

文章编号: 1001-0920(2004)12-1412-04

动态线边缘实时 HOUGH 变换检测及其在测流中的应用

常发亮, 马思乐, 乔谊正

(山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 提出一种基于视觉的实时动态边缘检测方法及其在河道流量实时测量中的应用。首先在图像预处理的基础上, 采用迭代阈值法对河表面图像进行二值化; 然后利用形态学闭运算算子消除非边缘区域, 再采用非对称方法对边缘进行细化处理; 最后利用 HOUGH 变换求取边缘方程, 并依此在子像素分辨率下实时计算水面宽度和流量。实际应用结果表明了该方法的有效性。

关键词: 计算机视觉; 线边缘检测; HOUGH 变换; 流量测量

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Real-time HOUGH transformation detection for dynamic line edge and its application in the flow measurement

CHANG Fa-liang, MA Si-le, QIAO Yi-zheng

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Ji nan 250061, China Correspondent: CHANG Fa-liang, E-mail: flchang@sdu.edu.cn)

Abstract: A vision-based real-time dynamic edge detection method is presented with its application in water flow measurement of river. Based on image preprocessing, the image of the river surface is binarized by using the iterative threshold method. A morphologic closing computation operator is applied to the binary image to remove the small non-edged areas, and a non-symmetry thinning method is used to thin the edge of the riverside image. Then, the HOUGH transformation is used to acquire the edge line function of the dynamic riverside. Therefore, the width of the water surface and the flow of the river can be calculated accurately under subpixel resolution. The application of the method shows its effectiveness.

Key words: computer vision; line edge detection; HOUGH transformation; flow measurement

1 引言

传统的测流方法和手段在江河流量测量中发挥了重大作用, 如非接触式的超声波流量计和测流铅鱼等自动测流方法^[1-3]。但这些方法在有些情况下却不能完成全自动测流。例如当河水含有大量的泥沙, 河底形成淤积, 河底高度动态变化时, 采用常规方法便无法自动测量河水的断面面积。

本文针对河边检测这一具体情况研究了一种实时在线视觉边缘检测方法。将边缘作为视觉图像的

有效特征, 其检测方法有基于阈值分割的边缘检测和基于灰度图像的各种边缘检测算子^[4-6]。本文在图像二值化的基础上, 采用形态学闭运算算子进行二值图像滤波, 去除非边缘小区域, 经细化后得到边缘的象素。然后采用 HOUGH 变换获得水面边缘和标志杆的直线方程表达式, 得到子像素分辨率下的边缘位置, 进而计算水面的宽度和横断面, 并根据流速等参数来实时计算流量。

收稿日期: 2004-02-02; 修回日期: 2004-03-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60104009); 山东省自然科学基金资助项目(Y2001G06)。

作者简介: 常发亮(1965—), 男, 山东寿光人, 教授, 从事模式识别、机器视觉与智能控制等研究; 马思乐(1963—), 男, 山东郓城人, 副教授, 从事计算机控制技术、智能控制等研究。

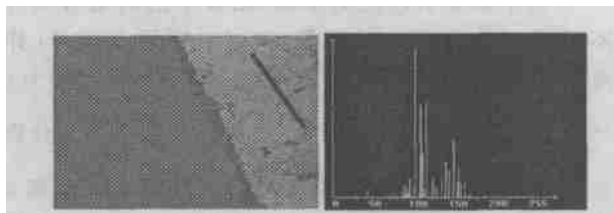
2 图像的二值化与形态算子滤波

本文所研究的对象如图 1(a) 所示, 图中粗黑线表示参照标杆

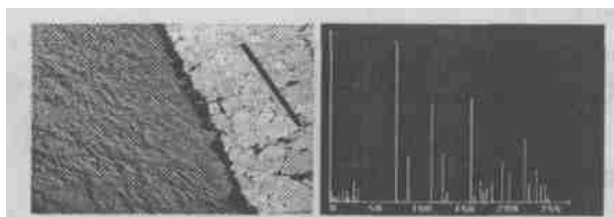
根据对象的灰度特征, 采用迭代阈值法对图像进行二值化, 再对二值化后的图像利用形态学方法进行滤波以及细化处理, 除去非边缘图像, 进而得到动态水面的边缘图像。由于 HOUGH 变换采用参数空间的多数表决原理, 它对杂乱的孤立噪声不敏感, 图像处理后的二值线边缘图像是否连续也不会影响 HOUGH 变换的结果, 例如在小雪、小雨天气下的处理结果仍然较好。鉴于此, 在以下的二值化、形态学滤波和细化处理过程中, 可不考虑处理后的线边缘图像是否连续。这样便简化了图像处理算法, 从而提高了系统运行的快速性和鲁棒性

