DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2020.05.014

赵好好[1]

基于频谱空间的高分辨率遥感图像城市道路绿地轮廓特征检测

摘要

通过高分辨率遥感图像频谱能量特征分析,提出了一种基于频谱空间的城市道路绿地轮廓特征检测方法.首先对遥感图像进行傅里叶变换,分析频谱能量分布曲线,确定道路绿地轮廓的方向和截止频率,设计Gabor滤波器提取绿地轮廓特征;然后利用低通滤波获取道路中心线,根据道路中心线的缓冲区对绿地轮廓进行定位,得到道路绿地轮廓特征.结果表明,基于图像频谱特征分析的方法,使滤波器参数的设计更加精确,可有效实现高分辨率遥感图像城市道路绿地轮廓特征提取.

关键词

高分辨率遥感图像;城市道路绿地;轮廓特征;频谱空间;Gabor滤波器

中图分类号 P237

文献标志码 A

0 引言

城市绿地是城市生态系统的重要组成部分,对城市空气质量和居民健康具有重要影响[1].道路绿地属于城市绿地4大类别中的附属绿地,随着城市建设和规划管理对城市绿地结构信息的进一步需求,获取详细的道路绿地信息具有重要意义.当前,高分辨率遥感图像使得地物空间几何结构更加明显,地物纹理和形状信息更加精细,充分利用这些信息,使得基于空间结构特征的城市道路绿地信息提取成为可能[2-4].

轮廓特征检测是当前遥感图像分割、目标特征提取的核心技术和研究热点[5-6].传统的轮廓特征检测主要基于空域的梯度算子,如Roberts算子、Laplace算子、LOG算子等.由于高空间分辨率遥感图像具有灰度变化丰富、噪声复杂、边缘密度大等特点,采用传统的基于微分的边缘检测算子往往难以达到理想的效果[7].通过傅里叶变换可以将图像从空间域变换到频率域,频谱图中的高频信息可以反映图像中灰度变化剧烈的轮廓特征.频谱作为物质的能量特征之一,与波谱、能谱、重力、磁力等特征一样,都是用来区别物体属性的重要依据[8].频谱能量值在描述边缘形态特征上具有独特的优势,频谱特征能够简明、准确地表达地物空间结构特征[6-7],基于频谱分析和频域滤波的图像特征提取,为分析结构复杂的城市地物提供了新的方法.

已有研究主要探讨了规则地物的频谱分析和滤波方法.如吴桂平等[6]利用分块傅里叶变换和频谱能量分段叠置的手段,对规则结构的农田边缘特征进行了快速检测;周立国等[8]分析了线状地物的频谱特点,设计滤波器进行了厂房结构的特征提取.规则地物遥感图像的方向性、周期性显著,表现在频谱图上则谐波特征明显,易于检测,而城市道路绿地属于自然纹理,轮廓特征复杂且不规则,频谱图中谐波特征不明显,传统的特征提取方法并不适用,有必要探讨一种更为通用的频谱分析和特征识别的方法.

本文以QuickBird图像为研究数据,以城市道路绿地为研究对象,进行频谱能量分析,确定道路绿地轮廓的截止频率,建立基于图像特征的较为通用的Gabor滤波器参数设置方法,同时利用道路绿地与道路的几何关系,提取道路绿地轮廓特征,最后评价了轮廓提取的精度

收稿日期 2018-07-06

资助项目 国家自然科学基金(41801239)

作者简介

赵好好,女,博士,讲师,研究方向为高分辨率遥感图像地物特征提取、目标识别等.haohao_zhao@hotmail.com

1 南京信息工程大学 遥感与测绘工程学院,南京,210044

和本方法的适用性,对具有复杂结构的城市地物特征识别和提取具有理论和应用价值.

1 研究数据

本文所用的高分辨率遥感图像数据为南京市某地区夏季7月的QuickBird图像,包含4个多光谱波段和1个全色波段,基于Pansharp方法融合后的空间分辨率为0.6 m.基于绿色植被在近红外波段具有最强的光谱反射特性,与道路色调特征差异明显,宜于进行道路绿地特征分析,本文实验选择近红外波段.如图1所示,研究区大小为2 276像素×2 144像素,道路绿地主要有5条,如图中数字编号,道路绿地①基本呈水平方向,道路绿地②沿图中竖直方向,道路绿地③和④为十字交叉型,道路绿地⑤近似为竖直方向.这5条道路绿地均没有完全遮盖道路,且树木生长情况良好.

道路可用其中心线抽象表达,道路绿地的轮廓可表示为闭合曲线,因此道路与道路绿地的几何关系可表示为线与面的关系.道路绿地位于道路红线以内,若道路中心线能够确定,通过中心线的缓冲区可以对道路绿地进行定位,从而获得道路绿地轮廓.

