

DOI: 10.15892/j.cnki.djzdx.2016.06.005

超视距空空导弹攻击操作提示的两点改进*

张安柯^{1,2}, 孔繁峨², 孙兆雨²

(1 光电控制技术重点实验室, 河南洛阳 471000; 2 中航工业洛阳电光设备研究所, 河南洛阳 471000)

摘 要: 针对当前超视距攻击过程中火控信息存在的不足, 为了提高超视距空空导弹作战效能, 提出了两点改进措施: 目标机动逃逸角提示和最佳发射倾角提示。仿真结果表明: 通过增加目标机动逃逸角提示, 能够反映目标逃脱导弹攻击区的难易度; 通过增加最佳发射倾角提示, 能够增加导弹最大可攻击距离。

关键词: 超视距空空导弹; 目标机动逃逸角提示; 最佳发射倾角提示

中图分类号: TJ762.23 文献标志码: A

Two Improvements on the Operation Tips of Beyond Visual Range Air to Air Missile Attack

ZHANG Anke^{1,2}, KONG Fane², SUN Zhaoyu²

(1 Science and Technology on Electro-optical Control Laboratory, Henan Luoyang 471000, China;

2 Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, AVIC, Henan Luoyang 471000, China)

Abstract: According to the existing problems of fire control information of the current beyond visual range attack process, in order to improve the efficiency of beyond visual range air to air missile combat, two improvements was put forward: the tip of target maneuvering escape angle and the cue of optimal firing angle. The simulation results showed that by increasing the target maneuvering escape angle could reflect the facility value of target escape missile attack area, and by increasing the cue of optimal firing angle, maximum distance of missile attack could be increased.

Keywords: beyond visual range air to air missile; the tip of target maneuvering escape angle; the cue of optimal firing angle

0 引言

超视距(beyond visual range, BVR)空战是指在飞行员视距之外(10 km), 通过机载搜索跟踪系统, 探测、识别目标, 完成导弹攻击的一种作战模式。超视距与近距格斗相比, 具有攻击的突然性、先敌攻击、多目标攻击等优点^[1]。目前装备的超视距空空导弹如AIM-420, 迎头最大可攻击距离可达100 km左右, 在海湾战争中首次亮相, 截至目前共发射17枚, 10枚命中目标, 命中概率为60%, 根据空空导弹在历次战争中的使用数据分析, 飞行员按照操作流程在满足发射条件情况下发射导弹是保证命中概率的重要条件。

目前对超视距空战的研究主要集中在超视距目标分配、导弹效能分析等。文献[2]提出了划分超视距、近距的多机协同作战战术决策; 文献[3]分析了目标机动对导弹命中效能的影响; 文献[4]提出了一种中远程空空导弹射后效能评估方案, 能够对发射后的导弹进行动态评估。对中远程空空导弹发射时刻辅助信息的研究目前尚无文献涉及。如何在导弹发

射时刻为飞行员提供更多有效操作提示, 增强飞行员的空战态势感知, 充分发挥导弹效能, 是文中的主要研究内容。

1 平显显示

1.1 空空导弹攻击区

空空导弹可攻击区是指在目标周围存在一定区域, 如果载机在此区域内发射导弹, 则导弹就能以不低于一定的概率命中目标, 如果在此区域之外发射导弹, 则命中目标的概率继续下降甚至为零。

空空导弹攻击区模型为

$$\begin{aligned} R_{\max} &= R_{\max}(h, h_T, V, V_T, q_T, q, \theta) \\ R_{\min} &= R_{\min}(h, h_T, V, V_T, q_T, q, \theta) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: R_{\max} 、 R_{\min} 分别表示空空导弹发射时刻导弹的最大可攻击区、最小可攻击区; V 、 h 、 q 、 θ 表示发射时刻载机的速度、高度、飞行偏角、飞行倾角; V_T 、 h_T 、 q_T 表示目标在导弹发射时刻的速度、高度和进入角。

通过对某型空空导弹攻击区进行大量仿真, 得到如下两个特征:

* 收稿日期: 2016-04-18

作者简介: 张安柯(1992-) 男, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向: 航空火力控制。

