

基于 hough 变换和 harris 检测的标尺图像潮位测量

张朝亮¹ 江汉红¹ 张 博² 姜春良¹

(海军工程大学电气与信息工程学院 武汉 430033)¹ (天津海洋测绘研究所 天津 300061)²

摘 要 在海洋测绘和水域监测领域经常需要测量潮位信息,提出了一种利用图像处理进行标尺刻线检测的方法,亦即使用摄像机拍摄固定在水中的标尺,通过读取标尺视频序列,基于 hough 变换和 harris 检测对标尺刻线进行识别计算,从而获得潮位线位置。水面实验证明了该方法具有较高的实用性。

关键词 hough 变换, harris 角点检测, 潮位, 图像处理

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Tidal Level Measurement in Ruler Image Based on Hough Transform and Harris Detection

ZHANG Chao-liang¹ JIANG Han-hong¹ ZHANG Bo² JIANG Chun-liang¹

(College of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)¹

(Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin 300061, China)²

Abstract Tidal level information is important in hydrographic surveying and water area measuring domain. This paper developed a ruler reticle check method using image processing. By reading video sequence of ruler which is pegged in the water, arithmetic based on hough transform and harris corner detection can calculate the tidal level. Water experiment indicates that the method has advanced practicability.

Keywords Hough transform, Harris corner detection, Tidal level, Image processing

潮位测量是海洋测绘中的重要研究内容,目前常用的测量方法主要有遥感法^[1]、GPS 法^[2]等,这些方法均为接触式,需要将价格不菲的设备置于海水中,测量结果易受海水盐度、温度影响^[3]。文献[3]应用 CPLD 可编程逻辑器件和 ARM 微处理器设计了一种非接触海浪潮位测量系统,即利用 CCD 成像系统采集黑白条纹码标尺,通过判读条纹数来换算出潮位。这种方法虽然能够获得潮位数据,但是误差总是与标尺条纹码间距 b 有关。潮位线常处在某一白纹或黑纹内部某一处,因此该方法的误差为 $0 \sim b$,系统精确性和稳定性不够。针对这种情况,本文采用黑白三角条纹码标尺,基于 hough 变换和 harris 检测来计算潮位线的位置,使得误差与条纹码间距无关,而且误差可以忽略不计。实验证明该方法精确度高、稳定性好。

1 标尺图像预处理

结合标尺图像的特点,在使用算法之前需要进行一些预处理的工作。

1.1 中值滤波

中值滤波是当前应用最广泛的空间域非线性滤波技术,由于在运算中并不需要图像的统计特性,因此计算简单。它可以克服线性滤波器所带来的图像细节模糊,而且对滤除脉冲干扰及图像扫描噪声最为有效。基本思想是:对于一幅图像,以图像的每一个像素点为中心产生一个矩形滑动窗口,将

这个窗口内的所有像素按灰度值从小到大的顺序进行排序并计算排序后序列的中值,用以代替窗口中心点像素值。

设有一个一维序列 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 。取窗口长度为 m (m 为奇数),对此序列进行中值滤波,就是从输入序列中相继抽 m 个数, $f_{i-v}, \dots, f_{i-1}, f_i, f_{i+1}, \dots, f_{i+v}$, 其中 i 为窗口的中心位置, $v = \frac{(m-1)}{2}$, 再将这 m 个数按数值大小排列,取其序号为正中间的那个数作为滤波输出 y_i , 其数学表达式为^[4]:

$$y_i = \text{Med}\{f_{i-v}, \dots, f_i, \dots, f_{i+v}\}, i \in Z, v = (m-1)/2$$

对二维序列 $\{X_n\}$ 进行中值滤波时,滤波窗口也是二维的,但这种窗口可以有各种不同的形状,如线性、方形、圆形、十字形、圆环形等。二维数值的中值滤波可以表示为:

$$Y_n = \text{Med}_A\{X_n\}$$

式中, A 为滤波窗口。

与平均滤波器相比,中值滤波器从总体来讲,能够较好地保留原图像的跃变部分。

1.2 灰度均衡

灰度均衡目的是通过点运算使输入图像转换为在每一灰度级上都有相同的像素点数的输出图像。这对在进行图像比较或分割之前将图像转化为一致的格式是十分有益的。

按照图像的概率密度函数的定义:

$$p(x) = \frac{1}{A_0} H(x)$$

到稿日期:2010-04-24 返修日期:2010-07-29 本文受国家自然科学基金(50977090)资助。

张朝亮(1983—),男,博士生,主要研究方向为计算机视觉、视频监控, E-mail: safegad@gmail.com; 江汉红(1960—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为视频监控等; 张 博(1982—),男,讲师,主要研究方向为海洋测绘等; 姜春良(1985—),男,硕士生,主要研究方向为图像目标跟踪、视频监控。

