

土石分形检测中的数字图像处理方法研究

杜召彬^a, 王建勋^b, 平根建^a

(郑州职业技术学院 a. 软件工程系; b. 机械工程系, 郑州 450121)

摘要: 土木工程人员经常用粗料颗粒分布分维、粗料轮廓分维这些结构指标作为土石混合体定量化研究的依据,用以解释土石混合体的力学特性,并以这些参数作为土石混合体工程分类的依据。目前技术人员以手工筛分实验来计算粒度分维数。展开对土石混合体微结构研究,劳动强度大,操作不便,极大地制约了对土石混合体微结构的研究。提出了利用数字图像处理技术来测量土石混合体分形维数的方法。实验验证结果表明,该方法减轻了工程技术人员手工检测的劳动强度,实用有效。

关键词: 数字图像处理;土石混合体;分维数

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

引言

土石混合体是工程建筑必需的中间介质^[1],主要由砾石与砂土组成,当土石混合体的分散程度达到一定条件(量变过程),就会引起土石混合体的性质发生质变。正是由于其具有特殊的物理力学特性和变形机理,因而是工程中必需认真考虑和研究的课题。

由于自然界中存在的土石混合体中砾石粒径的大小不一,采用传统的筛分试验获取其砾石含量较为困难,难以满足工程需要。随着数字图像处理技术的发展,被广泛应用于航空、医学、材料及土木工程等领域。近 20 年来,结合分形^[2]应用的数字图像处理技术渗透到各个学科领域,国内外诸多学者在土木工程领域进行尝试性探索。冯志刚等^[3]采用像素点覆盖法计算了水泥砂浆图像的分形维数;彭瑞东等^[4]利用数字图像处理研究了岩石裂纹的分形特征;郭飞等^[5]用数字图像处理的方法对土壤样本的分形几何特征与土壤质地间的联系进行了研究;晏磊等^[6]对图像的三种分形维数(差分盒计数法、数学形态学方法以及小波分析方法)的计算方法进行了比较研究;李国宾等^[7]以小波变换近似系数的分形维数计算,实现了磨粒图像的特征提取;李军伟等^[8]对

分形在数字图像处理中目标检测方面的应用进行了讨论;夏政伟等^[9]运用多重分形应用于图像的局部分割。

在前人的研究基础上,本文提出了一种基于数字图像处理的土石分形检测方法。利用数字图像处理技术与分形理论^[10-15],在研究过程中拟采用如图 1 所示的技术路线,对图 2 的两幅土石混合体图像进行滤波去噪、图像分割,封闭边缘提取等处理(注:以下各图中(a)、(b)为图 2(a)、图 2(b)对应的处理结果)。根据封闭目标(砾石)边缘的边界链码计算出不同尺度下的所有目标(砾石)的总周长和面积,最后完成分形检测及分形维数的输出工作,为工程技术人员研究土木混合体中的砾石含量及粒度特征提供技术支持。

1 分形理论

根据工程技术人员对土石混合体研究分析的需要,选择最常用到的粗粒分布分形维数以及粗粒轮廓线分形维数进行计算分析。

1.1 粗粒分布分形维数计算方法

图像中的砾石分布情况可以反映粗粒在土石混合体中的形心以及它的含石量。本文采用盒维数网格覆盖法来计算粗粒分形维数。具体做法如下:

收稿日期:2012-07-13

基金项目:河南省高校青年骨干教师资助计划项目(2010GGJS-297);河南省教育厅自然科学研究项目(2011C460001)