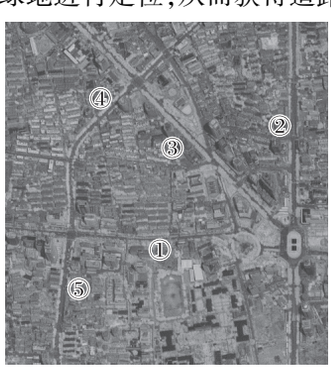


图1 研究区近红外波段图像

Fig. 1 Near-infrared image of research area

2 研究方法

2.1 频谱能量分析

遥感图像可以表示为空域的二维函数,对图像进行二维傅里叶变换,相当于将二维函数分解成不同频率的正弦函数或余弦函数在二维平面上的叠加[9].这些频率揭示了空域图像上的周期性成分,通过分析不同频率的能量分布特征,可区别空域图像上不同特征的地物[10].大小为$M\times N$的图像的二维离散傅里叶变换如下式表示:

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\,\mathrm{e}^{-\mathrm{j}2\pi\left(\frac{ux}{M}+\frac{vy}{N}\right)}\ , \tag{1}$$

式中,(x,y)为空域坐标,(u,v)为频域坐标.图像的频谱值表示为$|F(u,v)|$.

如图2所示,遥感图像中有一条45°方向的道路绿地,从频谱图可以看到,图像的中高频丰富,且在135°方向存在显著谱线.频谱图中的亮线,反映了图像中与其垂直方向的地物轮廓特征.为了进一步定量分析频谱图,利用辐射扫描法计算频谱图的径向分布特征和角向分布特征.假设极坐标中的频谱函数为$S(r,\theta)$,r和θ是坐标变量.径向能量$S(r)$和角向能量$S(\theta)$可分别表示为

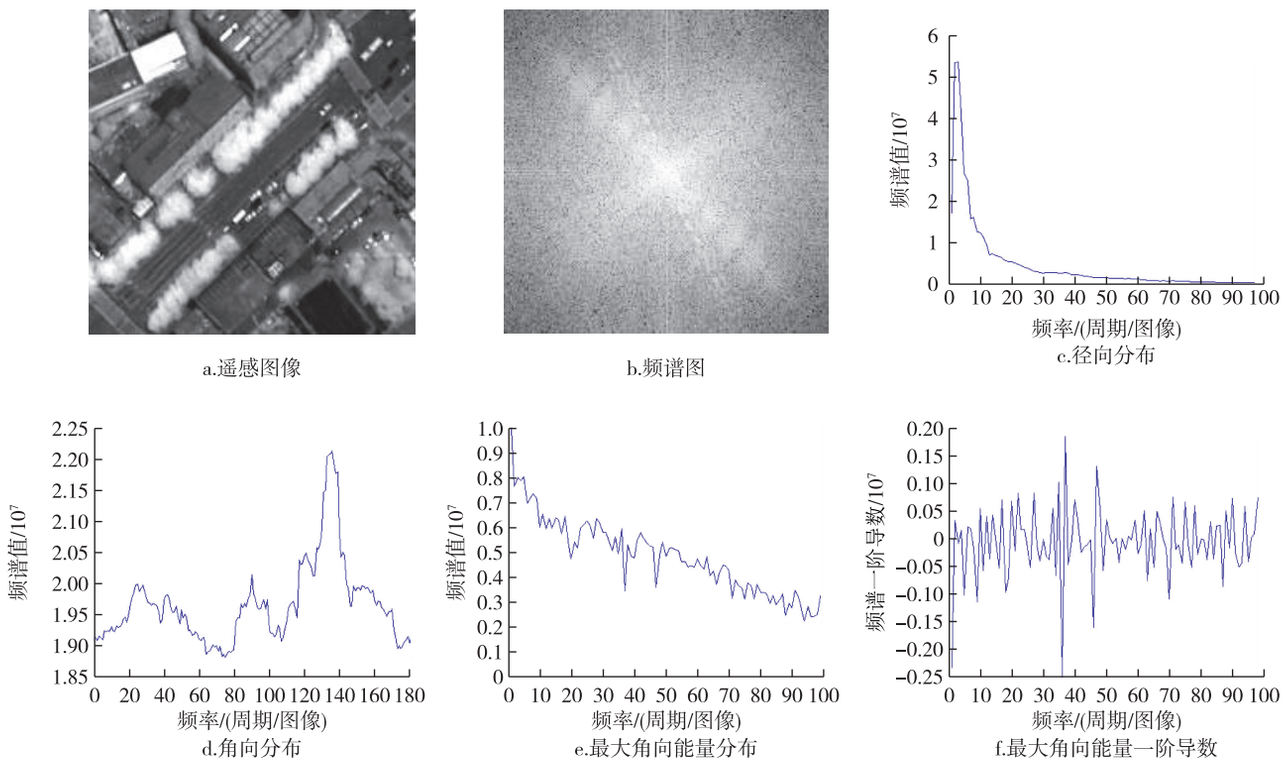
$$S(r)=\sum_{\theta=0}^{\pi}S(r,\theta)\ , \tag{2}$$

