

图像测量技术在隧道工程中的应用

沈宏辉¹ 张苏龙² 高鹏¹ 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】图像测量技术作为新兴技术,主要分为图像采集技术和图像处理技术。基于案例对比和三维激光扫描、摄影测量法、红外成像法等技术特点分析,对图像测量技术在隧道工程中的变形监测、病害监测、隧道信息采集、交通监控、防灾减灾、超欠挖监测等领域应用进行介绍和说明,讨论了图像技术在隧道工程中的发展前景与难点,同时对其将来应用和发展提出了展望。

【关键词】图像测量技术;隧道工程;图像采集;图像处理

引言

图像测量技术是近年来在测量领域中新兴的一种高效的测量技术。它以光学技术为基础,将光电子学、计算机技术、激光技术、图像处理技术等多种现代科学技术融合为一体,构成光、机、电、算综合体的测量系统。所谓图像测量,就是测量被测对象时,把图像当作检测和传递的手段或载体加以利用的测量方法,其目的是从图像中提取有用的信号。它通过获得二维图像并进行处理和分析,实现不同测量目的。目前图像测量技术已经开始应用于工业产品质量检测、安防、智能交通等多种领域。

随着我国经济和社会的发展,交通网络建设日益完善,隧道作为城市地铁、高速公路、高速铁路建设中重要组成部分,其数量和总里程数在与日剧增。隧道作为一种埋置于地层中的地下建筑,是交通建设的关键枢纽,在交通网络中扮演着重要角色。目前,我国已经成为世界上地下工程及隧道数量最多,规模最大,修建技术发展最迅速的国家。同时在隧道基础设施施工和使用过程中急需自动化、智能化的检测、监测技术来及时养护、维修,以保障隧道的安全性和经济性。近年来,科技的快速发展促进了各类高新技术在隧道工程中的应用,其中图像测量技术已经广泛应用于隧道工程中,如变形监测、病害检测、隧道信息采集、交通监控、防灾减灾等方面。

隧道工程方向上,图像测量技术的发展主要集中在图像采集技术和图像处理技术上。

1 图像采集技术

图像采集技术主要分为三维激光扫描法、摄影测量、

红外成像三种方法来获取图像数据。

1.1 三维激光扫描法

通过三维激光扫描仪,获得密集的三维点云,再进行数据处理结合监测平台达到智能监测的目的。地面三维激光扫描测量系统的工作过程,实际上就是一个不断重复的数据采集和处理过程。地面三维激光扫描测量系统对物体进行扫描后,采集到的物体表面各部分的空间位置信息是以扫描坐标系为基准的。该方法在2005年即得到应用,但是由于隧道内干扰复杂、设备安装困难,常常只能在盾构施工间隙中使用。目前国内采用单一测站扫描和标靶配准法已经在新奥法施工项目中应用。

1.2 摄影测量法

摄影测量法通过非接触的方式使用摄像设备,生成数字图像,然后通过目标点测量或特征点测量,采用多种分析方法来计算目标点或特征点的空间坐标,最后得到数据处理所需的各种数据。

此种方法更可以进一步使用多台CMOS线性扫描摄像机安装在轨道车上对衬砌内表面进行连续的全景拍摄,从而获得大量图片数据并且进行处理,实现对地铁隧道裂缝的自动化监测。

1.3 红外成像法

相比于三维激光扫描和摄影测量法,红外成像方法在隧道工程中的应用较少,主要用来检测渗水、漏水,墙体空鼓等病害,或者火灾识别、定位等。周春霖等学者运用红外照相技术获得新奥法施工隧道中粉尘含量较高情况下的掌子面照片,根据其噪声较多,过曝、欠曝等特点提出“去噪-均衡化-阈值分割”图像处理方法,并采用霍夫变换对阈值分割所得照片进行线性特征识别。

