

文章编号: 0258-7025(2009)02-0421-05

梅林变换在光电混合目标探测技术中的应用

陈 宇 苗 华 郎 琪 邹 昕 王文生

(长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要 利用透镜的傅里叶变换性质,并采用电寻址液晶等关键器件,研制成功光电混合联合变换相关器,实现了对复杂背景目标的准实时探测和精确定位。相对于传统的 $4f$ 系统,具有识别精度高、识别速度快等特点。由于从图像传感器采集到的运动目标图像信息含有各种畸变形式(如位移、旋转、比例等),使得运动目标实时自动识别与跟踪变得困难。提出了梅林(Mellin)变换的方法,对梅林变换的原理及算法进行了深入研究,并进行了光学实验,得到了较好的实验效果,解决了目标尺寸不变问题。作为实例,给出了高空拍摄的航空图片的实验结果。目标的大小是模板的 150%,经梅林变换处理后得到了较强的相关输出,该算法在光电混合目标探测领域具有一定的实际应用意义。

关键词 傅里叶光学; 联合变换相关器; 梅林变换; 尺寸不变

中图分类号 O438 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093602.0421

Application of Mellin Transform in Opto-Electronic Hybrid Target Detection Technology

Chen Yu Miao Hua Lang Qi Zou Xin Wang Wensheng

(School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

Abstract Opto-electronic hybrid joint transform correlator is developed successfully utilizing the Fourier transform feature of lens and adopting key devices such as electrical addressed liquid crystal device (EALCD), which can realize quasi-real-time detection and precise location of targets with cluttered background. Compared to $4f$ system, it has the advantages of high identification accuracy, fast recognition speed and so on. However, the image information of moving targets collected from image sensor contains various forms of distortion (such as displacement, rotation and scale, etc.), which makes it difficult to realize automatic real-time recognition and tracking of moving targets. In this paper, the method of Mellin transform is proposed. The theory and algorithm of Mellin transform are studied deeply and computer simulation experiments and optical experiments are also conducted with good results. This solved the problem of scale invariable. As an example, the experiment results of aerial images taken at high altitudet are given. The size of target is 150% of the template. Brighter correlation peaks are obtained after Mellin transform. The algorithm has strong practical application significance in the field of opto-electronic hybrid target detection.

Key words Fourier optics; joint transform correlator; Mellin transform; scale invariable

1 引 言

应用光电混合联合变换相关器进行目标自动识别、探测和定位技术是一项高新技术。其基本原理是所有采样点并行处理,利用光学联合傅里叶变换和光学相关运算等现代光学新技术,实现图像信号的傅里

叶变换、相关运算;并利用计算机对变换信号进行非线性数字滤波等处理,使现代光学测试技术、计算机技术和现代探测技术融为一体,实现对目标图像的探测、识别和高精度定位,具有广泛的实际意义和应用前景。例如军事上空间制导、目标跟踪、工业上机器

收稿日期: 2008-08-17; 收到修改稿日期: 2008-10-16

基金项目: 总装备部预研究局十一五(51317×××105)资助课题。

作者简介: 陈 宇(1978-),男,博士研究生,讲师,主要从事现代光学测试方面的研究。

E-mail: portlanduse2@yahoo.com.cn

导师简介: 王文生(1943-),男,教授,博士生导师,主要从事现代光学测试方面的研究。E-mail: wwsciom@163.com

视觉、自动化、检测及图片处理、医学上恶性肿瘤细胞识别等。光电混合联合变换相关器具有高速并行性、功耗低、体积小、重量轻、速度快、容量大等优点,是实现自动目标识别的最佳途径之一^[1,2]。

从图像传感器采集到的运动目标图像信息含有各种畸变形式,如平移、旋转、比例变化等。这种畸变使运动目标实时自动识别与跟踪变得困难,不能直接得到相关点或者得到的相关点对比度不高。降低光学相关器对图像失真的敏感程度是实时光学图像识别系统能否实用的关键,对光学畸变不变图像识别方法的研究一直是该领域研究的关键技术之一^[1~12]。