1) 当载机状态给定时, 目标进入角对导弹攻击区的影响最为显著。在不同目标进入角下某型空空导弹的最大可攻击距离如图1所示, 目标运动方向的改变直接决定目标能否摆脱导弹可攻击区。

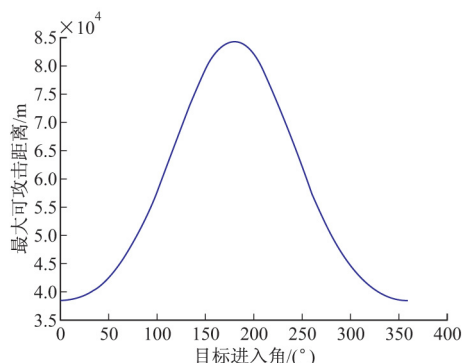


图1 目标进入角对最大可攻击距离的影响

2) 当目标状态一定时, 导弹发射倾角对攻击区影响较为显著。不同高度下导弹发射倾角对攻击区的影响如图2所示。存在一个最佳发射倾角, 使得导弹可攻击区距离达到最大。

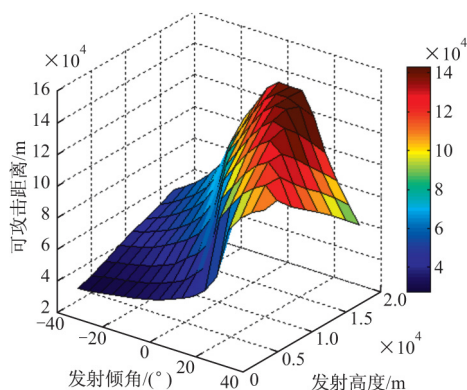


图2 发射倾角对最大可攻击距离的影响

1.2 当前平显信息的不足

问题一, 超视距空空导弹最大可攻击距离大于100 km, 导弹整个攻击过程长达数分钟; 在此过程中, 如果目标采取逃逸机动, 就有一定的机率摆脱导弹的攻击, 因为目标运动方向直接影响空空导弹的可攻击距离。所以, 在最大可攻击距离内发射的导弹并不一定命中目标, 但目前的平显符号中缺乏如何反应目标摆脱导弹攻击的难易度信息。

问题二, 导弹最大发射距离是指载机发射导弹时方位角和发射倾角满足最佳发射条件时对目标的最大发射距离。平显中的操作误差圆为飞行员提供最佳发射方位角信息, 但平显并没有最佳发射倾角信息。

文中将针对这两个问题进行分析, 提出改进措施, 提高飞行员态势感知, 充分发挥导弹性能。

2 改进措施

2.1 目标机动逃逸角概念

由前节的分析可知, 目标进入角(目标飞行方向)对导弹最大可攻击距离的影响十分明显, 比如某型导弹能够攻击80 km外迎头飞行的目标, 但如果目标调整飞行方向, 能很容易摆脱导弹攻击。所以文中拟采用目标机动逃逸角来反应目标逃逸导弹攻击区范围的难易度, 目标机动逃逸角的定义如下:

假设目标当前在导弹可攻击区范围内, 如果目标立即执行水平转弯后直线逃逸机动恰好能够摆脱导弹攻击, 则该水平转弯角就为目标机动逃逸角, 目标机动逃逸角用 δ 表示。当目标在导弹最大可攻击距离之外时 $\delta = 0^\circ$; 当目标在不可逃逸距离内时, 目标机动逃逸角不存在; 当目标在最大可攻击距离与不可逃逸距离之间时, 目标机动逃逸角 $\delta \in (0^\circ, 180^\circ)$ 。

目标机动逃逸角还和目标进入角有关, 因为目标机动逃逸的最大范围是构成置尾态势(也就是目标进入角为 0°)。所以当目标进入角 $q < 180^\circ$ 时, 目标机动逃逸角 $\delta \in (0^\circ, q)$; 当 $q \geq 180^\circ$ 时, 目标机动逃逸角 $\delta \in (0^\circ, 360^\circ - q)$ 。

