

雷达/红外双模复合导引头抗光电干扰的数字仿真技术

汪朝群

(上海航天技术研究院第八设计部,上海 200233)

摘要:导引头的抗干扰性能通常是通过地面实验来验证的。为了尽可能地仿真实际的干扰环境,需要研制大量的干扰设备和相应的仿真设备。而战场上的干扰环境又千变万化,技术发展十分迅速,这就要求仿真设备不断更新,极大地增加了研制周期和成本。探讨了导引头抗干扰的数字仿真技术,使抗干扰性能得到定量的评估。讨论了非成像光电寻的导引头的抗干扰数字仿真。

关键词:末制导; 双模导引头; 抗光电干扰; 数字仿真

中图分类号: TN21 **文献标识码:** A **文章标号:** 1007-2276(2005)02-0236-05

EOCM numerical simulation technology for radar/infrared double-module seeker

WANG Chao-qun

(The 8th Institute of Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 200233, China)

Abstract: As usually the evaluating EOCM for seeker processes through experiment in Laboratory or test in out-ground. So that a lot of ECM and simulation equipments have equipped necessarily. But in further war status, the ECM and EOCM techniques rapidly develop with variability environment, which enhances a great cost of experiment research. Now, the numerical techniques are making a useful design skill for the missile homing. A main theme of this paper is to study numerical simulation technology of EOCM for the dual-seeker that consists of a radar/infrared integrated and a evaluating method about the effectiveness for EOCM is discussed as well.

Key words: Homing; Dual-model seeker; EOCM; Numerical simulation

0 引言

复杂的电磁、光电干扰严重影响着地空导弹的制导精度、命中概率和杀伤概率,即作战效能的发挥。特别在末制导阶段,电磁、光电干扰将直接导致导弹脱靶。因此,导引头必须具备较强的抗干扰能力。如红外制导(非成像和成像)导引头,在设计中需要研究对付

光电干扰的各种策略手段。现在的问题是通过怎样的方法来评价抗光电干扰策略的有效性。通常,是通过地面试验来验证导引头的抗干扰性能:(1)外场的地面试验。为了尽可能地设置实际的干扰环境,需研制大量的干扰设备,并且要耗费大量的人力、物力和财力。因此,外场试验不可能多次重复地进行,修正在试验中发现的抗干扰策略的不足,而只能作为最终的评

估验证手段。(2)内场实验室的抗干扰仿真实验。同样,为了仿真干扰环境,需要研制干扰/目标的仿真设备和相应的其他仿真设备及相应的软件。虽然在实验室内,可以多次重复地进行抗干扰的试验,及时地修正导引头中抗干扰策略。但是,由于实际战场上的干扰环境千变万化,干扰技术发展十分迅速,各种寻的导引头的出现,这就要求仿真设备不断地更新,极大地增加了研制周期和成本。

本文的目的是探讨导引头抗干扰的数字仿真技术。应用数字仿真技术,可以及时地修改抗干扰策略,对抗干扰性能进行定量的评估。

1 红外光电干扰环境的概况

1.1 光电干扰的主要类型

关于红外光电干扰的研究报告是很丰富的^[1-3]。对光电制导导弹能实行有效的光电干扰手段主要有:

(1) 红外告警装置

现在的红外告警装置已发展到第三代,具有高性能全方位的告警能力,可对多目标进行搜索、跟踪和定位并自动引导干扰系统工作。

(2) 红外干扰机

红外干扰机是早期的红外干扰手段。由于第一代红外制导导弹是采用调制盘的探测方法,红外干扰机就是针对这类非成像导弹的。在作战飞机上至今仍然安装有红外干扰机,与其他干扰手段同时使用。

(3) 人工红外诱饵干扰弹

红外诱饵干扰弹本质上是一个点源假目标。主要性能要求在辐射波段尽量与导弹导引头红外探测波段一致,而辐射强度尽量超过目标本身相应波段的辐射强度。这样的点源假目标对第一代调制盘式的红外非成像制导导弹是十分有效的。而对于第二代“多元”探测或“双色”探测功能的红外导引头,可依据目标和干扰的辐射强度的幅值、运动速度特性、目标和干扰相对应的双色波段光谱比率,把目标和干扰区分开来。目标红外隐身技术的发展和红外诱饵干扰弹不断的改进,促使了红外成像导引头的研制和发展。显然,点源假目标的辐射光谱,辐射强度以及形状、大小、运动弹道的特性都随时间变化。红外成像探测系统充分利用所获得目标和诱饵的空间-时间信息,很容易把

