

# 双机协同攻击指令瞄准建模及精度研究

付昭旺<sup>1</sup>, 于雷<sup>2</sup>, 周中良<sup>1</sup>, 张涛<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 陕西西安, 710051;

2. 空军工程大学科研部, 陕西西安, 710051)

**摘要** 针对协同攻击武器发射的瞄准需求, 提出一种友机探测、本机发射的双机协同指令瞄准方法。首先, 建立协同瞄准矢量模型, 根据双机的空间定位和姿态信息解算目标的瞄准指令, 并给出瞄准控制方法; 然后, 对指令瞄准精度进行建模研究, 分别就目标信息精度、战斗机定位精度、信息延时以及瞄准态势等因素对瞄准精度的影响进行深入分析, 并给出指令瞄准的应用需求分析; 最后进行了仿真实验。结果证明了瞄准算法的正确性, 同时表明: 目标信息精度和战斗机平台的定位精度对于协同攻击效果具有直接影响, 提高协同攻击效果的关键在于提升作战平台自身的性能。

**关键词** 协同攻击; 指令瞄准; 瞄准精度; 矢量模型; 火力控制; 信息延时

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.01.002

**中图分类号** V279 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)01-0005-06

## Research on Coordinated Targeting Modeling and Precision for Double Fighter

FU Zhao-wang<sup>1</sup>, YU Lei<sup>2</sup>, ZHOU Zhong-liang<sup>1</sup>, Zhang Tao<sup>1</sup>

(1. Aeronautics and Astronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Department of Scientific Research, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

**Abstract:** Coordinated attack is the utmost cooperative style of the cooperative aerial combat, fire control of weapon launch is the foundation of coordinated attack. Command targeting method of weapon launch with friend fighter information sustain is proposed for the requirement of coordinated weapon launch. Firstly, a vector model of coordinated targeting is established, and targeting command computing method as well as targeting control method is given based on the space location and gesture locating information. Then, a targeting precision analysis model is established based on the precision of target information, fighter space location, and information delay as well as the targeting posture, and the application requirement is given. Finally the simulation result shows that the targeting information and fighter location precision have a direct influence on the coordinated attack effect, and the enhancement in the performance of fighters is the key factor to improve the efficiency of coordinated attack.

**Key words:** coordinated attack; command targeting; targeting precision; vector model; fire control; information delay

随着武器装备性能及其支撑体系不断增强, 网络化条件下多机协同空战问题日益凸显, 这是体系对抗内在规律发展的必然结果。E. E. Foreman<sup>[1]</sup>、

Rafael A. Acevedo<sup>[2]</sup>和 Andrew Sparks<sup>[3]</sup>对协同作战能力进行了深入分析, 蓝伟华等人<sup>[4-6]</sup>从协同战术、协同目标分配、指挥决策、协同探测和协同制导

收稿日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61172083); 航空科学基金资助项目(20095196012)

作者简介: 付昭旺(1985—), 男, 湖南邵阳人, 博士生, 主要从事航空武器系统总体、控制与仿真研究。

E-mail: fuzhaowang123@yahoo.cn

等方面进行了研究,对拓展协同空战的概念和深化研究内容起到了极大的促进作用。然而,这些研究主要集中于协同空战的决策优化,对火力控制问题涉及很少。火力控制旨在研究投射武器弹药攻击目标的控制规律、瞄准原理和瞄准方法<sup>[9]25-50</sup>,协同攻击的实现必须以相应的火力控制方法为基础。传统的火力控制以平台中心战为基础,只研究单平台攻击,未涉及协同攻击。基于此,本文提出一种友机探测、本机发射的双机协同指令瞄准攻击方法,解除以平台为中心的火力控制问题中的“本机发射必须本机探测和制导”的约束,实现“传感器”到“射手”无缝链接,提升协同作战的效能。

