

文章编号: 1001-3806(2011)02-0170-03

液晶移相器的光电特性及其电路驱动

吴炜, 黄子强*

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 为了实现液晶移相器的每个光栅电极的驱动电压可以单独控制的目的, 采用现场可编程门阵列编程的方法, 进行了理论分析和实验验证, 实现了驱动液晶移相器光栅电极的电压, 以达到调整电极的相位分布。结果表明, 液晶光栅电极相位的周期性分布对传输的光波可以进行相位调制, 即可实现扫描。这一结果对调节液晶移相器光栅电极的相位是有帮助的。

关键词: 光学器件; 液晶移相器; 现场可编程门阵列; 扫描

中图分类号: TN623 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2011.02.008

Photoelectric characteristics and the driving circuit of liquid-crystal-based phased array

WU Wei, HUANG Zi-qiang

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In order to control the voltage of each electrode of a liquid-crystal-based phased array independently, based on field programmable gate array, the voltage of electrodes of the liquid-crystal-based phased array was driven to regulate phase distribution of electrodes. Analytical and experimental results show that periodic phase distribution of the electrodes can modulate the phase of an optical beam, i. e., scan can be accomplished. This conclusion is helpful for adjusting phase of the electrodes of a liquid-crystal-based phased array.

Key words: optical device; liquid-crystal-based phased array; field programmable gate array; scan

引言

传统的闪耀光栅^[1,2]一经制出, 其光栅常数以及对某一波长的光的折射率等参量也就确定了, 其闪耀角等参量也就被唯一地确定下来。这个缺点使其无法应用在多波长工作场合, 有一定的局限性。

液晶移相器是一种新型可编程相位调制的光学器件, 它以二元液晶闪耀光栅工作原理为基础, 按照一定技术指标对液晶相控阵的结构进行设计, 利用液晶的电控特性, 实现激光雷达液晶相控阵列组件的扫描功能。液晶移相器具有体积小、重量轻、功耗小、无机械转动等优点, 具有取代机械雷达扫描的潜力。现场可编程门阵列 (field programmable gate array, FPGA) 编程送入驱动芯片 SSD1289 数字电压信号和数字信号周期, 该驱动芯片通过 D/A 数模转换, 即将数字信号转换为模拟信号, 激光入射的偏振光引入的相位, 可以

通过调节施加在电极上的电压大小来改变, 光栅常数可以通过调节电压周期来改变, 所以, 电控的液晶闪耀光栅相当于衍射角度和衍射效率可调的二元光栅, 这样, 不仅可以改变光栅的衍射角度实现扫描, 而且还适用于各种波长, 在学术研究上会有越来越重要的地位。

1 液晶移相器结构

液晶移相器基本工作原理^[3]是利用液晶折射率在电场下可变的特性, 调节电压以液晶光栅的相位分布, 使之形成类似二元光栅的相位分布。液晶闪耀光栅的优点在于可以通过调节所加电压, 使某一级次衍射光的衍射效率达到最大, 通过改变周期单元内的电极个数改变光栅常数最终改变衍射角度。液晶移相器结构如图 1 所示。

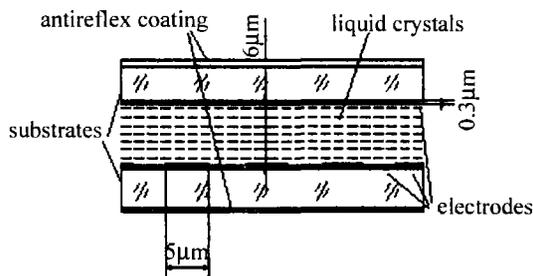


Fig. 1 Structure of a liquid crystal grating

作者简介: 吴炜 (1986-), 男, 硕士研究生, 现主要从事现场可编程门阵列的设计研究。

* 通讯联系人。E-mail: zqhuang@uestc.edu.cn

收稿日期: 2010-05-17; 收到修改稿日期: 2010-06-17

在液晶盒下基板制作条形电极,对上下基板进行沿面取向并且充入正性液晶,无电场时使液晶分子平行于基板排布。通过将下基板两次光刻形成交错排列的两层条形电极,在两层电极之间有一层透明绝缘介质,相邻两条形电极无缝且绝缘,形成此种结构^[4]。

