

使用啁啾编码的高通联合变换相关器 作多目标检测*

黄献烈 曹国强

(厦门大学物理系, 厦门 361005)

提要 根据啁啾编码的原理和高通滤波的方法, 提出使用啁啾编码的高通滤波的联合变换相关器作多目标检测。使用这种方法, 可使所想要的参考图像和目标像之间的互相关峰与不想要的直流项、各目标图像之间的互相关峰以及谐波峰输出在不同的平面上, 从而提高对多目标检测的准确度, 给出对具有灰度级的多目标输入景物的计算机模拟结果。

关键词 光学图像识别, 联合变换相关器, 啁啾编码, 高通滤波, 多目标检测

1 引言

在图像识别中, 联合变换相关器^[1](JTC)与空间匹配滤波器相比, 具有原理简单、容易操作、不需要制作复空间匹配滤波器和适合实时处理等优点。但当 JTC 用于多目标检测时, 在相关输出平面上, 除了存在所想要的参考图像与目标图像之间的互相关峰之外, 还同时存在很强的直流项和不想要的各目标图像之间的互相关峰项等, 降低了多目标检测的准确性。当采用二元 JTC^[2,3](BJTC)进行多目标的检测时, 虽可以提高相关峰输出性能, 但在相关输出平面上会存在谐波峰, 甚至会产生假目标或使目标消失, 导致目标检测失败。为了使输出中所想要的互相关峰项与直流项, 不想要的互相关峰项和谐波峰项分开, Tang 等人提出了啁啾编码的 BJTC^[4]。最近我们研究了高通滤波的 JTC, 这种方法更适合实时处理, 相关输出性能也有了进一步的提高。本文使用啁啾编码的高通联合变换(CEHJTC)相关器作多目标检测, 分析检测原理及相关输出性能。

2 多目标检测原理

啁啾编码的高通滤波的联合变换相关器是指对联合功率谱同时进行啁啾编码和高通滤波。多目标检测原理如图 1 所示。参考图像和目标图像分别用空间光调制器 SLM 引入。与以前的各种 JTC 相比, 参考图像后放有一定厚度的光学玻璃板。设 P_1 平面上的参考图像 $r(x - a_0, y - b_0)$ 和 P_2 平面上的 N 个目标图像 $s(x - a_i, y - b_i)$ 离傅里叶变换透镜 FTL₁ 的光学距离(折射率乘路程)分别为 d_r 和 d_s , 经 FTL₁ 傅里叶变换, 在其后焦平面 P_3 上形成联合功率谱

* 福建省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1995 年 7 月 20 日; 收到修改稿日期: 1995 年 9 月 18 日

(JPS)。JPS 经高通滤波器滤波,写入液晶光阀 LCLV,高通滤波使 JPS 中 $\alpha > \alpha_0$, $\beta > \beta_0$ 的高频分量通过。这里 α_0 和 β_0 为频率低限的空间坐标,其值由 JPS 曲线确定(参见图 4)。高通滤波后的 JPS 由相干光照射 LCLV 读出,再经傅里叶变换透镜 FTL₂ 输出到不同的平面 P_z 上。

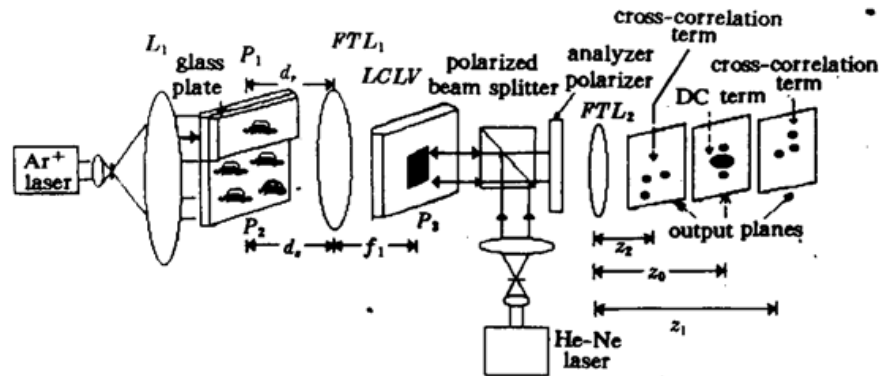


Fig. 1 Scheme for a chirp-encoded joint transform correlator with high pass filtering

