

基于图像分形分割的麦穗粒数计算方法^①

王宁^{1,2}, 孔斌¹, 王灿¹, 何立新^{1,2,3}, 李伟¹, 徐海明¹

¹(中国科学院合肥智能机械研究所, 合肥 230031)

²(中国科学技术大学 自动化系, 合肥 230027)

³(合肥学院 网络与智能信息处理重点实验室, 合肥 230601)

摘要: 针对小麦育种中小麦单穗粒数品质测定的问题, 本文提出了一种基于图像分形分割的麦穗粒数计算方法. 首先, 利用分形几何中分数维概念, 计算图像分形维数作为像元特征, 根据像元特征选定一个适当的阈值分割麦穗图像; 然后通过分析分割图像的行像素的灰度特征, 计算麦穗与图像垂直方向的倾角, 按此倾角旋转麦穗图像使麦穗处于图像垂直方向, 得到旋转后的麦穗角度矫正图; 最后, 根据矫正图像的列数据波形特征计算麦穗粒数. 实验证明该方法比传统测量方法流程更简洁, 准确率更高, 计算速度更快, 可用于小麦育种中穗粒数测定.

关键词: 分形维数; 图像分割; 角度矫正; 麦穗粒数

引用格式: 王宁, 孔斌, 王灿, 何立新, 李伟, 徐海明. 基于图像分形分割的麦穗粒数计算方法. 计算机系统应用, 2017, 26(10): 219-224. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6030.html>

Counting Grains Per Wheat Spike Based on Fractal Segmentation of Image

WANG Ning^{1,2}, KONG Bin¹, WANG Can¹, HE Li-Xin^{1,2,3}, LI Wei¹, XU Hai-Ming¹

¹(Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

²(Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

³(Key Laboratory of Network and Intelligent Information Processing, Hefei University, Hefei 230601, China)

Abstract: Aiming at counting the grain number per spike in wheat breeding, a novel method based on fractal image segmentation is proposed in this paper. Firstly, a square image window is selected. Then, the fractal dimension of the window is set as eigenvalue of its center pixel. In order to extract the wheat spike, a proper threshold is selected to segment the image according to the pixel eigenvalue. To make the wheat spike perpendicular to the row direction of image, the angle between the wheat spike and the vertical direction of the segmented image is computed through analyzing row data of the image. The image is rotated according to the angle, and an angle-adjusted image is obtained. At last, the grain number can be calculated by column data of the angle-adjusted image. Experiments show this method achieves a higher accuracy and better efficiency than the traditional counting method.

Key words: fractal dimension; image segmentation; angle adjust; grain number per spike

当前, 我国小麦育种处于相对高产的育种阶段, 提高小麦产量的有效方法主要为增加穗粒数和增加穗粒重^[1]. 小麦穗粒重受遗传特性和环境条件的制约, 增加幅度相对有限, 而穗粒数的变化相对较大, 所以小麦育种中主要通过增加穗粒数来提高产量^[2-4], 因此小麦穗粒数作为一项十分重要的小麦育种指标, 研究其计算

方法是一件十分有意义的事情.

传统的小麦穗粒数计算方法主要是称重算法, 主要流程为: 在小麦收获前 10-15 天, 选取多个样本点, 在每个样本点随机选取 20 穗, 然后将其脱粒、烘干, 求其平均穗粒数作为样本点的小麦穗粒数^[5]. 首先该方法的计算复杂度高, 计算时间长, 在实践中需要投入较

① 基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项 (A 类)(XDA08040110); 合肥学院优秀青年人才支持项目 (16YQ06RC)

收稿时间: 2017-02-08; 采用时间: 2017-03-02

多人力、物力,而且结果容易受人为因素的影响,因此针对当前小麦穗粒数计算中存在的各种问题,本文研究了一种基于图像分形分割的麦穗粒数计算方法,文中通过图像分割技术和数学统计方法来计算麦穗粒数,针对传统计算方法的流程复杂、计算周期长和准确度低等方面做出改进,经测试本文的方法具有操作流程简单、计算速度快、结果准确等优点,为小麦育种工作者提供了一种更可靠、更高效和更智能的技术支撑。

1 麦穗图像分割

目前图像分割方法主要分为三类,一种是基于图像边缘检测算法,一种是基于图像区域特征的算法,第三种是基于特定理论的算法^[6],本文中分割的目标为麦穗,考虑到麦穗姿态的多种多样,并且同时具有麦芒和散乱的叶片的干扰,所以边缘特征和区域特征都要处理较多的信息,从另一方面来看,麦穗具有较规则的纹理特征而且结构简单^[7],因此基于纹理特征的分割方法是较为适合的方法,综合比较计算速度和复杂度,本文使用了分形纹理特征^[8]。

