

基于图像识别的隧道三维重建技术应用与研究

沈宏辉¹ 邵杨丰¹ 张苏龙² 王捷² 付春青³

1. 德清县杭绕高速有限公司 浙江 德清 313200; 2. 江苏东交智控科技集团股份有限公司 江苏 南京 210000;
3. 北京住总集团有限责任公司 北京 100101

【摘要】本文以隧道三维重建技术应用为目标,根据传统的二值图像连通区域标记算法存在的明显不足,并提出了一种改进的二值标志点图像连通区域标记算法。改进了图像识别的现场实施办法。同时介绍了一种根据所述围岩图像建立隧道实际开挖轮廓三维曲面模型的算法。最后将上述技术成功、高效地应用于某隧道工程中。

【关键词】三维重建;隧道工程;图像识别;二值标志点图像连通区域标记算法

基于图像识别的三维重建技术是目前针对采集空间信息需要开发的一种新技术,处于交叉研究领域,涉及计算机视觉、计算机图形学、图像处理、模式识别等诸多学科。通过国内外学者近几十年的研究,在理论上和应用中都涌现出大量优秀的相关研究成果。

图像处理技术的快速发展促进了其在隧道工程中的应用,尤其是在岩体信息提取与应用方面,图像处理与工程应用联系更加密切。数字图像处理技术^[1-3]作为结构面信息提取并进行编录的重要内容也是众多科研工作者的研究热点。

国外学者方面,T.R.Reid、F.Lemy等^[4-5]基于图像处理技术,对岩体结构面信息识别和提取等方面做了大量的实践工作,完成隧道岩体图像的初步统计分析。Sou-Sen LeuT等^[6]研究了运用图像特征提取技术进行岩体结构面信息的提取,并根据隧道结构面信息提出了三维地质模型的构建的概念。叶英^[7]着重介绍了图像处理技术在地质编录方面的应用,通过掌子面图像灰度级校正、二值化处理等提高图像质量并突出图像特征,利用图像模式识别技术实现结构面特征的提取显示,并完成在超前预报和围岩分类方面的初步应用。冷彪、仇文革等^[8-9]着重图像处理算法研究,通过对比度、亮度、灰度调节,边缘检测,边界提取等手段增强图像质量,完成结构面信息统计,并且在隧道工程中根据相邻掌子面结构面信息完成三维模型重建。周春霖^[10]创新性地将在红外摄影技术应用到隧道图像采集方面,并通过理论分析及现场试验初步验证红外摄影在恶劣环境下适应性。

综上所述,随着近年来图像技术在隧道工程中得到了越来越多的应用,但是对其监测数据处理仍需要进一步研究。本文从改进传统的二值图像连通区域标记算法入手,结合图像识别现场实施办法,成功高效地对某隧

道进行了三维重建。

1 图像识别技术

图像识别技术通过快速可靠的采集方法获取隧道内部实测全景影像来精确地描述目标区域的特性信息,快速精确地构建高分辨率、高清晰度的各种不规则的实体三维模型。

本文主要研究标志点自动识别算法。在标志点识别过程中,对布设了多个标志点的图像进行阈值处理后得到的二值图像包含了多个标志点区域以及噪声区域,为了提取不同的标志点连通区域,需要对标志点连通区域进行标记。

传统的二值图像连通区域标记算法存在的明显不足是:第一次扫描会产生重复标记,需进行第二次扫描消除,算法的实现效率低。为了进一步提高标志点连通区域标记的效率,本项目基于图像隔列扫描对数据的读取量小的特点,提出了一种改进的基于图像隔列扫描和区域生长的二值标志点图像连通区域标记算法。

对图像进行隔列扫描找出区域生长的种子点,应用区域生长的基本原理,被标记的像素点应满足以下生长准则:

(1) 与种子点具有相同标号的像素点的像素值必须是0;

(2) 该像素点必须位于该种子点的8邻域内。其中像素p的8-邻域如图1(c)所示,图1(a)和(b)分别表示像素P的4个4-邻域近邻像素和4个对角近邻像素。设像素P的坐标用(x,y)表示,则其8-邻域像素用坐标分别表示为(x-1,y+1),(x,y+1),(x+1,y+1),(x+1,y),(x+1,y-1),(x,y-1),(x-1,y-1),(x-1,y)。

