

非均匀输入图像对基于细菌视紫红质膜的新事物滤波器输出特性的数值模拟^{*}

杨 光¹⁾ 陈桂英²⁾ 祁胜文³⁾ 郝召锋¹⁾ 田建国¹⁾ 张春平¹⁾†

1) 南开大学物理科学学院, 弱光非线性光子学材料先进技术及制备教育部重点实验室,
信息光子材料与技术天津市重点实验室, 天津 300071)

2) 中国科学院南海海洋研究所热带海洋环境动力学重点实验室, 广州 510301)

3) 德州学院物理系, 德州 253023)

(2007 年 3 月 29 日收到, 2007 年 7 月 2 日收到修改稿)

研究了基于细菌视紫红质(bR)膜的新事物滤波器的非均匀输入图像对输出图像特性的影响. 与具有均匀光强分布的输入图像相比, 在正弦分布的输入图像情况下, 输出图像的光强分布不再呈现单调变化, 而是出现两个峰值, 其中间有较小的光强. bR 膜的 M 态寿命和物体运动速度对输出图像上蓝光光强的分布有一定影响. M 态寿命越大, 透过的蓝光光强越小, 减小的幅度是随着 M 态寿命的增加而减小, 当 M 态寿命 $\tau > 50$ s 时, 减小的幅度几乎为零. 在相同的入射光情况下, 对于输出图像的同位置, 输入图像的运动速度越大, 其输出的蓝光光强越大.

关键词: 细菌视紫红质膜, 新事物滤波器, 非均匀输入图像, 输出特性

PACC: 4240F, 4270J, 4280C

1. 引言

光学新事物滤波器(optical novelty filter)呈现的是一个图像新出现的部分或者是变化的部分, 而不变的部分被抑制掉^[1]. 新事物滤波器被广泛地用来探测和跟踪移动的图像及移动图像所对应的速度. 大部分的新事物滤波器采用的光学原理是光的相干理论^[1-4]. 文献[5]利用细菌视紫红质(bacteriorhodopsin, 简记为 bR)膜对黄光和蓝光具有互补抑制调制透射特性^[6]设计了光学新事物滤波器, 采用的是非相干的光学系统. 该滤波器与以前的光学新事物滤波器相比具有以下优点: 不需要防震隔离台、操作方便、响应时间快; 可以通过调节 bR 膜的 M 态寿命来控制响应时间; 由于是非相干系统, 因而在输出图像中没有相干噪声. 利用一幅图像即可判别物体的运动方向. 文献[7]介绍了利用 bR 膜设计的新事物滤波器各个参量对运转特性的影响. 以前的讨论仅限于输入图像的光强分布是均匀

的情况, 本文将对光强具有一定空间分布的输入图像情况下的基于 bR 膜新事物滤波器的特性进行数值模拟和分析.

2. 工作原理

bR 是一种生物光色材料^[6], bR 膜在光学信息处理等方面有着广阔的应用前景^[8-10]. 处于基态的 bR 分子吸收光子后发生异构化, 经过一系列中间态, 完成一次光循环又回到基态. 在光照下 bR 膜的吸收系数和折射率均发生改变, 光致吸收系数变化和光致折射率变化与入射光的波长及入射光强有关. 在适当光强的黄光和蓝光作用下, 透过 bR 膜的黄光和蓝光呈现互补抑制特性^[11], 这种特性可以用于制备光学新事物滤波器^[5].

基于 bR 膜新事物滤波器的工作原理如下: 来自场景的黄、蓝双光携带的图像分别投射在 bR 膜上并相互重合. 由于两束光的相互调制作用, 使黄、蓝双光束的场景图像在 bR 膜上互补抑制, 蓝光携

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 60578020, 20564001), 山东省自然科学基金(批准号: Y2006A01)和教育部长江学者和创新团队发展计划(批准号: JRT0419)资助的课题.

† E-mail: zhangcp@nankai.edu.cn

带的图像消失,这时通过 412 nm 滤光片后,屏幕上不显示静止物体的像^[5].当某一图像中有物体突然移动位置时,就打破了 bR 膜局部的粒子数平衡,黄、蓝双光束抑制状态也被打破,因此可以看到蓝光中的移动物体的像,其他静止物体仍保持抑制状态,从而实现运动物体的实时检测.在以前报道的利用 bR 膜的光学新事物滤波器的实验和特性分析中,设定移动物体是均匀亮度的^[5,7].而实际情况下输入图像的光强分布常常是非均匀的,因此分析非均匀输入图像情况下的光学新事物滤波器的特性是有意义的.