## 1 双机协同攻击矢量模型及求解

### 1.1 矢量模型

设战斗机A保持电磁静默,B进行目标探测,A在B的协同下实施目标瞄准和武器发射。以地球坐标系<sup>[9]</sup> $O_d X_d Y_d Z_d$ 为惯性系建立协同攻击的矢量图,见图1。 $O_{Ak}$ 、 $O_{Bk}$ 和 $M_k$ 分别为 $t_k$ 时刻战斗机A、B和目标M的空间位置, $V_A$ 、 $V_B$ 和 $V_M$ 分别为其速度。 $D_k$ 、 $L_k$ 分别为 $M_k$ 和 $O_{Bk}$ 、 $O_{Ak}$ 和 $O_{Bk}$ 的距离。

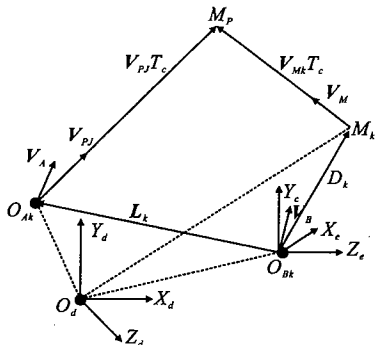


图1 协同瞄准矢量图

Fig.1 Vector model for coordinated targeting

设在 $t_k$ 时刻,A以速度 $V_{PJ}$ 发射武器,经过时间 $T_c$ ,在 $M_p$ 点命中目标。则有:

$$L_k + V_{PJ} \cdot T_c = D_k + V_{Mk} \cdot T_c \quad (1)$$

显然,将式(1)在任意坐标系上投影都只能获得3个代数方程,而其包含 $T_c$ 在内有4个未知数。因此还需要增加一个方程。 $T_c$ 和 $V_{PJ}$ 是相关的,由此可得:

$$a|V_{PJ}| + bT_c = 0 \quad (2)$$

式中 $a$ 和 $b$ 为已知参数,根据武器性能获得。

### 1.2 模型求解

求解过程主要涉及如下坐标系:地球坐标系 $O_d X_d Y_d Z_d$ 、“北天东”地理坐标系 $O_e X_e Y_e Z_e$ 和“升

力Y”飞机坐标系 $O_f X_f Y_f Z_f$ ,相关坐标系的定义及其转换关系参见文献[9]。以 $O_{Bk}$ 为原点建立当地地理坐标系 $O_{Be} X_e Y_e Z_e$ ,将式(1)投影到 $O_{Be} X_e Y_e Z_e$ 中进行求解:

$$\|V_{PJ}\|_e = \|V_{Mk}\|_e + \frac{1}{T_c} \|(D_k - L_k)\|_e \quad (3)$$

设B测得M的运动参数为距离 $D$ 、距变率 $\dot{D}$ 、方位角 $u$ 、俯仰角 $v$ ,方位角速率 $\dot{u}$ 和俯仰角速率 $\dot{v}$ 。A和B自身的空间位置分别为 $O_{Ak}(\lambda_A, L_A, H_A)$ 和 $O_{Bk}(\lambda_B, L_B, H_B)$ ,则可计算得到A和B在 $O_d X_d Y_d Z_d$ 中的位置 $X_d^A(x_d^A, y_d^A, z_d^A)$ 和 $X_d^B(x_d^B, y_d^B, z_d^B)$ ,根据 $X_d^A$ 和 $X_d^B$ 即可求得 $L_k$ 。

根据运动合成原理,M相对于 $O_{Be} X_e Y_e Z_e$ 系的速度矢量可表示为:

$$V_{Mk} = \left( \frac{dD_k}{dt} \right)_f + V_B = \dot{D} \cdot D_k^0 + \omega_M \cdot D_k + V_B \quad (4)$$

式中: $D_k^0$ 为目标距离矢量的单位向量; $\omega_M$ 为目标线角速度。

根据 $D_k$ 、 $L_k$ 和 $V_{Mk}$ 即可求得:

$$T_c = \frac{(L_k - D_k)^T \cdot V_{Mk} + \sqrt{l^2 + \|L_k - D_k\|_2 (V_{PJ}^2 - V_M^2)}}{(V_{PJ}^2 - V_M^2)} \quad (5)$$