2 液晶光栅的工作原理

取 N 条电极为一组,将整个光栅分为多个周期单元,每个周期单元的相位为 2π ,相邻台阶对光波所产生的相位差为 $2\pi/N$ 。周期单元内对电极所施加呈阶梯分布的电压,液晶分子在电场下发生偏转,液晶分子偏转的倾角决定了液晶的折射率。单元内各个电极上施加不同的电压,其对应区域折射率分布不同导致光程不同,则对于入射偏振光引入的相位不同,因此,对液晶光栅各个电极施加合适的电压,使不同电极对应液晶区域引入的相位呈阶梯形分布^[5,6],如图2所示。

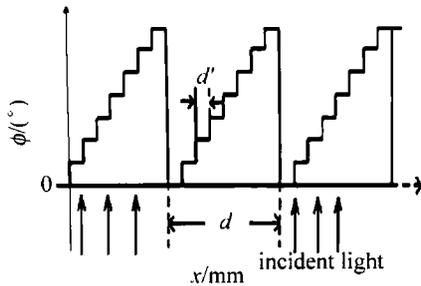


Fig. 2 Electrodes appear ladder distribution

图中, ϕ 为相位, d 为光栅常数, $d' = d/N$, 即为每个电极的宽度,入射光垂直入射到液晶移相器上,坐标系横轴上的复振幅分布为 $\bar{E} = 1$,当光波经过光栅离开坐标系横轴时,光波已受到台阶面之间光程差的相位调制。光垂直入射时的光栅方程为:

$$d \sin \theta = m \lambda \quad (1)$$

式中, m 为衍射级次, λ 为波长, θ 为衍射角。通过傅里叶变换以及(1)式,可以得到相应各级衍射光谱强度分布为:

$$I = |\bar{E}|^2 = \left\{ A_0 \frac{\sin[(m\pi)/N]}{m\pi} \cdot \frac{\sin\left[\pi\left(m - \frac{2d\sin\gamma}{\lambda}\right)\right]}{\sin\left[\pi\left(m - \frac{2d\sin\gamma}{\lambda}\right)/N\right]} \right\}^2 \quad (2)$$

式中, A_0 为光波的振幅, γ 为光波的入射角。

由于相邻台阶对光波产生的相位差为 $2\pi/N$,推出:

$$2d\sin\gamma = \lambda \quad (3)$$

由(2)式和(3)式得到二元光学元件衍射效率 η 的普遍计算公式:

$$\eta = I/I_0 = \left\{ \frac{\sin[(m\pi)/N]}{m\pi} \cdot \frac{\sin[\pi(m-1)]}{\sin\pi[(m-1)/N]} \right\}^2 \quad (4)$$

式中, I_0 为单缝在此处产生的光强。衍射效率 η 与台阶的数目 N 、衍射级次 m 有关。根据上式可计算出,当台阶数 $N = 2^n$ (n 为正整数)取不同数值时,二元相位型光栅不同衍射级次的效率及光强分布。当 $N = 2$ 时, ± 1 级衍射效率各为 40.5%,偶数级次衍射效率为 0,其它的级次衍射效率较小;当 $N = 4$ 时, -1 级次衍射效率为 0,而 $+1$ 级衍射效率达到 81%,其它级次的效率或为 0 或很小;当 $N = 8$ 时, $+1$ 级的衍射效率增加到 95%。可见,相位台阶数越多, $+1$ 级的效率越高,集中的光能也越多,二元光栅的轮廓越逼近锯齿形轮廓的闪耀光栅^[7,8]。当 $N \rightarrow \infty$ 时,能量将全部集中在 $+1$ 级次上。即 $+1$ 级光谱发生了闪耀,发生 $+1$ 级闪耀时,二元相位光栅的衍射效率 η' 的公式为:

$$\eta' = I/I_0 = \left[\frac{\sin(\pi/N)}{(\pi/N)} \right]^2 \quad (5)$$

可以知道, $+1$ 级闪耀时的衍射效率 η' 只取决于台阶 N 。图2所示的每个光栅电极的相位和每个周期台阶数 N 是由 FPGA 的编程控制所确定的,通过数模转换后加载到光栅电极上的电压越大,其相位 ϕ 就相应越小;而 N 的值是由电压信号的周期确定,例如每 8 个电压为一个周期,则 N 的数目就是 8。所以,通过驱动电路控制液晶移相器的每个光栅的电极周期以改变阶梯高度,改变周期单元内的电极个数以改变光栅常数^[9],从而改变液晶移相器的衍射角度和衍射效率。

