

· 光电系统与 设计 ·

## 基于 CPLD 和 DSP 的激光探测技术

姚龙海<sup>1</sup>, 叶庆<sup>1</sup>, 邱琳<sup>2</sup>, 沈超<sup>1</sup>

(1. 电子工程学院, 安徽 合肥 230037; 2. 中国科学技术大学, 安徽 合肥 230026)

**摘要:** 在比较 3 种激光探测技术优缺点的基础上, 选择技术相对成熟的光谱识别非成像型激光探测方案. 针对其信号处理能力弱的缺点, 采用 CPLD 和 DSP 作为信号处理芯片, 通过相应的软件算法来提高信号处理能力. 采用 10 路双通道光学系统, 可实现 1.06  $\mu\text{m}$  和 1.54  $\mu\text{m}$  双波段、360° 探测. 为满足高探测概率、低虚警概率的要求, 采用了二元相关探测技术.

**关键词:** 激光探测; 信号处理; CPLD; DSP

**中图分类号:** TN977; TN249

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-1255(2010)02-0014-04

## Laser Detection Technique Based on CPLD and DSP

YAO Long-hai<sup>1</sup>, YE Qing<sup>1</sup>, QIU Lin<sup>2</sup>, SHEN Chao<sup>1</sup>

(1. *Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China;*

*2. University of Science and Technology of China, Hefei 230036, China)*

**Abstract:** On the basis of a comparative analysis of the advantages and disadvantages of three types of existing laser detection technology, the relative matured non-imaging spectrum recognition technology was chosen to enhance the effect-cost ratio. CPLD and DSP were applied in the signal processing chips, together with compiling of corresponding software algorithm. The 10-path dual-channel optical system can execute a 360-degree detection at the wavebands of 1.06  $\mu\text{m}$  and 1.54  $\mu\text{m}$ . The binary-related detection technology is utilized to maximize detection probability and to minimize false alarm probability.

**Key words:** laser detection; signal process; CPLD; DSP

激光探测按照工作原理不同可分为光谱识别非成像型、光谱识别成像型和相干识别型. 光谱识别非成像型方位分辨率低, 对后继电路的信号分选与码型识别能力依赖大. 光谱识别成像型虽然角度分辨率比光谱识别非成像型高, 但其角度分辨率主要取决于成像单元(像素)的个数. 相干识别型虽然在上述三类中具有最高的定位精度, 但成本高, 且对工作环境要求苛刻<sup>[1,2]</sup>.

比较上述三类激光探测技术可知, 提高光谱识别非成像型激光探测的信号处理能力, 是效费比最高的途径. 随着大规模可编程逻辑器件 CPLD 和数字信号处理芯片 DSP 的迅猛发展, 使得提高信号处

理能力成为可能<sup>[3]</sup>.

### 1 系统总体设计

基于 CPLD 与 DSP 的光谱识别非成像型激光探测系统框图如图 1 所示. 其工作原理如下: 各个方向到达的激光信号被不同的光学通路接收, 通过相应的接收光学系统汇聚到 10 组光电探测器上. 每组光电探测器由 2 个能对 1.06  $\mu\text{m}$  波段和 2 个对 1.54  $\mu\text{m}$  波段响应的光电探测器组成. 每组光电探测器将激光信号转换成电信号经过放大电路, 由二元相关探测电路检测出脉冲信号送入 CPLD 参数测量电

收稿日期: 2010-01-28

作者简介: 姚龙海(1964-), 男, 江苏镇江人, 硕士, 教授, 研究方向为嵌入式技术; 叶庆(1981-), 男, 四川纳溪人, 博士研究生, 研究方向为光电技术.

路,测量其脉冲到达时间和脉宽.将上述测量的结果加上激光波长信息和方位信息一起生成激光信号描

述字.

