

利用液晶光阀实现实时图像微分*

康 辉 苏 衡 杨方正 战元龄

(南开大学物理系, 天津 300071)

提要 提出一种利用液晶光阀实时转换特性实现图像微分的方法。仅简单地通过调整液晶光阀的工作电压,使其处于非线性变换态即可完成对图像的实时微分运算。从理论上分析了液晶光阀的非线性转换功能的原理,给出两种方法的实验结果。

关键词 液晶光阀,实时图像微分,混合场效应

1 引 言

光学图像的微分是一种两维光学运算,通过这种运算可以使图像的边缘和细节增强,从而达到突出信息的目的,所以在光学信息处理中常常作为一种预处理得到广泛的应用。譬如在光学相关识别中,可以锐化图像的相关峰,同时抑制不同图像之间的互相关,提高鉴别能力。在光电混合系统中,微分预处理可以减少计算机处理的数据量,提高系统工作效率。

早在 1971 年, S. K. Yao 和 S. H. Lee 就在相干光学处理系统中通过复合光栅在频谱平面上进行空间滤波实现了微分运算^[1]。1984 年,冯郁芬又在此方法的基础上,利用非线性记录的复合光栅作频谱滤波,可以从 +1 级和 +2 级分别输出图像的一阶微分和二阶微分的结果^[2]。但是这类方法中,由于使用的是相干光源照明,所以图像都不可避免地受到相干噪声的干扰。人们又进一步研究非相干光学的方法。如 1985 年,羊国光等人利用单色非相干光源照明,用具有微分脉冲响应的全息滤波器进行空间滤波实现了图像的一维微分运算^[3]。康辉等人利用偏光编码和偏振滤波技术实现了彩色图像的微分^[4,5],这些方法,其明显的好处是可以有效地抑制相干噪声,提高输出图像的质量。

在当今的光学信息处理系统中,经常需要完成图像的实时非相干输入,并联机处理输出的结果,这就需要系统能够以较快的速度对图像进行处理,如以 TV 速度甚至更快的速度进行图像处理。对于微分运算也同样提出了实时化和非相干输入的要求。

液晶光阀作为一种实时图像转换器,已经广泛地应用于光学信息处理的各个方面。其中有人利用液晶光阀作为实时输入器件,用高通滤波器作空间滤波使相干输出像得到微分结果^[6]。在高通滤波的方法中,由于滤波器制作有很大的随意性,而且往往一个滤波器只能对于一幅固定的图像得到较好的结果,所以并不完全适于在线操作。我们在实验中发现液晶光阀不但可以

* 本工作得到国家自然科学基金支持。

作为一种简单的图像转换器,而且可以通过改变它的工作状态使其实现更丰富的图像处理功能,如对比度反转和图像边缘增强等。最近,Tien-Hsin Chao 也尝试过利用液晶光阀实现图像的实时微分^[7],在他的实验中,使用相干光源作为光阀的写入光,并且光阀必须工作在非正常条件下,如较低频率(2 kHz 以下)的工作电压,它的方位(从读出侧观察)需逆时针旋转一定角度(约 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$),处于倾斜状态等等。本文所建议的方法与此不同,不需要液晶光阀处于非正常条件,而是在通常工作条件下仅仅通过调整液晶光阀的工作电压即可实现图像微分。并且发现光阀的工作电压频率对实现微分运算并不起决定作用。所以低频工作电压并不是必须条件。本文对液晶光阀工作原理作了简单描述,对它的非线性转换功能从数学上作了模拟推导,并从实验上完成了实时微分运算。为了比较,同时给出了利用空间滤波方法得到的图像边缘增强的实验结果。理论分析和实验结果均证明,我们所建议的利用液晶光阀的非线性光电转换功能实现实时图像微分是一种切实可行的方法,它不仅操作简单、方便灵活,而且可用白光光源实时输入,得到的微分效果也比高通滤波的好。