2.2 目标机动逃逸角计算方法

目标逃逸角计算方法如图3所示, 首先计算当前不可逃逸攻击距离 Q_{bkt} , 与弹目距离 D_{dm} 进行比较, 如果 $Q_{bkt} > D_{dm}$, 则目标在不可逃逸攻击距离内, 不存在机动逃逸角; 否则计算弹当前最大可攻击距离 Q_{gj} , 与弹目距离 D_{dm} 进行比较, 如果 $Q_{gj} < D_{dm}$, 目标不在导弹攻击区内 $\delta = 0^\circ$; 当 $Q_{gj} > D_{dm}$ 时, 假设目标以 δ 角进行机动; 再计算 Q_{gj} , 并与 D_{dm} 进行比较, 如果 $Q_{gj} > D_{dm}$ 则增加机动角 δ , 直到 $Q_{gj} < D_{dm}$ 时, 此时 δ 为目标机动逃逸角。

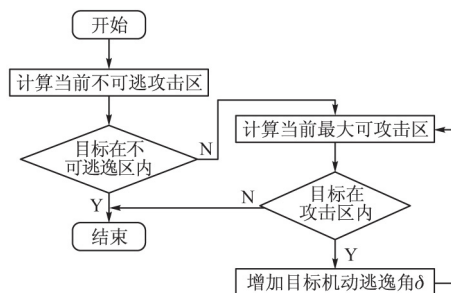


图3 目标机动逃逸角计算流程

2.3 最佳发射倾角提示

第四代先进中远程空空导弹采用高抛弹道, 导弹先爬升一定高度然后俯冲攻击目标。以一定的倾角发射导弹时, 能够增加导弹有效射程。 $F16$ 中期升级

计划中首次提出了最佳发射倾角提示(loft solution cue)的概念。按照最佳发射倾角条件发射导弹,能够显著增加导弹可攻击距离,因此有必要在火控解算中增加最佳发射倾角提示,从而充分发挥导弹效能。

最佳发射倾角提示方案是:当目标距离在最大动力可攻击射程内时,火控解算出最佳发射倾角提供给飞行员,飞行员按照提示操纵飞机并发射导弹。

2.4 最佳发射倾角计算方法

由于火控计算机的计算能力有限,火控系统计算导弹攻击区时利用二项式拟合公式。根据几十万条导弹包线数据,通过拟合得到拟合公式形式如下:

$$R_{\max} = R_{\max}(h, h_T, V, V_T, q_T, \theta) = \alpha_0 + \alpha_1 h + \alpha_2 h_T + \alpha_3 V + \alpha_4 V_T + \alpha_5 q_T + \alpha_6 \theta + \alpha_7 \theta^2 + \alpha_8 h^2 + \alpha_9 h h_T + \alpha_{10} h V + \alpha_{11} h V_T + \alpha_{12} h q_T + \alpha_{13} h \theta + \alpha_{14} h \theta^2 + \alpha_{15} h_T^2 + \alpha_{16} h_T V + \alpha_{17} h_T V_T + \alpha_{18} h_T q_T + \alpha_{19} h_T \theta + \alpha_{20} h_T \theta^2 + \alpha_{21} V^2 + \alpha_{22} V V_T + \alpha_{23} V q_T + \alpha_{24} V \theta + \alpha_{25} V \theta^2 + \alpha_{26} V_T^2 + \alpha_{27} V_T q_T + \alpha_{28} V_T \theta + \alpha_{29} V_T \theta^2 + \alpha_{30} q_T^2 + \alpha_{31} q_T \theta + \alpha_{32} q_T \theta^2 + \alpha_{33} \theta^2 + \alpha_{34} \theta \theta^2 + \alpha_{35} \theta^3$$

式中: $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots, \alpha_{34}, \alpha_{35}$ 为拟合系数。

在确定的空战态势下,将 $h_0, h_{T0}, V_0, V_{T0}, q_{T0}, \theta_0$ 信息代入到拟合公式中,得到 $R_{\max}(\theta) |_{(h_0, h_{T0}, V_0, V_{T0}, q_{T0}, \theta_0)}$; 根据仿真试验结果和发射条件的限制(瞄准误差圆限制),导弹的最佳发射倾角集中在 $(-10^\circ, 40^\circ)$, 等间隔取其采样点,并计算各点对应的最大可攻击距离 R_{\max} , 从而可以判断出最佳发射倾角 θ 。

