

doi: 10.7690/bgzdh.2015.10.002

# 一种新型镜内三维虚拟视景驱动系统

桑作军, 丁自强, 丁国华, 吴海东  
(总参谋部第六十研究所, 南京 210016)

**摘要:** 为保证模拟训练中瞄准镜内视景显示和瞄准方向的一致性和同步性, 提出一种将瞄准镜屏幕瞄准点坐标数据作为镜内视景控制输入信号的新方法。通过分析系统的组成和工作原理, 对 2 大关键技术进行分析, 包括屏幕瞄准点坐标的获取和镜内三维场景视口的确定, 并在已有武器技战术训练模拟系统的基础上, 对该技术进行验证。验证结果表明: 该方法提供了一种低成本模拟武器瞄准镜、观瞄装备使用的工程实现途径, 可有效降低模拟器生产、维护成本, 提升综合训练效益。

**关键词:** 模拟训练; 瞄准镜; 视景仿真

**中图分类号:** TJ203 **文献标志码:** A

## A New 3D Visual Simulation Driving System in Sighting Telescope

Sang Zuojun, Ding Ziqiang, Ding Guohua, Wu Haidong  
(No. 60 Institute, China PLA General Political Department, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** For ensuring consistency and synchronization of sighting telescope inter-sight display and sighting direction in simulation training, put forwards a new method which taking sighting telescope screen sighting point coordinate data as inter-sight control input signal. Through analyzing system composition and working principle, analyze 2 key technologies, including acquiring screen sighting point coordinate and deciding inter-telescope 3D scene viewport. Based on weapon technique and tactics training simulation system, verify the technology. The verify result shows that: the method provides a realization approach of a low cost weapon sighting telescope and aiming equipment in the engineering application of visual field simulating in simulation training system, and thus improve the synthetic training benefits of this kind of simulator.

**Keywords:** simulation training; sighting telescope; visual simulation

### 0 引言

狙击步枪是步兵狙击手专人使用的一种半自动武器, 熟练掌握狙击步枪的操作与射击方法, 是提高狙击手战斗能力的有效途径<sup>[1]</sup>。当前, 计算机虚拟现实技术在国防工业领域获得了广泛的应用, 作为虚拟现实的重要表现形式, 三维成像仿真技术在军事训练领域发挥着越来越重要的作用<sup>[2-4]</sup>。现有的训练模拟系统中, 瞄准镜的视景仿真通常采用三维仿真技术, 通过视景仿真软件生成三维虚拟场景并在模拟器液晶显示屏上进行显示输出, 利用内置高精度三维姿态传感器的数据, 控制镜内显示屏动态视景显示。内置的姿态传感器主要作为三维场景视场方向的控制输入, 要求具有很高的精度和灵敏度, 以保证镜内视景显示和瞄准方向的一致性和同步性。基于此, 笔者提出一种将瞄准镜屏幕瞄准点坐标数据作为镜内视景控制输入信号的新方法, 利用射击训练模拟系统中的屏幕投影和图像采集设备, 通过将瞄准点平面坐标转换为仿真视景三维坐标, 实现镜内视景仿真驱动控制。采用该方法可替代现有系统中的高精度姿态传感器, 有效降低模拟器生产、维护成本, 提升综合训练效益。

### 1 系统设计

#### 1.1 系统组成

射击训练模拟系统通常由训练控制台、模拟狙击枪、投影采集一体机等组成, 如图 1 所示。

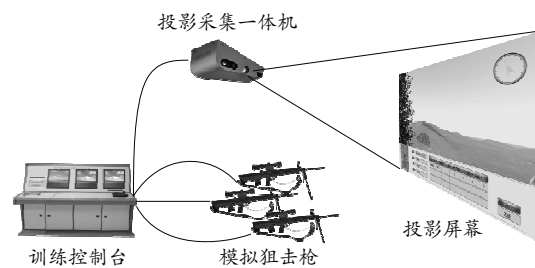


图 1 系统结构示意图

训练控制台主要由视景仿真计算机和图像处理计算机构成, 实现三维视景仿真、射击瞄准点定位、镜内视景驱动等功能; 模拟狙击枪由激光发射机、模拟瞄准镜构成, 实现精确瞄准和武器射击模拟功能; 投影采集一体机主要由投影机和摄像机构成, 实现仿真视景投影和实时图像采集功能。