1.1 麦穗分形维数计算

Mandelbrot 提出了分形几何,他认为具有分形特征的物体形状上具有自相似性,假设 n 维欧氏空间中的有界集合 A ,若 A 可以由其自身的 Nr 个非重叠子集的并表示,并且每个子集放大 r 倍等于全集 A ,则 A 是自相似的^[9],此时 A 的分形维数 D 可以由如下公式计算:

$$1 = Nr * r^D \text{ 或 } D = -\frac{\lg Nr}{\lg r} \quad (1)$$

其中, r 是各个坐标轴上的尺度因子, Nr 是有界集合 A 的互不覆盖的子集个数, D 是分形维数。实际上,自然界事物并不严格满足自相似性,确切的说,它们通常呈现某种统计上的自相似性,所以我们很难直接利用上述公式计算分形维数,但是目前提出了许多基于统计自相似性的模型,每种模型都对应了一种计算方法,使用这些方法能够很好地计算图像的分形维数。

常见的计算方法主要有:基于 Mandelbrot 提出的 ε -毯子模型的计算方法^[10]、基于 Pentland 提出的分数布朗运动模型 (FBM) 的计算方法^[11]、基于 Gangepain 和 Roques-Carmes 提出盒子模型的计算方法^[12]。Keller 等人在原始盒子模型算法基础上融入了概率论的知识,提出了一种改进的盒子模型算法,Chaudhuri

和 SarKar 在分析了众多算法的基础上,提出了一种更简单、更快速、更容易由计算机求解的方法,称之为差分盒子计数法 (Differential Box Counting)^[13],本文正是使用了该计算方法。差分盒子计数法的思想是:首先以 x 轴和 y 轴组成的平面表示图像平面, z 轴表示图像对应坐标的像素灰度,即将图像灰度表面看作三维空间的曲面,假设一幅图像大小为 $M \times M$,灰度级为 L ,现将图像三维空间分割成多个 r 像素 $\times r$ 像素 $\times h$ 灰度值的盒子, h 的取值满足与像素平面具有相同比例的划分,即 $h=r*L/M$,然后计算覆盖曲面的差分盒子数 Nr ,首先给 $r \times r$ 网格内的盒子自底向上依次标上序号 1、2、3、.....,然后计算 $r \times r$ 网格内最大像素和最小像素所落如的盒子序号差加一,最后将所有网格计算结果相加即为盒子数 Nr ,根据公式即可计算分形维数 D 。

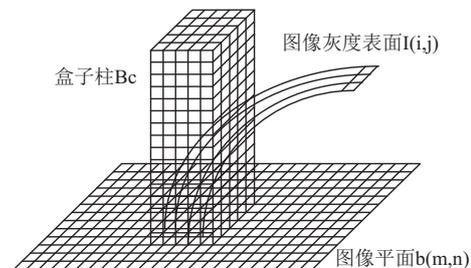


图1 差分盒子计数模型示意图

差分盒子计数分形维数计算步骤^[14,15]:

① 对于一幅 $M \times M \times L$ 的图像,将图像平面 $b(m, n)$ 按像素划分为 $r \times r$ 的网格,在 z 轴方向按 $h=r*L/M$ 进行等比例划分,此时,图像三维空间被划分成许多尺寸大小为 $r \times r \times h$ 的“盒子”;

② 在每个 $r \times r$ 网格内,找出最大像素落入的第 m 个盒子和最小像素落入的第 k 个盒子,然后可以得到该网格所覆盖的图像曲面对应的盒子数,记为: $n(i, j)=m-k+1$;

③ 对每个 $r \times r$ 的盒子数求和,即可求得总盒子数 Nr ,即: $Nr = \text{SUM}\{n(i, j)\}$;

④ 此时,即可根据公式 (1) 计算分形维数,理论上当 r 趋于无穷大时,计算结果越接近真实值,实际中通过改变 r 的值,求出一组对应的 Nr ,然后利用最小二乘法进行线性拟合,所得直线的斜率即为分形维数 D 。

1.2 提取麦穗

在 1.1 节利用差分盒子计数法计算分形维数,实际是计算的整幅图像或者选定一块区域的分形维数,然而,

实际中视觉上相差很大的图像,也有可能具有近似的分形维数,所以在使用差分盒计数法计算分形维数时,直接根据图像区域的分形维数进行分割,有时结果并不理想.本文采用以像素为中心选定图像窗口计算分形维数,然后将计算结果作为窗口中心的纹理特征值,就得到了一副由像素分形维数构成的纹理特征图,选取适当的阈值(经验值为2.35)来分割纹理特征图,将高于阈值的像素赋值为1,低于阈值的像素赋值为0,最后将处理后的纹理特征图与原始麦穗图像相乘,输出结果即为麦穗分割图像,流程图如图2所示.

