

文章编号:1671-6833(2008)03-0023-04

光电对抗系统作战效能智能分析方法研究

冯冬青¹, 马书磊², 郭 艳¹

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 中国电子科技集团公司 第 27 研究所, 河南 郑州 450005)

摘 要: 为了适应复杂系统效能分析的需要, 将传统的系统分析、数学建模与模糊数学结合起来, 融合不同分析工具的优点, 提出一种基于 ADC 效能模型的模糊综合评判方法. 首先对系统做层次分解, 形成效能评价指标体系, 然后确定效能评价的评语集和隶属函数形式, 最后依据模糊综合评判的基本步骤逐层聚合权重, 得出系统总体效能评价向量. 对典型的光电对抗系统作战效能分析仿真计算表明, 该方法可行的.

关键词: 光电对抗; 作战效能分析; ADC; 模糊综合评判

中图分类号: TP 391.9 **文献标识码:** A

0 引言

光电对抗在现代战争中的地位日趋重要, 对光电对抗系统的研究也越来越受到各国政府的高度重视. 在任何一个武器系统的装备和发展过程中, 作战效能分析都是一个基本问题. 从发展现状看, 光电对抗系统功能多种多样, 组成复杂, 体制更新快, 难以用传统的攻击武器模型或雷达电子战模型进行效能分析. 当前, 光电对抗系统的发展趋势是多波段、大功率、侦察探测/激光压制一体化等^[1], 这更增加了系统建模的难度. 目前常用的武器系统综合效能模型是美国工业界武器装备系统效能咨询委员会定义的 ADC (Availability, Dependability and Capability) 模型^[2], 即认为系统效能是系统的可用性、可信赖性和能力的函数. 但是当武器系统较复杂时, 难以用简单的模型来描述系统的可用性、可信赖性和能力, 而且在装备论证阶段, 样机研制出来之前, 不可能对其总体性能进行试验和测试, 以至无法获得准确而详细的数据资料. 光电对抗系统的作战效能受作战平台性能、天气条件、人员操作熟练程度、目标特性等诸多因素的影响^[3], 而这些因素都带有一定的模糊性, 适合用模糊数学的方法进行分析. 因此, 笔者尝试利用 ADC 效能模型的全面性、客观性, 模糊数学方法的灵活性和实用性, 将二者有机结合起

来, 形成一种基于 ADC 效能模型, 并采用模糊综合评判分析光电对抗系统作战效能的新方法. 这种方法对难于精确建模和缺乏实测数据支持的环节做模糊化处理, 同时将已有模型和数据纳入到 ADC 模型的体系中去, 能够解决当前光电对抗系统作战效能分析面临的一些矛盾.

1 光电对抗系统的层次分解

首先, 采用军事运筹学层次分析的方法^[4-5], 根据所要完成的功能, 将典型的综合光电对抗系统分解为 4 个子系统: 激光压制/干扰系统、运载系统、防护系统以及通信指挥系统. 这些子系统分别代表了光电对抗系统的攻击能力、机动能力、防护能力和协同能力, 可进一步把这些能力分解为各种分能力, 最后将分能力分解为相应的性能指标, 以便用于模糊评判的权重聚合^[6]. 这几个子系统基本独立地完成各自任务, 其中一个子系统能力的高低, 不会对其他子系统的性能产生显著影响, 因此, 可以把光电对抗系统的效能分解为 4 个子系统效能的加权求和:

$$E = W_1 E_a + W_2 E_r + W_3 E_p + W_4 E_c \quad (1)$$

式中: E 是系统综合效能评价向量; E_a 、 E_r 、 E_p 、 E_c 分别为激光压制/干扰系统、运载系统、防护系统以及通信指挥系统的效能评价向量; W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 是各分系统效能对应的权重值, 满足:

收稿日期: 2008-05-20; 修订日期: 2008-07-01

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目 (0511010800)

作者简介: 冯冬青 (1958-), 男, 广东佛山人, 郑州大学教授, 博士, 研究方向为智能控制理论与应用, E-mail: dqfeng@zzu.edu.cn.

