

联合变换相关中输出相关点形状与输入 相关物长宽比的关系

沈学举¹ 刘秉琦¹ 王永仲¹ 高鸿启¹ 周水庆²

(1 军械工程学院, 石家庄 050003)

(2 73037 部队, 无锡 214064)

摘 要 根据联合变换相关理论和光的衍射理论, 定量分析了联合变换相关中两相关输入物长宽比与输出相关点形状间的关系. 结果表明: 输入相关物长宽比影响相关点的形状, 当相关物长宽比过大时, 将使相关点形状严重偏离圆斑形状, 从而影响相关点的探测和精确定位.

关键词 联合变换相关; 输入物长宽比; 相关点形状

中图分类号 **文献标识码** **A**

0 引言

随着 LCD 等器件的发展, 使联合变换相关获得了广泛而重要的实际应用, 例如相关识别、利用联合变换相关进行光学测量^[1]等. 大量论文^[2~9]对联合变换相关的性质及应用进行研究. 实际应用中, 相关点越尖锐、形状越接近圆斑越容易探测和精确定位, 总希望相关点越尖锐、形状越接近圆斑越好, 但联合变换相关中相关点是所记录联合功率谱的光学傅里叶变换得到的. 由于光波传播过程中固有的衍射特性, 当输入相关物长宽比较大时, 例如道路、机场跑道等, 所记录联合功率谱包络是垂直于输入物方向的扁长形状. 由于联合功率谱包络的衍射作用, 使平面波照射下联合功率谱的正、负一级衍射波不再是平面波, 在透镜后焦面上得到的相关点不再是圆斑, 而是在垂直于联合功率谱包络方向扩展的扁长形光斑, 且输入相关物长宽比越大, 相关点形状越扁长、尖锐度下降越大. 当输入相关物长宽比足够大时, 将会对相关点形状产生相当大的影响. 理论分析表明相关点形状的这种变化是由光波的衍射特性造成的. 本文对相关点形状和输入相关物长宽比间的关系进行了理论和实验研究, 表明联合变换相关中为获得好的相关点输入相关物长宽比应满足一定要求.

1 理论分析

联合变换相关过程是将两相关图像置于透镜的前焦面(输入平面), 单色平面波垂直照射下, 在透镜后焦面上记录其联合功率谱, 再把所记录的联合功率谱置于透镜的前焦面上, 单色平面波垂直照射, 在透镜的后焦面上可接收到距离为两输入相关物距

离二倍的相关点^[2,6].

设输入相关物是中心间距为 d 的两个任意形状的孔, 如图 1(a), 单位振幅的单色平面波垂

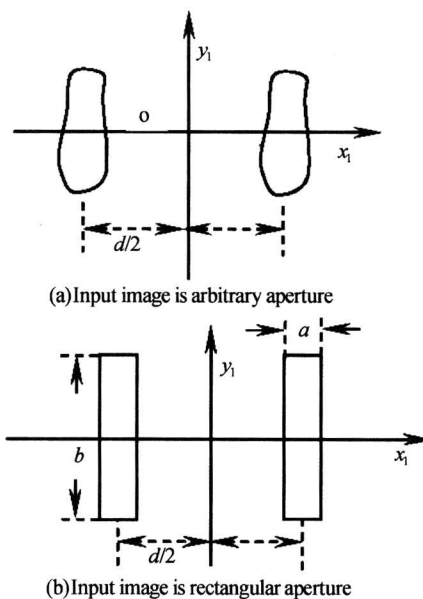


图 1 输入图像

Fig. 1 Schematic diagram of input images

直照射下, 透过输入平面的复振幅分布为

$$E(x_1, y_1) = f(x_1, y_1) * \left[\delta \left(x_1 - \frac{d}{2} \right) + \delta \left(x_1 + \frac{d}{2} \right) \right] \quad (1)$$

式中 $*$ 是卷积符号, $f(x_1, y_1)$ 表示孔的形状. 设激光波长 λ , 透镜焦距 f , 则透镜后焦面复振幅分布为

$$E'(x_2, y_2) = F\{f(x_1, y_1)\} \times F\left\{ \delta \left[x_1 - \frac{d}{2} \right] + \delta \left[x_1 + \frac{d}{2} \right] \right\} = 2F\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f} \right) \cos \left[\frac{\pi x_2 d}{\lambda f} \right] \quad (2)$$

式中 $F\left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f} \right) = F\{f(x_1, y_1)\}$ 表示 $f(x_1, y_1)$ 的傅里叶变换.

