u 的非减函数

收稿日期:2002-06-28
作者简介:杨建宏(1978-),男,湖北公安人,硕士生,主要从事空军通信组织规划研究;
韩　林(1953-),男,河北蠡县人,教授,主要从事军事通信理论研究.

即当对于两组评估值 $w_i^{(1)}=w_i(u_1^{(1)},\cdots,u_i^{(1)},\cdots,u_n^{(1)})$ 和 $w_i^{(2)}=w_i(u_1^{(2)},\cdots,u_i^{(2)},\cdots,u_n^{(2)})$,若 $u_1^{(1)}=u_1^{(2)}$, $\cdots,u_{i-1}^{(1)}=u_{i-1}^{(2)},u_{i+1}^{(1)}=u_{i+1}^{(2)},\cdots,u_n^{(1)}=u_n^{(2)}$,但 $u_i^{(1)}\leqslant u_i^{(2)}$,则 $w_i^{(1)}\geqslant w_i^{(2)}$,$\sum_{j=1}^n w_j^{(1)}u_j^{(1)}\leqslant\sum_{j=1}^n w_j^{(2)}u_j^{(2)}$

为了更方便地求出 $w_i(u_1,\cdots,u_i,\cdots,u_n)$,构造函数:

$$w_i(u_1,u_2,\cdots,u_n)=\frac{\lambda_i(u_i)}{\sum_{j=1}^n\lambda_j(u_j)} \tag{2}$$

其中 $\lambda_i(u)$ $(u\in[0,u_m])$ 为引入的辅助函数,是一非负有界的非增可微函数。记

$$\lambda_i(0)=\lambda_{0i},\quad \lambda_i(u_m)=\lambda_{mi},\qquad \lambda_{mi}=w_{mi}$$

显然,如果 $\lambda_i(u_i)$ 已知,则很容易求出 $w_i=w_i(u_1,\cdots,u_i,\cdots,u_n)$。

由 w_{0i} 定义可得

$$w_{0i}=w_i(u_{m1},\cdots,u_{m(i-1)},0,u_{m(i+1)},\cdots,u_{mn})=$$
$$\frac{\lambda_i(0)}{\lambda_{m1}+\cdots+\lambda_{m(i-1)}+\lambda_i(0)+\cdots+\lambda_{mn}}=\frac{\lambda_i(0)}{\lambda_i(0)+\sum_{j\neq i}\lambda_{mj}} \tag{3}$$

即

$$\lambda_{0i}=\frac{w_{0i}\sum_{j\neq i}w_{mj}}{1-w_{0i}}\qquad i=1,2,\cdots,n \tag{4}$$

对给定的 $u_1,\cdots,u_i,\cdots,u_n$,固定 i,令 u_i 改变为 u,且 $u\geqslant u_i$,记

$$\lambda_0=\sum_{j\neq i}\lambda_j(u_j),\ v_0=\frac{1}{\lambda_0}\sum_{j\neq i}\lambda_j(u_j)u_j,w_i(u)=w_i(u_1,\cdots,u_{i-1},u,u_{i+1},\cdots,u_n)$$

则式(2)变形得:

$$w_i(u)=\frac{\lambda_i(u)}{\lambda_0+\lambda_i(u)} \tag{5}$$

由 $\lambda_i(u)$ 为递减函数可得:$\frac{\mathrm{d}w_i(u)}{\mathrm{d}u}=\frac{\lambda_0\lambda\ (u)}{[\lambda_i(u)+\lambda_0]^2}\leqslant 0$,即 $w_i(u)$ 为非增函数,满足变权法的性质(1)。

再根据 $\sum_{i=1}^n w_i(u)u$ 构造函数如下

$$U(u)=\sum_{i=1}^n w_i(u)u=\frac{\sum_{i=1}^n\lambda_i(u)u}{\lambda_0+\lambda_i(u)}=\frac{\sum_{j\neq i}\lambda_j(u)u+\lambda_i(u)u}{\lambda_0+\lambda_i(u)}=\frac{\lambda_0v_0+\lambda_i(u)u}{\lambda_0+\lambda_i(u)}$$

显然,要满足变权法的性质(2),必须有:

$$\frac{\mathrm{d}U(u)}{\mathrm{d}u}=\frac{\lambda_0\lambda_i(u)(u-v_0)+\lambda_i(u)(\lambda_0\lambda_i(u))}{(\lambda_0+\lambda_i(u))^2}\geqslant 0 \tag{6}$$

即必须满足:

$$\lambda_i(u)\geqslant-\frac{1}{\lambda_0(u-v_0)}\lambda_i(u)(\lambda_0+\lambda_i(u)) \tag{7}$$