2.1 图像预处理

为了增加图像的对比度, 可通过构造灰度级变换, 改造图像的直方图, 使变换后图像的直方图达到一定的要求来实现。直方图均衡可使原图像灰度级具有相同的出现频数, 即灰度级具有均匀的概率分布, 具体方法参见文献[4]。变换效果如图 1 所示



(a) 原始图像与灰度直方图



(b) 变换后的图像与灰度直方图

图 1 灰度变换结果

2.2 迭代二值化

本文采用迭代二值化方法, 是因为迭代法既能较好地分割出目标子图像, 又能自动实现^[4]。为便于处理, 二值化时将湿边处理为黑, 堤岸与水均处理为白。本文的实现算法如下:

Step 1: 求出图像中的最小和最大灰度值 Z_l 和 Z_k , 令阈值初值为

$$T_0 = (Z_l + Z_k) / 2 \quad (1)$$

Step 2: 根据阈值 T_k (初始值为 T_0) 将图像分割成目标和背景两部分, 并求出两部分的平均灰度值

Z_0 和 Z_B :

$$Z_0 = \frac{z(i, j) \times N(i, j)}{N(i, j)}_{z(i, j) < T_k}, \quad (2)$$

$$Z_B = \frac{z(i, j) \times N(i, j)}{N(i, j)}_{z(i, j) > T_k}. \quad (3)$$

其中: $z(i, j)$ 是图像上 (i, j) 点的灰度值, $N(i, j)$ 是 (i, j) 点的权重系数, 一般取 $N(i, j) = 1$ 。

Step 3: 求出新的阈值:

$$T_{k+1} = (Z_0 + Z_B) / 2 \quad (4)$$

Step 4: 如果 $T_k = T_{k+1}$, 则结束; 否则 $K = K + 1$, 转 Step 2

二值化后的图像如图 2 所示



图 2 二值化图像

2.3 形态学算子滤波

由图 2 可以看出, 二值化后图像由于受堤岸和波纹杂点的影响, 仍然有很多细小区域。为了去掉这些细小区域, 可将其进行数学形态学处理, 利用闭运算和腐蚀的滤波性质, 对上述二值图像进行滤波处理^[4, 7]。

根据二值化后水边缘图像的特点, 本文选择“十”字型探针算子, 对二值图像首先进行 1 次闭运算, 然后腐蚀 3 次。处理之后图像如图 3 所示



图 3 形态算子滤波图像

2.4 边缘的细化处理

为使 HOUGH 变换结果更真实地反映动态水面边缘的位置, 对图 3 所示的滤波图像进行细化处理。一般细化算法的结果都接近于图像的中轴线。对比图 1(a) 的灰度图像, 图 3 中的边缘是由于动态水

边缘的波动引起的河坝湿边, 实际水边缘的位置应更靠近图 3 中的左边缘 根据这一特点, 本文采用非对称的细化方法, 即更多地去掉右边缘的图像点, 比例按照 2: 1. 细化结果如图 4 所示



图 4 细化后的图像

3 HOUGH 变换线边缘提取与河道流量计算

3.1 HOUGH 变换线边缘提取

HOUGH 变换采用的是表决原理的参数估计技术 它将图像空间中值为 1 的像素点映射到参数空间, 赢得多数表决的参数点的参数就决定了最佳拟合直线^[4]. 设

line 1: $y = a_1x + b_1$ 为标志杆直线方程,

line 2: $y = a_2x + b_2$ 为水面边缘直线方程

为避免垂直直线带来的数学问题, 在实际编程时采用极坐标表示形式, 即

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta$$

HOUGH 变换算法如下:

- 1) 量化参数空间: 横坐标 $0 \sim 640$ 对应 $0 \sim 180^\circ$; 纵坐标 $0 \sim 427$ 对应 $0 \sim 769$;
- 2) 将参数空间看成一个累加器阵列, 并初始化为零;
- 3) 对图像空间中的每一点 (x, y) , 在其所满足的参数方程对应的参数空间累加器上加 1;
- 4) 取参数空间中累加器阵列的两个最大值作为两条直线模型的参数

图 4 的极坐标参数空间映射如图 5 所示, HOUGH 变换结果如图 6 所示 可以看到, 参数空间中出现两个峰值 (多数表决点) $(121, 339, 126)$ 和 $(85, 248, 93)$. 其中, 第 1 个参数表示通过该点的极

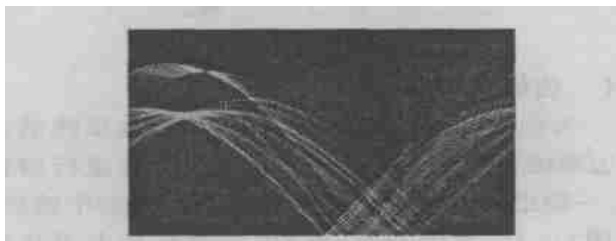


图 5 参数空间映射灰度图

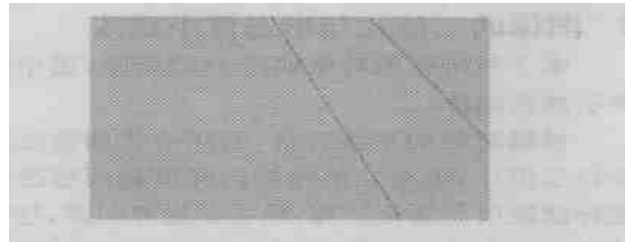


图 6 HOUGH 变换结果

坐标曲线的数量, 即两个峰值点的累加器值; 第 2 个参数表示该点的极坐标幅值; 第 3 个参数表示该点的极坐标幅角 于是可得 line 1 和 line 2 两条直线的参数空间极坐标参数为 $(339, 126)$ 和 $(248, 93)$, 根据参数空间的量化过程, 得到

$$\rho_1 = 339 \times 427 \div 769 = 188.235,$$

$$\theta_1 = 126 \times 180 \div 640 = 35.438;$$

$$\rho_2 = 248 \times 427 \div 769 = 137.706,$$

$$\theta_2 = 93 \times 180 \div 640 = 26.156$$

由极坐标方程变换成直角坐标直线方程如下:

$$\text{line 1: } y = -1.405x + 324.6,$$

$$\text{line 2: } y = -2.036x + 312.4$$

由于摄象机视距的原因, 图 6 中的两条直线并不平行 为达到折中的效果, 通过坐标原点 $(0, 0)$ 作垂直于拟合直线 (line 1) 的直线 (line 3), 其方程为 $y = -\frac{1}{a_1}x = 0.7117x$. line 3 与 line 1 和 line 2 分别交于点 A 和点 B, 可求出 A 与 B 之间的坐标距离 $d = 48.67$. 将该距离换算成子像素分辨率下的像素距离 D , 即

$$D = k_1 \times d, \quad (5)$$

式中 k_1 为图像中像素间隔与坐标数值的换算系数

由像素距离 D 可求出实际水面边缘与标杆的物理距离为

$$PD = k_2 \times D, \quad (6)$$

式中 k_2 为图像中像素间隔与实际物理坐标的换算系数

3.2 河道流量计算

前面已经提到, 由于河底淤积高度的不断变化, 无法用常规方法计算端面流量 如果已经测得当前的水面高度 h 和流速 v (采用其他方法检测), 河道侧面倾角 α 和标杆处的宽度 w 已知, 现又测得 PD , 如图 7 所示, 则水面位置的宽度为

$$x = w - 2PD \sin \alpha \quad (7)$$

河道当前的实际流量计算如下:

$$\text{Flow} = \frac{1}{2} [x + (x - 2htg\alpha)] hv =$$

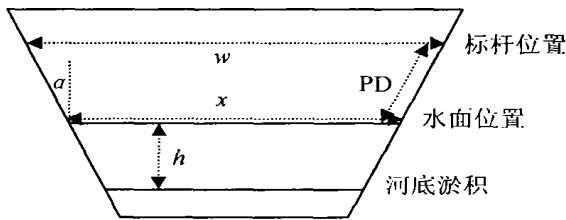


图 7 河道断面示意

$$(x - h \tan \alpha) h v. \quad (8)$$

对于动态河面图像, 在某一时刻测得的图像如图 1(a) 所示, 已知参数 $k_1 = 1, k_2 = 4 \text{ mm}, \alpha = 25.8 \text{ deg}, w = 8000 \text{ mm}, h = 312 \text{ mm}, v = 4.2 \text{ m/s}$ 将这些参数代入式(7)和式(8), 得到流量值为 $\text{Flow} = 10.06 \text{ m}^3/\text{s}$