梅林(Mellin)变换具有尺度不变性,而傅里叶变换自身具有平移不变性,所以进行梅林变换能够同时获得平移、尺度不变性。文中应用梅林变换后的图像做相关输入大大降低了相关对失真的灵敏度。

2 基本原理

联合变换相关的主要特征是参考图像与目标图

像同时输入到光学运算系统,在第一个傅里叶变换平面上记录联合变换功率谱,该功率谱经过第二次傅里叶变换后,获得一对相关输出^[2]。

将准直的相干单位振幅光入射到物体 $w(x, y)$ 上,物体被写入光空间调制器,设输入图像为

$$w(x, y) = t(x, y) + h(x, y), \quad (1)$$

式中 $t(x, y)$ 为目标图像, $h(x, y)$ 为复杂背景图像,另设参考模板为 $r(x, y)$ 。通过目标 $t(x, y)$ 与参考模板 $r(x, y)$ 的光学相关得到的相关峰函数 $r \otimes t$ 或者 $t \otimes r$, 可以确定目标 $t(x, y)$ 在输入图像 $w(x, y)$ 中的确切位置。

对目标与参考模板的联合图像进行傅里叶变换。如图 1 所示, L 为傅里叶变换透镜,待识别图像(已经二值化) $t(x, y)$ 置于输入平面的一侧,其中心位置 $(a, 0)$, 参考图像 $r(x, y)$ (二值化的) 置于输入平面的另一侧,中心位于 $(b, 0)$ 。用准直的激光光束照明,并通过透镜进行傅里叶变换。在透镜的后焦面上的振幅分布为

$$F(u, v) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} [t(x-a, y) + r(x-b, y)] \exp\left[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (xu + yv)\right] dx dy, \quad (2)$$

式中 λ 是照明激光的波长, f 是傅里叶变换透镜的焦距。

若将一个平方律探测器 CCD 放在傅里叶变换透镜(FTL)的后焦平面上,则其记录的联合变换功率谱(JTPS)为:

$$I(u, v) = |F(u, v)|^2 = |\exp(-i2\pi ua)T(u, v) + \exp(-i2\pi ub)R(u, v)|^2 = \\ T(u, v)T^*(u, v) + \exp[-i2\pi u(a-b)]T(u, v)R^*(u, v) + \\ \exp[-i2\pi u(-a+b)]T^*(u, v)R(u, v) + R(u, v)R^*(u, v). \quad (3)$$

对联合变换功率谱再进行逆傅里叶变换。在透镜的前焦面上放置联合变换功率谱,然后用准直的激光光束照明。这样在透镜的后焦面上就可以得到两个图像的零级自相关峰和一级互相关峰。

对联合变换功率谱进行逆傅里叶变换后得到如下的结果

$$O(\xi, \zeta) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} I(u, v) \exp\left[i \frac{2\pi}{\lambda f} (\xi u + \zeta v)\right] dudv, \quad (4)$$

将(3)式代入(4)式得到

$$O(\xi, \zeta) = t(\xi, \zeta) \otimes t(\xi, \zeta) + r(\xi, \zeta) \otimes r(\xi, \zeta) + t(\xi, \zeta) \otimes r(\xi, \zeta) * \delta(\xi - b + a) + \\ t(\xi, \zeta) \otimes r(\xi, \zeta) * \delta(\xi - a + b), \quad (5)$$

式中 \otimes 表示相关运算, $*$ 表示卷积。

此时, JTPS 又变换回到物空间,实现了相关探测。(5)式中第 1 项和第 2 项是自相关,两输出信号重叠在输出平面中心附近,称之为零级项。它们不是所需要探测的信号。第 3, 第 4 项是互相关项,它们的中心分别位于输出平面的 $(a-b, 0)$ 和 $(-a+b, 0)$ 处,因而与零级分离,为一级衍射项,正是要寻求的相关输出信号,即相关峰。