作者简介:杜召彬(1975-),男,河南南阳人,讲师,硕士,主要从事智能信息处理、数字图像处理等方面的研究,(E-mail)duzhaobin@126.com

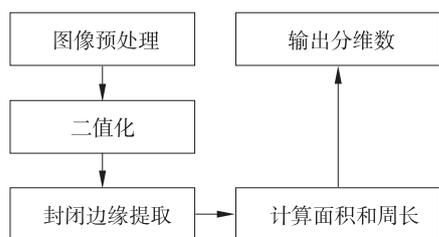


图1 分形维数检测算法流程

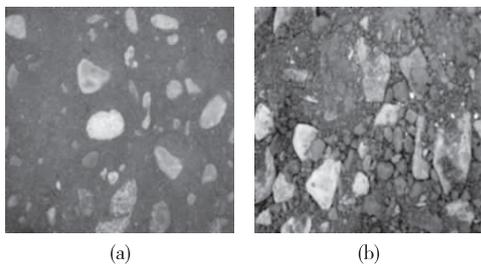


图2 土石混合体

如图3所示,图像中含有多个砾石粗粒(图中不规则形体),以边长为 ε 的正方形网格将图像分割成规格为 $(L/\varepsilon) \times (L/\varepsilon)$ 的小网格(L 为图像的高度),设含有粗粒的小正方形的总数为 $N(\varepsilon)$ 。如果不断改变 ε 值($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$),则将得到相对应的小正方形的总个数序列值 $N(\varepsilon_1), N(\varepsilon_2), N(\varepsilon_3), \dots, N(\varepsilon_n)$,根据 ε 和对应的 $N(\varepsilon)$ 在双对数坐标系中用直线拟合数据点($-\log \varepsilon_n, \log N_{\varepsilon_n}(F)$)。若数据对在双对数坐标中存在线性特征,则表明粗粒分布具有分形特性,其斜率就作为粗粒分布分形维数的近似值。线性部分的斜率为,那么

$$D_p i = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon} = -K \quad (1)$$

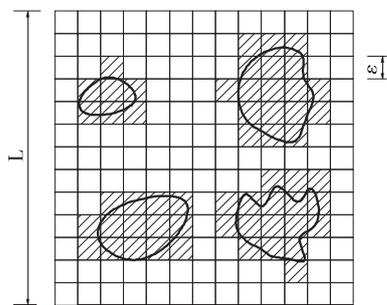


图3 粗粒分布分维算法示意图

1.2 粗粒轮廓线分形维数的计算方法

粗粒轮廓线分形维数是用来表明粗粒的不规则性,可以区分粗粒的粗糙度,即粗粒的圆形度。本文采用的粗粒轮廓线分形维数的计算是基于Mandelbrot^[2]等提出的“silt-island”方法。具体做法如下:

图3中封闭曲线为粗粒边沿轮廓线,在图像处理中可以得到其相应的轮廓坐标,如果以长度为 ε 的测尺去

测量轮廓线长度,那么相应的轮廓线长度为 $P(\varepsilon)$,同时以相同长度 ε 的正方形网格去量测封闭曲线所占的网格数 $A(\varepsilon)$,它代表轮廓线的面积,如果不断改变 ε 值(如 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$),则将得到相对应的轮廓线长度序列值 $P(\varepsilon_1), P(\varepsilon_2), P(\varepsilon_3), \dots, P(\varepsilon_n)$,轮廓线面积序列值 $A(\varepsilon_1), A(\varepsilon_2), A(\varepsilon_3), \dots, A(\varepsilon_n)$,将面积序列值与长度序列值对应的数据对描绘于双对数坐标中,如果数据对在双对数坐标中存在线性特征,表明粗粒分布具有分形特性,曲线越陡,说明轮廓线越粗糙。若线性部分的斜率为 K ,那么

$$D_p i = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log A(\varepsilon)}{\log P(\varepsilon)} = -K \quad (2)$$

2 实验步骤

2.1 土石混合体图像的预处理

由于受外界各种因素(如光照、平整度等)的影响,利用数码相机获取的土石混合体图像通常存在大量噪声,为了能够准确获取土石混合体相应的内部结构特征,需对其进行去噪处理。经过去噪处理后的土石混合体采用二值化处理(使用Canny算子中Otsu阈值分割法进行分割^[16],结果如图4所示),以便用于下一步的砾石块体的提取。其中白色(像素值为255)表示砾石目标,即土石混合体中的粗料,黑色(像素值为0)表示背景,即土石混合体中的细料。

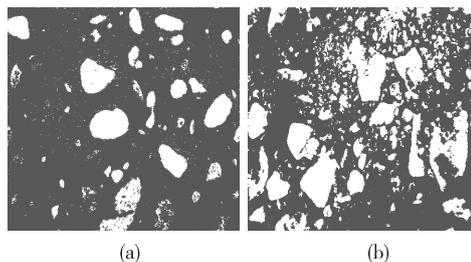


图4 经过二值分割后的土石混合体图像

2.2 土石混合体目标封闭边缘的提取

对比二值化处理后的图像(图4),由于砾石块的不平整造成对光线反射的强度不同,最终导致图像在该目标亮度上的变化,或者一些结块的沙粒也被当做块状砾石提取出来;同时砾石上覆盖的一些细料沙粒,这些在图像分割时会在目标体中形成孔洞。此时采用传统二值图八向跟踪法提取边缘(图5),实验结果表明边界点判断较为准确,跟踪后产生的轮廓边缘宽度只有一个像素。但也存在一些问题,不能保证提取目标边缘的封闭性,若目标内部有孔洞或者由于有一部分沙土覆盖在砾石上,则同时提取出孔洞边界,如不将目标体内的这些孔洞填充,在后续的周长和面积计算时会产生重复计