3 液晶移相器的驱动技术

芯片型号是 SSD1289 芯片,它是裸片,需要直接热压焊在驱动电极上,并且驱动引脚规格是微米量级,这就需要液晶移相器上,必须有与驱动集成电路引脚分布相同的精确的电极引出,才能使 SSD1289 完成驱动功能。SSD1289 驱动芯片是一款将随机存储器 (random access memory, RAM)、电源电路、行列驱动集成为一体的显示控制芯片,驱动像素为红绿蓝 (red-green-blue, RGB) 240×320 ,驱动电压较低,集成校正电路,并含有节能模式,适应于需要长时间工作、集成度较高的驱动,性能优越,功能强大,工作稳定,能够较好地完成驱动液晶光栅的设计要求。整个设计的流程图如图3所示。

SSD1289 芯片支持静态和动态传输,作者使用的是动态 RGB 以及吊行外设接口 (serial peripheral interface, SPI) 端口的传输模式,可以实时地改变每个光栅电极的电压值,同时也可以改变光栅每个周期的台阶数目 N 。由于需要用动态传输模式,所以此次初始化 SSD1289 通过 SPI,传输初始化寄存器的地址值和命令数据。SSD1289 中的寄存器地址是 8 位,而命令数据

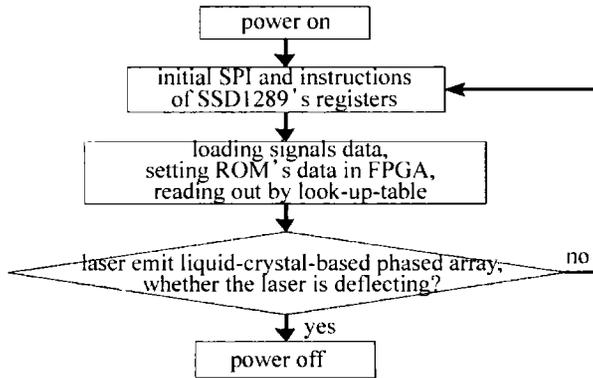


Fig. 3 Flow chart of design

都是 16 位,所以是先传 8 位寄存器地址,再分两次 8 位传输 16 位的命令数据,这样就完成了一个寄存器的初始化,SSD1289 中寄存器比较多,进行多次操作。图 4 为 FPGA 实现 SPI 的仿真。

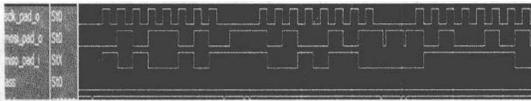
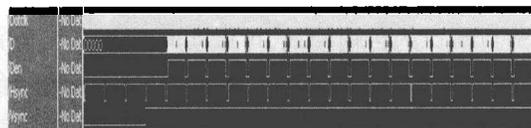


Fig. 4 FPGA implement simulation of SPI

FPGA 作为主发送机^[10],第 1 行信号是 SPI 的时钟信号 1MHz,芯片最大时钟频率可以达到 13MHz,但是为了数据的稳定,采用了较小的频率;第 2 行信号为 FPGA 发出的数据信号主发送从接收(master out slave in, MDSI),一个时钟对应一个数据,每次传输有 8 个时钟,可以传 8 个串行数据;第 3 行是接收发出去的数据信号 MISO,检验从机 SSD1289 接收到的数据信号是否正确;最后一行是片选信号(ship select, CS),低电平有效。

初始化完成以后,需要进行电压信号的传输,此时,用 FPGA 内部的知识产权模块(IP 核)中的只读存储器(read only memory, ROM)进行数据的预存储,然后在行同步信号 H_{sync} 、场同步信号 V_{sync} 、使能信号 D_{en} 到来时,根据选取 ROM 的地址,读取 ROM 数据传输到 SSD1289 中,SSD1289 会将不同的数据转变为不同的电压信号,即其内部有数模转换电路,会转换成 64 种不同的电压值,可以根据需要进行一定程度的修改。

行同步信号 H_{sync} 、场同步信号 V_{sync} 、使能信号 D_{en} 以及数据信号 D ,时钟信号 $D_{outclk} = 5\text{MHz}$,数据信号在每个时钟的下降边沿同步输出;一个有效的使能信号 D_{en} 对应 240 个 8 位的数据信号;一个有效的场同步信号 V_{sync} 对应 320 个行同步信号。图 5 为 FPGA 实现

