

文章编号:1001-893X(2009)01-0022-05

## 虚拟飞秒示波器的实现\*

刘春平<sup>1</sup>, 阮双琛<sup>1</sup>, 刘承香<sup>1</sup>, 龙井华<sup>2</sup>

(1. 深圳市激光工程重点实验室, 广东 深圳 518060; 2. 深圳大学 师范学院, 广东 深圳 518060)

**摘要:**提出了一种新颖的基于频率分辨光学快门(FROG)和虚拟仪器(VI)技术的飞秒激光脉冲实时测量方法,以获得超短激光脉冲的强度和位相信息。在二次谐波产生频率分辨光学快门技术中,将被测超短脉冲光源分割成两束光,改变其相互之间的时间延迟,将两束光聚焦到100  $\mu\text{m}$ 的BBO晶体中,产生二次谐波。控制时间延迟在0到N个时间单位变化,获得二次谐波的二维频谱数据,通过PC2000-ISA卡式光谱仪和Ocean Optics公司的OOIwinIP驱动软件采集频谱数据送到微机中,通过迭代算法求出超短脉冲的强度和位相信息。各个软件模块,包括数据采集、脉冲恢复、图形显示灯的编程基于Labwindows/CVI软件平台。实验表明,迭代算法大约经过50次左右的运行,迭代误差低于一个可接受的阈值,获得一个收敛结果。用该示波器对美国相干公司的钛宝石飞秒激光器输出175 fs脉冲进行测量,获得了准确的测量结果。

**关键词:**脉冲测量;频率分辨光学快门;虚拟仪器;虚拟示波器

**中图分类号:**TM935.3;TN87 **文献标识码:**A

## Realization of a Virtual Femtosecond Optical Pulse Oscilloscope

LIU Chun-ping<sup>1</sup>, RUAN Shuang-chen<sup>1</sup>,  
LIU Cheng-xiang<sup>1</sup>, LONG Jing-hua<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Key Laboratory of Laser Engineering, Shenzhen 518060, China;  
2. Normal College, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

**Abstract:** A novel measuring implementation method based on second-harmonic generation frequency-resolved optical gating (SHG-FROG) is presented. Both the intensity and phase of arbitrary-shaped ultra-short laser pulses can be got. According to SHG-FROG, the femtosecond pulse produced by a laser source is split into two beams. Through changing the time delay between them by a stepped electromotor, the second-harmonic signal field is generated by focusing these two beams to a 100  $\mu\text{m}$  BBO crystal. Changing the delay from 0 to N (N is the samples number of time domain or frequency domain) delay units, the two-dimensional spectrum data of the second-harmonic signal field are acquired by PC2000-ISA card spectrometer and OOIwinIP of Ocean Optics. These data are provided to a pulse amplitude and phase retrieval algorithm to retrieve the parameters of the pulse. An experimental system is erected and all the software modules, including spectrum data acquiring, pulse retrieving and displaying, are based on Labwindows/CVI of National Instrument Corp. The results show that after 50 times iterations or so, the iterative error of the algorithm can be reduced to an enough small value and then the pulse amplitude, phase and other parameters are obtained. A precise pulse width is presented by this virtual oscilloscope in the process of the measurement of the 175 femtosecond output pulse of titanium sapphire laser made by Coherent Corp.

**Key words:** pulse measurement; FROG; virtual instrument (VI); virtual oscilloscope

\* 收稿日期:2008-10-07; 修回日期:2008-12-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60471048);深圳市科技局资助项目

## 1 引言

近几年,超短光脉冲产生技术取得不断进步,它在物理、化学、生物等领域的应用也不断发展。此时,精确测量超短脉冲的振幅和相位变得非常重要。但是,传统的自相关技术无法全面和准确地测量超短脉冲的振幅和相位。在许多新型超短脉冲测量方法中,基于时频技术的频率分辨光学快门(Frequency Resolved Optical Gating, FROG)能够严格、全面地测量脉冲的振幅和相位,目前,已经可以用来测量各种波长和能量的脉冲<sup>[1,2]</sup>。FROG 包括实验和算法,它的基本思路是将待测脉冲经分束器后形成的两个具有相对时间延迟的脉冲在非线性介质中混合,相互作用产生一个在系列时间段内频率分辨的信号脉冲,用信号采集卡和算法程序获取光脉冲的脉宽和相位信息。

