

动态红外景象生成方法研究

娄树理,周晓东,董言治

(海军航空工程学院 自动控制系,山东 烟台 264001)

摘要:综述了目前计算机红外图像生成的思路和方法,对目标、背景、大气传输及传感器效应模拟的具体方法进行了分析、比较,并指出了适用范围;从红外景象产生的器件角度介绍了目前先进的悬浮薄膜电阻和激光二极管产生技术,并指出红外景象产生器件的发展方向;最后对红外景象生成技术进行了分析和展望。

关键词:动态; 红外景象生成; 计算机图像生成; 红外投影仪

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)04-0427-05

Research on the method of dynamic infrared scene generation

LOU Shu-li, ZHOU Xiao-dong, DONG Yan-zhi

(Department of Automatic Control Engineering, Naval Aeronautical Engineering Institute, Yantai 264001, China)

Abstract: Firstly, the method of IR image generation by computer is reviewed. Then the specific simulation methods of simulating the target, the background, the atmospheric effect and the sensor effect are analyzed and compared, and the limitations are discussed. The advanced technologies of dynamic IR scene realization are introduced, such as the suspended and membrane resistor technology and the laser diode technology. The developing tendency of dynamic IR scene realization is pointed out. Finally, the developing trend of the technique is expected.

Key words: Dynamic; Infrared scene generation; Computer image generation; Infrared projector

0 引言

随着红外成像制导武器的发展和应用,对发展红外成像制导仿真技术的要求越来越迫切,此种仿真在检验红外系统的图像处理、图像识别、图像跟踪算法可行性等方面具有巨大的经济和军事效益。目前红外成像仿真主要采用半实物仿真,无论是景象投影方

式还是信号注入方式,仿真的关键都是动态红外景象的生成^[1]。

动态红外景象生成方法有多种,如实地拍摄方法,黑体模拟方法等,最灵活和经济的方法是采用计算机生成动态红外景象的方法。目前世界各国都在开展计算机红外图像生成方面的研究,并且已经研制出相应的生成系统,如美国军用导弹指令研制开发中心(RDEC)研制的用于景象投影和信号注入的低成本

的红外景象生成系统(IRS_G)^[2],美国海军和空军联合研制的红外导引头仿真器(IRSS)^[3]。本文从动态红外景象计算机生成及投影实现角度综述了当令国内外计算机红外图像生成技术和动态红外景象的投影产生技术,并对涉及的方法进行了具体分析和比较,最后对动态红外场景生成技术的发展进行了分析和展望。

1 动态红外图像的计算机生成

计算机仿真生成的红外图像反映的是场景中各点的相对灰度值,与其对应的是目标和背景的红外辐射亮度。为准确、逼真地仿真目标和背景的红外辐射,需要对目标和背景的红外特性、几何特性、运动特性、大气作用效果影响以及探测器作用效果的影响加以考虑。通常,计算机红外图像生成分为目标的模拟、背景模拟、大气作用效果模拟和探测器作用效果模拟等几部分。

1.1 目标模拟

目标红外辐射的模拟依赖以下因素:目标表面的温度、发射率、反射率、大气吸收、目标的几何形状、运动状态和探测器特性等,通常的模拟方法是理论建模方法,即首先对目标的几何形状进行模拟,然后根据传热、辐射和对流等定律对物体每个面元建立传热方程,求出温度和辐射亮度分布,最后形成目标的零视辐射距离图。

目前国内外对目标的红外理论建模研究做了大量的工作,并取得了很大进展,其中,Nandhakumar提出使用体表面积八叉树(vs-octree)的方法进行目标模拟^[4],这种方法是根据目标的多视点轮廓构造八叉树进行三维几何模拟的,并依据八叉树节点存储的信息构建几何形状和计算表面温度。另一种常采用的理论建模方法是基于面元的三维模拟方法,如Hyun-Ki Hong、朱文勇、沈同圣等采用的三维实体模拟方法^[5~7],先采用几何建模软件生成目标的三维模型,并根据目标的结构、材料和温度情况将模型划分为许多面元,对各个面元建立三维传热方程,进而获得整个物体表面温度分布。

