文章编号：1002-2082(2009)05-0783-04

傅里叶-梅林变换（FMT）在畸变-不变图像识别中的应用

吕占伟，邓传加
（中国人民解放军91550部队 装备部，辽宁 大连 116023）

摘 要：针对尺度缩放和角度旋转变化目标相关识别率低的问题，在联合相关识别中加入傅里叶-梅林变换方法。采用傅里叶-梅林变换（FMT）中的对数极坐标变换、梅林变换、傅里叶变换具有的旋转、尺度、平移（RST）不变性，可以提高JTC图像识别的性能，实现畸变-不变图像的识别。利用联合变换相关器对角度旋转0°～40°、尺度变化0～20%的目标进行计算机仿真实验。实验结果表明：在JTC中采用FMT可以实现畸变-不变图像的识别。

关键词：傅里叶变换；梅林变换；对数极坐标变换；傅里叶-梅林变换；联合变换相关
中图分类号：TN911.73 **文献标志码**：A

Application of Fourier-Mellin transformation (FMT) in distortion-invariant image recognition

Lü Zhan-wei, DENG Chuan-jia
(Unit 91550 of PLA, Dalian 116023, China)

Abstract: Fourier-Mellin transformation (FMT) was added in the optical joint transform correlator (JTC) recognition of the rotating and rescaling targets to overcome the low recognition ratio. The log? polar transformation, Mellin transformation and Fourier transformation used respectively in the Fourier-Mellin Transformation (FMT), which has the invariance of rotation, scale and translation (RST), can eliminate the effect of distortion and improve the performance of image recognition. The simulation experiment of the correlation recognition for the targets with rotation angle of 0—40° and the dimension variation range of 0—20% was carried out with JTC. In comparison with the results of FMT, it is found that FMT added to JTC can realize the distortion-invariant image recognition.

Key words: Fourier transformation (FT); Mellin transformation (MT); log-polar transformation (LPT); Fourier-Mellin transformation (FMT); joint transform correlation (JTC)

引言

光学模式识别是傅里叶光学重要研究领域之一，目前主要有光学相关和光学神经网络两类实现方法。光学图像的相关识别有两类基本方法：其一是Vanderlugt相关器（vanderlugt correlator, VLC），其二是联合变换相关器（joint transform correlator，JTC），它们都具有并行性、速度快和容量大等优点。联合变换相关方法由C. S. Weaver和J. W. Goodman于1966年提出。20世纪80年代后期，由于实时光电转换器件的发展，给这种方法带

收稿日期：2008-12-14； **修回日期**：2009-04-03
作者简介：吕占伟（1974—），男，山东海阳人，中国人民解放军91550部队装备部工程师，主要从事装备试验方面的研究工作。E-mail：vanhelman@163.com

来了新的活力。由于光学相关4f系统的结构简单、输出结果明了,因而JTC成为实现光学模式识别的一种重要方法[1]。但是,联合变换相关器对输入目标特征的畸变(诸如尺度和旋转变化)十分敏感,识别目标特征的较小变化都会引起相关峰的较大改变,从而对识别结果的判读带来困难。在实际应用中,这些畸变是经常存在的,因此寻找畸变不变相关方法就成为模式识别领域中的重要研究课题。为了使光学相关识别系统具有鲁棒性,常用的解决方法有梅林变换、圆谐展开、综合鉴别函数、MACH算法、神经网络方法等[2]。O'Ruanaidh等人提出了基于Fourier-Mellin(FMT)变换的算法。该方法将傅里叶变换与LPM(Log Polar Map)相结合,从而实现RST不变性[3]。

本文在JTC中做傅里叶-梅林变换,采用快速FMT变换算法。该算法首先对图像离散傅里叶变换的幅度谱采样,然后进行LPM,再对其结果进行傅里叶变换就可以得到FMT,接着再进行联合变换相关,实现图像畸变-不变识别。

1 傅里叶-梅林变换

1.1 梅林变换的定义及相关性质

本文对于连续信号$f(x,y)$,定义它的梅林变换为

$$M(u,v)=\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}f(x,y)x^{-ju-1}y^{-jv-1}\mathrm{d}x\mathrm{d}y \quad x,y>0 \tag{1}$$

