

岩石材料变形破坏过程应用程序开发

朱利峰, 徐金明, 周亦骏

(上海大学土木工程系, 上海 200072)

摘要: 为研究岩石表面变形破坏过程的变化特征,以岩石常规力学性质试验视频为研究对象,设计可视化应用程序。程序界面包括静态图像处理和视频处理。静态图像处理界面由图像类型转换、图像边缘检测、图像形态学处理和图像滤波处理等4个模块组成。视频处理界面提供试验视频帧数、历时、帧图像大小和维数等基本信息。通过在可视化界面上进行所需参数设置,可以实现单帧图像特征纹理参数和岩石试样表面位移场的计算。2个示例说明使用该应用程序进行岩石材料变形破坏过程分析是可行的。该程序可以为岩石材料变形特点和破坏机制的分析提供参考。

关键词: 岩石表面; 变形; 可视化应用程序; 图像处理; 视频处理

中图分类号: TU458; TP317.4 文献标志码: B

Application program development of deformation and failure process of rock material

ZHU Lifeng, XU Jinming, ZHOU Yijun

(Department of Civil Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: To study the change characteristics of rock surface deformation and failure process, a visual application program is designed taking the video of rock routine mechanical property test as study object. The program interfaces include static image processing and video processing. The static image processing interface consists of four modules, that are image type conversion, edge detection, morphological processing and image filtering. The basic information are provided in the interface of video processing, such as video frame number, duration, frame image size, dimension and so on. The single frame feature texture parameters and rock sample surface displacements can be calculated by setting parameters on the visual interfaces. Two examples show that it is feasible to analyze the deformation and failure process of rock material by the application program. The program can provide reference for the analysis on the deformation characteristics and failure mechanism of rock material.

Key words: rock surface; deformation; visual application program; image processing; video processing

0 引言

数字图像处理技术在岩土工程领域已得到一些

应用。赵芳等^[1]提出一种针对岩石节理裂隙宽度的角点分段算法;王卫星等^[2]提出一种基于数字图像处理技术的测量岩石裂隙粗糙度的新算法;徐金明

收稿日期: 2012-09-13 修回日期: 2012-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(40972191);上海大学研究生创新基金(SHUCX120148)

作者简介: 朱利峰(1988—),男,上海人,硕士研究生,研究方向为计算机在土木工程中的应用,(E-mail) petermnmz@yahoo.com.cn;
徐金明(1963—),男,江苏南通人,教授,博导,博士,研究方向为岩土工程计算技术,(E-mail) xjming@163.com

<http://www.chinacae.cn>

等^[3]根据石灰岩视频图像计算岩石表面全局位移场,探讨数字图像特征参数的变化情况;朱泽奇等^[4]将模糊聚类方法引入数字图像处理过程中,更方便地实现数值计算模型与材料真实细观结构的耦合分析;许辉群等^[5]利用边缘检测技术确定砂泥岩边界,确定振幅梯度幅值阈值,进行储层预测;邹飞等^[6]基于数字图像灰度相关性研究石膏材料的损伤分形特征研究;张岩等^[7]利用图像分析方法研究花岗岩在单轴压缩条件下,其细观组分定向性变化。

此外,倪晓慧等^[8]利用扫描电镜对不同频率循环载荷作用下花岗岩细观疲劳损伤量化进行研究;李邵军等^[9]设计刚性剪切盒和数据采集分析系统,实现土与结构接触面直剪试验剪切带变形的可视化与量化;徐安权等^[10]基于数字图像处理技术开发 Photo-to-FLAC 自动建模程序,为堆积体力学行为模拟提供新的建模方法;DI 等^[11]基于数值方法研究柱状岩体的各向异性等效强度和建模方法;曹亮等^[12]基于数字图像处理技术开发一种土样全剖面观测和局部细观结构观测的试验系统;陈亚东等^[13]利用基于数字图像的非接触测量方法,研究桩-土接触面上载荷传递特性、剪切位移场及剪应变场分布规律。

目前,国内利用数字图像处理技术开发研究岩石材料特性的软件较少,有必要设计一个操作简单,可供研究人员反复使用的可视化应用程序。

本文以拍摄得到的岩石常规力学性质试验视频为研究对象,结合数字图像处理技术设计一个独立的可视化应用程序。该应用程序主要实现 2 个功能: (1) 选取一幅静态岩石图像,提取并计算其表面特征纹理参数; (2) 选取同一个视频中的多帧岩石图像,计算岩石表面任意位置和任意时刻的位移场。