我们利用简化的二能级模型来处理光通过 bR 膜的透射特性^[11].当用蓝光(412 nm)和黄光(568 nm)同时照射 bR 膜时,假定 M 态和 B 态上的分子数分别为 M 和 B ,M 态的寿命为 τ ,则 M 态和 B 态上的分子数速率方程如下:

$$\frac{dB}{dt} = k_2M + k_3M - k_1B, \tag{1}$$

$$\frac{dM}{dt} = -k_2M - k_3M + k_1B, \tag{2}$$

$$N = M + B, \tag{3}$$

式中 N 为系统总的分子数, $k_3 = 1/\tau$, τ 为 M 态寿命, k_1 和 k_2 分别为 B 态→M 态和 M 态→B 态的光反应速率常数,

$$k_1 = \frac{2.3026\phi\epsilon_1\lambda_1 I_1}{N_A hc}, \tag{4}$$

$$k_2 = \frac{2.3026\phi\epsilon_2\lambda_2 I_2}{N_A hc}. \tag{5}$$

这里 ϕ 为正向和反向光反应的量子产额, $\phi = 0.64$, $\lambda_1 = 568\text{ nm}$, $\lambda_2 = 412\text{ nm}$, ϵ_1 和 ϵ_2 分别为 B 态在 λ_1 处的消光系数和 M 态在 λ_2 处的消光系数, I_1 和 I_2 分别为黄光和蓝光的入射光强度,单位为 mW/cm^2 , N_A 为阿伏伽德罗常数, h 为普朗克常数, c 为光速.根据 Beer-Lambert 定律,bR 膜的透射光强可由下列的微分方程给出:

