

基于图像处理的桥梁裂缝自动检测方法综述

肖欣忆, 张晓燕, 杜小甫

(厦门大学嘉庚学院信息科学与技术学院, 福建漳州, 363105)

摘要: 本文从图像采集、滤波处理和裂缝检测三个方面对该技术进行综述, 详细阐述了这三个步骤使用的主要算法, 对比不同算法的优势与不足, 重点对裂缝检测方法进行了讨论分析, 最后给出结论和发展前景。

关键词: 桥梁裂缝; 图像采集; 图像滤波; 裂缝检测

DOI:10.16520/j.cnki.1000-8519.2019.19.018

A Summary of Bridge Crack Detection Based on Image Processing

Xiao Xinyi, Zhang Xiaoyan, Du Xiaofu

(School of Information Science and Technology, Jiageng College, Xiamen University, Zhangzhou Fujian, 363105)

Abstract: In this paper, the bridge crack detection technology based on image processing is divided into three steps including crack image acquisition, crack image filtering and crack detection. The different algorithms used in these three steps are discussed in detail. The advantages and disadvantages of different algorithms are analyzed and their improved methods are introduced. In the end, the conclusion and future development direction are described.

Keywords: bridge crack; image acquisition; image filtering; crack detection

0 引言

传统的桥梁裂缝检测方法主要基于人工视觉检测, 耗费人力物力, 效率低, 检测效果难以保证。随着图像处理技术发展应用, 基于图像处理的自动桥梁裂缝检测系统不断出现。张维峰等研制出一套桥梁裂缝图像识别软件^[1]; 张国旗等人设计了采集系统并对图像进行标定, 结合图像处理算法对裂缝目标进行判断提取^[2]; 邹大鹏等设计开发了一套可以对裂缝进行智能分析的桥梁监测系统^[3]; 韩国的 Je-Keun Oh 等研究者设计了一套基于机器视觉的桥梁检测系统^[4]。这些系统具有处理速度快、灵活度高、安全性高等优势。随着图像采集、图像处理与机器视觉技术的进一步发展, 基于图像处理的桥梁检测技术已成为重要研究方向。

本文将基于图像处理的桥梁裂缝检测分为图像采集、滤波处理和裂缝检测三个步骤, 对其主要方法进行了归纳总结。

1 图像采集

桥梁表面图像的采集技术是进行桥梁裂缝检测的第一步, 是后续所有工作的基础。桥梁结构比较复杂, 拍摄检测图像时需要将梁体、拉索、支座、锚碇等都考虑在内, 具有一定难度。为获取完整表面图像, 需要开发多种桥梁表面图像的获取技术。车载检测系统、爬行机器人、无人机等是目前常用的图像获取技术。桥梁检测车主要有折叠臂式和桁架式, 折叠臂式一般多用于对小型桥梁进行检测, 桁架式结构复杂, 制造成本昂贵, 一般多用于大型桥梁检测。爬壁机器人体积小、重量轻、成本低、效率高, 机动性强, 能进入一般难以到达的狭窄区域, 还可以实现视频图像连续、稳定、清晰传输。无

人机能够任意位置定点悬停观测、使用成本较低、灵活、检测精度高、模块化维修、保养方便、效率高、安全风险相对较低, 已成为桥梁表面图像采集的主要方式。

2 滤波处理

采集的裂缝图像会受到材料、环境等因素的影响, 从而产生一定的噪声。这些噪声会对桥梁裂缝的判断带来困难, 影响检测准确性, 所以图像噪声滤波是非常重要的预处理步骤, 可分为空域滤波和频域滤波。

空域滤波法常用的方法为均值滤波和中值滤波。均值滤波器对抑制高斯噪声有很好的效果, 但对椒盐噪声的抑制作用不好。均值滤波也提出了很多改进算法, 文献[5]结合滤波窗口按行滑动时相邻窗口之间的递归关系和按列移动时相邻两行对应的辅助数组之间的递归关系, 设计出了高效、快速的均值滤波算法。中值滤波与均值滤波相比, 能更好的保护图像细节。文献[6]提出一种迭代自适应中值滤波算法, 在传统基于决策滤波方法基础上, 自适应调整滤波窗口尺寸并计算滤波窗口内非椒盐像素中值以替换噪声像素, 进而根据噪声密度自适应决定算法迭代次数, 以完全消除椒盐噪声并恢复原始图像。中值滤波对随机噪声的抑制能力比均值滤波要差些。但对于脉冲干扰, 特别是窄脉冲, 中值滤波是很有效的。

