
剪切散斑干涉：频谱混叠相位提取

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23055.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

剪切散斑干涉：频谱混叠相位提取。

剪切散斑干涉(shearography)是在电子散斑干涉(ESPI)的基础上提出的一种高精度光学干涉技术，其通过检测物体在载荷下由于内部缺陷或者变形产生的表面应力集中现象，从而实现物体的无损检测。由于不需要额外引入参考光，剪切散斑干涉具备常规干涉技术所欠缺的抗干扰能力，使得剪切散斑干涉更容易应用到工业无损检测中。

剪切散斑干涉通过获取干涉条纹的相位来得到物体变形信息，在实际应用中被测物体往往是动态变化的，基于单张干涉图提取相位信息的空间载波相移法可以实现剪切散斑干涉动态相位测量。然而空间载波法经常存在频谱混叠现象，严重影响相位提取的质量。

近期，合肥工业大学仪器科学与光电工程学院王永红教授团队以 A robust phase extraction method for overcoming spectrum overlapping in shearography 为题在 Light: Advanced Manufacturing 上发表了研究论文。

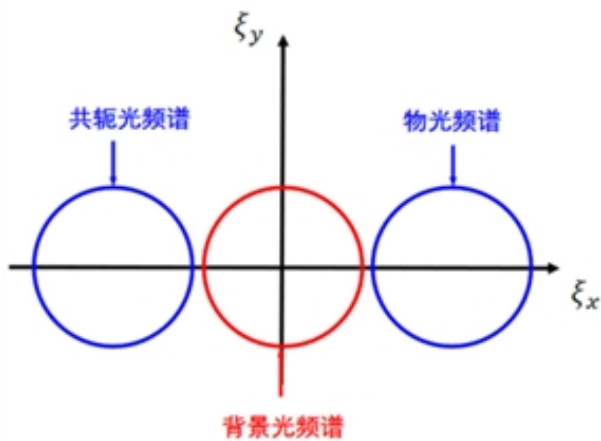
该论文简要总结了剪切散斑干涉空间载波出现频谱混叠的原因，并基于改进的窗口傅里叶脊算法实现了频谱混叠时的高质量相位提取。论文进行了仿真和实际实验以验证所提方法的有效性。

频谱混叠现象及产生原因

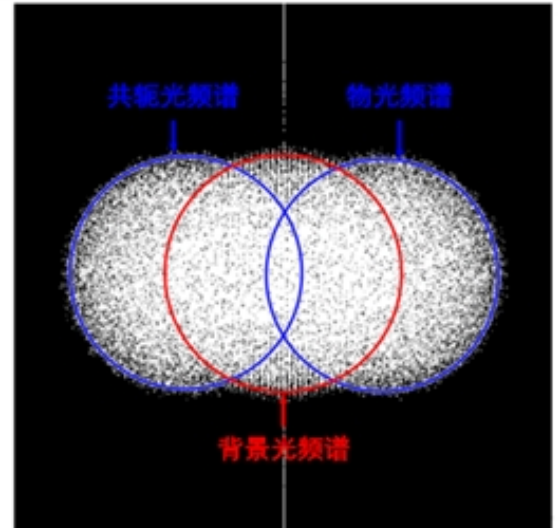
在空间载波相移剪切散斑干涉系统中，干涉光频谱分为三个区域，其中背景光为低频部分，物光与其共轭项的频谱中心坐标受空间载波大小影响并且分别关于频谱中心对称。由于空间载波相位计算只取一个物光频谱，理想情况是3个频谱完全分开(如图1(a)所示)。

典型的空間載波相移剪切散斑干涉系统中，空間載波的引入一般依靠调节反射镜角度，使得两束物光之间产生相对角度偏转，产生剪切量的同时引入载波频率。为了使得物光频谱与背景光频谱完全分开，需要相对较大的反射镜偏转角度，但同时剪切量也越大，使得剪切散斑干涉测量灵敏度过高，变形条纹过密、干涉测量区域变小。尽管采用小孔径的光阑可以减少干涉图频谱圆的直径，从而不需要较大的载波频率，但会导致散斑颗粒尺寸增大，相位条纹图中退相关噪声增强。

由于载波频率与剪切量的耦合关系，所以空間載波散斑干涉在某些情况下无可避免的出现频谱混叠现象(如图1(b)所示)，如物体变形较大或者测量区域较大等情况。而这种频谱混叠会引起相位提取质量下降，进而造成后续的相位解包裹异常，无法获取准确的变形相位信息。



