

利用 Fe:LiNbO₃ 晶体的多波混频实时实现并行图象相减运算

赵明君 李育林

(中国科学院西安光学精密机械研究所)

摘 要

我们在研究 Fe:LiNbO₃ 晶体的多波混频基础上,把 Mach-Zehnder 光路和相位共轭反射镜结合起来,建立了一个并行实时图象相减和逻辑“异或”操作系统。这种光学运算系统有着不受 Mach-Zehnder 光路各臂长差和光路中介质扰动等影响的优点。这为光学信息处理提供了一条重要的实时途径。

图象相减运算是光学信息处理的一个重要内容。如何快速、简单地完成这一操作,对于光学逻辑运算,以及光学计算机的研制有着重要的实际意义。关于这一运算已有不少方法^[1-3],但都存在着精密复位,冲洗底板等问题。近年来,光学相位共轭的出现,为这一操作提供了一个重要的实时途径^[4]。例如,利用 BSO 晶体的四波混频^[5-6],以及 Fe:LiNbO₃ 晶体的简并四波混频 (DFWM)^[7] 可实时地获得图象相减。这几种方法都是基于二次曝光全息术原理。

最近, Sze-Keung Kwong 等人利用 BaTiO₃ 晶体的自泵浦效应实时地获得并行图象相减^[8]。目前国内 BaTiO₃ 晶体还未见到,而 Fe:LiNbO₃ 晶体却较为常用,本文作者是在研究 Fe:LiNbO₃ 晶体的多波混频基础上^[9],把 Mach-Zehnder 光路和相位共轭反射镜结合起来,建立了一个并行实时图象相减光学运算系统。这种系统有着不受 Mach-Zehnder 光路各臂长差和光路中介质扰动影响等优点。

一、实验原理

如图 1 所示, T_1^* , T_2^* 和泵浦波 E_1 , E_2 , 还有 T_1^* , T_2^* 以及 Fe:LiNbO₃ 晶体 c 构成六波混频系统,详见文献[9]。另外 Mach-Zehnder

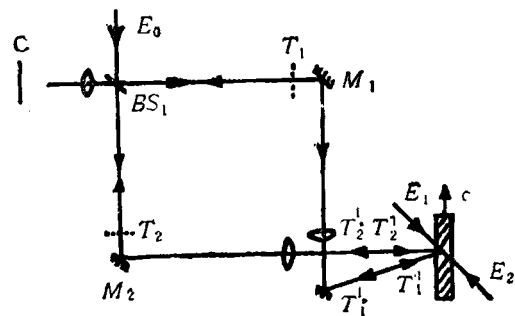


图 1 Mach-Zehnder 相位共轭六波混频实时并行图象相减原理图

光路的原理是 E_0 平面波经过分束板 BS_1 分成两束,它们分别通过透射型物体 (T_1 , T_2), T_1 和 T_2 分别表示它们相应的透过率, T_1 和 T_2 的透射图样再经全反射镜反射,入射到 Fe:LiNbO₃ 晶体上,成为多波混频的信号物波 (T_1^* , T_2^*), 它们与泵浦波 E_1 , E_2 一起在介质内发生高阶非线性效应,产生出相应的共轭波 T_1^* , T_2^* 。 T_1^* , T_2^* 分别按原路返回,又通过 BS_1 到达接收屏 C 上。其物理过程可作如下描述:

第一步:

$$E_0 \xrightarrow[\text{反射}]{\text{经 } BS_1} E_0 r \xrightarrow[\text{透过 } T_i]{\text{穿过 } T_i} T_i E_0 r = T_i^* \xrightarrow[\text{相位共轭镜}]{\text{入射}} T_i^* \xrightarrow[\text{按原路返回}]{\text{透过 } BS_1} r^* E_0^* T_i^*$$

第二步:

$$E_0 \xrightarrow[\text{透射}]{\text{经 } B_1 S} E_0 t \xrightarrow[\text{穿过 } T_2]{\text{穿过 } T_2} T_2 E_0 t = T_2^1 \xrightarrow[\text{相位共轭镜}]{\text{入射}} T_2^{1*}$$

$$T_2^{1*} \xrightarrow[\text{反射}]{\text{经 } B_1 S} t^* r E_0^* T_2^1 \xrightarrow[\text{返回}]{\text{按原路}} E_0^* t^* T_2^1$$