$$\frac{dI_1}{dz} = -2.3026\epsilon_1 B I_1, \tag{6}$$

$$\frac{dI_2}{dz} = -2.3026\epsilon_2 M I_2. \tag{7}$$

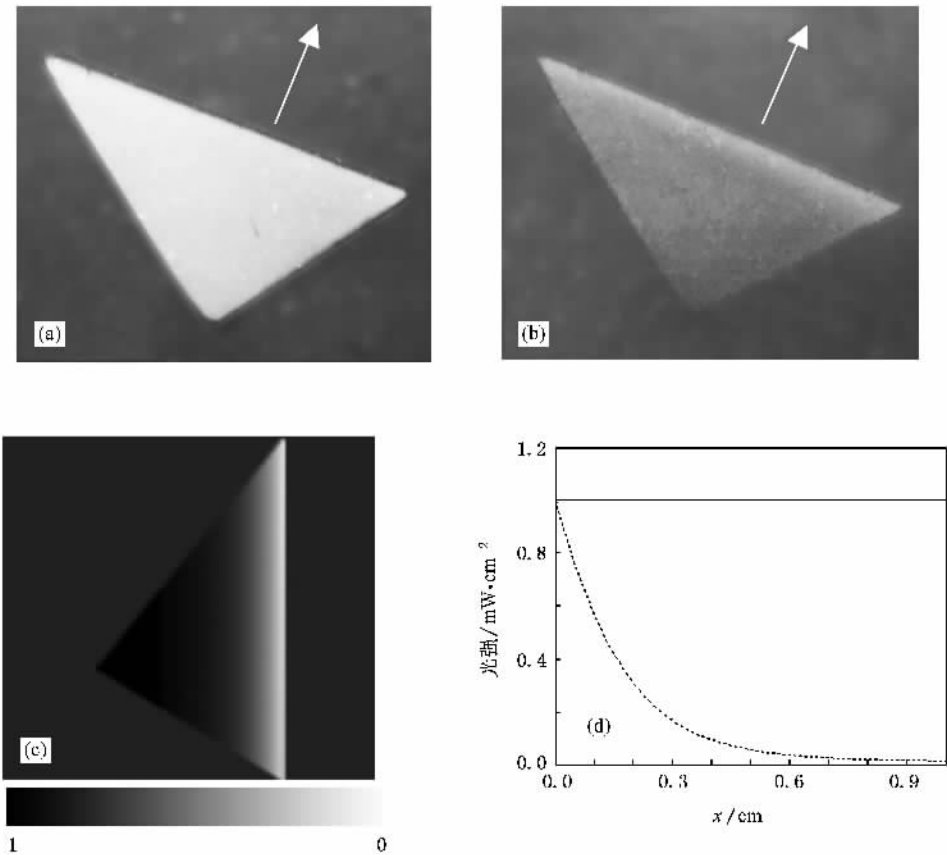


图1 当输入图像的光强为均匀分布时的输出图像 (a)实验输入图像 (b)实验得到的输出图像 (c)当物体运动速度 $v = 0.1\text{ cm/s}$ 在 $t = 10\text{ s}$ 时数值模拟得到的灰度图像 (d)输入图像(实线)和输出图像(虚线)的蓝光光强分布

对于该新事物滤波器,当输入图像的光强为均匀分布时,其输出图像的光强分布的实验结果及利用(1)–(7)式得到的模拟结果如图1所示.图1(a)是文献[5]中的输入图像.图1(b)是文献[5]在bR膜的浓度 $n = 0.003 \text{ mol/L}$,M态寿命 $\tau = 5 \text{ s}$,膜厚 $z = 0.02 \text{ cm}$ 情况下,当输入图像的运动速度 $v = 0.15 \text{ cm/s}$ 在 $t = 6 \text{ s}$ 时实验中测量得到的输出图像.本文选择的bR膜参数如下:bR膜的浓度 $n = 0.003 \text{ mol/L}$,膜厚 $z = 0.02 \text{ cm}$,M态寿命 $\tau = 20 \text{ s}$.在本文选择的参数下,当物体运动速度 $v = 0.1 \text{ cm/s}$ 时,在 $t = 10 \text{ s}$ 时数值模拟得到的灰度图像如图1(c).图1(d)是在这种情况下输入图像(实线)和输出图像(虚线)的光强分布情况,灰度值为0时对应的光强值最大,灰度值为1时对应的光强值最小.由图1可以看出,数值模拟的结果与实验得到的结果是一致的.当物体(输入图像)运动时,bR膜上不同位置被照射的时间是不同的,照射时间也随着运动时间的延长而变化,当照射时间很长或对于静止的图像(相当于非常长的照射时间),输出光强趋于零,从而显示出新事物滤波器的特性.这一结果与文献[12]中的结果是一致的.

3. 模拟结果

为了描述方便,设定输入图像是一个正方形,其边长 $D = 1 \text{ cm}$. x 坐标设在输入图像上, $x = 0$ 位于输入图像的前沿,输入图像以速度 v 沿 $-x$ 方向运动.设在 $t = 0$ 时输入图像的前沿部分刚好运动到bR膜上,经过时间 t 的长短取决于输入图像的运动速度和输入图像的尺寸)后,输入图像完全进入bR膜中.

3.1. 输入图像的光强为正弦分布时输出图像的光强分布

我们选择的bR膜的基本参数如下:B态在 λ_1 处的消光系数 $\epsilon_1 = 63000 \text{ cm}^{-1}$,M态在 λ_2 处的消光系数 $\epsilon_2 = 45000 \text{ cm}^{-1}$,bR膜的摩尔浓度 $n = 0.003 \text{ mol/L}$,膜厚 $z = 0.02 \text{ cm}$,M态寿命 $\tau = 20 \text{ s}$.移动物体的尺寸,即照射到bR膜上的输入图像尺寸为 1 cm .在bR膜上,输入图像与输出图像的尺寸相同而光强分布不同.为简单明了起见,我们考虑输入图像上的光强分布是按照正弦规律变化.设蓝光光强的变化规律为 $i_b = |\sin(\pi x)|$ ($0 \leq x \leq D$),与蓝光

相匹配的黄光光强是按照 $i_y = 3|\sin(\pi x)|$ 的规律变化.图2(a)是输入图像上蓝光(实线)和黄光(虚线)的光强分布.图2(b)是利用(1)–(7)式模拟得到的输出图像的光强变化,图中虚线是输入图像的运动速度 $v = 0.1 \text{ cm/s}$ 在 $t = 10 \text{ s}$ 时,模拟得到的输出图像上各点的蓝光光强,实线是与输出图像上各点相对应的bR膜上的M态分子数浓度,即M态的粒子数浓度.