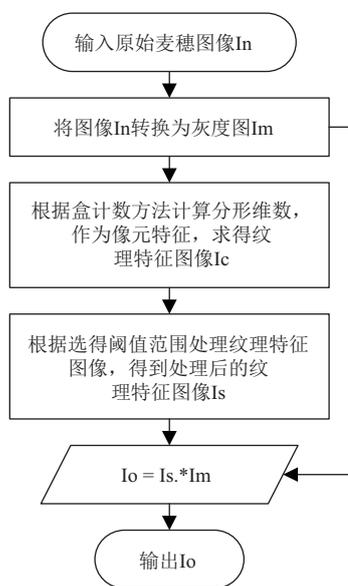


图2 麦穗图像分割流程图

经分割实验对比,以窗口中心像素分形维数为特征值比原始的分割方法具有较好的结果,图3为其中一次分割实验,(a)是原始麦穗图,(b)是原始分形分割算法效果,(c)改进分形分割算法效果.

可以看出,(b)和(c)都能够提取到全部的麦穗图像,但是(b)具有较多的非麦穗噪声,(c)则噪声较少.

2 麦穗粒数计算

通过上述方法获取了没有干扰的麦穗图像,为计算麦穗的粒数,需要对麦穗分割图进行处理,本文计算麦穗粒数的思路是:设麦穗处于分割图像的竖直方向时,首先取图像的一列数据,通过观察到这组数据,发现具有类似正弦线的波动状,即包含很多波峰波谷,其实每个波峰就代表了一个麦穗粒,波谷是麦穗粒的间隔,统计波峰数量即可得到麦穗粒数.但是在统计波峰

之前,并不是所有的分割图中麦穗都处于图像竖直方向,所以计算前还需矫正麦穗到图像竖直方向.

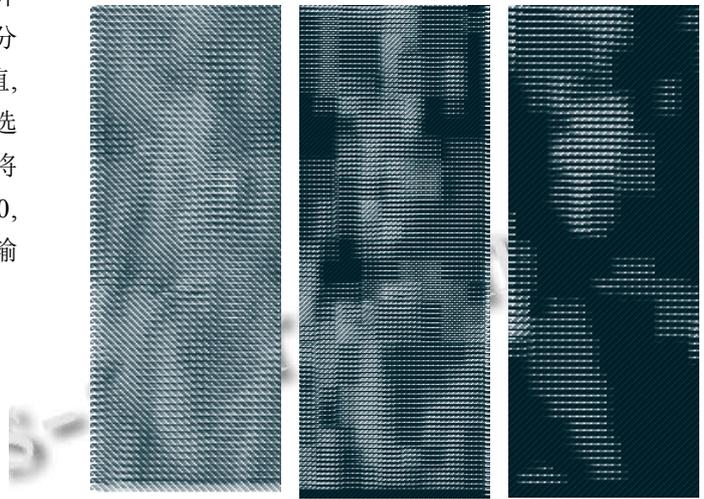


图3 麦穗图像分割效果对比

2.1 麦穗角度矫正

为旋转麦穗到分割图像的竖直方向,需要计算分割图中麦穗和图像竖直方向的倾角,在得到麦穗倾角之后,根据倾角大小和方向旋转分割图即可得到麦穗角度矫正图,下面描述如何计算麦穗倾角.

