

文章编号:1007-1180(2011)09-0012-06

基于 FPGA 的激光脉冲编码实现

赵丽丽^{1,2,3}, 王挺峰^{1,2}, 郭 劲^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 激光脉冲编码作为半主动激光制导武器提高抗干扰性的重要手段, 主要是通过增加编码位数和脉冲间隔时间值的方法实现。本文分析了激光脉冲编码的特点, 提出一种基于 FPGA 利用 verilog 硬件编程语言实现的编码位数和脉冲间隔均可调的周期脉冲间隔编码设计方案; 对该编码方案的硬件结构和编码流程作了详细的介绍; 通过功能仿真和实验测试证明了该编码方案的可行性。

关键词: 激光脉冲编码; 半主动激光制导; FPGA

中图分类号: TN929.1

文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0012

Realization of Laser Pulse Code on FPGA

ZHAO Li-li^{1,2,3}, WANG Ting-feng^{1,2}, GUO Jin^{1,2}(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*2. *State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun 130033, China;*3. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: Laser pulse coding is considered as the most important means to enhance anti-jamming of self-active laser homing weapons, it is achieved mainly by increasing the coding bits and coding pulse interval. The characteristics of the laser pulse coding were analyzed in this paper. Based on that, a coding design, using a hardware language called verilog implemented on the FPGA for the system of laser pulse coding was proposed, in which the coding bits and coding pulse interval could be adjusted. The hardware structure of coding and the flow of coding were introduced in detail. The functional simulation and experiment showed that the encoding scheme was feasible.

Keywords: laser pulse coding; self-active laser homing; FPGA

1 引言

激光脉冲编码是半主动激光制导武器提高抗干扰性的一种重要手段。激光脉冲编码是指对激光脉冲的物理特性进行调制,目前可用于半主动激光制导的编码方法有脉冲间隔编码(PIM)和脉冲宽度编码(PWM)^[1]。PIM是目前采用的一种主要编码方式,它通过调制时间上相邻的两个激光脉冲的时间间隔值实现编码,利用增加编码位数或增加编码脉冲间隔时间值的方法实现多种编码输出。

由于用于激光制导的脉冲信号重复频率很低,为了增加指示信号的复杂性,各脉冲间隔应取不同的值;为了使我方能准确识别指示信号,各脉冲间隔值保持循环变化,而且在制导时间内存在多个循环周期。也就是说,半主动激光制导武器应采用脉冲间隔值不等的周期脉冲间隔编码。到目前为止,国内外采用的周期脉冲间隔码主要有脉冲重复频率码、脉冲间隔调制码、跳频脉冲码、逻辑反馈函数输入伪随机码^[2-3]。这些码型之间可以通过调整脉冲间隔和编码位数相互转化。采用FPGA开发数字电路可以缩短设计时间,随时修改设计而不改动硬件电路。本文设计了一种基于FPGA的编码位数和脉冲间隔值均可调的周期脉冲间隔编码方案,通过选取不同的编码参数(编码位数和脉冲间隔)可以得到不同的码型输出。

2 激光脉冲编码系统设计

2.1 激光脉冲编码发生器系统组成

由于FPGA具有静态可重复编程和动态在系统重构的特性,使得它的硬件功能可以像软件一样通过编程来修改。同时缩短设计时间和提高系统的可靠性^[4-5]。考虑FPGA的优越性,本文选用FPGA作为激光脉冲编码发生器的主模块,系统结构图如图1所示。上位机软件将编码指令通过RS232接口发送给FPGA主模块,FPGA编码单元根据编码指令进行编码,编码输出信号触发激光器发射与编码信号具



图1 系统结构框图

有相同特征的激光脉冲。

2.2 编码系统的硬件结构

基于FPGA脉冲编码设计需要,将FPGA的系统设计划分为若干个可操作的模块^[6],本方案把编码系统划分为寄存器模块、计数器模块和数据选择模块,其中每个模块又由基本的单元组成。模块的设计由verilog硬件编程语言实现,各模块的作用如下文所示。

