文章编号: 1001-3806(2005)02-0180-03

一种分数相关尺度畸变不变识别新方法

李 俊, 王红霞*, 何俊发, 何 彬
(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘要: 推导了“菲涅耳衍射-透镜相位变换”及“透镜相位变换-菲涅耳衍射”两种光学单元所遵从的约束关系, 并基于此提出了一种分数相关尺度畸变不变识别方法。数值模拟试验结果表明, 对于一个尺度畸变的待识别输入, 当传统相关已无法正确识别时, 该方法仍能够较好地识别畸变目标。

关键词: 尺度畸变不变模式识别; 分数傅里叶变换; 分数相关; 光学模式识别
中图分类号: O438.2　　文献标识码: A

A new scale distortion invariant pattern recognition method by fractional correlation

LI Jun, WANG Hong-xia, HE Jun-fa, He Bin
(The Second Artillery Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract The constraints between two units are analyzed. Based on the results and fractional correlation theory, a new scale distortion invariant pattern recongnition method is proposed. Simulation results show that when a scale distortion input image can't be rightly recognized by the conventional correlation, it can be recognized well with the method.

Key words scale distortion invariant pattern recognition; fractional Fourier transform; fractional correlation; optical pattern recognition

引 言

光学模式识别是光学信息处理的重要研究领域之一。光学识别的基本单元是光学相关器, 传统的光学相关器都是基于傅里叶变换实现的。按频谱变换面能量分布对输入目标空间的平移变化的依赖关系来分, 光学相关器包括全空变和空不变两大类。无论全空变还是空不变相关器, 当待识别目标输入相对参考图像发生畸变后, 即使变化很小, 也会引起相关峰的较大改变, 从而不能识别或正确识别。目标图像的尺度畸变不变识别是光学不变识别的一个重要方面, 也是一个难点。人们提出的一些畸变不变识别方法如神经网络理论(NNT)[1]、圆谐展开(CHE)[2]、综合判别函数(SDF)[3]等在理论上能够大大提高畸变不变识别能力, 但在实际应用中各有其局限性。如全光神经网络的实现十分复杂, 目前尚属难能; 圆谐展开滤波器的制作强烈的依赖于展开中心的选取, 且无简单和一般的规律可以遵循; 综合判别函数滤波器的制作随着畸变模式的增加亦变得复杂且效率降低。

分数相关[4]是在近年发展起来的分数傅里叶变换[5,6]理论基础上提出的, 其实现结构简单, 能够优化相关面能量分布[7], 易于实现实时化处理, 从而得到了广泛的关注。作者基于两种简单的分数傅里叶光学变换单元能够实现分数傅里叶谱的尺度变换, 提出了一种尺度畸变不变光学识别方法, 数值模拟试验结果证实了其正确性。

1 理论描述

1.1 分数傅里叶变换及分数相关

设 $f_0(x, y)$, $g_0(x, y)$分别为目标输入图像和参考图像。分数傅里叶变换的数学定义[6]为:

$$F^{\alpha}(f_0) c^{1} \int_{-\infty}^{\infty} f_0(x, y) \exp\left\{ \frac{i\pi}{\lambda f_e}\left[\frac{(x^2 + u^2 + y^2 + v^2)}{\tan\varphi} - \frac{2(xu + yv)}{\sin\varphi}\right]\right\} dx \quad (1)$$

式中, $\varphi = \alpha\pi/2$, f_e 是标准焦距。

传统的相关定义为:

$$COR(x, y) = \iint F(u, v) G^{*}(u, v) \times \exp[i2\pi(ux + vy)] du dv \quad (2)$$

式中, $F(u, v)$, $G(u, v)$分别为 $f_0(x, y)$, $g_0(x, y)$的傅里

作者简介: 李 俊(1978-), 男, 博士研究生, 主要从事光学信息处理和功率超声方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: redlightw@163.com

收稿日期: 2004-03-02; 收到修改稿日期: 2004-06-21

叶变换。

对比于传统的相关定义, 分数相关定义的形式是一致的, 只需将传统相关定义式中傅里叶变换用分数傅里叶变换替代即可:

$$C_{\alpha_1\alpha_2\alpha_3}(x,y) = \iint F^{\alpha_1}(u,v)G^{\alpha_2}(u,v) \times \exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda f_e}\left[\frac{(x^2+u^2+y^2+v^2)}{\tan\frac{\alpha_3\pi}{2}} - \frac{2(xu+yv)}{\sin\frac{\alpha_3\pi}{2}}\right]\right\}\mathrm{d}u\,\mathrm{d}v \quad (3)$$

