

文章编号: 1001-3806(2007)01-0086-03

圆谐梅林滤波器在模式识别中的计算机仿真研究

吴友朋, 王红霞*, 周战荣, 成燕归, 李正亮
(第二炮兵工程学院 物理教研室, 西安 710025)

摘要: 为了实现滤波旋转和尺度不变的目的, 提出了将圆谐梅林滤波器用于模式识别。从圆谐展开函数引出旋转不变滤波器, 从梅林变换引出尺度不变滤波器, 并将这两个滤波器结合得到旋转和尺度不变的圆谐梅林滤波器。计算机模拟实验证明, 圆谐梅林滤波器具有旋转和尺度不变性; 能很好地提取畸变物体的角点和边缘, 尤其是角点, 并且可以由角点处的相关输出峰值判断边的结构。

关键词: 信息光学; 模式识别; 圆谐函数展开; 梅林变换; 圆谐梅林滤波器
中图分类号: O438.2 文献标识码: A

Simulation of circular harmonic Mellin filter in pattern recognition

WU You-peng, WANG Hong-xia, ZHOU Zhan-rong, CHENG Yan-gui, LI Zheng-liang
(Department of Physics, Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract The circular harmonic Mellin filter is proposed in pattern recognition to obtain the characters of invariable rotation and scale. The circular harmonic transform and Mellin transform are combined to form the circular harmonic Mellin transform. Simulation results show the rotation and scale of the filter keeps constant. It can pick up the inflexion and edge of the object and the structure of edge is judged by the correlation peaks of inflexions.

Key words information optics; pattern recognition; circular harmonic expansion; Mellin transform; circular harmonic Mellin filter

引 言

光学模式识别是光学信息处理领域中一个重要分支, 它可广泛应用于军事目标的识别和跟踪以及工业自动化、机器人视觉等。经典的光学模式识别的主要手段是 VANDER-LUGT^[1]提出的匹配滤波法, 但该方法鉴别能力差, 且不能解决输入物的旋转和尺度不变的识别问题。多年来, 人们一直在研究旋转和尺度不变的 Vander-Lugt 相关器。利用圆谐函数展开^[2,3]实现旋转不变 (Vander-Lugt correlator; VLC) 的方案虽然解决了旋转不变问题, 但尺度不变的问题没有得到解决^[4]; 利用梅林变换^[5,6]实现 VLC 的方案虽然解决了尺度不变问题, 但旋转不变的问题没有得到解决。

作者在圆谐函数展开的旋转不变性和梅林变换的尺度不变性基础上, 将二者结合起来, 得到了圆谐梅林滤波器, 实现了旋转和尺度不变的光学模式识别。

1 旋转不变滤波器^[7~9]

圆谐函数展开具有旋转不变性, 本文中不再做理

作者简介: 吴友朋 (1980-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学信息处理的研究。

* 通讯联系人。E-mail: redlightw@163.com

收稿日期: 2005-12-30 收到修改稿日期: 2006-04-07

论推导, 直接得到滤波器表达式:

$$h(\lambda, \theta) = h_q(\lambda) \exp(iq\theta) \quad (1)$$

式中, q 表示圆谐级次。

2 尺度不变滤波器^[10,11]

任一函数 $f(x, y)$ 可以被分解成无限多梅林谐波函数之和, 极坐标下可表示为:

$$f(\lambda, \theta) = \exp(-\lambda) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f_n(\theta) \exp(i2\pi n\lambda) d\lambda \quad (2)$$

式中, $\exp(-\lambda)f_n(\theta)\exp(i2\pi n\lambda)$ 是 $f(\lambda, \theta)$ 的第 n 个梅林谐波函数。

$$f_n(\theta) = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} f(\lambda, \theta) \times \exp(\lambda) \exp(-i2\pi n\lambda) d\lambda \quad (3)$$