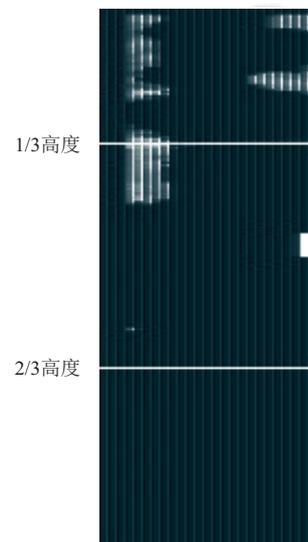


图4 三角形算法示意图

在计算麦穗倾斜角时,我们在图中选择了一个直角三角形,所以我们这里称为“三角形算法”,参见图4,为找到合适的三角形计算麦穗倾角,我们首先在麦穗图像竖直方向找到两个位置,这里我们取图像竖直高

度 1/3 处和 2/3 处, 由此可以得到三角形的一条直角边, 即两个位置的高度差, 大小为图像高度的 1/3, 如图记为 h , 为了得到三角形的另一条直角边, 我们从上述所取得的两个位置, 沿红色箭头 (水平) 方向截取麦穗图像, 当截取到麦穗边缘时记下此处的水平坐标, 两个水平坐标的差即为三角形的另一条直角边, 记为 d , 得到了由 d 、 h 和麦穗的一个边缘构成的直角三角形后, 麦穗的倾角 θ 计算有三角反正切公式给出:

$$\theta = \arctan(d/h) \tag{2}$$

在三角形算法中, 我们确定麦穗边缘的方法为: 当水平截取麦穗图像时, 遇到不为零的像素时, 记录像素的水平坐标, 然后继续水平截取麦穗图像, 当像素不为 0 且截取宽度满足一定宽度 (常取 10 像素) 时, 我们认为当前记录的像素水平坐标是麦穗的边缘, 停止截取过程, 如果小于指定宽度是, 则放弃上一记录, 重复确定边缘, 直到找到真正的麦穗边缘, 这样做很好的避免了在分割图像中存在的细微噪声. 实际上为了结果更加准确可靠, 我们从 1/3 图像高度和 2/3 图像高度处依次向下一行计算 d 和 h , 常常计算图像总行数的 1/6, 得到一组 d 和 h 数据, 然求得平均值和, 根据公式 (2), 计算倾斜角平均值.

图 5 是使用上述方法计算麦穗倾斜角的一次实验结果图, (a) 在程序中麦穗倾斜角的计算结果分别是: -14.76°, (b) 为矫正结果图, 从实验结果上来看, 本次实验存在部分噪声干扰, 但是并没有影响麦穗的正常旋转, 证明该方法在一定程度上具有一定的抗干扰能力, 效果良好.

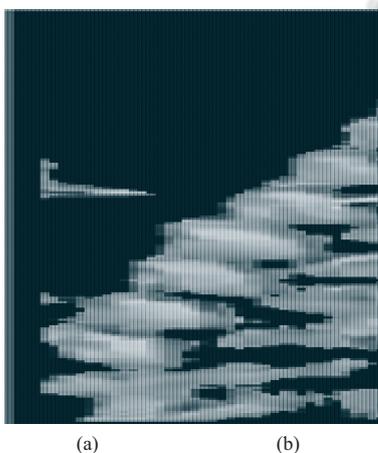


图 5 麦穗分割图和角度矫正试验结果图, (a) 麦穗直接分形分割效果, (b) 通过角度矫正后的麦穗分割图.

2.2 麦穗粒数的统计计算

在 2.1 节中我们获得了麦穗角度矫正图, 现在使用上述的列数据统计方法来计算麦穗粒数, 如图 6 所示, 是从一幅麦穗矫正图中截取的一列数据, 该列数据是图像的第 19 列 (Usable Array: 19), 在这列数据中我们跟据红色标线的位置 24 (Val: 24.249.2), 来统计波峰个数, 即得到了麦穗的单侧粒数统计值 6.36 (Count: 6.3571), 计算结果为统计值的原因如下所述.