频域滤波方法包括低通滤波、高通滤波、维纳滤波和小波变换滤波等。常见的低通滤波器有: 理想低通滤波器、巴特沃斯低通滤波器、指数低通滤波器、梯形低通滤波器。使用低通滤波算法可以将图像中的噪声滤除, 保留图像中大面积的背景区域, 实现图像平滑去噪。由于图像中的边缘、线条等细

基金项目: 厦门大学嘉庚学院大学生创新创业训练计划项目(201913469060); 福建省自然科学基金(2018J01101); 漳州市自然科学基金(ZZ2018J22)。

节部分与图像频谱中的高频分量相对应,在频率域中用高通滤波器处理,能够使图像的边缘或线条变得清晰,图像得到锐化。维纳滤波对高斯噪声、乘性噪声都有明显的抑制作用,文献[7]针对经典维纳滤波去除图像高斯噪声后不能很好保持图像边缘和平滑性的问题,提出一种自适应迭代维纳滤波算法,改进算法有效提高滤波效果,而且保持较高图像峰值信噪比和较小的时间复杂度。小波变换滤波方法对高斯噪声有比较好的抑制作用,在去除噪声的同时也可以较好地保持图像的细节。

3 裂缝检测

近些年来,各种各样的基于图像处理桥梁裂缝检测算法被提出,本文将裂缝检测算法分为以下五类。

3.1 阈值检测算法

阈值检测算法因计算量小、运算速度快、性能稳定、实现简单,而成为桥梁裂缝图像检测中最基本、最常用的技术。主要有全局阈值法、局部阈值法以及自适应阈值法等。简单直接的阈值分割法并不能满足实际工程的需要,各种改进的阈值分割法不断出现。文献[8]将梯度信息 prewitt 算子与 Otsu 方法相结合,达到更好的裂缝图像分割效果。阈值分割法一般适用于背景灰度一致、光照均匀和对比度较高的图像,但在光照不均匀或者背景存在杂色点时,分割效果不理想。

3.2 边缘检测算法

裂缝具有较强的边缘特征,可以通过边缘检测来识别裂缝。基于 Canny 算子、Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子等常用边缘算子检测裂缝的结果通常不能令人满意,提出许多改进方法。文献[9]对经典算子 Sobel 进行改进,构造 8 个不同方向的 Sobel 算法模板对图像进行裂缝边缘检测,该算法简单易实现且对裂缝目标边缘出现漏检的情况较少。边缘检测算法的主要缺点是检测出的裂缝不连续,存在伪边缘的问题。

3.3 基于纹理检测算法

桥梁图像裂缝具有纹理特征,正确分析纹理特征,也能实现裂缝准确分割。文献[10]将图像划分成由 64×64 像素组成的网格图像,对每个子块均采用三个灰度值来描述子块图像纹理,最后通过人工神经网络判断裂缝子块和非裂缝子块。文献[11]等将子块图像的分形纹理特征用标准分数布朗运动来描述,并运用 k-means 聚类与投票机制来区分裂缝子块和非裂缝子块。基于纹理特性检测算法对强对比度的裂缝图像效果较好,但对于弱对比度的裂缝图像,其识别率低。

3.4 基于频域检测算法

基于频域的裂缝检测方法主要是用傅里叶变换、小波变换等正交变换把图像变换到频率域,利用裂缝目标、背景以及各种噪声所属的频域特征值不同进行识别。文献[12]提出通过二维复杂离散小波包变换来提取桥面裂痕特征,取到了桥面裂纹的多方特征,提高了检测准确性。文献[13]提出一种结合二进小波变换的局部脊波变换算法,可以提取图像中的局部线性特征,通过寻找奇异点来得到裂缝的宽度及位置,具有较高的几何逼近程度及信噪比。目前频域检测算法

主要存在算法复杂、通用性不高的缺点。

3.5 基于机器学习检测算法

基于机器视觉的检测方法目前最受人们关注。对于背景复杂、噪声多的图像,更多的使用基于机器学习的检测方法。近年来,由于深度学习的优异表现,越来越多的研究者开始在不同的领域使用深度学习的方法,这其中也包括裂缝检测。文献[14]利用滑动窗口算法将桥梁裂缝图像切分为较小的桥梁裂缝面元图像和桥梁背景面元图像,并根据对两种面元图像的分析,提出了一种基于卷积神经网络(CNN)的 DBCC 分类模型,用于桥梁背景面元和桥梁裂缝面元的识别。基于机器学习裂缝检测方法需要大量的样本进行训练,需要进行监督学习,其计算成本高,速度较慢,诊断过程相当繁琐。但准确率较高,效果较好。由于它的优势明显,已成为桥梁检测的热点研究方向之一。

