

# 高通滤波的二元联合变换相关器\*

黄献烈 曹国强 赖虹凯  
(厦门大学物理系, 厦门 361005)

**摘 要** 提出一种新的采用高通滤波的二元联合变换相关器。这种相关器与一般的二元联合变换相关器的差别在于联合功率谱作二元处理之前先进行高通滤波。使用这种技术, 可以产生比二元联合变换相关器更好的相关输出性能。给出对含有灰度级物体的输入景物的计算机模拟结果。

**关键词** 光学图像识别, 光学相关, 联合变换相关器。

联合变换相关器<sup>[1]</sup>(JTC)的非线性变换可以产生较好的相关输出性能, 包括自相关峰值、峰值宽度、峰值噪声比、峰值旁瓣比和识别力等。对联合功率谱(JPC)作非线性变换可以得到各种类型的非线性联合变换相关器<sup>[2~6]</sup>。在傅里叶平面上使用二元化的空间光调制器(SLM)可实现二元化联合变换相关器(BJTC)。这种二元化技术是首先对联合功率谱作二元化处理, 使联合功率谱只具有两个值+1和-1, 然后再作逆傅里叶变换得到相关输出, 与经典的联合变换相关器(CJTC)比较, 二元化联合变换相关器可产生较好的相关输出性能。本文提出采用高通滤波的二元联合变换相关器(HJTC), 它采用高通滤波技术, 先对输入景物的联合功率谱作高通滤波, 再作二元化处理, 最后作逆傅里叶变换得相关输出。通过计算机模拟, 可以看出这种技术可进一步提高二元化联合变换相关器的相关输出性能。

## 1 分 析

高通滤波的二元编码的联合变换相关器, 如图1所示。参考图像和目标图像用一空间光调制器 SLM<sub>1</sub> 引入输入平面 P<sub>1</sub>。输入景物通过一傅里叶变换透镜 FTL<sub>1</sub> 作傅里叶变换, 在平面 P<sub>2</sub> 产生输入景物的联合功率谱, 并由 CCD 列阵探测, 然后对联合功率谱作高通滤波和二元化处理。一位于平面 P<sub>3</sub> 的电寻址的 SLM<sub>2</sub> 将处理过的联合功率谱作相干读出。最后通过傅里叶变换透镜 FTL<sub>2</sub> 作逆傅里叶变换, 在输出平面 P<sub>4</sub> 产生相关输出。

设参考图像和目标图像分别表示为  $r(x_1 - x_0, y_1)$  和  $t(x_1 + x_0, y_1)$ , 两者沿  $x_1$  轴相距为  $2x_0$ 。即输入景物为

$$f(x_1, y_1) = r(x_1 - x_0, y_1) + t(x_1 + x_0, y_1) \quad (1)$$

透镜 LTL<sub>1</sub> 对函数  $f(x_1, y_1)$  作傅里叶变换, 得

$$F(u, v) = R(u, v)\exp(-iux_0) + T(u, v)\exp(iux_0) \quad (2)$$

\* 本工作得到福建省自然科学基金资助。

收稿日期:1995年5月8日; 收到修改稿日期:1995年7月9日

式中  $u = (2\pi x_2/\lambda f, v = 2\pi y_2/\lambda f$  为平面  $P_2$  上的角空间频率。 $R(u, v)$  和  $T(u, v)$  分别为图像  $r(x_1, y_1)$  和  $t(x_1, y_1)$  的傅里叶变换,  $f$  为透镜  $FTL_1$  和  $FTL_2$  的焦距,  $\lambda$  为照明相干光的波长。在透镜  $FTL_1$  后焦平面上的光强分布为联合功率谱, 联合功率谱由平方律探测器(如 CCD 阵列)探测。

$$|F(u, v)|^2 = |R(u, v)|^2 + |T(u, v)|^2 + R(u, v)T^*(u, v)\exp(-in2x_0) + R^*(u, v)T(u, v)\exp(iu2x_0)$$