2 图像处理技术

图像处理一般指利用计算机对图像进行分析处理,以达到所需结果的技术。图像处理技术一般包括图像压缩、增强和复原,匹配、描述和识别三个部分。这些图像处理技术都是通过各种不同的算法实现的,常用算法包括:图像分割法,边缘识别法,图像局部各项异性法,多级滤噪法,图像地理特征法,视觉显著程度法,图论法,小波变换法等。

图像处理一般为数字图像处理,源于20世纪20年代。数字图像处理作为一门科学形成于20世纪60年代。早期的图像处理以改善图像质量为目的,从1964年美国喷气式推进实验室对旅行者7号获取的大量月球照片运用数字技术进行图像处理,越来越多的相应技术被运用到图像处理方面。自1986年以来,小波理论与变换方法迅速发展,它克服了傅立叶分析不能用于局部分析等方面的不足之处,被认为是调和半个世纪以来工作之结晶。Mallat在1988年有效地将小波分析应用于图像分解和重构。小波分析被认为是信号与图像分析在数学方法上的重大突破,随后数字图像处理技术迅猛发展。

随着人工智能的迅猛发展,机器学习广泛应用于计算机系统用以实现快速、准确地识别目标,实现图像处理。机器学习的方法往往需要大量的有效数据,复杂的训练和数据收集、预处理、特征提取过程,结合大量数据的严格模型训练过程才能应用实际问题处理当中。如今深度学习是最热门的人工智能技术,根植于并属于机器学习的分支。基于深度神经网络、卷积神经网络、循环神经网络等算法的深度学习促使视频、图像处理、识别领域有了突破性进展。深度学习方法能够更好的提取图像更深层次的特征,减少其他因素干扰,在实现裂缝识别的过程中能够满足效率与精度的双重要求。

3 图像技术的应用

图像技术在国内于在1999年即用于成都市大邑县孙家坡隧道设计、施工投标当中。该项目通过图像处理,全面逼真地反映了整个隧道的要素及景象,对隧道设计投标产生了积极用途。现今随着计算机技术的不断发展,图像技术在隧道工程当中得到了更广泛的应用,下面从隧道工程的角度来分类介绍图像技术在隧道当中的应用。

3.1 变形监测

隧道横截面的变形情况能够反映隧道的总体结构状况,因此测量和监测隧道截面是确保安全的主动监测、维系的必要措施。多种方法可用于测量隧道断面,如机械测厚仪、卷尺引伸计、地面激光扫描(TLS)和大地

测量仪器。

Ukai开发设计了基于线阵相机连续拍摄的隧道扫描系统,通过拍摄隧道衬砌的高清照片来记录监测隧道墙体变形。该系统拍摄速度可达20km/h,实现了较为高效准确的扫描隧道衬砌结构。

Scaioni等人在2014年提出了一种利用物理指标的专业隧道测量系统,通过在隧道拱顶上安装参考目标,并在沿墙拍摄的图像中测量其坐标,由此实现隧道横断面的变形测量。Wang等人在2010年提出了隧道横断面测量方法,他们使用激光指示器对隧道表面进行光束照射,再使用摄像机拍摄捕捉隧道轮廓,需要确保的是激光照射轮廓平面与摄像机图像平行,并将校准点定位在轮廓外围如图3,最后利用透视投影法求出全局三维坐标与局部二维坐标的变换关系,来确定隧道横断面的变形。

