

提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法

申请号：[201210007915.6](#)

申请日：2012-01-11

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)

地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)

发明(设计)人 [宣丽 穆全全 彭增辉 胡立发 曹召良 胡红斌 刘永刚 姚丽双 李大禹 夏明亮 杨程亮 鲁兴海](#)

主分类号 [G02F1/133\(2006.01\)I](#)

分类号 [G02F1/133\(2006.01\)I](#)

公开(公告)号 [102540531A](#)

公开(公告)日 [2012-07-04](#)

专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)

代理人 [南小平](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102540531 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 28

(21) 申请号 201210007915. 6

(22) 申请日 2012. 01. 11

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与
物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 宣丽 穆全全 彭增辉 胡立发
曹召良 胡红斌 刘永刚 姚丽双
李大禹 夏明亮 杨程亮 鲁兴海

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务
所 22210

代理人 南小平

(51) Int. Cl.

G02F 1/133 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1584677 A, 2005. 02. 23,

KR 20010055986 A, 2001. 07. 04,

US 2007/0164776 A1, 2007. 07. 19,

审查员 宋萍

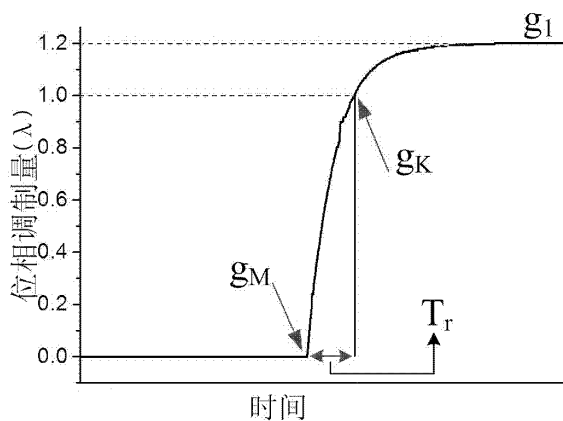
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级
驱动方法

(57) 摘要

本发明属于自适应光学领域,是提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法,其特征是使液晶波前校正器的位相调制量为 $1.2 \sim 1.6$ 个波长,针对像素上任意一组初始位相和目标位相,设置一个比二者差值更大的过渡位相的灰度级,以利用液晶在位相响应的前阶段速度快的特点,迅速到达目标位相对应的位置,此时刻再对其施加目标位相所对应的灰度级以保持目标位相值。本发明的关键就是对液晶波前校正器过渡灰度级矩阵GT的测量,根据GT实时求解初始灰度图和目标灰度图对应的过渡灰度图,使液晶波前校正器在过渡灰度级驱动下迅速响应到位,再施加目标灰度图,稳定波前;随即可进行下一周期的驱动。



1. 提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法,其特征是:

将液晶波前校正器 1λ 的位相调制量扩展到 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$, λ 代表中心校正波长;将位相调制量线性划分为 M 个灰度级,即 $1, 2, 3, \dots, K, \dots, M$, 灰度级均为整数;灰度级 1 称为 g_1 , 对应最高位相,其数值在 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$ 之间,灰度级 K 称为 g_K , 对应位相 1λ , 灰度级 M 为最大灰度级称为 g_M , 对应位相 0 , 灰度级 $[K, M]$ 区间对应 1λ 的位相调制量;

确定液晶波前校正器的响应时间 T_r : 在液晶波前校正器的所有像素上施加最大灰度级 g_M , 待其响应完成后变换到最小灰度级 g_1 , 位相调制量从 0 不断增加到 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$ 之间的最高位相, 测得液晶波前校正器的回落响应曲线;从响应曲线上截取前 1λ 位相调制量所对应的灰度级区间、即从 g_M 到 g_K 的回落时间作为液晶波前校正器的响应时间 T_r ;

测量过渡灰度级 T 的方法: 在液晶波前校正器的所有像素上施加初始灰度级 m , 共同的目标灰度级为 k , m 和 k 为灰度级 $[K, M]$ 区间任意两个灰度级;以响应时间 T_r 为限定条件, 选择过渡灰度级 T , 满足 $|T-m| > |k-m|$, 同时在 $g_T(m, k)$ 的过压驱动下, 使液晶波前校正器在 T_r 时间内从 g_m 响应到 g_k 所对应的位相位置, 即刻施加 g_k 使位相稳定在 g_k 所对应的位相位置;继续以响应时间 T_r 为限定条件, 对应灰度级 $[K, M]$ 区间所有初始灰度级、和与这些初始灰度级组合的目标灰度级, 测得 $(M-K+1) \times (M-K+1)$ 个过渡灰度级 $g_T(m, k)$, 使灰度级 $[K, M]$ 区间所有灰度级间的响应时间都一致化地缩短为 T_r , 将这些 $g_T(m, k)$ 值排列起来建立起 $(M-K+1) \times (M-K+1)$ 的过渡灰度级矩阵 G_T :

$$G_T = \begin{bmatrix} g_M & g_T(M, M-1) & \cdots & g_T(M, K) \\ g_T(M-1, M) & g_{M-1} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & g_{K+1} & g_T(K+1, K) \\ g_T(K, M) & \cdots & g_T(K, K+1) & g_K \end{bmatrix}$$

其中对角线上的矩阵元是灰度级自身, 表明相同灰度级之间没有过渡灰度级, $g_T(M, M-1)$ 代表从初始灰度级 M 变换到目标灰度级 $M-1$ 的过渡灰度级;每一行初始灰度级不变目标灰度级逐一降低, 每一列目标灰度级不变初始灰度级逐一降低;

