

战区导弹防御系统 (TMD) 的红外 成像半实物仿真

张 盈

(中国航天科工集团第二研究院北京仿真中心, 北京, 100854)

摘 要 随着各种高新技术的涌现和信息技术的不断发展, 以信息战和远程精确打击为特点的信息时代的军事革命已经开始了。创新的军事理论和先进的武器系统不断涌现、形成和完善。美国的国家导弹防御系统 (NMD) 和战区导弹防御系统 (TMD) 一直倍受关注。本文分析了用于战区导弹防御系统 TMD 和高空威胁导弹防御系统 (THAAD) 的红外成像半实物仿真系统的构成、仿真实验的方法和步骤及其关键部件。

1 概述

近年来美国国防部和各个军方机构对模拟和仿真越来越重视。美国陆军导弹司令部 (AMCOM) 的导弹研制发展工程中心 (MRDEC) 对仿真颇有研究, 特别是针对战区导弹防御武器系统 (TMD) 的各种仿真, 并在半实物仿真方面具有领先优势。在过去的十年中, 美国导弹研制发展工程中心已成功研制了用于 TMD 仿真的、针对红外或雷达导引头的半实物仿真设施。本文主要介绍了用于 TMD 和高空威胁导弹防御系统 (THAAD) 的红外成像半实物仿真系统及其关键部件。

众所周知, 随着目前的 TMD 武器系统的复杂性和扩展能力的增加, 飞行实验的花费也越来越贵。因此, 仿真的重要性和作用不断加强。TMD 的半实物仿真提供了一套很经济的高可行性非破坏性实验手段。在导弹研制发展工程中心, TMD 半实物仿真系统的作用是为项目决策办公室和主要承包商提供一套高精度、高置信度校核验证仿真和测试工具。

2 TMD 的仿真原理和技术途径

TMD 分为两部分: 导弹和系统 (主要指运载工具、雷达等)。美国导弹研制发展工程中心

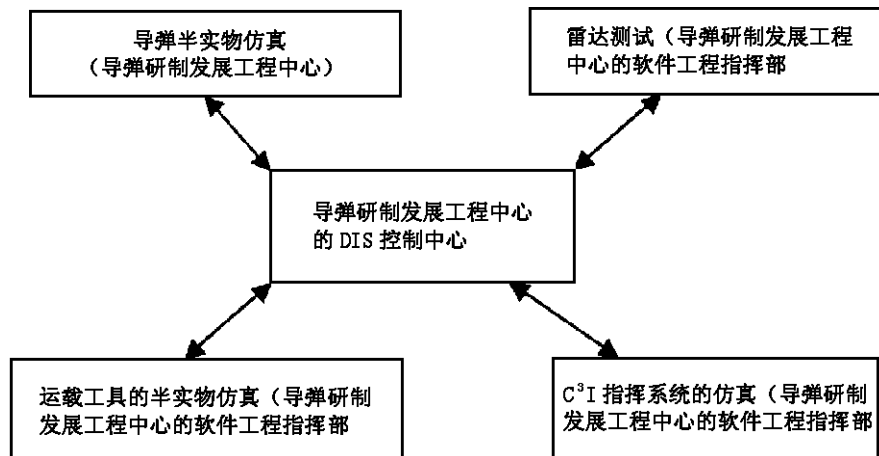


图 1 TMD 的半实物仿真设施

提供了导弹和系统的半实物仿真设施,如图 1 所示。

针对 TMD 的红外成像半实物仿真主要分为四个阶段:

(1) 实时、闭环全数学仿真;

(2) 实时、闭环信号注入式(注入弹上机)半实物仿真;

(3) 带有红外视景生成器和投影器的导引头参试(弹上机不参试)的实时开环半实物仿真;

