

文章编号: 1001-4888(2010)02-0159-08

图像维数计算方法及其实质研究^{*}

李业学^{1,2}, 刘建锋¹

(1. 襄樊学院 建筑工程学院, 湖北 410053; 2. 四川大学 水利水电学院, 成都 610065)

摘要: 基于颜色单元体模型, 本文提出了一种间接量测表面形貌的新方法——真彩图像维数计算方法, 并通过激光表面仪扫描实验对此进行了验证。该计算方法的提出, 使在表面形貌的实验研究中用拍摄数码照片方法取代激光表面仪扫描成为可能。比较研究显示, 该方法具有简单、方便、直观和扫描范围大等优势, 是表面形貌实验研究手段上的一大改进。本文还分别探讨了二值化图像, 灰度图像, 真彩图像的分形特性, 剖析了三类图像维数的物理实质。比较研究结果显示, 对于同一试样, 真彩图像维数最大, 灰度图像次之, 二值化图像维数最小, 其维数在区间 $[1, 2]$ 内。以此说明, 二值化图像维数是曲线维数, 灰度图像维数仅考虑了颜色明度值的影响, 只有真彩图像维数充分考虑了色彩、色饱和度和明度值的“贡献”, 该维数才是“全局”意义上的图像维数。

关键词: 表面形貌; 分形; 真彩图像; 颜色单元体; 图像维数

中图分类号: TM142.3 **文献标识码:** A

0 引言

节理的力学行为与其表面形貌存在密切的内在关联, 许多学者采用试验研究手段探讨了节理表面形貌与不同力学参数间的关系。通常情况下, 在大比例尺模型试验研究中, 基本力学参数测定不会存在太大困难, 但是, 分形维数测定设备大尺度激光表面仪扫描范围仅为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$, 相对试验模型中的节理尺度, 激光表面仪的扫描视野实在有限, 这将成为通过大比例尺模型试验研究岩石节理面的分形维数与其力学性质间的关系的最大瓶颈。

为了突破这一瓶颈, 人们一直试图提出一种间接度量表面形貌的方法——节理面图像的分形几何描述法。直至 1984 年, A. P. Pentland^[1]证明了物体表面的分形特征与表面的法向量及其各分量的分形特征具有一致性, 并由此认为如果一个粗糙表面具有分形特性, 则所产生的图像的灰度表面也具有分形特性。在这一论断的基础上, 许多科研工作者或进一步研究与图像相关的分形理论, 或利用这一理论作为基本工具探索其他领域的相关问题。比较有代表性的研究有^[2-6]; 除了灰度图像, 图像也经常以二进制形式储存或为了研究的需要而转换为二值化图像。就该类图像的分形特性, 一些研究者结合各自的领域进行了有益的探索^[7-11]。

然而, 无论是节理二值化图像, 还是灰度图像, 它们都是为了研究问题便利在合理假定下对节理面真彩图像作出的理想化简化, 或者说某种特定条件下的特例。但是, 在现实世界里, 节理面的图像一般

^{*} 收稿日期: 2009-08-02; 修订日期: 2009-11-13

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(50974091); 襄樊学院青年项目(2009YB019); 襄樊学院项目: 节理岩体中应力波传播规律研究

通讯作者: 李业学(1977—), 男, 博士, 讲师, 主要从事分形理论及动力学方面的教学与研究工作。E-mail: warmhearted520@163.com

是真彩色的,为了符合实际,必须采用节理面的真彩图像的维数来描述实际节理的表面形貌,所以,研究真彩图像的分形特性不仅具有重大的理论意义,而且可突破现有表面形貌试验研究的瓶颈束缚。故本文拟定探讨节理面真彩图像维数的计算理论,基于这一理论计算节理面数码照片的分形维数,揭示该理论在表面形貌试验研究中的优势,并剖析二值化图像、灰度图像、真彩图像三类图像维数的本质特征。