液晶波前校正器上 $N \times N$ 个像素都有其相应的过渡灰度级, N 是 $[1, 256]$ 内的整数, $N \times N$ 个过渡灰度级的集合构成过渡灰度图 $G_T(j)$, j 为像素的序号, $j=1, 2, 3, \dots, N \times N$;

液晶波前校正器的过渡灰度级驱动过程为: 依据已知的初始灰度图 $G_m(j)$ 和目标灰度图 $G_k(j)$, 在测得的过渡灰度级矩阵 G_T 中查找出每个像素上的过渡灰度级, 得出过渡灰度图 $G_T(j)$;先给液晶波前校正器发送过渡灰度图 $G_T(j)$, 信号传输时间为 t_s , 且有 $t_s < T_r$;当过渡灰度图 $G_T(j)$ 的施加时间达到 $T_r - t_s$ 时, 再给液晶波前校正器发送目标灰度图 $G_k(j)$, 经过 t_s 时间 $G_k(j)$ 信号传输完成, 液晶波前校正器上 $N \times N$ 个像素都同时达到各自的目标位相, 然后在目标灰度图 $G_k(j)$ 使波前位相稳定, 完成一次“过渡灰度图 $\rightarrow T_r$ 时间延迟 $\rightarrow$ 目标灰度图”的周期驱动过程。

2. 根据权利要求 1 所述的提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法,其特征是液晶波前校正器的位相调制量为 1.2λ 。

3. 根据权利要求 1 所述的提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法,其特征是过渡灰度级矩阵 G_T 的测量系统设计:

过渡灰度级矩阵 G_T 的测量系统由激光器(1)、准直透镜(2)、偏振片(3)、液晶波前校正器(4)、聚焦透镜(5)、示波器(6)、计算机(7)组成。激光器(1)位于准直透镜(2)的焦点上发出球面波,激光波长与液晶波前校正器(4)的中心校正波长相同;激光通过准直透镜(2)后变为直径略小于液晶波前校正器(4)口径的平行光,且偏振方向与偏振片(3)的偏振方向平行,即能全部透过偏振片(3)进入液晶波前校正器(4);偏振片(3)的平面与液晶波前校正器(4)的平面平行、且前者的偏振方向与后者的液晶取向成 45° 角,使进入液晶波前校正器(4)的光束等分为 o 光和 e 光,从液晶波前校正器(4)出射时 e 光相对 o 光产生光延迟,光延迟的大小取决于液晶波前校正器(4)上的灰度级;不同光延迟的光从液晶波前校正器(4)出射再通过偏振片(3)时光强衰减不同;经过聚焦透镜(5)后,由带有光强探测器的示波器(6)检测光强随时间的变化;示波器(6)的光强探测器位于聚焦透镜(5)的焦点上,以保证经液晶波前校正器(4)作用的光束全部进入示波器(6)的光强探测器,示波器(6)的时间分辨率为 0.1ms;相对液晶波前校正器(4)的入射与出射光束间夹角应与实际使用的自适应系统中的情况相同,为 $2^\circ \sim 3^\circ$;示波器(6)和液晶波前校正器(4)均与计算机(7)相连,计算机(7)中存有驱动二者的控制程序;

计算机(7)的其它作用是采集示波器(6)的数据,得出光强随时间变化曲线;按照光强与光延迟的关系 $I = \sin^2(\varphi/2)$,其中 φ 为 e 光相对 o 光产生的光延迟,将该光强随时间变化曲线转换为位相随时间变化曲线,即回落响应曲线。

提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法

技术领域

[0001] 本发明属于自适应光学技术领域,是一种对液晶波前校正器驱动过程的优化技术,具体地说是提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法。

背景技术

[0002] 光波前自适应校正系统的功能是对入射光的畸变波前进行实时补偿校正,得到理想的光学成像。

[0003] 基于向列相液晶材料的液晶波前校正器,采用成熟的微电子技术制备工艺,具有高像素密度的特点,不但校正精度高,而且可以利用相息图技术校正波前,只需要 1 个波长的绝对位相调制量,就可以校正深度为 10 个波长的畸变波前。因此使用液晶波前校正器的自适应光学系统在大口径望远镜成像领域具有很大的应用潜力。但是向列相液晶器件的响应速度通常较慢,尤其是位相调制量达到 800nm 的时候响应时间长于 3ms,使液晶波前校正器很难应对快速变化的大气湍流干扰。国际上曾提出利用铁电液晶材料和双频液晶材料来实现高速波前校正。但是,铁电液晶位相调制量小,无法满足校正量的要求;而双频液晶则存在驱动电压高、超过大规模集成电路载荷的问题,使得器件分辨率很难做高。1989 年美国的吴诗聪 (Shin-Tson Wu and Chiung-Sheng Wu, High-speed liquid-crystal modulators using transient nematic effect, J. Appl. Phys. 65(2), 15 January 1989) 提出对向列相液晶空间光调制器进行过压驱动,使向列相液晶的响应时间缩短到亚毫秒甚至更快。但这种方法的工作电压一般在 20V 以上,需要对液晶空间光调制器件的硬件进行特殊加工,至今没有商品出售,甚至找不到加工之处。因此,本发明基于商品化的向列相液晶波前校正器,通过过渡灰度级的驱动过程加快其响应速度。

