

# 红外对抗及其半实物仿真试验研究

陈敏, 李龙

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

**摘要:** 随着红外探测技术的不断发展, 红外干扰与抗干扰技术也不断更新、发展。介绍了红外对抗的原理, 方法, 着重介绍了模拟红外对抗的红外半实物仿真试验, 分析了仿真系统中的关键技术及各种可供选择的场景模拟和运动平台特点, 最后提出了一种切实可行的红外半实物仿真试验方案。

**关键词:** 红外对抗; 红外干扰; 半实物仿真

中图分类号: TN976; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2013)06-0377-04

## Research on Infrared Countermeasure and Hardware-in-the-loop Simulation

CHEN Min, LI Long

(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

**Abstract:** With the development of infrared technology, infrared jamming and anti-jamming technologies are constantly updating and developing. The principle of infrared countermeasure method is introduced, with a particular emphasis on infrared hardware-in-the-loop simulation experiment of IR countermeasure. The scene simulation, the motion platform, and key technical characteristics are analyzed. Finally, a viable infrared hardware-in-the-loop method is presented.

**Key words:** infrared countermeasure, infrared jamming, hardware-in-loop

### 0 引言

随着红外技术的发展及其在精确制导中的应用, 红外制导导弹日益显示出巨大的作战威力, 构成了对飞机、舰船、坦克等重要目标的极大威胁。有矛必有盾, 红外制导武器的崛起和发展, 使得红外对抗技术随之发展起来, 各种干扰手段应运而生, 这又反过来促进了抗干扰技术的发展。干扰与反干扰, 这对矛盾相互对抗、相互促进<sup>[1]</sup>, 使得红外探测技术和红外干扰技术得到迅猛发展。

### 1 红外干扰及抗干扰的原理及方法

红外探测距离公式为:

$$R = \left[ \frac{A_0 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (I_{t\lambda} - I_{b\lambda}) \cdot \tau_a(\lambda) \cdot \tau_0(\lambda) \cdot D_{\lambda}^* d\lambda}{(A_d \Delta f)^{1/2} \text{SNR}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中:  $I_{t\lambda}$  红外目标辐射源的光谱红外辐射强度;  $I_{b\lambda}$  为背景的光谱红外辐射强;  $\tau_a(\lambda)$  目标和探测系统之间的大气光谱透过率;  $A_0$  红外光学系统的有效入射

孔径面积;  $\tau_0(\lambda)$  光学系统的光谱透过率;  $D_{\lambda}^*$  光谱比探测度;  $A_d$  探测器单元的面积;  $\Delta f$  等效噪声带宽; SNR 红外探测系统的信噪比<sup>[2]</sup>。

削弱和增强红外探测设备的作用距离, 是红外对抗的主要手段, 针对公式(1)的各种参数, 产生和发展了多种红外干扰和抗干扰技术。

#### 1.1 红外干扰

要达到红外干扰的目的, 根据公式(1), 可以采用的方法如下:

1) 减小  $\tau_a(\lambda)$  目标和探测系统之间的光谱透过率。通常采用红外烟幕等方法, 属于无源红外干扰, 烟幕的原料主要有红外消光铜粉, 鳞片石墨粉, 膨胀石墨<sup>[3]</sup>、微泡雾等。

当烟幕对红外辐射的衰减率大于 85% 时, 热像仪就不能有效识别目标特征, 从而达到有效干扰敌方红外探测设备及红外制导武器的目的<sup>[4]</sup>。

2) 减小  $I_{t\lambda}$  值, 降低目标的温度或者红外辐射率, 使得红外探测设备探测率下降。属于被动伪装技术, 方法有红外隐身涂料, 相变技术等。

红外隐身就是减弱自身的红外辐射, 热抑制,

收稿日期: 2013-04-02; 修订日期: 2013-05-21.

作者简介: 陈敏 (1964-), 男, 云南昆明人, 研究员, 主要从事光电、红外技术的质量、检测、计量检定、标准化等的研究。

热屏蔽,手段有:冷却,降低温度,加入红外辐射材料的添加剂,改进燃料成分以降低红外源的辐射强度,同时采用隔热材料和隔热装置遮蔽热辐射。

3)生成和目标红外辐射特征一样的伪目标。属于主动伪装技术,欺骗性干扰。

4)减小  $I_{t\lambda} - I_{b\lambda}$  的值,消除目标与背景的红外辐射差异,降低红外辐照对比度。

5)当红外诱饵的辐射强度大于红外目标某程度时,就能使红外跟踪器从跟踪红外目标过渡到跟踪红外诱饵,达到欺骗的目的,属于红外压制,方法是红外诱饵弹、喷油燃烧和定向干扰等。

