

二值化联合变换相关器

卢振武 姚 禾*

(应用光学国家重点实验室)

摘要: 对二值化联合变换相关器进行了理论分析和计算机模拟, 尤其是旋转和尺寸变化对联合变化相关峰值的影响。理论分析表明, 当存在旋转时, 适当引入一个尺寸变化, 对旋转会有某些抵消作用, 计算机模拟给出了与理论分析相符的结果。

一、引 言

近年来, 由于空间光调制器等光学实时器件的发展, 使得联合变换相关器愈来愈受到重视。因为它可以随意更换参考图像而省去了制作匹配滤波器的麻烦。一般来说, 联合变换相关器可由两个空间光调制器实时地实现。第一个空间光调制器作为实时输入器件, 把输入信号由非相干光转换为相干光, 第二个空间光调制器用来实时读出联合变换功率谱。可以在后一个空间光调制器上实行不同操作来实现对联合变换功率谱的各种不同非线性处理。许多研究者在功率谱的非线性处理方面做了大量的研究工作^{[1][2]}。无论在实验上或计算机模拟均已证明^{[3][4]}, 联合变换功率谱经二值化处理后, 与未经处理相比, 相关峰值有明显提高, 相关峰半宽度变窄, 相关峰与次峰的比值增大, 从而提高了判断灵敏度。各种外界影响, 如旋转、尺寸变化和背景噪音等对相关峰值的影响一直是研究者们所关注的问题。在以前的工作中, 人们只研究了单纯旋转或尺寸变化对联合变换相关的影响。给出了单一变化存在时, 联合变换对尺寸变化或旋转的最大允许值。我们在理论分析的基础上, 着重考虑了旋转和尺寸变化共同存在时对联合变换功率谱的影响。理论分析表明, 尺寸变化和旋转的共同存在会产生某些抵消作用。一般来说, 联合变换对尺寸变化的宽容度要大于对旋转的宽容度, 因此, 我们可对有旋转的目标图像适当引入一定的尺寸变化, 使其降低对角度变化的敏感性。我们用计算机对上述分析进行了模拟, 取得了与理论分析一致的结果。

二、理 论 分 析

在基本的联合变换相关器中, 参考图像 $r(x, y)$ 和未知的目标图像 $S(x, y)$ 同时输入到第一个空间光调制器上。若其中心相距为 $2x_0$ 。在 P_1 面上其透射率函数可以表示为

$$t(x, y) = r(x + x_0, y) + S(x - x_0, y) \quad (1)$$

经过傅立叶透镜, 在傅立叶透镜的后焦面上光强分布为

$$U(\alpha, \beta) = S(\alpha, \beta) \exp[i\phi_{S(\alpha, \beta)}] \exp(-ix_0\alpha)$$

注: *清华大学现代应用物理系

$$+ R_{(\alpha, \beta)} \exp[i\phi_{R(\alpha, \beta)}] \exp(ix_0\alpha) \quad (2)$$

式中 (α, β) 是傅立叶变换平面上的空间频率坐标 $S_{(\alpha, \beta)} \exp [i\phi_{S(\alpha, \beta)}]$ 和 $R_{(\alpha, \beta)} \exp [i\phi_{R(\alpha, \beta)}]$ 分别是 $S(x, y)$ 和 $r(x, y)$ 的傅立叶变换。

可用 CCD 摄像机接收联合变换功率谱:

$$I_{(\alpha, \beta)} = S_{(\alpha, \beta)}^2 + R_{(\alpha, \beta)}^2 + S_{(\alpha, \beta)} \exp[i\phi_{S(\alpha, \beta)}] R_{(\alpha, \beta)} \exp[-i\phi_{R(\alpha, \beta)}] \exp(-i2x_0\alpha) + S_{(\alpha, \beta)} \exp[-i\phi_{S(\alpha, \beta)}] R_{(\alpha, \beta)} \exp[i\phi_{R(\alpha, \beta)}] \exp(i2x_0\alpha) \quad (3)$$

经计算机处理后, 输入到第二个空间光调制器上, 由相干光读出, 经过第二个傅立叶透镜之后, 即可得到相关信号

$$h_{(\alpha, \gamma)} = R_{R, R(\alpha, \gamma)} + R_{S, S(\alpha, \gamma)} + R_{R, S(\alpha, \gamma)} + R_{S, R(\alpha, \gamma)} \quad (4)$$

