

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200194

# 基于 Gabor 滤波和霍夫变换的鄱阳湖流向提取

彭文杰<sup>1,2</sup>, 况润元<sup>1</sup>, 赵艳福<sup>1</sup>, 李梅梅<sup>1</sup>

(1. 江西理工大学, 江西 赣州 341000; 2. 江西省煤田地质局测绘大队, 江西 南昌 330000)

**摘要:**湖水在遥感影像中的纹理特征包含了水体的流向信息。以鄱阳湖为研究区域, 基于 Landsat8 OLI 数据, 提出了一种基于 Gabor 滤波器和霍夫变换提取水体流向的方法: 通过 Gabor 滤波对影像中的纹理特征进行增强处理, 并基于灰度共生矩阵对纹理进行定量分析。然后对处理后的图像进行霍夫变换提取出水体的流向信息。结果表明: 对比同时期现场实测的湖流数据, 该方法对鄱阳湖流场的提取具有较好的效果。

**关键词:**水体流向; Gabor 滤波; 灰度共生矩阵; 纹理; 霍夫变换

**中图分类号:** TV131.3; TP75

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0852(2021)04-0056-06

## 0 引言

纹理是图像的细部结构, 在图像中不同的地物、地理现象会产生其独特的纹理特征, 其分布也有一定的周期性<sup>[1]</sup>。随着当今传感器分辨率的提高, 在影像甚至能观测到地物移动而呈现的纹理特征(例如水体的流动), 而湖泊中的湖流作为一种常见的水文现象, 对湖泊生态有着巨大的影响。若能实时、快速地掌握湖流的信息, 可为环境监测、水路交通建设、渔业的生产提供极大的便利。现阶段获取湖流信息的常规方法是通过设置站点进行现场测量, 熊道光<sup>[2]</sup>等通过野外实测数据来提取并分析鄱阳湖湖流信息; 此外, 亦有许多研究者使用水动力软件对水流信息进行模拟: 孙玲玲<sup>[3]</sup>等通过 MIKE21 水动力软件模拟了黄壁庄水库的水流水位。上述方法在目前水流的研究中效果较好, 运用也比较广泛, 但研究范围较大时人力物力的部署成本较高。而遥感作为一种时效性较强的手段亦取得了诸多成果: 徐建华<sup>[4]</sup>等用二维快速傅里叶变换获得了海浪的波长和方向信息; 李小涛<sup>[5]</sup>等通过 SPOT5 影像中的纹理特征实现了对水体的提取及分类。上述研究均从水体纹理的角度切入并取得了较好的成果, 但并没有充分研究水体流动体现的纹理特征。水体作为一种动态

的地物, 其中的流向信息会体现在影像的纹理中。对此本文提出一种基于 Gabor 滤波的纹理增强的方法, 选取 2013 年 7 月鄱阳湖区域 Landsat8 影像, 对鄱阳湖水流的纹理特征进行分析并从中提取湖流流向。

## 1 研究区与影像数据

本文以鄱阳湖为研究对象, 位于江西北部, 南北长约 173km, 东西平均宽 17km, 在 6~8 月为丰水期, 12 月~次年 1 月为枯水期, 平均换水周期为 20 d。北部地区直连长江, 地势周边高, 中部和北部则较低, 由南向北倾斜<sup>[6]</sup>(见图 1)。湖流特征主要为吞吐流和风成流, 整体由南向北, 上半年长江水位较低、入江水道水面比降大、流速大, 泥沙随水入江, 尤其以湖区入汛初期为甚, 湖口河道往往受冲刷, 河床降低; 下半年长江汛期, 长江水位抬高。湖水受长江的顶托而流速减缓, 泥沙有时甚至随水流倒灌入湖使河床抬高<sup>[7]</sup>。

夏季是鄱阳湖的洪季, 水域范围较广, 湖区中的滩地岛屿等较少, 比较利于湖流纹理的研究及提取, 因此本文选用 Landsat8 OLI 作为遥感源数据, 30m 的空间分辨率和取景范围比较适合湖区纹理的研究和提取。7 月鄱阳湖平均水位达 16m, 水域面积超 3 000km<sup>2</sup>, 大部分滩地和岛屿都被覆盖, 通过地理空间数据云

