

基于空域啁啾编码频域平行光斜照射的 联合变换相关器*

邓晓鹏

(怀化学院 物理与电子信息科学系, 湖南 怀化 418008)

摘 要:针对经典联合变换相关器的缺陷,提出了基于空域啁啾编码频域斜光束照射的联合变换相关技术.利用空域啁啾编码实现相关峰尖锐;频域平行光斜照射实现自相关峰边缘化、互相关峰中心化,不需要计算机进行数字处理,实时性强.理论分析和实验表明,该方法不仅能获得尖锐的相关峰,而且探测器上只保留了互相关峰,大大提高了识别能力和探测器的利用效率,同时使输入面的空间带宽得到更充分的利用.

关键词:联合变换相关;啁啾编码;球面波;互相关峰;自相关峰

中图分类号: TN911

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2009)02-387-5

0 引言

在光学模式识别中,与匹配相关器相比,由于联合变换相关器不存在制作复滤波器及其严格的复位问题,在实时处理方面具有很大的优势.但是根据联合变换相关原理^[1],经典联合变换相关器存在两方面的缺点:一方面,由于联合变换相关器中自相关项的权重远远大于互相关项的权重,相关峰的尺寸与输入目标的尺寸近似的成正比^[2],导致相关峰不尖锐,从而干扰和影响相关峰的探测;另一方面,联合变换相关输出面中的自相关项宽度较大,互相关峰位于 CCD 的边缘,限制了其输入面的目标图像和参考图像的大小和相对位置,降低了 CCD 的使用效率.因此,对自相关项的处理和锐化相关峰,是增强联合变换相关的识别能力,提高 CCD 的利用效率,充分利用输入面的空间带宽的有效方法.对于自相关项的处理和相关峰的锐化,已有许多研究成果,例如,相位编码,基于相移功率谱相减、二值化等^[3-7],虽然这些技术对消除自相关项、锐化互相关峰有一定的效果,但是由于互相关峰仍然位于 CCD 边缘,输入面的目标图像和参考图像的大小和相对位置仍然受到一定的限制,CCD 的使用效率非常低;同时这些系统基本上都要用到计算机进行数字处理,大大减弱了识别的实时处理优势,对于相位编码,还需预先制备相位掩模,浪费了宝贵的时间.针对这些缺点,本文提出一种空域啁啾编码、频域斜光束照射联合变换相关器,该方法通过在空域用完全相同的点源分别照射目标物和参考物,利用球面波的自带相

位因子进行啁啾编码,实现相关峰的锐化;对于自相关项,不是消除,而是通过在频域用一束倾斜平行光读出联合功率谱,使自相关峰的位置边缘化以至超出 CCD 的范围,CCD 上只保留互相关峰,提高了识别能力和 CCD 的利用效率,充分利用了输入面的空间带宽.此方案仅需要常规的光学元件,不需要计算机进行数字处理,实时性强.

1 理论分析

令联合变换相关器输入面上的目标图像为 $s(x-a, y)$, 参考图像为 $r(x+a, y)$, 则输入函数可表示为

$$f(x, y) = r(x+a, y) + s(x-a, y) \quad (1)$$

经过透镜的傅里叶变换后为

$$F(u, v) = R(u, v) \exp(j2\pi au) + S(u, v) \exp(-j2\pi au) \quad (2)$$

式中 $F(u, v)$ 、 $R(u, v)$ 和 $S(u, v)$ 分别是输入函数 $f(x, y)$ 、参考图像 $r(x, y)$ 和目标图像 $s(x, y)$ 的傅里叶变换.式(2)的功率谱为

$$|F(u, v)|^2 = |R(u, v)|^2 + |S(u, v)|^2 + R(u, v)S(u, v)^* \exp(j4\pi au) + R(u, v)^* S(u, v) \exp(-j4\pi au) \quad (3)$$

联合功率谱再经透镜傅里叶变换后在输出平面上得到相关输出

$$c(x, y) = s(x, y) \otimes s(x, y) + r(x, y) \otimes r(x, y) + r(x, y) \otimes s(x, y) * \delta(x+2a, y) + s(x, y) \otimes r(x, y) * \delta(x-2a, y) \quad (4)$$

式中符号 \otimes 表示相关运算, $*$ 表示卷积运算.式中前两项分别表示目标图像和参考图像的自相关,它们重叠地位于输出面中心,构成零级衍射项,第三、四项分别位于 $(-2a, 0)$ 和 $(2a, 0)$ 处,是一对共轭的互

* 湖南省教育厅科研基金(07C506)和怀化学院科研基金资助

Tel: 0745-6630171 Email: dxpzhq@tom.com

收稿日期: 2007-09-27

相关项.