由图2(b)可知,当输入图像的蓝光和黄光光强不再是常数时,新事物滤波器仍然具有明显的“滤波”作用.输出图像的蓝光光强的空间分布是先增加后减小.在图2(a)中从A点到B点是刚开始运动的输入图像上的蓝光光强分布,与这段对应的bR膜被照射的时间最短,M态的粒子很少,因此透过的蓝光光强从A点到B点随着入射蓝光光强的增加而急剧增加,在这一过程中由于黄光的抑制作用使得透过的蓝光光强的增加幅度相对于入射的蓝光的增加幅度要小很多.在入射图像的BC段,入射的黄光和蓝光光强仍然在增加,但是透过的蓝光光强却开始减小,这是因为经过黄光的持续作用使得M态上累积的粒子逐渐增多,透过的蓝光光强逐渐减小.在入射图像的CD段,黄光的光强在减小,但是仍然可以把B态的粒子激发到M态,因此M态上的粒子继续增加,仍有足够多处于M态的粒子吸收蓝光的能量,使得透过的蓝光光强继续减小.在DE段,由于黄光的持续作用使得B态上的粒子很少,因此在这一段主要是M态上的粒子吸收蓝光的能量.与输入图像光强为均匀时的情况相比,共同点是前沿或接近前沿部分的光强为最强,然后逐渐减小,都显示出新事物滤波特性.区别点是在非均匀输入光强情况下,输出光强的减小不是单调的,而是先上升后下降然后又上升,出现了两个峰值.一个峰值位于输出图像的前沿附近,该峰值的出现是由于在此区域输入的蓝光光强处于上升阶段而使输出增大,但M态上的粒子数也在增加而使输出光强减小,两者共同作用的结果使得输出光强出现一个峰值.另一个峰值出现在远离运动前沿部分,就是在接近 $x = 1 \text{ cm}$ 处,M态上的粒子数减小而使透射率增大,而此处的入射光强是逐渐减小为零,使得透射光强减小,两者的共同作用使之出现一个小的峰值.

当输入图像上的光强分布是多周期时,新事物滤波器的滤波输出特性如图3所示.bR膜的参数不变,输入图像的运动速度和输入图像的尺寸分别为

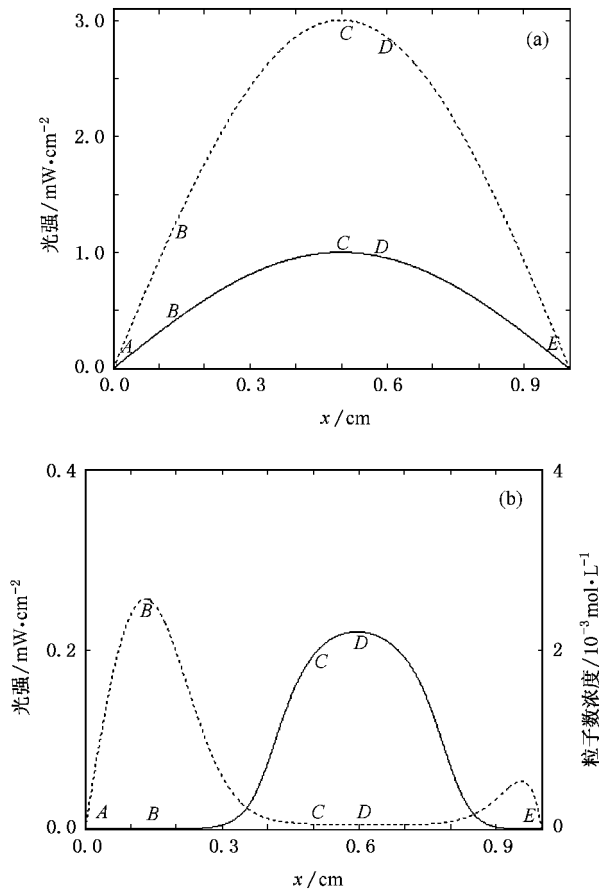


图2 输入图像的光强是单周期变化时的模拟结果 (a)输入图像上各点的蓝光光强(实线)和黄光光强(虚线)(b)在 $t = 10\text{ s}$ 时模拟得到的输出图像上各点的蓝光光强(虚线)和与之对应的bR膜上的M态粒子数浓度(实线)

