

DOI: 10.19650/j.cnki.cjsi.J2107841

一种不定长水尺图像水位测量方法^{*}

刘铭辉, 车国霖, 张 衍, 王剑平, 欧阳鑫
(昆明理工大学信息工程与自动化学院 昆明 650500)

摘 要:针对水尺图像水位识别中存在的多根水尺拼接、水尺拍摄不完整以及环境适应性差等问题,从摄影测量学角度提出一种复杂光照条件下不定长水尺图像水位测量方法。首先通过人工选取的标识点构建水尺在像素坐标系和世界坐标系之间的透视投影关系;然后利用水尺的颜色特性将水尺与背景分割并二值化;再根据二值化图像使用方差均值阈值法检测水位线位置;最终通过投影关系计算出水尺图像中水尺中线的表达式,并结合水位线位置计算出水面上水尺中线的真实长度,获得水位值。本文对水文站真实水尺图像进行了测量实验,将检测结果与遥测水位值进行对比,结果表明本方法提高了不定长水尺图像水位检测的可靠性,测量精度达到1 cm,检测分辨率为1 pixel,基本满足水文站水位监测要求。

关键词: 水位测量;不定长水尺;图像法测量;透视变换;水位线检测

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

A water level measurement method for indefinite water gauge image

Liu Minghui, Che Guolin, Zhang Kan, Wang Jianping, Ouyang Xin

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

Abstract: To solve the problems of multiple water gauge stitching, incomplete water gauge shooting and poor environmental adaptability in water level recognition of water gauge images, a photogrammetric method is proposed to measure the water level of indefinite water gauge image under complex lighting conditions. Firstly, the perspective projection relationship of the water gauge between the pixel coordinate system and the world coordinate system is constructed through the manually selected identification points. Then, the water gauge and the background are segmented and binarized by the color characteristics of the water gauge. According to the binarized image, the average and variance threshold method is used to detect the position of the water level. Finally, the expression of the middle line on the water gauge in the water level image is calculated through the projection relationship. The length of the middle line on the water gauge on the water surface is calculated by combining the position of the water level line to obtain the water level value. In this paper, the measurement experiment is carried out on the real water gauge image of the hydrological station, and the detection results are compared with the remotely measured water level value. Results show that this method could improve the reliability of the water level detection of the indefinite water gauge image. The measurement accuracy is up to 1 cm and the detection resolution is 1 pixel, which basically meet the water level monitoring requirements of hydrological stations.

Keywords: water level measurement; indefinite water gauge; image measurement; perspective transformation; water level detection

0 引 言

水位值是水文监测领域中非常重要的一个监测部分,水文部门可以通过观测水位值的变化来计算出河流流量、河流泥沙量等信息^[1]。所以准确实时的水位值监

测对洪水和泥土流失等自然灾害的预测有重大意义。传统水位测量普遍具有自动化程度低,安装以及维护成本高和测量精度易受环境影响等不足^[2]。

随着网络技术的发展,网络监控系统正逐渐在各个领域中普及。按照水利部治水总思路要求,进行水文监测方式改革,越来越多的水文站通过网络监控系统进行

收稿日期:2021-04-27 Received Date: 2021-04-27

^{*} 基金项目:国家重点研发计划(2017YFB0306400)、国家自然科学基金(51709083)、云南省科技计划(2018BA070)项目资助

水文监测,为图像法测量水位提供了可能^[3]。图像法测量水位值具有无环境温漂、安装和维护成本低以及后期易于验证等优点^[4]。但同时也存在易受逆光、太阳阴影、水体倒影、水体透明和水尺脏污等现场环境的影响^[5]。

随着水位监测在水文领域中受到更多的重视,越来越多的国内外研究人员投入到图像法水位检测的研究中。Iwahashi等^[6]通过水平边缘算子结合线性判别式分析算法检测水位线,再通过连续多帧图像平均确定水位线位置。但由于数据量较大,导致计算时间较长。Kobayashi等^[7]采用霍夫变换检测水尺图像的线段信息,然后将得到线段信息结合条件密度传播算法得到一个估计的水位线。Chan等^[8]通过分析连续两帧图像中相同位置的矩形区域,计算相关性系数,进而确定液面位置。但由于需要计算相关性系数,导致计算时间较长。Franco等^[9]利用Otsu分割水尺,获得水位线,再分割出水尺上的字符,对字符进行模板匹配,最后结合水位线计算出水位。该方法未设计去除Otsu的分割残余,实际测量时误差较大。姜兵^[10]通过手机获取水尺图像,计算图像中的连通域和使用形态学处理对水尺定位,再通过基于连通域最小矩形面积的方法校正水尺倾斜。张振等^[11]根据标准双色水尺的样式设计模板图像,通过人工选取的控制点建立感兴趣区域和模板图像间的透视投影变换关系,将水尺图像配准到正射坐标系下;根据配准图像中设置的采样窗口计算自适应分割阈值将其二值化;最终在二值图像的水平投影曲线中检测水位线,并根据模板图像的物理分辨率将其坐标换算为水位测量值。王磊等^[12]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。樊亚萍^[13]提出了一种基于字典学习理论检测水位的算法。用带有水尺分类信息的待处理图像训练出字典,然后利用这个字典处理待处理图像,计算出的误差和处理时间较小,但数据集标注较为麻烦而且训练时间较长,监测多样性较差。黄林等^[14]使用仿射变换对图像进行倾斜校正,然后使用开闭运算消除字符,再使用膨胀连接图像,找到连通区域计算连通区域个数得到刻度,水位线位置则通过饱和度阈值来确定。周衡等^[15]通过利用水尺刻度对相机进行标定,用图像差分法提取水位变化区域,计算图像水位线坐标,根据相机标定结果算得实际水位高度。该方法不用识别水尺刻度与数字但实际计算时受环境干扰较为严重。