显然,$u\leqslant v_0$ 时,式(10)恒成立。当 $u\geqslant v_0$ 时记:

$$\lambda_{*i}=\sum_{j\neq i}W_{mj}\leqslant\lambda_0\leqslant\sum_{j\neq i}\lambda_{0j}=\lambda_i^* \tag{8}$$

可得 $-\frac{u_m^{k-1}}{\lambda_i^*u^k}\lambda_i(u)(\lambda_i^*+\lambda_i(u))\geqslant-\frac{1}{\lambda_0(u-v_0)}\lambda_i(u)(\lambda_0+\lambda_i(u))$

综上所述,可构造出满足变权法性质的、且其解满足式(11)的 $\lambda_i(u)$ 的微分方程:

$$\begin{cases}\frac{\mathrm{d}\lambda_i(u)}{\mathrm{d}u}=-\frac{u_m^{k-1}}{\lambda_i^*u^k}\lambda_i(u)(\lambda_i^*+\lambda_i(u))(\lambda_i^*+\lambda_i(u))\\ \lambda_i(0)=\lambda_{0i},\lambda_i(u)=w_{mi}\end{cases} \tag{9}$$

其解为

$$\lambda_i(u)=\frac{\lambda_i^*\lambda_0 i}{\lambda^*\exp\left(\frac{1}{1-k_i}\left(\frac{u}{u_m}\right)^{1-k_i}\right)} \tag{10}$$

其中:$\lambda^*=\sum_{i=1}^n\lambda_{0i}$,$\quad k_i=1-\frac{1}{1n\frac{\lambda_{0i}(\lambda_i^*+w_{mi})}{\lambda^*w_{mi}}}$

显然通过求解 $\lambda_i(u)$,可以得到变化的权重 $w_i(u)$。

2 应用实例

假设在某次通信指挥效能评估中,要考虑对指挥质量进行评估,下面选择对指挥过程中拟制的通信方案的评估选优为例运用模糊变权法对其进行评估。

设对通信方案的选择涉及到以下因素

C_1:方案与首长作战决心、上级通信指示符合程度;

C_2:方案考虑部队作战任务、战斗部署、指挥协同动作的组织情况;

C_3:方案考虑战场环境及双方通信部队人员、器材情况的程度;

C_4:方案预期的通信保障能力及抗扰、抗毁能力;

C_5:方案的反侦察、反干扰及保密措施;

C_6:方案灵活应变措施。

设评估人员通过对有关专家的咨询,已经拟定各指标的基础权重如下

$(w_{m1}, w_{m2}, w_{m3}, w_{m4}, w_{m5}, w_{m6}) = (0.2, 0.1, 0.1, 0.45, 0.1, 0.05)$

现选定 5 名专家(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)对拟定的 3 个方案(A_1, A_2, A_3)的各个因素利用区间数进行评估,具体结果如表 1 所示。

表 1　评估结果

评估者 方案因素		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
A_1	C_1	(80,85)	(70,80)	(75,85)	(70,85)	(70,85)
	C_2	(60,65)	(55,65)	(55,60)	(50,60)	(50,55)
	C_3	(50,55)	(50,60)	(50,60)	(45,60)	(50,55)
	C_4	(85,95)	(80,90)	(80,90)	(80,95)	(90,95)
	C_5	(60,70)	(65,75)	(60,70)	(60,75)	(70,75)
	C_6	(65,75)	(70,80)	(70,75)	(65,75)	(65,80)
A_2	C_1	(50,60)	(40,50)	(50,60)	(40,50)	(50,65)
	C_2	(70,80)	(70,75)	(70,80)	(80,85)	(70,80)
	C_3	(65,70)	(70,75)	(70,75)	(70,80)	(65,80)
	C_4	(85,95)	(85,90)	(85,90)	(90,100)	(85,100)
	C_5	(70,75)	(70,80)	(80,85)	(80,85)	(75,80)
	C_6	(65,80)	(70,80)	(70,85)	(65,80)	(80,85)
A_3	C_1	(70,80)	(80,85)	(80,85)	(70,75)	(70,80)
	C_2	(65,80)	(70,80)	(70,80)	(65,70)	(65,75)
	C_3	(70,80)	(65,70)	(70,80)	(65,75)	(70,80)
	C_4	(90,95)	(85,95)	(90,95)	(85,90)	(90,100)
	C_5	(70,80)	(70,75)	(65,75)	(70,75)	(65,80)
	C_6	(80,90)	(80,90)	(75,80)	(75,75)	(75,85)

