

影响激光图像挠度测量方法稳定性的因素及应对策略研究

蓝章礼

(重庆交通大学计算机与信息学院 重庆 400074)

摘要 本文对激光图像挠度测量方法中影响系统稳定性的因素进行研究,指出影响系统稳定性的真正原因,提出了一系列处理激光光斑图像的应对方法,有效地消除了自然光线、散射光线和衍射光线对系统的干扰,得到了较为理想的结果。

关键词 挠度,激光图像,稳定性,策略

Study on Stability Factors of Laser & Image Deflection Method and Solve Strategy

LAN Zhang-Li

(Computer and Information Collage, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract This paper addresses stability factors of images in laser & image deflection measurement. We point out real reasons to affect system stability, derive a series method to preprocess image of laser spot. Those methods remove natural light, scattering light and diffracted ray effectively, and an ideal result is obtained.

Keywords Deflecting, Laser & Image, Stability, Strategy

1 引言

挠度和位移作为桥梁结构的一个重要参数^[1],能够直接反映桥梁结构变形是否超出危险范围,是评价桥梁安全状况的重要依据。

基于视频采集的二维激光挠度/位移测量方法^[2]和激光图像挠度测量方法^[3]利用计算机连续、在线、自动处理的优点,能够满足高精度、大量程、实时、在线、自动测量,是新型的挠度/位移测量方法,但在系统的开发和实验中,我们发觉系统在有光干扰时,系统稳定性差,测试数据不稳定。为此,对影响视频采集的二维激光挠度/位移测量系统的因素进行了分析,深入研究信号预处理方法,找到了相应策略,基本解决了系统稳定性的问题。

2 挠度/位移测量系统的测量原理

2.1 系统组成

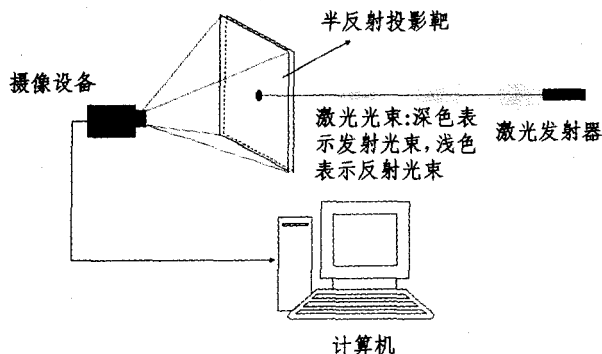


图1 系统原理图

系统由激光发射器、半反射投影靶、摄像设备和配置视频

采集系统并预装相应的软件计算机组成,该系统的核心是安装在计算机中对图像进行处理的软件,这些软件涉及的算法的选择决定着系统的准确性与稳定性。系统原理如图1所示。

安装时将摄像设备置于半反射投影靶后并通过电路与计算机的视频采集系统相连接;激光发射器固定于待测点,根据半反射投影靶的反射光束调整激光发射方向对准投影靶,使其与投影靶良好垂直。

2.2 测量原理

测量时,置于被测点的激光发射器发出激光投射到距离较远且置于固定点的半反射投影靶上。当待测点发生位移和振动时,激光发射器随之发生同样的位移和振动,由激光发射器发射的激光信号投射到半反射投影靶上所形成的光斑也将随之成比例地发生位移和振动,摄像设备摄取投影靶上的光斑信号并将信号通过计算机接口传入计算机;计算机软件系统对采集到的光信号进行光斑位置的运算,并与预先设定的零位移点进行比较,计算出相对零点的位移大小,并加以处理和存储。

3 系统信号不稳定的原因

在激光信号经过较远距离的传输到达投影靶的过程中,一些学者认为信号不稳定的因素主要来自于大气湍流^[4],但经研究,本文认为激光光斑信号的不稳定性受到以下几个方面的影响。

首先,由于激光自身因素造成的不稳定,一是激光存在衍射和散射,在投影靶上所形成的图像将不再是一个光点,而存在一些衍射条纹和散射弱光,且光斑往往不规则。这些衍射和散射光线亮度较弱,容易受到干扰,特别是用求重心的方法运算光斑的移动时,这些弱光抗干扰的能力特别弱;二是激光器不可能保证任何时刻发出的光完全稳定不变,而总存在随

