

doi: 10.7690/bgzd.2016.04.008

基于 FPGA 技术的旋转编码器跟踪模拟训练系统研究

李惠明, 赵东华, 李超, 赵长啸, 张华

(武汉军械士官学校弹药系, 武汉 430075)

摘要: 为解决制导跟踪模拟仿真训练过程中实装跟踪机构复杂, 导致机械加工、角度转换和瞄准控制设计难度较大的问题, 设计一种由旋转编码器和可编程门阵列芯片组成的射手跟踪瞄准系统。分析系统组成、旋转编码器角度转换和设计的原理, 并给出仿真结果。实际使用结果表明: 该系统能实现射手的跟踪角度信息输出和瞄准“十字线”的移动控制, 具有结果简单、成本低和操作方便等特点, 对提高射手操作能力具有较为重要的意义。

关键词: 旋转编码器; 目标跟踪; 模拟训练

中图分类号: TJ765.3 **文献标志码:** A

Application of Rotary Encoder in Guided Tracking Training Simulation System Based on FPGA Technology

Li Huiming, Zhao Donghua, Li Chao, Zhao Changxiao, Zhang Hua

(Department of Ammunition, Wuhan Ordnance Petty Officer Academy of PLA, Wuhan 430075, China)

Abstract: Design of the machining, angle conversion, aiming control is difficult because tracking system in tracking guide simulation training is complex. For solving this problem, design a shooter tracking and aiming system based on rotary encoder and programming gate array chip. Analyze system composition, rotary encoder angle conversion and design principle, then put forward simulation result. The real application result show, the system can realize shooter tracking angle information output and aiming “cross line” motive control. The system has the characteristics of simple structure, low cost, convenient operation and is important on raising the shooter operation level.

Keywords: rotary encoder; target tracking; training simulation

0 引言

某型激光照射器是激光制导武器系统的重要组成部分, 主要承担导引弹丸命中目标任务。在实战中为了保证命中率, 平时战士需要加强训练, 而实弹训练带来了耗费的资源多, 成本巨大, 装备损耗严重、射击分析评估不准确等问题。针对这种情况, 开发了一套模拟跟踪仿真训练系统。该系统具有训练射手操控手感、跟踪目标能力, 并判定跟踪成绩等功能, 具有成本低、使用方便、效果好等特点, 用以提高训练质量, 缩短培训周期, 实现部队训练全面化、实战化^[1-2]。

某型激光照射器是通过高低转轮、方向转动带动高低机构和方向机构运动, 通过传动机构带动制导导引装置的瞄准“十字线”移动。如果需要加工和实装一样的高低、方向机构, 设计成本高, 系统质量重, 后续处理电路非常复杂。笔者通过高低、方向转轮连接旋转编码器, 模拟产生高低、方向旋转角度、方向信息, 通过可编程门阵列芯片系统进行计数处理, 产生数据控制主控计算机的瞄准“十字线”及背景图像移动, 以实现反映射手跟踪曲线

及状态的目的, 具有成本低、结构简单、设计方便、质量轻等特有的优势。

1 系统硬件组成

1.1 系统组成

系统硬件组成如图 1 所示, 主要由旋转编码器、主控计算机、FPGA、网卡和虚拟瞄准镜等部分组成。主控计算机提供人机交互界面, 实现教练员对训练参数的设置和对三维场景的绘制, 并且将图像传输到仿真模拟制导装置的虚拟光学瞄准镜上^[3]。