LCLV: Liquid crystal light valve; FTL: Fourier transform lens; L: Imaging lens

当输出平面 P_z 上的坐标 $\alpha > \alpha_0$, $\beta > \beta_0$ 时,则光场分布为^[4]

$$\begin{aligned}
 g(x', y') &= \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \exp\left(jk \frac{x'^2 + y'^2}{2z}\right) \\
 &\left(FT \left\{ \sum_{i=1}^N (|S_i|^2 + |R|^2) \exp\left[-j\left(\frac{k}{2f} - \frac{k}{2z}\right)(\alpha^2 + \beta^2)\right]\right\} \right. \\
 &+ FT \left\{ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N S_i S_k^* \exp\left[-j2\pi\left(\frac{(a_i - a_k)\alpha}{\lambda f} + \frac{(b_i - b_k)\beta}{\lambda f}\right)\right] \exp\left[-j\left(\frac{k}{2f} - \frac{k}{2z}\right)(\alpha^2 + \beta^2)\right]\right\} \\
 &+ FT \left\{ \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{k=i+1}^N S_i S_k \exp\left[j2\pi\left(\frac{(a_i - a_k)\alpha}{\lambda f} + \frac{(b_i - b_k)\beta}{\lambda f}\right)\right] \exp\left[-j\left(\frac{k}{2f} - \frac{k}{2z}\right)(\alpha^2 + \beta^2)\right]\right\} \\
 &+ FT \left\{ \sum_{i=1}^N S_i R^* \exp\left[j2\pi\left(\frac{(a_0 - a_i)\alpha}{\lambda f} + \frac{(b_0 - b_i)\beta}{\lambda f}\right)\right] \exp\left[j\left(\xi - \frac{k}{2f} + \frac{k}{2z}\right)(\alpha^2 + \beta^2)\right]\right\} \\
 &+ FT \left\{ \sum_{i=1}^N S_i R \exp\left[-j2\pi\left(\frac{(a_0 - a_i)\alpha}{\lambda f} + \frac{(b_0 - b_i)\beta}{\lambda f}\right)\right] \exp\left[-j\left(\xi + \frac{k}{2f} - \frac{k}{2z}\right)(\alpha^2 + \beta^2)\right]\right\} \Big)
 \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $k = 2\pi/\lambda$, $S_i(a/\lambda f, \beta/\lambda f)$ 和 $R(a/\lambda f, \beta/\lambda f)$ 分别为目标图像 $s_i(x, y)$ 和参考图像 $r(x, y)$ 的傅里叶变换, S_i, R 为书写简便略去变量; λ 为照明相干光的波长; f 为傅里叶变换透镜的焦距; $\xi = k/2f(d_r/f - d_s/f)$; 上标 * 表示复共轭。

式(1)的第一项产生多个目标图像的自相关和参考图像的自相关之和,位于 $z = z_0 = f$ 的输出平面的光轴上,即 FTL₂ 的后焦平面光轴上。第二、三项产生多个目标图像之间的互相关,其输出平面也位于 $z_0 = f$ 处。相关峰位于 $x' = \pm(a_i - a_k)$, $y' = \pm(b_i - b_k)$, 以上三项对多目标的检测是无用的。

式(1)的第四、五项是产生所想要的多个目标图像和参考图像之间的互相关。对第四项,令其上的二次位相因子为零,得位置在 $z = z_1 = f^2/[f - (d_r - d_s)]$, 光场分布为

$$g_1(x', y') = \sum_{i=1}^N R_{S_i} \left[\frac{x'f}{z_1} - (a_0 - a_i), \frac{y'f}{z_1} - (b_0 - b_i) \right] + N_1(X', Y') \quad (2)$$

