

·测试、试验与仿真·

## 烟幕干扰效能评估系统设计

谭 伟<sup>1</sup>, 何友金<sup>2</sup>, 毛剑英<sup>2</sup>

(1. 92853 部队, 辽宁 兴城 125106; 2. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 烟幕干扰效能评估是烟幕干扰技术研究和烟幕战术使用研究的重要环节, 论述了烟幕干扰评估系统的功能和组成, 对成像视频跟踪器、烟幕干扰视景仿真技术及烟幕干扰效果定量评估方法等关键技术进行了分析并给出了解决方案。

**关键词:** 烟幕干扰; 干扰效果; 评估系统

中图分类号: TN972<sup>+</sup>.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)05-0065-05

## Design of Smoke Jamming Effectiveness Evaluation System

TAN Wei, HE You-jin, MAO Jian-ying

(1. 92853 Army Unit, Xingcheng 125106, China; 2. Department of Automatic Control Engineering, NAAU, Yantai 264001, China)

**Abstract:** The evaluation of smoke jamming effectiveness is an important segment of smoke jamming technology and smoke weapon tactical application. The function and makeup of the evaluation system was discussed, some key technologies such as imaging video tracking device, simulation of smoke jamming scene and evaluation methods of smoke jamming effectiveness were analyzed. The design proposal was put forward.

**Key words:** smoke jamming; jamming effectiveness; evaluation system

烟幕作为一种应用广泛的无源干扰手段, 具有成本低、战术使用简易方便等特点, 已成为对光电探测、观瞄、红外制导武器干扰的一种有效手段。

干扰效果的评估一方面是干扰技术研究的重要环节, 另一方面, 对烟幕的战术使用研究有重要的意义。烟幕干扰效果评估需要大量外场试验。然而, 外场试验不仅需大量的人力、物力代价, 而且由于外场烟幕试验受到多种不可控因素的影响导致试验效率不高。因此, 研究有效、可靠、实用的烟幕干扰评估系统具有重要意义。

### 1 烟幕干扰评估系统构想

对于烟幕干扰效果的评估方法可分四类<sup>[1-5]</sup>。

第一类是基于烟幕的物理特性和光学特性的透

过率法、消光系数法、遮蔽质量法等, 这些方法通过试验数据和相应参数计算得出的仅仅是烟幕单方面使用的效果, 不能反应出烟幕对抗光电成像系统的干扰效果;

第二类是数值仿真法, 通过建立烟幕成形、变化等数学模型对烟幕遮蔽效果进行评估, 该类方法参数易调节, 灵活性强; 不足之处是没有完善的数学模型可以准确描述环境对于烟幕施放的影响;

第三类是实验测试评估法, 由于测试时的环境条件(温度、湿度、风力、风向等)不能人为控制, 而且烟幕覆盖范围宽, 扩散快, 数据重复性差;

第四类是半实物仿真法, 该文采用的研究方法属于这一类, 该类方法具有灵活性强、可控性强、费用比较高、重复性好等优势, 为解决外场试验不能鉴定和评估的问题提供了有效的方法, 并且可以克服

收稿日期: 2010-09-19

基金项目: 国家部委“十一五”基金资助(40407020401)。

作者简介: 谭伟(1984-), 辽宁鞍山人, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为光电工程、图像处理; 何友金(1960-), 山东平阴人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为光电工程; 毛剑英(1983-) 辽宁锦州人, 硕士研究生, 主要研究方向为目标识别跟踪。

外场试验的一些约束条件,与计算机仿真方法相比,半实物仿真以实验为基础,结果精确、直观,能为计算机仿真提供数据支持,有助于仿真模型优化。

### 1.1 评估系统的功能要求

烟幕干扰评估系统采用视频注入式半实物仿真设计思想,利用外场摄取目标、背景和烟幕图像生成不同目标背景和烟幕干扰的视景;对注入的视频进行目标跟踪;定量评估烟幕干扰对成像制导武器的具体影响.如图 1 所示为烟幕干扰评估系统功能示意图。

