

基于模糊综合评判的电子战效能评估

陈文奇, 吉国力

(厦门大学自动化系, 福建 厦门 361005)

摘要: 电子战系统是一个庞大复杂的系统, 其效能是一个综合指标, 包含多种技术因素和不确定性, 对系统的评估也是一项复杂的工作, 涉及许多难以量化的模糊因素. 为了评估电子战系统作战效能, 本文首先给出了效能评估的指标体系, 然后提出了基于模糊综合评判的电子战效能模型, 最后通过对参数由专家和军事指挥员提供的案例的研究, 论证了模型和方法的可行性和有效性.

关键词: 电子战系统; 作战效能评估; 模糊综合评判

中图分类号: E 917

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479-(2006)S-0327-04

在人类发展的历史长河中, 科技发展和进步对军事领域一直产生着深刻影响, 尤其是信息时代军事领域的信息革命, 已经从根本上改变了战争的进程和特征. 海湾战争后, 作为信息战内容和样式之一的电子战, 不仅被看成是作战行动和战斗的支援措施, 而且还被视为支撑作战行动和战斗的重要手段^[1]. 如果电子战系统功能弱化或被破坏, 指挥员就不能有效地掌控战场局势和战争进程. 因此, 掌控电磁频谱、实施电子战的能力已被公认为现代军事力量的重要组成部分.

1 电子战效能评估指标体系

电子战效能可以定义为在一定的作战背景条件下参与电子战活动的装备、人员完成上级赋予的电子战任务能力的大小. 电子战效能评估是一个复杂的系统工程, 影响因素很多. 一般认为, 电子战效能由电子支援能力、电子进攻能力和电子防护能力三大部分综合而成. 电子支援能力由对无线电信号的搜索、截获、定位和分析识别能力组成; 电子进攻能力主要包括电子干扰、电子欺骗和硬摧毁能力; 电子防护能力按实施防护手段和方法的不同可分为主动式防护和被动式防护能力两个方面. 综合文献[2], 可建立如图 1 所示的评价体系.

2 模糊综合评判模型

2.1 建立三级模糊综合评判模型

(1) 建立因素集

根据所建立的评价指标体系, 可以认为所要评估的电子战效能是一个模糊集 U , 它由 3 个子集 U_1 , U_2 , U 组成, 即:

$$U = \{U_1, U_2, U_3\}, U_i \cap U_j = \Phi (i \neq j).$$

子集 U_i 又可有自己的因素集 U_{ik} , 即:

$$U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\};$$

$$U_2 = \{U_{21}, U_{22}, U_{23}\}; U_3 = \{U_{31}, U_{32}\}.$$

且满足 $U_k \cap U_{il} = \Phi (k \neq l)$. 同理, 可建立 U_{31} 、 U_{32} 的因素集:

$$U_{31} = \{U_{311}, U_{312}, \dots, U_{317}\};$$

$$U_{32} = \{U_{321}, U_{322}, U_{323}\}; U_{3k} \cap U_{3ld} = \Phi (c \neq d).$$

(2) 单因素综合评判

设评价集 V 具有 p 个等级: $V = \{V_1, V_2, \dots, V_p\}$. 在本文中采用 5 个等级:

V_1 : 差; V_2 : 较差; V_3 : 一般; V_4 : 较好; V_5 : 好, 并采用专家打分法来确定因素 $U_{31i} (i = 1, 2, \dots, 7)$ 、 $U_{32j} (j = 1, 2, 3)$ 、 $U_{1c} (c = 1, 2, 3, 4)$ 和 $U_{2d} (d = 1, 2, 3)$ 的隶属度 $\mu_{31i, w}$ 、 $\mu_{32j, w}$ 、 $\mu_{1c, w}$ 和 $\mu_{2d, w}$. 即是说, 如果邀请 10 位专家独立给 U_{31i} 打分, 其中有 5 人给出“好”, 则其隶属度为: $\mu_{31i, 5} = 5/10 = 0.5$. 依此方法对所有因素隶属度进行计算, 则可得 U_{3i} 到 V 的模糊评判矩阵 R_{3i} :

$$R_{31} = (\mu_{31i, w})_{7 \times 5} (i = 1, 2, \dots, 7; w = 1, 2, \dots, 5);$$

$$R_{32} = (\mu_{32j, w})_{3 \times 5} (j = 1, 2, 3; w = 1, 2, \dots, 5);$$

U_1 、 U_2 到 V 的模糊评判矩阵 R_1 、 R_2 :

$$R_1 = (\mu_{1c, w})_{4 \times 5} (c = 1, 2, 3, 4; w = 1, 2, \dots, 5);$$

$$R_2 = (\mu_{2d, w})_{3 \times 5} (d = 1, 2, 3; w = 1, 2, \dots, 5);$$

如果给出 U_{3ic} 相对于 U_{3i} 的权重 ω_{3ic} , 即:

$$\omega_{3i} = \{\omega_{311}, \omega_{312}, \dots, \omega_{317}\}, \sum_{c=1}^f \omega_{3ic} = 1,$$

这里 f 是 U_{3i} 的因素个数, 则有第一级综合评判向量:

$$B_{31} = \omega_{31} \cdot R_{31}; B_{32} = \omega_{32} \cdot R_{32}.$$

(3) 二级综合评判

把 B_{3i} 看作 U_3 的单因素综合评判向量, 则 U_3 到 V 的模糊综合评判矩阵为: $R_3 = (B_{31}, B_{32})^T$.