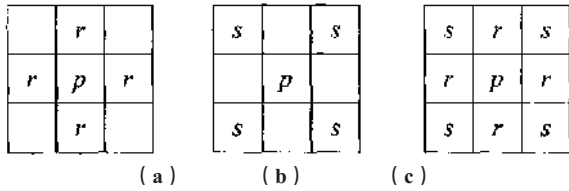


图 1 像素的邻域 (Fig. 1 Neighborhood of pixels)

本项目提出的改进的算法具体实现步骤如下:

Step 1: 从图像左下端点开始, 隔列扫描输入的二维人工标志点图像, 找到第一个像素值为 0 的点作为初始种子点, 将其标记为 L 并记录到一个数组 I 中, 作为第一个连通区域内的第一点。

Step 2: 将数组 I 中的初始种子点取出, 检查该点的八邻域点, 对一位于其八邻域且像素值为 0 的点标记为 L, 并且将新增的标记点一一记录到数组 I 中作为区域增长的种子点。

Step 3: 从记录种子点的数组 I 中取出一个种子, 按步骤二进行操作。

Step 4: 循环步骤三, 直到数组 I 为空则表明第一个连通区域标记完成。

Step 5: 循环上述步骤, 实现对所有标志点以及部分噪声所在的连通区域的标记, 将其分别标记为 $L, L+1, \dots, L+n-1$ 。

改进的算法用 VC++6.0 进行编程实现, 为了验证改进算法的高效性, 在隧道断面上分别布设完全相同的 9 个、15 个和 25 个人工标志点, 标志点互不重叠, 在相同环境以及相同光照条件下拍摄含标志点的图像, 实验所用的图像大小分别为 320×240 , 430×300 和 640×480 。对拍摄的三幅图像分别进行二值化处理运用本文的算法与传统的两次扫描法进行对比实验, 结果如表 1 所示:

表 1 不同算法标志点连通区域标记所用时间比较

(Table 1 Comparison of the time taken to mark the connected area of the marker points of different algorithms)

图像大小	标记时间 (ms)		
	标志点个数	传统两次扫描算法	本项目算法
320 × 240	9	3105	38
430 × 300	15	5165	145
640 × 480	25	9531	673

本项目提出的改进算法由于采用图像隔列扫描减少了扫描的次数, 从而减少了算法的运行时间, 而且能够对标志点连通区域进行一次标记, 避免了重复标记的产生, 由试验结果可以看出, 较传统的算法, 在很大程度上提高了算法的实现效率。

2 图像识别现场实施

首先需要在需要拍摄的区域布置 4~6 个标记板, 拍摄区段较长时增加到 8 个, 控制点布设间距控制在不超过 10m。标记板布设时应均匀布满被测量的范围, 以保证标记板间的间距应尽可能大 (布设的位置可参考图 2)。

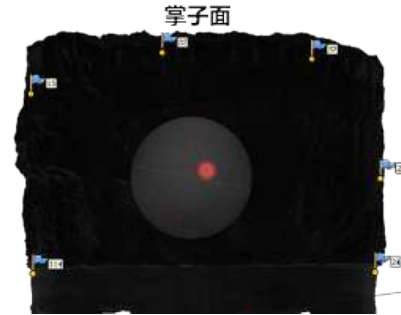


图 2 标记板布设位置示意图 (Fig. 2 Layout of marker plate)

采用物方控制, 根据现场条件, 在临空面边墙及掌子面均匀布设 6 个控制点, 其中两侧边墙各布置两个, 掌子面布置两个。控制点布设后使用全站仪对控制点的施工坐标进行两测回的测定。测定过程中, 若出现两个测回的差值大于 2 倍标准差时, 进行第三测回的测定。使用各个测回的平均值作为控制点的施工坐标。

布置好标记板控制点后, 可采用全站仪测量出控制点的坐标。

现场拍摄控制点时, 需要遵循以下三个原则: 完全覆盖、高度重叠、尽量垂直。

3 工程实例

3.1 项目概况

本文依托某段国家高速公路扩容工程展开研究, 该段隧道左右洞进口端明洞长均为 15m, 左右洞出口端明洞长 20m, 其中左洞长 1730m, 右洞长 1685m, 隧道净高 5m, 净宽 14.75m, 采用双向六车道设计。

3.2 数据采集

现场拍摄所需的设备包含单反相机、全站仪和补光灯; 满足前述拍摄原则; 根据现场拍摄原则以及施工现场条件, 确定围岩和掌子面的拍摄模式单测线环向拍摄, 如图 3 所示。

