

基于图像处理技术的桥梁外观检查快速识别系统

湖南省长沙市长郡中学高三 1313 班 卢斯达

摘要:随着桥梁运营时间的增长,我国公路桥梁工程普遍出现了混凝土碳化、钢筋锈蚀、混凝土开裂剥落等病害,日常运营维护工作日益加大。本文提出了基于图像处理技术的桥梁外观检查快速识别系统方案。该系统包括图像采集、图像前处理、特征抽取、快速智能识别和模式分类、数据库创建过程等子模块。相较于其他方法,系统在桥梁外观检查领域应用前景较大,可以应用于高速公路网和城市路网桥梁的结构状态数据库构建。

关键词:公路桥梁;外观检查;图像处理;快速识别系统

1. 引言

到 2014 年,我国公路里程达到约 446.39 万公里,高速公路里程约 11.19 万公里,国道 17.92 万公里(其中普通国道 10.61 万公里)。全国公路桥梁 75.71 万座、4257.89 万米。其中,特大桥 3404 座、610.54 万米,大桥 72979 座、1863.01 万米。在经历 20 年的高速公路及城市桥梁的新建后,逐渐转向新建与技术改造并重及对桥梁结构现状的评定和维护维修加固阶段。既有桥梁管理系统中,一般基于人工的外观检查方法来采集桥梁状态数据,有经验的技术人员对桥梁病害,如混凝土桥梁的蜂窝、麻面、表面裂缝、钢筋锈蚀、碳化及鼓包,钢结构桥梁的表面锈蚀,进行近距离检查,再依照相关的规范进行等级评估。采用此类传统的方法,其评判结果依赖于管理人员的主观判断和相关规范的完善程度,并且耗费人力,不利于信息建档。随着桥梁健康监测技术的发展,比如现代无损测试技术、无线传感网络、基于网路地理信息系统、数据库技术使得对桥梁大规模传感数据远程采集成为可能。然而对桥梁监测技术大规模应用仍存在费用昂贵、长期监测困难等弊端。另外桥梁结构病害的渐变性及测试过程中的不确定因素的影响使得进一步的信息抽取变得困难。

近年来数码摄像技术有了长足发展,如目前的高级数码相机能轻易达到几千万像素的分辨率及高达 60 fps 的图像帧率。基于摄影的检测技术已引起国内外土木工程领域的重视,如果采集的原始数码图像质量有保证,现代智能图像处理技术能部分取代传统的可视外观检查功能。已有成熟的技术采用摄像机或数码相机进行混凝土表面裂缝形态、长度以及宽度的测试,混凝土表面缺陷区域、面积以及位置定位的技术。另一方面,机电一体化、智能控制技术的发展也使得土木工程结构的自动检测成为可能。基于图像处理技术的桥梁外观检查系统,就是在有高质量照片保证的前提下,建立的一套完整的图像采集、图像前处理、特征抽取、快速智能识别和模式分类、数据库创建过程。相较于其他方法,该系统在桥梁外观检查领域应用前景极大,能建立高速公路网和城市路网桥梁完备的结构状态数据库。

本文提出了一种基于图像采集与图像处理技术对公路桥梁病害进行快速识别的自动化检测系统方案,能实现公路桥梁外观的智能可视化检测,通过后期的图像处理,可以得到整个公路桥梁主梁的缺陷定位、大小及形态描述,非常有利于公路桥梁的日常检测与病害处理。

2. 基于图像处理的桥梁病害识别

公路桥梁病害缺陷包括混凝土桥梁的蜂窝、麻面、表面裂缝、钢筋锈蚀、碳化及鼓包,钢结构桥梁的表面锈蚀现象,桥梁表面裂缝是最常见的病害,目前对裂缝的检测可采用基于图像处理技术的裂缝检测仪,但这一设备仍是基于“点”测量,费时、费力,主观性较强,而且无法获取裂缝长度、发展形态的信息。近年来,国内外对基于图像处理的裂缝检测技术有较深入研究,提出了一些成熟的实用算法。对于采用中高速摄像机或数码相机采集到的裂缝图像,利用计算机编制软件,对采集到的海量图像数据进行处理,包括图像增强、噪声处理等前处理工作,裂缝特征信息提取、特征识别与计算。图 1 示出混凝土裂缝图像检测流程图。