当前,飞秒脉冲测量的主要研究工作集中在对脉冲的快速实时测量上,本文采用虚拟仪器技术实现 FROG 实时飞秒脉冲测量是一种很好的探索,因为虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)概念最初是为适应 PC 卡式仪器而提出的。它通过应用程序将通用计算机与功能化模块进行结合,用户可以利用计算机强大的图形环境和在线帮助功能,建立图形化的虚拟仪器软件面板,完成对仪器控制、数据分析、存储和显示<sup>[3-5]</sup>。这在一定程度上提高了仪器的功能和使用效率,并使得仪器价格大幅度降低。本文采用 Labwindows/CVI 作为基本的软件平台设计了实时 FROG 飞秒测量虚拟示波器,后面将介绍该示波器的总体设计方案、软件设计和实现过程。

## 2 飞秒脉冲测量系统总体设计

图 1 为本文采用的二次谐波频率分辨光学开关法实验测量图,系统分为前端光学系统和后端电学系统,整体形成一个闭环。其中硬件系统主要包括 FROG 光学系统、步进电机及其驱动卡、光谱仪和 PC 机。软件系统主要包括数据采集、脉冲恢复算法和图形显示 3 个模块。

所测光源为钛宝石飞秒激光器,输出中心波长 800 nm。测量中,我们采用 2 mm 厚的分光镜将飞秒脉冲激光等分成两束,令一束通过步进电机控制的延迟线,作为开关光  $E(t-\tau)$ ;另外一束光经反射后与开关光平行,作为探测光  $E(t)$ ;然后用聚焦透

镜将这两束光聚焦到一块 100  $\mu\text{m}$  厚的 BBO 晶体上,调节开关光延迟时间让两束光在时间上完全重合,此时在 BBO 晶体后面就会有蓝色的倍频光出现,此即为信号光  $E_{\text{sig}}(t, \tau)$ 。

改变延迟线采集不同延迟时间下的光谱信号,然后采用光谱仪采集信号光,根据每一个特定延迟值,数据采集模块读入 Ocean Optics PC2000 - ISA 光谱仪记录下的该时延的频谱数据并保存下来,然后从 RS232 接口发出控制信号给步进电机改变时延,数据采集模块读入新的时延下的频谱数据,循环下去直至一帧数据读完。一帧数据采集完成后,一方面传给强度和相位恢复算法进行脉冲恢复和显示,同时通过 RS232 接口发出步进电机回位信号,又开始新一帧数据的采集。

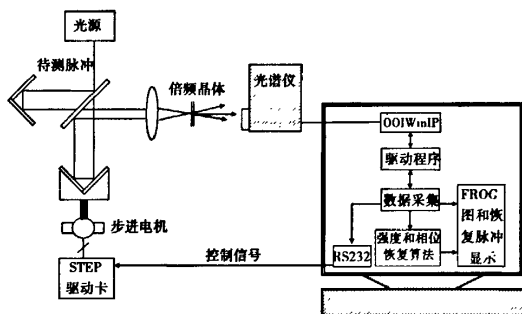


图 1 飞秒脉冲示波器试验装置图

## 3 飞秒脉冲示波器的软件设计

飞秒脉冲示波器软件设计的主要任务是实时快速地测出飞秒脉冲的幅值和相位,而影响飞秒脉冲快速性的因素有:①数据采集部分。这是因为步进电机的机械动作相对较慢,数据采集模块采集一帧数据所用时间比脉冲恢复模块处理该帧数据所用时间要长;而且光谱仪采集光谱强度也是影响整体运算速度的一个重要部分;②恢复算法计。恢复算法中每算一次要对一个  $64 \times 64$  的矩阵进行 64 次列傅里叶变换和 64 次反傅里叶变换,假设计算 50 次算法收敛,那么也就相当于要完整地恢复出脉冲的信息需要计算  $50 \times 64$  次列傅里叶变换和  $50 \times 64$  次列反傅里叶变换,以及各种移位计算,所以算法所需的时间也是影响实时性的又一个重要因素。本文采用 Labwindows/CVI 作为基本的工作平台,利用多线程技术解决了数据采集和恢复算法之间的矛盾,而且