式中, $\exp(\lambda_{\max})$ 和 $\exp(\lambda_{\min})$ 分别是积分域的最大和最小半径。由于不同阶的梅林谐波函数具有正交性, $\exp(\lambda_{\max})$ 和 $\exp(\lambda_{\min})$ 的选取应使 $(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})$ 为整数。假定有一尺度不变滤波器 $h(\lambda, \theta)$, 进行梅林展开, 即:

$$h(\lambda, \theta) = \exp(-\lambda) \sum_{p=-\infty}^{+\infty} h_p(\theta) \exp(i2\pi p\lambda) \quad (4)$$

$$h_p(\theta) = \frac{1}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} h(\lambda, \theta) \times \exp(\lambda) \exp(-i2\pi p\lambda) d\lambda \quad (5)$$

式中, p 是梅林谐波函数的阶数。如果将 $h(\lambda, \theta)$ 和图

像尺度放大 $\exp(\beta)$ 倍, 即 $f(\lambda + \beta \theta)$ 进行相关或卷积运算, 在相关平面上 o_i 的相关表示为:

$$c(o_i) = \iint f(\lambda + \beta \theta) h^*(\lambda, \theta) \exp(2\lambda) d\lambda d\theta \quad (6)$$

将 (2) 式、(4) 式代入 (6) 式得:

$$c(o_i) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \exp(2n\pi\beta - \beta) \int_0^{2\pi} f_n(\theta) h_p^*(\theta) d\theta \times \int_{\lambda} \exp[i2\pi(n-p)\lambda] d\lambda \quad (7)$$

如果 $(\lambda_{m_{\max}} - \lambda_{m_{\min}})$ 为一个整数, 则各次谐波函数相互正交, 故只有当 $m = n$ 时, 上式中关于 λ 的积分非零, 又可以得到:

$$c(o_i) = \exp(-\beta) (\lambda_{m_{\max}} - \lambda_{m_{\min}}) \times \left| \sum_{p=-\infty}^{+\infty} \exp(i2\pi p\beta) \int_0^{2\pi} f_n(\theta) h_p^*(\theta) d\theta \right| \quad (8)$$

首先, 考虑 (8) 式中等式右边第 3 项的表达式, 由于是关于 p 的求和, 当只使用一个 p 时, 这个表达式的模与 β 无关, (4) 式变为:

$$h(\lambda, \theta) = \exp(-\lambda) h_p(\theta) \exp(i2\pi p\lambda) \quad (9)$$

如果滤波器如 (9) 式所示, 则相关域上 o_i 的值只与因子 $\exp(\beta)$ 有关, 然而各次谐波响应的模的比值具有尺度不变性, 这一结论也与图像 $f(x, y)$ 无关。

3 圆谐梅林变换

从 (1) 式得到旋转不变滤波器, 从 (9) 式得到尺度不变的滤波器, 这两个表达式中 λ, θ 均是独立项。旋转不变的特性只利用了 θ 项的约束, 而尺度不变仅利用了 λ 项的约束。因此, 可以将两式结合成一个, 即:

$$h(\lambda, \theta) = \exp(-\lambda) \exp(i2\pi p\lambda) \exp(iq\theta) \quad (10)$$

