

文章编号: 1672-8785(2006)02-0023-05

动态红外景象仿真技术的研究

耿 康, 周起勃

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要: 概述了国外红外成像制导仿真技术的发展现状, 分析讨论了红外成像仿真系统的构成及工作原理、技术要求。根据 DMD 工作原理设计了一套实验室仿真装置。

关键词: 红外成像制导; 红外景象仿真; DMD 器件

中图分类号: V448.15 **文献标识码:** A

Research on DMD Dynamic Infrared Scene Simulator

GENG Kang, ZHOU Qi-bo

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The current status of IR imaging guide simulation in the world is summarised. The structure, technical requirement and key techniques are analyzed. Base on the operation principle of DMD, a set of IR simulation devices is designed.

Key words: Imaging IR guide; IR scene simulator; DMD device

1 前言

红外成像制导系统是根据目标与背景的热像进行识别和跟踪的, 要对红外成像制导系统进行性能评价, 需进行大量的外场飞行试验, 这种试验即费钱又费时, 而且不能经历系统可能应用的所有场合, 所以有必要在实验室内进行实物模拟红外成像制导系统跟踪目标的全过程, 即红外系统的实物仿真。这就需要一套红外景象仿真系统, 它能在红外系统工作波段内, 模拟真实目标和背景在导引头接收系统入瞳处红外辐射能量的空间分布和时间变化, 这样导引头得到的是一组动态变化、与真实目标背景一致的红外景象。仿真系统不仅要模拟目标和背景的红外辐射特性, 而且要反映目标、背景、导引头和飞行平台的运动特性, 使得导引头如同在真实目标环境中工作。红外成像制导仿真在导弹的研制、生产、试验以及作战运用中的作用十分重要, 它是一种极其有效的检测手段。

2 红外仿真技术的发展概况

早在 20 世纪 70 年代, 美国陆军仿真中心就成功研制并使用了红外点源仿真器, 为第一、第二代红外制导导弹的设计和研制做出了贡献。进入 20 世纪 80 年代, 世界各国都开展了仿真装置的研究, 包括美国陆军高级仿真中心 (ASC)、美国波音宇航公司、加拿大国防研究院 (DERV)、法国军备电子中心 (CELAR)、以色列 Eibit 计算机公司、我国航空工业总公司第 0 一四中心及航天工业总公司二院都研制、建成了相应的仿真物理装置, 其中美国陆军高级仿真中心代表着世界最先进水平。

2.1 美国

自 20 世纪 90 年代以来, 美国陆军高级仿真中心陆续建成了 14 套硬件闭环仿真系统 (HWIL), 这些系统可应用于可见光波段、中远红外波段、微波等成像或非成像仿真。在众多的红外仿真系统中, 较为典型的有霍尼韦尔技术中心 (HTC)

收稿日期: 2005-09-07

作者简介: 耿康 (1979—), 男, 江苏扬州人, 博士生, 主要从事动态红外景象仿真器的研究。

研制的多光谱景象投影系统 (MSSP) 和亮电阻红外发射系统 (BRIGHT); 圣巴巴拉红外公司和印迭哥系统公司联合研制的多光谱红外仿真生成系统 (MIRAGE); 光科学公司研制的激光二极管投射阵列 (LDAP) 和微反射镜阵列投射 (MAPS) 系统。具体性能指标如表 1 所示。

2.2 其他国家

法国军备电子中心 (CELAR), 已经研制成功黑体薄膜式动态红外图像调制器, 应用于红外成像制导的仿真, 美国休斯公司将红外液晶光阀应用于中长波红外成像仿真。

以色列 Eibit 计算机公司在 1987 年就已经完成一种用于鉴定红外跟踪器的动态图像仿真器, 其背景和目标的仿真分别通过独立的细网状晶体来实现, 并能够仿真真实的或合成的红外图像。这种仿真器可以通过目标在红外波段呈现半透明的特性来仿真目标相对于背景的二维运动, 也可以仿真独立跟踪器的运动。该系统用于测试前视红外跟踪器的性能与杂波、背景温度、目标对比度、目标运动、目标区域、运动振荡摆动视线等因素之间的依赖关系。