[0004] 液晶波前校正器的正常驱动方式是:在液晶波前校正器的位相调制量为 1 个波长的电压变化区间,将其划分为 M 个位相等步长变化的电压分度值,并用整数级数灰度级来表示,即 1、2、3、……、M, M 为正整数;将第 1 灰度级称为 g_1 ,对应此电压区间的最低电压分度值,以此类推,第 M 灰度级称为 g_M ,对应此电压区间的最高电压分度值;利用这 M 个灰度级准连续地驱动液晶波前校正器。

[0005] 向列相液晶波前校正器有如下响应特性:a) 从低电压(低灰度级)变换到高电压(高灰度级)时,液晶分子在电场作用下立起,光程缩短,相对位相变低,这个过程速度很快,通常小于 1ms;但是反过来灰度级从高到低变换时,液晶分子依靠弹性力从立起状态而回落,回落速度较慢,通常大于 3ms,回落过程光程增长,相对位相升高,通常把液晶分子的回落耗时定义为液晶波前校正器的响应时间;b) 液晶从高灰度级向低灰度级回落过程中开始速度较快,当接近目标灰度级、对应位相调制量约剩 0.2λ (λ 为中心校正波长) 时回落速度明显变慢,称为响应拖尾;c) 液晶校正器不同像素的响应时间不一致,回落的灰度级级差越小响应拖尾所占的比例越大,响应时间越长,其中低灰度级区间(对应低电压区)的回落响应时间更长。因此,在进行自适应波前校正时,液晶波前校正器上各个像素的液晶响应过程并非同步,导致整体波前校正的速度变慢。

发明内容

[0006] 本发明为了克服液晶波前校正器的响应拖尾问题,通过实时计算施加在液晶波前校正器所有像素上的过渡灰度级矩阵,以对液晶波前校正器施加一种过压驱动,使所有像素上灰度级间的响应时间缩短,并达到一致,目的是提供提高液晶波前校正器响应速度的过渡灰度级驱动方法。

[0007] 本发明的基本思路是:制作液晶波前校正器时,将液晶波前校正器 1λ 的位相调制量扩展到 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$ 。针对像素上 $[0, \lambda]$ 范围的任意一组初始位相和目标位相,设置一个比二者差值更大的过渡位相的灰度级,以利用液晶在位相变化的前阶段响应速度快的特点,迅速到达目标位相对应位置,此时刻再对其施加目标位相所对应的灰度级以稳定保持目标位相值。利用这种方法可以消除响应拖尾,显著提高液晶波前校正器的响应速度。为使所有灰度级间的响应速度都一样快,即液晶波前校正器上所有像素的响应时间相同,需在每个像素上依据其初始位相和目标位相施加不同的过渡位相灰度级。

[0008] 为了更好的理解本发明,下面详述本发明的操作过程。

[0009] 使液晶波前校正器的位相调制量为 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$ 。将位相调制量线性等分为 M 份,对应 M 个灰度级,即 $1, 2, 3, \dots, K, \dots, M$ 。灰度级均为整数,灰度级 1 称为 g_1 ,对应最高位相,灰度级 K 称为 g_K ,对应位相 1λ ,灰度级 M 为最大灰度级称为 g_M ,对应位相 0 。

[0010] 首先在液晶波前校正器的所有像素上施加 g_M ,使液晶分子成立起状态,位相为 0 ,然后再变换到 g_1 ,在这对灰度级变换中监测液晶波前校正器的回落响应曲线,示意图如图 1,横轴为时间,纵轴为位相调制量即液晶波前校正器被驱动后的位相变化,单位为波长 λ ,位相调制量选为 1.2λ ,回落响应在开始阶段很快,但位相升高到 1λ 以后的响应速度越来越慢,呈现响应拖尾现象;去掉这个响应拖尾,从响应曲线上截取前 1λ 位相调制量作为波前校正用的位相调制区间,所对应的响应时间为 T_r ;此处将 1.2λ 看作 1λ 的过渡位相,初始灰度级为 g_M ,目标灰度级为 g_K , g_1 为过渡位相的灰度级,再做 0 位相到 1λ 位相的快速响应调制:令驱动从 g_M 变换到 g_1 ,在响应过程的 T_r 时刻施加 1λ 目标位相所对应的 g_K ,可使位相稳定平衡在 1λ 处。上述驱动中,初始灰度级 M 、过渡位相的灰度级 1 和目标灰度级 K 三者的关系为 $|M-1| > |M-K|$,通过过渡位相的灰度级驱动,回落响应曲线没有响应拖尾,响应时间缩短。以下将任意过渡位相的灰度级用过渡灰度级 T 表示,简称 g_T 。如果在位相调制量为 1.2λ 的回落响应曲线上截取前 1λ ,仍然不能去掉响应拖尾,可将位相调制量适当加大,在 $1.2\lambda \sim 1.6\lambda$ 中寻找一个合适值。

[0011] 将上述过渡灰度级驱动下 1λ 位相变化的回落时间 T_r 作为液晶波前校正器的响应时间。对于位相调制区间 $[M, K]$ 内任意一对初始位相 P_A 和目标位相 P_B ,对应 g_A 到 g_B 的变换,总可以在灰度级 $[M, 1]$ 区间找到一个过渡灰度级 T ,使得 $|A-T| > |A-B|$,过渡灰度级驱动效果如图 2(a) 所示,液晶在从 g_A 到 g_T 的响应过程中,在 T_r 时间内到达目标位相 P_B ,此时如果不施加 g_B ,响应曲线将如同图中虚线所示,位相通过 P_B 后缓慢升高到过渡位相 P_T ,而在 T_r 时刻施加 g_B ,位相则稳定平衡在 P_B 处,将响应时间缩短为 T_r ;对比图 2 中 (b) 所示的无过渡灰度级驱动,将位相从 P_A 调制到 P_B 时简单地从 g_A 变换到 g_B ,响应时间为拖尾的 T_{AB} ,远大于 T_r 。

