

# 防空导弹引战配合的数字仿真

任宏滨, 简金蕾, 崔智社

(空军工程大学 导弹学院导弹工程系, 陕西 三原 713800)

**摘要:** 建立引战配合的数学模型,在此基础上介绍防空导弹引战配合数字仿真系统,以某防空导弹攻击其典型目标——米格-21为例,对引信、战斗部和目标的作用过程进行动态仿真,给出了仿真结果,并给出了战斗部破片的动态飞散区域和命中目标的破片分布图形,从而直观地显示出引战配合的效果以及对目标的毁伤程度。

**关键词:** 引信;战斗部;引战配合;仿真

**分类号:** TJ43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2000)01-0018-04

引战配合的数字仿真是指利用已获得的物理仿真和打靶等其它实验结果,建立数学模型,在数字计算机上模拟引战配合的全过程。数字仿真与物理仿真相比,其优点在于它可以模拟物理仿真很难模拟的情况,如高速目标等复杂的交会条件;或在采用物理仿真时代价很高等情况。引战配合的数字仿真是一种涉及面较广的综合性应用技术,主要是为引信及战斗部系统研制服务的。它可应用于引战系统研制的全过程,包括方案论证、研制、试验、定型和改进等,以提高研制效率,缩短研制周期,节省人力、物力,从而降低研制成本。现代数值计算技术的发展为引战配合的数字仿真创造了良好的条件,国内外正在积极开发有关引战配合的计算机软件,使数字仿真向图象化、动态化和实时性方向发展,逐步接近实际打靶的过程,并愈来愈成为研究引战配合效率、研制引战系统的重要手段。

## 1 数学模型

引战配合数学模型主要包括:引信接收和信号处理模型、弹目交会模型、战斗部破片飞散模型、目标命中破片模型等等。

### 1.1 引信接收的多卜勒信号

引信接收信号与目标的散射特性有关,可将飞机目标分解为机头、机身、机翼、尾翼等若干个几何模块,用相应近似的标准几何体(如圆台、圆柱体、梯形平板)来代替。目标的回波来自这些模块上的镜面散射点,然后矢量叠加合成回波信号:

$$u_r(t) = \sum_{i=1}^n A_n \cos[2\pi(f_0 + f_{di})t + \Phi_i] \quad (1)$$

其中: $f_{di} = (2v_r/\lambda)\cos\eta_i$  为第*i*个散射点的多卜勒频率;

$\Phi_i = 4\pi R_i/\lambda$  为第*i*个散射点的回波相位;

$A_n = \sqrt{2P_i G_i G_r \sigma_i R_a \lambda^2 / [(4\pi)^3 R_i^4]}$  为第*i*个散射点的回波振幅;

上式中: $f_0$  为载频;

$\lambda$  为引信波长;

$P_i$  为引信发射功率;

收稿日期:1999-12-17

基金项目:中国工程物理研究院基金资助(96030415)

作者简介:任宏滨(1961-),男,副教授。

$\eta_i$  为第  $i$  个散射点与天线的连线和相对速度矢量的夹角;

$R_i$  为第  $i$  个散射点在电磁波发射时与引信的距离;

$\sigma_i$  为第  $i$  个散射点的等效截面;

$R_a$  为接收天线输入电阻;

$G_t, G_r$  为引信发射天线和接收天线的增益。

引信接收信号经混频后去掉载频  $f_0$ , 得到目标的多卜勒信号, 其频谱是由各散射点合成的一个复杂的多卜勒频谱。这种多卜勒信号可以表示为:

$$u_d(t) = \sum_i^n K_d A_{r_i} \cos(2\pi f_{di}t + \Phi_i) \quad (2)$$

其中  $K_d$  为接收机的放大系数。

## 1.2 引信启动点

引信最佳启动多卜勒频率为:

$$f_{dk} = \frac{2v_r}{\lambda} \frac{v_r + v_0 \sin \Omega_r \cos \omega_0}{\sqrt{v_0^2 + v_r^2 + 2v_0 v_r \sin \Omega_r \cos \omega_0}} \quad (3)$$

其中:  $v_r$  为弹目相对运动速度;

$v_0$  为战斗部破片静态飞散初速度;

$\Omega_r$  为相对速度矢量与弹轴的夹角;

