

# 空间积分声光相关处理的研究

何大伟<sup>1)</sup> 许承杰<sup>2)</sup> 徐叙琰<sup>1)</sup>

1), 北方交通大学光电子技术研究所, 北京 100044  
2), 中科院长春物理研究所, 长春 130021

**摘 要** 利用声光布拉格器件成功地设计并研制出了空间积分声光相关器, 实现了对模拟雷达信号 (占空比为 50%, 重复频率 1 MHz, 载频为 140 MHz) 的空间积分声光相关检测。

**关键词** 声光器件, 空间积分, 相关器。

## 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, 相关技术是主要的研究手段。因而, 相关器的性能直接决定了接收机水平的高低。声光相关器是目前出现的一种新型相关器, 由于声光相关器具有大带宽、大动态范围、高速并行处理等特点, 特别是空间积分声光相关器输入信号的相关结果在单个探测器上按时间分布, 可提供较高的动态范围以及结构的紧凑, 使得空间积分声光相关器可应用在全球定位系统 (GPS) 中, 以实时获取全球定位系统信号<sup>[1]</sup>。

在国际上声光相关器的带宽可达到 2 GHz, 处理增益达到 50 dB<sup>[2]</sup>, 这对于检测淹没在噪声中的宽带微弱信号是很吸引人的。我们跟踪国际上采用声光相关方法处理全球定位系统信号的新技术, 利用国内的条件, 实现了对模拟雷达信号的空间积分声光相关检测。

## 2 空间积分声光相关器的数学模型

相关检测就是利用信号具有良好的时间相关性和噪声的不相关性 (或仅在短时间内部分相关), 使信号进行积累而噪声不积累的原理, 从而把被噪声淹没的信息取出来。在声光器件中, 由电信号产生的声波通过声光相互作用把随时间变化的电信号转变为衍射光空间分布的模拟信号, 通过声波的传输引入信号延迟, 并用一光学系统完成乘法运算。

声光相关器所处理的信号通常为带通信号, 可以写成

$$s(t) = a(t) \cos [2\pi f_0 t + \alpha(t)], \quad (1)$$

式中,  $a(t)$ 、 $\alpha(t)$  分别为振幅调制和相位调制,  $f_0$  为载频。该信号在声光器件中激发沿 +  $x$  方向传播的超声波, 则声光介质折射率分布可写成

$$g(x - vt) = a(x - vt) \cos [(2\pi\xi_0 + \alpha)(x - vt)], \quad (2)$$

或用复数表示为

$$\tilde{g}(x - vt) = \tilde{a}(x - vt) \exp [j2\pi\xi_0(x - vt)].$$

式中  $\tilde{a}(x - vt) = a(x - vt) \exp [j\alpha(x - vt)]$  称为复包络,  $\xi_0 = f_0/v$  称空间频率。如果将待相关的一个信号  $s_1(t)$  加到声光器件 AOD<sub>1</sub> 上, 调整布拉格角, 声光器件的复透过率为:

$$\tilde{t}_1(x, t) = 1 + j\tilde{g}_1(x - vt)/2. \tag{3}$$

设入射光为沿光轴的平面波, 光场分布为  $u_i$ , 则出射光场复振幅  $u_{out}$  为

$$u_{out} = \tilde{u}_i [1 + j\tilde{g}_1(x - vt)/2],$$

经透镜 L<sub>1</sub> 进行傅里叶变换, 在其空间频率平面  $\xi_0 = f_0/v = 0$  处放一空间频率滤波器, 将零级光挡住, 只许+ 1 级通过。再经 L<sub>2</sub> 进行傅里叶变换, 在声光器件 AOD<sub>2</sub> 处得到 AOD<sub>1</sub> 中光场分布的倒像,

$$u'_{out} = \tilde{u}_i \tilde{g}_1(x - vt)/2.$$

将另一个待相关的信号  $s_2(t)$  经时间反演后加到 AOD<sub>2</sub> 上。如果将接收器光电二极管放在透镜 L<sub>3</sub> 的空间频率平面  $\xi_0 = f_0/v = 0$  处, 输出电流为系统最后完成的二个信号的包络相关<sup>[2]</sup>,