(a) 无频率混叠的干涉频谱



(b) 频谱混叠时的干涉频谱

图1：空间载波相移散斑干涉频谱图

基于改进的窗口傅里叶变换脊相位提取

针对空间载波剪切散斑干涉出现的频谱混叠情况，如果相位提取方法能够提取出高质量相位，则会有利于剪切散斑干涉的工程实际应用。

窗口傅里叶变换脊(windowed Fourier ridge, WFR)是一种应用于条纹解调中的相位提取方法，该方法具有出色的抗噪声能力，同时有一定的抗频谱混叠能力。但在剪切散斑干涉中，由于背景光、物光、共轭光频谱大小的一致性，所产生的频谱混叠较为严重，常规的WFR算法难以满足要求。

针对剪切散斑干涉系统，本文提出一种改进的窗口傅里叶变换脊相位提取方法。由于光学系统广泛采用圆形孔径光阑，采用霍夫变换对散斑干涉图频谱进行分析，得到物光频谱中心点坐标以及频谱半径大小，通过频域坐标与图像像素坐标的对应关系大致确定窗口傅里叶脊的频谱带范围，减少了算法运行时间，并且可以以更小的步长搜寻局部频率，提升相位提取质量。

另外针对频谱混叠时物光频谱的区域特征，采用大窗口进行傅里叶变换会导致散斑颗粒增大，小窗口则会混叠零频信息，所以本文提出使用线性变换的椭圆窗口进行窗口傅里叶变换，如图2所示，在靠近零频时采用长轴平行于y轴方向的椭圆窗口，随着频率扫描区间的右移线性变化为长轴平行于x轴方向的椭圆窗口，从而最大程度上利用频谱信息，提高相位提取质量。