式中前两项为零级项, 它们分别是参考图像和目标图像的自相关, 后两项分别为参考图像和目标图像的互相关, 分居零级两侧, 距零级为 $2x_0$ 。当参考图像与目标图像相同时, 后两项即为我们所感兴趣的自相关项。

为了提高相关峰值, 可对联合变换功率谱进行非线性处理。可以人为设置一个阈值, 当功率谱大于或等于阈值时为 1, 其它则为零, 即

$$G_{(\alpha, \beta)} \begin{cases} = 1, & I_{(\alpha, \beta)} \geq V_T \\ = 0, & I_{(\alpha, \beta)} < V_T \end{cases} \quad (5)$$

式中 V_T 为取阈的阈值。

三、旋转和尺寸变化对联合变换功率谱的影响

在实际应用中, 目标图像相对参考图像的尺寸变化和旋转都会引起相关峰值的下降。关于它们的影响, 在以前的工作中已经讨论的很详细了。但把二者联合起来考虑, 我们发现对有一定旋转的图像, 引入一个很小的尺寸变化, 会明显改变相关结果, 可以使联合变换相关对旋转的宽容度有所提高。这可以从旋转和尺寸变化共同存在时对联合变换所产生的干涉条纹的影响的分析中看出。在理想情况下, 两图像相同时联合变换功率谱会产生直线匀排干涉条纹, 且对比度处处为 1, 旋转和尺寸变化会导致对比度下降直至条纹消失。若 $S(x, y)$ 的傅立叶变换为 $S(\alpha, \beta)$, 当两图像有一相对转角 θ 时, 有转角的图像的傅立叶变换为^[5]

$$S_{\theta}(\alpha, \beta) = S(\alpha \cos \theta + \beta \sin \theta, \beta \cos \theta - \alpha \sin \theta) \quad (6)$$

在旋转角 θ 很小时

$$S_{\theta}(\alpha, \beta) \doteq S(\alpha + \beta \theta, \beta - \alpha \theta) \quad (7)$$

若图像放大了 B 倍, 则其振幅透射率为 $S(\frac{x}{B}, \frac{y}{B})$ 由傅立叶变换的相似性定理可知 $S(\frac{x}{B}, \frac{y}{B})$ 的傅立叶变换为

$$S_{B(\alpha, \beta)} = \frac{1}{B^2} S_{B\alpha, B\beta} \quad (8)$$

在旋转和尺寸变化共同存在的情况下, 图像的傅立叶变换为

$$S_{\theta, B(\alpha, \beta)} = \frac{1}{B^2} S_{(B\alpha + B\beta\theta, B\beta - B\alpha\theta)} \quad (9)$$

在 $|B-1|$ 很小时,令 $B=1+b$,在 $|ba|\ll 1$, $|b\beta|\ll 1$, $|\alpha\theta|\ll 1$ 和 $|\beta\theta|\ll 1$ 时,可在 α, β 的邻域内把 $S_{\theta, B(\alpha, \beta)}$ 展为泰勒级数,并忽略二次以上的高次项

$$S_{\theta, B(\alpha, \beta)} = \frac{1}{B^2} [S_{(\alpha, \beta)} + (\beta\theta + ba) \frac{\partial S}{\partial \alpha} + (b\beta - \alpha\theta) \frac{\partial S}{\partial \beta}] \quad (10)$$

在公式(10)中,第一项为信号项,在两图像相同时,它与参考图像产生直线匀排干涉条纹,后两项为噪音项,它们的存在使干涉条纹变差。当旋转角和尺寸变化为定值时,噪音与坐标成正比。而干涉条纹质量的好坏,直接影响着最后的相关结果。我们从公式(10)中的后两项可以看出当旋转和尺寸变化共同存在时,它们可以部分抵消,从而使联合变换相关对旋转的宽容度有所提高。

四、计算机模拟结果

在理论分析的基础上,我们用计算机进行了模拟。我们用Fortran语言编写了 128×128 点的快速傅立叶变换程序,最终结果由绘图仪绘出。

在模拟过程中,我们用“少”字作为输入,对旋转、尺寸变化以及它们共同存在时对相关峰产生的影响进行了研究。在第一次傅立叶变换之后,对联合变换功率谱进行了非线性处理,用功率谱各点强度的平均值的均值作为阈值,对功率谱进行二值化。