$v = 0.2\text{ cm/s}$ 和 $D = 1\text{ cm}$,当把输入图像上各点的蓝光和黄光光强分别调整为按照函数 $i_b = |\sin(4\pi x)|$ 和 $i_y = 3|\sin(4\pi x)|$ ($0 \leq x \leq 1$) 的规律变化时(如图3(a)所示),在 $t = 5\text{ s}$ 时,输出图像上各点的蓝光光强(虚线)和M态的粒子数(实线)变化规律示于图3(b).此时输出的蓝光光强也是呈现“周期性”变化的.与输入图像的光强变化只有一个周期时一样,透过的蓝光光强是与M态上的粒子数成反比.输入图像上光强的第一个变化周期是物体运动的前沿部分,与此对应的bR膜被照射的时间较短,被激发到M态的粒子很少,M态的粒子几乎为零,这意味着M态上的粒子吸收蓝光的能量很少,因此在这个周期内透过的蓝光光强最大.在随后的几个周期中,相对应的bR膜被照射的时间逐渐增加,也就是黄光和蓝光的作用时间逐渐增加,M态上粒子也增加,由蓝光和黄光的互补抑制调制透射特性可知,被抑制掉的蓝光能量也随之增加,因此透过的蓝光光强逐渐

减小.

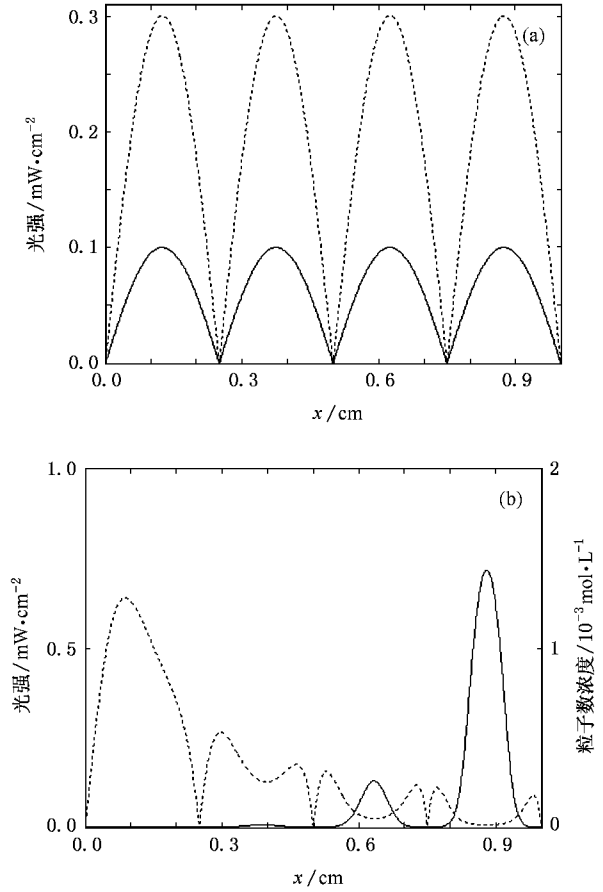


图3 输入图像上光强为多个周期变化时的模拟结果 (a)输入图像上各点的蓝光光强(实线)和黄光光强(虚线)(b)当输入蓝光和黄光光强分别是 $i_b = |\sin(4\pi x)|$ 和 $i_y = 2|\sin(4\pi x)|$,运动速度为 $v = 0.2\text{ cm/s}$ 时,在 $t = 5\text{ s}$ 时得到的输出图像上各点透过的蓝光光强(虚线)和M态粒子数浓度(实线)

3.2. M 态寿命对透过蓝光光强的影响

输入图像的尺寸为 1 cm ,物体移动的速度 $v = 0.1\text{ cm/s}$,入射的蓝光光强和黄光光强分别是 $i_b = |\sin(x)|$ 和 $i_y = 2|\sin(x)|$.图4是当M态的寿命 $\tau = 5, 10, 50, 100, 200\text{ s}$,在 $t = 10\text{ s}$ 时得到输出图像上各点透过蓝光光强的变化规律.输入图像上各点的蓝光光强和黄光的光强如图2(a)所示.在物体的运动前沿部分,不同 τ 值的透过蓝光光强的变化规律是一样的,如图4所示.5条曲线在开始阶段是几乎完全重合的.就像前面提到的物体开始运动的前沿部分对应的bR膜被照射的时间最短,此时大量的粒子处于B态,M态上的粒子数几乎为零,虽然M态的寿命不一样,但是由于停留在M态的粒子比较少,因此在这一阶段M态的寿命对透过的蓝光光强