4 总结

目前基于图像处理桥梁裂缝检测系统已经初步应用在桥梁的裂缝检测中,但是还有不少有待完善和改进之处:(1)裂缝图像的采集问题。拍摄桥梁裂缝图像的难度较大。对比现有的拍摄手段,无人机拍摄方式相对稳定,成本低,同时也可以拍摄到较为隐蔽的裂缝图像,是一种可行的途径。(2)复杂背景细小裂缝检测。复杂背景下细小裂缝属于不显著微小目标,识别难度明显增加,传统的裂缝识别方法目前难以解决该问题,应该发展新的理论与算法。(3)裂缝检测算法的通用性。尽管提出的桥梁裂缝检测方法种类繁多,但缺少通用性,基于机器学习的裂缝检测方法已经得到越来越多的重视和应用,但该方法需要大量的样本进行训练,建设图像库,提高算法通用性也是一个发展方向。

参考文献

- [1] 张维峰,刘萌,杨明慧.基于数字图像处理的桥梁裂缝检测技术[J].现代交通技术,2008,10(5):34-36.
- [2] 张国旗.基于计算机视觉的桥梁表面缺陷检测技术研究[D].北京交通大学,2010.
- [3] 邹大鹏,吴百海等.智能视频桥梁检测车工作臂超声探障系统研究[J].机床与液压,38(13):74-76.
- [4] e-Keun Oh, An-Yong Lee, Se Min Oh, Youngjin Choi, Byung-Ju Y and Hai Won Yang. Design and Control of Bridge Inspection Robot System[J].IEEE Computer Society, 2008:3634-3639.
- [5] 王科俊,熊新炎,任祯.高效均值滤波算法[J].计算机应用研究,2010,27(2):435.
- [6] 王拓,王洪雁,裴炳南.一种消除椒盐噪声的迭代自适应中值滤波算法[J].电光与控制,2019,26(02):23-27.
- [7] 李成雷,何秋生,张猛,赵晓丹.自适应迭代维纳滤波算法[J].太原科技大学学报,2019,40(03):188-193.
- [8] 朱鑫,漆泰岳,王睿等.一种改进的用于裂缝图像分割的 Otsu 方法[J].地下空间与工程学报,2017,13:81-83.
- [9] 伯绍波,闫茂德,何靓俊等.基于图像处理的沥青路面裂缝测量算法研究[J].计算机测量与控制,2017,15(10):

(下转第 55 页)

满足以下条件

$f_{in} > 0.5f_{s,max}$, $f_{lo} > 0.5f_{s,max}$ (输入频率、本振频率大于 $0.5f_{s,max}$),

则这个数字信号中包含输入信号以下频段的幅度内容:

$f_{lo} < f_{sum} < 0.5f_{s,max} + f_{lo}$ (输入频率的分量从等于本振频率到本振频率加 $0.5f_{s,max}$ 的区间与本振频率相减得到的差频信号)。

将该数字信号通过 FPGA、DSP 等器件编程做傅里叶计算,即可得到差频区间信号的频谱,即输入频率的分量在 $f_{lo} < f_{in} < 0.5f_{s,max} + f_{lo}$ 区间的频谱。将本振信号以一个区间即 $0.5f_{s,max}$ 为单位,不断改变频率,即可大范围内获得输入信号的频谱^[1]。

2 无中频滤波器宽带接收机的验证

目前正在兴起的软件无线电领域,Rafael Micro 公司推出了一款集成调谐器——R820T2。该芯片集成了前置放大器、前置滤波器、混频器、PLL、低通滤波器、中频放大器等,只要外围加上适当的模数转换器及配套的处理单元就可以组成一款宽带无中频滤波器接收机。该芯片结构如图 1 所示。射频信号首先输入到可变增益的前置放大器 LNA,经过放大的信号一部分通过前置滤波器滤除噪音,一部分通过跟随器输出到外部,以便检测混频器的输入信号强度,防止输入混频器的信号过大或过小,导致失真。芯片自带的 PLL 可以将外部晶振的输入信号进行整数或小数倍频并作为本振信号输入到混频器。经过混频的信号通过低通滤波器取出差频信号,并输入到程控放大器 VGA,调节 VGA 的放大倍数即可保证差频信号强度,有利于后端模数转换器的采样^[2]。