在联合变换相关中,由于透镜相当于一个低通滤波器,物体的频谱密度分布不均匀,低频部分集中了大部分能量,从而导致了零级衍射项所占比重很大,而互相关峰所对应的高频部分比重很少,因此要锐化相关峰,就必须增大高频成分.可以通过用两个相同的相位函数分别对目标和参考图像进行编码^[6],达到均匀化其频谱密度,使一部分低频成分转移到高频部分,从而实现相关峰的锐化.本文选用的相位函数是球面波自带的相位因子,用它对输入图像进行啁啾相位编码,相对于其他相位掩模,不需要专门制备,只要用两个相同球面波分别照射目标图像和参考图像,就实现了编码.

从式(3)可以分析得出,理想状态下,当 $R(u,v) = F[r(x+a,y)\exp(j\varphi(x,y))]$ 和 $S(u,v) = F[s(x-a,y)\exp(j\varphi(x,y))]$ 均为纯相位函数,且目标图像和参考图像完全相同时,式(3)变成

$$|F(u,v)|^2 = 2 + \exp(j4\pi au) + \exp(-j4\pi au) \quad (5)$$

再对式(5)作傅里叶逆变换,即

$$c(x,y) = 2\delta(x,y) + \delta(x+2a,y) + \delta(x-2a,y) \quad (6)$$

从式(6)可以看出,相关峰为一理想的狄拉克函数,但是自相关峰的能量为互相关峰的两倍,且位于探测器的中心,干扰了相关峰的探测,降低了探测器的使用效率.为了克服上述缺点,本文不采取消除自相关峰的方法,而是边缘其位置,使互相关峰的位置中心化.在对功率谱进行傅里叶逆变换时,可以通过用一束倾斜平行光照射功率谱来实现.

如图 1,设倾斜平行光为 $q = \exp(-j4\pi bu)$, 则

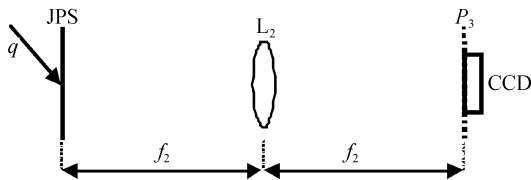


图 1 倾斜平行光照射功率谱
Fig. 1 Slantwise parallel wave illumination the power spectrum

紧靠频谱后面的光振幅分布为

$$|F(u,v)|^2 \exp(-j4\pi bu) = [|R(u,v)|^2 + |S(u,v)|^2] \exp(-j4\pi bu) + R(u,v)^* S(u,v) \cdot \exp[-j4\pi(a+b)u] + R(u,v) S(u,v)^* \cdot \exp[-j4\pi(b-a)u] \quad (7)$$

对式(7)作傅里叶逆变换,得最后的相关输出为

$$c(x,y) = (r \otimes r + s \otimes s) * \delta(x+2b,y) + s \otimes r * \delta[x+2(b-a),y] + r \otimes s * \delta[x+2(a+b),y] \quad (8)$$

从式(8)可以看出,第一项为自相关项,这时它们已偏离中心位于 $(-2b,0)$.后两项为互相关项,分

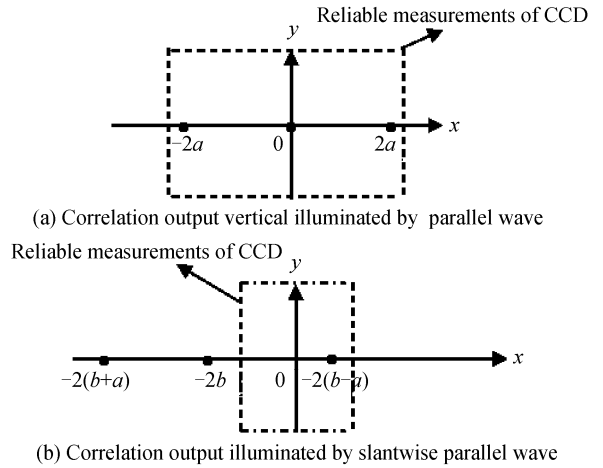


图 2 CCD 上相关峰的位置对比
Fig. 2 Contrast figure of correlation position on CCD

别位于 $(-2(b-a),0)$ 和 $(-2(a+b),0)$ 处,如图 2.

