

一种空基 C³I 系统的效能评估方法

崔冰凌¹, 张文², 章海³

(1. 中国飞行试验研究院 航电所, 陕西 西安 710089; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 3. 94936 部队, 浙江 杭州 310021)

摘要:为研制和建设经费的合理分配,进一步系统优化设计和完善系统提供科学依据,针对空基 C³I 系统的功能、特点以及应用研究情况,提出了空基 C³I 系统效能的评估指标体系,综合考虑系统所有的指标因素并附加专家经验,对空基 C³I 系统效能进行了主、客观相结合量化,增强了评价的综合能力,利用模糊综合评价法对系统的静态效能进行评估,将对系统的静态评估和动态评估相结合,最终得到对系统效能总的评价,实例分析表明了此方法的可行性和有效性。

关键词:指控系统;系统效能;模糊评价

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2009.04.008

中图分类号: V271.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)04-0033-04

目前,国内外都十分重视对空基 C³I 系统的评估技术研究,已经取得了不少的研究成果,提出了一些评估方法和模型^[1-6]。其中影响较大的有 SEA 法、系统动力学法、Petri 分析法、试验床法、影响图法、模块化指控评估结构模型和层次分析法等方法和模型。这些方法和模型基本上可以分为 2 种类型^[7],一种类型为连续型,另一种类型为离散型,这些方法和模型以评估目的为中心,从不同的角度探讨了 C³I 系统的评估问题,在实际应用中取得了许多积极成果,但同时也存在需要继续完善和进一步发展的问題。

所谓空基 C³I 系统是指设置在飞机上的指挥自动化设备系统,它能在运动中为各级指挥员提供指挥、控制、通信和情报处理功能。文中采用基于层次分析理论的模糊综合评判法,引进科学评估方法,将理论与试飞相结合,是空基 C³I 系统效能评估的有效方法,能使最终的评估结果符合实际研制要求。

1 综合评价的指标体系

根据空基 C³I 系统的组成和功能划分,建立空基 C³I 系统效能评价指标体系见图 1。

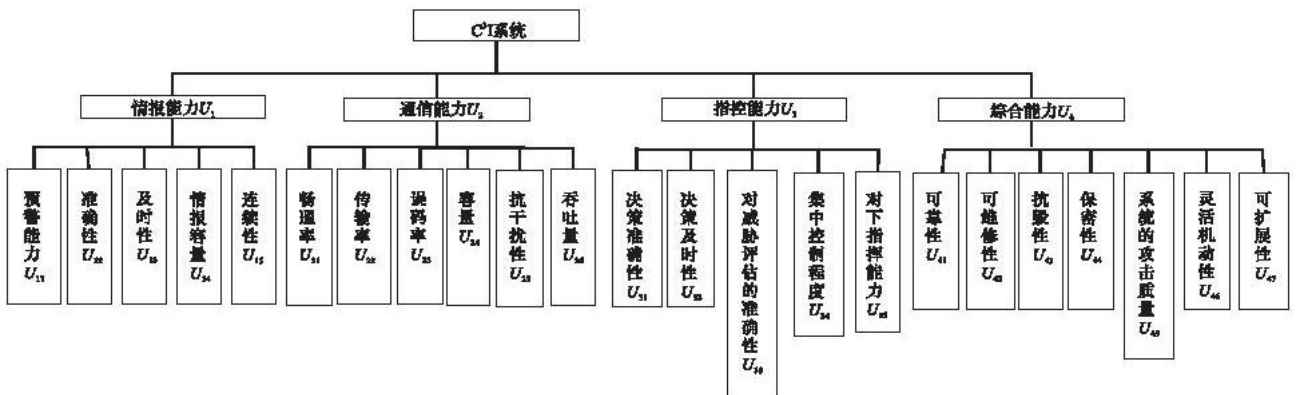


图 1 C³I 系统效能评价指标体系

Fig. 1 Index of C³I system effectiveness evaluation

* 收稿日期:2008-10-28

基金项目:中国航空科学基金资助项目(01H30011)

作者简介:崔冰凌(1976-),女,陕西西安人,工程师,主要从事综合航电试飞研究. E-mail:baijianlin_2004@163.com

2 多级模糊综合评价

2.1 评价步骤^[8]

1)把因素论域按图1中的层次属性分成 s 个子集, $U = \bigcup_{i=1}^s u_i$, 式中 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ip}\}$, $i=1, 2, \dots, s$ 。这里 s 为 4。

2)对每一个 u_i 进行单级模糊综合评价。设评语论域为 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$, u_i 中各因素的模糊权向量 为 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}\}$, 且 $\sum_{r=1}^p a_{ir} = 1$ 。 u_i 的单因素评价结果为 R_i (p_i 行, m 列), 单级评价模型为 $A_i \cdot R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) \triangleq B_i, i=1, 2, \dots, s$ 。

3)将 u_i 看作一个综合因素, 用 B_i 作为它的单因素评价结果, 可得隶属关系矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{s1} & b_{s2} & \dots & b_{sm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

