

[文章编号] 1007-7405(2016)02-0156-05

利用光学小波变换对血红细胞识别的 Matlab 仿真

文 云, 黄晓菁

(集美大学理学院, 福建 厦门 361021)

[摘要] 将光学图像识别技术应用于生物目标的探测, 用光学小波变换识别多个血红细胞, 以提高系统的识别力。在光学联合变换相关器中, 通过空间频谱面上的小波滤波可以实现光学小波变换, 构建光学小波联合变换相关器。Matlab 仿真结果表明, 与传统的联合变换相关器相比, 由于小波变换的引入, 相关峰尖锐, 峰噪比明显增强, 峰的半宽度显著减小, 在多目标识别中不同位移目标不易受干扰, 提高了目标探测能力。

[关键词] 血红细胞; 图像识别; 联合变换相关器; 光学小波变换; Matlab 仿真

[中图分类号] O 438.2

Matlab Simulation of Red Blood Cells Recognition Using Optics Wavelet Transform

WEN Yun, HUANG Xiao-jing

(School of Science, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In this paper, the optical image recognition technology was applied in biological targets detection, and the optical wavelet transform was used to recognize multiple red blood cells, which lead to improve the system's ability of recognition. In the joint-transform correlator, wavelet transform can be implemented by wavelet filtering at the spectrum plane, and hence the optical wavelet joint-transform correlator can be built. Compared with the classical joint-transform correlator, Matlab simulation results showed that, due to the introduction of the wavelet transform, the correlation peak became sharper, the peak-to-noise ratio was significantly enhanced and the half-width of the peak was greatly reduced. Moreover, in the multi-target recognition, different targets were easily distracted and identified. The detection ability of this system was improved.

Keywords: red blood cells; image recognition; joint-transform correlator; optics wavelet transform; matlab simulation

0 引言

目前, 生物体细胞变异的医学诊断方法对医务人员的诊断能力要求高, 工作量大, 并且只有后期才会发现大量异常, 许多医院无法进行此项诊断。将光学方法应用于生物图像的识别是一个值得研究的课题, 而随着近几年来光学图像分析技术的发展, 将显微镜下细胞图像进行数字分析越来越得到人们的关注。传统的光学识别方法主要有: 匹配滤波器、联合变换相关器、小波变换器等^[1-6]。匹配滤

[收稿日期] 2015-01-17

[修回日期] 2015-06-19

[基金项目] 福建省自然科学基金资助项目(2012J01280)

[作者简介] 文云(1989—), 女, 硕士生, 从事光信息处理及其应用研究。通信作者: 黄晓菁(1966—), 女, 教授, 主要从事光信息处理及其应用研究, E-mail: xjhuang@jmu.edu.cn。

波过程较为复杂, 其中, 滤波器的实现会提高图像识别过程的操作难度, 且难以实时进行多目标的同时探测。近几年来, 联合变换相关器实现了图像的实时检测, 目前在字符、指纹等领域已有较多的应用^[1], 并逐步进入实用化阶段。联合变换相关器操作方便, 但目标检测与识别的衍射效率低, 降低了系统能力。小波变换是一种近年来广泛应用于信号处理的新兴数学工具, 适用于处理局部或暂态信息。在联合变换相关器的光学图像识别技术中, 由于透镜的傅里叶变换性质, 容易通过频谱滤波实现光学小波变换, 构建光学小波联合变换相关器。本文通过计算机 Matlab 仿真^[7-10], 选取合适的小波函数, 探究将该方法应用于生物目标图像识别的可行性, 并对多个血红细胞图像进行同时识别, 以提高对多目标的识别力。