如图1,Simon等人于2013年实现了利用图像技术的进行视觉变化监测。该团队通过图像处理技术识别出隧道内部的离断面,也可以整体展现得到隧道的变形特征。

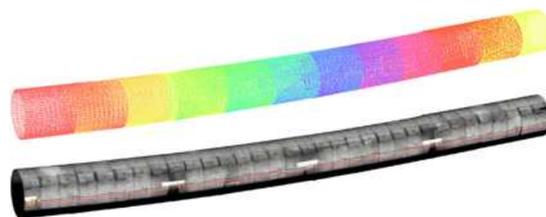


图1 Simon等利用重叠图形子集重建隧道

Fig.1 Simon et al. Reconstruct tunnel

3.2 病害检测

目前传统的隧道病害检测主要是通过专业人员的定期无损检测来发现裂缝,剥落,渗水等病害,与此同时也会与之前的检测结果进行对比,来判断结构健康状况。传统无损检测方法通常包括:目视检查,基于强度的声波和超声波、电子、热成像、雷达和内窥镜检查等方法。每种方法都需要较为昂贵的特定检测仪器,同时需要检测人员在隧道内沿途测试,检测效率低下。此外传统的检测方法有以下缺点:费时费力,检测人员在隧道中处于黑暗、潮湿、通风不足的环境中,甚至可能吸入有害气体,检测结果主观性强,难以在天窗时间范围内完成全部检测。因此近年来全自动的检测方法被开发和应用到隧道病害检测中,同时随着图像技术在实体工业领域广泛运用,经济而高效的基于图像技术的隧道病害检测方法得到大力推广和使用。

李永强等将摄影测量技术应用于隧道衬砌检测当中,该团队通过隧道检测车上16个沿弧形分布的相机成像,得到多张部分重叠的隧道实景图像,这些重叠的影像在不同弧形半径处拼接缝合,形成隧道完整的三维

柱面影像。对衬砌进行全面观察,检测肉眼难以观察的衬砌病害。刘学增等实现了基于数字图像处理的隧道渗漏水病害检测,通过灰度处理、基于数学形态学方法的病害区域修正等方法,提出了识别隧道渗漏水病害的办法。

裂缝是隧道工程中最常见也是最严重的病害,如今广泛使用的裂缝识别检测方法采用了各种图像技术,有采用简单的图形分割和形态学等经典图像处理方法,也有采用小波变换、NSCT算法,机器学习等理论来处理图像识别裂缝,这些基于算法的图像处理方法本质就是在一张复杂的裂缝图像中去噪,提取有效的裂缝部分。许多学者使用上述类似办法对隧道裂缝问题进行了研究,提出了隧道衬砌裂缝的图像测量技术,通过图形预处理、裂缝识别、提取裂缝区域、裂缝区域修正、裂缝边缘提取等步骤对隧道裂缝进行了分析。

3.3 隧道信息采集

图像技术同样广泛应用于隧道信息采集当中,如结合机器视觉构建BIM模型、构建导航系统等民用用途。杨莹于2016年提出了基于机器视觉的公路隧道图像快速采集系统,通过软件设计实现了公路隧道图像快速采集,可同时控制三台相机、陀螺仪、编码器、激光三维扫描仪的协调工作,实现了隧道全景的拍摄、图像处理,并提供数据库支持等功能。

3.4 交通监控

隧道中是交通事故多发地,国内如今隧道的信息化管理水平低,隧道照明模式等也存在问题,因此对隧道中进行交通监控十分有必要。丁磊等将视频图像应用于隧道交通的监控,通过视频图像解析技术获得车辆通行信息,提升了隧道监控的现代化水平;同时与大数据应用相结合,对监控数据进行加工处理并存储,为日后进行隧道交通数据分析、车辆特征数据提取提供了保障。

3.5 防灾减灾

公路隧道火灾有着烟雾大、温度高;易爆炸、蔓延快;空间小、疏散难;条件差、扑救难等特点。江仲庆,刘帅对公路隧道火灾进行模拟实验,整理出温度、火焰和烟雾等多种在火灾发生时的要素的特征,并对其进行分析和机器学习,提出了一种图像识别技术是一种非接触式的火灾报警技术,使得火灾在前期就能被准确发现。

3.6 超欠挖监测

德清县杭绕高速有限公司创新性的将图像三维重建技术投入超欠挖监测应用中,基于图像技术的超欠挖监测技术具有高精度的同时能实时快速的完成隧道超欠挖的监测任务,具备数据采集和处理一体化,同时兼并三维空间分析的能力。该技术将图像的三维重建通过GPS全景云台现场采集隧道内部数据,对隧道内部的全貌复