将 $T_c$ 代入式(1),即可求得矢量 $V_{PJ}$ 。

## 2 瞄准指令解算

根据 $T_c$ 、 $D_k$ 和 $V_M$ ,即可求得 $O_{Be} X_e Y_e Z_e$ 下 $M_p$ 点的坐标位置:

$$X_{M_p} = [D_{kx} + V_{Mkx} \cdot T_c \quad D_{ky} + V_{Mky} \cdot T_c \quad D_{kz} + V_{Mkz} \cdot T_c]^T \quad (6)$$

将 $X_{M_p}$ 转换到A地理坐标系 $O_{Ae} X_e Y_e Z_e$ 中可得:

$$X_{M_p}^A = T_{Ae, Be} X_{M_p} \quad (7)$$

式中 $T_{Ae, Be} = f(x_d^i, y_d^i, z_d^i, \lambda_i, \phi_i, \theta_i)$ ( $i=A, B$ )为A地理坐标系到B地理坐标系的转换矩阵。

$X_{M_p}^A$ 由B实时传递给A,再转换到其机体坐标系 $O_{Af} X_f Y_f Z_f$ 中:

$$X_{M_p}^a = T_{Af, Ae} X_{M_p}^A \quad (8)$$

式中 $T_{Af, Ae} = f(\phi_A, \theta_A, \mu_A)$ 为A地理系到机体系的转换矩阵。 $\phi_A$ 、 $\theta_A$ 和 $\mu_A$ 分别为A的航向角、俯仰角和滚转角。

则A根据 $X_{M_p}^a$ 即可计算出当前的瞄准点距离 $R_{MZ}$ 、方位角 $u_{MZ}$ 和俯仰角 $v_{MZ}$ 。瞄准指令记为:

$$\Pi = (R_{MZ} \quad u_{MZ} \quad v_{MZ}) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_{M_p}^a)^2 + (y_{M_p}^a)^2 + (z_{M_p}^a)^2} \\ \arctan(z_{M_p}^a / x_{M_p}^a) \\ \arctan(y_{M_p}^a / R_{MZ}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

### 3 瞄准指令精度分析

#### 3.1 精度评估指标

空间瞄准只有距离和角度条件同时满足,才能消除系统的原理误差<sup>[10]</sup>。角精度只关注瞄准的角度偏差大小,而非偏差的方向性。因此,本文以距离瞄准偏差  $\delta_R$  和角度瞄准偏差  $\delta_\theta$  作为指令瞄准精度的评估指标,计算为:

$$\delta_R = |\Delta R_{MZ}|, \delta_\theta = \sqrt{\Delta u_{MZ}^2 + \Delta v_{MZ}^2} \quad (10)$$

式中  $\Delta R_{MZ}$ 、 $\Delta u_{MZ}$  和  $\Delta v_{MZ}$  分别为瞄准的距离误差、方位角误差和俯仰角误差。

#### 3.2 平台性能参数对瞄准精度影响

根据瞄准指令求解过程,可以将瞄准指令表示为如下非线性多元函数:

$$\Pi = f(D, u, v, \dot{D}, \dot{u}, \dot{v}, \lambda_i, L_i, H_i, \phi_i, \theta_i, \mu_i), i = A, B \quad (11)$$

由于  $\dot{D}$ 、 $\dot{u}$  和  $\dot{v}$  用于计算目标运动速度,所以采用目标速度  $V$  来代替,将式(11)可进一步简化为:

$$\Pi = f(D, u, v, V, \lambda_i, L_i, H_i, \phi_i, \theta_i, \mu_i), i = A, B \quad (12)$$

式中将  $\lambda_i$ 、 $L_i$ 、 $H_i$  和  $\phi_i$ 、 $\theta_i$ 、 $\mu_i$  称为  $i$  的定位(空间定位和姿态定位)参数;设其对应的测量误差都服从正态分布,且均方差分别设为  $\delta_x$ ,  $x = \{D, u, v, \dots, \mu_B\}$  为相应的参数。由于各参数差相互独立。根据误差传递关系<sup>[11]</sup>,可得:

$$\begin{aligned} \delta_\Pi^2 = & \left(\frac{\partial f}{\partial D}\right)^2 \delta_D^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)^2 \delta_u^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)^2 \delta_v^2 + \\ & \left(\frac{\partial f}{\partial V}\right)^2 \delta_V^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \lambda_i}\right)^2 \delta_{\lambda_i}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial L_i}\right)^2 \delta_{L_i}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial H_i}\right)^2 \delta_{H_i}^2 + \\ & \left(\frac{\partial f}{\partial \phi_i}\right)^2 \delta_{\phi_i}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \theta_i}\right)^2 \delta_{\theta_i}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mu_i}\right)^2 \delta_{\mu_i}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

