

基于矩阵液晶器件的宽带宽实时 光学子波变换系统

陈维军 陈开泰 徐克琇 吕瑞波 乐永康

(复旦大学物理系 上海 200433)

提要 以 $8f$ 系统单通道频域滤波系统为基础, 利用开关电路动态控制两块扭曲向列相场效应矩阵液晶盒的透光范围, 并以之为带通滤波器, 完成宽带、实时、稳定、灵活的光学子波变换。

关键词 子波变换, 单通道滤波, 矩阵液晶, 开关电路

1 引 言

二维子波变换由于其对图像独特的空间-频率域联合表示方法, 在图像压缩、纹理分析、目标识别等方面显示了广阔的应用前景。

数学上, 子波变换相当于将信号与一系列由一个母波函数经伸缩、平移而得到的子波函数分别作相关运算^[1,2]。光学上可在成熟的频域相关技术的基础上实现子波变换。此时需要解决母波函数及其伸缩的实现(在频域中, 函数的平移化作相因子, 故母波的平移不再是问题)。现在常用的母波函数多是复函数, 而其 Fourier 变换多是实函数^[2-6], 因此只需制作相应的振幅滤波器即可实现母波函数, 通过滤波器尺度的变化来实现母波的伸缩。

在已见的关于光学子波变换的报道中, 很多是基于多通道滤波, 各通道采用不同尺度的滤波器来实现母波的伸缩^[3,6]。其优点是充分利用了光信息处理的并行性, 实时、准确。但它的缺点也是明显的: (1) 每个通道的带宽变窄; (2) 通道数不可能很多; (3) 系统不灵活、不通用。

也有报道通过单通道滤波以实现子波变换的, 主要通过手工或机械的方法在频域依次放置不同尺度的滤波器来完成。这种方法用得不多, 原因在于手工(机械)放置滤波器有不实时、不稳定与不准确等缺点。

考察上述两种方法可以看到, 多通道方法的缺点是由其本质决定的; 单通道方法的缺点是与更换光学滤波器相关的。如果能研制出通频带范围可实时稳定调整的光学滤波器, 则可以大大改善单通道子波变换的不足。本文即在直接电寻址矩阵液晶的基础上, 采用独特的驱动电路, 研制了通频带范围可实时调整的光振幅带通滤波器, 并以此完成试验图像的子波变换。

2 子波变换与多尺度带通滤波

对信号 $f(x)$ 的子波变换可写作

$$w(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) h\left[\frac{x-b}{a}\right] dx \quad (1)$$

其中, $h(x)$ 为母波函数, a 为伸缩因子, b 为平移因子, $\frac{1}{\sqrt{a}}h\left[\frac{x-b}{a}\right]$ 为子波。当 a, b 在 $(-\infty, +\infty)$ 区间变化时, 子波集合便支起空域-频域联合表示的子波空间, 而 a 代表了它的部分频域特征(其余的频域特征由母波函数给予), b 代表了它的空域特征。 $w(a, b)$ 为 $f(x)$ 在子波空间的表示。

如果 a 固定, 则式(1)为相关运算的表达式。可将它在频域展开为

$$w(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) H(au) \exp(i2\pi ub) du \quad (2)$$

其中, $F(u)$ 是信号的 Fourier 表示, $H(u)$ 是母波的 Fourier 表示。从式(2)可知, 在频域放置不同尺度的滤波器 $H(au)$ (尺度由 a 表征), 在输出平面即可得到 $w(a, b)$ 。

由子波的可用条件 $C_h = \int \frac{|H(u)|^2}{|u|} du < \infty$, 可知母波的 Fourier 变换具有零直流分量。常用的子波如 Morlet 子波, Mexican-hat 子波, Meyer 子波等等, 其 Fourier 变换均是正的实函数^[2,3], 因此这些子波变换都可看作多尺度的通频带受调制的带通滤波。

3 滤波器的研制

我们所采用的滤波器是基于 TN-FE(扭曲向列相场效应)液晶的, 它的一个重要性质是: 当入射偏振光的偏振面与液晶盒前内表面处液晶分子取向一致时, 液晶盒对此偏振光有旋光性, 且旋光性质与液晶盒外加电压的有效值(均方根值)相关, 当电压达到并超过某一阈值时, 旋光性受到破坏。