可以在测量过程中随意改变界面颜色和参数设置,并增强了算法的快速性和实时性。

### 3.1 LabWindows/CVI 多线程编程技术

由于通常我们所编写的程序都是单线程程序,迄今为止,多线程仍不是一个为每位编程人员所熟知的概念。一个应用程序的执行实例被称作一个进程,进程开始运行时,就启动了一个主线程。主线程结束,进程也就终止。在多线程程序中,每个线程独立执行程序代码中的一组指令。从表面上看,这几个线程是同时运行的,而实际上每个线程是按照操作系统严格的调度等待下一个属于自己的有效处理器时间片。将不同的任务放在不同的线程中可以简化程序的开发工作,使程序运行更加有效,能够解决很多单线程程序无法解决的问题。

一个典型的 CVI 多线程程序,主线程(main thread)主要用来创建、显示并运行用户界面;次级线程(secondary threads)用来执行其它的需要实时处理的操作。CVI 提供了两种在次级线程中运行代码的机制,一种是线程井(Thread Pool)机制,另一种是异步时钟(Asynchronous Timer)。其中线程井是比较常用的机制,异步时钟适用于需要定间隔执行的任务。在 CVI 中,创建一个线程井并启动线程函数的执行要依次调用函数 CmtNewThreadPool() 和函数 CmtScheduleThreadPoolFunction(), 并通过调用函数 CmtWaitForThreadPoolFunctionCompletion() 等待线程函数执行结束,通过调用函数 CmtDiscardThreadPool() 来释放线程井。这些函数中各参数的含义及用法在文献中有具体说明。操作线程所涉及的因素很多,比如:管理新线程、暂停和恢复线程、设置线程的优先级、线程的正常终止与非正常终止、线程局部变量的运用等等。更重要的是,多线程程序的设计必须注意数据的保护问题,特别是全局变量和静态局部变量的保护,否则,程序运行将出现无法预料的错误,或者出现死锁现象。CVI 提供了3种机制来对数据进行保护:线程锁、线程安全变量和线程安全数列。其中线程安全变量和线程安全数列使用相对频繁一些。由于 CVI 所提供的多线程编程功能十分强大,所涉及的内容多而广,本文限于篇幅不再详细介绍。