目标和诱饵干扰区分开来。

为了实现对红外成像制导导引头的干扰,新一代的红外诱饵干扰已经设计成能在一定时间内产生稳定的、与目标红外特性的形状和运动特征基本类似的假目标,干扰红外成像导引头正常跟踪目标。

(4) 定向能干扰

以激光器为手段的定向能干扰器能够直接使导引头致盲,毁伤探测器及其读出电路等辅助电路。采用激光器干扰红外制导导弹,必须同时配备告警装置、跟踪和瞄准导弹的系统以及大功率的激光发射装置。而实际上,定向能激光器不仅可干扰导弹,也可以作为武器使用,直接摧毁飞机、导弹等目标。

(5) 以特征为基础的干扰方法

以特征为基础的干扰策略其本质是设计减少目标红外辐射特征的方法,例如,在目标(蒙皮)上采用红外隐身涂料,对目标(发动机尾喷管、尾焰)上的红外热源采取隐匿手段,减少红外辐射能量。这种红外隐身技术目前已经被大量采用。为了有效地干扰红外成像制导的导弹,又提出可调节的特征干扰策略,即可以人为地改变目标的红外特征,例如,红外成像导引头跟踪目标红外形心,或者是目标的红外辐射强度的中心,则当目标发现自己受攻击时,即启动特征改变装置,随机地改变自身的红外能量分布,使红外辐射强度中心移向体外。

1.2 用于数字仿真的光电干扰主要特征

为进行光电干扰和抗干扰性能的数字仿真研究,首先要建立相应的数字仿真模型。数字仿真模型与半实物仿真模型既有联系又有区别。半实物仿真的建模是尽可能模拟实际的干扰和抗干扰的过程。例如,为了进行非成像红外导引头抗红外诱饵的半实物仿真实验,除了要有目标的红外辐射变化的动态模型、目标的运动学模型,还要有干扰弹的红外辐射变化动态模型、运动学模型,才能驱动目标/干扰仿真器,模拟红外干扰环境。通常情况下,表征红外诱饵特征的有:光谱、目标/干扰的红外比辐射强度、燃烧时间、有效燃烧时间、速度效应、高度效应和弹道密度。所以,要建立上述目标/干扰的模型需要通过大量的实验包括外场的测试取得大量的数据^[4,5]。然而,进行数字仿真时,关键是从红外诱饵能干扰红外导引头的本质上建

立起相应的干扰和抗干扰的模型。仍以非成像红外制导导引头为例,红外诱饵能诱骗红外导引头的因素可以抽象为两个主要的数学模型:红外诱饵在导引头视场内“逗留”时间 T 和 红外诱饵在探测波段内辐射强度 $\Phi(d)_\lambda$ 。因为,非成像红外导引头在扫描周期内所得到的只是目标(包括背景、干扰)的脉冲信息,如果红外诱饵在视线角内的“逗留”时间越长,目标与诱饵的红外辐射强度之比越接近,导引头的抗干扰算法就很难在容许的计算周期内区分出目标和干扰的脉冲信号,也就无法计算出真实目标的视线角和视线角的变化率,无法得到跟踪目标的信息。所以,在研究非成像红外导引头的干扰和抗干扰的数字仿真模型时,可以用视场内干扰脉冲“逗留”时间 T 和反映目标/诱饵红外辐射强度之比 $\gamma=\Phi(\text{decoy})_\lambda/\Phi(\text{target})_\lambda$ 的干扰脉冲的幅值,这两个模型作为红外诱饵数字仿真建模的主要特征参数^[5]。

