

木材纹理的分形特征与计算¹⁾

任 宁 于海鹏 刘一星 董君伟

(生物质材料科学与技术教育部重点实验室(东北林业大学), 哈尔滨, 150040)

摘 要 采用分形方法对 20 种典型的木材径向、弦向纹理图像进行了分析, 结果表明: 木材纹理的分形维数值能够很好地表征木材表面纹理的形状、分布密度、均匀程度和宽度特征, 符合了木材表面纹理的粗糙性和复杂性规律。分形维数值本身是几个常规纹理特征的综合体, 使得纹理特征的表达得以简化。分形方法为木材表面纹理的分布密度和复杂度等特征参数的定量化分析提供了一种新的思路和方法。

关键词 木材纹理; 分形; 计算; 复杂度

分类号 S781

Fractal Character and Calculation of Wood Texture Ren Ning Yu Haipeng Liu Yixing Dong Junwei (Key Laboratory of Biomaterial Science and Technology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, P. R. China) // Journal of Northeast Forestry University - 2007 35(2). - 9 ~ 11

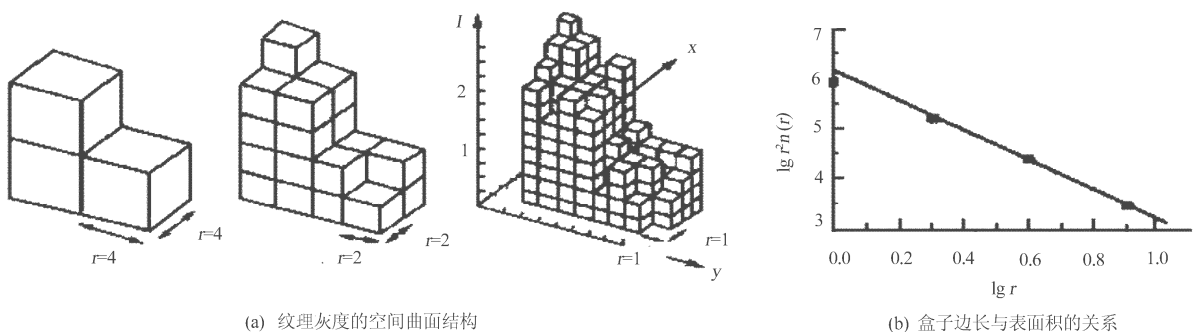
The images of radial and tangential texture for 20 typical species of wood were analysed by the fractal method. Results show that fractal dimension is highly correlated with figure density, uniformity and width of wood texture, which accords with the regulation of roughness and complexity. Fractal dimension is an equation of some common texture characters, and it makes the expression become easy. The fractal analytical method provides a new way to quantitatively analyze the character parameters for wood texture, such as density, uniformity, complexity and so on.

Key words Wood texture; Fractal; Calculation; Complexity

分形是由 B. B. Mandelbrot 通过对许多形状复杂的不规则物体进行仔细观察和综合分析后提出的概念, 是指具有自相似的不规则的几何体。由于自然界中许多事物都不同程度地具有分形的自相似性, 分形作为一种自然景物的模型被广泛应用。纹理是自然界中常见现象, 图形图像学的研究者将纹理分为规则纹理和准规则纹理两大类。准规则纹理的基元没有明确的形状, 而是某种灰度或颜色的分布, 这种分布在空间位置上的重复出现形成纹理, 这样的重复规律在局部范围内往往难以体察出来, 只有从整体上才能显露, 这类纹理常被称为自然纹理。木材纹理在天然生长过程中形成, 具有独特美感, 正是自然纹理的典型代表。木材丰富而复杂的细微结构及其高度变异性, 使得千变万化的木材纹理的定量化分析