机的闪烁,虽然这种闪烁的幅度很小,但仍会影响激光的稳定性。

其次,摄像系统也存在不稳定的因素。用同一台摄像机对同一个画面进行两次拍摄,得到的图像总是存在细微的差别,这种差别也将对系统的稳定性造成不良后果。

第三,由于测量现场往往不能保证全黑,自然光线经常会照射到投影靶上,形成对激光信号的干扰。在对系统的光斑信号进行运算时,目前通常将采集到的图像处理为灰度图像,然后进行光斑重心的运算,通过重心的改变得出激光光斑的移动^[3]。这在一定程度上无法提高系统的稳定性,当有光线干扰时激光光斑的亮度会改变,假设干扰光来自右侧,则光斑右侧的亮度会比左侧增加得多,因此光斑的重心会右移,影响运算的结果,其它方向类似。

第四,光线在传输过程中可能会遇到个别尘埃、水汽、小飞虫等小物体,加之光斑本身的因素,会导致光斑随机出现局部耀点或暗点。这些干扰的出现将影响投影靶的亮度、光斑与非光斑区域的对比度、产生额外的耀点和暗点,从而影响采集和运算的精确度。

第五,大气湍流与大气扰动。当大气流动或密度不均匀时,光线在其中通过时会产生折射,导致光斑的移动与激光器所处位置移动的不一致。

经以上几个环节的干扰后,激光图像变得不规则、不理想,而且一些因素还会随机出现,如干扰光线、耀点与暗点等。最终形成的图像如图 2 所示。

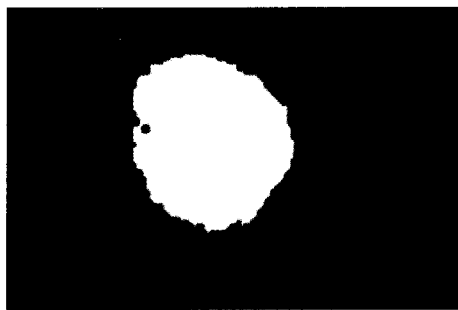


图 2 处理前的激光光斑图像

3 应对策略

针对采集信号的过程中可能遇到的不利影响,通过滤波、图像预调整、设定识别颜色、设定视频采集阈值、转换为二值图像和滤波来分别处理干扰光线、衍射光和散射弱光,并进行耀点和暗点的消除,使采集到的激光光斑图像更加规则并基本保持稳定,从而提高光斑重心或中心的运算准确度。

3.1 滤波与图像预调整

首先,将投影靶背面涂成蓝绿色,自然光线到达后相应的变为蓝绿色。然后对采集到的图像信号通过软件进行亮度、对比度、白平衡和饱和度的调整。通过白平衡的调整,使图像本身色彩偏冷,自然白光呈现蓝绿色;通过亮度和对比度的调整,使光斑图像清晰、色差明显;通过饱和度的调整,使图像颜色饱和。经处理后,图像效果更有利于后期的识别和处理。

在这个过程中,由于采用的激光是 650nm 的纯净红色光,且激光光线亮度极高,穿透力很强,因此经过滤波和预调整后,仍然呈现红色,与其它光线的区别更为明显。

3.2 颜色识别

由于系统采用的激光器发出的激光为 650nm 的纯净红

色激光,在其 RGB 值当中,R 值很高,而 G、B 值较低,R 值与 GB 值的差异很大,RGB 值的方差大。而干扰光线来自于自然光,正常情况下比较接近于白光,色彩与纯净的红色激光颜色差异很大,不管其光线强弱,其 RGB 值都比较接近,RGB 值的方差小,同时由于对图像信号进行滤波和预调整后,已经使图像偏冷,自然白光已呈现蓝绿色,R 不可能大于 G、B 值。为此,在视频采集时,首先设定合适的 RGB 差值,然后对采集到的图像信号中的每个点进行 RGB 识别并对 RGB 值的方差进行运算,其中 R 值大于 G、B 值且方差大于设定值的点方可确认为是红点,确认其为激光发射器产生的激光,而其它点不符合红色激光点的特征,可认为是干扰光线,予以滤除。