设综合因素 u ($i=1, 2, \dots, s$) 的模糊权向量为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_s)$, 则二级模糊综合评价模型 $A \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m) \triangleq B$, 见图 2。

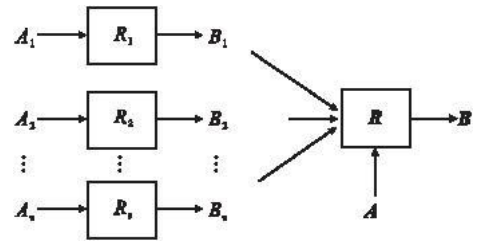


图2 二级综合评价模型

ig. 2 Model of second synthetic evaluation

2.2 模糊综合评价方法的选择

采用模糊算子 $M(\cdot, \oplus)$ 进行综合评价^[9], 第 1 步体现权数的作用, 第 2 步可以保证充分利用 R 阵提供的各方面信息。所以 $b_j = \sum_{i=1}^p (a_i, r_{ij}) = \min(1, \sum_{i=1}^p a_i, r_{ij}), j=1, 2, \dots, m$ 。其中第 1 步运算“ \cdot ”用于 a_i 对 r_{ij} 的修正, 第 2 步运算“ \oplus ”用于对修正后的 r_{ij} ($i=1, 2, \dots, p$) 的综合。

2.3 各因素权重的确定

可采用相邻比较法与德尔菲法结合使用^[10], 在发给专家的征询意见表时, 将指标按一定考虑排好顺序: x_1, x_2, \dots, x_k , 把 x_k 与 x_{k-1} 相比。设相比的重要性的值为 $g_i = \frac{x_k}{x_{k-1}}$ 。令:

$$w'_i = \prod_{j=2}^i g_j = g_i g_{i-1} \dots g_2, \quad i=2, 3, \dots, k; \quad w'_1 = g_1 = \frac{x_1}{x_1} = 1 \quad (2)$$

归一化后:

$$w_i = w'_i / \sum_{j=1}^k w'_j, \quad i=1, 2, \dots, k \quad (3)$$

这里的比较顺序并不要求后一个比前一个重要(即 $g_i \geq 1$), 关键是将二者比较。

2.4 评价结果分析

采用最大隶属度原则。设结果向量 $B = (b_1, b_2, \dots, b_m)$; 评价指数 $\alpha = \frac{m\beta-1}{2\gamma(m-1)}$ 。式中 $\beta = \max_{1 \leq j \leq m} \{b_j\} / \sum_{j=1}^m b_j$; $\gamma = \sec_{1 \leq j \leq m} \{b_j\} / \sum_{j=1}^m b_j$ 。当 $\alpha < 0.5$ 时认为低效, 方案不宜采用。

3 仿真算例

设 10 位专家给某一 C³I 系统的各项指标进行评价。评价论域为: {很好, 好, 一般, 差, 很差}。得到的隶属关系矩阵分别为:

$$\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{R}_4 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & 0.6 & 0.3 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

应用相邻比较法计算各层指标的权重见表 1。

表 1 各层指标的权重

Tab.1 The weight of each index

指标	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}
等级	3	5	5	6	1	5	4	5	1
w_i	0.176 5	0.294	0.294	0.176 5	0.059	0.238	0.190 5	0.238	0.047 7
指标	U_{25}	U_{26}	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{34}	U_{35}	U_{41}	U_{42}
等级	3	3	5	4	5	3	4	3	3
w_i	0.142 9	0.142 9	0.238	0.190 5	0.238	0.143	0.190 5	0.142 8	0.142 8
指标	U_{43}	U_{44}	U_{45}	U_{46}	U_{47}	U_1	U_2	U_3	U_4
等级	3	5	5	1	1	4	4	5	3
w_i	0.142 8	0.238	0.238	0.047 8	0.047 8	0.25	0.25	0.3125	0.187 5

这样,得到一级评估向量为:

$$\mathbf{B}_1 = \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{R} = (0.176\ 5 \quad 0.294 \quad 0.294 \quad 0.176\ 5 \quad 0.059) \cdot \mathbf{R} = (0.470\ 5 \quad 0.411\ 8 \quad 0.423\ 6 \quad 0.111\ 8 \quad 0.017\ 7)$$

$$\mathbf{B}_2 = \mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{R} = (0.238 \quad 0.190\ 5 \quad 0.238 \quad 0.047\ 7 \quad 0.142\ 9 \quad 0.142\ 9) \cdot \mathbf{R} = (0.071\ 4 \quad 0.309\ 5 \quad 0.423\ 6 \quad 0.428\ 6 \quad 0.133\ 4 \quad 0.062)$$

$$\mathbf{B}_3 = \mathbf{A}_3 \cdot \mathbf{R} = (0.238 \quad 0.190\ 5 \quad 0.142\ 8 \quad 0.238 \quad 0.238 \quad 0.047\ 8 \quad 0.047\ 8) \cdot \mathbf{R} = (0.057\ 2 \quad 0.200\ 1 \quad 0.442\ 8 \quad 0.271\ 4 \quad 0.028\ 6)$$

$$\mathbf{B}_4 = \mathbf{A}_4 \cdot \mathbf{R} = (0.142\ 8 \quad 0.142\ 8 \quad 0.142\ 8 \quad 0.238 \quad 0.238 \quad 0.047\ 8 \quad 0.047\ 8) \cdot \mathbf{R} = (0.057\ 2 \quad 0.200\ 1 \quad 0.442\ 8 \quad 0.271\ 4 \quad 0.028\ 6)$$