的影响非常小,在这一阶段透过的蓝光光强随着入射的蓝光光强的增加而增加,并且增加的规律相同.在其后部分所对应的 bR 膜被照射的时间较长,黄光和蓝光的相互作用时间就随之增加,被黄光激发到 M 态的粒子数越来越多,因此透过的蓝光光强开始减小.处在 M 态的粒子回到 B 态的方式除了吸收蓝光的能量而跃迁到较高能级的中间态,然后经过无辐射跃迁或者弛豫等过程回到 B 态外,还会直接经过弛豫过程回到 B 态. M 态的寿命越长,说明粒子在 M 态停留的时间越长,单位时间内 M 态累计的粒子就会越多.所以在相同的入射蓝光和黄光作用下,随着 M 态寿命的增加被抑制的蓝光能量也在增加,透过的蓝光光强在减小,但是减小的幅度越来越小.当 $\tau > 50\text{ s}$,在 $t = 10\text{ s}$ 时得到的输出图像上的蓝光光强变化曲线几乎重合.

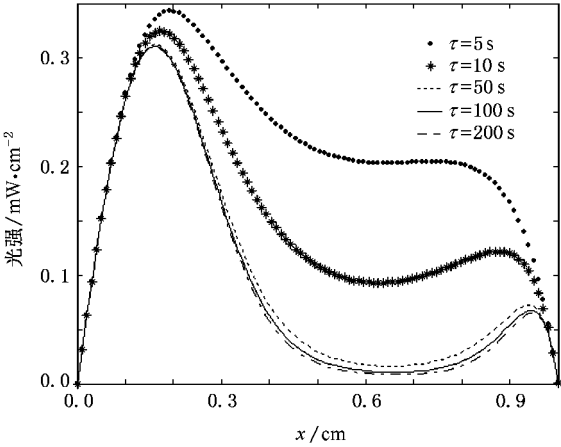


图 4 M 态寿命 τ 分别为 5, 10, 50, 100 和 200 s 时,输出图像上各点蓝光光强的变化规律

3.3. 输入图像的运动速度对透过蓝光光强的影响

当 bR 膜的参数与上述相同,输入图像的尺寸为 1 cm 时,输入图像上的蓝光和黄光的变化规律仍然如图 2(a)所示.当输入图像的运动速度 $v = 0.1, 0.2, 0.5\text{ cm/s}$,输入图像恰好完全进入 bR 膜时,输出图像上各点透过的蓝光光强的变化规律如图 5 所示.在输入图像刚开始运动的前沿部分,由于此时输入的蓝光光强和黄光光强都很小,并且粒子绝大部分处在 B 态,因此即使速度不同各点透过的蓝光光强变化规律也是相同的.此后所对应的 bR 膜被照射的时间变长,对于相同的点,速度越大被照射的时间就越短,被黄光抑制掉的蓝光能量也就越少.因此在相同位置处,当入射的蓝光和黄光光强相同时,输

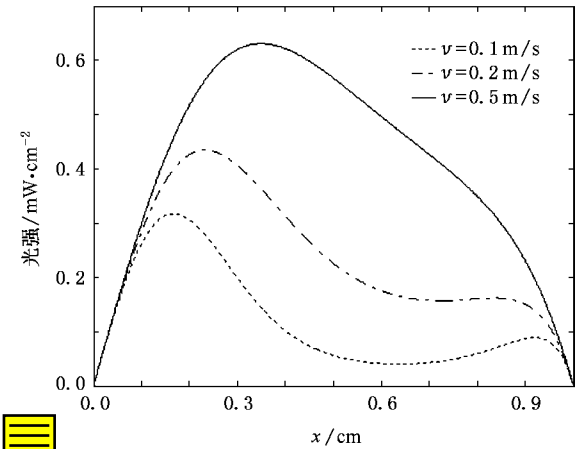


图 5 当输入图像上光强是单周期分布,输入图像的运动速度 $v = 0.1, 0.2, 0.5\text{ cm/s}$ 时,输出图像上各点的透过蓝光光强的变化规律

