

doi: 10.7690/bgzdh.2015.11.007

实装实景条件下的装甲车载导弹射击模拟训练系统研究

常雷¹, 孙健², 杜恩祥¹, 李程¹

(1. 装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072; 2. 装甲兵工程学院学员二旅, 北京 100072)

摘要: 针对装甲车载导弹的现有射击模拟训练系统的实战化效果差的问题, 设计基于实装、实景的射击模拟训练系统。采用实际导弹控制信号作为模拟系统中的输入信号、摄像机采集实景信息作为训练背景、利用 Vega 进行弹道和背景融合等方法, 实现了实装实景下的嵌入式训练系统。结果表明: 该系统提供了真实的训练环境, 提高了训练效果。

关键词: 装甲车载导弹; 嵌入式系统; 射击模拟训练

中图分类号: TJ768.2⁺8 **文献标志码:** A

Design of Firing Simulation Training System of a Vehicular Missile on Live Experiment

Chang Lei¹, Sun Jian², Du Enxiang¹, Li Cheng¹

(1. Department of Weapon Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China;
2. No. 2 Brigade of Students, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Aiming at the bad operational effect of firing simulation training system of vehicular missile, design firing simulation training system based on actual equipment and environment. Use real missile control signal as the input signal of simulation system, take camera gathering actual environment information as training background, and adopt Vega to carry out trajectory and background fusion technology to realize embedded training system based on actual equipment and environment. The results show that: the system can provide a real environment for training, and increase the training effect.

Keywords: vehicular missile; embedded system; firing training simulation

0 引言

由于装甲车载导弹武器系统射击过程复杂, 导弹实弹射击训练成本高, 而现有模拟训练器训练效果与实战效果差距大, 制约了导弹武器系统作战水平的提高。为提高训练效果, 提高模拟训练的逼真度是目前面临的重要课题。为解决这一问题, 笔者在实装、实景条件下, 设计一套现役某型装甲车载导弹的实装实景模拟训练系统。

1 系统总体设计

实装实景条件下, 车载导弹模拟训练系统包含嵌入式计算机、信息采集与处理单元、显示单元、训练控制单元等。这些设备之间通过总线、串口等相互连接, 实现信息交互^[1], 其系统结构如图 1。

在设计时要充分考虑设备便于拆卸、安装和维护, 不能改变实际装备的内部结构, 更不能影响装备的性能指标。导弹系统实际组件能通过热插拔的接口与嵌入式仿真系统相连接, 导弹控制信号输入至嵌入式系统中作为模拟环境的重要参数, 炮长根据观察到的目标状态和导弹弹道规律进行射击训练, 并根据命中效果进行射击成绩评定, 从而实现

实车环境下的训练功能, 以提高训练效果。

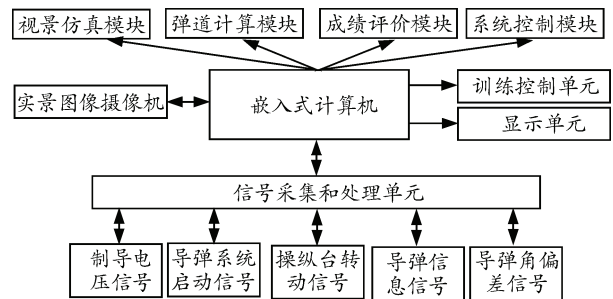


图 1 系统组成结构

该训练系统的工作过程: 首先通过训练控制单元设置训练科目, 在显示单元上进行显示。在显示屏幕上, 由软件程序产生符合实际作战要求的训练场景、装甲目标, 射手操纵操纵台, 使屏幕的瞄准分划始终瞄准目标。在训练中, 导弹制导电压作为弹道方程的输入参数, 经计算机系统实时仿真后, 立刻获得导弹对应的飞行数据, 驱动屏幕上的导弹光点向瞄准点飞去, 并按弹道规律实时跟随目标运动, 从而实现对各种目标射击过程的模拟。

1.1 嵌入式计算机系统

嵌入式计算机是模拟训练系统的核心部件, 主

收稿日期: 2015-07-03; 修回日期: 2015-08-11

基金项目: 院创新基金(2013CJ20)

作者简介: 常雷(1979—), 男, 河北人, 讲师, 从事装甲武器系统训练与维修研究。

要用于炮长模拟训练时的视景仿真和相关信号的采集和控制。计算机通过信号采集装置与实际导弹实际部件相连接，其主要功能是按预设的训练内容生成作战场景和目标，并控制产生信息信号和导弹角偏差信号来驱动导弹控制盒的运行正常工作，最终实时地将训练场景和导弹弹道输出到显示终端上。

