

文章编号: 2095-4980(2015)06-0913-04

基于 FPGA 的激光引信信号处理单元设计

陆长平

(上海无线电设备研究所, 上海 200090)

摘 要: 分析了多象限激光引信系统的组成和工作原理。现场可编程门阵列(FPGA)具有体积小, 集成度高和接口资源丰富的特点, 有利于实现信号处理电路小型化设计和引信复杂算法设计。通过软件算法仿真和整机测试, 基于 FPGA 的信号处理电路满足引信实时性要求, 并给出了信息处理流程。针对阳光和云雾干扰的抗干扰算法及目标识别算法提高了引信抗干扰能力。

关键词: 激光引信; 信号处理; 目标识别算法

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201506.0913

Design of signal processing unit for laser fuze based on FPGA

LU Changping

(Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 200090, China)

Abstract: Multi-quadrant laser fuze system and working principle are analyzed. Field Programmable Gate Array(FPGA) features some characters, including small size, high integration of circuits and rich chip interfaces, which are helpful to realize the miniaturized design of signal processing circuits and complex algorithm design of fuze. According to software algorithm simulation and overall test, the signal processing circuits based on FPGA satisfy the real-time requirement of fuze. The signal processing procedure is given as well. The anti-interference algorithms toward the sunshine interference and cloud interference and target recognition algorithm can enhance the anti-interference ability of fuze.

Key words: laser fuze; signal processing; target recognition algorithm

激光引信发射激光脉冲光束探测目标, 由激光探测器接收反射回波, 经光电转换成的电脉冲信号由后级信号处理单元处理, 最终形成起爆控制信号。激光引信探测视场方向性好且对电磁波具有良好的抗干扰性能, 目前已经在战术武器上得到广泛应用。在空空导弹领域, 如美国的 AIM-9X 空空导弹采用了激光引信^[1]。在便携式导弹领域, 如法国的“西北风”导弹采用的也是激光引信。

国内激光引信技术的发展也逐渐进入应用阶段。便携式防空导弹激光引信因体积限制, 系统设计难度大, 并且导弹攻击目标类型多样, 作战环境复杂, 对引信配合和抗干扰能力都提出很高要求, 激光引信的信号处理电路及算法设计是关键技术^[2-5]。本文提出了基于现场可编程门阵列(FPGA)的信号处理电路设计, 结合小型多象限激光引信工程背景, 设计目标识别和抗干扰算法, 并进行了程序的仿真、调试。

1 系统组成和工作原理

小型化多象限激光引信系统主要由 3 路激光发射单元、3 路激光接收单元以及信号处理单元组成, 为满足引信对目标的全空域 100%探测概率以及体积尺寸方面的严格要求, 将引信的每象限收发视场设计为 120°。系统组成如图 1 所示, 其工作原理为: 导弹发射后激光引信开机, 信号处理单元产生基准时序, 控制 3 路发射系统轮流发射脉冲激光, 接收系统接收到回波后开始进

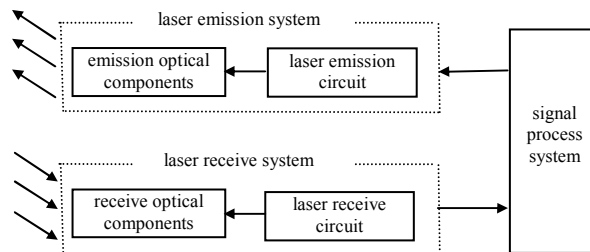


Fig.1 Diagram of laser fuze
图 1 激光引信组成框图

行光电转换,将形成的电信号送入信号处理单元进行处理。信号处理单元将回波进行采样同步处理,判别当前回波是否是目标产生,剔除无效回波,同时对回波进行积累,当积累的回波数量满足算法判据时,产生报警信号,并对报警信号进行适当的延时,最终实现起爆信号输出。

2 信号处理电路设计

按照激光引信系统工作原理描述,信号处理电路的功能是产生时间基准、回波选通、目标判别、抗干扰、引战延时、状态控制以及信号输出等。随着电子技术发展,激光引信信号处理已经更多地由数字电路实现^[6-9]。因信号处理单元小型化设计,信号处理电路板的尺寸不大于 9 cm^2 ,因此在数字信号处理芯片的选择上存在局限性。综合考虑信号处理电路功能、接口和尺寸的需求,器件选择了广泛采用的复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device, CPLD)/FPGA,经过仿真验证,CPLD 在容量上与 FPGA 有相当的差距,最终电路主要采用一片 FPGA 芯片来实现。FPGA 芯片具有 I/O 接口多、资源丰富、系统主频高、尺寸小等优点,能够满足引信设计要求。信号处理电路原理框图如图 2 所示。

