

空基指控系统动态效能评估方法

苏蓉¹, 郑寇全², 陈亮¹, 王冰¹

(1. 中国飞行试验研究院 飞机研究所, 陕西 西安 710089; 2. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:针对目前指控系统自身特性或使命要求的不同导致系统评估有效性指标不稳定的实际,结合空基指控系统的功能、特点以及应用研究情况,以空基指控系统试飞效能数据为基础,借助兰彻斯特方程描述战争过程的广泛适用性和实时有效性,提出了一种以系统空间与使命的匹配程度为目标的动态评估模型,即把系统的运行与系统要完成的使命结合起来,根据系统在特定情况下本原的取值范围,计算系统属性空间的运行轨迹与使命所要求轨迹相符合的程度,得到对空基指控系统有效性评价总的度量。此方法能在一定程度上弥补由于使命属性选择不够合理而导致的评估差异。仿真结果验证了该方法的有效性和合理性。

关键词:指控系统;系统效能;动态评估

中图分类号: V271.4; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)02-0056-04

武器系统的研制开发需消耗巨额的资金和长时间艰苦的劳动,而最终怎样衡量,如何评估系统效能的发挥是武器系统研发必须解决的重要问题。系统效能评估的实质是评估系统完成预期任务的能力,定量的描述这些能力是效能评估的首要课题,因此系统的效能评估显得尤为重要^[1-4]。空基指控系统是一个复杂的综合性极强的系统,它以飞机作为搭载平台,飞行试验为其提供了必要的条件,同时有效的测试和评估手段为其提供建设性的意见,为系统进一步完善和优化设计提供科学依据,对系统进行效能评估分析的各种方法,都必须具备充分的广泛性和灵活性,空基指控系统试飞就是为了完成特定的使命任务,因此系统匹配程度自然成为评估系统的一个主要指标^[5-6]。同时,由于人们对使命不可能有十分完善的描述,这又影响对系统效能的客观评价^[7]。基于这些考虑,本文提出系统动态效能评估方法,该方法综合了 SEA 法、层次分析法和模糊综合评判法的优点,是一种有效评估空基指控系统效能的方法。

1 系统动态评估方法

假定某次试飞的使命就是保卫某一特定区域免遭敌机和导弹袭击^[8],试飞的简化模型为:假设敌方目标只有飞机,敌方可采用空空、空地导弹摧毁我方空中和地面的目标。防御方有空空、地空导弹。而中立方只有一个目标即商用飞机。双方简化态势图见图 1^[9]。

图 1 中:• 表示探测单位,○ 表示火力单位, R 为敌机与火力支援协作线路(FSCL)的距离; V 为敌机的速度, R_0 为系统最大作用距离, R_1 为敌空对地导弹的作用距离;FSCL 为一条火力支援标线,该线把敌我双方分开。空基指控系统的任务就是依托地面雷达正确地识别飞机并给火力单位指示目标,敌机必须被阻止在 R_1 以外,否则敌机就能发射导弹袭击我方目标。为火力单位提供准确的数据是空基指控系统的作战使命。

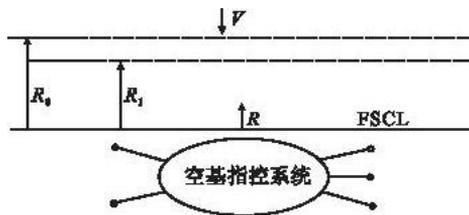


图 1 简化态势示意图

Fig. 1 Brief station sketch map

* 收稿日期:2008-10-26

基金项目:中国航空科学基金资助项目(01H30011)

作者简介:苏蓉(1971-),女,黑龙江佳木斯人,助理工程师,主要从事飞行品质试验研究。

E-mail: baijianlin_2004@163.com

2 动态效能值

2.1 系统和使命属性

空基指控系统属性为: P_1 为2个节点间传递信息所需时间; P_2 为某时刻探测到敌机距 FSCL 线的距离; P_3 为识别的质量; P_4 为集中控制和攻击质量; P_5 为目标定位和攻击质量; P_6 为取决于问答式敌我识别器的质量。由于该装置在武器层次上给 ID 提供信息,所以这些装置的质量直接影响目标定位和攻击的质量。

某次试飞的使命属性如下:

该系统要完成的使命有:防止敌人进入我方领域,在敌机对我方目标攻击之前,把敌人阻止在距我方领域尽可能远的距离上;尽量少地误伤中立目标。

2.2 假设条件

假设: $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别为我方和敌方在 t 时刻的飞机数量, x_0 、 y_0 为初始时刻的数量; $z(t)$ 为中立方在 t 时刻的数量, z_0 为中立方在初始时刻的数量。