[0012] 以 T_r 为限定条件,对灰度级 $[M, K]$ 区间所有初始灰度级 m 和目标灰度级 k 之间的

变换,按照上述寻找过渡灰度级 T 的方法,在液晶波前校正器上施加合适的过渡灰度级即 $g_T(m, k)$ 的过压驱动,其中 $m, k = M, M-1, M-2, \dots, K$, 可以测得 $(M-K+1) \times (M-K+1)$ 个 $g_T(m, k)$ 。将这些 $g_T(m, k)$ 值排列起来建立起 $(M-K+1) \times (M-K+1)$ 的过渡灰度级矩阵 G_T :

$$[0013] \quad G_T = \begin{bmatrix} g_M & g_T(M, M-1) & L & g_T(M, K) \\ g_T(M-1, M) & g_{M-1} & O & M \\ M & O & g_{K+1} & g_T(K+1, K) \\ g_T(K, M) & L & g_T(K, K+1) & g_K \end{bmatrix}$$

[0014] 其中对角线上的矩阵元是灰度级自身,表明相同灰度级之间没有过渡灰度级, $g_T(M, M-1)$ 代表从初始灰度级 M 变换到目标灰度级 $M-1$ 的过渡灰度级;每一行初始灰度级不变目标灰度级逐一降低,每一列目标灰度级不变初始灰度级逐一降低。

[0015] 实际上液晶波前校正器在工作时其上每个像素的初始灰度级 m 和目标灰度级 k 都是已知的,都可以在 G_T 中找到相应的过渡灰度级 $g_T(m, k)$,通过过渡灰度级的驱动,可以使液晶波前校正器所有像素的响应时间都一致化地缩短为 T_r 。

[0016] 实验测得的过渡灰度级矩阵 G_T 需存入计算机中,并编制一个自动查找 $g_T(m, k)$ 的程序。当液晶波前校正器做波前校正的时候,对每个像素上的一对属于 $[M, K]$ 区间的初始灰度级 m 和目标灰度级 k ,计算机都能在 G_T 中找到相应的 $g_T(m, k)$ 。

[0017] 液晶波前校正器像素上的灰度级分布称为灰度图,可以写成一维向量形式 $G(j)$, j 为液晶校正器像素位置的顺序数,为整数, $j = 1, 2, 3, \dots, N^2$, 其中 N 表明液晶校正器的像素数为 $N \times N$ 个, N 为 $[1, 256]$ 中的任意一个整数。那么任意初始灰度图即可写为 $G_m(j)$, 目标灰度图写为 $G_k(j)$, 过渡灰度图应为 $G_T(j)$ 。

[0018] 过渡灰度图驱动过程为:在初始灰度图 $G_m(j)$ 基础上,先给液晶波前校正器发送过渡灰度图 $G_T(j)$, 信号传输时间为 t_s , 且有 $t_s < T_r$; 当过渡灰度图 $G_T(j)$ 的施加时间达到 $T_r - t_s$ 时,再给液晶波前校正器发送目标灰度图 $G_k(j)$, 经过 t_s 时间 $G_k(j)$ 信号传输完成,液晶波前校正器上 $N \times N$ 个像素都在过渡灰度图 $G_T(j)$ 下响应了 T_r 时间,同时达到各自的目标位相,此刻再被施加目标灰度图 $G_k(j)$ 使波前位相稳定,完成一次波前校正过程;随即可施加下一幅过渡灰度图;形成“过渡灰度图 $\rightarrow T_r$ 时间延迟 $\rightarrow$ 目标灰度图”的周期驱动程序。

[0019] 综上所述,要实现对于液晶波前校正器过渡灰度级驱动的快速响应,关键是要测量其响应时间 T_r 所对应的过渡灰度级矩阵 G_T 。

[0020] 设计如图3所示的过渡灰度级矩阵 G_T 的测量系统,其中1为激光器,2为准直透镜,3为偏振片,4为液晶波前校正器,5为聚焦透镜,6为示波器,7为计算机。激光器1位于准直透镜2的焦点上,发出球面波,激光波长与液晶波前校正器4的中心校正波长相同;激光通过准直透镜2后变为直径略小于液晶波前校正器4口径的平行光,且偏振方向与偏振片3的偏振方向平行,即能全部透过偏振片3进入液晶波前校正器4;偏振片3的平面与液晶波前校正器4的平面平行、且前者的偏振方向与后者的液晶取向成 45° 角,使进入液晶波前校正器4的光束等分为 o 光和 e 光。从液晶波前校正器4出射时 e 光相对 o 光产生光延迟,光延迟的大小取决于液晶波前校正器4上的灰度级。不同光延迟的光从液晶波前校正器4出射再通过偏振片3时光强衰减不同。经过聚焦透镜5后,由带有光强探测器的示波器6检测光强随时间的变化。示波器6的光强探测器位于聚焦透镜5的焦点上,以保证经液晶波前校正器4作用的光束全部进入示波器6的光强探测器,示波器6的时间分辨率为

