

红外经纬仪实景实装训练系统研究

蒋汉元¹, 李雪雷²

(1. 91245 部队, 辽宁 葫芦岛 125001; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 针对红外经纬仪网络训练和实景训练, 研究了红外经纬仪实景实装训练系统; 系统在保证装备原有功能的基础上, 增加了装备与训练中心的 IP 组播通信和图像传输功能; 训练时, 背景由红外相机输出的实景背景灰度图像变换获得; 目标弹道数据采用本机产生或组播方式从训练中心获; 仿真目标图像利用 DirectX3D 技术实现, 并根据弹道数据和经纬仪跟踪位置将仿真目标融合叠加到实景背景上; 实时数据及图像由本机或训练中心记录, 用于训练评估和复演; 应用证明, 系统能够对操作手进行模拟实战训练, 提高装备的操作熟练程度; 系统相关技术对于靶场其他型号的光学测量装备实景实装训练系统研究有借鉴价值。

关键词: 红外经纬仪; 实景实装; 仿真; 训练

Research on Actual Equipment and Background Training Simulation System for Infrared Theodolite

Jiang Hanyuan¹, Li Xuelei²

(1. Unit 91245, CPLA, Huludao 125001, China; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In light of infrared theodolite network training and real background training, an actual equipment and background training emulation system for infrared theodolite is studied. System can ensure the original functions of equipment, add the functions of IP multicast and image transmission between equipment and training center. In training, background is transformed from real background gray image which infrared camera outputs. The trajectory data of targets is generated by the local computer or multicast received from training center. DirectX 3D is used in the target image simulation. The fusion of simulated targets and real background is determined by the error of trajectory data and theodolite tracking position. Real time data and image can be saved by system or training center, which is used to evaluate and replay. Application proves that the system can simulate the actual combat training to operators and improve their operating equipment proficiency. Relevant technology of this system has reference value for the study of real practical training system to the other type optical equipment in range.

Keywords: infrared theodolite; actual equipment and background; simulation; training

0 引言

红外经纬仪担负着靶场外弹道测量、重要事件和试验实况记录等任务, 是目前普遍采用的测量装备之一^[1]。红外经纬仪受能见度影响小, 在低能见度、低照度的目标跟踪测量上, 具有较大优势。红外经纬仪工作时, 通过绕自身轴旋转达到视轴随目标运动, 并实时瞄准, 进而完成测距器测量, 并将信息传送给通信系统进行数据分发^[2]。伺服系统接收编码器信息、红外脱靶量或单杆值后驱动装备自动或手动跟踪目标。在复杂背景环境下, 手动跟踪为主要方式。手动跟踪时, 操作手通过观察屏幕显示的目标位置及运动方向, 操作单杆使装备视轴对准目标完成跟踪测量。由于视场较小, 跟踪过程中对操作手的要求很高。鉴于操作手的训练手段不多, 接近真实环境下的训练目标少, 训练的针对性、有效性、真实性不强, 可重复性低等问题, 为满足部队红外经纬仪网络训练和实景训练需求, 设计研制了红外经纬仪实景实装仿真训练系统。系统采用先进可靠的网络通信技术、DirectX3D 技术, 使用 C++ 面向对象方式的多线程编程, 以实景实装模拟贴近真实任务为目标, 为操作

手提供强大实用的训练功能。

1 实景训练的结构及功能

红外经纬仪实景实装模拟训练系统需要在真实装备上利用获取的红外背景图像, 模拟经纬仪跟踪目标过程的各个环节, 提供与实际工作状态同样或相似的目标和背景环境。系统仿真的主要环节, 包括: 1) 目标发射、飞行过程的仿真; 2) 目标运动姿态的仿真; 3) 为仿真训练提供真实的背景环境; 4) 经纬仪—目标相对运动特性仿真; 5) 弹靶遭遇及爆炸效果仿真等。红外经纬仪实景实装模拟训练系统主要由主控计算机系统、实景训练场景模拟系统和通信链路组成。系统其总体结构如图 1 所示。

主控计算机系统具有与经纬仪数据通信系统通信、与训练中心和测控中心通信、与实景训练场景模拟系统通信、显示与分析训练数据、训练评价、报表生成与输出等功能, 由高性能计算机、异步智能串行通信卡、同步串行通信卡、网卡组成。实景训练场景模拟系统具有与受训练人员交互、与主控计算机系统数据通信、控制相机采集图像、完成背景与目标的融合与显示、训练图像的存储与复演等功能, 由高性能图形工作站、高性能图形显示卡、相机接口卡 (CameraLink 卡) 和视频显示终端组成。通信链路负责保证数据通信和训练远程控制的需要, 主要由 IP 网络、HDLC 同步链路、RS422 异步链路组成。