八叉树方法的优点在于能对目标分级建模,并且模拟时不需要大量详细的几何数据;其缺点是随着目

标形状的复杂程度增加,需要计算的节点量增多,计算量也相应增加,此外,这种方法很难准确处理复杂形状的目标,特别是对于凹形的物体。同样,基于面元的三维实体模拟方法中,模型不同部分之间的热交换计算较为复杂,但只要方程合理,就能够计算出不同天气、环境下的温度。几何建模时需要大量的几何信息,只要信息准确就能得到较为准确的几何形体,另外许多专业的几何建模软件操作方便,是目前使用较多的方法。

1.2 背景模拟

有关背景的红外辐射研究在整个红外成像研究中起步较早。目前,国外对这方面的研究已达到相当深入的程度,如对红外云空动力学的理论计算和模拟,对云层辐射的大量实测和统计分析工作,以及对掠射角红外海天干扰的模拟研究。

对背景的模拟是比较复杂的,一方面,不同背景具有不同的几何外形,另一方面,其红外特性也较复杂。有一种背景模拟方法与目标模拟方法相似,即利用数字地图数据和相关的计算机技术建模,然后计算背景的温度和辐射亮度分布,最后生成背景的零视距离辐射图。目前国外许多红外场景仿真工程中采用这种方法^[8]。另一种背景模拟方法是采用数字图像处理技术对实际拍摄的红外图像进行处理,去除大气作用效果和探测器效果,反推零视距离辐射图^[9]。

背景建模方法能生成各种条件下的背景,适应性强,但工作量大,而且图像相对粗糙,真实度还有待验证。图像处理方法工作量相对较少,而且获得的图像逼真度高,缺点是背景图像为一定条件下的图像,与目标合成时很难严格保证处于同样条件下,这种方法通常在条件要求不严格时采用。

1.3 大气作用效果模拟

当目标距离较远时,红外辐射在到达红外系统的光学系统之前,要经过大气中气体分子的吸收,大气中的分子、气溶胶、微粒的散射及云、雾、雨、雪等的衰减,所以,对目标及背景模拟时要考虑到这些因素并加以修正。国内有些文献报道了通过理论计算的方法得出了大气在某种特定波段的透过率^[10],但是这种方法考虑的大气因素毕竟是有限的,所以难以保证足够的精度。

目前国内外主要采用大气传输软件(LOWT-

RAN、MODTRAN、SHARC)进行计算修正,这些大气传输模型都具有较高的精度。LOWTRAN 和 MODTRAN 主要适用于低、中频谱分辨率的大气, SHARC 适用于高空的大气,它们考虑了雾、能见度、气温、相对湿度、云层高度、地理经纬度、日期和一天中的时间等天气与环境因素,精确度、速度和分辨率非常高^[11]。

1.4 探测器作用效果模拟

在信号注入仿真方式中,场景信号绕开了红外导引头的探测器直接输入到图像处理器部分,而红外探测器是光电器件,辐射场景信号经过探测器的空间调制变换后,会产生非均匀性和噪声,因此对探测器作用效果的模拟也是景象生成中不可缺少的部分。

Karen J. Jefferson 讨论了探测器作用效果的模拟^[12],李桦等也对探测器的时空采样、非均匀性和各种噪声影响分别进行了讨论^[13],模拟方法都是对图像叠加噪声,认为噪声服从高斯分布,该方法在数量上是准确的,但光谱意义过于简单化。

1.5 红外图像的计算机生成

对红外图像的模拟是采用可见光图像模拟红外图像,图像的灰度值代表辐射亮度,因此需将计算出的辐射亮度值量化成灰度值,国内通常采用均匀量化的方法^[1],认为辐射亮度和灰度是线性关系,较为简单。