令:

$$n(t) = \frac{x_0 - x(t)}{x_0} \quad (1) \quad m(t) = \frac{y_0 - y(t)}{y_0} \quad (2)$$

起始时间即敌机进入系统探测范围时的时间,战斗结束时间为 T_f , T_f 由下式确定^[10]:

$$n(T_f) = n_f \text{ 或 } m(T_f) = m_f \quad (3)$$

式中: n_f 、 m_f 分别为双方的停火策略,且 $n_f > m_f$ 即防御方的损失率允许较进攻方大。

令:

$$M_{P_1} = \frac{x(T_f)/x_0(1-n_f)}{y(T_f)/y_0(1-m_f)} \quad (4)$$

或:

$$M_{P_1} = \frac{1-n(T_f)}{1-m(T_f)} \frac{(1-m_f)}{(1-n_f)} \quad (n_f > m_f) \quad (5)$$

显然,如果 $m(T_f) = m_f$, 则 $n(T_f) < n_f$, 此时 $M_{P_1} = \frac{1-n(T_f)}{1-n_f} > 1$ 。

如果 $n(T_f) = n_f$, 则 $m(T_f) < m_f$, 则:

$$M_{P_1} = \frac{1-m_f}{1-m(T_f)} < 1 \quad (6)$$

也就是说,当 $M_{P_1} > 1$ 时,敌机撤回;当 $M_{P_1} < 1$ 时,则我方放弃战斗。 M_{P_1} 反映防空任务的成功程度。

类似定义:

$$M_{P_2} = Z(T_f)/Z_0 \quad M_{P_3} = R_f/R_1 \quad (7)$$

式中 R_f 为战斗结束时敌目标到达 FSCL 的距离。

3 动态效能方程的求解

用兰彻斯特方程来描述战斗过程^[11]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -ax - bx & x(0) = x_0 \\ \frac{dy}{dt} = -cx & y(0) = y_0 \\ \frac{dz}{dt} = -dxz & z(0) = z_0 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $a = \frac{\text{moe7}}{\text{moe10}}$; $c = \frac{\text{moe8}}{\text{moe10}}$; $d = \frac{\text{moe9}}{\text{moe10}}$; b 为单位敌机杀伤我方概率。moe7, moe8 和 moe9 分别为攻击我方、中立方和敌方的概率。moe10 为从探测到目标到交战的平均时间或时间延迟。

求解该方程组得解如下:

$$\begin{cases} x(t) = K_1 e^{-\lambda_1 t} + K_2 e^{-\lambda_2 t} \\ y(t) = \frac{1}{b} [(\lambda_1 - a)K_1 e^{-\lambda_1 t} + (\lambda_2 - a)K_2 e^{-\lambda_2 t}] \\ z(t) = K_3 e \left[\left(\frac{K_1 d}{\lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right) + \left(\frac{K_2 d}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t} \right) \right] \end{cases} \quad (9)$$

式中:

$$\lambda_1 = \frac{a + \sqrt{a^2 + 4bc}}{2}; \lambda_2 = \frac{a - \sqrt{a^2 + 4bc}}{2}$$

$$K_1 = \frac{by_0 - (\lambda_0 - a)x_0}{\lambda_1 - \lambda_2}; K_2 = \frac{-by_0 + (\lambda_0 - a)x_0}{\lambda_1 - \lambda_2}; K_3 = Z_0 e^{-dy_0/c} \quad (10)$$

4 仿真分析

系统轨迹与使命轨迹见图2。假设使命要求的取值为:

$$1 - (1 - n_f) \geq M_{P_1} \geq M_{P_{10}} = 1.1; \quad 1 \geq M_{P_2} \geq M_{P_{20}} = 0.8; \quad 1 \geq M_{P_3} \geq M_{P_{30}} = 1.0 \quad (11)$$

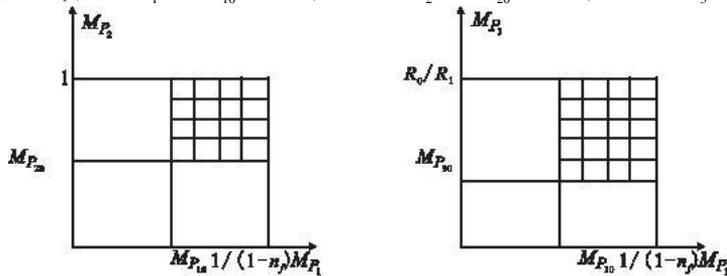


图2 使命轨迹的投影

Fig. 2 The projection of the mission trajectory

若 $n_f = 0.6$, L_m 代表使命轨迹, 则:

$$V(L_m) = 0.28 = (2.5 - 1.1)(1 - 0.8)$$

又假设: $0.1 \leq P_1 \leq 0.95$; $0.75 \leq P_2 \leq 0.95$; $0.75 \leq P_3 \leq 0.99$; $0.5 \leq P_4 \leq 0.99$; $0.75 \leq P_5 \leq 0.99$ 。