收稿日期: 2013-11-09; 修回日期: 2014-01-21。

作者简介: 蒋汉元 (1967-), 男, 湖南道县人, 高级工程师, 主要从事计算机技术及光学测量方面的研究。

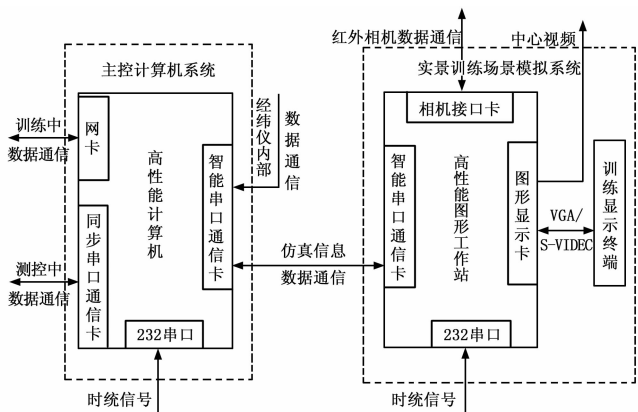


图 1 系统总体结构图

2 实景训练工作原理

为了达到不改动装备，保持经纬仪原来所有功能，并使训练系统无缝地嵌入到装备中的目的，系统设计时采取了以下措施：首先，保证经纬仪内部通信，以获取经纬仪测量数据及工作状态，通过人机交互引导或控制经纬仪工作；其次，保持与测控中心的数据通信，以便在试验演练中获取测控中心目标数据及控制信息；最后，新增系统与训练中心的 IP 组播数据通信和图像传输通信，以便获取训练中心目标数据及训练控制信息，进行训练效果监视和综合评估。为此，系统软件采用多任务多线程并行运行设计（如图 2 所示），在外部时统信号控制

下工作。主控计算机系统软件线程设计包括测控中心接收发线程、训练中心接收发线程、与经纬仪数据通信线程、内部收线程、内部发线程、记录线程、显示线程及同步线程。实景训练场景模拟系统软件线程设计包括同步线程、相机通信线程、绘图线程、内部通信接收线程、内部通信发送线程、记录线程、复演及评价线程。系统工作流程如下：

- 1) 组训人员在实景训练场景模拟系统软件初始化时，输入相关参数设置，包括训练模式（单机训练、联网训练）、弹道选择、发射载体选择、目标类型选择等，生成本机目标弹道数据和模拟目标，等待训练开始。
- 2) 主控计算机系统初始化后，接收数据通信系统发送的编码器数据等经纬仪跟踪测量数据和工作状态。
- 3) 主控计算机系统显示当前跟踪状况，包括数据曲线、当前跟踪质量及实时操作提示等。
- 4) 主控计算机系统接收训练中心或测控中心发送训练控制命令及目标弹道数据等信息；将实时训练数据发送给训练中心或测控中心。
- 5) 主控计算机系统发给实景训练场景模拟系统的信息，包括设置数据、绝对时间（含发射倒计时及发射时刻）、弹道信息、经纬仪信息及训练控制信息等。接收实景训练场景模拟系统发给的训练工作状态。主控计算机系统记录训练数据。
- 6) 实景训练场景模拟系统接收主控计算机系统发给实景训练场景模拟系统的信息，发给主控计算机系统训练时工作状态。