透镜后焦面上记录的联合功率谱分布为

$$I(x_2, y_2) = I_0 F^2 \left(\frac{x_2}{\lambda f}, \frac{y_2}{\lambda f} \right) \cos^2 \left[\frac{\pi x_2 d}{\lambda f} \right] \quad (3)$$

式中 $I_0 = 4$. 将记录的联合功率谱置于透镜前焦面, 单色平面波垂直照射下, 透镜后焦面(相关输出面)复振幅分布为

$$o(x'_2, y'_2) = F\{I(x_1, y_1)\} = [f(x'_2, y'_2) \otimes f(x'_2, y'_2)] * [\delta(x'_2 + d, y'_2) + \delta(x'_2 - d, y'_2) + 2\delta(x'_2, y'_2)] \quad (4)$$

式中 \otimes 表示相关. 实际中探测器接收的是光强度, 根据 δ 函数及函数相关的性质, 当 d 足够大时, 相关输出面上光强度分布可表示为

$$I(x'_2, y'_2) = |o(x'_2, y'_2)|^2 = |f(x'_2 - d, y'_2) \otimes f(x'_2 - d, y'_2)|^2 + |f(x'_2 + d, y'_2) \otimes f(x'_2 + d, y'_2)|^2 + 4|f(x'_2, y'_2) \otimes f(x'_2, y'_2)|^2 \quad (5)$$

式(5)中头两项是相关点强度表示式, 第三项对应零级斑.

当输入相关物是宽度为 a , 长度为 b , 中心间距为 d 的两矩形孔时, 如图 1(b), 则孔的形状可表示为

$$f(x_1, y_1) = \text{rect} \left[\frac{x_1}{a} \right] \text{rect} \left[\frac{y_1}{b} \right] \quad (6)$$

式中 $\text{rect}(\cdot)$ 是矩形函数.

单位振幅的单色平面波垂直照射下, 透镜后焦面上记录的联合功率谱分布式(3)变为

$$I(x_2, y_2) = I_0 \sin^2 \left[\frac{ax_2}{\lambda f} \right] \sin^2 \left[\frac{by_2}{\lambda f} \right] \cdot \cos^2 \left[\frac{\pi x_2 d}{\lambda f} \right] \quad (7)$$

将 $I(x_2, y_2)$ 置于透镜前焦面, 单色平面波垂直照射

下, 相关输出面上光强度分布式(5)变为

$$I(x'_2, y'_2) = \left[\Lambda \left[\frac{y'_2}{b} \right] * \Lambda \left[\frac{x'_2 + d}{a} \right] \right]^2 + \left[\Lambda \left[\frac{y'_2}{b} \right] * \Lambda \left[\frac{x'_2 - d}{a} \right] \right]^2 + 4 \left[\Lambda \left[\frac{y'_2}{b} \right] * \Lambda \left[\frac{x'_2}{a} \right] \right]^2 \quad (8)$$

式中 $\Lambda(\cdot)$ 是三角状函数.

2 模拟和实验结果

对任意形状输入相关物, 改变其长宽比, 模拟计算了式(5)中前两项中一项(一个相关点)的三维强度分布, 输入图像和相应的相关点强度分布曲线如图 2, 其中图像长宽比 k 为图像纵向最大线度和横向最大线度之比.

图 2 看出随 k 值增加, 相关点形状由接近圆斑逐渐变为扁长形状.

另外由于矩形孔可用解析式表示, 能得到其相关的解析表达式, 可定量分析其相关的性质, 且不失一般性. 因此用矩形孔为输入相关物, 改变其长宽比, 进行了实验研究, 记录了相关点, 并按式(8)画出了相关点的模拟曲线. 实验中将 SLM(空间光调制器)置于透镜前焦面, 首先由计算机将输入图像传输到 SLM 上, 再用单色平面波垂直照射 SLM 得到输入相关图像. 所用 SLM 为 XGA1 型, 透镜焦距 $f = 400$ mm, He-Ne 激光器作光源, $\lambda = 0.6328$ μm . 将 CCD 摄像头置于透镜后焦面接收联合功率谱并送计算机存储. 然后再将记录的联合功率谱送入 SLM, CCD 摄像头接收相关点.