4 结 语

本文以动态河面为研究对象, 采用视觉分析方法在子像素分辨率下计算水面宽度和流量。因 Hough 变换采用参数空间的多数表决原理, 它对杂乱的孤立噪声不敏感, 故该方法非常适合于自动化处理, 比其他方法具有更好的快速实时性、精确性和鲁棒性。实际应用表明, 采用该方法自动测得的流量数值与人工测得的数值相比, 误差小于 0.8%, 在 PIV 8G, 128M 的计算机上检测一次的运行时间小于 2 s, 达到了满意的效果。

参考文献 (References):

- [1] 戴建国. 水文缆道信号传输的研究[J]. 水文, 2001, 21(4): 22-25
(Dai J G. Study on signal transmission of hydrological cableway [J]. *Hydrology*, 2001, 21(4): 22-25.)
- [2] 李智杰, 汤运南. 椭圆型线型铅鱼及其标准化、系列化研究[J]. 水文, 2001, 24(1): 25-28
(Li Z J, Tang Y N. Research on the torpedo sinker of ellipse-like body of stream line and its standardization and systematization [J]. *Hydrology*, 2001, 24(1): 25-28.)
- [3] 梅方华. 渠道中涨落水时的测流分析[J]. 中国农村水利水电, 2003, (2): 33-35
(Mei F H. Flow measurement analysis of water-up and water-down in canal [J]. *China Countryside Water Resources and Hydropower*, 2003, (2): 33-35.)
- [4] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 53-76
- [5] Hou Z J, Wei G W. A new approach to edge detection [J]. *Pattern Recognition*, 2002, 35(7): 1559-1571.
- [6] Zhang J G, Tan T N. Brief review of invariant texture analysis methods [J]. *Pattern Recognition*, 2003, 36(3): 657-664.
- [7] Cheng Y T. Detecting line segments in an image — A new implementation for Hough Transform [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2001, 22(4): 421-429.

第 24 届中国控制会议征文通知

中国控制会议是由中国自动化学会控制理论专业委员会组织召开的国际性学术会议, 每年举办一次。第 24 届中国控制会议定于 2005 年 7 月 15 日~ 18 日在广州举行。

征文范围

S1 系统理论与控制理论; S2 非线性系统; S3 复杂性与复杂系统理论; S4 建模、辨识与估计; S5 优化控制与优化方法; S6 鲁棒控制与 H_∞ 控制; S7 学习控制; S8 稳定性与镇定; S9 自适应控制; S10 变结构控制; S11 分布参数系统; S12 混合系统与 DEDS; S13 大系统理论与方法; S14 神经网络与控制; S15 模糊系统与控制; S16 故障诊断; S17 CMS 与制造系统; S18 仿真与控制系统 CAD; S19 智能信息处理系统; S20 遗传算法与智能计算; ...; S30

征文要求

1. 首页: 论文所属方向(选自征文范围)、论文题目、摘要、3~5 个关键词, 联系人的姓名、职称、地址、邮编、电话、E-mail
2. 论文题目、摘要、关键词、正文(中、英文均可)。
3. 投稿请以 word 文档或 PDF 文档通过 E-mail 附件形式发至 ccc05@scut.edu.cn; 也可直接邮寄至组织委员会秘书处, 论文需一式 2 份。

论文截止日期: 2005 年 3 月 31 日 录用通知日期: 2005 年 4 月 20 日前 最终论文截止日期: 2005 年 5 月 20 日

投稿地址: 组织委员会秘书处 胡跃明 510640, 广州市五山华南理工大学自动化科学与工程学院

电话/传真: +86-20-87111804, 87113187 E-mail: ccc05@scut.edu.cn

详细内容见中国控制会议网址: <http://ccc.iss.ac.cn>