3 红外成像制导仿真系统的构成和工作原理

红外成像制导仿真系统包括仿真计算机系统、姿态运动仿真系统、红外景象仿真器和红外成像导引头四部分。

(1) 红外目标、背景仿真系统, 又称为目标、背景模拟器, 用于给出目标和背景的红外辐射特征。它是针对红外成像制导仿真而专门设计的设备, 是红外成像制导仿真最关键的子系统, 技术难度也最大。

(2) 姿态运动仿真系统, 即三轴飞行转台, 是用于复现导引头空间姿态运动仿真的设备。在整个仿真系统中是比较容易实现的子系统, 因为在第一、第二代红外点源制导仿真系统中也同样要使用, 所以在技术上是比较成熟的, 国内外都有现成的产品可供选择。

(3) 仿真计算机系统, 负责对整个红外成像系统的全面控制、数据处理和管理。随着大规模集成电路的发展, 计算机的发展速度日新月异, 其运算速度及存储空间有显著增长, 因此, 硬件可以满足仿真的需求, 同时仿真软件要针对红外目标和背景特性建立各种数据库和仿真模型。

(4) 红外成像引导头子系统, 这是实现红外成像制导仿真的中心环节, 是不可缺少的部分。

红外成像制导仿真原理如图 1 所示, 其中导引头和仿真器安装在可进行多自由度运行的平台上, 中心仿真计算机控制整个系统的闭环仿真, 图像仿真计算机专门向模拟器传送图像数据。生成的红外景象通过准直光学系统投射到导引头入瞳处, 使得红外景象与真实目标和背景在探测器上的像斑大小一致, 辐射能量的空间分布一致。导引头与目标相对空间位置的变

表 1 美国部分红外景象仿真器性能指标

研制公司	霍尼韦尔技术中心 (HTC)		圣巴巴拉红外中心	光科学公司 (OSC)	
系统名称	MSSP	BRIGHT	MIRAGE	LDAP	MAPS
景象生成技术	电阻阵列	电阻阵列	电阻阵列	激光二极管阵列	DMD*
工作波段 (μm)	2 ~ 14	2 ~ 14	2 ~ 14	3.7, 4.6, 4.7, 9.0	紫外, 可见光, 红外
分辨率	512×512	512×512	512×512	672×544	1024×768
帧频 (Hz)	60	60	200	200	60 (6 bit)
最大表观温度 (K)	740	650	650	500	800
图像灰度等级 (bit)	14	14	16	12	1 ~ 24 可编程
空间均匀性 (%)	98	98	97	96	99.8

* DMD 是美国 Ti 公司研制的新一代空间光调制器 Digital Micromirror Device。

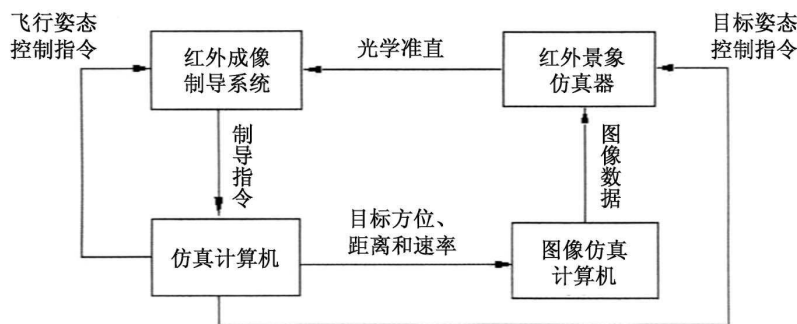


图 1 红外成像制导武器仿真系统的原理图

化, 通过像斑的大小和辐射能量的变化及模拟器姿态的变化来模拟。同时, 中心仿真计算机还根据引导头的指令控制飞行平台的运动, 模拟导弹的气动负载。

4 动态红外景象仿真器的技术要求

在红外成像制导仿真系统中, 动态红外景象仿真器是关键环节, 是需要专门研究的一个综合性问题, 这不仅因为它是一个包含大量非标准部件的计算机控制的复杂的光、机、电系统, 采用了许多学科的先进技术, 难度大, 成本高, 而且在很大程度上它还决定红外仿真目标的逼真程度。下面就动态红外景象仿真器设计的技术要求作一介绍。