图2给出了 CVI 多线程应用程序的基本流程。在实际进行应用程序设计时,软件流程要比所给出的复杂得多,具体结构也将会有所变化<sup>[3]</sup>。

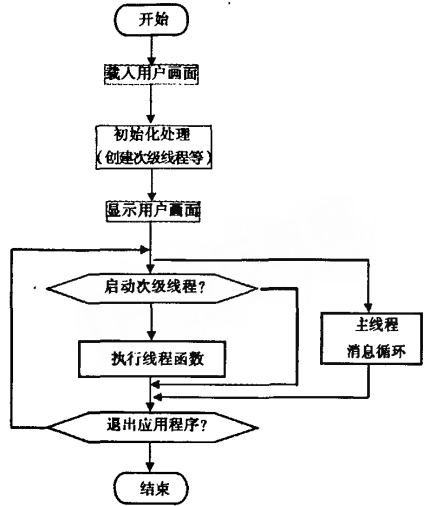


图2 CVI多线程应用程序基本流程

### 3.2 实时飞秒脉冲测量多线程技术

本系统采用了 Labwindows/CVI 作为主要的开发软件和控制面板设计,结合 Labwindows/CVI 的多线程技术,本系统的软件流程如图3所示。

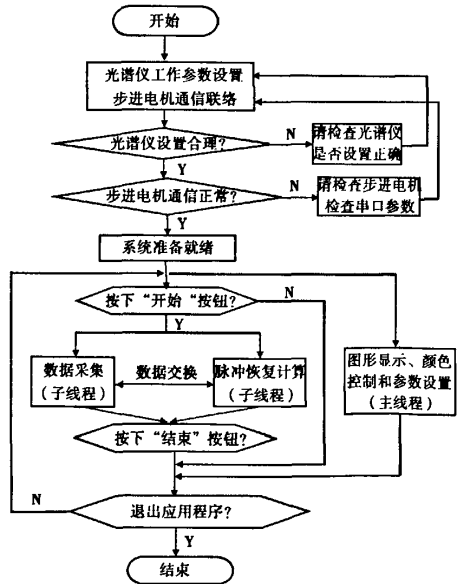


图3 实时飞秒脉冲示波器软件流程图

首先是光谱仪工作参数设置、步进电机的对准和通信联络,当这两部分都正常后,系统启动图形显示、颜色控制和参数设置主线程,而其它两个线程处于待命状态,按下“开始”按钮后,系统启动数据采

集和脉冲恢复算法两个次线程,此时3个线程同时运行,多线程的处理使得程序充分利用了CPU资源,比如:数据采集过程和恢复算法的计算过程可以并行运行,系统发出步进电机移动的命令后,CPU并不等待步进电机运动完而同时执行计算程序,而且每当步进电机形成一个新的时延后会“告诉”计算机可以进行光谱信号数据的采集,并且计算机给光谱仪发一个采集光谱数据的信号之后仍然不用等待光谱仪将数据采集完,CPU而是借助光谱仪数据采集的间隙进行恢复算法的计算。这样的处理大大减少了执行时间,提高了飞秒脉冲示波器的快速性和实时性。

## 4 飞秒脉冲示波器的实现

### 4.1 飞秒脉冲示波器主界面

图4为所设计的飞秒脉冲虚拟示波器的程序主界面,主要包括四大区:参数设置区、FROG图显示区、恢复脉冲曲线显示区和脉冲参数显示区。参数设置区由一系列按钮组成,包括光谱仪参数设置,步进电机参数设置和通信联络、初始化对准、开始、结束等;脉冲参数显示区由一系列数值框组成,包括脉宽、时间带宽积、频宽、自相关宽度等,而FROG图显示区、恢复脉冲曲线显示区用以显示获得的FROG图和恢复脉冲幅值和相位。

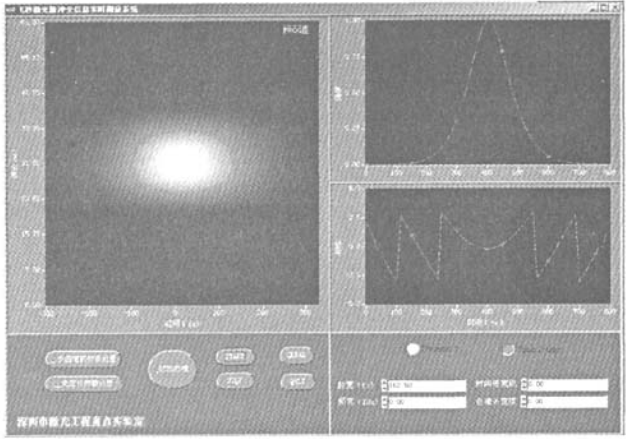


图4 飞秒脉冲虚拟示波器的程序主界面

### 4.2 丰富的图形颜色调节

本示波器给用户提供了很丰富的颜色界面,使用者可以根据自己的爱好选择喜欢的色系显示FROG图,如图5所示是黑白和冬日景象的两种色系,而且本示波器还提供了恢复脉冲幅值和相位的颜色调节,如图6所示。

