

# 声光频谱分析仪对瞬变信号参数的提取算法研究

陈永峰, 吴冉, 廖婷, 傅礼鹏, 王晓平, 令狐梅傲

(中国电子科技集团公司第二十六研究所, 重庆 400060)

**摘要:**声光频谱分析仪利用声光调制技术和空间傅里叶变换原理,实现高带宽信号的频谱测量。本算法通过将被测信号的空域傅里叶变换,数据按瞬态时-空关联输出并进行一定运算处理就可获取信号瞬态时频域全参数信息。仿真结果表明,信号频率还原率在99.5%以上,信号漏检率小于0.2%。

**关键词:**声光调制;时频分析;短时傅里叶变换;参数提取

中图分类号:TN65 文献标识码:A

## Algorithm Research on the Extraction of Transient Signal Parameter by Acousto-optical Spectrum Analyzer

CHEN Yongfeng, WU Ran, LIAO Ting, FU Lipeng, WANG Xiaoping, LING-HU Mei'ao

(26th Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

**Abstract:**Combing the theory of acousto-optic modulation and STFT, the spectrum measurement of high bandwidth signal can be realized by acousto-optical spectrum analyzer. In this algorithm, the transient frequency domain parameters of the signal can be acquired by using the spatial Fourier transform data of the detected signal in the transient space-time correlation output and processing. The simulation results show that the frequency reduction rate is greater than 99.5%; the signal detection rate is less than 0.2%.

**Key words:**acousto-optic modulation; time-frequency analysis; STFT; parameter extraction

### 0 引言

常见的不平稳信号(如语音信号、雷达信号以及核医学的图像信号等)的频域特性是随时间变化的,人们需要了解某些局部时段上所对应的主要频率特性,也需要了解某些频率的信息出现在哪些时段上。对于这种时-频局部化要求,傅里叶变换是无能为力的,它只能获取一段信号总体上包含哪些频率成分,而对各成分出现的时刻并无所知。因此,直接采用傅里叶变换处理时域相差很大的两个信号,可能频谱图却一样。为得到信号随时间变化的局部化信息,最简单的方法就是对信号进行加窗处理,进行短时傅里叶变换(STFT)。随着高速光电检测阵列的发展,已可实现将图像信号进行准实时输出,由此声光频谱分析仪也可进行短时傅里叶变换处理。

### 1 算法设计

由声光频谱分析仪的工作原理可知,当输入电信号转换为超声波在介质中建立衍射光栅使入射光波被调制时,具有固定孔径时间。超声波陆续通过该孔径发生声光互作用,输出衍射光再通过透镜进

行空域傅里叶变换,即相当于在时域上对信号进行滑动窗口的短时空域傅里叶变换。所以,后续采用恰当的光电转换时序和数据处理,使光信号空域与电信号时域数据关联输出,便可利用短时傅里叶变换理论对瞬变信号进行时频幅参数的分析提取<sup>[1]</sup>。图1为本文信号处理流程图。

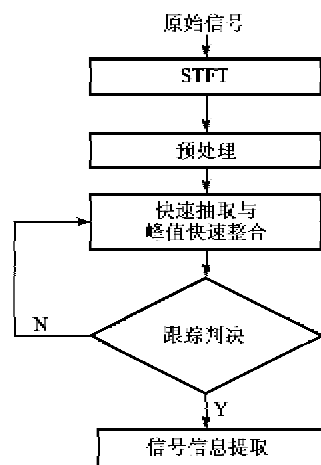


图1 信号处理流程图

收稿日期:2015-08-20

基金项目:国家重大基础研究基金资助项目

作者简介:陈永峰(1985-),男,重庆人,工程师,硕士,主要从事声光技术的研究。

1.1 短时傅里叶变换(STFT)

短时傅里叶变换是通过选择一个窗函数  $g(t)$ , 使  $g^* z$  在有限时间宽度内平稳, 从而可按傅里叶变换的思想计算出各个不同时刻的功率。于是, 当窗函数沿着时间轴滑动, 可得信号  $z$  的 STFT<sup>[2-5]</sup>。

对初始信号  $x(t)$  进行短时傅里叶变换, 得到变换信号  $z$ :

$$STFT_z(\alpha, \beta) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)g^*(kT-\alpha T)e^{-j2\pi(\beta T)k} \quad (1)$$

式中:  $x(t) = s(t) + n(t)$  为初始信号;  $s(t)$  为理想信号;  $n(t)$  为白噪声;  $g^*$  为窗函数的共轭函数;  $T$  为单位时间(定值);  $F$  为单位频率(定值)。