2 液晶光阀的工作原理

反射式交流液晶光阀由夹在两块高质量的光学玻璃基片之间的许多连续薄膜层组成。用一个低电压的声频信号发生器作为激活液晶的电源。其剖面图如图 1 所示^[8]。

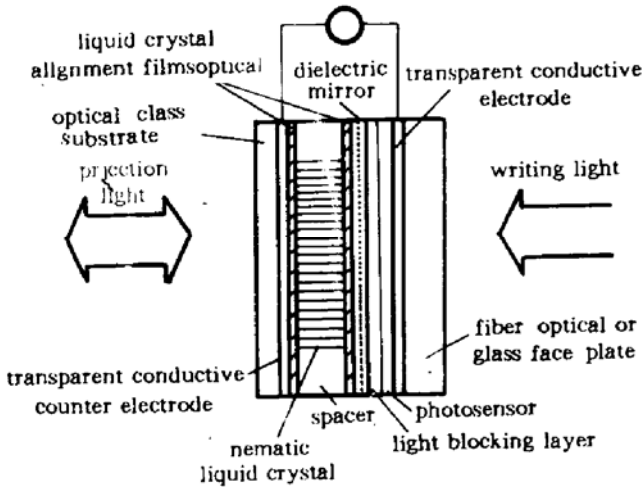


Fig. 1 Cross-sectional schematic of the liquid crystal light valve

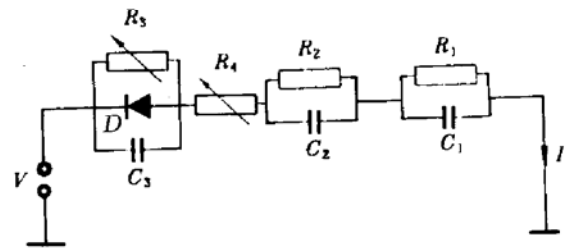


Fig. 2 Equivalent circuit of the liquid crystal light valve

光阀采用反射式的结构,其光路可分为写入光路、读出光路,此外还有一个驱动电源。光路图见图 3。用白光照明的物片或反射非相干光的三维物体或 TV 屏幕作为写入光成像于写入面上。读出光一般采用扩束、准直的 He-Ne 激光束。用一偏振棱镜分束器很方便地代替了两块正交偏振片的作用。

液晶光阀的工作原理基于液晶的两种场效应——扭曲向列效应和场致双折射效应,及由此发展出的一种混合场效应的工作方式。在暗断态(off-state),使用通常的扭曲向列效应;在亮通态(on-state),为纯粹的场致双折射效应起作用。

光阀的等效电路如图 2 所示。图中 R_3 , $R_3 + R_4$, C_3 分别是二极管的正向电阻、反向电阻和电容, C_2 , R_2 是高反膜层的等效电容和电阻, R_2 很大,使得 $R_2 C_2 \omega \gg 1$,故可以忽略 R_2 对电路的影

响。式中 ω 是电源输出电压的工作频率的基频。

加在液晶层两端的电压小于液晶层的阈值电压时,液晶层将不产生双折射现象。经过起偏器的一束线偏光通过 45° 扭曲的液晶层后,其偏振方向旋转 45° ,经高反膜反射后,再次经过液晶层,其偏振状态恢复成入射时的状态,此时,起偏方向与入射偏振方向相垂直,检偏后光强输出为零。这种状态称为暗断态。可以看出,器件在暗断态的性质是完全由扭曲向列效应决定的。

液晶层上所加电压大于阈值电压时,我们称之为亮通态。写入光是一幅图像,经过光导膜的阻抗变换后,在液晶层上形成一幅相应的电压潜像。液晶由此产生双折射,改变了读出光的偏振态,经检偏后得到一幅与写入图像相应的读出像^[8]。我们在实验中发现,随工作电压的不同,读出光强与输入光强并不是单值对应的,而当工作电压调整到某一值时,液晶光阀的输出光强将随写入光强呈钟型函数变化。这时读出像将呈现微分效果。

液晶光阀采用反射式结构,但其具有透射的性质,我们通过研究其透过率与液晶层上所加电压的关系来分析微分像产生的原因。一束垂直方向偏振的线偏振光入射到液晶层上,通过液晶层的调制,高反膜的反射,出射的是一束椭圆偏振光,经检偏后得到光阀的输出像。基于这种现象,为了形象说明问题我们不妨将液晶光阀通态下的液晶层等效成一层双折射晶体层。但需注意这种场致双折射效应作用下的液晶层与普通的双折射晶体层不同之处仅在于其 $(n_o - n_e)$ 是随调制电压单调变化的。设其光轴平行液晶层的表面,液晶层厚度为 l_0 ,入射光振动方向与光轴夹角为 θ ,振幅为 A_0 ,出射椭圆偏振光经检偏后线偏光振幅为 A ,则有: o 光、 e 光的位相差为

$$\delta = 2\pi(n_o - n_e)l/\lambda_0$$

入射光的复振幅为

$$A_0 \exp(i\alpha)$$

出射光的复振幅

$$A = A_0 \cos\theta \sin\theta \exp[i(\alpha + \delta)] - A_0 \sin\theta \cos\theta \exp(i\alpha)$$

出射光强为

$$I = |A|^2 = A_0^2 \cos^2\theta \sin^2\theta |\exp[i(\alpha + \delta)] - \exp(i\alpha)|^2 \\ = A_0^2 \cos^2\theta \sin^2\theta |\exp(i\delta) - 1|^2 = 2A_0^2 \cos^2\theta \sin^2\theta (1 - \cos\delta)$$