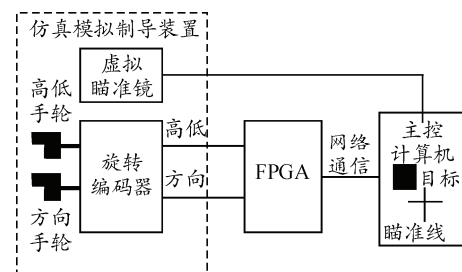


图 1 系统硬件组成

FPGA 主要采集旋转编码器角度、开关功能和主控计算机等信息, 进行实时控制。旋转编码器主要生成高低、方向旋转角度和方向信息, 供 FPGA

收稿日期: 2015-12-24; 修回日期: 2016-01-29

作者简介: 李惠明(1985—), 男, 江苏人, 硕士, 讲师, 从事战斗部研究。

进行采集和计算，FPGA 计算后通过网卡传输至主控计算机，控制图像和瞄准“十字线”的移动，达到模拟跟踪训练目的。

1.2 旋转编码器角度转换原理

旋转编码器是一种测量转速和旋转方向的旋转机构，在许多领域得到广泛应用。本系统采用日本欧姆龙公司 E6C2-C 型号增量式旋转编码器。图 2 为其工作原理图。在旋转编码器旋转后，会输出三相编码脉冲波 A 相、B 相和 Z 相^[4]。其中 A 相和 B 相的相位固定相差 90°，即 1/4 周期。A 相和 B 相的相位前后关系对应着旋转编码器的方向信息。当 A 相比 B 相相位提前 90°时，对应顺时针或逆时针的其中一个方向，当 B 相比 A 相相位提前时则对应另一个方向。在速度方面，则看 A 相和 B 相的脉冲数的多少。增量式旋转编码器根据编码器型号的不同每 360°有不同的脉冲数。通过计算 A 相和 B 相的脉冲数就可以换算成旋转的角度信息和旋转速度。日本欧姆龙公司的 E6C2-C 型号旋转编码器采用密封轴承，拥有短路保护电路^[5]。在输入电压是 5 V 时，输出信号以集电极开路输出。

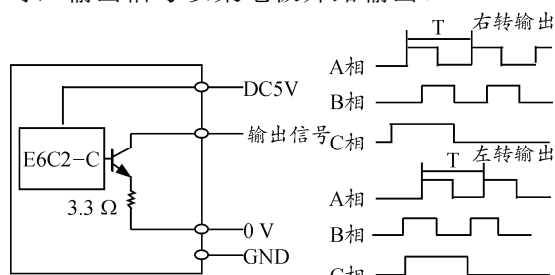


图 2 E6C2-C 型旋转编码器电路示意图

角度信息的转换包括旋转方向和旋转角度的信息转换。因为 A 相和 B 相的脉冲是成对出现的，所以在同一时刻，如果 A 相比 B 相快，那么 A 相的脉冲计数一定是比 B 相大或者相等；因此，在旋转方向上可以通过判断 A 相和 B 相的脉冲数的大小关系得到。在旋转的角度信息上，则把采集到的旋转方向对应的脉冲波计数转换为主控计算机“十字线”移动坐标信息即可。E6C2-C 型号旋转编码器每 360°对应 2 000 个脉冲波。为了转换成瞄准“十字线”转动的实际坐标偏差。某制导引装置的战术技术指标规定高低、方向转轮每旋转一周，瞄准线偏移角度分别为 α 、 β ，可以在装备战术指标得到。如图 3 所示，假如系统设置的瞄准距离为 L ，某时刻方向旋转编码器旋转后对应的瞄准线偏移角度为 θ ，需要计算主控计算机瞄准“十字线”从 1~2 位置 X 、 Y 的数值，通过编程控制瞄准“十字线”的

移动。

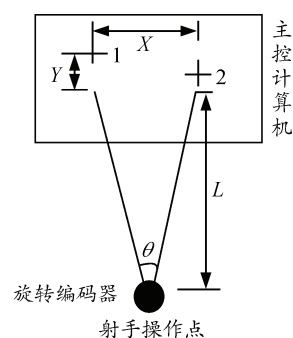


图 3 角度换算示意图

偏移角度 θ 可以通过 FPGA 计数得到的脉冲数 n 进行计算。计算公式为

$$\theta = \frac{n}{2000} \times \alpha \quad (1)$$

把式 (1) 转换成弧度为

$$\theta = \frac{n}{2000} \times \alpha \times \frac{2\pi}{360} \quad (2)$$

由于 FPGA 采集和转换上，需要定时的清零和发送。设置周期为 100 ms，由 FPGA 逻辑产生；所以 θ 一般很小，计算公式为

$$X = \operatorname{tg}\left(\frac{n}{2000} \times \alpha \times \frac{2\pi}{360}\right) \times L = \frac{n}{2000} \times \alpha \times \frac{2\pi}{360} \times L \quad (3)$$

同理，可以得到高低偏移角度和高低坐标 Y 计算公式。

2 旋转编码器硬件电路设计

旋转编码器采集以实时采集、判断上升沿的方式实现。由于旋转编码器的内部是集电极开路输出，输出信号幅值太小，大约为 0.5 V，不能被 FPGA 的 3.3 V bank 电平标准所采集；因此需要在旋转编码器的输出接口接上拉电阻，将集电极与电源相连，形成放大电路。这样旋转编码器的输出信号就能被 FPGA 所采集。

A 相、B 相和 Z 相的脉冲数采集方式通过跨时钟域的上升沿判断实现。FPGA 的主时钟比旋转编码器输出的编码脉冲频率快，可以用 FPGA 的主时钟去采集旋转编码器编码脉冲的上升沿。一旦判断到上升沿即认为接收到一个脉冲方波。在 FPGA 内分别用寄存器把这些脉冲信息进行计数和存储。

3 旋转编码器逻辑设计

在旋转编码器的信息采集和转换上，为了计数和设计简便，需要定时的清零和发送；因此要产生一个定时器，这里设置为 100 ms，由顶层逻辑产生，给旋转编码器和网络模块使用。在接收到定时器的