1.2 分时叠加

对变换信号进行高速同步采样。具体为: 令变换信号中某采样时间点  $t_k$  和光检阵列像素位置关联, 其中,  $k=1 \sim n, n = \Delta f / \delta f, \Delta f$  为声光频谱分析仪的工作带宽,  $\delta f$  为声光频谱分析仪的频率分辨率; 光检阵列像素位置为  $\Delta f$  内频率点数据,  $t_k$  根据声光被动接收机的采样频率  $f$  确定; 获得在变换信号中所有采样时间点  $t_k$  采集到的频率成分  $F_{ij}$ , 峰值  $A_{ij}$  及持续时间  $\tau_{PW}$ ; 建立包含有在所有采样时间点  $t_k$  采集到的频率成分  $F_{ij}$ , 峰值  $A_{ij}$  及持续时间  $\tau_{PW}$  的矩阵  $g; j=1 \sim m, i=1 \sim (n/m)$ 。

$$g = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中  $g_k$  为采样时间点  $t_k$  采集到的频率成分  $F_{ij}$ , 峰值  $A_{ij}$  及持续时间  $\tau_{PW}$ 。

1.3 信号关联跟踪

得到信号矩阵为

$$G = \begin{bmatrix} G_0 \\ G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ g_2 + g_3 \\ \dots \\ g_1 + g_2 + \dots + g_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

在信号矩阵  $G$  的一个周期  $T$  内, 以时间  $\Delta t$  为单位, 对时间  $\Delta t$  内的信号进行积分, 并将获得的  $m$  次积分信号进行累加, 得到中间信号, 其中  $m = T / \Delta t$ , 将复位周期作为实时损失必要时间。

所述步骤 3 具体为:

1) 定义矩阵

$$G_{new} = \begin{bmatrix} G_{new0} \\ G_{new1} \\ G_{new2} \\ \dots \\ G_{newz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_0 - G_0 \\ G_1 - G_0 \\ G_2 - G_0 \\ \dots \\ G_n - G_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

2) 对矩阵  $G_{new}$  进行还原, 得到矩阵

$$g'_{new} = \begin{bmatrix} g'_{new0} \\ g'_{new1} \\ g'_{new2} \\ \dots \\ g'_{newz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{new0} \\ G_{new1} \\ G_{new2} - G_{new1} \\ \dots \\ G_{newz} - G_{new(z-1)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

矩阵  $g'_{new}$  通过二值化门限判决方法可得

$$g_{new}(n) = \begin{cases} 0 & g'_{newi} < \sigma \\ g'_{newi} & g'_{newi} \geq \sigma \end{cases} \quad (6)$$

式中  $\sigma$  为二值化阈值。

1.4 根据时间离散点和频率离散点建立信号的时频函数

将矩阵  $g_{new}$  中每个采样时间点  $t_k$  采集到的频率成分  $F_{ij}$ , 峰值  $A_{ij}$  及持续时间  $\tau_{PW}$  进行跟踪关联, 得到关联信号。

1.5 累积时间获取信号的各种特性

为了避免大型滤波器收敛低速的劣势, 采用数据表查询的方式, 来判断关联信号类型, 还原关联信号的所有参数, 将还原后的信号作为声光被动接收机的最终输出信号。

2 实测数据仿真

本实验接收系统可接收频率 900~1 300 MHz, 以下两组实验分别对连续波信号的区分以及脉冲信号参数进行实测仿真。实测仿真 1 结果如图 2~6 所示。实测仿真 2 结果如图 7~9 所示。