2 非成像红外导引头抗干扰性能的数字仿真

现用非成像四元探测红外导引头作为对象。其简化功能方框图如图 1 所示。

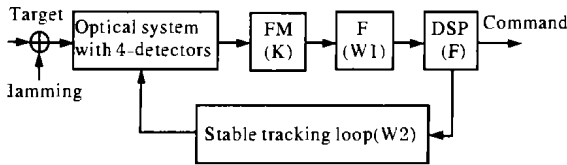


图 1 四元探测导引头功能方框图

Fig.1 Function sketch of the seeker with 4-detectors

2.1 关于数字仿真的建模

2.1.1 假设条件

导引头的探测波段 $3\sim 5 \mu\text{m}$,瞬时视场 $\delta = 1.5^\circ$,跟踪视场 $\psi=\pm 40^\circ$,光学系统扫描频率 $\omega=100 \text{ Hz}$ 。

在没有干扰的情况下,导引头已稳定跟踪目标。因此,图 1 中前置放大器 K 、滤波器 $W1$ 和稳定跟踪回路 $W2$ 的参数已经选定,目标信息处理的软件 F (包括稳定跟踪回路的控制信号、指令形成信号和抗干扰的程序)已经确定。

在上述条件下,进行干扰和抗干扰的数字仿真。数字仿真的输入条件为:

目标的视线角误差 $\varepsilon=\text{Asin}(0.628t),\beta=\text{Asin}(0.628t+$

$\pi/2)$;

目标/背景的等效辐射强度 $\Phi(\text{target})_\lambda=[0.5:0.1:1]$;

红外诱饵的辐射强度 $\Phi(\text{decoy})_\lambda$;

干扰/目标的比辐射强度 $\gamma=\Phi(\text{decoy})_\lambda/\Phi(\text{target})_\lambda=2\sim 15$;

干扰在视场内的逗留时间 $T=[0.2:0.2:1]$ 。

2.1.2 数字仿真的主要模型

(1) 探测器模型

光学系统的扫描频率 $\omega=100 \text{ Hz}$,所以“一帧”时间 $T=10 \text{ ms}$,“帧序”用 $T(N)$ 表示, $N=1, 2, 3, \dots$ 。在第 N 帧时间内,探测器对一个目标可能的测量的信号脉冲序列 $t(N)_k, k=1, 2, 3, 4$ 。

1) 目标位于光轴上,目标像点扫描圆的圆心与探测器焦平面坐标原点重合。有: $[t(N)_1, t(N)_2, t(N)_3, t(N)_4]$ 满足 $t(N)_1=t(N)_2-t(N)_1=t(N)_3-t(N)_2=t(N)_4-t(N)_3$

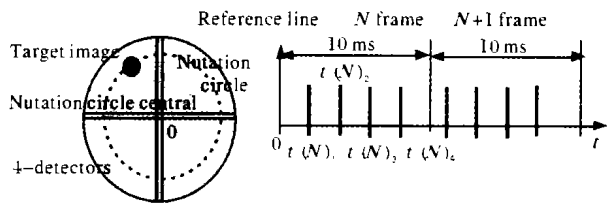


图 2 目标像点扫描圆圆心位于探测器焦平面坐标原点时探测器输出信号脉冲示意图

Fig.2 Output pulse signal for 4-detectors when the nutation circle central is located at FP central configuration

2) 目标不位于光轴上,目标像点位于探测器焦平面的某一个像限内。根据目标像点离探测器中心的距离远近和位置,这时脉冲的出现可能有 $C_4^1 + C_4^2 + C_4^3 + C_4^4$ 种组合:

$$[t(N)_1]; [t(N)_2]; [t(N)_3]; [t(N)_4];$$

$$[t(N)_1, t(N)_2]; [t(N)_1, t(N)_3]; [t(N)_1, t(N)_4]; [t(N)_2, t(N)_3];$$

$$[t(N)_2, t(N)_4]; [t(N)_3, t(N)_4];$$

$$[t(N)_1, t(N)_2, t(N)_3]; [t(N)_1, t(N)_2, t(N)_4]; [t(N)_1, t(N)_3, t(N)_4];$$

$$[t(N)_2, t(N)_3, t(N)_4]; [t(N)_1, t(N)_2, t(N)_3, t(N)_4];$$

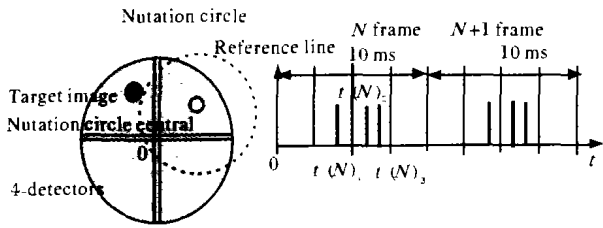


图3 目标像点不位于探测器焦平面坐标原点时探测器输出信号脉冲示意图

Fig.3 Output pulse signal for 4-detectors when the nutation circle central is not located at FP central configuration