3 梅林变换原理

定义 $M(s)$ 是 $f(x)$ 的梅林变换,则

$$M\{f(x)\} = M(s) = \int_0^{\infty} f(x)x^{s-1} dx, \quad (6)$$

式中变换域的变量 s 是一个复数值, 一般可以表示为 $S = \alpha + i\omega$ 。对于二维梅林变换可以写成

$$M\{f(x, y)\} = \iint_{00}^{\infty\infty} f(x, y)x^{s_1-1}y^{s_2-1} dx dy,$$

二维梅林变换具有尺度不变性^[3], 设 $x = T_1 \exp(x_1)$, $y = T_2 \exp(x_2)$, 则 $f(x, y)$ 的二维梅林变换可表示为

$$M\{f(x, y)\} = T_1^{s_1} T_2^{s_2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} f[T_1 \exp(x_1), T_2 \exp(x_2)] \exp(x_1 S_1 + x_2 S_2) dx_1 dx_2,$$

设 $f(x, y) = g(K_1 x, K_2 y)$, K_1, K_2 为常数因子, 将 $f(x, y)$ 进行二维梅林变换, 则

$$\begin{aligned} M\{f(x, y)\} &= T_1^{s_1} T_2^{s_2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} g[K_1 T_1 \exp(x_1), K_2 T_2 \exp(x_2)] \exp(x_1 S_1 + x_2 S_2) dx_1 dx_2 = \\ &T_1^{s_1} T_2^{s_2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} g[T_1 \exp(x_1 + \ln K_1), T_2 \exp(x_2 + \ln K_2)] \exp(x_1 S_1 + x_2 S_2) dx_1 dx_2, \end{aligned}$$

代换 $y_1 = x_1 + \ln K_1$ 和 $y_2 = x_2 + \ln K_2$, 则

$$\begin{aligned} M\{f(x, y)\} &= T_1^{s_1} T_2^{s_2} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} g[T_1 \exp(y_1), T_2 \exp(y_2)] \exp[(y_1 - \ln K_1) S_1 + (y_2 - \ln K_2) S_2] dy_1 dy_2 = \\ &T_1^{s_1} T_2^{s_2} \exp[-(S_1 \ln K_1 + S_2 \ln K_2)] \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} g[T_1 \exp(x_1), T_2 \exp(x_2)] \exp(x_1 S_1 + x_2 S_2) dx_1 dx_2 = \\ &\exp[-(S_1 \ln K_1 + S_2 \ln K_2)] M\{g(x, y)\}, \end{aligned}$$

并且 $M\{f(x, y)\} = |\exp[-(S_1 \ln K_1 + S_2 \ln K_2)]| |M\{g(x, y)\}| = |M\{g(x, y)\}|$,

即函数按比例发生变化以后, 其梅林变换的模保持不变。

对图像进行梅林变换, 其强度分布不随图像比例变化而变化, 只有左右平移。而相关本身具有平移不变性, 所以把傅里叶变换和梅林变换结合起来即可实现尺寸不变目标探测与识别。

4 实验与结果

实验装置如图 1 所示。系统采用半导体抽运激光器 1 作为光源, 通过衰减器 2 调制出输出光强, 经显微物镜 3 聚焦、针孔 4 进行空间滤波、偏振器 5 调节偏振方向后, 再经双分离准直透镜 6 形成均匀的准直扩束平行光。平行光经半反半透镜 7 后分为两路, 其中第一路用于获得联合变换功率谱。这样经 CCD1 实时摄取的目标图像与事先存贮在 PC1 的参考模板一起被输入到电寻址液晶 EALCD1 中, 联合图像经傅里叶变换透镜 FTL1 后, 由平方律探测器 CCD2 探测。得到目标 $t(x, y)$ 和参考图像 $r(x, y)$ 的联合变换功率谱, 经 PC2 显示出来; 第二路用于