1 数字图像处理技术基本原理

一幅数字图像在计算机内被作为一个实数矩阵识别。每幅图像对应一个二维函数

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, Y) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, Y) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(X, 0) & f(X, 1) & \cdots & f(X, Y) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中的每个元素代表一个像素点,元素 $f(X, Y)$ 的大小代表该点处的亮度值^[14]。按颜色类型分类,数字图像又可分为灰度图像和彩色图像。灰度图像只由一种颜色构成,但每个像素点可以是该颜色的

不同亮度值;彩色图像由 3 幅独立的灰度图像组成,其颜色分别为红、绿和蓝。

式(1)可以利用数学函数处理,数字图像处理正是利用计算机软件中丰富的库函数进行的操作过程,如

$$g(x, y) = T(f(x, y)) \quad (2)$$

式中: $g(x, y)$ 为输出图像; T 为对 $f(x, y)$ 进行处理的数学函数。

2 应用程序设计

2.1 设计思路

应用程序在 MATLAB 2012a 平台中编译完成,处理图像的主要函数来自其内部图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox, IPT)。岩石破坏试验视频是应用程序的载体,通过拍摄室内岩石常规力学性质试验视频获得。应用程序在 MATLAB 的 GUI 中设计完成。程序设计思路见图 1。

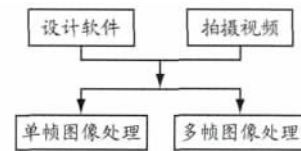


图 1 程序设计思路

Fig. 1 Program design idea

2.2 界面设计

为设计良好的用户界面,制定程序设计流程,见图 2。首先设计界面的结构,根据界面结构布置控件和菜单;然后编译控件的后台代码,实现相应功能;最后把程序制作成脱离编译平台的独立应用程序。

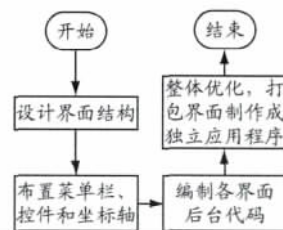


图 2 程序设计流程

Fig. 2 Program design process

程序界面结构见图 3。主界面围绕静态图像的处理展开,分为图像类型转换、图像边缘检测、图像形态学处理和图像滤波处理等 4 个模块。主界面由菜单栏、坐标轴和按钮组等组成。菜单栏共分两栏:一栏为加载图像栏,有打开、保存和关闭等 3 个选项;另一栏为加载视频栏,提供加载视频选项。若要进行位移场计算,需在主界面内加载视频文件。应用程序主界面见图 4。

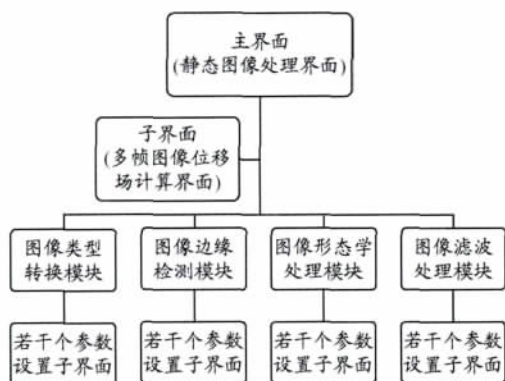


图 3 应用程序界面结构

Fig. 3 Interface structure of application program

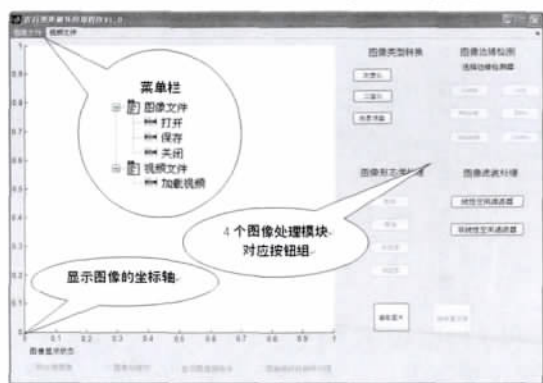


图 4 应用程序主界面

Fig. 4 Main interface of application program

2.3 编译后台代码

2.3.1 创建全局变量

根据界面中控件所要实现的功能,确立全局变量,见表 1.