由于评估人员对各指标的评价打分用的是一区间数,因此对它进行数学处理,以求出各指标的具体得分:

令 $\chi_{ij}^k(u) = \begin{cases} 1, (u \in (x_{ij}^k, y_{ij}^k]) \\ 0, (u \notin (x_{ij}^k, y_{ij}^k]) \end{cases}$,其中 $(x_{ij}^k, y_{ij}^k]$ 表示决策者 P_i 对方案 A_k 中因素 C_j 的评价打分,x_{ij}^k, y_{ij}^k, $u \in [0, u_m]$。

再令 $\eta_j^k(u) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\chi_{ij}^k(u)$　　(11)　　$u_j^k = \frac{\int_0^{u_m} u\eta_j^k(u)\mathrm{d}u}{\int_0^{u_m} u\eta_j^k(u)\mathrm{d}u}$　　(12)

利用式(11)、(12)可分别求出:

$$\eta_1^{(1)}(u)=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\chi_{ij}^{k}(u)=\frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5}\chi_{i1}^{(1)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(70,75]\\0.8, u\in(75,80]\\0.8, u\in(80,85]\end{cases}$$

$$u_1^{(1)}=\frac{\int_0^{u_m}u\eta_1^{(1)}(u)\mathrm{d}u}{\int_0^{u_m}\eta_1^{(1)}(u)\mathrm{d}u}=\frac{\int_{70}^{75}0.6u\mathrm{d}u+\int_{75}^{80}0.8u\mathrm{d}u+\int_{80}^{85}0.6u\mathrm{d}u}{\int_{70}^{75}0.6\mathrm{d}u+\int_{75}^{80}0.8\mathrm{d}u+\int_{80}^{85}0.6\mathrm{d}u}=77.95$$

同理可求出其它的 $\eta_j^k(u)$ 如下所示:

$$\eta_2^{(1)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(50,55]\\0.6, u\in(55,60]\\0.4, u\in(60,65]\end{cases}\quad \eta_3^{(1)}(u)=\begin{cases}0.2, u\in(45,50]\\1.0, u\in(50,55]\\0.6, u\in(55,60]\end{cases}\quad \eta_4^{(1)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(80,85]\\0.8, u\in(85,90]\\0.6, u\in(90,95]\end{cases}$$

$$\eta_5^{(1)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(60,65]\\0.8, u\in(65,70]\\0.6, u\in(70,75]\end{cases}\quad \eta_6^{(1)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(65,70]\\1.0, u\in(70,75]\\0.2, u\in(75,80]\end{cases}\quad \eta_1^{(1)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(40,50]\\0.6, u\in(50,60]\\0.2, u\in(60,65]\end{cases}$$

$$\eta_2^{(2)}(u)=\begin{cases}0.8, u\in(70,75]\\0.6, u\in(75,80]\\0.2, u\in(80,85]\end{cases}\quad \eta_3^{(2)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(65,70]\\0.8, u\in(70,75]\\0.4, u\in(75,80]\end{cases}\quad \eta_4^{(2)}(u)=\begin{cases}0.8, u\in(85,90]\\0.6, u\in(90,95]\\0.4, u\in(95,100]\end{cases}$$

$$\eta_5^{(2)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(65,70]\\0.4, u\in(70,75]\\0.4, u\in(80,85]\end{cases}\quad \eta_6^{(2)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(65,70]\\0.8, u\in(70,80]\\0.4, u\in(80,85]\end{cases}\quad \eta_1^{(3)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(70,75]\\0.4, u\in(75,80]\\0.4, u\in(80,85]\end{cases}$$

$$\eta_2^{(3)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(65,70]\\0.8, u\in(70,75]\\0.6, u\in(75,80]\end{cases}\quad \eta_3^{(3)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(65,70]\\0.8, u\in(70,75]\\0.6, u\in(75,80]\end{cases}\quad \eta_4^{(3)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(85,90]\\0.8, u\in(90,95]\\0.2, u\in(95,100]\end{cases}$$

$$\eta_5^{(3)}(u)=\begin{cases}0.4, u\in(65,70]\\1.0, u\in(70,75]\\0.4, u\in(75,80]\end{cases}\quad \eta_6^{(3)}(u)=\begin{cases}0.6, u\in(75,80]\\0.8, u\in(80,85]\\0.4, u\in(85,90]\end{cases}$$

记 $u^{(k)}=(u_1^{(k)}, u_2^{(k)}, u_3^{(k)}, u_4^{(k)}, u_5^{(k)}, u_6^{(k)})$,同理可得