上述基于图像处理的方法往往都需要在特定的实验环境进行水位检测,大多数方法仅局限于完整1 m水尺图像的研究,在自然环境中的实际应用还有很大限制。各方法中的水位线检测环境较为简单,未能考虑到图像分割的环境残留带来的影响;水尺分割的方式大多采用灰度特征,丢失了水尺的颜色信息;水位值转换步骤中水

位线横坐标的计算未有较好的计算思路,所以图像法水位检测还有进一步研究和发展的空间。

本文从摄影测量学的角度出发,通过计算图像中水尺在水面以上的图像距离,再转换为真实坐标系中的实际长度,获得水位值。本文将利用图像中的颜色信息对水尺进行分割,采用方差均值阈值法对水位线进行检测,通过水尺中线表达式来确定水位线的横坐标。本方法对环境变化的鲁棒性更强,可以对不定长水尺图像进行水位检测。

1 原理方法

1.1 透视投影变换关系建立

水尺布设时通常垂直于地面,所以可将水尺表面近似为一个平面,该物理平面与其在传感器平面上成的像以及无透视畸变的正射影像间满足相互映射的单应关系^[16]。根据摄影测量原理,可以利用透视投影关系得到水尺在像素坐标系和世界坐标系中相互映射的单应关系,包含以下2个步骤:

1) 选取标识点:摄像机和待测水尺间的相对位置关系固定,仅需开展一次标定工作。透视投影关系的建立至少需要4对不共线的标识点,才能构建像素坐标系和世界坐标系的透视投影关系。所以在水尺图像上选取4个边界点来构建水尺的像素坐标系和世界坐标系的透视投影关系,如图1所示。

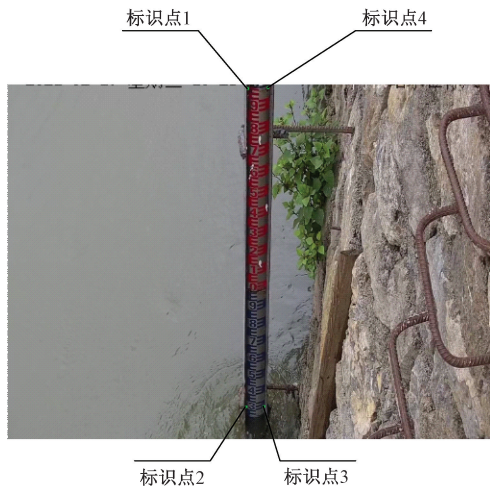


图1 标识点选取

Fig. 1 Marked points selection

2) 计算透视投影模型。设4对标识点在像素坐标系中的坐标表示为 (x_i, y_i) ,其中 $i = 1, 2, 3, 4$ 。在世界坐标系中将水尺左上角设为坐标原点,根据实际长度设4对标识点在世界坐标系中的坐标为 (u_i, v_i) ,其中 $i = 1, 2, 3, 4$ 。根据平面的透视投影关系可得像素坐标系中的坐标 (x_i, y_i) 和世界坐标系中的坐标 (u_i, v_i) 之间的关系如

式(1)所示:

$$\begin{cases} u = \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + a_9} \\ v = \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + a_9} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $a_1 \sim a_9$ 为变换系数,令 $a_9 = 1$, 用齐次方程表示为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux & -uy \\ 0 & 0 & 0 & x & y & 1 & -vx & -vy \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} \quad (2)$$

并将 4 对匹配控制点的坐标代入,得到以下线性方程组的矩阵形式。

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux_1 & -uy_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux_2 & -uy_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux_3 & -uy_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -ux_4 & -uy_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -vx_1 & -vy_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -vx_2 & -vy_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -vx_3 & -vy_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -vx_4 & -vy_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \end{bmatrix} \quad (3)$$

将式(3)表示成向量矩阵形式:

$$U = XA \quad (4)$$

其中, $A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8]^T$

根据式(4)计算出投影矩阵,构建像素坐标系和世界坐标系的透视投影关系,效果如图 2 所示。

1.2 水尺分割

通过对现场水尺的环境观察分析,发现在水位检测环境中,水尺的颜色特征与背景环境中的颜色特征有明显的差异,所以可以通过提取图像中红色和蓝色的区域达到对分割水尺的效果,针对红色和蓝色的颜色特性,对颜色空间进行筛选,最终选取 Lab 颜色空间,因 Lab 颜色空间对红色和蓝色的表示具有较为明显的特征易于选取阈值,且与拍摄设备无关,Lab 颜色空间图示如图 3 所示。本算法中颜色分割包括以下几个步骤:

1) 将图像由 RGB 格式表示颜色转换为使用 Lab 颜色格式并获取 L 、 a 、 b 三分量矩阵;

2) 获取 a 分量矩阵的最大值 $a_{\max}$,选取下限参数

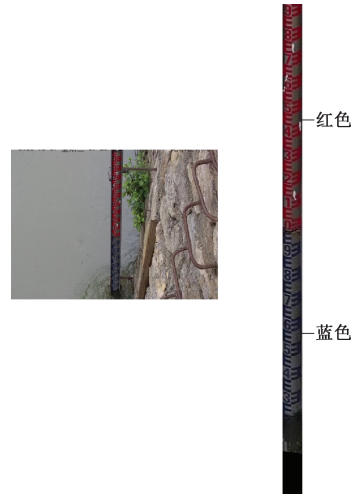


图 2 图像透视投影结果图

Fig. 2 Perspective projection results of image

a_l , 设置红色取值范围为 $[a_{\max} - a_l, a_{\max}]$; 获取 b 分量矩阵的最小值 $b_{\min}$, 选取上限参数为 b_h , 设置蓝色取值范围为 $[b_{\min}, b_{\min} + b_h]$;

3) 对于图像中任一像素点,判断其 a 分量值是否属于 $[a_{\max} - a_l, a_{\max}]$, 或其 b 分量值是否属于 $[b_{\min}, b_{\min} + b_h]$, 当像素点 a 分量属于 $[a_{\max} - a_l, a_{\max}]$, 或 b 分量值属于 $[b_{\min}, b_{\min} + b_h]$ 时,将此像素点灰度值设为 255, 否则设置为 0;

4) 遍历图像中每个像素点,完成水尺分割,如图 4 所示。

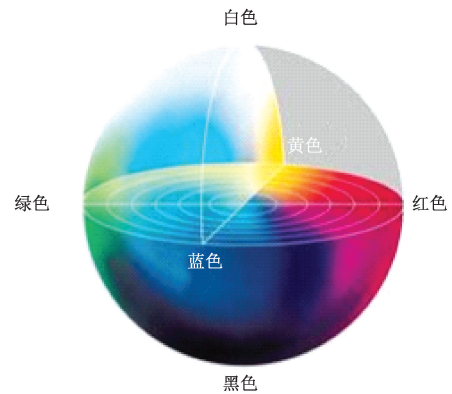
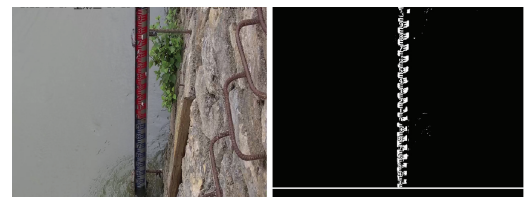


图 3 Lab 颜色空间颜色格式

Fig. 3 Color format of lab color space



(a) 水尺原图 (b) 水尺二值化效果图
(a) Original water gauge image (b) Binary effect of water gauge

图 4 图像二值化效果图

Fig. 4 Image binarization effectiveness

1.3 水位线检测

水位线检测是不定长水尺图像水位测量中最重要的部分之一,水位线的检测精度对水位值的检测精度有极大的影响。在现有研究中,通常将二值化图像中像素值为255的像素截止位置作为水位线位置,但此方法未能解决水尺分割时残留的少量环境噪声对水位线检测带来的影响,易导致水位线检测出现误差。

本文针对此问题设计了一种方差均值阈值法来对水位线进行检测。因残留的环境噪声通常具有少量、分布零散、呈线状或点状等特征,所以通过计算像素统计值的二阶差分可以将环境噪声在二阶差分曲线上表现为方差较大、均值较小的数据特征。具体包括以下步骤:

1) 统计像素值并计算梯形积分、一阶差分和二阶差分。将二值化水尺图像逆时针旋转 90° ,以列坐标为自变量对每列像素中像素灰度值为255的像素点进行统计,得到每列的像素统计个数 p_i ,其中 $i=0,1,2,\dots,L$,表示像素统计个数 p_i 对应的列坐标;根据式(5)对统计结果进行梯形积分,得到对应各列坐标的梯形积分 $S_1, S_2, \dots, S_L$,其中,对应第 k 列的梯形积分 S_k 为,其中 $k=0,1,2,\dots,L$,如图5(a)所示。

$$S_k = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{1}{2} (p_i + p_{i+1}) \quad (5)$$