表 1 程序全局变量

Tab. 1 Global variables of program

全局变量名称	变量意义
I_1	载入的初始图像
I_2	处理中的图像
I_3	待观察的图像
V_1	载入的视频文件

当某图像被载入后,坐标轴内显示名为 I_2 的图像,界面中的 4 个模块均对 I_2 进行处理,

$$I_2 = T(I_2) \quad (3)$$

I_2 经过函数 T 处理后,重新赋值给 I_2 ,并且在当前坐标轴内显示对应图像数组。由于有些函数需要设定阈值,一般一次设定并不能达到预期效果,因此命名一个名为 I_3 的图像数组。当输入阈值后,将经函数处理后的 I_2 赋值给 I_3 ,

$$I_3 = T(I_2, t) \quad (4)$$

式中: t 为所设定的阈值。

点击浏览按钮,如果图像没有达到预期效果,可以再次输入阈值或选择取消按钮,直至达到满意的效果,再点击确定按钮。此时, I_3 重新赋值给 I_2 ,并显示在当前坐标轴内。载入的视频文件赋值给变量 V_1 ,再由 V_1 提取视频中的某几帧图像,载入主界面进行静态图像处理或进行位移场计算。

2.3.2 修改程序中的不足

当某幅彩色图像被载入主界面内,即图像赋值给 I_2 ,如果对其进行边缘检测或者形态学处理,界面将会出错。因为彩色图像不能进行边缘检测处理和形态学处理,只有经过灰度化的图像才能进行上述操作。为此,在界面主程序中设置这些按钮的初始状态为无效按钮,格式为

```
set(handles.buttongroup, 'enable', 'off')
```

其中, `buttongroup` 为当前选择的按钮,设置 `enable` 为 `off` 即当前按钮为无效按钮;在灰度化按钮后台代码中设置 `enable` 为 `on`,即当图像经过灰度化后按钮变成有效按钮。

2.4 制作独立应用程序

一般在 MATLAB 上编译的程序只能在装有 MATLAB 的计算机上运行,若要脱离编译平台,使程序可以在未安装 MATLAB 的计算机上运行,需利用 MATLAB 自带的工具 Deploy Tool。Deploy Tool 可以将 MATLAB 上编译的文件转换成 Windows 应用程序,其原理是将 `m` 文件转换成 C 文件和相关的文件,再利用 C/C++ 编译器编译成可执行文件。

在编译过程中,首先需要把程序中所有的 `fig` 文件(界面文件)和 `m` 文件(代码文件)整合在一个文件夹内,然后找到主程序创建工程(即把程序制作成 `exe` 文件),再与软件自带的平台内部函数库安装包(MATLAB Compiler Runtime, MCR)运行环境进行打包处理。运行解压该程序后,系统会自动安装 MATLAB 运行库,安装成功后,该独立应用程序便可运行。

3 示例演示

对室内花岗岩单轴抗压破坏试验视频中的若干幅帧图像进行示例演示。(1)选取视频中出现裂缝的一帧图像,提取其裂缝边缘;(2)选取视频中时间相邻的 2 帧图像,计算其位移场。

3.1 裂缝边缘提取

示例所使用的花岗岩试验样本取自浙江省湖州市西北部的白鹤岭。花岗岩在室内切割和磨光后制成长、宽、高分别为 70, 50 和 100 mm 的长方体试

块.岩石压缩试验采用浙江竞远机械设备有限公司生产的 YE-2000 型液压力试验机. 试验过程的视频图像分别使用三星 DIGIMAXL 150 型和索尼 HDR-CX 150E 型照相机拍摄. 相机镜头与试块之间的距离为 118 cm.

试验视频被解压成 24 色 AVI 格式, 时长 119 s, 共计 2 978 帧图像, 播放帧率为 25 帧/s, 每帧图像大小为 1 080 × 1 920 像素.

视频在大约 113 s 时刻即 2825 帧时, 岩石表面右半部分出现明显裂缝, 提取 116 s 时刻即第 2900 帧图像进行分析. 分别对图像进行截取、二值化和边缘检测处理. 使用试凑法, 二值化的阈值选 0.12, 边缘检测则选择 Log 检测器. 原视频中的图像和提取的裂缝边缘见图 5.

