

基于图像处理技术的隧道裂缝检测综述

艾海波

(上海海事大学信息工程学院,上海 201306)

摘要:

在交通日益发达的情况下,铁路隧道的数目已变得庞大。仅仅在中国,2015年就有铁路隧道13038km,公路隧道12683.9km,城市轨道交通3286km,水底隧道11000km。在几种隧道病害中,裂缝是最常见、最严重的病害之一。由于检测技术和计算机科学的飞速发展,人工检测的裂缝检测方式逐渐变为自动化。利用图像处理和模式识别的方法,可以提高检测的准确性,从长远的角度来看也有助于人们节约成本。对基于图像处理技术的隧道裂缝检测进行综述,分析裂缝检测的困难,展望隧道裂缝检测的前景。

关键词:

隧道病害;裂缝检测;图像处理

0 引言

截至2015年底,中国已完成铁路隧道13038km,其中高速铁路隧道3200km;修建高速公路隧道12683.9km;城市轨道交通3286km;水底隧道11000km;并且还有大量的市政隧道和地铁隧道的在建项目^[1]。同时,很大一部分隧道进入了养护和维修阶段。随着世界隧道数量的不断增加,对隧道结构、隧道病害的监测和检查变得尤为重要^[2]。

裂缝是最常见的隧道病害之一,是衬砌结构倒塌的重要原因^[3]。设计中由于围岩水平和衬砌类型的分类不当,衬砌结构和围岩与实际荷载不适宜,形成裂缝。并且施工时间受到技术条件的限制,方法不当,管理不善等也是造成裂缝形成的重要原因。裂缝会降低钢筋混凝土结构的承载力,甚至导致衬砌的不稳定和突然坍塌,威胁隧道结构的安全。当裂缝长度或宽度超过允许范围时,会带来严重的安全隐患,给人民生命和财产的巨大威胁。在1996年,在日本北海道,一个下坡隧道发生坍塌,导致一辆公共汽车以及许多汽车被埋没了,20人身亡。2012年12月2日,日本山梨县公路隧道发生坍塌,9人在事故中丧生。多起交通事故表明,隧道裂缝的检测是事关公众安全的重要和紧迫的

问题。

目前我国城市隧道安全检测仍主要以人工和静态检测方式为主,少量动态监测作为补充。

传统的裂缝检测方法是检测人员用锤子锤墙(图1),通过肉眼仔细观察裂缝的趋势和形状,利用胶带和裂缝宽度测量仪测量裂缝的特征值。检测人员根据自己的经验确定其危险性。这种检测方法效率很低并且检测结果受到光照的严重影响,一天一个人只1km左右的隧道。检测的结果的决定因素为主观判断,缺乏客观性。



图1 检测人员使用锤子检测裂缝

目前,在轨道平整、钢轨磨损、钢轨探伤等方面,市场具有较为成熟的技术和设备。然而,在隧道裂缝检测中,相关技术仍处于起步阶段,少有成熟的产品进入应用领域。

隧道表面图像不同于混凝土墙面、沥青路面和桥

底表面图像等传统裂缝图像。隧道内表面裂缝图像检测有许多复杂的特征^[4-8]。隧道墙面环境恶劣,裂缝图像对比度低,分布和不规则噪声较大,对裂缝的识别产生了很大的干扰。此外,隧道壁面上还存在各种结构。如污水、划痕、电线、管道、配电箱、消防栓、广告牌等

近年来,数字图像处理技术在人脸识别^[9]、字符识别^[10]、签名验证^[11]、指纹^[12]等生物特征识别、无损检测^[13]得到了充分的研究和应用。数字图像处理技术在裂缝的检测中具有越来越重要的地位。目前流行的裂缝检测技术还有基于结构光的裂缝检测技术、基于计算机层析成像的裂缝检测技术(计算机断层扫描),基于超声波的裂缝检测技术^[14]等。

1 历史发展

在 2007 年,日本的 Ukai 开发了一个隧道裂缝自动检测系统^[15]。它能够以 30 公里/小时的速度探测裂缝。检测精度约为 0.8mm。根据特征点拼接图像,根据“滞后阈值”识别裂缝。图 2 显示了机器识别出的裂缝,有一部分的地方没有裂缝,但被标记为裂缝了。虽然有一部分误识率,但相对于人工检测而言,是一个巨大的进步。

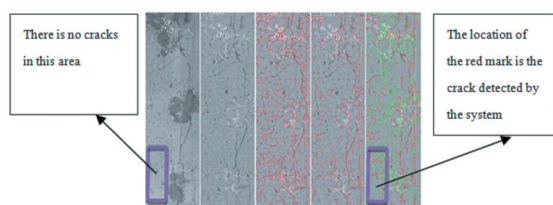


图2 真实墙体中的检测结果^[15]