3.3 阈值判定

在如图 2 所示的光斑图片中,衍射条纹、散射的弱光和自然光线总体亮度都低于光斑中心规则部分的亮度,要消除衍射条纹、散射弱光和干扰光线,需滤除亮度较弱的部分。因此在采集光斑信号时,预先设定合适的视频采集亮度阈值(threshold),然后对投影靶上的每个点的亮度进行识别,通过识别,只选取亮度值大于设定阈值的光点,而对亮度值小于设定值的点可认为是衍射、散射弱光或干扰光线,予以滤除。

颜色识别和阈值判定可同时进行,即在预处理时只对亮度值大于设定阈值的红色点进行标记,而对颜色和亮度值不符合设定特征的点不予采用。通过颜色识别和阈值判定来滤除干扰光、衍射光和散射弱光后,计算机采集到的光斑基本只保留原光斑的中心较亮的红色部分和个别亮点,总体形状已比较规则,经处理并转换为二值图像的结果如图 3 所示。

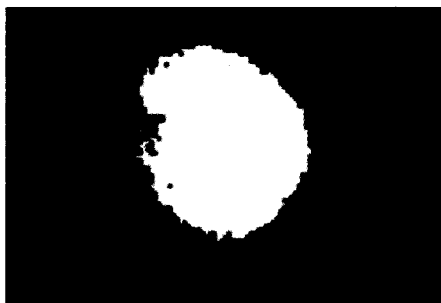


图 3 经颜色识别和阈值判定后的二值图像

3.4 滤波

激光经过一段距离的传输后所形成的光斑在理想条件下应该是亮度比较均匀、过渡比较平滑的,但由于空气中的尘埃、水汽等的影响和激光、摄像系统自身的因素,可能在光斑中形成个别耀点(斑)和暗点(斑),如图 3 中就有一些耀点和暗点,这些由于干扰而随机形成的耀点和暗点将导致运算结果不稳定,因此也应该消除这些点(斑)的影响。

我们采用 Opening 算法消除光斑外部的噪声点(包括一次 Erosion 操作和一次 Dilation 操作),然后再额外进行一次 Dilation 操作去除光斑中的暗点。在具体的操作中,我们选用 3×3 的白色方块结构元 S (Structuring element S) 作为遮罩 (Mask),而图像本身作为一个二值图像 B (Binary image B) 进行一次 Erosion 运算和两次 Dilation 运算,即按照 $B \circ S = (B \circ S) \oplus S$ 进行运算后再进行一次 $B \oplus S$ 运算。

Erosion ($B \circ S$) 操作时,我们选用 3×3 的 Mask,即只有当一个点及其周围与之相邻的 8 个点均为亮点时,才将这个点标识为亮点,否则去除该点。因此,经 Erosion 处理后,所有小于 3×3 的小亮点均被消除,但同时光斑中的小暗点扩大。

结果图 B' 如图 4 所示。

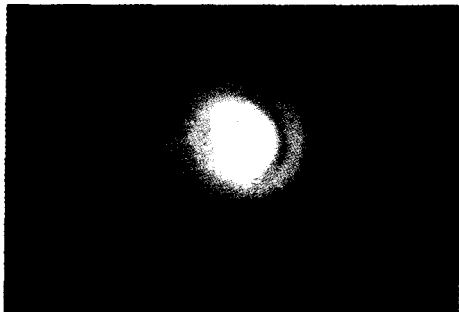


图 4 经 Erosion 运算后的图像

Dilation($B' \oplus S$)操作时,同样选用 3×3 的 Mask,即只要当一个点为亮点时,其周围 8 个点均标识为亮点。将用 Erosion 处理后的图像经一次 Dilation 处理后,处于光斑中并在 Erosion 操作中扩大的暗点得以缩小,经第二次 Dilation 处理后,光斑中的小暗点和边缘不平滑处被消除。结果如图 5 所示。

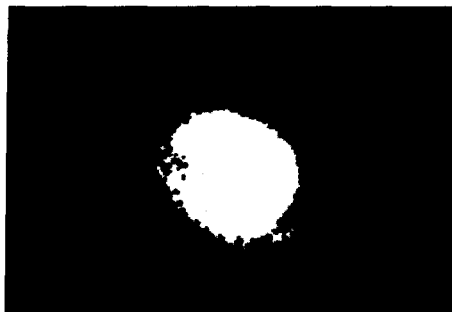


图 5 完成 Opening+Dilation 运算后的图像

在经过图像预处理、颜色识别、阈值判定、滤波并转换为二值图像后,光斑上的随机噪声被消除或基本被消除,当有干扰光线达到时,由于干扰光线已被变为蓝绿色予以滤除,且光斑图像本身的形状没有改变,在经变化为二值图像后,形成的光斑图像基本不变,系统的抗干扰能力明显增强,信号光斑比较规则,光斑边缘比较光滑而清晰,有利于图像中心的准确运算和稳定。

