

基于 9/7 小波变换的木材纹理频域特征研究

王亚超¹, 薛河儒^{1*}, 多化琼²

(1. 内蒙古农业大学 计算机与信息工程学院 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学 材料科学与艺术设计学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

摘 要:通过利用实数 9/7 小波变换,对木材纹理进行多尺度分解,利用特征参数分析了木材纹理频率分布特征,比较了针叶材与阔叶材、径向与弦向切面的木材纹理的差异。实验结果表明,利用实数 9/7 小波变换,分析各子图像能量值的标准差,筛选出木材纹理最佳分解尺度为 3,同时还发现小波能量分布比例和 EHL/ELH 值可作为木材纹理方向性参数。

关键词:木材纹理;9/7 小波变换;频域特征参数

中图分类号:S781.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2012)01-0225-04

Frequency Feature Extraction and Analysis of Wood Texture Based on the 9/7 Wavelet Transforms

WANG Ya-chao¹, XUE He-ru^{1*}, DUO Hua-qiong²

(1. College of Computer and Information Engineering, Inner Mongolia Agriculture University. Huhhot, Inner Mongolia 010018, China;
2. College of Material Science and Art Design, Inner Mongolia Agriculture University. Huhhot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract:Based on the 9/7 wavelet transforms, multi-scale decomposition was conducted on the the wood texture. The frequency distribution features of wood texture were analyzed by using characteristic coefficients. Wood texture differences between coniferous and broad-leaved woods, radial section and tangential section of woods were analyzed. From the results of analyzing the standard deviations of sub-image energies by the 9/7 wavelet transforms, it was found the the optimal decomposition scale for wood texture was 3, and the distribution ratio of subsection energy and EHL/ELH could be used to declare texture direction of wood.

Key words:wood texture;the 9/7 wavelet transforms;feature parameter in frequency domain

木材比较重要的特征之一是其独特的纹理,许多学者都对木材纹理进行了定量研究^[1-3]。近年,东北林业大学的学者利用各种小波分解得到不同层次、不同频率分量的能量值来分析木材纹理特性,当整幅纹理在某个方向集中时,整幅纹理的能量就集中在这个方向上;当纹理不存在明显的方向时,能量值的大小则体现不同方向上的粗糙度^[4];还对木材纹理作二进正交小波基变换后,在频域内的小波能量值和小波能量分布比例进行了研究^[4-7]。

在前人提出实数 9/7 小波变换^[8-9]的基础上。本文在国内首次利用实数 9/7 小波变换对木材纹理

在频域内的特征参数进行研究,意在探索木材纹理的频域特征参数,拓展了实数 9/7 小波变换的应用领域,同时所得的特征参数可作为木材纹理的视觉信息分解、重构、压缩、降噪等的重要基础,为进一步的机器视觉模糊查询、模式识别等服务。

1 材料与方法

1.1 实验材料

把针叶材云南松和阔叶材光叶桑制成尺寸为 120 mm×80 mm 的木材径、弦向切面试件,使用扫描仪实现图像数字化,图像采样精度 512×512 像

收稿日期:2011-04-14 修回日期:2011-06-03

基金项目:国家自然科学基金(30960303),内蒙古自然科学基金(2009MS0509)。

作者简介:王亚超,女,硕士生,主要从事数字图像处理。

* 通讯作者:薛河儒,男,硕士生导师,博士,教授,主要从事数字图像处理教学与研究。Email: xuehr@imau.edu.cn

素,灰度层次 256 级,保存为 BMP 图像格式。

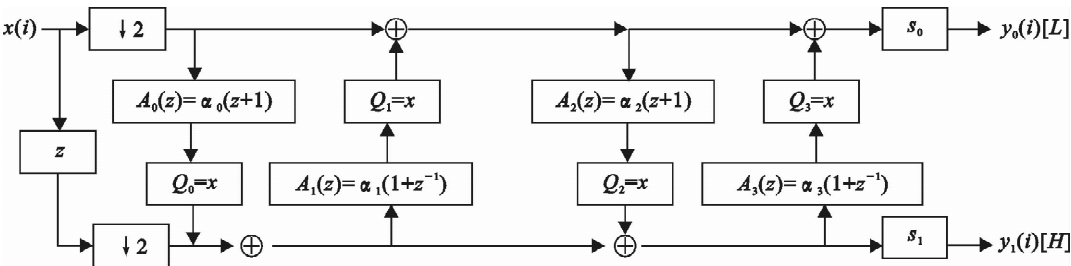
1.2 实验方法

把木材径、弦向切面图像进行实数 9/7 小波一阶到三级变换,分别计算小波分解后得到的不同频

率分量的小波能量值和小波能量分布比例。

1.2.1 实数 9/7 小波分解^[8-9]