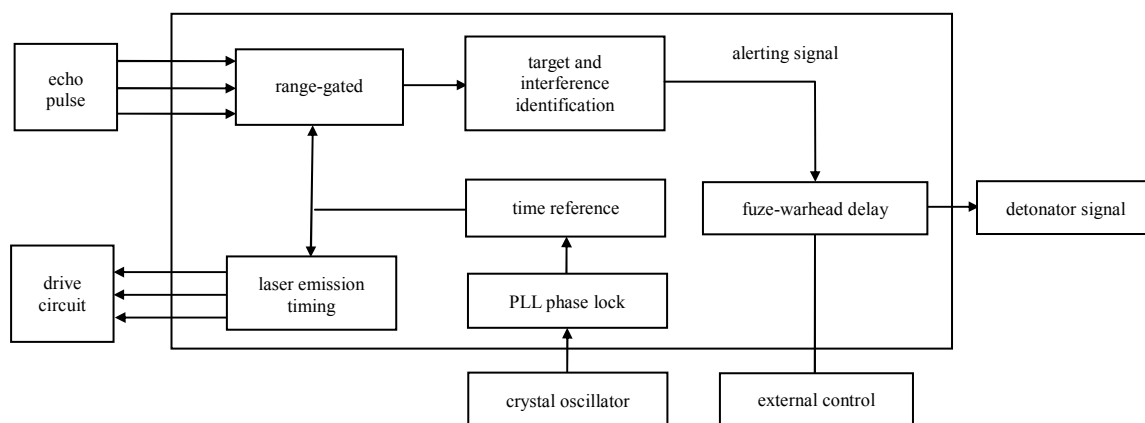


Fig.2 Schematic diagram of signal processing circuits

图 2 信息处理电路原理框图

外部晶振输入 50 MHz 时钟信号,芯片内部的 PLL 模块将外部时钟倍频到 150 MHz。软件通过分频计数实现 3 路 10 kHz 的发射基准信号,并且 3 路基准信号时序两两相差 $33.33\text{ }\mu\text{s}$ 。硬件描述语言(Very-High-Speed Integrated Circuits Hardware Description Language, VHDL)软件代码在 FPGA 的开发工具 Quartus II 下的发射控制信号时序仿真结果见图 3。FS1~FS3 为 3 路发射基准信号,每 1 路周期 10 kHz,脉冲宽度 20 ns。

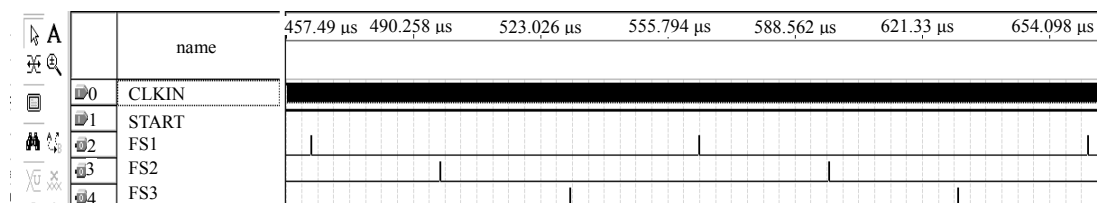


Fig.3 Timing simulation for launch control

图 3 发射控制时序仿真图

3 启动判别和抗干扰算法

激光引信通过对脉冲回波信号的处理实现启动判别。首先采用距离选通技术,对探测距离外的回波信号进行剔除,再对有效距离内的回波信号进行积累,回波积累的时间与相对速度和目标尺寸有关。若弹目相对速度为 650 m/s ,探测目标为直径 0.5 m 的漫反射球体,引信探测方向角与导弹弹轴为 90° 夹角,并考虑引信探测视场夹角,可计算出目标在激光探测场中所停留的时间不超过 0.76 ms 。按引信 10 kHz 的发射频率计算,单个探测视场探测到目标的时间为 7 个探测周期,所以要在 7 个探测周期内给出是否报警的判断。按照上述假设条件,可以设计报警算法的基本流程,如图 4 所示。

采用 VHDL 作为程序编写语言,根据报警算法流程图的要求,将电路划分为 3 个子程序模块,即回波选通、判别周期计数和回波计数。

回波选通模块用于对回波脉冲采样,采样后的脉冲信号首先进行同步处理,然后判断回波是否落入接收距离门内,只有落入距离门内的回波才能送入计数模块。回波选通模块从时域上剔除了一部分可能存在的随机干扰脉冲信号。判别周期计算模块负责完成连续 7 个脉冲发射周期计数,并负责对回波计数器清零。回波计数模块负责选通后的回波计数,每一个回波进入距离门,回波计数器实现加 1 操作。判别周期计数器计满 7 个发射周期时,如果回波计数器计数大于等于 5,则认为目标是目标,输出报警信号,否则不输出。

