

图像法水位检测研究进展

张 衍 王剑平 张 果 刘铭辉

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘 要: 水位监测对于流域水资源综合治理和航运具有重要意义,随着机器视觉技术的发展使得图像法水位检测有望代替人工观测水尺。本文简述了图像法水位检测的发展历程与现状,对比多种水位检测方法说明图像法的优势,总结图像法水位检测的基本流程,分析其中的三大关键步骤:标尺分割与畸变矫正,水位线检测和水位值换算,对每个步骤国内外的相关方法和发展进行综述。最后,对现阶段图像法水位检测面临的问题进行总结及对下一步研究方向进行展望。

关键词: 水位线检测;图像法;标尺分割;水位值换算;畸变矫正

中图分类号: TH815 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Review of image water level detection

Zhang Kan Wang Jianping Zhang Guo Liu Minghui

(School of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Water level monitoring is of great significance to the comprehensive management of water resources and navigation. With the development of machine vision technology, the image water level method is expected to replace observing the water gauge. Firstly, the history and the situation of water level detection are briefly described. The advantages of image method are illustrated by comparing various water level detection methods. Then, three key steps of image water level detection are analyzed: water gauge segmentation and distortion correction, water level detection and water level conversion. The methods and development of each step for each step are summarized at home and abroad. Finally, the problems of image water level detection at present are summarized and the future direction is prospected.

Keywords: water level line detection; image method; water gauge segmentation; water level conversion; distortion correction

0 引 言

水位是水文观测的基本要素之一,水位监测是进行防汛防洪、水利工程安全调度的重要手段^[1],是航道服务和维护管理的前提条件。对水位监测和分析需要对水位点定时进行长期测量^[2],因此,能够对河流湖泊的水位进行连续可靠地监测对于流域的水资源管理以及维护管理航道具有重要的意义。目前,我国水利管理部门在水位监测方面面临许多困难:许多检测地偏远、交通不便,大部分监测点仍采用人工对水尺定时观测,安全性和准确性都难以得到保证。

随着机器视觉在近几十年发展迅速,很多研究人员投入图像法水位检测的研究中。国外的研究中, Iwahashi 等^[3]提出水平检测算子对检测平均图像帧种的水位线,该方法对于规则水位线的检测准确,具有抗干扰性,但采用的线性判别式分析导致计算时间变长,且无法检测出不规则水位线。Kobayashi 等^[4]提出采用霍夫变换检测河道主线,通过压缩算法统计线段信息形成水位线,该方法可对河流

表面跟踪。Lee 等^[5]提出将分析视频切帧相邻帧图像同一位置的区域,通过计算得到相关系数,从而检测出液面。Kim 等^[6]提出通过制作水位映射表,将一段时间的水尺图像直方图的平均图像的峰值作为水位线,该方法可以在一定程度上克服水尺的污损问题,但方法的实用性较低。2010 年初以来,我国水位检测方面也开始了在机器视觉方面的研究,鲍江等^[7]提出在 Iwahashi 等^[3]的基础上加入噪声处理,通过 Harr 特征对边界部分分段计算,得到水位线,该方法能检测出不规则水位线,且计算速度较快,但精度不高。赵洪圣^[8]提出了基于数字图像处理的水位计液位检测方法,通过滤波对水位计视频去噪、目标边缘检测定位液位线、模板匹配拟合曲线实现液位检测,可为图像法水尺水位测量提供参考。梁波^[9]提出一种水位远程监测系统,将系统获取到的图像进行分割、开运算、边缘检测得到水尺水位,然后将水位值通过无线传输传到控制中心,作为水尺水位监测的一种基础系统模型作为参考。Lin 等^[10]提出通过图像灰度化,直方图均衡化,OSTU 阈值二值化等形态学

方法寻找水位线,通过字符分割和线性插值对桥梁的水位进行测量,可以为水尺的识别提供参考,但水尺水位的检测应该加入对图像畸变的考虑。姜兵^[11]提出一种使用智能手机进行水位监测的远程系统,结合图像连通域和图像处理找到水尺位置,基于二值图像中的最小区域面积校正水尺倾斜,但该方法仅考虑到了拍摄图像的旋转问题,在实际应用中对图像的其他畸变无法处理。张振等^[12]提出根据标准水尺设计模板,人工选取 RoI 和模板图像间的特征点,通过透视投影进行配准,通过对二值图像进行水平投影得到的曲线设定阈值检测水位线。该方法在通过透视投影变换时特征点的选取对配准结果影响较大,具有不确定性,检测水位线时所设定的阈值也不具有普适性。上述基于数字图像处理的方法往往都需要配套的硬件设施,在特定的实验环境进行水位检测,自然环境中的实际应用还有很大限制,图像法水位检测还有进一步研究和发展的空间。

有关水位检测的综述数量稀少^[13-15],尤其是有关图像法的水位检测综述几乎没有^[16],本文旨在通过介绍水位检测中的三大关键步骤:分割、水位线检测和水位值换算,对图像法水位检测的过程和现状进行归纳总结,对今后的研究方向进行展望。

1 水位检测方法分析

我国大部分监测点采用人工定时观测水尺,但人工使用

成本较高,存在安全隐患,且精度不高,难以对数据进行查验校对。水位的检测常用的还有采用水位计自动采集水位方法,常见的水位计有利用传感器原理的浮子式水位计、压力式水位计和电容式水位计等;利用反射原理的非接触式超声波水位计^[17-18]、雷达水位计^[19-20]以及光纤水位计^[21]等。浮子式水位计安装复杂,维护困难,且使用寿命较短。压力式水位计和电容式水位计的感应方式使其易受外界影响,精度难以保证。超声波水位计等非接触式测量装置测量简单且性能可靠,但测试条件往往有所限制,且使用成本高^[22]。