(1) 温度范围: 根据普朗克定律, 在导引头的工作波段范围内, 红外景象模拟器辐射面上辐射能量的空间分布可以等效为温度的空间分布, 该温度可以称为表观温度。为了模拟辐射能量的分布与变化, 模拟器必须具有一定的表观温度变化区间, 即温度范围。对于红外探测器常用的 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 波段, 模拟器温度范围为 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 700\text{ }^{\circ}\text{C}$; 对于 $8\mu\text{m} \sim 13\mu\text{m}$ 波段, 若用于反坦克, 温度范围为室温以上 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内, 用于对空导弹为 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。模拟器的温度范围不仅取决于导引头的工作波段, 而且与所要模拟的环境和模拟器的工作结构有关, 不同种类的模拟器, 温度范围也不相同。显然, 温度范围越宽, 模拟器越接近工作波段内目标和背景的实际温度分布, 但是相应模拟器的工作要求也提高了, 有时不得不牺牲其他性能。

(2) 温度分辨率: 温度分辨率是指在给定的温度范围内, 模拟器所能产生的最小温度差别。在不同的温度范围内, 对温度分辨率的要求是不一样的。由于模拟器目标与背景位于同一辐射面上, 那么, 模拟目标与背景的最小温差与模拟器在室温附近的温度分辨率一致。

(3) 动态范围: 动态范围是指在一定的温度范围内, 模拟器所能达到的最大表观温度与最小温差之间的比值, 有时用灰度级来表示。模拟器的动态范围与温度范围有关, 温度范围越高, 动态范围也越大。

(4) 空间分辨率: 模拟器产生的红外图像可以看成表观温度沿辐射面的二维分布, 模拟器只能独立改变辐射面上某一微元的红外辐射, 那么, 辐射面上总的微元数就是模拟器的空间分辨率, 它也是红外景象的极限分辨率。红外成像系统是对红外景象空间抽样成像的, 那么模拟器的空间分辨率必须是成像系统的两倍以上才能够满足尼奎斯特采样准则, 例如对于 128×128 分辨率的红外成像导引头, 模拟器的分辨率应大于 256×256 。

(5) 帧速: 红外成像制导系统在识别、跟踪目标的过程中, 探测到的是序列的热像, 那么模拟器必须能够实时改变红外景象, 更换每幅景象的速率就是帧速, 帧速越高越好, 最好能够高于红外探测器的帧速。

5 动态红外景象仿真器的设计

我国在红外成像制导仿真技术方面的研究近年来已有长足进步, 但是在红外器件方面的研究与西方发达国家相比有较大差距, 如果采用

电阻阵列来产生红外图像有较大困难, 而 DMD 芯片价格相对便宜, 已经商品化, 易于购买, 所以有可能以 DMD 作为红外辐射调制器件研制动态红外景象仿真器。

DMD 数字微镜器件, 是采用微电子机械原理, 利用铝溅射工艺, 在半导体硅片上生成的一些方形微镜面。微镜面的中心间距为 $17\mu\text{m}$, 数以百万计的微镜面用铰链结构建造在由硅片衬托的 CMOS 存储器上面。利用静电原理, 可以使每一个微镜面沿着它的对角线轴线翻转 $+10^\circ$ 或 -10° 。当受到光源照射时, 每一个微镜面可以反射一个像素的光。当微镜面为 $+10^\circ$ 时, 镜面对光源, 反射光可以通过投影镜头投向屏幕, 形成一个亮点; 当微镜面为 -10° 时, 镜面背向光源, 反射光则不能通过投影镜头而被光吸收装置所吸收, 在屏幕上形成一个黑点。这样就控制了每个像素光线的开关通断。改变每个像素光线通断时间的长短, 即可实现光的脉冲宽度调制, 形成不同亮度、灰度和对比度的图像。