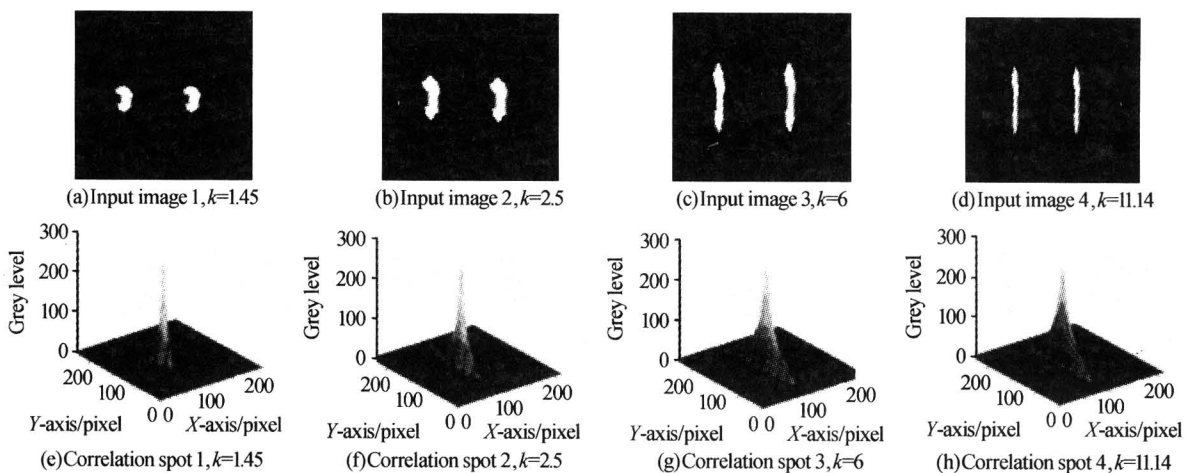


图 2 输入相关物为任意形状时, 相关点强度分布曲线随相关物长宽比 k 变化

Fig. 2 When arbitrary shape's images is input, intensity distribution curve of correlation spots versus k

实验中 d 取常量, 设矩孔宽度 a 值为 1, 则长宽比 $k = b/a = b$. 图 3~图 5 中 k 值分别为 1、4、20 时的输入相关图像、实验记录的联合功率谱和相关点以及按式(8)计算的相关点三维模拟曲线图形.

由图 2~图 5 看出, 当 k 值增加时, 联合功率谱

包络在垂直于孔方向拉长, 相关点也由 k 值小时的圆形斑逐渐变成扁长形斑. 从衍射原理分析, 随着 k 值不断增大, 由于输入物窄的方向对光波衍射强, 所记录联合功率谱包络是垂直于输入物方向的扁长形状, 对其进行光学傅里叶变换时, 由于联合功率谱包

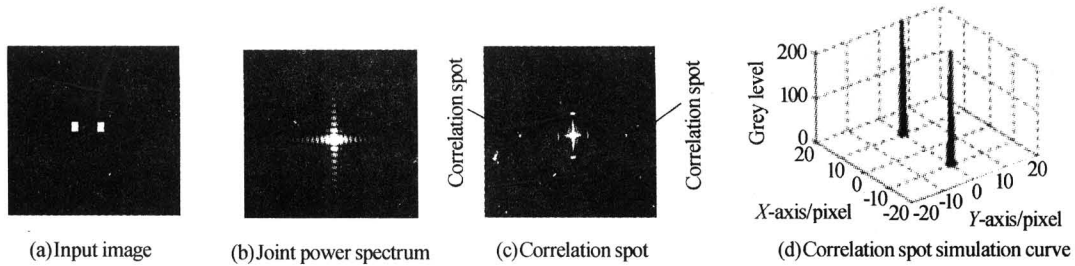


图 3 $k=1$ 时,输入相关图像、实验记录的联合功率谱和相关点以及相关点模拟曲线
 Fig. 3 Input correlation image with $k=1$, joint power spectrum and correlation spot recorded in the experiment, and correlation spot intensity distribution curve simulated by computer

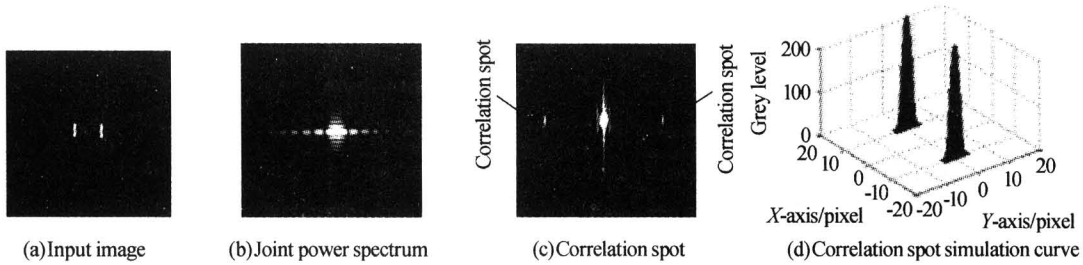


图 4 $k=4$ 时,输入相关图像、实验记录的联合功率谱和相关点以及相关点模拟曲线
 Fig. 4 Input correlation image with $k=4$, joint power spectrum and correlation spot recorded in the experiment, and correlation spot intensity distribution curve simulated by computer