对经典的联合变换相关器, 透镜  $FTL_2$  直接对联合功率谱作逆傅里叶变换产生相关输出, 而对二元化联合变换相关器, 联合功率谱作逆傅里叶变换之前先按照阈值作二元化处理。

$$|F(u, v)|^2 = \begin{cases} +1 & |F(u, v)|^2 > Th \\ -1 & \text{其它} \end{cases}$$

其中  $Th$  为联合功率谱二元化的阈值, 通常定义为  $|F(u, v)|^2$  的平均值<sup>[7]</sup>。

本文采用的高通滤波技术是只让联合功率谱的高空间频率分量通过。高通滤波器定义为

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & u > u_0, v > v_0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

式中  $u_0$  和  $v_0$  分别沿  $X_2$  轴和  $Y_2$  轴, 是按照自相关输出与互相关输出的联合功率谱曲线的周期差别适当选择的值, 其准确值可通过计算机模拟求出。因此高通滤波的联合功率谱为滤波函数  $H(u, v)$  乘上联合功率谱, 即

$$G(u, v) = H(u, v)|F(u, v)|^2$$

对本文提出的高通滤波的二元联合变换相关器, 在高通滤波的联合功率谱作逆傅里叶变换之前, 先进行二元化处理, 然后将高通滤波和二元化处理过的联合功率谱输入电寻址的  $SLM_2$ , 最后由透镜  $FTL_2$  作逆傅里叶变换得相关输出。

## 2 计算机模拟结果

为研究所提出的高通滤波的二元联合变换相关器的相关输出性能, 作者采用具有灰度级

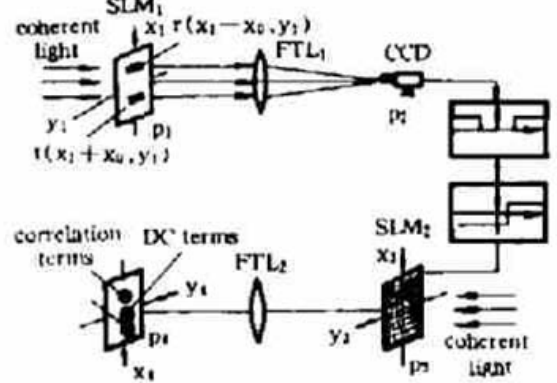


Fig. 2 Object for the computer-simulation tests.

- (a) the target is the same as the reference;
- (b) the target is different from the reference

当输入景物取图 2(a) 的汽车模型及背景时, 目标图像和参考图像相同, 产生自相关输出; 当输入景物取图 2(b) 的汽车模型及背景时, 目标图像和参考图像不同, 产生互相关输出; 目标图像和参考图像相距 42 个像素点。

为了确定高通滤波器的空间频率低限  $u_0$  和  $v_0$ , 作图 2(a) 和图 2(b) 的联合功率谱曲线,



(3) Fig. 1 Optical implementation for BJTC with high pass filtering.  $SLM_1, SLM_2$ , spatial light modulators.  $FTL_1, FTL_2$ , fourier transform lenses

物体的输入景物。模拟试验采用二维快速傅里叶变换子程序, 大小为  $128 \times 128$ , 结果用三维绘图子程序绘制相关输出三维图。输入景物为汽车模型及背景图像。如图 2 所示。用 CCD 摄像机输入计算机的内存。目标图像和参考图像各约为  $64 \times 128$  像素点阵, 整个输入面取  $128 \times 128$  像素点阵。

当输入景物取图 2(a) 的汽车模型及背景时, 目标图像和参考图像相同, 产生自相关输出; 当输入景物取图 2(b) 的汽车模型及背景时, 目标图像和参考图像不同, 产生互相关输出; 目标图像和参考图像相距 42 个像素点。

为了确定高通滤波器的空间频率低限  $u_0$  和  $v_0$ , 作图 2(a) 和图 2(b) 的联合功率谱曲线,

包括自相关输出和互相关输出,如图3所示。联合功率谱的中心在平面  $P_3$  的像素值(64,64)处。由图3可见,两条联合功率谱曲线的周期差别突显出来是:沿X轴在84像素值以上;沿