1 真彩图像维数计算基础

1.1 RGB 颜色模型

RGB 是一种常用的表示真彩图像颜色的颜色模型(见图 1),该模型可用 R、G、B 坐标轴定义坐标系内的单位立方体来描述,坐标原点(0, 0, 0)代表黑色,坐标点(1, 1, 1)代表白色,坐标轴上的三个顶点((1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1))分别表示三个基色,而余下的颜色单元体顶点则代表每一个基色的补色。

RGB 颜色模型是一个加色模型,多种基色的强度加在一起生成一种颜色。立方体内(包括边界)的每一个颜色点表示一个三元组(R, G, B), R、G、B 取值范围在区间[0, 1]内。一种颜色 C_λ 在 RGB 中表示为如下矢量:

$$C_\lambda = R\mathbf{R} + G\mathbf{G} + B\mathbf{B} \quad (1)$$

如品红和中等明暗的灰色可分别表示为:

$$C_p = R + B$$

$$C_R = 0.5R + 0.5G + 0.5B \quad (2)$$

灰度则由立方体原点到白色顶点连成的主对角线上的对应点表示。

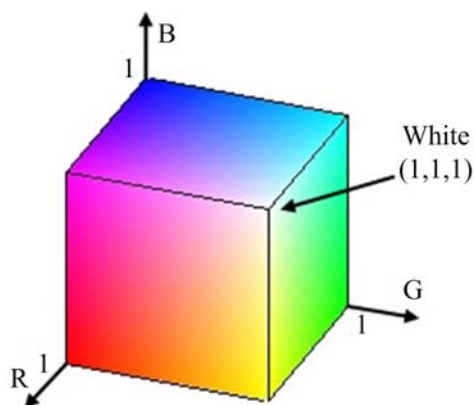


图 1 颜色单元体
Fig. 1 Color units

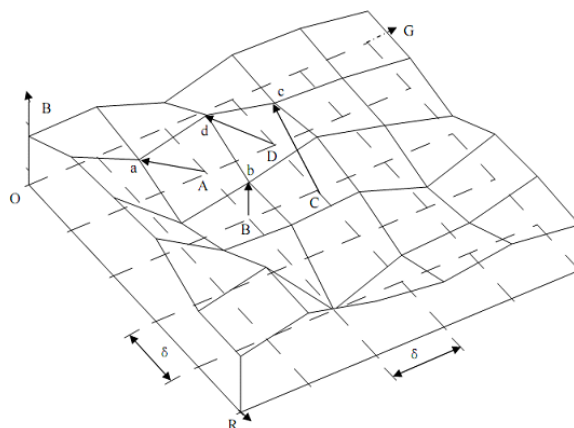


图 2 颜色表面示意图
Fig. 2 Schematic figure of color surface

1.2 颜色表面的模型构建

1.2.1 模型构建

一副图像由多个像素点构成,每一像素点对应一种 RGB 模式的颜色,由于任何一种 RGB 颜色可表示为形如式(1)的矢量,所以,在每个像素点处均可构建一个三维矢量,如:图 2 中的矢量 Aa、Bb、Cc、Dd。连接各矢量的终端组成 2~3 维的粗糙曲面,即为所构建的颜色表面(如图 2)。

1.2.2 颜色表面坐标值的获取

由上述的颜色表面构建程序可以看到,每个像素点的颜色 R、G、B 值所构建的矢量都是以各自像素点所在位置为坐标原点,各矢量所在的坐标空间不统一,因而有必要将所有矢量统一至同一坐标系下,求取各矢量终点在该坐标系下的三维坐标。具体算法如下:

- (1) 对图像所在平面进行网格划分,网格间距设为像素间距 δ (如图 2);
- (2) 建立如图 2 所示坐标系,坐标原点设在 o 点,其中,图 2 中 A、B、C、D 四点在该坐标系下的坐