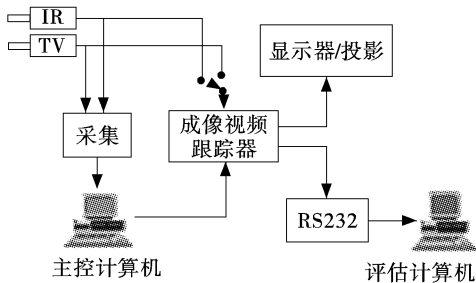


图 1 评估系统功能示意图

### 1.2 系统的组成

烟幕干扰评估系统主要由 5 部分组成<sup>[6]</sup>,如图 2 所示。

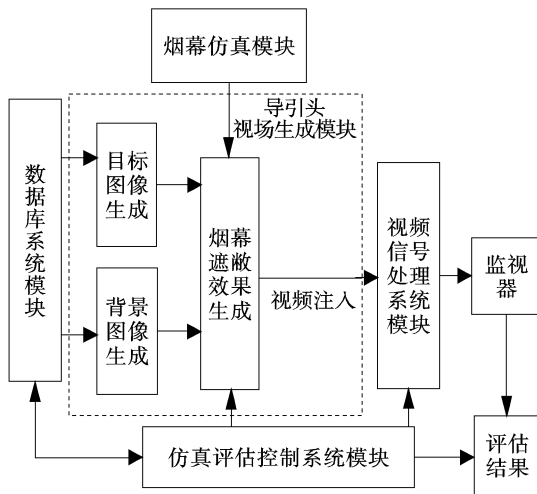


图 2 仿真系统组成框图

#### (1) 数据库模块

为图像生成提供目标源图像、背景源图像、大气辐射传输模型、大气参数等数据和模型资源。

#### (2) 烟幕释放效果仿真模块

针对扩散区内各种发烟源、气象要素和下垫面条件,建立起能够正确反映当地烟幕输送和扩散过

程的数学模型。

#### (3) 红外图像生成模块

输入仿真参数后,生成红外图像发送给视频信号处理模块.生成数字图像过程包括目标的生成、背景的生成、烟幕干扰效果生成。

#### (4) 视频信号处理模块

视频信号处理模块主要由各种目标检测、跟踪算法构成.为了这些算法借助硬件来实现。

#### (5) 仿真评估控制模块

控制仿真评估进程,计算目标与红外成像系统的相对位置和相对姿态,更新下一帧的视点位置;仿真评估结果的处理。

## 2 视频跟踪器

光学成像视频跟踪器应满足如下功能要求:

(1)光学成像视频跟踪器能够实现对可见光和红外视频目标在典型背景下实时的识别跟踪功能;

(2)以模板匹配模式选取跟踪目标进行跟踪;

(3)与上位机的通信接口采用 RS232 串口,能够实时将误差信息送给上位机;

(4)输出视频显示跟踪窗和十字丝,跟踪窗口下方实时显示跟踪误差。

### 2.1 硬件设计

Altera 公司推出的 Cyclone III 低成本、低功耗、功能丰富的 FPGA 芯片.该系列芯片具有丰富的存储器资源,数字信号处理(DSP)乘法器,视频和图像处理(VIP)包,Nios® II 嵌入式软核处理器,在视频和图像处理等高强度算法应用中,这些特性使该 FPGA 成为 ASSP、ASIC 以及分立数字信号处理器的理想替代方案.如图 3 所示为成像跟踪器的整体框图。

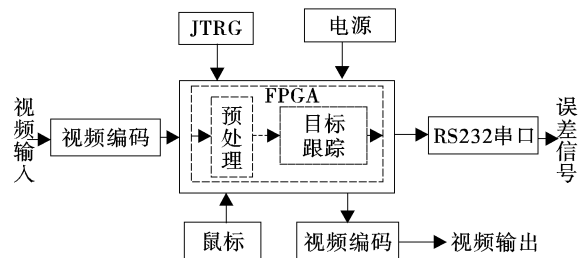


图 3 成像跟踪器的整体框图

成像跟踪器的核心部件是 FPGA,它主要完成的功能有:视频解码器、视频编码器的配置;鼠标的

驱动和鼠标数据接收转换;RS232 串口通讯;字符十字丝波门的生成;模板的相关匹配运算;目标跟踪决策处理等.