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = 1 \quad (2)$$

2 作战效能模糊综合评判模型

2.1 效能评语的隶属函数

评语集及其隶属函数决定了模糊评价体系的基本结构^[7]. 首先取效能评语集为 $\{I, II, III, IV\}$, 表示系统效能从高到低依次为 I、II、III、IV 级. 对应的符号集设为 $\{u_1, u_2, u_3, u_4\}$, 取各评语论域为 $[0, 100]$, 采用隶属函数如下:

$$u_i(x) = e^{-\frac{(x-a_i)^2}{b_i^2}} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

其中, a_i 和 b_i 一般可由下式确定:

$$a_i = \begin{cases} 25(5-i) & (i=1, 2, 3) \\ 0 & (i=4) \end{cases} \quad (4)$$

$$b_i = \begin{cases} 5(2i+1) & (i=1, 2) \\ 5(3i-4) & (i=3, 4) \end{cases} \quad (5)$$

2.2 效能评价向量

采用模糊综合评判与 ADC 模型相结合的办法求每 1 个分系统的效能评价向量. 第一步, 建立各个分系统的 ADC 指标集{可用性, 可信赖性, 能力}, 用符号表示为 $\{A, D, C\}$. 第二步, 确定 3 个评语向量 R_A, R_D, R_C . 各评语向量的值可通过两种方式得到, 1 种是利用分系统的性能指标和有关参数计算 ADC 指标集中各分量的量化指标值, 再将量化值换算为隶属函数论域上的得分, 最后由隶属函数表达式计算出评语向量; 另 1 种是直接由专家对 ADC 指标打分, 再计算评语向量. 前一种方法适用于有确定的量化指标和足够的参考数据, 能进行完整的效能计算的情况; 后 1 种方法适用于缺乏参考数据支持, 难以进行统计、计算的情况. 在确定评语向量的过程中, 将两种方法结合起来综合使用, 可以最大限度地发挥各种数学工具的优势. 最后, 依据可用性、可信赖性和能力 3 个指标在系统效能中的重要程度, 对每一个分系统的指标集取权重向量 W_A, W_D, W_P, W_C , 用加权平均模型 $M(\bullet, \oplus)$ 求综合评判结果, 以激光压制/干扰子系统为例, 其效能评价向量为:

$$E_A = W_A \begin{bmatrix} R_{A,A} \\ R_{A,D} \\ R_{A,C} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.3 效能评价指标体系

对于各分系统来说, 可用性和可信赖性的评价指标和计算方法都是相近的, 能力的评价与各系统所要完成的功能有关, 不同的功能决定了不同的能力评价指标和计算方法.

可用性的定量指标一般为可用度^[8]. 直接可用度是系统在规定条件下使用时, 随时可满足运行的概率, 这一概率一般以系统寿命期间的时间划分为基础, 其计算式为:

$$P(a) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (7)$$

式中: $MTBF$ 为平均故障间隔时间; $MTTR$ 为平均修理时间. 当系统较复杂, 划分为多个部件进行可用性分析时, 需要计算系统在多状态(部分部件工作, 其它不工作)下的直接可用度, 此时计算量将随系统划分的深入而增加.

对系统可信赖性而言, 最基本的指标是系统运用期间在给定条件下不出现故障而良好工作的概率. 度量系统可信赖性的常用指标为故障率、可信赖性函数和平均故障间隔时间. 其中, 可信赖性函数是元件或系统在给定条件下和规定工作时间内良好工作的概率, 它的取值区间最适合于 $[0, 100]$ 论域上的分值评价方法, 其表达式为:

$$R(t) = P\{T > t\} \quad (8)$$

式中: T 是元件或系统能良好工作的持续时间. 基于事件概率可用事件频率来估计的原理, 这一概率可用运行时间 t 后剩余元件数与总元件数的比值表示.

各分系统的能力指标计算相对比较复杂. 图 1 给出了系统能力指标计算体系. 从中可以看出, 不同的分系统功能多种多样, 需采用不同的计算模型和指标.