梅林变换所具有的一个重要性质是尺度不变性,即函数$f(t)$和进行尺度伸缩后的函数$f(at)$在梅林变换下与原函数的梅林变换保持不变。以一维函数$f(t)$为例,函数的梅林变换为

$$M(z)=\int_0^{\infty}f(t)t^{z-1}\mathrm{d}t \quad z=\sigma+j\omega \tag{2}$$

令$t=T\mathrm{e}^{x}$,则

$$M(z)=\int_{-\infty}^{+\infty}f(T\mathrm{e}^{x})T^{z-1}\mathrm{e}^{x(z-1)}T\mathrm{e}^{x}\mathrm{d}x=T^{z}\int_{-\infty}^{+\infty}f(T\mathrm{e}^{x})\mathrm{e}^{xz}\mathrm{d}x \tag{3}$$

对于$f(kt)$,同样有

$$M'(z)=\int_{-\infty}^{+\infty}f(kT\mathrm{e}^{x})\mathrm{e}^{xz}\mathrm{d}x=\int_{-\infty}^{+\infty}f(T\mathrm{e}^{x+\ln k})\mathrm{e}^{xz}\mathrm{d}x \tag{4}$$

令$y=x+\ln k$,则

$$M'(z)=\int_{-\infty}^{+\infty}f(T\mathrm{e}^{y})\mathrm{e}^{(y-\ln k)z}\mathrm{d}y=k^{-z}M(z) \tag{5}$$

若选取$\sigma=0$,则$|M(z)|=|M'(z)|$,以上证明了梅林变换的尺度不变性。

图1给出了实际变换的结果(横坐标为信号位置坐标)。从理论上讲,原始信号与其线性尺度变换的信号应有完全相同的梅林变换谱。然而在实际仿

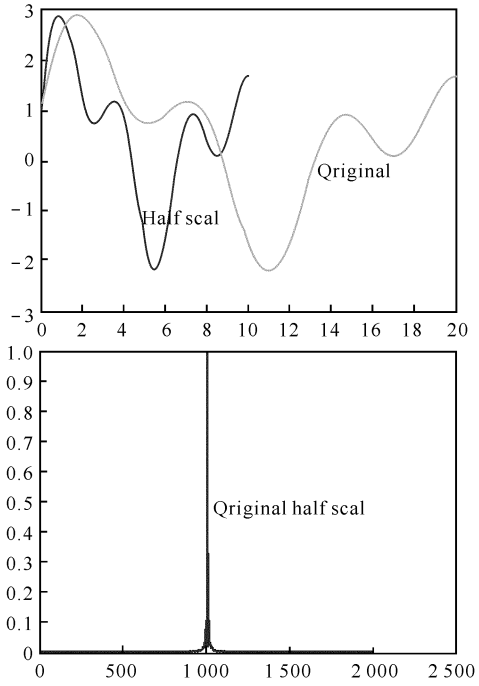


图1 原始信号和半尺度信号的梅林变换曲线

Fig. 1 Mellin transform curves of original and half-scale signals

真中,上图所示的半尺度信号只提取了原始信号的某些点,造成信息丢失,所以它们两者的梅林变换存在一定的起伏变化。在此z取虚数,有以下的梅林变换定义:

$$M(\mathrm{z}_1,\mathrm{z}_2)=\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}f(x,y)x^{z_1-1}y^{z_1-1}\mathrm{d}x\mathrm{d}y \quad x,y>0 \tag{6}$$

$$M(u,v)=\int_0^{\infty}\int_0^{\infty}f(x,y)x^{-ju-1}y^{-jv-1}\mathrm{d}x\mathrm{d}y \quad x,y>0 \tag{7}$$

转化成极坐标系,有

$$M\{f(r')\}=\int_0^{\infty}f(r')r'^{-ju-1}\mathrm{d}r'$$

将$r'=e^{r}$, $\mathrm{d}r'=\mathrm{e}^{r}\mathrm{d}r$

$$M\{f(\mathrm{e}^{r})\}=\int_0^{\infty}f(\mathrm{e}^{r})\mathrm{e}^{-jur}\mathrm{d}r \tag{8}$$

这是一个典型的傅里叶变换。我们可以将笛卡尔坐标系下的图像进行对数极坐标变换,再进行傅里叶变换,就可以得到梅林变换[4]。

1.2　验证傅里叶-梅林变换对消除平移和尺度因子的影响

以一维举例,$f(at-b)$ 的傅里叶变换为

$$F(\omega,a,b)=\int_0^{\infty} f(at-b)\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\omega t}\mathrm{d}t=\frac{1}{|a|}\mathrm{e}^{-\mathrm{j}\frac{b}{a}\omega}F(\frac{\omega}{a}) \tag{9}$$

