

联合防空战场信息感知系统效能评估

王晓楠, 王颖龙

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:为提高联合防空作战信息保障能力,提出了联合防空战场信息感知系统的定义,从系统构成、功能和军事需求出发,给出了联合防空战场信息感知系统效能评估指标体系的构建思路,按照指标确立的原则建立了战术性能的指标体系;采用灰色理论对感知系统进行了评估,从而弥补了在以往评估过程中的一些不完全明确的信息对评估结果的影响。可为联合防空战场信息感知系统的构建及效能评估提供参考。

关键词:联合防空;信息感知系统;效能评估;指标体系

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.01.012

中图分类号: TN959.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)01-0049-05

战场信息感知是指通过传感器将战场上的各种信息反馈给所有参战部队和支援保障部队,使指挥员对战场空间内敌、我、友各方兵力部署、武器装备和战场环境等信息实时掌握,形成对战场情况和将要发生事件的总体把握,为作战决策提供依据^[1-2]。联合防空战场信息感知系统是信息感知能力的物质基础,是一个能对各级联合防空作战指挥员关心的核心情报进行收集;能对所关注区域海、陆、空、天及水下的目标实施连续侦察监视,及时获取防空战场综合态势,为防空作战提供可靠的综合情报保障的巨型系统^[3-5]。如何对这种大型的感知系统进行合理、科学的评估,如何建立适应这种新体制的系统综合指标体系,并确定其可达到的指标水平,已成为一个新的课题。综合集成后的联合防空战场信息感知系统必须具备多源情报信息的监控覆盖能力、信息资源共享和装备高效调度集成、信息综合处理利用等能力。因此,传统的技术指标已经不能完整描述系统的功能,必须从综合集成的角度确定系统的指标体系。

1 联合防空战场信息感知系统效能评估指标体系的确立

装备、系统所具备的能力就是系统指标体系的具体指标,对装备而言,其内部具备有功能,对外可表现出具体的技术性能。对感知系统而言,主要包含以下几点:

1) 全域信息获取和融合处理能力。指系统运用各类传感器,全面获取空中态势信息,并对获取的信息进行传感器层的信息处理。对信息获取的基本要求是力图使获取的信息是完备的、真实、准确和实时的^[6]。信息处理的目的是以最优的形式为各级指挥员提供受控对象的态势信息,辅助指挥员科学决策^[7]。对单一传感器而言,发现意味着空域时域、信息域的截获与证实;由于大系统内的多传感器相互独立,多侦察手段综合后,传感器形成互补和印证的网络,系统的侦察使发现概率大幅度提升。主要包括覆盖能力、信息种类截获时效,信息/情报种类、数量,信息密度/容量、处理容量、速度,时效性、准确性等指标。

2) 传输与分发能力。是保证实时、连续和隐蔽指挥的前提。对传输分发的基本要求是无差错、近零时延、抗干扰、防窃取和连续、稳健。主要涉及覆盖区域、分类型/媒质、传输时延、带宽、路由和安全等指标。传

* 收稿日期:2009-03-03

基金项目:国家“863”计划资助项目(2007AAXX1504)

作者简介:王晓楠(1980-),女,黑龙江五常人,博士生,主要从事信息融合,作战指挥及应用研究;

E-mail:wxn19801218@163.com

王颖龙(1945-),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事信息化防空作战研究。

输与分发的实现途径大体可分为依托国防信息基础设施和构建专网两大类。

3) 指挥协调能力。指挥协调能力是指各级指挥控制中心的指挥机构根据信息处理生成的态势信息和作战意图,运用先进的辅助决策手段,分析空中态势,评估敌方威胁程度,预测各种作战方案的效能,给出最优作战方案序列,辅助指挥员进行科学决策的能力,它是系统的重要功能,也是系统的核心任务。指挥协调能力是区分系统先进性和有效性的主要标志^[8]。

4) 柔性组合能力。对感知系统有两层意义:一是系统重组以满足不同的任务方向;二是系统重组以同时满足多任务方向;可用满足率(重组后功能集/需要功能集)、重组速度(涉及系统内部的资源调配、传输路由选择、带宽分配、安全开销等)、利用率、时效性(多任务系统占用同一系统资源会导致时效变差)等指标衡量。

