

文章编号 1004-924X(2007)08-1275-05

# 掠海红外动态点目标图像仿真系统

吴晗平

(武汉工程大学 理学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:**建立了一套掠海红外动态点目标图像仿真系统。根据红外搜索与跟踪(IRST)系统的图像数据量大、目标数量多的情况,采用软件和硬件相结合的方法解决实时仿真的问题。针对远距离动态红外点目标的特点,以仿真红外点目标、小目标为主,建立了既简洁又符合实际情况的基于高斯分布的背景灰度模型和动态红外点目标灰度生成与运动轨迹生成模型。通过人为调整均值和方差使所产生的仿真背景灰度信号可接近于实际观测到的真实红外图像信号,能用于检测 IRST 系统对极限背景噪声条件下的信号处理和目标提取能力。该系统的研制确保了测试 IRST 系统性能指标的有效性,降低了测试成本,缩短了 IRST 系统的研制周期。

**关键词:**红外点目标;图像仿真;仿真系统;IRST 系统

**中图分类号:**TP391.9;TP391.4 **文献标识码:**A

## Image simulation system of dynamic infrared point targets sweeping on sea surface

WU Han-ping

(School of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** An image simulation system of dynamic infrared point targets sweeping on sea surface is established. Because of a great deal of image data and targets of Infrared Search and Tracking (IRST) system, a method combining software with hardware is presented to solve the problems of real-time simulation. Aiming at long-distance dynamic infrared point targets, the infrared point targets and small targets are mainly simulated. The simple and practical models of background grey degree based on Gaussian distribution, dynamic infrared point target grey degree and running track are established. By adjusting average value and mean square difference, simulating background grey degree signal approaches to actually observing infrared image signal. The results show that the system can be used to test the ability of signal processing and target extraction for IRST in condition of limit background noise, also can ensure the effectivity of performance parameter of IRST system and reduce test cost and shorten development period.

**Key words:** infrared point targets; image simulation; simulation system; IRST system

## 1 引言

进入 20 世纪 70 年代,国外研制、生产了多种型号的红外搜索与跟踪系统(IRST),国内 20 世纪 90 年代初以来也相继开始研制这些装备。随着这些装备的列装与应用,对红外仿真的要求越来越迫切,因为仿真技术可以降低武器系统研制成本、缩短研制周期、提高效率比。美、英、法等国家都已建成完整的红外仿真实验室,进行了多项研究,取得了长足进展<sup>[1-3]</sup>。比较有名的有:美国 Naval Surface Warfare Center 和 Naval Weapons Center 研制出的 NISC(Navy Infrared Scene Composition)系统,可产生多谱、多温度的复杂目标背景的红外图像,它认为红外图像由四种模型(背景、目标、大气和传感器)组成,模型间的相互作用组成了完整的红外图像;法国 Thomson-TRT-Defence 的 Department of Scientific Research 应用 Lowtran 7 做出了长波和短波的红外图像,它利用具有独立温度和反射系数的凸多边形进行图像拟合,对视场中的每一点,根据红外的传输规律计算出辐射能量;Vanderbilt 大学的 Department of Electrical Engineering 提出一种新颖的方法,即首先给出一个真实的红外背景图像,然后经过谱域和时域之间的变换,生成一幅明显不同于前者的图像,但保持两者的一阶、二阶统计特性不变。

这些仿真系统所产生的图像主要是模拟热像仪图像,与 IRST 系统所需要的图像主要有以下几点区别<sup>[1]</sup>:(1)尺寸:一般热像仪的图像尺寸都在 512 pixel×512 pixel 左右,而 IRST 系统图像一般是全景图像尺寸,而且都较大,比如 288 pixel×44700 pixel 左右。(2)目标数量:仿真的热像仪图像中一般包含一个目标,IRST 系统的要求最多可仿真 200 个以上的目标。(3)实时性要求高:动态仿真目标可多达 200 个/帧以上,背景每帧实时变化。因此,建立一个完整的、逼真度较高的 IRST 系统用的实用动态仿真系统,以降低外场测试的成本,缩短系统研制周期,是提高系统效率比的有效途径。

