

时间积分声光相关器相关峰的提取

张 波 李国华

(山东曲阜师范大学激光所, 曲阜 273165)

刘 慧

(山东东营联合大学数理系, 东营 257091)

摘 要 对时间积分声光相关器的原理进行了理论分析, 通过实验得到了叠加在包络上的相关峰波形, 为了对其进行修正, 引入了后处理电路, 最后得到了比较理想的相关峰波形。

关键词 时间积分, 声光相关器, 相关峰。

1 引 言

在现代通信中, 实时处理信号的高处理增益宽带接收机占有至关重要的地位。对于复杂的弱信号而言, 相关技术是主要的检测方法, 因而相关器的性能直接决定了接收机的水平高低。声光器件是一种发展迅速的新型器件, 其工作的物理基础, 是声波与光波相互作用引起的声光效应。通过它的应用, 逐渐发展起来了一门新的信号处理技术——声光信号处理技术。声光相关器的应用即属于这一范畴^[1]。

2 时间积分声光相关器的积分原理

时间积分声光相关器的原理图如图 1 所示。当光束 1 和光束 2 分别以布拉格角入射声光器件时, 被信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$ 进行线性调制, 分别得到零级透射光和一级衍射光。通过空间滤波器将零级透射光去除, 使得两路一级衍射光 ψ_1 和 ψ_2 同时入射光电检测器进行相关检测。

入射光经过布拉格器件后所得到衍射光的表

达式为

$$\psi(t, r) = \omega(r) A \left(t - \frac{\mathbf{K}_a \cdot \mathbf{r}}{v} \right) \cos (\omega_0 t - \mathbf{K}_0 \cdot \mathbf{r}) \quad (1)$$

为简化起见, 略去权重函数 $\omega(r)$ 的作用, 则两路衍射光可分别用下式表示

$$\psi_i(t, r) = A_i \left(t - \frac{\mathbf{K}_{a_i} \cdot \mathbf{r}}{v} \right) \cos (\omega_{0i} t - \mathbf{K}_{0i} \cdot \mathbf{r}) \quad (2)$$

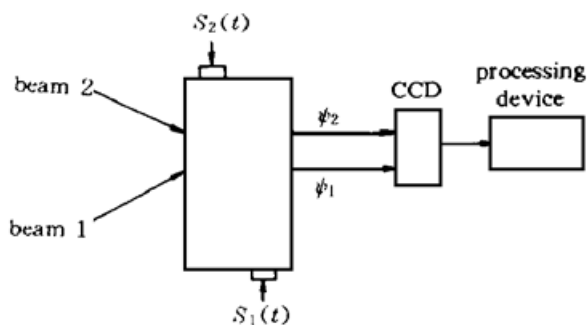


Fig. 1 Time integrating AO correlator

$$\psi_2(t, r) = A_2\left(t - \frac{\mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \cos(\omega_2 t - \mathbf{K}_{02} \cdot \mathbf{r} + \varphi) \quad (3)$$

式中, \mathbf{K}_{a1} 和 \mathbf{K}_{a2} 分别为信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$ 在声光器件中转化为超声波后的波矢量, ω_{01} 和 ω_{02} 则分别为信号 $S_1(t)$ 和 $S_2(t)$ 的角频率, \mathbf{K}_{01} 和 \mathbf{K}_{02} 分别为衍射光 ψ_1 和 ψ_2 的波矢量, φ 为衍射光 ψ_1 和 ψ_2 之间的位相差, v 为超声波在布拉格器件中的传播速率, \mathbf{r} 为位置矢量。两束衍射光投射到光电检测器件阵列上。在光电检测阵列上的某点 \mathbf{r} 的输出, 正比于该点光强在时间 T 内的积分。即

$$V(t, r) = \int_{t-T}^t [\psi_1(t', r) + \psi_2(t', r)]^2 dt' \quad (4)$$

式中, T 为积分时间。将(2)式与(3)式代入(4)式并利用三角变换可得

$$V(t, r) = V_1(t, r) + V_2(t, r) + V_3(t, r)$$

其中

$$V_1(t, r) = \int_{t-T}^t A_1\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) A_2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \times \cos[(\omega_{01} - \omega_{02})t' - (\mathbf{K}_{01} - \mathbf{K}_{02}) \cdot \mathbf{r} - \varphi] dt' \quad (5)$$