根据梯形积分计算一阶差分,得到对应各列坐标的一阶差分 $\text{diff}1_1, \text{diff}1_2, \dots, \text{diff}1_L$,如图5(b)所示。其中,对应第 k 列的一阶差分 $\text{diff}1_k$ 为:

$$\text{diff}1_k = S_k - S_{k-1} \quad (6)$$

根据一阶差分计算二阶差分,得到对应各列坐标的二阶差分 $\text{diff}2_1, \text{diff}2_2, \dots, \text{diff}2_L$,如图5(c)所示。其中对应第 k 列的二阶差分 $\text{diff}2_k$ 为:

$$\text{diff}2_k = \text{diff}1_k - \text{diff}1_{k-1} \quad (7)$$

计算对应各列的二阶差分均值 $\text{mean}_1, \text{mean}_2, \dots, \text{mean}_L$ 和方差 $\text{var}_1, \text{var}_2, \dots, \text{var}_L$,其中对应第 k 列的二阶差分方差 var_k 和均值 mean_k 按照下式(8)、(9)计算,结果如图5(d)、(e)所示:

$$\text{mean}_k = \frac{\sum_{i=k}^{k+a-1} \text{diff}2_i}{a} \quad (8)$$

$$\text{var}_k = \frac{\sum_{i=k}^{k+a-1} (\text{diff}2_i - \text{mean}_k)^2}{a} \quad (9)$$

其中, a 为对应各二阶差分计算均值和方差时所选择的相邻列二阶差分的数据个数。

2) 设置方差和均值的阈值,确定水位线。根据均值曲线和方差曲线的突变位置,设置对应水尺区域起始位置的起始均值阈值和起始方差阈值,以及对应水位线的截止均值阈值和截止方差阈值;

先确定水尺区域的起始位置。将二阶差分曲线的均值和方差皆大于起始均值阈值和起始方差阈值的列位置作为水尺区域的起始位置;从水尺区域的起始位置所在的列开始,将首先满足二阶差分均值和方差皆小于截止均值阈值和截止方差阈值的列位置作为水位线的位置 y_L ,如图5(f)所示。

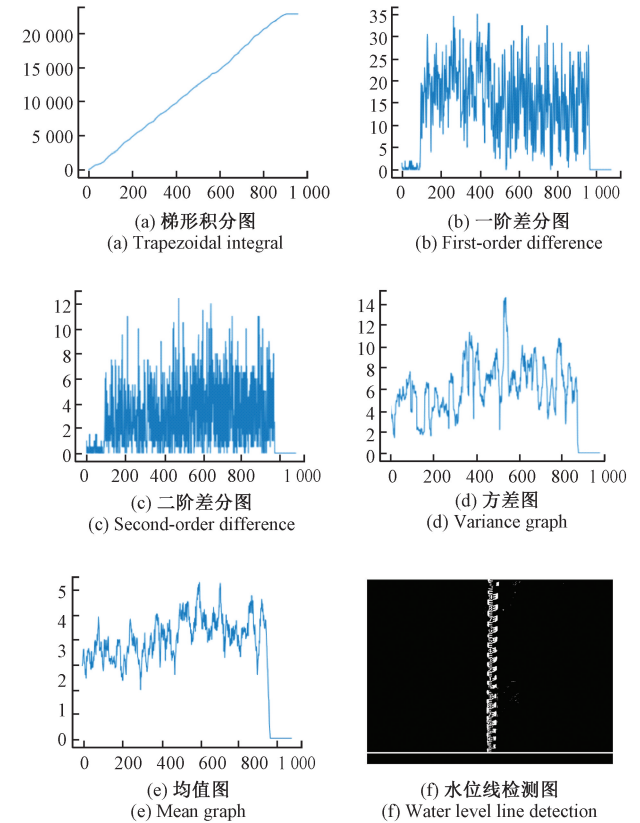


图5 方差均值阈值法各阶段图

Fig. 5 Diagram of each stage of the variance mean threshold method

1.4 水位值换算

本文将通过计算水面上水尺中线的长度来代表水面上水尺的长度,进而获得水位值。因为透视变换是一种“点-点”的映射,所以使用逆透视变换可以将世界坐标系中的点映射回像素坐标系中。将式(1)的变量和因变量调换得到如式(10)所示。

$$\begin{cases} x = \frac{(a_6 - va_9)(ua_8 - a_2) - (va_8 - a_5)(a_3 - ua_9)}{(va_7 - a_4)(ua_8 - a_2) - (va_8 - a_5)(ua_7 - a_1)} \\ y = \frac{(ua_7 - a_1)(a_6 - va_9) - (va_7 - a_4)(a_3 - ua_9)}{(va_8 - a_5)(ua_7 - a_1) - (va_7 - a_4)(ua_8 - a_2)} \end{cases} \quad (10)$$

根据水尺世界坐标系中水尺中线 $u=40$ 结合式(10)计算图像中水尺中线的图像表达式,结果如式(11)所示。

$$y = \frac{a_1 - 40a_7}{40a_8 - a_2}x + \frac{a_3 - 40}{40a_8 - a_2} \quad (11)$$

将水位线位置 y_L 带入式(11)得到图像中水尺中线与水位线交点 (x_L, y_L) 。将交点坐标代入式(1)计算在世界坐标系中的水位线坐标 (u_L, v_L) , 如图6所示。然后在世界坐标系中计算水尺中线的顶部坐标 $(40, 0)$ 和水位线坐标 (u_L, v_L) 之间的距离, 此距离即为水面上水尺的长度 d 。最后将总长度 L 减去水面上水尺的长度 d 得到水位值 Depth 。