算;另外对于前期平滑处理无法滤掉的噪声在这里也全部检测为边界,最终影响后续结果的计算。

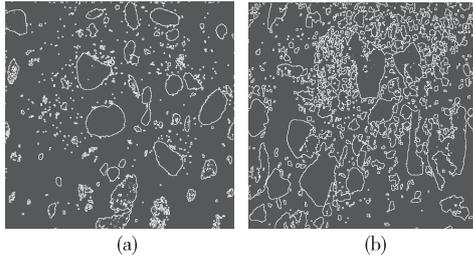


图 5 传统 8 向跟踪边界效果图

2.3 改进后的二值图像的封闭边缘跟踪算法

本文对传统二值图八向跟踪算法进行改进,改进后的算法在提取封闭边缘的同时,利用边缘跟踪得到的中间数据来完成对目标体内细小空洞的填充,减小了周长和面积计算时的误差。改进后的算法能够控制边缘目标周长,当算法检测到一个封闭边缘的同时,计算其边缘周长,小于设定的最小目标周长即被当做噪声去除,这样能够剔除掉前期对图像预处理时无法滤除的噪声,能够对输出目标大小进行控制。改进后传统二值图八向跟踪算法结果如图 6(指定最小目标周长为 6 的情况下得出的结果),结果显示改进后的算法对于目标体内的孔洞填充以及去噪方面较传统算法出色的多,同时边缘的封闭性保持也较传统算法好。

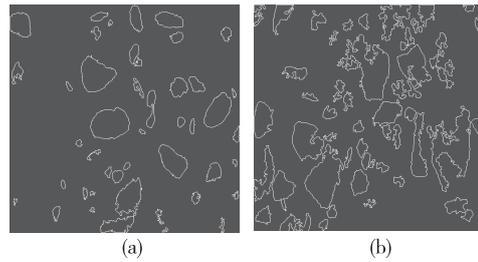


图 6 改进后的八向跟踪算法效果

3 实验结果和数据分析

得到图 4 的最终图像处理结果(如图 6)后,可以按照粗粒分布分形维数和粗粒轮廓。

根据分形算法的需要和本文的实际情况,在计算周长和面积时,使用的尺度共有七个(分别是 1、2、4、8、16、32、64,计量单位为像素)。

3.1 周长和面积的计算

周长的计算,当算法每提取出一个符合要求的周长,即周长大于指定的目标周长(最小目标周长为 6 个像素),便开始计算并输出。面积的计算,首先对边缘跟踪算法得到的目标体进行目标内部填充,然后将图像按不同的尺寸划分成不同的网格(1×1、2×2、...、64×64,计量单位为像素)。即使该网格内只有一个目标体的像素点,相应的该尺度下的面积也要加 1,得到表 1。

表 1 图 6 周长和面积在不同尺度下的计算结果

图 6(a)		图 6(b)						
尺度	周长	取对数	面积	取对数	周长	取对数	面积	取对数
1	4959	3.695	38076	4.580	11803	4.044	76325	4.882
2	2359	3.372	10419	4.017	5297	3.724	20616	4.314
4	1061	3.02	2904	3.463	2318	3.365	5804	3.763
8	484	2.68	810	2.908	994	2.997	1691	3.228
16	211	2.32	220	2.342	424	2.627	496	2.695
32	74	1.87	78	1.892	154	2.188	146	2.164
64	15	1.19	51	1.707	35	1.552	68	1.832

3.2 双对数坐标下直线拟合结果

根据表 1 得到的周长和面积数据,计算粗粒分布分形维数(图 7)以及粗粒轮廓线分形维数(图 8),本文在这里用 MATLAB 来作为直线拟合的工具。

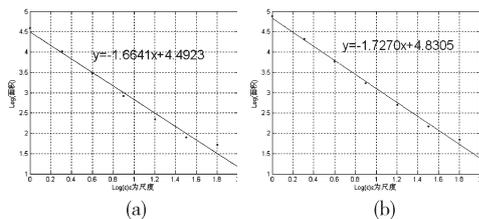


图 7 图 6 的粗粒分布分形维数

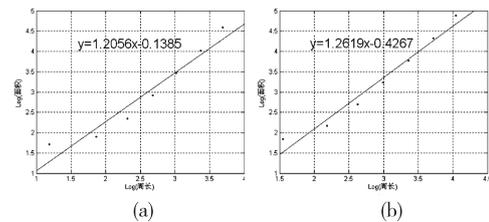


图 8 图 6 的粗粒轮廓线分形维数

石混合体分形待性的研究结构参数指标,粗料分维值如图 7 所示,图 7(a)为 -1.6641,图 7(b)为 -1.7270。可说明土石混合体的含石量,其绝对值越大说明土石混合体的含石量越大。结果表明图 2(a)中含石量小于图 2(b)中的含石量。而粗粒轮廓分维值表征土石混合体的几何特征,土石混合体轮廓分维与通常所说的圆形度相