1 原理

如图 1 所示的 4f 系统^[1,4-5], 透镜 L_1 前焦面即输入面上, 输入函数 $q(x,y)$ 由参考图像 $f(x,y)$ 与待识别图像 $g(x,y)$ 构成, $f(x,y)$ 置于输入面一侧, 其中心位于 $(-a,0)$; $g(x,y)$ 由多个目标图像组成, 即 $g(x,y) = \sum_{i=1}^n g_i(x,y)$, 置于输入面的另一侧, 其中心分别位于 (a_i,b_i) , 即输入面上的光透过率为:

$$q(x,y) = f(x+a,y) + \sum_{i=1}^n g_i(x-a_i,y-b_i)。$$
(1)

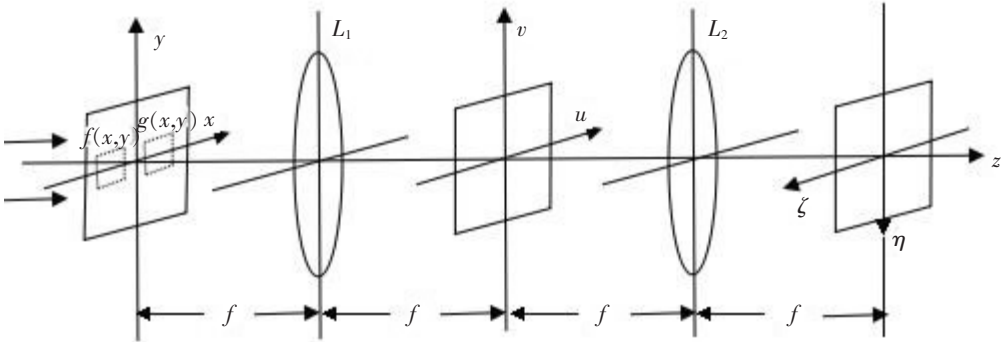


图 1 联合变换相关器原理图

Fig.1 The principle diagram of the joint transform correlator

由透镜的光衍射原理, 在 L_1 后焦面上将得到 $q(x,y)$ 的空间频谱, 即 $q(x,y)$ 的傅里叶变换。设 (u,v) 为空间频率坐标, 以 $2\pi/(\lambda f)$ 为标度, 则在频谱面上光的复振幅分布 $Q(u,v)$ 为:

$$Q(u,v) = \exp(i2\pi au/(\lambda f))F(u,v) + \sum_{i=1}^n \exp[-i2\pi(-a_iu-b_iv)/(\lambda f)]G_i(u,v)，$$
(2)

其中, F 和 G_i 分别为 f 和 g_i 的傅立叶变换。 $|Q(u,v)|^2$ 称为联合变换功率谱。频谱面 (u,v) 同时位于图 1 中透镜 L_2 的前焦面, $|Q(u,v)|^2$ 再经 L_2 作傅里叶变换, 在 L_2 的后焦面即输出面 (ξ,η) 上将得到 $f(x,y)$ 与 $g(x,y)$ 的相关识别输出。

在频谱面上对联合变换功率谱进行滤波可以改变图像空间频率信息, 从而实现对图像的加工、处理, 提高系统识别力。本文采用小波滤波, 设小波母函数为

$$h_{c,d,m,n} = h((x-c)/m,(y-d)/n)/\sqrt{mn}，$$
(3)

其中: (c,d) 为位移因子; (m,n) 为伸缩因子, 则函数 $q(x,y)$ 的小波变换为:

$$W_{c,d,m,n}(q) = \iint_{-\infty}^{\infty} h^*((x-c)/m,(y-d)/n)q(x,y)dx dy/\sqrt{mn} = \iint_{-\infty}^{\infty} h_{c,d,m,n}^*(x,y)q(x,y)dx dy。$$
(4)

由于光学小波变换的运算是位移不变的, 可令 $c=0,d=0$, 对式 (4) 作傅立叶变换, 得

$$W_{m,n}(Q) = H_{m,n}^*(u,v)Q(u,v)，$$
(5)