## 2.2 跟踪算法设计

### 2.2.1 图像预处理算法

图像预处理的目的是减小噪声影响,提高图像信噪比,为后续图像处理做准备.文献[7]中提出一种适合硬件实现的快速中值滤波算法,该算法可以有效提高效率,减少排序次数,算法具体步骤可表述为:将模板范围内每行、每列像素进行重新排列,那么,中间行与中间列的交点即为模板的中值.

### 2.2.2 典型红外成像导弹跟踪算法<sup>[8,9]</sup>

相关跟踪算法与波门跟踪算法相比利用了更多的图像信息,因而能更有效可靠地跟踪目标,它不要求分割目标和背景,对图像质量要求不高,可在低信噪比条件下正常工作,对与选定的跟踪目标图像不相似的其他一切景物都不敏感,能适应复杂结构的目标和背景的场合,可用来跟踪较小的目标以及目标区域的某一特殊部分或对比度比较差的目标.鉴于上述分析,选取相关跟踪算法来实现目标的跟踪.

序贯相似检测法(SSDA)是一种运算量小且很有效的相关跟踪方法.目标出现的位置一般不会离前一帧最佳匹配位置太远,因此经典的SSDA模板匹配算法可以改进匹配搜索路径来进行算法性能的优化.设当前模板最佳匹配点为 $(i, j)$ ,则下一帧最佳匹配点的位置出现在点 $(i, j)$ 周围的可能性是比较大的,因此可作下述改进:在当前最佳匹配点位置周围30个像素范围搜索时,绝对误差值乘一个置信权重,该值小于1;在当前匹配点位置30~60个像素范围搜索时,置信权重设为1~2之间;依此法,设置不同的置信权重系数,这样,可以加快在非匹配点位置的搜索速度,又不影响匹配的精度.置信权重系数的设定需要通过实验来选取最佳的系数.

SSDA算法存在另一个比较大的问题是,绝对误差准则寻求的最佳匹配点存在较大的误差,而在模板不断更新的跟踪过程中,误差会不断累加造成跟踪不稳定,甚至目标丢失.针对这一点,改进更新模板的方法:在选取第一个模板后,对该模板进行二值化处理(阈值选取为该模板像素灰度的平均值)求取二值化图像的形心坐标,该坐标与模板中心坐标的差值即为更新模板的修正值.

## 3 烟幕干扰视景仿真

### 3.1 目标/背景三维辐射模型建立

通过分析目标的红外辐射特性及典型作战背景红外辐射特性,采用 Multigen Creator 对目标三维模型进行建立,在外场利用2个波段的红外热像仪拍摄模型目标的纹理图像.为获取比较真实的红外辐射纹理信息,拍摄的过程中尽量避开阳光、地面等反射的辐射,采用小镜头小视场拍摄,将这样获得的红外纹理近似认为是零视距红外纹理信息.地形的三维模型采用随机分布法来生成,同样利用热像仪获得背景的红外辐射灰度纹理图像,然后将此纹理进行拼接后映射到三维地形模型上.

### 3.2 烟幕干扰仿真设计

烟幕干扰视景仿真采用基于实测数据烟幕干扰仿真方法<sup>[10]</sup>.