5) 综合利用能力。军事情报体系结构复杂,相互间可以综合利用的资源众多,从技术层面分析,可归纳为设备级、数据级、素材级和情报级4级。由于综合利用会涉及现有作战体系结构,推动较困难。综合利用的另一问题是大家必须遵循统一的传输协议和信息格式(转换是目前常用的权宜之计,它会影响时效性)标准。

6) 毁伤重组能力。在未来战争中,战场情况将十分复杂和恶劣,战争的任何一方都将使用一切手段来摧毁和破坏对方的指挥系统,所以生存能力是系统得以持久发挥作用的关键因素。系统的生存能力越强,即它在战场上发挥作用的累计时间也就越长,从而对于系统本身来说,其在时间尺度上的效能就越大。

除上述指标外,感知系统还具有系统扩展能力。在确定系统的战技指标后,应对这些指标进行分解和验证。分解的目的是让指标合理划分到系统各组成部分,形成单元、分机、设备、分系统和系统研制任务书,且难度应相对均衡,便于单元、分机、设备、分系统、系统地设计和实施^[9-10]。验证的目的是指标分解的逆过程,应根据分解的指标通过模拟仿真来核算系统性能是否满足总体战技指标要求,用于发现系统设计缺陷,及时给与修正。

2 基于灰色理论的联合防空战场信息感知系统效能评估方法

将系统效能评估指标抽象成数学模型,在上述指标体系中,一级评估指标 $U_i (i=1,2,\dots,6)$,二级评估指标 $V_{ij} (i=1,2,\dots,6)$,邀请5位专家进行评估打分,记为 I、II、III、IV、V;同时对3个对象评估, $s=1,2,3$,表示1[#],2[#],3[#]3种信息感知系统。

2.1 确定评估指标 U_i, V_{ij} 权重系数

采用层次分析法与德尔菲法相结合确定某型防空战场信息感知系统评估指标体系层次结构中各评估指标的权重系数。一级指标的权重系数 $U_i = \{0.30, 0.11, 0.16, 0.07, 0.15, 0.21\}$,信息获取和融合处理能力二级指标的权重系数 $V_{1j} = \{0.41, 0.09, 0.16, 0.26, 0.08\}$,传输与分发能力二级指标的权重系数 $V_{2j} = \{0.21, 0.25, 0.30, 0.24\}$,指挥协调能力二级指标的权重系数 $V_{3j} = \{0.20, 0.25, 0.25, 0.30\}$,柔性组合能力二级指标的权重系数 $V_{4j} = \{0.23, 0.49, 0.28\}$,综合利用能力二级指标的权重系数 $V_{5j} = \{0.42, 0.35, 0.23\}$,毁伤重组能力二级指标的权重系数 $V_{6j} = \{0.30, 0.35, 0.15, 0.20\}$,得出如下权重系数向量: $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\} = \{0.30, 0.11, 0.16, 0.07, 0.15, 0.21\}$; $A_1 = \{a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}\} = \{0.41, 0.09, 0.16, 0.26, 0.08\}$; $A_2 = \{a_{21}, a_{22}, a_{23}, a_{24}\} = \{0.21, 0.25, 0.30, 0.24\}$; $A_3 = \{a_{31}, a_{32}, a_{33}, a_{34}\} = \{0.20, 0.25, 0.25, 0.30\}$; $A_4 = \{a_{41}, a_{42}, a_{43}\} = \{0.23, 0.49, 0.28\}$; $A_5 = \{a_{51}, a_{52}, a_{53}\} = \{0.42, 0.35, 0.23\}$; $A_6 = \{a_{61}, a_{62}, a_{63}, a_{64}\} = \{0.30, 0.35, 0.15, 0.20\}$ 。