其中: $W_{m,n}(Q)$ 为 $W_{c,d,m,n}(q)$ 在 $c = 0, d = 0$ 时的傅立叶变换; $H_{m,n}^*(u,v)$ 为 $c = 0, d = 0$ 的伸缩小波 $h_{m,n}(x,y)$ 的傅立叶变换的共轭。式 (5) 表明, 函数 $q(x,y)$ 的小波变换可以在图 1 的频谱面上通过小波滤波来实现。对功率谱 $|Q(u,v)|^2$, 小波滤波函数是小波函数傅立叶变换共轭的平方。

在 L_2 的后焦面即输出面上, 得到相关输出函数 $r(\xi,\eta)$ 为:

$$r(\xi,\eta) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} H_{m,n}^{*2}(u,v) Q^2(u,v) \exp[i2\pi(\xi u + \eta v)/(\lambda f)] dudv.$$

(6)

将式 (2) 代入式 (6) 中, 即可得到参考函数 f 与待识别函数 g 的小波变换 $W(f)$ 和 $W(g)$ 的自相关项和互相关项。其中 $W(f)$ 的自相关和 $W(g_i)$ 的自相关, 重叠在输出平面中心附近, 形成 0 级项; $W(f)$ 和 $W(g_i)$ 的互相关, 即 +1 级项和 -1 级项以及待测的多目标图像 g_i 之间的互相关, 根据 a_i, a_i, b_i 的取值分别位于输出面的相应位置, 彼此分开。该系统通过参考目标和待测目标的互相关输出来判别目标的相似程度, 因此只取 $W(f)$ 和 $W(g)$ 的互相关, 它们是一对共轭互相关, 相对于中心对称, 检测时只需检查其中一项的相关峰, 其锐度作为判断 $W(f)$ 和 $W(g)$ 是否相关以及相关程度的评价指标。

本文选用 Mexican-hat 小波母函数, 它可以精确重新建立小波变换前的原始图像, 具有较好的时域和频域局部化特性^[11]。其傅立叶谱函数为

$$H_{m,n}(u,v) = 4\pi^2[(mu)^2 + (nv)^2] \exp\{-2\pi[(mu)^2 + (nv)^2]\}.$$

(7)

选取合适的伸缩因子 m,n , 即可得到相应的小波滤波函数。

2 仿真实验

在实际的光学图像识别中, 滤波器的制作比较麻烦, 利用 Matlab 仿真容易对不同滤波器进行试验, 以找到合适的小波滤波函数。仿真试验中选取多个血红细胞同时进行识别, 如与正常的红细胞有差异, 则表明血红细胞可能变异。Matlab 的仿真流程图如图 2 所示, 首先对目标函数进行灰度识别, 得到赋值矩阵, 经过傅立叶变换, 得到联合变换功率谱, 再经 Mexican-hat 小波滤波, 最后进行傅立叶逆变换, 取相关强度得到相关输出, 完成仿真。

本文进行了两组图像的试验, 图 3 为输入图像 1, 参考图像 f 为正常血红细胞, 位于输入面左侧; 待识别图像为: 正常血红细胞 g_1 、棘形红细胞 g_2 和椭圆形红细胞 g_3 , 位于输入面右侧, 自上而下。图 4 是传统的未经小波滤波的联合变换相关器得到的参考图像 f 分别与 3 个红细胞 g_1 、 g_2 和 g_3 间的 +1 级相关峰。由图 4 可以看出, 传统的识别系统难以分辨出变异的红细胞, 正常血红细胞 g_1 对应的相关峰与 g_2 、 g_3 对应的相关峰相比差别不大, 峰型粗大且相互交叠, 对正常血红细胞的识别力不高。

Mexican-hat 小波滤波函数如图 5 所示。图 6 为经过小波滤波的联合变换相关器得到的相应的 +1 级互相关峰。由图 6 可以看出, 经小波滤波处理后, 正常血红细胞间的相关峰强度大, 峰型尖锐, 峰宽明显减小, 多目标相应的相关峰位置清晰可见, 异常红细胞对应的相