由于最终生成的是观测系统所看到的景象,因此对目标和背景分别进行模拟后,需要按照导引头视线方向将目标、背景合成为一完整的场景图像。目标和背景的合成主要采用计算机图像处理技术,如沈国土等采用将背景矩阵元素置零后与目标合成的方法获得红外景象^[14],沈同圣等将目标、背景置于同一场景中经过模型转换和视点转换生成红外图像^[7]。在生成一帧图像后,还要根据目标的运动特点、下一时刻的位置和状态等条件生成下一帧场景图像,循环往复,如果帧间的速度足够快(一般每秒 20~30 帧),帧间更新时人眼感觉不到闪烁,便可生成动态的红外场景图像。

2 动态红外景象产生技术

自 1979 年 Bly Cell 首次成功生成红外动态场景

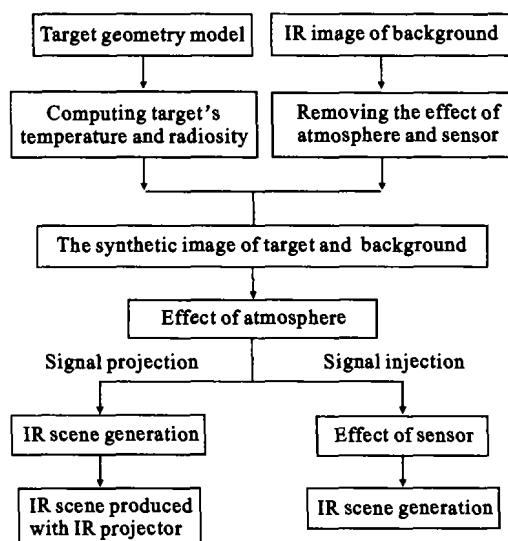


图 1 动态红外景象生成技术路线图

Fig. 1 Diagram of dynamic infrared image generation technology

以来,动态红外景象产生技术迅猛发展,研制出了大量的红外景象产生器件,如薄膜电阻、硅桥电阻、液晶光阀、激光式投影仪及红外磷投影仪等。从通常物理意义上讲,红外景象产生技术有五类^[15]:直接红外辐射产生技术、透射产生技术、反射产生技术、激光产生技术、红外磷产生技术,相应器件如表 1 所示。所有

表 1 红外景象产生技术及相应器件

Tab. 1 Infrared scene generation technologies and relevant instruments

Emissive	Thin film resistor Bridge resistor Suspended membrane resistor Infrared CRT Bly cell Thermoelectric
Transmissive	Infrared liquid crystal light valve Galvanic cell
Reflective	Deformable mirror devices Deformable membrane devices Vanadium dioxide spatial light modulator Frustrated total internal reflection
Laser	Laser scanner Laser diode array scanner
Phosphor	Infrared phosphor

的红外景象产生技术都要实现同一个目标:提供足够逼真度的动态红外投影辐射能量对红外导引头进行仿真,使导引头如同在真实环境下一样反应。通常,

对动态场景投影系统的具体要求是：

- (1) 投影仪必须保证指定视场的红外辐射充满整个测试单元入瞳处；
- (2) 投射的辐射光是时、空间不相干的；
- (3) 投射的辐射光是非偏振的；
- (4) 红外投影仪的响应速度要足够快，以使测试单元在红外投影场景下的反应与在实际外场环境下的反应基本相同；
- (5) 红外投影仪在产生红外场景辐射时生成的闪烁、混淆现象、固定模式噪声等必须衰减到足够低的级别。

此外，对红外投影仪还有几项基本的要求，如温度范围、时间分辨率、空间分辨率、动态范围和帧速等，它们在不同的仿真系统中也不同。

目前红外景象投影系统主要采用电阻阵列，红外液晶光阀也很出色，但在性能上不及悬浮薄膜电阻，反射式产生技术和磷/CRT 技术也没有达到预期希望，被认为最具有发展潜力和前沿的技术是悬浮电阻阵列和激光二极管阵列。