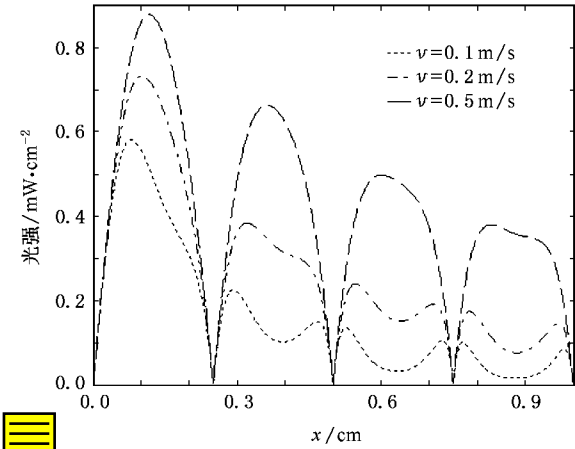


图 6 当输入图像上光强是多周期分布,输入图像的运动速度 $v = 0.1, 0.2, 0.5\text{ cm/s}$ 时,输出图像上各点的透过蓝光光强的变化规律

入图像的运动速度越快,透过的蓝光光强越大.当输入图像的运动速度较大时,虽然输入图像后半部分的蓝光不能被完全抑制掉,但是仍然有明显的抑制作用.因此,这种新事物滤波器也能够反映快速运动物体的图像,只是当物体突然停止运动的短时间内,响应会滞后一些.当输入的蓝光光强和黄光光强周期性变化时,其变化规律与单周期变化相似.图 6 所示为输入蓝光光强和黄光光强分别是 $i_b = 3|\sin(4\pi x)|$ 和 $i_y = 2|\sin(4\pi x)|$ 时,输出图像上各点的蓝光光强的变化规律.从图 6 可以看出,在每个变化周期内,速度越大,相同位置处透过的蓝光光强越大,这与入射的黄光光强和蓝光光强是单周期变化时的规律一样.当速度相同时,透过的蓝光光强值

从第一个周期到第四个周期依次减小.这是因为后一周期对应的 bR 膜被照射时间要长于前一周期,因此在输出图像上后一周期内具有与前一周期相同入射光强值的点透过的蓝光光强要小.

对于输入图像位于 bR 膜中,当输入图像处于静止状态时,在输入图像照射区由于黄光和蓝光处于互补抑制状态,因而没有蓝光图像输出.当输入图像由静止状态突然开始运动时,输入图像的运动前沿部分首先离开原来的互补抑制状态并到达新的照射区,其对应的 bR 膜被照射的时间 $t \approx 0$,其后的其他位置对应的 bR 膜被照射的时间逐渐增加.因此,当在 bR 膜中静止的输入图像开始运动并且移动距离达到一个输入图像的长度时,其输出图像上的光强分布与以上所述输入图像由 bR 膜外完全进入到 bR 膜中的情况完全一致.

4. 结 论

本文研究了当输入图像上的光强分布不是单一数值分布情况下,利用 bR 膜设计的新事物滤波器

的特性.以入射的蓝光光强和黄光光强按照正弦规律变化为例进行了讨论.分别分析了当入射的蓝光光强和黄光光强是一个周期变化($i_b = |\sin(\pi x)|$ 和 $i_y = 3|\sin(\pi x)|$)和四个周期变化($i_b = |\sin(4\pi x)|$ 和 $i_y = 2|\sin(4\pi x)|$)时的情况,得到这两种情况下的输出图像上的蓝光光强的分布,结果表明新事物滤波器能够很好地起到“滤波”的作用.进一步讨论了 bR 膜的 M 态寿命对新事物滤波器特性的影响,随着 M 态寿命的增加被吸收的蓝光能量也随之增加,透过的蓝光光强在减小,但是其减小的幅度越来越小.当 $\tau > 50\text{ s}$,在 $t = 10\text{ s}$ 时得到的输出图像上的蓝光光强变化曲线几乎重合.还讨论了物体的运动速度对新事物滤波器特性的影响,当入射光条件相同时,即使物体运动的速度不同,在开始运动的前沿部分输出图像上的蓝光光强分布是一致的,而在此后的位置,速度越大输出图像上的蓝光光强值就越小.当入射的蓝光光强和黄光光强是四个周期变化时,输出图像上蓝光光强的变化规律与单个周期时的情况相似.

