

基于视频的河流表面流速测验方法分析

叶永清¹, 潘伟军²

(1.浙江天禹信息科技有限公司, 浙江 杭州 310000; 2.浙江省水利科技推广服务中心, 浙江 杭州 310000)

摘要:传统的河水流速视频测量需要投掷浮标, 存在效率低下等问题, 为优化基于视频的河流表面流速测验, 本文以河水流动时表面波浪运动为切入点, 由此拍摄高清河水流动视频, 即可通过帧差法计算运动显著性图。通过提取显著性图的相邻 2 帧 SURF 特征点, 求得两帧图像间的运动距离, 研究最终结合小孔成像原理和帧间时间完成了河水表面流速计算, 这一研究能够为复杂水面和高速水流估计提供支持。

关键词:视频; 河流表面流速; 帧差; SURF 特征

中图分类号: P332

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2021)08-0075-02

0 前言

通过对河水表面纹理细节变化的观察, 经验丰富的水文工作者可由此粗略估计河水流速。在水文监测工作中, 流速测量属于基础性工作, 流速仪测量法、声学多普勒效应测量法、微波多普勒测速法均属于常用测量方法。为实现河流表面流速的远程自动测量, 基于视频的流速测量方法近年来开始引起业界重视, 流速的不间断实时监测可由此实现。

1 测量原理

围绕摄像机模型进行研究可以发现, 最常用的模型当属小孔成像, 景物基于该模型可通过光轴中心(摄像机)向成像平面投射。在模型(三参数)应用中, 景物点 X, Y, Z 能够转化为 x, y 成像点, 通过在成像平面的投影, 可最终转换为 (p_x, p_y) , 即图像点, 由此可得到:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & p_{x0} \\ 0 & k_1 & p_{y0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X/Z \\ Y/Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $k_1=af$, 其中的 f, a 分别为焦距(摄像机)、放大系数(成像平面到图像平面)。

成像平面光轴中心交点的图像坐标为 (p_{x0}, p_{y0}) , 通过摄像机标定即可获得式(1)中的参数。结合小孔成像原理进行分析可以发现, 垂直于光轴景物平面的景物点, 且景物平面从 $Q_1(X_1, Y_1, Z)$ 运动到 $Q_2(X_2, Y_2, Z)$ 时, 图像平面上对应点 $q_1(p_{x1}, p_{y1})$ 运动到 $q_2(p_{x2}, p_{y2})$, 关系满足:

$$\begin{aligned} \Delta p_x &= k_1 \Delta X / Z \\ \Delta p_y &= k_1 \Delta Y / Z \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\Delta p_x = p_{x2} - p_{x1}$, $\Delta p_y = p_{y2} - p_{y1}$, $\Delta X = X_2 - X_1$, $\Delta Y = Y_2 - Y_1$ 。

由此开展分析可以发现, 图像平面点的运动速度 v 与景物点速度 V 存在正比关系, 其中 v 可以表示为:

$$v = [\Delta p_x / \Delta t, \Delta p_y / \Delta t] \quad (3)$$

V 可以表示为:

$$V = [\Delta X / \Delta t, \Delta Y / \Delta t]^T \quad (4)$$

式中: Δt 代表景物点从 $Q_1(X_1, Y_1, Z)$ 运动到 $Q_2(X_2, Y_2, Z)$ 的时间。

在河流表面流速测验实践中, 需垂直于水面设置摄像机镜头, 此时的水面近似于平面, 针对性测量可围绕视频中的流水特征点开展, 由此对运动速度开展测量, 同时结合参数 k_1 及摄像机与水面的距离 Z , 即可满足测验需要^[1]。