收稿日期: 2020-06-10

基金项目: 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ160617)

作者简介: 彭文杰(1996—), 男, 江西南昌人, 硕士研究生, 主要研究方向为水体遥感和图像处理。E-mail: 94289591@qq.com

通信作者: 况润元(1976—), 男, 江西宜春人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水色遥感机理与应用、地理信息系统应用。E-mail: rykuang@163.com

(www.gscloud.com)获取 2013 年 7 月 1 日鄱阳湖影像数据,并通过 FLAASH 大气校正模型对影像的第 1~第 7 波段进行校正。对于湖区范围的提取,本文利用归一化水体指数(NDWI)阈值法对水体进行提取,经过计算,将 NDWI>0.067 的像元判定为水体。为提高纹理信息的识别效果,剔除相关性不高的波段,本文通过主成份分析,用第一主成份波段对影像纹理进行分析和处理,并选取若干区域研究湖流在影像中的表现。

图 2 展示了各种状况下湖流纹理的视觉特征:在受重力因素自由流动时(见图 2c),湖流在图像中呈现出紧凑的线状纹理特征;图 2b 中水体较为浑浊,其中的泥沙也会向水流方向蔓延导致影像中的纹理线条也亮度分明;而图 2f 中水流由于岛屿的阻滞影响,湖流纹理从岛屿的边缘处向两侧发散出十分明显的线状特征。图 2d 中的浅水区,湖流经此处时形成了环绕被淹没滩地水流纹理。除此之外,采砂活动还会造成湖流独特的高亮特征,船只的航行也会在湖面上形成细线状的条纹。总的来说湖流都能在影像上体现出细微的线状条纹,而在混合了泥沙等高亮物质的情况下其纹

理更加显著;在岛屿等地形的阻滞影响下亦能在其周边观察到发散性线条。

## 2 研究方法

### 2.1 GLCM 纹理分析

灰度共生矩阵(GLCM)描述了图像在某方向上像元的灰度变化情况,基于该矩阵计算纹理特征统计量从而对纹理进行定量的统计和评价,设一副影像  $f(x,y)$ ,其灰度级为  $L$ ,则 GLCM 数学表达式见式(1)。

$$P\left(\frac{(i,j)}{d},\theta\right)=\{[(x,y),(x+a,y+b)]|f(x,y)=i,f(x+a,y+b)=j;x=0,1,\dots,N_x-1;y=0,1,\dots,N_y-1\} \quad (1)$$

式中: $i,j=0,1,2,\dots,L-1$ ; $x,y$  是像元的行列坐标; $\theta$  是像元之间连线与 X 轴的夹角; $N_x,N_y$  是影像的行列号; $d$  是像元间的距离。

本文基于图像的 GLCM 计算其中具有代表性的 3 个特征统计量进行纹理分析,分别为能量(ENE)、相关性(COR)、熵(ENT):

$$ENE=\sum_{i,j=0}^{L-1} P_{i,j}^2 \quad (2)$$

$$ENT=\sum_{i,j=0}^{L-1} P_{i,j} * (-\ln P_{i,j}) \quad (3)$$

$$COR=\sum_{i,j=0}^{L-1} (P_{i,j} (i-\mu_i)(j-\mu_j) / \sqrt{\sigma_i^2 * \sigma_j^2}) \quad (4)$$

其中:

$$\mu_i=\sum_{i=0}^{L-1} i * \sum_{i=0}^{L-1} P_{i,j} \quad (5)$$

$$\sigma_i=\sum_{i=0}^{L-1} (i-\mu_i)^2 * \sum_{i=0}^{L-1} P_{i,j} \quad (6)$$

$$\mu_j=\sum_{j=0}^{L-1} j * \sum_{j=0}^{L-1} P_{i,j} \quad (7)$$

$$\sigma_j=\sum_{j=0}^{L-1} (j-\mu_j)^2 * \sum_{j=0}^{L-1} P_{i,j} \quad (8)$$

这 3 个特征统计量中,能量反映了图像灰度分布的均匀程度,当影像的灰度值分布具有周期性,则能量较大;相关性则能反映影像中线性地物的方向性;熵是度量影像纹理特征是否杂乱的指标,并且熵和能量具有很强的负相关性<sup>[8]</sup>。