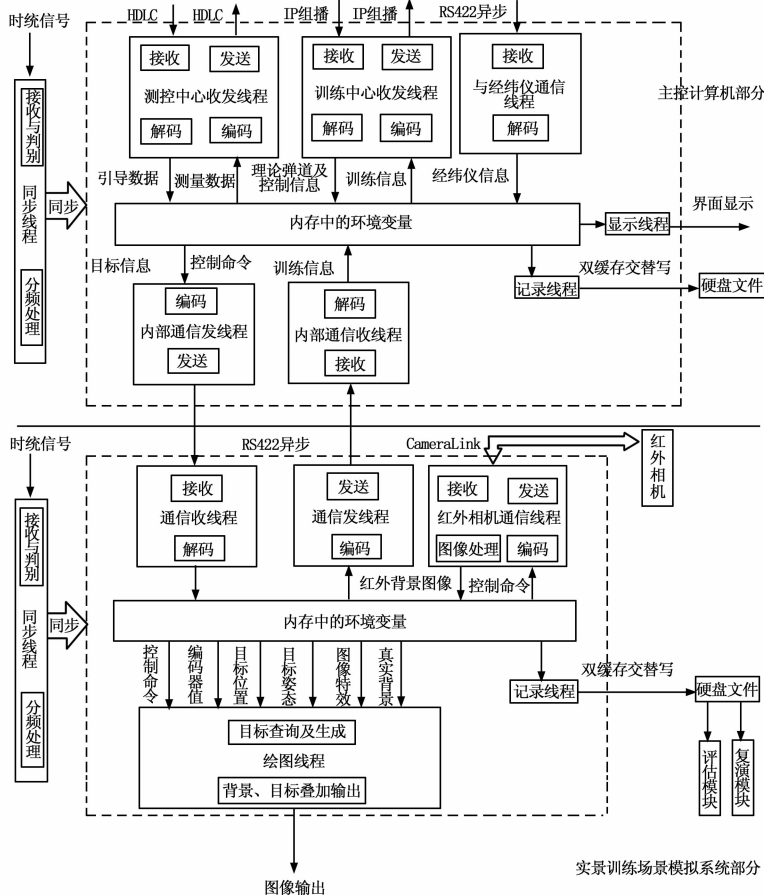


图 2 软件设计

7) 实景训练场景模拟系统控制红外相机，采集背景图像，进行图像变换增强处理。

8) 实景训练场景模拟系统将背景与目标仿真合成实战模拟图像，输出到视频显示器和传送到训练中心。

9) 实景训练场景模拟系统存储图像和数据，进行事后训练结果评估、训练过程重演。

10) 操作手根据显示的图像信息调整单杆，进行跟踪训练。伺服系统驱动经纬仪运动，使编码器改变数值。编码器将数据发给数据通信系统。数据通信系统发送的编码器数据等经纬仪跟踪测量数据和工作状态给主控计算机系统。

3 系统中的关键问题与处理

3.1 通信数据传输

为了不对经纬仪的原配线进行改动，保留了主控计算机系统与测控中心的 HDLC 通信链路和与经纬仪数据通信分系统的异步 RS422 链路、实景训练场景模拟系统与相机的 CameraLink 链路；增加了实景训练场景模拟系统与主控计算机系统的异步 RS422 链路和主控计算机系统与训练中心的 IP 组播通信链路。采用多播通信技术主要是由于训练中心与参训装备相距较远，装备多布站于野外站点，多播通信技术不仅可以实现一个发送者和多个接收者之间进行通信的功能，而且可以有效减轻网络通信的负担，避免资源的无谓浪费^[3]。经反复实验，这种方案满足设计需求。

3.2 背景采集

实景背景是模拟训练的重要部分，其质量直接影

响训练系统的效果和训练质量。考虑到红外经纬仪实时采集红外图像为 14 位灰度图像, 因此背景由实时的红外图像进行 8 位灰度变换增强^[4-5]后得到。为了方便图像处理兼顾显示需要, 背景图像由实时的红外图像抽帧处理获取。

3.3 目标生成

软件运行界面及目标生成效果如图 3 所示。目标仿真设计参考了以往红外经纬仪拍摄的舰船、飞机等典型目标图像, 采用 DirectX3D 技术进行目标模型绘制或加载^[6-7]。绘制目标或加载模型的主要决定参数为其位置、姿态和尺寸大小。目标位置的求得要进行经纬仪站点大地坐标参数、目标地心系坐标参数到经纬仪站点极坐标参数的转化^[8], 公式如下:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+H)\cos B\cos L \\ (N+H)\cos B\sin L \\ [N(1-e^2)+H]\sin B \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: N 为卯酉圈的曲率半径, e 为子午椭圆第一偏心率。

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R_y R_x R_z \begin{bmatrix} x_D - x_0 \\ y_D - y_0 \\ z_D - z_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中: R_x 、 R_y 、 R_z 为坐标系对应轴旋转的矩阵。然后, 求得站点极坐标 R 、 A 、 E ,

$$\begin{cases} R_{理} = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2} \\ A_{理} = \arctan \frac{z_c}{\sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \\ E_{理} = \arctan \frac{y_c}{x_c} \end{cases} \quad (3)$$

