

基于 DMD 的红外动态图像生成技术

蔡建荣, 严高师, 刘昌松, 刘莞尔

(电子科技大学光电信息学院, 四川 成都 610054)

摘要:介绍了一种基于 DMD 的红外动态图像生成技术, 可以便捷、快速地生成在各种地域各种环境下的红外图像, 逼真地反映导引系统入瞳处红外辐射的时间与空间分布。用此图像来测试评估导引系统, 就可以得到全面的性能指标, 对导引系统的改进提供数据资料。

关键词:DMD; 图像生成; 成像制导

中图分类号:TN215

文献标识码:A

Technology of Creating DMD-based Dynamic Infrared Image

CAI Jian-rong, YAN Gao-shi, LIU Chang-song, LIU Wan-er

(School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In this paper, the technology of creating dynamic infrared image based on DMD is presented. By this technology, the infrared image with vary objects and backgrounds in different conditions, can be easily and quickly obtained, and the infrared radiation at the pupil of the guide system can be realistic. Then all around performance criterions and improvement information will be got by using the infrared image to evaluate the guide system.

Key words: DMD; creating of image; control and guide by image

1 引言

随着红外焦平面器件的长足发展, 红外制导已由热点探测制导发展为成像制导, 以实现目标的更精确识别。在红外成像制导武器的设计、实验与仿真的各个阶段, 对红外图像生成技术都有广泛的需求。特别是对成像制导系统的测试与评估阶段, 红外制导系统的导引头需探测不同背景下预定目标的红外辐射, 以跟踪目标。按照传统的方法需要作大量的场外飞行实验, 而场外飞行实验是在某一区域在当时的环境下进行的实地测量。这样得到的结果虽然真实可靠, 但参考价值却不高, 因为其实验条件无法控制, 不可能得到现实中可能经历的, 在各种地域各种环境下的红外图像。并且这种方法也费时耗钱。所以在室内建立动态红外图像生成系统, 以进行半实物模拟红外成像制导系统追踪目标的实验, 即红外系统的半实物仿真是很有必要的。此系统模拟真实场景中目标、背景与噪声在导引系统入瞳处红外能量的空间分布, 同时还要反映目标、背景与导

引头的运动特性, 使导引头如同在真实的战场环境中运行。此方法不仅是对实地测量方法的重要补充, 在很多情况下也将是实地测量方法的替代, 并且此技术在红外伪装和红外遥感领域也有很大的参考和应用价值。

2 数字微镜装置工作原理^[1-2]

数字微镜装置(digital micromirror device, DMD)其本质就是一个半导体光空间调制器。由成千上万个微小的方形($14\mu\text{m} \times 14\mu\text{m}$)镜片, 建造在一个静态随机存储器(SRAM)上方的铰链结构上面而组成, 如图1所示。

DMD 每个镜片可以通断一个像素的光线, 铰链结构允许镜片在两个状态之间倾斜, $+10^\circ$ 为“开”, -10° 为“关”, 镜片不工作时, 它们处于 0° 的“平态”。DMD 镜片的倾斜方向不同决定了经它反

作者简介:蔡建荣(1982-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为红外数据探测与图像处理。E-mail: cjr1982@tom.com

收稿日期:2007-09-01; **修订日期:**2007-10-22

射的光是否在屏幕上成像,如图 2 所示。每一个镜片下的存储单元按照计算机存储器一样的工作原理,以二进制信号进行寻址存储信号。由于静电力的作用,存储单元的值控制了其上的每个镜片向不同的方向倾斜,即形成开或关态,并以脉冲宽度调制方式(PWM)决定每个镜片倾斜在哪个方向上的时间长短。DMD 镜片的机械开关时间和光开关时间分别约为 $15\mu\text{s}$ 和 $2\mu\text{s}$ 。镜片可以在 1s 内开关几千次,这一相当快的速度允许常用的积分探测器(焦平面探测器)的数字图像灰度的再现。当微镜频繁接通时,镜片反射浅灰色像素;呈常闭状态时反射深灰像素。通过这种方法,如果单位像素是由 10 位二进制编码的 DMD 投影系统,则可反射 1024 等级的灰色阴影,将输入 DMD 控制电路的视频或图像信号转换成层次丰富的灰度图像^[3]。