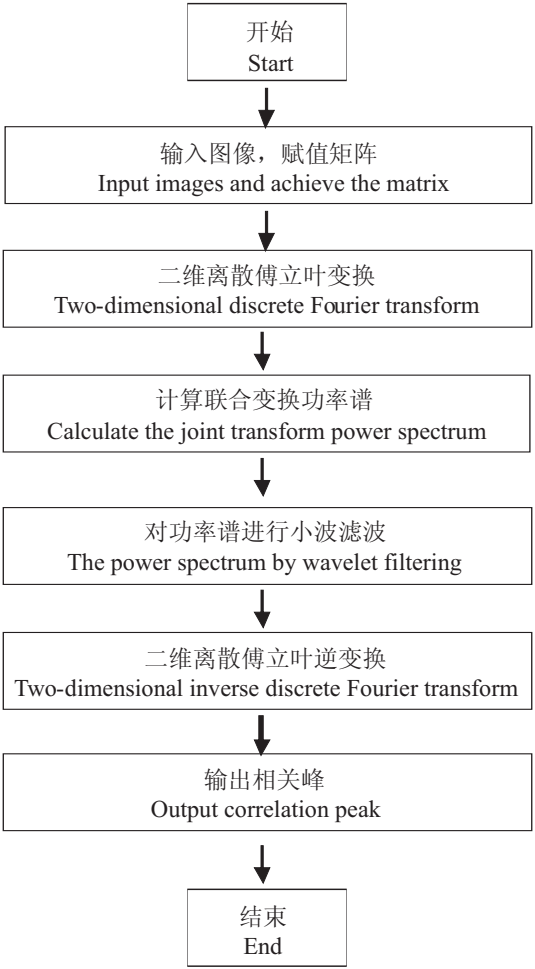
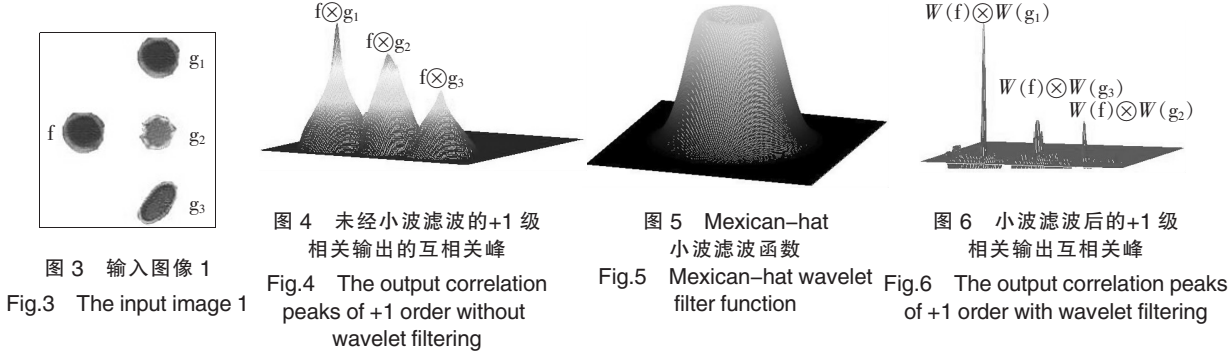
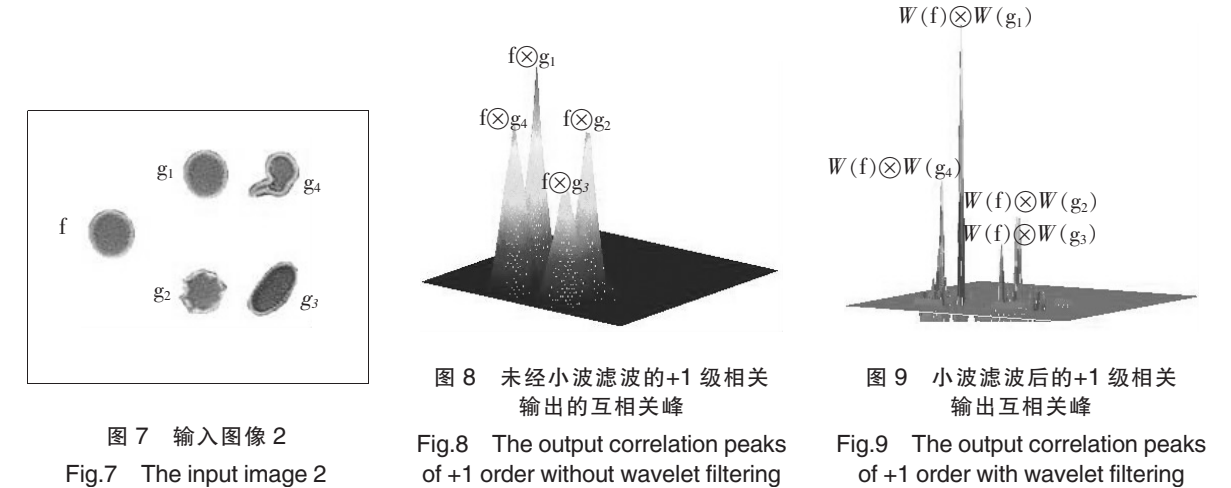


