

文章编号: 1672-8785(2011)07-0028-06

VV&A 在红外目标模拟器中的应用 及其逼真度评估

曲 原 田晓飞 马丽华 魏 新

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要: 将校核、验证与确认 (VV&A) 技术应用于红外目标模拟器系统, 并对红外目标模拟器的 VV&A 工作模式进行了研究。然后依据点源目标模拟器建立了指标体系, 并对该模拟系统进行了逼真度评估。计算结果表明, 该方法具有可行性, 可以灵活运用逼真度定义, 从而间接地对系统的可信度进行评估。

关键词: 红外目标模拟器; VV&A; 逼真度; 评估

中图分类号: TJ765.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.07.005

Application of VV&A in Infrared Target Simulator and Its Fidelity Evaluation

QU Yuan, TIAN Xiao-fei, MA Li-hua, WEI Xin

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077, China)

Abstract: The Verification, Validation and Accreditation (VV&A) technology is used in an infrared target simulator system and the VV&A operation mode of the infrared target simulator system is studied. Then, a property system is built according to a point target simulator. The fidelity of the simulator system is evaluated. The result shows that this method is feasible. It can use the fidelity definition flexibly and evaluate the credibility of the simulator indirectly.

Key words: infrared target simulator; VV&A; fidelity; evaluation

0 引言

利用校核、验证与确认 (Verification, Validation and Accreditation, VV&A) 技术可以促进仿真模型的测试评估工作, 并可大大提高仿真结果的可信度, 因此在建模仿真方面得到了广泛的应用和发展。美国 DoD5000.61 指令对 VV&A 给出如下定义: 校核是确定仿真系统是否准确体现开发者的概念描述和技术要求的过程; 验证是从仿真系统的应用目的出发, 继而确定仿真系统代表真实世界的准确程度的过程; 确认是官

方正式接受一个仿真系统从事专门应用服务的过程。随着红外制导武器的大量装备, 如何对其战斗性能进行评估已经成为重要的科研课题。在半实物仿真中, 利用红外目标模拟器系统对导引头性能进行测试, 可以减少外场试射次数, 从而高效开展红外制导导弹的评估工作。而作为红外制导半实物仿真系统的关键组成部分, 红外目标模拟器的性能达标与否会直接影响到仿真结果的可信度, 因此对其进行 VV&A 研究和逼真度评估具有重要意义。

收稿日期: 2011-04-30

作者简介: 曲原 (1990-), 男, 辽宁庄河人, 本科, 主要研究方向为光电对抗。E-mail: 1748125166@qq.com

1 红外制导半实物仿真系统与红外目标模拟器

1.1 红外制导半实物仿真系统

半实物仿真又称物理—数学仿真,其准确名称是硬件(实物)在回路中的仿真^[1]。在整个仿真系统中,存在数学模型和真实的或改变比例后的实物。与全数字仿真系统相比,该系统既避免了非线性部件引入的误差,又提高了真实性。

红外制导半实物仿真系统主要由仿真设备、参试实物、目标模拟器、接口设备、试验控制台和支持服务系统组成。参试实物是指红外导引头和制导控制系统。红外制导半实物仿真系统可以对导弹的各方面性能进行仿真与测试。各部分模型通过一定的接口设备实现互连,并与高性能计算机和试验控制台等部分相连。仿真过程中所生成的数据与文件可以被输入计算机,以便进行实时分析,同时计算机也可对系统进行实时控制。在整个仿真系统中,目标模拟器占据了重要地位。

1.2 红外目标模拟器

红外目标模拟器由光学系统、机械系统、电控系统和测控终端等部分组成。它是由光学系统模拟各类目标的红外辐射特性,同时由单片微机控制伺服机构模拟红外目标的运动特性,从而最终实现对真实目标的动态模拟的。

红外目标模拟器仿真模型的建立遵循以下 3 个原则^[2]:

(1) 在工作波段内,仿真目标与真实目标在导引头接收系统入瞳处的辐照度积分值应该相等;

(2) 仿真目标的红外像斑的轮廓尺寸及相应波段的辐照度应该与真实目标的相等;