成为一个难题。利用分形几何学分析法探讨木材纹理的分形特征, 表征木材纹理的复杂度等特征参数, 可以为木材纹理定量化研究提供一种新的思路 and 手段。

分形在纹理分析中的应用, 主要通过求得纹理图像的分形维数 (Fractal Dimension, FD) 来进行。彩色图像或灰度图像的分形维数可以表示图像的灰度曲面 (纹理特征) 的起伏复杂度。如图 1(a) 所示的灰度曲面的表面被以边长为 r 的立方体覆盖时, 面的个数记为 $N(r)$, 表面积为 $r^2 N(r)$ 。当表面积与盒子边长的对数关系呈图 1(b) 所示的直线变化时, 依据直线斜率计算的值即为灰度图像的分形维数^[1-2]。一个光滑的表面, 其分形维数值接近 2。对于很粗糙的表面, 它有可能充满整个空间, 故分形维数值接近于 3。



(a) 纹理灰度的空间曲面结构

(b) 盒子边长与表面积的关系

图 1 纹理图像的分形维数的求法 (谷口庆治, 2002)

前人已经进行了大量利用分形维数描述图像纹理的工作, 杰出的代表有: Pentland 认识到大多数自然物体表面在空间上都是分形的, 而且这些表面的亮度图像也是分形的, 三维自然纹理图像表面的粗糙或光滑程度与分维模型的结论很接

近, 可以用分形维数对这些区域加以区分^[3]。Field 指出许多自然纹理图像具有线性对数功率谱, 而线性对数功率谱又可以对应于分形维数, 这样分形维数的估计就可以用谱的估计代替^[4]。Sarker 和 Chaudhuri 提出了微分盒子计数法使图像纹理的分形维数计算更加简洁方便^[5-7]。刘泓等采用改进的盒子计数法 (MBCM) 估计分形维数^[8], 但同时发现仅用一个分形维数特征是无法对纹理进行分类的。近年来, 国内外关于木材纹理定量化分析的研究正在不断深入, 于海鹏、刘一星等应用灰度共生矩阵、行程长度统计等一些基于数字图像处

1) 国家自然科学基金项目 (30471356)。

第一作者简介: 任宁, 女, 1981 年 11 月生, 生物质材料科学与技术教育部重点实验室 (东北林业大学), 硕士研究生。

收稿日期: 2006 年 2 月 28 日。

责任编辑: 张 玉。

理学算法进行了木材纹理定量化分析研究,并取得了很好的进展。利用计算机实现木材纹理方向自动检测;基于小波方法提取木材纹理的分频特征;应用空间灰度共生矩阵法,在 11 种纹理特征量的基础上归纳出 4 个可描述木材纹理特点的主成分因子,分别表征木材纹理的强弱、纹理的周期、纹理的粗细均匀以及纹理图面的明暗,特征主成分能够很好地描述木材纹理,并提出了纹理综合评价值的计算方法,以及通过纹理综合值判定 2 种纹理间相似性的方法^[9-13]。

将分形理论和分形方法引入到木材纹理分析的研究中,不但能解决传统基于欧式几何学数学算法的不足,还可使木材纹理的复杂性、随机性等难于作以描述的问题得以解决^[14]。

1 木材纹理的分形维数计算

1.1 计盒维数方法的简单实现

最初的盒维法只能计算二值图形的分形维数,丧失了许多纹理信息,存在明显缺陷。

从计盒维数的定义出发,计算分形维数的大致实现过程如下:将图像看作是一个 x, y, z 的三维空间,其中 x, y 分量对应于图像各像素点的二维位置, z 分量对应于图像的灰度值,这样,图像被看作了三维空间中一个曲面。用大小为 $L \times L \times L$ 的网格立方体分割整个三维空间,记与图像曲面相交的网格数为 $N(L)$, 对不同的 L 值,用最小均方差线性拟合方法计算 $\lg[N(L)]$ 相对于 $\lg L$ 所得的斜率,得到的斜率取负号就是图像曲面的估计分形维数。

上面 L 与 L' 的关系如下:设图像的灰度等级是 G 图像大小为 $M \times N$, 则 $L' = L \times G / (M \times N)^{1/2}$ 。这个方法实现简单,但实验结果较差,很难估计出大于 2.5 的维数,原因在于没有考虑到量化的影响。当分形曲面维数很高时,其在 z 方向变化十分剧烈,在盒子尺寸 L 小到一定程度时,将出现在每个盒子中只有一个图像点的情况,同时盒子与盒子之间并不相邻,此时 $N(L)$ 的数目比实际上要少很多。