Table 1. Test results of high pass filter

rang	API	PNR	PSR	FWHM	ACR
59~69	0.87	37.6	6.56	(3,2)	2.45
54~74	0.68	45.5	2.98	(1,1)	3.04
47~81	0.45	37.2	2.31	(1,1)	3.28
44~84	0.42	32.8	2.99	(1,1)	3.29
42~86	0.31	24.4	2.28	(1,1)	1.34

Notes rang; pixel range for JPS = 0 along the X axis; API; auto-correlation peak intensity; PNR; auto-correlation peak-to-noise ratio; PSR; auto-correlation peak-to-sidelobe ratio; FWHM; the full width of the correlation signal at half its peak value; ACR; auto-correlation peak intensity to cross-correlation peak intensity ratio

Y轴在97像素值以上。其准确的像素值由计算机模拟确定。表1列出模拟试验的结果。表中总的输出能量归一化为值100,相关峰的高度用输出面总的输出能量归一化。从综合观点看,JPS为零的像素值范围可如下选取:沿X轴取44至84像素值,沿Y轴取31至97像素值。当然,联合功率谱为零的像素值范围也可以这样选取:沿X轴取47至81像素值,或54至74像素值,沿Y轴同样取31至97像素值。这样选取的高通滤波的联合变换相关器,自相关峰强度和峰值噪声比较高,但自相关峰最大旁瓣比较低。

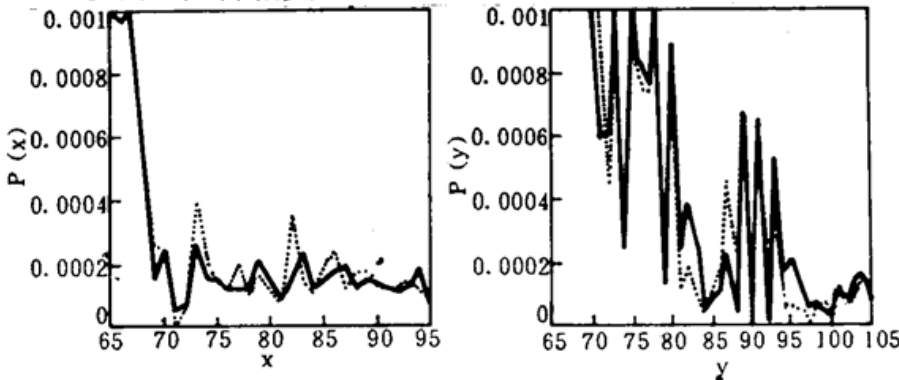


Fig. 3 JPS curves corresponding to Fig. 2. Solid curve, auto-correlation JPS; Dashed curve, cross-correlation JPS

为了比较四种联合变换相关器的相关输出性能,使用相关峰强度的绝对值以确定它们的相关识别力是不适当的,因为高通滤波会引起光的损失。相关峰的能量应该用总的输出能量来归一化,因为峰值能量和总的输出能量都是可测量的,所以用它们之比衡量识别力是恰当的。表2列出了经典的联合变换相关器、二量化联合变换相关器、高通滤波的联合变换相关器和高通滤波的二元联合变换相关器四种类型的联合变换相关器的计算机模拟结果。从表2可以看出,高通滤波的二元联合变换相关器的相关输出性能比二量化联合变换相关器好得多。自相关峰值强度API高12倍,峰值噪声比大5倍,峰值最大旁瓣比大1.5倍,自相关峰宽度小1倍,识别力ACR高3倍。

Table 2. Simulation results of the four types of JTC

type	API	PNR	PSR	FWHM	ACR
CJTC	0.012	1.17	1.1	(>44,46)	1.00
BJTC	0.037	17.9	3.7	(7,3)	2.11
HJTC	0.418	32.8	3.0	(1,1)	3.29
HBJTC	0.445	92.0	5.3	(1.3)	6.74

Notes API; auto-correlation peak intensity; PNR; auto-correlation peak-to-noise ratio; PSR; auto-correlation peak-to-sidelobe ratio; FWHM; the full width of the correlation signal at half peak value; ACR; auto-correlation peak intensity to cross-correlation peak intensity ratio