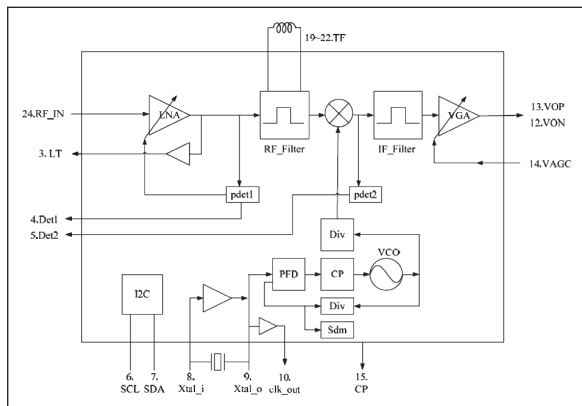


图 1 芯片结构图

基于以上分析,我们设计了以 R820T2 芯片为核心的无中频滤波器宽带信号接收装置对理论进行验证。

总体结构如图 2 所示。在该装置中,射频信号首先输入到混频器,同时 PLL 生成本振信号同步输入到混频器。混频器输出的差频信号通过低通滤波器取出,并通过 ADC 转换为数字量。控制器将 ADC 输出的数字量做傅里叶运算得到一段频谱并显示输出。不断改变本振频率,获得不同区间的射频信号频谱叠加显示就能完整地测出整个射频信号的频谱。

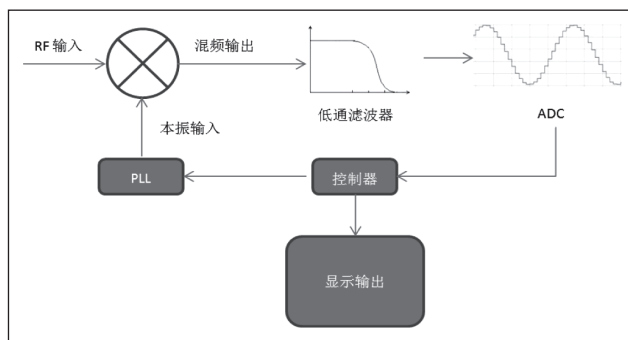


图 2 总体结构图

通过射频信号发生器测试 50M-1GHz 的信号频谱,与频谱仪的测试结果进行对比,设备均能准确地显示信号频率分量,证明无中频滤波器的宽带信号接收方案是可行的。

3 总结

实验结果表明无中频滤波器的宽带信号接收方案是可行的。频谱解析时间取决于 ADC 采样速率、PLL 频率切换时间。ADC 采样速率越高,一次性捕获更宽频率范围的频谱,PLL 频率切换时间越短,单位时间内切换的频段数越多,就能提高接收机的刷新速度。随着微电子技术的发展,处理器、ADC、PLL 的性能越来越高,能捕获更长频段的频谱信息,并缩短频段切换等待时间,同时更高性能的处理单元,有助于保障更高速率的 ADC 采样数据的处理。无中频滤波器的接收技术应用可能会越来越广泛。

参考文献

- [1]Richard G. Lyons. 数字信号处理(第三版) [M]. 电子工业出版社,2015.
- [2]Rafael Microelectronics,Inc. R820T High Performance Low Power Advanced Digital TV Silicon Tuner Datasheet Suite.2011.

(上接第 53 页)

1306-1307.

- [10]Henrique Oliveira,Paulo Lobato Correia. Supervised strategies for cracks detection in images of road pavement flexible surfaces[J].16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2008),Lausanne,Switzerland,2008,August: 25-29.
- [11]胡勇,赵春霞,郭志波.基于多尺度布朗运动模型的路面破损检测[J].计算机工程与应用,2008,44(3):

234-235.

- [12]马芸,王国军.基于二维复数离散小波包变换的桥面裂缝检测[J].沈阳工业大学学报,2018,40(06):659-663.
- [13]王刚,贺安之,肖亮.基于高速公路裂纹局部线性特征内容的脊波变换域算法研究[J].光学学报,2006(03):341-346.
- [14]马卫飞.基于深度学习的桥梁裂缝检测算法研究[D].陕西师范大学,2018.