## 1.2 红外抗干扰

抗干扰能力是衡量红外探测系统性能和技术水平的重要指标,红外导引系统的抗干扰能力是红外导引系统综合能力的体现,根据红外干扰类型,如欺骗性干扰、压制性干扰、消光性干扰等,要求红外探测系统具有相应的对抗能力。

根据红外干扰的特性,红外抗干扰技术分为信号处理和光学处理两种。

### 1.2.1 信号处理

1)通过对比干扰与目标在时间序列上表现的差异,辐射能量变化率,运动轨迹,形态变化等规律,采取波门技术、轨迹识别,预测跟踪,脉宽鉴别,图像形态鉴别等方法。

2)利用目标和背景干扰在波形特性方面的差异,采用波形特征选择方法,来区分背景与目标。

### 1.2.2 光学处理

根据红外探测中目标和干扰的红外光谱特性,通过光谱滤波,来抑制干扰红外辐射的光谱辐射。通过多模探测、克服了单波段容易被压制性红外干扰的缺点,利用目标、背景以及干扰所释放的光、电干扰的类型,自动切换探测模式。采取变化视场技术,通过后端的数据融合技术,减少干扰的影响,增强武器系统的探测能力。

## 2 红外半实物仿真试验

通过红外半实物仿真试验进行红外探测、红外干扰与红外抗干扰设备、技术的性能评估,探讨红外制导武器红外对抗的内容和要求。因此,红外半实物仿真试验是红外对抗武器系统主要的检测和评价手段。

红外半实物仿真根据目标的红外辐射特性是一种红外场景发生装置与在计算机上实现的控制对象的仿真模型(数学仿真)联接在一起通过量化等手段,将辐射数据转换为亮度来显示的一种技术。

红外半实物仿真试验主要由模拟负载红外探测设备的武器运动平台和模拟红外目标和环境的场景生成平台组成,目前对国内外试验中主要平台如下:

### 2.1 红外半实物仿真运动平台

#### 2.1.1 椭球大屏幕投影方案

美国波音公司和国内某单位采用了椭球大屏幕投影方案。此方案是依靠加工精度和光洁度来确保精度。由于屏幕是一个比较大的椭球体<sup>[5]</sup>,加工精度难以保证,做成后经过一段时间容易变形,因而精度不高,并且研制周期长,费用高。

#### 2.1.2 以网纹镜为核心的显示光学方案

美国红石兵工厂,白沙导弹靶场和国内某单位采用以网纹镜<sup>[6]</sup>为核心的显示光学方案。该方案加工精度高、研制周期长、费用高、实现大的角位置变化较难。

#### 2.1.3 机械十字架直线运动方案

机械十字架直线运动方案,早期美国“爱国者”导弹的仿真和国内有几个公司采用过此方案。机械十字架设备精度不高,不容易实现较复杂的环境仿真和大的角位置变化。

#### 2.1.4 五轴转台方案

五轴转台的内三轴转台用于模拟导弹的姿态运动,导引头安装在内框上;外两轴转台用于模拟目标相对导弹的视线运动,红外成像场景产生器安装在内框上。国内研制转台的水平不断提高,能研制出满足红外成像导引头仿真要求的五轴转台。

### 2.2 红外目标和环境场景生成系统

#### 2.2.1 微电阻阵列方案

以美国为主,像素可达到  $1024 \times 1024$ 。国内的微电阻阵列像素可达到  $128 \times 128$ 。美国相关产品对我国实施禁运。国内产品性能还不足以满足仿真要求。

#### 2.2.2 红外液晶光阀方案

以法国、德国等为主,像素可达到  $1024 \times 768$ ,中波红外波段效果较好,长波红外波段技术尚不成熟。国内红外液晶光阀图像分辨率可达到 200 线。

#### 2.2.3 IR-CRT 方案

IR-CRT 红外场景产生器,国内已有可用产品,图像分辨率可达到 256 TVL,帧频 50 Hz/60 Hz,长波红外波段效果较好,现正在研制分辨率可达到 400 TVL,帧频可达到 120 Hz 的产品。

#### 2.2.4 微镜型方案

微镜型红外场景产生器,国内已有可用产品,像素可达到  $1024 \times 768$ ,帧频 50 Hz/60 Hz<sup>[7]</sup>。现正在研制像素为  $1280 \times 1024$ 、帧频可达到 200 Hz 的