标分别为 $(i\delta, j\delta, 0)$ 、 $((i+1)\delta, j\delta, 0)$ 、 $(i\delta, (j+1)\delta, 0)$ 、 $((i+1)\delta, (j+1)\delta, 0)$, 所以, 颜色表面上对应的 a, b, c, d 四点坐标分别是: $(R_a + i\delta, G_a + j\delta, B_a)$ 、 $(R_b + (i+1)\delta, G_b + j\delta, B_b)$ 、 $(R_c + i\delta, G_c + (j+1)\delta, B_c)$ 、 $(R_d + (i+1)\delta, G_d + (j+1)\delta, B_d)$ 。由此可得: 颜色表面上任一点的坐标在统一坐标系下可表示为: $(R + i * \delta, G + j * \delta, B)$ ($i=0, 1, 2, \dots, m; j=0, 1, 2, \dots, n$) (m 与 n 分别为网格点的行列数)。依据上述方法, 在 surfer8.0 平台下, 即可给出各断面的颜色表面图。

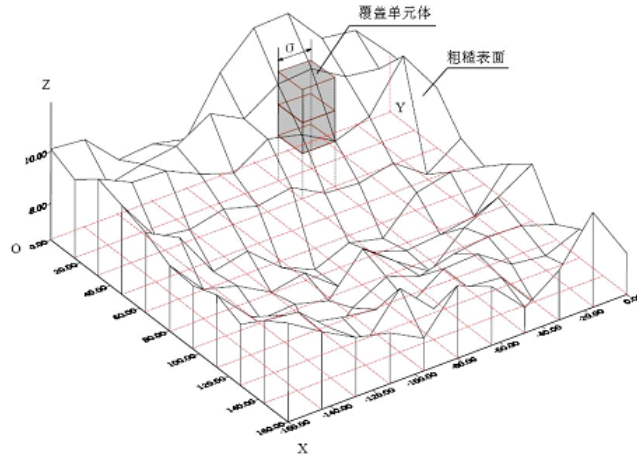


图3 立方体覆盖法^[2]

Fig. 3 Cubic covering method

1.3 维数计算

由颜色表面构建过程不难知道, 颜色表面上的点分布不均匀, 在分析该颜色表面(见图2)的分形特性前, 有必要利用泛克里金法^[12]对三维坐标数据网格化。基于分形维数计算方法——立方体覆盖法^[13,14], 计算其分形维数, 该分维即为真彩图像分形维数。具体过程如下: 如图3所示, 在平面 XOY 上存在一正方形网格, 网格尺寸为 σ , 正方形的四个角点处分别对应四个高度 $h(i, j)$ 、 $h(i, j+1)$ 、 $h(i+1, j)$ 和 $h(i+1, j+1)$ ($1 \leq i, j \leq n-1$, n 为每个边的量测点数)。用边长为 σ 的立方体对粗糙颜色表面进行覆盖, 计算覆盖区域 $\sigma \times \sigma$ 内的立方体个数, 即在第 i, j 网格内, 覆盖粗糙面的立方体个数 $N_{i,j}$ 为^[13,14]:

$$N_{i,j} = \text{INT} \left\{ \frac{1}{\sigma} [\max(h(i, j), h(i, j+1), h(i+1, j), h(i+1, j+1)) - \min(h(i, j), h(i, j+1), h(i+1, j), h(i+1, j+1))] + 1 \right\} \quad (3)$$

式中 INT 为取整函数。

则覆盖整个粗糙颜色表面所需的立方体总数为^[13,14]:

$$N(\sigma) = \sum_{i,j=1}^{n-1} N_{i,j} \quad (4)$$

改变观测尺度再次覆盖粗糙颜色表面, 计算覆盖整个表面所需的立方体总数, 若粗糙颜色表面具有分形性质, 按分形理论, 立方体总数 $N(\sigma)$ 与尺度 σ 之间存在如下关系:

$$N(\sigma) \sim \sigma^{-D} \quad (5)$$

式中 D 为粗糙颜色表面自相似分形维数。

2 真彩图像维数计算方法与验证

本节分别采用数值方法与激光表面仪扫描试验计算同一节理面的维数与对应图像维数, 并基于分形理论, 验证图像维数计算理论的合理性。

2.1 真彩图像维数计算方法的数值试验验证——计算实例

节理面灰度图像具有很好的分形特性, Pentland 在文[1]给出了严格的理论证明。然而, 对应颜色表面是否也具有统计意义上的自相似性, 或者说分形特性, 则是值得关注的问题。本文通过试验研究对

