

相似材料模型破裂边界提取研究

张云鹏¹, 吴侃¹, 徐亚楠²

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221008; 2. 陕西铁路工程职业技术学院, 陕西 渭南 714000)

[摘要] 为了研究相似材料模型破裂区域边界的提取方法, 将工业测量技术引入相似材料模型观测, 利用面扫描系统获取模型表面的点云数据, 针对模型点云数据的特征, 首先利用圆形邻域法和扫描线法提取裂缝边界点, 然后, 利用全局拼接点坐标剔除标志点边界; 最后, 使用最近距离法将属于同一边界的断点连接起来。对模型观测数据进行提取实验, 结果表明: 除了少数被标志点覆盖和破裂十分严重的边界以外, 该方法能够较好地提取出非连续破坏区域边界, 提取结果可应用于开采沉陷研究当中。

[关键词] 相似材料模型; 面扫描; 点云数据; 边界断点; 标志点

[中图分类号] TD325 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2012) 06-0010-04

Research on Fissure Boundary of Analogue Simulation Model

ZHANG Yun-peng¹, WU Kan¹, XU Ya-nan²

(1. Environment & Surveying School, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China;

2. Shaanxi Railway Institute, Weinan 714000, China)

Abstract: In order to recognize fissure boundary of analogue simulation model, industrial measurement technology used, and section scanning system was applied to obtain point cloud data of model surface. Firstly, fissure boundary points were recognized by round neighborhood method and scanning line method. Using global splicing point coordinates, mark points boundary was deleted. Finally, breakpoints which belong to same boundary were linked by minimum range method. Test result showed that this method could obtain non-continuous damage boundary from point cloud data, except few boundary which was covered by mark points and was seriously damaged. The recognition result could be used in research of mining subsidence.

Keywords: analogue simulation; section scanning; point cloud data; boundary breakpoint; mark point

相似材料模拟实验是研究矿山开采沉陷主要方法之一。传统的相似材料模型观测数据均是通过观测模型布设点的位移情况, 提取模型剖面变形曲线, 而对于模型其他诸多信息, 如裂缝等破坏区域, 由于受观测手段和观测精度的限制, 研究较少。在相似材料模拟实验中引入面扫描系统, 一方面解决了长期以来相似材料模型观测精度不高的问题; 另一方面单纯利用摄影测量方法对相似材料模型破裂情况进行研究, 仅能得到不可丈量的照片, 数据尺寸无法丈量, 利用面扫描方法获取的面扫描数据, 可以较好地解决这个问题。

然而, 目前面扫描系统主要应用于工业测量领域, 因此现有的数据处理软件仅适用于工业测量领域, 而对于相似材料模型观测数据的处理而言, 功能并不完善。目前国内关于这方面的研究比较少。中国矿业大学的陈冉丽^[1]就工业测量系统应用于相似材料模型观测的可行性进行了研究, 证明工业测量系统用于相似材料模型变形观测与其他观测手

段相比具有测量精度高、信息容量大、方便易行等优点, 可以实现实时观测并能获取模型各个阶段的点云数据。谢艾伶^[2]对基于工业测量的相似材料模型数据处理系统进行了研究, 重点对 XJTUDP 系统观测数据进行了粗差剔除分析, 并通过对 SMDP 系统进行总体设计, 实现 C/S 结构的 SMDP 系统建立。其系统功能主要用于数据的存储管理和预处理等方面, 并不适用于面扫描数据的特征提取。

本文拟寻找一种有效的方法, 能够从面扫描数据中提取出相似材料模型的非连续破坏区域边界, 为岩层内部破坏规律的研究提供有效的数据支持, 同时也拓展了三维光学面扫描技术的应用领域, 促进三维光学面扫描技术的进一步发展。

1 三维光学密集点云测量系统简介

本次实验采用由西安交通大学研制的三维光学密集点云测量系统 (XJTUOM) 获取实验数据。该系统采用国际最先进的外差式多频相移三维光学测

[收稿日期] 2012-08-02

[基金项目] 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (SZBF2011-6-B35)

[作者简介] 张云鹏 (1987-), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 从事矿山开采损害及防护技术、大地测量等的研究。

量技术,用于不规则复杂曲面产品零件的移动便携式三维扫描和逆向设计。测量过程中可随意将仪器搬至现场测量,并可调节成任意角度作全方位的测量。与传统的三坐标测量仪和激光三维扫描仪相比具有易操作、可移动、速度快、精度高等特点,在物体的单面测量和多面拼接的精度和准确度上均达到了国际先进水平^[2]。

