

文章编号: 1000-5862(2018)02-0144-05

基于 DSP 的高速多光谱探测系统研究

孙海峰 孙秀玲 张景波 李 娟

(长春理工大学光电信息学院, 吉林 长春 130000)

摘要: 为了实现高速获取多窄脉冲光谱分布数据信息, 并抑制背景噪声及多光谱源之间相互干扰的问题, 研究了一种基于 DSP 控制 DMA 高速采集干涉条纹并反演光谱的系统. 设计了帧减降噪处理算法用于完成对窄脉冲光信号与背景光噪声的分离与提取, 并通过 3 级乒乓缓存结构实现了该算法在高速 DSP 中的流水线作用. 给出了系统硬件结构设计与 DMA 控制方式, 分析了帧减降噪算法及乒乓缓存设计的实现方法. 在 CCS 环境下仿真计算了帧减降噪算法条件下干涉条纹的输出变化, 论证了该方法的可行性. 实验采用 555 nm、665 nm 以及 805 nm 3 种窄脉冲激光同时入射系统进行光谱测试, 数据采集由 DSP5510 控制 DMA8237-5 实现. 结果显示, 采用帧减降噪算法的光谱分布旁瓣抑制效果好, 背景噪声基本消除, 并且其处理速度比基于 C++ 光谱分析软件的系统提高了 3 倍左右. 由此可见, 该设计具有高速多光谱同时探测的性能.

关键词: 光谱探测; DSP; 帧减降噪算法; 多光谱

中图分类号: TN 911 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.02.05

0 引言

光谱分析技术在航天、化工、物质分析等领域被广泛应用^[1], 各种类型的光谱分析设备不断涌现, 对光谱分析的性能也出现了各种要求, 如对光谱分辨率的要求, 很多应用需要通过提高光谱分辨率来提高系统的测试精度^[2-6]; 如对光谱分析速度的要求, 一些应用场合要求测试速度较快, 否则难以对大量数据进行处理; 如对多光谱混合数据的处理与提取, 在目标识别、光源特性分析等方面, 常常存在多种光谱并存且需要分别检测的要求, 即多光谱数据处理的要求^[7].

光谱成像系统包括光谱采集部分与成像采集部分, 其中光谱的采集主要通过光栅法、干涉法以及晶体相位调制法等^[8-11]. 无论哪种方法目的都是将被测区域光信号的光谱信息提取出来, 最终通过与 2 维图像融合从而构成光谱图像. 在传统测试中, 光谱检测设备主要针对的是缓变信号, 可以通过增加采集时间提高信噪比. 对于窄脉冲光信号的检测较为复杂, 通常情况下, 对于窄脉冲信号不采用时间扫描

的方式获取干涉图像, 而采用分光法或空间扫描法实现^[12-13]. 同时, 在数据处理系统中, 对于窄脉冲信号的硬件设计也有所不同, 其对系统数据处理的实时性要求更高. 在高速数据处理方面数字处理芯片 (digital signal processing, DSP)^[14-16]有着不可替代的优势, 因为 DSP 的运算速度快, 可以与高速 CCD 匹配使用; DSP 可实现较高的集成性, 更为重要的是 DSP 的分时复用能力可以为多光谱数据处理节省大量时间, 为实现系统高速运行提供必要的保障. 本文基于 DSP 技术对多光谱的窄脉冲光信号进行高速采集的数据处理系统研究.

1 系统设计

光谱成像系统由光谱采集部分与 2 次成像部分组成. 光谱采集部分收集待测区域目标的反射光信号, 然后由干涉系统形成干涉条纹从而实现对光谱信息的提取, 而 2 次成像部分将待测区域的 2 维图像成像在 CCD 像面上, 从而两者共同构成光谱图像, 系统组成如图 1 所示.

收稿日期: 2017-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(61572019)资助项目.

作者简介: 孙海峰(1978-), 男, 吉林长春人, 副教授, 主要从事计算机应用、数据处理及数据库等研究. E-mail: sun-haifengnuc@sina.com

