

文章编号: 1001-3806(2004)03-0234-03

微弱激光脉冲信号的相关检测实验

肖洪梅¹, 苏心智², 陈长庚¹, 吴 健¹, 张 勍²

(1. 电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054; 2. 西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 利用二元光电探测器接收激光脉冲信号, 然后根据互相关检测的原理设计了相关处理电路对接收到的信号进行处理, 使其信噪比(SNR)得到改善。实验表明, 对于淹没在噪声中的信号, 通过相关处理后其信噪比可以达到 26dB 以上。可以满足大多数使用需求。

关键词: 二元光电探测器; 脉冲信号; 相关检测; 信噪比

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Experiment of correlation detection of weak laser pulse signals

XIAO Hong-mei¹, SU Xin-zhi², CHEN Chang-geng¹, WU Jian¹, ZHANG Qing²

(1. College of Photoelectric Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: We receive the laser pulse signal with the binary photo-electric detector, deal the signal with the circuit designed on the basis of correlation detection to improve SNR. The experimental results show that improved SNR can reach 26dB while the signal submerged in noise is processed by the circuit, and it can satisfy the application requirement under most circumstance.

Key words: binary photo-electric detector; pulse signal; correlation detection; SNR

引 言

微弱信号检测技术是采用电子学、信息论、计算机及物理学的方法, 分析噪声产生的原因和规律, 研究被测信号的特点与相关性, 检测被噪声淹没的微弱信号^[1, 2]。常规的光电探测器接收激光脉冲信号时, 信噪比受限于光电探测元件的噪声以及背景光干扰等原因, 特别是检测微弱脉冲信号时, 信号往往淹没在噪声之中, 给实际应用带来了很多的困难, 寻找合适的信号检测方法来提高信噪比, 对许多应用场合来说, 都是至关重要的。有人提到使用小波变换理论^[3~5], 自适应权向量法和随机共振理论等方法检测微弱信号, 其结果都不是很理想, 只有江原直树等^[3]有使所测脉冲信号的信噪比(SNR)提高 8dB。笔者则从信号相关的原理出发, 使用相关检测的方法来提高脉冲信号信噪比, 并给出了实验结果。

1 相关检测的基本原理

相关检测技术是应用信号的相关性和噪声随机性的特点, 通过相关运算, 去除噪声, 检测出信号的一种技术。由于信号和噪声是相互独立的过程, 根据相关函数的定义, 信号只与信号本身相关与噪声不相关, 而噪声之间一般也是不相关的^[2]。那么, 就可以利用这种相关性原理, 使信号通过两个信号通道, 进入相关处理电路, 最后输出信号, 从而抑制噪声, 提取信号。在实验中使用二元光电探测器探测光信号, 经前置放大器放大后输入到相关检测电路, 如图 1 所示。

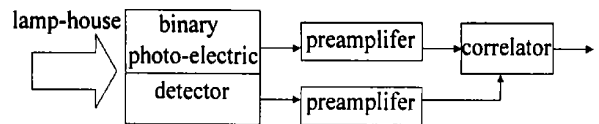


Fig. 1 Block diagram of correlation detection

两路信号的相关性可以用相关函数来描述。设有函数 $x_1(t)$, $x_2(t)$ 分别代表两个探测通道的输出:

$$x_1(t) = s_1(t) + n_1(t) \quad (1)$$

$$x_2(t) = s_2(t) + n_2(t) \quad (2)$$

式中, $s_1(t)$, $s_2(t)$ 分别代表两个探测器输出的光信号, $n_1(t)$, $n_2(t)$ 分别代表两个通道中的噪声, 其互

作者简介: 肖洪梅(1977-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为光信号检测。

E-mail: hongmeixiao@eyou.com

收稿日期: 2003-06-24; 收到修改稿日期: 2003-09-18

相关函数表示为:

$$\begin{aligned}
 R_{x_1 x_2} &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x_1(t) x_2(t - \tau) dt = \\
 &\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [s_1(t) + n_1(t)] [s_2(t - \tau) + \\
 &n_2(t - \tau)] dt = \\
 &\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s_1(t) s_2(t - \tau) dt + \\
 &\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T s_1(t) n_2(t - \tau) dt + \\
 &\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T n_1(t) s_2(t - \tau) dt + \\
 &\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T n_1(t) n_2(t - \tau) dt = \\
 &R_{s_1 s_2} + R_{s_1 n_2} + R_{n_1 s_2} + R_{n_1 n_2} \quad (3)
 \end{aligned}$$

上式运算后,因两随机噪声互不相关,故 $R_{n_1 n_2} = 0$,而信号与噪声之间的相关性很小,相对于两信号之间的相关来说可以忽略,即 $R_{s_1 n_2}, R_{n_1 s_2}$ 趋近于 0,则 $R_{x_1 x_2}$ 就剩 1 项,即 $R_{x_1 x_2} = R_{s_1 s_2}$,从而消除了噪声的影响(理想情况下)。