对于不同的 p, q 值, 就可以构造出一类相关滤波器, 并且它们是旋转和尺度不变的。但对于 p, q 的选择, 目前还没有成熟的算法。其物理意义也不是很明确。

4 计算机模拟

计算机模拟中, 参考图像采用在 64×64 的图面上, 大小为 17×2 的字母“E”。输入图像为其参考图

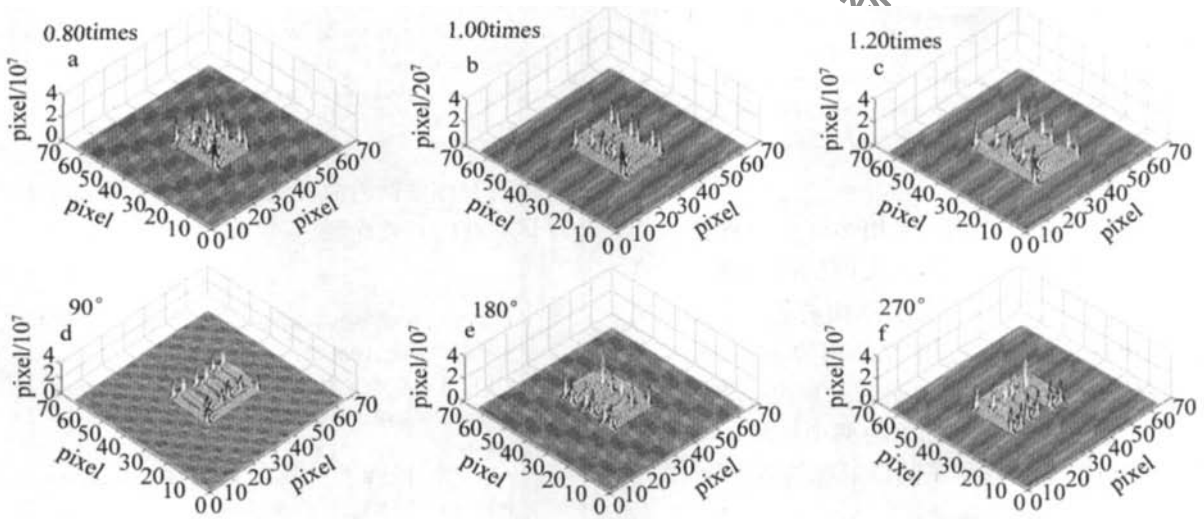


Fig 1 Correlation result for circular harmonic Mellin

像的字母 0.8 倍、1.2 倍字母“E”和旋转了 $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 的字母“E”。从图 1 可以看出, 圆谐梅林变换能很好地提取畸变物体的角点和边缘, 其中角点尤为明显, 并且具有旋转不变性, 这点从表 1 可以看出。还可以看到, 圆谐梅林滤波器对孤立角点 (即不是由两条

Table 1 Correlation result for circular harmonic Mellin transform

inputted image	0°	90°	180°	270°
intensity of peaks	$2.2491E+7$	$2.2491E+7$	$2.2491E+7$	$2.2491E+7$
signal noise ratio(SNR)	48.8101	48.8101	48.8101	48.8101

边相交而成), 其匹配波输出峰值明显低于由两条边相交所成角点出的输出峰, 由此可以由角点处的相关输出峰值判断边的结构。进而判断输入图像的情况。

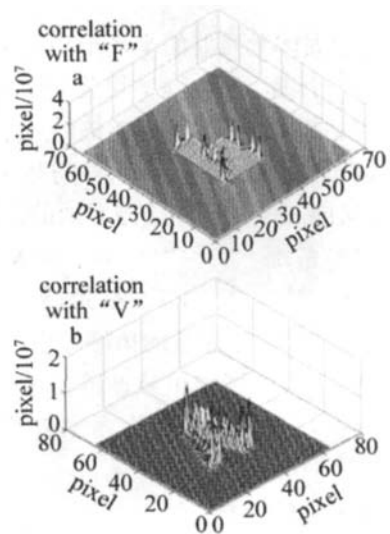


Fig 2 Correlation result

如参考图像不变,输入同样大小的字母“F”和“V”,相关结果见图 2。

5 结 论

提出了一种新型的旋转及尺度不变的圆谐梅林滤波器,该滤波器是通过利用圆谐展开函数的旋转不变性和梅林变换的尺度不变性综合而出,圆谐梅林变换对于不同的 p, q 值,就可以构造出一类相关滤波器,并且它们是旋转和尺度不变的。计算机模拟实验证明,该滤波器能很好地提取有尺度、旋转畸变物体的角点和边缘,其中角点尤为明显;而且该滤波器对孤立角点的输出峰值明显低于由两条边相交所成角点处的相关峰值,可以用角点处的相关峰值判断边的结构。

参 考 文 献

- [1] VANDER-LUGT A. Signal detection by complex spatial filtering [J]. IEEE Transactions on Information Theory 1964 II-10 (2): 139~145
- [2] HSU Y, ARSENAULT H. Rotation-invariant digital pattern recognition using circular harmonic expansion [J]. Appl Opt 1982 21(22): 4012~4015.
- [3] YANG B Y, FENG D Y. Method for determining expansion centers for circular harmonic filter [J]. Optoelectronic Technology & Informa-

tion 2005, 18(3): 63~66 (in Chinese).