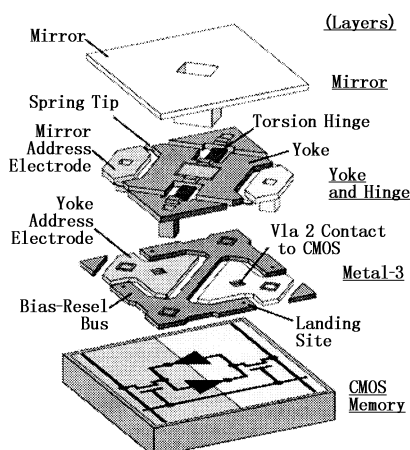


图1 微镜结构

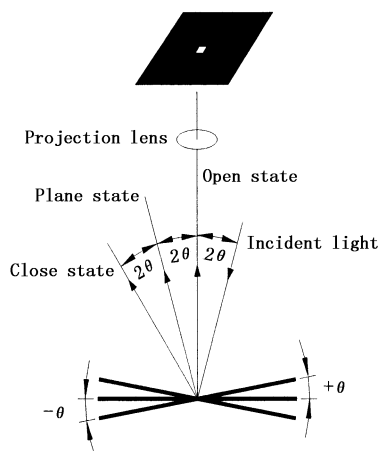


图2 微镜光调制原理

3 计算机动态图像生成

关于动态图像的生成,许多作法是用三维动画制作软件如 3D Studio MAX, AUTOCAD 等来制作,这些软件虽然能创建三维动画,但它们绘制的图像

都很精细,远远高于我们所要模拟的图像的精细度,所要处理的数据量都很大,实时性差。同时红外图像受各种因素的影响,如目标的运动状态、导弹的攻击方式、大气的传输特性等,而用动画软件制作的动画只能代表一种状态,要模拟各种状态下目标红外图像用此类方法显然是不够的,只有靠编程实现。我们采用 Multigen 三维图形库作为编程工具,影响红外图像的各种因素都作为输入参数,依靠人机对话,用户可以根据待测试地区的环境及运动条件来输入,这样就可以生成各种状态下的目标的动态红外图像,从而这种仿真系统也就成了一个全面开放的仿真系统。

4 温度与热辐射的计算

背景的区域创建完成后,就可以根据已知的可见光图像信息对不同的背景类型分别计算其表面温度分布和不同波段的热辐射特性分布。首先分析已知可见光图像所反映的气象条件、时间以及经纬度,从而确定周围环境的大概温度;其次,确定背景具体包含的景物类型(如植被、河流、公路、建筑等),从而针对不同的景物类型分别建立其辐射模型。对于景物类型中各种自然景物类型的热辐射建模,通过理论模拟进行计算获得。对于非自然景物的表面温度分布和辐射分布可由其海拔高度、方位角、倾角、材料的光谱反射特性及热特性通过求解热交换方程及相关红外辐射理论来确定。在所有过程中都要利用大气传输模型(如 LOWTRAN 或 MORTAN)计算大气衰减,更真实地反映现实中目标与背景的红外辐射到导引系统入瞳处的空间衰减。这种计算方法已在许多模型中采用,如由 DCS 公司编写的热动力模型 THERM,此模型是一个微分温度生成模型。它以热力学理论为基础,并根据物体与环境之间的不同温差来决定热传输速度以此来计算每一面元的温度。同类型模型还包括美国 Georgia Tech 研究所(GTRI)开发的 GTSIG 模型;美国的军用坦克和汽车司令部(TACOM)研究开发的 PRISM (physically realistic infrared signature model)模型,美国 PIT 开发的 DIRSIG 模型等^[4]。

5 灰度映射

灰度级别取决于三方面的因素:一是每帧图像的场时间;二是镜面转动的响应时间;三是灰度编码位数。第一点由所应用的图像的帧频率决定,第二点则是由 DMD 的性能决定,第三点由相应的 DMD

驱动电路决定。在一定的辐射温度范围内,通常可以假设灰度等级与辐射温度呈正比线性变化,其映射公式:

$$G_{\text{gray}} = (T - T_{\min}) \frac{G_{\max} - G_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} + G_{\min}$$

式中, G_{gray} 为灰度等级; T 为辐射温度; $T_{\min}$ 为各种景物类型中的最低温度; $T_{\max}$ 为各种景物类型中的最高温度; $G_{\max}$ 为设定的最大灰度级; $G_{\min}$ 为设定的最小灰度级。

5.1 背景的灰度映射

在用 Multigen 建立的三维几何模型中,我们先根据在想要测试的环境下,设定一个符合真实红外图像的灰度级范围,再按照上式将区域背景的红外辐射转换为相应的灰度填充该区域,就可以得到相应的红外背景灰度图像。

5.2 目标的灰度映射

为了得到精确的目标模拟,首先采用 Multigen 建立目标的三维几何模型,并对几何表面赋予纹理和材质属性,以便获得相应材料的热特性和光学特性参数。按照上式与目标的热特性及光学特性就可以得到目标的灰度图像。