$\omega_0$  为目标脱靶方位角。

引信数字信号处理电路从复杂的多卜勒频谱中选出目标等效中心多卜勒频率  $F_d$ , 它接近目标中心对应的多卜勒频率。在仿真计算中,  $F_d$  的选择是采用蒙特卡洛方法, 以理论中心为均值, 按正态分布在多卜勒频谱范围内进行随机取样。当目标等效中心多卜勒频率  $F_d$  等于或小于最佳启动多卜勒频率  $f_{dk}$  时引信启动, 起爆战斗部。由此可在相对速度坐标系中确定引信启动点的位置坐标  $(x_k, y_k, z_k)$ , 进而求得引信的启动距离:

$$R_k = \sqrt{x_k^2 + y_k^2 + z_k^2} \quad (4)$$

## 1.3 战斗部破片动态飞散锥

若给出战斗部破片静态飞散方向的上下限  $\Phi_1, \Phi_2$ , 可以求出破片的动态飞散锥端点在导弹坐标系中的投影点坐标:

$$\begin{cases} x = T(v_{rxm} + v_0 \cos \Phi_j) \\ y = T(v_{rym} + v_0 \sin \Phi_j \cos \omega) \\ z = T(v_{rz m} + v_0 \sin \Phi_j \sin \omega) \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $\Phi_j$  为静态飞散边界方向角, 为  $\Phi_1, \Phi_2$ ;

$\omega$  为静态飞散方位角,  $\omega = 0 \sim 2\pi$ ;

$T$  为破片飞散时间, 通常选为  $T = 1.5\rho/v_r$ , 其中  $\rho$  为脱靶量;

$v_{rxm}, v_{rym}, v_{rz m}$  为相对速度  $v_r$  在导弹坐标系中的投影分量, 可利用相对速度坐标系到导弹弹体坐标系的转换矩阵  $[E]$  求得:

$$\begin{bmatrix} v_{rxm} \\ v_{rym} \\ v_{rz m} \end{bmatrix} = [E] \begin{bmatrix} v_r \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

将动态飞散锥端点坐标投影到作图平面, 并与战斗部中心连线就可得到破片飞散锥的投影。

## 1.4 战斗部破片命中目标的图形显示

战斗部破片命中目标的图形显示方法主要有破片命中点分布显示和破片命中边界显示两种。破片命中点分布图形可直观地表示出破片命中目标的部位和命中破片的密度分布, 这种显示方法首先确定目标所占静态飞散方位的范围, 然后在此范围内对每一枚破片静态飞散方向进行随机抽样, 再求每枚破片的飞散射线与目标几何外形的交点。连续求取所有可能破片命中目标的坐标, 并作于目标投影图上, 就得到完整的破片命中点分布图形。

破片命中边界显示方法是用破片命中边界线表示破片命中目标的区域, 破片命中边界线是战斗部破片

动态飞散区边界锥与目标的交线。这种方法首先在目标上取很多母线,分别与战斗部破片两个动态飞散边界锥求交点,然后将求得的交点连成曲线,就作出了破片命中边界线,两条边界线之间的目标部位即为破片命中的区域。

## 2 引战配合数字仿真系统

目前,我们已开发出适于某防空导弹的引战配合数字仿真系统,其流程如图1所示。

该系统较完整地描述了弹目遭遇段引信、战斗部和目标之间的作用过程,并以交互方式动画演示弹目交会及杀伤目标的动态过程。从引信发射电磁波照射到目标开始,由引信天线接收到目标散射信号,而后通过引信电路得到启动点,引爆战斗部毁伤目标,同时分析战斗部对目标的毁伤效果。若达不到要求,可修改引信或战斗部的参数重新进行仿真,形成一个闭环的仿真系统。其主要原理是:用标准几何体代替目标表面,给出目标的曲表面模型。再用目标的曲表面模型,求来自各散射点合成的目标回波信号,并由此计算出多卜勒信号。然后以多卜勒信号作为输入信号经过引信处理电路仿真模型,得到各种弹目交会条件下的引信启动点位置,此时引爆战斗部,作图显示战斗部破片的动态飞散锥。而后计算命中目标的破片数,显示破片命中目标的部位,并由此分析战斗部对目标的毁伤效果。导弹相对目标的运动、引信天线方向图、战斗部破片动态飞散锥、目标被杀伤的部位以及目标的易损部位等都通过图形显示出来,因此,可形象、逼真、直观地了解仿真的最终结果。

防空导弹引战配合数字仿真系统以米格-21、飞鱼导弹为典型目标,针对多个空域点进行了引信、战斗部、目标作用过程的计算和动态图形显示。带有双束破片聚焦式战斗部的某防空导弹攻击米格-21的某一次仿真结果如下:

- 战斗部破片动态飞散锥如图2所示;
- 命中目标的破片数:192片;
- 命中目标的面积:2.3平方米;
- 破片命中目标的边界如图3所示;