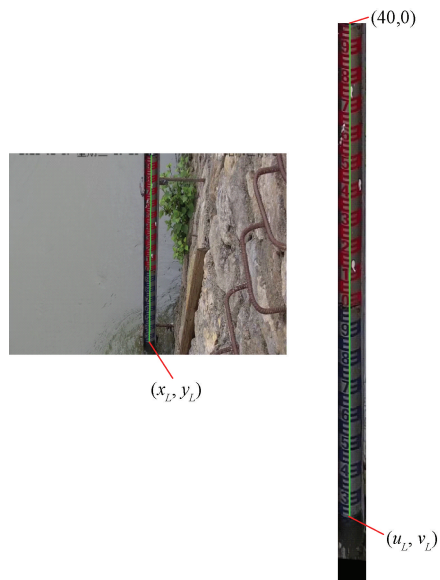


图6 水尺中线转换图

Fig. 6 Water gauge center line conversion chart

2 算法流程

算法的流程主要分为透视关系构建, 水尺分割, 水位线检测和水位值转换4个部分, 如图7所示。

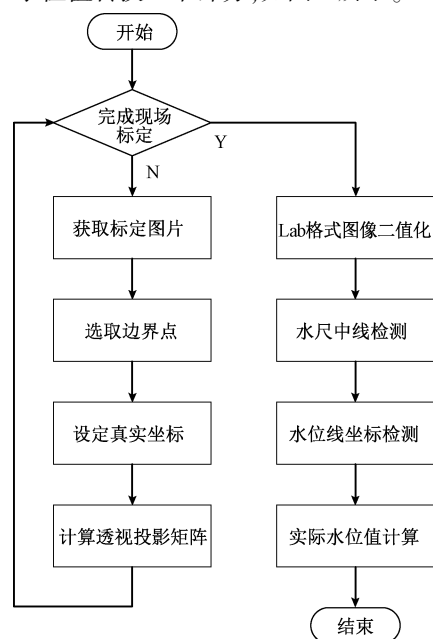


图7 算法流程图

Fig. 7 Flowchart of the algorithm

首先根据选取的边缘点建立水尺图像和标准水尺图像的透视投影关系; 水尺分割在 Lab 图像格式下对图像进行水尺的提取; 水位值计算通过水尺中线和水位线来确定水面上水尺的长度, 结合透视投影关系算得水尺在水面上的真实长度进而获得水位值。本方法利用 python 结合 OpenCV 库实现。

3 现场测试与分析

本文算法对6个水文站的水尺水位测量图像进行测试和分析, 并进行了一段时间内的水位图像监测。测点站均采用由标准双色水尺拼接而成的水尺对水位进行测量, 摄像头视场固定。本文将 Lab 颜色分割效果和图像法常见的颜色分割效果进行了对比; 对水位线的检测精度进行像素误差分析; 将水位值换算精度与遥测水位值进行对比分析。

3.1 现场水尺图像分析

水文测验中通常使用得是标准双色水尺, 颜色为蓝白或红白, 长度为1 m。实际应用中由于水深和涨幅经常超过1 m, 通常使用多根水尺拼接成为多级水尺对水位进行测量。使用摄像机对多级水尺拍摄照片, 拍摄角度尽量采取正射, 拍摄的水尺图像有时会放大至测量水尺的某一节, 有时则将多级水尺完整拍摄如图8所示。

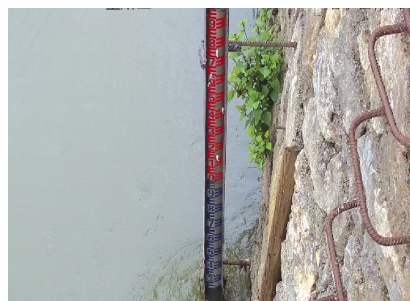


图8 现场水尺图

Fig. 8 Image of water gauge site

3.2 二值化效果对比与分析

目前水尺分割常采用的方法有两种: 1) 使用最大类间差分法 (OTSU) 或递归 OTSU 来完成对水尺的分割。2) 将图像转为 HSV 格式, 再设置3个变量的阈值完成水尺的分割。本文在6个测点站对水尺图像进行 Lab 颜色分割和图像法常见分割效果对比, 所选取的参数如表1所示, 分割效果如图9所示。

通过对比6个测点站使用常用二值化方式以及本文设计方式的二值化效果图, 发现递归 OTSU 分割效果不佳, 图片内包含有大量背景噪声, 分析原因为递归 OTSU 根据灰度分布自动寻找阈值, 当背景与水尺部分灰度值