设 $E_{\min}$ ,  $E_{\max}$ 分别代表了烟幕辐射的最高值和最低值,目标背景辐照度的最大值和最小值分别用 $E_{\text{tbmax}}$ 和 $E_{\text{tbmin}}$ 表示.计算每级灰度对应的辐射间隔 $r$ 为

$$r = \frac{E_{\text{tbmax}} - E_{\text{tbmin}}}{G_{\text{range}}} \quad (1)$$

设 $G(x, y)$ 为图像某像素点灰度

$$G(x, y) = \text{int} \left( \frac{E - E_{\text{tbmin}}}{r} \right) \quad (2)$$

利用该映射关系进行烟幕纹理图像的制作.利用生成的烟幕纹理进行红外烟幕干扰仿真,仿真方法如图4所示.

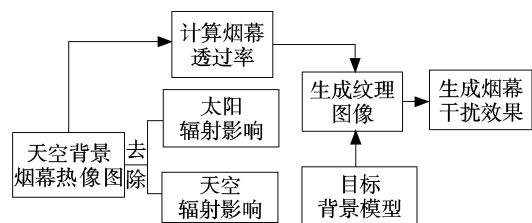


图4 烟幕干扰仿真方法

利用外场试验数据,采用 Creator 建立三维目标和地形模型,计算以天空为背景红外烟幕的透过率进行烟幕干扰仿真,试验测量结果同仿真结果的对比如图5所示.

图5a为8~12 μm波段烟幕透过率50%的试

验实测图像;图 5b 为 8~12  $\mu\text{m}$  波段烟幕透过率为 50% 的烟幕干扰仿真图像;图 5c 为 3~5  $\mu\text{m}$  波段烟幕透过率 30% 的试验实测图像;图 5d 为 3~5  $\mu\text{m}$  波段透过率为 35% 的烟幕干扰仿真图像。

