

---

# 中红外时域计算鬼成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28386.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！**

近日，四川大学梁厚昆团队联合芬兰坦佩雷理工大学Goëry Genty团队提出基于非线性频率下转换的中红外时域计算鬼成像技术方案，成功将时域计算鬼成像技术拓展至中红外波段，为中红外波段超快光调制信号探测开辟了新路径，有望应用于中红外波段自由空间通信、遥感探测等领域。

该文章以Mid-infrared computational temporal ghost imaging为题发表在Light: Science Applications。该研究工作得到了国家自然科学基金区域联合重点项目、面上项目等项目的大力支持。四川大学电子信息学院吴函副研究员、博士生胡波为论文的共同第一作者。四川大学梁厚昆教授、彭飞副教授，芬兰坦佩雷大学Goëry Genty教授为该论文的共同通信作者。主要贡献者还包括电子科技大学王子南教授，电子信息学院硕士生陈璐。该工作由四川大学电子信息学院作为第一单位完成。

中红外波段包含多个重要的大气传输窗口，应用中红外激光开展自由空间光通信、遥感探测、全光调制超快光信号处理、半导体材料自由载流子寿命标定等应用成为了新的发展趋势，超快光时域调制信号的探测是中红外波段上述应用中不可或缺的关键技术。然而由于中红外波段缺乏成熟的高速、高灵敏度光电探测器，对中红外超快光信号的直接探测面临重大挑战。

鬼成像技术是一种非直接探测的成像手段，其最初是在对空间实际物体成像中得到了验证和应用。近年来，研究人员将鬼成像概念拓展至时域，时域鬼成像系统采用在时域上具有强度随机波动特性的低时间相干性光源作为探测光，通过将多次测量的光源本身时域强度波动信息与光源经时间物体（如高速电光调制器强度调制信号）作用后的积分功率做关联运算，即可重构超快光调制信号。此外，可以借助任意波形发生器和高速光调制器件产生已知信号对光源进行时域强度预调制，构建时域计算鬼成像系统，仅用一个慢速探测器即可实现对高速时域调制信号的探测。相比于直接探测方案，时域鬼成像的实现原理使其在弱光或无高速探测器条件下的超快光信号探测中具备独特的优势。

在中红外波段，缺乏成熟的高速、高灵敏度光探测器件，且在该波段普遍采用的自由空间光探测链路可能存在高损耗、强散射、强湍流等恶劣光信号采集及探测环境，将具备优异的抗噪、抗失真能力且可降低探测器件性能要求的时域鬼成像拓展至中红外波段有望在该波段自由空间光通信、遥感探测、材料分析、气体传感等领域发挥其独特的应用优势。然而，现阶段受限于中红外波段时域强度高速编码调制技术尚不成熟，时域计算鬼成像还未在大于 $2.5\ \mu\text{m}$ 的中红外波段得到实验报道。

本文提出了基于非线性频率下转换的中红外时域计算鬼成像概念，利用近红外波段成熟的光纤激光器及其时域调制技术，结合非线性频率下转换过程，采用慢速光电探测器成功实现了对中红外

高速时域光信号的探测。

具体的，如图1所示，研究人员利用通信波段光调制器对1542 nm的信号光进行时域编码预调制，将预调制后的1542 nm光与1060 nm连续波光纤激光器在非线性晶体PPLN中差频，从而产生中红外波段闲频光，并成功将1542 nm信号光时域编码预调制信息转移至3.4  $\mu$ m闲频光处(图2)。携带时域强度预调制信息的中红外光经过时域目标信号强度调制后用中红外低速探测器采集其积分功率，将多组编码预调制信号与对应的积分功率进行关联运算，可恢复出时域目标信号对中红外光的强度调制信息，实现中红外时域计算鬼成像。