### 2.2 Gabor 滤波

对于影像中水流纹理特征的识别和提取,需要进行图像的变换和增强。Gabor 滤波器却可以抽取空间局部频度特征,是一种有效的纹理检测工具<sup>[9]</sup>,其中二维 Gabor 滤波器不仅有良好的尺度选择特性,还有方向选择特性。本文采用由 Kamarainen<sup>[10]</sup>等提出的归一化二维 Gabor 函数,其空域表达式为:

$$\psi(x,y,f,\theta)=\frac{f^2}{\pi\gamma\eta}e^{-\left(\frac{f^2}{\gamma^2}x^2+\frac{f^2}{\eta^2}y^2\right)}e^{j2\pi f'x} \quad (9)$$

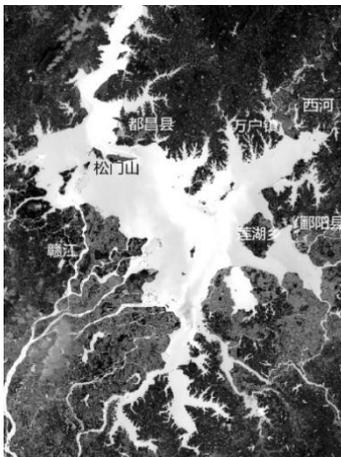


图 1 鄱阳湖及周边(LandSat8 NDWI 合成结果)

Fig.1 Poyang Lake and its surroundings (Landsat8 image about NDWI)

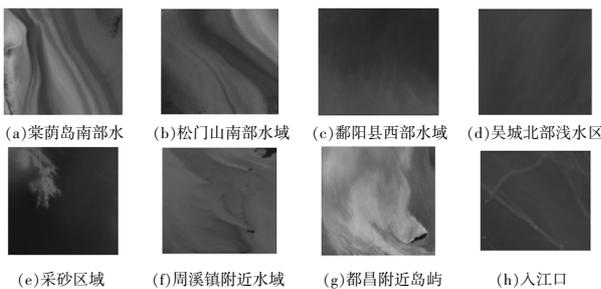


图 2 湖流纹理特征

Fig.2 Texture features of flow

$$\begin{cases} x' = x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $f$  为滤波器频率分量;  $\theta$  为滤波器的角度分量, 由于 Gabor 滤波的共轭对称性, 角度分量在  $[0, \pi]$  时就能得到图像在任意方向上的滤波效果, 而  $\gamma, n$  分别为滤波器在长轴和短轴方向的尖锐程度。不同图像的纹理特征在角度、位置、形状等有着不同的差异。而研究表明, Gabor 滤波器具有旋转、平移、缩放后不会产生变化的特性, 这从根本上保证了该滤波器的适用性<sup>[11]</sup>。为了更好的提取遥感影像中的纹理信息, 本文设置了如图 3 中 8 角度 5 频率的 Gabor 滤波器组, 其中, 尖锐程度  $\eta$  和  $\gamma$  可根据文献[12]计算:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\ln 2}}{\pi} * \frac{k+1}{k-1} \quad (11)$$

$$\eta = \sqrt{\ln 2} [\tan(\theta) \pi] \quad (12)$$

式中:  $k$  为滤波器的比例系数, 根据文献[13]本文取 2,  $\eta$  则根据大量实验总结, 取  $\sqrt{2}$  效果最好。而滤波器组中第  $i$  个滤波器的频率设置为  $f_i = k^{-i} * f_{max}$  ( $i = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ ),  $f_{max}$  为滤波器的最大频率, 这里取 0.1; 角度设置为  $\theta_i = i * \frac{\pi}{8}$  ( $i = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ )。