产品。微镜型红外场景产生器，中波红外波段效果较好。

3 红外半实物仿真系统设计

3.1 红外半实物仿真平台构成

根据半实物仿真试验的要求、结合目前国内现有试验条件，选用 IR-CRT 方案，用作长波红外场

景产生器；选用微镜型方案，用作中波红外场景产生器，使用五轴转台作为运动平台，来搭建实验室红外半实物仿真试验平台。系统由红外热像仿真评价系统主要由红外场景发生器、红外准直光学系统、五轴转台、红外场景仿真软件，红外热像仪评价软件，红外图像数据库、操控系统、系统接口等部件组成（如图 1 所示）。

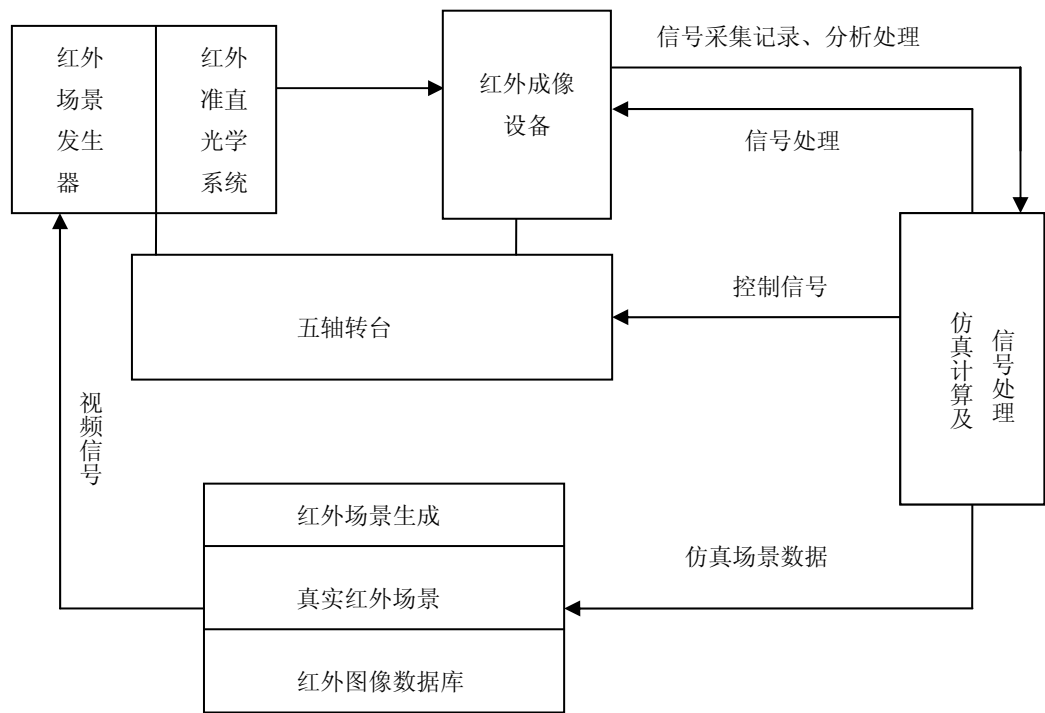


图 1 红外半实物仿真系统组成 Fig.1 The components of infrared hardware-in-the-loop simulation system

3.2 红外场景生成软件

按照目标和背景红外辐射模型、大气传输模型、红外探测模型及红外场景产生器辐射模型生成与实际相近的动态红外场景，对于整个红外场景，需要考虑场景中物体的几何特征、红外辐射特性、相应地理环境下的气象条件、成像光学系统、探测器效应等对红外图像的影响，同时需对目标与背景进行红外合成，合成时并不是目标和背景简单的红外强度的叠加，还要考虑它们之间的相互热作用。对于动态红外场景，则还要考虑合成时的整个红外场景强度的动态范围。无论是通过计算物体的表面温度，绘制出物体的红外图像<sup>[8]</sup>，或者是通过求解方程来预测物体表面的温度分布，来绘制物体红外图形，都存在主观推断，主观随意性较大，且对环境因素影响的表示简单等缺点。

考虑到目前不具备开发系统仿真软件的能力，利用上述 4 种模型及 Vega Prime 的 SensorVision 和 SensorWorkes 模块，开发适合本试验平台的红外场

景生成软件（如图 2 所示）。通过与实际长波红外热图比较，在辐射强度、对比度、信噪比、目标与干扰复合等方面与实际图像比较接近。



图 2 基于 sensorvision 生成的红外场景

Fig.2 Establishment of the infrared scene based on sensorvision

3.3 红外图像数据库

建立红外图像数据库，为便于红外场景生成、红外环境的选择提供可供查询的依据。运用关系数

数据库模型建立红外图象数据库。红外图象数据库管理系统,能对大量、庞杂的红外图像进行科学管理,自动完成对红外图像的录入、检索、排序、对比、修改、处理、重构、再现和输出等操作(如图3所示)。