其中 $R_{s_i r}$ 表示目标图像 s_i 和参考图像 r 之间的互相关; $N_1(x', y')$ 表示式(1)中的其他各项, 随其上的二次位相调制而扩展开, 适当选择系统的参数, 使其值最小。相关峰位于 $x' = (a_0 - a_i)f/[f - (d_r - d_i)]$ 和 $y' = (b_0 - b_i)f/[f - (d_r - d_i)]$ 。对式(1)的第五项, 位置在 $z = z_2 = f^2/[f + (d_r - d_i)]$, 也有类似的光场分布。第四、五项对多目标的检测是有用的, 而且我们只需取其中一项即可。

由式(1)可见, 当 $d_r = d_i$, 即在 P_1 平面的参考图像后不放适当厚度的玻璃板, 系统就变成普通的 JTC, 输出各项全部位于平面 $z = f$ 处, 导致多目标检测的准确度降低。这就是采用啁啾编码的优点所在。它把所想要的多目标图像与参考图像之间的互相关项会聚在一个平面上, 与会聚在其他平面上的不想要的其他项分开。

为了提高对相似目标图像的识别力, 同时对 JPS 进行高通滤波, 高通滤波的空间频率低限是这样选择的: 取一参考图像, 如图 2 中 0 号汽车, 和一与参考图像不相同但较相似的目标图像, 如图 2 中 4 号汽车, 分别作图像的自相关 JPS 曲线和互相关 JPS 曲线, 包括 x 方向和 y 方向。如图 3 所示, 观察两条 JPS 曲线的周期差别在哪个空间频率以上突显出来。该空间频率就取为高通滤波器的低限。因为两相似图像的差别主要体现在高空间频率处, 所以去掉低空间频率可以提高相似图像的识别力。

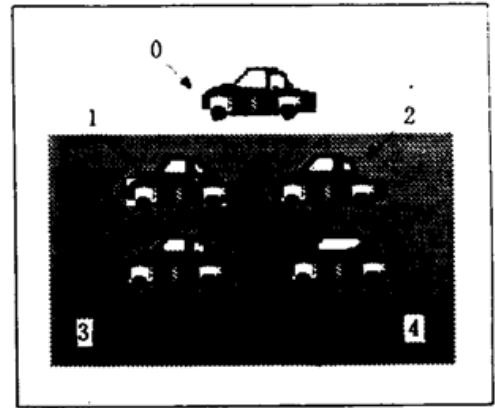


Fig. 2 Objects for the computer-simulation tests

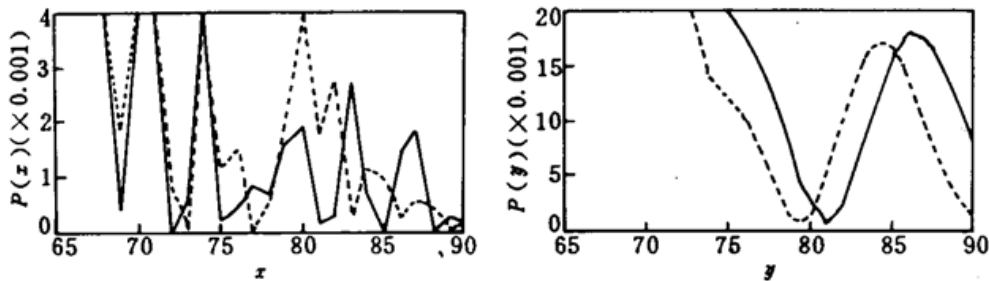


Fig. 3 JPS curves

Solid curve: auto-correlation JPS; Dashed curves: cross-correlation JPS

但仅用高通滤波的 JTC 作多目标检测时, 因高通滤波会在输出面产生谐波峰 [参见图 5(b)], 这些谐波峰的出现会引起多目标的误判。所以当同时对 JPS 进行啁啾编码和高通滤波, 可以使高通滤波所引起的谐波峰因会聚在不同的输出平面上而降低其影响, 因此使用啁啾编码的高通滤波的 JTC 可提高检测的准确度。

