

doi: 10.7690/bgzdh.2013.05.019

某型高炮瞄准训练器的设计与实现

张振友, 姜暄民, 赵勇
(防空兵学院六系, 郑州 450052)

摘要: 为实现对炮手半自动跟踪瞄准目标技能的模拟训练, 在综合运用硅微机械角速度传感器、单片机和虚拟现实等技术的基础上, 设计一种新型的瞄准训练器。简述了提前量求取原理; 提出了火炮角速度的测量方法; 通过对跟踪误差的采集与分析, 设计实现了训练成绩考评模块。结果表明: 该系统具有安装方便, 操作简便, 考核客观等特点, 能明显提高炮手的训练水平。

关键词: 高炮; 模拟训练; 角速率传感器; 虚拟视景
中图分类号: TJ303⁺.6 **文献标志码:** A

Design and Implementation of Certain Type Gun Aim Training Device

Zhang Zhenyou, Jiang Xuanmin, Zhao Yong
(No. 6 Department, Air Defense Forces Academy, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: To realize gunner semi-automatic tracking and aiming simulation training, on the basis of the integrated use of the silicon micro-machined angular velocity sensor, microcontroller and virtual reality technology, design a new kind of aiming training. This paper briefly describes acquirement theory of quantity in advance and puts forward artillery angular velocity measurements. Through the collection and analysis of the tracking offset, design evaluation module of the training results. The results show that the system is easy to install and operate with objective assessment characteristics. It can significantly improve the training level of gunners.

Key words: anti-aircraft gun; simulation training; angular velocity sensor; virtual reality

0 引言

某型高炮具有射速快、精度高等特点, 目前已大量装备部队。半自动跟踪方式是该型高炮在复杂电磁环境条件下, 抗击空中目标的重要工作方式之一, 射击精度很大程度上取决于炮手平时的训练水平。利用实装进行瞄准训练不但需要架设空中目标模拟装置, 而且还会影响陀螺瞄准具的使用寿命。为了提升训练水平, 笔者研发相应的训练装备, 以增加武器装备的寿命和战备完好率, 提高训练质量和效率, 加速训练转型和战斗力生成模式的转变。

1 提前量求取原理

高炮解命中问题的实质是根据目标的运动规律求取火炮的方位提前角 $\Delta\beta_H$ 和高低提前角 $\Delta\gamma$ 。假设目标为水平等速直线飞行, $\Delta\beta_H$ 、 $\Delta\gamma$ 的近似求解方程如式(1):

$$\begin{aligned} \Delta\beta_H &= \omega_\beta^0 t \cos \varepsilon_q \\ \Delta\varepsilon &= \omega_\varepsilon^0 t \\ t &= f(D), \varepsilon_q = c \\ \alpha &= \alpha_0 \cos \varepsilon_q \\ \alpha_0 &= f(D), \varepsilon_q = 0 \\ \Delta\gamma &= \Delta\varepsilon + \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

式中: ω_β^0 、 ω_ε^0 为火炮的方位和高低转动角速度; ε_q

为提前炮目高低角; D 为目标现在斜距离; t 为射弹飞行时间; α 为高角^[1]。

根据式(1), 只要能够测出火炮运动的方位和高低角速度, 根据目标的现在斜距离, 借助射表, 就可以解算出 $\Delta\beta_H$ 、 $\Delta\gamma$, 然后通过计算机使瞄准线偏离目标, 炮手转动火炮, 重新瞄准目标, 使射击线指向射击提前点, 实现追随瞄准的动作要求。

2 火炮角速度的测量方法

角速度传感器采用集成微电子机械系统(micro-electro-mechanical systems, MEMS)专利技术和双极金属氧化物半导体技术(bipolar metal-oxide semiconductor, BIMOS)工艺制造, 内部同时集成了所有所需的电子组件, 其工作原理是利用音叉共鸣器检测目标相对于某一轴转动的角速度。本系统采用了2个安装位置互相垂直的角速度传感器来采集火炮转动的角速度, 不需要对火炮的机械结构进行改造, 避免了传统技术途径的缺陷。

2.1 角速度传感器的选型

考虑到与某型高炮的最大跟踪瞄准速度、最小跟踪瞄准速度和最大角加速度等性能指标相匹配, 系统中选用ADXR150陀螺仪芯片作为研发芯片, 该陀螺芯片具有零偏稳定性高、温度漂移小等特点。

角速度传感器功能结构如图1所示, 由2个传

收稿日期: 2012-11-18; 修回日期: 2012-12-17

作者简介: 张振友(1965—), 男, 山东人, 教授, 硕士生导师, 从事军用装备自动检测技术研究。

感器、信号处理电路、自检电路和温度传感器等组成，其中传感器内有靠静电来产生谐振的抖动架，形成转动部件；当火炮转动时，在科里奥利力的作用下，角速度传感器转动方向不变，并通过电容对角速度进行采样，再依次经过 π 型解调器、低通滤波器和输出放大器对信号进行处理后以电压信号输出，输出电压与给定的参考电压成比例，最终获得与 Z 轴方向的角速度成正比的电压信号，经过模数转换后可得到转动角速率对应的数字量。

