

一种基于图像的水位自动测量新方法

任明武, 杨万扣, 王欢, 刘治锋, 唐振民

REN Ming-wu, YANG Wan-kou, WANG Huan, LIU Zhi-feng, TANG Zhen-min

南京理工大学 计算机学院, 南京 210094

Department of Computer Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

E-mail: renmingwu@mail.njust.edu.cn

REN Ming-wu, YANG Wan-kou, WANG Huan, et al. New algorithm of automatic water level measurement based on image processing. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(22): 204-206.

Abstract: Water level is a very important factor of hydrology. Presents a new algorithm of automatic water lever detection based on image processing. By integrating shape correction, edge detection, contour tracing and analysis, morphology, projection analysis and so on technologies, the method has achieved high accuracy and practical application.

Key words: water level; edge extraction; contour tracing; projection analysis

摘要: 河流的水位是非常重要的水文数据。提出了一种新的基于图像的水位自动测量算法, 能够精确的检测和定位出水位线。该算法合理运用了形状校正、边缘检测、轮廓跟踪与分析、数字形态学、图像投影等图像处理技术, 具有抗噪、抗光照不均、稳定可靠, 实时性强、实现简单等优点。该算法实现的水位自动检测系统已经在工程上应用, 长期实践表明它是稳定可靠的。

关键词: 水位; 边缘检测; 轮廓跟踪; 投影分析

文章编号: 1002-8331(2007)22-0204-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391

1 引言

我国是洪涝灾害频繁发生的国家, 水情监控问题一直是国家水利部门关注的重点, 设计一个安全可靠的水情监控保障系统对整个国民经济具有重大的意义。本文提出了一个基于图像处理的水位自动测量方法, 研究了水位线图像的形状校正及水位线的检测和精确定位算法。依照该算法设计的一套完整水情监控系统^[1], 已顺利实现了水位的实时测量与统计。在实际运行中, 稳定可靠, 检测到的水位高度误差在 2.0 cm 以内, 性能不受温度和光照的影响。

2 水位线图像的形状校正

基于图像的水位线自动检测的原理是由摄像机拍摄水泥柱(水位标杆)的图像, 为了便于水利工作者观察, 在水泥柱上事先做好了水位标尺, 如图 1 和图 2 所示。它们分别是在白天和夜晚采集的两幅图像, 夜晚由人工光源进行照明。由于水泥柱是个圆柱, 受摄像机架设角度的影响, 图像中的水位线是一条弧状曲线, 而在曲线的不同部分读出的水位高度数据各不相同。如果不进行形状校正, 把水位线转变成一条与标尺垂直的直线, 无疑会大大影响水位线定位的准确性。

形状校正的方法很多, 如文献[2]提出的利用一次多项式非均匀分片逼近方法对光学图像进行校正的算法, 文献[3]提出的一种针对显示器投影成像系统图像的校正算法, 文献[4]提出的基于射击运动自动判靶图像的校正算法等, 它们根据投影的角

度等参数对所拍图像进行校正。可见, 几何校正并没有一种通用的方法, 都是对某一具体待校正对象而言的。在本应用中, 当摄像机架设完毕后, 就被牢牢的固定住, 因此所拍摄的图像中, 真实水位线(弧线)的弯曲程度是固定不变的, 这样, 弧上每个像素对应于校正后的目标直线都有一固定的偏移量, 通过这个偏移量就可以得到校正后位置点离原坐标点的水平方向位移(这里的方向是对图像而言的)。这样, 校正算法相当简单, 即只需要创建一张查找表, 对图像中含标尺区域的每一行中的所有像素按该行对应的偏移量移位即可。图 3 和图 4 是校正后的图像, 可以清楚地看出水位线已经变成了一条近似垂直的直线。

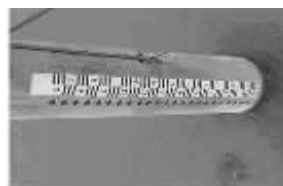


图 1 白天采集的图像



图 2 夜晚采集的图像



图 3 形状校正后的图像(白天)