$$V_2(t, r) = \frac{1}{2} \int_{t-T}^t [A_1^2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) + A_2^2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}}{v}\right)] dt' \quad (6)$$

$$V_3(t, r) = \int_{t-T}^t \left\{ A_1\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) A_2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \cos[(\omega_{01} + \omega_{02})t' - (\mathbf{K}_{01} + \mathbf{K}_{02}) \cdot \mathbf{r} + \varphi] + \frac{1}{2} A_1^2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \cos(2\omega_{01}t' - 2\mathbf{K}_{01} \cdot \mathbf{r}) + \frac{1}{2} A_2^2\left(t' - \frac{\mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \cos(2\omega_{02}t' - 2\mathbf{K}_{02} \cdot \mathbf{r} + 2\varphi) \right\} dt' \quad (7)$$

假设(7)式中的正弦分量比起 $A_1(t)$, $A_2(t)$ 的变化快得多, 且 $\omega_{01} \approx \omega_{02}$, 积分时间 T 足够大, 则 $V_3(t, r)$ 分量比起 $V_1(t, r)$ 来完全可以忽略。 $V_2(t, r)$ 分量则表示两光束的光强之和, 当光强变化很慢时, $V_2(t, r)$ 分量完全可以由一个低通滤波器给滤掉, 所以只剩下 $V_1(t, r)$ 分量。因 $\omega_{01} = \omega_{02}$, 则得到

$$V(t, r) \cong V_1(t, r) = E(t, q) \cos[(\mathbf{K}_{01} - \mathbf{K}_{02}) \cdot \mathbf{r} + \varphi] \quad (8)$$

$$E(t, q) = \int_{L(t)} A_1(u) A_2(u + q) du \quad (9)$$

$$L(t) = \left(t - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v} - T, t - \frac{\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r}}{v}\right) \quad (10)$$

$$q = \left[\frac{(\mathbf{K}_{a1} - \mathbf{K}_{a2})}{v} \right] \cdot \mathbf{r} \quad (11)$$

这些公式表明, 如果 $\mathbf{K}_{a1} \cdot \mathbf{r} \neq \mathbf{K}_{a2} \cdot \mathbf{r}$, 则 $E(t, q)$ 会存在一个空间变量, T 的大小则与 $A_1(t)$ 和 $A_2(t)$ 的长度等数量级, (8) 式中的空间频率 $(\mathbf{K}_{01} - \mathbf{K}_{02})$ 则与布拉格器件中的超声波频率有关。在这里, $E(t, q)$ 即为信号 $S_1(t)$ 与 $S_2(t)$ 的相关输出。

3 实 验

3.1 光路的设计

根据时间积分声光相关器的原理,设计了如图 2 所示的光路图。由激光器发出的激光经扩束系统扩束后,经分光镜分成两路,分别通过布拉格器件进行线性调制。调制后的光束经过空间滤波器滤除掉零级透射光,将两路一级衍射光投射到 CCD 光电检测阵列上进行相关检测^[2]。

3.2 模拟信号发生器

时间积分声光相关器主要用于检测宽带弱信号,相关器的输出是天线接收的信号与本地信号的相关输出。在实验中模拟两路信号的产生,自行设计了产生 $S_1(t)$ 与 $S_2(t)$ 信号的模拟信号发生器。其结构如图 3 所示。由 m 序列发生器所产生的 m 序列,采用无源的双平衡调制器进行调制,载波频率为 176 MHz。调制后的信号经小信号宽带放大器放大后进入高频宽带放大器,使其具有一定的驱动功率,以使声光布拉格器件能够正常工作。实验中采用两路相同的调制器和信号放大器分别对信号 1 和信号 2 进行调制放大,信号 1 经调制放大后产生的驱动信号 $S_1(t)$ 模拟系统的接收信号;而信号 2 经过调制放大后所产生的信号 $S_2(t)$ 则模拟本地信号。为了简便起见,从同一载波发生器上引出载波,以保证两路信号完全同步。两列声波是在布拉格器件中相向传输的,为使输出信噪比达到最大,在实验中采用性能良好的 m 序列伪随机码^[3]。