进行二级综合评价得:

$$\mathbf{B} = \mathbf{A} \cdot \begin{bmatrix} 0.470\ 5 & 0.411\ 8 & 0.423\ 6 & 0.111\ 8 & 0.017\ 7 \\ 0.071\ 4 & 0.309\ 5 & 0.428\ 6 & 0.133\ 4 & 0.062 \\ 0.109\ 5 & 0.647\ 7 & 0.381 & 0.214\ 8 & 0 \\ 0.057\ 2 & 0.200\ 1 & 0.442\ 8 & 0.271\ 4 & 0.028\ 6 \end{bmatrix} = (0.180\ 3 \quad 0.420\ 2 \quad 0.415\ 1 \quad 0.179\ 3$$

0.025 3)

结果分析:计算得到 $\beta=0.344\ 4$; $\gamma=0.340\ 2$; $\alpha=0.265\ 3 < 0.5$,所以可知该系统效能不高,对系统的结构或参数需要改动。

4 结束语

本文应用模糊综合评价方法对空基 C³I 系统效能进行静态评估,可以综合所有的因素信息,再加上专家的经验,对系统整体效能进行了客观与主观相结合的量化,使人们对系统的情况了解得更清晰。而且,对于

多个方案,根据具体的评价结果可以进行数值比较,便于改进系统的设计和方案的修正。

参考文献:

- [1] Linas J, Hall D L. An Introduction to Multi-sensor Data Fusion [C]//Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Systems. California:IEEE Press, 1998:537-540.
- [2] Steinberg A, Bowman C, White F. Revisions to the JDL Data Fusion Model [C]//Proc of the SPIE Sensor Fusion: Architecture Algorithms and Applications III. California:IEEE Press, 1999:430-441.
- [3] Hall D L, Linas J. Handbook of Multi-sensor Data Fusion[M]. New York: CRC Press, 2001.
- [4] 苏蓉,郑寇全,陈亮,等. 空基指控系统动态效能评估方法[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2009, 10(2):56-59.
SU Rong, ZHENG Kouquan, CHEN Liang, et al. Research on Dynamic Efficiency Evaluation of the Air-based Command Control System[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2009, 10(2):56-59. (in Chinese)
- [5] Dasarathy B. Sensor Fusion Potential Exploitation—Innovative Architectures and Illustrative Applications [J]. IEEE Proceeding, 1997, 85(1):24-38.
- [6] Bedworth M, Brien J. The Omnibus Model: A New Model of Data Fusion [J]. Proceeding of IEEE AES Systems Magazine, 2000, 12(4):30-36.
- [7] Bedworth M. Probability Moderation for Multilevel Information Processing [R]. DRA Technical Report DRA/CIS (SEI)/651/8/M94.AS03BPO32/t, 1994.
- [8] 王三民. 模糊推理及态势估计研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2004.
WANG Sanmin. Research on Fuzzy Reasoning and Situation Assessment [D]. Xi'an: Xidian University, 2004. (in Chinese)
- [9] Dalcher D. A Situational Assessment [C]//Proceedings of 7th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems. New York: IEEE Press, 2000:390-392.
- [10] Stover J A, Hall D L, Gibson R E. A Fuzzy-logic Architecture for Autonomous Multi-sensor Data Fusion [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1996, 43(3):403-410.

(编辑:田新华)

A Fuzzy Synthetic Evaluation of Airborne C³I System Efficiency

CUI Bing-ling¹, ZHANG Wen², ZHANG Hai³

(1. Aerohautic Electronic Institute Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China; 2. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China; 3. Army Unit 94936, Hangzhou 310021, Zhejiang China)

Abstract: In order to provide a scientific basis for the rational allocation of development and construction funds required in further system optimization to improve system design, an airborne C³I system performance assessment index system is proposed according to the function, characteristics and the applied research of airborne C³I system, in which all factors and additional indicators expertise on airborne C³I system performance are taken into consideration comprehensively, and the airborne C³I system efficiency is quantified by combining the subjective and the objective to enhance the comprehensive ability in evaluation. The use of fuzzy comprehensive evaluation method in evaluating the static system performance will combine the static and dynamic assessments to obtain a total evaluation of the system performance. An example analysis is done, which shows that this method is feasible and effective.

Key words: command control system; system efficiency; fuzzy evaluation