因为鄱阳湖水域范围较大, 本文将湖区分为若干个  $200 * 200$  分辨率的子区域。区域的选取上以水体为主, 尽量避免陆地、岛屿和水中植被以达到更好的滤波效果。

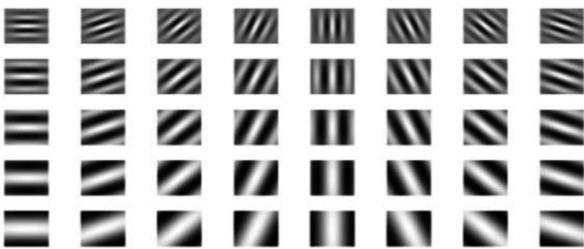


图3 8 角度 5 频率的滤波器组

Fig.3 The 8-angle and 5-frequency filter bank

### 2.3 霍夫变换

对纹理进行增强处理后, 使用霍夫变换获取其中的线状信息。霍夫变换是一种提取图像中具有某类特征(如圆、直线)的特征检测方法。其基本思想: 当图像平面上所有的点都对应到参数平面上, 如果有不同的点进行变换后交于同一点, 可以认为这些点通过原始平面的通一条直线<sup>[14]</sup>, 原始图像空间(见图 4)中直线为  $y - kx - b = 0$ , 而霍夫空间则是以  $k, b$  作为变量的坐标

空间, 因此, 霍夫空间中的直线  $y_1 - kx_1 - b = 0$  则表示为经过原始空间中  $(x_1, y_1)$  的任意一条直线。

由于垂直线的斜率是无穷大, 一般的直线表达  $y = kx + b$  无法表示垂线, 因此需使用极坐标系来表达直线来解决这个问题。图 5 中通过  $r = \sin \theta y + \cos \theta x$  表达直线, 那么原直线的斜率则变为  $F(\theta)$ , 转换到霍夫空间中便是关于  $\theta$  和  $r$  的三角函数  $r = G(\theta)$ 。故将原始空间中所有的坐标点都转换到霍夫空间中, 便能在霍夫空间中得到若干条三角函数曲线, 而这些曲线的交点即为原始图像中所对应的点的连接线的参数。因此, 这就将对原始图像的直线监测问题转换为了统计通过这些交点的曲线数量的问题, 通过设定一定的阈值, 来统计霍夫空间中符合条件的交点作为直线的参数, 以此达到提取直线的目的。霍夫变换所输入的图像为经过 Canny 算子处理后的二值化图像, Canny 算子是 John F. Canny 于 1986 年开发出来的一个多级边缘检测算法, 具有高准确性, 抗噪声干扰能力强的特点<sup>[15]</sup>, 直线提取步骤见图 6: 将处理后的二值化图像中每一个点都转化为霍夫空间中离散的曲线, 统计曲线的交点并设置一定阈值筛选出曲线上的符合条件的