随着机器视觉的不断发展,视频监控系统成为水文站的基本配置,通过视觉方法获取水位成为可能。图像法水位检测利用摄像头作为传感器获取图像,通过机器视觉检测水尺水位,现有的摄像头和水尺已经基本满足了设备需求,能够将水位测量值和现场情况存储为图像信息,以便日后查验。上述水位检测方法的原理和优缺点对比如表 1 所示。相比接触式的水位计,图像法水位检测无需接触液体,适用水体范围广,环境适应性好;相比超声波、雷达式和光纤水位计,图像法具有不受水质影响、无温漂、无转换误差等优势,且成本大幅度降低;图像法水位检测所使用的图像还能够对测量结果和现场工况进行验证,现场已经安装的摄像头和水尺已经可以满足硬件需求,无需增加设备且维修便利。随着水文站配套监控硬件设施的不断升级以及机器视觉的深入研究,图像法水位检测将最方便可靠的测量方法。

表 1 水位检测方法对比

名称	原理	优点	缺点
浮子式水位计	基于浮力原理,浮子所受浮力不变,随液面浮动,其位置信息通过物理手段转换成可读的水位值	应用较早,技术成熟,价格低廉	容易发生故障,安装复杂,寿命短
压力式水位计	基于液体静压与高度成正比的原理,将测量得到的压力信号转换为电信号从而得到液体深度	精度较高,漂移小	易受环境温度和水中异物的影响
电容式水位计	液体高度变化导致的导电率变化,测量其电容变化从而得到水位值	准确性高、动态响应好、无自热现象	测量精度易受环境温度、水质及现场控制结构的影响,需要定期维护
超声波水位计	换能器发出超声波到达液面,反射回来再次接收转换为电信号,根据所用时间计算传感器到液面的距离	响应时间短,测量精度高	超声波速度会受到水质、温度等影响且难以修正
雷达水位计	波导管(喇叭状)发射微波到液面后,接收反射部分,通过测量所用时间间接测量水位	方法技术成熟,使用方便	设备昂贵
光纤水位计	利用光学技术,发光器件通过光纤发出光传送到液面,再接收所反射的光,根据反射光量间接测量液面高度	使用简单、性能可靠、维护简单	对反射面的要求较高,使用范围容易受到限制
图像法水位检测	利用摄像头作为传感器获取水尺图像,通过机器视觉技术检测水位线对应读数,通过水位值转换得到真实水位	无温漂、无水质要求;摄像头能够同时看到现场工况,能够对测量结果进行储存和验证;安装和维护成本低	无法获取图像时则无法使用,自然环境下拍摄图片质量难以得到保证

2 图像法水位检测实现流程

2.1 对象特点

图像法水位检测对象主要是作为水位标尺的水尺,常见为直立式水尺,一般采用红色、蓝色作为刻度划线,如图1所示。其主要特点为:1)标尺是矩形的,长宽比为8:100;2)标尺上的数字字符为0~9共10个数字;3)水尺的轮廓和字符颜色与环境差异较大;4)液面上的标尺的区域闭合;5)标尺的刻度用字符“E”表示,字符“E”与数字的距离固定,最小分度值为1 cm。



图1 常用水尺示例

2.2 整体流程

图像法水位检测的实现过程,通过拍摄获取水位标尺图像输入,然后找到对图像中的水尺,提取边缘信息进行分割,进行水位线检测以及水位值换算,最后输出实际水位值。整体流程如图2所示。

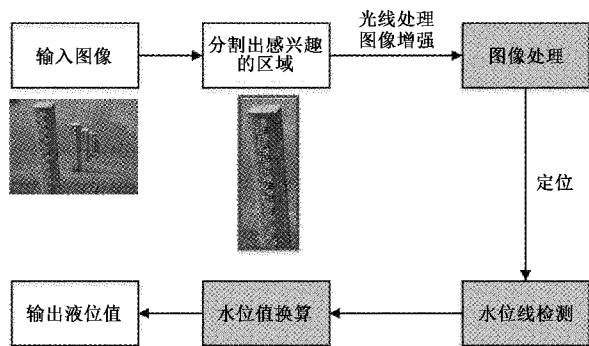


图2 图像法水位检测整体流程

首先,由于摄像头拍摄的图像包括水域中众多信息,原始图像尺寸较大,通过提取感兴趣区域将标尺所在区域提取出来,大大减少环境干扰,还大幅度减少了之后检测过程所需的计算量。

接着,由于自然环境光照的不确定性,需要通过图像处理进行图像增强,例如:在光线较弱的情况下,在保留水尺的边缘特征的前提下增加图像对比度,与背景区分开来;在摄像头位置较高的情况下,所拍摄图像出现模糊,可

利用深度学习的卷积神经网络等进行图像重建,可以在一定程度上还原细节部分,增强边界信息。

然后,为减少运算的复杂度,常见的处理是将上一步得到的图像转化为灰度图像,再通过阈值二值化分割出水尺,得到液面以上的水尺区域,即精确到水位线。

最后,确定最接近水位线的字符,求取字符与水位线之间的距离,可通过比例计算或者将图像与模板进行匹配,转换得到真实水位值。

水位测量的3个关键问题主要在于标尺分割与畸变矫正、水位线检测和水位线位置的确定,下文对每一部分的方法和具体应用都进行了归纳描述。

3 标尺分割与畸变矫正

为减少图像处理计算的复杂性,可以对原始水位标尺图像进行分割,确定需要分析的区域。拍摄水尺的过程中,拍摄角度和拍摄距离的不同,也会使得拍摄的水尺图像产生不同程度的畸变。畸变会造成刻度线的不准确,也会增加数字识别的难度,得到的结果也会产生较大误差。所以,在使用水尺图像前对图像进行畸变矫正能大大降低检测误差。

3.1 标尺分割

图像分割的思想是根据纹理^[23]、形状、颜色(灰度)等特征将图像划分为互不迭代的区域,同一区域内特征最大相似,不同区域则存在最大差异。在水位标尺图像的检测中,分割出的标尺区域是否能包含水位线十分关键,是之后水位线的定位、水尺字符识别以及水位的转换的前提。