在绘图程序中,我们为了便于观测相关峰值,对零级作了截取处理。图1是理想情况下的计算机模拟结果,图2和图3分别是尺寸放大1.1倍和旋转 3° 时的相关结果。由比较可知,尺寸变化对相关峰值影响不是太大,而旋转则会对相关峰值产生比较严重的影响。图4是旋转 5° 、尺寸放大1.05倍时的相关结果,与只有旋转 3° 的相关结果比较,相关峰值并无明显下降,相关峰半宽度基本相同。图5和图6分别是旋转 7° 和旋转 7° 再加上1.1倍的尺寸放大后的计算机模拟结果。从图中可以看出,在有旋转的基础上,加入一定的尺寸放大,可使相关峰值有明显提高,从而增加了联合变换相关器对旋转的宽容度。图7和图8分别是旋转 9° 和旋转 9° 后再加上1.1倍的尺寸放大的相关结果。当只有旋转时,转角到 9° 时相关峰已经基本无法检测,但加上1.1倍的尺寸放大后,使相关峰值有了明显改善,与只有旋转 7° 时的相关峰值(图5)相仿。

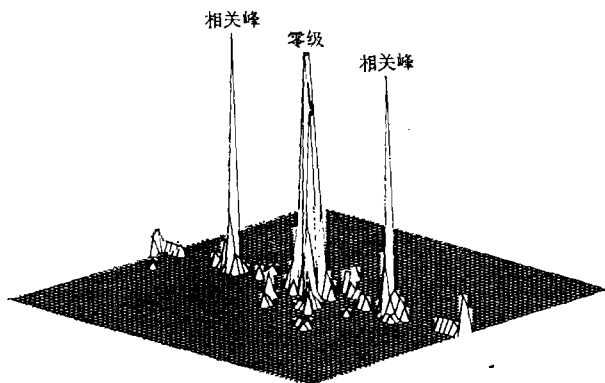


图1 理想情况下的相关结果

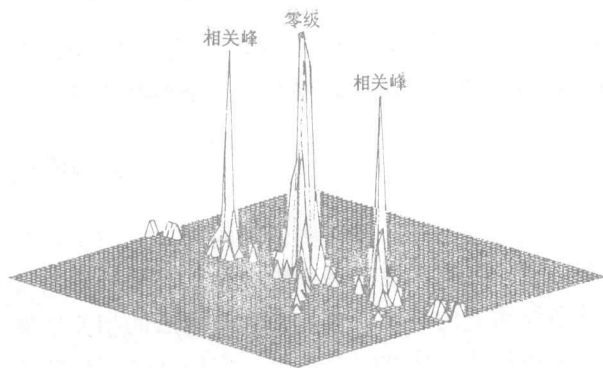


图2 尺寸放大1.1倍时的相关结果

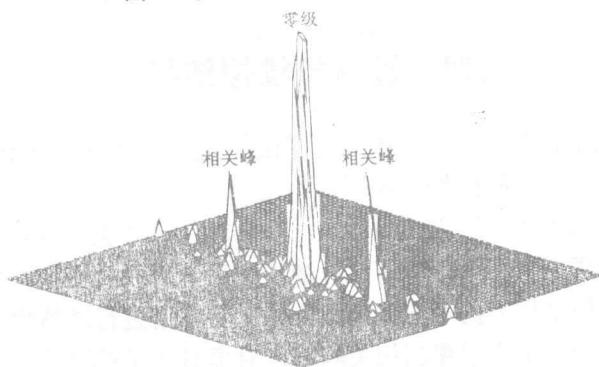


图3 旋转3°时的相关结果

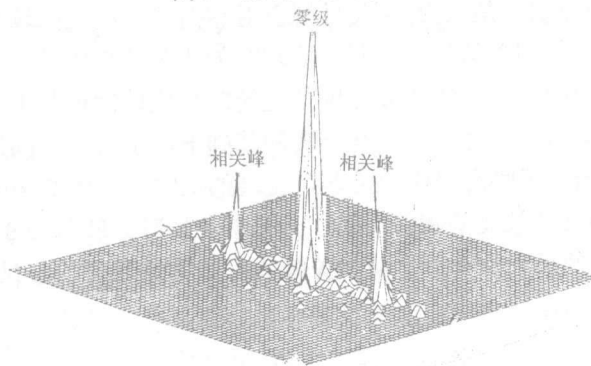


图4 旋转5°、放大1.05时的相关结果

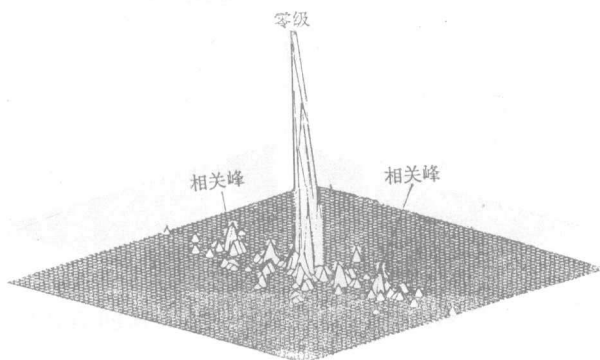


图5 旋转7°时的相关结果

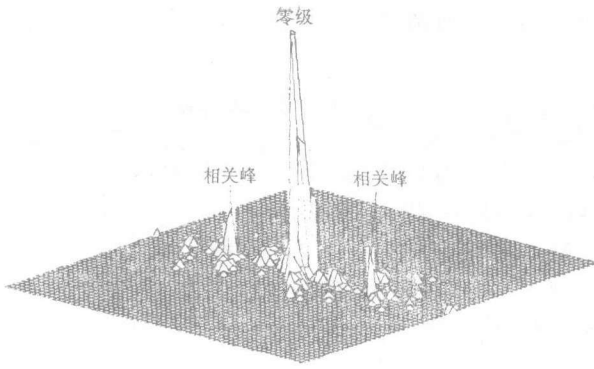


图6 旋转7°、放大1.1倍时的相关结果

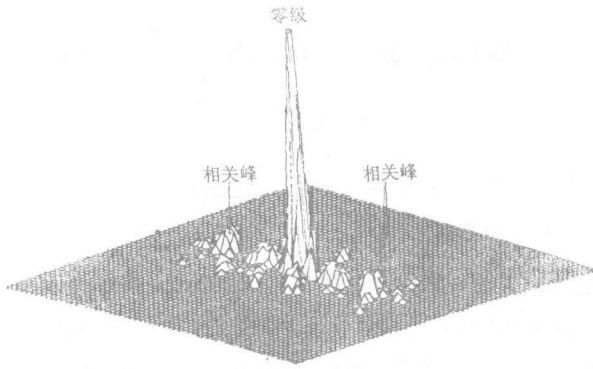


图7 旋转9°时的相关结果，

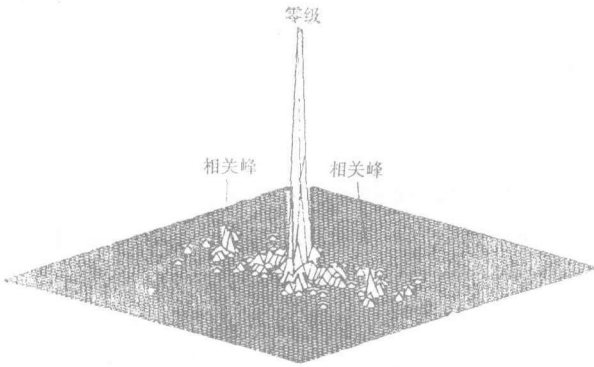