此进行验证,具体过程为:采用 800 万像素佳能数码相机拍摄粗糙岩石节理表面形貌照片,在 Photo-shop7.0 平台下处理为符合计算假定的节理面形貌图片(见图 4),基于真彩图像维数理论,计算了 9 个节理表面的图像维数(见表 1),限于篇幅,本文仅给出了节理 2、节理 5 的图像维数计算曲线(见图 4)。由图 4 可知,随着量测尺度增加,覆盖颜色表面所需的立方体总数相应减小,这表明:较大的量测尺度可能忽略一些小粗糙信息,导致覆盖的总盒子数相对较小,相反,小的量测尺度能测得更多的表面粗糙信息,所需的总盒子数则相对较大,这一现象恰好符合分形定义,这个集合无论被放大多少倍,越来越小的细节仍能看到^[15]。

在双对数曲线下,分形曲面的量测尺度 δ 与该尺度下覆盖整个曲面所需的盒子总数 $N(\delta)$ 的线性拟合误差均不到 2%,表明量测尺度对数与盒子总数对数具有良好的线性相关性,由此可推断颜色表面具有较好的统计自相似性。

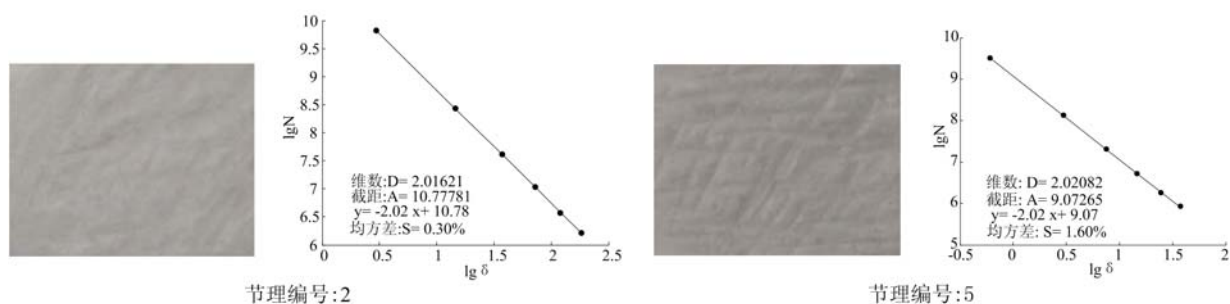


图 4 真彩图像与双对数曲线图(δ 与 N 分别表示盒子尺度与盒子总数)

Fig. 4 Plot on true color image and bi-logarithm

由节理 2 与节理 5 的表面照片对比分析知,节理 5 相对节理 2 粗糙度较大,而对应 log-log 图中显示节理 5 的分形维数较大,也就是说,节理面越粗糙,则基于真彩图像维数理论计算出的图像分形维数相对较大,这表明,如同节理面分形维数一样,真彩图像维数很好地反映了节理面的粗糙特征,可作为描述节理面粗糙度的参量。

以上三点充分揭示:采用上述方法构造出的颜色粗糙表面具有分形特性,真彩图像维数揭示了表面的粗糙特征,可以基于现有的图像维数的计算法量测该表面的维数。

2.2 真彩图像维数计算方法的试验验证——激光表面仪试验

为验证真彩图像维数计算方法的正确性,本文通过中国矿业大学(北京)煤炭资源安全开采国家重点实验室的大尺度激光表面仪扫描大理岩粗糙断面三维坐标,借助表面维数计算方法的立方体覆盖法^[1,2]获取各断面的分形维数(见表 1)。限于篇幅,本文仅给出部分表面形貌与对应的维数计算双对数坐标曲线图(如图 5),并与该节理面的真彩图像维数进行了对比分析。

表 1 节理面各类维数对比表

Tab. 1 Comparative table on different dimensions of joint surface

编号	表面维数测量值	二值化图像维数测量值	灰度图像维数测量值	真彩图像维数测量值
1	2.025753	1.71706	2.00534	2.01514
2	2.034392	1.73931	2.00609	2.01621
3	2.036798	1.74474	2.00660	2.01748
4	2.039196	1.77577	2.00672	2.01973
5	2.041776	1.80873	2.00987	2.02082
6	2.072126	1.83608	2.01079	2.02193
7	2.095565	1.84293	2.00784	2.02511
8	2.106449	1.86585	2.01085	2.02567
9	2.115082	1.90313	2.01277	2.02953