仿真结果见图 5,第 4 行的 FS3 为第 3 路探测信号,第 5 行 sig3 共有 5 个探测周期接收到了回波信号。在接收到第 1 个回波信号时,图中第 8 行的判别周期计数器开始计数,同时第 9 行的脉冲计数器也开始计数。在判别周期计数器计满 7 时,回波计数器统计了 5 个回波信号,满足报警条件,所以第 10 行的报警信号输出 1 个高电平脉冲,同时所有计数器清零。

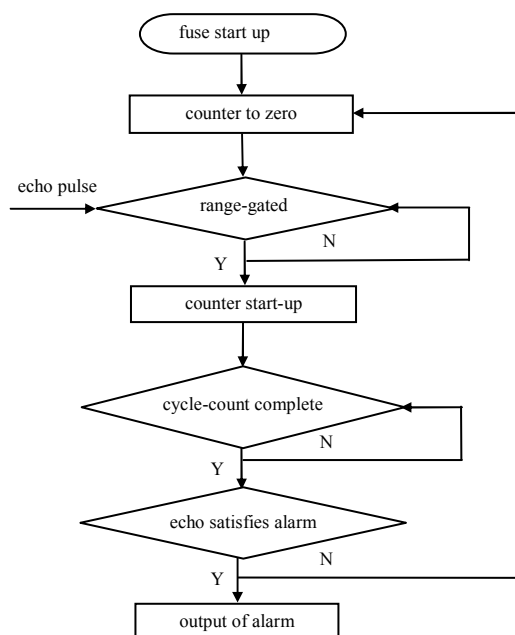


Fig.4 Flow chart for alarming algorithm
图 4 报警算法流程图

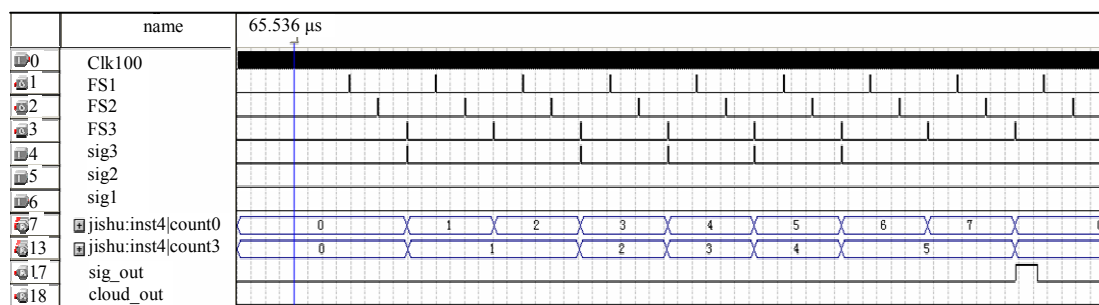


Fig.5 Simulation of echo alarming
图 5 回波报警仿真图

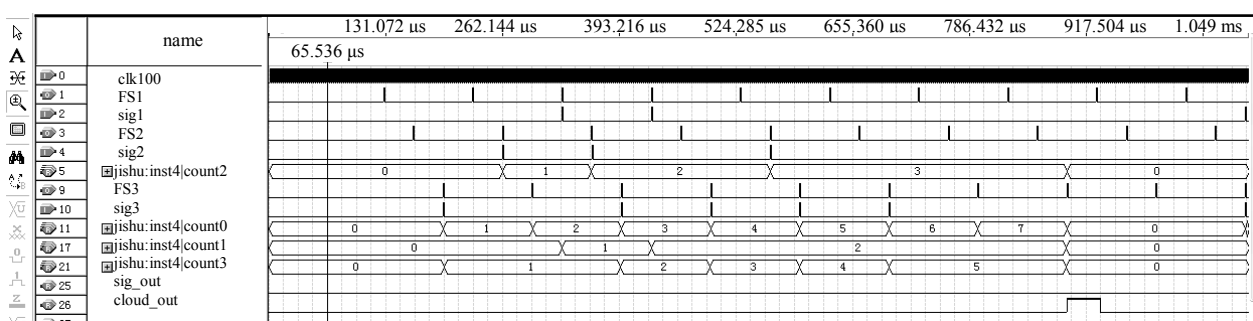


Fig.6 Simulation of echo alarming
图 6 回波报警仿真图

算法中还需考虑引信抗自然环境干扰设计。自然环境干扰最常见的是阳光干扰和云雾干扰。阳光干扰信号是由阳光直接照射到探测器上产生的,与引信固定发射周期相比,阳光干扰信号周期不固定,在时域上表现为非周期的随机脉冲。因此可利用其时域特征,一方面利用距离门选通,另一方面在每个发射周期的选通距离门外设置阳光门。算法原理是:在每个脉冲发射周期,对距离门和阳光门回波同时采样,如果在同一个发射周期内在距离门和阳光门均采样到脉冲信号,认为当前时刻引信受到阳光干扰,当前发射周期的回波信号不进行计数。