可以看出,通过图像目标区域特征增强及噪声前处理,应用 Canny 算子及 Sobel 算

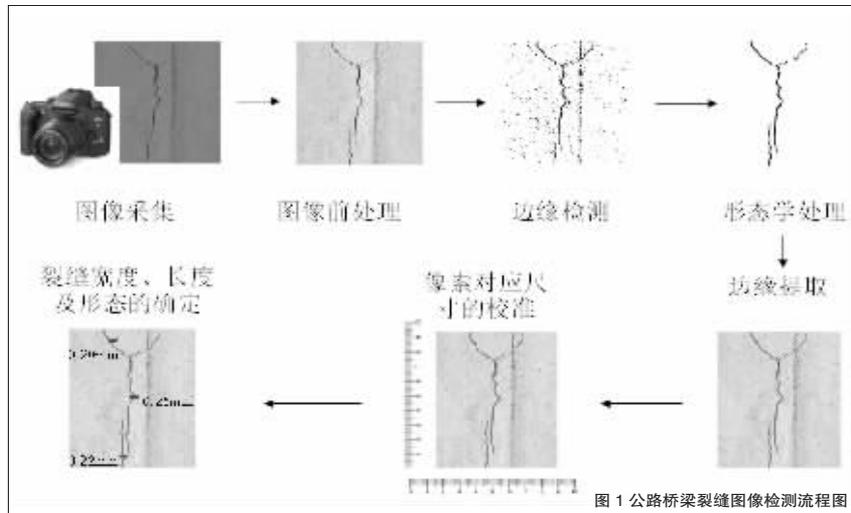


图 1 公路桥梁裂缝图像检测流程图

子等边缘检测方法,进而采用膨胀、腐蚀、细化、开闭运算等形态学处理方法,得到平滑的裂缝边缘等最重要信息,通过像素尺寸校准,不同形态裂缝宽度及长度均可以精确地识别出来。图 1 所示图像的混凝土模板痕迹类似于裂缝,识别难度大,通过参数调整的方式也可以进行移除,最终得到完美的裂缝形态信息。

研究表明,原始图像中水平裂缝受表面污染、混凝土表面缺陷影响,特征抽取较为困难,通过图像增强、边缘检测及形态学处理技术,大于 0.10mm 裂缝均能识别出来,这有利于跟踪裂缝开展,把握裂缝发生原因,为维修加固提供建议。

3. 系统流程

基于图像处理的识别技术可以实现对桥梁病害的检测,一般通过车载布置摄像头采集桥梁表面图像,并通过裁剪、融合等图像预处理手段形成桥梁表面的展开图。系统方案的基本流程如下:

(1) 获取原图像及图像前处理

(a) 几何校正

采用高级数码相机获取原始图像,包括钢筋混凝土桥梁的蜂窝、麻面、表面裂缝、钢筋锈蚀、碳化及鼓包,钢结构桥梁中钢构件表面锈蚀等。在数码成像过程中,投影后图像形状与投影面和被投影物体相对位置有关。正射成像得到的图像与原物完全相同,但是实际图像采集过程中,由于投射角度不可能完全是正 90° 投射,故上述病害的图像与原图不完全相同,会发生变形,导致各部分比例尺寸不一致。图像几何校正是对原图像的角度倾斜进行某种数据模拟,以建立原始的、倾斜了的图像像元与标准空间的一种一一对应数学关系,然后利用这种对应关系,将倾斜图像空间的像素变换到标准空间图像中,消除几何误差,实现对图像的还原。基于上述原理开发的软件,能够实现对大量图像的前处理,为后续特征提取、模式识别工作,提供真实的图像。

(b) 灰度图像生成及数据库建立

灰度图像是图像特征抽取和模式识别的基础,将经过几何校正的 RGB 图像转化为灰度图像,这个转化过程有多种算法能够轻易的实现。存储灰度处理后的图像,建立灰度图像数据库。

(c) 图像降噪

由于噪声影响图像的输入、输出等环节,使得图像的分辨率下降,同时破坏了图像的精细结构,给图像的特征提取带来不便。图像噪声处理方法很多,可用基于二维小波分析的图像分解和重构方法来剔除噪声的影响。小波分析是基于噪声和信号在频域上分布不同而进行的,一般信号和噪声分

别分布在低频和高频区域,图像细节也分布在高频区域。小波变换是一种调和变换,其同时具有空间域和频域的局域性,具有多分辨率的性质,能适应信号频率的局域变换,在每一层小波分解上选取各自阈值,可消除多数噪声。

(2) 特征抽取

(a) 混凝土结构病害特征抽取

混凝土表面裂缝特征主要包括裂缝线型、裂缝长度、裂缝宽度。可以使用二值化法通过阈值选取等操作抽取表面裂缝线型,裂缝长度和宽度可根据单位像素值对应的实际长度来计算。

混凝土表面蜂窝麻面、钢筋锈蚀、保护层脱落、鼓包等病害特征的抽取,可用基于小波分析的类似图像检索法,基于内容的图像分割技术以及形态法中的分水岭法。通过图像分割处理可以快速获得各种病害面积及劣化程度,并建立特征数据库。

(b) 钢结构桥梁表面锈蚀特征抽取

铁锈颜色、锈蚀物形状、锈蚀物大小及表面致密程度等可作为钢结构表面锈蚀劣化特征的表征,铁锈颜色可以采用 RGB 三原色来进行分解抽取,而锈蚀物形状、锈蚀物大小及表面致密程度则对应图像的纹理特征。