2.2.1 寄存器模块

上位机通过RS232接口将编码指令串行输入到FPGA内的寄存器中。设计中使用了4位、8位和24位的3种类型的寄存器,根据缓存的对象不同,分别称为脉冲间隔顺序寄存器、脉冲间隔寄存器、脉冲宽度寄存器。4位的脉冲间隔顺序寄存器用于缓存脉冲间隔参数;8位的脉冲宽度寄存器用于缓存脉冲宽度;24位的脉冲间隔寄存器用于缓存脉冲间隔值。

2.2.2 数据选择模块

数据选择模块的作用是在时钟信号的驱动下,根据编码位数指令选择相应的编码子模块和根据计数器的计数值和脉冲间隔顺序寄存器选择相应的编码对象。

2.2.3 计数器模块

设计中使用了4位、8位和24位3种计数器类型。4位计数器的作用是在读入脉冲间隔数据期间选择相应的寄存器,8位和24位计数器的作用是对脉冲宽度和脉冲间隔进行计数,确保脉冲间隔值和脉冲宽度值与编码指令中给定的值相等,并在该时刻采取对计数器清零的操作。根据作用对象不同,分别称为寄存器选择计数器、脉冲宽度计数器和脉冲间隔计数器。

2.3 激光脉冲编码系统设计流程

FPGA 主模块首先通过串口通信协议接收编码参数指令；然后在时钟的驱动下，根据 4 位计数器的计数值的变化，将编码参数缓存到 FPGA 内部指定的寄存器中；当编码启动后，根据上位机传送的编码位数选择相应的编码子模块，并根据脉冲宽度计数器和脉冲间隔计数器的计数值以及状态寄存器的状态值选择不同的编码对象（脉冲宽度和不同的脉冲间隔）进行编码。在编码过程中，当脉冲宽度计数器和脉冲间隔计数器的计数值与预设的计数参数值相等时，计数器进行清零操作，否则进行计数操作，该过程周而复始，直至整个编码过程结束。设计流程图如图 2 所示。

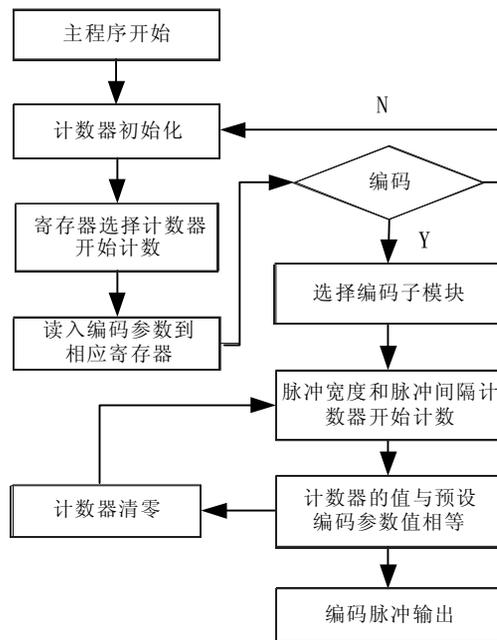


图2 编码方案设计流程图

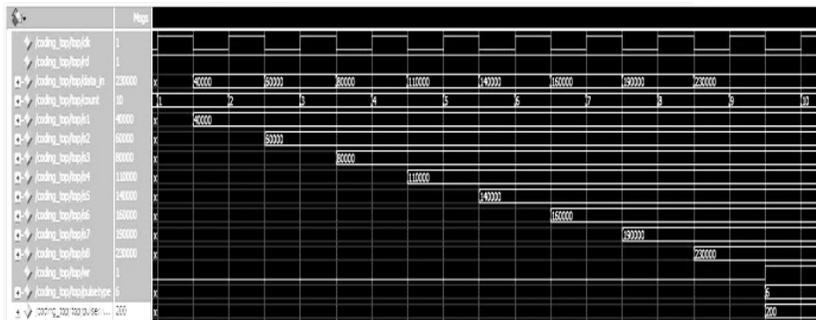


图3 数据读入仿真过程

3 功能仿真和实验验证

3.1 功能仿真

原理实验中编码位数 (pulsetype) 采用 1~8 位可调，脉冲间隔值 data_in 的范围是 $(0\sim 2^{24}) \times 1 \text{ ns}$ ，脉冲宽度 pulsewidth 的范围是 $(0\sim 2^8) \times 1 \text{ ns}$ 。图 3 是数据读入过程的仿真波形，图 4 是各模块的功能和编码输出的仿真波形。