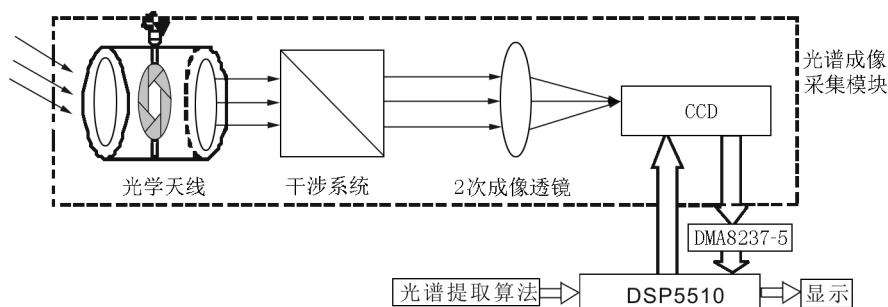


图1 基于5510的高速光谱探测系统

系统的设计要求是可以高速地采集待测区域的光谱图像。显然,待测区域2维图像的采集对于高速CCD而言是很容易实现的,而对于光谱数据的获取则是设计的重点与难点。其核心部分包括:(i)设计高速采集与数据处理的控制电路,在本系统设计中采用DSP5510直接控制DMA实现数据的高速采集,并利用乒乓缓存方式与帧减技术完成了对数据采集过程中的抑噪处理;(ii)针对多个窄脉冲光源的同时识别与光谱复现,为了提高光谱反演的准确度,实现同时对多窄脉冲光源的识别,在DSP控制程序中加入了对多光谱入射条件下分布数据变权数的处理步骤,从而使输出光谱的信噪比更高。

2 硬件设计与实现

2.1 总体结构

如图2所示,采集模块由CCD与DMA、DSP共

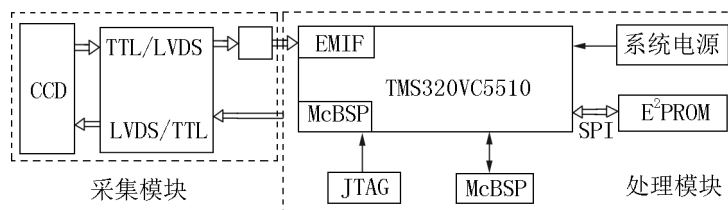


图2 基于5510型DSP的控制系统

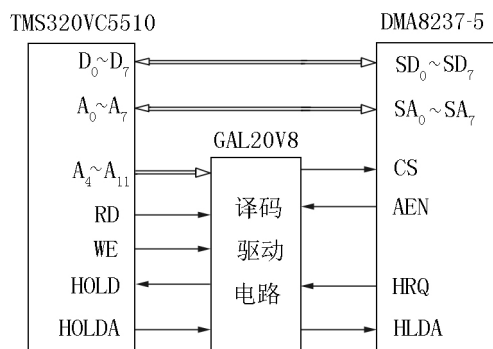


图3 高速数据采集模块

对于DSP5510而言,其HOLD操作允许对数据进行直接存储器访问,并通过HOLD和HOLDA信号实现。(i)当HOLD为低电平时,可以请求对外部总线的控制;(ii)当响应HOLD中断后,处理器需要

同构成,DSP通过McBSP控制CCD完成对干涉条纹的采集。由于CCD的Camera-Link接口为LVDS信号,不能直接完成DSP的控制。同时,为了提高系统的实时处理性能,将CCD采集的干涉条纹数据信号先由高速DMA采集处理,再将数据传递给DSP进行光谱分析与显示。在DSP中通过程序设计完成光谱反演,包括干涉条纹的抑噪处理、滤波、FFT以及光谱标定。在光谱标定部分特别设计了一种适用于多光谱数据分析的算法,从而提高多光谱数据的区分度,增大系统光谱数据信噪比。

2.2 高速数据采集

为了提高系统的处理速度,采用了DSP直接控制DMA实现,由TMS320VC5510型DSP与DMA8237-5相连,硬件连接结构如图3所示。

等待HOLD的应答,从而放弃此前的控制。在本系统的设计过程中,HOLD/INT1的子程序用于控制DMA的数据输出,将DSP的ICR中的控制方式设置为0。同时,INT1可以实现对中断请求的响应。当DSP收到下降沿时,完成当前指令,然后转入中断服务子程序。当测试到控制方式为0时,子程序完成IDLE指令。最终,只有当HOLD/INT1产生上升沿后,DSP才取消IDLE状态,并且HOLDA无效,外部数据线返回正常状态,等待下一次数据载入。

2.3 抑噪处理

因为本系统主要针对窄脉冲光源的识别与判断,所以在数据处理中与常见的连续光谱探测有所区别,通常待测的窄脉冲信号重复频率低,故探测器

的连续输出信号中并不是每一帧都有激光信号,其余大部分是背景光信号,而背景光属于缓变信号,所以可以通过帧减的方式实现背景光噪声的抑制。即将相邻的 2 帧数据相减,从而提取窄脉冲激光信号。同时,为了提高系统的实时性,除了硬件处理速度要