收稿日期: 2006-01-06

作者简介: 陈文奇 (1972-), 男, 在职硕士研究生.

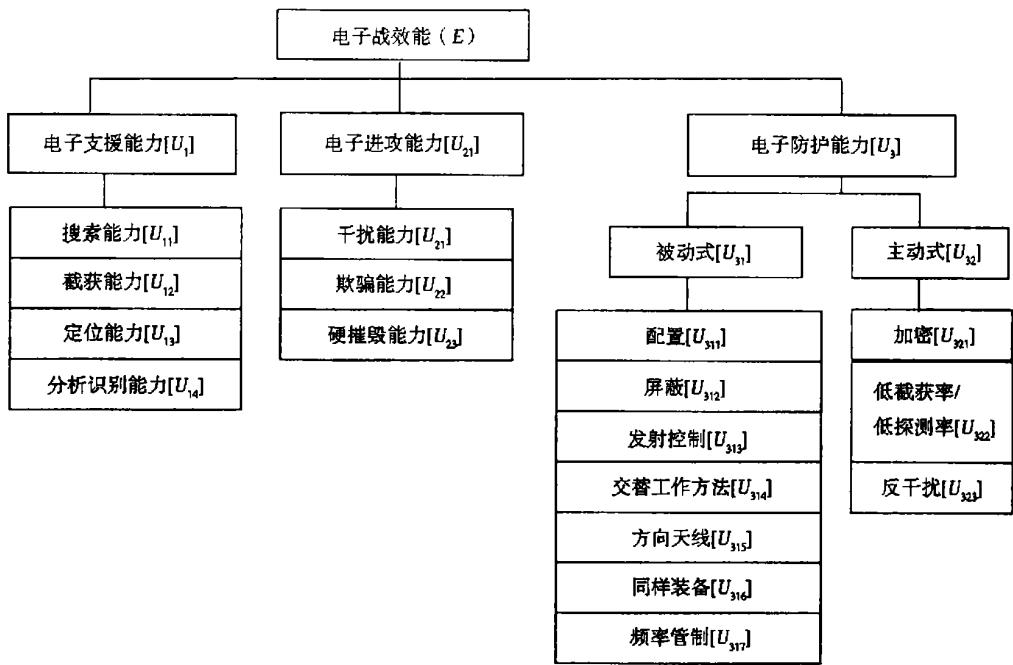


图 1 电子战效能评价指标体系

Fig 1 Evaluation index system

给出 U_{ij} 在 U_i 中的权重 ω_{ij} :

$$\omega_i = \{ \omega_{i1}, \omega_{i2}, \dots, \omega_{ig} \}, \sum_{c=1}^g \omega_{ic} = 1,$$

这里 g 是 U_i 的因数个数, 则有第二级综合评判向量:

$$B_i = \omega_i \bullet R_i.$$

(4) 三级综合评判

把 B_i 看作 U 的单因素综合评判向量, 则 U 到 V 的模糊综合评判矩阵为: $R = (B_1, B_2, B_3)^T$.

给出 U_i 在 U 中的权重 ω_i :

$$\omega = \{ \omega_1, \omega_2, \omega_3 \}, \sum_{i=1}^3 \omega_i = 1,$$

则第三级综合评判向量为:

$$B = \omega \bullet R = (b_1, b_2, \dots, b_5),$$

这里, b_i 表示电子战效能被评为 V_i 的隶属度.