式中:  $\delta_M$  为  $B$  的目标参数测量误差对精度的影响;  $\delta_i (i = \{A, B\})$  为  $i$  定位误差对精度的影响。

#### 3.3 信息延时对瞄准精度的影响

设  $A$  向  $B$  传递其位置信息的延时为  $\Delta t_A$ ,  $B$  向  $A$  传递瞄准点位置的延时为  $\Delta t_B$ , 信息延时对瞄准精度的影响见图 2。

由于  $\Delta t_A$  较小,认为  $A$  在  $\Delta t_A$  内作稳态运动,设  $\Delta t_A$  后  $A$  的真实位置为  $O'_{Ak}$ , 则  $A$  的位移可表示为:

$$\vec{O'_{Ak}O_{Ak}} = \Delta L_A = V_A \Delta t_A \quad (14)$$

则  $A$ 、 $B$  之间的真实距离为:

$$L'_k = L_k + \Delta L_A = T_{Bc,d}(\tilde{X}_d^A - X_d^B) \quad (15)$$

式中:  $\tilde{X}_d^A$  为  $O'_{Ak}$  点的位置坐标;  $T_{Bc,d}$  为地球坐标系到载体  $B$  所在的地理系转换矩阵。

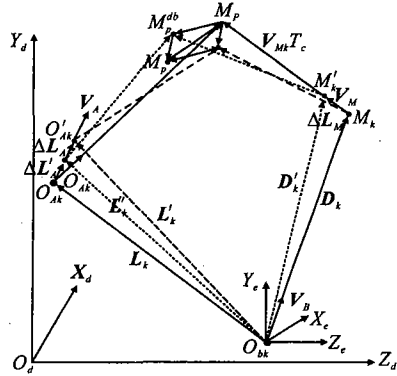


图 2 信息延时对瞄准精度的影响

Fig. 2 Precision analysis for information delay

由于信息延时,用  $L_k$  代替  $L'_k$  对当前瞄准点进行解算。所以,用  $L'_k$  代替  $L_k$ 。可求得当前正确的瞄准点  $X_{M_p}^a$ , 则延时  $\Delta t_A$  产生的瞄准点误差为:

$$\Delta X_A = X_{M_p}^a - X_{M_p}^a \quad (16)$$

设  $\Delta t_B$  后  $A$  和  $M$  的真实位置分别为  $O'_{Ak}$  和  $M'_k$ , 采用与上面相同的分析方法,可得:

$$O_{Ak}O'_{Ak} = \Delta L'_A = V_A \Delta t_B \quad (17)$$

$$M_k M'_k = \Delta L_M = V_M \Delta t_B \quad (18)$$

记  $\hat{X}_d^A$  为  $O'_{Ak}$  点的位置坐标, 则  $A$ 、 $B$  的当前距离矢量  $L''_k$  和  $B$  和  $M$  的当前距离矢量  $D'_k$  分别为:

$$L''_k = L_k + \Delta L'_A = T_{Bc,d}(\hat{X}_d^A - X_d^B) \quad (19)$$

$$D'_k = D_k + \Delta L'_M \quad (20)$$

同理,用  $L''_k$  代替  $L_k$ 、用  $D'_k$  代替  $D_k$  计算,可求得正确的瞄准点  $X_{M_p}^b$ 。则  $\Delta t_B$  引入的瞄准点误差为:

$$\Delta X_B = X_{M_p}^b - X_{M_p}^a \quad (21)$$

假设  $A$  和  $B$  之间的信息互传是相互独立的,综合考虑延时  $\Delta t_A$  和  $\Delta t_B$  时,瞄准点误差可表示为:

$$\Delta X = \Delta X_A + \Delta X_B \quad (22)$$

显然,  $\Delta X$  不仅与延时时间有关,而且和  $V_A$ 、 $V_M$  密切相关,即与  $A$  和  $M$  之间的相对运动状态相关。为了描述这种相关性,将  $\Delta X$  表示为如下函数:

$$\Delta X = f(\Delta t_A, \Delta t_B, V_A, V_M) \quad (23)$$

考虑到战斗机飞行速度在短时间内的稳定性,在  $A$  和  $M$  速度恒定时,  $\Delta X$  仅与其速度方向相关,故可进一步表示为:

$$\Delta X = f(\Delta t_A, \Delta t_B, V_A, V_M, \Delta \epsilon) \quad (24)$$

式中:  $V_A$  和  $V_M$  为速度矢量  $V_A$  和  $V_M$  的大小;  $\Delta \epsilon$  为  $V_A$  和  $V_M$  空间夹角。

将  $\Delta X$  引入到瞄准指令中,并采用式(10)和进行转化即可得到延时对应的瞄准误差。

仿真条件设置见表1。

## 4 实验仿真及分析

### 4.1 指令瞄准仿真

表1 瞄准指令仿真参数设置

Tab.1 Simulation initial parameter of command targeting

$D/\text{km}$	$u/(\text{°})$	$v/(\text{°})$	$D/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$\dot{u}/((\text{°}) \cdot \text{s}^{-1})$	$\dot{v}/((\text{°}) \cdot \text{s}^{-1})$	$\lambda_A/(\text{°})$	$L_A/(\text{°})$	$H_A/\text{km}$	$\lambda_B/(\text{°})$	$L_B/(\text{°})$	$H_B/\text{km}$
100	-20	-2	-200	-0.2	0.1	110.5	60.3	8	110	60	7

设  $V_i = 300 \text{ m/s}$ ,  $\phi_i = \theta_i = \mu_i = 0$ , ( $i = A, B$ ),  $V_{PJ} = 800 \text{ m/s}$ 。为验证指令解算的适应性,令  $u = [-20^\circ, 20^\circ]$ , 取  $\Delta u = 4^\circ$  进行变化, 求得的瞄准指令如图3所示。将解算的瞄准指令作为A的武器发射条件进行仿真, 仿真结果见图4。图中线条表示对应平台的运动轨迹。仿真结果表明, 协同瞄准算法是正确的。

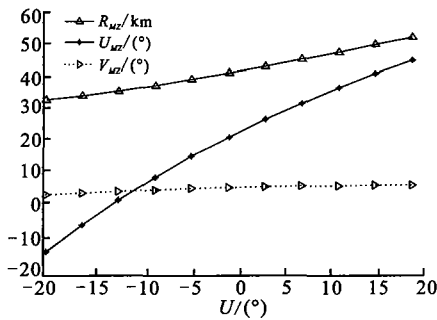


图3 瞄准指令解算

Fig.3 Targeting command result

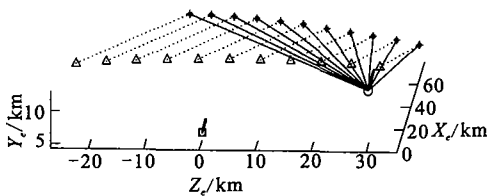
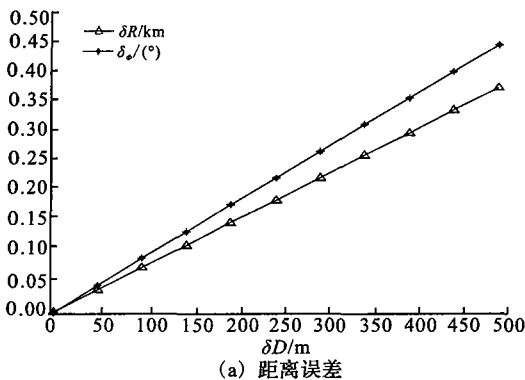


