

# 超视距空战中指挥引导效能评估模型

韩其松, 余敏建

(空军工程大学空管领航学院,西安,710051)

**摘要** 针对传统的指挥引导效能评估方法不适用于现代超视距空战,的问题进行分析,结合超视距空战中指挥引导的特点,提出了一种超视距空战中指挥引导效能评估模型。从指挥引导的目的态势分析入手,选取了角度、距离、能量3个指标评估指挥引导态势,综合考虑机载雷达探测距离与空空导弹发射距离对指挥引导的影响,分别建立了相应的优势指数,运用层次分析法确定了各指标权重,最后用加权综合的方法得到超视距空战指挥引导效能函数。仿真结果验证了该模型的有效性。

**关键词** 指挥引导;超视距;目的态势;战术优势

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2015.03.003

**中图分类号** V24 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2015)03-0012-04

## An Effectiveness Evaluation Model of Command and Guide in Beyond Visual Range Air Combat

HAN Qi-song, YU Minjian

(Air Traffic Control and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** Aimed at the problem that the tradition effectiveness evaluation method is not suit to the modern Beyond Visual Range (BVR) air combat and combined with the characteristic of command and guide in BVR air combat, a new effectiveness evaluation model of command and guide in BVR air combat is proposed. The model is used to proceed from the analysis of the destination situation of command and guide, and select the three factors angle, distance and energy as the evaluation indexes of the command and guide situation. And then by comprehensively taking the influence of radar detection distance and the air-to-air missile shoot distance on command and guide into consideration, the corresponding superiority exponentials are separately established and the weight of each index is confirmed through analytical hierarchy process. Finally an effectiveness function of command and guide in BVR air combat is obtained by use of the weighted synthetic assessment method. The effectiveness of the model is verified by situation results.

**Key words:** command and guide; beyond visual range; destination situation; tactical superiority

在超视距空战中,当作战双方飞机和机载武器性能相当时,谁的指挥引导更有效,谁就能先占据有

利的攻击位置,取得制胜的先决条件<sup>[1]</sup>。由此可见,指挥引导的效能如何,将直接关系到敌我双方的空战结果。超视距空战中指挥引导效能评估,既是

收稿日期:2014-02-25

作者简介:韩其松(1986—),男,山东淄博人,讲师,主要从事指挥引导与领航筹划研究.E-mail:hqs128625@126.com

**引用格式:**韩其松,余敏建.超视距空战中指挥引导效能评估模型[J].空军工程大学学报:自然科学版,2015,16(2):12-15. HAN Qisong, YU Minjian. An Effectiveness Evaluation Model of Command and Guide in Beyond Visual Range Air Combat[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2015, 16(2): 12-15.

对指挥引导人员引导能力的评估,也是空战战法优选和改进的重要依据。

传统的指挥引导效能评估一般采用定性评估方法,仅仅考虑我方飞机进入角、落后距离等方面,已经无法满足于现代空战尤其是超视距空战的需要。文献[2]针对二代机近距离空战提出了指挥引导目的态势的分析评估方法。对超视距空战的指挥引导而言,最重要的节点即是我方引导结束,作战飞机进入搜索阶段的一段时间,这也就是超视距空战中我方指挥引导的目的态势。本文基于对该节点我方态势的评估,结合超视距空战的基本特点,提出了一种超视距空战中指挥引导效能评估模型,并利用 C++ 语言进行了仿真实验。

## 1 建立评估指标体系

### 1.1 坐标系选取和简化假设

考虑到空战区域相对地球而言很小,地球曲率的影响可忽略不计,因此本文建立的坐标系是东-北-天系,即纬向为 X 轴,正东为正;经向为 Y 轴,正北为正;铅垂方向为 Z 轴,远离地心方向为正。假定引导过程中某时刻  $t$ , 敌我双方作战飞机相对几何态势见图 1。

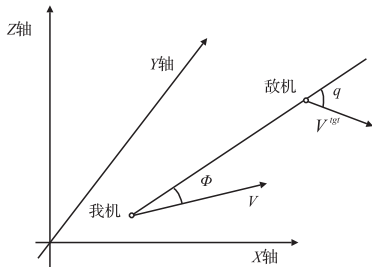


图 1 空战相对几何态势

Fig.1 Relative geometric situation in air combat

态势节点 C 的状态向量为:

$$C = (H, H^{\text{target}}, \Delta H, V, V^{\text{target}}, D_h, \varphi, q) \quad (1)$$