0.1ms。相对液晶波前校正器 4 的入射与出射光束间夹角应与实际使用的自适应系统中的情况相同,为 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$;示波器 6 和液晶波前校正器 4 均与计算机 7 相连,计算机 7 中存有驱动二者的控制程序以及将光强响应曲线转化为位相响应曲线的计算程序。

[0021] 测量过程为:

[0022] 1) 测量液晶波前校正器 4 的响应时间 T_r 。为监测方便,令计算机 7 向液晶波前校正器 4 的所有像素上发送对应 0 位相的 g_m ,待其响应完成后向其发送对应最高位相的 g_1 ,示波器 6 上显示出光强的阶跃响应曲线,同时用计算机 7 采集示波器 6 的数据,得出如图 4 中虚线所示的光强随时间变化曲线;利用光强与光延迟的关系 $I = \sin^2(\varphi/2)$,其中 φ 为 e 光相对 o 光产生的光延迟,又因为光延迟与位相调制量在数值上一一对应,故可将该光强变化曲线转换为位相调制量变化曲线如图 4 中的实线所示,即为回落响应曲线;在回落响应曲线上截取位相变化 1λ 所对应的时间作为液晶波前校正器 4 的响应时间 T_r 。

[0023] 2) 以响应时间 T_r 为限定条件,测量灰度级 $[M, K]$ 区间所有灰度级 (m, k) 间变换的过渡灰度级 T ,即 $g_T(m, k)$ 。同样为监测方便,令计算机 7 向液晶波前校正器 4 的所有像素上发送相同的灰度级。记录下在 T_r 时间从 g_m 到达 g_k 所对应的所有 $g_T(m, k)$ 值;将这些 $g_T(m, k)$ 值排列为过渡灰度级矩阵 G_T 。

[0024] 本发明基于商品化的向列相液晶波前校正器,通过过渡灰度级的驱动过程加快其响应速度。通过在每个像素上即时计算并施加过渡灰度级,不仅能加快液晶的回落速度,而且解决了不同灰度级间响应时间不一致的问题。

附图说明

[0025] 图 1 为液晶波前校正器的驱动电压从最高灰度级 g_m 变换到最低灰度级 g_1 的回落响应曲线示意图。其中横轴为时间,纵轴为位相调制量、即校正器被驱动后的位相变化,单位为波长 λ , g_k 为位相变化 1λ 时所对应的灰度级,时间区间 T_r 为去掉响应拖尾的液晶波前校正器的响应时间。

[0026] 图 2 为液晶波前校正器从任意初始位相 P_A 提高到目标位相 P_B 的驱动方法及回落响应曲线。其中 (a) 表明过渡灰度级驱动方法,如其上图所示,纵轴代表灰度级,横轴为时间,初始灰度级 g_A 变换到过渡灰度级 g_T ,并保持 T_r 时间,即刻施加目标灰度级 g_B ;对应下图,是同样时间轴上位相发生的变化,纵轴为位相,对应初始灰度级 g_A 位相为 P_A ,变换到过渡灰度级 g_T 后位相经 T_r 时间正好提高到 P_B ,在随即施加的灰度级 g_B 作用下,位相稳定在目标位相 P_B ,过渡灰度级驱动方法使 P_A 到 P_B 的响应时间为较短的 T_r ; (b) 为传统的直接驱动方法,其上图简单地从初始灰度级 g_A 变换到目标灰度级 g_B ,对应下图,位相从 P_A 到 P_B 的响应出现拖尾,响应时间为较长的 T_{AB} 。

[0027] 图 3 为液晶波前校正器的过渡灰度级矩阵 G_T 的测量光路。其中 1 为激光器,波长与液晶波前校正器的中心校正波长相同;2 为准直透镜;3 为偏振片,偏振方向与液晶波前校正器的液晶取向成 45° 角;4 为液晶波前校正器;5 为聚焦透镜;6 为探测光强变化的示波器;7 为计算机。入射与出射光束间夹角为 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$;6 和 4 均与计算机 7 相连,计算机 7 中存有驱动液晶波前校正器 4 和示波器 6 的控制程序、以及将光强响应曲线转化为位相响应曲线的计算程序。

[0028] 图 4 为液晶波前校正器 4 在图 3 所示的光路中测得的响应时间 T_r 的测量曲线。其

中横轴为时间,左侧纵轴为归一化光强,对应虚线曲线,为液晶波前校正器 4 从初始 0 位相响应到 1.2λ (λ 为中心校正波长) 位相时示波器 6 给出的光强变化曲线;实线为光强曲线换算后的位相变化曲线,对应右侧纵轴,在实线曲线上截取位相从 0 上升到 1λ 所需的时间即为液晶波前校正器 4 的响应时间 T_r 。

[0029] 图 5 为具体实施方式中所用液晶波前校正器 4 的位相调制量与灰度级的对应曲线。其中横轴为灰度级,纵轴为位相调制量。

[0030] 图 6 为具体实施方式中液晶波前校正器 4 的初始灰度级和目标灰度级分别为 50 和 31 时测量其过渡灰度级的过程。其中横轴为时间,纵轴为归一化光强,曲线 I 为过渡灰度级不够低时的光强响应变化曲线,曲线 II 为过渡灰度级过低时的光强变化曲线,曲线 I 和曲线 II 中的响应时间为 T_{rr} ,曲线 III 为所施加过渡灰度级正合适时的光强变化曲线,此时响应时间 $T_r = 1.55\text{ms}$,远小于 T_{rr} 。