#### 1.2 工作原理

系统工作原理如图 2 所示。

收稿日期: 2015-05-07; 修回日期: 2015-06-20

作者简介: 桑作军(1976—), 男, 山西人, 硕士, 高级工程师, 从事系统仿真、软件开发研究。

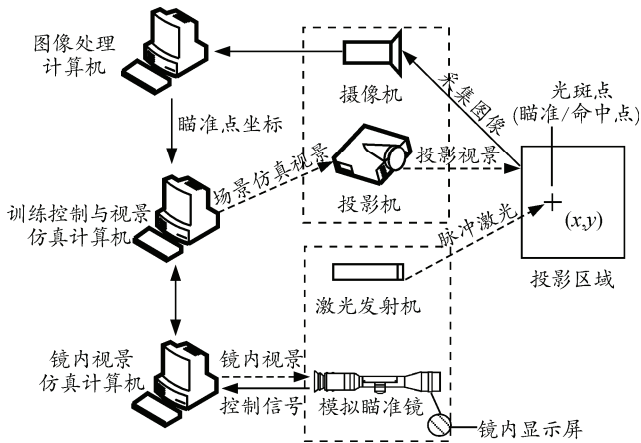


图 2 工作原理

系统工作流程如下：

1) 创建三维虚拟场景。

训练控制台视景仿真计算机根据训练课目调用三维虚拟场景，并在大屏幕上上进行投影显示(投影区域已进行坐标校正)。

2) 设置虚拟实体参数。

在三维场景中设置狙击枪实际位置的三维坐标，并为瞄准镜创建关联的视口相机。

3) 生成屏幕瞄准点。

利用模拟狙击枪上的激光发射机，在投影屏幕上生成当前瞄准点光斑。

4) 获取屏幕光斑坐标。

通过摄像机实时采集投影图像，经图像处理计算机，获得当前瞄准点光斑的平面坐标。

5) 坐标转换处理。

视景仿真计算机将获取的瞄准点屏幕坐标转换为虚拟场景中的三维坐标，并将坐标传输给镜内视景仿真计算机。

6) 创建镜内视景。

镜内视景仿真计算机根据仿真场景中的狙击枪实体坐标和瞄准点坐标，获得视口方向；通过采集模拟瞄准镜的变倍机构参数，获得视场角数据，生成镜内视景，在镜内液晶显示屏进行显示输出。

1.3 关键技术

1.3.1 屏幕瞄准点坐标的获取

为获得精确定位镜内虚拟成像视口方向，首先要解决如何获得枪管瞄准方向的问题。本系统中，主要利用与枪管准直的激光发射机在屏幕上产生的聚焦光斑，采用图像识别的方式，实时定位光斑在投影屏幕上的平面坐标，通过发射机、光斑点位置关系确定枪管指向。

1) 屏幕瞄准点采集。

本系统中，利用与枪管上的激光发射机在投影屏幕上产生激光光斑，用以指示枪管的瞄准方向，并通过屏幕摄像机，实时采集获取光斑图像。为便于后续图像处理及降低系统成本，激光发射机采用了较为常用的特定波长的红外激光器，通过加装调焦镜头和掩膜片，确保在 5~10 m 的距离内光斑具有较好的聚焦性；在摄像机镜头上加装与激光器波长匹配的滤光片，保证摄像机采集的实时图像为过滤掉彩色背景画面，只保留激光光斑的黑白图像。