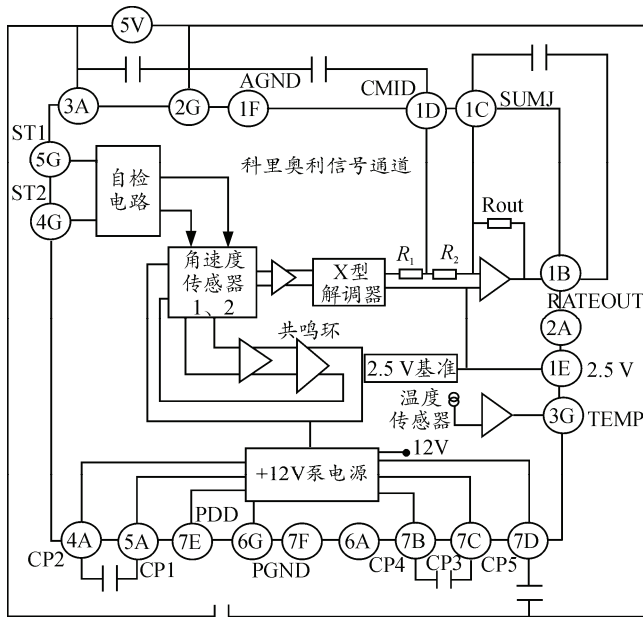


图 1 角速度传感器功能结构图^[2]

2.2 数据处理

由于存在噪点等干扰，需要对其进行滤波处理。将得到的数据值按照时间序列以每 10 个值为一组求取均值，设组内数据序列为 $f(x_i)(i=1,2,\dots,10)$ 。其均值 m 可由式 (2) 求出。

$$m = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} E(f_i(x_i)) \quad (2)$$

对于数据序列 $f(x_i)(i=1,2,\dots,10)$ ，通过序列中各单点和均值 m 进行求差处理后，获取误差序列 $e(i)$ ，对 $e(i)$ 进行分析确定相应的阈值，如式 (3)：

$$e(i) = f(i) - m \quad (3)$$

通过对差值序列进行分析，判断该序列是否包含有野值，在对野值滤除以后的序列 $f(x_i)(i=1,2,n)$ ，其中 n 通常不小于 8，经过再次求取均值，既可认为是有效均值滤波后的可用数据点值，也就是可用于进行运算和控制的火炮转动角速率数据值。

经过上述处理，即可得到火炮跟踪目标时的转动角速率，在进行火控仿真计算时用来替代目标运动角速度。

2.3 动态零位的设置数据处理

在训练器实际工作时，由于温度、湿度等环境的差异会使得角速度传感器的零位与系统开发调试时不一致，造成火炮处于静止状态时仍有数据输出的情况，会严重影响模拟训练的效果，为此需要进行传感器零位的自适应设计。基本设计思路为：在训练器开机加电后的程序初始化阶段，保持火炮不动，程序对此时的传感器输出数据进行若干次采样，然后求取其平均值，作为本次训练的传感器相对零位，再根据传感器相关参数动态解算出上下门限值，利用这个相对零位和上下门限对本次训练的传感器输出数据进行处理，即可有效避免传感器零位漂移所带来的系统误差，提高训练效果^[3]。

2.4 角速度传感器安装方式

火炮转动可分解为绕回转中心和耳轴 2 个方向的运动，因此采用 2 个角速度传感器将其以轴方向彼此正交的方式安装在仿真瞄准具内，从而可以获取 X、Z 方向的角速度值，如图 2 所示，X 轴上的陀螺仪负责采集火炮在高低上的转动角速度，Z 轴上的陀螺仪负责采集火炮在方位上的转动角速度。

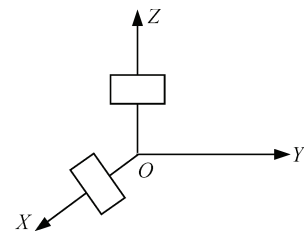


图 2 角速度传感器安装位置示意图

3 瞄准训练器的系统设计

3.1 功能要求

1) 半实装模拟训练。

炮手通过操作火炮单柄操纵杆控制火炮转动，对仿真瞄准具内的空中或地面目标进行跟踪瞄准训练。目标类型有战斗机、武装直升机、巡航导弹、装甲车。

2) 训练成绩评估。

依据《全军军事训练与考核大纲》对该型高炮炮手的考核条件和精度的要求，能够对炮手追随瞄准精度和击发种类进行考核。

3.2 系统组成

根据火炮跟踪瞄准训练的要求，瞄准训练器由主控箱和仿真瞄准具等组成，如图 3。

主控箱由计算机、主控软件和虚拟场景软件等组成，主要用于运行主控软件，生成虚拟视景和评

定训练成绩等; 仿真瞄准具由方位和高低速率陀螺、信息采集板、显示器、语音电路板和功能开关等部分组成, 主要用于测量火炮转动角速率, 采集距离、稳环、击发等开关的状态, 模拟火炮发射声响, 并显示模拟目标的运动轨迹。