5.1 方案组成和功能原理

根据 DMD 的工作原理设计了原理样机, 它由红外光源、红外光学照明系统、DLP 视频处理系统、DMD 驱动电路、红外半透半反镜、红外准直光学系统和被测试单元组成。其基本原理如图 2 所示, 由图像仿真计算机产生的图像数据, 通过 DLP 视频处理电路和 DMD 驱动电路输入 DMD 器件, 黑体辐射源通过中继光学系统均匀照射器件表面, DMD 反射调制入射的红外

辐射产生红外图像。生成的红外景象通过准直光学系统投射到被测试单元的入瞳处, 使得红外景象与真实目标和背景在探测器上的像斑大小、辐射能量空间分布一致。这样用 DMD 产生的红外图像模拟真实目标和背景辐射, 达到评价红外成像制导系统性能的目的。

5.2 技术方案

(1) DMD 芯片及驱动电路: 由于 DMD 是动态红外景象仿真器的核心部分, 作为红外空间光调制器件, 它直接关系到红外图像的质量。目前在样机中选用明基 PB6205 投影仪, 分辨率为 1024×768 的 DMD 芯片, 由于 DMD 驱动电路极其复杂, 因此在原理样机中采用投影仪的标准驱动电路, 帧频为 85Hz , 动态范围为 8bits。

(2) 黑体辐射源的选择: 假设红外仿真目标主要是建筑物之类的大型目标, 这类目标的温度范围通常在 $25^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 之间, 考虑到光学系统的损耗和 DMD 光学窗口的透射特性等原因, 经计算需要选用 600K 黑体作为入射光源, 根据 DMD 标准驱动电路 8bits 的动态范围, 计算得到系统的温度分辨率约为 0.5°C 。

(3) 红外仿真图像的获取: 在原理样机阶段不采用高档图形工作站之类的专用图像仿真计算机, 因此使用先前外场试验得到的目标和背景的红外图像作为图像数据输入 DLP 驱动电路, 用于动态红外景象的仿真。

(4) 红外光学系统的设计: 为了有效利用 DMD 的各像元, 同时让出射光能够完全覆盖整

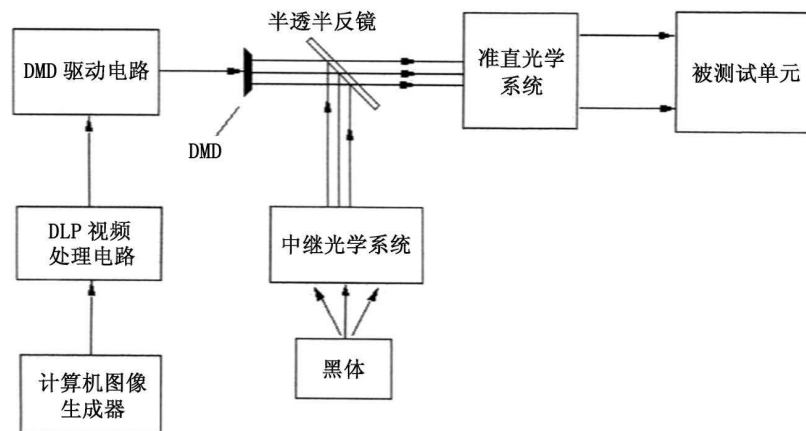


图 2 DMD 动态红外景象仿真器示意图

个导引头的成像视场, 准直光学系统的视场应该与导引头的成像视场一致, 或者稍大于导引头的视场; 另一方面, 为了有效利用图像发生器的辐射能量和避免不必要的杂散光进入导引头光学系统视场, 要求准直光学系统的出瞳与导引头的入瞳衔接, 为保证有一定误差时图像发生器输出的能量也能完全充满导引头入瞳, 要求准直光学系统的出瞳稍大于导引头入瞳。