- [4] YU F T S, LI X, TAM E *et al*. Rotation invariant pattern recognition with a programmable joint transform correlator [J]. Appl Opt 1989 28(22): 4725~4727.
- [5] MU G G, WANG Zh Q, WANG X M. The effects of rotation and scale change with amplitude-compensated filter [J]. Acta Optica Sinica 1988 8(8): 764~766 (in Chinese).
- [6] CHENG H Q, NE Sh P, BIAN S L *et al*. The application of orthogonal Fourier Mellin moments in optical pattern recognition [J]. Optoelectronic Engineering 1996 23(4): 16~21 (in Chinese).
- [7] WANG Sh F. Application and theory of information optics [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press 2003 211~212 (in Chinese).
- [8] ZHANG W J, SHEN Y L. A minimizing algorithm for sum of disjoint products [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications (Natural Science), 1999 19(4): 15~19 (in Chinese).
- [9] CHEN X W, CHEN Zh P. Rotation invariant amplitude phase composite circular harmonic filter [J]. Acta Optica Sinica 1996, 16(3): 373~377 (in Chinese).
- [10] SUN Y, WANG Z Q, MU G G. Amplitude compensated matched filters using circular harmonic expansion and a Mellin transform [J]. Journal of Applied Optics 1990 29(34): 4779~4783 (in Chinese).
- [11] RAVICHANDRAN G, CASASENT D. Advanced in-plane rotation invariant filters [J]. IEEE Transactions Pattern Analysis Machine Intelligence 1994, 16(4): 415~420.

(上接第 3页)

实验中 LD 工作在 20Hz 采用半环形对称抽运的结构后,单个模块中晶体与热沉大面积接触获得了良好的制冷效果,激光器工作稳定,从而避免了水冷系统的使用。同时从计算和实验的结果可以看出,激光在腔体内单程传播所得到的增益是两个模块中增益的叠加,单个模块的抽运不对称性因为两个模块的对称放置而得到了补偿,从而获得了圆形对称的激光输出。

4 结 论

对 LD 抽运固体激光器的半环形对称侧面抽运结构进行了分析与计算,并进行了相关的实验研究。计算结果与实验结果说明,对称抽运的结构能够有效地改善激光器输出光斑的能量分布,获得较为对称的激光输出,同时又能对激光晶体实施有效的传导冷却,免除了复杂的水冷系统。实验中获得了最大 63.6mJ 的脉冲激光输出,斜效率 34%,光光转换效率达到 23.0%。可以预期,通过能量的拓展等手段,在进一步的实验中,将能获得更高的单脉冲输出和效率。采用半环形对称侧面抽运的结构制作固体激光器,也将是

获得高对称性低阶激光输出与解决侧面抽运固体激光器移动性的有效途径。

参 考 文 献

- [1] KOECHNER W. Solid-state laser engineering [M]. 5th ed. Berlin: Springer-Verlag 1999. 312~315
- [2] ZHOU B K, GAO Y Zh, CHEN T R *et al*. Laser theory [M]. 5th ed. Beijing: National Defense Industry Press 2000 273~274 (in Chinese).
- [3] FAN T Y, BYER R L. Diode laser pumped solid-state lasers [J]. IEEE J Q E, 1988 24(6): 895~912.
- [4] MAO Sh Q, HUANG T, WEN Zh Y *et al*. Calculation and analyze of homogeneity of diode side pumped solid laser [J]. Laser Technology 1997 21(3): 185~188 (in Chinese).
- [5] KONDOW M, KITATAN I T, NAKAHARA K *et al*. Temperature dependence of lasing wavelength in a GaInAs laser diode [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2000, 12(7): 777~779
- [6] PANKOVE J. Temperature dependence of emission efficiency and lasing threshold in laser diodes [J]. IEEE J Q E, 1968 4(4): 119~122
- [7] NEUENSCHWANDER B, WEBER R, WEBER H P. Determination of the thermal lens in solid-state lasers with stable cavities [J]. IEEE J Q E, 1995 31(6): 1082~1087
- [8] NEUENSCHWANDER B, WEBER R, WEBER H P. Thermal lens and beam properties in multiple longitudinally diode laser pumped Nd:YAG slab lasers [J]. IEEE J Q E, 1996, 32(3): 365~370