(3) 仿真目标相对于导弹的空间运动特性应该与真实目标的相同。

2 VV&A 在红外目标模拟器仿真中的应用

由于整个红外制导武器仿真系统是一个比较复杂的系统,为其设计一个整体的 VV&A 模型非常困难,而且在 VV&A 结果出现异常情况时也很难指明原因和定位错误源^[3]。但是大型系统一般是由数个子系统组成的,因此可分别对其进行 VV&A 研究。由于目标模拟器系统是红外制导弹仿真模型的组成部分,可以把 VV&A 技术运用到这一子系统中,并对其进行评估。

2.1 VV&A 技术的意义与作用

由于 VV&A 技术是用于目标模拟器的可信度评估的,它必须贯穿于整个系统开发的全生命周期,其意义与作用主要体现在以下几个方面:

(1) 可以有效提高导弹系统的可信度,并增强人们使用目标模拟器的信心;

(2) 可以降低目标模拟器的使用风险,避开灾难性损失,从而缩短研制周期和提高导弹研发效率;

(3) 可以有效减少外场导弹试射与打靶试验的开支;

(4) 有利于对目标模拟器的工作过程进行全方位分析;

(5) 可以更有效地对红外制导半实物仿真系统进行全面质量管理与评估。

2.2 VV&A 的规范化

VV&A 活动的规范化是仿真系统评估发展的一个必然趋势,更是我国在 VV&A 方面追赶欧美先进水平的必然要求。VV&A 的规范化和标准化可大大提高建模与仿真效率,同时也便于仿真系统的资源管理,进而减少人力与财力资源的消耗。

VV&A 的规范化框架包括 VV&A 概念及相关术语规范、VV&A 工作模式规范、VV&A 技术方法规范以及 VV&A 文档资源管理规范等。对应用于红外目标模拟器的 VV&A 开展相应的规范化工作,可以为红外目标模拟器系统的生命周期提供重要保障,并为其可信度和逼真度评估提供重要依据。

3 红外目标模拟器 VV&A 的工作模式

VV&A 的过程模型一般包括需求定义、需求校核、VV&A 计划制定、概念模型验证、设计校核、仿真实现校核、仿真结果验证和系统确认等几部分^[4]。该工作模式的广泛适用性使其可运用于红外制导半实物仿真子系统,并可针对红外目标模拟器系统进行可信度评估。

3.1 需求定义

需求包括系统需求、用户需求和仿真需求,是红外目标模拟器详细功能描述和工作过程的体现。对红外目标模拟器需求的讨论主要是围绕能否逼真地模仿真实目标/干扰的红外辐射特性这个问题进行的。其中,系统需求是指红外目标模拟器能够真实地模仿目标的红外特性和运动特性等,并且能够很好地适配于整个制导仿真系统;用户需求对应于使用者希望其所能模仿目标的广泛性;仿真需求可以参照前面提到的目标模拟器仿真模型建立应该遵循的 3 个原则,同时还包括特殊功能的仿真需求。

3.2 需求校核

需求校核的任务是校核上述目标模拟器的需求分析,并确定需求是不是完整的、可实现的、可测试评估的以及是否存在矛盾和缺陷。

3.3 VV&A 计划制定

VV&A 计划包括 V&V 计划和确认计划两部分。V&V 计划用于拟定和目标模拟器校核及验证相关的所有活动。此时,应该按目标模拟器的系统组成将其划分为数个分系统,并分别对其实施 V&V 过程。计划确认则由专家、用户和权威机构等来确定并执行。

3.4 概念模型验证

概念模型验证就是确定概念模型中所体现的能力是否满足目标模拟器需求分析中的全部能力^[4]。该项工作包括验证需求在模型中的体现情况以及概念模型的合理性与可实现性等。

3.5 数学模型校核

数学模型校核要求对目标模拟器各分系统的数学模型进行校核,即检查模型是否严谨,并检验各分系统的设计是否可行,整个系统设计是否明确、完整,是否与概念模型的描述相一致。

该项工作具体包括需求映射校核、算法评估、接口适配性校核、时间与空间的同步性校核以及数据转换校核等^[4]。

3.6 模拟实现校核

该过程需要确定目标模拟器系统是否符合各方面的需求,各分系统是否符合相应的技术指标。这项具体工作包括需求校核、接口设备校核、软硬件映射校核和性能校核等。

3.7 模拟结果验证

仿真结果验证是整个 VV&A 工作中的最重要的内容。它将通过目标模拟器进行测试来检查其各分系统的技术指标,并作出相应的评估。具体验证工作可分为需求体现验证、各分系统动作验证、资源管理验证和故障分析等。