1.2 微分计盒维数法估计分形维数的原理

微分计盒维数方法(Differential Box-counting, DBC)是对计盒维数方法的改进,最先由 N. Sarlar 和 BB Chaudhuri 提出,并被广泛采用^[5-7]。在分形维数取值的动态范围和计算效率方面,微分计盒维数方法是很优秀的方法。另外,它还具有良好的精确性和推广性等特点。

该方法的基本思路是:对于一幅 $M \times M$ 大小的图像,将其划分为大小为 $s \times s$ 互不重叠的方形格子,其中,尺度 s 可取由 2 到 $M/2$ 之间的任一整数。原二维图像可看作是三维空间内的一个集合 $G(x, y)$, 它的 (x, y) 表示原二维图像的像素位置,而第三维 G 则代表灰度等级。那么,在二维平面内,原图像划分为大小为 $s \times s$ 的方形格子,而在三维空间中,灰度值也作相应比例的缩小分割,则三维空间相应地被划分为体积为 $s \times s \times h$ 的方形盒子,其中, h 表示单个盒子的高度, h 的取值满足 $G/h = M/s$ 。若图像的第 (i, j) 个格子内所包含的灰度最大等级和最小等级分别落在该格子上面编号为 l 和 k 的盒子内部,这样覆盖第 (i, j) 区域所需的盒子数为:

$$n_r(i, j) = l - k + 1 \quad (1)$$

覆盖整个目标物体所需的盒子数为:

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i, j) \quad (2)$$

对于 r 的不同取值,计算相应的 N_r 值,分形维数则为利

用最小均方差线性拟合方法计算 $\lg(N_r)$ 相对于 $\lg(1/r)$ 所得的斜率,即:

$$D = \frac{\lg N_r}{\lg(1/r)} \quad (3)$$

在计算分数维时,需要考虑子图像窗口大小的选择和计算分形维数尺度的选择。窗口子图像尺寸太小会丢失重要的纹理特性;若窗口子图像尺寸太大,则边缘像素和图像区域的其它像素混合,影响纹理特征的选取。所以,计算纹理子图像的大小,一般取 $L=32$ 或 64 为佳。在 $L=32$ 的情况下,尺度可以从 2 取到 15 (2 3 5 7 9 11 13 15) 共 8 个点,这样可提高拟合直线的精确性。

1.3 木材纹理的分形维数计算过程

(1) 把输入图像分别存入寄存器 I_{\max} 和 I_{\min} (I 表示图像的灰度值);

(2) 令 $s=2$ 则 $r=sM$;

(3) 利用 r 计算 $h, h=r \times G$;

(4) 把图像映射缩小 $1/h, I_{\max}(i/2, j/2) = \max(I_{\max}(i, j), I_{\max}((i+1), j), I_{\max}(i, (j+1)), I_{\max}((i+1), (j+1))), I_{\min}(i/2, j/2) = \min(I_{\min}(i, j), I_{\min}((i+1), j), I_{\min}(i, (j+1)), I_{\min}((i+1), (j+1)))$;

(5) 利用 (3)、(4) 分别计算 n_r 和 N_r ;

(6) s 增加一倍, 转第 (4) 步执行, 直到 $S=M$;