云雾干扰与阳光干扰不同,云或雾覆盖范围通常较大。当引信被云或雾包围时,在一个发射周期内 3 路接收通道会同时接收到回波信号,而引信探测真实目标时只会出现 1 路或 2 路接收通道接收到回波。根据这一现象设

计云雾干扰算法。算法原理是：在每个发射周期，如果出现3路选通距离门均采样到脉冲信号，认为当前引信受到干扰。仿真结果见图6，在同一个判别周期内，3路接收均有回波，在判别周期结束时，云雾干扰信号cloud_out输出高电平脉冲，而报警信号不输出。此时，引信可以根据实战情况，在接下来的时间里选择是否对判据进行加严或者对引信进行短时间封闭，以应对受到的云雾干扰。

4 结论

针对某型号激光引信的设计要求，选用一片FPGA芯片设计了信号处理电路，并采用VHDL语言编程实现了目标识别和抗干扰算法设计，同时进行计算机仿真。经地面准动态仿真试验验证，引信在不同环境条件下对目标正常启动，引爆信号输出正常，并且对阳光、云雾等具有良好的抗干扰能力。

参考文献：

- [1] 李东根. 空空导弹激光引信面临的干扰及抗干扰浅析[J]. 航空兵器, 2008(5):39-40. (LI Donggen. Jamming and anti-jamming technology of air-to-air missile laser fuze[J]. Aero Weaponry, 2008(5):39-40.)
- [2] 胡俊雄,张艳. 激光引信抗干扰技术综述[J]. 制导与引信, 2009,30(4):6-13,18. (HU Junxiong,ZHANG Yan. The anti-jamming technology summarization of laser fuze[J]. Guidance & Fuze, 2009,30(4):6-13,18.)
- [3] 张荫锡,张好军. 激光引信抗环境干扰技术分析[J]. 制导与引信, 2002,23(3):34-40. (ZHANG Yinxi,ZHANG Haojun. Laser fuze's anti-interference of environment[J]. Guidance & Fuze, 2002,23(3):34-40.)
- [4] 陈炳林,张河,纪铁刚. 脉冲激光引信电源抗干扰技术研究[J]. 强激光与粒子束, 2004,16(5):567-570. (CHEN Binglin, ZHANG He,JI Tiegang. Research on the technique of pulse laser fuze supply anti-interference[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2004,16(5):567-570.)
- [5] 王广生. 激光引信抗超低空地杂波干扰技术研究[J]. 探测与控制学报, 2004,26(1):13-17. (WANG Guangsheng. Study on anti-ground-clutter techniques for laser fuze at extreme low-altitude[J]. Journal of Detection & Control, 2004,26(1):13-17.)
- [6] 孙志慧,邓甲昊,潘曙光,等. 水下伪码调制激光引信信号处理技术研究[J]. 红外与激光工程, 2007,36(z2):146-149. (SUN Zhihui,DENG Jiahao,PAN Shuguang,et al. Signal processing technique of underwater pseudorandom code modulated laser fuze[J]. Infrared and Laser Engineering, 2007,36(z2):146-149.)
- [7] YAN Xiaopeng,LI Ping,JIA Ruili,et al. Study on detection techniques for laser fuze using pseudorandom code[C]// Proc. of SPIE(S0277-786X). 2007:1-6.
- [8] CHEN Huimin,LI Ping,PENG Zhoufeng,et al. Simulation of high precision pulsed laser fuze based on phase shifting[C]// Proc. of SPIE(S0277-786X). Beijing:[s.n.], 2009:1-5.
- [9] 王金花,陈斐霞. 用CPLD电路实现激光引信电路系统小型化设计[J]. 红外与激光工程, 2000,29(4):67-70. (WANG Jinhua,CHEN Feixia. Design of realizing laser fuze circuits system miniaturization with CPLD[J]. Infrared and Laser Engineering, 2000,29(4):67-70.)

作者简介：



陆长平(1983-),男,河北省遵化市人,硕士,高级工程师,研究方向光电引信技术等.email:luchangping0330@aliyun.com.