(5) 运算法则

电子战效能是许多因素的综合体现, 故采用加权平均型算子来计算评判向量, 即:

$$B_{3i} = \omega_{3i} \bullet R_{3i} = (b_{3i1}, b_{3i2}, \dots, b_{3i5}), \quad b_{3ij} = \sum_{c=1}^f \omega_{3ic} \mu_{3icj} \quad (i = 1, 2, c = 1, 2, \dots, f; j = 1, 2, \dots, 5).$$

$$B_i = \omega_i \bullet R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{i5}), \quad b_{ij} = \sum_{c=1}^g \omega_{ic} \mu_{icj} \quad (i = 1, 2; c = 1, 2, \dots, g; j = 1, 2, \dots, 5).$$

$$B_3 = \omega_3 \bullet R_3 = (b_{31}, b_{32}, \dots, b_{35}), \quad b_{3j} =$$

$$\sum_{i=1}^2 \omega_{3i} \mu_{3ip} \quad (i = 1, 2, j = 1, 2, \dots, 5).$$

$$B = \omega \bullet R = (b_1, b_2, \dots, b_5), \quad b_j = \sum_{i=1}^3 \omega_i b_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, 5).$$

(6) 作战效能的评定

对于某一次电子战或某一个电子战系统而言, 可取评判向量 B 中具有最大隶属度值所对应的评价等级 V_i 作为最终的评判结果. 当比较两次或更多次电子战效能的大小时, 比如战前和战后的, 敌方的和我方的, 就必须将评判结果数字化.

给定评价等级 V_i 一个确定的值:

$$V_1 = 20, V_2 = 40, V_3 = 60, V_4 = 80, V_5 = 100$$

则可按下式对评判向量 B 进行归一化处理:

$$E = B \bullet V = \sum_{i=1}^5 b_i V_i.$$

根据 E 值的大小, 就可对各次电子战效能进行比较.

2.2 各因素权重的确定

- (1) 建立评价指标体系, 如图 1 所示.
 - (2) 利用 1~9 比例标度法, 对同层因素两两进行比较和量化, 得出判断矩阵 C .
 - (3) 求 C 的最大特征向量 ω_i 及最大特征根 $\lambda_{\max}$:
- $$\omega_i = \overline{w_i} / \sum_{i=1}^n \overline{w_i} \quad (\overline{w_i} = (\prod_{j=1}^n C_{ij})^{1/n}, i = 1, 2, \dots, n),$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(C\omega)_i}{n\omega_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

(4) 判断矩阵 C 的一致性检验

给出一致性指标 (CI): $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 和随机一致性指数 (RI), 见表 1

表 1 随机一致性指数表										
Tab 1 Random index										
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

则一致性比率 (CR) 为: $CR = CI/RI$.

当 $CR < 0.1$, 判断矩阵具有较为满意的一致性, 特征向量 ($\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$) 即为所要确定的各因素的权重; 如果 $CR \geq 0.1$, 则说明判断矩阵没有较好的一致性, 应重新考虑并调整两两比较判断矩阵, 直到具有满意的一致性.

3 例子

应用上述模糊综合评判模型和方法, 可以对某次电子战效能进行评价. 假设邀请 10 位专家对电子战评价指标体系进行打分, 得到的评分结果如表 2 则有下列评判矩阵:

表 2 评价结果表					
Tab 2 Index scores					
	差	较差	一般	较好	好
搜索	2	3	3	2	0
截获	0	1	4	3	2
定位	1	2	5	1	1
分析识别	0	0	2	5	3
电子干扰	1	3	4	2	0
硬摧毁能力	0	2	4	3	1
配置	1	1	4	3	1
屏蔽	1	2	3	3	1
发射控制	3	2	2	2	1
交替工作方法	2	3	4	1	0
方向天线	1	2	3	2	2
同样装备	0	3	4	3	0
频率管制	1	2	3	3	1
加密	1	2	4	3	0
低截获低探测	2	2	3	2	1
反干扰	0	2	5	3	0

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 5 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 5 & 0 & 3 & 0 & 3 \end{bmatrix},$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$R_{31} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 1 \\ 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 3 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_{32} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 2 & 0 & 4 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 5 & 0 & 3 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

利用层次分析法, 得到判断矩阵并计算出各层权重见表 3~ 8

计算表明上述判断矩阵满足一致性的要求. 利用上面所得到的结果, 第一级综合评判向量为:

$$B_{31} = \omega_{31} \cdot R_{31} =$$

$$(0.129 \ 0.201 \ 0.310 \ 0.246 \ 0.114),$$

$$B_{32} = \omega_{32} \cdot R_{32} =$$

表 3 判断矩阵 U 和 U _i 权重					
Tab 3 Judgment matrix U and weights of U _i					
U	U ₁	U ₂	U ₃	ω	
U ₁	1	1/4	1/2	0.137	
U ₂	4	1	3	0.625	
U ₃	2	1/3	1	0.238	

表 4 判断矩阵 U ₁ 和 U _{ij} 权重					
Tab 4 Judgment matrix U ₁ and weights of U _{ij}					
U ₁	U ₁₁	U ₁₂	U ₁₃	U ₁₄	ω ₁
U ₁₁	1	1/3	1/5	1/2	0.085
U ₁₂	3	1	1/2	2	0.261
U ₁₃	5	2	1	2	0.419
U ₁₄	2	1/2	1/2	1	0.238