(7) 利用最小均方差线性拟合方法计算 $\lg(N_r)$ 相对于 $\lg(1/r)$ 的斜率, 得到分形维数 (见图 2)。

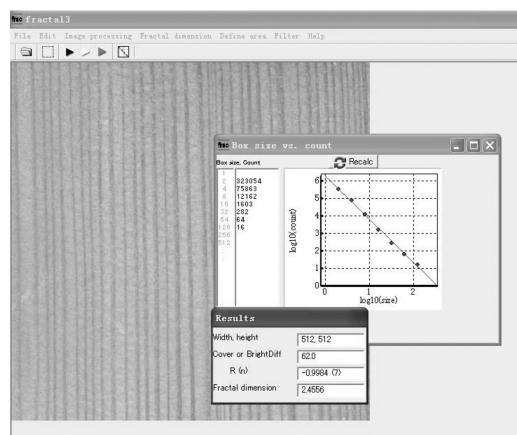


图 2 分形维数的计算

1.4 木材纹理分形维数的特征规律

分别选取 5 种木材径向、弦向纹理图像, 计算它们的分形维数值见图 3。图 4 图中所有图像尺寸相同。

木材纹理单元尺寸、形状、间距等方面的一致性程度被称为纹理的规则度, 反之则为复杂度。从图 3 4 中可以看出, 分形维数值能够很好地表征木材表面纹理的形状、分布密度及其均匀程度, 符合了木材表面纹理的粗糙性和复杂性规律。

1.4.1 木材纹理分布密度及其均匀程度的分形维数表征规律

对于木材径切面, 纹理呈现出平行的条形带状花纹。在纹理通直情况下, 纹理分布密度越高, 分形维数值越大。在密度相同情况下, 分布的均匀程度越高, 分形维数值越小。

对于木材弦切面, 纹理主要呈现出抛物线状的花纹和部分平行分布的条形带状花纹, 其分形维数值同样能够很好的表征出纹理的分布密度和均匀程度, 表征规律同径切面。

1.4.2 木材纹理宽度的分形维数表征规律

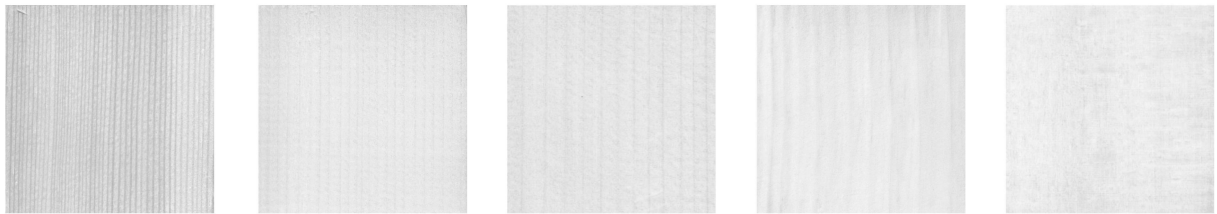
对于木材弦切面, 纹理宽度越宽, 分形维数值越大, 纹理的粗糙度和复杂度越高。如图 4 中的 a 和 b 及 c 和 d 两组, 每一组中的纹理分布密度均相近, 其宽度的差异使得分形维数值有了很大的变化。

分形维数值本身是几个常规纹理特征的综合体, 使得纹理特征的表达得以简化。与其它纹理分析方法比较, 分形具有很高的优越性。Pentland 指出, 分形模型有效地涵盖了图像中的所有二阶变化信息, 其分形维数的计算给予了统计意义上的描述, 揭示了纹理内在的自相似性, 有效体现了纹理的

复杂度和粗糙度, 也就是说理论上分形可以达到基于共生矩阵、马尔可夫随机场和频谱 3 种模型的能力, 可以用以区别不同纹理类型。相关研究也表明, 分形维数是图像纹理的复杂度与粗糙度的变量。

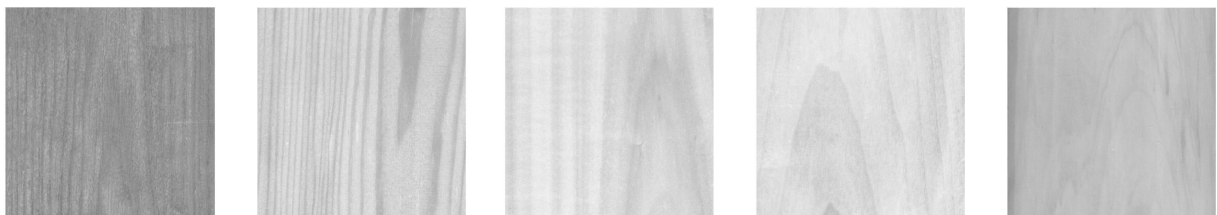
单纯基于分形维数值的纹理分析方法, 并不足以体现所有的纹理信息, 也不能细化表征木材树种间的纹理差异, 完整的分析应是分形与其它纹理分析方法的结合。