(4) 带有红外视景生成器和投影器的导引头和弹上机都参试的实时闭环半实物仿真。这四个阶段的原理方框图如图 2 所示。

2.1 激光二极管阵列投影机

激光二极管阵列投影机是由美国的光学科技公司研制的。该公司对激光二极管阵列投影机

的研制是从 1993 年开始的,1995 年交付给军方。1997 年该公司研制出了三种不同结构的激光二极管阵列投影机,这些投影机被分别用在了美国空军导弹司令部的三套闭环仿真实验系统中。以后该公司又首次研制成功了第一个长波红外投影机,并将其投入了使用。

激光二极管阵列投影机能支持不同结构的导引头仿真实验。参试导引头结构包括:256×256 InSb 焦平面阵列、512×512 InSb 焦平面阵列、640×480 PtSi 焦平面阵列、256×256 PtSi 焦平面阵列、非致冷的微辐射计焦平面阵列等。激光二极管阵列投影机的分辨率可达到 544×544 或 672×512。投影器的视场是可变的,可以在 0.25ms 内完成变化。投影器的软件系统使用很

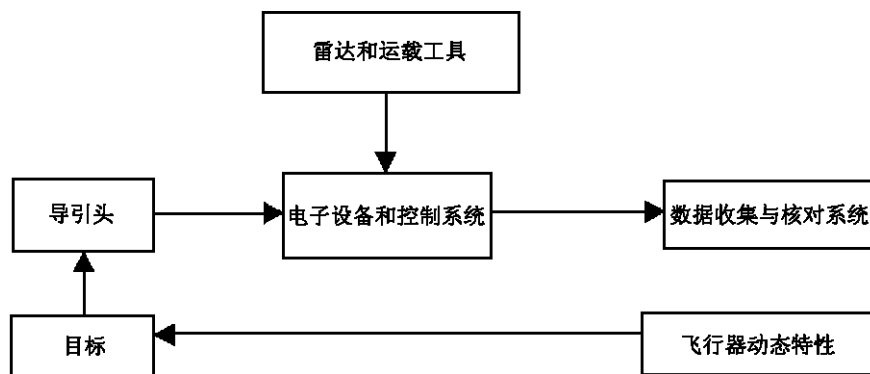


图 2(a) 实时闭环全数学仿真