2.2 制定评分等级,得出样本矩阵

考虑到人们思维的最大可分辨力,将评估指标 V_{ij} 的优劣等级划分为7级,见表1。

表1 评估指标评分标准

Tab. 1 Evaluation indexes grade standard

等级标准	很高	高	较高	一般	较低	低	很低
评分	8	7	6	5	4	3	2

组织5位专家给1[#],2[#],3[#]受评系统评分,得出3个受评系统的评估样本矩阵 D^1, D^2, D^3 分别为:

$$D^1 = \begin{bmatrix} d_{111}^1 & d_{112}^1 & d_{113}^1 & d_{114}^1 & d_{115}^1 \\ d_{121}^1 & d_{122}^1 & d_{123}^1 & d_{124}^1 & d_{125}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{211}^1 & d_{212}^1 & d_{213}^1 & d_{214}^1 & d_{215}^1 \\ d_{221}^1 & d_{222}^1 & d_{223}^1 & d_{224}^1 & d_{225}^1 \\ d_{231}^1 & d_{232}^1 & d_{233}^1 & d_{234}^1 & d_{235}^1 \\ d_{241}^1 & d_{242}^1 & d_{243}^1 & d_{244}^1 & d_{245}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{641}^1 & d_{642}^1 & d_{643}^1 & d_{644}^1 & d_{645}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 6 & 5 & 5 \\ 6 & 7 & 6 & 5 & 6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 6 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 6 & 5 & 5 & 7 & 7 \\ 5 & 6 & 6 & 6 & 6 \\ 6 & 6 & 4 & 6 & 6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 6 & 7 & 5 & 4 & 6 \end{bmatrix}, D^2 = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 6 & 5 & 5 \\ 7 & 7 & 6 & 5 & 6 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 6 & 6 & 7 & 6 & 6 \\ 7 & 8 & 8 & 4 & 4 \\ 7 & 5 & 5 & 7 & 7 \\ 5 & 8 & 6 & 8 & 4 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 5 & 6 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}, D^3 = \begin{bmatrix} 7 & 7 & 6 & 5 & 6 \\ 8 & 7 & 6 & 5 & 5 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 6 & 6 & 7 & 6 & 6 \\ 7 & 7 & 7 & 6 & 4 \\ 6 & 8 & 3 & 6 & 5 \\ 7 & 5 & 4 & 7 & 8 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 8 & 8 & 6 & 5 & 4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.3 确定评估灰类

设 $e=1,2,3,4$, 代表4个评估灰类, 分别代表“很高”、“高”、“一般”、“低”4级。第1灰类“很高”($e=1$), 设定灰数 $\otimes_1 \in [8, \infty)$, 得白化函数:

$$f_1(d_{ijk}^s) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^s}{8}, & d_{ijk}^s \in [0, 8) \\ 1, & d_{ijk}^s \in [8, \infty) \\ 0, & d_{ijk}^s \notin [0, \infty) \end{cases} \quad (2)$$

第2灰类“高”($e=2$), 设定灰数 $\otimes_2 \in [0, 12]$, 得白化函数:

$$f_2(d_{ijk}^s) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^s}{6}, & d_{ijk}^s \in [0, 6) \\ 2 - \frac{d_{ijk}^s}{6}, & d_{ijk}^s \in [6, 12] \\ 0, & d_{ijk}^s \notin [0, 12] \end{cases} \quad (3)$$

第3灰类“一般”($e=3$), 设定灰数 $\otimes_3 \in [0, 8]$, 得白化函数:

$$f_3(d_{ijk}^s) = \begin{cases} \frac{d_{ijk}^s}{4}, & d_{ijk}^s \in [0, 4) \\ 2 - \frac{d_{ijk}^s}{4}, & d_{ijk}^s \in [4, 8] \\ 0, & d_{ijk}^s \notin [0, 8] \end{cases} \quad (4)$$

第4灰类“低”($e=4$), 设定灰数 $\otimes_4 \in [0, 2]$, 得白化函数

$$f_4(d_{ijk}^s) = \begin{cases} 1, & d_{ijk}^s \in [0, 2) \\ 2 - \frac{d_{ijk}^s}{2}, & d_{ijk}^s \in [2, 4] \\ 0, & d_{ijk}^s \notin [0, 4] \end{cases} \quad (5)$$

2.4 计算灰色评估系数

对评估指标 V_{11} , 1[#] 受评者属于第 e 个评估灰类的灰色评估系数 $x_{11e}^1 = \sum_{k=1}^5 f_e(d_{11k}^1)$, 即 $x_{111}^1 = 3.6250$, $x_{112}^1 = 4.4999$, $x_{113}^1 = 2.7500$, $x_{114}^1 = 0.0000$ 。则对评估指标 V_{11} , 1[#] 受评者属于各个评估灰类的总评估系数 $x_{11}^1 = \sum_{e=1}^4 x_{11e}^1 = 10.8749$ 。