## 2 技术实现方法分析

仿真系统分为两大类:数字仿真和半实物仿

真。数字仿真就是建立系统的数学模型,然后通过计算机来求模型,从而复现系统的工作过程。它属于抽象仿真,可以是非实时的。半实物仿真是将被仿真系统的部分实物加入仿真回路,属于物理仿真,必须实时运行。半实物仿真系统复杂,规模庞大,需要大量的投资<sup>[2,4]</sup>。

由于 IRST 系统是大视场的光电搜索系统,每帧的红外图像数据量非常巨大,采用半实物仿真需要大量的经费和时间,因此本系统采用数字仿真方式。又由于红外多目标仿真要求实时性,而纯软件仿真难以达到实时仿真的要求,因此本系统采用软件和硬件相结合的方法来解决实时仿真的问题,硬件完成对 IRST 系统传感器信号接口的仿真,软件完成仿真多目标轨迹的计算更新和仿真背景的生成<sup>[4-6]</sup>。

仿真系统的设计着眼于针对性和有效性,即仿真系统都是对于某一具体应用的仿真。仿真的效果与具体应用的真实效果近似,具有可比性。由于本仿真系统是针对 360°全方位成像 IRST 系统的,因此全方位 IRST 系统的应用特点决定了本仿真系统的研制思路。

全方位成像 IRST 系统的数据吞吐量巨大,要求仿真系统也应具有大的数据量处理能力,而相应的系统硬件资源也必须与之相匹配,既具有较高的处理速度又必须有较大的存储容量。IRST 系统针对的是远距离点目标,仿真也应以点目标、小目标为主;建立的数学模型既要较好地符合真实情况又要简洁,不刻意追求图像细节的真实。

## 3 系统组成及工作原理

仿真系统主要由仿真计算机、仿真软件、仿真电路板、接口插卡、信号缆线几部分组成,其中仿真计算机与信号缆线为市场采购。仿真系统中的仿真计算机通过信号缆线与 IRST 系统的潜在目标提取单元相连。

仿真开始时,首先在仿真计算机上运行仿真软件,每仿真一帧,所产生的仿真背景和目标结合的灰度数据,通过仿真计算机 I/O 口从内存中传送到专用接口插卡上,同时通过 I/O 在专用接口插卡上产生与真实红外传感器输出类似的同步控制信号,数据信号和同步控制信号在专用接口插卡上经过电平转换后,再通过信号缆线注入

IRST 系统的潜在目标提取单元的传感器信号输入接口。仿真系统工作时的组成框图如 1 所示。

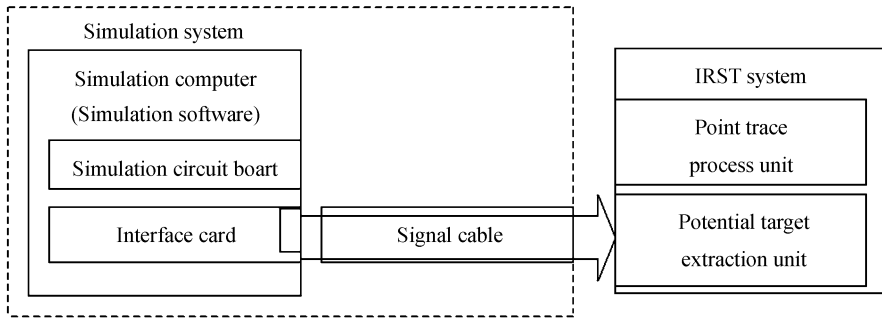


图 1 仿真系统组成框图

Fig. 1 Composing block of simulation system

系统软件启动后,首先由人工输入仿真背景和目标的各项参数,程序根据这些初始参数通过相关算法计算生成仿真背景和初始坐标等;接着开始仿真输出,程序自动逐帧计算目标点迹,判断目标是否出视场,将视场内的目标点叠加到背景数组中;一帧内的数据计算完毕后,将背景数组通过计算机 I/O 口送往接口卡,并由接口卡注入 IRST 系统潜在目标提取单元。