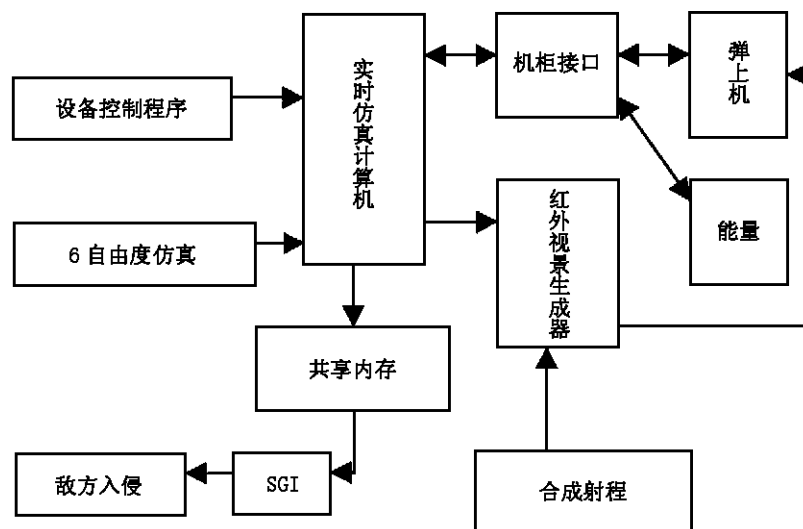


图 2(b) 实时闭环注入式半实物仿真

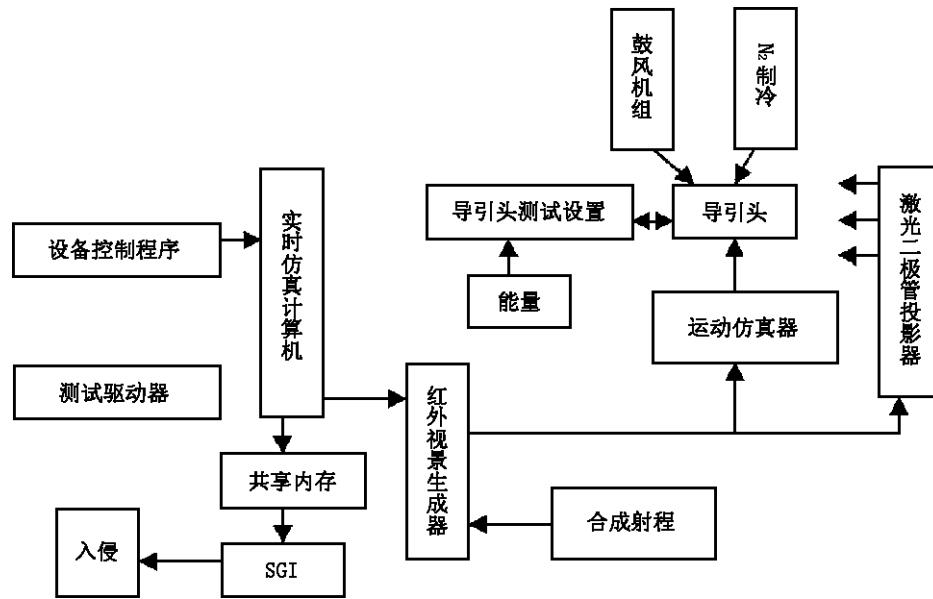


图 2(c) 实时开环半实物仿真

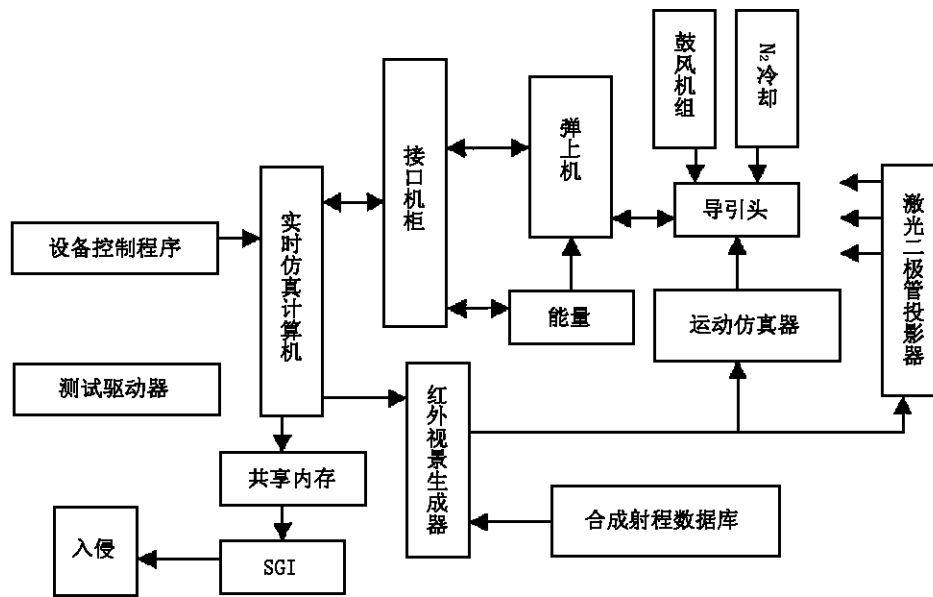


图 2(d) 实时闭环半实物仿真

方便，只要用鼠标轻轻一点，即可实现启动、标定、图像显示、图像跟踪和数据分析。表 1 是三种激光阵列的性能指标。

2.1.1 激光二极管阵列投影器的原理和组成

美国的光学科技公司为美国空军导弹司令部 (AMCOM) 导弹研制工程中心 (MRDEC) 研制的激光二极管阵列投影器的组成原理如图 3 所示。

激光二极管阵列投影器包括定制的铅盐激

光二极管阵列、光学扫描系统和驱动电路。主要用于测试红外焦平面传感器，经调整也可用于测试任何能积分的传感器。阵列的每个激光二极管的输出强度被调制好，并与光学扫描系统同步配合，从而在参试导引头的视场内产生二维动态图像。投影器采用推扫式隔行扫描，扫描因子为 N:1，其中 N 可设置为 2、4、8、16 等任何想要的值。要想提高扫描方向的分辨