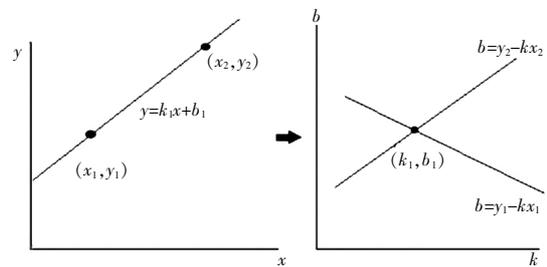


图4 原始空间和霍夫空间

Fig.4 original space and hough space

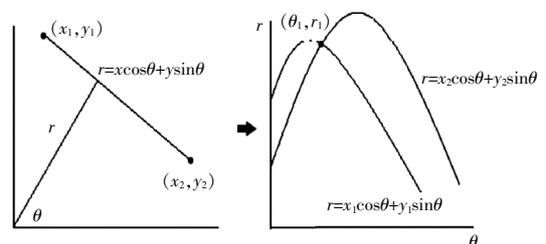


图5 转换为极坐标

Fig.5 Convert to polar coordinates

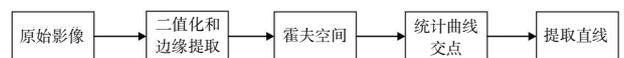


图6 霍夫变换提取直线

Fig.6 Steps of line extraction

交点坐标作为直线参数。

### 3 结果分析

#### 3.1 滤波效果分析

基于影像的 GLCM 计算滤波前后各纹理特征值以对滤波效果进行定量分析, 对比分析 Gabor 滤波的效果。图 7 展示了部分区域的计算结果: 总体而言 Gabor 滤波后的影像在能量和相关性上均有显著提升, 而熵值则有所降低, 说明图像的纹理在得到增强的同时, 其复杂性也降低, 这有利于对目标地物的判读和提取。图 7a, 滤波后在 90°方向的熵值最低, 而能量最高, 说明其在该方向上的灰度分布更为均一, 相较于滤波前, 其相关性也在 90°方向明显高于其他方向, 说明该方向上的灰度相关性得到增强; 图 7b 中由于泥沙较高导致其在水流的作用下在 135°的方向形成十分明显的纹理延伸, 因此其能量在 135°上高于其他方向, 低熵值说明在 135°方向上纹理比较一致, 图 7c 是入湖口, 纹理较为复杂, 熵值也较高, 而整体的纹理趋向 90 至 135°之间, 导致该方向的相关性和能量也比较高。综上, Gabor 滤波可以很明显的增强图像的纹理特征, 并且对原本复杂的图像进行了简化, 更容易进行纹理特征的识别, 对于湖流的提取具有重要意义。

#### 3.2 流向场提取及分析

对原始影像进行 Gabor 滤波增强后, 通过霍夫变换提取影像中的湖流。对于霍夫变换提取的直线, 本文结合同时期鄱阳湖湖区中各个站点的水位数据以及鄱阳湖总体东南高、西北低的地形特征, 按照水位从高到

低的趋势作为流向方向, 最终得到鄱阳湖主湖区的整体流向(见图 8), 图中的虚线范围是湖区中裸露出的滩地。主湖区整体流向处于由南向北; 在鄱阳县附近水流从饶河流入并向西汇入主湖区; 在吴城附近水流经修水向东北汇入湖区, 同实际情况比较吻合。

本文选取部分地区湖流的提取结果(见图 9)进行分析, 并对比实测流向角度和提取角度(见表 1)。提取流向和实测流向角度均以正北为 0°顺时针旋转进行计算。在万户镇附近, 观测流向为 228°, 提取流向的平均角度为 217°, 方向基本一致; 在松门山附近提取的



图 8 鄱阳湖湖流向(箭头为提取的流场, 虚线范围为滩地)  
Fig.8 Flow direction of Poyang lake(The arrow is the extracted flow direction and the dotted line is the land)

