

## 基于拟人算法的智能锁模激光器

锁模超快激光器是当今光电子技术领域最前沿、最活跃的研究方向之一，也是超快光学系统研究的基础和出发点。物理、化学、生物以及材料与信息科学等学科许多研究都以超短脉冲作为基本工具，不断揭示新的超快变化过程，直观探索微观世界里物质的运动规律。

锁模的实现方式有主动锁模、被动锁模以及混合锁模。其中，基于非线性偏振演化（Nonlinear polarization evolution, NPE）的被动锁模因其简单的结构和优异的脉冲性能备受学术界的青睐。通过调节激光腔内的偏振控制器即可实现锁模。但是，手动调节偏振控制器实现锁模耗时较长，一旦环境扰动极易失锁且难以恢复，限制了其在工业界的大幅应用。针对这一难题，法国勃艮第大学的 U. Andral 等人（Optica 2, 275, 2015）利用基因演化算法，结合电控偏振控制器（Electrical polarization controller, EPC）实现了自动锁模。受制于离线的实验装置（示波器加光谱仪）和复杂的算法，此锁模激光器自动锁模耗时长达 30 分钟。同时，因为失锁中可能出现的调 Q 不稳定性有很高的脉冲能量，极有可能对激光器后面级联的器件造成不可逆的损伤，因此失锁快速恢复对激光器的可靠性尤为重要。另外，目前的自动锁模激光器大多都只能支持基频锁模的输出，导致它们难以满足不同应用场景的需求。

针对基于 NPE 的被动锁模激光器中偏振控制这一难题，上海交通大学义理林教授课题组提出了基于拟人算法（Human-like algorithm, HLA）的智能锁模激光器（见图 1），旨在从两个方向着手解决这一难题。首先，提出了复杂度更低的 HLA，以实现更快的开机锁模和失锁恢复。HLA 从人为调节锁模状态的过程中受到启发，旨在将人的逻辑与机器的速度、精度和准确度相结合。受益于人高效直观的逻辑，HLA 有着很低的算法复杂度，更加符合锁模应用场景中实时性这一要求。其次，通过分析各种锁模状态的时域特征，提出纯时域的多状态锁模判决标准，利用模数转换器（ADC），现场可编程门阵列（FPGA）和数模转换器（DAC）即可搭建实时的反馈系统，进一步提升激光器在开机锁模和失锁恢复的时间性能。ADC 负责采集激光器输出波形，相当于人为调节锁模过程中的人眼识别波形；DAC 负责输出直流信号调节 EPC，相当于人为调节锁模过程中的手动调节偏振态；FPGA 负责对采集到的波形进行分析和鉴别同时运行 HLA，相当于人为调节锁模过程中大脑判断是否锁模并控制手动调节。

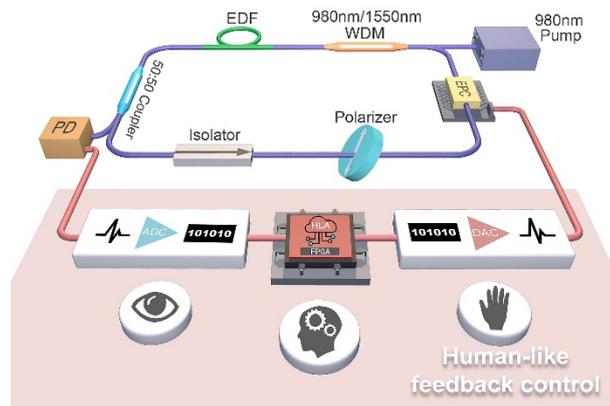


图 1. 基于 HLA 的智能锁模激光器

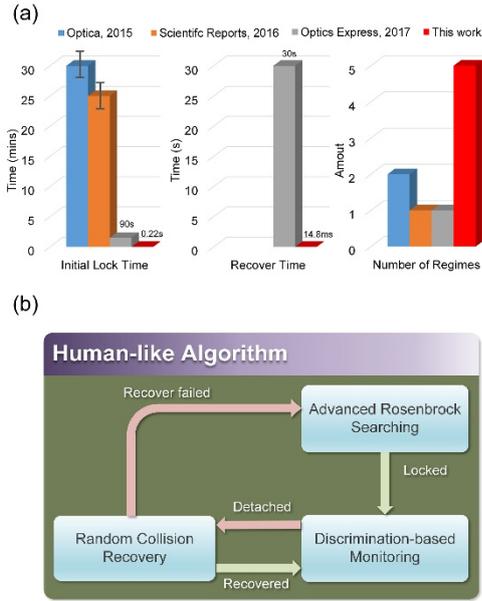


图 2. (a) 激光器性能对比; (b) HLA 算法示意图

在最快的测试中，开机自动锁模仅需 0.22 秒，失锁恢复则仅需 14.8 毫秒，均大幅刷新了原先的记录（见图 2）。通过提取不同状态的特征来建立不同的鉴别标准，基于 HLA 的智能锁模激光器还可以自动锁定到如谐波锁模、调 Q 及调 Q 锁模等多种状态（见图 3）且可根据需求在多种状态之间来回切换。相关成果以 *Intelligent programmable mode-locked fiber laser with a human-like algorithm* 为题发表于 *Optica*[6(3): 362, 2019]。

由于锁模状态鉴别不需使用示波器和光谱仪，采用低速 ADC/DAC 结合 FPGA 控制电路即可实现，因此该智能锁模激光器可设计为便携式模块，成本大大降低，可满足工业应用的需求。

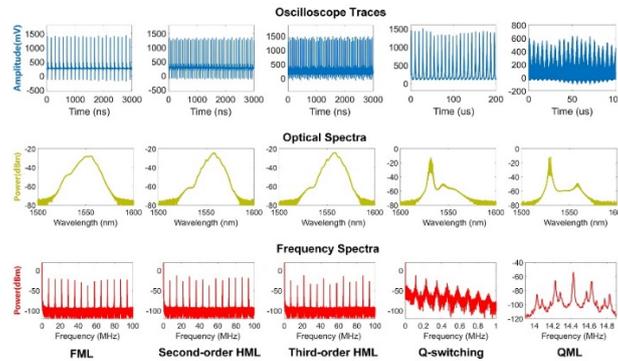


图 3. 多种输出状态（从左到右：基频锁模、二次谐波锁模、三次谐波锁模、调 Q、调 Q 锁模）

论文链接：

<https://www.osapublishing.org/optica/abstract.cfm?uri=optica-6-3-362>