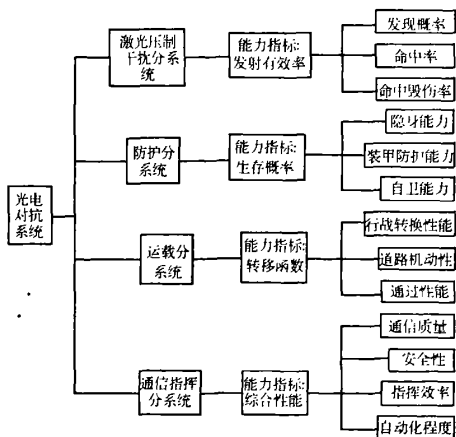


图1 能力指标计算体系

Fig.1 Indicators calculation system

设系统发射有效率、生存概率、转移函数以及通信指挥系统综合性能指标依次为: $P_e, P_l, r(t, s), S$, 则有

$$P_e = P_d P_m P_{EX} \tag{9}$$

$$P_l = 1 - (1 - P_{il}) (1 - P_{iz}) (1 - P_{is}) \tag{10}$$

$$r(t,s) = P \{ t \leq T_0, s \geq S_0 \} \tag{11}$$

$$S = W_s S^* \tag{12}$$

$$S^* = [S_1, S_2, S_3, S_4]^T \tag{13}$$

式中： P_d 、 P_m 、 P_{EX} 依次为系统发现、击中、有效压制/干扰目标的概率； P_{il} 、 P_{iz} 、 P_{is} 依次为系统避免被敌方发现、破坏敌方攻击以及依靠装甲防护能力在敌火力攻击下生存的概率； t 为运输系统完成规定任务的时间； s 为装备转移行程； T_0 为运输系统完成指定任务的限定时间； S_0 为两个指定作战地点的间距； W_s 为通信指挥系统各方面性能的权重向量，这是一个四维行向量，各分量为和

1； S^* 为通信指挥系统各方面性能的指标向量，这是一个四维列向量，其分量 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 分别为通信质量、安全性、指挥效率和自动化程度的归一化指标值。

3 仿真计算

以前述的综合光电对抗系统为例，考虑到分系统效能指标值的计算过程较复杂，且涉及具体系统性能参数，不属于本文讨论的范围，因此表1直接列出了由一组系统效能指标值和式(3)计算而得的各分系统的效能评语向量。表2给出了4个分系统在可用性、可信性和能力三方面的权重向量。

表1 分系统效能评语向量
Tab.1 Subsystem performance reviews vectors

分系统	可用度	可信性	能力
激光压制/干扰系统	[0.17,0.94,0.11,0.02]	[0.64,0.57,0.02,0.01]	[0.37,0.78,0.05,0.01]
运载系统	[0.17,0.94,0.11,0.02]	[0.89,0.37,0.01,0]	[0.93,0.33,0.01,0]
防护系统	[0.99,0.24,0,0]	[0.96,0.3,0,0]	[0,0.57,0.78,0.11]
通信指挥系统	[0.53,0.66,0.03,0.01]	[0.75,0.48,0.01,0.01]	[0.02,0.94,0.37,0.05]

表2 分系统权重向量
Tab.2 Weight vectors of subsystems

W_a	W_r	W_p	W_c
[0.3,0.2,0.5]	[0.3,0.4,0.3]	[0.2,0.2,0.6]	[0.4,0.3,0.3]

由表1可得各分系统的评语矩阵如下：

$$R_a = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.94 & 0.11 & 0.02 \\ 0.64 & 0.57 & 0.02 & 0.01 \\ 0.37 & 0.78 & 0.05 & 0.01 \end{bmatrix};$$
$$R_r = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.94 & 0.11 & 0.02 \\ 0.89 & 0.37 & 0.01 & 0 \\ 0.93 & 0.33 & 0.01 & 0 \end{bmatrix};$$
$$R_p = \begin{bmatrix} 0.99 & 0.24 & 0 & 0 \\ 0.96 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0.57 & 0.78 & 0.11 \end{bmatrix};$$
$$R_c = \begin{bmatrix} 0.53 & 0.66 & 0.03 & 0.01 \\ 0.75 & 0.48 & 0.01 & 0.01 \\ 0.02 & 0.94 & 0.37 & 0.05 \end{bmatrix}.$$