最后根据当前经纬仪方位、高低角度测量值与理论弹道值的误差, 反推脱靶量, 映射为距离经纬仪视场视轴中心的偏移量。映射原理如下:

$$\Delta A = (A_{测} - A_{理}) / (K_A \times SEC(E_{理})) \quad (4)$$

$$\Delta E = \frac{E_{测} - E_{理}}{K_E} \quad (5)$$

式 (4) 为模拟目标方位脱靶量, 其中, $A_{测}$ 为经纬仪方位编码器值; $A_{理}$ 为理论弹道方位值; $E_{理}$ 为理论弹道俯仰值; K_A 为经纬仪方位成像像素量纲。式 (5) 为模拟目标高低脱靶量, 其中, $E_{测}$ 为经纬仪高低编码器值; $E_{理}$ 为理论弹道高低值; K_E 为经纬仪高低成像像素量纲。目标姿态主要是模拟目标的轴线方向, 可近似看作目标的射向^[6]。因此, 可以通过站点极坐标系下目标的 3 个坐标方向的速度表示, 模拟视场中目标的姿态。利用目标理论弹道两帧数据差分求得的向量 $R_{理}'$ 、 $A_{理}'$ 、 $E_{理}'$ 的方向即为从经纬仪视场中的导弹射向。模拟目标的尺寸大小可以通过式 (6) 得到^[2]:

$$L = \frac{a}{R_{理}} L_0 \quad (6)$$

其中: L_0 为目标实际尺寸; a 为模拟量纲。根据目标的位置、姿态、尺寸大小, 采用 DirectX3D 的相关渲染命令对目标的光照明暗变化、烟雾效果、火焰效果及边缘柔化等进行处理, 然后与背景图像进行遮挡融合叠加^[4,6]。

4 结束语

针对红外经纬仪网络训练和实景训练, 研究了红外经纬仪实景实装训练系统。系统保证了装备原有功能。系统选用高性能图形工作站、3D 图形显示卡、工业控制计算机、工业级板

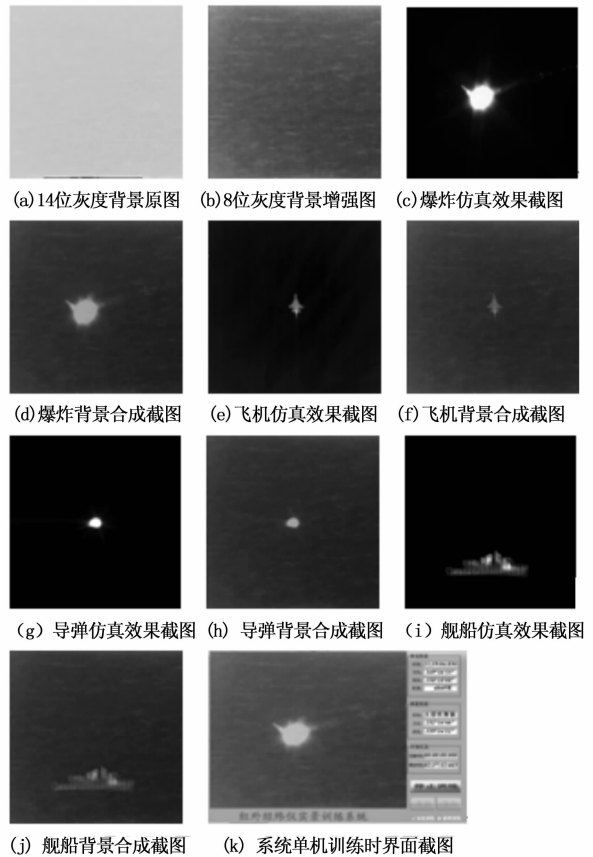


图 3 软件界面及目标生成结果截图

卡等硬件, 采用 IP 网络、HDLC 同步、RS422 异步等通信方式, 应用多任务多线程并行软件技术, 完成了将仿真目标融合叠加到实景背景上进行模拟实战训练目的。实装试训表明, 加装实景实装训练系统的红外经纬仪在联网训练和单台训练时都能圆满完成训练任务, 训练紧贴实战, 增强了操作手的训练效果、提高了捕获跟踪目标的能力, 缩短了操作手的培训周期, 提升了红外经纬仪信息化训练水平。系统不对原有设备进行改动, 加装方便, 撤收便捷。系统相关技术对于靶场其他型号的光学测量装备实景实装训练系统研究有借鉴价值。

参考文献:

- [1] 何照才, 等. 光电测量 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [2] 王成龙, 等. 靶场光学测量设备仿真训练系统的设计 [J]. 测控技术, 2008, 27 (4): 76-78.
- [3] 延霞, 等. Visual C++ 网络编程技术 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [4] 李俊山, 等. 红外图像处理、分析与融合 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [5] 王占全, 等. 精通 Visual C++ 数字图像处理技术与工程案例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [6] Luna F D. DirectX 9.0 3D 游戏开发编程基础 [M]. 段菲, 译. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [7] 郑阿奇. DirectX 3D 游戏编程实用教程 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [8] 莫年祥, 等. 试验数据处理与应用 [M]. 北京: 装备指挥技术学院, 2004.