根据分割的依据可以将图像分割方法分为基于阈值的方法和基于边缘的方法。基于阈值的图像分割方法通过设定阈值,根据每个像素点的灰度值与阈值的大小关系,从而进行分类;基于边缘的图像分割方法使用边缘检测算子进行提取边缘,灰度值呈阶跃性变化即代表对象特征的突变。以上两种方法在标尺分割上的应用较多。此外还有根据相似性准则分割区域的方法^[24-26],以及基于图论将图像进行小区域分割的方法等。

1) 基于阈值的方法

基于阈值的图像分割方法原理简单、计算速度快、性能稳定,是图像分割的常用方法。基于阈值的图像分割根据阈值进行灰度化,关键步骤是确定合适的阈值选取准则。常见方法有双峰法^[27]、迭代法^[28]、最大熵法^[29]、最小误差法^[30-31]以及最大类间差分法(OTSU)^[32]等。

阈值分割方法对水位标尺图像这种目标与背景灰度值差异较大的图像效果较好^[8]。程高庆^[33]提出选用最大类间方差法(OTSU),实现简单快速自动确定阈值,提取出液面交界处以上的水尺区域。在实际的水位检测中,自然光照下水面反光、水尺倒影和阴影等噪声会使灰度分布不均,使得该阈值在实际使用中不能够有效分割出水尺部分。此外,水尺较长的形状可能会导致整体灰度跨度较

大。使用单一的阈值进行二值化^[34-35],不能同时难以保证所有区域字符的二值化效果。Lin 等^[10]先对灰度图像进行直方图均衡化再利用最大类间方差法(OTSU)对水尺进行分割,对于存在水面光线反射的情况也有较好的分割效果。牛智星等^[36]提出将水尺分为上下部分别进行识别,两部分水尺中间取 1/3 的重合部分用于整合、验证和优化识别结果。

水尺刻度颜色为红蓝两种颜色,部分研究者将基于阈值的分割算法运用到彩色图像上,根据水尺的颜色特征提取分量,设定阈值对水尺进行分割。冷建伟等^[37]提出采用 YCbCr 颜色模型,分别给红、蓝色分量设定参考差值,保留红色分量图像,完成自适应阈值的二值化,最后采用 Hough 变换提取出水尺的竖直边界并进行裁剪,最终将水尺部分分割出来。此方法耗时略长,但准确率大大提高,对于对实时性要求不高的水位检测是可以适应的。黄林等^[38]将图像从 RGB 空间转换至 HSV 空间中,提取 HSV 空间中的红色区域,再作为与原图像进行与运算并二值化,但由于光照影响和背景类似颜色的干扰,这种方法存在漏检误检的情况,可加入其他特征的检测进行结合改进。

2) 基于边缘的方法

基于边缘的图像分割方法通过使用边缘检测算子检测像素属性的变化程度,将边缘两边的像素点分为不同区域,从而完成边缘检测,并根据边缘进行分割。常用的经典算子有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、LOG 算子和 Canny 算子等^[39]。边缘检测的效果与背景噪声、光照、场景中的物体类别、颜色的对比度以及边缘密度等因素相关。

通过比较对比度,对比度强烈的部分可以判定为边缘像素,可以找到水尺的边缘像素以及水尺上的刻度。以 Canny 算子为例,Canny 算子是先对图像进行微分运算,设定灰度变化阈值,将微分值高于阈值的像素判断为边缘点^[40]。姜晓玉等^[41]同样使用了 Canny 算子检测水尺边缘,再将灰度图像垂直投影,根据曲线的突变位置进行定位。该方法规定水尺必须竖直,但实际拍摄得到的图片有可能出现旋转畸变,实用性不高。徐为等^[42]提出首先将图像进行几何变化去除拍摄角度倾斜,然后对图像进行行列扫描,灰度化后使用 Canny 算子进行边缘检测,将图像中的水尺从原图中分割出来。但这种分割方式受噪声影响大,准确率低。此外,国外 Lopez-Molina 等^[43]提出利用高斯函数进行边缘检测,多个高斯函数结合的方式效果更好,但缺乏针对性,会有较多的干扰。

3.2 摄像机标定

在对水尺拍摄过程中,针孔摄像头的透视效应会使拍摄产生一定的变形,导致同尺寸物体随着沿方向距离的增加而变小。在图像法检测技术中,摄像机标定是畸变矫正的基础,其精度和准度直接影响之后整个检测过程过程的

精确度^[44]。

我们可以通过摄像机成像过程构建世界坐标系和图像坐标系之间的关系模型,整个坐标转换过程关系如图 3 所示。

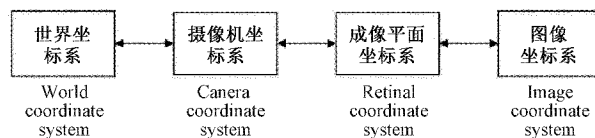


图 3 4 个坐标系转换关系

世界坐标系(W)是水位标尺的真实坐标系;摄像机坐标系(C)以摄像机为原点;摄像机光轴与成像平面的交点为成像平面坐标系(R)原点;所拍摄的水尺图片以像素形式存储在图像坐标系(I)内,以图像左上角像素为原点。建立了这 4 个坐标系的转换关系,可以利用拍摄的图像通过转换关系定位三维空间中的水尺。

坐标系的转换过程中摄像机的标定参数十分重要,常用的方法主要有 Tsai^[45]的两步法和 Zhang^[46]的平面法,两者采用的都是线性求解参数和非线性畸变优化相结合。获得摄像机标定参数将为之后的配准工作打下基础。张振等^[12]利用摄像机标定和投射变换将水尺图像投影到正射图像上从而实现了图像的矫正。

3.3 图像配准

图像畸变矫正的另一个重要步骤是进行图像配准^[47-48],基本流程是提取信息、特征选取、特征匹配、建立转换模型、模型参数优化,如图 4 所示。图像法水位检测中,图像配准过程直接对像素进行处理,可通过区域灰度值信息相似度和图像中的共同特征实现。