3.8 系统确认

确认工作是建立在前面各项 V&V 工作的基础之上的。在完成分析、设计和结果验证过程之后,对目标模拟器进行确认。

4 红外目标模拟器逼真度评估法

4.1 逼真度

逼真度是指模型或仿真以可测量的方式复现真实系统状态和行为的程度,它是仿真验证的关键。逼真度评估就是用多种方法对仿真系统的可信度进行定量评估。仿真系统的逼真度评估主要包括 3 个方面:一是选择适用的评估方法;二是建立有效的指标体系,从而对逼真度进行度量和评估;三是如何有效地将指标体系用于指导仿真系统的建立^[5]。

4.2 方法原理

逼真度评估通常是采用 Fuzzy AHP 方法进行的。本文参照文献[4]中介绍的方法,借助模糊三角函数来确定权重,并利用模糊综合评判方法对目标模拟器系统进行逼真度评估。

为了确定目标模拟器系统的各个参数权重,设因素集为 $U(u_1, u_2, u_3, \dots, u_m)$, 采用 Fuzzy AHP 法进行权重分配,其具体过程分为四步。

(1) 专家填写因素权重。模糊数采用 9 等级制,分别取值 0.1, 0.2, 0.3, $\dots$, 0.9。可信度 δ 分为 3 等级,分别取值 0.05, 0.1, 0.15。所以专家打分所对应的三角模糊数为 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 。

(2) 构造第 k 位专家的三角模糊互补判断矩阵。

$$A(k) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,

$$a_{ij} = (a_{lij}, a_{mij}, a_{nij})$$

$$= \begin{cases} (a_{lij}, a_{mij}, a_{nij}), & i > j, i \neq j \\ (1 - a_{lij}, 1 - a_{mij}, 1 - a_{nij}), & i < j, i \neq j \\ (0.5, 0.5, 0.5), & i = j \end{cases}$$

$$p_{ij} = \lambda \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{\omega_{jm} - \omega_{il}}{\omega_{im} - \omega_{il} + \omega_{jm} - \omega_{jl}}, 0 \right), 0 \right\} + (1 - \lambda) \max \left\{ 1 - \max \left(\frac{\omega_{jn} - \omega_{im}}{\omega_{in} - \omega_{im} + \omega_{jn} - \omega_{jm}}, 0 \right), 0 \right\} \quad (3)$$

式中, $\lambda \in [0, 1]$ 。

建立可能度矩阵

$$P = (p_{ij})_{n \times n} \quad (4)$$

求出 P 的行和并归一化, 得到权重向量:

$$w(k) = [w_1 \ w_2 \ \cdots \ w_n]^T \quad (5)$$

(4) 设共有 k 位专家参评, 则对 k 个专家集值进行统计。通过分别给出各专家的判断矩阵 $A(k)$, 可求得各自的权重向量 $\omega(k)$ 。在对其求平均值后, 可以得到最终的权重向量:

$$\omega = \frac{\sum_{k=1}^k \omega(k)}{K} \quad (6)$$

下面介绍逼真度综合评价方法。设专家给出的评价集为 $S(s_1, s_2, \cdots, s_n)$, 对每个因素都有一个模糊评价 $R(r_{i1}, r_{i2}, \cdots, r_{in})$, 其矩阵形式为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (7)$$

式中, R 为单因素评价矩阵, r_{ij} 为因素 u_i 对评价集 s_j 的隶属度。

(3) 计算第 k 位专家的归一化权重向量。

$$\omega(k) = [\omega_1 \ \omega_2 \ \cdots \ \omega_n]^T \quad (2)$$

式中,

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}}$$

$$= \left[\frac{\sum_{i=1}^n a_{lij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{nij}}, \frac{\sum_{i=1}^n a_{mij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{mij}}, \frac{\sum_{i=1}^n a_{nij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{lij}} \right]$$

将 ω_i 进行两两比较后, 即可求得 $\omega_i > \omega_j$ 的可能性:

设权重向量为 $w = [a_1, a_2, \cdots, a_m]$, 则综合评价为

$$D = w \cdot R \quad (8)$$

式中, $(\cdot)$ 为某种合适的模糊算法。

4.3 红外目标模拟器系统的重要指标参数及指标体系

按模拟目标的类型, 红外目标模拟器可分为点源目标模拟器和成像目标模拟器。虽然点源和面源都具有一定的相对性, 但是它们的性能指标并不雷同。

点源目标模拟器的可测量性能指标包括光束平行性、黑体辐照度、温控范围、温度分辨率、摆镜摆动精度、步进电机转动精度、步进电机最大扭矩和机械制造误差等。

成像目标模拟器的测量指标包括温度范围、温度分辨率、帧频、红外热像的空间分辨率、灰度等级、亮度均匀性、对比度、几何畸变、闪烁和信噪比等^[1]。

下面以点源目标模拟器为例, 根据其常用测量指标建立指标体系, 如图 1 所示。

4.4 专家评分与计算结果

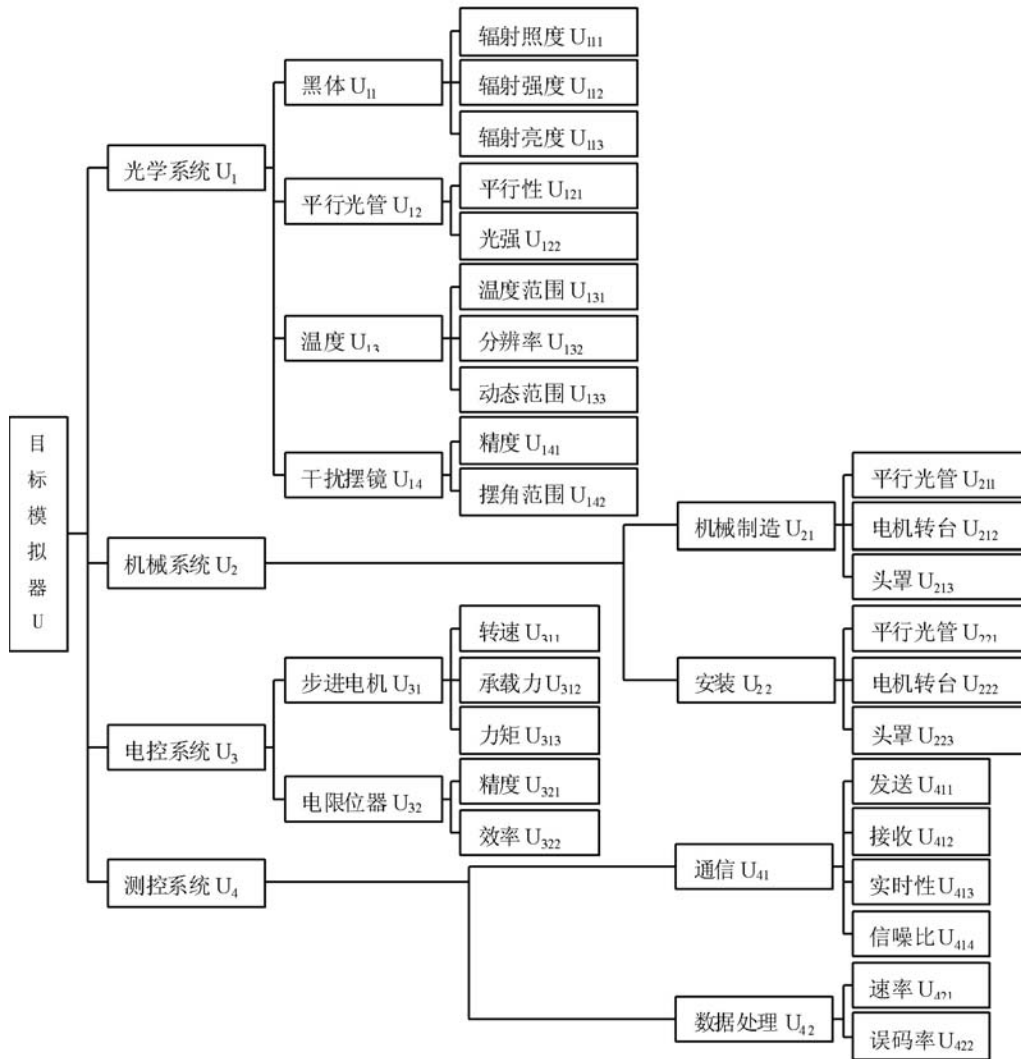


图 1 点源目标模拟器的指标体系

以点源目标模拟器为例，依据上述指标体系进行计算。

首先确定分级指标权重。假设第 k 位专家的权重评判为

$$\begin{bmatrix} (0.5, 0.5, 0.5) & (0.6, 0.7, 0.8) & (0.65, 0.7, 0.75) & (0.75, 0.8, 0.85) \\ (0.2, 0.3, 0.4) & (0.5, 0.5, 0.5) & (0.25, 0.3, 0.35) & (0.65, 0.75, 0.85) \\ (0.25, 0.3, 0.35) & (0.65, 0.7, 0.75) & (0.5, 0.5, 0.5) & (0.7, 0.8, 0.9) \\ (0.15, 0.2, 0.25) & (0.15, 0.3, 0.35) & (0.1, 0.2, 0.3) & (0.5, 0.5, 0.5) \end{bmatrix}$$