表 1 LDAP

性能指标	LDAP1	LDAP2A	LDAP2B	LDAP3
空间分辨率	256×256 或 544×544	544×544	672×512	672×512 或 544×544
激光二极管	68	68	64	68
视场	变焦视场	双视场 9° 和 2°	双视场 12 × 9° 和 6 × 4.5°	分为宽窄两种
辐射波长	4.6μm	4.7μm	4.7μm	8.5μm
场频	16kHz	16kHz	16kHz	4.8kHz 或 16kHz
帧频	4kHz	2kHz	2kHz	600Hz 或 2kHz
最大表面温度		约为 525K		370K 或 650K
备注		用于测试 512×512 InSb 导引头	测试 640×480PtSi 导引头	测试 HgCdTe 焦平面导引头 或微辐射计探 测元的焦平面

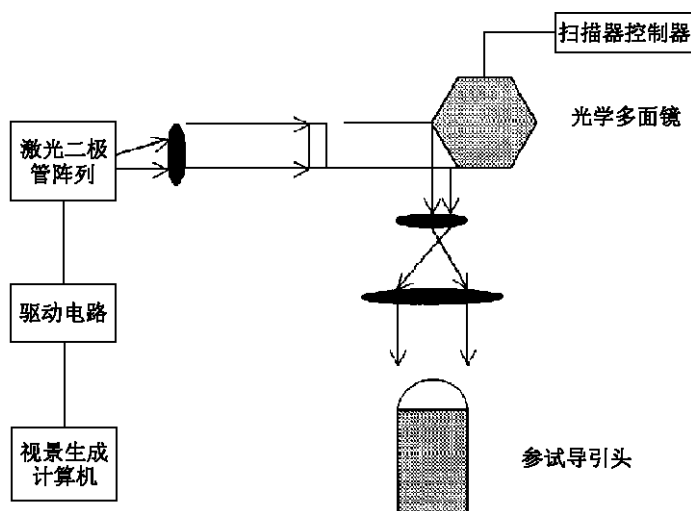


图 3 激光二极管阵列投影器的组成原理

率，就需要提高激光更新率从而增加投射到扫描方向的像素数。要想提高垂直于扫描方向的分辨率，就要增加激光二极管的数量或提高隔行扫描因子。光学多面镜的改进可提高扫描因子。同时，光学系统的分辨率也要提高到与阵列相等或高于阵列的分辨率。

增加分辨率需要降低帧频、提高激光更新率。为了获得相同的最大仿真温度，光学多面体各个面的大小和直径必须保持一致。光学多面体的扫描速度是不变的（除非更改多面体的大小和直径），因此当隔行扫描因子提高一倍后，有效帧频便降低了二分之一（例如，帧频从 4kHz 降低至 2kHz）。尽管如此，激光阵列的帧频仍

然比其他技术高。2kHz 的帧频能支持积分时间为 0.5ms 的导引头的仿真。还可以通过 DA 转换器的速度来增加扫描方向的分辨率，DA 转换器的速度可达到 10MHz。

这套系统的控制软件是在 WINDOWS 95 平台下用 C++ 编写的，有良好的界面，只需用鼠标轻点，即可完成各项操作。

2.1.2 同步

对于扫描系统，投影器与被测导引头同步是很重要的。这样才能保证被测导引头的焦平面阵列的每个探测元在积分时间内被访问相同的次数。在进行标定时，采用 256×256 的 InSb 焦平面探测器。光学多面体扫描器不要求与探测