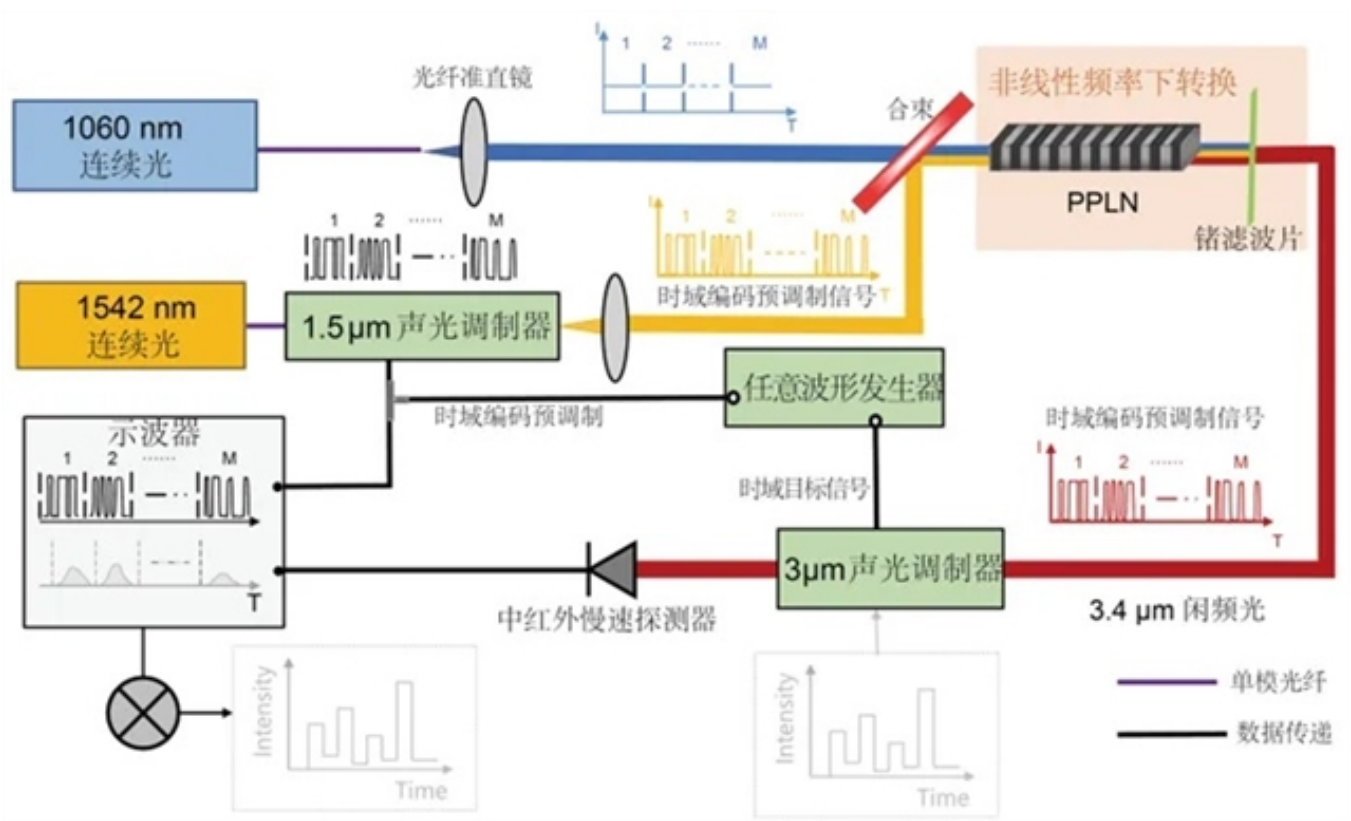


图1：基于非线性频率下转换的中红外时域计算鬼成像方案示意图

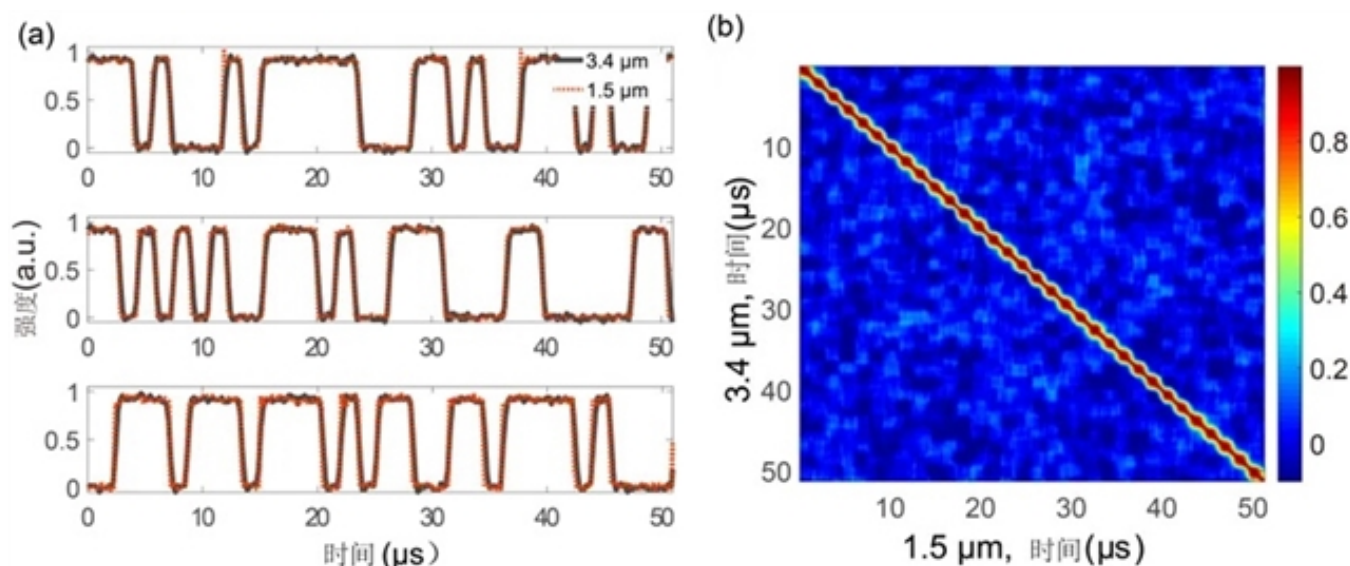


图2：（a）时域编码预调制1542 nm 光和差频产生的3.4 μm中红外光时域波形图对比及（b）两者时域强度波动的时间-时间互相关图

为了对中红外时域计算鬼成像进行概念演示，研究人员通过在中红外声光调制器上加载设定的0-1比特序列，对中红外闲频光的强度进行调制，作为待测中红外时域目标信号。利用1 MHz 带宽的中红外慢速光电探测器采集经强度调制后的中红外光信号，将探测的积分功率信息与对应的时域编码预调制型号进行关联运算即可恢复中红外声光调制器对中红外的时域强度调制信息。图3展示了中红外声光调制器的调制速度分别为625 kbps和5 Mbps下鬼成像探测结果和采用1 MHz 带宽的中红外慢速光电探测器直接探测结果，可以看出，中红外时域鬼成像技术可以很好的恢复出时域目标信号，并在探测器带宽远小于调制速率时依然能实现对中红外光调制信号优异的解调性能。此外，研究人员也展示了采用正交编码的时域编码预调制信号光，可进一步降低时域计算鬼成像采样次数。进一步的，研究人员通过调谐差频中连续波光纤随机激光器波长，验证了该方案的波长可拓展性，实现了在3.2-4.3 μm波段对调制速度为5Mbps的时域目标信号的时域鬼成像探测。后续可进一步采用通信波段高速电光调制器对近红外光进行编码预调制，实现超高时间分辨率的中红外时域鬼成像。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