各分系统的评价向量依次可求出如下：

$$E_a = [0.36 \quad 0.79 \quad 0.06 \quad 0.01];$$
$$E_r = [0.69 \quad 0.53 \quad 0.04 \quad 0.01];$$
$$E_p = [0.39 \quad 0.45 \quad 0.47 \quad 0.07];$$
$$E_c = [0.44 \quad 0.69 \quad 0.13 \quad 0.02].$$

依据各分系统的作用和地位，确定综合权重向量为：

$$W = [0.35 \quad 0.35 \quad 0.1 \quad 0.2].$$

计算得综合评价向量为：

$$E = W \begin{bmatrix} E_a \\ E_r \\ E_p \\ E_c \end{bmatrix} = [0.5 \quad 0.64 \quad 0.11 \quad 0.02].$$

根据隶属度分布情况可见，系统效能在“Ⅰ”级和“Ⅱ”级之间。

4 结束语

光电对抗技术是集光电子、激光、计算机、自动控制等技术为一体的现代军事技术，其应用广泛，发展迅速，但相应的作战效能分析技术却不够完善。主要原因在于光电对抗系统组成复杂，体制更新快，而且缺乏直观的效能评价标准。另外，对抗目标的多样性、复杂性以及不确定性客观上增加了光电对抗系统效能分析的难度。笔者提出的基于ADC效能模型的模糊综合评判方法为光电对抗系统的作战效能分析提供了一种新的思路，

在目标系统缺乏精确数学模型和实测数据支持的情况下具有实用价值.从仿真结果看,这种方法能够比较客观地反映系统的实际效能,对类似的新型武器装备论证是有借鉴意义的.

参考文献:

- [1] 谭宇.红外干扰系统的现状与发展趋势[J].外军电子战,1999,(3):45-52.
- [2] 郭奇胜.武器效能评估概论[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [3] 熊晓伟,刘上乾.现代光电干扰技术面面观[J].现代兵器,1999,(4):11-13.
- [4] 郑孝勇,姚景顺.基于模糊层次分析法的雷达效能评估方法[J].现代雷达,2002,(2):8-9.
- [5] 张最良.军事运筹学[M].北京:军事科学出版社,1993.
- [6] 刘铮,吴小萍,杨立国.层次分析法及消去与选择转换法在铁路环评中的应用[J].郑州大学学报:工学版,2007,28(3):56-60.
- [7] 周刚.电子战系统作战效能 FUZZY 评判[J].舰船电子对抗,2002,25(1):7-9.
- [8] 王宇.ADC方法在通信星座系统效能评估中的应用[J].科教文汇,2007,195(2):195-196.

Intelligent Methods Research of Operational Efficiency Analysis of Photoelectricity Confrontation System

FENG Dong-qing¹, MA Shu-lei², GUO Yan¹

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. The Twenty-seventh Research Institute of Chinese Electronic Science and Technology Corporation, Zhengzhou 450005, China)

Abstract: To meet the needs of analysis on operational efficiency of complicated system, a new fuzzy comprehensive evaluation method based on the model of ADC is proposed in this paper, which combines traditional systems of different analysis methods. First, we elaborate the hierarchical decomposition to the system, forming an index system for the evaluation of effectiveness; analysis and mathematical modeling with fuzzy mathematics, syncretizing the advantages; then, we determine the comments sets and membership function forms of efficiency evaluation; finally, we polymerize weights layer by layer according to the basic steps of fuzzy synthetic decision to obtain the vector of the overall efficiency evaluation of the system. The result of the simulation of typical photoelectric confrontation shows the method is feasible.

Key words: photoelectricity confrontation; analysis of operational efficiency; ADC; fuzzy comprehensive evaluation