$$S(\theta)=\sum_{r=0}^{R_0}S(r,\theta)\ . \tag{3}$$

径向分布图主要揭示周期性频率成分的能量分布,频谱分析主要是通过最大径向能量确定图像的主频.如图2c所示,图像的径向分布曲线随着频率的增加迅速减小,在低频位置约12周期/图像处出现拐点,这部分属于低频区域,主要揭示图像色调特征;在频率为13~36周期/图像的中高频段,频谱能量下降速度明显减缓,此频段反映图像结构、轮廓特征,是轮廓提取的主要研究频段;在频率36周期/图像之后,频谱能量的下降速度最慢,此部分频段主要揭示图像中的细节信息及噪声.径向分布曲线没有出现显著的谐波特征,这是因为道路绿地属于自然纹理,周期性纹理特征不如建筑物等地物特征显著,表现在径向分布特征中无明显的主频谐波.从图2d的角向分布图中可以看到,图像的最大角向能量位于135°,且峰值特征显著,这揭示了图像中与之垂直方向存在显著的地物轮廓特征,即道路绿地的方向特征.

2.2 截止频率确定

图像的截止频率在频域滤波中起着至关重要的作用.截止频率通常会作为滤波器设计的中心频率,因此截止频率的准确性直接决定信息提取的质量.一些学者对图像纹理特征的截止频率进行了研究,如Bovik等[11]将频谱峰值作为滤波器的中心频率进行纹理分割,Tan[12]通过约束平方法寻找截止频率,Jernigan等[13]利用信息熵进行频率分析.这些研究对图像纹理所对应的截止频率进行了探讨,而对图像轮廓特征的截止频率探测方法则少有报道.图像轮



a.遥感图像 b.频谱图 c.径向分布
d.角向分布 e.最大角向能量分布 f.最大角向能量一阶导数

图 2 频谱分析过程

Fig. 2 Images of spectrum analysis processing

廓特征对应频谱图的中高频部分.由于图像轮廓位置的灰度变化剧烈,造成中高频位置的频谱曲线出现显著波动,因此可对频谱曲线中的极值频率进行重点探讨.本文在前期研究中进行了大量实验,发现以频谱曲线的波谷位置为中心频率进行滤波,可获得轮廓特征,结合文献[14],这里将主要探寻频谱曲线的波谷位置.本文的研究对象城市道路绿地通常具有显著的方向性特征,可通过分析频谱图最大角向能量方向的频谱能量分布,确定道路绿地轮廓的截止频率.图 2d 揭示道路绿地的方向为 45°,此方向的频谱能量分布曲线如图 2e 所示.在频率 36 周期/图像处存在波谷成分,但谐波特征并不显著.

在反射光谱曲线分析中,一阶导数因可以在一定程度上削减大气和背景噪声影响,所以被广泛应用于土壤、植物等诸多地物的特征分析中[15-16].而在频谱曲线分析中,受噪声的影响,频谱曲线特征会出现规律不显著的情况,尤其是自然纹理,难以从频谱曲线中发现谐波特征.本文通过计算最大角向能量分布曲线的一阶导数,消除噪声对频谱分布规律的影响,从而寻找对应道路绿地轮廓特征的截止频率.如图 2f 所示,将最大角向能量一阶导数曲线的中高频段所反映的峰值能量频率作为对应图像轮廓特征的截止频率,这里截止频率为 36 周期/图像.

2.3 Gabor 滤波器设计

Gabor 滤波器与哺乳动物视网膜神经细胞的接收场模型相吻合,它能够同时在时域和频域获得最佳的局部化,因此在图像纹理分割和边缘提取中得到广泛应用[17-18].Gabor 滤波器参数设置方法有搜索优化法和特征提取法[19-21].其中搜索优化法是采用一定的优化准则进行最佳参数的搜索,这种方法是数据无关的,但在数据特征不同时,采用相同的优化准则会导致结果不理想.特征提取法是采用实验的方法,根据研究数据特征,设计与之匹配的滤波器参数,这种方法受研究数据特征影响较大,往往通用性差.本文根据上述频谱特征分析,建立一种更为通用的参数设置方法.

一般情况下,二维 Gabor 函数 $h(x,y)$ 可表示为

$$h(x,y)=g(x',y')\exp[2\pi j(U_x,V_y)], \quad (4)$$

式中,(U_x,V_y) 表示特定的空间中心频率,$g(x,y)$ 为高斯函数,(x',y') 是 (x,y) 旋转 θ 角.

二维 Gabor 函数的傅里叶变换为

$$H(u',v')=\exp\left\{-\frac{1}{2}\left[(u'-U')^2/\sigma_u^2+(v'-V')^2/\sigma_v^2\right]\right\}, \quad (5)$$

式中,(U',V')和(u',v')分别表示角度旋转θ后的中心频率和空间频率.

Gabor 函数实际上是复数形式,将其分解可表示为

$$h(x,y)=\mathrm{Re}(x,y)+j\mathrm{Im}(x,y)\ , \tag{6}$$

式中:

$$\mathrm{Re}(x,y)=g(x,y)\cos[\omega(x\cos\theta+y\sin\theta)]\ , \tag{7}$$

$$\mathrm{Im}(x,y)=g(x,y)\sin[\omega(x\cos\theta+y\sin\theta)]\ . \tag{8}$$

Gabor 函数的实部是个偶函数,用实部对图像滤波仅起到图像平滑的作用.为提高检测精度并减少运算量,仅使用 Gabor 函数的虚部进行道路绿地轮廓的初步提取.一个θ方向的二维奇 Gabor 函数可表示为

$$g_o(x,y)=\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)\sin[\omega(x\cos\theta+y\sin\theta)]\ , \tag{9}$$

其中ω为角频率,$\omega=2\pi f$,f为频率,σ为空间常数.