5.3 目标、背景及噪声合成

目标和背景的辐射模型建立后,就可以根据实际需要选择目标在背景图像中可能存在的位置及方位,把目标叠加到背景图像中。现实中,目标与背景的红外辐射在传输到探测器的入瞳处的过程中,都会受到各种噪声的影响。为了获得更加逼真的红外图像,对目标和背景的合成红外图像进行一定的加噪声处理。引进三维噪声模型,就能得到更加逼真的红外模拟图像。

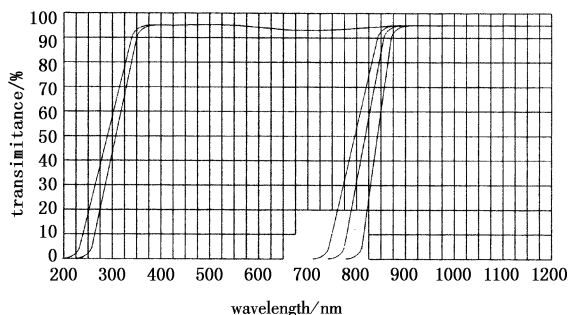
6 DMD、DLP 视频处理电路及 DMD 驱动电路选择

DMD 是本仿真系统的核心部件,它直接关系到最终生成的红外图像的质量。综合考虑,我们选用 TI 公司生产的分辨率为 1024×768 的 DMD 芯片,最大表面温度为 800K,空间均匀性为 99.8%,灰度等级为 1~24 可编程。由于本系统的投影原理与基于 DMD 的可见光投影仪原理相同,所以在原理样机中采用明基 PB6205 投影仪的 DMD 标准驱动电路和 DLP 视频处理电路,帧频为 85Hz^[5]。

7 红外光学系统的设计^[6]

根据大气传输窗口,系统工作波段设定为 3~5 μm 和 8~12 μm 可用的材料主要有 Si, Ge, ZnS,

ZnSe 等。所有光学玻璃器件我们选用红外透射可见吸收玻璃,筛选后的几类玻璃的光学特性如图 3 所示。



Note:

The curve from left to right are: HWF760\HWF780\HWF800\HWF830\HWF850

图3 红外光学玻璃透过率

由系统的工作原理可知,准直投影系统的物为景象生成器件(即 DMD 芯片),且 DMD 芯片置于准直投影系统的物方焦平面上,出射光为平行光。准直投影系统的出瞳应与导引系统入瞳衔接,以便有效利用辐射能量和避免不必要的杂散光进入导引系统入瞳。为了有效利用 DMD 的各像元,并且让出射光能够完全覆盖整个导引系统入瞳,同时为保证有一定误差时准直投影系统输出能量也能完全充满导引系统入瞳,可要求准直投影系统出瞳稍大于导引系统入瞳。准直投影系统焦距由 DMD 的尺寸(DMD 的对角线尺寸)和准直投影系统视场确定。准直投影系统的分辨率受被测系统(导引头)和 DMD 分辨率的限制。综合考虑到能量、衍射、像差等因素,确定指标如下:

波段: 3~5 μm 和 8~12 μm

焦距: 480mm

F 数: 3.2

入瞳直径: 150mm

后焦距: >100mm

分辨率: >4lp/mm(对应弥散斑直径 125 μm , 弥散角约 0.22mrad)

综合考虑各材料性能与系统要求,我们选用 Ge, ZnSe, ZnS, ZnSe 材料制作准直投影系统物镜,如图 4 所示,并加相应增透膜与光阑。准直投影系统的焦距 $f' = 480\text{mm}$, 入瞳直径 150mm, 视场 1.3° , 后焦距 368.47mm。计算得到系统的传递函数曲线如图 5 所示。从图中我们可知:在 3~5 μm 波段,当系统的光学调制传递函数为 0.7 时,空间分辨率可以达到 10lp/mm;在 8~12 μm 波段,当系统的光学调