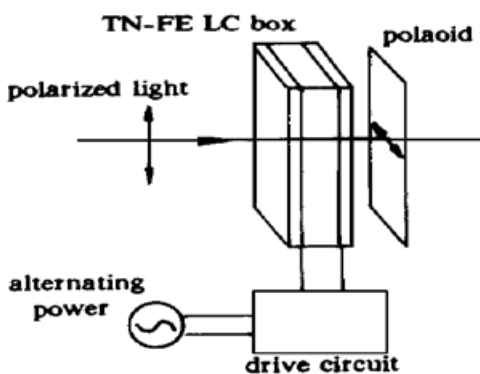


图1 基于液晶器件的滤波器示意图

Fig. 1 A filter based on LC

基于上面的性质, 我们设计了如图1所示的滤波器。其中液晶盒所加电压为交流电压, 液晶盒后方所置的偏振片偏光轴与入射光偏振面垂直, 起检偏器作用。这样, 在电压的驱动下, 液晶盒便对入射光有了开关作用, 其开关特性曲线(透光曲线)如图2。当电压有效值小于阈值时, 由于液晶盒的旋光性, 光完全透过; 而当电压超过阈值时, 透光率迅速减小接近于0。

具体的透光与不透光区域的分布由图3所示的驱动电路决定。图3中, 液晶盒前后内表面处的透明电极条相互垂直, 形成 $X-Y$ 行列对, 每对交叉点形成一个像素, 每个像素的透光率由加在 $X-Y$ 电极条上的电压决定。将电极条进行如图的编号, 再将 $\pm n$ 的行、列电极条分别连通, 在第 $n, n+1$ 行间连上开关 $YSn(n+1)$ (列间开关为 $XSn(n+1)$)。

如图3, 将第0行第0列的像素设为零频点, 并对此列电极加上适当电压 V , 此行电极接地, 对其余列的电极加上 $V/3$ 的电压, 对其余行的电极加上 $2V/3$ 的电压, 这样可以很容易地使得零频点电压 V 大大超过图1中的阈值, 而其它像素上电压 $V/3$ 大大小于阈值(此即为 $1/3$ 偏压法), 从而零频点变为不透光, 其它像素保持透光状态, 形成了一个低阻高通滤波器。

保持图3中的电压, 将图中闭合的开关 $XS12, YS12$ 打开, 再将原打开的 $XS01, YS01$ 关

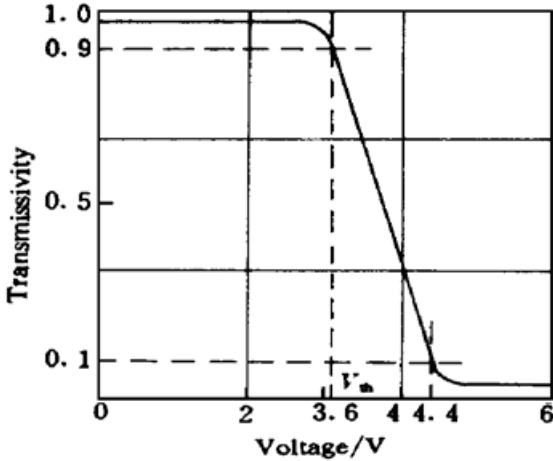


图 2 液晶器件光透过率与驱动电压曲线图
Fig. 2 Dependence of transmissivity on voltage

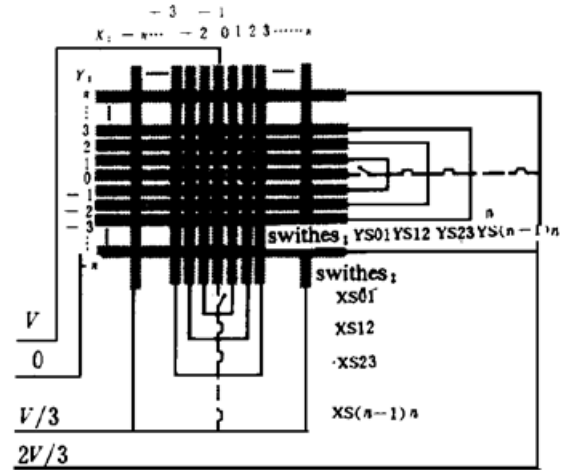


图 3 滤波器驱动电路示意图
Fig. 3 Driven circuit of the filter based on a LC box

闭, 则滤波器的低阻带相应扩大到 3×3 像素。

这样通过对状态为开启的开关的动态选择, 便可以达到低阻带动态变化的要求。

若将液晶盒后的检偏器偏光轴旋转 90° , 这样的滤波器便是通频带动态可调的低通滤波器。如果将上面的高通滤波器和低通滤波器集成到一套系统中, 便构成了通频带动态可调的带通滤波器。

4 试验图像的子波变换

实验中, 采用如图 4 的试验图像。此图像由正交方波信号构成, 方波的宽度和周期均从图像中心向 $X = \pm \infty, Y = \pm \infty$ 4 个方向递减。此图像包含有丰富的频率成分。图 4 的照片由光学系统成像后, 由 CCD 摄像机拍得。实验所用子波为参考文献[3]中所用的二进制子波, 其特点是: (1) 尺度变换为二进的, 即伸缩因子 $a = 2^n$; (2) 母波函数的 Fourier 变换为带通变换。即 $H(u) = 1(0)$, 当 u 在通频带内(外); (3) 零频附近的所有子波被迭加为一低通滤波器。