奇 Gabor 函数中的角频率ω由频谱分析的截止频率来确定,方向θ则取决于道路绿地的方向.为选择最佳的空间常数σ,本文计算奇 Gabor 函数与式(10)所示的理想阶跃边缘函数的卷积,固定角频率ω和方向θ,在卷积函数随着空间常数σ的变化曲线中,取最大值处的σ作为滤波器设计参数.

$$U(x,y)=\begin{cases}1, & y\leqslant 0,\\ 0, & y>0.\end{cases} \tag{10}$$

然后,本文提取道路色调特征,进一步提取其中心脊线作为道路的中心线.色调信息集中在频谱图的低频中心[22],可通过低通滤波提取.在近红外波段上,道路的方向特征显著,但色调最暗.因此,本文对原图像进行反变换,突出道路色调信息,然后基于低通滤波提取道路色调信息.用式(5)所示的 Gabor 滤波器进行低通滤波,滤波器中心设置为(0,0),方向选择最大角向能量方向.

3 研究结果及评价

3.1 研究结果

研究区遥感图像频谱的径向分布曲线如图 3a 所示,频谱能量随着频率的增加迅速减小,在低频约 60 周期/图像处出现拐点,而在中高频都没有出现峰值谐波.从图 3b 的角向分布曲线中可以看到,最大角向能量位于 0°(180°)和 90°,且峰值特征显著,这揭示了图像中竖直和水平两条道路绿地(道路绿地②和道路绿地①)的方向特征;第 3 个显著的波峰位于 45°,对应图像中 135°的道路绿地(道路绿地③)方向特征;同时在 105°、135°和 173°也存在较为显著的谐波成分.其中 135°的谐波成分反映了图像中 45°的道路绿地(道路绿地④)方向特征;道路绿地⑤并非完全呈竖直直线,173°谐波则恰能反映此方向特征;研究区图像中与 105°垂直的方向并不存在道路绿地,而是存在大量的建筑物,因此对 105°方向的频谱能量不进行详细分析.

0°、45°、90°、135°、173°各方向的频谱能量分布曲线及一阶导数曲线如图 4 所示.将一阶导数曲线在中高频段的峰值频率作为截止频率,设计提取道路绿地轮廓的奇 Gabor 滤波器.结合一阶导数曲线的低频区域较高峰值,判断最大角向能量分布曲线的低频区域的拐点频率,设计提取道路信息的滤波器参数.具体滤波器参数如表 1 所示.