图4 瞄准指令应用

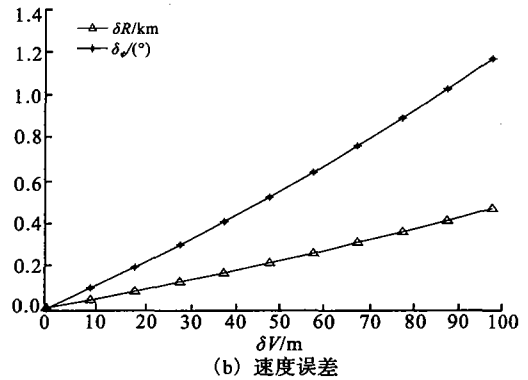
Fig.4 Application result of command targeting

### 4.2 瞄准精度仿真

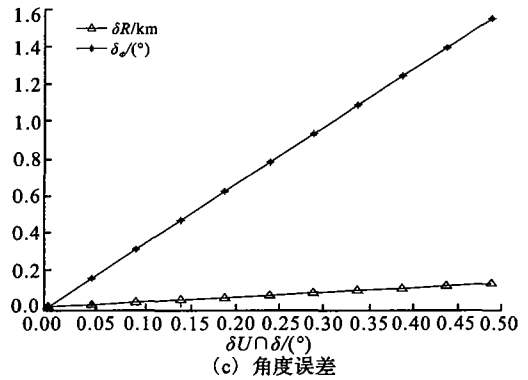
采用与4.1节中相同的仿真条件设置, 根据误差的独立作用原理, 逐项设置各个参数的误差, 以  $\delta x$  表示变量  $x$  的误差, 仿真结果见图5~9, 图中纵坐标单位见图中标识。