正变换的分解图:



其中: $\alpha_0 \approx -1.586134$; $\alpha_1 \approx -0.052980$; $\alpha_2 \approx 0.882911$; $\alpha_3 \approx 0.443506$; $s_0 \approx 1.230174$; $s_1 = 1/s_0$

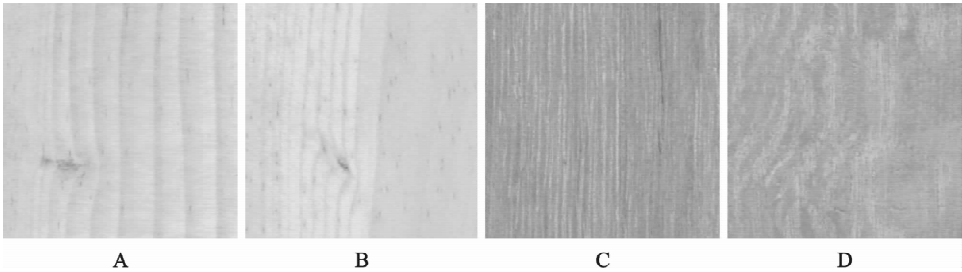
1.3 特征向量的提取

利用 Matlab 编程,计算实数 9/7 小波变换后,各频域内的小波能量分布特征参数和小波能量分布

比例特征参数^[6]。

2 结果与分析

图 1 为木材纹理的原始图。



A:针叶材云南松径向切面;B:针叶材云南松弦向切面;C:阔叶材光叶桑的径切面;D:阔叶材光叶桑的弦切面

图 1 针叶材和阔叶材的径、弦向切面原始图像

Fig.1 Original image of radial section and tangential section of softwood and hardwood

2.1 最佳分解尺度的选择

一般说,并不是小波分解的尺度越高,精确度也越高。在实际中,随分解尺度的增大,边界像素和超出边界的像素增多,会造成伪纹理的出现。因此,要选择最佳的小波分解尺度。

利用小波能量的均值和标准差来选择木材纹理分解的最佳尺度。其基本原理为:小波能量的均值反映信息量的多少,而标准差反映样本偏离总体平均数的程度和样本间纹理差异的大小,因此当某一尺度上的各能量的标准差最大时,即反映了此分解尺度上的纹理间差异表现的最明显,纹理细节表达最充分^[6]。图 1 A 不同尺度上 LL、LH、HL 和 HH 的能量值与标准差见表 1。

从表 1 可以看出,当分解尺度从 1 变化到 3 时,ELL 的能量值在增加,说明纹理的宏观结构经过第 1 至第 3 尺度的分解,尺度 2 和 3 最大限度地反映了纹理的主要内容。样本的 EHL、ELH 和 EHH 均随分解尺度的升高而增大,因此初步认定尺度 2 和 3 为木材纹理分析的较佳尺度;此时继续对 EHL、ELH 和 EHH 的标准差进行分析,发现标准

差的最大值均出现在分解尺度为 3 时,说明当分解尺度为 3 时,木材纹理信息得到了充分体现,纹理的差异性体现最明显。综上所述,木材纹理分解的最佳尺度为 3。

2.2 木材纹理频率内的特征

通过对图 1 针叶材和阔叶材的径、弦向切面的 2 尺度实数 9/7 分解,计算出各分量的能量值如表 2 所示,从表 2 可以看出,无论是针叶材还是阔叶材,也无论是径向切面还是弦向切面,木材纹理的低频分量 ELL 的能量值最高,且远高于中高频分量 EHL、ELH 和 EHH,这说明木材纹理的最主要和最重要的信息主要集中在低频区域,反映了纹理的主要信息。

当 ELL 较小,EHL、ELH 均较大或其中一个较大,而 EHH 较小时,对应的图像一般呈现出较强的规律性纹理;反之,如果 ELL 较大,而 EHL、ELH 和 EHH 均较小时,对应的图像纹理一般相对细致均匀、纹理程度较弱;而当 ELL 较小,EHL、ELH 均较大,尤其是 EHH 也较大时,对应的图像纹理一般较粗糙,图面的纹理性较强,但无规则^[6]。

表 1 LL、LH、HL 和 HH 子图像能量值与标准差

Table 1 Energic values of LL,LH,HL and HH, and their standard deviation at different decomposition scale

尺度数	ELL		EHL		ELH		EHH	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
1	1.869	0.020	0.005	0.003	0.007	0.001	0.002	0.001
2	4.279	0.044	0.012	0.009	0.012	0.003	0.004	0.002
3	4.216	0.022	0.624	0.029	0.613	0.032	0.096	0.535