器同步, 它的频率也不十分重要, 在焦平面探测器的最短积分时间内完成一帧的扫描即可。

2.1.3 双视场

在美国空军导弹基地进行测试的某种导引头具有变焦双视场, 导引头有两套不同焦距光学系统, 并能高速转换。为此, 激光二极管阵列系统的光学系统采用了两套焦距不同的准直物镜, 放置在能快速转换的平台上, 其转换速度为 0.25s, 是导引头转换速度的 2 倍。

2.1.4 长波红外投影器

1998 年研制的长波红外投影器是用在两种红外导引头的仿真上的, 其中一种采用 HgCdTe 焦平面探测器, 一种采用微辐射计探测元的焦平面探测器。采用微辐射计探测元的探测器的工作方式与常用的 InSb、HgCdTe 焦平面探测器不同。InSb、HgCdTe 焦平面探测器对光能积分、储存电荷, 直到电路读出。而对微辐射计探测元的焦平面探测器来说, 当大量光能辐射在微辐射计探测元上时, 它的温度随之上升, 因此改变了它的阻抗, 读出电路以焦平面探测器的帧速对辐射元的阻抗进行采样。投影器的帧速必须足够大以保证微辐射计探测元的温度是适当的, 同时还要保证激光寻址微辐射计探测元时由占空因子引起的波动不要太大。扫描器的频率设置为焦平面探测器的帧速的倍数, 并与投影器的高帧速相配合, 使生成的场景无闪烁。

采用微辐射计探测元的焦平面探测器的带宽比较宽。根据普朗克定律, 要仿真某个给定的温度, 需要更多的激光能量。这就需要提高光学系统的聚光能力。通过增加光学多面体的尺寸可达到目的, 因为光学多面体的反射面是系统的孔径光阑。但是多面体越大, 帧频越低。最后将帧频降至 30Hz。

2.2 实时场景生成器

在注入式仿真和红外成像半实物仿真时, 要用到实时、动态的 3D 场景生成器。SGI ONXY (RE2) 是生成实时场景的主平台。实时场景生成器还有一种被称做“电影放映”的工作模式,

即场景预先被录制好, 再回放给导弹。当然这种工作方式提供的并非真正的动态图像, 导弹将按预先设定好的路线飞行。美国空军和导弹司令部的导弹研制发展工程中心为高空威胁导弹防御系统 (THAAD) 的注入式仿真研制了专用接口。这种接口模拟了导引头光学系统、导引头噪声、探测器边缘效应和扫描效果, 使信号直接注入到信号处理电路中。

2.3 合成设定射程数据库

合成射程数据库在 TMD 的红外成像半实物仿真和所有数学仿真中作为威胁数据库的输入。合成设定射程数据库包括实际测试目标、物体、背景和大气效应的三维图像。用于高空威胁导弹防御系统 (THAAD) 典型的合成设定射程数据库是建立在已有的红外代码基础上的, 如光学曲线代码、导弹和空间技术智能中心的弹道导弹需求文件、合成场景生成模型等。

合成威胁图像模型包含用多边形绘制的几何表面和图像。结构的绘制和阴影可增加逼真度, 但同时也要增加处理时间。典型的威胁模型包含 500 至 2000 个多边形。红外成像半实物仿真的目标模型中多边形的数量要适当减少以保证实时运行。合成背景数据库有简单/复杂两种模式。简单模式只包含单色的或固定的背景噪声。复杂模式包括带有网格和光栅的动态图形。典型的合成射程数据库包含典型的战术目标、大气层和外层空间环境。模型还包含太阳闪烁、月亮、核爆炸等, 可根据实际需要添加。

2.4 实时接口系统

实时接口系统包括必需的数字接口电路, 从而控制软件从实时仿真计算机提供 I/O 输入输出到 TMD 红外成像半实物仿真的各个分系统。该系统提供了连接所有部件和分系统必需的 AD 转换和 DA 转换、传感线、离散控制、并行数据线。这套系统还为导弹的硬件和弹上机的通信提供了单独的通信接口。这套通信接口包括以太网和 VME/PC。

2.5 数据收集和分析