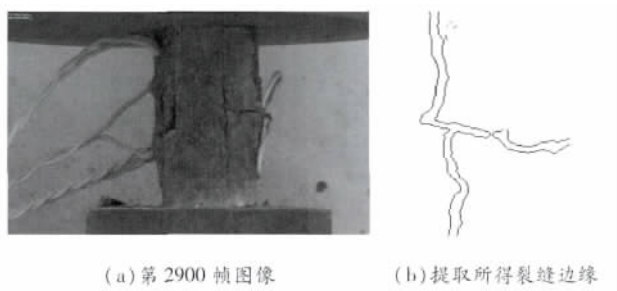


图 5 裂缝边缘

Fig. 5 Crack edge

3.2 位移场计算

选取第 3.1 节视频中第 2910 帧和 2920 帧图像, 截取其中出现裂缝的主要区域, 见图 6, 花岗岩表面主要出现 3 条明显的裂缝.

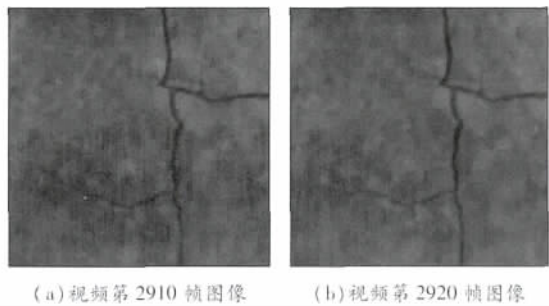


图 6 第 2910 帧和第 2920 帧图像

Fig. 6 Images of 2910th and 2920th frames

选取图 6 的 2 张图像进行位移场计算. 由于 2 张图像帧数差为 10 帧, 时间间隔相当于 0.4 s, 因此设置时差为 0.4 s, 设置图像相关区域覆盖率为 0.5^[15], 得到 116 s 时的位移场, 见图 7. 该位移场右上角出现较大斜向下的位移矢量, 可能是由于裂纹扩张引起的像素点移动导致的.

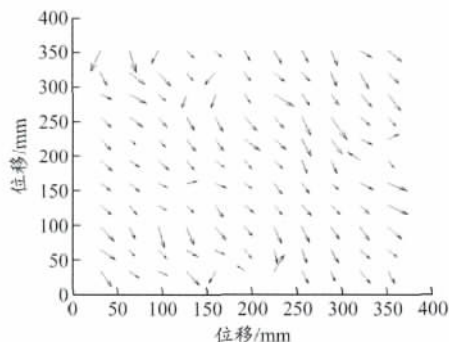


图 7 花岗岩在 116 s 时刻的位移场

Fig. 7 Displacement field of granite at 116 s

4 结 论

(1) 利用数字图像处理技术开发独立应用程序. 描述界面设计的整个过程, 并阐述后台代码中全局变量的意义以及如何修改程序中的不足, 介绍如何将程序制作成独立的应用程序.

(2) 以室内花岗岩单轴抗压破坏试验视频为例, 演示该应用程序所能实现的 2 个主要功能: 选取视频中岩石出现明显裂纹的一帧图像, 载入软件主界面, 输入界面中二值化和边缘检测等对应控件所需参数, 提取岩石表面的裂缝边缘; 选取视频中相邻时间的 2 帧图像, 截取图中裂缝的主要区域, 载入计算位移场界面, 输入时间间隔和相关区域覆盖率等参数, 计算岩石表面的位移场.

(3) 本文软件还存在一些缺陷, 如需要在静态图像处理过程中增加所用参数的收集功能. 另外, 在处理多帧图像过程中, 需继续改进计算位移场的功能.

参考文献:

[1] 赵芳, 王卫星, 全文标. 基于角点分段算法的岩石裂隙宽度测量及分析[J]. 计算机应用研究, 2006(11): 137-140.
ZHAO Fang, WANG Weixing, JIN Wenbiao. Rock fracture width measurement method based on corner segment algorithm[J]. Application Res Computers, 2006(11): 137-140.

[2] 王卫星, 杨记明. 一种基于图像处理的岩石裂隙粗糙度几何信息算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(4): 454-457.
WANG Weixing, YANG Jiming. A geometric information on roughness of rock fractures based on image processing[J]. J Chongqing Univ Posts & Telecommunications: Nat Sci, 2010, 22(4): 454-457.