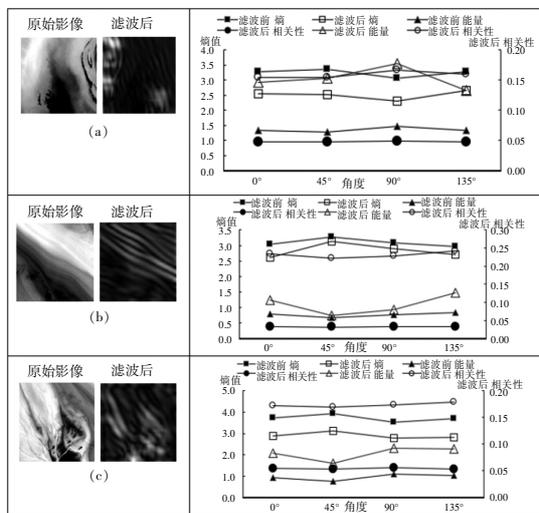


图 7 滤波效果对比  
Fig7. Comparison of filtering effects

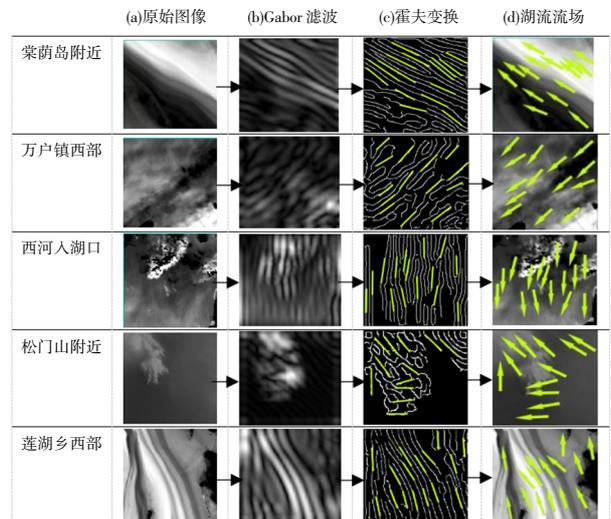


图 9 流向提取  
Fig.9 Flow direction extraction

表1 提取角度和实测方向  
Table1 extraction angle and measured direction

地区	万户镇西	西河入湖口	松门山附近	莲湖乡西	棠荫岛
实测流向	228°	236°	335°	342°	307°
提取角度平均值	217°	198°	298°	338°	318°

角度为 298°, 由于采砂活动的影响, 影像中的纹理也发生紊乱, 最终提取的流向因此与实际有较大差别; 在棠荫岛附近流向呈自南向北, 实测角度为 307° 而影像中的纹理也较为明显, 提取的平均角度为 318°, 同实际情况基本一致; 在莲湖乡西部水域, 信江的河水在下圩头处流入主湖区并向北流动, 实测流向角度为 342°, 提取的平均角度为 338°, 水流方向和提取结果相近; 在东北湖区的西河入湖口处, 实测湖流流向为西南方向, 角度为 236°, 而 Gabor 提取的平均角度为 198°, 差异较大, 根据姚静<sup>[6]</sup>等利用 MIKE21 模拟研究表明, 在鄱阳县北部流速较慢且会出现环流现象, 导致提取的流向受到影响。

除此之外, 李云良<sup>[7]</sup>等利用 MIKE21 模拟的鄱阳湖水动力研究显示: 洪季于都昌站点模拟的湖流流向约为 270° 左右、棠荫为 300° 左右, 本文在同位置附近根据纹理提取的流向分别为 284°、318°, 本文与其模拟的水流方向基本一致; 齐凌艳<sup>[8]</sup>等利用 EFDC 模拟的鄱阳湖水动力中, 鄱阳湖东北部水域流向为东北向西南走向, 本文于同地区模拟的流向方向为 202°, 结果相近。但在一些浅水区域, 湖区底质类型较多(泥沙, 水草等), 底部糙率系数设置比较复杂<sup>[9]</sup>, 水动力模拟较为有限, 而在影像中这些物质在水流的带动下会呈现出明显的特征, 对此本文方法能较好地提取出流向。综上, 本文方法能在绝大部分情况下较为准确地提取出湖流流向, 相较于基于更多实测数据模拟的水动力模型, 本文方法的时效性更强, 对实测数据的依赖程度更低。

总的来说对于绝大部分湖区本文提供的方法可较好说明湖流的状况, 而湖中仍然存在一部分地势地形较为复杂的区域, 比如地势的高低起伏产生的环流, 人为采砂活动以及船只的经过亦会对湖流造成影响; 而在一些流速较大的区域, 通过该方法提取的流场方向比较准确, 本文猜测湖流的纹理和流速有关, 流速越大其纹理越明显, 提取效果也就越好, 其中具体的关系本文不再作过多讨论。

## 4 结论

湖流在影像中体现出显著的纹理特征, 本文通过 Gabor 滤波对影像的纹理信息进行增强, 使图像的线状纹理得以突出, 然后使用霍夫变换提取其中的线状特征作为湖流的流向信息。基于上述研究实验表明: 该方法能较好地提取鄱阳湖流向信息, 且具有较强的时效性和便利性。由于鄱阳湖的总体流向都大致为东南至西北方向, 因此绝大部分区域的方向性都可较好的进行判断。然而部分复杂的区域还是无法精准的提取出水体的流向场, 比如地势的高低起伏产生的环流, 船只航行和采砂活动对影像纹理造成的紊乱影响。除此之外, 在特殊时节(例如长江的倒灌影响)下水流变化比较复杂, 纹理本身的规律性较弱, 因此提取精度存在一定误差。