2 实验

2.1 实验安排

实验安排如图 2 所示。

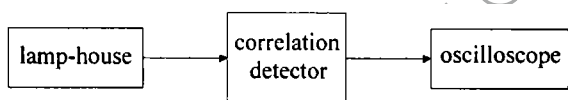


Fig. 2 Experimental arrangement

信号源采用模拟光源,它产生波长为 $1.06\mu\text{m}$ 的激光信号,其重频为 1kHz ,脉冲宽度 $10\text{ns} \sim 20\text{ns}$,光脉冲峰值功率大于 10^{-4}W 。利用光信号的发散特性,可以调节输入到光电探测器的光信号的大小,这样,可以实现在真实环境中光信号在不同信噪比时的信号输入。

测量采用型号为 TDS784D 的数字存储示波器,用来检测光信号的大小和相关检测器的输出信号。相关检测的具体构成如下。

光电探测器组件是由带前放的 SPD-052 二元硅雪崩光电二极管组成,探测器的光谱响应范围 $0.4\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$,而对于波长为 $1.06\mu\text{m}$ 的光信号有较好的响应特性。探测器输出的光信号经前置放大器放大后输出到乘法器,其中一路信号经过时间延迟 τ 后输入到乘法器。

乘法器采用四象限乘法器 AD835^[8]。前置放大器采用 AD 公司生产的对数放大器 AD8310,它内含

6 个串联放大器 \ 限幅器,每个的小信号增益均为 14.3dB ,AD8310 具有 $\text{DC} \sim 440\text{MHz}$ 的工作范围,其视频带宽为 25MHz ^[7],所以,在用于从噪声中提取有用信号时,对于十几个纳秒的脉冲信号,它相当于 1 个放大器加 1 个低通滤波器(近似为匹配滤波器,匹配滤波器的带宽 $B = 1/2\tau$, τ 是脉冲的宽度^[6])。

可以根据有用信号的特点,利用相关检测的原理,确定相应的电路结构框图,并可根据设计思路设计出具体检测电路。

2.2 结果与分析

使用二元光电探测器接收激光脉冲信号,后输入到检测电路,根据信噪比的改善情况来验证电路的有效性,由于探测器的噪声和外部的干扰,接收到的信号几乎或者已经被淹没在噪声中,如图 3 和图 4 所示,此信号经过检测电路,进行相关处理,最后使得信号在噪声中凸现出来。

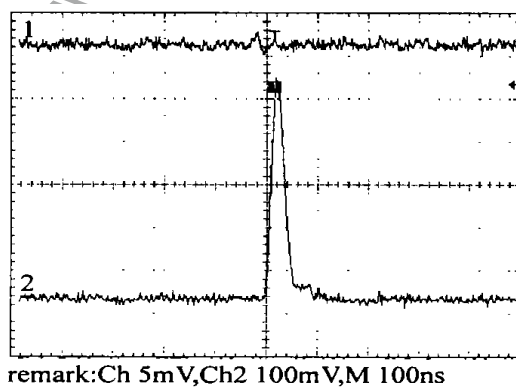


Fig. 3 Output signal when SNR of the input signal is larger

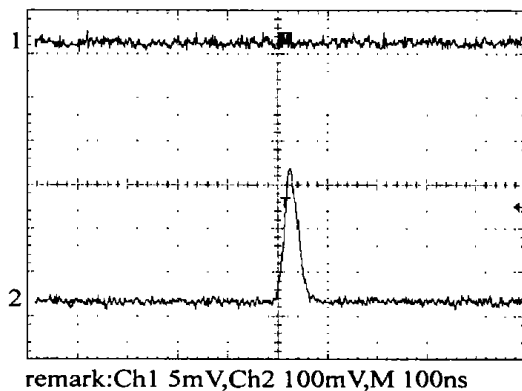


Fig. 4 Output signal when SNR of the input signal is less than one

图 3 是实验中的典型情况,图上部的曲线 1 是光电探测器的输出信号,测得的噪声的峰峰值为 1.30mV ,噪声加信号的峰峰值为 2.1mV ,信号的幅度为 0.8mV 。那么,输入信号的信噪比为 0.62 (即 -4.22dB ,由公式 $\gamma_{\text{SNR}} = 20\log(s/n)$ 得出)。信号经过相关处理电路,最终的输出如图 3 下部的曲线 2 所示,噪声的峰峰值为 24mV ,噪声加信号的峰峰值为 522mV ,计算得到相关处理后输出信噪比为 20.75

(即 26.34dB)。总的信噪比的改善为 33.47 (即信噪比提高了 30dB 以上)。

进一步减小输入的光信号,使输入的信号完全被淹没在噪声中,输出情况如图 4 所示,经过相关处理后仍然能够得到较高的信噪比。

这时,无法正确计算输入信号的信噪比,但仍然可以计算出相关处理后信号的信噪比,相关处理后输出信号中噪声的峰峰值为 20mV,噪声加信号的峰峰值为 318mV。计算得到输出信噪比为 14.9 (即 23.46dB),对于大多数使用情况来说,这样,高的信噪比已经可以满足使用要求。