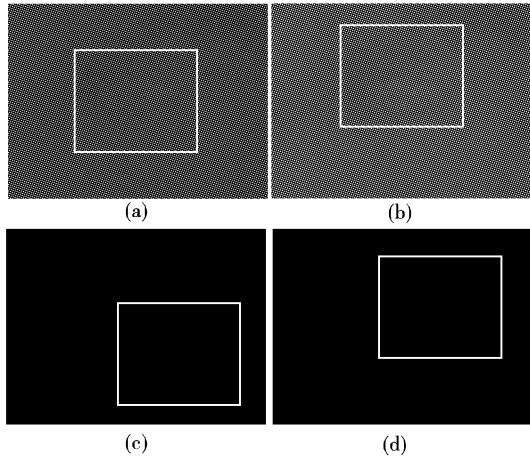


图 5 试验图像和仿真图像对比

烟幕干扰红外视景仿真流程如图 6 所示。

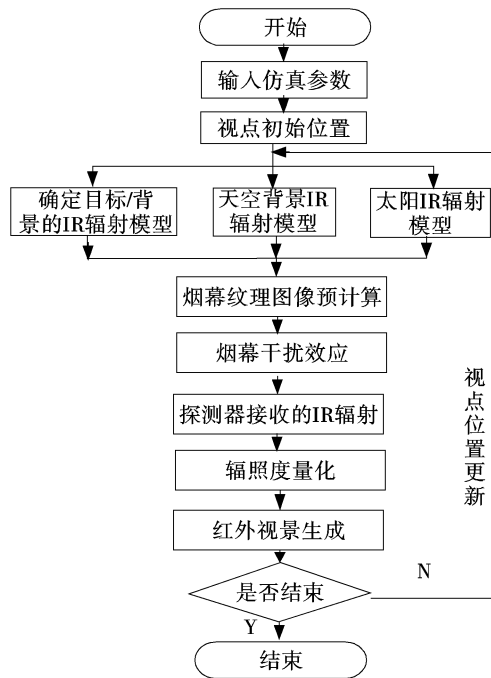


图 6 烟幕干扰仿真流程

## 4 评估方法

### 4.1 基于制导精度评估法

制导武器弹着点的脱靶量和制导精度是反映其战术性能的关键指标,对制导武器的干扰直接影响到其脱靶量和制导精度,所以评估指标可以选择为

脱靶量或制导精度,通过检测制导武器受干扰后,其脱靶量或制导精度的变化情况来评估干扰效果<sup>[11,12]</sup>。

理论分析和大量试验结果证实,在正常情况下制导武器的制导误差服从正态分布.既然制导误差服从正态分布,根据测量误差理论,制导武器弹着点落在以目标为中心,  $\delta$  为半径的范围内的概率将为 68.27%,落在以  $2\delta$  和  $3\delta$  为半径的范围内的概率则分别为 95.45% 和 99.73%,也就是说,在未实施烟幕干扰时,制导武器弹着点仅有 0.27% 的概率落在以目标为中心,  $3\delta$  为半径的范围以外.为此,可以  $3\delta$  为界限判定实施干扰时制导误差是否超出正常制导精度允许范围。

设未实施烟幕干扰时制导武器的制导精度为  $\delta_0$ ,实施干扰后脱靶量大小为  $\Delta r$ ,则可以按照以下标准判定干扰是否有效:

(a) 当  $\Delta r \leq 3\delta_0$  时,本次干扰无效;

(b) 当  $\Delta r > 3\delta_0$  时,本次干扰有效。

在实际使用中,烟幕干扰设备对制导武器的干扰是一个高度动态的过程,在这一动态过程中,影响干扰效果的因素非常复杂,所以干扰效果有很大随机性.因此在实用中重要的不是某一次干扰效果如何,而是在一定的使用条件下有多大把握对特定目标实现有效干扰,即干扰成功率.为考核干扰成功率,需要进行多次干扰试验,记录各次干扰试验中的脱靶量  $\Delta r_i$ ,依据上述 2 种判定标准之一判定各次干扰是否有效,最后按式(3)统计出干扰成功率.还可以依据干扰成功率的大小,将干扰效果划分为若干等级。

$$\eta = \frac{n_e}{n} \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $n_e$  为干扰有效次数,  $n$  为总干扰次数。

### 4.2 基于命中概率评估法

命中概率是体现制导武器效能的一个重要参数,计算出导弹受干扰前后的命中概率,以此来评估烟幕的干扰效果是客观准确的<sup>[5]</sup>。

每次射击的弹着点可用二维随机变量  $(Y, Z)$  来描述.设  $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$  分别表示弹着点  $Y, Z$  的数学期望,反映制导误差中系统误差的大小,则散布规律的数学描述为

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\sigma_y\sigma_z\sqrt{1-\rho_{yz}^2}}$$

$$e^{-\frac{1}{2(1-\rho_{yz}^2)}\left[\frac{(y-\bar{y})^2}{\delta_y^2}-2\rho_{yz}\frac{(y-\bar{y})(z-\bar{z})}{\delta_y\delta_z}+\frac{(z-\bar{z})^2}{\delta_z^2}\right]} \quad (4)$$

式中,  $\rho_{yz}$  是  $Y, Z$  的相关系数;  $\delta_y, \delta_z$  分别为  $Y, Z$  的标准差, 反映制导误差中随机误差的大小. 当没有系统误差存在时, 散布中心与瞄准中心重合, 式(2)可以表述为

$$f(y, z) = \frac{1}{2\pi\delta_y\delta_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta_y^2} - \frac{z^2}{2\delta_z^2}\right) \quad (5)$$

令  $P$  表示单发导弹的命中概率, 即独立射击时某一发导弹命中目标的概率

$$P = \frac{1}{2\pi\delta^2} \int_{-a}^a \int_{-b}^b \exp\left(-\frac{y^2+z^2}{2\delta^2}\right) dydz \quad (6)$$

式中,  $a, b$  为目标等效为长方形的长和宽.

