

实时数字场景仿真系统研究与实现*

张志勇, 卢焕章, 郭天天, 肖山竹

(国防科技大学 ATR 重点实验室, 湖南长沙 410073)

摘要: 开发在实验室里测试导引头信息处理机的实时数字场景仿真系统已经成为了图像制导武器发展的迫切需要。介绍了一个由高性能 PC 机和 PCI 插卡构成的实时场景仿真系统, 描述了该系统的工作流程和系统结构, 以及软件和硬件等主要组件的工作原理和实现方法, 试验结果表明系统能够满足实际应用的需要。

关键词: 场景仿真系统; 实时; 闭环测试

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

The Research and Implementation of Real-time Digital Scene Simulator System

ZHANG Zhi-yong, LU Huan-zhang, GUO Tian-tian, Xiao Shan-zhu

(ATR Lab, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: With the advances in image-guided weapons, it is quite necessary to develop a real-time digital scene simulator system that can test in laboratory the guiding information processing machine. A real-time digital scene simulator system, composed of a high performance PC machine and a PCI card, is introduced in this paper. Especially, the work flow and structure of the simulator system, together with the principles and implementing methods of the system software and hardware, are described in detail. Finally, the experimental results indicate that the system can meet the requirements of practical applications.

Key words: scene simulator system; real-time; test in the closed loop

现代战争, 特别是高技术条件下的局部战争越来越依靠高科技武器, 尤其是精确制导武器。目前图像制导技术已经成为精确制导研究的主要发展方向。而图像制导武器的核心部件是导引头信息处理机, 它的主要功能是通过传感器传送来的序列图像的分析计算, 对真实攻击目标进行跟踪、识别, 并协助弹上计算机进行姿态调整, 选择攻击点。导引头信息处理机算法的好坏直接影响了精确制导武器的精确度。必须拥有测试和评估导引头信息处理机算法性能的手段。

测试导引头信息处理机最为准确的方式就是在实际作战环境中获取空间目标和场景的图像信息, 然后进行跟踪识别测试, 但是这样做必须耗费大量的人力和财力, 而且实际作战环境是不断变化的, 不可能对所有的作战环境都进行测试。一般在真实的飞行试验前后, 都需要在实验室环境中进行仿真, 模拟产生各种真实作战场景图像序列, 对导引头的性能进行定量和定性的分析测试, 全面考核信息处理机各方面的指标。典型的场景仿真系统流程如图 1 所示。

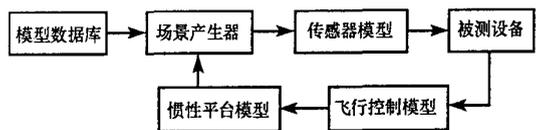


图 1 典型场景仿真系统流程图

Fig. 1 Flowchart of scene simulator system

* 收稿日期: 2005-03-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(863-409)

作者简介: 张志勇(1976—), 男, 博士生。

1 系统设计关键技术分析

1.1 应用环境的多样性要求

一般被测试设备的应用环境都有其特殊的要求,主要表现在:除了场景序列中目标和背景存在不确定性外,对传感器模型的帧频率、图像尺寸、光谱响应波长、帧扫描方式、动态范围、输出信号量化等级等参数都存在不同的具体要求。而且即使测试同一类型的设备,这些参数之间也可能存在差异。

因此在进行系统设计时应该充分考虑应用环境的多样性要求。首先,场景仿真器要能够仿真多种复杂的场景,场景可能由不同的运动目标(例如空间飞行器)、背景和噪声组成;第二,仿真器要能够模拟多种被测设备探测器的光学、物理学以及扫描模型。用户能够通过用户图形界面灵活地设置场景的属性,以符合特定应用任务的要求。最后,仿真器应该能够向被测设备发送与对应探测器一致的数据流,以便于对被测设备进行信息处理,符合真实的作战需要。