各参数表示的含义见表 1。

表 1 状态向量参数

Tab.1 The parameter of state vector

参数	定义
$H$	我方高度
$H^{\text{target}}$	目标机高度
$\Delta H$	两机高度差
$V$	我方速度
$V^{\text{target}}$	目标机速度
$D_h$	两机水平距离
$\varphi$	目标方位角
$q$	进入角

### 1.2 构造指挥引导态势指标

在现代超视距空战中,指挥引导的目的是通过对作战飞机的指挥控制,使我方获取更多的战术优势,构造指挥引导态势指标,需要综合考虑我方与敌方作战飞机之间的位置、姿态、能量等方面的关系<sup>[3]</sup>,结合超视距空战的特点,本文选择角度优势、距离优势、能量优势这 3 个评估指标来计算我机对敌机的指挥引导态势优势。

#### 1.2.1 角度优势指数

我机的角度优势主要体现在目标方位角  $\varphi$  和进入角  $q$ 。文献[4]根据这 2 个角的不同取值情况,将其分别划分为 3 个区域,其主要考虑因素是  $q$  与  $\varphi$  对导弹攻击的影响。本文认为,对指挥引导的目的态势而言,重点应考虑目标机是否已经进入我机的雷达探测角内,其次考虑导弹的离轴发射角<sup>[5]</sup>。假定敌我机的雷达探测角度为  $120^\circ$ ,导弹离轴发射角  $80^\circ$ ,则敌我机态势划分见图 2。

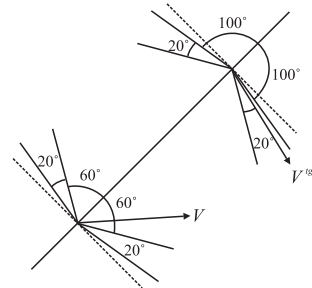


图 2 敌我机几何态势

Fig.2 Geometric situation of both sides

$q$  与  $\varphi$  的变化范围为  $0^\circ \sim 180^\circ$ ,将  $q$  与  $\varphi$  划分为如下 3 个区域:

$$\varphi_1: 0^\circ \leq |\varphi| \leq 60^\circ \quad q_1: 0^\circ \leq |q| \leq 100^\circ$$

$$\varphi_2: 60^\circ \leq |\varphi| \leq 80^\circ \quad q_2: 100^\circ \leq |q| \leq 120^\circ$$

$$\varphi_3: 80^\circ \leq |\varphi| \leq 180^\circ \quad q_3: 120^\circ \leq |q| \leq 180^\circ$$

由图 2 显见:在  $\varphi_1$  和  $q_1$  区,我机构成尾追态势,我机具有绝对的态势优势;在  $\varphi_1$  和  $q_2$  区,我机仍具有明显优势;在  $\varphi_1$  和  $q_3$  区,我机与目标机均势;在  $\varphi_2$  和  $q_1$  区,我机仍可通过小角度的机动搜索到目标,认为我机优势较小;在  $\varphi_2$  和  $q_2$  区,我机已经不具有态势优势;而在  $\varphi_2$  和  $q_3$  区,以及  $\varphi_3$  所有的情况,我机均处于劣势。因此,本文定义角度优势指数如下:

$$S_A = \begin{cases} 1 - \frac{|\varphi| + |q|}{180}, & |\varphi| \leq \varphi_R \\ 0.44 - \frac{|\varphi| + |q|}{180}, & \varphi_R \leq |\varphi| \leq \varphi_M \\ 0.8 - \frac{|\varphi| - \varphi_{Mk}}{2(\varphi_M - \varphi_{Mk})}, & \varphi_{Mk} \leq |\varphi| \end{cases} \quad (2)$$