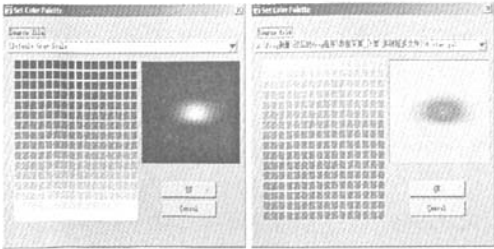


图5 飞秒脉冲虚拟示波器的两种颜色调色板

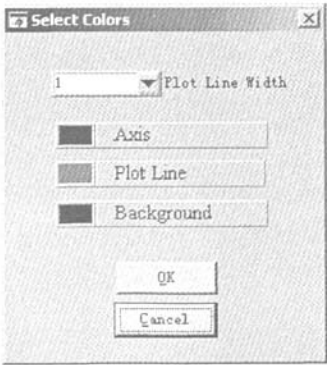


图6 飞秒脉冲虚拟示波器的脉冲颜色调色板

### 4.3 快速实时性和丰富的离线处理功能

本示波器可以在4~5s内完成数据采集和脉冲恢复并进行实时显示,而且还提供了数据保存功



能,可以将 Frog 数据和脉冲数据保存到文件中,以供离线进行仿真分析用。

## 5 结 论

本文基于 LabWindows/CVI 这一软件开发平台,完成实时快速 FROG 飞秒测量虚拟示波器的设计,用该示波器对美国相干公司的钛宝石飞秒激光器输出 175 fs 脉冲进行测量,获得准确的测量结果。在设计中充分利用 Labwindows/CVI 的多线程编程方面的优势,实现了虚拟示波器测量软件的开发,该测量软件不但满足了测量中实时多任务的要求,使测量软件进行数据采集的速度和可靠性大大提高,而且具有飞秒脉冲实时恢复和图形曲线生成并显示的功能。所设计的 FROG 飞秒测量虚拟示波器能快速实时测量飞秒脉冲的脉宽和相位,在超快光学领域具有良好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 王兆华,魏志义,滕浩,等. 飞秒激光脉冲的谐波频率分辨光学开关法测量研究[J]. 物理学报,2003, 52 (2): 362-366.
- [2] 雷亮,吴住文,邓莉,等. FROG 方法诊断飞秒脉冲的振幅与相位[J]. 中山大学学报, 2002, 41 (6): 128-130.
- [3] 刘建勋,李应红,程礼. 某型发动机部件虚拟系统多线程软件的设计[J]. 气涡轮试验与研究, 2002, 15 (3): 11-14.
- [4] 高亚奎,支超有. 多线程虚拟仪器测试软件的开发[J]. 计算机测量与控制, 2003, 11 (12): 986-967, 996.
- [5] 金昊. 仪器控制系统中多线程技术的应用[J]. 计算机自动测量与控制, 1999, 7 (4): 44-46.

## 作者简介:



刘春平(1968-),男,重庆人,博士,深圳大学电子科学与技术学院副教授,研究兴趣为智能信号处理和超快脉冲测量等;  
Email: liucp@szu.edu.cn

阮双琛(1963-),男,陕西人,博士,教授、博导,深圳大学副校长,研究方向为超快激光。

## 《电讯技术》专题资料 《毫米波雷达/战场侦察雷达系统与技术》题要(一)

### 轻小型无人机载 SAR 雷达现状及发展趋势(任培宏,何均)

介绍了无人机载合成孔径雷达(SAR)的特点、国外典型轻小型无人机载 SAR 雷达研发现状、毫米波 SAR 雷达特点以及国内外几种主要无人机载 8 mm SAR 雷达的研发现状,分析了高分辨率无人机载 8 mm SAR 雷达成像的技术难点及解决措施。最后分析了无人机载 SAR 雷达的发展趋势。

### 远程战场侦察雷达概况及应用(雷云,王坚)

根据远程战场侦察雷达系统的作战使命,简要介绍了目前各国在这个领域的发展现状,分析了战场侦察雷达采用的关键技术及发展趋势,探讨了固定翼和直升机载远程战场侦察雷达的应用方向。

### Ka 频段毫米波综合探测系统(彭祥龙,石星,任培宏,雷云)

介绍了毫米波 Ka 频段在军事领域的主要应用,说明了装备的发展趋势;提出一种基于有源相控阵的适于多种作战平台的毫米波综合探测系统。该系统集毫米波雷达、通信、敌我识别与侦察多种传感器功能于一体,采用数字阵列,综合数字信息处理与信息融合技术;并简述了实现系统的关键技术。