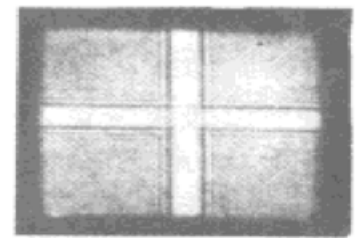


图 4 CCD 拍摄得的试验用原始图像
Fig. 4 Source image (got by a CCD camera)

两块 TN-FE 矩阵液晶盒为 32×32 像素, 每像素为 $450 \mu\text{m} \times 450 \mu\text{m}$, 像素间隔为 $50 \mu\text{m}$; 液晶盒的亮暗对比度为 9:1; 电极条编号中无 0 编号, 而将编号为 ± 1 的电极条加上 0~5 V 交流电压; 由于采用了 1/3 偏压法, 基本上消除了液晶盒的交叉效应。

基本的实验系统为 $8f$ 系统, 采用 $0.6328 \mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光器作为光源, 将试验图像做成透明片置于第一个前焦面, 而在第四个后焦面用 CCD 进行图像采集。两个液晶盒分别放置在第一个后焦面与第三个后焦面(即前后两个 Fourier 平面)。前一个液晶盒被用作高通滤波器, 后一个被用作低通滤波器。高通滤波器分别取 $16 \times 16, 8 \times 8, 4 \times 4, 2 \times 2, 0 \times 0$ 像素(光阻态), 相应的低通滤波器分别取 $32 \times 32, 16 \times 16, 8 \times 8, 4 \times 4, 2 \times 2$ 像素(光通态), 由此形成 5 次带通滤波操作。图 5 中 (a) ~ (e) 为各次滤波的结果(均由 CCD 拍摄)。

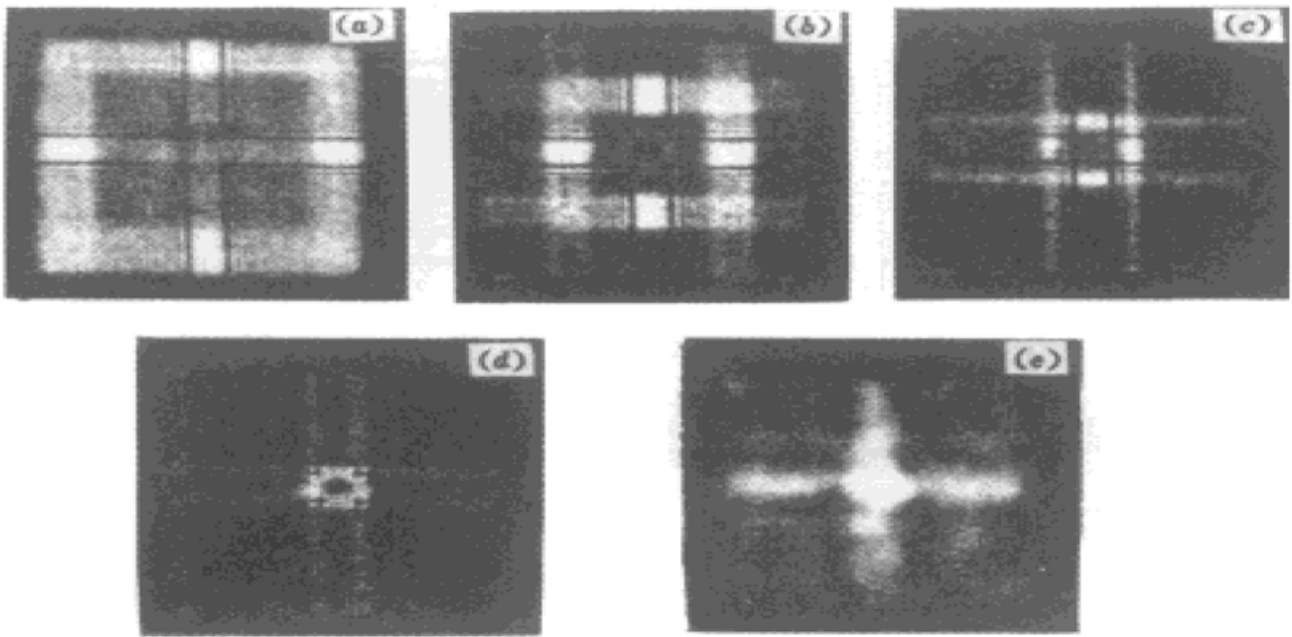


图 5 试验图像的子波变换结果

(a) 高通 16×16 像素, 低通 32×32 像素的滤波结果; (b) 高通 8×8 , 低通 16×16 滤波结果;
(c) 高通 4×4 , 低通 8×8 滤波结果; (d) 高通 2×2 , 低通 4×4 滤波结果; (e) 低通 2×2 滤波结果