2.5 计算灰色评估向量及评估矩阵

所有评估者就评估指标 V_{11} , 对 1[#] 受评者主张第 e 个评估灰类的灰色评估值为 $r_{11e}^1 = x_{11e}^1 / x_{11}^1$ 。可知, $r_{111}^1 = 0.3333$, $r_{112}^1 = 0.4138$, $r_{113}^1 = 0.2529$, $r_{114}^1 = 0.0000$ 。所以, 1[#] 受评者的评估指标 V_{11} 对于各灰类的灰色评估向量为 $r_{11}^1 = (r_{111}^1, r_{112}^1, r_{113}^1, r_{114}^1)$, 同理可计算 V_{12} 、 V_{13} 、 V_{14} 、 V_{15} 的指标, 得各类灰色评估矩阵:

$$R_1^1 = \begin{bmatrix} r_{11}^1 \\ r_{12}^1 \\ r_{13}^1 \\ r_{14}^1 \\ r_{15}^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3333 & 0.4138 & 0.2529 & 0 \\ 0.3435 & 0.4275 & 0.2290 & 0 \\ 0.3333 & 0.4444 & 0.2223 & 0 \\ 0.3211 & 0.2789 & 0.4000 & 0 \\ 0.3234 & 0.4312 & 0.2454 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.6 对 V_1 进行综合评估

对1[#]受评者的评估指标 V_1 进行综合评估,其综合评估结果 B_1^1 为: $B_1^1 = A_1 \cdot R_1^1 = (0.3303, 0.3862, 0.2835, 0)$ 。

同理可以计算1[#]受评者的评估指标 V_2, V_3, V_4, V_5, V_6 的综合评估结果分别为: $B_2^1 = (0.2898, 0.3803, 0.3299, 0)$; $B_3^1 = (0.3360, 0.4206, 0.2434, 0)$; $B_4^1 = (0.3013, 0.4042, 0.2945, 0)$; $B_5^1 = (0.3132, 0.4129, 0.2739, 0)$; $B_6^1 = (0.2519, 0.3359, 0.4122, 0)$ 。

2.7 计算综合评估值并排序

由 $B_1^1, B_2^1, B_3^1, B_4^1, B_5^1, B_6^1$ 得1[#]受评者的灰色评估矩阵 R^1 :

$$R^1 = \begin{bmatrix} B_1^1 \\ B_2^1 \\ B_3^1 \\ B_4^1 \\ B_5^1 \\ B_6^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3303 & 0.3862 & 0.2835 & 0 \\ 0.2829 & 0.3803 & 0.3299 & 0 \\ 0.3360 & 0.4206 & 0.2434 & 0 \\ 0.3013 & 0.4042 & 0.2945 & 0 \\ 0.3132 & 0.4129 & 0.2739 & 0 \\ 0.2519 & 0.3359 & 0.4122 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

对1[#]受评者 U 作综合评估,其综合评估结果 B^1 为:

$$B^1 = A \cdot R^1 = (0.3057, 0.3858, 0.3085, 0) \quad (8)$$

同理,2[#]和3[#]受评系统的综合评估结果 B^2 和 B^3 分别为: $B^2 = (0.9354, 0.0469, 0.0177, 0)$; $B^3 = (0.1935, 0.3871, 0.4194, 0)$ 。

设评估灰类等级向量 $C = (8, 6, 4, 2)$ 。可得,1[#]受评系统的综合评估值为:

$$W^1 = B^1 \cdot C^T = 5.9944 \quad (9)$$

同理有: $W^2 = 7.8354$, $W^3 = 5.5482$, 由此可以看出 $W^2 > W^1 > W^3$ 。

在信息感知系统预研或调试使用过程中,通过基于灰色理论的效能评估模型及计算评估结果可以得出1[#]、2[#]和3[#]战场信息感知系统的效能排序,此外还可对3个系统的评估指标中一级、二级指标进行比较,从而为系统的改进提供一定参考。使用灰色理论进行评估,可以看出,定性与定量相结合,克服了以往评估方法过于主观的不足,使得评估结果与客观实际相符合。