## 参考文献:

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003. (ZHAO Yingshi. Principles and Methods of Remote Sensing Application Analysis [M]. Beijing: Science Press, 2003. (in Chinese))
- [2] 熊道光. 鄱阳湖湖流特性分析与研究[J]. 海洋与湖沼, 1991(3):200-207. (XIONG Daoguang. Analysis and study of the flow characteristics of Poyang Lake [J]. Ocean and Lakes, 1991(3):200-207. (in Chinese))
- [3] 孙玲玲, 王树谦, 石宝红, 等. 基于 MIKE21FM 的黄壁庄水库水动力模拟研究[J]. 人民珠江, 2017,38(9):64-68. (SUN Lingling, WANG Shuqian, SHI Baohong, et al. Hydrodynamic simulation study of huangbizhuang reservoir based on MIKE21FM [J]. Pearl River, 2017,38(9):64-68. (in Chinese))
- [4] 徐建华, 梁景怡. 海洋波浪图像波长和方向信息提取的傅里叶数字变换纹理分析技术[J]. 自动化学报, 1990(4):352-357. (XU Jianhua, LIANG Jingyi. Fourier digital transform texture analysis technique for wave image wavelength and direction information extraction [J]. Journal of Automation, 1990(4):352-357. (in Chinese))
- [5] 李小涛, 黄诗峰, 郭怀轩. 基于纹理特征的 SPOT 5 影像水体提取方法研究[J]. 人民黄河, 2010,32(12):5-6. (LI Xiaotao, HUANG Shifeng, GUO Huaixuan. Research on SPOT 5 image water extraction method based on texture features [J]. Yellow River, 2010,32(12):5-6. (in Chinese))
- [6] 许小华, 雷声, 王小笑, 等. 基于 DEM 的鄱阳湖水下地形分析[J]. 人民长江, 2014,45(21):30-32+61. (XU Xiaohua, LEI Sheng, WANG Xiaoxiao, et al. Underwater topography analysis of Poyang lake based on DEM [J]. Yangtze River, 2014,45(21):30-32+61. (in Chinese))
- [7] 吴桂平, 刘元波, 范兴旺. 近 30 年来鄱阳湖盆地地形演变特征与原因探析[J]. 湖泊科学, 2015,27(6):1168-1176. (WU Guiping, LIU Yuanbo, FAN Xingang. Analysis on the evolution characteristics and causes of Poyang Lake basin in recent 30 years [J]. Lake Science,