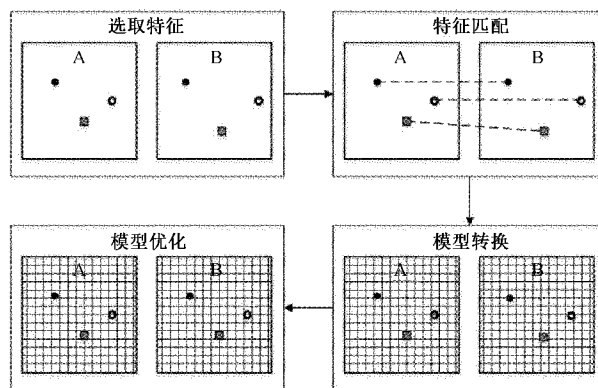


图 4 图像配准的流程

1) 基于区域的图像配准

基于区域的图像配准技术通过“窗口”在像素空间移动,根据匹配程度计算变换参数。基于区域的图像配准算法原理简单,可根据窗口的选择标准分为两类,一类强调差别程度,缺点是运算量大、抗干扰能力弱,如平均绝对差算法(MAD)^[49];另一类强调相似程度,缺点是计算速度慢,仅当配准过程中存在显著重叠时效果才明显^[50]。如归

一化互相关系数法(NCC)^[51]。

由于基于区域的图像配准使用的“窗口”仅适用于平移配准,若图像间存在如旋转、缩放甚至透视等变换,该方法不再适用。若“窗口”内容重要细节丢失,也会导致平滑区域匹配错误。在处理水位检测时,该类方法适用于拍摄较为完整、角度标准的水位标尺图像。由于拍摄的水尺图片大多存在较大的灰度变化、一定的旋转、形变甚至遮挡,现实应用中基于区域的图像配准存在很大局限。

2) 基于特征的图像配准

基于特征的图像配准方法是通过提取基准图像和待配准图像中的共同特征作为元素,建立对应关系,从而估算两者间的变换模型。配准元素具有可重复性、可代表性、准确性、高效性^[52],常见形式有点、线、边缘、轮廓等^[53-54]。要求待配准图像出现形变、存在环境影响、拍摄角度变化等,均能检测到与基准图像足够的共有元素。

常见的特征提取算法有 Harris 角点检测^[55]、基于尺度不变特征变换的特征检测(SIFT)^[56]及其变体^[57-58]、基于加速段测试的角点特征检测(FAST)^[59]等。Harris 角点检测算法通过设定灰度阈值判断角点,其数量由阈值决定,具有旋转不变性,根据其尺度可变可结合尺度空间理论改进^[60]。SIFT 算法通过生成特征向量之间的欧氏距离判断特征点,可完成旋转、缩放、仿射等变化,但处理时间较长。FAST 角点检测以像素点为中心的离散化 Bresenham 圆,通过亮度阈值选取 FAST 角点。结合机器学习推导出特征检测器,可改进 FAST 角点检测方法,实现更好的特征检测质量。

基于特征的图像配准技术在图像水位检测中应用比较广泛,能为配准几何变换环节提供质量较高的匹配内点。对比基于区域的方法,基于特征的图像配准方法计算复杂度低、适用范围广、鲁棒性强,能够用于存在旋转、缩放、移动等复杂变换的图像,在实际图像法水位检测的应用中效果更好。

4 水位线检测

水位检测的一大关键问题是水位线检测,水位线检测的准确性决定了水位读取的准确性。水位线的定位多利用灰度图像中水位线的边缘灰度变化幅度大^[61-66],或在视频切帧连续图像中水流的灰度变化进行检测^[7,10,67-71],随后对二值图像进行水平投影,寻找曲线的突变点,根据特征判断得到水位线位置。水位线检测的最大问题在于将目标从相似的背景中区分出来,而外界复杂环境下的光线会使得区分变得更加困难。

4.1 边缘检测法

水尺刻度线和水位线一样具有边缘特征,会对水位线位置的确定产生干扰,增加算法的复杂度。罗婧等^[61]使用 Laplace、Sobel、Canny 对水线图像的 RGB 三通道分别进行边缘检测,发现 Canny 算子抗干扰能力强,效果更好。郭

方^[62]采用 Canny 算子检测边缘,通过最小二乘法对拟合水位线。姜兵^[11]提出通过综合利用图像灰度化、水平边缘检测、K-means 聚类等算法检测水尺刻度线。任明武等^[63]提出通过选取图像中的水尺部分,再运用边界算子计算水尺边界得到水位线的水位测量方法,但该算法要求水尺与环境对比明显,无法克服水尺倒影带来的影响,实用价值较低。黄战华等^[65]提出了一种适合于倒三角刻度线水尺的自动判读算法,人工选取水尺区域,采用 Sobel 算子进行边缘检测,利用投影寻找水位线。文献^[66]采用基于 HIS 彩色空间的方向距离边缘检测算法和基于梯度幅度的启发式边缘提取算法对特定背景下水线进行有效提取。王伟^[72]提出在水尺附近画一条标定线,对视频图像进行灰度均衡二值化,采用 Robert 算子进行边缘检测,应用霍夫变换提取水位线与刻度线。鲍江等^[7]提出先视频切帧,噪声处理,再提取边界并分段,采用 Harr 特征计算水位线位置。这种方法检测速度快,但无法克服水面光线反射以及倒影的干扰,还需要进一步改进才能投入实际使用。

4.2 区域统计法

在环境较为复杂的情况下,确定水位线区域,再进一步检测,可能效果会更好。Papamarkos 等^[73]提出基于卡尔曼滤波的预估校正法预估水平面位置,刘治锋^[74]提出采用光强校正、形状校正、腐蚀膨胀等提取出水位信息图像中水位线的大致区域,再通过去噪算法对水位线的大致区域去噪从而获得精确的水位线。为解决光照影响,高晓亮等^[75]提出一种基于视频的水位检测算法,将视频转换到 HSV 颜色空间,利用色调分量建立区域统计模型对水尺水位线进行分割,该方法能在一定程度上克服光照和倒影的影响。这种通过水尺颜色特征进行区域统计,对水位线进行检测的方法能够在不清晰、自然环境复杂、水面有倒影^[76]等干扰下,解决传统边缘检测算子无法准确检测水位线的问题。刘丹^[77]采用 RGB 三通道欧几里得距离进行彩色区域分割,郭秀艳^[78]采用霍夫直线检测算法和 YCbCr 颜色模型、HIS 颜色模型检测水线。