为了排除干扰,提高探测概率,降低虚警概率,

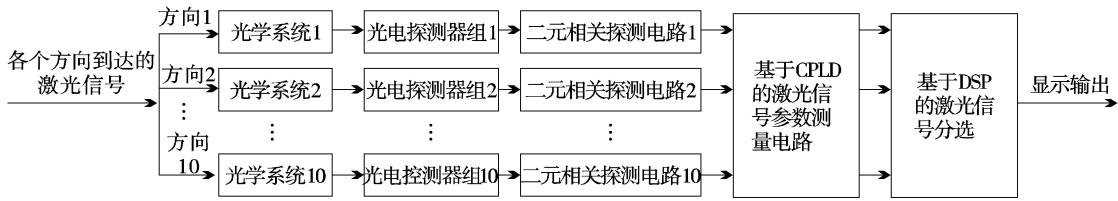


图 1 基于 CPLD 与 DSP 的激光探测系统框图

采用多元相关探测技术.即在一个光学通道内,并联 2 个相同的探测单元,并对 2 个探测单元的输出进行相关处理.由于各种干扰是随机产生的,2 个探测单元的干扰脉冲同时出现的几率极低,所以采用相关探测技术,可以使虚警率大幅度降低,信号灵敏度大幅度提高<sup>[2]</sup>.二元相关检测技术的原理如图 2 所示.一个波段的光学通道由 2 个探测单元组成.每个探测单元都有分立的光电二极管、前置放大器、主放大器 and 阈值比较器.2 个并联的探测单元共用 1 个光学窗口,其视场角为  $\theta$ .探测单元为一对光电二极管.当接收到激光脉冲后,由光电二极管进行光电转换,输出微弱脉冲信号经前放和主放放大后,其输出信号为  $S_1$  和  $S_2$ ,分别由 2 个阈值比较器 1 和 2 控制.2 个并联探测单元的阈值电流由同一个阈值发生器产生,以抑制小于阈值电流的噪声.阈值比较器的作用是检测大于阈值的信号而抑制小于阈值的噪声干扰.相关处理器是 1 个逻辑“与”电路,2 个探测单元输出的信号  $S_3$  和  $S_4$ ,在相关处理器中实行逻辑“与”处理.由于 2 个探测单元同时“与”出噪声干扰脉冲的几率几乎为零,所以在相关处理器中可轻而易举地消除干扰脉冲,而确保  $S_5$  输出的是复原的标准激光脉冲信号<sup>[4]</sup>.

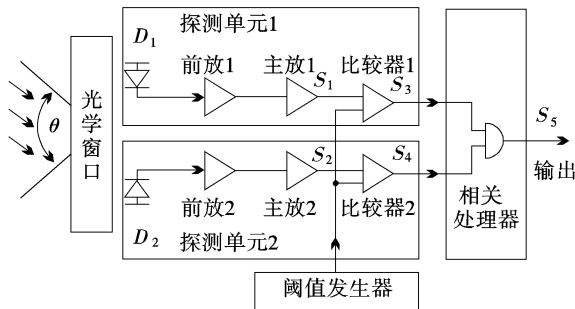


图 2 二元相关探测技术原理图

## 2 激光信号参数测量

信号参数测量电路包括 16 位时钟计数器、10

路脉冲到达时间测量电路、10 路脉冲宽度测量电路、20 路脉冲标识、中断产生电路、输出接口电路,其组成结构如图 3 所示.

16 位时钟计数器对输入的时钟脉冲进行计数,给脉冲到达时间测量电路和脉冲宽度测量电路提供统一的时间,脉冲到达时间测量电路和脉冲宽度测量电路是边沿触发的锁存器,分别是在脉冲的上升沿和下降沿将时钟计数器的计数值存到锁存器中,同时在脉冲的上升沿设置脉冲标识.20 路脉冲标识和时钟计数器的溢出相或作为中断信号输出.输出接口电路提供译码和输出控制.