悬浮电阻阵列主要是由美国的 Honeywell 公司和英国的 B. Ae 公司研制的，它们相应推出了一些动态景象投影产品。悬浮薄膜电阻阵列的优点是高占空比和低热量聚集，相对于薄膜电阻和硅桥电阻，其能量要求低；可以根据要求在 30~200 Hz 帧频范围内调整设备速度；能够获得较高的模拟温度和较宽波段范围的高辐射能；帧间的闪烁少，阵列的不均匀和死像素数都满足要求。与薄膜和硅桥电阻相比，悬浮薄膜电阻的各项性能具有很大的优势，目前基于悬浮电阻阵列的投影仪已经成功应用于仿真中，如 B. Ae 公司研制的 TP5S 和 TP5L^[16]，以及加拿大 Santa Barbara infrared 公司研制的 MIRAGE 系列^[17]。

激光二极管阵列是从 1993 年发展起来的二维动态景象生成器，其最大的优点是可以获得高达 2 kHz 的高帧频，能够提供其他所有产生器不能实现的高帧频，且能够满足闭环硬件测试系统中最高帧频的要求；另外，激光二极管阵列没有死像元，还可以发展大的阵列，如 1024 × 1024；其最大模拟温度可大于 290 C。相对于发射式电阻阵列，固定噪声影响而造

成的场景不一致性容易纠正，激光二极管阵列提供了替代悬浮电阻阵列技术的可行方法。基于不同波长的激光源组合的动态红外投影仪是由 AURA SYSTEM 设计的，安装于美国 Eglin 空军军事基地的动力能量武器系统硬件闭环仿真实验室，美国光学公司也已经设计了一种激光二极管投影仪，用于中红外 HWIL 仿真^[15]。

对于红外景象生成技术，国内仅在研制电阻阵列方面有一些发展，已成功研制出了 64 × 64 硅桥电阻阵列，并生成了动态红外景象，目前正在研制更大规模高性能的悬浮薄膜电阻阵列^[18]。

3 分析与展望

动态红外景象仿真是一个重点研究课题，目前基本的红外景象计算机生成方法如上所述，其困难和重要环节在于几何模型的建立和温度分布的计算，基本要求是高逼真度和实时性。几何模型和温度计算关系到准确度和逼真度，逼真度越高需要的面元结构越多，这将带来更大的计算量，使实时性降低。目前可采用单元分割法、几何模型 LOD 技术、温度离线预计算以及内存管理技术等来解决两者的矛盾，这些方法值得关注。

测试单元（前视红外、红外搜索跟踪、导弹预警系统、导弹导引头）在角度、时间、光谱和辐射性方面的要求是多样的，因此，期望对一种投影仪进行简单的配置就能支持所有可能的测试单元是不切实际的。投影仪需能以与测试单元视场帧频相适应的速度更新和定位场景。但就器件的通用性来说，所有的动态红外景象产生器都应向低功耗、大动态范围、大温度范围、高帧频、高分辨率、高占空比、无闪烁和良好的均匀性方向发展。可以预见，这些要求都将逐步实现。

未来的动态红外景象生成将会随着计算机技术、图像处理技术、微电子技术以及红外技术的发展，向着多波段、高逼真度及实时性强、动态一致性好的方向发展。

参考文献:

- [1] 沈同圣,严和平,周晓东.海洋作战环境动态红外图像的计算机仿真[J].红外与激光工程,1998,27(4):9-13.
- [2] James A Buford Jr, David E King, Mark Bowden. Low cost real-time infrared scene generation for image projection and signal injection[A]. SPIE[C], 1998,3368, 290-299.
- [3] Onda D Simmons, Stephen E Jacobs, Robert J Makar, et al. Advancements in real-time IR/EO scene generation utilizing the Silicon Graphics Onyx2[R]. ADA378045, 2000.
- [4] Jonathan Michel, Nandhakumar N. Unified 3D models for multi-sensor image synthesis[J]. Graphical Models and Image Processing, 1995,57(4):283-302.
- [5] Hyun-Ki Hong, Sung-Hyun Han, Gyoung-Pyo Hong, et al. Simulation of reticle seekers using the generated thermal images [A]. IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems [C], 1996, 183-186.
- [6] 朱文勇,高景,周刚慧,等.舰船红外成像模拟[J].红外与毫米波学报,1998,17(2):129-133.
- [7] 沈同圣,熊璋,王学伟,等.红外警戒系统视景仿真[J].红外技术,2000,22(6):12-16.
- [8] Tom Joyner, Keem Thiem, Richard Robinson, et al. Joint navy and air force infrared stimulator (IRSS) program installed sys-
- tems test facilities (ISTFs)[A]. SPIE[C], 1999, 3697, 11-22.
- [9] 王光银,吕进,吴振武.热红外图象的计算机模拟[J].红外技术,1998,20(5):15-19.
- [10] 彭德权,周成平,丁明跃.海空背景长波红外大气透过率的仿真计算方法[J].红外与激光工程,2001,30(2):112-117.
- [11] Duff J W, Gruninger J H, Sundberg R L, et al. Development of atmospheric infrared emission models. AFRL-VS-HA-TR-98-0002[R]. ADA346253, 1998.
- [12] Karen J Jefferson, Richard D Wickstrom. Simulation of a fast framing staring sensor[A]. SPIE[C], 1998, 3377, 22-30.
- [13] 李桦,汤心溢,施家明.红外动态景像仿真中探测器效应的研究[J].量子电子学报,2001,18(增):19-26.
- [14] 沈国土,杨宝成,蔡继光,等.海面船目标红外图像的计算机模拟[J].红外与毫米波学报,2002,21(1):14-18.
- [15] Owen M Williams. Dynamic infrared scene projection:a review [J]. Infrared Physics & Technology, 1998, 39(7):473-486.
- [16] Pritchard A P, Balmond M D, Lake S P, et al. Design and fabrication progress in B. Ae's high-complexity resistor array IR scene projector devices[A]. SPIE[C], 1998, 3368.
- [17] Steve McHugh, Jon Warner, Mike Pollack, et al. MIRAGE Dynamic IR scene projector overview and status[A]. SPIE[C], 1999, 3697.
- [18] 李守荣,梁平治.动态红外景象产生技术[J].红外与激光工程,2001,30(3):184-189.

(上接第 422 页)

者的中心强度分布有较大的差别。同时,实验结果使理论分析得到了有利的证明。因而在大多数使用角锥棱镜的场合中,必须对角锥棱镜进行镀膜处理,改变出射光的偏振态,提高中心亮斑的强度以满足使用要求。本文对角锥棱镜在激光通讯、激光测距、激光器的设计制造等应用具有一定的理论指导意义。

参考文献:

- [1] 刘海宁,李真.角锥棱镜的偏振效应[J].激光杂志,2000,21(1):15-16.
- [2] 王春海,吉贵军,胡小唐,等.角锥棱镜的偏振效应[J].光学学报,1993,13(6):540-545.
- [3] 聂辉,翁兴涛,李松,等.角锥棱镜的远场衍射特性[J].光学学报,2003,23(12):1470-1474.
- [4] 梁铨廷.物理光学[M].北京:机械工业出版社,1980, 34-35.
- [5] 徐怀方.玻璃角锥棱镜的偏振特性[J].中国激光,1986,13(4):233-236.
- [6] 吕乃光.傅里叶光学[M].武汉:机械工业出版社,1987, 61-65.

- [1] 刘海宁,李真.角锥棱镜的偏振效应[J].激光杂志,2000,21(1):