4.3 帧差法

当测量现场的水流是运动的时候,水流运动会引起连续帧间灰度变化,而水尺不会产生灰度变化。利用差分提取帧与帧之间目标区域灰度变化信息,即可得到水位的变化区域,得到水位线。周衡等^[79]提出相邻帧间只有水位变化区域的灰度值不同,对目标区域差分求取水线。樊亚萍^[80]对相邻两帧图像的 RGB 三通道像素进行差分再合并,对二值图像的像素进行求和,再根据数据的方差和均值设置阈值求得水位线所在位置。此方法需相邻两帧图像的信息,当两帧图像的光线或水流波动较小时,此方法效果较差。Iwahashi 等^[81]提出在视频的连续帧中,流动的水的区域在高频区的能量更低,因此他通过对视频图像进行频谱变换,从而计算出水位值。

5 水位值换算

水位值换算的大多方法从人工的记录方法出发,首先识别和定位水尺上的刻度线和字符,通过插值计算水位值,但直接识别仅适用于正射视角下拍摄的图像。还有的方法通过摄像机成像原理建立对应关系,例如:采用尺度缩放^[67]、创建分段的对照表^[69]、设置控制点建立物平面和像平面之间的坐标变换关系^[82-83],但进行尺度变换现场标定一般比较复杂。为了克服拍摄的角度以及标尺常见的破损问题,还可以结合模板匹配进行水位值换算。

5.1 识别刻度线与字符

对于水尺的单边刻度,可采用 Canny 算子^[41]、Hough 变换^[34]等算法检测到刻度线;水位标尺两边都有“E”刻度线,其中一边刻度线与字符交替出现,需要先分割字符和刻度线^[65,68]。字符可以根据两个字符之间的间隔进行分割,分割的效果关系到水位提取结果是否准确。黄林等^[38]利用形态学中的开闭操作去除了水尺二值化图像上的数字,再计算二值图像中连通区域的个数。可能导致字符分割错误的原因主要有水尺污损,外界遮挡物以及光线反光导致的字符不完整甚至缺失。陈金水^[34]利用图像“细化”算法检测出横纹,利用 Hough 变换判断直线,计算直线个数进而获得水位值。但此种方法未考虑到刻度横纹检测出现问题的时候,在细化过程中易产生“虚假横纹”,对检测精度造成较大影响。

经过字符分割后,还要进行字符识别,水尺字符识别主要是对刻度线与字符交替出现的左半边进行。右半水尺不存在数字字符,字符“E”与空白交替出现,字符“E”与另一边数字字符相对,根据这一特征可以对应得到数字部分的高度^[36]。李乔^[84]利用水尺板上数字和刻度值的先验知识去除数字干扰,采用 Prewitt 算子或者 Sobel 算子中的水平方向算子提取字符水平方向的边缘信息,得到刻度横纹,再利用左右刻度线的对称关系得到中间标线的位置,对中间标线的个数进行计数得到水位值。字符和数字识别的误差来源广泛,如数字识别的不准确、数字消除的不准确、刻度横纹检测不准确、检测出现短横线造成测量误差、横纹刻度数量检测不准确等。上述传统的字符和数字识别方法仅适用于光照条件较好,水尺表面无污染的情况下,对环境变化的鲁棒性较差。

此外,字符识别也可以通过模板匹配^[10,35]、神经网络^[69]等复杂算法,利用深度学习的这一类算法存在一定的不确定性。王磊等^[85]使用 YOLO-V3 和 Resnet 对水位直接进行检测,通过调整网络结构来达到水位检测的需求。对环境的适应性不强,训练需要的数据量大。吴禹辰^[86]使用 Faster-RCNN 来检测船舶的吃水线,检测效果较好,但标注所需数据和时间太大,检测时间相比于边缘检测要长,检测精度较低。

5.2 模板匹配

模板匹配是最常用的图像匹配方法,具有计算简单、速度快的优点。为了减少计算,最好对二值化图像进行匹配,制作二值图像模板,通过二值化对特征进行简化,大大提高运算效率。目前模板匹配中常用的相关因子有 SSD (sum of squared differences) 因子、SAD (sum of absolute differences) 因子、ZSAD (zero mean SAD) 因子和 NCC (normalized cross correlation) 因子。设定一种相似度的度量方式和判断阈值,匹配过程是在图像上移动模板,并计算二者重合区域的相似度,如果某处的相似度大于阈值,则判断此位置图像与模板匹配。举一个例子^[8],要将大小为 $P \times Q$ 的模板 $\omega(x, y)$ 与大小为 $M \times N$ 的图像 $f(x, y)$ 进行匹配,设 $P < Q$ 且 $Q < N$ 。用图像形式直观地表示如图 5 所示,在最简单的情况下 $\omega(x, y)$ 和 $f(x, y)$ 之间的相关运算可以表示为式(1):

$$c(x, y) = \sum_{s=0}^{P-1} \sum_{t=0}^{Q-1} \omega(s, t) * f(s+x, t+y) \quad (1)$$

式中: $x=0, 1, 2, \dots, M-1$; $y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。当 s 和 t 变化时,模板 $\omega(x, y)$ 开始移动,对模板 $\omega(x, y)$ 和图像 $f(x, y)$ 中被 $\omega(x, y)$ 掩盖的区域进行计算,在图像 f 的任意位置 (x, y) , 都可以求得该点 $c(x, y)$ 的值。当 x, y 在取值范围内变化时, $\omega(x, y)$ 在 $f(x, y)$ 中移动并求得所有的 $c(x, y)$, $c(x, y)$ 最大时的 (x, y) 即为最佳匹配点坐标。当 $\omega(x, y)$ 靠近 $f(x, y)$ 边缘,匹配精度会受影响,可通过设置相关系数解决。