具体实施方式

[0031] 为了更清楚理解本发明,下面结合实施方式对这种过渡灰度级驱动方法进行详细说明。

[0032] 1) 激光器 1 为半导体激光器,波长 $\lambda = 785\text{nm}$ 。

[0033] 2) 准直透镜 2 和聚焦透镜 5 均为双胶合透镜,焦距均为 100mm ,口径为 25mm 。

[0034] 3) 偏振片 3 为高分子偏振片,口径 25mm ,消光比 $500 : 1$ 。

[0035] 4) 液晶波前校正器 4 为美国 BNS 公司制作的向列相液晶纯位相波前校正器, 128×128 像素,因此确定灰度图中的 $j = 1, 2, 3, \dots, 128^2$;采用通常的驱动方法液晶波前校正器 4 的响应时间为 3ms ,口径为 6.14mm ,中心校正波长 $\lambda = 785\text{nm}$,具有 1.2λ 的位相调制量。由 BNS 公司提供的灰度级和位相调制量的对应关系如图 5 所示,在 1.2λ 的位相调制区间等位相步长对应着 50 个灰度级,其中灰度级 50 对应最高电压、0 位相调制量,灰度级 0 对应最低电压、 1.2λ 位相调制量,灰度级 11 对应 1λ 的位相调制量,因此确定过渡灰度级矩阵 G_T 中的 $M = 50, K = 11$ 。

[0036] 5) 示波器 6 为 Tektronix 公司生产的 MS03032 型,配有 New Focus 生产的可见光光子接收器。

[0037] 6) 计算机 7 为工控机,计算机 7 中存有驱动液晶波前校正器 4 和示波器 6 的控制程序。

[0038] 7) 按照图 3 搭建测量过渡灰度级矩阵 G_T 的光路:位于准直透镜 2 焦点上的激光器 1 发出球面波,通过准直透镜 2 后变为直径略小于液晶波前校正器 4 口径的平行光,使该平行光全部进入液晶波前校正器 4,且偏振方向与偏振片 3 的偏振方向平行,即能全部透过偏振片 3 进入液晶波前校正器 4;偏振片 3 的平面与液晶波前校正器 4 的平面平行、且前者的偏振方向与后者的液晶取向成 45° 角;光从液晶波前校正器 4 出射再通过偏振片 3 时光强衰减;经过聚焦透镜 5 后,由带有光强探测器的示波器 6 检测光强随时间的变化;示波器 6 位于聚焦透镜 5 的焦点上,以保证经液晶波前校正器 4 作用的光束全部被检测到,示波器 6 的时间分辨率为 0.1ms ;相对液晶波前校正器 4 的入射与出射光束间夹角与实际使用的自适应系统中的情况相同,为 2° ;示波器 6 和液晶波前校正器 4 均与计算机 7 相连。

[0039] 8) 测量液晶波前校正器 4 的响应时间 T_r :向液晶波前校正器 4 的所有像素施加最

高灰度级 50, 然后变换到最低灰度级 0, 在示波器 6 上获得光强响应曲线; 利用光强与光延迟的关系 $I = \sin^2(\varphi/2)$, 其中 φ 为光延迟、对应位相调制量, 将获得的光强响应曲线换算为位相响应曲线, 得出了位相变化 1λ 的响应时间为 1.55ms, 据此获得过渡灰度级驱动下液晶波前校正器的响应时间 $T_r = 1.55\text{ms}$ 。

[0040] 9) 测量液晶波前校正器 4 的过渡灰度级矩阵 G_T : 向液晶波前校正器 4 的所有像素施加初始灰度级 $m = 50$, 设定任意目标灰度级 $k = 31$, 给对应的过渡灰度级 $g_T(50, 31)$ 赋一个低于 31 的初始值 29, 然后向液晶波前校正器 4 的所有像素施加过渡灰度级初始值 29, 并维持 1.55ms, 即刻将目标灰度级 31 施加到所有像素上; 利用示波器 6 记录整个过程中的液晶响应曲线, 如图 6 中曲线 I 所示, 从中测量出液晶波前校正器 4 的实际响应用时 T_{rr} 超过 1.55ms, 说明过渡灰度级不够低; 进一步降低过渡灰度级至 27, 再次进行上述测量, 得到的液晶波前校正器 4 响应曲线如图 6 中曲线 II 所示, 曲线 II 出现先向下后向上的过度响应, 实际响应用时也为 T_{rr} 超过 1.55ms, 说明过渡灰度级已经过低; 进一步调整过渡灰度级至 28, 获得的液晶波前校正器 4 响应曲线如图 6 中曲线 III 所示, 这次响应时间正好为 1.55ms, 与 T_r 相等。由此得到过渡灰度级 $g_T(50, 31) = 28$ 。令目标灰度级 k 在 $[50, 11]$ 灰度级区间逐一降低, 按上述方法依次测量初始灰度级 50 与这 40 个目标灰度级的过渡灰度级, 这 40 个过渡灰度级构成过渡灰度级矩阵 G_T 的第一行矩阵元; 下一步将初始灰度级 m 降低为 49 级, 目标灰度级 k 还在 $[50, 11]$ 灰度级区间逐一降低, 分别测量初始灰度级 49 与这 40 个目标灰度级间的过渡灰度级, 构成过渡灰度级矩阵 G_T 的第二行矩阵元; 以此类推, 将初始灰度级逐一降低至 11 级, 就得到 40 个系列过渡灰度级; 将每个系列过渡灰度级排成矩阵的一行, 目标灰度级从左到右逐一降低, 再令初始灰度级从上到下逐一降低, 就得到过渡灰度级矩阵 G_T 。