快之外,对于数据采集方式的选择也十分重要。系统采用了乒乓缓存的方式,与多通道帧减技术共同完成多光谱数据获取的流水作业。由此在 CCS 环境中完成该数据处理算法的仿真分析,结果如图 4 所示。

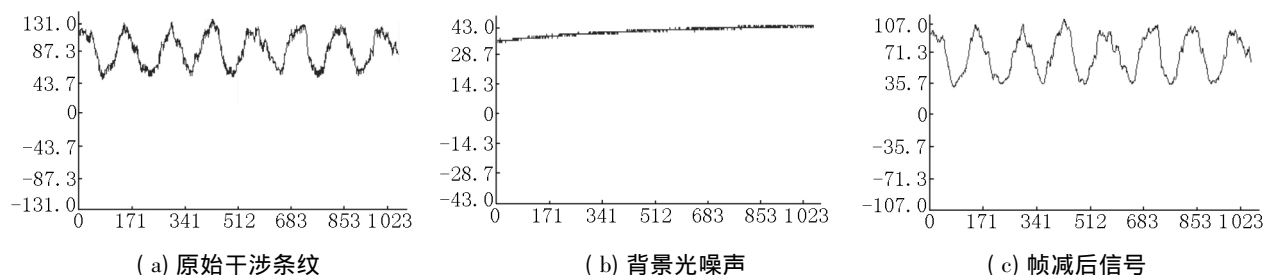


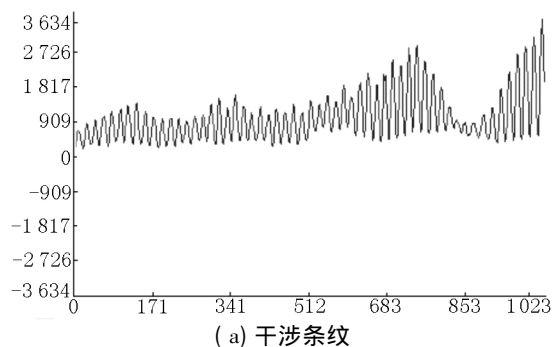
图 4 帧减抑噪处理的效果对比

在处理系统的数据存储区中设置 3 个依次工作的存储缓冲区(A 区、B 区、C 区),采用标志位设置的方式实现这 3 个区域之间的切换,从而构成 3 级乒乓存储结构。当 A 区采集第 i 帧干涉图像数据时, B 区和 C 区进行帧减处理,从而得到背景光信号差。该差值信号可以用于判断是否存在窄脉冲激光信号,当分析认为存在高频信号时,即有窄脉冲激光信号存在时,执行后续程序。按照该方法交替工作,极大地减小背景光噪声的影响,可以在识别窄脉冲激光信号的同时完成高速流水作业。在图 4 中,通过帧减降噪处理后,干涉条纹信号的纹波明显减少,其平均条纹对比度从 0.39 提高到了 0.58,对比性能提高了 48.7%,验证了该设计可以增加信号纯度。

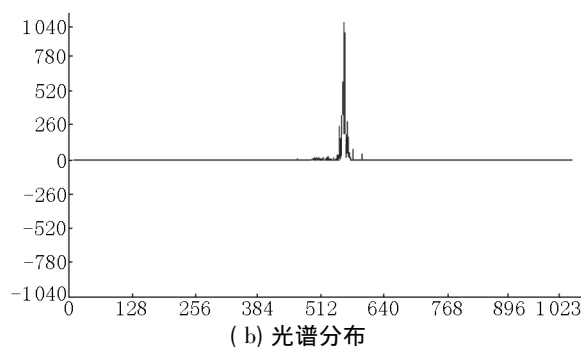
3 实验

3.1 实验环境

实验采用 TMS320VC5510 型 DSP 控制



(a) 干涉条纹



(b) 光谱分布

图 5 555 nm 窄脉冲激光测试结果

由图 6(a)可知,数据采集后形成干涉条纹,干涉条纹数据与窄带脉冲激光个数有关,但是从数据形式上基本一致;由图 6(b)和图 6(c)的对比可知,

DMA8237-5 完成 CCD 数据的高速采集,采用 Vieworks 公司 VH-5MG2-M16 型 CCD 完成待测区域光信号的采集,其空间像素 2448×2056 ,光谱范围为 $400 \sim 1100 \text{ nm}$,像元尺寸 $3.45 \mu\text{m} \times 3.45 \mu\text{m}$ 。实验分别对 555 nm、665 nm 和 805 nm 窄脉冲激光器进行测试,并实现多光谱数据的同时处理,实验结果与基于 C++ 光谱分析软件的处理结果相比较。