从(3)式可看到, 分数相关有 3个参数 α_1, α_2, α_3, 当 $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$, $\alpha_3 = -1$时, (3)式即转化为全空变相关, 当 $\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = -1$, $\alpha_3 = -1$时, 即为空不变相关。为了优化相关峰, 这 3个参数的选择应满足条件式[7~9]:

$$\alpha_1 = -\alpha_2,\ \alpha_3 = -1 \quad (4)$$

1.2 分数傅里叶变换谱尺度变换的实现

分立光学元件实现分数傅里叶变换的最基本单元中, 一次菲涅耳衍射和一次透镜相位变换过程是必不可少的[10,11]。下面分析这一最基本的变换单元, 将可以看到它能够实现分数傅里叶变换谱的尺度变换。按菲涅耳衍射、透镜相位变换发生的先后顺序, 可以将实现单元分为两类, 分别如图 1a、图 1b所示。

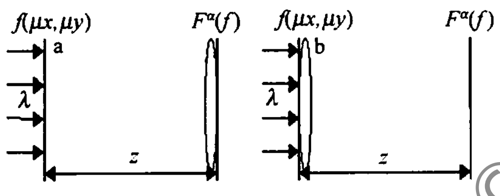

Fig. 1 Two basic units for performing optical frft
a—$f_e = z\mu^2\cot\varphi$, $z = f\sin^2\varphi$ b—$f_e = z\nu^2\cot\varphi$, $z = f\sin^2\varphi$

为方便推导, 下面以一维为例。设变换输入图像带一尺度因子, 即输入为 $f(x_0) = f(\mu x)$, 变换后的结果为 $g(\xi_0) = g(\nu\xi)$。图 1a中的光学过程如下:

$$g(\xi_0) = g(\nu\xi)\left\{\int_{-\infty}^{\infty} f(x_0)\exp\left[\frac{i\pi(x-\xi)^2}{\lambda z}\right]\mathrm{d}x\right\} \times \exp\left[\frac{-i\pi}{\lambda f}\xi^2\right] = \left\{\int_{-\infty}^{\infty} f(x_0)\exp\left[\frac{i\pi(x_0/\mu - \xi_0/\nu)^2}{\lambda z}\right]\mathrm{d}x\right\} \times \exp\left[\frac{-i\pi}{\lambda f\nu^2}\xi_0^2\right] = \frac{1}{\mu}\left\{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x_0)\exp\left[\frac{i\pi f x_0^2}{\lambda z f\mu^2} + \frac{i\pi(f-z)\xi_0^2}{\lambda z f\nu^2}\right]\exp\left[\frac{-i2\pi x_0\xi_0}{\lambda z\mu\nu}\right]\mathrm{d}x_0\right\} \quad (5)$$

将上式同分数傅里叶变换的(1)式相比可以得知, 上式要能够完成分数变换必须满足下列方程组:

$$\begin{cases} \dfrac{f}{\lambda z f\mu^2} = \dfrac{f-z}{\lambda z f\nu^2} \\ z\mu\nu = f_e\sin\varphi \\ \dfrac{1}{\lambda z\mu^2} = \dfrac{1}{\lambda f_e\tan\varphi} \end{cases} \quad (6)$$

由(6)式可得:

$$\begin{cases} \nu = \mu\cos\varphi \\ f_e = z\mu^2\cot\varphi \\ z = f\sin^2\varphi \end{cases} \quad (7)$$

对图 1b的光学过程作类似推导(简单的从光路可逆原理亦可得出), 可以得出, 只需将 μ, ν互换即可得条件式:

$$\begin{cases} \mu = \nu\cos\varphi \\ f_e = z\nu^2\cot\varphi \\ z = f\sin^2\varphi \end{cases} \quad (8)$$

从(7)式, (8)式可以看出, 用一简单的傅里叶变换透镜即可实现分数傅里叶变换谱的尺度变换。特殊情形: 图 1a中, 当 $\mu = 1/\cos\varphi$时, $\nu = 1$; 图 1b中, $\mu = \cos\varphi$时, $\nu = 1$。可以方便地通过对参数 z的调节来控制分数傅里叶变换级数, 进而影响到输出尺度因子。从这里能够自然想到, 对一个尺度畸变的输入, 如果能使其分数傅里叶变换谱的尺度因子同参考输入的尺度因子相同, 这时是可能实现尺度畸变不变识别的。下面将以数值模拟试验进行验证。