2 基于视频的河流表面流速测验方法

为深入开展研究, 本节将围绕流程分析、运动帧差图、提取与匹配运动特征点、表面流速的估计开展深入探讨, 以此直观展示方法的具体应用。

2.1 流程分析

结合过往研究进行分析可以发现, 基于模板匹配方法的流速估计相对成熟, 这一基于视频的河流表面流速测验方法需要提取大小合适的区域, 以此通过前一帧图像得到模板, 模板匹配可由此在后一帧图像上开展。但深入分析可以发现, 该方法匹配上的区域数量和提取的模板数量均较少, 在流速较高、存在较大水面波动时, 流速估计的方差和偏差较大, 无法满足实际需要。基于相关研究的缺陷, 本文对图像局部特征点进行提取和匹配, 更多数量特征点可在不同流速视频上顺利获取, 更多数量的匹配点也能更好地服务于河流表面流速测验, 同时研究未选择特征点运动距离的平均值进行流速计算, 而是选择特征点运动距离的众数, 基于视频的河流表面流速测验结果可靠性可进一步提升, 具体的方法流程为: 表面图像运动显著性图计算→运动显著性图的特征点计算→前后两帧特征点匹配→每对匹配点的速度和位移计算→平均速度求取。

2.2 运动帧差图

在对行人和车辆进行运动检测时, 背景和运动目标差异明

显,这是由于作为背景的建筑和路面静止不动,同时与运动目标在形状、颜色方面差异明显。但对于河流表面来说,作为整体的水面处于一起运动状态,水面完全清澈且平静状态下水的运动在视觉上基本无法察觉,只有水流运动不稳定且一定含沙量的情况下,波浪才会形成,此时水面对光照产生的反射差异使水的流动能够通过视觉感知,流速判断方可获得依据。周围均匀水面与波浪属于同一物质,这就使高清摄像机拍摄图像在很多时候也无法有效分辨二者差异,基于视频的河流表面流速测验天然存在较高难度,运动特征点的检测无法顺利开展,仅能找到很稀疏的运动特征点,数量过少的特征点匹配会导致运动速度无法鲁棒估计。为解决相关问题,本文研究围绕连续2帧图像因波浪运动引发的差异放大运动区域开展,以此得到运动帧差图。设 I_t 为视频当前帧, I_{t-1} 为视频前一帧,运动帧差图在 t 时刻为:

$$Mt = \begin{cases} k_2 \cdot |I_t - I_{t-1}|, & |I_t - I_{t-1}| \geq t_1 \\ k_3 \cdot |I_t - I_{t-1}|, & |I_t - I_{t-1}| < t_1 \end{cases} \quad (5)$$

式中: t_1 -预设阈值; k_2, k_3 -预设系数,设置 >1 的 k_2 ,即可提供较大的运动显著区域像素系数,运动部位可有效突出。相减2帧图像,均匀水面由于运动无法由视觉感知,因此存在接近于0的对应值,而由于运动波浪能够通过视觉感知,基于位置不同的连续2帧图像,存在较大的对应值,更多数量特征点的后续鲁棒提取可依托这种差异顺利实现,运动的波浪部分可有效凸显^[2]。

2.3 提取与匹配运动特征点

为顺利开展流速测验,需优选机器视觉局部特征描述算子,对比同类研究和相关实践,本文选择了能够较好描述周围空间特征的周围空间特征,基于该算子进行分析可以发现,依托特征向量这一表述特征,以及对图像的各类变换能够实现不变性保持的特点,其在河流运动所产生波纹的描述中有着出色表现,同时在计算速度方面表现出色。本文研究中运动显著性图特征点的运动特征表示选择SURF特征描述算子。在具体计算中,图像特征点需基于Hessian矩阵获取,通过针对性建设尺度空间,即可随之定位特征点,辅以Harr小波,可随之完成特征点描述子的提取工作。为比较运动距离,需以匹配特征点的相邻2帧入手,以此满足流速的估计需要。考虑到流水表面具备的不稳定特性,这种特性带来的影响必须得到重视,这种情况下特征点很容易消失,这种流水表面特性无法开展长期跟踪,因此需关注显著性图上的各帧运动,通过分别提取特征点,即可针对性实现SURF特征计算,为保证匹配的可靠性,运动的空间约束需同时得到考虑,对于速度一般情况下不快的流水来说,有限时间内图像中的特征点运动位移较为有限,因此可预先设定空间约束条件,以此将错误匹配的部分点删除,将2匹配点的坐标距离记为: $d_{ij} = |m_i - m_j|$,空间约束条件为: $t_2 \leq d_{ij} \leq t_3$,预设的阈值为 t_2, t_3 ,本文将二者分别设置于5像素、100像素,部分误匹配点可顺利滤去,正确匹配点基本不会丢掉。此外,河面中的漂浮物近似为刚体,其在运动跟踪时发挥的示踪子作用也需要得到重视,其运动形态检测更便利。