Table 1 F_{SNIR} with the different input γ_{SNR}

	γ_{SNR} of the input signals	F_{SNIR}		γ_{SNR} of the input signals	F_{SNIR}
1	0.25	64.40	6	0.70	20.29
2	0.42	43.07	7	1.09	23.05
3	0.50	45.40	8	1.29	20.28
4	0.54	47.83	9	1.33	20.20
5	0.62	33.47	10	1.67	16.47

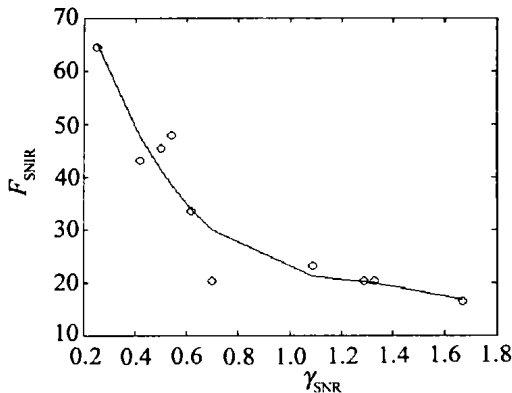


Fig. 5 a—input γ_{SNR} vs F_{SNIR} (dot) b—fitting by MATLAB (line)

通过光源的发散特性改变激光源与探测器的距离来改变输入信号的大小,以此改变输入的信噪比,通过示波器观察输出的情况,得到在不同情况下信噪比的改善如表 1 所示。

定义信噪改善比 $F_{\text{SNIR}}^{[1]}$: $F_{\text{SNIR}} = \text{输出信噪比} / \text{输入信噪比}$ (电压信噪改善比),得到输入信噪比与 F_{SNIR} 的关系如图 5 所示。如图 5 所示,随着输入信噪比的增加,信噪比的改善逐渐减小。

3 结论

相关处理是信号处理中提高信号信噪比的基本方法之一。如何根据相关处理设计性能优良的相关处理器,是研究的主要目标,针对光电信号检测的主要特点,设计了二元光电探测器和相关处理器电路。信号通过相关检测电路,可以减少噪声,提高信噪比,信噪比的改善 F_{SNIR} 可以达到 33.47,即信噪比提高了 30dB 以上。可以认为,使用二元光电探测器和相关处理技术,可以保证系统具有极低的虚警率,满足检测微弱光电信号的实际需求。

参考文献

- [1] 陈佳圭. 微弱信号检测 [M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 1987. 7~13.
- [2] 江国舟, 江超. 微弱信号检测的基本原理与方法研究 [J]. 湖北师范学院学报(自然科学版), 2001, 21(4): 45~52.
- [3] 江原直树, 森真作. 利用小波变换检测微弱雷达信号 [J]. 空载雷达, 1997(2): 53~60.
- [4] 方毓景, 赵慧民. LSL 自适应权向量法检测弱脉冲信号方法研究 [J]. 西北工业大学学报, 1999, 17(1): 87~92.
- [5] 王利亚, 沈阳, 潘忠孝 *et al.* 随机共振应用初步研究 [J]. 计算机与应用光学, 2000, 17(1): 79~80.
- [6] 史斯. 电光学手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1978. 86~89.

(上接第 233 页)

在不考虑其它失调因数的情况下,对于一定的腔长失调量,探测器孔径越大,其测量的相对误差越小。这对实验系统的仪器选配有一定指导意义。

在纳秒信号的测量中,快速探测器孔径不可能太大。可以采用具有球透镜的探测器进行一定程度的改善。测量精度的提高,主要依靠实验的调节。可以采用具有对数变换功能的示波器,根据信号的对数曲线,进一步精确调节腔长。当然探测器越灵敏,所探测的衰荡脉冲数越多,腔长调节精度也就越高。

另外,在本文的计算中,没有考虑失调模式在腔

内的衍射损耗。由于腔镜尺寸远大于衰荡腔的本征基模,所以计算带来的误差可以忽略。

参考文献

- [1] ANDERSON D Z, FRISCH J C, MASSER C S. Mirror reflector based on optical cavity decay time [J]. Appl Opt, 1984(23): 1238~1242.
- [2] 孙福革, 孙龙, 戴东旭. 用光腔衰荡光谱方法精确测量高反镜的反射率 [J]. 中国激光, 1999, A26(1): 35~38.
- [3] 赵宏太, 柳晓军, 王谨 *et al.* 用光腔衰荡测定腔镜及镜片的反射率 [J]. 光电子·激光, 2001, 12(1): 71~73.
- [4] 吕百达. 激光光学 [M]. 成都: 四川大学出版社, 1992. 168~170.
- [5] KOEHLNIK H. Coupling and conversion coefficients for optical modes [J]. Symposium on Quasi-Optics, 1964, 8~10(6): 333.