由此依据前面的模糊综合评判法进行计算。假设计算出的光学系统评估向量为

$$D_1 = w_1 \cdot R_1 = [0, 0, 0, 0, 0.065, 0.108, 0.328, 0.387, 0.079]$$

为了使结果易于理解，可以给 9 个等级分别赋值 20, 30, $\dots$, 100 [6]。通过计算得出综合评价

分数：

$$H = [0, 0, 0, 0, 0.065, 0.108, 0.328, 0.387, 0.079]$$

$$\times [20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100]^T = 80.43$$

由此得出评价结果，然后依据该目标模拟器系统的可接受度准则，判断系统是否满足仿真需求。

5 结束语

目前, 发达国家的 VV&A 技术发展已逐渐趋于成熟, 但该技术在国内的发展相对比较滞后。作为红外制导半实物仿真系统的关键部分, 红外目标模拟器的 VV&A 工作质量和标准规范可直接影响到其可信度和可接受性。本文阐述了红外目标模拟器系统的 VV&A 工作模式, 建立了目标模拟器系统的指标体系, 并利用 Fuzzy AHP 法进行了逼真度评估, 为该仿真系统的 VV&A 工作和可信度评估提供了参考依据。

参考文献

- [1] 单家元, 孟秀云, 丁艳. 半实物仿真 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [2] 李云霞, 蒙文, 马丽华, 等. 光电对抗原理与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.
- [3] 王成, 徐享忠, 王精业, 等. 作战仿真应用中实时 VV&A 研究 [J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 192-194.
- [4] 刘兴堂, 梁炳成, 刘力, 等. 复杂系统建模理论、方法与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [5] 唐凯, 康凤举. 基于模糊 AHP 的视景仿真系统逼真度评估方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2008, 20(22): 6049-6053.
- [6] 陈建明, 张仲义. 模糊方法在信息系统评价中的应用 [J]. 中国管理科学, 2000, 8(1): 77-79.

新闻动态 News

以色列研制出用于中波红外成像的兆像元数字 InSb 探测器

自从 20 世纪 90 年代后期以来, 以色列半导体器件公司研制并制造了各种各样的 InSb 二维焦平面阵列。这些焦平面阵列既有模拟形式的, 也有数字形式的, 其规格包括 320×256 、 480×384 和 640×512 等, 各规格阵列的像元间距从 $15 \mu\text{m}$ 到 $30 \mu\text{m}$ 不等。它们已被用于许多红外系统及应用领域。

为了满足人们对甚高分辨率中波红外探测器和系统的需要, 该公司目前已研制出了一种像元数为 1280×1024 、像元尺寸为 $15 \mu\text{m}$ 的大规模二维 InSb 探测器。该探测器的数字读出集成电路是用 CMOS $0.18 \mu\text{m}$ 工艺制备并通过倒装芯片焊接技术与其连接在一起的, 它为每个通道都配备一个模拟/数字转换器, 并允许以 100 Hz 的速率进行全帧读出。这种芯片上的模拟/数字转换使得系统层面无需再使用若干个功耗相当高的模拟/数字转换器。

另外, 为了使该探测器能在恶劣的环境条件下工作和最大限度地减少对其热负载的贡献, 研究人员为其设计了一种特制的增强型杜瓦, 使得探测器可以与诸如 K508 和 K548 (0.5 W 和 0.75 W) 之类的标准低温制冷器仪器使用, 从而形成了一种封装结构非常紧凑的高分辨率探测器组件。图 1 为该公司研制的大力神探测器杜瓦制冷机组件。图 2 为该组件从 8 km 高空获得的图像。



图 1 大力神探测器杜瓦制冷机组件的外形图



图 2 大力神探测器杜瓦制冷机组件从 8 km 高空获得的图像

(信息来源: Optical Engineering, Vol.50(6))

□ 高国龙