取模

$$|F(\omega,a,b)|=\frac{1}{|a|}\left|F(\frac{\omega}{a})\right| \tag{10}$$

从上式可以看出,傅里叶变换的模已经与时移因子 b 无关,所得到的 $\left|F(\frac{\omega}{a})\right|$ 可以通过上面讨论的梅林变换消除尺度因子影响。对 $\frac{1}{a}\left|F(\frac{\omega}{a})\right|$ 做梅林变换,有

$$M(z,a)=\int_0^{\infty}\frac{1}{a}\left|F(\frac{\omega}{a})\right|\omega^{z-1}\mathrm{d}\omega=a^{z-1}M(z) \tag{11}$$

取模得:

$$|M(z,a)|=a^{z-1}|M(z)| \tag{12}$$

由此可看出,线性畸变的信号 $f(at-b)$ 经过归一化处理、傅里叶变换和梅林变换后,除了一个幅度因子的差别外,变换结果与平移和尺度因子均无关[4-5]。

2　计算机模拟实验

2.1　傅里叶-梅林变换后作联合变换

由于图像旋转和变化无形中改变了图像数据的大小,因此傅里叶-梅林变换有出入,再加上插值的影响,最后模拟的结果并不如意。也不能将变化的图像转化成一样的,最后相关结果证明了这一点。

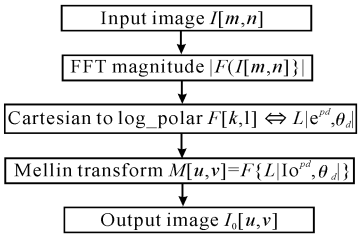
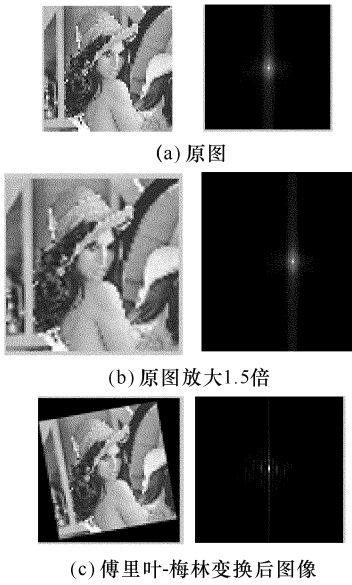


图2　傅里叶-梅林变换流程

Fig. 2　Flow chart of Fourier-Mellin transformation

2.2　傅里叶-梅林变换前后性能比较

以图3是做傅里叶-梅林变换前后,目标图像与原图像做联合变换相关的比较。



(a) 原图

(b) 原图放大1.5倍

(c) 傅里叶-梅林变换后图像

图3　原图像放大1.5倍图像及旋转10°图像的傅里叶-梅林变换

Fig. 3　Fourier-Mellin transformation of 1.5 factor and 10°rotation images of original image

图4、图5和图6说明,傅里叶-梅林变换在旋转和尺度变换图像识别中发挥了作用。不做变换图像旋转后比做变换的图像相关性明显下降。从理论上来讲,做过FMT的相关峰值应该保持不变,但是模拟过程中图像旋转后得到的图像的一些数值是由插值得到的,从某种程度上增加了原来信息的丢失和失真。因此,在模拟梅林变换的相关运算中,曲线出现轻微下降,但不能否认傅里叶-梅林变换对消除图像的旋转、尺度变换引起识别误判的作用[6]。同时,因为在图像旋转过程中也增加了平移。图4、

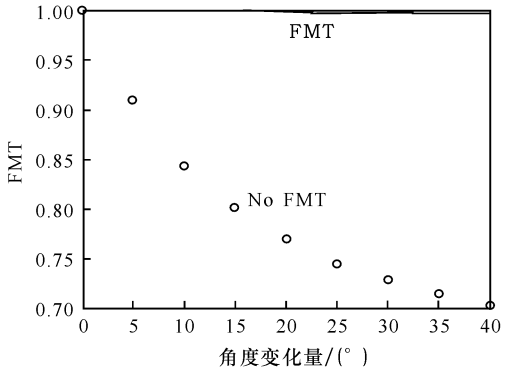


图4　图像旋转0°～40°不做FMT与做FMT归一化的互相关峰变化曲线

Fig. 4　Cross-correlating peak variation as image is rotated from 0°～40°with and without FMT normalization