从图 3 可以看到，编码参数的读入是在时钟信号驱动下串行输入的。编码指令：data_in 分别为 40000, 60000, 80000, 110000, 140000, 160000, 190000, 230000；pulsetype 为 6；pulsewidth 为 200。其中 Count 是一个 4 位计数器，在时钟信号驱动下 data_in 中的数据根据不同的计数器值依次缓存到 s1~s8 中，pulsetype 和 pulsewidth 储存到相应存储器中，Wr 为读结束标志位，Wr 为 1 时数据读入结束而编码启动。

从图 4 可以看到，图中的第 1 组和第 2 组是编码位数相同、脉冲间隔值不等的周期脉冲输出比较，第 2 组和第 3 组是编码位数不同、脉冲间隔相等的周期脉冲输出比较，第 4 组是脉冲宽度计数器、脉冲间隔计数器和状态寄存器与编码输出的关系仿真波形。因为脉冲宽度要比脉冲间隔小得多，所以采用低位计数器对脉冲间隔进行计数。当一个脉冲间隔开始和结束时，脉冲间隔计数器执行清零重新计数操作；当脉冲宽度开始和结束时，脉冲宽度计数器也执行清零重新计数操作。采用这种方法能够增加脉冲间隔时间。通过功能仿真表明，该编码系统能够实现编码位数和脉冲间隔值可调的编码思想。

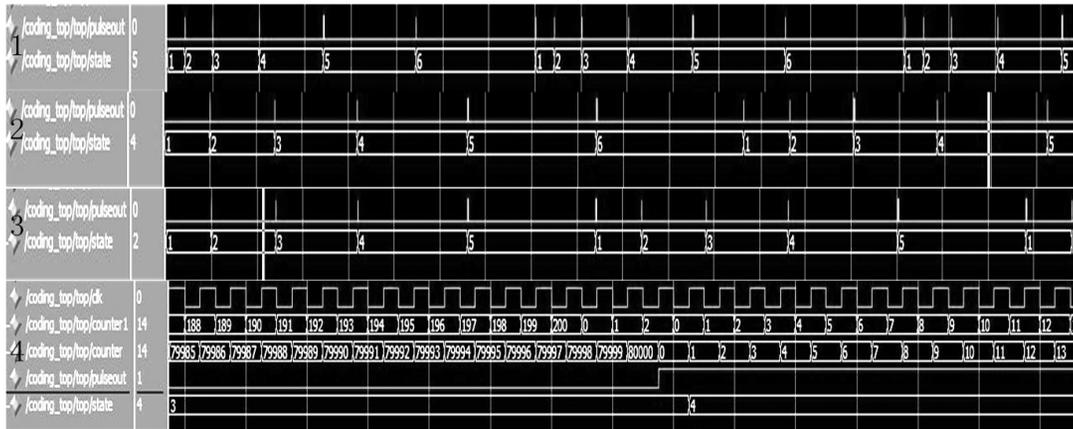


图4 编码输出仿真波形

3.2 实验验证

在完成功能仿真后，在目标系统中对周期脉冲间隔编码控制器进行实验验证。实验中的总体逻辑构成如图 5 所示。该编码单元包括激励模块 coding_top 和编码模块 coding，coding_top 是模拟上位机传输编码数据模块，coding 完成编码和编码输出。为了对编码模块的时钟进行控制增加了一个分频模块 clk_div，总体的逻辑构成如图 6 所示。将上

述两种设计的逻辑输出网表适配到 FPGA 上，得到在不同时钟下的输出脉冲波形，如图 7 和图 8 所示。

图 7 是时钟周期为 100 ns 的编码脉冲输出。前 3 组波形的编码位数为 3, 4, 5，它们是脉冲间隔保持不变、编码位数不同的波形输出比较。后 3 组波形的编码位数为 2, 3, 4，它们是编码脉冲间隔不变、编码位数变化的脉冲输出比较。从将前 3 组和后 3 组中编码位数相同的波形输出比较可知，它