从图 2(a)可以看出,此时互相关峰位于 CCD 边缘,由于 CCD 的接收面积有限,因此输入面的目标图像和参考图像之间的相对位置 $2a$ 受到限制, $2a$ 过大互相关峰会超出 CCD 的接收范围; $2a$ 过小自相关峰会淹没在互相关峰.如果 CCD 接受范围为 $2m \times 2m$,自相关峰的宽度为 $2D$,则 $2a$ 必须小于 m 大于 D .而对于平行光斜照射时,只要选择合适的 b ,便可以使 CCD 上只保留一个互相关峰,具体分析如下:为了使互相关峰位于 CCD 上,必须要求下列不等式成立.

$$-m < -2(b-a) < m \quad (9)$$

同时,要求 $2a > D$,即

$$\begin{cases} 2b-m < 2a < m+2b \\ 2a > D \end{cases} \quad (10)$$

另外要使自相关峰位于 CCD 之外,还必须要求 $2b > m$,如果选择 $2b-m < D$,只要选择 $2b = m + \Delta$,其中 Δ 为一微小量,便可使自相关峰位于 CCD 之外,同时可得: $D < 2a < m + 2b$.与平行光垂直照射时相比较,目标图像和参照图像之间的相对位置范围增大,且只有互相关峰位于 CCD 的中心附近,大大增强了识别能力.

2 计算机模拟和实验结果

为了验证所提出方案的有效性,本文用二维快速傅里叶变换方法进行了计算机模拟.模拟采用二值图像,其输入函数如图 3(a),包含目标图像($128 \times 128 \text{ pixel}^2$)和参考图像($128 \times 128 \text{ pixel}^2$).用来进行啁啾编码的球面波的相位因子如图 3(b),其中球面波的波长为 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$,传播距离为 $z = 20 \text{ cm}$.图 3(c)和(d)分别是未经相位编码和经过球面波相位因子编码的相关输出.

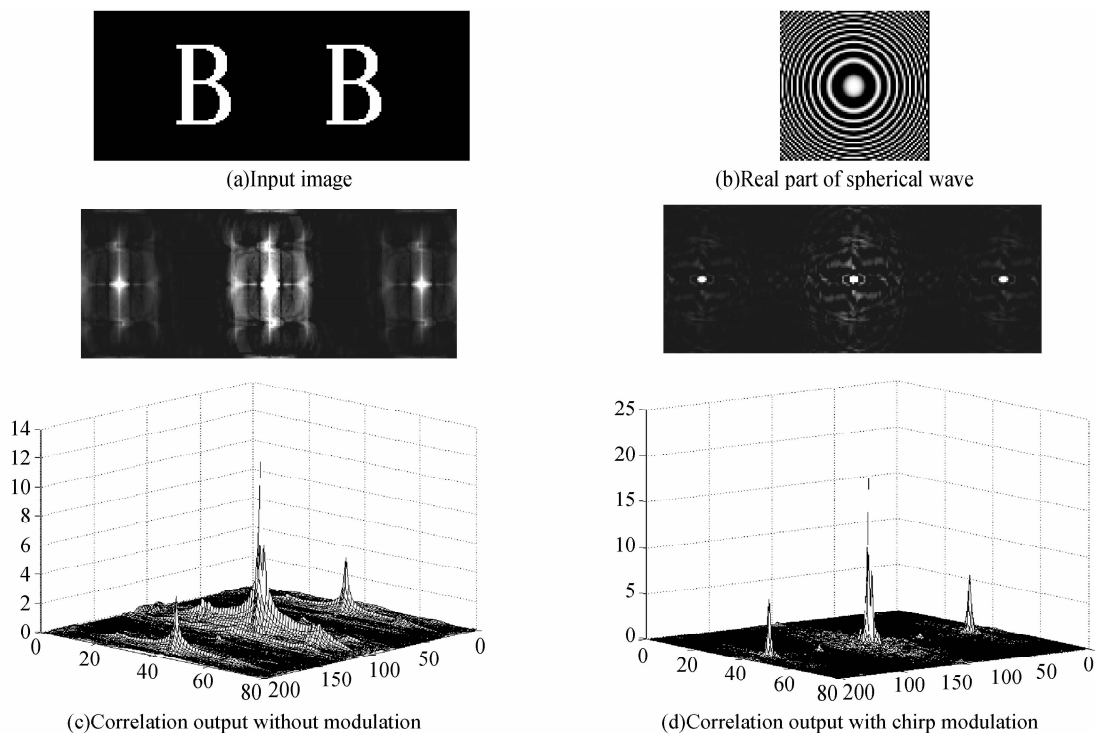


图 3 计算机模拟结果
Fig. 3 Simulation results

从图 3(c)和(d)可以看出,经过球面波相位因子编码后的相关峰要比未编码的尖锐的多.对于频域倾斜光照射的相关输出情况,由于快速傅里叶变换的周期性,无法进行模拟,因此通过实验结果来验证.