表 5 判断矩阵 U ₂ 和 U _{ij} 权重					
Tab 5 Judgment matrix U ₂ and weights of U _{ij}					
U ₂	U ₂₁	U ₂₂	U ₂₃	ω ₂	
U ₂₁	1	1/2	1/5	0.085	
U ₂₂	2	1	1/4	0.261	
U ₂₃	5	4	1	0.419	

表 6 判断矩阵 U_{31} 和 U_{31j} 权重

Tab 6 Judgment matrix U_{31} and weights of U_{31j}

U_{31}	U_{311}	U_{312}	U_{313}	U_{314}	U_{315}	U_{316}	U_{317}	ω_{31}
U_{311}	1	1/3	1/2	2	1/4	3	2	0.113
U_{312}	3	1	2	5	1/2	7	5	0.284
U_{313}	2	1/2	1	3	1/2	5	3	0.142
U_{314}	1/2	1/5	1/3	1	1/7	2	1	0.064
U_{315}	4	2	2	7	1	1/3	5	0.263
U_{316}	1/3	1/7	1/5	1/2	3	1	1/2	0.062
U_{317}	1/2	1/5	1/3	1	1/5	2	1	0.072

(0.138 0.20 0.362 0.236 0.064).

从而得出第二级综合评判向量 B_i :

$B_1 = \omega_1 \cdot R_1 =$

(0.059 0.135 0.385 0.263 0.165),

$B_2 = \omega_2 \cdot R_2 =$

(0.148 0.348 0.332 0.152 0.02),

$B_3 = \omega_3 \cdot R_3 = [0.25 \ 0.75] \cdot$

$\begin{bmatrix} 0.129 & 0.201 & 0.310 & 0.246 & 0.114 \\ 0.138 & 0.20 & 0.362 & 0.236 & 0.064 \end{bmatrix} =$

(0.136 0.20 0.349 0.238 0.077).

综合评判矩阵 R :

$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.059 & 0.135 & 0.385 & 0.263 & 0.165 \\ 0.148 & 0.348 & 0.332 & 0.152 & 0.02 \\ 0.136 & 0.20 & 0.349 & 0.238 & 0.077 \end{bmatrix}$

最终得到评判向量 B :

$B = \omega \cdot R = [0.137 \ 0.625 \ 0.238] \cdot$

$\begin{bmatrix} 0.059 & 0.135 & 0.385 & 0.263 & 0.165 \\ 0.148 & 0.348 & 0.332 & 0.152 & 0.02 \\ 0.136 & 0.20 & 0.349 & 0.238 & 0.077 \end{bmatrix} =$

(0.133 0.284 0.343 0.188 0.053)

根据最大隶属度原则,这次电子战效能一般.

表 7 判断矩阵 U_{32} 和 U_{32j} 权重

Tab 7 Judgment matrix U_{32} and weights of U_{32j}

U_{32}	U_{321}	U_{322}	U_{323}	ω
U_{321}	1	1/5	1/3	0.1047
U_{322}	5	1	3	0.6373
U_{323}	3	1/3	1	0.258

表 8 判断矩阵 U_3 和 U_{3j} 权重

Tab 8 Judgment matrix U_3 and weights of U_{3j}

U_3	U_{31}	U_{32}	ω
U_1	1	1/3	0.250
U_3	3	1	0.750

5 结束语

电子战系统是个巨大复杂的系统,涉及到大量随机、不确定因素,而且还有许多难以量化的模糊因素.本文通过介绍模糊综合评判方法,建立了电子战系统效能评估的指标体系和评估模型,对电子战效能进行了有意义的研究,该方法对优选多个电子战系统或对电子战前、电子战后效能评估分析以便合理组织电子战具有一定的应用价值.

参考文献:

[1] Sergei A Vak in, Lev N Shustov, Robert H Dunw ell Fundamentals of Electronic Warfare[M]. Boston: Artech House, 2001.

[2] Michael R Fraer, Michael Ryan. Electronic Warfare for the Digitized Battlefield[M]. Boston: Artech House, 2001.

[3] James J Buckley, Esfandiar Eslami, Thomas Feuring. Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering[M]. Heidelberg: Physica Verlag, 2002.

[4] Didier Dubois, Henri Prade. Fundamentals of Fuzzy Sets [M]. Boston: Kluwer Academic, 2000.

An Effectiveness Analysis of Electronic Warfare Based on the Fuzzy Synthetic Evaluation

CHEN Wen-qí JI Guo-li

(Department of Automation, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Electronic warfare, as an element of information warfare, will be of great use in future war. In order to evaluate effectiveness of electronic warfare system, an index system was given firstly. Then an estimation model presented using the fuzzy synthetic evaluation. Finally a case study was given with the data provided by experts, commander and staff. The study of the case shows the feasibility and effectiveness of the model and method.

Key words electronic warfare system; operational efficiency estimation; fuzzy synthetic evaluation