本研究采用 PC 平台,实现成本比较经济。由于仿真数学模型选择的合理和算法选择建立在对工程实际设备采样数据的统计分析之上,仿真的红外背景和图像舍弃了国外设备的仿真对象大和全思路方向,而侧重于 IRST 系统海空背景和小目标,仿真效果更逼近实际所观测图像,实时性可满足系统检测要求。

## 4 仿真数学模型

### 4.1 背景灰度的生成算法

对某一红外目标而言,背景是指能够与该目标在同一波段范围内随机辐射电磁波能量的周围环境。计算背景的红外辐射历来是一个难点,因为背景没有固定的温度分布,背景中的不确定因素太多。

探测器视线所决定的路径上存在着大气的红外辐射,向空中垂直或斜程的路径上的大气辐射为天空背景的辐射。大气辐射经过大气路径要受到大气成分的影响。实际的大气传输受到众多因素的制约,如地理位置、大气环境等,要找到一个任何气象环境条件下都适用的高精度模型是很困难的<sup>[7-8]</sup>。

根据对大量的真实红外背景图像信号的分析,发现在垂直方向上存在着近似线性的灰度变化,因此对背景的仿真算法中引入了一个高度的线性函数来模拟这一特性。观察加入这一线性函数后的仿真所产生的背景灰度图像,可以发现其更加接近真实的红外背景信号。

在本仿真系统中背景的灰度生成模型为高斯分布模型,采用均值和方差可调的高斯函数来模拟红外背景信号,比较灵活。可以通过预先设计的人机界面,人为地调整均值和方差参数,使所产生的仿真背景灰度信号比较接近于实际观测到的真实红外图像信号。甚至为了检测 IRST 系统在极限背景噪声条件下的信号处理和目标提取能力,可以通过人为调整相关参数来提高方差从而产生强噪声的背景,这时的仿真背景噪声的恶劣程度是真实红外背景所难以达到的<sup>[9-11]</sup>。

IRST 系统主要应用在海上环境,海上环境的背景主要分为天空和海面两类,其红外特性各不相同。对此,仿真系统的参数设置功能允许将背景按照天空和海面各自设定不同的均值和方差。

背景的灰度按高斯分布模型等效,并将背景分为天空背景和海背景两大部分。

背景灰度生成函数:

海背景:

$$\text{Gray\_SEA\_B} = \text{GAUSS}(\text{SEA\_AV}, \text{SEA\_VA}) + \text{GRADUATE}(H), \quad (1)$$

天空背景:

$$\text{Gray\_SKY\_B} = \text{GAUSS}(\text{SKY\_AV}, \text{SKY\_VA}) + \text{GRADUATE}(H), \quad (2)$$

式中:Gray\_SEA\_B 为海背景灰度;Gray\_SKY\_B

为天空背景灰度; SEA\_AV 为海背景均值; SEA\_VA 为海背景方差; SKY\_AV 为天空背景均值; SKY\_VA 为天空背景方差; GRADUATE(H) 为高度的线性函数; H 为目标距海平面高度; GAUSS(A, V) 为高斯噪声函数(其中 A 为均值参量, V 为方差参量)。

#### 4.2 仿真目标的生成算法

仿真目标的生成分为两个内容:一是目标灰度的生成;二是目标轨迹的生成。

根据对 IRST 系统试验数据的统计分析,在目标灰度的仿真算法中,采用了目标灰度与背景特性相关联的算法,通过可手工设置的信噪比,来产生可以仿真各种信噪比情况下的目标信号。由于 IRST 系统主要是对远、小目标的发现提取,所以仿真目标的尺寸以小目标(点目标)为主,从  $1 \times 1, 2 \times 2$  到  $9 \times 9$ , 不考虑目标外形轮廓,这样减小了计算的复杂度,也满足了系统功能要求。