2) 坐标计算。

枪管瞄准点坐标主要通过图像处理计算机解算激光光斑平面坐标来获得。受光学特性影响，激光束在投影平面形成的光斑强度具有一定的分布性，如图 3 所示。在处理采集的光斑图像时，为得到较精确的光斑中心点坐标，需要对具有 8 位深度的黑白图像按照灰度值分布进行处理，采用几何加权平均的算法获得中心点的坐标。



图 3 光斑灰度

① RGB 图像灰度值处理。

$$V_{gray} = ((V_b \times 117 + V_g \times 601 + V_r \times 306) \gg 10) - 128。$$

式中  $V_b$ 、 $V_g$ 、 $V_r$  为像素点的 RGB 值。

常规 8 位灰度图灰度值为 0~255，为减少计算中心点坐标时的计算量，这里采用了一种简化方法，即对于灰度值不大于 128 的像素点不纳入加权计算的范围，如图 3 所示。

② 中心点坐标计算。

中心点坐标采用几何加权平均值进行计算。如图 3 所示，为采集的投影图像坐标建立平面坐标系，坐标原点为图像的左上角，按照像素排列顺序，从左至右为 X 轴，从上向下位 Y 轴。

假设投影屏幕的物理尺寸为  $W \times H$ ，按照图像分辨率为  $m \times n$  (像素)，可获得每个像素中心点在投影平面的坐标：

$$(x_i, y_j) = \left( \frac{(2i-1)W}{2m}, \frac{(2j-1)H}{2n} \right)。$$

式中  $x_i$ 、 $y_j$  为第  $i$  列、第  $j$  行像素点坐标。

假设某个像素点  $\text{pixel}_{(i,j)}$  的灰度值为  $V_{(i,j)}$ ，则通过几何加权平均即可计算出瞄准点在投影平面的平面坐标值：

$$(x_{\text{center}}, y_{\text{center}}) = \left( \frac{\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} x_i \cdot V_{i,j}}{\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} V_{i,j}}, \frac{\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} y_j \cdot V_{i,j}}{\sum_{j=j_{\min}}^{j_{\max}} \sum_{i=i_{\min}}^{i_{\max}} V_{i,j}} \right)。$$

式中： $x_{\text{center}}$ 、 $y_{\text{center}}$  表示第  $i$  列，第  $j$  行像素点坐标； $j_{\min}$ 、 $j_{\max}$  表示灰度值  $V_{(i,j)}$  像素点行标号的范围； $i_{\min}$ 、 $i_{\max}$  表示灰度值  $V_{(i,j)}$  像素点列标号的范围。

### 1.3.2 镜内三维场景视口的确定

瞄准镜是用于射击瞄准的光学仪器，具有观察距离远、目标清晰度好、瞄准精度高的特点，其光学系统主要由物镜组、分划板、变倍转像镜、目镜等组成，属多普勒望远系统。瞄准镜主要通过物镜光轴和分划来赋予武器射角和射向，其观瞄窗口中的视景成像由光学系统的自身结构和参数决定，包括视场角、放大倍数等<sup>[1]</sup>。本系统中，瞄准镜观瞄窗口景象采用三维仿真方式实现。首先通过三维视景仿真系统构建虚拟战场环境，然后利用虚拟场景中的武器位置和射向，由瞄准镜视场角和当前放大倍数来确定镜内虚拟视景。为此，笔者需要确定室内训练场地中模拟武器与三维场景中武器位置及观瞄方向的映射关系，如图 4 所示。