制传递函数为 0.6 时,空间分辨率可以达到 7lp/mm。系统只要求 4lp/mm,所以系统的像质要求完全能够满足^[6]。

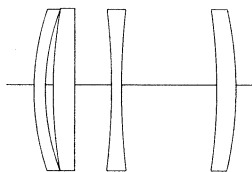


图4 准直投影系统物镜结构

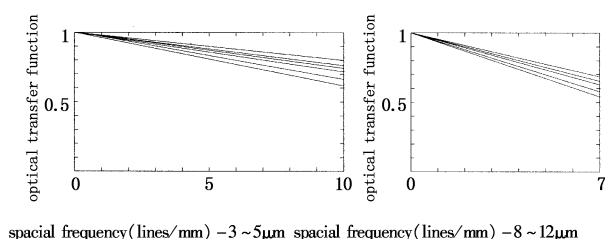


图5 准直投影系统传递函数

8 辐射源的选择

对于辐射峰值在 3~5 μm 波段,黑体的温度范围为 966~579K,对于辐射峰值在 8~12 μm 黑体的温度范围为 241~362K。在选择黑体温度时我们需要同时考虑到 DMD 器件的承受能力。

9 系统总体设计方案

系统工作流程:首先用 Multigen 对背景与目标进行建模,生成目标和背景的三维模型。在建模的过程中,对目标的几何表面赋予纹理与材质的属性。然后用 Lynx 交互式图形界面系统,根据待测试地区的环境及运动条件(目标与背景相对导引系统的位置、目标的运动方式、环境的描述等)把影响红外图像的各种因素都作为输入参数,对目标和背景的几何模型进行配置。对仿真过程中多处理器的分配、视频通道的设置、显示的模式等进行设置。同时用 Lowtran 工具计算大气在不同环境条件下对红外辐射的衰减特性。最终用 Vega 执行并改进红外场景的仿真程序,生成仿真图像序列。然后由加噪处理系统建立热成像系统和大气传输系统噪声模型。引进三维噪声,把系统噪声按照时间、空间水平、空间垂直的三维空间分为 7 部分,对目标和背景的合成红外图像进行一定的加噪声处理。再用图像生成器将此噪声与背景目标合成,生成与实现更加一致的红外合成图像。此合成后的图像经 DLP 视频处理电路处理后,送入 DMD 驱动电路控制 DMD 各微镜的偏转与灰度等级控制。同时由黑体发射的红外光经光中继系统平行化后均匀照射在 DMD 微镜上,

这些平行光线经 DMD 空间光调制后送入准直投影系统,最后到达导引系统的入瞳。这样用 DMD 产生的红外图像模拟真实目标和背景的红外辐射,达到评价红外成像制导系统性能的目的。

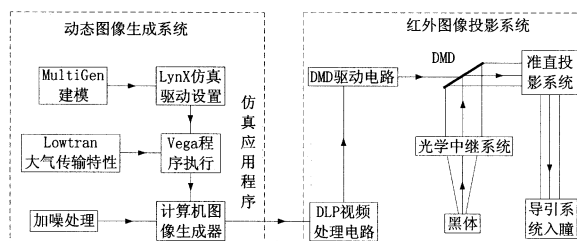


图6 系统总体设计方案框图

10 结论

本系统较全面地考虑了各种影响因素,逼真地模拟了现实红外辐射在导引系统入瞳处的空间与时间分布,并采用模块化设计,结构紧凑,有利于系统升级和修改,也可以减少重复投资,利于新系统的论证和研制。最终生成的红外图像具有良好的分辨率、对比度及可靠性,可广泛用于中波与长波红外半实物仿真。本系统中计算大气衰减的模型与国内外用来计算大气衰减的模型相同,都是 LOWTRAN 或 MORTAN。虽然这两个软件计算的准确性是公认的,但系统复杂,计算时间相对较长,如果能在所需精度范围内简化模型的复杂程度,提高其实时性,对这类仿真系统将有很大贡献,是一项值得更进一步研究的工作。同时我们建立模型时要求尽量逼近现实,所以平常对实际环境资料应多收集、分析、整理,并把所模拟生成的图像与现实收集的进行对比,以改进系统的逼真度。

参考文献:

- [1] M R Douglass. Lifetime estimates and unique failure mechanisms of the digital micromirror device (DMD) [M]. Texas Instruments Inc, 1998.
- [2] Dana Dudley, Walter Duncan, John Slaughter. Emerging digital micromirror device (DMD) applications [M]. Proc. SPIE, 2003, 4985: 14-25.
- [3] 杨凤和, 蓝东辉. DLP 投影显示中的特殊技术技术分析[J]. 电视技术, 2005, (4): 39-42.
- [4] 刘鑫, 张建奇, 邵晓鹏. 动态红外场景仿真方法研究[J]. 红外技术, 2002, 24(6): 41-46.
- [5] 耿康, 周起勃. 动态红外景象仿真技术的研究[J]. 红外, 2006, 27(2): 23-27.
- [6] 常虹, 范志刚. 基于 DMD 的红外双波段景象投影光学系统设计[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(5): 838-840.