为了用这一客观现象定量地评估干扰效果, 可以引用下列表达式 ( $P$  为干扰前命中概率,  $P'$  为干扰后命中概率):

(a)  $\Delta P = P - P'$  以单发命中概率的下降值作评估干扰效果的参数;

(b)  $\beta = (P - P')/P$  以单发命中概率的相对下降值或下降率来评估干扰效果;

(c)  $\eta = P'/P$  称效率系数, 它反映了导弹在有干扰和无干扰 2 种条件下命中一目标所需要导弹数之比 ( $0 < \eta < 1$ ).

提出生成一定弹目距离、目标处于稳定跟踪状态、不同透过率烟幕干扰视景的方法来进行干扰效果的定量评估方法. 利用生成的视景进行跟踪实验, 成像跟踪器的误差输出量即可认为是烟幕干扰引起的制导误差, 这样就可以充分利用输出的误差信号实现在开环状态下对烟幕干扰效果的定量评估. 由于生成的是目标在设置的制导精度下稳定跟踪的视景, 视景中导弹和目标的距离一定, 因此可以把成像跟踪器跟踪目标的过程看作是具有遍历性的平稳随机过程, 那么可以利用时间平均代替统计平均, 即可以通过延长导弹跟踪时间来代替多枚导弹的试验.

## 5 结 束 语

设计了烟幕干扰效能评估系统, 结合现代信号处理技术和干扰评估理论, 吸取国内外的成功经验, 对评估系统中的关键技术给出了解决方案.

### 参考文献

- [1] 韩洁, 张建奇, 何国经. 红外烟幕干扰效果评价方法[J]. 红外与激光工程, 2004, 33(1): 1-4.
- [2] 李明, 范东启, 康文运, 等. 红外烟幕遮蔽效果测量与评估方法研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 36(7): 599-603.
- [3] 严晓芳, 李磊, 任小冰, 等. 烟幕对抗红外成像制导导弹的仿真建模[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(10): 2697-2704.
- [4] 王继光, 高文静, 杨彦杰. 红外烟幕干扰效果的测试与评估[J]. 舰船电子对抗, 2007, 30(1): 60-63.
- [5] 李海燕, 朱敏, 何友金, 等. 激光对红外制导导弹干扰仿真与效果评估[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(6): 1034-1078.
- [6] 谭伟. 烟幕干扰评估系统及试验技术研究[D]. 烟台: 海军航空工程学院, 2010.
- [7] Priyadarshan KoItte, Roger Smith, Wen Su. A Fast Median Filter using A1ti Vec[C]// IEEE International Conference on Computer Design, 1999: 384-391.
- [8] Guihua Xia, Zhouyi Xing. A New Alogorithm for Target Recognition and Tracking for Robot Vision System[C]// IEEE International Conference on Contral and Automation, Guangzhou, 2007: 1004-1008.
- [9] 陈娅莎. 基于模板图像的目标自动识别与跟踪方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [10] 何友金, 谭伟, 毛剑英. 基于实测数据的红外烟幕干扰仿真研究[J]. 红外技术, 2010, 32(3): 125-128.
- [11] 高卫. 烟幕干扰效果评估方法研究[J]. 兵工学报, 2006, 27(4): 681-684.
- [12] 高卫. 对光电成像系统干扰效果的评估方法[J]. 光电工程, 2006, 33(2): 5-8.

### 欢迎利用期刊网站, 浏览、下载已发表文章的最新信息

为了满足读者对《光电技术应用》期刊文章的快速、方便、免费阅读需求, 《光电技术应用》期刊网站(网址为: <http://www.gdjsyy.com>), 为读者提供了《光电技术应用》期刊 2009 全年和 2010 年已发表文章的免费下载. 读者可在过刊目录下, 浏览 2009 年期刊各期目录, 点击文章题目, 阅读文章摘要, 如果需要可直接全文下载. 欢迎广大读者登陆期刊网站, 利用浏览与下载功能, 及时了解《光电技术应用》期刊已发表文章的最新信息.