2 数值模拟试验及讨论

从(7)式、(8)式可以看出, 对一定的 μ值, 因为 $|\cos\varphi| \leqslant 1$, 在图 1a的光路下, $|\nu| \leqslant |\mu|$, 即相对于输入, 输出变换谱是尺度缩小的; 在图 1b的光路下, $|\nu| \geqslant |\mu|$, 即相对于输入, 输出变换谱是尺度放大的。选择变换级次即可控制输出变换尺度。基于匹配滤波结构, 对尺度畸变的输入识别进行数值模拟, 采用二维离散分数傅里叶变换进行计算[12]。令 $\nu = 1$, 对一个放大的输入, 由(7)式知, 此时 $\cos\varphi = 1/\mu$, 在图 1a的光路中, 将输入置于 $z = f(1 - 1/\mu^2)$处即可; 同样, 对一个缩小的输入, 由(8)式知, 此时 $\cos\varphi = \mu$, 在图 1b的光路中, 只需将输入置于 $z = f(1 - \mu^2)$处即可实现。对于一个待识别的输入, 事实上并不知道其尺度因子 μ, 故而 z不能立即定位。参考图像为 128 × 128像素的图片, 如图 2a所示, 图 2b、图 2c分别是尺度因子为 1.2, 0.8的畸变输入。依据(7)式对图 2b实施级次为 0.373的分数变换, 制作相应的匹配滤波器, 进行匹配

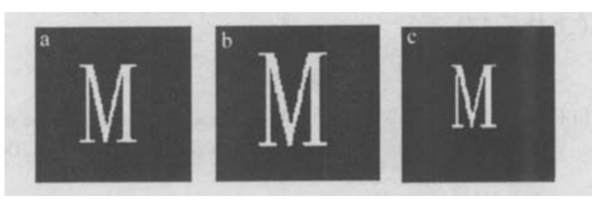

Fig. 2 a—undistorted image b—scaled with a factor 1.2 c—scaled with a factor 0.8

滤波相关, 得出的试验结果如图 3所示, 和传统相关做了比较; 依据(8)式对图 2c实施级次为 0.41的分数变换, 制作相应的滤波器, 进行匹配滤波相关, 得出的试验结果如图 4所示, 和传统相关图像亦作了比较。

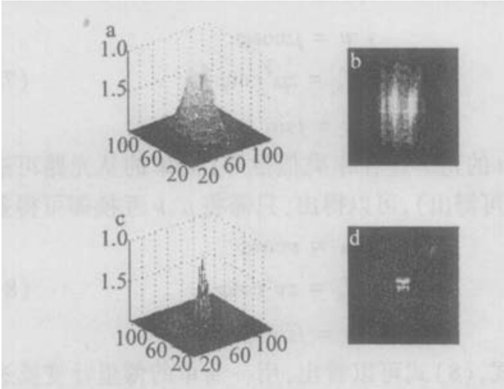

Fig. 3 Correlation peaks of the scaled image with a factor 1.2
a, b— classical correlation c, d— fractional correlation

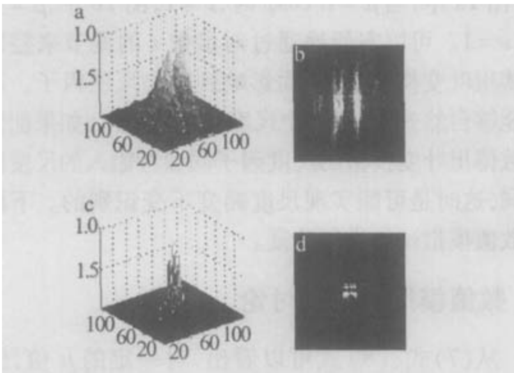

Fig. 4 Correlation peaks of the scaled image with a factor 0.8
a, b— classical correlation c, d— fractional correlation

从试验结果可以看出，对于尺度畸变的输入，传统相关有很宽的旁瓣，而分数相关则具有比较尖锐的相关峰值。当尺度畸变幅度增大，在仍然设定 $\nu=1$ 的情形下，由(7)式、(8)式决定的相应分数级次将趋近于 1，则分数相关趋近于传统相关，不变识别性能下降。这是因为：在放大情形时 $\cos\varphi=1/\mu$，当 $\mu\to\infty$，$\cos\varphi\to0$，在缩小情形时 $\cos\varphi=\mu$，$\mu\to0$，$\cos\varphi\to0$。一定的 z 值对应一定级次的匹配滤波器。