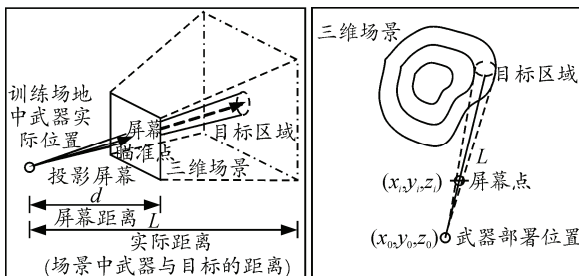


图 4 模拟训练中实际位置与虚拟场景中位置的映射关系

在三维软件开发时，通常采用模型视点变换的方法，通过改变观察点的位置和方向，利用视点位置、参考点位置和视点的上方向来表达观测相机的

位置和姿态，将场景从世界坐标系 (world coordinate system, WCS) 转换到相机坐标系 (viewing coordinate system, VCS, 也称眼坐标系)；采用投影变换方法，通过操作一个棱台形状的视锥体，实现透视投影，然后通过视口矩阵变换，即可获得屏幕窗口的显示<sup>[5-6]</sup>。在三维场景中，通过预先设置武器的位置，可获得视点位置的坐标，通过将瞄准点屏幕坐标转换为三维坐标，可获得参考点的坐标，结合视场角参数，即可方便地建立投影矩阵和窗口矩阵。

本系统三维软件采用 OSG 三维渲染引擎开发，利用其提供的相关函数，可方便地实现上述坐标转换和矩阵变换。

### 1.4 工程实现

按照部队轻武器射击训练要求和武器技战术性能指标，笔者在已有武器技战术训练模拟系统的基础上，针对配备光学瞄准镜的典型轻武器开发了可与原有系统兼容的训练模拟系统。系统硬件设备方面，投影设备和图像采集设备均采用原有系统配套设备，并研制了外部信号驱动的模拟瞄准镜；在系统软件方面，采用 VS2005 开发，依托原有基于 OSG 平台开发的三维虚拟场景，设计开发了镜内视景仿真软件。图 5 为系统硬件系统及部分软件功能截图。

在系统研制过程中，还要解决以下几个主要工程实现问题：

#### 1) 投影屏幕范围的约束。

实际使用中，受场地条件限制，投影屏幕实际只能显示一定范围的视景区域。参训人员进行瞄准射击时，在使用瞄准镜进行目标搜索时，可能会出现瞄准区域超出投影屏幕的情况，即激光斑点落在投影屏幕之外，这将导致摄像机采集不到光斑区域，也就无法确定光斑坐标，影响镜内视景区域的定位。为解决该问题，实际采用在镜内屏幕进行文字提示告警的方式，通知受训者瞄准方向已超出屏幕范围，这也是藉于镜内搜索瞄准过程通常是较为缓慢的移动过程，通过实时计算当前屏幕光斑点的坐标，确定光斑点在屏幕中的位置并判断是否超出屏幕范围。另在出现超出范围的情况时，除必要的文字提示外，镜内屏幕显示场景保持超出范围之前的场景。

#### 2) 射击瞄准过程的模拟。

采用瞄准镜进行射击时，对于目标的瞄准依靠镜内分划板，包括瞄准分划、测距分划及测角分划。在射击过程中，首先采用测距分划和测角分划判定

目标与射击位置之间的距离，然后按照判定距离，利用瞄准分划对目标射击；因此，需要在模拟瞄准镜中真实模拟该操作过程<sup>[7]</sup>。

本系统中，模拟瞄准镜内的液晶显示屏用于显示三维场景，对于分划板的显示，采用软件方式在镜内虚拟场景上叠加分划显示。其中，场景的显示控制主要依靠屏幕瞄准点反馈和模拟瞄准镜上的变倍机构进行控制；瞄准分划、测距分划、测角分划通过一套模拟瞄准镜上的高低调整机构和方向调整机构来进行控制。在三维虚拟场景世界坐标系下，通过建立武器位置与目标位置之间的几何关系，对

分划线刻度与场景中的目标几何尺寸进行比例换算，即可逼真模拟光学瞄准镜的实际使用过程。

### 3) 弹道及特殊显示模式的模拟。

实战条件下，武器射击效果会受天候、地形等条件的影响；因此，本系统中建立了相应的弹道仿真模型，引入风力、风向等影响参数，模拟真实野外条件下的武器射击过程及命中结果。

对于夜间条件下的射击，通过设置三维场景中的光照效果实现夜间可视条件下的镜内视景仿真，采用软件方式，通过设置分划线的亮度，模拟瞄准镜夜间使用时，开启照明条件下的分划线显示效果。