- [1] Anderson D Z ,Liniger D M ,Feinberg J 1987 *Opt. Lett.* **12** 123
- [2] Crudney R S ,Pierce R M ,Feinberg J 1988 *Nature* **332** 424
- [3] Kwong N S K ,Tamita Y ,Yariv A 1988 *J. Opt. Soc. Am.* B **5** 1788
- [4] Vachss F ,Hesselink L 1988 *Appl. Opt.* **27** 2887
- [5] Zhang C P ,Chen G Y ,Wei X ,Guo Z X ,Wang X Y ,Zhang G Y , Song Q W 2005 *Opt. Lett.* **30** 81
- [6] Birge R R 1990 *Ann. Rev. Phys. Chem.* **41** 683
- [7] Yang G ,Chen G Y ,Liang X ,Zhang C P ,Tian J G ,Zhao C G ,Song Q W 2006 *J. Mod. Opt.* **53** 1177
- [8] Gu L Q ,Chen G Y ,Guo Z X ,Zhang C P ,Tian J G ,Zhang G Y ,Song Q W 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 4236 (in Chinese) [顾立群、陈桂英、郭宗霞、张春平、田建国、张光寅、Song Q W 2004 物理学报 **53** 4236]
- [9] Yao B L ,Lei M ,Ren L Y ,Menke N ,Wang Y L 2005 *Opt. Lett.* **30** 3060
- [10] Yao B L ,Ren Z W ,Menke N ,Wang Y L ,Zheng Y ,Lei M ,Chen G F ,Hampp N 2005 *Appl. Opt.* **44** 7344
- [11] Gu L Q ,Zhang C P ,Zhang G Y 1996 *Opt. Commun.* **131** 25
- [12] Zheng Y ,Yao B L ,Wang Y L ,Lei M 2002 *Acta Photon. Sin.* **31** 10 (in Chinese) [郑媛、姚保利、王英利、雷铭 2002 光子学报 **31** 10]

Simulation of effect of non-uniform input image on characteristics of output image of optical novelty filter based bacteriorhodopsin film^{*}

Yang Guang¹⁾ Chen Gui-Ying²⁾ Qi Sheng-Wen³⁾ Hao Zhao-Feng¹⁾ Tian Jian-Guo¹⁾ Zhang Chun-Ping^{1)†}

1) *Key Laboratory of Advanced Technique and Fabrication for Weak-light Nonlinear Photonics Materials of Ministry of Education ,*

Key Laboratory of Photonics Materials and Technology for Information Science of Tianjin ,

Institute of Physics , Nankai University ,Tianjin 300071 ,China)

2) *Key Laboratory of Tropical Marine Environmental Dynamics ,South China Sea Institute of Oceanology ,*

Chinese Academy of Sciences ,Guangzhou 510301 ,China)

3) *Department of Physics ,Dezhou University ,Dezhou 253023 ,China)*

(Received 29 March 2007 ; revised manuscript received 2 July 2007)

Abstract

Effect of the non-uniform input image on the characteristics of output image for the optical novelty filter based bacteriorhodopsin film was investigated. In contrast to the input image with uniform light distribution, when the incident intensity of the blue and yellow beam changes as the sine function, the light distribution of the output image changes non-monotonically and there are two peaks with weak intensity value between them. The lifetime τ of M state and the velocity of the object also affect the light distribution on the output image. The longer the lifetime τ of M state, the smaller the transmitted intensity of the blue light, and the reduction in intensity decreases with increasing lifetime τ , approaching a value practically equal to zero when τ is longer than 50 s. Under the same incident intensity, the intensity of the blue beam at the corresponding position of the output image increases with the increase of velocity of the input image.

Keywords : bacteriorhodopsin film, novelty filter, non-uniform input image, output characteristics

PACC : 4240F, 4270J, 4280C

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 60578020, 20564001), the Natural Science Foundation of Shandong Province, China (Grant No. Y2006A01) and the Cheung Kong Scholars and Innovative Research Team Program in University from Ministry of Education, China (Grant No. IRT0419).

[†] E-mail : zhangcp@nankai.edu.cn