式中, H 为直方图, A_0 为图像的面积。

设转换前图像的概率密度函数为 $p_r(r)$, 转换后图像的概率密度函数为 $p_s(r)$, 转换函数为 $s=f(r)$ 。由概率论知识, 可以得到:

$$p_s(r) = p_r(r) \cdot \frac{dr}{ds}$$

这样, 如果想使转换后图像的概率密度函数为 1, 则必须满足:

$$p_r(r) = \frac{ds}{dr} \quad (1)$$

在式(1)两边对 r 积分, 可得:

$$s = f(r) = \int_0^r p_r(\mu) d\mu = 1/A_0 \int_0^r H(\mu) d\mu$$

灰度均衡的转换公式为:

$$D_B = f(D_A) = \left(\frac{D_{\max}}{A_0} \right) \int_0^{D_A} H(\mu) d\mu$$

式中, $D_{\max}$ 为最大灰度值。

对于离散图像, 转换公式为:

$$D_B = f(D_A) = \frac{D_{\max}}{A_0} \sum_{i=0}^{D_A} H_i \quad (2)$$

式中, H_i 为第 i 级灰度的像素个数。

1.3 轮廓提取与细化

轮廓提取^[5]的算法就是掏空内部点; 如果原图中有一点为黑, 且它的 8 个相邻点都是黑色时(此时该点是内部点), 则将该点删除。相当于形态学中用一个 9 个点的结构元素对原图像进行腐蚀, 再用原图像减去腐蚀图像。

细化能够实现抽取骨架的功能。所谓细化, 就是除去线条上不影响轮廓连通性的像素, 减少冗余的信息量, 把轮廓线减为单像素宽。要求细化后保证曲线的连通性, 保留原图的细节特征, 细化结果是原曲线的中心线。

2 基于 hough 变换和 harris 检测的水位线识别

2.1 hough 变换算法概述

hough 变换的基本思想是点线的对偶性。一方面, 图像空间中中共线的点对应在参数空间里相交的线; 另一方面, 在参数空间中相交于同一个点的所有直线在图像空间里都有共线的点与之对应。因此 hough 变换把在图像空间中的直线检测问题转换到参数空间中对点的检测问题^[6-8], 通过在参数空间里进行简单的累加统计来完成检测任务。

如果参数空间中使用直线方程, 当图像空间直线斜率为无穷大时, 会使累加和变得很大, 从而使计算复杂度过大。为解决这一问题, 采用直线极坐标方程:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (3)$$

根据式(3), 原图像空间中的点对应新参数空间中的一条正弦曲线, 即点-正弦曲线对偶。检测直线的具体过程就是让 θ 取遍可能的值, 然后计算 ρ 的值, 再根据 θ 和 ρ 的值对累加数组累加, 从而得到共线点的个数。下面介绍 θ 和 ρ 取值范围的确定。

设被检测的直线在第一象限, 右上角坐标为 (m, n) , 则第一象限中直线的位置情况如图 1 所示。

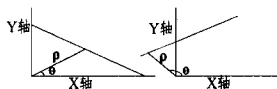


图 1 hough 变换示意

由图 1 可见, 当直线从与 x 轴重合处逆时针旋转时, θ 的值开始由 0° 增大, 直到 180° 。

所以 θ 的取值范围为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。由直线的极坐标方程可知: $\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \sin(\theta + \phi)$, 其中 $\phi = \sin^{-1}(x/\sqrt{x^2 + y^2})$, 所以当且仅当 x 和 y 都达到最大且 $\theta + \phi = \pm 90^\circ$ 时(根据 ϕ 来调整 θ 的值), $|\rho| = |\rho|_{\max} = \sqrt{m^2 + n^2}$, 即 ρ 取值范围为 $-\sqrt{m^2 + n^2} \sim \sqrt{m^2 + n^2}$ 。由 θ, ρ 的取值范围和它们的分辨率就可以确定累加器的大小, 从而检测直线。