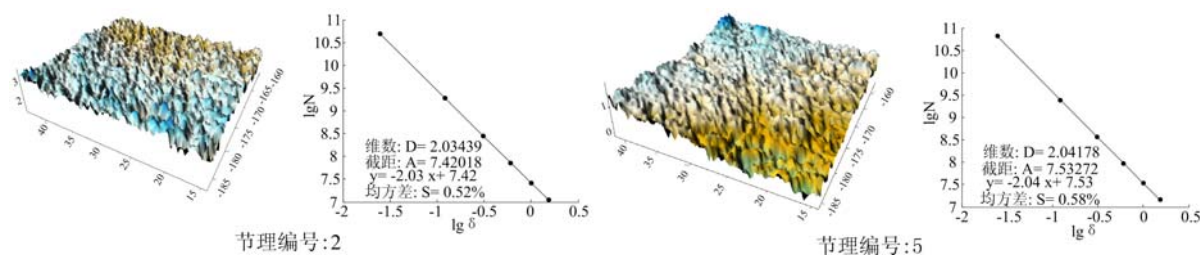


图5 表面形貌与表面维数图

Fig. 5 Plot on surface configuration and dimension

从图4中节理2和节理5的照片与图5中对应的扫描形貌图对比分析可知,相对节理2,照片中的节理5显得较为粗糙,而扫描形貌图中的节理5表面也粗糙度较大;另外,基于真彩图像维数计算理论,节理5图像维数比节理2图像维数大,而采用扫描试验也获得了节理5表面维数比节理2表面维数大的结论。

从各断面真彩图像维数与表面维数结果曲线图(见图6)可以看出,由节理1到节理9变化过程中,即依据激光表面仪扫描所获取的三维坐标所计算的断面维数递增时,此时依据本文所提出的真彩图像维数计算结果也相应增大。

上述研究结果表明:与表面维数类似,真彩图像维数能很好地揭示节理面的粗糙度特征,可作为描述表面分形特性的另一参量;或者说,从扫描试验角度,我们对真彩图像维数计算方法的合理性给予了充分验证。另外,值得注意的是:两种维数在数值上存在一定差异,究其原因,是“三维坐标”获取方法上的差异所致,计算表面维数时是通过激光表面仪扫描断面来获取三维坐标,而量测真彩图像维数是通过各像素点的颜色分量(R, G, B)来间接计算“三维坐标”,然而从上述试验不难知道,这一差异不会对真彩图像维数能有效描述节理面分形特性产生影响。

2.3 图像维数理论在表面形貌试验研究中的应用价值

与采用大尺度激光表面仪扫描试验方法相比,基于本文提出的图像维数理论研究表面形貌具有以下优势:

(1) 基于真彩图像维数理论研究表面形貌需要的试验设备仅是一台数码相机,不必动用费用昂贵的精密仪器,花费较少经费即可获取同样的研究成果。

(2) 激光表面仪测量对试件尺寸和形状有严格要求,因为任何激光表面仪都有确定的测量范围,即使大尺度激光表面仪,其扩展测量范围也仅为 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$,对于大比例尺模型试验中的节理,其尺度大于 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的概率很大,此时激光表面仪已无能为力。但是,一台分辨率较高的相机,其拍摄的视野要大得多。也就是说,能对更大的节理面进行分形特性分析。

3 三类图像维数比较与图像维数实质分析

本节分别计算同一节理面的二值化图像维数、灰度图像维数以及真彩图像维数,通过深入的对比分析,揭示上述三类图像维数的差异与物理实质。

3.1 二值化图像维数

众所周知,由各类仪器获得的图像通常是真彩图(如数码照片)或灰度图(如SEM图像),所以在运用二值化图像维数计算理论前,必须对给定的图像采用如下方法进行二值化处理。依据大津法(OTSU