Fig. 5 FPGA implement simulation of H_{sync} signal and V_{sync} signal

行、场同步信号的仿真。第 1 行信号为时钟信号 D_{outclk} ,第 2 行信号为数据信号 D_{outclk} ,第 3 行信号为行同步的使能信号 D_{en} ,第 4 行信号为行同步信号 H_{sync} ,最后为场同步信号 V_{sync} 。

整个系统上电,在 FPGA 中运行后,激光打到液晶移相器的光栅上面,在液晶移相器后面的接收屏上出现激光的偏转现象,选 1 维坐标,坐标原点为参考零点,单位为 mm,如图 6 所示。

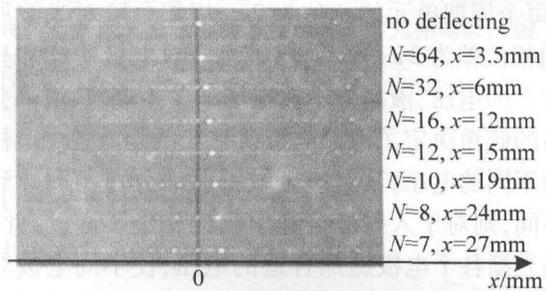


Fig. 6 Laser deflecting map

当 N 的值不同时,激光偏转的距离也不同,随着 N 的增大偏转距离逐渐减小。由图 6 可知, $N = 64$ 时,激光偏转的距离 $x = 3.5\text{mm}$,当 N 越来越大时,激光偏转距离越来越小,当 N 足够大时,偏转距离为 0,即无偏转。能量将基本集中在 +1 级次上。由上面所涉及的衍射效率公式,再由衍射角公式 $\theta = \arctan(x/z)$ (z 为激光穿过液晶移相器后的接收屏与液晶移相器之间的距离,是固定值)可知, N 值越大,衍射效率越高,光束偏转角度越小,实现了使用 FPGA 驱动和控制液晶移相器,完成扫描的功能。

4 结论

介绍了液晶移相器是利用液晶折射率在电场下可变的特性,调节液晶光栅上电极的电压,改变光栅电极区域的折射率,即通过调节电压调节液晶材料的折射率,折射率的改变直接影响到入射光的相位延迟,等同于相位光栅。若在光栅电极上施加适当的电压,使整个液晶光栅形成二元光栅的相位分布,那么对光的调制就类似于二元光栅。

液晶移相器优点在于可以通过计算机编程控制调节所加电压,使某一级次衍射光的衍射效率达到最大;通过改变周期单元内的电极个数,使光栅常数变化,从而改变衍射角度。同时,介绍了液晶移相器的驱动技术以及实现动态传输的方法,通过 FPGA 将驱动电压值传送给液晶光栅,不仅调节了加在各个光栅电极上的电压,而且调节了相邻两个光栅电极之间的相位差,实现扫描级次的闪耀,即扫描级次的衍射效率最大,能

(下转第 176 页)

波振幅大小,则光栅的相位调制深度也相应发生变化,根据前面分析可知,只要 β 是贝塞尔函数的根时,相对应的衍射级就会出现缺级,与表面波的频率没有关系。因此,通过这种缺级效应来测量液体表面波的振幅大小。而对于平面刻痕光栅的缺级效应,是由于单缝的衍射极小值与干涉极大值重叠效应所致,并且不会出现0级缺级现象。

4 结论

对液体表面波的光衍射效应进行了研究。根据衍射光栅定义可知,收到周期性激发的液体表面振动可以视作一相位型光栅,能够对入射光波进行相位调制,在反射方向上可以观察到衍射图样。实现中,利用低频信号发生器驱动振子,激发液体表面波,经过扩束后的激光束倾斜入射到表面波激发区域,通过改变信号源的输出频率和功率来改变表面波的光栅常数和振幅,从而实现光波的相位调制效应。实验上观察了清晰稳定的衍射条纹,条纹间距随着输出频率的变化而改变大小,并且随着表面波振幅大小的变化,观察了衍射缺级效应。根据物理光学理论,对这些现象进行了分析研究,并且得出了衍射条纹间距和强度分布与表面波参量之间的解析表达式,理论与实验符合较好。将这种现象与普通的平面刻痕光栅进行了对比,表明二者虽然具有相似的实验现象,但从物理机理上来说,却有很大差异,普通的刻痕光栅所出现的缺级现象是由于衍射极小值和干涉极大值的重叠效应所致;而对于刻痕光栅而言,光栅常数确定,不能改变。液体表面波光栅则无此限制,可以通过调节信号发生器的输出