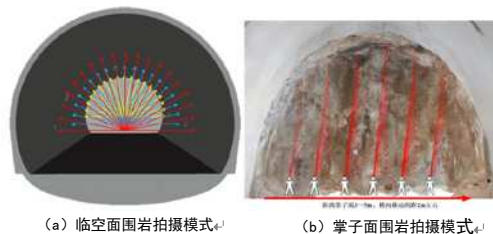


图 3 现场拍摄模式 (Fig.3 Field shooting mode)

控制点布设采用物方控制, 根据现场条件, 在临空

面边墙及掌子面均匀布设6个控制点,其中两侧边墙各布置两个,掌子面布置两个。控制点布设后使用全站仪对控制点的施工坐标进行两测回的测定。测定过程中,若出现两个测回的差值大于2倍标准差时,进行第三测回的测定。使用各个测回的平均值作为控制点的施工坐标。

控制点拍摄时,每个标定板至少被两张照片包含,拍摄时需尽量垂直标定板表面。正常拍摄结束后,给标定板特写,便于数据处理时识别和记录。

3.3 三维重建

(1) 初始化。新建工程,输入新建工程名称,选择路径保存;对新建项目进行设置,选择项目的坐标系。

(2) 新建分组,并添加照片。在程序界面新分组处右键选择需要添加的照片。

(3) 进行相机参数设置。

(4) 输入控制点坐标信息。打开控制点输入界面,录入或导入现场采集时设的控制点列表及坐标信息。然后在照片列表中双击需要标记控制点的影像,软件切换至照片界面,在照片界面中根据点之记信息,点击鼠标右键在照片上标记控制点的图像坐标。

(5) 三维点云重建。在菜单栏工具中选择引擎模块,进行引擎参数设置后,点击开始三维重建。重建步骤包括进行稀疏重建、稠密重建以及曲面重建。



图4 三维重建结果 (Fig.4 3D reconstruction results)

4 结论

(1) 本文成功地将图像识别技术与三维重构技术结合,高效率、低成本地对某隧道进行了三维重构。

(2) 对基于连通区域标记的人工标志点识别方法,介绍了传统的二值图像连通区域标记算法,进而提出了一种改进的二值标志点图像连通区域标记算法,并分别通过实验和分析验证了改进算法在性能上的优势。

(3) 该算法的不足之处是对于单个像素点或连通

区域是一列像素且在进行隔列扫描时其刚好位于隔开的那一列,则会将该区域漏掉而不被标记出来。该缺点由于本文实例中的标志点足够大而不会被漏标记。但该算法仍有改进空间。

(4) 本文介绍了一种根据所述围岩图像建立隧道实际开挖轮廓三维曲面模型的算法。

(5) 根据图像识别现场实施方案,拍摄时应遵循完全覆盖、高度重叠、尽量垂直的原则进行,采用单测线环向拍摄的方式进行图像采集,顺利完成了隧道断面图像的采集。

(6) 采用图像识别进行隧道三维重构具有效率高、操作简单、自动化程度高等社会效益,能够节约成本。本方法有待应用于更多建设项目中以发挥更大的经济效益。

【参考文献】

- [1] Kenneth R. Castleman. Digital Image Processing[M].Publishing House of Electronics Industry.2002.
- [2] 孙仲康,沈振康.数字图像处理及其应用[M].北京:国防工业出版社,1985.10.
- [3] 沈庭芝,方子文,数字图像处理及模式识别[M].北京:北京理工大学出版社,1999.
- [4] T.R. Reid, J. P Hanison. A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures [J]. International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences 2000(37): 1073-1089.
- [5] R.Lemy J. Hadjigeorgiou. Discontinuity trace map construction using photographs of rock exposures [J]. International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences, 2003(40): 903-917.
- [6] Sou-Sen LeuT, Shiu-Lin Chang. Digital image Processing based approach for tunnel excavation faces[J].Automation in Construction.2005, 14:750-765.
- [7] 叶英,王梦恕.隧道掌子面地质信息数字编录识别技术研究[J].北京交通大学学报,2007,01:59-62.
- [8] 冷彪,仇文革,王刚,张列.数字图像处理在隧道工程地质分析中的应用研究[J].铁道标准设计,2013, 11:77-81.
- [9] 冷彪.数字图像处理在隧道掌子面图像中的研究与实现[D].西南交通大学,2006.
- [10] 周春霖,朱合华,李晓军.新奥法施工隧道掌子面红外照相及图像处理[J].岩石力学与工程学报,2008,S1:3166-3172.

【基金项目】浙江省交通运输厅科技计划项目(2019029)