1.2 场景生成模式

场景产生器是仿真系统的核心,如何实时、准确、可靠地产生与探测器视场相符的序列图像是仿真系统的关键。

在场景生成领域,一般可将场景生成技术分为两类:动态模式和电影回放模式。动态模式是指在闭环系统下,场景产生器根据探测器视场的变化,实时提供相应的场景图像。因此场景产生器的每一帧图像景象都要同步地实时计算,以便与探测系统对投影图像的反应相一致。在这种模式中,生成每一帧图像时的计算量都很大,要做到实时就要求场景产生器的计算速度相当快。目前使用动态模式产生图像的仿真系统几乎都由图形工作站、控制计算机、定制的场景产生器、多个定制的 DSP 处理单元,通过 VME 总线连接成网络,通过协作流水线来模拟仿真。这些系统仿真精度高、实时性强,能够应用于多种实际作战场景模拟,当然系统的成本也需要数百万美元以上。电影回放模式是在仿真运行前,非实时地计算出一系列 2 维图像,然后再以电影回放的方式将这些图像序列显示给被测系统,在这种模式中,被测系统不能够与场景产生系统交互,不能像动态模式中那样随机变化,只能按照预定轨迹动态变化。采用电影回放模式的仿真系统由于使用预处理的方式非实时地提前产生序列图像,相对来说,系统计算量小,系统性能要求不高,成本低。但是由于不能与被测设备进行实时交互,不能为被测系统提供更真实的测试方法。

本项目的应用背景是深空背景。一般可以认为深空背景为真空环境,没有大气传输衰减。并且深空背景下,除了目标(这里指的目标既包括需要探测识别的目标,又包括诱饵等干扰目标),就是具有一定亮度等级的恒星,相对来说,背景比较干净。因此在本系统设计时,将综合动态模式和电影模式的特点,采用带预处理的动态模式来实时产生图像场景。采用这种模式,仿真器既可以与被测设备实时交互产生动态场景图像序列,又可以使用电影模式来播放已经预处理生成的场景。

1.3 仿真系统与被测设备的接口设计

仿真系统和被测试设备如何交互也是需要重点考虑的关键因素。这些接口包括数字图像数据的高速总线、帧同步信号、离散的反馈信号(例如控制信号)、传感器视线数据(模拟控制伺服电动机转动的数据)和平台运动信息。大部分情况来看,仿真方法或者被测设备的特性会决定渲染系统场景输出的空间、光谱和时间特性。

2 系统工作流程

在动态场景仿真过程中,需要用到多种模型数据来共同组成场景模型。这些模型数据包括:目标(需要识别的目标以及诱饵等伴飞物体)的几何模型、不同类型的背景模型、目标表面材料特性模型(如发射率、吸收率以及其它一些热特性模型)、环境模型(如场景中可能出现的光源、辐射源的强度和位置)、目标的运动特性模型、目标的纹理模型、探测器的扫描模型、噪声模型等。在系统中,采用预处理的方式来生成这些模型数据。其中预处理的方式包括对实测数据的分析提取、计算机仿真建模、理论加实

践相结合等多种形式。这些生成的模型数据将存储在相应的数据库中,以便仿真时快速调用。目前,本实验室在以前的工作基础上,已经建立包含多种光谱的模型数据库,并且模型数据库可以通过系统的模型生成子系统进行扩充和完善。

上述这些模型数据又可分成两大类。一类是静态类型,另一类是动态类型。它们的划分标准是在仿真过程中模型的具体属性是否会随着探测器视场的改变而随时间发生变化。静态类型和动态类型的划分不是绝对而是相对的。在某个具体的应用中,被划分成静态类型的模型,可能在另外的应用任务中被划分成动态类型。将模型划分成动态类型和静态类型的最大好处是仿真系统应用到某个具体的任务环境时,静态类型的模型在初始配置阶段就能被明确地进行设置,在以后的仿真过程中不需要修改。而动态模型的某些属性需要在程序中随着时间,或者说随着每帧场景的生成动态修改,以符合特定任务场合的需要。通过对模型分类,就能够清楚地知道哪些参数在仿真过程中具有可变性,同时有助于对空间目标特性进行分析时,能够有的放矢地进行研究。