这里 r 和 t 是分束板的反射率和透过率。

第三步: 两束沿原路返回到屏 C 上, 这时

$$I_C = E_0^* (T_2^1 r^* t + T_2^1 r t^*). \quad (1)$$

按照 Stokes 定律,

$$r^* t + r t^* = 0, \quad (2)$$

故由(1),(2)式可得

$$I_C = E_0^* r^* t (T_2^1 - T_2^{1*}). \quad (3)$$

这样在屏 C 上实现图象 I 和图象 II 的并行相减运算。

由以上分析可知, 无论那一光路, 由臂长或光路中介质扰动造成的位相延迟或畸变等, 经过相位共轭反射镜沿原路返回后便消除掉。

二、实验结果与讨论

实验是用 50mW 的 He-Ne 激光器为光源, 分束板的直径 ϕ 为 30mm, 透过率为 40%。

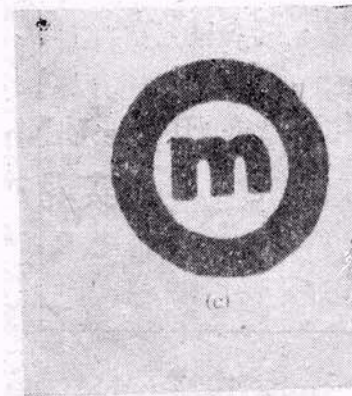
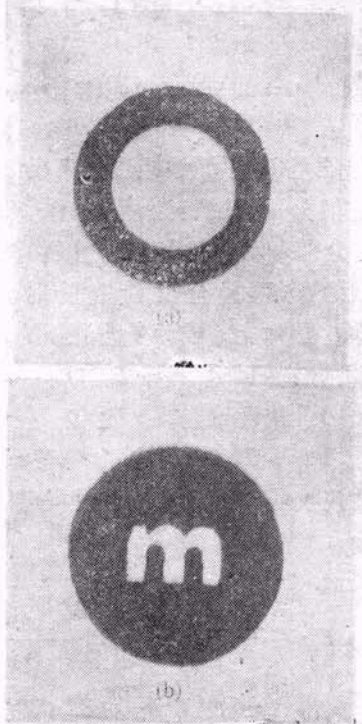


图 2 T_1 和 T_2 相减实现图象反转

- (a) 透射型物体为全透型 (T_1);
 (b) 透射型物体为“m”字样 (T_2);
 (c) T_1, T_2 相减后实现图象反转(其中黑圆圈表示图象边框不参加运算)

六波混频是在小信号近似条件下进行的, 即 $T_1^1, T_2^1 \ll E_1, E_2$. 晶体是掺铁 0.1% 的铈酸锂。

图 2 是实现图象对比度反转的结果。

由(3)式可知, 如果我们使接收系统只对相减后的绝对值响应, 从而可实现图象 T_1 和 T_2 的异或逻辑运算. 让 T_1 和 T_2 分别表示 1, 0, 得到二者的异或逻辑运算结果见表 1. 关于此方面的工作我们正在研究之中。

表 1 逻辑异或操作运算框图

T_1	T_2	$I_C \propto T_1 - T_2 $
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

综上所述, 此操作系统具有不受干涉臂长的限制, 操作方便, 实时读出结果等优点. 它为光学信息的实时处理提供了一条重要途径。

- [1] 于美文, 光学全息及信息处理, 国防工业出版社, (1984), 235-257.
 [2] M. Franco, *Opt. Acta*, **20**(1973), 1.
 [3] 王应宗, 科学通报, No. 1 (1983), 19.
 [4] 吴存凯, 物理学进展, No. 2 (1986), 353.
 [5] Y. H. Ja, *Appl. Phys.*, **B36** (1985), 21.
 [6] Y. H. Ja, *Opt. Comm.*, **42**(1982), 373.
 [7] 赵明君等, 西安石油学院学报, No. 2(1987), 23.
 [8] Sze-Keung Kwong, et al, *Appl. Phys. Lett.*, **48** (1986), 201.
 [9] 赵明君, 李育林, 激光与红外, No. 5 (1988), 78.