3 结束语

联合防空战场信息感知系统的构建及使用,必须依据合理的系统性能指标体系和科学的效能评估方法进行。本文从系统构成、功能和军事需求出发探讨了联合防空战场信息感知系统效能评估指标体系的确立途径,基于所建系统效能评估指标,运用灰色理论给出了系统效能评估的具体方法。从而有利于找出信息感知系统的薄弱环节,更好的指导的联合防空信息感知系统的研制和使用。需要指出的是,根据具体任务需要,系统效能评估指标体系可进一步细化。

参考文献:

- [1] 王颖龙, 李为民. 防空作战指挥学[M]. 北京: 解放军出版社, 2004.
WANG Yinglong, LI Weimin. Command of Air-defense Theory[M]. Beijing: PLA Press, 2004. (in Chinese)
- [2] 武成刚, 邓望年. 美军战场感知能力建设及其启示[J]. 军事经济学院学报, 2006, 13(4): 87-88.
WU Chenggang, DENG Wangnian. America Army Battle Field Apperception Capability Construction and Apocalypse [J].

Journal of Military Economy Institute, 2006, 13 (4): 87 - 88. (in Chinese)

- [3] Georgious A S, Lammer G H. C³I Effective of Architecture Evaluation of Architecture Architectures Information Systems [D]. Manassas: In course of George Mason University, 2002.
- [4] Jong Seo Hwang. Analysis of Effectiveness of CEC Using Schutzer's C² Theory [D]. California: Naval Postgraduate School, 2004.
- [5] RAND. Network - centric Operations Case Study - air - to - air Combat With and Without Link 16 [EB/OL] [2007 - 08 - 19]. <http://www.rand.org>.
- [6] 强勇, 侯水平, 王永刚. 战场感知系统目标识别技术的进展[J]. 火控雷达技术, 2008, 37(1): 1 - 9.
QIANG Yong, GOU Shuiping, WANG Yonggang. Development of Target Identify Technology on Battle - field Apperception System [J]. Fire Control Radar Technology, 2008, 37(1): 1 - 9. (in Chinese)
- [7] 靳敬纯. 一体化联合作战空间信息支援保障研究[M]. 北京: 国防大学出版社, 2008.
JIN Jingchun. A Study on the Space Information Support of Integrated Joint Operation [M] Beijing: National Defense Press, 2008. (in Chinese)
- [8] 何彦峰, 严振华, 段志勇. 基于网格技术的联合空情预警体系建设[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 39(6): 10 - 12.
HE Yanfeng, YAN Zhenhua, DUAN Zhiyong. Constructing of Joint Air Situation Early Alarm System Based on Grid Technology [J]. Command and Control & Simulation Technology, 2007, 39(6): 10 - 12. (in Chinese)
- [9] 程立斌, 林春应. 军事情报研究方法体系探析[J]. 情报杂志, 2007, 19(2): 87 - 89.
CHENG Libin, LIN Chunying. Research Methods System on Military Information [J]. Information Journal, 2007, 19(2): 87 - 89. (in Chinese)
- [10] 南建设, 缪彩练. 联合战场信息感知系统指标体系初探[J]. 中国电力科学研究院学报, 2007, 2(1): 8 - 13.
NAN Jianshe, MIAO Cailian. Study on Joint Battle - field Information Apperception System Indexes System [J]. Journal of China Electric Power Science Institute, 2007, 2(1): 8 - 13. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

Research on Evaluation Method of Effectiveness for Information Apperceiving System of Joint Air - Defense Battle - field

WANG Xiao - nan, WANG Ying - long

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: To improve the information safeguard capability of joint air - defense operation, a concept of joint air - defense battle - field information apperceiving system is proposed. The research way of the evaluation indexed system of the information apperceiving system is analyzed from the view of system construction, function and military requirements. Based on these, the principles of system effectiveness evaluation indexed system and the first level tactics indexes are brought forward. By adopting the Grey theory and adopting the grey synthesis judgment method, the effectiveness of information apperception system is evaluated, thus diminishing the influence of the ambiguous information during the evaluating process. These provide a reference to the joint air - defense battle - field information apperceiving system constructing and effectiveness evaluation.

Key words: joint air - defense; information apperceiving system; effectiveness evaluation; indexed system