2.2 harris 检测原理

harris 算子提取的点特征均匀合理^[9,10], 具有旋转和仿射不变性, 抗噪能力强, 稳定性好。harris 角点检测是将所处理的矩形图像窗口 W 向任意方向移动微小位移 (x, y) , 则其灰度改变量可以定义为:

$$E_{x,y} = \sum_{u,v} w_{u,v} [I_{x+u,y+v} - I_{u,v}]^2$$

$$E_{x,y} = \sum_{u,v} w_{u,v} [x \frac{\partial I}{\partial x} + y \frac{\partial I}{\partial y} + O(x^2, y^2)]^2$$

$$E_{x,y} = Ax^2 + 2Cxy + By^2 = (x, y)M(x, y)^T$$

式中, $w_{u,v} = \exp[-\frac{1}{2}(u^2 + v^2)/\sigma^2]$ 为高斯窗函数, $A = (\frac{\partial I}{\partial x})^2 \otimes$

$$w, B = (\frac{\partial I}{\partial y})^2 \otimes w, C = (\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{\partial I}{\partial y}) \otimes w, M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}.$$

harris 特征点定义为 $Det(M) - kTr^2(M)$ 的局部区域最大值:

$$AB - C^2 - k(A+B)^2 \quad (4)$$

本文对式(4)中的 k 取 0.04。

2.3 识别算法主要步骤

由于采集到的标尺图像包含一些背景噪声, 且对刻度线进行提取时需要建立在标尺图像预处理的基础上, 因此算法首先对图像进行中值滤波、灰度均衡后进行轮廓提取。再使用细化使标尺刻度线减缩为单线宽, 从而有利于直线和角点的检测。算法利用黑白三角条纹图像的特点, 在进行前面的预处理之后, 潮位线位置会形成一个突出的小三角, 利用角点检测能够非常稳定地提取出三角的顶点位置, 再结合 hough 提取三角底边线的结果, 可以精确地判定出潮位。算法的总体流程如图 2 所示。

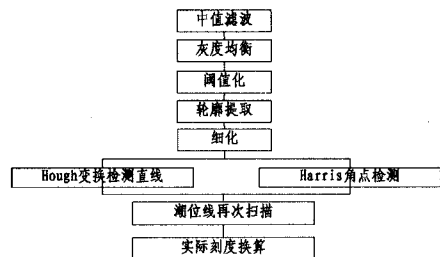


图 2 算法流程

2.3.1 算法具体步骤

- 1) 对标尺图像进行预处理;
- 2) 对细化后的图像分别进行 hough 变换和角点检测;
- 3) 对粗检出来的直线结合角点部位进行再次扫描;
- 4) 进行实际刻度换算。

2.3.2 潮位线再次扫描

- 1) hough 变换能够检测到标尺中三角底边的横刻线 $L_1, L_2, \dots, L_n$;
- 2) 适当调节 harris 检测参数, 得到角点 $c_1, c_2, \dots, c_m$;

3)计算所有 L_n 与 c_m 纵坐标值相同的匹配对: $y_{Li} = y_{cj}$, $i \in n, j \in m$, 其中 y_{Li} 表示第 i 条横刻线 L_i 的纵坐标位置。

4)由于在图像内水线位置上必然能够同时检测出直线与角点,因此处于位置最下方的满足这种情况的匹配对的位置就可以判定为水线位置:

$$y = \max(y_{Li}), i \in n$$

3 实验与分析

图 3 为在某一水域内的潮位线识别实验。图 3(a)为采集到的视频图像的一帧,作为算法的输入图像;图 3(b)为经过本文算法处理后所获得的图像,根据算法计算出来的潮位线值在画面中做出了标记。图 4 和图 5 为算法中间处理步骤的结果。