[0041] 10) 利用图 3 所示的光路按如下程序对液晶波前校正器 4 实施过渡灰度级驱动下的响应时间测量: 编写初始灰度图 $G_m(j) = 40$ 和目标灰度图 $G_k(j) = 30$, 存入计算机 7 中; 计算机 7 给液晶波前校正器 4 发送初始灰度图 $G_m(j) = 40$, 等待 2s; 计算机 7 在 G_T 中查找到 $g_T(40, 30) = 29$, 令 $G_T(j) = 29$; 计算机 7 给液晶波前校正器 4 发送过渡灰度图 $G_T(j) = 29$, 等待 $T_r - t_s = 1.55\text{ms} - 0.38\text{ms}$, 计算机 7 再给液晶波前校正器 4 发送目标灰度图 $G_k(j) = 30$, 经过 $t_s = 0.38\text{ms}$ 信号传输完成, 液晶波前校正器 4 上的所有像素都在过渡灰度图 $G_T(j) = 29$ 下响应了 1.55ms 时间, 同时达到各自的目标位相, 此刻正好施加目标灰度图 $G_k(j) = 30$ 使目标波前稳定。

[0042] 查看示波器 6 记录的液晶波前校正器 4 的响应曲线, 看出响应时间只有 1.55ms, 过渡灰度图 $G_T(j)$ 的数据处理时间通过计时程序看出为 0.3ms, 而采用通常驱动方法的响应时间要长达 2.5ms, 说明本发明可减少液晶波前校正器 4 的响应延迟时间 0.65ms, 实用可行。