在 2007 年 Seugam 在汉阳大学开发了裂缝(隧道裂缝自动检测系统)^[16]装备了 4096 像素/线阵的 CCD 照相机、光源、减震器和编码器。检测速度为 5 公里/小时,可检测宽度在 0.3mm 以上的裂缝。作者利用 Sobel 和 Laplacian 算子对边缘进行检测,然后利用高斯滤波器对噪声进行滤波,最终得到裂缝。为了检测裂缝的大小,系统使用了一个带有黑点的 0.5mm 白板来校准系统。系统需要手动选择裂缝的起始点和终止点。最后的识别效果如图 3 和图 4 所示。

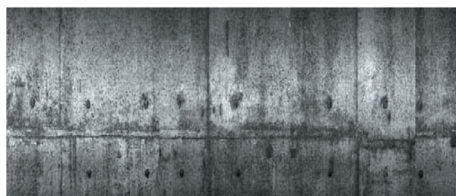


图3 铁路隧道内壁图片^[16]

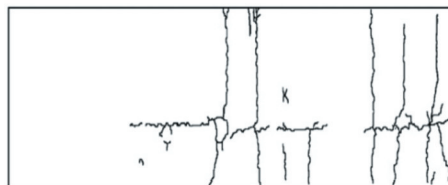


图4 隧道内壁检测出的裂缝^[16]

日本勘测检验公司于 2010 年 8 月开发了 MIMM 公路隧道检测车^[17],由两部分 MIS(移动成像技术系统)和 MMS(移动地图系统)组成。其中,MIS 检测系统由 CCD 摄像机、LED 照明设备组成。可以识别 0.2mm 以上的渗水和裂缝。在普通公路隧道中,探测速度可达 50 公里/小时,高速公路隧道可达 80 公里/小时。MMS 部分配备了激光扫描仪、数码相机、编码器和 GPS 定位系统。MIMM 可进行图像拼接,获得 3 维图像,绘制隧道病害扩展图。

在 2013 年,同济大学的王平让、黄宏伟等开发了隧道衬砌病害集成检测车^[18],可同时检测裂缝、渗漏水 and 空隙等隧道病害。检测速度可达 5 公里/小时,检测精度可达 0.3mm。

在 2013 年,西班牙的 Euroconsult 公司开发了隧道检查设备 Tunnelings^[19-20]。它能以 30 公里/小时的速度探测公路隧道,检测精度为 1mm。它可以运作在所有类型的照明条件下,提供高品质的数据。此外,Tunnelings 使用高速相机,自定义光学和激光线投影机,以获取 2D 图像和高分辨率 3D 剖面以检查隧道。目前,该装置已成功地在西班牙和日本的部分地区运营。

瑞士的 Terra 裂缝检测设备 tCrack^[21]可用于城市轨道交通隧道裂缝检测,可检测 0.3mm 宽度以上的裂缝,检测速度大约为 2.5km/小时。它可以记录每一个裂缝的三维坐标。tCrack 产生的文件为裂缝检查和养护工作的规划、执行和记录提供了依据。

2017 年,中国同济大学的黄宏伟研制出了隧道检

测系统 MTI-100^[21]。这台机器最快的检测速度是 8.4km/小时,识别精度为 0.3mm。该系统需要一定的人工辅助来进行裂缝的检测。

2 难点和展望

裂缝是隧道中常见的疾病,如果不加监测和修复,它会继续增长,可能存在严重的安全风险。随着计算机技术,图像处理和模式识别技术的飞速发展,人们开始关注图像处理技术在裂缝以及其他病害的自动检测中的应用。

目前,虽然路面裂缝检测的研究取得了很大进展,但仍存在一些问题。

2.1 裂缝检测的难点

裂缝图像的特征主要是灰色和形状特征。对于灰度特征,当局部裂缝较小且不明显时,裂缝的灰度值与背景的差异不大。还有噪音干扰,噪音很容易被误认为是裂缝,或者很容易将裂缝作为噪音去除,从而导致不准确的检测。

振动,应力不均匀等因素,导致混凝土表面受到不同程度的损伤,呈现不同的裂缝形状。就裂缝形状特征而言,主要有水平、垂直,对角线和网状类型。其中前三个是早期形成的裂缝,宽度较小;等裂缝继续发展就很可能出现网状裂缝。目前,提出可检测各种形状的算法是裂缝检测领域的一个热点。

目前,大部分隧道裂缝自动检测系统都是在现场采集的,图像是离线处理的。许多算法计算时间短,可

以实现实时处理,但精度达不到要求。一些能达到高精度的算法处理时间长,不能满足实时处理的要求。缺少运算时间短,精度高的算法也是该领域目前的一个难点。

2.2 展望

由于隧道内光线严重不足,加上管道、涂鸦、广告牌等恶劣环境,隧道裂缝比路面、桥梁、地面更难检测到。近年来,随着自动检测技术的发展,在基于图像处理的裂缝检测方面取得了很多成果。然而,隧道裂缝的识别还没有完全自动化,并且能够高效准确地检测裂缝。国际主流检测方法仍然需要人工辅助才能达到合理的精度。但这种做法不可避免地会导致技术人员工作量的增加。随着研究的发展,未来全自动化必为主流的检测手段。