表 1 分割参数选定表
Table 1 Segmentation parameters

站点	Otsu 迭代 次数	HSV			Lab		
		H	S	V	L	a_l	b_h
<i>a</i>	2	200~250(红色); 80~200(蓝色)	30~255(红色); 20~255(蓝色)	30~255(红色); 20~255(蓝色)	0~30(红色); 0~30(蓝色)	30	10
<i>b</i>	3	200~250(红色); 150~200(蓝色)	30~255(红色); 50~255(蓝色)	30~255(红色); 50~255(蓝色)	0~30(红色); 0~30(蓝色)	25	25
<i>g</i>	3	220~250(红色); 140~200(蓝色)	90~255(红色); 70~255(蓝色)	90~255(红色); 70~255(蓝色)	0~50(红色); 0~50(蓝色)	30	30
<i>h</i>	3	200~255(红色); 100~200(蓝色)	50~255(红色); 40~255(蓝色)	60~255(红色); 40~255(蓝色)	0~30(红色); 0~30(蓝色)	30	25
<i>m</i>	3	220~250(红色); 150~200(蓝色)	100~255(红色); 80~255(蓝色)	100~255(红色); 80~255(蓝色)	0~30(红色); 0~30(蓝色)	40	25
<i>w</i>	1	200~250(红色); 150~200(蓝色)	70~255(红色); 90~255(蓝色)	70~255(红色); 90~255(蓝色)	0~30(红色); 0~30(蓝色)	30	30

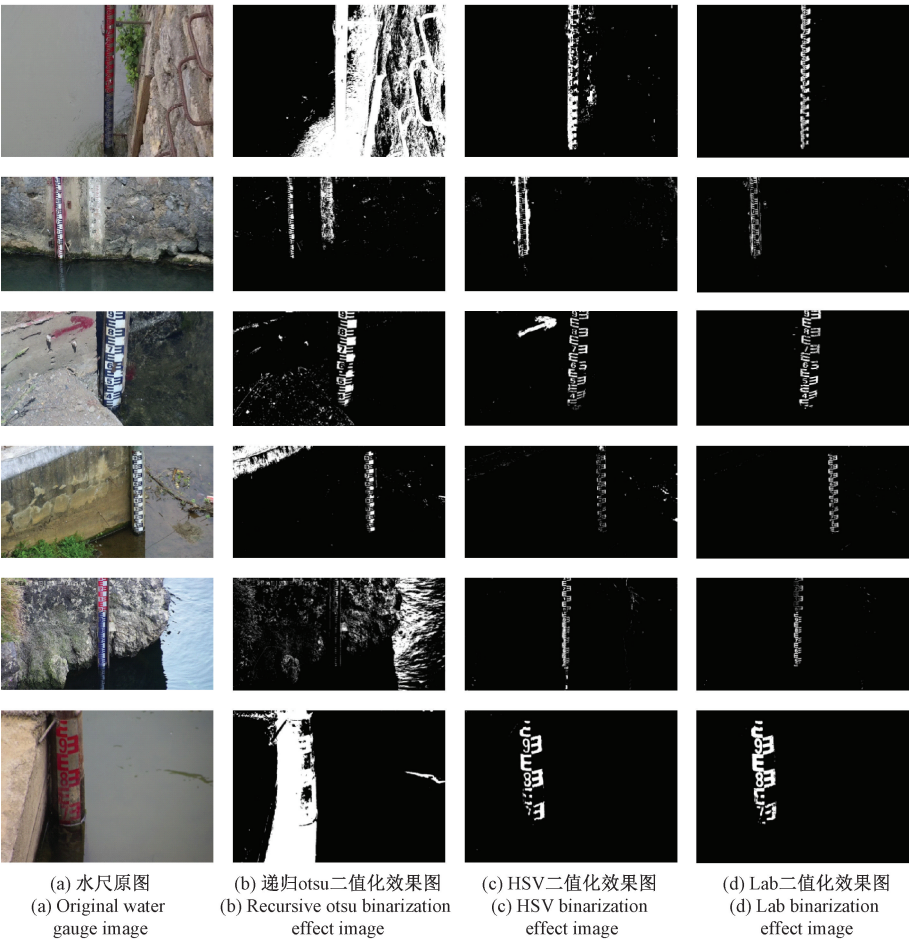


图 9 二值化分割效果对比图

Fig. 9 Comparison chart of binarization segmentation effectiveness

相近时分割效果较差。使用 HSV 格式时, 阈值选取困难, HSV 格式较难寻找到表示红色和蓝色颜色特征的阈值进行设置, 分割后仍保留有部分环境噪声, 对后期的水位线检测留下一定困难。在 Lab 格式中进行水尺分割, 分割效果较好, 仅有少量背景噪声残留, 阈值选择较为简单且通用。

3.3 水位线检测分析

本文对 Lab 分割出的二值化水尺图像进行水位线检测, 起始方差阈值和起始均值阈值都设置为 1, 截止方差阈值和截止均值阈值设置为 1 和 2, 水位线的检测结果如

图 10 所示。检测结果与检测误差如表 2 所示, 结果表明, 方差均值阈值法可以较好解决环境残留导致水位线误检等问题, 水位线检测误差均在水文站允许范围内。

3.4 水位值换算精度分析

本文选取 6 个水文站近两个月内的一些不同时间段的连续图片, 对算法进行水位检测精度分析。将本算法检测的水位值与该水文站的遥测水位值进行对比, 如图 11 所示, 并计算和绘制误差曲线, 如图 12 所示。本算法水位检测值与遥测水位值的差值不超过 0.01 m, 基本满足水文站水位监测要求。