目标运动轨迹有多种类型,但由于 IRST 系统所针对的主要是掠海迎头小目标和飞机,因此不妨按匀速直线运动仿真<sup>[11-14]</sup>。计算过程是,首先将目标点在极坐标下的坐标和速度矢量转换成直角坐标下的变量,然后在直角坐标中利用速度矢量分量对目标的新坐标进行计算更新,再将其转换为极坐标下的坐标。

##### 4.2.1 目标灰度生成函数

海面目标:

$$\text{Gray\_SEA\_T} = \text{SNR} \times \text{SEA\_VA} + \text{SEA\_AV} + \text{GRADUATE}(H) + P(\Delta D), \quad (3)$$

空中目标:

$$\text{Gray\_SKY\_T} = \text{SNR} \times \text{SKY\_VA} + \text{SKY\_AV} + \text{GRADUATE}(H) + P(\Delta D), \quad (4)$$

式中: Gray\_SEA\_T 为海面目标灰度, Gray\_SKY\_T 为空中目标灰度; SNR 为目标信噪比; P( $\Delta D$ ) 为距离变化量的函数;  $\Delta D$  为距离变化量。

##### 4.2.2 目标运动轨迹生成函数

仿真系统软件中假设目标轨迹为直线匀速运动,则有:

目标初始直角坐标:

$$x_0 = d_0 \times \sin a_0, \quad (5)$$

$$y_0 = d_0 \times \cos a_0, \quad (6)$$

$$z_0 = d_0 \times \tan b_0. \quad (7)$$

目标速度三维分量:

$$v_x = V \times \cos a_v \times \sin b_v, \quad (8)$$

$$v_y = V \times \cos a_v \times \cos b_v, \quad (9)$$

$$v_z = V \times \sin a_v. \quad (10)$$

目标  $t$  时刻直角坐标:

$$x_t = x_0 + t \times v_x, \quad (11)$$

$$y_t = y_0 + t \times v_y, \quad (12)$$

$$z_t = z_0 + t \times v_z. \quad (13)$$

目标  $t$  时刻水平距离:

$$d_t = (x_t^2 + y_t^2)^{1/2}, \quad (14)$$

目标  $t$  时刻, 输出:

目标方位角

$$a_t = \arctan(x_t/y_t), \quad (15)$$

目标俯仰角

$$b_t = \arctan(z_t/d_t), \quad (16)$$

目标距离

$$d_a = (x_t^2 + y_t^2 + z_t^2)^{1/2}. \quad (17)$$

式中:  $a_0$  为目标初始方位角;  $b_0$  为目标初始俯仰角;  $d_0$  为目标初始水平距离;  $a_v$  为目标速度矢量方位角;  $b_v$  为目标速度矢量俯仰角;  $V$  为目标速度。

## 5 仿真图像及结果

图 2 是有 1 个红外点目标(体现为一微弱的亮点)时的实际海空红外图像;图 3 是无目标时的海空背景红外仿真图像,与图 2 实际海空背景图像相比有较好相似性;图 4 是有 12 个仿真红外点目标时的海空图像,其仿真点目标和背景图像与图 2 中相应的实际点目标和海空图像相比有较好相似性,而且仿真点目标的亮度和信噪比可以人为调节。

系统所达到的主要仿真结果:(1)仿真目标灰度等级为 4 096 级;(2)仿真帧时长为 1 s;(3)仿真时长为 100 帧;(4)仿真目标信噪比范围为 1~30;(5)仿真目标数量可人工设定,最多 200 个;(6)仿真目标运动速度为 100~1 000 m/s;(7)仿真背景为海背景、天空背景、海背景+天空背景;(8)仿真目标