实验光路如图 4.傅里叶变换透镜 L_4 的口径为 40 mm,焦距 $f=300$ mm,傅里叶变换透镜 L_5 的口径为 30 mm,焦距 $f=70$ mm.照明相干光源为氦氖

激光器,波长 $\lambda=632.8$ nm.实验中用来产生会聚球面波的透镜 L_2 和 L_3 的口径为 30 mm,焦距 $f=240$ mm,产生的球面波的波面距离会聚中心为 150 mm.输入的目标图像和参考图像均为大写字母“B”,大小为 $3\text{ mm}\times 6\text{ mm}$,它们之间的中心距离为 12 mm. CCD 像素为 $2\ 023\times 1\ 520$,尺寸为 $10.0\times 7.48\text{ mm}^2$.

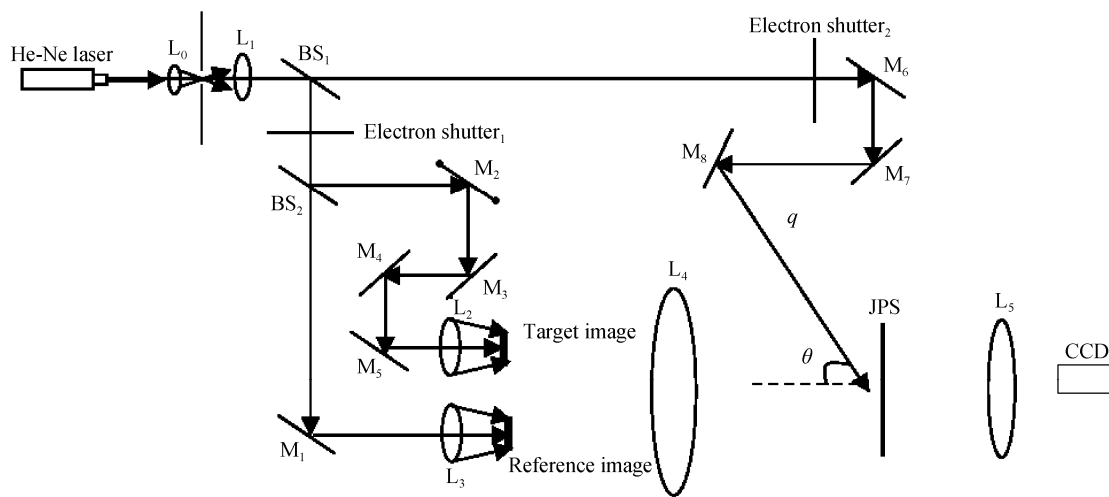


图 4 实验光路
Fig. 4 The experiment setup

实验的第一步打开电子快门 1,关闭电子快门 2,激光器发出的激光经扩束分光以后分为两路,一路经过 BS_2 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 、 L_2 照射目标图像;一路经过 BS_2 、 M_1 、 L_3 照射参考图像,最后通过 L_4 在

其频谱面用干板记录联合功率谱(JPS).第二步打开电子快门 2,关闭电子快门 1,用平行光 q 倾斜照射联合功率谱(JPS),在 L_5 的焦平面用 CCD 接收相关输出.

图5为实验结果.图5(a)是输入图像未经编码垂直照射联合功率谱的相关输出,(b)是输入图像经过编码垂直照射联合功率谱的相关输出,(c)是输入图像经过编码倾斜($\theta=4^\circ$)照射联合功率谱的相关输出,(d)是输入图像经过编码倾斜($\theta=7^\circ$)照射联合功率谱的相关输出.