XJTUOM 系统测量的基本原理是:测量时光栅投影装置投影多幅多频光栅至待测物体表面,如图1所示,成一定夹角 m 的 2 个 CCD 摄像机同步采得相应图像,然后对图像进行解码和相位计算,并利用立体匹配技术、三角形测量原理,解算出 2 个 CCD 摄像机公共视区内像素点的三维坐标^[3]。

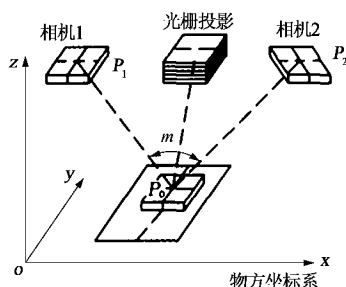


图1 光栅投影原理

利用 XJTUOM 系统对相似材料模型进行扫描,可获取模型表面海量点云数据,如图2所示。图2(a)所示为扫描得到的原始点云数据放大后的显示效果,图中空白部分为模型破坏区域。扫描得到的点云数据以坐标的形式保存为文本文件,如图2(b)所示。本文要从海量点云数据中提取出模型表面破坏区域的边界。



(a)模型表面点云数据

```

-434.130798 -960.961853 813.199036
-429.439545 -959.498535 811.812988
-428.482269 -959.161560 811.500916
-436.566498 -963.162476 814.858521
-435.649872 -962.875122 814.631897
-434.686035 -962.468140 814.319519
-433.691315 -962.061279 813.930969
-436.090057 -964.136353 815.529663
-435.131195 -963.746887 815.225403
-434.166260 -963.343079 814.909790
-433.256195 -963.069641 814.698120
***XICE IMEI XJTU**

```

(b)点云数据文件

图2 原始点云数据

2 破裂边界提取

本文中提取破裂边界分 3 个步骤:首先,从海

量点云数据中提取出破坏区域的破裂边界点,只保留边界点数据而舍去其他数据。在后续处理中只对这些破裂边界点进行操作,可大大节约程序运行时间;其次,剔除标志点等干扰点,保留破裂边界断点;最后,将各个断点按照各自所属的裂缝边界依次连接起来。

2.1 断点提取

本文采用 2 种方法提取破裂边界点:一种是基于圆形邻域内点云密度的方法;一种是基于扫描线搜索断点的方法。

2.1.1 圆形邻域法

本次实验获取的点云数据数量庞大,单幅扫描数据可达几十万个点。图3所示为扫描得到的原始点云数据,图中黑色部分为模型表面非破坏区域点云,图中规则的空洞为模型表面的标志点,线状空白部分为模型表面破坏区域。模型非破坏区域内点云密度较大,破坏区域内点云密度较小。根据这一特点,可采用基于圆形邻域内点云密度的方法,将每个点圆形邻域内的点云密度作为判断标准,判断该点是否为破裂边界点。

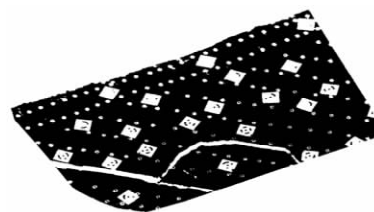


图3 扫描点云数据

具体过程为:先以某一点 P 作为中心点,以 r 为半径做圆。然后对所有点进行判断,判断其是否位于圆内,并记录位于圆内的点的个数 n 。判断点是否位于圆内,只需要判断点到圆心的距离是否小于 r ,若小于 r 则记录下来。若 P 点邻域内点云数 n 小于设定的阈值 N ,则认为 P 点是破裂边界点。破裂边界提取效果如图4所示。



图4 圆形邻域法提取效果

为了选取适当的阈值 N ,可先在模型的非破坏区域进行数据采样,根据采样区域内以 r 为半径的圆形邻域内点云数量确定 N 的取值。

2.1.2 扫描线法

XJTUOM 系统扫描得到的点云数据是按扫描线

顺序排列的。同一扫描线上各点的 x 坐标是逐渐增大的。当 x 坐标突然变小时, 说明已经是下一条扫描线。根据点云数据的这一特点, 可按照扫描线的顺序依次扫描各点, 求出同一扫描线上各相邻点之间的距离 d_i , 当相邻两点之间的距离大于设定阈值时, 说明这相邻两点为裂缝断点。在求取相邻两点间距离时要注意以下情况: 当扫描到一条扫描线的最后一个点和下一条扫描线的第一个点时, 这两点并不是相邻点, 它们之间的距离也会远远大于设定阈值, 因此提取相邻点间距时要跳过这两点。为此, 可以按照每个点所在扫描线为每个点编号。扫描时只有扫描线编号相同的两点才求取两点间距离。可以定义如下数据类型:

Public Type point

x As Double x 坐标

y As Double y 坐标

num1 As Long 记录各点所在扫描线号

num2 As Long 记录各点在 1 条扫描线上位置

End Type

扫描点云时, 若 $p(i).num1 = p(i+1).num1$, 则求取两点之间的距离, 否则跳过这两点。

为确定断点判断的阈值, 可先进行距离采样: 选择一块未破坏的平面区域, 计算出这个区域内同一条扫描线上各相邻点间的距离, 并找出距离最大值 d_{max} , 将 $k \times d_{max}$ 作为扫描线上断点提取的阈值。断点提取的效果如图 5 所示。

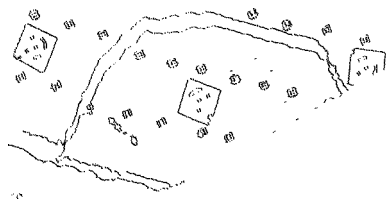


图 5 扫描线法提取效果

上述两种方法各有优劣。比较图 4 和图 5 可以看出, 圆形邻域法的提取效果好于扫描线法, 使用扫描线法会漏掉一部分边界点。这是因为扫描线法是按照扫描线的顺序提取破裂边界点的, 若相邻边界点位于同一条扫描线上, 则这些边界点由于相邻间距离小于阈值不能被识别出来。而扫描线法的优点在于运算速度快。例如, 同样处理 52345 个点, 使用圆形邻域法需要 598 秒, 使用扫描线法仅需要 1 秒。而且随着数据量的增大, 使用圆形邻域法所需要的时间急剧增加。因此当数据量较大且精度要求不高时应该选择扫描线法。

2.2 剔除标志点边界

XJTUOM 面扫描系统在使用时通常要在被扫描

物体上粘贴标志点, 利用标志点坐标进行不同幅面的自动拼接以保证一定的精度。然而标志点的存在也给破坏区域的提取带来了麻烦。标志点包括编码点和非编码点 2 种, 在点云数据中表现为一个个空洞。在裂缝边界断点的提取过程中这些空洞也会被提取出来 (如图 4 和图 5)。因此将断点提取出来后要采用某种方法将这些标志点边界剔除掉。

由于 XJTUOM 系统在将拼接标志点作为全局标志点导入过程中, 已经实现了拼接标志点与扫描点云坐标系之间的配准, 并且以文本文件格式单独保存, 因此可以利用拼接标志点的坐标文件剔除标志点边界。

算法原理为: 首先导入标志点坐标文件, 文件内的坐标是相应标志点的几何中心坐标, 以该点作为圆心, 选择适当的半径 R_0 作圆, 然后导入前面已经提取出来的点云边界断点, 搜索每个边界点, 判断其是否位于圆内, 若是则认为该点是标志点边界点予以删除, 否则搜索下一点直至结束。

由于标志点分编码点和非编码点两种, 两种编码点的尺寸不同, 因此要分别进行剔除。全局标志点坐标文件中, 每个点都有特定的点号, 编码点点号均小于 300, 非编码点点号大于 1000。当点号小于 300 时 R_0 设为 45, 当点号大于 1000 时 R_0 设为 10。剔除效果如图 6 所示。



图 6 标志点剔除效果

2.3 边界点连线

裂缝边界点提取出来以后, 还需要确定哪些点属于同一边界, 将属于同一边界的裂缝断点连接起来。由于提取出来的点比较散乱, 因此可以采用最近距离的方法判断哪些点属于同一条裂缝边界。

具体过程为: 以某一个断点为起始点, 搜索这个断点邻域内的最近点, 并标记该点。然后从这个点开始再进行搜索, 找出这个点邻域内的最近点。标记过的点不再进行搜索。依次循环, 直到搜索到边界上最后一个点停止搜索。如图 7 所示。

当搜索到裂缝边界终点时, 因为同一边界上的点都已被搜索且标记过, 所以在终点上搜索到的最近点是其他边界上的点或干扰点。因此需要设置一个终止条件, 判断是否搜索到边界终点。本文以距离作为判断依据, 设置一个距离阈值, 当某点与其