3) 对干扰的探测信号 $\tau(N)$ 同样有位于光轴上和不位于光轴上的情况, 因此, 在第 N 帧时间内, 探测系统的输出脉冲序列与前面(1)(2)所描述的相类似, 其中符号 $t(N)_k$ 用 $\tau(N)_k$ 来替代即可。

(2) 信号处理模型

角误差信号的产生基本公式为:

$$x(N) = r_0 \cos \alpha(N)_k \quad y(N) = r_0 \sin \alpha(N)_k$$

$$\alpha_k(N) = \omega t(N)_k \quad \alpha_{k+1}(N) = \omega t(N)_{k+1} \quad U(N)_k$$

式中 $U(N)_k$ 为第 N 帧中对应第 k 个脉冲的幅值; r_0 为光学系统扫描圆的半径; ω 为光学系统扫描频率; $t(N)_k$ 为基准脉冲与第 k 个探测器响应脉冲的时间间隔 $k=1,2,3,4$; $\alpha(N)_k$ 为在 $t(N)_k$ 时刻目标像点在焦平面直角坐标系上所处的相位角; $x(N), y(N)$ 为目标像点在焦平面直角坐标系中的坐标, 也是视线角误差在视线坐标系中的投影, 用以产生控制指令。

2.1.3 仿真结果

目标: $\max\{U_\phi(\text{target})_\lambda\} = 1 \text{ V}$

$$t(N)_1 = 0.6 \text{ ms}, t(N)_2 = 0.8 \text{ ms}, t(N)_3 = 0.9 \text{ ms}$$

背景噪声: 功率 0.001 W

诱饵干扰: $\max\{U_\phi(\text{decoy})_\lambda\} = 15 \text{ V}$

$$\tau(N)_1 = 0.65 \text{ ms}, \tau(N)_2 = 0.84 \text{ ms}, \tau(N)_3 = 0.88 \text{ ms}$$

图5是探测器输出的目标信号脉冲和出现干扰后的输出脉冲信号, 经过目标信息抗干扰处理后, 取得的跟踪目标信息脉冲如图6所示。

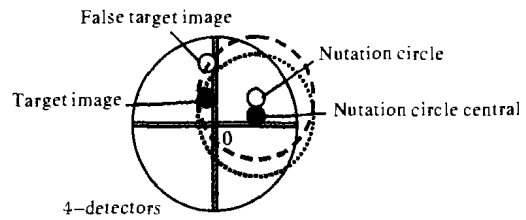


图4 目标与干扰在探测器平面上的像点、光学扫描圆及圆心位置的示意图

Fig.4 Target image and the jamming image are located in the 4-detectors FP configuration