3 计算机模拟结果

为了研究 CEHJTC 对多目标检测的相关输出性能, 我们采用具有灰度级的物体作为输入景物。模拟试验采用二维快速傅里叶变换子程序, 大小为 128×128 , 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。图中 0 号汽车为参考图像, 大小为 31×13 像素点阵, 图中下半部为有背景噪声情况

下的多目标图像,大小为 80×45 像素点阵,其中 1, 2, 3 号汽车与参考汽车相同,4 号汽车与参考汽车不同,我们计算机模拟的输入景物的信噪比约为 3 dB。计算机模拟的程序框图如图 4 所示。

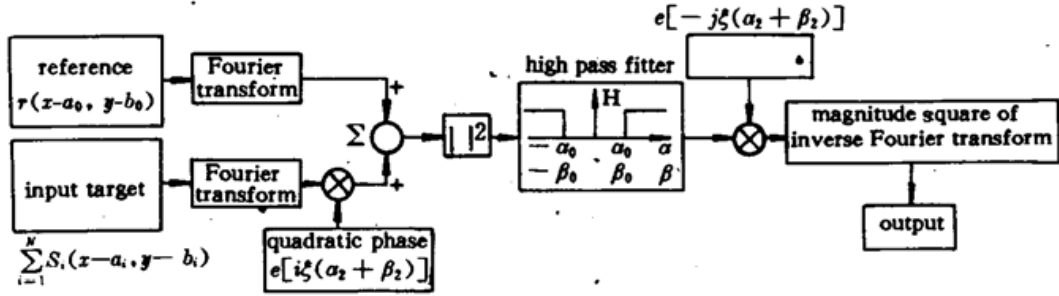


Fig. 4 Block diagram of computer simulation

为了提高多目标检测的识别力,预先需确定高通滤波器的空间频率低限 $\alpha_0/\lambda f$ 和 $\beta_0/\lambda f$,作图 2 中 0 号汽车的自相关 JPS 曲线和 4 号汽车与 0 号汽车的互相关 JPS 曲线,如图 3 所示, JPS 的中心在平面 P_3 的像素值(64, 64)处。由图 3 可见,两条 JPS 曲线的周期差别突显出来是:沿 x 轴在 72 像素值以上,特别是在 81 像素值以上;沿 y 轴在 72 像素值以上,特别是在 79 像素值以上。其准确的像素值由计算机模拟确定。试验中取 α_0 为 81 像素值, β_0 为 79 像素值。

啁啾编码的技术关键是选取适当的 ξ 值,使在输出平面 $z = z_1$ 的峰值强度 - 最大背景强度比 PBR 和识别力(自相关与互相关强度比)ACR 最大。计算机模拟结果列于表 1。模拟测试中应使要识别的目标(与参考图像相同的汽车)尽可能分布在目标图像的各个位置。表中总的输出能量归一化为 100,相关峰的高度用输出面总的能量归一化。由表 1 可见,取 $\xi = 0.250$ 最好, PBR 和 ACR 都最大。

Table 1 Simulation results of ξ

ξ	P_1				B_1 (max)	PBR (min)	ACR (min)
	1	2	3	4			
0	0.116	0.138	0.112	0.030	0.107	1.05	3.73
0.248	0.195	0.220	0.096	0.042	0.078	1.23	2.29
0.249	0.174	0.210	0.092	0.030	0.063	1.46	3.07
0.250	0.151	0.253	0.128	0.038	0.047	2.72	3.97
0.251	0.098	0.255	0.134	0.048	0.059	1.66	2.04

$\xi = k/2f(d_r/f - d_s/f)$; P_1 : correlation peak intensity; B_1 : maximal background intensity; PBR: minimal auto-correlation peak intensity to maximal background intensity ratio; ACR: minimal auto-correlation peak intensity to cross-correlation peak intensity ratio