- 2015,27(6):1168–1176. (in Chinese))
- [8] 赵忠明, 孟瑜, 汪承义. 遥感图像处理[M]. 北京:科学出版社, 2014. (ZHAO Zhongming, MENG Yu, WANG Chengyi. Remote Sensing Image Processing [M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese))
- [9] 张德丰. MATLAB 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社, 2012. (ZHANG Defeng. MATLAB Digital Image Processing [M]. Beijing: China Machinery Industry Press, 2012. (in Chinese))
- [10] Kamarainen J K, Kyrki V, Kalviainen H. Invariance properties of Gabor filter based features –overview and application [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006,15(5).
- [11] Shen LL, Bai L, Fairhurst M. Gabor wavelets and General Discriminant Analysis for face identification and verification [J]. Image & Vision Computing, 2007,25(5):553–563.
- [12] 王培法, 冯学智, 肖鹏峰, 等. 面向遥感影像纹理提取的 Gabor 滤波器组参数解算研究[J]. 遥感信息, 2008(6):58. (WANG Peifa, FENG Xuezhi, XIAO Pengfeng, et al. Research on the parameter calculation of Gabor filter bank for remote sensing image texture extraction [J]. Remote Sensing Information, 2008(6):58. (in Chinese))
- [13] 李俊峰, 李明睿. 基于多方向 Gabor 滤波的导光板轻微线刮伤检测方法研究[J]. 光电子·激光, 2019,30(4):395–401. (LI Junfeng, LI Mingrui. Research on detection method of light guide plate slight line scratch based on multi-direction Gabor filter [J]. Optoelectronics·Laser, 2019,30(4):395–401. (in Chinese))
- [14] 汪涛, 成孝刚, 李德志, 等. 基于霍夫变换与角点检测的叶脉特征提取算法[J/OL]. 计算机技术与发展, 2019(10):1–5[2019–10–23]. (WANG Tao, CHENG Xiaogang, LI Dezhi, et al. A Leaf Vein Feature Extraction algorithm based on Hough transform and Angle Detection [J/OL]. Computer Technology and Development, 2019 (10):1–5[2019–10–23]. (in Chinese))
- [15] 麦智伟, 肖曙红, 林德育. 基于改进 Canny 算子的 SOP 贴片元件的定位识别[J]. 光学技术, 2018,44(2):247–251. (MAI Zhiwei, XIAO Shuhong, LIN Daode. Positioning and identification of SOP patch Element based on improved Canny operator [J]. Optical Technology, 2018,44 (2):247–251. (in Chinese))
- [16] 姚静, 张奇, 李云良, 等. 定常风对鄱阳湖水动力的影响[J]. 湖泊科学, 2016,28(1):225–236. (YAO Jing, ZHANG Qi, LI Yunliang, et al. Effects of stationary wind on the hydrodynamic force of Poyang lake [J]. Lake Science, 2016,28(1):225–236. ((in Chinese))
- [17] 李云良, 姚静, 张奇. 长江倒灌对鄱阳湖水文动力影响的数值模拟 [J]. 湖泊科学, 2017,29(5):1227–1237. (LI Yunliang, YAO Jing, ZHANG Qi. Numerical simulation of the influence of backirrigation of the Yangtze river on hydrodynamics of Poyang lake [J]. Journal of Lake Science, 2017,29(5):1227–1237. (in Chinese))
- [18] 齐凌艳, 黄佳聪, 高俊峰, 等. 鄱阳湖枯水水位及流速时空分布模拟 [J]. 长江流域资源与环境, 2017,26(4):572–584. (QI Lingyan, HUANG Jiacong, GAO Junfeng, et al. Spatial and temporal distribution simulation of Poyang lake dry water level and velocity [J]. Resources and Environment of the Yangtze River Basin, 2017,26(4):572–584. (in Chinese))
- [19] 齐亨达, 陆建忠, 陈晓玲, 等. 鄱阳湖水动力模型的遥感验证研究[J]. 水资源与水工程学报, 2014,25(6):18–23. (QI Hengda, LU Jianzhong, CHEN Xiaoling, et al. Remote sensing validation of Poyang lake hydrodynamic model [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering 2014,25(6):18–23. (in Chinese))

## Extraction of Poyang Lake Flow Field Based on Gabor Filtering and Hough Transform

PENG Wenjie<sup>1,2</sup>, KUANG Runyuan<sup>1</sup>, ZHAO Yanfu<sup>1</sup>, LI Meimei<sup>1</sup>

(1. Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Jiangxi Provincial Coal Geology Bureau of Surveying and Mapping Brigade, Nanchang 330000, China)

**Abstract:** The texture feature of lake water in remote sensing image contains the water flow information. In this research, Poyang Lake was taken as the research area. Based on LandSat8 OLI data, a method based on Gabor filter and Hough transform were proposed to extract water flow direction, of which Gabor filters were used to enhance texture features, and Grayscale symbiosis matrix was applied to analyze texture feature values. Then Hough transform was used to extract the water flow direction. The results show that the method has a good effect on the extraction of Poyang Lake flow field by comparing with the field measured lake flow data in the same period.

**Key words:** water flow direction; Gabor filtering; gray level co-occurrence matrix; texture; Hough transform