#### 1.2.2 距离优势指数

文献[6]分析指出距离对超视距空战中态势优

势的影响主要反映在雷达发现距离和导弹的杀伤距离上。在此基础上,依据敌我距离与雷达发现距离和导弹最大、最小攻击距离、导弹不可逃逸距离之间的关系<sup>[7]</sup>构造了距离优势函数<sup>[8]</sup>。在实际中,敌我距离大于雷达探测距离时,我方仍具有一定的距离优势。因此,本文定义距离优势指数及参数定义见表 2。

$$S_D = \begin{cases} 0.11e^{-\frac{D-DM_{\max}}{DR-DM_{\max}}} & D \geq D_R \\ 0.5e^{-\frac{D-DM_{\max}}{DR-DM_{\max}}} & D_{M_{\max}} \leq D < D_R \\ 2^{-\frac{D-DM_{\max}}{DM_{\max}-DM_{\min}}} & D_{Mk_{\max}} \leq D < D_{M_{\max}} \\ 1 & D_{Mk_{\min}} \leq D < D_{Mk_{\max}} \\ 2^{-\frac{D-DMk_{\min}}{10-DMk_{\min}}} & 10 \leq D < D_{Mk_{\min}} \end{cases} \quad (3)$$

表 2 距离优势指数参数

Tab.2 The parameter of indexes of distance supriority

参数	定义
$D$	敌我双方距离
$D_R$	雷达最大搜索距离
$D_{M_{\max}}$	最大攻击距离
$D_{M_{\min}}$	最小攻击距离
$D_{Mk_{\max}}$	最大不可逃逸区距离
$D_{Mk_{\min}}$	最小不可逃逸区距离

1.2.3 能量优势

在空空对抗训练中我机搜索目标以及发射导弹攻击,我机需要保证对目标的能量优势。战机的能量与速度和高度相关,可将战机能量定义如下<sup>[9-10]</sup>:

$$E_g = h + \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

式中: $h$ 、 $v$  为导弹发射时的载机飞行高度和速度; $g$  为当地重力加速度。

能量优势指标可定义为:

$$S_E = \begin{cases} 1, & E/E_T \geq 2 \\ 2.5^{E/E_T-2} & 2 > E/E_T \geq 0.5 \\ E/2E_T & E/E_T < 0.5 \end{cases} \quad (5)$$

式中: $E$  为我机能量; $E_T$  为目标机能量。

1.3 构造综合优势指标函数

综合考虑上述指标,可采用加权的方法,构造指挥引导态势优势函数,即指挥引导效能函数。

$$S = \beta_A S_A + \beta_D S_D + \beta_E S_E \quad (6)$$

式中  $\beta_A$ 、 $\beta_D$ 、 $\beta_E$  为角度优势、距离优势、能量优势的权重,且  $\beta_A + \beta_D + \beta_E = 1$ 。在超视距空战的各种不同态势下,要得到  $\beta_A$ 、 $\beta_D$ 、 $\beta_E$  的解析表达式较难。因此本文采用定性与定量相结合的层次分析法来确定各加权系数<sup>[11]</sup>。选取  $n$  种不同态势  $c_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 下由专家对各属性的权重打分,得到对

应于不同态势节点的  $n$  个加权向量  $\{\omega_A(c_i), \omega_D(c_i), \omega_E(c_i)\}$ , 然后通过插值得到  $\beta_A = 0.45$ ,  $\beta_D = 0.25$ ,  $\beta_E = 0.3$ 。

2 仿真实验

仿真系统基于某航空兵网上对抗训练系统,采用 Visual C++ 语言开发。某时刻,模拟产生 1 批敌机 1001 与 2 批我机 1003、1004,机型假定均为性能相当的三代机,2 批我机雷达探测距离为 85 km,导弹攻击距离 60 km。为验证仿真结果,我方 2 批飞机改为某人控飞机模拟器。我机交由两名指挥引导人员进行引导,对 1001 批实施拦截。两批我机与 1001 批构成中距时刻指挥引导的态势见表 3。

表 3 我机指挥引导态势参数

Tab.3 The parameter of our command and guide situation

参数	1003 批	1004 批
$H$	7 500	9 000
$H^{\text{target}}$	8 500	8 500
$\Delta H$	-1 000	500
$V$	960	900
$V^{\text{target}}$	850	850
$D_h$	73.5	69.2
$\varphi$	15	-22
$q$	20	20