3 结 论

图 1所示的“菲涅耳衍射-透镜相位变换”、“透镜相位变换-菲涅耳衍射”光学单元能够实现分数傅里叶变换谱的尺度变换，且分别满足(7)式、(8)式约束关系。基于此，提出了一种分数傅里叶相关的尺度畸变不变识别方法，并用数值模拟试验进行了验证。结果表明，此时分数相关能够获得远远较传统相关尖锐的相关峰，使得尺度畸变不变识别的精度大大提高。在这种方法中，物体的尺度畸变因子和 z 值相对应，而相应的 z 值决定了匹配滤波器变换级次。

参 考 文 献

[1] ROTH M W. Survey of neural network technology for automatic target recognition [J]. IEEE Trans Neural Net, 1990, 1(1): 28~43.

[2] HSU Y N, ARSENAULT H H. Optical pattern recognition using circular harmonic expansion [J]. Appl Opt, 1982, 21(22): 4016~4019.

[3] CASASENT D. Unified synthetic discrimination function computational formulation [J]. Appl Opt, 1984, 23(10): 1620~1627.

[4] MENDLOVIC D, OZAKTAS H M, LOHMANN A W. Fractional correlation [J]. Appl Opt, 1995, 34(2): 303~309.

[5] MENDLOVIC D, OZAKTAS H M. Fractional Fourier transforms and their optical implementation [J]. J O S A, 1993, A10(9): 1875~1881.

[6] LOHMANN A W. Image rotation, wigner rotation and the fractional Fourier transform [J]. J O S A, 1993, A10(10): 2181~2186.

[7] BITRAN Y, ZALEVSKY Z, MENDLOVIC D *et al*. Fractional correlation operation performance analysis [J]. Appl Opt, 1996, 35(2): 297~303.

[8] LOHMANN A W, ZALEVSKY Z, MENDLOVIC D. Synthesis of pattern recognition filters for fractional Fourier processing [J]. Opt Commun, 1996, 128(4/6): 199~204.

[9] HAN L, LIU Sh T, WANG Q *et al*. The performance of fractional correlation applied in distortion-invariant pattern recognition [J]. Acta Photonica Sinica, 2000, 29(2): 131~136.

[10] HUA J W, LIU L R, LI G Q. Some basic fractional Fourier transform units [J]. Acta Optica Sinica, 1997, 17(8): 1040~1044.

[11] 李 俊，何俊发，王红霞. 分数傅里叶变换的光学实现 [A]. 第16届全国红外科学技术交流会论文集 [C]. 武汉：红外与激光工程编辑部，2003. 765~768.

[12] CANDAN C, KUTAY M A, OZAKTAS H M. The discrete fractional Fourier transform [J]. IEEE Trans Signal Processing, 2000, 48(5): 1329~1337.

（上接第 171页）

参 考 文 献

[1] GERCHBERG R W, SAXTON W O. A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plan pictures [J]. Optik, 1972, 35: 237~246.

[2] KOPP C. Efficient beam shaper homogenizer design combining diffractive optical elements, microlens array and random phase plate pure [J]. Appl Opt, 1999(1): 398~403.

[3] FIENUP J R. Iterative method applied to image reconstruction and to computer generated holograms [J]. Opt Engng, 1980, 19: 297~306.

[4] YANG G Zh, DONG B Zh, GU B Y *et al*. Gerchberg-Saxton and Yang-Gu algorithms for phase retrieval in a nonunitary transform system: a comparison [J]. Appl Opt, 1994, 33(2): 209~218.

[5] DUPARRE M, GOLUB M A, LYDGE B *et al*. Investigation of computer-generated diffractive beam shapers for flattening of single-modal CO_2 laser beams [J]. Appl Opt, 1995, 34(14): 2489~2497.

[6] SOIFER V A, GOLUB M A. Diffractive micro-optical element with non-point response [J]. Proc SPIE, 1992, 1975: 140~151.

[7] JAROSZEWICZ Z, KOLODZIEJCZYK A, MOURIZ D. Generalized zone plates focusing light into arbitrary line segments [J]. Journal of Modern Optics [J]. 1993, 40(4): 601~612.

[8] SHEALY D L. Theory of geometrical methods for design of laser beam shaping systems [J]. Proc SPIE, 2000, 4095: 1~15.