3.2 干涉条纹与光谱分布

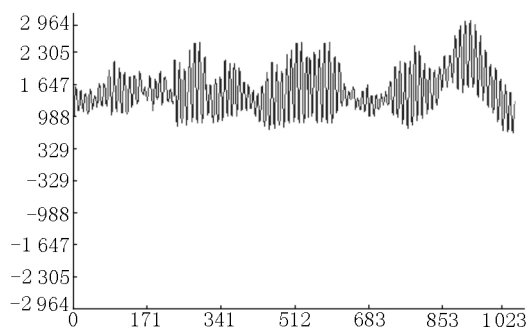
若不采用本系统设计的帧减降噪算法,则系统对单一中心波(555 nm)长窄带光源的测试效果如图 5 所示。

由图 5 可知,光谱分布的中心波长位置准确,但旁瓣较大,信噪比较低。而为了实现多光谱数据同样具备高分辨性,引入了帧减降噪算法,实验对 3 个不同波长的窄脉冲激光信号进行同时测试,结果如图 6 所示。

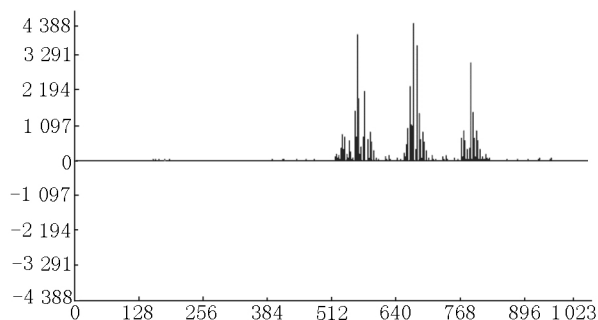
未采用帧减降噪算法的多光谱分布数据虽然能够看到明显的中心波长峰峰值,但是其旁瓣大。若中心波长相近的激光入射时则难以区分,而采用帧减降噪

算法的光谱分布旁瓣抑制效果好,背景噪声基本消除.由图6(c)和图6(d)的对比可知,采用本系统的光谱分布与采用C++环境下光谱分析软件的测试结果基本一致,3个窄脉冲激光峰峰值明显.同时,由于本系统采用了高速DMA直接采集处理以及应

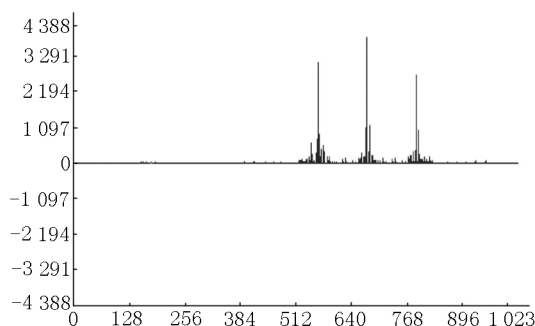
用3级乒乓缓存技术,使得系统实时性得到了较好的提升.相比基于C++的光谱数据分析速度提高了3倍以上,可以更好地适用于实时光谱数据处理的情况.



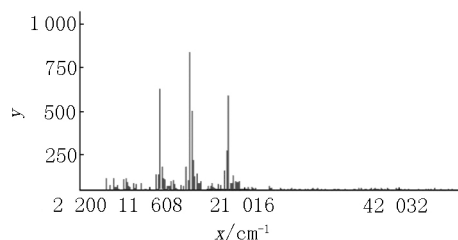
(a) 多光谱干涉条纹



(b) 直接计算的光谱分布



(c) 经帧减降噪处理的多光谱分布



(d) 由C++光谱分析软件处理的多光谱分布

图6 经处理后的光谱分布对比图

4 结论

本文针对多窄脉冲激光光谱的实时光谱分析进行了研究,设计了一种DSP+DMA的高速采集系统,并且在系统中引入了帧减降噪算法.该算法实现了对背景光噪声的抑制,同时,结合3级乒乓缓存技术使系统具有高速处理能力.系统分别对555 nm、665 nm和805 nm的窄脉冲激光信号进行了检测,首先完成了单光源的测试,后又完成了3组同时入射的测试,结果显示,采用帧减降噪算法的光谱分布旁瓣抑制效果好,背景噪声基本消除,并且其处理速度比基于C++光谱分析软件的系统提高了3倍左右.总之,实验结果表明本系统设计符合设计要求,在高速多光谱探测领域具有较好的应用前景.