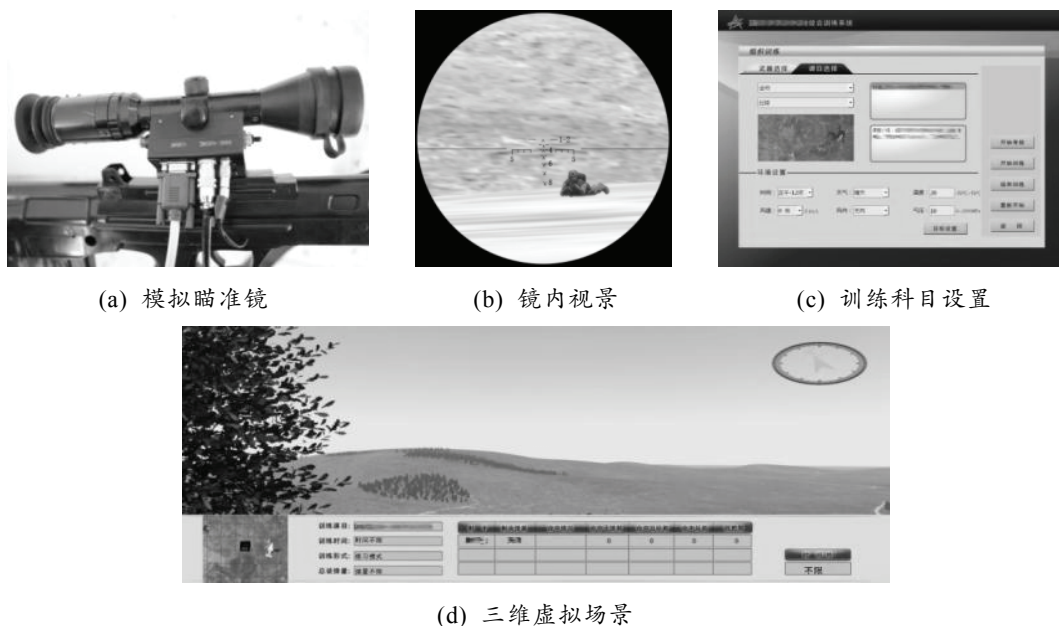


图5 系统实例图

## 2 结论

试用结果表明：与传统方式相比，笔者提出的镜内视景驱动的技术方法能逼真地模拟光学瞄准镜的观瞄操作与射击过程，可替代采用常规高精度传感器进行三维姿态定位的训练模拟系统，降低武器模拟器的生产成本，能方便地实现与原有系统的兼容，具有较高的训练效费比。同时，该方法可也用于采用屏幕投影为主要显示途径的配备瞄准镜的轻重武器、观瞄装备等武器装备训练模拟系统的研制。

## 参考文献：

- [1] 刘晓龙. 陆军步兵士兵专业训练教材[M]. 北京：解放军出版社，2010：11-23.
- [2] 李宏宁，白廷柱，马帅，等. 光线跟踪方法实现红外视景成像仿真系统[J]. 系统仿真学报，2011，23(7): 1387-1391.
- [3] 王江春. 间瞄火炮室内仿真训练模拟系统研究[J]. 系统仿真学报，2008，20(8): 2018-2022.
- [4] 黄先祥，龙勇，张志利，等. 分布式视景仿真技术综述[J]. 系统仿真学报，2010，22(11): 2742-2747.
- [5] 王锐，钱学雷. OpenSceneGraph 三维渲染引擎设计与实践[M]. 北京：清华大学出版社，2009：270-291.
- [6] Edward Angel. OpenGL 程序设计指南[M]. 北京：清华大学出版社，2005：92-105.
- [7] 徐伟，张丽敏，刘昌华. 基于运动学原理的三镜支撑设计及支撑位置优化研究[J]. 机电工程，2014，31(12): 1574-1577.