对于某次具体仿真任务,在仿真前就能够明确获取本次仿真的应用环境、目标属性、探测器的参数指标。其中应用环境包括可能影响场景生成的物件要件,如本次仿真的时间、探测器初始化的具体地理位置坐标、太阳和月球的位置、恒星的空间分布和亮度等级等;目标属性包括目标的几何模型、运动模型、材质模型、辐射模型等;探测器的参数包括传感器的视场大小、传感器象素尺寸、帧频率、场景输出的空间、光谱和时间特性等。

通过对具体仿真任务进行分析后,将在仿真系统的脚本设计子系统中设计本次仿真的脚本文件。仿真脚本文件采用 XML 的文件格式。XML 是一种可扩展标记语言,用于描述数据集内容以及应如何将数据输出到设备上或如何在 Web 页上显示数据。由于 XML 具有良好的扩展性和结构化特点,日益成为一种重要数据交换语言。在脚本语言中将定义在仿真中使用到的模型元素和属性。在脚本文件中不仅能够反映出模型元素的类型,同时也包含了模型之间的联系。比如几何模型的每一个面元,都使用代表其物理特性参数的特征编码所表示,通过特征码就可获得相应材料的热特性和光学特性等参数,为随后进行的温度及辐射特性计算做准备。生成仿真脚本的过程,同时也是完成系统的初始配置的过程。

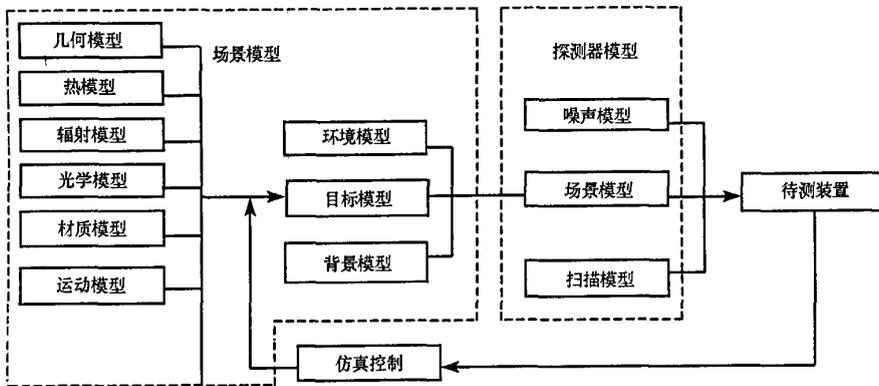


图2 动态场景仿真框架

Fig.2 Framework of dynamic scene simulation

完成仿真脚本后,开始执行仿真任务。从仿真开始直到图像数据流输出到被测装置的信息处理机的仿真过程又分成两个阶段,一个是场景模型生成阶段,另一个是探测器模型生成阶段。动态场景仿真框架如图2所示。

系统根据仿真脚本的内容,自主调用对应的静态和动态模型,产生符合仿真要求的三维目标模型。三维目标模型、背景模型和环境模型将共同组合成三维的场景模型。系统中采用 OpenGL 三维图形库作为三维物体的产生、合成和显示平台。系统对合成的三维模型场景采用投影变换、视口变换等图形变换技巧,最后形成场景的二维灰度图像。

这时产生的二维场景图像并没有真实地体现出探测器的传感器特性。探测器的传感器一般是由对

某个波长敏感的光学感应传感器阵列组成。在传感器阵列视场内所感应到光学特性经过光电转换后,最终形成了被测装置信号处理器能够处理的光学图像。在形成光学图像的过程中,探测器的电子运动噪声及传感器固有的饱和等现象,也会在光学图像中体现,这也是系统生成探测器模型的依据。场景的二维灰度图像与探测器的噪声模型、扫描模型等进行合成叠加后,最后形成具有探测器模型性质的二维灰度场景,通过数据总线输出到被测装置的信号处理器存储单元中。