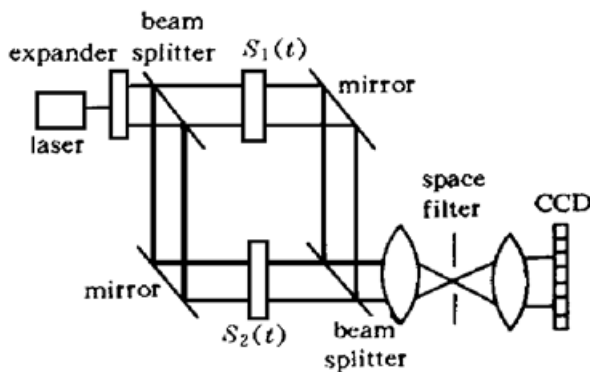


Fig. 2 The photic structure of time-integrating correlator

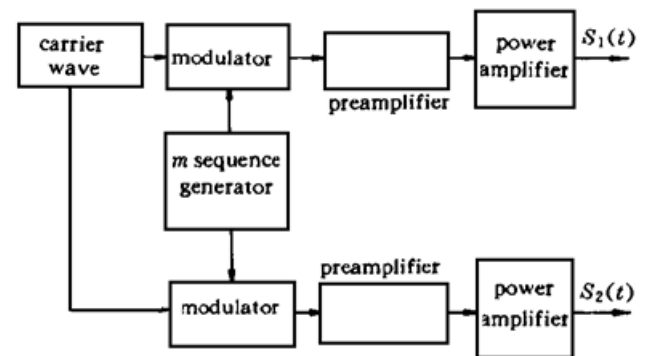


Fig. 3 Analog signal generator of time-integrating correlator

3.3 实验过程与结果

首先,将 m 序列发生器产生的 2047 位的 m 序列分成两路,分别进行调制放大,将放大后的两路信号分别加到声光相关器上进行相关检测。通过 CCD 后的输出信号加到示波器上进行观测,得到如图 4(a) 所示的波形图。从图中的波形可以看到,相关峰是叠加在一个大的包络上的。这个包络是由于两路衍射光在 CCD 上直接进行光强叠加所造成的。在实际应用中,由于两路信号不可能同时到达,两者都有一定的时间延迟,因此相关峰在包络上所出现的位置也不是固定的。当相关峰的位置在包络的左侧或右侧,也就是说,当相关峰位于包络的底层时,包络的存在对于判断相关峰出现与否就会产生很大的影响,容易造成误判,因此要将包络去除掉。为此,特设计了后处理电路。

3.4 后处理电路的原理和设计

当改变两路信号的相位时,例如,让 m 序列发生器产生两路相位相反的 m 序列,分别进行调制放大,然后将放大后的两路信号加到相关器上进行相关检测,这时通过示波器观测到

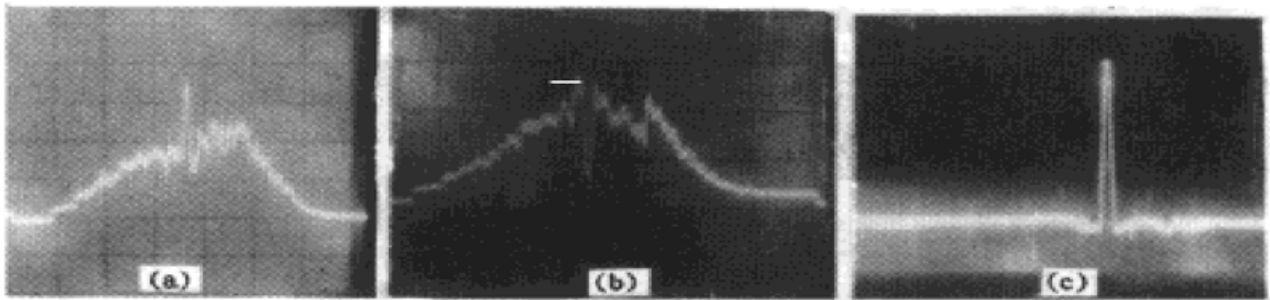


Fig. 4 Post-processing the correlating peak, (a) Correlating peak of two same signals, (b) Correlating peak of two converted signals, (c) The post-processed correlating peak

的信号波形如图 4(b) 所示。该图与图 4(a) 相比, 包络没有发生什么变化, 而相关峰则峰值朝下了。因此, 如果用图 4(a) 所示的信号波形减去图 4(b) 所示的信号波形, 则可达到去除包络的目的。

首先让 m 序列发生器产生如图 5(b) 所示的两路信号, 在 CCD 的第一个积分时间内, 产生两路相位相同的 m 序列; 在第二个积分时间内, 产生相位相反的两路 m 序列; 在第三个积分时间内, 产生相位相同的两路 m 序列; 以此类推。