表 2 径、弦向切面之间的 ELL、EHL、ELH、EPHL、EPLH、EPHH 和 EHL/ELH 比较

Table 2 Comparison of ELL , EHL , ELH , EPHL , EPLH , EPHH and EHLPELH between radial and tangential sections

	径向切面						弦向切面					
	针叶树材		阔叶树材		均值	标准差	针叶树材		阔叶树材		均值	标准差
	均值	标准差	均值	标准差			均值	标准差	均值	标准差		
ELL	1.869	0.020	1.430	0.015	1.650	0.018	1.935	0.021	1.511	0.011	1.723	0.016
EHL	0.003	0.001	0.008	0.001	0.008	0.001	0.004	0.002	0.009	0.002	0.007	0.002
ELH	0.005	0.003	0.025	0.005	0.015	0.004	0.005	0.002	0.011	0.003	0.008	0.003
EPHL/%	57.2		68.7		63.0		49.4		49.6		49.5	
EPLH/%	52.2		22.9		37.6		38.6		40.1		39.4	
EPHH/%	10.6		8.4		9.5		12.1		10.4		11.3	
EHL/ELH	0.6		0.3		0.5		0.8		0.8		0.9	

依据以上分析基础,针对木材纹理的特点,从表 2 和表 1 可以看出:①ELL 较大,其它成分都较小,说明木材纹理无论针叶材还是阔叶材,也无论径向切面还是弦向切面,都相对较细致,纹理化程度较弱;②EHH 非常小,显示木材纹理在针叶材径向切面不粗糙;同时,HH 子图中不存在较强的边界点,在高频中仅存在一些随机能量,并未包含太多的纹理信息,验证了木材纹理不很强的特点。

总之,经小波分解所得的不同方向上的特征参数在表达木材纹理信息的能力排序为:ELL>EHL>ELH>EHH。因 EHH 最小,故下面只选用 ELL、EHL 和 ELH 对木材纹理进一步分析。

2.3 木材纹理方向的频域特征参数

图像经小波分解,不同分量的能量值可反映原图像纹理的方向性。当图像呈现横向纹理时,其沿列方向滤波后的纹理水平边缘分量的能量值明显高于其沿行方向滤波后的纹理垂直边缘分量的能量值,即 ELH>>EHL;同理,当图像呈现竖向纹理时,其沿行方向滤波后的纹理垂直边缘分量的能量值明显高于其沿列方向滤波后的纹理水平边缘分量的能量值,即 EHL>>ELH;当图像表现为斜向纹理时,ELH、EHL 均较大,且基本相等,即 ELH≈EHL>>0;当图像表现的纹理无方向时,ELH≈EHL,它们的能量值大小不固定^[6]。由于本文使用的是实数 9/7 小波变换,故与上述有所不同。从表 2 可看出,虽然,EHL 和 ELH 相差很小,但 EHL< ELH,而图 1 中的木材纹理为竖向纹理,说明当图像呈现竖向纹理时,EHL< ELH。为了进一步说明,引入 EHL 与 ELH 的比值,其规律

为:当纹理竖向程度强时,EHL/ELH < 1,并随着纹理竖向程度的加深,其值越小;当纹理横向程度强时,EHL/ELH >1,并随着纹理横向程度的加深,其值越大;当纹理为斜向或无方向时,EHL/ELH≈1。从表 2 可以看出,无论是针叶材还是阔叶材,也无论是径向切面还是弦向切面,其 EHL/ELH < 1,进一步说明其为竖向纹理。

为更好地反映纹理的方向性,引入小波分量能量分布比例无量纲参量。其规律为:当横向纹理为主时,EPLH 应大于 EPHL 和 EPHH,且随横向纹理程度的加深向 100 %接近;当竖向纹理为主时,EPHL 应大于 EPLH 和 PHH,且随横向纹理程度的加深向 100 %接近;当纹理为斜向或无向时,EPHH、EPHL 和 EPLH 均应较小,而 EPHH 较横向纹理与竖向纹理时为大。从表 2 可以看出,EPHL 大于 EPLH 和 EPHH,从图 1 可以看出,木材纹理都为竖向纹理,故当竖向纹理为主时,EPHL 大于 EPLH 和 PHH。

2.4 木材纹理在径、弦向切面及针叶、阔叶树材的规律与区别

2.4.1 在径、弦向切面木材纹理的规律与比较 从表 2 可看出:木材的径、弦向切面相比,低频分量 ELL 无论在径向切面还是弦向切面的均值基本相等,说明二者的纹理信息含量基本相当,纹理化程度相似。径向切面的 EHL、ELH 整体略高于弦向切面,证明木材径向切面的纹理表现略比弦向切面的纹理表现要强一些。同时,EPHL 大于 EPLH 和 EPHH,EHL/ELH 值小于 1,说明木材径向和弦向