图5和图6也证明傅里叶-梅林变换对消除平移的影响具有很重要的作用。

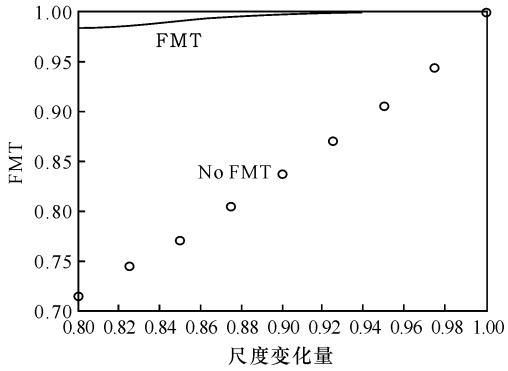


图5 图像尺度变化从0.8～1不做FMT与做FMT归一化的互相关峰变化曲线

Fig. 5 Cross-correlating peak variation as image scale is changed from 0.8～1 with and without FMT normalization

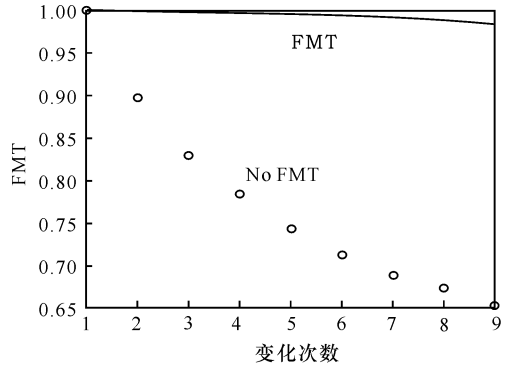


图6 图像由不变到每次旋转10°,不做FMT与做FMT归一化的互相关峰变化曲线

Fig. 6 Cross-correlating peak variation with and without FMT normalization (Image is reduced by one-fortieth as it rotates 10°each time)

3 结论

由上述讨论可见,傅里叶-梅林变换对消除图像的平移、旋转、尺度变换引起的识别误判是有很积极的作用的。这样我们就可以在图像相关识别前加上FMT以增加图像识别的精度。同时,我们也看到图像的傅里叶-梅林变换在数字模拟中有出入,主要是由于图像在转变时出现了信息丢失,但这并不影响傅里叶－梅林变换在畸变不变图像识别中的作用。

参考文献:

[1] 苏显渝,李继陶. 信息光学[M]. 北京:科学出版社,1999.
SU Xian-yu. LI Ji-tao. Information optics [M]. Beijing: Science Publishing Company, 1999. (in Chinese)

[2] YAN Jiang-jiang, DING Ming-yue, ZHOU Cheng-ping. A fast target recognition algorithm based on LPT[J]. Caai Transactions on Intelligent Systems, 2008,3(4):370-376.

[3] 吴伟,周金鹏,王省书,等. 用于畸变目标相关识别的匹配滤波器设计[J]. 应用光学,2009,30(1):11-15.
WU Wei, HOU Jin-peng, WANG Xing-shu, et al. Design of matched filters for image correlation recognition of distortion targets [J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(1): 11-15. (in Chinese with an English abstract)

[4] 王玉荣. 山东大学信息光学精品课程电子教案[M/OL]. 济南:山东大学,2005.
WANG Yu-rong. Information optics courses e-lesson plans, Shandong University[M/OL]. Jinan: Shandong University, 2005. http://202.194.26.42/info-optics/Optics/ShowArticle.asp?ArticleID=463 (in Chinese)

[5] 谢敬辉,王旦福,张浩. 应用综合鉴别函数实现畸变不变图像识别[J]. 北京理工大学学报, 2007, 27(10):915-927.
XIE Jing-hui, WANG Dan-fu, ZHANG Hao. Distortion invariant pattern recognition in terms of synthetic discriminant function[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2007, 27(10): 915-927. (in Chinese with an English abstract)

[6] 谢嘉宁, 黄义清, 张潞英. 基于Matlab的图像联合变换相关识别的实现[J]. 佛山:佛山科学技术学院学报:自然科学版,2006,24(4):20-22.
XIE Jia-ning, HUANG Yi-qing, ZHANG Lu-ying. Optical joint transform of related principles for recognition based on Matlab[J]. Journal of Foshan University: Natural Science Edition, 2006, 24(4): 20-22. (in Chinese with an English abstract)