西安光机所光学随机共振研究取得新进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/7423.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！

近期，中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学与光子技术国家重点实验室研究员刘红军课题组在光学随机共振弱光图像重构方面取得新进展，于11月4日在美国物理学会（APS）旗下期刊*Physical Review Applied* 上以*White-light image reconstruction via seeded modulation instability*
为题发表论文，提出并验证了一种弱白光图像非线性重构方法，对散射噪声环境目标探测有重要意义。

光学图像信号在散射介质中传输时易受到强散射噪声干扰，导致成像对比度和分辨率严重降低。传统的弱光成像通常采用滤波等方式滤除部分散射光来提高成像质量，但往往在噪声滤除的同时会损失部分信号分量、丢失图像细节信息，且当图像信号被强散射噪声完全湮没时，提取和探测弱光图像信号非常困难，传统弱光探测技术显得无能为力。因此，探索发展新原理、新方法和新技术，实现被强噪声湮没的弱光信号提取和重构是弱光信号处理和探测领域亟待解决的基础科学问题和急需突破的重要技术瓶颈。

光学随机共振利用非线性光学效应使信号和噪声发生非线性耦合，在信号光诱导下散射噪声能量向信号转移，达到被测信号信噪比提升的目的，实现被强噪声湮没的弱光信号提取和重构。随机共振揭示了噪声独特的可利用性，颠覆了人们长期以来认为“噪声有害”的观点，打破了只能通过消除噪声来提取信号的传统滤波观念，为弱光信号探测开辟了全新的方法和思路。

研究团队基于非相干空域调制不稳定效应在理论和实验上首次论证了弱白光图像的光学随机共振重构，在非线性光学系统中利用弱白光信号激起强的种子调制不稳定性，通过耦合散射噪声实现自身增强和图像信噪比提升。结果表明不同波长的光具有不同的增益特性，且共同参与随机共振发生。同时证明了利用白光束异步探测能更好地再现被散射噪声湮没的弱白光图像。相比于传统光学成像技术提高了弱光成像系统的探测能力，促进了随机共振在非相干光学成像领域的应用。

Physical Review Applied
编辑推荐发表意见：作者论证了基于种子调制不稳定性随机共振的非线性图像复原方法。研究表明整个光谱的信号模式具有不同的增益特性，并且共同促使随机共振发生。这项工作促进了非线性光学在自然或人工照明环境下白光成像领域的应用。

此
外，
2019年，研究团队在光学随机共振实验研究方面还取得两项进展，分别发表在国际期刊*Optics*

Letters 和*Applied Physical Express*上。

7月10日发表在*Optics Letters*上题为*Nonlinear reconstruction of weak optical diffused images under turbid water*
的文章，实验证明了基于空域调制不稳定性的随机共振可用于水下弱光图像信号重构。在进行水下光学成像时，水中悬浮物对蓝绿光图像信号存在随机散射的干扰而引入了大量的前向和后向散射噪声，导致水下目标成像质量的严重退化，图像对比度和分辨率大大降低，图像变得模糊不清。目前较为成熟的水下成像技术在抑制水下后向散射噪声方面发挥了积极的作用，但对于前向散射噪声，由于信号和噪声同频且到达成像探测器的时间一致，难以通过这些传统技术来消除前向散射噪声。因此亟待发展有效的水下光学成像技术，解决水下前向散射噪声引起的图像分辨率低的难题。

针对这个问题，在前期工作基础上，研究团队率先实验证明了基于空域调制不稳定性的光学随机共振可实现浑浊水下被前向散射噪声湮没的弱光图像重构。在非线性光学系统中改变系统参数使得噪声和信号在晶体中发生光学随机共振，通过非线性耦合作用，前向散射噪声能量在图像信号诱导下向信号转移，实现了高相似度的图像复原，提高了水下成像分辨率，该研究为水下光学成像的发展提供了一种新方法。

1月4日发表在*Applied Physical Express*上题为*Reconstructing a scattered image via spatial cross-phase modulation instability in partially incoherent*
beams
的文章，针对传统弱光成像方法难以有效探测乘性噪声图像信号，以及自调制不稳定性随机共振重构图像高频信息丢失的难题，提出了基于交叉调制不稳定性的弱光图像随机共振重构，建立了部分相干光噪声与信号耦合的不稳定性增益模型。发现通过耦合相干程度较低的加性噪声，待测信号可以获得更高的不稳定性增益，从而实现噪声光能量向信号光转移。实验设计了乘性含噪信号和加性噪声的双光束耦合光路，优化加性噪声和乘性噪声相干长度实现了弱光图像重构，并证明该方法可以有效恢复初始图像的形状轮廓等低频信息和边缘细节等高频信息。

以上研究工作得到国家自然科学基金和青岛海洋科学与技术试点国家实验室开放基金项目的资助。

论文链接：123

图1.基于随机共振的弱白光图像重构结果随晶体外加电压的变化。左图：实验结果，右图：仿真结果

图2. 白光异步探测图像重构结果随晶体外加电压的变化。左图：实验结果，右图：仿真结果

图3. 基于光学随机共振的浑浊水下弱光图像重构结果随晶体外加电压的变化

图4. (a)原始图像，（b）乘性噪声湮没图像，（c）自调制不稳定性随机共振图像重构结果，（d）加性噪声和乘性噪声同时湮没图像，（e）晶体外加电压为100V时，图像重构结果，（f）外加电压为500V时，图像重构结果，（g）晶体外加电压为1000V，图像重构结果，（h）晶体外加电压为1500V，图像重构结果

研究团队单位：西安光学精密机械研究所

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转发