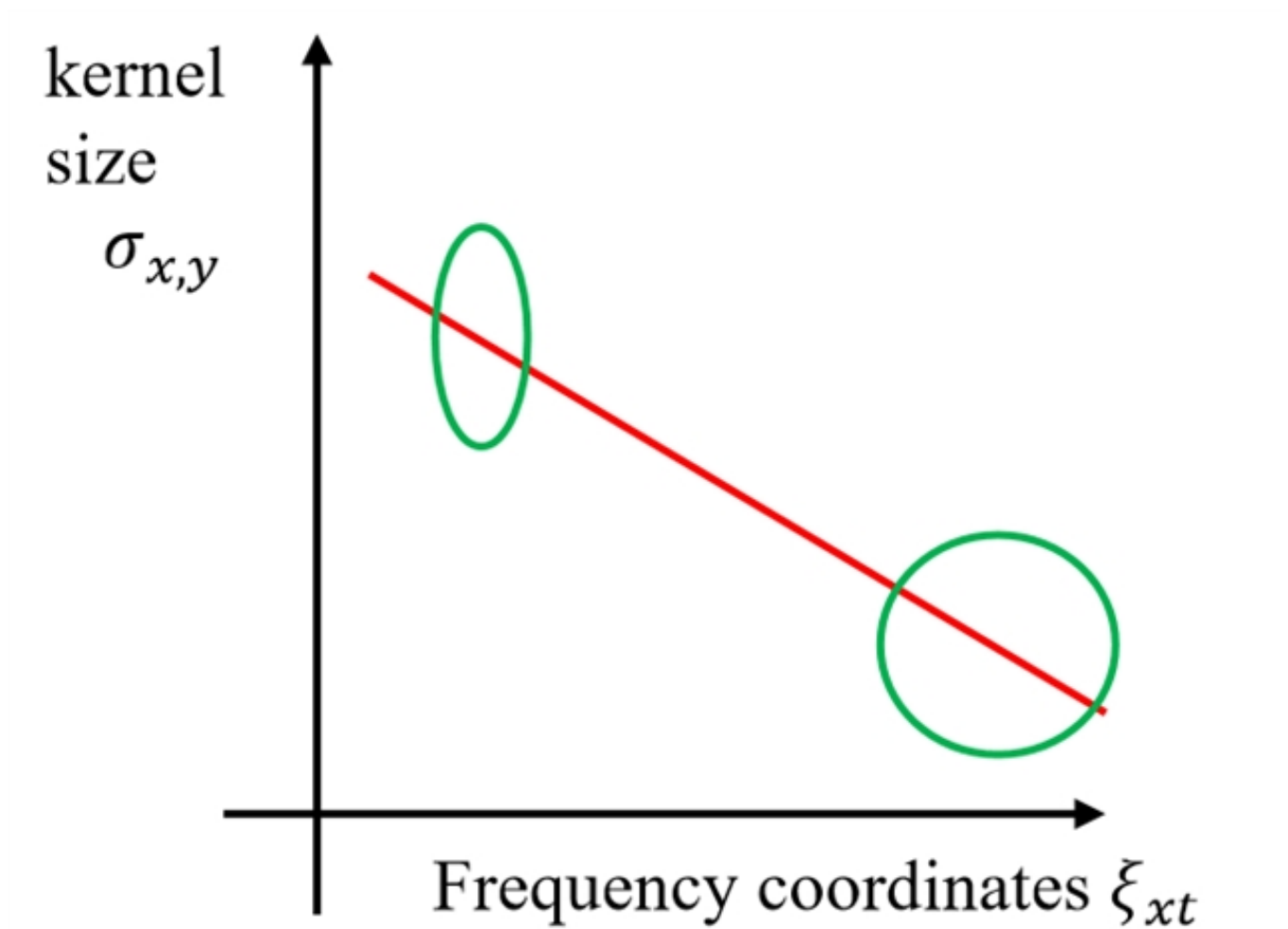


图2：窗口傅里叶变换窗口随频域坐标的变化情况示意图

实验验证

为了验证本文所提方法进行相位提取的有效性，本文进行了对比实验验证。获取的原始散斑干涉频谱信息如图1(b)所示，对频谱图分别采用两种常用的相位提取方法和本文方法进行相位提取，后续经过相同的滤波与解包裹操作，得到对应变形的相位图如图3所示。

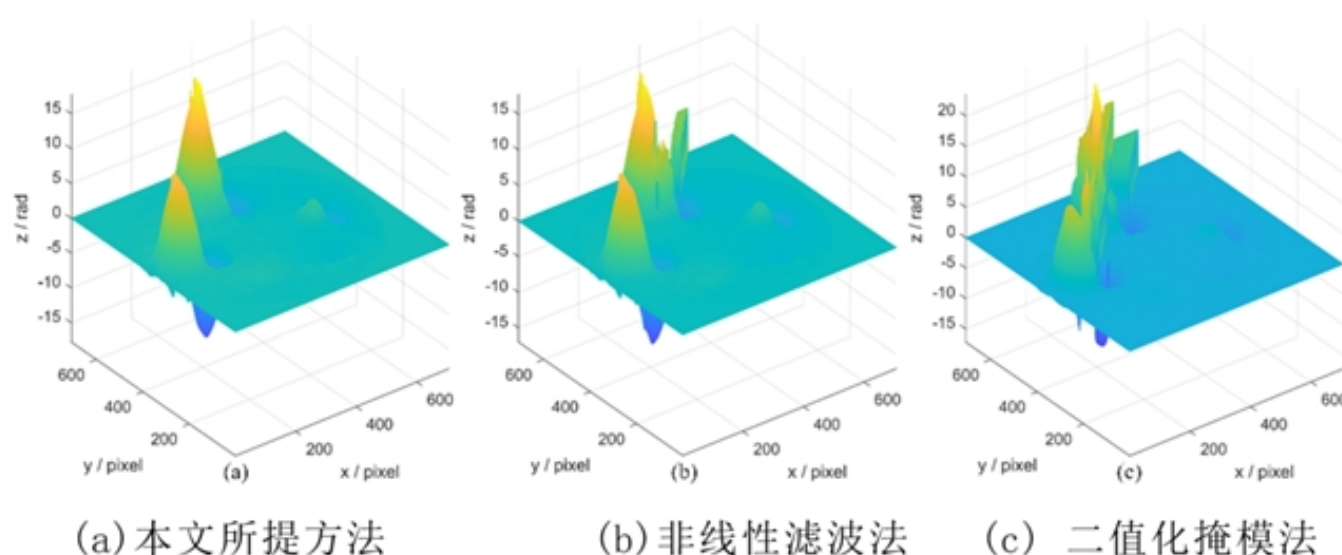


图3：三种相位提取方法得到的解包裹相位结果比较

从图3中可以看出本文所提方法得到的解包裹相位非常平滑，质量较好，而其他两种方法都出现了明显的条纹断线导致的解包裹相位异常情况，这验证了本文所提方法的有效性。

展望

本文所提出的相位提取算法在空间载波剪切散斑干涉系统发生频谱混叠时仍能够提取出高质量相位，从而可以采用更大尺寸的孔径光阑，降低散斑退相关噪声，拓展了空间载波剪切散斑干涉的应用范围，使其能够更广泛的应用在工业无损检测中。

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2023.007>

(来源：先进制造微信公众号)

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性;如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任;作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：王永红等 来源：《光：先进制造》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发