图4给出二量化联合变换相关器和高通滤波的二元联合变换相关器两种类型的相关器的三维图。包括相应于图2(a)的自相关模拟结果和相应于图2(b)的互相关模拟结果。由图

可见，高通滤波的二元化联合变换相关器的自相关输出性能优于二元化联合变换相关器。

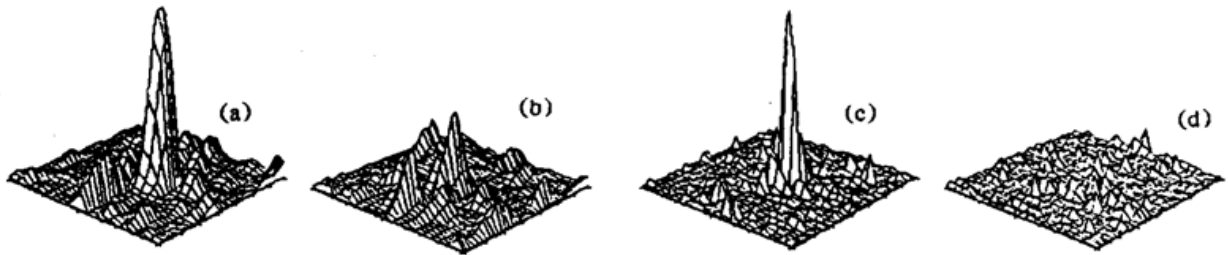


Fig. 4 The auto-correlation and cross-correlation simulation results for the two types of JTC's. (a) auto-correlation output corresponding to Fig. 2 (a) for the BJTC; (b) cross correlation output corresponding to Fig. 2(b) for the BJTC; (c) auto-correlation output corresponding to Fig. 2(a) for the HBJTC; (d) cross-correlation output corresponding to Fig. 2(b) for the HBJTC

**小结** 本文提出的高通滤波的二元联合变换相关器的方案是可行的，其相关输出性能明显优于二元化联合变换相关器，而且相关器的系统不增添任何器件，只是在用计算机对联合功率谱作二元化处理之前加一道高通滤波处理就行了。当然，本文所提出的高通滤波的二元化联合变换相关器和二元化联合变换相关器一样，在相关输出平面上还存在谐波峰，出现假目标的误判问题，可以通过啁啾编码<sup>[7]</sup>的方法解决，目前我们正在做这一方面的工作。

### 参 考 文 献

- [1] C. S. Weaver, J. W. Goodman, A technique for optically convolving two function. *Appl. Opt.*, 1966, 5(7): 1248~1249
- [2] B. Javidi, C. Kuò, Joint transform image correlation using a binary spatial light modulator at the fourier plane. *Appl. Opt.*, 1988, 27(4): 663~665
- [3] B. Javidi, J. L. Horner, Single spatial modulator joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1989, 28(5): 1027~1032
- [4] B. Javidi, Nonlinear joint power spectrum based optical correlation. *Appl. opt.*, 1989, 28(12): 2358~2367
- [5] B. Javidi, F. Parchekani, Q. Tang, Gray-scale nonlibear joint transform correlator. *Opt. Engng.*, 1992, 31(5): 888~895
- [6] W. B. Hahn, D. L. Flanney, Design elements of binary joint transform correlation and selected optimization technique. *Opt. Engng*, 1992, 31(5): 896~905
- [7] Q. Tang, B. Javidi, Technique for reducing the redundant and self-correlation terms in jointtransform correlators. *Appl. Opt.*, 1993, 32(11): 1911~1918

## Binary Joint Transform Correlator with High Pass Filtering

Huang Xianlie      Cao Guoqiang      Lai Hongkai

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

(Received 8 May 1995; revised 9 July 1995)

**Abstract** A new binary joint transform correlator (BJTC) with high pass filtering is proposed. The difference between the proposed correlator and BJTC is that joint power spectrum is processed by using high pass filtering before applying binarization. The technique is found to yield significantly better correlation output performance than the BJTC. Computer simulated results for input scences with gray-scale object are given.

**Key words** optical pattern recognition, optical correlation, joint transform correlator.