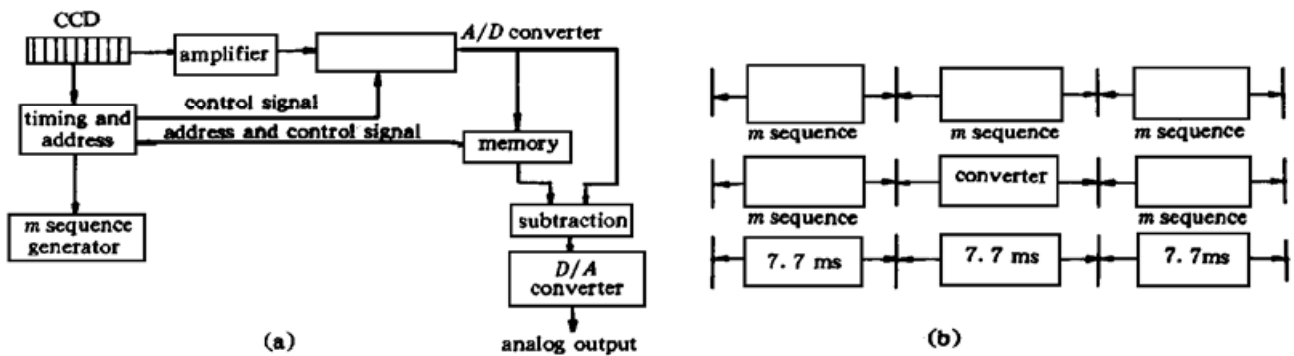


Fig. 5 Signals and post-processing circuit. (a) Post-processing circuit, (b) Two signals of m sequence generator

后处理电路的原理图则如图 5(a) 所示。在第一个积分时间内, 将 CCD 的输出信号放大后通过 A/D 转换器转换成数字信号并存储在寄存器中; 在第二个积分时间内, 将 A/D 转换得到的数字信号与寄存器输出的数字信号同时送入相减电路进行相减; 然后将相减后得到的数字信号送入 D/A 转换器转换为模拟信号^[4], 通过示波器进行观测。这时得到的信号波形如图 4(c) 所示。从图中可以看到, 包络被去除了, 信号波形得到了较大的改善。这时通过半峰值门限法就可以很容易地实现对相关峰的提取。

结 论 近 20 年来, 以声光布拉格器件为核心的声光相关器, 在实域的大带宽、高密度实时处理信号中显示出令人瞩目的优点。在现代电子战中, 运用高增益的声光系统, 可以可靠地检测宽带弱信号。尤其在现代通信日益发展的今天, 高性能的声光接收机更能胜任现代通信的需要。

作者在实验中所设计的时间积分声光相关器, 达到了 48 dB 的高处理增益。实验系统的核心器件——声光布拉格器件的中心频率为 176 MHz, 其带宽为 120 MHz, 积分时间为 7.7 ms, 因此其最大处理增益可以达到 59.6 dB。实验中所使用的示波器为日产 HITACHI V-1050F 型, 其可观察最高信号频率为 100 MHz。

参 考 文 献

- [1] 徐介平, 声光器件的原理、设计和应用. 北京: 科学出版社, 1982. 1~ 10
- [2] N. Brousseau, R. Brousseau, J. W. A. Salt *et al.*, Analysis of DNA sequences by an optical time-integrating correlator. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(23): 4802~ 4815
- [3] 林可祥, 汪一飞, 伪随机码的原理和应用. 北京: 人民邮电出版社, 1978. 135~ 145
- [4] 程佩青, 数字信号处理教程. 北京: 清华大学出版社, 1995. 2~ 3

A Method of Obtaining Correlating Peak of the Time-Integrating Acousto-Optic Correlator

Zhang Bo Li Guohua

(*Laser Institute of Qufu Normal University, Qufu 273165*)

Liu Hui

(*Mathematics & Physics Department of Dongying United University, Dongying 257091*)

(Received 7 July 1997; revised 15 October 1997)

Abstract The principle of the time integrating acousto-optic correlator is analyzed theoretically. The correlating peak overlapped on a vias was detected experimentally. To modify the correlating peak, the post-processing circuit was introduced. The ideal correlating peak was obtained.

Key words time-integrating, acousto-optic correlator, correlating peak.