$$I(t) \approx v_1 v_2 \int s_1(t) s_2(t + \tau) dt, \tag{4}$$

式中,  $v_1, v_2$  为声速度,  $T$  为渡越时间。该数学模型的示意图见图 1。

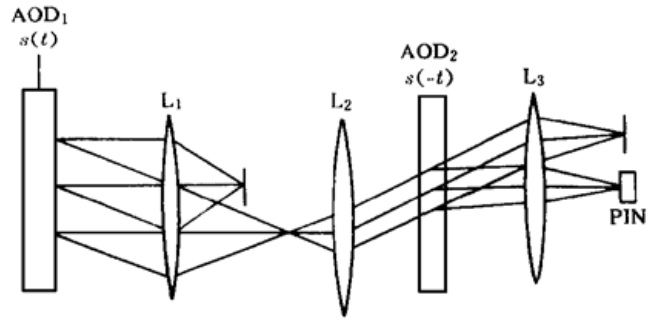


Fig. 1 The structure of the space integrating acousto-optic correlator

### 3 空间积分声光相关器

#### 3.1 空间积分声光相关器实验装置

空间积分声光相关器实验装置如图 2 所示, 实验样机上使用的偏转器由 TeO<sub>2</sub> 晶体制成<sup>[3]</sup>。选择 TeO<sub>2</sub> 材料作为声光相互作用介质是由于其声速度  $v_s = 670 \text{ m/s}$ , 在 10 mm 宽度的布拉格盒上, 渡越时间可以达到 10  $\mu\text{s}$ 。在 3 dB、80 MHz 带宽上可以得到 800 的时间带宽积。光电检测器采用硅光电雪崩二极管, 响应时间约为 3 ns。

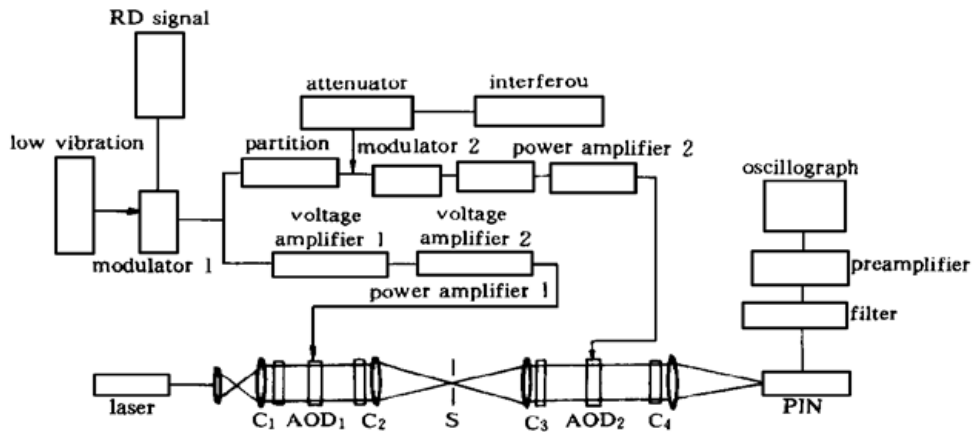


Fig. 2 The practical system of space integrating acousto-optic correlator

布拉格盒中充满了准直短孔分布的激光束, 用来支持两个相向传输的相关信号, 这些信号施加于声载波上。参考信号一般为时间反转以便获得相关函数。对入射光而言, 声光相互作用效率较低时, 在布拉格条件下可视为幅值调制, 同时伴有频率和波矢量的移动, 移动的大

小与声波矢的大小及频率有关。两个信号的积由两个发生在布拉格盒中的连续互作用得到。

将模拟雷达信号分成二路，一路直接通过放大器后加到 AOD<sub>1</sub> 上作为参考信号  $s_1(t)$ 。另一路与干扰机产生的噪声混合再通过放大器后，作为回波信号  $s_2(t)$ ，加到 AOD<sub>2</sub> 上。电路系统中的隔离器是防止干扰噪声串入参考信号中，衰减器则是对噪声信号进行衰减。光路系统中 C<sub>1</sub>~C<sub>4</sub> 为柱面镜，作用是将激光束从圆形截面压缩成窄长形截面（因为声光器件的通光窗口为窄长形），以及由窄长形截面再还原为圆形截面。二个声光器件的中心频率约为 140 MHz，超声渡越时间为 10 μs。光路系统中的 S 是光栏，起空间滤波器的作用，以挡住 AOD<sub>1</sub> 出射的零级光。光路接收使用 Si-PIN 光电雪崩二极管，模拟雷达信号为矩形脉冲调制信号，占空比为 50%，重复频率为 1 MHz，载频为 140 MHz，脉宽可由 0.5 μs 变到 2.5 μs。

### 3. 2 模拟信号自相关测试的结果和分析

不开干扰机，信噪比  $S/N = \infty$ 。此时  $s_1(t)$  与  $s_2(t)$  相同，相关函数就是雷达信号的自相关。雷达信号是连续的矩形脉冲调制信号，所以包络相关为三角波。实验结果如图 3 所示。



Fig. 3 The output of the space integrating acousto-optic correlator

图 3 (a) 为矩形脉冲调制信号，图 3 (b) 上半部分为自相关探测所得的三角波；下半部分是监测的连续的矩形脉冲调制信号。

打开干扰机时，即信噪比  $S/N \neq \infty$ 。与自相关检测类似，互相关检测实际是利用一个与待测信号  $S_i(t)$  同频率的信号  $Y(t)$ ，对被噪声干扰的信号  $X(t) = S_i(t) + N_i(t)$  同时输入到声光乘法器进行乘法运算，再经积分运算，由于噪声与参考信号是不相关的，最后输出的信号只保留了与参考信号相关的信号部分，噪声却被完全压制掉<sup>[4]</sup>。所以根据理论推测  $S/N \neq \infty$  的相关峰应与  $S/N = \infty$  的相关峰相同。在实验中，我们取  $S/N = 0$ ，即调节噪声或雷达信号的功率，使噪声或雷达信号的电压幅度相同，其相关输出的实验结果与图 3 (b) 中的相关输出结果基本一致。声光相关器系统中所用主要元器件的参数及主要仪器为：