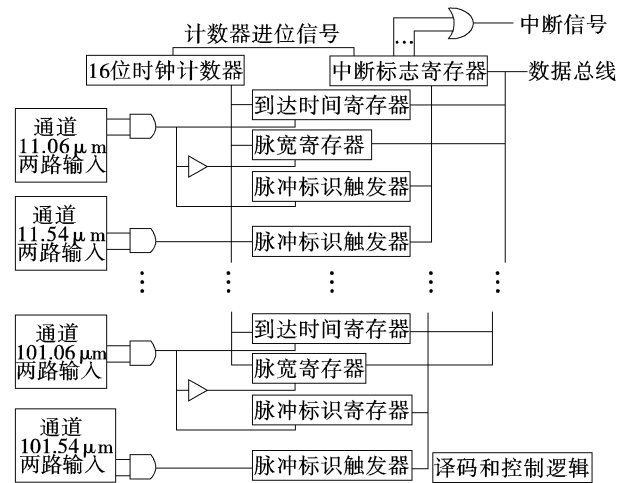


图 3 CPLD 激光信号参数测量电路结构

## 3 激光信号分选与识别

信号分选与识别采用美国模拟器件公司 (ADI) 生产的 Blackfin 系列 DSP ADSP-BF532. Blackfin ADSP-BF532 是一款 400 MHz 的处理器,具有 84 Kb 的片内存储器,是含有新型的 16/32 比特嵌入式处理器,专门设计用来满足要求强大计算能力并限制功率消耗的嵌入式应用需求. Blackfin 处理器在统一的结构中提供微控制器和信号处理 2 种功能,

可以在控制和信号处理 2 种功能需求之间灵活地划分. Blackfin ADSP-BF532 处理器包含一组丰富的外部设备,它们通过几种高带宽总线连到处理器内核,提供了系统配置的灵活性和优异的系统总体性能.通用外部设备包括:UART、带有 PWM(脉宽调制)和脉冲测量能力的定时器、通用标志 I/O、1 个实时时钟和 1 个看门狗定时器.此外,该处理器还包含各种高速串行和并行端口,可以和各种音频、视频及编解码器功能接口;包含 1 个中断控制器,可以灵活地管理来自芯片外部设备或外部中断源的中断;还具有电源管理控制功能,以便根据各种应用情况对处理器及系统的性能和电源特性进行权衡处理.

信号分选与识别电路包括 ADSP-BF532 处理器,1 片 MT48LC16M16A2 16M×16 位 SDRAM 存储器,1 片 SPI 接口的 flash 存储器 M25P64.应用程序存放在 flash 存储器 M25P64 中,由于 flash 存储器的访问速度无法适应 ADSP-BF532 处理器的处理速度,因此在系统复位时自动将 flash 存储器中的程序复制到 SDRAM 中,然后从 SDRAM 中开始运行. ADSP-BF532 处理器与 CPLD 的接口采用异步存储器接口方式,CPLD 的中断输出引脚连到 ADSP-BF532 的中断输入脚,一旦截获到激光脉冲或计数器溢出,CPLD 就产生中断信号要求 ADSP-BF532 立即给予处理.信号分选与识别电路的结构如图 4 所示.

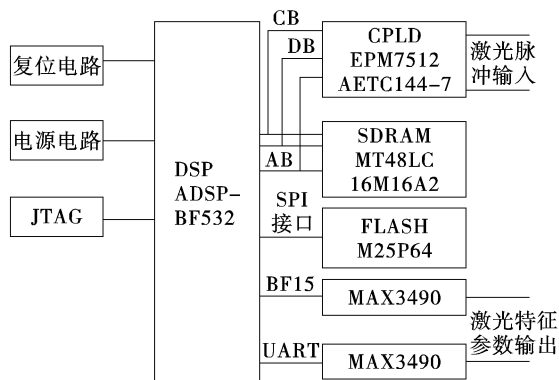


图 4 基于 ADSP-BF532 的信号分选与识别电路的结构

ADSP-BF532 处理器软件主要包括中断处理、通信控制、信号分选与识别等程序. ADSP-BF532 处理器一旦截获到中断信号,首先读取 CPLD 中的标识寄存器的值,以判定是计数器溢出还是探测通道截获到激光信号,在内存中分配 1 个 16 位计数变量用来与 CPLD 中的计数器一起构成 32 位的计数器,为激光脉冲提供 32 位的到达时间.在中断处理程序

中根据标识寄存器的值确定激光方位,加上脉冲到达时间和脉宽一起送信号分选与识别程序进行多目标信号分选和信号特征识别.通信控制主要是与主控计算机通信.信号分选与识别程序包括 SDIF 算法、变步长序列搜索法和未知编码信号算法.