图 2 Matlab 仿真流程图
Fig.2 The Matlab simulation flow chart

关峰大幅降低, 更容易识别。



为了进一步验证系统的识别力, 另一组输入图像 2 如图 7 所示, 正常血红细胞 f 为参考图像, 待识别图像为: 正常血红细胞 g_1 、棘形血红细胞 g_2 、椭圆形血红细胞 g_3 、裂血红细胞 g_4 。未经小波滤波得到的 +1 级互相关峰, 如图 8 所示。经 Mexican - Hat 小波滤波得到的互相关峰, 如图 9 所示。同样可以看出, 经小波滤波后的相关结果显著改善, 对正常血红细胞的识别力明显提高。



两组仿真实验结果的量化表示分别如表 1、表 2 所示。表 1、表 2 中, I 是归一化后的相关峰强度,

表 1 图像 1 的 2 种方法识别效果比较

项目名称 Item	传统的联合变换相关器 Joint-transform correlator				小波滤波联合变换相关器 Wavelet joint-transform correlator			
	I	PNR	ACR	FWHM	I	PNR	ACR	FWHM
g_1	0.24	11.84	1.00	26×23	0.25	304.30	1.00	7×5
g_2	0.19	3.57	0.79	37×40	0.08	163.43	0.33	9×5
g_3	0.13	4.25	0.52	35×37	0.07	100.56	0.32	7×5

表 2 图像 2 的 2 种方法识别效果比较

项目名称 Item	传统的联合变换相关器 Joint-transform correlator				小波滤波联合变换相关器 Wavelet joint-transform correlator			
	I	PNR	ACR	FWHM	I	PNR	ACR	FWHM
g_1	0.23	3.10	1.00	19×19	0.21	455.48	1.00	5×5
g_2	0.18	2.60	0.74	22×22	0.07	129.56	0.33	5×6
g_3	0.12	2.93	0.51	26×27	0.05	145.63	0.26	5×4
g_4	0.18	2.69	0.76	23×22	0.09	298.32	0.46	4×4