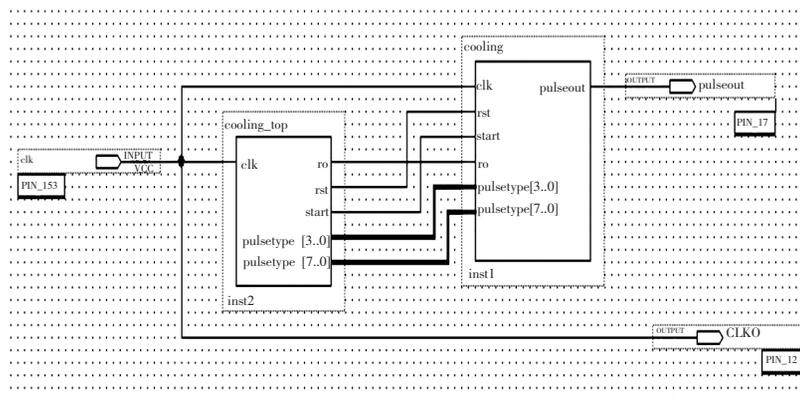


图5 编码单元总体逻辑构成（改进前）

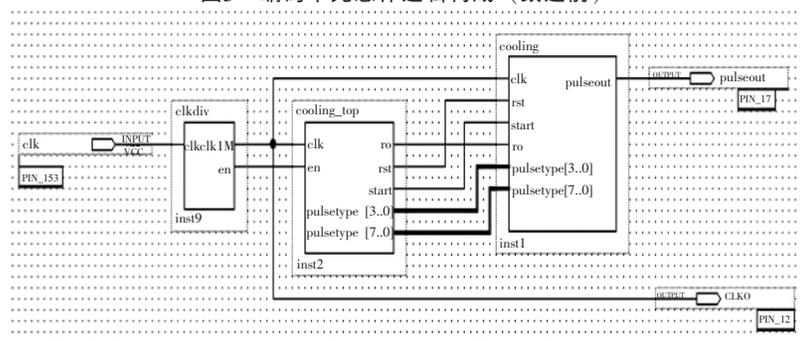


图6 编码单元总体逻辑构成（改进后）

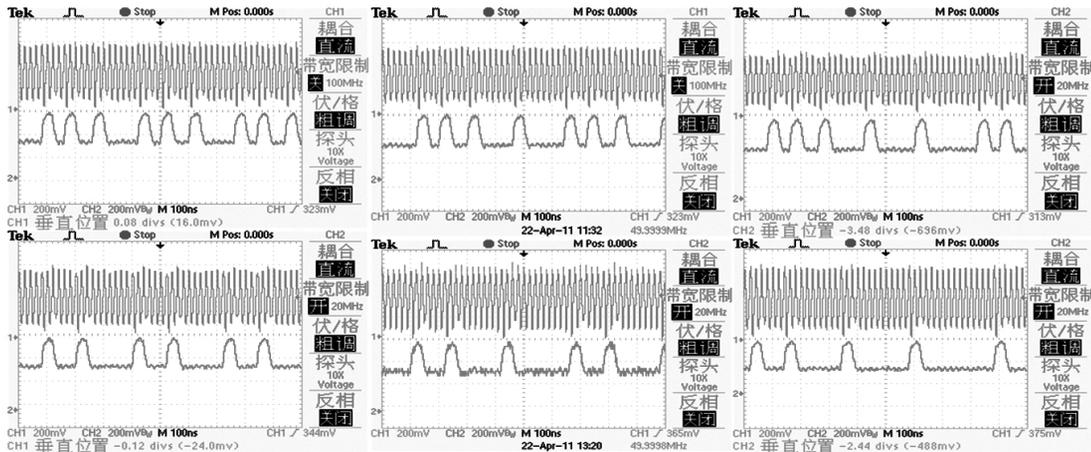


图7 周期脉冲间隔编码输出(改进前)