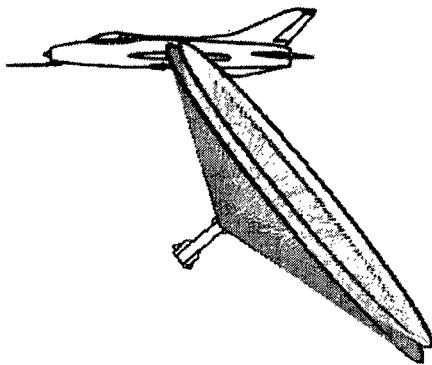


图2 破片动态飞散锥

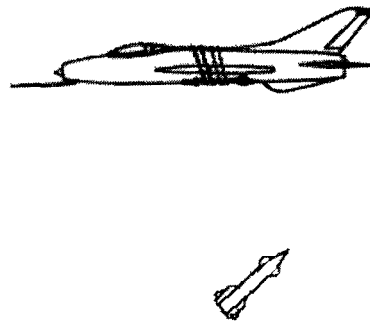


图3 破片命中目标的边界

- 前束破片命中机翼和机身油箱舱段;
- 后束破片命中机翼和机身油箱舱段;
- 对目标的毁伤效果:目标被击毁;

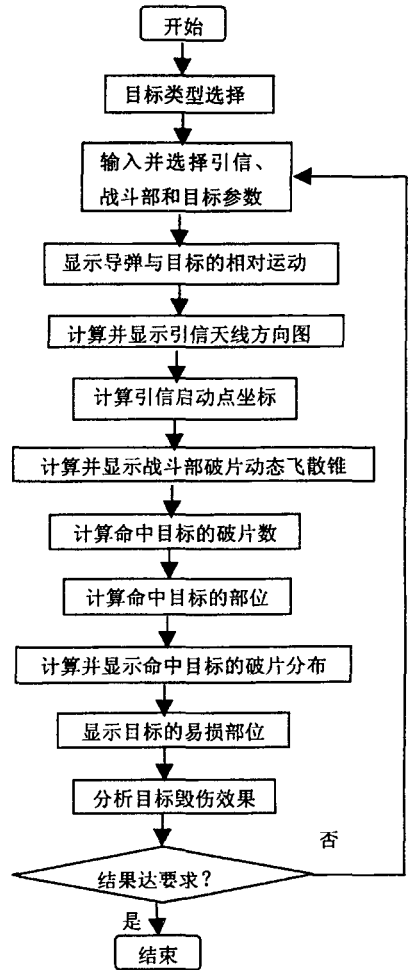


图1 计算机流程图

命中目标的破片分布如图4所示。

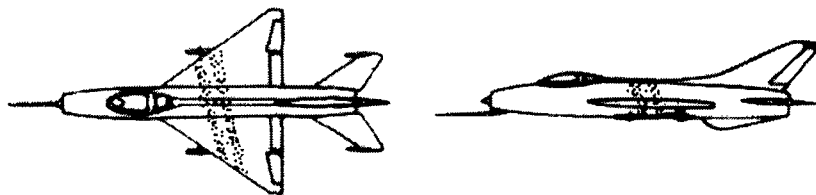


图4 命中目标的破片分布

### 3 结束语

目前,引战配合数字仿真技术还处于初级阶段,防空导弹引战配合数字仿真系统还有待进一步完善,一些研究工作还需继续进行。如还需要研究影响引信正常工作的有源干扰、无源干扰及背景(地、海杂波等)仿真模型;需要研究隐身目标的仿真模型;还需要研究开窗放大技术,局部显示目标命中部位的破片分布,以便更好地判别和显示杀伤效果。此外,整个仿真系统的模型还需要用半实物仿真试验、外场试验等取得的数据进行验证和修订,以提高仿真系统的精度和可信性。

### 参 考 文 献

- [1] 梁棠文. 防空导弹引信设计及仿真技术[M]. 北京:宇航出版社,1995.
- [2] 张志鸿. 防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计[M]. 北京:宇航出版社,1994.
- [3] 李廷杰. 防空导弹武器系统射击效率[M]. 北京:北京航空学院出版社,1987.
- [4] 张京国. 浅谈空空导弹引战系统数字仿真技术[J]. 现代引信,1998(1).
- [5] 张斌. 引战配合动态仿真计算机软件[J]. 现代防御技术,1998(2).

## Digital Simulation for Fuze-warhead Coordination of Air-defense Missiles

REN Hong-bin, JIAN Jin-lei, CUI Zhi-she

(Dept. of Missile Engineering of the Missile Institute, AFEU., Sanyuan, 713800, China)

**Abstract.** The mathematical model of fuze-warhead coordination is founded, and then a digital simulation system of fuze-warhead coordination of air-defense missiles is introduced. Taking some air-defense missile and its typical target-MNT-21 for example, the simulating result is given. The dynamic killing range of warhead's fragments and the fragment distribution of hitting target are graphically displayed, which can directly show the fuze-warhead coordination effect and the damage effect on the target.

**Key words:** Simulation; Fuze; Warhead; Fuze-warhead coordination