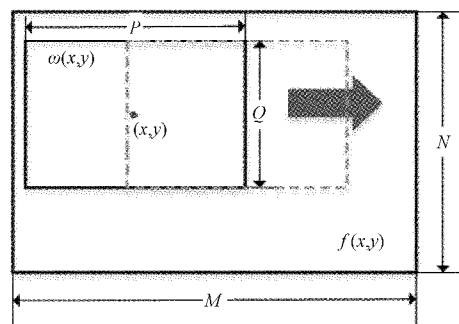


图 5 模板匹配过程

贾伟广等^[87]提出选择 NCC 因子作为模板匹配相关因子, NCC 因子在实际应用中稳定性较好。张振等^[12]提出根据标准双色水尺的设计模板,通过人工选取兴趣区域和特征点进行模板匹配,利用透视变换建立将水尺图像投影到正射坐标系中,如图 6 所示。在二值图像的水平投影曲线中设定阈值检测水位线。船舶中使用的水尺与水位监测有着许多相似之处,许多方法都可以相互借鉴。冉鑫等^[88]同样使用到了模板匹配,在船舶水尺二值化图像中,利用船舶水尺刻度的三叉点特征,利用特征点集进行模板匹配,可以实现船舶水尺的水位值转换。

模板匹配方法原理简单,对于不同光照下的现场以及分辨率较低的图像均可以完成水位值的转换功能,具有较

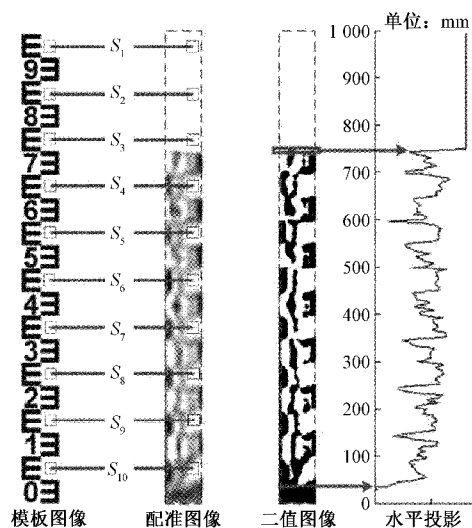


图6 模板匹配示例

好的鲁棒性,所制作模板的代表性以及根据特征对控制点的选取对水位值转换的准确性至关重要,所建立的对对应关系使得该方法对于破损的水尺也有一定的识别能力,但对于特征点的选取依赖性较强。

6 结 论

随着机器视觉的不断发展,图像法水位检测方法也在不断改进和更新。从现有文献给出的图像来看,共同的特点是图像的分辨率较高,并且拍摄角度近似正射,实验环境无光照变化和噪声干扰。现有图像法水位检测的方法往往都需要配套的设施和特定的实验环境,然而这些条件在实际中通常难以满足,距离在水文站的水文监测系统上实际应用还有很大的距离。使用现有视频监控系统进行水位检测存在的问题主要有:

1) 现有的摄像头系统为水文站的工情监测而设置,可以进行移动和缩放但不能为监测水尺而固定。摄像机通常架设在高处且并非正视水尺,不同的视角将导致图像产生畸变。

2) 自然光线不稳定,环境复杂,水面倒影会对水位线的检测有很大影响,光照的变化和水面的反光使得水尺难以分割;此外,当水质较为清澈时,水面上和水中的水尺部分难以区分,水位线难以检测。

3) 夜间拍摄水尺需要进行补光,当水尺部分面积相对于图像的占比较小时,水体对补光光线的吸收极易导致水尺补光过曝,过曝使得水位标尺纹理特征丢失,无法进行字符识别;另一方面水面亮度很高使得水体透明度加大,难以检测水位线。

4) 长时间使用的水尺表面可能存在污染和破损的情况,导致字符刻度的不完整,分割和识别都会产生误差。

本文了综述的水位检测中主要的3个步骤:标尺分割与畸变矫正、水位线检测和水位值换算。根据所存在的问

题,图像法水位检测的下一步发展还需要考虑实际应用,提高检测的稳定性和适宜性。可从3个方向优化算法:进一步提高对光照变化、水面反射干扰和环境影响的抑制能力,提高算法鲁棒性;针对水尺残缺污损和刻度部分遮挡的图像进行修正,提高水位线检测的准确性;结合白天和夜晚的图像解决夜晚曝光问题,通过背景的不变性将两者结合。值得注意的是,水位检测对实时性的要求较低,可以考虑牺牲速度,选取精确度更高的算法,另一方面,随着深度学习的普及,深度学习在分割和水位线的检测,字符的匹配上都可以有所应用和结合。相信在未来的研究中,不再只是依赖于刻度和数字,图像法水位检测可以将人眼读不出的水位估计出来,且精度越来越高。

参考文献

- [1] 张隽. 依法促进水文事业健康发展[N]. 中国水利报, 2010-06-04(1).
- [2] MUSTE M, HO H C, KIM D. Considerations on direct stream flow measurements using video imagery: Outlook and research needs[J]. Journal of Hydro-environment Research, 2011, 5(4):289-300.
- [3] IWAHASHI M, UDOMSIRI S. Water level detection from video with FIR filtering [C]. Computer Communications and Networks, 2007 Proceedings of 16th International Conference on, IEEE, 2007: 826-831.
- [4] KOBAYASHI S, MURAMATSU S, KIKUCHI H, et al. Water level tracking with condensation algorithm[C]. International Workshop on Advanced Image Technology(IWAIT), 2007:750-755.
- [5] LEE C J, SEO M B, KIM D G, et al. A novel water surface detection method based on correlation analysis for rectangular control area [J]. Journal of Korea Water Resources Association, 2012, 45 (12): 1227-1241.
- [6] KIM J, HAN Y, HAHN H. Image-based water level measurement method under stained ruler[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2010 (1): 28-31.
- [7] 鲍江, 陶青川, 张鹏. 基于图像处理的水位线检测算法[J]. 水电能源科学, 2015, 33(4): 96-99.
- [8] 赵洪圣. 基于数字图像处理的液位检测[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [9] 梁波. 基于数字图像的液位远程监测系统[D]. 太原: 太原理工大学, 2013.
- [10] LIN F, CHANG W Y, LEE L C, et al. Applications of image recognition for real-time water level and surface velocity [C]. 15th IEEE International Symposium on Multimedia(ISM), 2013:259-261.
- [11] 姜兵. 基于图像识别的远程水位监测系统研究[D]. 西