- [3] 徐金明, 韩娜娜, 李岩松. 石灰岩局部化变形的图像特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(10): 2110-2115.
XU Jinming, HAN Nana, LI Yansong. Image features of localized deformation of limestone[J]. Chin J Rock Mech & Eng, 2010, 29(10): 2110-2115.
- [4] 朱泽奇, 肖培伟, 盛谦, 等. 基于数字图像处理的非均质岩石材料破坏过程模拟[J]. 岩土力学, 2011, 32(12): 3780-3786.
ZHU Zeqi, XIAO Peiwei, SHENG Qian, *et al.* Numerical simulation of fracture propagation of heterogeneous rock material based on digital image processing[J]. Rock & Soil Mech, 2011, 32(12): 3780-3786.
- [5] 许辉群, 桂志先, 孙赞东. 边缘检测技术在地震属性中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2011, 46(1): 126-128.
XU Huiqun, GUI Zhixian, SUN Zandong. Application of edge detection technique in seismic attribute analysis[J]. Oil Geophys Prospecting, 2011, 46(1): 126-128.
- [6] 邹飞, 李海波, 周青春, 等. 基于数字图像灰度相关性的类岩石材料损伤分形特征研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(3): 731-738.
ZOU Fei, LI Haibo, ZHOU Qingchun, *et al.* Fractal features study of rock-like material damage based on gray correlation of digital images[J]. Rock & Soil Mech, 2012, 33(3): 731-738.
- [7] 张岩, 徐金明, 张文清. 使用图像分析方法研究单轴压缩条件下花岗岩中细观组分的定向性变化[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(2): 66-73.
ZHANG Yan, XU Jinming, ZHANG Wenqing. Orientation of meso-components in granite under uniaxial compression using image analysis[J]. Hydrogeology & Eng Geology, 2012, 39(2): 66-73.
- [8] 倪晓慧, 李晓娟, 朱珍德, 等. 不同频率循环荷载作用下花岗岩细观疲劳损伤量化试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 422-427.
NI Xiaohui, LI Xiaojuan, ZHU Zhende, *et al.* Quantitative test study of meso-damage of granite under cyclic load with different frequencies[J]. Rock & Soil Mech, 2012, 33(2): 422-427.
- [9] 李邵军, 孟凡震, 陈静, 等. 土与结构相互作用的可视化剪切试验装置研制及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(1): 180-188.
LI Shaojun, MENG Fanzhen, CHEN Jing, *et al.* Development of shear test device with interface visualization for soil-structure interaction and its application[J]. Chin J Rock Mech & Eng, 2012, 31(1): 180-188.
- [10] 徐安权, 徐卫亚, 石崇, 等. 基于数字图像的大型堆积体细观力学特性及力学参数研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(1): 58-64.
XU Anquan, XU Weiya, SHI Chong, *et al.* Micromechanical properties and mechanical parameters of talus deposit based on digital image technology[J]. Chin J Geotechnical Eng, 2012, 34(1): 58-64.
- [11] DI Shengjie, XU Weiya, NING Yu, *et al.* Macro-mechanical properties of columnar jointed basaltic rock masses[J]. J Central South Univ Technol, 2011(18): 2143-2149.
- [12] 曹亮, 刘文白, 李晓昭, 等. 基于数字图像的砂土压缩变形模式的试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(4): 1018-1024.
CAO Liang, LIU Wenbai, LI Xiaozhao, *et al.* Experimental study of compression deformation patterns in sands based on digital image analysis[J]. Rock & Soil Mech, 2012, 33(4): 1018-1024.
- [13] 陈亚东, 王旭东, 蔡江东. 基于数字图像法的桩-土接触面特性试验研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(3): 84-87.
CHEN Yadong, WANG Xudong, CAI Jiandong. Study on the mechanism characteristics of pile-soil interface base on digital image method[J]. Ind Construction, 2012, 42(3): 84-87.
- [14] GONZALEZ R C, WOODS R E, EDDINS S L. 数字图像处理(MATLAB版)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 1-473.
- [15] SVEEN J K. MatPIV-the PIV toolbox for MATLAB [CP/OL]. (2006-03-17) [2012-09-10]. <http://www.math.uio.no/~jks/matpiv/> Download.

(编辑 武晓英)