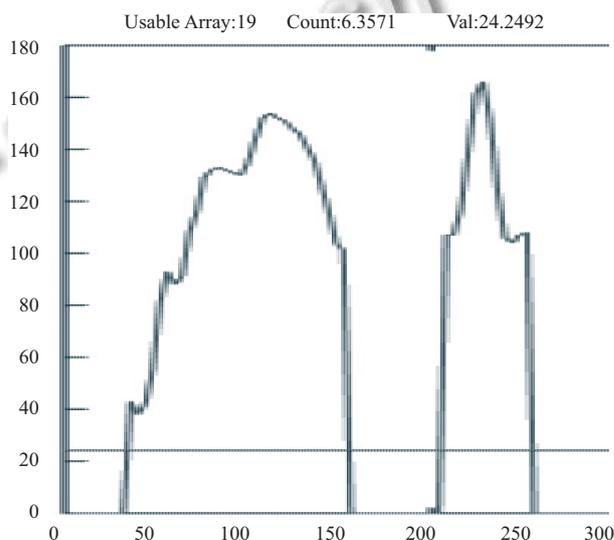


图 6 矫正图像一系列数据波形

为统计波形中波峰的个数, 首先根据本列数据的大小计算一个统计标线值, 这个值的大小等于该列数据平均值的 1/2, 假定现在有一列数据 Array, 那么统计标线的值 Val 等于 $\text{mean}(\text{Array})/2$, 记录波形向上穿越标线和向下穿越标线的水平位置, 我们就得到了一个波峰且同时得到了波峰的宽度, 计算中只有波峰宽度大于指定宽度时, 我们才进行统计, 否则我们认为是噪声而放弃记录, 但是即使如此也不是所有的列数据都是可靠, 所以为了结果更加准确, 我们限定每次列数据计算所得的波峰数不少于 5 个 (这也满足麦穗单侧粒数均大于 5 这一事实), 在上述两个限定条件下, 我们认为得到的该列数据是可靠的, 也就是说已经可以判断该列确实是从图像中麦穗部分上取得数据, 而不是从背景或者噪声中得到的干扰数据, 虽然已经能够取得列数据可靠, 但是却不能直接用波峰数作为结果记录, 因为麦穗列数据存在一种特殊的波峰, 即两个或者三个麦穗粒的相连的波峰, 于是我们对可靠列数据上

计算得到的波峰数结果,做如下的处理,首先,求取该列数据所得的所有波宽的中值宽度,作为一粒麦穗粒的波峰宽度,然后累加所有波宽的宽度,以此累加结果除以中值宽度,即得到了单侧麦穗粒数,这也是上图中计算得到小数麦穗粒的原因,对此小数四舍五入求整,得到的结果依然是准确、可靠的,图7为麦穗列数据处理流程图。

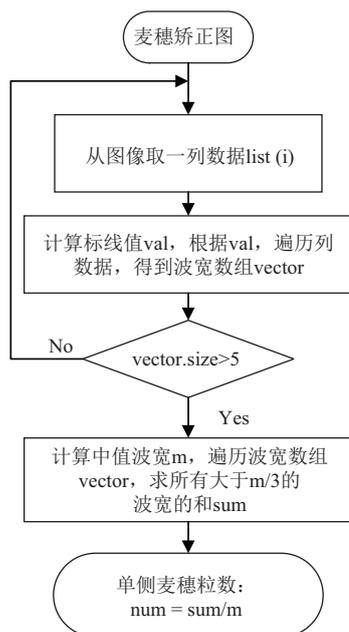


图7 单侧麦穗粒数计算流程图

为了计算结果更加准确、可靠,我们隔列遍历整个图像的列数据,重复上述计算过程,然后就得到了一组单侧麦穗粒数数据,然后计算这组数据的平均值,对平均数的四舍五入取整即得到了该幅图像单侧麦穗粒数 n ,最后我们得到该麦穗的粒数为: $4n$ 。图8为一幅图像中所有被遍历的列,计算所得单侧麦穗粒数结果。

3 实验结果及分析

最后,为了验证本文计算方法的准确性以及本方法较之传统方法效率的提升,我们按照与传统方法相同的实验条件进行采样,在收获期和小麦收获前10~15天进行。选择在实际实验麦田(龙亢农场育种基地),对100个样本点,单样本点 1 m^2 ,每个样本点采集500个样本进行计算。本次试验,样本采集过程耗费时间为3h,程序计算一株麦穗粒数平均耗时:50ms,所以全部样本麦穗粒数计算时间约为0.7h,故总实验周期为3.7h,将实验结果与传统方法实验结果进行比较,如表1所示。