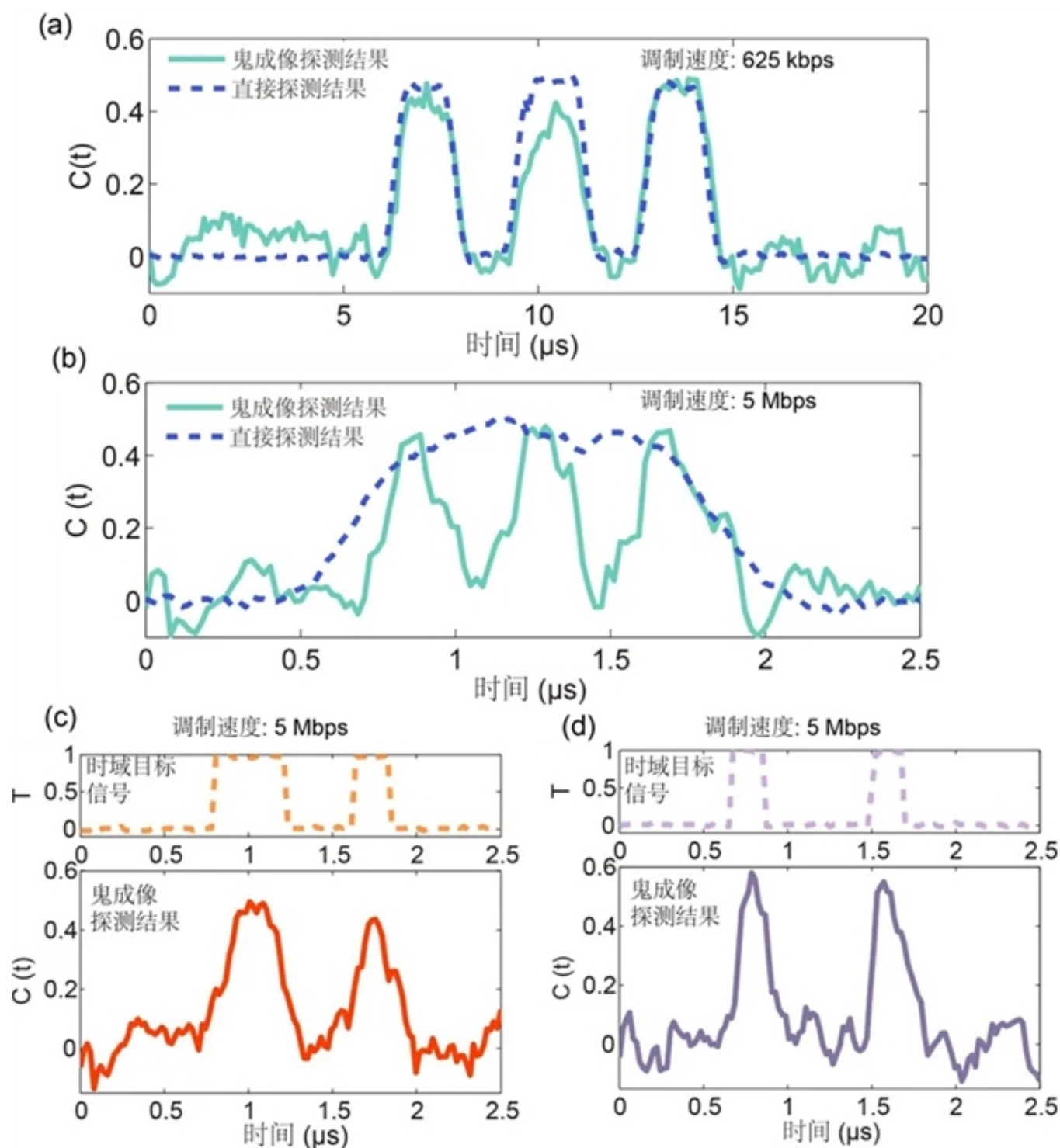


图3：基于非线性频率下转换的中红外时域计算鬼成像结果图

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01426-0>

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：梁厚昆等 来源：《光：科学与应用》

---

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