3 仿真分析

3.1 目标机动逃逸角计算实例

假设在某次空战中,我机雷达发现3个目标,目标状态信息如表1所示。经火控解算,3个目标都在我机所带的超视距空空导弹攻击范围内,3个目标的机动逃逸角分别是: 69° , 不可逃, 45° 。

表1 目标状态

目标	D/km	$q/(\circ)$	$V/(\text{m/s})$	H/km
1	68	180	293	8.5
2	40	90	242	7
3	59	155	235	5.6

为了验证该结果的正确性,在导弹发射时刻,目标1按照 69° 进行逃逸机动,目标2采取置尾逃逸机动,目标3采取 45° 逃逸机动,得到弹目相对运动水平面轨迹如图4所示。从图中可以看出,当目标1、2、3不采取机动时,导弹均能命中目标;目标1采取 69° 逃逸运动时,受到导弹性能的限制,导弹不能命中目标;目标2处在不可逃逸区内,即使做置尾逃逸机动也不

能摆脱导弹攻击;目标3采取 45° 逃逸机动时,导弹同样不能命中目标。

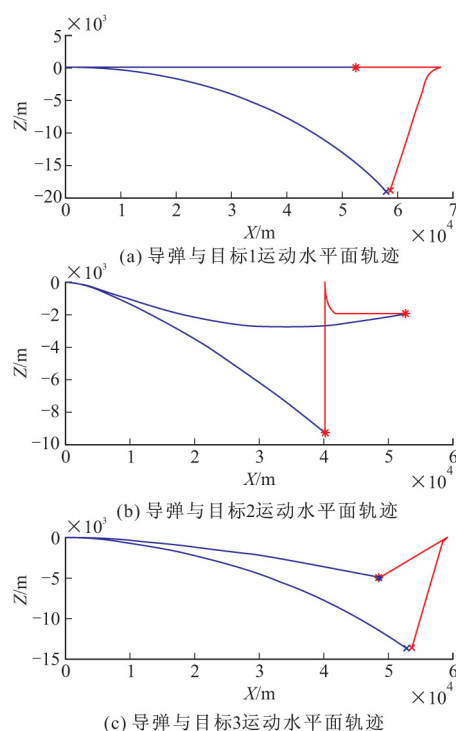


图4 导弹与目标运动平面轨迹

3.2 最佳发射倾角实例

假设载机高度和目标高度均为 9 000 m, 载机速度 400 m/s, 发射偏角 0° , 目标速度 300 m/s, 目标进入角 180° 。不同发射倾角下的最大可攻击距离如图5所示, 发射倾角为 20° 时, 最大可攻击距离达到最大值 143 km。

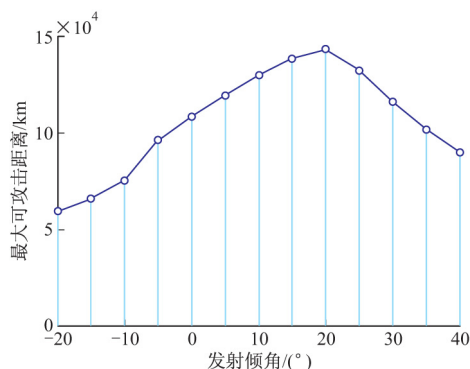


图5 不同发射倾角下的导弹攻击距离

3.3 仿真结果分析

通过仿真结果可以看出: 1) 目标机动逃逸角反映目标逃脱导弹攻击区所需要机动角度。目标机动逃逸角越大, 代表逃脱攻击区所需要的机动越大, 导弹命中目标的可能性更大; 2) 最佳发射倾角能够显著增加导弹的最可攻击距离, 能够充分发挥导弹性能。

(下转第22页)

参考文献:

- [1] 谈斌,郭士波,傅彬. 基于 HLA 的装备操作训练仿真系统设计研究 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(增刊 1): 177-179.
- [2] 李高升,刘培国,覃宇建,等. 一种防空模拟训练系统设计 [J]. 无线电工程, 2011, 41(1): 47-50.
- [3] 肖虎斌. 基于 HLA 的某型舰炮武器模拟训练系统设计

(上接第15页)