被测装置对某帧图像处理后,往往会产生修正空间飞行器惯性平台或者调整探测器惯性坐标的指令。无论产生哪种指令,都会导致探测器视场发生变化,这也正是“动态”仿真的原因。系统的仿真控制模块将对被测设备发出的修正指令进行解释,并对场景的动态模型进行实时的修正。这样生成的场景就能够实时地反映出被测装置的探测器视场所看到的真实内容,满足实时仿真的要求。

3 系统结构

深空背景下实时场景仿真系统的设计方案确定为“带三维图形加速卡的 PC 机 + PCI 插卡”的系统结构,如图 3 所示。

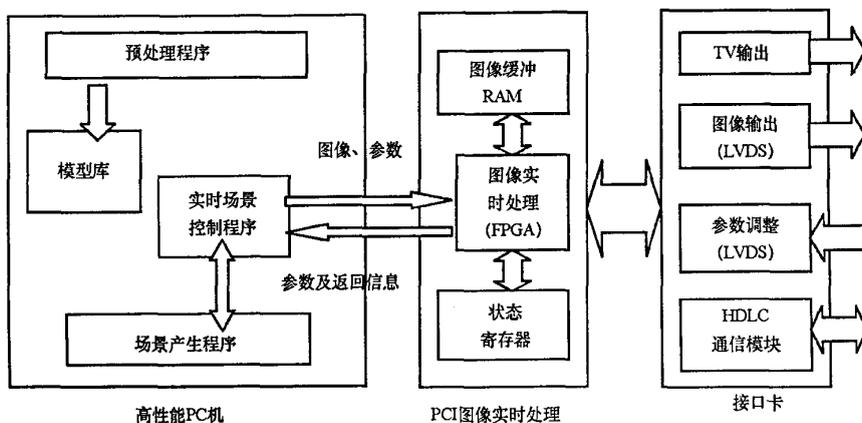


图 3 场景产生器系统结构示意图

Fig.3 Illustration of the structure of the scene generating system

场景仿真系统的硬件部分主要由 PC 机、三维图形加速卡和 PCI 扩展卡组成。PC 机方面,选用了高性能的 Intel P4 3.0 GHz 处理器,512M 内存,使 PC 机的数据处理能力和存储能力高于系统的需求。系统以高性能 PC 机为核心,主要完成对各种模型数据的预处理和模型数据库的管理、读取通信端口的数据并动态修改动态模型的属性、实时产生和发送场景二维灰度图像序列、管理和控制 PCI 插卡上参数配置;三维图形加速卡具有单独的 CPU 执行三维图形加速,能够将 OpenGL 图形函数以硬件的方式实现,即从硬件上实现了模型建立、空间变换、光照材质、纹理映射及反走样、融合等场景的渲染和润色,不仅加强了场景的效果,而且还大大提高了处理速度;基于 FPGA 的 PCI 扩展卡是 PC 机的协处理单元、数据输出通道和通信通道。PCI 扩展卡又包括两块卡:图像实时处理卡和接口卡。图像实时处理卡主要实现以下功能:(1)对 PC 机输出的图像序列进行实时调整,使图像平移、旋转;(2)对 PC 机发送来的场景二维灰度图像与探测器的噪声模型、扫描模型进行叠加,最终形成具有探测器模型的二维场景图像,并将其发送到接口卡中。探测器模型主要包括非均匀性、噪声、暗偏置调整、增益调整等属性。前面的这两个功能由 FPGA 来实现,FPGA 的内部实现框图如图 4 所示;(3)从接口卡接收被测装置发出的修正指令,并将其传递到 PC 机的仿真控制模块中;接口卡则是将图像实时处理卡产生的二维灰度图像转化成 LVDS 电平和监测用的电视信号,同时实现与被测设备和图像实时处理卡的通信。