图8 旋转9°、放大1.1倍时的相关结果

五、结 论

我们研究了旋转和尺寸变化对联合变换相关峰值的影响，主要考虑了旋转和尺寸变化共同存在时相关峰值的变化情况。我们把具有相同的相对旋转时，无尺寸变化和有尺寸变化的情形作了比较研究，计算机模拟结果表明，在有旋转时，适当引入一个尺寸变化，可明显改善相关结果。因此，我们认为，在实际应用中，对目标图像施加一个小的尺寸变化，会使

联合变换对相对旋转的敏感性有所降低, 提高其实用性。

参 考 文 献

- [1] S. K. Rogers et al.; Opt. Eng., 29, (1990), 1088
- [2] B. Javidi; Appl. Opt., 28, (1989), 2358
- [3] B. Javidi et al.; Appl. Opt., 30, (1991) 967
- [4] K. H. Feilding et al.; Opt. Eng., 29, (1990), 1081
- [5] H. Weinberger et al.; Appl. Opt., 10, (1971), 2482

Binary Joint Transform Correlator

Lu Zhenwu, Yao He

Abstract

In this paper the computer simulation of binary joint transform correlation is presented and the effects of changes in scale and in plane rotation are discussed. Theoretic analysis shows that the tolerance of change in plane rotation can be increased if a small change in scale is introduced and the computer demonstrations are given.