由于隧道内部疾病不仅只有裂缝,需要一种解决方案,可以根据用户的需要方便地检测出包括裂缝在内的各种病害。因此,未来裂缝的检测可能与其他疾病检测相结合,形成综合检测。

随着硬件和网络的发展,以及研究人员在算法上的不断突破,不能实时隧道裂缝检测问题一定能够得到解决。

在高速公路路面、公路隧道、铁路隧道、桥底、大坝等环境中,都需要检测出裂缝。因此,裂缝检测具有广泛的应用,但由于环境的不同,会面临许多不同的问题,所以相关领域的研究人员需要不懈的努力以攻克技术难关。

参考文献:

- [1]张顶立. 隧道及地下工程的基本问题及其研究进展[J]. 力学学报,2017,49(1):3-21.
- [2]高菊如,张博,袁玮,等. 既有线铁路隧道病害综合整治技术与设备配套研究[J]. 现代隧道技术,2013,50(6):24-31.
- [3]Liu, X. R., Xie, X. Y. Rapid Crack Inspection of Tunnel Surface Based on Image Processing. Chinese Journal of Underground Space & Engineering (2009).
- [4]Miguel, G. et al. Adaptive Road Crack Detection System by Pavement Classification. Sensors 11,9628-9657(2011).
- [5]Sinha, S. K., Fieguth, P. W. Automated Detection of Cracks in Buried Concrete Pipe Images. Automation in Construction 15,58-72(2006).
- [6]Zhang, D., Qu, S., He, L., Shi, S.: Automatic Ridgelet Image Enhancement Algorithm for Road Crack Image Based on Fuzzy Entropy and Fuzzy Divergence. Optics & Lasers in Engineering 47,1216-1225 (2009).
- [7]Tsai, R. Y. An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision. Proc. IEEE Conf. on Computer Vision & Pattern Recognition, 364-374 (1986).
- [8]Tsai, D. M., Chang, C. C., Chao, S. M. Micro-Crack Inspection in Heterogeneously Textured Solar Wafers Using Anisotropic Diffusion. Image & Vision Computing 28,491-501(2010).

- [9]Torres, L.: Is There Any Hope for Face Recognition? Proc of International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services Wiamis, 21–23 (2004).
- [10]Mollah, A. F., Majumder, N., Basu, S., Nasipuri, M. Design of an Optical Character Recognition System for Camera-Based Handheld Devices. International Journal of Computer Science Issues 8 (2011).
- [11]Bhosale, V. K., Karwankar, A. R. Automatic Static Signature Verification Systems: A Review. (2013).
- [12]Zaeri, N. Minutiae-Based Fingerprint Extraction and Recognition. InTech, 2011.
- [13]Vavilov, V. P., Burleigh, D. D. Review of Pulsed Thermal NDT: Physical Principles, Theory and Data Processing. NDT & E International 73, 28–52 (2015).
- [14]Wang, P., Huang, H.: Comparison Analysis on Present Image-Based Crack Detection Methods in Concrete Structures. International Congress on Image and Signal Processing. IEEE, 2010.
- [15]Ukai, M. Advanced Inspection System of Tunnel Wall Deformation Using Image Processing. Quarterly Report of RTRI 48, 94–98 (2007).
- [16]Yu, S. N., Jang, J. H., Han, C. S. Auto Inspection System Using a Mobile Robot for Detecting Concrete Cracks in a Tunnel. Automation in Construction 16, 255–261 (2007).
- [17]<http://www.keisoku.kensa.co.jp/keisoku.html>.
- [18]Wang, P., Huang, H., Xue, Y. Model Test Study of Factors Affecting Automatic Detection Performance of Cracks in Tunnel Lining. Chinese Journal of Rock Mechanics & Engineering 31, 1705–1714 (2012).
- [19]<http://www.euroconsult.es/en/new.php?id=3>.
- [20]Gavilán, M. Sanchez, F. Ramos, J. Mobile Inspection System for High-Resolution Assessment of Tunnels. The 6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure. 10 (2013).
- [21]<http://www.terra.ch/en/crack-detection.html>.

作者简介:

艾海波(1994–),男,江西九江人,硕士,研究方向为图像处理、模式识别

收稿日期:2018-04-28 修稿日期:2018-07-02

Review of Tunnel Crack Detection Technology Based on Image Processing

AI Hai-bo

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306)

Abstract:

In the increasingly developed traffic, the number of tunnels in the railways has become huge. Only in China, in 2015, there are railway tunnel 13038km, highway tunnel 12683.9km, urban rail transit 3286km, hydraulic tunnel 11000km. In the several tunnel diseases, the crack is one of the most common and serious disease. Because of the quickly development of the detection technology and computer science, the crack determination form manual detection gradually changes to automated. By using method with image processing and pattern recognition, the accuracy and success rate have been improved, also it can help people to save cost at a long term perspective. Presents a review of tunnel crack detection based on image processing technology, analyzes the difficulties in crack detection and presents the prospect of tunnel crack detection.

Keywords:

Tunnel Diseases; Crack Detection; Image Processing