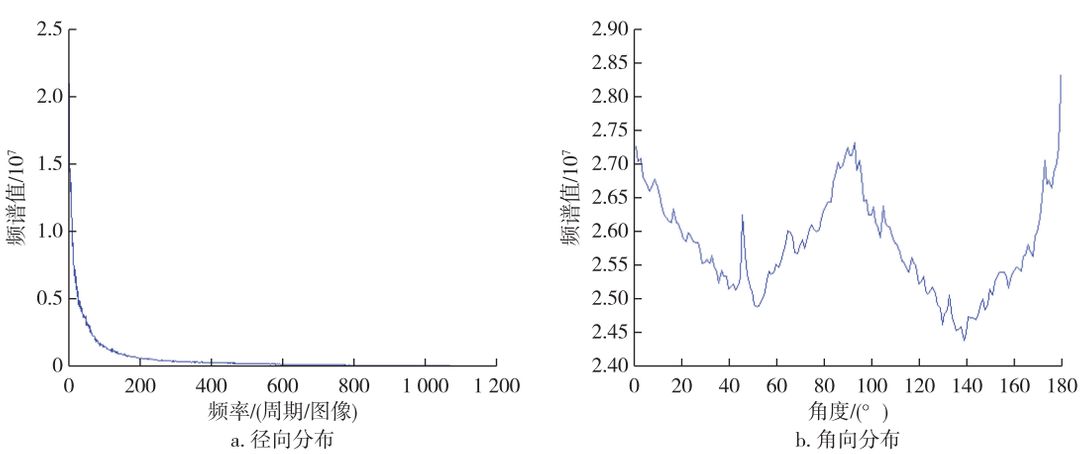


图 3 研究区频谱分析

Fig. 3 Spectrum analysis of study area

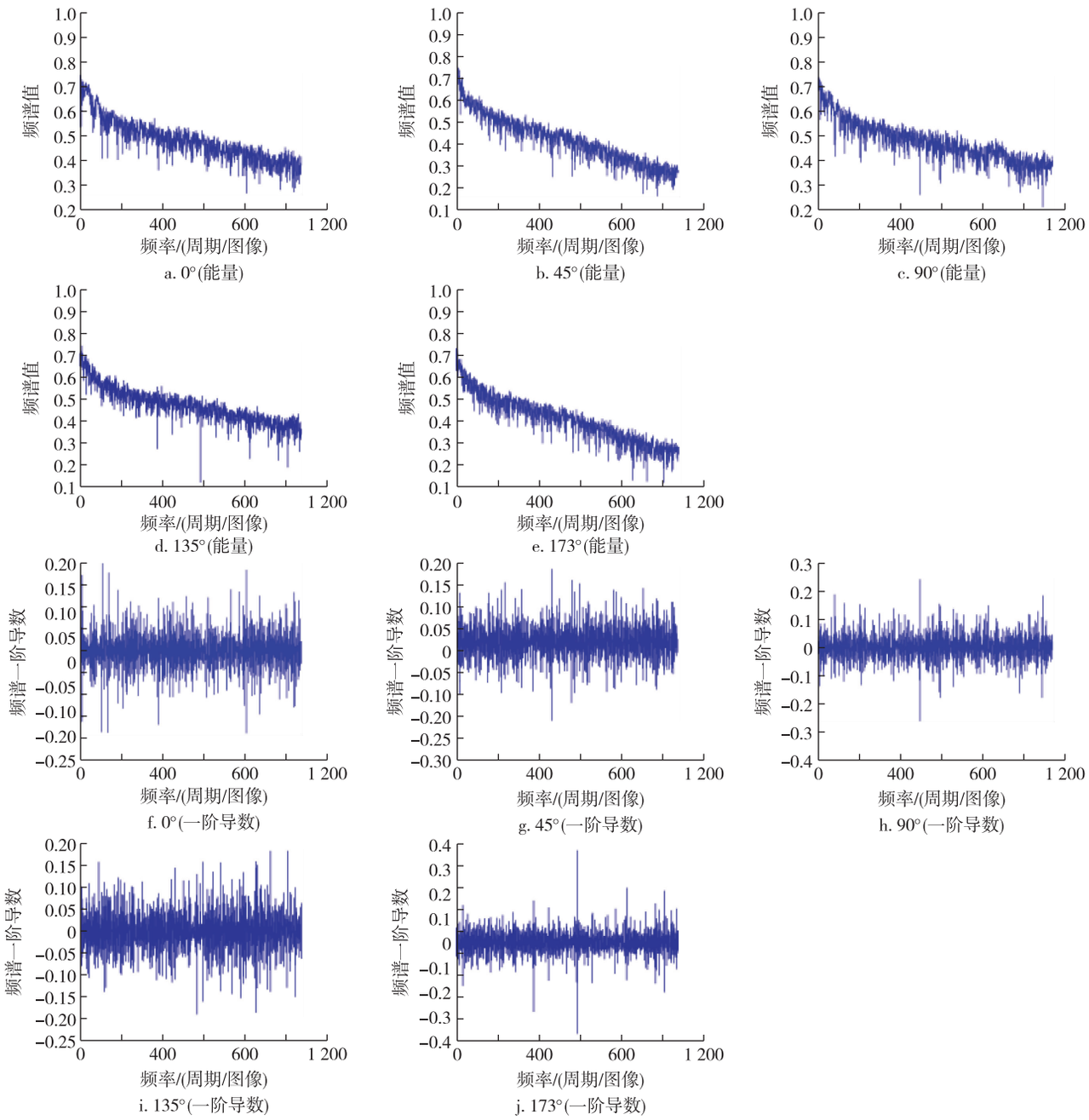


图 4　各方向的能量曲线和一阶导数曲线

Fig. 4　Energy distribution of different direction and the first derivative curve

表 1　滤波器参数

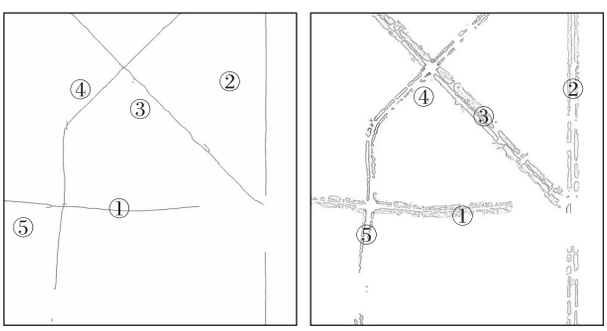
Table 1　Parameters of filters

道路绿地编号	θ/(°)	ω/(周期/图像)	σ	σ_u	σ_v
①	90	2.83	0.67	84	8
②	0	4.71	0.40	96	10
③	45	2.64	0.72	26	3
④	135	5.46	0.35	86	8
⑤	173	3.45	0.55	58	6

对研究区图像进行低通滤波,获得各方向的道路色调信息,然后对道路信息进行细化,提取其脊线,得到道路中心线.为了使结果显示更加直观,这里对提取结果进行反相处理,如图 5a 所示.整体来说,道路中心线保持了较好的连续性,没有出现较多断点、中断等现象.道路②在与道路③的交叉口处出现了部分不连续,这是因为此交叉口是属于环形交通岛,此处的道路不在竖直线上;同时道路⑤的最下端有部分没有被检测出来,这是因为此处道路方向

有改变的趋势,所以在方向滤波时受到了影响.