纹理都呈一定程度的竖向纹理。

2.4.2 木材纹理的规律与比较 从表3可看出:针叶树材的ELL比阔叶树材的大,说明针叶树材纹理信息含量多,纹理化的程度强。针叶树材的EHL、

表3 针叶树材和阔叶树材的ELL、EHL、ELH、EPHL、EPLH、EPHH和EHL/ELH比较

Table 3 Comparison of ELL, EHL, ELH, EPHL, EPLH, EPHH and EHLPELH between softwood and hardwood

	针叶树材						阔叶树材					
	径向切面		弦向切面		均值	标准差	径向切面		弦向切面		均值	标准差
	均值	标准差	均值	标准差			均值	标准差	均值	标准差		
ELL	1.869	0.020	1.935	0.021	1.902	0.021	1.430	0.015	1.511	0.011	1.471	0.013
EHL	0.003	0.001	0.004	0.002	0.006	0.002	0.008	0.001	0.009	0.002	0.009	0.002
ELH	0.005	0.003	0.005	0.002	0.005	0.003	0.025	0.005	0.011	0.003	0.018	0.004
EPHL/%	57.2		49.4		53.3		68.7		49.6		59.2	
EPLH/%	52.2		38.6		45.4		22.9		40.1		31.5	
EPHH/%	10.6		12.1		11.4		8.4		10.4		9.4	
EHL/ELH	0.6		0.8		1.1		0.3		0.8		0.6	

3 结论

实数9/7小波的多尺度频率分解特性参数研究,使以往人们用肉眼进行观察与主观判别的木材纹理信息,实现了运用计算机图像处理技术,定量分析客观数据,来判断木材纹理信息,为今后木材纹理的量化研究提供了一种新思路和方法。

试验结果表明,实数9/7小波变换对木材纹理的最佳分解尺度为3,经小波分解所得的特征参数能够很好地反映木材纹理的规律特征和方向性。从应用角度来看,基于9/7小波变换提取木材纹理的频域特征,提供了一个从客观数据来评价木材视觉效果及改变程度的工具,可用于木制品纹理加工工艺等等。

参考文献:

[1] 王晗,白雪冰,王辉. 基于空间灰度共生矩阵木材纹理分类识别的研究[J]. 森林工程,2007, 23(1): 32-36.
WANG H, BAI X B, WANG H. Wood texture classification and recognition based on spatial GLCM[J]. Forest Engineering, 2007, 23(1): 32-36.

[2] 王克奇,白雪冰,王辉. 基于小波变换的木材表面纹理分类[J]. 哈尔滨工业大学学报,2009, 41(9): 232-234.
WANG K Q, BAI X B, WANG H. Classification of wood surface texture based on wavelets transform[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(9): 232-234.

[3] 刘一星,于海鹏. 透明涂饰对木材纹理等视觉特征的影响分析

ELH整体略低于阔叶树材的,证明阔叶树材的纹理表现略比针叶树材的纹理表现要强一些。同时,EPHL大于EPLH和EPHH,EHL/ELH值小于1,说明针叶树材和阔叶树材都呈一定程度的竖向纹理。

[J]. 林业科学, 2006,42(12):90-94.

LIU Y X, YU H P. Effect of clear lacquer on textural vision of wood surface[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006,42(12):90-94.

[4] 任宁,于海鹏,刘一星,等. 木材纹理的分形特征与计算[J]. 东北林业大学学报, 2007,35(2):9-11.
REN N, YU H P, LIU Y X, *et al.* Fractal character and calculation of wood texture[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007,35(2):9-11.

[5] 于海鹏,刘一星,刘镇波. 木材纹理的量化算法探究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 157-162.
YU H P, LIU Y X, LIU Z B. Some idea and algorithms about quantification of wood texture[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2005, 25(2): 157-162.

[6] 于海鹏,刘一星,孙建平. 基于小波的木材纹理分频信息提取与分析[J]. 林业科学, 2005, 41(2):100-105.
YU H P, LIU Y X, SUN J P. Separated frequency features extraction and analysis of wood texture based on wavelet[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(2):100-105.

[7] 戴天虹,赵贝贝,王玉珏,等. 提升小波在木材颜色特征提取上的应用[J]. 计算机应用, 2009, 29(12): 218-219.
DAI T H, ZHAO B B, WANG Y J, *et al.* Application of lifting wavelet transform in wood color feature extraction[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(12): 218-219.

[8] ATHANASSIOS S, CHARILAOS C, TOURADJ E. The JPEG-2000 still image compression standard[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2001,18(5):36-58.

[9] 张德丰. MATLAB小波分析[M]. 北京:机械工业出版社, 2009:16.