5 参考文献

[1] 徐荣伟,刘宏展,刘立人.马赫-曾德尔型相移矢量剪切干涉仪[J].光学学报,2006,26(2):269-274.

[2] Takada Kazumasa. Correction for phase-shift deviation in a complex Fourier transform integrated-optic spatial heterodyne spectrometer with an active phase-shift scheme [J]. Optics Letters, 2011, 36(7): 1044-1046.

[3] 常丽,李健强.基于CCD和FPGA的光栅位移测量系统[J].仪表技术与传感器,2010(5):103-105.

[4] 周志娟,张玉贵,樊奔.基于FPGA的干涉信号双ADC采集系统设计[J].电子测量技术,2016,12(4):123-128.

[5] Rossi Alessandro, Diani Marco, Corsini Giovanni. Bilateral filter-based adaptive non-uniformity correction for infrared focal-plane array systems [J]. Optical Engineering, 2010, 49(5): 57003.

[6] 余福荣,罗海波,胡宇,等.基于DSP处理系统的多路数据传输方法与实践[J].电子技术应用,2014,40(4):25-28.

[7] 戴军,唐湘成,高志峰.海空背景下红外图像处理系统设计与实现[J].红外技术,2016,38(2):121-125.

[8] Yoshimura H, Asakura T, Takai N. Spatial coherence properties of light from optical fibres [J]. Optical and Quantum Electronics, 1992, 24(6): 631-646.

- [9] 郭文记,曾晓茹,赵宝玮,等. 高光谱 RX 异常检测的多 DSP 并行化处理技术 [J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(5): 1383-1387.
- [10] 龚昌来. 基于小波变换和均值滤波的图像去噪方法 [J]. 光电工程, 2007, 34(1): 72-75.
- [11] 贺刚,柏鹏,彭卫东,等. 一种基于 IP 核通信系统中滑动相关捕获算法的 FPGA 实现 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2011, 35(2): 151-154.
- [12] 王伟,陆亦怀,陆钊,等. 基于 DSP 的傅里叶变换红外光谱仪动镜控制系统设计 [J]. 量子电子学报, 2015, 32(1): 8-16.
- [13] 李婵,万晓霞,谢伟,等. 多通道光谱采集系统滤光片设计方法研究 [J]. 应用光学, 2016, 37(5): 639-643.
- [14] 何武光,吴键,王仕璠. 激光探测告警光学系统设计 [J]. 光电工程, 2006, 33(7): 48-51.
- [15] 王明艳,王志斌,张记龙,等. 基于 DSP 的弹光调制干涉具干涉数据的实时处理系统 [J]. 光电子技术, 2013, 33(1): 41-44.
- [16] 张多利,沈休垒,宋宇鲲,等. 基于异构多核可编程系统的大点 FFT 卷积设计与实现 [J]. 电子技术应用, 2017, 43(3): 16-20.

The Study on Multispectral Detection System Based on High-Speed DSP

SUN Haifeng, SUN Xiuling, ZHANG Jingbo, LI Juan

(College of Optical And Electronical Information, Changchun University of Science and Technology, Changchun Jilin 130000, China)

Abstract: In order to achieve high-speed acquisition of multi-narrow pulse spectral distribution data, and suppress the problem of mutual interference between background noise and multispectral sources, the system for inversion spectra based on DSP is studied, which can control DMA high-speed acquisition of interference fringes. The frame noise reduction algorithm is designed, which is used to complete the separation and extraction of narrow pulse light signals and background light noise. At the same time, in the high-speed DSP, the algorithm's pipeline function is implemented through the three-level buffer structure. The system hardware structure design and the DMA control mode are given, the frame reduction noise reduction algorithm and the military bucket cache design means are analyzed. In the CCS environment, the output variation of the interference fringes based on the frame noise reduction algorithm is simulated and the feasibility of the method is proved. In the experiment, three narrow pulse lasers, which are 555 nm, 665 nm and 805 nm, are used for the incident system for spectral testing. Data acquisition is controlled by DSP5510 DMA8237-5 implementation. The results show that the spectral distribution side lobe suppression effect is good, the background noise is basically eliminated by the frame noise reduction algorithm. And its processing speed increases by about three times than the C++ spectrum analysis software based on the system. It can be seen that the design is a high-speed multi-spectral simultaneous detection performance.

Key words: spectral detection; digital signal processing(DSP); frame reduction noise reduction algorithm; multi-spectral

(责任编辑: 冉小晓)