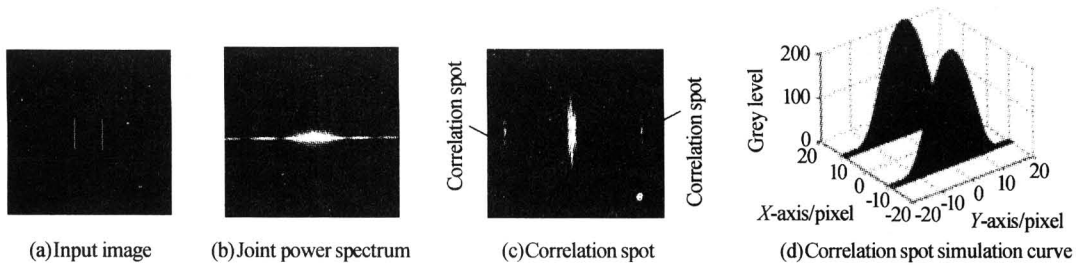


图 5 $k=20$ 时,输入相关图像、实验记录的联合功率谱和相关点以及相关点模拟曲线
 Fig. 5 Input correlation image with $k=20$, joint power spectrum and correlation spot recorded in the experiment, and correlation spot intensity distribution curve simulated by computer

络的衍射作用,使平面波照射下联合功率谱的正、负一级衍射波不再是平面波,在透镜后焦面上得到的相关点不再是圆斑,而是在垂直于联合功率谱包络方向扩展的扁长形斑,且输入相关物 k 值越大,所记录联合功率谱包络越扁长,相关点形状也越扁长、尖锐度下降越大.当输入相关物长宽比足够大时,将会对相关点形状产生较大的影响.

为定量描述孔的长宽比对相关点形状的影响,

定义相关点的宽长比 q 为相关斑横向上的半宽度与纵向上的半宽度的比值.当孔的长宽比变化时,相关点的宽长比随之发生变化.图 6 输入图像为矩形孔且 $k=5$ 时相关点的三维强度分布曲线以及横向和纵向上的强度分布曲线.图 6 中可以看出相关点横向曲线和纵向曲线的宽度不相等.很显然相关点越接近圆斑,相关点的宽长比 q 越大,相关点越偏离圆斑,相关点的宽长比 q 越小,可把 q 作为表示相关点

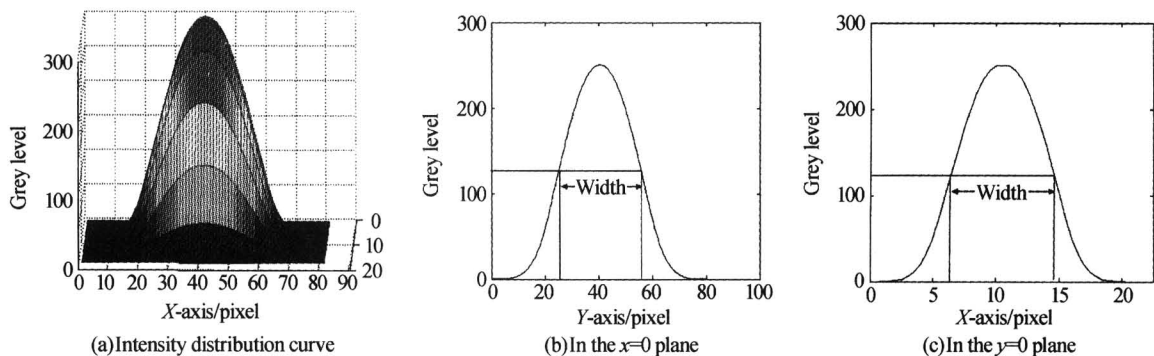


图 6 $k=5$ 时相关点强度分布曲线
 Fig. 6 Intensity distribution curve of correlation spot while $k=5$

是否接近圆斑的参量. 由于相关点形状是输入物长宽比 k 的函数, 所以 q 是 k 的函数. 用 $q \sim k$ 曲线可以直观表示出相关点形状随输入物长宽比 k 的变化情况. 图 7 为 $d=3$ 时的 $q \sim k$ 曲线, 表 1 是几组 q, k 计算值.