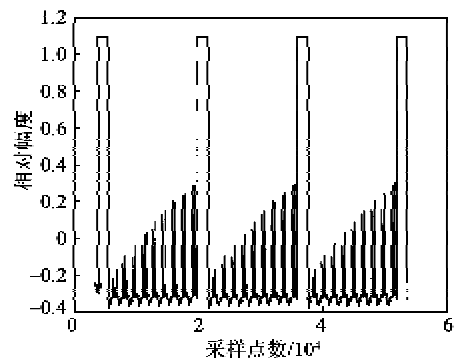


图 2 分时叠加效果图

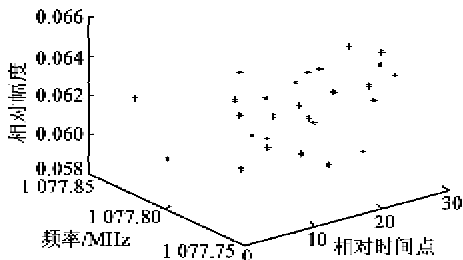


图3 信号1的各时刻时频幅参数

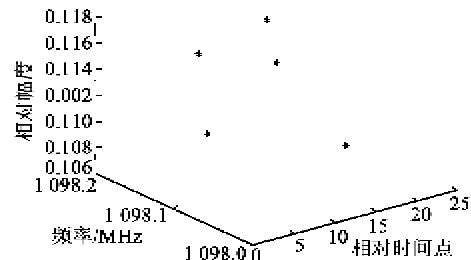


图8 信号的各时刻时频幅参数

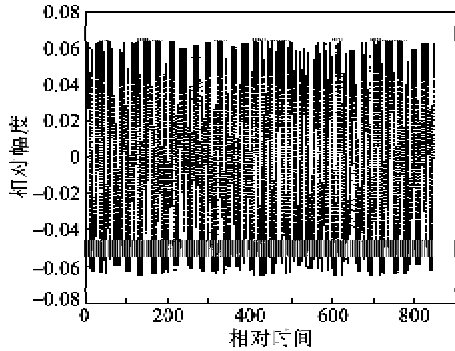


图4 信号1还原

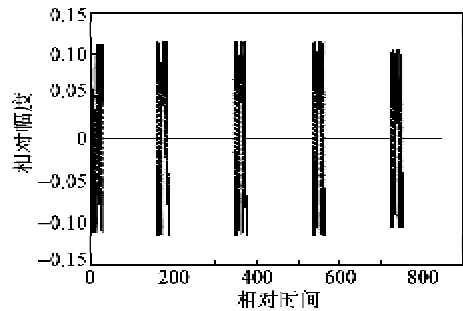


图9 信号还原

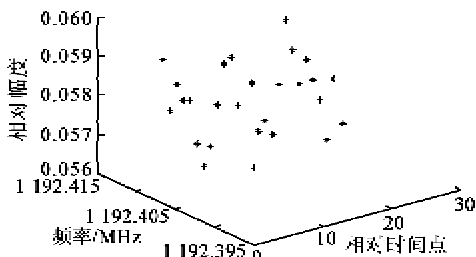


图5 信号2的各时刻时频幅参数

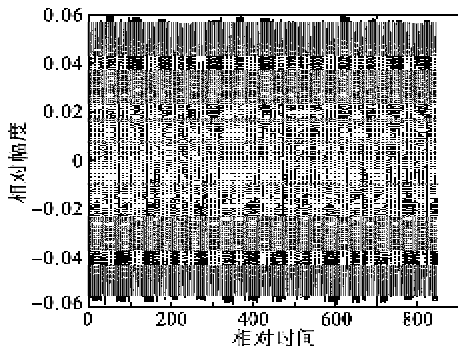


图6 信号2还原

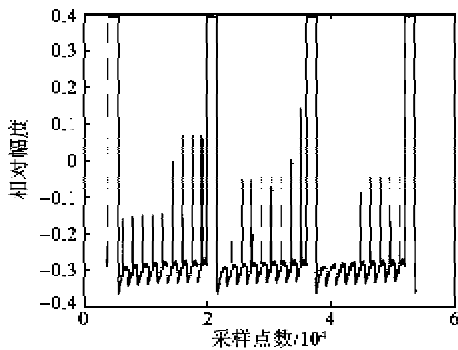


图7 分时叠加效果图

通过以上仿真结果表明,该算法能较好地对信号进行降噪筛选,准确地计算出信号的频率。在实际操作中,可通过校准实际幅度及机器时间,将图中的相对幅度及相对时间等参数转换成实际信号幅度,信号脉宽以及脉冲重复时间等参数。

### 3 结束语

本文基于声光被动接收平台,介绍了一种可行的声光时频实时处理算法。算法通过分时叠加以及不间断地快速级间关联,以确定信号的各个参数。在实测实验中,可在较短必要损失时间的前提下,判断被动接收信号的形式。实验结果表明,本算法对信号的时频幅参数都能精确检测,且保持较高的降噪能力。

### 参考文献:

- [1] 王海,马琳丽,张敏. 参数逼近的自适应时频分析[J]. 西安电子科技大学学报:自然科学版,2012,39(5):35-41.
- [2] 迟华山,王红星,郭奇,等. 短时傅里叶变换在线性调频信号时频滤波中的应用[J]. 电讯技术,2012,52(2):155-159.
- [3] 徐艺文,陈忠辉,王卫星. 基于时频分析的多载波2FSK技术在LPLC通信中的应用[J]. 四川大学学报,2013,45(1):158-163.
- [4] 杨保海,朱亚军,查代奉,等. 分数低阶alpha稳定分布的STFT时频分析方法[J]. 计算机应用研究,2012,29(8):2915-2920.
- [5] 黄明亮. 雷达信号的时-频分析和应用[J]. 大众科技,2012,14(152):29-34.