(a) 距离误差



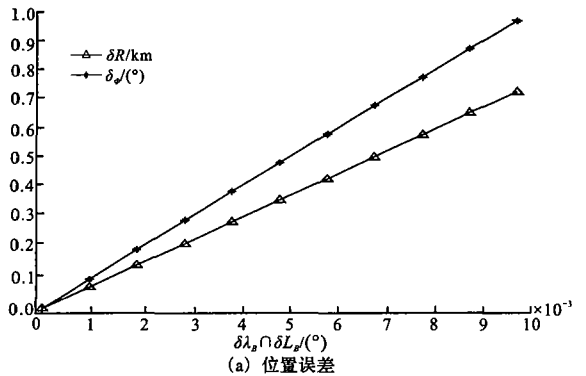
(b) 速度误差



(c) 角度误差

图5 B的目标测量误差的影响

Fig.5 Influence for target information error of B



(a) 位置误差

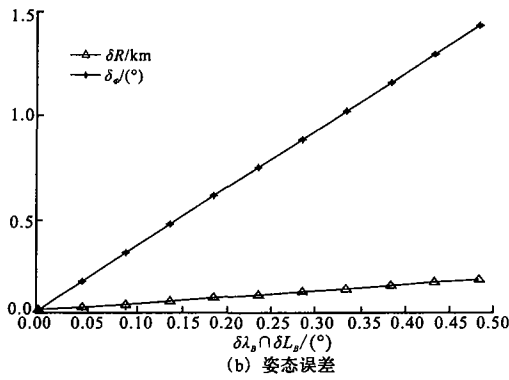


图 6 A 定位误差的影响

Fig. 6 Influence for location error of A

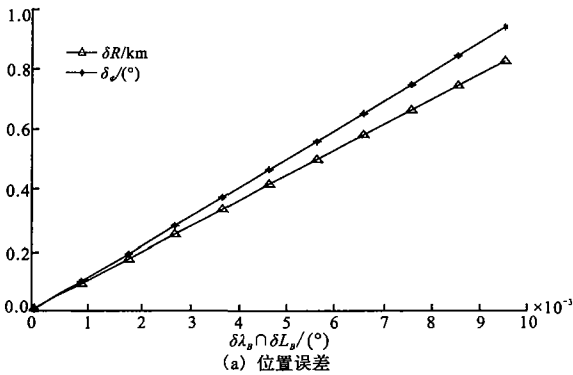


图 7 B 定位误差的影响

Fig. 7 Influence for location error of B

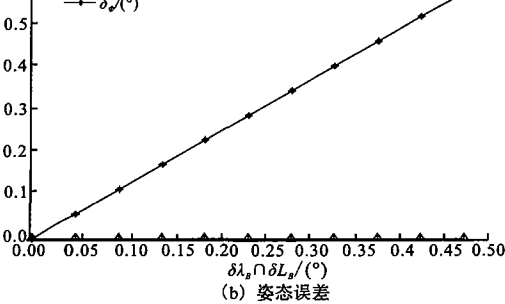


图 7 B 定位误差的影响

Fig. 7 Influence for location error of B

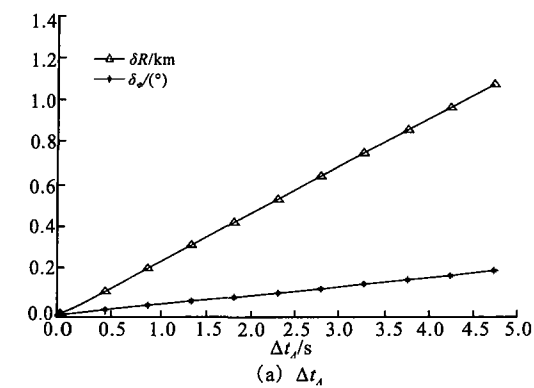


图 7 B 定位误差的影响

Fig. 7 Influence for location error of B

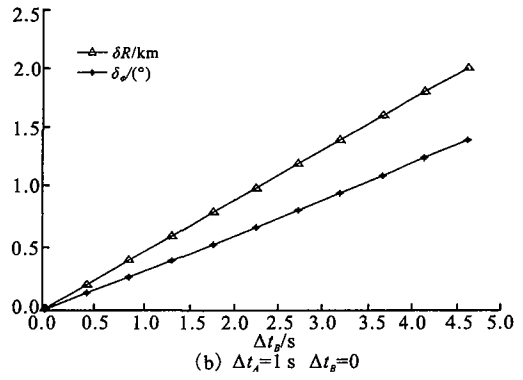


图 8 信息延时的影响

Fig. 8 Influence for information delay

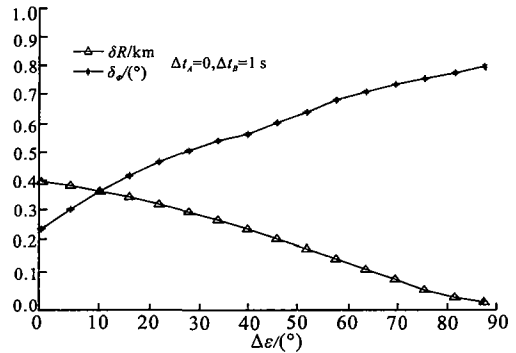


图 9 固定延时下  $\Delta\epsilon$  的影响

Fig. 9 Influence for  $\Delta\epsilon$  under const information delay

由仿真结果图 5~9,可以得到如下结论:

1) 瞄准误差与 B 对 M 的参数测量误差呈正相关,测角误差和测速误差影响很大;同时,瞄准误差和 B 与 M 的距离正相关。

2) A 和 B 的空间定位误差对瞄准误差影响较大,A 和 B 的姿态误差对瞄准角度误差影响较大,而对距离瞄准精度影响较小,可以忽略。提升战斗机平台的空间定位和姿态定位精度能直接提高瞄准精度。

3) 信息延时产生的距离瞄准误差大于角度瞄准误差;相同延时下, $\Delta t_B$  的影响大于  $\Delta t_A$ 。为了提高瞄准精度,必须保证战斗机平台信息传递的实时性,尤其应优先保证 B 向 A 传递瞄准指令的实时性。

4) 角度瞄准误差随  $\Delta\epsilon$  增大而增大,在  $\Delta\epsilon=90^\circ$  时达到最大值,而距离瞄准误差的变化规律与之相反。 $\Delta t_B$  的影响要大于  $\Delta t_A$ 。在通信质量不高时,可以通过控制 A 与 M 的速度方向提高瞄准的角精度。