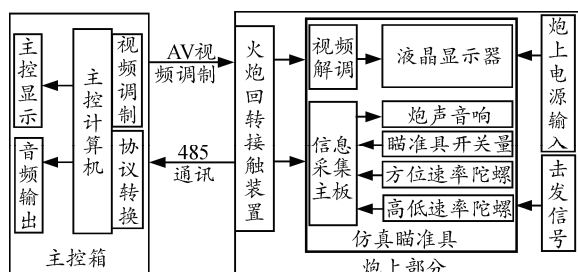


图3 系统组成框图

3.3 虚拟场景的构建

虚拟场景提供了炮手的观察景象, 在跟踪瞄准训练中起着重要的作用。本设计采用 Virtools 三维引擎来进行虚拟场景的设计与实现。虚拟场景的开发流程按照图4进行。

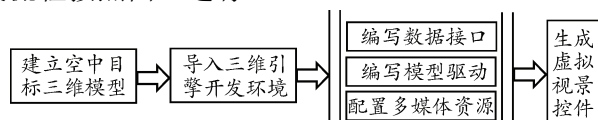


图4 虚拟场景构建流程

Virtools 开发的虚拟场景是以 OCX 控件的形式嵌入 Windows 窗体应用程序中的。

控件与应用程序间的数据通讯通过下述方法实现: 在虚拟场景控件中创建一个三维帧, 并赋予其若干个 String 类型的属性用来承载通讯数据。当应用程序需读取虚拟场景控件内部的数据时, 虚拟场景控件首先将该数据赋予三维帧的某个属性, 后通知应用程序使用该控件提供的 GetAttribute() 接口函数读取这个三维帧的相应属性值。当应用程序需要向虚拟场景控件中发送数据时, 先调用 SetAttribute() 接口函数将待发送数据赋予控件中三维帧的相应属性值。然后调用 SendMessage() 接口函数向控件发送消息通知控件取走数据。通过这些步骤即可实现编程环境与虚拟场景之间的数据通讯与传输^[4]。

3.4 训练成绩评定模块

考核内容分对空和对地目标的追随瞄准击发精度和击发时间, 模拟目标出现后, 系统程序在规定的距离上自动采集炮手跟踪瞄准和踩下击发踏板的时间, 瞄准光环与目标中心之间的方位、高低误差。

3.4.1 成绩评定数学模型

程序根据采集量分别计算方位和高低跟踪误差的平均值 \bar{X} , 为能反映出炮手跟踪的平稳性, 分别

按照 $S^2 = (1/n)[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_i - \bar{X})^2]$, 求取方位和高低跟踪误差的方差 S_1^2 和 S_2^2 , 计算跟踪误差 $\Delta D = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}$, 由此判定在全航路上和击发时间内的跟踪精度。

3.4.2 考核实施办法

考官提前选择考核内容, 下达“××方向搜捕目标”的口令, 炮手将火炮转到规定方向, 等待目标出现, 出现后开始跟踪目标。考官根据目标距离, 在斜距离 500~4 500 m 范围内下达“长(短)点射、放”的口令, 目标到达斜距离 500 m 后停止, 显示成绩和误差曲线。

3.5 系统工作过程

训练时仿真瞄准具安装到火炮的瞄准具座上, 主控计算机利用虚拟视景技术生成空中运动目标, 通过火炮回转连接器送到仿真瞄准具的显示屏上, 炮手控制火炮转动并装定相应的距离档位, 主控软件根据火炮转动的角速率和目标的距离计算瞄准线的偏移量, 并将该偏移量转换为对空光环的偏移, 炮手控制火炮使对空光环重新瞄准目标, 实现稳定跟随瞄准, 当目标到达预定的开火距离时, 踩下脚踏击发开关, 炮声音响部分发出火炮射击声响, 同时主控软件采集对空光环中心点与运动目标位置, 并进行比较, 进行成绩判定。

4 结束语

笔者设计了基于角速度传感器非接触式采集方案的某型高炮瞄准训练器, 克服了安装码盘等传统方法带来的不便。在训练评估上, 该瞄准训练器系统严格依照训练考核大纲, 通过采集时间量和跟踪误差量并对误差量序列进行分析计算, 构建了合理、高效、真实的评估体系架构。利用该瞄准训练器进行训练, 可减少安装陀螺瞄准具的磨损, 同时具有安装使用方便、仿真度高、训练模式新颖等特点, 为部队训练提供了新的保障手段, 使高炮炮手的半自动跟踪技能的训练效率明显提高。该研究也能为开发其他武器装备的模拟训练系统提供参考。

参考文献:

- [1] 陈熙, 张冠杰, 等. 35MM 高炮技术基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 88-102.
- [2] Analog Devices, Inc. ± 150 (°)/s Single Chip Yaw Rate Gyro with Signal Conditioning [S]. 2004: 1.
- [3] 赵栋, 程远增, 高庆. 某自行高炮无线通信系统模拟与检测系统[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(6): 34.
- [4] 徐英欣, 杨建文, 张安鹏. Virtools 虚拟互动设计实例解析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012: 398-403.