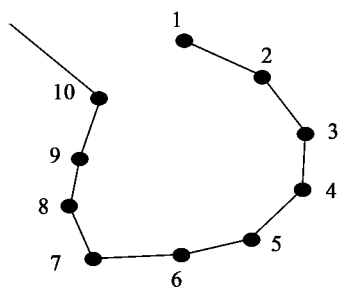


图7 搜索邻域内最近点

邻域内的最近点的距离大于该阈值时,就认为该点是边界终点,停止搜索。边界点连线的效果如图8所示。



图8 边界点连接效果

2.4 最终提取效果

本次实验共扫描了9个幅面,采用前文所述方法对其他8个幅面进行破坏区域提取,将提取出的破坏区域拼接并手动删除残留的杂点,形成完整的破坏区域。整个提取过程采用VB编程处理,最终提取效果如图9所示,证明了该方法的可行性。

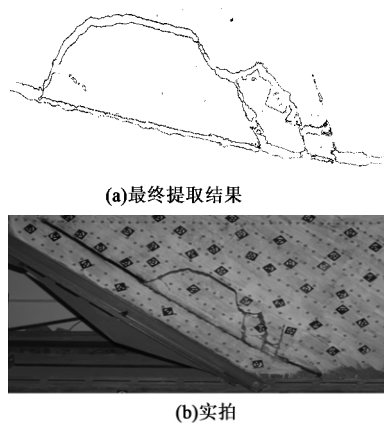


图9 提取效果与实照

3 应用举例

最终提取出来的破坏区域,其边界上各点的坐标信息均已知,可应用于开采沉陷研究当中,为岩层破坏规律的研究提供服务。例如利用边界点信息可以统计模型的破裂空间,探究模型破裂空间与煤层倾角的关系。

地下矿体采出后,开采空间在上覆岩层中传递,到达地表,一部分在岩层内部形成破裂空间,一部分传至地表形成沉陷。破裂累计空间即模型表面各开采裂隙空间的累加和,其面积可利用边界点坐标计算出来,假设裂隙深度为单位1,则各裂隙面积累加和即为裂隙累计空间。地表沉陷空间可借助于地表下沉曲线计算。对不同煤层倾角的3台模型进行统计,统计结果如表1所示。从表1中可以看出:随着煤层倾角的增大,地表沉陷面积变小,岩层内部破坏空间增大。

表1 模型平面空间统计

煤层倾角 $\alpha / (^{\circ})$	30	70	80
煤层采出空间/ mm^2	20000	14000	20000
地表沉陷空间/ mm^2	4680	2960	1960
裂隙累计空间/ mm^2	8130	7360	14630
沉陷占采出空间比例/%	23.4	21.2	9.8
裂隙占采出空间比例/%	40.7	52.6	73.2

4 结论

将工业测量系统引入到相似材料模型观测当中,利用面扫描系统获取模型表面点云数据。针对点云数据的特征,首先使用圆形邻域法和扫描法从点云数据中提取破坏区域边界断点;然后,利用全局拼接点坐标剔除标志点边界;最后,使用最近距离法将属于同一边界的断点连接起来。通过对模型观测数据进行提取实验,证明了本方法的可行性,提取结果可应用于开采沉陷研究当中。

[参考文献]

- [1] 陈冉丽,等.工业测量系统在相似材料模型观测中的应用研究[J].测绘通报,2009(S):147-151.
- [2] 谢艾伶.基于工业测量的相似材料模型数据处理系统研究[D].徐州:中国矿业大学,2010.
- [3] 王宗跃,马洪超,徐宏根,等.基于LiDAR点云数据的水体轮廓线提取方法研究[J].武汉大学学报信息科学版,2010,35(4):432-435.
- [4] 王宗跃,马洪超,徐宏根,等.海量点云的边缘快速提取算法[J].计算机工程与应用,2010,46(36):213-215.
- [5] 黄承亮,向娟.基于三维TIN的格网化点云数据特征提取[J].测绘科学,2010,35(S):127-129.
- [6] 徐景中,万幼川,张胜望.LiDAR地面点云的简化方法[J].测绘信息与工程,2008,33(1):32-34.
- [7] 朱振华,陈建.海量扫描数据特征点及边界提取方法研究[J].现代测绘,2008,31(5):19-21.
- [8] 董秀军.三维激光扫描技术获取高精度DTM的应用研究[J].工程地质学报,2007,15(3):428-429.

[责任编辑:王兴库]