4 系统实现与性能分析

目前,根据上述的系统工作流程和系统结构,已经完成了深空背景下实时仿真系统软件和硬件的研

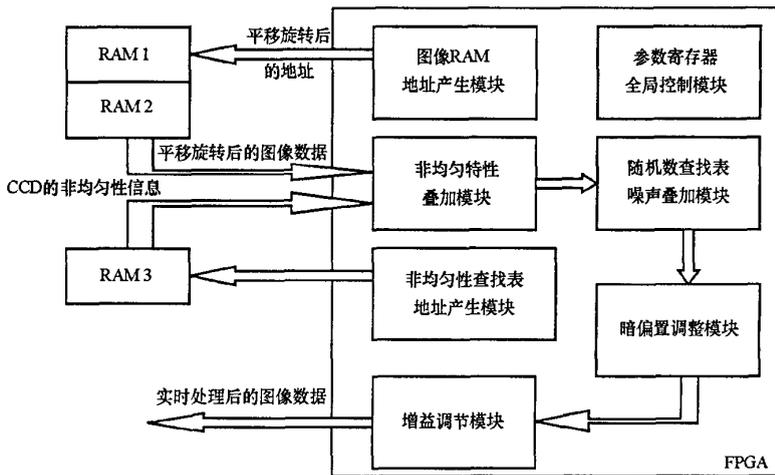


图4 FPGA实时处理单元的内部功能框图

Fig.4 Illustration of the structure of the FPGA real-time processing unit

制,并对系统的整体性能进行了全面的测试,系统完全符合表1的指标,达到了设计要求。并且由于在设计时,充分考虑到了应用环境的多样性要求,系统具有较强的适应性,能够用于多个波段的光学被测装置的仿真,能够适用于多种复杂场景的仿真,具有较强扩展性。

表1 系统测试结果

Tab.1 Result of system test

参数指标	测试结果
图像尺寸	640 × 640 以下
扫描方式	帧转移
帧频	300 帧/s 以下
帧转移时间	1ms
输出信号量化等级	10 ~ 16 比特/像素
CCD 增益控制范围	1、1/2、1/4(切换时间 < 1ms)
CCD 积分时间范围	1 ~ 10ms 可控

5 结束语

对实时数字仿真系统进行了研究,并最终实现了该系统。该系统具有图像输出帧频高、参数修改方便、图像输出格式灵活和图像内容可控、成本低等优点,已经被广泛地应用于一些图像导引头信息处理系统的设计和性能测试。下一步,将在本系统基础上继续开发多波段融合的场景仿真器系统,并进一步扩充和完善模型数据库。

参考文献:

- [1] Palmer T A, King D E. Low Cost Real-Time IR Scene Generator for Image Projection and Signal Injection[A]. SPIE Proceedings, 2741, 1996.
- [2] Olson E M, Garbo D L, Crow D R, et al. Rendering Energy Conservative Scenes in Real Time[A]. SPIE Proceedings, 3804, 1997.
- [3] Dimarco J S, Kemper P J, Pringle L N. Closed Loop Guidance of Image Infrared Missiles Seekers[J]. Part of the SPIE Conference on Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing Vol. 3701.
- [4] Simmons O D, Jacobs S E. Advancements in Real-Time IR/EO Scene Generation Utilizing the Silicon Graphics@ Onyx2[A]. In Technologies for Synthetic Environment: Hardware-in-the-Loop Test V, Proceeding of SPIE Vol. 4207(2000).
- [5] Toyner T, Thiem K, Makar R R, et al. Joint Navy and Air Force Infrared Sensor Stimulator (IRSS) Program Installed Systems Test Facilities (ISTF) [J]. Technologies for Synthetic Environment: Hardware-in-the-Loop Testing IV, Proceeding of SPIE Vol. 3697, 1999: 11 - 22.
- [6] Duda R, Hart P. Pattern Classification and Scene Analysis [M]. John Wiley & Sons Inc, New York, 1973.