对研究区图像进行奇 Gabor 滤波,获得轮廓图像.结合图像中的道路特征以及实地调查,5 条道路宽度为 24~30 m,以图 5a 所示的道路中心线为中心,以 5 条道路宽度分别为 40、50、50、40、40 像素为缓冲区,提取道路绿地轮廓,并进行数学形态学开运算,以去除内部噪声和边缘毛刺,得到道路绿地轮廓图像,其反相图像如图 5b 所示.可见,沿着道路绿地方向上的轮廓曲线基本完整,整体受噪声影响较小,基本不受建筑物遮挡等影响.



a. 道路中心线　　b. 道路绿地轮廓

图 5　道路中心线与绿地轮廓特征提取结果

Fig. 5　Results of road center lines and contours of green lands along roads

3.2　结果评价

将所提取的道路绿地轮廓与原图像叠加,如图 6 所示.所提取的图像轮廓与原图像中道路绿地轮廓边缘符合情况良好,没有出现大片漏检或过检等现象.但在道路②的下半部分,有少量道路绿地轮廓没有检测完整,这是因为此处的道路中心线受交叉路口的影响,出现了不连续性.在道路③、④的交叉处,有小部分道路绿地被重复检测,道路④、⑤的连接处,也有小部分被重复检测.

为了进一步评价研究结果,本文将讨论滤波器参数设置对道路绿地提取的影响,并利用 Canny 定量评价准则,与 Canny 算子的提取结果进行对比分析.

Mehrotra 等[23]对奇 Gabor 滤波器的参数设置研究中,指出不同的 $\omega\sigma$ 取值,可以得到不同尺度的边缘检测效果.同时指出,对一维信号来说,当 $\omega\sigma=1.0$ 时,可以取得较好的边缘检测结果.傅一平等[24]在此基础上进行了二维图像边缘检测研究,指出当 $\omega\sigma=1.8$,且 $\theta=\pi/2$ 时可获得较好的边缘检测结果.但在图像特征检测时,如何选择适应识别目标的角频率 ω 或者空间频率 f,目前还未见讨论.这里从研究区道路绿地②和③分别裁取两幅 500 像素×500 像素



图 6　轮廓图像与原图像叠加图

Fig. 6　Image of contour images overlaid with original image

的图像进行验证比较,分别令 $\omega=1.00$, $\sigma=1.00$ 及 $\omega=1.80$, $\sigma=1.00$,结果如图 7 所示,与本文轮廓提取结果差异较大.由此可知,图像的特征提取中,准确的滤波器参数设置会显著提高滤波效果.

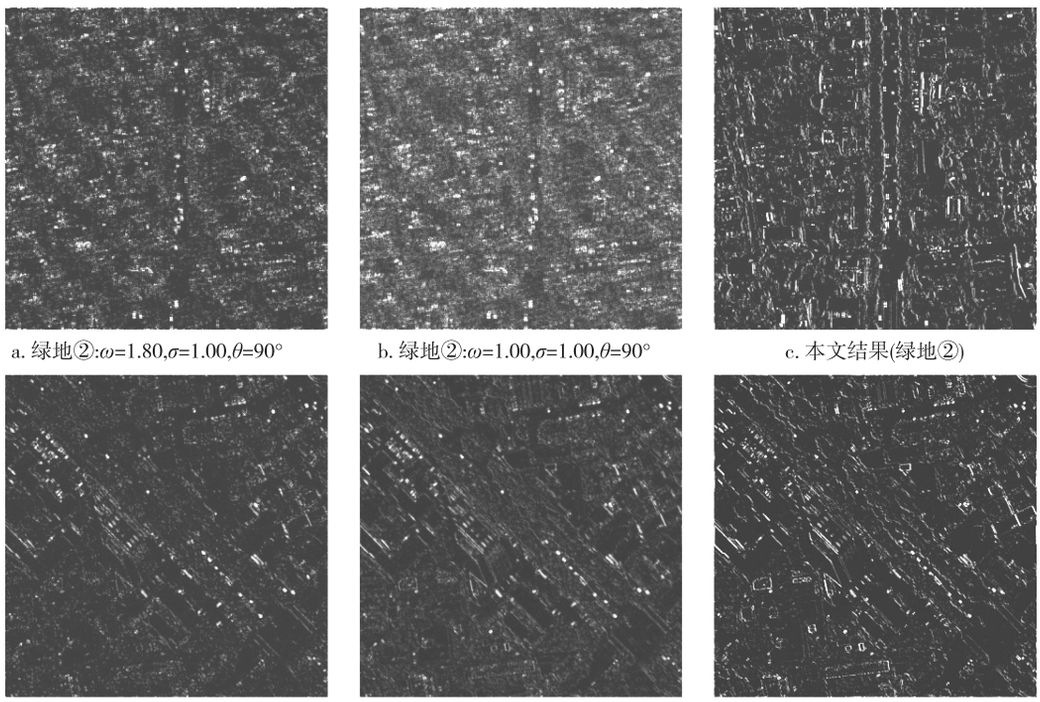
进一步利用 Canny 准则进行精度评价,使用信噪比准则 Σ 与定位精度准则 $\vee$ 的乘积 $\Sigma\vee$ 以及单边缘响应准则 C 来评价边缘检测质量[25],所得结果如表 2 所示.本文的信噪比和定位精度与一阶微分算子基本相当,与 Mehrotra 等[23]所提出的 Gabor 滤波器参数设置方法相比,信噪比与定位精度有所提高,而本文的单边缘响应准则明显优于一阶微分算子及文献[23]提出的参数设置准则.