频率,来调节光栅常数,以观察入射光波色散效应与光栅常数的关系。此外,根据流体力学知识,该方法可以用于液体参量的测量,根据采集到的衍射图样进行分析,得到液体表面张力,粘滞系数等相关参量,因此具有较大的应用前景。

参考文献

- [1] LIAO Y B. The principle and application of optics[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006: 152-201 (in Chinese).
- [2] BORN M, WOLF E. Principle of optics[M]. 7th ed. United Kingdom: Cambridge University Press, 1999: 160-224.
- [3] RAGINI S, CLAIRE G, POCHI Y. Properties of photorefractive gratings with complex coupling constants[J]. Journal of the Optical Society of America, 1991, B8(5): 1047-1052.
- [4] HE X R, ZHANG W P, CHEN M X. Fresnel diffraction of a plane transmission grating[J]. College Physics, 2007, 26(2): 1-4 (in Chinese).
- [5] QI J X, MIAO R C, DONG J. Measurement of damping constant of liquid surface wave at low frequency by light diffraction method[J]. Laser Technology, 2008, 32(5): 496-498 (in Chinese).
- [6] LARSON D A, BLACK T D, GREEN M, et al. Optical modulation by a traveling surface acoustic wave and a holographic reference grating[J]. Journal of the Optical Society of America, 1990, A7(9): 1745-1750.
- [7] ZHAO K H, ZHONG X H. Optics[M]. Beijing: Peking University Press, 1983: 143 (in Chinese).
- [8] LIN M, HUANG J J. The testing system for the coefficient of surface tension based on the principle of grating diffraction[J]. Metrology & Measurement Technique, 2000, 4(9): 22-23 (in Chinese).
- [9] DUNCAN B D. Visualization of surface acoustic waves by means of synchronous amplitude-modulated illumination[J]. Applied Physics, 2000, 39(17): 2888-2895.
- [10] GOODMAN J W. Introduction to Fourier optics[M]. 2nd ed. San Francisco, United States: McGraw-Hill, 1996: 62.

(上接第172页)

够动态实现随机角度扫描的功能。

参考文献

- [1] LUO B L, WANG Ch Ch, DU J L, et al. Study on laser beam combination by binary phase grating[J]. Laser Technology, 2006, 30(4): 381-384 (in Chinese).
- [2] WANG L, ZHANG Ch, YAO Zh Sh, et al. Simulation of liquid crystal diffraction grating[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2006, 21(2): 113-118 (in Chinese).
- [3] ZHANG C Y, HUANG Z Q. Characteristics analysis of binary optic liquid crystal blazed grating[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(7): 1231-1235 (in Chinese).
- [4] REN H W, FAN Y H, WU S T. Polymer network liquid crystals for tunable microlens arrays[J]. Journal of Physics, 2004, D37(14): 400-403.
- [5] WANG L, ZHANG Ch. The technical evolvement of liquid crystal grating and its application[J]. Advanced Display, 2006, 61(25): 39-44 (in Chinese).
- [6] BOWLEY C C, CRAWFOD G P. Diffusion kinetics of formation of holographic polymer-dispersed liquid crystal display material[J]. Applied Physics Letters, 2000, 76(16): 2235-2237.
- [7] MA J, LIU Y G, YU T, et al. Preparation of two-dimensional electrically tuning polymer/liquid crystal grating by holography[J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2005, 20(2): 115-118 (in Chinese).
- [8] CAO Zh L, MU Q Q, HU L F, et al. Diffractive characteristics of the liquid crystal spatial light modulator[J]. Chinese Physics, 2007, 16(6): 1665-1671.
- [9] LI B Y, PANG X L, HUANG Zh X. Phase shifter using nematic liquid crystals[J]. Electronic Components and Materials, 2007, 26(5): 1-3 (in Chinese).
- [10] ZHENG X R, DENG W L, FAN J M, et al. An IP simulation and verification platform based on FPGA[J]. Journal of South China University of Technology(Natural Science Edition), 2006, 34(1): 38-42.