图 5 给出 BJTC、HJTC 和 CEHJTC 三种类型的 JTC 输出的三维图。CEHJTC 的相关输出峰取在 $z = z_1$ 平面上。图中想要的目标图像和参考图像之间的互相关峰 1, 2, 3 号的高度不同是因这几个汽车模型的反射光强不同所致。由图可见, HJTC 和 BJTC 相比,相关输出性能有明显提高,相关峰的宽度较窄,相关峰的能量也较大。但它们输出的各项均在同一个平面上,包括想要的参考图像和目标图像之间的互相关项和不想要的直流项、各目标图像之间的互相关项和一些高阶谐波项。相关分布重叠,影响多目标检测的精确度。而 CEHJTC 在输出平面 z_1 上只存在想要的参考图像和目标图像之间的互相关项。相关峰清晰尖锐,从而提高了多目标检测的准

确度,而且因采用高通滤波,4号目标的相关峰较低,图像识别力高。

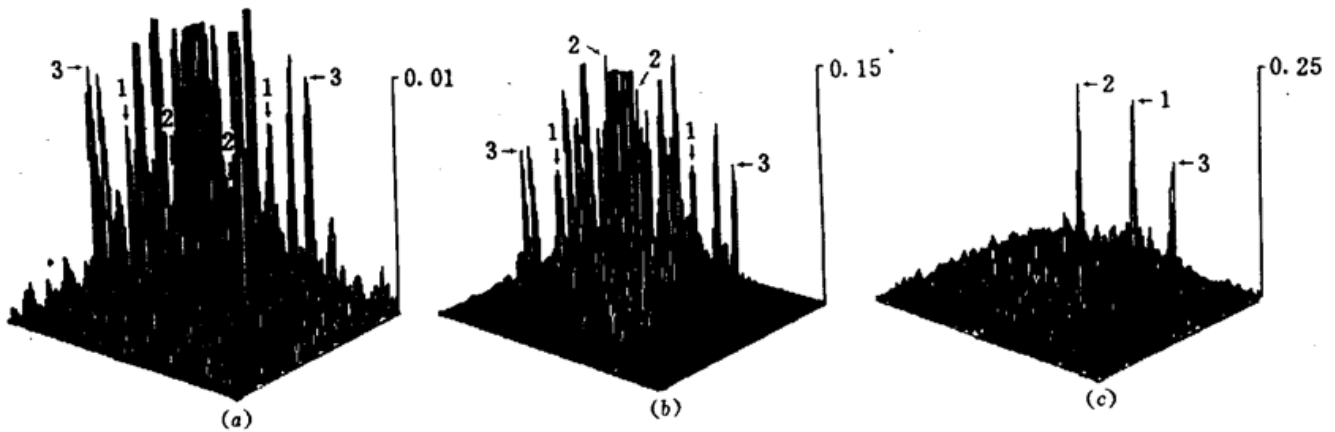


Fig. 5 Computer simulation results for the three types of JTC's
(a) BJTC; (b) HJTC; (c) CEHJTC

参 考 文 献

- 1 Weaver C. S., Goodman J. W.. A technique for optically convolving two function. *Appl. Opt.*, 1966, 5(7): 1248~1249
- 2 Yu F. T. S., Cheng F., Nagata T. *et al.*. Effects of fringe binarization of multiobject joint transform correlation. *Appl. Opt.*, 1989, 28(15): 2988~2990
- 3 Davis J. A., Merrill E. A., Cottrell D. M. *et al.*. Effects of sampling and binarization in the output of the joint Fourier transform correlator. *Opt. Eng.*, 1990, 29(9): 1094~1100
- 4 Tang Q., Javidi B.. Multiple-object detection with a chirp-encoded joint transform correlator. *Appl. Opt.*, 1993, 32(26): 5079~5088

Multitarget Detection Using a Chirp-encoded Joint Transform Correlator with High Pass Filtering

Huang Xianlie Cao Guoqiang

(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract Based on the chirp-encoding and high pass filtering, the multitarget detection using a chirp-encoded joint transform correlator with high pass filtering is proposed. This technique focuses the desired cross correlation terms between the reference image and the target images and the undesired terms, including D. C. term, self-correlation terms between the target images and various higher-order correlation terms, onto separated output planes. Thus it has higher accuracy of detection. Computer simulation results for the input gray-scale multitarget scenes are given.

Key words optical pattern recognition, joint transform correlator, chirp-encoding, high pass filtering, multitarget detection