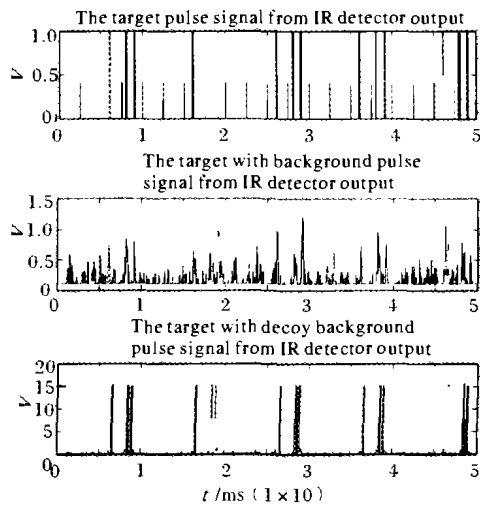


图5 四元探测器输出的目标信号脉冲和出现干扰后的输出脉冲信号

Fig.5 Output pulse signal with the jamming pulse signal for 4-detectors

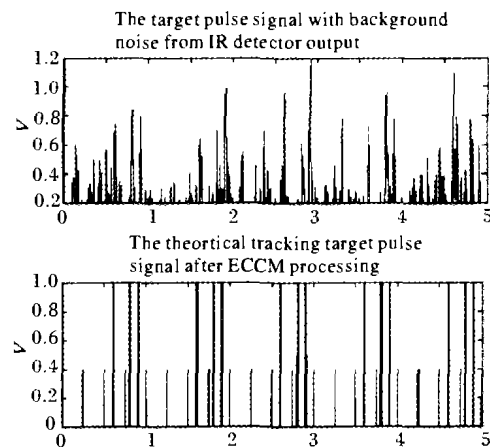


图6 经过目标信息抗干扰处理后, 取得的跟踪目标信息脉冲

Fig.6 Processed output pulse signal for 4-detectors

3 结 论

应用数字仿真的方法,对红外寻的系统抗干扰性能进行分析、评估是十分有意义的,可以用数字化的软件技术代替昂贵的硬件研制。软件的可修改、适用性方面远远优越于硬件。随着数字技术的不断深入发展,数字化仿真技术将在设计、研制和性能评估的研究中发挥更重要的作用。本文是初步的研究结果,为了达到实用化的目的,还需要进一步深入。

(上接第 226 页)

$$A = \{s(f_i, g_{i1}) \mid i=1, 2, \dots, m\} \quad (9)$$

与 A 中最大的 m 个匹配度量值相对应的点对,即为最终的对应点关系。

2.2 松弛检测

松弛检测为一个迭代过程。按以下三步进行迭代处理,直到没有变化为止。

(1) 计算基准图里每一个候选重心点的匹配度量值;

(2) 按照该匹配度量值找出真正对应点;

(3) 将上步结论和先前的匹配控制点作比较,去除虚假点。

3 试验结果

根据本文的方法,利用航片基准图和模拟实时图进行了大量试验,由于图像太多不便一一列出,其结果如表 1 所示,可以看出,经过有效重心点松弛检测后能够将匹配概率显著提高。

4 结束语

由于模糊熵差景象匹配算法在匹配性能方面存在优化的空间,本文提出了利用有效特征区域进行松弛检测的后处理方法。试验结果表明,该方法能有效地提高景象匹配的匹配概率,是一种较为理想的后处理技术。

参考文献:

- [1] 付伟.光电对抗概论[M].锦州:信息产业部电子第五十三研究所,2000.
- [2] 韩涛.对红外成像制导导弹的综合干扰[J].航天电子对抗,2002,(5):26-28.
- [3] 吕长水.美军第三代机载红外导弹告警器研发概况[J].航天电子对抗,2003,(2):20-23.
- [4] 汪朝群.红外诱饵对红外制导导弹的干扰特性及仿真[J].红外与激光工程,2001,30(4):241-245
- [5] Pollock DH.The Infrared Electrooptical Systems Handbook[M].Michigan:Infrared Information Analysis Center and Washington:SPIE Optical Engineering Press,1993,7:253-256.

表 1 松弛检测前后匹配性能比较

Tab.1 Comparison of matching capability before and after relaxation detecting

FESMA	Relaxation iterated time	Error square	Matching probability/%
Before relaxation detecting		0.02763	76.55
	15	0.02082	80.12
After relaxation detecting	30	0.01631	89.14
	30	0.00211	93.63

参考文献:

- [1] 何芳芳,孙继银.基于区域特征提取的模糊熵差景象匹配算法[J].第二炮兵工程学院学报,200,18(3):97-99.
- [2] Ranade S,Rosenfeld A. Point pattern matching by relaxation[J].Pattern Recognition,1980,12(4):269-276.
- [3] 张迁,刘政凯,庞彦伟,等.基于 SUSAN 算法的航空影像的自动配准[J].测绘学报,2003,32(3):245-250.
- [4] 桑军,李宗志,朱晓红.已知有效点数的点特征松弛匹配[J].重庆建筑大学学报,2003,25(4):114-120.
- [5] 桑农,张天序.旋转与比例不变的点特征松弛匹配算法[J].电子学报,1998,26(6):74-77.
- [6] 荆仁杰,陈洋.利用点结构匹配平面景物[J].通讯学报,1998,9(2):31-36.