Fig. 5 Wavelet transform results of tested images

(a) Filtering results of high pass 16×16 pixels and low pass 32×32 pixels; (b) Filtering results of high pass 8×8 , low pass 16×16 ; (c) Filtering results of high pass 4×4 , low pass 8×8 ; (d) Filtering results of high pass 2×2 , low pass 4×4 ; (e) Filtering results of low pass 2×2

5 结果与讨论

所选用试验图像的频率分布是由图像中心向四周, 由低频到高频逐渐分布的, 所选用子波在频域上是一组通频带宽二进变化的带通滤波函数, 变换结果应该是不同频带分离的子图像。从结果图像上看, 用矩阵液晶作滤波器来实现子波变换是成功的。其中, 图 5(a) 所示为高频成分, 而图 5(b), (c), (d) 则为不同范围(通频由高到低, 频带由宽到窄, 而且是二进变化的)的带通滤波结果, 而图 5(e) 则为零频附近的成分。从图 5 的结果中也可以看出, 对零频附近成分的滤波还有一些不足, 表现在图 5(a), (b), (c) 各图中均有一些低频成分, 这是由于频域中的零频附近光强太强, 而液晶盒亮暗(开、关)对比度还不够高引起零频漏光所造成的。

本系统的优点在于: 达到宽带宽、实时性、稳定性和准确性的结合。由于采取了单通道滤波, 通道带宽是最大的。采用电路控制滤波器的尺度, 实时程度是由电路开关速度、液晶状态转换速度以及 CCD 摄像速度决定的。在本文所用系统中, 滤波器尺度变换速度为 10^{-1} 秒级; 在改善电路用计算机控制开关、摄像以及数据采集过程以全自动实现子波变换, 可达到很高的实时性。由于本系统不需要在滤波过程中更换滤波器件, 滤波器的零频对准可一次性解决, 再加上滤波器尺度的变化是以电极条的宽度为最小单位的, 其准确性、稳定性均可保证, 而尺度变化的范围和灵活性也是很好的。

本系统有两个特点: (1) 驱动方式独特。被广泛用于显示的矩阵液晶一般采用逐行扫描寻址方式驱动, 因此需设计一套复杂的驱动电路。本文中的驱动方式简便, 而且稳定性好; (2) 滤波器具方向性。与传统的圆环带通滤波器不同, 本文中的滤波器更注重频域的方向性。这在子

波变换中尤其重要——尺度变化往往需要在 x, y 两个方向上独立进行。

当然, 本系统基于单通道滤波, 不可避免地在光信息处理的并行性上有所牺牲。但是由于达到了宽带宽、灵活性与稳定性的结合, 并保证了实时性, 这点牺牲还是值得的。

参 考 文 献

- 1 Stephane G. Mallat. Theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation. *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, **11**(7) : 674~ 693
- 2 Joel Rosiene, Ian Greenshields. Standard wavelet basis compression of image. *Opt. Engineering*, 1991, **33**(8) : 2572~ 2578
- 3 Lu A. Katz, E. G. Kanterakis, Yao Li *et al.*. Image analyze via optical wavelet transform. *Opt. Commun.*, 1992 : 337~ 345
- 4 Harold Szu, Yunlong Sheng, Jing Chen. Wavelet transform as a bank of the matched filters. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(17) : 3267
- 5 Yunlong Sheng, Danny Roberge, Harold H. Szu. Optical wavelet transform. *Opt. Eng.*, 1992, **31**(9) : 1840~ 1844
- 6 David Mendlovic, Ido Ouzieli, Irena Kiryushev *et al.*. Two-dimensional wavelet transform achieved by computer-generated multireference matched filter and Dammann grating. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(35) : 8213~ 8219

A Wide Bandwidth and Real-time Optical Wavelet Transform System Based on a Matrix Addressing Liquid Crystal Device

Chen Weijun Chen Kaitai Xu Keshu Lü Ruibo Le Yongkang

(*Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433*)

Abstract Based on an $8f$ single passage filtering system, using a switch circuit to control the pervirs limits of two twisted nematic mode field-effected matrix addressing liquid crystal boxes and using them as a band-pass filter, the wide bandwidth, real-time, steady and flexible optical wavelet transform is implemented.

Key words wavelet, single passage filtering, matrix addressing liquid crystal device, switch circuit