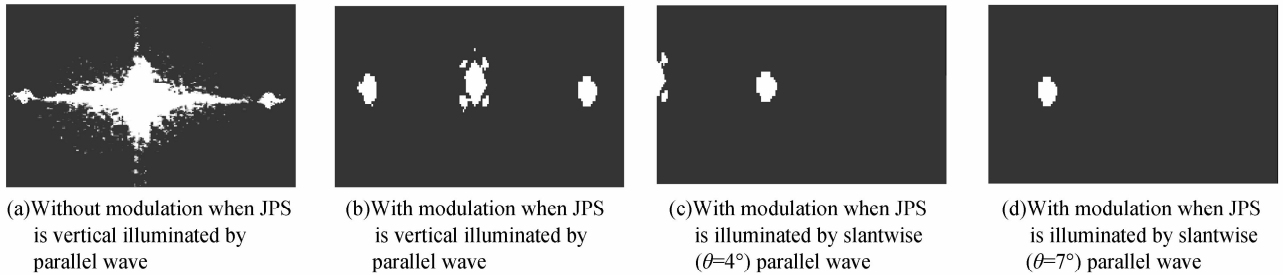


图5 实验结果

Fig. 5 Experiment results

3 结论

理论分析和实验结果表明,空域啁啾相位编码、频域斜光束照射联合变换相关技术是可行的.与传统的联合变换相关器比较,不需要进行数字处理,实时性强,实验设备简单,便可获得尖锐的相关峰,同时由于采用斜光束照射功率谱,探测器上只保留了互相关峰,大大增强了识别能力,提高了 CCD 的利用效率,充分利用了输入面的空间带宽.

参考文献

- [1] JOHNSON F T J, BARNES T H, EIJU T, *et al.* Analysis of a joint transform correlator using a phase only spatial light modulator[J]. *Opt Eng*, 1991, **30**(12): 1947-1957.
- [2] ZHANG Yong, SHEN Xue-Ju, WANG Yong-zhong, *et al.* Influence of length-width ratio of input picture to correlation peak of JTC[J]. *Laser & Infrared*, 2005, **35**(8): 611-613.
张勇, 沈学举, 王永仲, 等. 输入图像长宽比对联合变换相关器相关峰的影响[J]. *激光与红外*, 2005, **35**(8): 611-613.
- [3] CHEN Huai-xin, CHEN Zhen-pei, CHEN Xiao-wei, *et al.* Binary joint transform correlator subtracting a power spectrum based on a phase shift technique[J]. *Chinse Journal of Lasers*, 1998, **25**(4): 353-358.

入图像经过编码倾斜($\theta=4^\circ$)照射联合功率谱的相关输出,(d)是输入图像经过编码倾斜($\theta=7^\circ$)照射联合功率谱的相关输出.

- 陈怀新, 陈祯陪, 陈晓伟. 基于相移功率谱相减的二元联合变换相关识别[J]. *中国激光*, 1998, **25**(4): 353-358.
- [4] ZHAI Hong-chen, CHEN Zi-kuan, ZHANG Tie-qun, *et al.* A joint transform correlator based on phase modulation of the power spectrum[J]. *Chinse Journal of Lasers*, 1998, **25**(2): 139-144.
翟宏琛, 陈自宽, 张铁群, 等. 基于对功率谱进行位相调制的联合变换相关器[J]. *中国激光*, 1998, **25**(2): 139-144.
- [5] YUAN Xiang-yan, YU Da-yong, TAO Chun-kan, *et al.* Distortion-invariant joint transform correlator based on phase-encoding technique[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(10): 1238-1242.
袁祥岩, 于大勇, 陶纯堪, 等. 基于相位编码的畸变不变联合变换相关器的设计[J]. *光子学报*, 2002, **31**(10): 1238-1242.
- [6] LI Chun, AN Yu-ying, ZENG Xiao-dong, *et al.* A novel phase-encoded amplitude-modulated joint transform correlator[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(3): 327-331.
李春, 安毓英, 曾晓东, 等. 一种新的相位编码幅值调节联合变换相关器[J]. *光子学报*, 2003, **32**(3): 327-331.
- [7] LU Guo-wen, ZHANG Zheng, YU F T S. Phase-encoded input joint transform correlator with improved pattern discriminability[J]. *Opt Lett*, 1995, **20**(11): 1307-1311.

Joint Transform Correlator Based on Chirp Modulation and Slantwise Parallel Wave Illumination Power Spectrum

DENG Xiao-peng

(Department of Physics and Electronic Information, University of Huaihua, Huaihua, Hunan 418008, China)

Received date: 2007-09-27

Abstract: Aiming at shortcoming of classic joint transform correlator, a joint transform correlator based on chirp modulation and slantwise parallel wave illumination the power spectrum was presented, which resulted in enhanced correlation peaks with chirp modulation of input image and centralizing relative correlation peaks by slantwise parallel wave illumination the power spectrum. The method did not need digital process with computer and was real-time. The theoretical analysis and experiment results show that better peaks and only one relative correlation peak on the detector are obtained, which improve greatly recognition ability and make use of detector and input plane.

Key words: Joint-transform correlator; Chirp modulation; Spherical wave; Relative correlation peak; Autocorrelation peak



DENG Xiao-peng was born in 1972. He received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2006. Now he is an associate professor and works at Huaihua University, and his major research interests focus on optics information process.