获得相关峰图像, 输入到 PC2 的功率谱经空间光调制器的控制系统又被输入到电寻址液晶 EALCD2 中, 经傅里叶变换透镜 FTL2 进行逆变换后, 由 CCD3 摄取目标图像与参考图像的联合变换相关点, 再输入到 PC3 中由其显示出来。这样, 通过判断相关点的位置可以确定目标方位。

为验证梅林变换对于解决相关探测过程中目标的尺度不变特性, 现针对高空拍摄的航空图像进行目标探测实验。图 2 中目标的大小为模板大小的 150%, 图 3 是图 2 经过梅林变换后的输出结果。从图 2 和图 3 中可以明显看出, 当未进行梅林变换之前, 输入到联合变换相关器的物面图像中目标与参考模板的大小相差很大, 而进行梅林变换之后, 其输出结果只有左右平移, 没有尺度变化影响, 有利于得到较强的相关峰能量。图 4 和图 5 分别是由图 3 得到的联合变换功率谱和相关峰图像。从实验结果中可明显看到一对明亮的相关峰。实验结果非常突出, 容易得到目标相对于模板的具体位置, 确定目标的坐标。

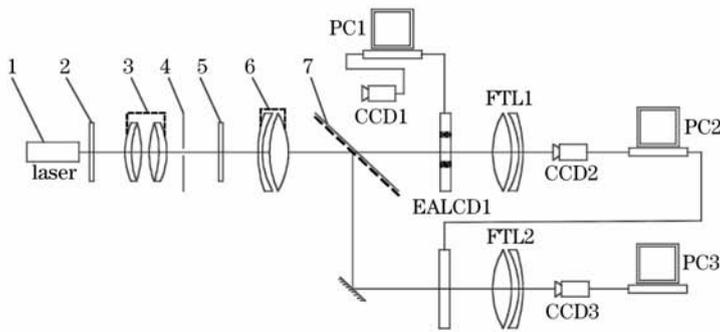


图 1 光电混合实时联合变换相关器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of opto-electronic hybrid joint transform correlator



图 2 目标与模板的联合图像

Fig. 2 Joint image of target and template

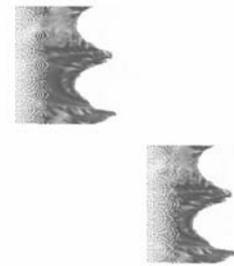


图 3 图 2 的梅林变换输出结果

Fig. 3 Output result of Meillin transform

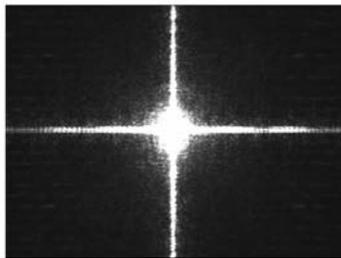


图 4 图 3 的联合变换功率谱

Fig. 4 Joint transform power spectrum of Fig. 3

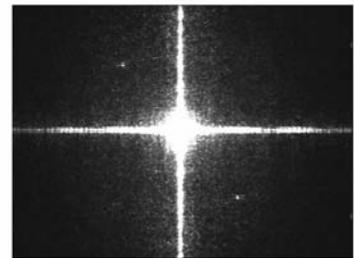


图 5 图 3 的相关峰图像

Fig. 5 Correlation peaks of Fig. 3

实验发现,当目标相对于模板变化 200%时,依然能够出现可以识别的相关峰。但当目标继续放大时,相关峰亮度则显著下降,并且能量弥散,目标变得不易识别。实际使用中,不同大小和形状的目标,其相对于给定模板的可以识别的最大变化尺度也将有所不同。

5 结 论

在进行实际目标探测和识别的过程中,最重要的问题就是如何克服畸变不变问题。提出的梅林变换方法可以有效地克服目标比例变化较大而引起的目标不能识别问题,得到较好的实验结果,具有一定的实际应用意义。实际使用中,应注意不同大小、类型的目标,其最大可识别尺寸也将有所不同。