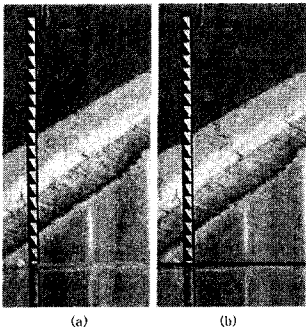


图 3 (a)实验输入图像;(b)输出图像



图 4 (a)中值滤波结果图像;(b)灰度均衡结果图像;(c)阈值化结果图像;(d)轮廓提取图像;(e)细化结果图像

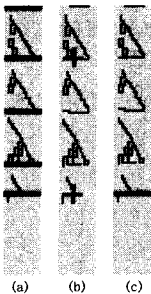


图 5 (a)hough 变换结果图像;(b)harris 检测结果图像;(c)识别结果

算法在预处理阶段的处理结果如图 4 所示。图 4(a)为中值滤波结果,图 4(b)为灰度均衡结果;图 4(c)在(b)的基础上进行阈值化;图 4(d)为轮廓提取图像;图 4(e)为细化之后滤掉了大部分影响进一步识别的图像区域。

图 5 为预处理后的潮位线识别过程结果图。图 5(a)为对图 4(e)进行 hough 变换提取直线,可以看到,标尺中每个三角纹理的底边都可以识别出来。同时在潮位线位置由于常被波浪截断,黑白三角纹理必然被截成一个小三角形,图 5 (b)是对图 4(e)进行 harris 监测这个三角型在图像中间位置

的顶点。然后对图 5(a)和图 5(b)的结果进行综合匹配,就可获得潮位线的精确位置,如图 5(c)所示。

表 1 为进行 harris 检测时参数选择的比较。

表 1 对图 4(e)进行不同参数设置的 harris 检测结果

标准差 δ	非极大值抑制邻域	阈值	角点数目
1	5	3000	5
1	5	5000	4
2	5	3000	4
2	3	5000	3
3	3	3000	2

实验发现,标准差、非极大值抑制邻域和阈值对检测结果的影响是综合性的,需要根据具体的应用条件进行调节。本文采用的标准差为 3,非极大值抑制邻域为 3,阈值为 3000,从多次的检测结果来看其效果比较理想,能够提取出水线区域的角点。

本实验的环境参数如表 2 所列。

表 2 实验环境参数

参数	
输入图像尺寸	300×550
算法计算时间	0.1s
实现语言	C++
实验环境	CPU 2GHz,内存 512M

从计算时间来看,算法能够达到实时采集图像并计算出结果的要求,如果对算法进行优化,还可以进一步提高处理速度。

结束语 在对某水域潮位监测实验进行综合分析的基础上,结合标尺在视频图像中的成像特征,对黑白三角条纹标尺图像设计了一套基于 hough 变换和 harris 检测的潮位检测算法。算法使用中值滤波去除噪声和灰度均衡之后,再使用形态学的细化和轮廓提取技术提取出了标尺的刻度图像,进而利用 hough 变换和 harris 检测精确地计算出刻线和潮位线的位置。同时算法结构清晰,实时性高。

参考文献

[1] 郑宗生,周云轩,蒋雪中,等. 崇明东滩水边线信息提取与潮滩 DEM 的建立[J]. 遥感技术与应用,2007,22(1):35-38

[2] 欧阳水忠,陆秀平,黄漠淘,等. GPS 测高技术在水深测量中的应用[J]. 海洋测绘,2005,25(1):6-9

[3] 蔡怀宇,徐善跃,黄战华,等. 非接触海浪潮位测量系统的设计[J]. 科学技术与工程,2007,7(24):6413-6415

[4] 李弼程,彭天强,彭波,等. 智能图像处理技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004:74-75

[5] Yuen P C, Feng G C, Zhou J P. A Contour Detection Method: Initialization and Contour Model[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20: 141-143

[6] Hough P V C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns[P]. US Patent 3,069,654. Dec. 1962

[7] Wu P S, LiMing. A Novel Hough Transform for Curve Detection[C]// Systems Man and Cybernetics. 1996:2722-2727

[8] Turan J, Filo P. Development parameter estimation using continuous Kernel Hough transform method[C]// 2003 IEEE International Conference on Industrial Technology. 2003:287-292

[9] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector [C]// Fourth Alvey Vision Conference. England, 1988

[10] 李海峰,卢燕飞. Harris 角点检测在彩色图像中的应用[J]. 北京电子科技学院学报,2009,17(2):7-11