目前,数据库已经整理完成了2000多幅不同目标类型、背景类型、图像对比度、信噪比的红外图像。同时,开发了红外图象数据库与红外场景生成软件的接口,对于试验中开发难度较大的红外场景,可以直接从已有数据库中查询、调用,很好补充,解决了红外场景仿真的实时性的问题。

3.4 形成仿真测试标准

通过搭建红外半实物仿真平台,进行红外探测系统的半实物仿真试验,按照需求进行了工作波段、空间分辨率、对比度、最大辐射出射度、图像亮度

非均匀性、图像几何畸变、最小温度分辨率等指标的测试,确定相关参数的测试要求、测试细节和测试方法,制定了相关的企业标准。

4 结论

本文从红外探测距离公式入手,依据影响红外探测的因素,论述了红外干扰和抗干扰的技术及方法。在目前复杂电磁战场环境下,红外对抗性能的优劣成为红外探测设备的必要指标,必须进一步提高红外探测设备的抗干扰能力,为了验证红外探测武器系统的环境适应性,就必须进行红外对抗半实物仿真试验,本文设计的红外半实物仿真系统,适用于目前红外探测、告警、制导武器的环境适应性测试和性能评价。

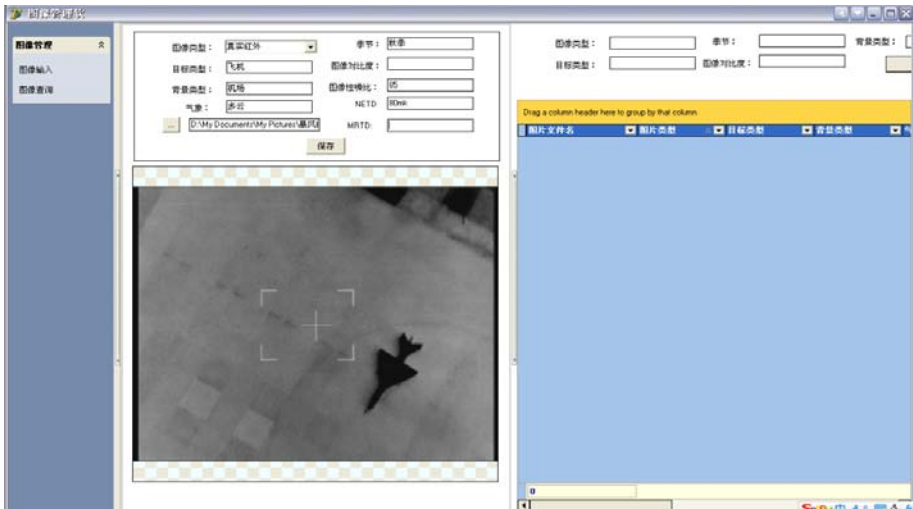


图3 红外图像数据库管理软件

Fig.3 Infrared image database management software

参考文献:

[1] 李炳荣, 张艳, 马强. 红外成像型反舰导弹作战环境仿真研究[J]. 现代防御技术, 2003, 31(5): 56-59.  
[2] 冯晓星, 吉洪湖, 斯仁, 等. 战斗机 3~5  $\mu\text{m}$  波段红外特征空间分布及低发射率材料隐身效果分析[J]. 红外技术, 2011, 33(7): 389-394.  
[3] 姚永平, 贾其. 膨胀石墨红外消光性能研究[J]. 红外技术, 2011, 33(7): 385-388.  
[4] 刘香翠, 程翔, 张良, 等. 烟幕对红外热像仪遮蔽效果的定量表征[J]. 红外与激光工程, 2012, 41(1): 37-42.

[5] 庞海. 基于网纹镜的多目标复合光学系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.  
[6] 刘昆华. 导弹半实物仿真系统中的宏观协调控制现象[J]. 航空兵器, 2005, 3(6): 24-27.  
[7] 张二磊, 祁鸣. 基于 DMD 的动态红外外场景生成系统[J]. 电子科技, 2011, 24(7): 140-143.  
[8] Heiner Biesel, Tom Rohlffing. Real-time simulated forward looking Infrared (FLIR) imagery for training[C]. Proc. of SPIE, on Infrared Image Processing and Enhanceemnt, 1987, 781: 71-80.