图 4 形状校正后的图像(夜晚)

作者简介: 任明武(1969-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向有数字图像处理、计算机视觉、图像编码与压缩等; 杨万扣(1979-), 男, 博士生, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别等; 王欢(1982-), 男, 博士研究生, 研究方向为模式识别和图像处理; 刘治锋(1980-), 男, 硕士, 研究方向为模式识别和图像处理; 唐振民(1961-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向有人工智能、机器人与智能控制。

3 水位线的自动检测

在水位图像中,由于水面是同一种介质,具有几乎一样的灰度值,且水面区域的纹理不强。在水位线附近,存在两种介质的变化,且水泥柱对光线的反射方向与水面反射光线的方向相差很大,因此在水位线附近,肯定存在很强的边缘信息,且为垂直边缘(对文中的图像而言)。再者,由于光照的变化,水泥柱上不同位置的像素,尽管属于同一种介质,它们的灰度值也可能相差很大,尤其是在夜晚水泥柱被人工光源照明后。因而,本文中对于水位线的检测,没有采用图像分割的方法进行,而是采用了边缘检测的方法。从图4可以看出,晚上由于增加了光源使拍摄的图像呈现明显的光照不均,即离光源较近的部分显得较亮,而右侧离光源较远的部分则显得很暗,有时水泥柱几乎与水区域连在了一起,边缘检测通过寻找目标的局部特征,达到了很好的抗光照不均的效果。

边缘检测的方法很多,如 Gradient、Roberts、Sobel 和 Prewitt 算子,但它们都是一阶微分算子,使用这些算子,在得到最终的边缘点之前,需要确定一个门限,梯度值大于该门限的像素才是边缘点,然而该门限是难以确定和精确的,尤其是当图像中灰度不均时,各处的边缘强度值并不相等。在水位图像中,所关注的信息应该是边缘的数量,而不是边缘的强度,因此,本算法选用了二阶微分算子,即沈俊算子^[7],来寻找过零点,以完成边缘提取。相比二阶微分算子的其它算子,如 Laplacian 算子、沈俊算子实现简单,它只需要一个参数 a_0 ,且具有很好的抗噪能力,该算子通过在行和列上进行正反方向的递归滤波的方法来实现,即按先后顺序,使用下面4个公式对图像进行处理。

$$\begin{aligned} p1(x,y) &= p1(x-1,y) + a_0 \times [p(x,y) - p1(x,y)] \\ p2(x,y) &= p2(x+1,y) + a_0 \times [p1(x,y) - p2(x+1,y)] \\ p3(x,y) &= p3(x,y-1) + a_0 \times [p2(x,y) - p3(x,y-1)] \\ p4(x,y) &= p4(x,y+1) + a_0 \times [p3(x,y) - p4(x,y+1)] \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $x=0,1,\dots,width,y=0,1,\dots,height,p1,p2,p3,p4$ 分别是每步处理后的图像, a_0 是 $(0,1)$ 区间内的一个值, a_0 越大,即越接近1,则定位精度越高,平滑能力越弱。经过上面4步处理后, $p4(x,y)$ 即为所求的结果。经过沈俊算子处理后的图像见图5,可见结果中保留了丰富的边缘信息,水位线处的边缘与水面上方的边缘存在明显的差异。



图5 沈俊算子处理后的结果

由于采用的是二阶微分算子,尽管通过 a_0 的选择,对图像进行了平滑,但图像本身的纹理信息就很丰富,所以得到的边缘图像中,除了水位线以外,很多其它的边缘也同时被检测了出来,比如水泥柱上的伤疤、水尺线、数字的轮廓、方块的轮廓等,这些边缘如不很好地消除,会影响到水位线的检测精度。

由于水位线在图像中表现为一条近似垂直的长直线。因此,所有的非直线、水平直线和与水平方向夹角小于一定角度的斜线,都不是水位线。算法通过判别它们的形状,并设定合适的经验参数来滤除它们。经过沈俊算子处理后,得到的边缘图