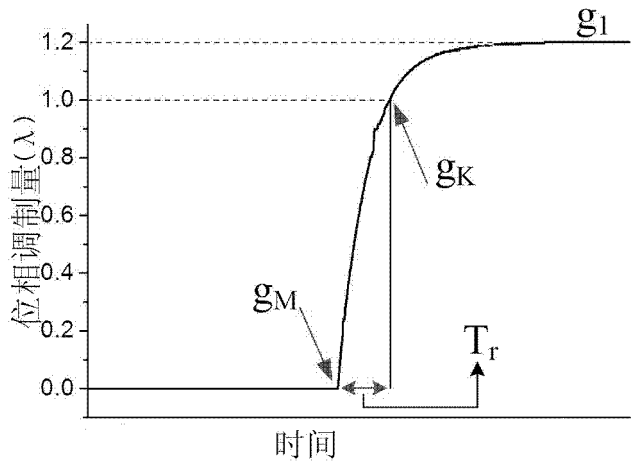


图 1

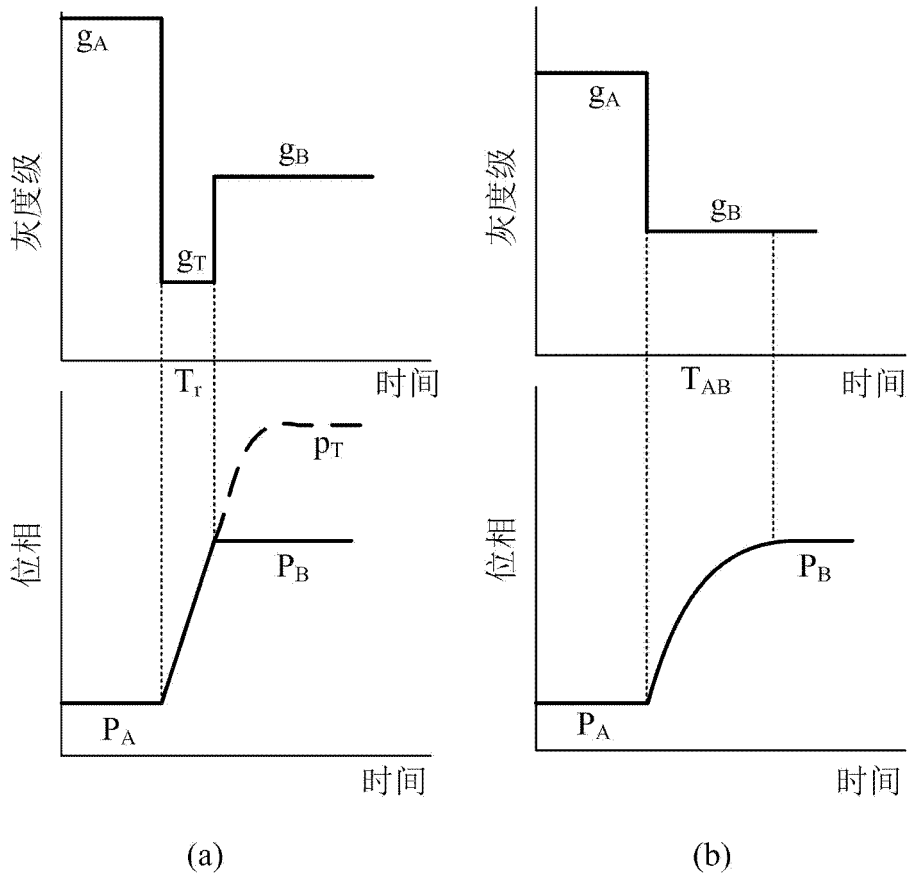


图 2

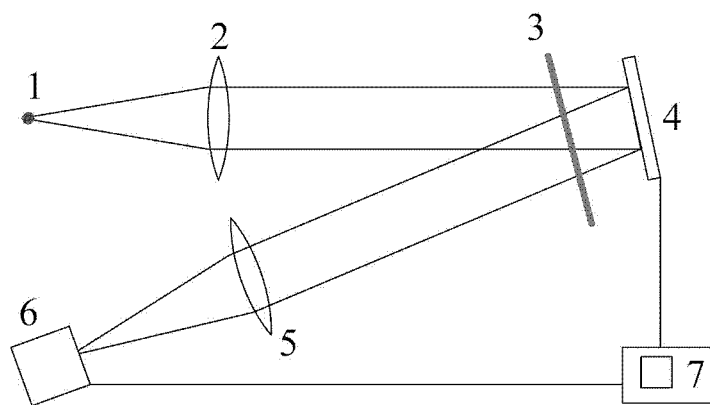


图 3

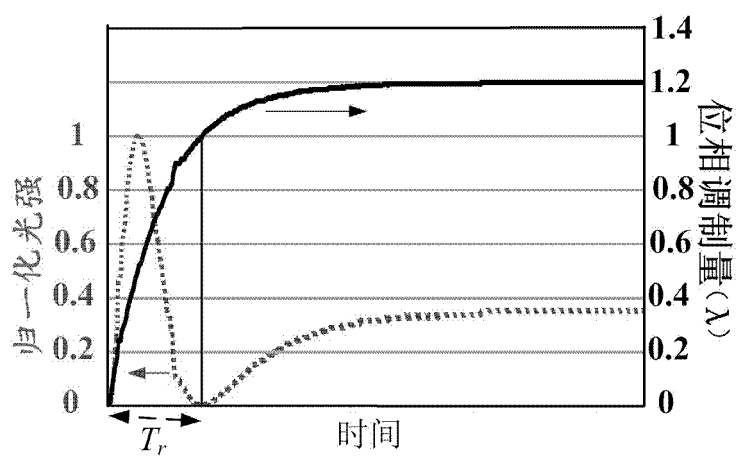


图 4

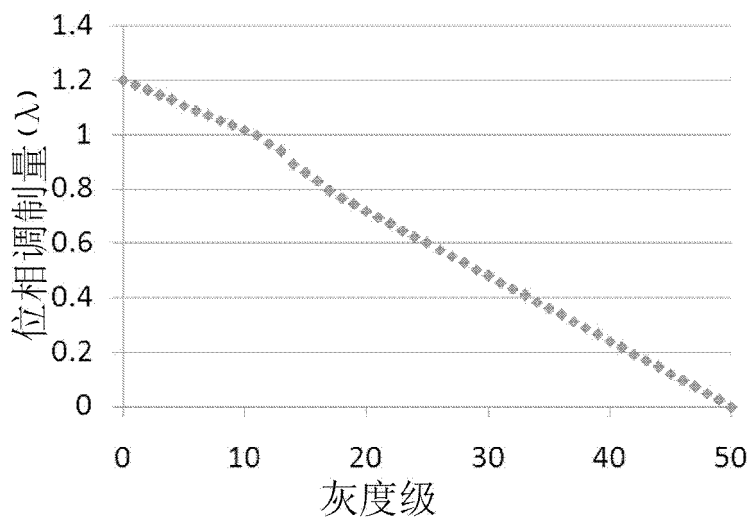


图 5

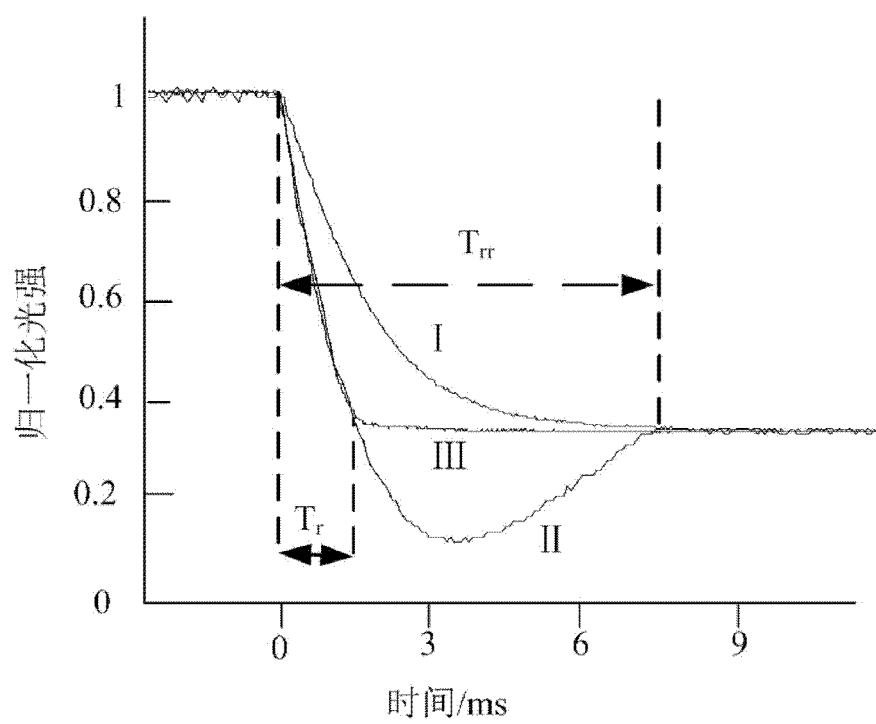


图 6