1.2 信号采集和输出单元

信号采集和输出单元主要对导弹控制盒、炮长操纵台等信号进行采集和处理，包括采集导弹控制盒的导弹制导电压信号以及炮长操纵台转动角速度电压信号，并作为仿真系统的驱动信息。

1.3 摄像机和显示器

实景摄像机用于训练实际场景的拍摄，作为训练仿真系统的视景输入；显示器选用 OLED 微型显示器，安装在炮长瞄准镜前，作为炮长模拟训练时的显示屏。

1.4 训练控制单元

控制台用于训练科目和内容的选择，系统自检以及系统初始设置等。例如设置射击目标的类型、速度等信息。

2 硬件设计

2.1 嵌入式计算机系统

在模拟训练过程中，嵌入式计算机系统不仅要完成系统的控制、数据融合、视景仿真，还要完成炸点、烟雾等特效仿真。根据上述要求，该嵌入式计算机必须具备较高的仿真运算能力，必须支持图形加速，支持渲染引擎，在显示真实场景时，屏幕刷新率要达到至少 25 帧/s。

根据上述要求，选用高性能的双 PC7410 计算机模块作为系统核心，支持嵌入式训练系统各功能模块的运行；采用实时性操作系统平台 VxWorks，保证了数据处理时实时性要求。2 个 PC7410 之间有独立的 CPCI 总线进行数据交互。采用双处理器，处理性能达到 1 G。图形加速卡采用 MPC8245，MPC8245 通过 PCI 总线接收控制等各种数据，完成对图形加速和渲染，经处理后的图形数据直接到显示终端显示。

2.2 导弹控制指令信号采集与处理子系统

单元数据采集与处理子系统包括导弹控制指令采集电路、操纵台转动角速度电压信号采集、信息

信号功率放大等功能，将该子系统功能集成在信号采集卡中。该系统在设计时，要严格遵循车辆电气规范。

该单元上配有 AVR Mega128 单片机芯片、A/D 转换芯片、功放电路及电源等。具体工作原理如图 2 所示。在单片机 Mega128 芯片上安装扩展板，扩展出充足的输出、输入口。导弹控制盒、炮长操纵台等设备的数据信号通过 A/D 转换成数字信号，经处理后经 ISA 总线传送到嵌入式计算机。嵌入式计算机控制 Mega128 单片机产生低压信息信号，然后经过功率放大电路产生 20~30 V 的信息信号阶梯电压方波，作为导弹控制盒的一个驱动信号；根据嵌入计算机计算出导弹弹道，并计算出导弹与瞄准线的角偏差，每 0.05 s 向导弹控制箱发送不断变化的角偏差，作为另一控制盒驱动。

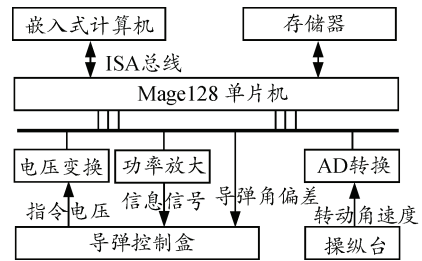


图 2 导弹控制指令信号采集与处理单元原理

2.3 显示子系统

显示系统采用新型 OLED 微型显示器、光学系统、以及调节装置组成。显示系统能够嵌入到炮长右视目镜中，用于模拟训练时炮长右眼观察导弹射击视场^[2]。光学系统采用折射/衍射混合投影的方法，OLED 微型显示器的图像经过投影物镜成像，该像被反射型材料的反射作用将光线被反射到达光学系统出瞳处的人眼；通过优化投影物镜的光学参数，达到光学系统小型化^[3]。显示单元结构如图 3。

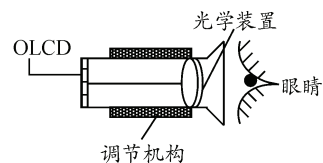


图 3 显示单元结构

3 软件系统设计

3.1 视景仿真系统

视景仿真系统主要是模拟炮长训练时的视场环境。嵌入式计算机与普通计算机相比，图形运算性能较低；但是本系统采用实景作为视场背景，减少

了生成视场背景的计算，降低了嵌入式计算机运算速度要求。为提高嵌入式计算机的图形处理效率，系统中采用了分层显示技术，将真实训练场景、目标、弹道轨迹、命中火光等信息相互独立显示，即他们分别在不同的图层中进行显示，这样当一个图层中显示有图像或图形信息时，其他层的信息可进行擦除等操作而不会相互影响，视景分层模型如图 4 所示。导弹射击的目标包括静止和运动装甲目标、建筑物、敌方工事等，都需要对这些目标进行模拟仿真。其中：装甲目标有静止状态或运动状态；目标有纵向运动、横向运动或斜向运动；目标速度在 70 km/h 以内。