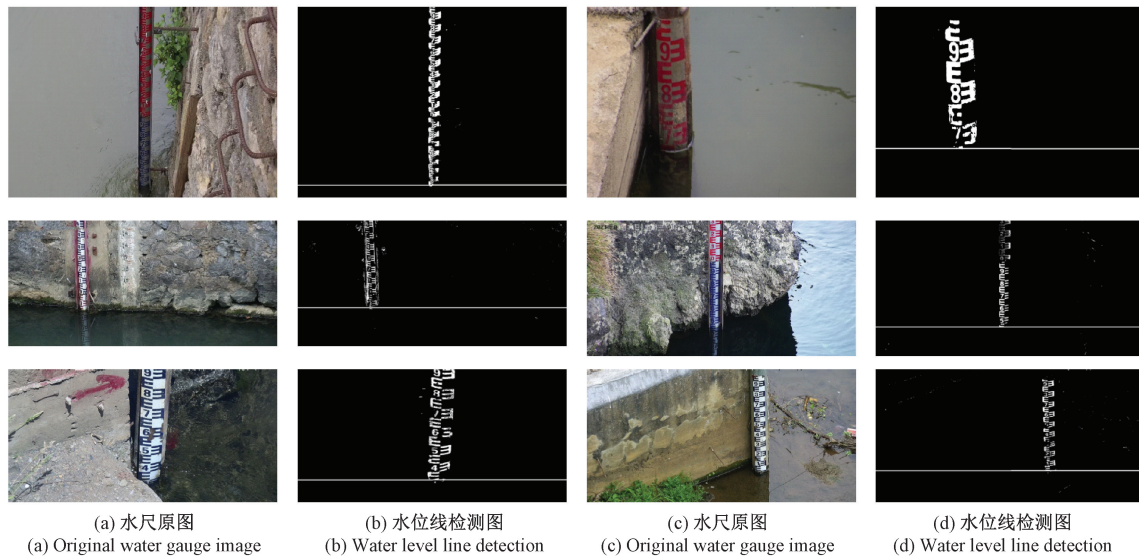


图 10 水文站水位线检测效果图

Fig. 10 Water level line detection results of hydrologic station

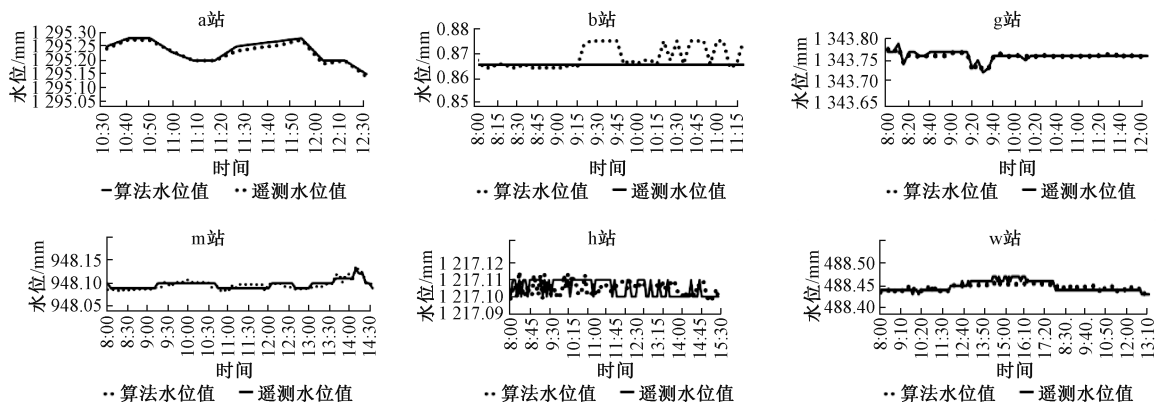


图 11 水位值对比图

Fig. 11 Water level value comparison charts

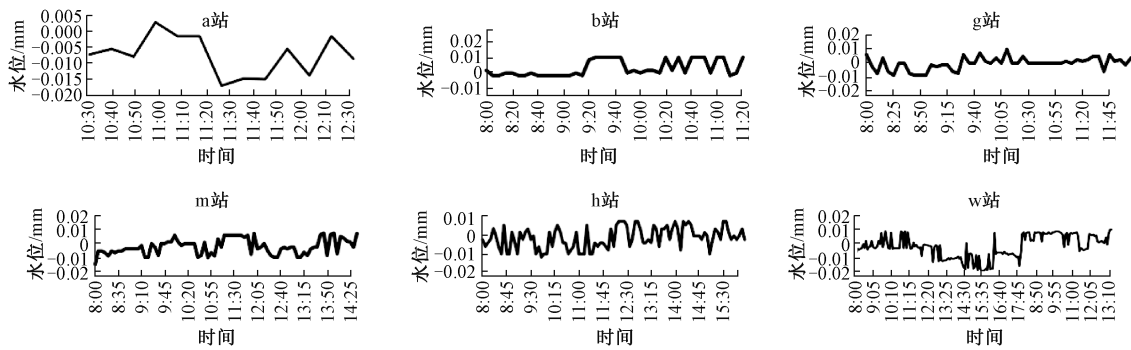


图 12 误差曲线图
Fig. 12 Error curves

表 2 水位线检测结果与检测误差表

Table 2 Water level detections result and detection errors

站名	水位线检测位置	检测误差/pixel
a	849	1
b	418	3
g	528	2
h	515	3
m	761	2
w	659	5

4 结 论

本文基于图像距离和实际距离之间的关系模型提出了一种新的水位检测思路,对水尺分割、水位线检测以及水位值计算等水位检测的关键问题提出了更具针对性的解决方法。其中,利用 Lab 颜色空间的颜色表现特性针对水尺的红蓝颜色进行分割效果更为突出,环境残余较少,利用二阶差分的数据特性进行水位线的检测,可以克服水尺分割中残留的环境干扰,对环境变换条件下的水位线检测具有更好的鲁棒性,利用水尺中线的图上长度与实际长度的关系模型计算水位值,可计算多级水尺的水位值,在水位涨幅超过 1 m 的情况下也可以进行水位检测。算法简单高效,对实际应用有更好的针对性且易于实现。现场测试表明:本方法单次测量时间为 2 s,基本满足测量实时性的要求。水位检测精度达到 0.01 m,满足水位测量要求。

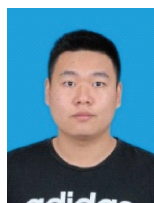
未来的工作发展可从以下几个方面进行开展:1) 结合水尺上的字符对算法进行改进,实现自动获取控制点。2) 构建图上距离与实际距离之间的关系模型,克服更多拍摄过程中产生的畸变。3) 进一步提高对水面复杂光学噪声的抑制能力。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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.
ZHANG Y H. A brief discussion on model selection of water level gauge for mountain river[J]. Automation in Water Resources and Hydrology, 2008, (4):45-46.
- [3] 徐延忠, 苏晓玲, 孟庆慧. 水文监测方式改革对经费支出影响的思考[J]. 河北水利, 2020, (7):21.
XU Y ZH, SU X L, MENG Q H. Way of thinking hydrological monitoring the impact of reform on the expenditure[J]. Hebei Water Resources, 2020, (7):21.
- [4] 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.
LAN H Y, YAN H. Research on application of the scale extraction of water-level ruler based on image recognition technology[J]. Yellow River, 2015, 37(3):28-30.
- [5] 江海洋, 刘林海, 李红石. 水位图像识别的场景问题处理方法和技术[J]. 水利信息化, 2020(1):39-43.
JIANG H Y, LIU L H, LI H SH. Scene processing methods and technology for image recognition of water level[J]. Water Resources Informatization, 2020(1):39-43.
- [6] IWAHASHI M, UDOMSIRI S. Water level detection from video with FIR filtering [C]. Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007. Proceedings of 16th International Conference on. IEEE, 2007:826-831.
- [7] KOBAYASHI S, MURAMATSU S, KIKUCHI H, et al. Water level tracking with condensation algorithm [C]. International Workshop on Advanced Image Technology

- (IWAIT). 2007(P7-43):750-755.
- [8] CHAN J L, SEO M B, DONG G K, 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.
- [9] FRANCO LIN, CHANG W Y, LEE L C, et al. Applications of image recognition for real-time water level and surface velocity[C]. IEEE International Symposium on Multimedia. IEEE, 2014.