- 安:西安电子科技大学,2012.
- [12] 张振,周扬,王慧斌,等. 标准双色水尺的图像法水位测量[J]. 仪器仪表学报,2018,39(9): 236-245.
- [13] 葛君山. 液位检测技术的现状与发展趋势[J]. 船电技术,2013,33(2): 43-45.
- [14] 杨朝虹,李焕. 新型液位检测技术的现状与发展趋势[J]. 工矿自动化,2009,35(6): 61-64.
- [15] 李丽宏,谢克明. 液位自动检测的现状与发展[J]. 太原理工大学学报,2001,32(4): 417-421.
- [16] WU Y, LIU Z. Research progress on methods of automatic coastline extraction based on remote sensing images (Review) [J]. Yaogan Xuebao/Journal of Remote Sensing, 2019, 23(4): 582-602.
- [17] 刘赞,王波,刘智超. 一种基于超声测距技术的超声液位仪设计[J]. 传感器与微系统,2014,33(9): 91-93.
- [18] 洪志刚,杜维玲,周玲. 超声波外测液位检测方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2007,21(4): 46-49.
- [19] PENNDAL N, JIRSKOG A, EDVARDSSON O. Radar level gauge using elliptically or circularly polarized waves; U. S. Patent 7265558[P]. 2007-09-04.
- [20] AKERSTROM T, WELIN A. Radar level gauge system with variable alarm limits; U. S. Patent 7319401[P]. 2008-01-15.
- [21] ANTONIO-LOPEZ J E, MAY-ARRIOJA D A, LIKAMWA P. Fiber-optic liquid level sensor [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2011, 23(23): 1826-1828.
- [22] 张应辉. 浅谈山区型河流水位计的选型[J]. 水利水电自动化,2008(4): 45-46.
- [23] CHENG G, CHEN J. A local feature descriptor based on local binary patterns [C]. Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEID, International Congress on, IEEE, 2016: 251-258.
- [24] VANHAMEL I, PRATIKAKIS I, SAHLI H. Multiscale gradient watersheds of color images [J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2003, 12(6): 617-626.
- [25] ADAMS R, BISCHOF L. Seeded region growing[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1994, 16(6): 641-647.
- [26] PANJWANI D K, HEALEY G. Markov random field models for unsupervised segmentation of textured color images [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 1995, 17(10): 939-954.
- [27] PREWITT J, MENDELSONHN M L. The analysis of cell images * [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1966, 128(3): 1035-1053.
- [28] RIDLER T W, CALVARD S. Picture thresholding using an iterative selection method [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1978, 8(8): 630-632.
- [29] PUN T. A new method for grey-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Signal Processing, 1980, 2(3): 223-237.
- [30] KITTLER J, ILLINGWORTH J. Minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41-47.
- [31] CHO S, HARALICK R, YI S. Improvement of Kittler and Illingworth's minimum error thresholding[J]. Pattern Recognition, 1989, 22(5): 609-617.
- [32] OTSU N. An automatic threshold selection method based on discriminate and least squares criteria[J]. Denshi Tsushin Gakkai Ronbunshi, 1979, 63: 349-356.
- [33] 程高庆. 基于数字图像处理的水位标尺识别研究[D]. 广州:华南理工大学,2017.
- [34] 陈金水. 基于视频图像识别的水位数据获取方法[J]. 水利信息化,2013(1): 48-51.
- [35] 陈翠,刘正伟,陈晓生,等. 基于图像处理的水位信息自动提取技术[J]. 水利信息化,2016(1) 48-55.
- [36] 牛智星,胡春杰,阮聪,等. 基于水尺图像自动提取水位监测系统与应用[J]. 电子设计工程,2019,27(23): 103-107.
- [37] 冷建伟,沈芳婷. 数字水文图像中的水文尺分割方法[J]. 图学学报,2017,38(1): 63-68.
- [38] 黄林,陶青川,沈建军. 基于机器视觉的快速水尺刻度提取技术[J]. 现代计算机(专业版),2018(6): 15-19.
- [39] BHARDWAJ S, MITTAL A. A survey on various edge detector techniques [J]. Procedia Technology, 2012, 4: 220-226.
- [40] 程诚,董晨龙,李宏,等. 智慧视频识别在水利信息化中的应用[J]. 四川水利,2019,40(3): 124-128.
- [41] 姜晓玉,花再军. 基于图像处理的水位自动读取[J]. 电子设计工程,2011,19(23):23-25.
- [42] 徐为,万辰炜,万一峰,等. 基于机器视觉的水位快速测量方法的设计[J]. 中国水运,2013,13(12): 172-174.
- [43] LOPEZ-MOLINA C, DE BEATS B, BUSTINCE H, et al. Multiscale edge detection based on Gaussian smoothing and edge tracking [J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 44: 101-111.
- [44] 马颂德,张正友. 计算机视觉—理论与算法基础[M].