参 考 文 献

- 1 Song Huiying, Wang Wensheng, Wang Hongzun *et al.*. Research of rotation and scale shift of object in correlation detection [J]. *J. Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics*, 2003, **26**(1): 39~41
宋慧营, 王文生, 王洪尊 等. 相关探测中目标旋转、比例变化的研究[J]. 长春理工大学学报, 2003, **26**(1): 39~41
- 2 Wang Wensheng, Guo Yangxue, Zhang Ye *et al.*. Hybrid photoelectric joint transform correlator for the detection and recognition of objects[J]. *Chin. J. Scientific Instrument*, 2002, **23**(5): 50~52
王文生, 郭阳雪, 张 晔 等. 光电混合联合变换相关器目标探测与识别[J]. 仪器仪表学报, 2002, **23**(5): 50~52
- 3 Wen Shuliang. Techniques for radar target recognition based on birange profile[J]. *Modern Radar*, 1996, (1): 18~19
文树梁. 基于双距离像的雷达目标识别技术[J]. 现代雷达, 1996, (1): 18~19
- 4 Zhang Yong, Fang Xingqiao, Liu Kegong *et al.*. Realization of no zero-order joint transform correlator based on joint power spectrum subtraction[J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(6): 807~809

- 张 勇, 方兴桥, 刘克功 等. 基于功率谱相减实现无零级衍射的联合变换相关器[J]. 光学技术, 2007, **33**(6): 807~809
- 5 Fu Wei, Jing Yuan. Digital image watermarking algorithm based on wavelet-Fourier-Mellin transform[J]. *Microprocessors*, 2006, (3): 54~55
- 付 炜, 景 源. 基于小波傅里叶梅林变换的数字水印算法[J]. 微处理机, 2006, (3): 54~55
- 6 Wang Jun, Li Ya'an. A research on wideband underwater acoustic signal processing based on Mellin transform[J]. *Acta Armamentarii*, 2007, **28**(1): 88~89
- 王 军, 李亚安. 基于梅林变换的宽带水声信号处理研究[J]. 兵工学报, 2007, **28**(1): 88~89
- 7 Dou Chunsheng. Rotation and scale invariant optical correlation pattern recognition[J]. *J. Baoji College of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 1999, **19**(3): 52~55
- 窦春升. 旋转和尺度不变的光学相关图像识别[J]. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 1999, **19**(3): 52~55
- 8 Cheng Huiquan, Nie Shouping, Bian Songling *et al.*. The application of orthogonal Fourier Mellin moments in optical pattern recognition [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1996, **23**(4): 18~19
- 程惠全, 聂守平, 卞松玲 等. 正交傅里叶-梅林矩变换在光学模式识别中的应用[J]. 光电工程, 1996, **23**(4): 18~19
- 9 Zhou Yunyan, Yang Kuntao. Study about the binary differential joint transform correlator used in pattern recognition[J]. *Laser Technology*, 2007, **31**(6): 603~606
- 周云燕, 杨坤涛. 二元微分联合变换相关器实现图像识别的研究[J]. 激光技术, 2007, **31**(6): 603~606
- 10 Wang Xiangjun, Wang Yan, Li Zhi. Fast target recognition and tracking method based on characteristic corner[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 360~363
- 王向军, 王 研, 李 智. 基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究[J]. 光学学报, 2007, **27**(2): 360~363
- 11 Liu Delian, Zhang Jianqi, He Guojing. Target detection for remote sensing image based on Gaussian transformation of background[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(4): 638~642
- 刘德连, 张建奇, 何国经. 背景高斯化的遥感图像目标检测[J]. 光学学报, 2007, **27**(4): 638~642
- 12 Li Qi, Dong Guofeng, Wang Qi. Object classification simulation for lidar-passive-infrared imaging combination [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(10): 1347~1352
- 李 奇, 董国峰, 王 琪. 用于激光成像雷达和被动红外成像复合的目标分类仿真[J]. 中国激光, 2007, **34**(10): 1347~1352