系统轨迹为 L_s , 则可以得到 $V(L_s) = 0.068$ 。根据使命轨迹和系统轨迹有:

$$V(L_s \cap L_m) = 0.02$$

$$E_1 = V(L_s \cap L_m) / V(L_s) = 0.292 \quad (12)$$

$$E_2 = V(L_s \cap L_m) / V(L_m) = 0.071$$

式中: V 为归一化属性空间中的体积和密度; E 为系统与使命的匹配程度; E_2 很小是因为所考虑的使命轨迹中包含了不现实的事件, 说明我方打赢了战斗, 却没有损失一个目标。

5 结束语

系统空间与使命的匹配程度为目标的动态评估方法能在一定程度上弥补由于使命属性选择不合理而导致的评估误差。通过文中分析系统的动态效能的产生过程, 从而得到了空基指控系统的某次试飞的效能值, 从整个系统的效能值中反映出每当指控系统变化时, 效能值就跟随变化。因此, 空基指控系统的效能较高。运用该方法主要是结构层次清晰, 评判的标准具有较高的分辨率, 数据的采集比较方便, 此模型的通用性和可扩展性较强, 可以推广到其它系统的评估。

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] 徐毅, 金德琨, 敬忠良. 数据融合研究的回顾与展望[J]. 信息与控制, 2002, 31(3): 250-255.

- XU Yi, JIN Dekun, JING Zhongliang. Status and Development of Data Fusion [J]. Information and Control, 2002, 31(3): 250 – 255. (in Chinese)
- [3] 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)
- [4] 董其义, 刘宏. 潜射反舰导弹武器系统作战效能指标体系设计 [J]. 海军航空工程学院学报, 2006, 21(5): 523 – 525.
DONG Qiyi, LIU Hong. Operational Effectiveness Index System Design of Submarine – Launched Anti – ship Missile Weapon System [J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical Institute, 2006, 21(5): 523 – 525. (in Chinese)
- [5] Hinman M L. Some Computational Approaches for Situation Assessment and Impact Assessment [C]// Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion. Maryland: ISIF & IEEE Press, 2002: 687 – 693.
- [6] Looney C G. Exploring Fusion Architecture for A Common Operational Picture [J]. Information Fusion, 2001, 2(4): 251 – 260.
- [7] Looney C G, Liang L R. Cognitive Situation and Threat Assessments of Ground Battlespaces [J]. Information Fusion, 2003, 4(4): 297 – 308.
- [8] Atanassov K. Intuitionistic Fuzzy Sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1986, 20(1): 87 – 96.
- [9] Atanassov K. More on Intuitionistic Fuzzy Sets [J]. Fuzzy Sets and Systems, 1989, 23(1): 37 – 46.
- [10] Atanassov K, Kacprzyk J, Szmidt E, et al. On Separability of Intuitionistic Fuzzy Sets [J]. Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2003, 27: 285 – 292.
- [11] Abbas S E. On Intuitionistic Fuzzy Compactness [J]. Information Sciences, 2005, 173(3): 75 – 91.

(编辑:田新华)

Research on Dynamic Efficiency Evaluation of the Air – based Command Control System

SU Rong¹, ZHENG Kou – Quan², CHEN Liang¹, WANG Bing¹

(1. Airplane Institute, Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China; 2. Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: Aiming at the fact that the dependence of modern high – tech warfare on the command and control system is increasing, and that the command and different control system itself characteristics and the different mission requirements make the evaluation effectiveness unstable, a dynamic evaluation model with the matching degree of system space and mission as the target is presented, in combination with the Air – based command control system function, characteristic and application research, on the basis of command control system flight – test data illustrating the broad applicability and real – time effectiveness of the warfare with the Lanchester Equation. By using this method, the operation and the mission of the system are combined together to calculate the relation between the trajectory of the system property space and the mission – required trajectory according to the numeric area of the system in certain circumstance, and finally the whole measurement of the Air – based command control system is given. The method makes up the evaluation difference caused by the unreasonable choice of mission property. The simulation results verify the validity and rationality of the method.

Keywords: command control system; system efficiency; dynamic evaluation