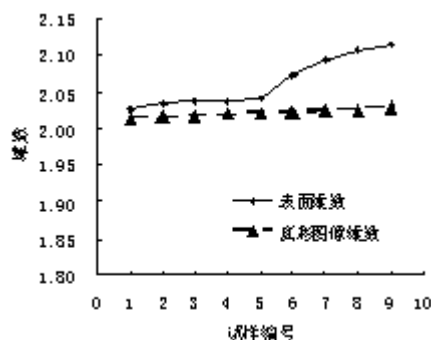


图6 表面维数与真彩图像维数曲线图

Fig. 6 Plot on surface dimension and true color

法)^[16]基本原理,计算出图像的灰度阈值,并与所有点的灰度值进行比较,如果该点的灰度值大于指定的阈值,则将此点赋值为 1,否则赋 0,其中 1 代表黑色,0 代表白色。

用分段函数可表示为:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) > t \\ 0 & f(x, y) \leq t \end{cases} \quad (6)$$

其中, t 为计算的阈值, $f(x, y)$ 为在点 (x, y) 的像素灰度值。

基于盒子覆盖法维数理论,计算各断面的二值化图像分形维数(见表 1)。

3.2 灰度图像维数计算

在图像平面内划分网格,每个网格节点的位置可表示为 (x_i, y_i) ,并记该节点的灰度值为 z_i ,依据 A. P. Pentland^[3]提出的理论,在每个节点可构建一个三维矢量 (x_i, y_i, z_i) ,连接各矢量终端即可获取节理的灰度表面,基于立方体覆盖法计算各节理面的分形维数。

3.3 三类图像维数比较分析

由同一节理面的三类不同图像维数的对比图(见图 7)可知,真彩图像维数最大,灰度图像维数次之,二值化图像维数最小,且随着节理面粗糙度增加,无论是二值化图像维数、灰度图像维数还是真彩图像维数均相应增大。

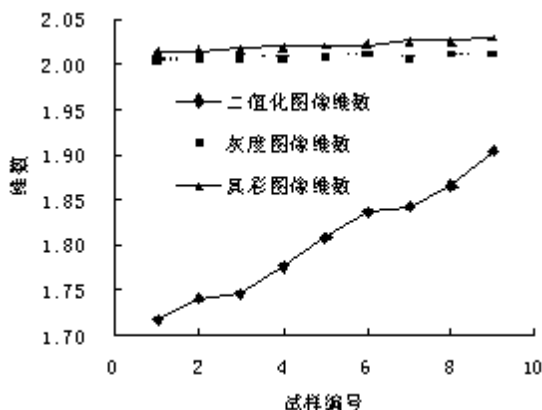


图 7 三类图像维数曲线图

Fig. 7 Curve of three kinds of image dimensions

从二值化图像维数的计算原理可以看出,这一计算理论实际上把二值化图像看成是具有较大粗糙性的“曲线”,而不是如同其他图像维数计算方法把图像视着“粗糙曲面”。为了更好地说明这一点,可以将二值化图像的维数计算原理与 Sierpinski 地毯的维数计算方法做一个类比。

为了便于说明问题,在两类维数计算中都采用盒子覆盖法。其具体计算过程如下:

(1) 选择合适的尺度盒子(δ)对两图像分别覆盖,对于 Sierpinski 地毯,如果盒子覆盖的区域包括非孔洞部分,则覆盖有效,覆盖所用总盒子数加 1;就二值化图像而言,当被覆盖区域存在黑点,即覆盖区域包括数值 1,则在所需的盒子总数中加 1。

(2) 改变覆盖尺度,重复以上操作,得到多组 (δ_i, N_i) ,在 $\log\text{-}\log$ 坐标系中进行线性拟合,即可求得两者维数。

从计算过程不难看出,覆盖是否有效,或者说覆盖盒子总数是否加 1,完全取决于某一事件存在与否,所不同的是,二值化图像存在的事件是黑点,而 Sierpinski 地毯对应的事件则指那些非孔洞区域,但这些差异不会对维数计算的结果产生任何影响。所以,如同 Sierpinski 地毯的分形维数,二值化图像维数本质上仍然是“曲线维数”,而不是“曲面维数”。