像中,边缘都是闭合的轮廓线,这是二阶微分算子的特点决定的。因此,使用轮廓跟踪算法^[5,6],可以直接得到所有的轮廓线,在轮廓线上分析线段的形状和走向具有很大的优势。

本文中采用八链码进行轮廓跟踪,用链码记录下所有边缘的轮廓线,再对每条轮廓线按照一定的条件进行分步取舍。先从轮廓的周长上进行筛选,凡周长小于40个像素的边缘就将其去除,40是预先设定的经验值。在链码中,周长很容易得到,计算公式如下:

$$L = N_0 + \sqrt{2} N_1 \quad (2)$$

其中, L 表示周长, N_0 为偶数码的个数, N_1 为奇数码的个数。

其次,寻找水平方向的直线和与水平方向夹角小于 45° 的直线,虽然检测直线可以用 Hough 变换,但它需要穷举参数,浪费时间,但是可以利用链码的方向特性来寻找直线。直接计算链码在一个方向上移动的距离来判定直线段,当在一个方向上行走距离超过规定值,则认为是一条直线,例如对于水平直线(本文中规定当在水平方向上有连续5个点在一条直线上就是无用边缘予以删除),即链码从当前坐标行走5个位置如果一直是0或4就属于水平方向的直线,其它方向的直线的判断也与此类似,这里不在细述,具体算法描述如下:

步骤1 取一条链码表示的轮廓 $(x,y)c_1c_2c_3c_4\dots c_n$, n 是这条链码的码元个数, j 为码元的序号,初始化 $j=0$;

步骤2 若 $j < n$,则计算 $[(j-5)\%n, (j+5)\%n]$ 之间共10个链码的相对于水平方向的转角之和 β , 如果 $\frac{\beta}{10} < 45$ 则去除该轮廓点,否则, $j \leftarrow j+1$, 继续执行步骤2;

步骤3 是否还有未处理过的轮廓,若有则转步骤1;

步骤4 结束。

经过上面处理后的图像如图6所示。



图6 去除无用边缘后的图像

4 水位线的精确定位

经过上一步的处理,留下的基本上是一些垂直直线,由于水位线相对较长,因此,只需对图像做垂直方向的投影,就能初步定位出水位线。设一幅灰度图像 $f(x,y), x=0,1,\dots,width,y=0,1,\dots,height$, 则垂直方向投影公式为:

$$prj[x] = \sum_{y=0}^{height-1} f(x,y), x=0,1,\dots,width \quad (3)$$

对图6进行垂直方向投影的结果如图7所示,可见,水位线基本出现在投影的峰值处。

但是,这样并不十分精确,水位线的峰值与别的峰值相差不大,并不能很好的突出出来,这是因为水位线虽然很长,但其它列上也存在很多短小的直线,所以,这些短直线也要想办法除去。分析一下可以看出,大多数短直线都是标尺上的刻度的边缘。因此可以将这部分单独检测出来,不对它进行投影。如何找出这一区域,这里采取对原图像使用 Roberts 算子再做一次边缘检测,虽然前面已经用过沈俊算子,但那是为了保证不丢失水位线,而这里需要尽量突出标尺部分,由于沈俊算子只对

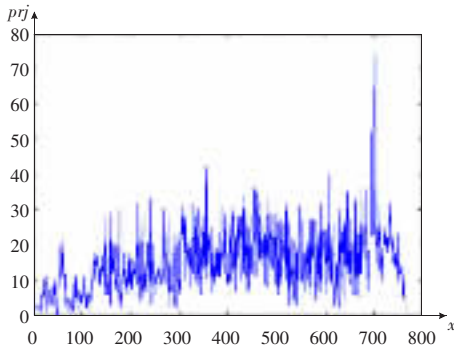


图7 垂直方向的投影

过零点敏感,对灰度跳变的大小不敏感,而刻度处对应的梯度值较大,Roberts算子对灰度跳变越大越敏感,能够很好的检测出标尺刻度,并且可以忽略一些小的无用边缘。对Roberts算子处理后的梯度图像再进行自适应阈值分割,消除图像亮度变化带来的影响。取Roberts算子后,得到的梯度图像的灰度均值 u ,加上均方差 δ 的 $2/3$,作为阈值 $thre$,如式(4),则检测的边缘基本上占图像20%左右,图8给出Roberts算子处理后的图像。