原,直接以高分辨率、高清晰度的影像来呈现出隧道内部对象最原始的数据信息。采用可量测实景影像获取的可挖掘、可视、可量的信息基础上,对实景影像进行测量与标注,并和设计数据进行对比,记录隧道实测信息,并统计超欠挖等信息,以便安排施工、修复工作及安全管理。此项应用具有巨大的社会效益和良好的应用前景,也推动了隧道超欠挖监测向系统化、实时化、高精度和自动化的方向发展。

4 图像技术应用于隧道工程中的发展前景

费用较低的摄影设备,高速发展的计算机性能使基于图像技术在隧道工程中应用兼有较高的经济性和高效性,也逐渐替代传统检测方法,得到了越来越多的实践。图像技术在隧道中的应用也存在着很多困难与挑战:首先,隧道内光线不足,加上管道、涂鸦、广告等复杂环境,使得隧道内获取的图像暗淡、低对比度,噪声较多,图像特征难以提取;其次已有的图像样本有限,没有大量的有限数据对机器学习或深度学习方法进行训练和特征提取,使得图像识别准确率有限;最后由于每个隧道的差异性和独特性,某个隧道适用的图像技术并不适用于其他隧道内。

随着传感器领域的发展,多种传感器可以和摄影摄像设备一起在隧道内进行数据采集,将多种数据进行融合为后面的分析提供更好的数据。同时在人工智能领域在算法、算力方面不断地更新和发展,以及数据样本逐步的增加和收集,深度学习在图像处理技术方面效率和准确率方面也会进一步发展。无人驾驶车辆及无人机方面技术的日益更新,也使其用于隧道工程中进行更安全、高效、准确的图像采集、处理成为可能,也将应用到隧道工程的方方面面。

5 结束语

传统隧道相关测量依赖于目测或者其他人工手段,为了提高测量效率和减少主观干扰,应用于隧道领域的图像测量技术应运而生。有关隧道的图像测量技术尽管已经在变形监测、病害监测、隧道信息采集、交通监控、防灾减灾、超欠挖监测等广泛领域得到了应用,但尚有不足有待进一步完善。尤其在隧道工程领域,图像测量技术存在限制条件多、使用率低、不成系统的问题。前述案例中,Ukai、Scaioni、Wang等在隧道变形监测中对图像采集技术的应用,Simon等在隧道变形监测中对图像处理技术的应用,李永强等在隧道病害控制中对图像采集技术的应用以及刘学增等在隧道病害控制中对图像处理技术的应用都卓有成效,如何能适宜地结合使用这两种技术将是研究人员未来的挑战。着力于能有效提

升隧道安全水平和监测效率的应用方法将是未来图像测量技术的发展方向。

【参考文献】

- [1] 折昌美. 地铁隧道复杂裂缝病害的图像识别算法研究 [D]. 北京交通大学, 2019.
- [2] 谢晓汶. 基于深度卷积网络的公路隧道裂缝图像分类识别 [D]. 南昌大学, 2018.
- [3] 黄凯. 电脑图像技术在工程投标中的应用 [J]. 世界隧道, 1999,(4):37-39
- [4] Leanne Attarda, Carl James Debonoa, Gianluca Valentinoa, etc. Tunnel inspection using photogrammetric techniques and image processing: A review[J], ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 144 (2018) 180-188
- [5] Ukai M. Advanced inspection system of tunnel wall deformation using image processing[J]. Quarterly Report of RTRI, 2007, 48(2): 94-98.
- [6] Ukai, M., Nagamine, N. A High-performance Inspection System of Tunnel Wall Deformation Using Continuous Scan Image. Railway Technical Research Institute. http://www.railway-research.org/IMG/pdf/poster_ukai_masato.pdf
- [7] Scaioni M, Barazzetti L, Giussani A, et al. Photogrammetric techniques for monitoring tunnel deformation[J]. Earth Science Informatics, 2014, 7(2): 83-95.
- [8] 赵宇, 詹建勇, 杨勇勇. 基于三维激光扫描技术的隧道施工期变形监测研究 [J], 科技通报, 2019(9):173-179.
- [9] 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.