1) 激光器：采用中国科学院北京半导体研究所生产的 HLT 67T 05 型量子阱激光器，其输出功率为 5 mW，中心波长为 670 nm，半功率点谱线宽度为 0.5 nm。

2) 声光布拉格偏转器主要技术指标：中心频率为 140 MHz，3 dB 带宽为 80 MHz，声渡越时间可达到 10 μs。

3) 光电检测器采用的是硅光电雪崩二极管，响应时间约为 3 ns。

4) 电压放大器和功率放大器为自行研制，本实验采用 Hp-8592b 频谱分析仪对系统进行监测，相关输出波形由 Hp-500MHz 示波器读出。

理论上系统的相关增益取决与系统的时间带宽积，对于空间积分声光相关器的时间带宽积主要取决于声光器件的时间带宽积，此系统的相关增益接近 30 dB，被处理信号带宽可达

到 80 MHz, 我们设计的系统仅能完成 20 MHz 带宽的检测, 因为系统的带宽还取决于探测阵列及功放系统的实现情况。

在声光相关器的实际工作过程中, 布拉格器件通常使用具有高斯分布的激光源。加之考虑声衰减的影响和器件孔径的限制, 在透镜的后焦平面上, 衍射光的分布与布拉格器件声光衍射效率和振幅窗加权函数有关。振幅窗加权函数包含下列三因素: 1) 窗口函数:  $\text{rect}(x/L)$ 。其中  $\text{rect}(x)$  为矩形函数, 因为声光互作用介质的宽度  $L$  是有限的, 所以窗口函数为矩形函数  $\text{rect}(x/L)$ 。2) 激光的空间分布。激光束一般为高斯光束, 经扩束准直后仍为高斯光束。3) 声光互作用介质对超声的衰减。由于两束声波相向传播, 每一点的声振幅大小互补, 所以整个光窗内的声振幅可以认为是均匀分布。所以当孔径内两个脉冲不重叠时, 相关输出为零, 积分的上限和下限是孔径内两脉冲重叠部分的位置函数。对给定的脉冲宽度, 衍射光的分布只是激光高斯分布参数  $\rho$  的函数。

空间积分声光相关器的时间带宽积主要取决声光器件的时间带宽积。由于声光器件的透光窗口的尺寸受晶体材料的限制, 目前, 器件渡越时间一般最大只可做到  $10 \mu\text{s}$  左右。因此, 虽然目前器件带宽已可作到  $10^3 \text{ MHz}$ , 时间带宽积可达到  $10^4$ , 但要想进一步提高却有很大困难。如果采用时间积分的声光相关器, 声光相关器的时间带宽积便可大大提高。

**结 论** 采用声光布拉格器件实现了对矩形脉冲调制连续波信号 (占空比为 50%, 重复频率为 1 MHz, 载频为 140 MHz, 脉宽可由  $0.5 \mu\text{s}$  变到  $2.5 \mu\text{s}$ ) 的空间积分声光相关检测。空间积分声光相关器系统的相关增益接近 30 dB, 中心频率为 140 MHz, 可实现的带宽为 20 MHz, 此, 超声渡越时间为  $10 \mu\text{s}$ 。

### 参 考 文 献

- [1] Bazzi O, Torguet R J, Bruneel C *et al.*. Space integrating acousto-optic processor for rapid global positioning system signal acquisition. *Opt. Engng.*, 1994, 33 (9) : 2931~ 2935
- [2] Cohoon R L, Wright C S, Wiley W J *et al.*. Acousto-optic convolver for digital pulses. *Opt. Engng.*, 1986, 25 (3) : 480~ 489
- [3] Gazalet M G, Ravez M, Haine F *et al.*. Acousto-optic low-frequency shifter. *Appl. Opt.*, 1994, 33 (7) : 1293~ 1298
- [4] 王清正, 胡 渝, 林崇杰. 光电探测技术. 电子工业出版社. 1994.

## Space Integrating Acousto-Optic Correlator

He Dawei<sup>1)</sup>      Xu Chengjie<sup>2)</sup>      Xu xurong<sup>1)</sup>

( 1), Institute of Photo-Electronic Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044  
 2), Changchun Institute of Physics, The Chinese Academy of sciences, Changchun 130021 )

(Received 1 December 1998; revised 30 August 1999)

**Abstract** The correlation detection of pulse signals are successfully performed by space integrating correlator, which is designed and fabricated in author's lab. The experimental results obtained agree well with the theoretical analysis.

**Key words** acousto-opto device, space-integrating, correlator.