由于分形图像处理不仅拥有丰富的数学手段, 而且它还具有深刻的物理背景意义, 相信分形图像处理是一个极有前途的图像处理新工具。



a 长白落叶松 b 臭冷杉 c 鱼鳞云杉 d 华山松 e 紫椴
纹理条数: a 为 47 b 为 24 c 为 13 d 为 11; e 没有。分形维数: a 为 2.4307 b 为 2.2769 c 为 2.1872 d 为 2.1762 e 为 2.1279

图 3 木材径切面纹理图像的分形维数值



a 山槐 b 长白落叶松 c 粉枝柳 d 山杨 e 圆柏
纹理条数: a 为 22 b 为 21 c 为 8 d 为 7; e 为 4 分形维数: a 为 2.4414 b 为 2.2399 c 为 2.2633 d 为 2.2288 e 为 2.1247

图 4 木材弦切面纹理图像的分形维数值

2 结论

基于分形方法使得对木材纹理的定量化分析增加了一种思路和方法, 尽管从以上分析中得出的有一些人们已经凭经验熟知的关于木材纹理的规律信息, 但这些规律信息的获得方式不同于以往人们用肉眼进行的观察与主观判别, 而是真正运用计算机信号处理与定量化分析得到的客观数据, 对于木材纹理的客观、定量化分析研究具有十分积极的意义。

分形维数值能够很好地表征木材表面纹理的形状、分布密度及其均匀程度, 纹理分布密度越高、纹理宽度越大, 分形维数值越大; 纹理分布均匀程度越好, 分形维数值越小。

分形特征本身综合了常规的几个纹理特征, 使得用常规方法需要提取的众多纹理特征有可能通过少数几个分形特征得以表达, 从而简化了对纹理的分析。但单纯基于分形维数值的纹理分析方法, 并不足以表征所有的纹理信息, 完整的分析是分形特征与其它纹理特征的结合。由于分形图像处理不仅拥有丰富的数学手段, 而且它还具有深刻的物理背景意义, 相信分形图像处理是一个极有前途的图像处理新工具。

参 考 文 献

- [1] 谷口庆治. 数字图像处理——基础篇[M]. 朱虹等译. 北京: 科学出版社, 2002
- [2] 谷口庆治. 数字图像处理——应用篇[M]. 朱虹等译. 北京: 科学出版社, 2002
- [3] Pentland A P. Fractal-based Description of Natural Scenes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661-674
- [4] Sarker N, Chaudhuri B B. An Efficient Differential Box-counting Approach to Compute Fractal Dimension of Image[J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, 1994, 24(1): 115-120
- [5] Sarker N, Chaudhuri B B. An Efficient Approach to Estimate Fractal Dimension of Texture Image[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(9): 1035-1041.
- [6] Field D J. Relations between the Statistics of Natural Images and the Response Properties of Cortical Cells[J]. J Opt Soc Am (A), 1987, 4(12): 2379-2394.
- [7] Chaudhuri B B, Sarker N. Texture Segmentation using Fractal Dimension[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(1): 72-77.
- [8] 刘泓, 莫玉龙. 基于分维特征和反向传播神经网络的自然纹理识别[J]. 光学学报, 1999, 19(10): 1406-1410
- [9] 王克奇, 谢永华, 陈立君. 基于分形理论的木材纹理特征研究[J]. 林业机械与木工设备, 2005, 33(7): 19-20.
- [10] 于海鹏, 刘一星, 刘镇波. 木材纹理的定量化算法探究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 157-162.
- [11] Yu Haipeng, Liu Yixing, Liu Zhenbo. Auto detection of wood texture orientation by Radon transform[J]. Journal of Forestry Research, 2005, 16(1): 1-4
- [12] 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
- [13] 于海鹏, 刘一星, 张斌, 等. 应用空间灰度共生矩阵定量分析木材表面纹理特征[J]. 林业科学, 2004, 4(6): 121-129
- [14] 费本华. 分形理论在木材科学与工艺学中的应用[J]. 木材工业, 1999, 13(4): 27-28