考虑对两类粗糙面(灰度表面与颜色表面)分形特性比较分析的需要,文中的颜色表面维数量测法与灰度表面维数算法均采用了相同的理论立方体覆盖法,本质差别在于颜色表面与灰度表面的构建方法上:灰度表面是基于各像素点的灰度值构建而成的三维粗糙表面,而颜色表面是通过连接各矢量 (R, G, B) 端点构建而成的表面。通过两类粗糙表面的分形特性对比分析不难发现,前者的分形维数也比后者大(见表 1)。这是因为:一幅灰度图像仅保存了各个像素灰度级,或者说像素的亮度值,而真彩图像以一个三维矩阵保存了各像素点的 R (红色部分)、 G (绿色部分)、 B (蓝色部分)分量值,它能反应现实世界里彩色图像的较为全面信息,包括图像的色彩、色饱和度和明度值。在计算颜色表面分形维数时,基于文中提出的将 RGB 三个分量视为一个矢量的三分量这一思想,可以较为充分地考虑颜色表面的粗糙信息,有效地避免灰度表面维数仅考虑图像明度值这一不足。然而,一个值得注意的问题是:由

于前者比后者维数大,也就是说对应直线斜率的绝对值大,随着尺度增大,必将存在一个确定的尺度,使得基于颜色表面计算所得总盒子数比基于灰度表面所得盒子数小。但是,由于某个表面表现出分形特性是在一定尺度范围之内的,超出这个尺度范围谈分形没有意义,因此,之所以可能存在上文所述现象,极有可能是由于所取尺度超出了该表面表现分形特性的尺度范围。总之,相对灰度表面而言,一个通过RGB分量视为矢量的三分量的思想构建而成的粗糙颜色表面能更多地揭示图像的粗糙信息,也能更好地体现图像的分形特性。

4 结论

本文提出了节理面真彩图像维数计算方法,并分别采用激光表面仪扫描试验与数值试验验证了真彩图像维数理论的正确性,探讨了它的相对优势,剖析了三类图像维数的物理实质。获得的主要结论包括:

(1) 通过连接每个像素点的三维颜色矢量终端,构建粗糙颜色表面;基于立方体覆盖法,计算颜色粗糙表面的分形维数,此维数即为节理面真彩图像维数;并从激光表面仪扫描试验与数值试验角度对上述理论的合理性进行了验证。

(2) 探讨了图像维数理论在表面形貌试验研究中的应用价值与优势。在表面形貌研究中,相对激光表面仪扫描试验,基于图像维数理论探讨表面形貌的试验研究具有携带方便、操作简单、使用经济 and 扫描范围大等优势。

(3) 深刻剖析了二值化图像、灰度图像、真彩图像分形特性的物理实质,并对三类图像维数计算方法做了比较分析,结果显示:对于同一幅图片的二值化图、灰度图与真彩图,其维数大小规律为:真彩图维数最大,灰度图次之,二值化图像维数最小。其原因是:真彩图像维数全面考虑了图像颜色的色彩、色饱和度和灰度,而灰度图维数计算法仅涉足了图像的灰度值,忽略了色彩和色饱和度对图像维数的“贡献”,二值化图则仅考虑了像素存在与否,准确地说,它已经退化为一粗糙度很大的曲线,而不是曲面,维数在1~2之间就是最好的佐证。因而,只有真彩图像维数才是“全局”意义上的图像维数。

参考文献:

- [1] Pentland A P. Fractal-based description of natural scenes[J]. IEEE PAMI, 1984, 6 (6): 661—674.
- [2] 王怀文,周宏伟,谢和平. 扫描电镜下断口表面的三维重建及分形维数的测量[J]. 实验力学, 2008, 23(2): 118—124 (WANG Huai-wen, ZHOU Hong-wei, XIE He-ping. 3D Reconstruction and Fractal Dimension Measurement of a Fracture Surface under SEM[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2008, 23(2): 118—124 (in Chinese))
- [3] Wen-Shiung Chen, Shang-Yuan Yuan, Chih-Ming Hsieh. Two algorithms to estimate fractal dimension of gray-level images[J]. Optical Engineering, 2003, 42(8): 2452—2464.
- [4] 董宇光,李慧剑,郝圣旺. 混凝土剪切断裂能与分形维数关系的研究[J]. 实验力学, 2003, 18(4): 466—472 (DONG Yu-duang, LI Hui-jian, HZO Sheng-wang. A Study on the Relationship between Shear Fracture Energy of Concrete and Fractal Dimension[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2003, 18(4): 466—472 (in Chinese))
- [5] André R Backes, Odemir M Bruno. A New Approach to Estimate Fractal Dimension of Texture Images[C]. Proceedings of the 3rd international conference on Image and Signal Processing, September 10-13, 2008, Cherbourg-Octeville, France, 136—143.
- [6] Schusztter M, Bodnár Z, Dobos L, Mojzes I. A novel evaluation method to determine the fractal dimension of SEM images: a study of Au/Pd/GaAs contacts during heat treatment[J]. Physica Status Solidi (c), 2003, (5): 1051—1054.
- [7] Perrier E, Tarquis A, Dathe A. A Program for Fractal and Multifractal Analysis of Two-Dimensional Binary Images: Computer Algorithms versus Mathematical Theory [J]. Geoderma, 2006, 134(3-4): 284—294.
- [8] Dathe A, Perrier E, Tarquis A. Multifractal analysis of the pore- and solid-phases in binary two-dimensional images of natural porous structures[J]. Geoderma, 2006, 134(3-4): 318—32.
- [9] Creutzburg R, Mathias A. Fast Algorithm for computing the fractal dimension of binary images[J]. Physica A, 2002, 185(1-4): 56—60.

- [10] SATO YOSHIKAZU. Accurate Estimation of Fractal Dimension of Binary Images by Box-Counting Method with Automatic Scale Selection [J]. Transactions of the Society of Instrument and Control Engineers, 2003, 39(11): 1002—1009.
- [11] Radhakrishnan P, Teo Lay Lian, B S Daya Sagar. Estimation of fractal dimension through morphological decomposition [J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2004, 21(3): 563—572.
- [12] Krige D G. A statistical approach to some mine valuations problems at The Witwatersrand [J]. Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, 1951, 52: 119—138.
- [13] ZHOU H W, XIE H. Direct estimation of the fractal dimensions of a fracture surface of rock [J]. Surface Review and Letters, 2003, 10(5): 751—762.
- [14] 周宏伟. 粗糙表面分维计算的立方体覆盖法[J]. 摩擦学学报, 2000, 20(6): 455—459 (ZHOU Hong-wei, XIE He-ping, KWASNIEWSKI M A. Fractal Dimension of Rough Surface Estimated by the Cubic Covering Method [J]. Tribology, 2000, 20(6): 455—459(in Chinese))
- [15] Xie H. Fractals in Rock Mechanics [M]. A. Balkema Publisher, Netherlands, 1993: 231
- [16] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Trans, 1979, SMC-9: 62—69.

Study of the Calculation Method of True Color Image Dimension and Its Nature

LI Ye-xue^{1,2}, LIU Jian-feng^{1,2}

(1. School of Civil Engineering & Architecture, Xiangfan University, Hubei 441053, China;

2. School of Water Resources & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Rough color surface of joint is established by color unit model. Its fractality is investigated by cubic covering method. Dimension theory of true color images is proposed in this paper. Validation of image dimension calculation theory was carried out by numerical experiment and laser profilometer experiment, which indicates that principle of image dimension is reliable. Fractal characteristics of binary image, gray one and true color image were also investigated and presented in this paper; and their physical nature was analyzed. Comparison proves that true color image has the most dimension, gray image possesses the second position and binary image is listed last, which range is greater than 1 and less than 2 under same specimen condition. It indicates that binary image dimension is curve dimension and gray image dimension only takes into account effect of illumination and it is true color image dimension that takes into account sufficiently contribution of hue, color saturation, illumination. So it is “global image dimension”.

Keywords: surface profile; fractal; true color image; color unit; image dimension