透射率为

$$P = I/I_0 = 2\cos^2\theta \sin^2\theta (1 - \cos\delta)$$

δ 随液晶层上所加电压的增加单调地增加, P 表现出一种正弦性质的周期变化。在正弦变化的直线上升段是光阀输出正像对应的电压范围,直线下降段是光阀输出反转像对应电压范围。而其峰值处正是输出微分像的电压值。由此便可预见到,只要根据写入图像光强分布的变化情况适当调整 LCLV 的工作电压,即可使它处于非线性变换态,从而达到突出图像边缘的效果。进一步的分析也不难看出,对于一般有灰度级的图像,通过选择液晶光阀合适的工作点,亦可以得到微分效果,但不排除有局部失效的现象。所以,此方法用于二进制的光学图像效果最好。

3 实验方法及结果

实验光路如图 3 所示。写入光源用 75 W 高压短弧氙灯,读出光源用 10 mW He-Ne 激光器, L_1 和 L_2 是焦距为 240 mm 的成像透镜, L_3 、 L_4 分别是扩束、准直透镜,用一个偏振棱镜分束器代替两块正交的偏振片读出 LCLV 的读出像,这样,入射到光阀读出面的是垂直方向的线偏光,偏振方向与该面液晶分子的长轴方向相同(夹角为 0°)。用 XD2 型低频信号发生器作为 LCLV 的激活电源。

我们观察了 LCLV 的工作电压频率对其输出的影响,发现在 10~100 kHz 范围内输出像

的效果与电压的频率没有明显关系。在固定电压频率情况下仅改变信号发生器的输出电压,随电压的单调变化,LCLV 的输出将出现周期重复现象。

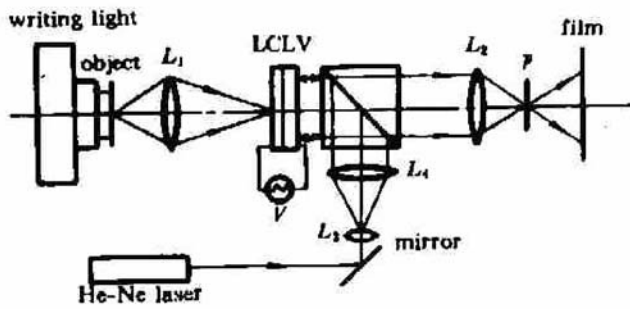


Fig. 3 Real-time image differential system

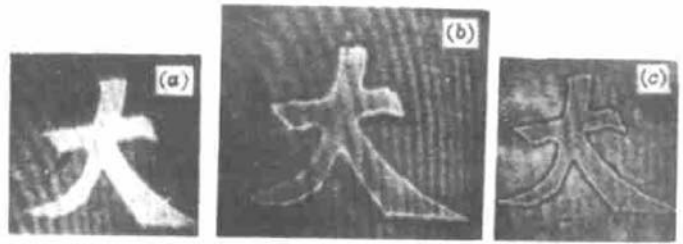


Fig. 4 Results of the experiments

(a) input image; (b) the differential result using the nonlinear transforming function of LCLV; (c) the differential result using a high-passed optical filter

将信号发生器的电压输出频率选择为 30 kHz,当输出电压调整到 4.7 V 时,在图 3 的输出平面 P 上将观察到输入图像[如图 4(a)]的微分图像[如图 4(b)].改变信号发生器的输出电压,当液晶光阀的工作电压为 4.5 V 时,在输出平面 P 上将观察到相干光的再现正像,在透镜 L_2 的后焦面上置一高通空间滤波器,即可在输出平面上得到微分图像[如图 4(c)].尽管所用的液晶光阀为非正式产品,且寿命将尽,但原理及实验结果还是成功的。其中照片上的斜条纹是由于介质镜和对电极表面间的反射所引起的干涉条纹。

参 考 文 献

- 1 A. W. Lohman, D. P. Paris. *Appl. Opt.*, 1968, 7(4): 651
- 2 冯郁芬. 中国激光, 1984, 11(1): 131
- 3 羊国光, 左 健, 吴 若. 光学学报, 1985, 5(1): 38
- 4 康 辉, 周 坚, 陈 军. 中国激光, 1991, 18(9): 702
- 5 H. Kang, T.-X. Yang, G.-G. Mu. *Optik*, 1990, 84(4): 137
- 6 R. W. Lewis. *Appl. Opt.*, 1978, 17(2): 161
- 7 Tien-Hsin Chao. *Appl. Opt.*, 1989, 28(22): 4727
- 8 W. P. Bleha, L. T. Lipton, E. Wiener-Avneer et al.. *Opt. Eng.*, 1978, 17(1): 371

Real-time Image Differentiation Using a Liquid Crystal Light Valve

Kang Hui Su Heng Yang Fangzheng Zhan Yuanling

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin 300071)

Abstract A real-time $-D$ image differentiation using the transforming function of LCLV is presented. The real-time image differentiating is performed with the nonlinear transforming ability of LCLV only by changing its biasing voltage. The nonlinear property of LCLV is explained from its structure and the experimental results of two methods are given.

Key words liquid crystal light valve (LCLV), real-time image differentiation, hybrid field effect