将上述参数带入式(6),经计算得结论如下:1003 批优势指数为 0.73,1004 批优势指数 0.81。通过空战仿真系统进行仿真,1004 批机载雷达发现目标和截获目标的时间要早于 1003 批,与前述指挥引导的效能评估结果相一致。

3 结语

指挥引导在现代空战尤其是超视距空战中占据重要地位,只有通过高效的指挥引导才能使我机迅速地占据有利地战术位置,从而实现先敌发现、先敌攻击。本文通过综合考虑敌我机相对位置关系和能量关系等因素对指挥引导过程中目的态势的影响,建立了超视距空战中指挥引导效能评估模型,这一研究思路已在相关项目中得到了应用。

参考文献(References):

[1] 王利芳,李莉,聂志强.超视距空战中目标机动意图评估[J].电光与控制,2012,19(12):68-71.  
WANG Lifang, LI Li, NIE Zhiqiang. Assessment of Target Maneuvering Intention in Beyond-visual-Range

- Air-Combat[J]. Electronics Optics & Control, 2012, 19(12):68-71. (in Chinese)
- [2] 卢科奇, 申卯兴. 指挥引导精确度的目的态势分析评估方法研究[C]//第八届中国青年运筹信息管理学者大会论文集, 桂林:中国运筹学会, 2006:313-317.  
LU Keqi, SHEN Maoxing. Research on Destination Situation of Command and Guide Precision[C]. The 8<sup>th</sup> China youth Operations and Information Management Scholars Conference. Guiin: ORSC press, 2006: 313-317. (in Chinese)
- [3] Narayana Rao P, Sudesh K, Kashyap. Situation and Threat Assessment in BVR Combat[R]. AIAA 2011-6142.
- [4] 蓝伟华, 林南粤. 单机对单机交战几何态势分析[J]. 电光与控制, 2004, 11(4):14-16.  
LAN Weihua, LIN Nanyue. Geometric Situation Analysis for one Aircraft to one Aircraft Engagement in Air Combat[J]. Electronics Optics & Control, 2004, 11(4):14-16. (in Chinese)
- [5] 俞利新, 来强, 曲大鹏, 等. 基于威胁规避的战斗机网络瞄准攻击引导轨迹优化[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2014, 15(1):38-42.  
YU Lixin, LAI Qiang, Qu Dapeng, et al. Trajectory Optimization in Networked Targeting Attack with Threat Avoidance[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2014, 15(1): 38-42. (in Chinese)
- [6] 高永, 向锦武. 一种新的超视距空战威胁估计非参量法模型[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(9):2570-2573.  
GAO Yong, XIANG Jinwu. New Threat Assessment Non-Parameter Model in Beyond-Visual-Range Air Combat[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(9):2570-2573. (in Chinese)
- [7] 寇英信, 付昭旺, 冯国强, 等. 网络瞄准下空空导弹允许发射区模拟仿真[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2012, 13(2):75-78.  
KOU Yingxin, FU Zhaowang, FENG Guoqiang, et al. Air to Air Missile Allows Launch Area Simulation and Analyze under Networked Targeting Environment[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2012, 13(2):75-78. (in Chinese)
- [8] Austin F. Automated Maneuvering Decisions for Air-to-Air Combat[R]. AIAA 87-2393.
- [9] 肖冰松, 方洋旺, 胡诗国, 等. 一种新的超视距空战威胁评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(9):2163-2166.  
XIAO Bingyang, FANG Yangwang, HU Shiguo, et al. New Threat Assessment Method in Beyond-The-Horizon Range Air Combat[J]. Systems Engineering and Electronics, 2009, 31(9):2163-2166. (in Chinese)
- [10] James S M. Real-time Maneuvering Decisions for Autonomous Air Combat [D]. Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [11] 轩永波, 黄长强, 王勇, 等. 基于灰色层次分析法的空间武器作战效能评估[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2011, 12(2):32-37.  
XUAN Yongbo, HUANG Changqiang, WANG Yong, et al. Effectiveness Evaluation of Space Weapon System Based on Gray Hierarchy Method[J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2011, 12(2):32-37. (in Chinese)

(编辑:徐敏)