- 北京:科学出版社,1998.
- [45] TSAI R Y. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off the shelf TV cameras and lenses[J]. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323-344.
- [46] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11):1330-1334.
- [47] VAGHELA D, NAINA P. A review of image mosaicing techniques [J]. ArXiv Preprint, 2014, ArXiv: 1405. 2539.
- [48] PATEL M H M, PATEL A, PATEL A. Comprehensive study and review of image mosaicing methods [J]. International Journal of Engineering Research and Technology, 2012, 1(9):1-7.
- [49] BARNEA D I, SILVERMAN H F. A class of algorithms for fast digital image registration[J]. IEEE Transactions on Computers, 1972, 100(2):179-186.
- [50] GHOSH D, KAABOUCH N. A survey on image mosaicing techniques[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2016, 34: 1-11.
- [51] GHOSH D. Handbook of mathematical models in computer vision[M]. Springer Science & Business Media, 2006.
- [52] ALHICHRI H S, KAMEL M. Virtual circles: A new set of features for fast image registration[J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(9-10):1181-1190.
- [53] 宋智礼. 图像配准技术及其应用的研究[D]. 上海:复旦大学,2010.
- [54] 杨占龙. 基于特征点的图像配准与拼接技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2008.
- [55] 陈白帆,蔡自兴. 基于尺度空间理论的 Harris 角点检测[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2005, 36(5): 37-40.
- [56] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision, 1999, 99(2): 1150-1157.
- [57] KE Y, SUKTHANKAR R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors[J]. CVPR(2), 2004, 4: 506-513.
- [58] BAY H, TUYTELAARS T, VAN GOOL L. Surf: Speeded up robust features[C]. European Conference on Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006: 404-417.
- [59] ROSTEN E, DRUMMOND T. Machine learning for high-speed corner detection[C]. European Conference on Computer Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006: 430-443.
- [60] 廖斌. 基于特征点的图像配准技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2008.
- [61] 罗婧,施朝健,冉鑫. 一种视频图像船舶吃水线自动检测方法[J]. 武汉造船, 2012(1):30-32.
- [62] 郭方. 基于视频的船舶吃水线检测方法的研究[D]. 大连:大连海事大学,2010.
- [63] 任明武,杨万扣,王欢,等. 一种基于图像的水位自动测量新方法[J]. 计算机工程与应用,2007,43(22): 204-206.
- [64] 林瑞凤,徐海. 基于图像传感器的明渠水位自动测量方法[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(8): 53-55.
- [65] 黄战华,熊浩伦,朱猛,等. 嵌入式水尺图像检测系统与判读算法研究[J]. 光电工程, 2013, 40(4): 1-7.
- [66] 石玉立,夏振,王林. 基于 IDL 的视频图像水位检测新算法[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(29): 114-116.
- [67] 周广程. 图象处理技术在船舶吃水自动检测系统中的应用[D]. 南京:南京理工大学,2006.
- [68] 兰华勇,严华. 基于图像识别技术的水尺刻度提取方法研究[J]. 人民黄河,2015,37(3):28-30.
- [69] KIMJ D, HAN Y J, HAHN H S. Embedded implementation of image-based water-level measurement system [J]. IET Computer Vision, 2011, 5(2): 125-133.
- [70] 李翊,兰华勇,严华. 基于图像处理和 BP 神经网络的水位识别研究[J]. 人民黄河, 2015, 37(12): 12-15.
- [71] YU J, HAHN H. Remote detection and monitoring of a water level using narrow band channel[J]. Journal of Information Recording, 2010, 26(1):71-82.
- [72] 王伟. 基于图像处理的数字水位传感器的研究[D]. 太原:太原理工大学,2013.
- [73] PAPAMARKOS N, GATOS B. A new approach for multilevel threshold selection[J]. CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 1994, 56(5): 357-370.
- [74] 刘治锋. 基于图像的水位自动检测研究[D]. 南京:南京理工大学,2004.
- [75] 高晓亮,王志良,王馨,等. 基于 HSV 空间的视频实时水位检测算法[J]. 郑州大学学报(理学版),2021, 42(3):75-79.
- [76] 黄萍萍,王建华,陈长风. 几种水面倒影检测方法的实验研究[J]. 微计算机信息, 2011(9): 199-200.
- [77] 刘丹. 基于图像处理的散货船港航交重计量系统[D]. 大连:大连海事大学,2012.
- [78] 郭秀艳. 船舶水尺吃水值检测方法研究[D]. 大连:大连海事大学,2014.
- [79] 周衡,仲思东. 基于视频图像的水位监测方法研究[J]. 半导体光电, 2019, 40(3):390-394,400.
- [80] 樊亚萍. 基于图像识别的水位监测系统的研究与实现[D]. 南京:南京邮电大学,2019.

- [81] IWAHASHI M, UDOMSIRI S, IMAI Y, et al. Water level detection for functionally layered video coding[C]. IEEE International Conference on Image Processing, 2007, 2: II-321-II-324.
- [82] NGUYEN L S, SCHAELE B, SAGE D, et al. Vision-based system for the control and measurement of wastewater flow rate in sewer systems[J]. Water Science & Technology, 2009, 60(9): 2281-2289.
- [83] GILMORE T E, BIRGAND F, CHAPMAN K W. Source and magnitude of error in an inexpensive imagebased water level measurement system [J]. Journal of Hydrology, 2013, 496: 178-186.
- [84] 李乔. 基于移动终端的水位监测与车牌定位算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2011.
- [85] 王磊, 陈明恩, 孟凯凯,等. 基于深度学习算法的水位识别方法研究[J]. 水利信息化, 2020(3):39-43.
- [86] 吴禹辰. 基于图像的船舶水尺自动检测系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2019.
- [87] 贾伟广, 高占科. 基于数字图像和激光测距技术的水潮位研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(3):614-621.
- [88] 冉鑫, 彭将辉. 基于图像处理的船舶水尺刻度识别[J]. 上海海事大学学报, 2012, 33(2): 6-9.

作者简介

张衍, 硕士, 主要研究方向为先进控制技术与应用。

E-mail: z2k2_222@126.com

王剑平(通信作者), 工学博士, 副教授, 主要研究方向为机器视觉、智能测控技术。

E-mail: kmustwjp@126.com

张果, 副教授, 主要研究方向为数字图像处理。

E-mail: zh1119@163.com

刘铭辉, 硕士, 主要研究方向为图像处理。

E-mail: lmh073011612@163.com