表 2　边缘检测精度比较

Table 2　Precision comparision of edge detection

边缘检测算子	判断准则	
	$\Sigma\vee$	C
一阶微分算子	0.92	0.50
Gabor(文献[23])	0.90	0.54
Gabor(本文方法)	0.93	0.60

Canny 边缘检测结果如图 8 所示,在检测出的道路绿地轮廓中,靠近道路一侧的轮廓比较清晰,但靠近建筑物一侧的道路绿地轮廓极不完整,多数无法形成闭合的曲线.Canny 算子为全局检测算子,检测结果中没有显著突出道路绿地的响应特征,也无法突出道路的线状特征,不能利用道路中心线信息进行道路绿地的定位.



a. 绿地②:ω=1.80,σ=1.00,θ=90° b. 绿地②:ω=1.00,σ=1.00,θ=90° c. 本文结果(绿地②)

d. 绿地③:ω=1.80,σ=1.00 ,θ=135° e. 绿地③:ω=1.00,σ=1.00,θ=135° f. 本文结果(绿地③)

图 7 变换参数后的奇 Gabor 滤波结果

Fig. 7 Filtering results of odd Gabor filter by setting different parameters



图 8 Canny 边缘检测结果

Fig. 8 Edge detection results of Canny

4 结论

本文结合高分辨率遥感图像的频谱空间特征,提出了一种基于 Gabor 滤波的城市道路绿地轮廓提取方法.通过频谱分析,寻找道路绿地轮廓对应的方向和截止频率,建立奇 Gabor 滤波器提取绿地轮廓信息,并利用低通滤波提取道路中心线,计算道路中心线的缓冲区获得道路绿地轮廓信息.本文利用最大角向能量一阶导数曲线的峰值确定截止频率,建立基于地物特征的遥感图像信息提取方法,优化了 Gabor 滤波器的参数,对城市地物的特征提取具有一定通用性.

本文研究区的道路绿地主要呈直线或近似直线型的分布,方向是 Gabor 滤波的重要参数之一,本文结果对方向性较强的城市道路绿地信息提取具有一定代表意义.对于城市道路方向多变的地区,在滤波器设计时需要适当调整方向参数.

参考文献

References

[1] Small C,Lu J W T.Estimation and vicarious validation of urban vegetation abundance by spectral mixture analysis [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100 (1): 441-456

[2] 张良培,黄昕.遥感影像信息处理技术的研究进展[J].遥感学报,2009,13(4):559-569
ZHANG Liangpei, HUANG Xin. Advanced processing techniques for remotely sensed imagery[J]. Journal of Remote Sensing,2009,13(4):559-569

[3] 宫鹏,黎夏,徐冰.高分辨率影像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J].遥感学报,2006,10(1):1-4

GONG Peng,LI Xia,XU Bing.Some research problems in the interpretation theory and methods for high spatial resolution remote sensing imagery[J].Journal of Remote Sensing,2006,10(1):1-4

[4] 秦昆,陈一祥,甘顺子,等.高分辨率遥感影像空间结构特征建模方法综述[J].中国图象图形学报,2013,18(9):1055-1064
QIN Kun,CHEN Yixiang,GAN Shunzi,et al.Review on methods of spatial structural feature modeling of high resolution remote sensing images[J].Journal of Image and Graphics,2013,18(9):1055-1064

[5] 赵西安,李德仁.二维对称小波与多尺度影像边缘特征提取[J].测绘学报,2003,32(4):313-319
ZHAO Xi'an,LI Deren.Constructingtwo dimension symmetric wavelets for extracting edge features of imageatmultiscales[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2003,32(4):313-319

[6] 吴桂平,肖鹏峰,冯学智,等.一种基于频谱段能量的高分辨率遥感图像边缘特征检测方法[J].测绘学报,2011,40(5):587-591
WU Guiping,XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi,et al.Amethod of edge feature detection from high-resolution remote sensing images based on frequency spectrum zone energy[J].Acta Geodaeticaet Cartographica Sinica,2011,40(5):587-591

[7] 肖鹏峰,冯学智,赵书河,等.一种基于相位一致的高分辨率遥感图像特征检测方法[J].遥感学报,2007,11(3):303-310
XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi,ZHAO Shuhe,et al.Featuredetection from high-resolution remotely sensed imagery based on phase congruency[J].Journal of Remote Sensing,2007,11(3):303-310