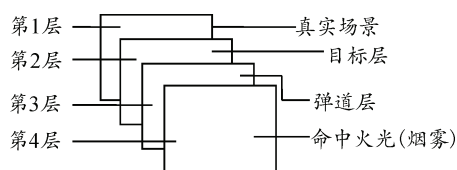


图 4 视景分层模型

视景仿真系统完成炮长视景场景的创建、显示、驱动和管理，并产生诸如导弹飞行、命中目标等特殊效果。它从功能上分为 2 大部分，即图形初始化、图形更新和图形退出。图形初始化的主要任务是创建初始视场环境，加入实景地形和目标模型等信息；图形更新部分的主要任务是刷新视景，根据采集的数据信息和弹道模型，实时更新视景。笔者在传统的仿真计算基础上，以虚拟现实软件 Vega 作为核心图形引擎实现反坦克导弹攻击过程的视景仿真，使训练人员能够直观地观察导弹飞行状态及目标命中后的毁伤情况，从而提升训练效果^[4]。炮长所观察到的射击训练场景如图 5 所示，红点代表导弹位置，三角分划是瞄准线，瞄准线跟踪瞄准白色目标，导弹将跟随瞄准线运动。



图 5 炮长所观察到的射击训练场景

3.2 弹道计算模块

该导弹系统属于二代反坦克导弹，导弹射击过程中，制导系统根据弹道与瞄准线的偏差来控制导弹飞行，弹道计算是整个仿真系统的关键。某一时刻

的弹道参数与射手操纵台指令、导弹飞行时间、上一时刻的弹道参数等有关，所以如何建立弹道方程是弹道仿真的关键，并将弹道方程转化为显示系统上的导弹运动轨迹。

本系统的特点是采用实际装备进行模拟训练，在模拟训练过程中由射手操纵操纵台，由实际导弹控制盒产生制导指令控制导弹飞行。本训练系统的特点就是控制盒产生导弹真实的控制指令，而不需要建立控制指令模型计算控制指令，可直接根据控制指令计算出控制力，然后根据通用反坦克导弹动力学方程计算出导弹的弹道。

控制指令与控制力的关系方程为：

$$F_{\text{cyp}}(t) = \frac{2F_0 \sin \frac{\gamma\tau_2}{2}}{u\gamma\tau} \{ \cos \gamma(\tau_1 + \tau_2 / 2) u_{\text{cyp}} [t - (\tau_1 + \tau_2 / 2)] - \sin \gamma(\tau_1 + \tau_2 / 2) u_{\text{cyp}} [t - (\tau_1 + \tau_2 / 2)] \}; \quad (1)$$

$$F_{\text{cyp}}(t) = \frac{2F_0 \sin \frac{\gamma\tau_2}{2}}{u\gamma\tau} \{ \sin \gamma(\tau_1 + \tau_2 / 2) u_{\text{cyp}} [t - (\tau_1 + \tau_2 / 2)] - \cos \gamma(\tau_1 + \tau_2 / 2) u_{\text{cyp}} [t - (\tau_1 + \tau_2 / 2)] \}. \quad (2)$$

其中： $F_{\text{cyp}}(t)$ 和 $F_{\text{cyp}}(t)$ 分别表示 Z 方向和 Y 方向的导弹周期平均控制力； F_0 为周期平均控制力的幅值； u_{cyp} 和 u_{cyp} 分别为控制指令电压在 Z 方向和 Y 方向的平均值。利用上述方程，将控制盒输出的控制指令电压代入方程，能够计算出导弹控制力，然后就可通过反坦克导弹的通用弹道方程计算出导弹的弹道。

3.3 绩效评价模块

在导弹射击中，炮长始终需要将瞄准镜中三角分划瞄准目标，直到导弹命中或确定导弹脱靶。虽然导弹射击过程只有 20 s 左右，但是有多个与评定导弹射击成绩有关的因素，包括导弹发射时机、与基准弹道的符合程度、命中精度、导弹命中目标的部位、以及目标运动速度等因素。但是成绩评定需考虑主要因素，经过研究认为命中部位和瞄准线的稳定程度是主要判定成绩指标^[5]。而命中部位可以通过导弹的弹道进行计算，可根据各类目标的不同命中部位给出不同的成绩；而瞄准线稳定性的评定方法是，按固定时间间隔对实际弹道和标准弹道的差值进行采样，然后进行数值处理来判断射手控制瞄准线的稳定性^[6]。