3.3 数据结果分析

由于粗料颗粒分维数、粗料轮廓分维数经常作为土

对应,分维值越小说明土石混合体的粗料轮廓圆形度越好。如图8所示,图8(a)为1.2056,图8(b)为1.2619。结果表明图2(a)所示中的砾石轮廓较图2(b)中所示砾石轮廓圆形度好。

工程人员用这些结构参数指标作为土石混合体量化研究的依据,并与宏观物理力学性质相联系,以期获得它们之间的定量关系,进而解释土石混合体的力学行为特性,并以这些结构参数作为土石混合体工程分类的依据。

4 结束语

本文从数字图像处理的角度对粗料颗粒分布分维数、粗料轮廓分维数进行了详细研究,得到的分维数据为土木工程人员对土石混合体的力学特征进行研究提供了依据,所检测出的粗料分布分形维数及粗料轮廓分形维数所对应的物理意义经过比对后得到验证,证明基于图像处理土石分形检测是行之有效的。

参考文献:

- [1] 油新华.土石混合体随机结构模型及其应用研究[D].北京:北方交通大学,2002.
- [2] Mandelbrot B B. The fractal geometry of nature[M]. 上海:上海远东出版社,1998.
- [3] 冯志刚,周宏伟.图像的分形维数计算方法及其应用[J].江苏理工大学学报,2001,22(6):92-95.
- [4] 彭瑞东,谢和平,鞠杨.二维数字图像分形维数的计算方法[J].中国矿业大学学报,2004,33(1):19-24.
- [5] 郭飞,徐绍辉,刘建立.土壤样本分形几何特征的图像分析方法[J].土壤学报,2005,42(1):24-28.
- [6] 晏磊,罗立,张雪虎.真实孔径雷达海洋图像的分形特征分析[J].电波科学学报,2007,22(4):604-609.
- [7] 李国宾,孟歆,关德林,等.基于小波和分形提取磨粒图像特征参数的研究[J].内燃机学报,2006,24(5):476-479.
- [8] 李军伟,朱振福,贾京成,等.基于分形技术的目标检测算法研究[J].红外与激光工程,2003,32(5):469-471.
- [9] 夏政伟,赵健,蒲小勤,等.多重分形应用于图像局部分割的研究[J].计算机工程与应用,2009,45(27):191-192.
- [10] Peyton L, Gantzer C J, Anderson S H, et al. Fractal dimension to describe soil macropore structure using X ray computer tomography[J]. Water Resource Research, 1994,30(3):691-700.
- [11] Pachepsky Y A, Timlin D, Varallyay G. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996,60:727-733.
- [12] 张济忠.分形[M].北京:清华大学出版社,1995.
- [13] Benell G, Garzelli A. Oil-spills detection in SAR images by fractal dimension estimation[C]. Proc. IEEE IGARSS'99, 1999, 218-220.
- [14] Berizzi F, Dell'Acqua F, Gamba P, et al. On the fractal behavior of SAR images of ocean sea surface[C]. Proc. IEEE IGARSS'01. 2001,4,1729-1731.
- [15] 刘远仲,曾黄麟,樊玉梅.基于Canny算子的白酒显微图像边缘提取[J].四川理工学院学报:自然科学版,2011,24(3):341-344.
- [16] 李华强,喻擎苍,方玫. Canny算子中Otsu阈值的运用[J].计算机工程与设计,2008,5(29):2297-2298.

Detection of Distribution Dimension of the Earth-rock Aggregate Based on Digital Image Process

DU Zhao-bin^a, WANG Jian-xun^b, PING Gen-jian^a

(a. Department of Software Engineering; b. Department of Mechanical Engineering, Zhengzhou Technical College, Zhengzhou 450121, China)

Abstract: Some parameters including distribution fractal dimension of coarse grain and coarse grain boundary contour line are used as a new research method on microstructure of earth-rock aggregate by engineering technicians, which can explain the characteristics of mechanical behavior of earth-rock aggregate. The parameters of distribution fractal dimension can also be classification basis for engineering of earth-rock aggregate. Now technicians can only calculate grain-size fractal dimension by sieve analysis in manual operation way to research on the microstructure of earth-rock aggregate, which restricts the technicians' further research for its great labor intensity and its inconvenient operation. In this paper the detection of distribution fractal dimension of earth-rock aggregate base on digital image process is put forward. This method is simple and practical. It can decrease labor intensity and enriched the research method of microstructure of earth-rock aggregate for technicians.

Key words: digital image process; earth-rock aggregate; fractal dimension