小波变换能自适应处理不同尺寸不同层次的纹理图像信息,能对图像按不同频带进行分解和重构。小波变换为多尺寸思想提供了一个清晰的数学框架,首先借助正交小波,对图像进行分解,得到不同分辨率的一系列图像。分辨率越低,具有的是原图像上越低频的信号部分。与此同时,每种分辨率图像由代表不同方向信息的不同高频子带图像组成,使用小波高频子带特征的目的在于他们可以反映图像的纹理特性。多进制小波变换的最大优点是,将一个信号的高频分量缩小到窄的带宽,并能分出更多的频段。同时比二进制小波变换有更好的能量紧凑性,因为纹理重要的信息都集中在中高频子带上,所以多进制小波变换多频段特征更适合纹理分析。钢结构表面锈蚀纹理,按 M 进制小波变换分解,在每个层次分解上有 1 个低频图像, $M^2 - 1$ 个高频图像。图像纹理特征提取需要保证每个像素点均获得特征向量。进而能够用模式分类和识别算法来获取纹理结构信息,并建立特征数据库。

(3) 模式分类和智能识别

基于桥梁图像数据库及特征数据库,由专家按相关桥梁养护技术规范及标准对检测桥梁进行评级。对新的待处理的图像比照特征数据库,用模式分类识别算法进行评定,且可以随时扩充特征数据库。采用支持向量机法(SVM)进行模式识别和分

类,寻找图像像素之间的特征差别,即从像素点本身及其周围的环境(邻近像素点)出发,寻找差异,然后将各类像素点区分出来。对于经过灰度处理的图像,把灰度均值和灰度方差纳入特征识别向量,使得对于复杂图像的边界与非边界像素能更好的识别。支持向量机结构简单,其识别精度与相关参数选择很大有关,可应用粒子集团优化,及遗传算法等智能优化算法来选择最优参数。

4. 技术难点

自动化检测系统存在的主要技术难点如下:

(1) 采集图像的分辨率与病害识别精度

对于桥梁混凝土表面裂缝的识别,识别精度一般最小应达到 0.2mm,如果相机拍摄范围为 100cm × 100cm,则最小像素分辨率应该达到至少 $(1000/0.2) \times (1000/0.2) = 25,000,000$ 像素,目前两千五百万像素单反相机购买不是难事,由于对拍摄范围有要求,一般单反相机应该精心设置长焦镜头,满足桥梁病害区域拍摄要求。

(2) 检测效率与测试精度

目前多路高清图像的采集及传输通过有线或无线的方式进行已经得到解决,检测过程中的主要问题是由于桥梁形式的多样性,采集到的病害图像的位置信息、图像的连续性很难保证,处理方式之一是在桥梁检测车上设置可以实现自动扫描、自动定位的移动检测机器人,但桥下检测机器人一般从桥面通过液压转向臂架实现,当检测车在桥面慢速移动,桥面微幅振动导致臂架抖动,臂架前端绑定的摄像设备采集的图像质量随之降低,对摄像机图像帧率及传输硬件系统的要求越高。检测车行车速度对采集图像质量影响以及对摄像机硬件要求(如分辨率、帧率等等)有待现场试验研究得出。

(3) 基于图像处理技术的病害识别

文中主要针对混凝土表面的主要病害即裂缝的识别技术进行了阐述。只从表面裂缝情况对桥梁的安全状况进行评价较为片面,而且桥梁病害包括表面渗漏、局部混凝土掉落、表面蜂窝麻面、钢筋锈蚀等等。由于病害形态的多样性及识别复杂性,基于图像处理的技术实现对以上桥梁表面病害的自动化识别还需不断加以完善与改进。

5. 结论

我国在经历近 30 年高速公路及城市桥梁的大规模新建后,桥梁建设将逐渐转向新建与技术改造并重及对既有桥梁的现状评定和维护维修及加固改造阶段。为了对高速公路网及城市路网桥梁进行统一的维护管理及资金合理使用,本文提出了基于图像处理技术的桥梁外观检查快速识别系统方案。根据桥梁表面病害特征,重点对基于图像处理技术的裂缝长度、宽度、形态的识别技术进行了论述,实例研究表明,可以通过边缘检测、形态学处理、图像裁剪与融合技术得到桥梁表面病害展开图,并识别出裂缝的形态与宽度。系统引入现代图像处理技术及智能模式识别与分类方法来部分取代传统的耗费人力、主观影响大、不利于信息建档的基于人工的桥梁外观检查方法,进而建立可扩充的桥梁表面损伤图像、图像特征信息及相应评定结果数据库以方便既有桥梁的评估、维护及管理,这符合现代桥梁管理的知识化、信息化、便利化要求。自动化检测系统可以为公路桥梁病害的检测提供一种非常直观且高效的方法,对提升桥梁维护管理水平意义重大。