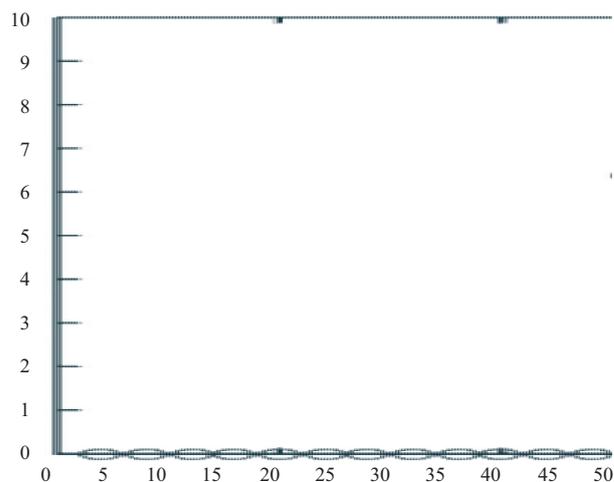


图8 一幅图像中单侧麦穗粒数结果统计

表1 两种计算麦穗粒数方法的结果对比

计算方法	试验周期(h)	准确率(%)	最大误差(%)
本文方法	3.96	96.7	5.2
传统方法(烘干称重)	15	92.1	11.5

实验表明,传统方法计算时间是该方法计算时间的3.79倍,该方法较之传统方法平均误差提高4.6%,从结果可以看出,在麦穗粒数计算上,该方法无论是从时间上还是准确度上都得到了极大的提高,可大大提高小麦育种工作的效率,是一种更快速、更准确的计算方法。

4 总结

本文提出的基于图像分形分割的麦穗粒数计算方法采集图像方便简洁,不需要人到现场进行,麦穗粒数计算流程简单、迅速,不需要进行人工筛选、烘干和称重等费时较多的人工操作,通过对图像内麦穗的选取,可自动的完成计算并保存相关计算结果,不需要人工记录数据,避免了诸如笔误等人为失误,并且本方法测量精度较高,最大误差小于6%,平均误差在4%以内,具有较好的实用价值。但是该计算方法还不完善,其缺点是:第一,计算的分形分割算法的计算复杂度与原始分形分割算法相比有所提升,当实际中像素的分辨率大幅提升时,会产生一定的延时。第二,该计算还不能自动选择图像中的完整麦穗进行计算,计算之前需要人为的截取单个完整可见的麦穗,因此使用起来还不够简单易用。这些都将是下一步的研究工作。

参考文献

- 王兆龙,曹卫星,戴廷波.小麦穗粒数形成的基因型差异及

- 增粒途径分析. 作物学报, 2001, 27(2): 236–242.
- 2 郭秀焕, 赵平, 李学军, 等. 小麦超高产育种主要指标的探讨. 种子, 2004, 23(1): 44–46.
 - 3 王瑾. 小麦穗粒数及相关性状的 QTL 分析[博士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2008.
 - 4 张冬玲. 小麦穗粒数和千粒重的关联分析及冠层温度和叶绿素含量对产量的影响[博士学位论文]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
 - 5 亢秀丽, 马爱平, 靖华, 等. 一种小麦穗粒数测定方法. 农学报, 2015, 5(9): 27–30. [doi: [10.11923/j.issn.2095-4050.cjas15020016](https://doi.org/10.11923/j.issn.2095-4050.cjas15020016)]
 - 6 乔玲玲. 图像分割算法研究及实现[硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2009. 3–5.
 - 7 Pentland AP. Fractal-based description of natural scenes. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661–74.
 - 8 杨彦从, 彭瑞东. 基于分形维数的图像分析方法研究. 中国仪器仪表学会第九届青年学术会议论文集. 合肥. 2007.
 - 9 Mandelbrot BB. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco, USA: Freeman, 1983.
 - 10 Sarkar N, Chaudhuri BB. An efficient approach to estimate fractal dimension of textural images. Pattern Recognition, 1992, 25(9): 1035–1041. [doi: [10.1016/0031-3203\(92\)90066-R](https://doi.org/10.1016/0031-3203(92)90066-R)]
 - 11 Mandelbrot BB, van Ness J. Fractional brownian motions, fractional noises, and applications. SIAM Review, 1968, 10(4): 422–437. [doi: [10.1137/1010093](https://doi.org/10.1137/1010093)]
 - 12 Gagnepain JJ, Roques-Carmes C. Fractal approach to two-dimensional and three-dimensional surface roughness. Wear, 1986, 109(1-4): 119–126. [doi: [10.1016/0043-1648\(86\)90257-7](https://doi.org/10.1016/0043-1648(86)90257-7)]
 - 13 Sarkar N, Chaudhuri BB. An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, 24(1): 115–120. [doi: [10.1109/21.259692](https://doi.org/10.1109/21.259692)]
 - 14 杨书申, 邵龙义. MATLAB 环境下图像分形维数的计算. 中国矿业大学学报, 2006, 35(4): 478–482.
 - 15 李翌, 朱金兆, 朱清科. 分形维数计算方法研究进展. 北京林业大学学报, 2002, 24(2): 71–78.