其中,SDIF 算法的步骤如下:首先计算相邻脉冲到达时间的间隔,形成第一级差值直方图,根据相应的方法确定门限,然后进行子谐波检验,若只有一个值超过检测门限,则把该值当作可能的骨架周期进行脉冲抽取;若第一级差值直方图有几个超过门限的间隔,此时不进行脉冲抽取,而计算下一级的差值直方图,并与相应的门限比较,如果同一间隔在两级直方图中都超过门限,则以该间隔作为可能的骨架周期进行脉冲抽取.如果有多个间隔都满足上述条件,则依次以每个满足条件的间隔作为可能的骨架周期进行脉冲抽取.若能抽取出相应的脉冲子序列,则将其从总到达时间序列中扣除,并对剩余脉冲序列从第一级开始形成新的差值直方图.重复此过程直到没有足够的脉冲形成脉冲序列为止,其算法流程如图 5 所示<sup>[5]</sup>.

变步长序列搜索法的步骤如下:首先选定任一脉冲作为起点,根据 SDIF 算法得出的骨架周期,以一倍骨架周期为搜索步长,判断下一个脉冲是否存在,若存在,将下一脉冲作为起点,并将前一脉冲抽取掉,若下一脉冲不存在,判断是否为脉冲丢失情况,如果是,则以丢失脉冲应该的到达时间为起点继续执行搜索,否则选择下一个脉冲作为起点重新执行搜索.重复执行上述过程,直到在观察时间内将含有相同骨架周期的脉冲列抽取完毕为止.其中脉冲丢失的判别准则是:检测 2 倍和 3 倍骨架周期位置处是否有脉冲,如都有则是脉冲丢失.脉冲丢失的原因可能是接收过程中的漏警,也可能是多脉冲重合,导致在上轮抽取中该脉冲被扣除.将抽取出来的脉冲序列与已知的编码时序进行比较确定该编码信号的类型<sup>[5,6]</sup>.

未知编码信号算法识别过程如下:在识别出已知类型编码后,将其脉冲序列从总序列中扣除,最后利用独立性判断准则对稀释后的总脉冲序列进行未知类型编码的批次分选和码型判别.而独立性准则的含义是:如果脉冲序列是由同一激光源所发出,由于其出光时刻的波动具有相关性,则相应脉冲的间隔具有强相关性,而由多个独立的激光源所发射的信号混合而成的脉冲序列,由于出光时刻波动不相

关,则相应脉冲的间隔不具备强相关性<sup>[6]</sup>.