2.4 表面流速的估计

围绕找到的多对运动匹配点进行分析可以发现,存在并不相同的运动距离,这说明存在速度不同的各点,河面各点运动在摄像机视场内并不一致。进一步分析可以发现,视场中找到的匹配

点存在不均匀分布,因此整个视场流速能否由找到的匹配点代表并不确定。如能够在1张图上累积绘制多帧图像上的匹配点,则能够发现存在基本均匀分布的视场中匹配点,为由此得到可靠流速,本文研究不进行2帧间单个特征点的速度计算,而是对河面一段时间视场内的平均流速开展最优估计。基于上文提出的方法,取100帧运动显著性图及相邻的所有2帧上匹配特征点,针对性估计最优运动距离,即可得到:

$$v^* = d^* / \Delta t \quad (6)$$

式中: d^* -最优运动距离,2帧间隔时间为 Δt ,由于视频为25帧/s拍摄,因此 Δt 取0.04s。为得到 d^* ,需做好直方图统计工作,这一工作中的横轴选择运动距离的点对数,其中的纵轴则选择距离范围的点对数,开展针对性的统计分析可以发现,特征点运动距离密集分布于一定范围中的一定时间内,此时存在近乎正态分布的直方图,该直方图具备单峰分布特性,由此选择峰值处横坐标的具体距离即可有效估计运动距离,距离的众数属于这一估计过程中的依据。进一步分析可以发现,单峰性直方图在研究中最常见,但同时存在其他情况的直方图,如相邻双峰,这同样需要得到重视。受坐标横轴统计的影响,由于存在间隔精度,峰值处准确定位基于单峰直方图也无法顺利实现,选择曲线拟合方式,在直方图计算完成后,拟合选择高斯曲线进行,即:

$$g(d) = A_e \cdot \exp\left(-\frac{(d-d_e)^2}{\sigma^2}\right) \quad (7)$$

运动距离最优估计 d^* 可通过曲线拟合获得,式(7)中的 $A, \sigma, d_e, g(d)$ 分别为高度、标准差、运动距离(匹配特征点)、拟合高斯曲线(直方图),之后在式(6)中带入,特征点平均运动速度即可顺利通过计算得出,即图像上流速估计值,随后结合摄像机参数和式(2),实际流速计算将顺利完成。对属于相对位移的运动距离来说,本文在基于视频的河流表面流速测验研究中不考虑运动方向,因此可最终简化河流表面流速测验公式为:

$$V^* = Zv^* / k_1 \quad (8)$$

其中: Z -水面和摄像机的距离, $k_1 = af$,由此即可满足具体的测验需要,本文研究的河流表面流速测验方法具备较高实用性。

3 结论

综上所述,基于视频的河流表面流速测验存在较高现实意义。在研究中,本文涉及的流程分析、运动帧差图、提取与匹配运动特征点、表面流速的估计等内容,则直观展示了具备较高可行性的测验路径。为更好开展基于视频的河流表面流速测验,噪声影响的控制、不稳定水面上耀斑的应对、水面漩涡影响的处理同样需要得到重视。

参考文献

- [1] 王万良,杨胜兰,赵燕伟.基于条件边界平衡生成对抗网络的河流表面流速估测[J].浙江大学学报:工学版,2019,53(11):2118-2128.
- [2] 唐璐.基于表面流数据的河流剖面流速分析与显示系统设计[D].桂林:广西师范大学,2018.

收稿日期:2021-01-16

作者简介:叶永清(1980—),男,汉族,浙江建德人,高级工程师,本科,主要从事水文水资源遥测技术研究开发、水文信息系统设计开发等工作。