- [10] 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.
- JIANG B. Research on remote water level monitoring system based on image recognition[D]. Xi'an: Xidian University, 2012.
- [11] 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.
- ZHANG ZH, ZHOU Y, WANG H B, et al. Image-based water level measurement with standard bicolor staff gauge[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2018, 39(9):236-245.
- [12] 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.
- WANG L, CHEN M EN, MENG K K, et al. Research on water level recognition method based on deep learning algorithms[J]. Water Resources Informatization, 2020(3):39-43.
- [13] 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.
- FAN Y P. Research and implementation of the water level monitoring system based on image recognition[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2019.
- [14] 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, 2018(6):15-19.
- HUANG L, TAO Q CH, SHEN J J. Fast water-level ruler acquisition based on machine vision[J]. Modern Computer, 2018(6):15-19.
- [15] 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.
- ZHOU H, ZHONG S D. Research on water level monitoring based on image processing[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2019, 40(3):390-394, 400.
- [16] 张振, 徐枫, 沈洁, 等. 基于变高单应的单目视觉平面测量方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(8):1860-1868.
- ZHANG ZH, XU F, SHENG J, et al. Plane measurement method with monocular vision based on variable-height homography [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(8):1860-1868.

作者简介



刘铭辉, 2019年于南昌大学获得学士学位, 现为昆明理工大学研究生, 主要研究方向为计算机视觉与图像测量。

E-mail: lmh073011612@163.com



Liu Minghui received his B. Sc. degree from Nanchang University in 2019. He is currently a master student at Kunming University of Science and Technology. His main research interests include computer vision and image measurement.

车国霖(通信作者), 1998年于电子科技大学获得学士学位, 2005年于昆明理工大学获得硕士学位, 现为昆明理工大学副教授, 主要研究方向为智能控制及其应用。

Email: 864111506@qq.com。

Che Guolin (Corresponding author) received his B. Sc. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 1998 and received his Ph. D. from Kunming University of Science and Technology in 2005. He is currently an associate professor at Kunming University of Science and Technology. His main research interests include intelligent control and its application.