[8] 周立国,冯学智,肖鹏峰.一种频域高分辨率遥感图像线状特征检测方法[J].测绘学报,2011,40(3):312-317
ZHOU Liguo,FENG Xuezhi,XIAO Pengfeng.Linearfeature detection for high-resolution remotely sensed imagery in frequency domain[J].Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2011,40(3):312-317

[9] 吴桂平,肖鹏峰,冯学智,等.基于光谱空间变换的遥感图像目标探测方法研究[J].光谱学与光谱分析,2013,33(3):741-745
WU Guiping,XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi,et al.Amethod of object detection for remote sensing imagery based on spectral space transformation[J].Spectroscopy and Spectral Analysis,2013,33(3):741-745

[10] 吴桂平,肖鹏峰,冯学智,等.利用频谱能量进行高分辨率遥感图像地物识别[J].武汉大学学报(信息科学版),2011,36(11):1294-1297
WU Guiping,XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi,et al.Objectrecognition for high-resolution remotely sensed imagery based on energy in frequency domain[J].Geometics and Information Science of Wuhan University,2011,36(11):1294-1297

[11] Bovik A C,Clark M,Geisler W S.Multichannel texture analysis using localized spatial filters[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1990,12(1):55-73

[12] Tan T N.Textureedge detection by modelling visual cortical channels[J].Pattern Recognition,1995,28(9):1283-1298

[13] Jernigan M E,Dastous F.Entropy-based texture analysis in the spatial frequency domain[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1984,6(2):237-243

[14] 赵好好,肖鹏峰,冯学智.基于频谱分析的遥感图像边缘特征检测研究[J].遥感信息,2013,28(6):96-101
ZHAO Haohao,XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi.Edgefeature detection of high resolution remote sensing images based on frequency spectrum analysis[J].Remote Sensing Information,2013,28(6):96-101

[15] 刘炜,常庆瑞,郭曼,等.土壤导数光谱小波去噪与有机质吸收特征提取[J].光谱学与光谱分析,2011,31(1):100-104
LIU Wei,CHANG Qingrui,GUO Man,et al.Extraction offirst derivative spectrum features of soil organic matter via wavelet de-noising[J].Spectroscopy and Spectral Analysis,2011,31(1):100-104

[16] 林川,宫兆宁,赵文吉,等.基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法:以北京野鸭湖湿地为例[J].生态学报,2013,33(4):1172-1185
LIN Chuan,GONG Zhaoning,ZHAO Wenji,et al.Identifyingtypical plant ecological types based on spectral characteristic variables:a case study in Wild Duck lake wetland,Beijing[J].Acta Ecologica Sinica,2013,33(4):1172-1185

[17] Jain A K,Farrokhnia F.Unsupervised texture segmentation using Gabor filters[J].Pattern Recognition,1991,24(12):1167-1186

[18] Teuner A,Picjler O,Hosticka B J.Unsupervised texture segmentation of images using tuned matched Gabor filters[J].IEEE Transactions on Image Processing,1995,4(6):863-869

[19] Tsaia D M,Wua S K,Chen M C.Optimal Gabor filter design for texture segmentation using stochastic Optimization[J].Image and Vision Computing,2001,19(1):299-316

[20] Dunn D,Higgins W E,Wakeley J.Texture segmentation using 2-D Gabor elementary function[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1994,16(2):130-149

[21] Dunn D,Higgins W E.Optimal Gabor filters for texture segmentation[J].IEEE Transactions on Image Processing,1995,4(7):947-964

[22] 王珂,肖鹏峰,冯学智,等.基于频域滤波的高分辨率遥感图像城市河道信息提取[J].遥感学报,2013,17(2):269-285
WANG Ke,XIAO Pengfeng,FENG Xuezhi,et al.Extraction of urban rivers from high spatial resolution remotely sensed imagery based on filtering in the frequency domain[J].Journal of Remote Sensing,2013,17(2):269-285

[23] Mehrotra R,Namuduri K R,Ranganathan N.Gaborfilter-based edge detection[J].Pattern Recognition,1992,25(12):1479-1494

[24] 傅一平,李志能,袁丁.基于优化设计 Gabor 滤波器的

边缘提取方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(4):481-486
FU Yiping, LI Zhineng, YUAN Ding. Edgedetection with optimized Gabor filter[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(4): 481-486
[25] Canny J. Acomputational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698

Contour extraction of urban green spaces along roads using high resolution remote sensing imagery based on the spectrum space

ZHAO Haohao[1]

1 School of Remote Sensing & Geomatics Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract A contour extraction method for urban green spaces along roads was proposed based on the spectrum domain. Remotely sensed images were transformed into the Fourier domain, the spectrum energy was analyzed, and the direction and cut-off frequency corresponding to the contours of green spaces along roads were established. Gabor filters were specifically designed to extract the contours of these green spaces. The central lines on roads were detected by filtering at a low frequency, and the green spaces along the roads were extracted as a buffer of these central lines. The results showed that the filter parameters can be set accurately based on the frequency spectrum analysis of image features, and the contours of urban green spaces along roads can be effectively extracted.

Key words high resolution remotely sensed images; urban green spaces; contour extraction; spectrum space; Gabor filters