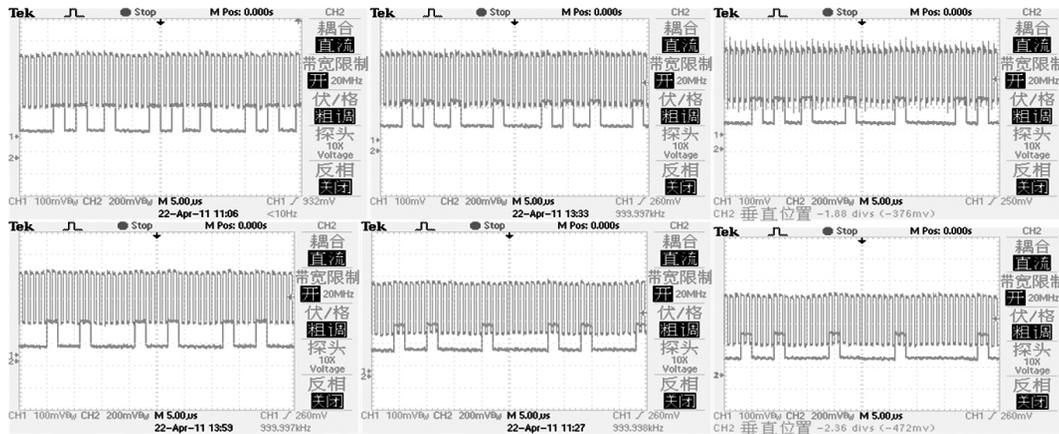


图8 周期脉冲间隔编码输出(改进后)

们是编码位数相同、脉冲宽度发生编码的波形输出比较。

为了验证时钟频率可控,采用对输入时钟进行10分频的方法,系统时钟周期为100 ns,增加了一个时钟控制模块后变为时钟周期为10 μs的编码脉冲输出,编码输出结构如图8所示。从图8中可以分辨输入时钟与编码脉冲输出的时序关系,前3组中的四位编码的脉冲间隔为2,3,6,7,后3组中的四位编码的脉冲间隔为4,8,10,13,脉冲宽度都为2。从波形输出中看到的脉冲间隔间隔值与预设的编码指令相同。通过对实验结果的分析证明该

编码方案能够实现编码位数和脉冲间隔均可调。

4 结 论

本编码方案设计利用FPGA作为编码的核心单元,增加了系统设计的灵活性和扩展性,而且能够提高系统的精度。在激光脉冲编码系统中,采用由寄存器对上位机发送的编码参数缓存的方法提高了编码效率;采用由高位数计数器对脉冲间隔值计数和低位计数器对脉冲宽度计数的方法提高了编码精度;采用计数器对脉冲间隔单次循环计数增加了脉冲间隔时间值选取的灵活性。

参考文献

- [1] 魏文俭, 秦石乔, 战德军, 等. 激光半主动寻的制导激光编码的研究[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1199-1203.
- [2] 安化海, 闫秀生, 郑荣山. 激光制导信号的编码分析及识别处理技术[J]. 光电对抗及无源干扰, 1996(3): 26-30.
- [3] 巨养锋, 马宝强, 姚梅, 等. 激光制导信号的编码和干扰技术[J]. 电光与控制, 2007, 14(1): 85-87.
- [4] 秦连城, 冯其云, 张旭, 等. 交流电机控制系统的FPGA接口设计[J]. 光学精密工程, 2008, 5(16): 931-936.
- [5] 李开龙, 魏彪, 米德伶, 等. 基于FPGA的工业X2CT 2代扫描运动控制卡设计[J]. 光学精密工程, 2005, 13(z1): 168-172.
- [6] 夏宇闻. verilog数字系统设计教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008: 15-16.

作者简介: 赵丽丽 (1984-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要从事光电对抗及信息处理方面的研究。

E-mail: lilizhao2005@163.com

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊, A4开本; 刊号: ISSN 1674-2915/CN22-1400/O4; 国内外公开发行, 邮发代号: 国内12-140, 国外BM6782。

★中国科技核心期刊

★中国光学学会光电技术专业委员会会刊

★中国学术期刊(光盘版)源期刊

报道内容: 基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型: 学术价值显著、实验数据完整的原创性论文; 研究前景广阔, 具有实用、推广价值的技术报告; 有创新意识, 能够反映当前先进水平的阶段性研究简报; 对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告; 以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿, 洽谈合作。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版: 《中国光学》编辑部

投稿网址: <http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址: chineseoptics@ciomp.ac.cn, gxyygx2007@126.com

联系电话: (0431) 86176852; (0431) 84627061 传 真: (0431) 84627061

编辑部地址: 长春市东南湖大路3888号 (130033)

《中国光学》编辑部