$$thre = u + \frac{2}{3} \times \delta \quad (4)$$



图8 Roberts算子处理后的图像

然后对图8进行腐蚀和膨胀运算,目的是使标尺区域最终连成了一个整体,便于一起去掉。该算法先做腐蚀运算,把水泥柱的边框、一些非标尺部分、尤其是水位线等细小边缘去掉,然后再进行连续的膨胀运算使标尺尽可能连在一起,图9给出了这一步处理结果,图中的大区域为标尺部分,上下两个小区域分别是水泥柱和标尺上的菱形产生的多余块,菱形块是为了把图像中水位数据转换为实际海拔高度而人为刻上去的。因为它们较小,所以不影响标尺块的定位。



图9 形态学处理的结果

这样标尺部分就被区分开来。设 $f(x,y)$ 为去除无用边缘后的图像(图6), $g(x,y)$ 为经过形态学处理后的图像(图9),显然它们都是二值图像,只有0和255两种值,定义两者的乘积图像 $f^*g(x,y)$ 为:

$$f^*g(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & \text{if } g(x,y)=0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (5)$$

乘积图像的垂直方向投影见式(6),投影的结果如图10所示,与图7相比,可以看出水位线对应的波峰更加突出,从而增加了算法的定位能力。

$$prj[x] = \sum_{y=0}^{height-1} f^*g(x,y), x=0, 1, \dots, width \quad (6)$$

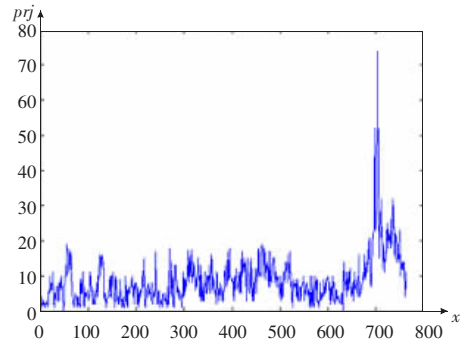


图10 乘积图像的垂直投影结果

实际应用中,由于摄像机架设的问题,水位线不能保证绝对垂直,而是可能略有倾斜,可以用一定大小的窗口对得到的投影数组加以高斯加权平滑。

5 结束语

本文运用形状校正、边缘检测、轮廓跟踪与分析、数字形态学、图像投影等图像处理技术实现了一种基于图像的自动水位检测算法,该算法具有抗噪、抗光照不均、稳定可靠、实时性强、实现简单等优点。

另外,由于水位线检测关注的只是含水泥柱的部分图像,大片的水区域无须考虑,为了处理的方便,算法进行了感兴趣区域提取,即只取比含水泥柱区域稍大的区域予以处理,所有的处理都是在这部分图像上进行的,这样既减小了运算量,又在一定程度提高了水位线的检测和定位的精度。

(收稿日期:2007年5月)

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 周林海,王立琦.光学图像几何畸变的快速校正算法[J].中国图像图形学报:A版,2003,8(10).
- [3] 马丽华,梁志毅,郑宏志.一种显示器投影成象系统的彩色图像几何畸变校正方法[J].光子学报,2001,30(5):624-627.
- [4] 鹿洪旭,卢朝阳,高西全,等.用于射击运动自动判靶的图像校正算法及其实现[J].计算机工程与科学,2001,23(3):21-24.
- [5] 任明武.复杂环境图像处理的若干算法研究及船舶目标检测系统[D].南京:南京理工大学,2001.
- [6] Ren Ming-wu, Yang Jing-yu, Sun Han. Tracing boundary contours in a binary image [J]. Image and Vision Computing, 2002, 20(2): 125-131.
- [7] Shen Jun, Castan S. An optimal linear operator for step edge detection [J]. Computer Vision Graphics and Image Processing, 1992, 54(2): 112-133.