$u^{(1)}=(77.95, 57.50, 53.61, 87.50, 67.50, 71.39)$

$u^{(2)}=(52.05, 75.63, 62.81, 91.39, 77.50, 75.00)$

$u^{(3)}=(76.79, 72.50, 73.06, 91.79, 75.28, 81.94)$

根据式(1)、(4)、(8)分别可得

$(w_{01}, w_{02}, w_{03}, w_{04}, w_{05}, w_{06})=(0.4, 0.2, 0.2, 0.9, 0.2, 0.1)$

$(\lambda_{01}, \lambda_{02}, \lambda_{03}, \lambda_{04}, \lambda_{05}, \lambda_{06})=(0.53, 0.225, 0.225, 4.95, 0.225, 0.106)$

$(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \lambda_3^*, \lambda_4^*, \lambda_5^*, \lambda_6^*)=(5.731, 6.036, 6.036, 1.317, 6.036, 6.155)$

$(\lambda_{*1}, \lambda_{*2}, \lambda_{*3}, \lambda_{*4}, \lambda_{*5}, \lambda_{*6})=(0.8, 0.9, 0.9, 0.55, 0.9, 0.95)$

再利用式(10)、(5)则可求得方案 A_1, A_2 和 A_3 对各因素的变权重,如表 2 所示:

表 2 A_1、A_2、A_3 各因素变权重

因素 方案	C_1 0.2	C_2 0.1	C_3 0.1	C_4 0.45	C_5 0.1	C_6 0.05	变权 评估综合值	常权 评估综合值
A_1	0.197	0.119	0.124	0.398	0.109	0.053	74.81	76.39
A_2	0.252	0.1	0.114	0.382	0.099	0.051	74.24	76.97
A_3	0.212	0.111	0.111	0.407	0.108	0.051	82.11	82.84

3 实例分析

模糊变权法的指导思想就是,在其它项目的评价均较高且彼此相差不大时,加大评价得分过低项目的权

重,突出评价得分过低的项目,从而引起决策者的注意。例如有甲、乙两个通信方案,甲方案六个项目评价都比较高,乙方案个别项目评价得分极低,只是由于其他项目评价得分很高,利用常权法综合评估时两者最终评估结果相差无几,这时人们往往会采用甲方案,因为乙方案中那评价极低的项目可能在实际中对整个全局有重要的影响。但乙方案中这一评价极低的项目低到何种程度才会促使评估决策者放弃它,用其他评估方法很难给出合理的界限,模糊变权法这种利用权重随评估向量变化而变化的方法正好可以科学便捷地解决这一难题。

由表 2 可以看出变权法这种权重随评估向量变化而变化的思想:由于三个方案中各因素的评估得分不一样,因此最后各自权重的取值也不一样。方案 A_1 中由于 C_3 的得分最低,从而通过变权加大了其权重,而得分最高的 C_1 和 C_4 项的权重则相应降低。同样,方案 A_2 中大幅度加大了 C_1 的权重,而 A_3 中由于各因素得分都比较高,因此各因素的权重变化不太大。

从表 2 中综合评估值可以看出,按常规的固定权重的方法进行评估,方案优劣顺序依次为 A_3,A_2,A_1,而用变权法评估其优劣则依次为 A_3,A_1,A_2。这是因为方案 A_2 关于 C_1 的评价很低,从而权重发生了较大的变化,由于方案 A_2 中 C_1 的权重加大,所以引起了其综合评估得分的下降。而先前设定的基础权重中 C_1 的重要性仅次于 C_4,这就表明实际通信方案的选择中非常重视计划与首长作战决心及上级通信指示的一致性,因此把方案 A_2 排在最后是与实际情况相符的,也是合理的。

参考文献:

[1] 彭祖赠,孙韫玉. 模糊数学及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002.

[2] 姚炳学,李洪兴. 局部变权的公理体系[J]. 系统工程理论与实践,2000,1(1):105 - 109.

[3] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学,2000. 6(2):80 - 88.

[4] 高虹霓,杨建军,曹泽阳. 基于模糊 AHP 的道路选优评价方法研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(2):82 - 84.

(编辑:门向生)

Application of Fuzzy Variable Weighting Method in the Effectiveness Evaluation of Communication Command

YANG Jian - hong,　HAN Lin

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Based on the thought of adding the weight of the aspect in low - level on the comprehensive evaluation, this paper proposes a method of determining the weight in the fuzzy variable weighting. The evaluation of communication schemes in the effectiveness evaluation command is carried out in this way.

Key words: communication command; communication schemes; effectiveness evaluation; fuzzy variable weighting method