6 发展趋势

根据仿真需求和技术实现的可能, 系统仿真已有如下几个方面的明显变化:

(1) 仿真规模由小到大、从局部向全面发展, 武器系统的发展范畴已由控制和制导系统研制中的应用向全武器系统及其全生命周期发展。

(2) 由以实物及外场试验为主向以数学模型及试验室内仿真为主转化。例如大规模的作战演练已经可以通过分布交互式仿真、借助于参试人员与作战平台和建立在数字计算机技术基础上的虚拟仿真、各种计算机生成兵力、武器运行模型、作战规划流程交互作用而实现, 这其中数学模型起到了核心作用, 分布交互式仿真和由综合集成为特色的先进分布仿真将成为军事应用的重要发展方向。

(3) 由军用转向了国民经济各个方面的应用。例如各类大型工业、运输行业系统运行操作的培训已有了众多的成功先例, 而且仿真已开始向产业方向发展。

动态红外景象仿真系统的建立意义深远, 因为我国光电武器的发展还较为落后, 而研制出来的光电对抗装备性能较为先进的情况下, 在一定程度上可以通过仿真实验来缓解实弹演

习难于进行的实际困难; 仿真系统的建立还将从根本上改善现有的光电对抗论证、科研手段, 为国内进一步发展光电制导武器抗干扰技术提供一个比较逼真的对抗环境, 同时也将促进我国光电制导抗干扰武器技术的发展。

参考文献

- [1] 刘滨, 周建勋, 张保民. 动态红外景象模拟技术 [J]. 红外技术, 1996, Vol.18, No.2, 23-26.
- [2] 杨晓段, 陈鸿林. 红外制导武器仿真系统的发展趋势 [J]. 红外与激光工程, 1998, Vol.27, No.6, 16-19.
- [3] Paul Bryant, Jim Oleson, Brian Lindberg, et al. MIRAGE: developments in IRSP system development, RIIC design, emitter fabrication, and performance [C]. SPIE 5092, 43-51.
- [4] Beasley D B, Saylor D A. Overview of Dynamic Scene Projectors at the U. S. Army Aviation and Missile Command [C]. SPIE 2002, 4717, 147-157.
- [5] Beasley D B, Bender M, Crosby J. Dynamic IR Scene Projector Based Upon the Digital Micromirror Device [C]. SPIE 2001, 4366, 96-102.
- [6] Saylor D A, Beasley D B. Current status of IR scene projection at the US Army Aviation and Missile Command [C]. SPIE 2001, 4366, 147-157.
- [7] Beasley D B, Saylor D A. Advancements in Dynamic Scene Projection Technologies at the US Army AMCOM [C]. SPIE 2000, 4027, 278-289.
- [8] Beasley D B, Saylor D A. Application of Infrared Scene Projector Technologies at the AMCOM MRDEC [C]. SPIE 1999, 3697, 223-231.
- [9] McHugh S, Warner I, Pollack M. MIRAGE dynamic IR scene projector overview and status [C]. SPIE 1999, 3697, 209-222.
- [10] Beasley D B, Saylor D A. Current Status of the Laser Diode Array Projector Technology [C]. SPIE 1998, 3368, 88-96.

简 讯

达到理论极限的带光学读出的非致冷焦平面列阵

在 2005 年 5 月召开的“红外技术与应用 XXXI” SPIE 专题会议上, 以色列 Namal 技术有限公司的研究人员介绍了该公司发明的一种基于光学读出的非致冷

焦平面列阵新技术。该技术采用一种以顺电相位工作的电光晶体作为温度敏感元件, 另外还采用了一种横向读出结构, 其一整行像元是通过电触发瞬时读出的。由于光学读出可降低电子噪声, 预计其 NETD 为 5mK ~ 7mK。该器件的这种低 NETD 是由温度起伏噪声决定的, 因而可达到非致冷焦平面列阵的理论极限。

□ 高国龙