PNR 为峰噪比^[12], 是相关峰有用信号 (大于等于最大相关峰一半的平均值) 与噪声信号 (小于最大相关峰一半的平均值) 的比率; ACR 为识别力, 是参考图像和正常血红细胞的相关峰强度除以参考图像 (正常血细胞) 和待识别图像之间的相关峰强度的值; FWHM 为峰值半宽度^[12], 是相关峰值由最大值降到一半时的宽度。由表 1、表 2 可以看出: 与传统的未经小波变换的结果进行比较, 经过光学小波联合变换后, 异常细胞对应的相关峰强度下降很大, 各 PNR 的数值提高, 相关峰强度与背景噪声差别增大, 更易于判别; ACR 的数值说明对正常细胞和对异常细胞的差异增大, 识别力增强; FWHM 显著变小, 相关峰更加尖锐。可见, 经光学小波联合变换的图像识别性能比传统的光学联合变换器提高很多, 可以用于生物目标血红细胞的识别, 并可用于多个图像的同时识别。

3 结论

本文在联合变换相关器的基础上, 结合 Mexican-hat 小波变换后, 明显提高了系统对目标的识别力, 相关峰宽度减小, 峰细高尖锐, 对于多个待测目标, 不同位移的变换不会相互干扰, 可以同时实现对不同目标的识别, 适合应用于多个血红细胞的检测。Matlab 仿真可知, 这种方法对目标的识别, 实施方便, 效果好, 可以在血液检测中提前发现变异细胞, 提早预防各种疾病。因此, 应用光学系统作医学目标识别方法是可行的, 且所使用的系统比传统的光学联合变换相关器性能有明显提高, 为生物医学的实际应用提供了一种有效的光学检测方法。

[参 考 文 献]

- [1] 宋菲君, JUTAMULIA S. 近代光学信息处理. 北京: 北京大学出版社, 1998: 64-91.
- [2] 岳宏, 戴士杰, 崔庆华, 等. 光学小波变换在视觉系统的应用研究. 光子学报, 2005, 34(3): 39-42.
- [3] 吴伟, 周金鹏, 王省书. 2f 光电混合匹配滤波相关识别研究. 光学技术, 2010, 36(1): 39-42. DOI:1002-1582 (2010)01-0039-04.
- [4] RATI G S, UNNIKISHNAN G, SINGH K. Multichannel image addition and subtraction using joint-transform correlator architecture. Optics Communications, 1997, 150: 33-37. DOI:10.1016/S0032-4018(97)00717-7.
- [5] QIAN Y X, HONG X T, MIAO H. Improved target detection and recognition in complicated background with joint transform correlator. Optik-International Journal for Light Electron Optics, 2013, 124: 6282-6285. DOI: 10.1016/j.ijleo.2013.05.008.
- [6] DEZHAO K, XUE J S. Multiple-image encryption based on optical wavelet transform and multichannel fractional Fourier transform. Optics & Laser Technology, 2014, 57: 343-349. DOI: 10.1016/j.optlastec.2013.08.013.
- [7] 周翔, 赵宏. 基于 Mexican-hat 小波变换的三维轮廓术. 光子学报, 2009, 29(1): 197-202. DOI:0253-2239 (2009)-01-0197-06.
- [8] MATLAB 技术联盟, 孔玲军. MATLAB 小波分析超级学习手册. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 201-205.
- [9] 王海山, 李鹏飞, 陶巍. 利用快速傅里叶变换算法仿真光学相关器. 机电技术, 2011(2): 32-35. DOI:1672-4801 (2011)02-032-04.
- [10] 王勇, 朱明. 数字图像处理在光学相关识别中的应用. 光电子技术, 2009, 29(4): 251-256. DOI:1005-488X (2009)04-0251-06.
- [11] 田逢春. 光学小波变换中的 Mexican hat 小波母函数特性. 重庆大学学报 (自然科学版), 2002, 25(12): 62-65. DOI:1000-582X(2002)12-0062-04.
- [12] 刘皓淳, 王红霞, 张瑜, 等. 目标尺度、旋转变对相关峰质量的影响. 红外与激光工程, 2007, 36: 847-850. DOI:1007-2276(2007)增(探测与制导)-0222-05.

(责任编辑 马建华 英文审校 黄振坤)