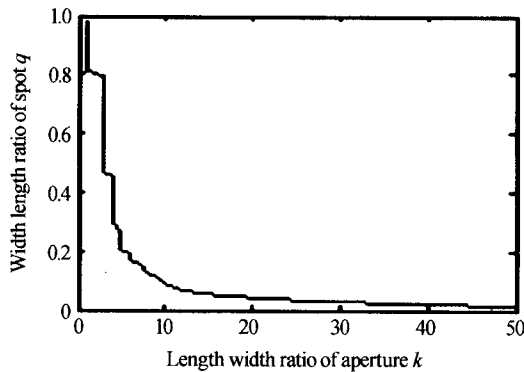


图 7 相关点宽长比 q 随矩孔长宽比 k 的变化曲线
Fig. 7 q versus k

表 1 矩孔长宽比与相关点长宽比的对应表

矩孔的长宽比 k	3	4	5	10	15	20
相关点宽长比 q	0.7143	0.4146	0.2459	0.1056	0.0575	0.0416

如果确定对相关点宽长比 q 的要求, 可求得输入相关物长宽比 k 的最大值.

3 结论

本文基于光的衍射理论, 定量分析了联合变换相关中输入相关物长宽比对相关点形状的影响, 随着输入相关物长宽比的增大, 相关点形状不断变长, 若要求相关点形状是接近圆斑的较理想相关点时, 则对输入相关物长宽比有一定要求.

参考文献

- Shen X J, Gao H Q, Wang Y Z, *et al.* Measuring refractive index of plate glass using joint transform correlative technique. *SPIE*, 2004, **5642**: 213~217
- 沈学举, 高鸿启, 王永仲, 等. 非准确联合变换相关. *光学技术*, 2005, **31**(4): 575~579
Shen X J, Gao H Q, Wang Y Z, *et al.* *Optical technology*, 2005, **31**(4): 575~579
- 余杨, 张旭萃. 联合变换相关形态学处理可调节性研究. *光子学报*, 2005, **34**(3): 460~463
Yu Y, Zhang X P. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3): 460~463
- 李春, 安毓英, 曾晓东. 一种新的相位编码幅值调节联合变换相关器. *光子学报*, 2003, **32**(30): 327~331
Li C, An Y Y, Zeng X D. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(30): 327~331
- 任秀云, 程欣, 刘轩, 等. 基于空间光调制器的计算全息成像特性. *光子学报*, 2005, **34**(1): 110~113
Ren X Y, Cheng X, Liu X, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(1): 110~113
- 宋菲君, Jutamulia S. 近代光学信息处理. 北京: 北京大学出版社, 1998. 60~74
Song F J, Jutamulia S. *Advanced optical information processing*. Beijing: Peking university press, 1988. 60~74
- Lei F, Huang H G, Yoshikawa N, *et al.* Performance of binary joint transform correlator using linear combination threshold function. *Opt Commun*, 1999, **169**(10): 207~221
- Tan S, Young R C D, Budgett D M, *et al.* Performance comparison of a linear parametric noise estimation Wiener filter and non-linear joint transform correlator for realistic clutter backgrounds. *Opt Commun*, 2000, **182**(8): 83~90
- Chang S, Boothroyd S, Palacharla P, *et al.* Rotation-invariant pattern recognition using a joint transform correlator. *Opt Commun*, 1996, **127**(7): 107~116
- Page V, Goudail F. Phase encoding the input scene of an optical correlator in the presence of nonoverlapping noise. *Opt Commun*, 2000, **175**(2): 57~66

The Relation Between Output Correlation Spot Shape And Length Width Ratio of Input Correlation Image in The Joint Transform Correlation

Shen Xueju¹, Liu Bingqi¹, Wang Yongzhong¹, Gao Hongqi¹, Zhou Shuiqing²

¹ *Ordnance Engineering College, ShiJiaZhuang*, 050003

² *73037 Corps, Wuxi* 214064

Received date: 2005-03-03

Abstract The relation between output correlation spot shape and length width ratio of input correlation image was analyzed quantificationally by using of diffraction theory in the joint transform correlation. Through theoretical analysis and test research, conclusions show that with the input correlation image's length width ratio becoming smaller, the output correlation spot shape approaches circular spot and with the input correlation image's length width ratio becoming bigger, the output correlation spot shape departures circular spot.

Keywords Joint transform correlation; Length width ratio of input image; Correlation spot shape



Shen Xueju is an associate professor. He was born in 1963 and received the M. S. degree from Shandong University in 1989. His current research concentrates mainly on optical correlation recognition.