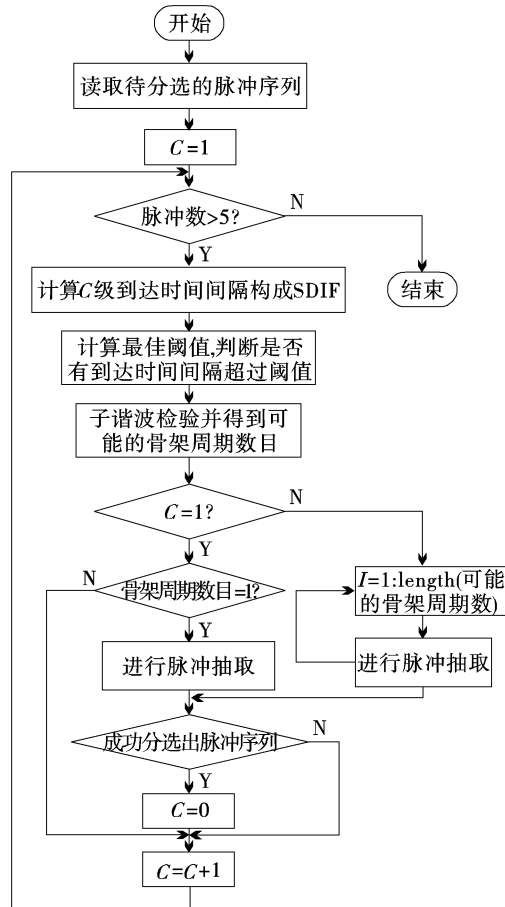


图 5 SDIF 算法流程图

## 4 结 论

通过以上软硬件的设计,可以看出基于 CPLD 和 DSP 的激光探测系统具有双波段、大空域探测、探测概率高、虚警概率低和信号处理能力强的优点,算法具有较好的实时性.文献[6]表明:在混合信号密度低于 100 pps 的条件下,该算法的时间可以控制在 1.5 s 以内.

## 参考文献

- [1] 付伟. 激光侦察告警技术的现状及发展趋势[J]. 红外与激光工程, 1999, 28(2): 6-9.
- [2] 孙晓泉, 聂劲松, 吕跃广. 激光对抗教程[M]. 北京: 解放军出版社, 2006, 12: 26-29.
- [3] 叶庆, 姚龙海, 陈长俊. 基于 DSP 的多激光威胁信号分选和码型识别[J]. 电子技术应用, 2006, 11(32): 58-60.
- [4] 肖洪梅, 吴健, 陈长庚, 等. 微弱激光脉冲信号的相关检测[J]. 光学与光电技术, 2004, 2(1): 61-64.
- [5] 姚龙海, 叶庆. 光电探测器阵列型激光告警系统信号分选和码型识别算法设计[J]. 光学与光电技术, 2007, 6(5): 63-65.
- [6] 叶庆, 孙晓泉, 程玉宝. 混合激光制导信号的批次分选与码型识别研究[J]. 电光与控制, 2009, 16(10): 70-74.

(上接第 7 页)

比较试验曲线和拟合传递函数的曲线如图 5 所示. 拟合曲线和试验曲线误差分布图如图 6 所示. 从中可以看出, 经最小二乘法拟合的理论曲线, 在较宽的频率范围内与试验真值保持了良好的一致性.

## 5 结 束 语

光电跟踪系统是集光、机、电于一体, 由多个分系统组成的光电设备. 跟踪精度和响应速度是光电跟踪系统的 2 个关键指标, 也是系统方案选择的决定因素. 建立被控对象的精确数学模型, 对控制系统的设计有重要意义. 针对跟踪环架速度稳定回路的各个环节进行建模, 并对跟踪环架进行了频率特性测试, 运用了最小二乘法拟合测试数据, 得到被控对象较为精确的数学模型, 通过仿真可看出试验曲线和拟合曲线在较宽的频率范围内一致. 通过建立的

控制对象数学模型, 可以更好地根据方位轴系的稳定性能和动态性能要求, 精确的设计校正环节, 从而提高系统的跟踪控制精度. 运用该方法也可以对俯仰跟踪环架进行建模, 设计校正环节. 此方法还可以对各个闭环跟踪控制回路进行分析, 测试闭环跟踪控制系统的性能指标, 在工程上具有较好的实用性.

## 参考文献

- [1] 马佳光. 捕获跟踪与瞄准系统的基本技术问题[J]. 光学工程, 1989, 16(3): 1-42.
- [2] 张景旭, 王洋. 动载体光学图像视轴稳定技术[J]. 光电技术应用, 2007, 22(1): 4-7.
- [3] 王连明. 机载光电平台的稳定与跟踪伺服控制技术[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2002: 29-42.
- [4] 魏克新, 王云亮, 陈志敏, 等. MATLAB 语言与自动控制系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 155-202.