4 结论

借助 OFDM 调制进行的导航电文进行二次调制, 替代原有的 NH 二次编码, 可以有效利用串并转化带来的数据码率增益, 在同一个子帧时间内实现所有卫星精确位置的接收, 能够大幅度减少导航电文的帧长度, 从而提高中远程反舰导弹载体定位精度与速度的潜在优势。该调制方式带来的导航电文的富余也为下一步导航系统功能与性能的提升提供了更大的发挥空间, 可以作为中远程反舰导弹载体新一代导航系统的一个参考。

新的导航电文设计方法在定位精度、资源节省和抗干扰性拥有巨大的潜在优势的同时, 也可以看到系统在峰均比、系统同步以及硬件兼容等问题有待进一步的研究讨论。而这些研究的根本则是 OFDM 电文设计引起的整个系统设计的调整, 包括发射接收机的改动, 地面观测系统同步与协同, 编解码算法的改进等等, 从而解决 OFDM 系统引入的复杂性。但由于 OFDM 系统在通信领域已经有比较成熟的应用, 进行一定的借鉴可以获得很好的启发。

参考文献:

- [1] 马芮,孔星炜. GNSS 系统的现状与发展 [J]. 现代防御技术, 2008, 36(2): 73-77.

(上接第18页)

4 总结

文中介绍了中远距空空导弹的攻击区模型, 阐述了当前空战态势下关于导弹攻击的平显信息, 结合超视距空战的特点分析了其不足, 并提出了两点改进: 目标机动逃逸角提示和最佳发射倾角提示。通过目标机动逃逸角提示, 可以提示飞行员在适当的时机发射导弹, 减少导弹脱靶概率; 通过最佳发射倾角提示, 可以充分发挥导弹的性能, 增加射程。

[J]. 舰船科学技术, 2011, 32(11): 79-83.

- [4] 项晓峰,田作华,张忆. LabVIEW RT 实时控制开发系统结构与开发应用 [J]. 测控技术, 2002, 21(12): 61-63.
- [5] 苏海龙. LabVIEW RT 在控制系统中的应用 [J]. 仪表技术, 2003(5): 7-8.
- [6] 顾学飞. 基于 LabVIEW RT 的振动主动控制技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008: 42-43.

- [2] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件 [M]. 北京: 中国卫星导航系统管理办公室, 2013, 12: 8-61.
- [3] 王惠南. GPS 导航原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 67-87.
- [4] 张海滨. 正交频分复用的基本原理和关键技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 1-10.
- [5] 李向宁,谈振辉. OFDM 基本原理及其在移动通信中的应用 [J]. 重庆邮电学院学报, 2003, 15(2): 25-30.
- [6] CIMINI L J. Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing [J]. IEEE Transactions on Communications, 1985, 33(7): 665-675.
- [7] CIMINI L J, DANESHRAH B, SOLLENBERGER N R. Clustered OFDM with transmitter diversity and coding [C] // Proc 1996 IEEE Global Telecommunications Conference, 1996: 703-707.
- [8] BINGHAM J A C. Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come [J]. IEEE Communications Magazine, 1990, 28(5): 5-14.
- [9] 张继东,郑宝玉. 基于导频的 OFDM 信道估计及其研究进展 [J]. 通信学报, 2003, 24(11): 116-124.
- [10] 胡苏. OFDM 系统中峰值抑制及交错正交调制技术研究 [D]. 合肥: 电子科技大学, 2010: 3-10.
- [11] 马翹楚. 基于 Matlab 的 QPSK 系统的设计 [D]. 长春: 吉林大学, 2012: 15-34.

参考文献:

- [1] 高劲松,邹庆元,丁全心. 超视距空战的几个观点 [J]. 光电与控制, 2008, 15(5): 44-47.
- [2] 牛绿伟,高晓光,张坤,等. 划分超视距、近距的多机协同作战战术决策 [J]. 西北工业大学学报, 2012, 29(6): 971-977.
- [3] Remzi AKDAG. A comparative study on practical evasive maneuvers against proportional navigation missiles: AIAA 2005-6352 [R]. 2005.
- [4] 高晓光,罗鹏升,田省民,等. 空空武器射后有效性分析 [J]. 火力指挥与控制, 2010, 35(12): 86-89.
- [5] 周志刚. 机载火力控制系统分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 52-62.