### 5 结语

本文以双机协同攻击为背景研究了一种协同指

令瞄准的火控方法,通过建立矢量模型得到双机协同攻击的瞄准方法,并对协同指令瞄准的精度进行建模研究。仿真结果表明战斗机平台的空间定位精度、姿态定位精度和信息通信能力对瞄准精度具有直接影响。虽然一定的战术应用比如控制战斗机与目标的相对速度对瞄准精度具有一定影响,但是提高协同攻击的精度关键还是在于作战平台自身的性能上。本文的研究结果可应用于协同攻击的火力控制技术及其攻击效果评估,同时可用于无人机的武器发射火力控制。

#### 参考文献(References):

- [1] Foreman E E, Smith M C. A comparison of high power solid state gaas fets versus microwave power modules from a user's perspective; the cooperative engagement capability programed [C]//IEEE MTT-S Digest. [S. l.]:IEEE press,1999: 333-336.
- [2] Acevedo Rafael A. Valued information at the right time (VIRT) and the navy's cooperative engagement capability (CEC): a win/win proposition [D]. Monterey: Naval postgraduate school, 2006.
- [3] Wei Kang, Andrew Sparks. Modeling and computation of optimal task assignment for cooperative contro [C]//Proc of the 42nd IEEE conf on decision and control. Maui, Hawaii: IEEE press, 2003: 1017-1022.
- [4] 蓝伟华, 喻蓉. 多机编队协同空战的概念及关键技术[J]. 电光与控制, 2005,12(6):12-15.  
LAN Weihua, YU Rong. Concept and critical technologies in cooperative air combat for airplane formation[J]. Electronics optics & control, 2005,12(6):12-15. (in Chinese)
- [5] 孙隆和. 网络信息环境中的飞机(飞行作战平台)武器火力指挥控制系统[J]. 电光与控制. 2010,17(3): 1-8.  
SUN Longhe. Airborne weapon fire control and command control system in network information environment[J]. Electronics optics & control, 2010,17(3):1-8. (in Chinese)
- [6] PENG Wencheng, HOU Dianjie, ZHANG Wen. Force loss lanchester equation based on cooperative engagement[J]. Operations research and management science, 2009,18(3):128-131.
- [7] 高坚, 佟明安. 双机编队协同制导的火控机理[J]. 火力与指挥控制, 2009,34(12):38-40.  
GAO Jian, TONG Ming'an. Fire control on cooperative guidance with two-fighters team[J]. Fire control & command control, 2009, 34(12): 38-40. (in Chinese)
- [8] 郭辉, 徐浩军, 刘殿玉. 基于自适应混合粒子群算法的协同多目标攻击空战决策[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2010,11(2):16-20.  
GUO Hui, XU Haojun, LIU Dianyu. Air combat decision-making for cooperative multiple target attack based on adaptive hybrid particle swarm algorithm [J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2010,11(2):16-20. (in Chinese)
- [9] 周志刚. 航空综合火力控制原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.  
ZHOU Zhigang. Synthesis fire control principle for aviation[M]. Beijing: National defense industry press, 2008. (in Chinese)
- [10] Godiksen William H. Targeting pod effects on weapons release from F-18C hornet[D]. Maryland: United states naval academy, 2008:10-35.
- [11] Oberkamp William L, DeLand Sharon M. Error and uncertainty in modeling and simulation. [J]. Reliability engineering and system safty, 2002, 75(1): 333-357.
- [1]程红斌, 张凤鸣, 张晓丰. 多机协同空战目标分配算法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2005,6(2):7-10.
- [2]刘毅, 李为民, 赵全习, 等. 无人攻击机编队配系优化算法[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2009,10(2): 28-32.
- [3]姚佩阳, 薛艺莉, 王冬旭. 迎头抢攻飞行轨迹数学建模及评估[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2010,11(2): 6-10.
- [4]欧阳才超, 李为民, 阳曙光. 联合火力打击目标分配[J]. 空军工程大学学报: 自然科学版, 2009,10(3):50-54.

(编辑: 徐敏)