4 实验验证

为验证上述处理方法的效果,使用同一系统和相同的测量基准,分别对有无使用策略的系统进行运算和测试,并进行比较。

4.1 重心、中心的运算与测量基准标定

对未经过上述方法处理的光斑信号,先将其处理为具有 256 级的灰度图像,然后采用重心法^[5]来求出激光光斑重心,根据重心的变化确定光斑的位移大小。假设采集图像的大小为 $X \times Y$ Pixels,并设 $B[i, j]$ 代表第 i 行第 j 列的像素灰度值,则重心计算公式为:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y B[i, j] \cdot i}{\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y B[i, j]} \text{ pixels}$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y B[i, j] \cdot j}{\sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y B[i, j]} \text{ pixels}$$

对经过预处理光斑信号,由于预先已滤除各种干扰光线并处理为二值图像,因此可以认为图像中光斑为全白,而除光斑之外的地方为全黑,将白色点标记为“1”,而黑色点标记为“0”。假设采集图像的大小仍为 $X \times Y$ Pixels,且采集到的光斑在竖直方向上处于 $\min Y$ 与 $\max Y$ 之间,水平方向上处于 $\min X$ 与 $\max X$ 之间。则只需算出光斑的中心,利用中心的变化即可算出光斑的位移。用 $|i|$ 表示 X 方向标记有亮点的列数, $|j|$ 表示 Y 方向标记有亮点的行数,则具体公式如为:

$$X = \frac{\sum_{i=\min X}^{\max X} i}{|i|} \text{ pixels}$$

$$Y = \frac{\sum_{j=\min Y}^{\max Y} j}{|j|} \text{ pixels}$$

基准标定时,根据测量范围和图像的实际大小确定每个像素代表的实际长度值即可,两种方法采用同样的标定方法和比例。具体方法不详述。

4.2 实验设置及相应结果

验证该系统策略的效率和性能,在有光环境和人为干扰光线下对系统进行了实验。

在实验过程中,系统置于室内无风处,故意调整激光器,使光斑有明显的散射和不规则,不定时地将室内灯光打开和关闭,偶尔用白色发光二极管手电筒直射激光光斑。结果表明,在没有使用前文所述的策略时,在光线变化时测量数据不稳定,特别是用手电筒照射投影靶时,数据完全不正确。而采用了上述策略的实验中,当光线增强时,特别是用手电筒照射光斑时,采集到的光斑图像整体面积变大,但中心位置基本不变,测量的数据基本稳定,能够达到测量的要求。

结论与展望 本文采用的策略和方法,能够有效地消除干扰与一些不稳定因素,达到了增强二维激光图像挠度/位移测量系统稳定性的目的,具有很高的应用价值。

在实验中,我们认为激光光线在发射的路程中,光线基本处于同一水平面,大气密度基本一致,且进行深入系统的研究需要较高的实验条件,因此没有对大气湍流和大气扰动的干扰进行深入系统的研究和解决。这有待我们进一步进行研究和改进。

参考文献

- 1 Vurpillot S, Inaudi D, Scano A. Mathematical model for the determination of the vertical displacement from internal horizontal measurements of a bridge. Smart Structure and Materials SPIE, 1996, 2719:46~53
- 2 张奔牛,蓝章礼,周志祥,位移/挠度检测和监测装置及方法.发明专利申请公开说明书,200510057473.6
- 3 董辉,陈伟民,符欲梅,等.一种激光图像挠度测量方法.传感器技术,2004(10):63~68
- 4 董辉,陈伟民,符欲梅,等.激光图像挠度测量系统稳定性实验研究.激光杂志,2004,25(5):25~26
- 5 陈鸿强.用面阵 CCD 模拟测定星光漂移的方案研究.光学技术,2000,26(5):454~456