图 2 有 1 个红外点目标时的海空图像

Fig. 2 Image of sea and sky with one infrared point target

运动方向为三维空间全方向;(9)仿真目标类型为红外点目标。

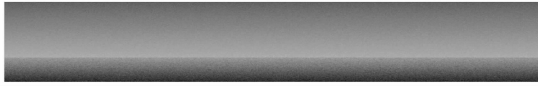


图3 无目标时的海空背景仿真图像

Fig.3 Simulation image of sea and sky without target



图4 有12个红外点目标时的仿真图像

Fig.4 Simulation image with twelve infrared point targets

## 6 结 论

通过仿真产生红外多批次目标和背景图像,用于IRST系统探测概率、平均虚警间隔时间、反应时间、多目标处理能力等技术指标的检测,具有较强的针对性和有效性。仿真图像及主要仿真结果数据表明,该掠海红外动态点目标图像仿真系统研究是成功的。该系统已实际应用于IRST系统的调试、性能检测和模拟训练,取得了明显的经济效益和实际应用价值。

## 参考文献:

- [1] JOSEPH E. USN shipboard infrared search and track (IRST) program [J]. *SPIE*, 1997, 3061: 436-442.
- [2] SMITH J M. *Mathematical Modeling and Digital Simulation for Engineers And Scientists* [M]. New York: Wiley, 1977.
- [3] 孟凡胜,熊仁生,刘朝晖. 高速再入体热辐射模型的分析与修正[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(4): 575-579.  
MENG F SH, XIONG R SH, LIU CH H. Analysis of hypersonic reentry radiation model [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4): 575-579. (in Chinese)
- [4] MITRANI I. *Simulation Techniques for Discrete Event System* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- [5] 吴晗平. 红外搜索系统的作用距离与综合性能评价 [J]. *应用光学*, 1995, 16(2): 23-28.  
WU H P. Operating range and overall performance evaluation of IR search system [J]. *Appl. Opt.*, 1995, 16(2): 23-28. (in Chinese)
- [6] 邓家先. 基于重要系数提升的遥感图像压缩[J]. *光学精密工程*, 2006, 14(5): 910-916.  
DENG J X. A remote-sensing image coding algorithm based on significant coefficients lifting [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 910-916. (in Chinese)
- [7] 吴晗平. 红外警戒系统的技术特点与作用距离方程分析 [J]. *光电对抗与无源干扰*, 1998(1): 14-19.  
WU H P. Technical characteristic and operating range equation analysis for IR surveillance system [J]. *Electro Optics and Passive Countermeasures*, 1998(1): 14-19. (in Chinese)
- [8] 吴晗平. 红外辐射大气透过率的工程理论计算方法研究 [J]. *光学精密工程*, 1998, 6(4): 35-43.  
WU H P. Research into theoretical calculation method on on engineering of transmittance of infrared radiation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(4): 35-43. (in Chinese)
- [9] GJB4340-2002, 舰船红外警戒设备规范 [S].  
GJB4340-2002, Specification for shipborne infrared surveillance equipment [S]. (in Chinese)
- [10] ANDRESEN B F. Surface-based IRST: a selection process for sensor parameter values [J]. *SPIE*, 1997, 3061: 712-720.
- [11] IR FPA T G. phase noise effects in IRST design [J]. *SPIE*, 1999, 3698: 520-529.
- [12] HORMAN R S. Seaborne electro-optical sensors and their technologies [J]. *SPIE*, 1999, 3698: 12-23.
- [13] WU H P, YI X J. Operating distance equation and its equivalent test for infrared search system with full orientation [J]. *International Journal of Infrared and Millimeter Waver*, 2003, 24 (12): 2059-2068.
- [14] 陈浩,谭久彬. 一种用于光电目标跟踪的非线性滤波算法 [J]. *光学精密工程*, 2006, 14(5): 917-921.  
CHEN H, TAN J B. Nonlinear filtering algorithm for improving opto-electric target tracking [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 917-921. (in Chinese)

作者简介:吴晗平(1964—),男,湖南澧人,武汉工程大学教授,工学博士,在国内外专业刊物上发表论文六十余篇,主要研究方向为红外及光电系统技术。E-mail: wuhanping601@sohu.com