

---

# 多模光纤中有效色散模型

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22415.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！**

## 多模光纤中有效色散模型。

近日，美国哈佛医学院和马萨诸塞州总医院威尔曼光电医学中心Martin Villiger团队，报道了一种有效参数色散模型，并在各种多模光纤中验证了该模型的有效性，并演示了在宽谱带宽内对完整传输矩阵的准确估计，其结果能够接近最佳性能主模的带宽，并超过原始光谱相关宽度两个数量级以上。利用该模型，人们能够方便地研究主模的光谱行为，并且无需进行密集的光谱测量，从而能够高效地重建多模光纤传输矩阵。

管理和控制复杂或无序介质中的光散射为光学工程和物理学中的成像、传感和操纵提供了新的可能性。由于几何效应和材料特性，色散会造成额外的光谱扰乱，这到目前为止仍然是复杂介质中多色或宽带应用中普遍存在的重大技术障碍。光在复杂介质中的传输会在狭窄的光谱相关范围之外产生独立的强度分布，这有利于光谱分析，但需要在许多频率上进行独立校准，以实现精确的多光谱波控制。然而，这会导致繁重的测量时间和数据存储，其与光谱带宽和分辨率确定的采样率成线性比例。

光多模光纤由于其高通量、低损耗、自由度确定、外形尺寸小、几何形状可控、色散显著等优点，已成为研究复杂介质传输的理想工具。主模，即群延迟算子的本征模，定义了一对特定的输入和输出模式，这些模式不受波长变化的影响。然而，泛化到任意输入模式的主模叠加会导致对波长变化非常敏感的混沌输出。色谱轴向记忆效应已被证明与输入照明的谱移和输出散斑图案的轴向同位扩张有关。这种效应是否适用于所有可用的空间信道有待研究，但证明了多模光纤传输矩阵具有高度确定性的波长依赖性。

在这里，研究人员将两个频率的传输矩阵之间的差异建模成指数映射，从而建立了通过多模光纤传输的参数色散模型。

在单模光纤中，偏振相关的色散用Jones矩阵建模，由特殊酉群 $SU(2)$ 的指数映射描述，并用于分析偏振模色散的主要状态。如图1所示，研究者们将这个概念扩展到传输矩阵的更高数维。由于该模型的参数空间有限，可以将其拟合到少数离散频率的实验传输矩阵测量中，并在较宽的频率范围内预测传输矩阵。

研究者们通过将预测的传输矩阵与独立测量的传输矩阵进行比较，从而验证了该模型在不同类型多模光纤中的性能，见图2。作为说明，研究者们使用预测的传输矩阵通过独立测量来计算聚焦，并使用高阶模型来研究其主模的频率依赖性，见图3。

此外，研究人员还讨论了离散频率测量的频谱采样条件，并研究了测量次数与传输矩阵保真度之

间;以及线性模型的封闭形式重建与高阶模型基于优化的拟合之间的权衡。

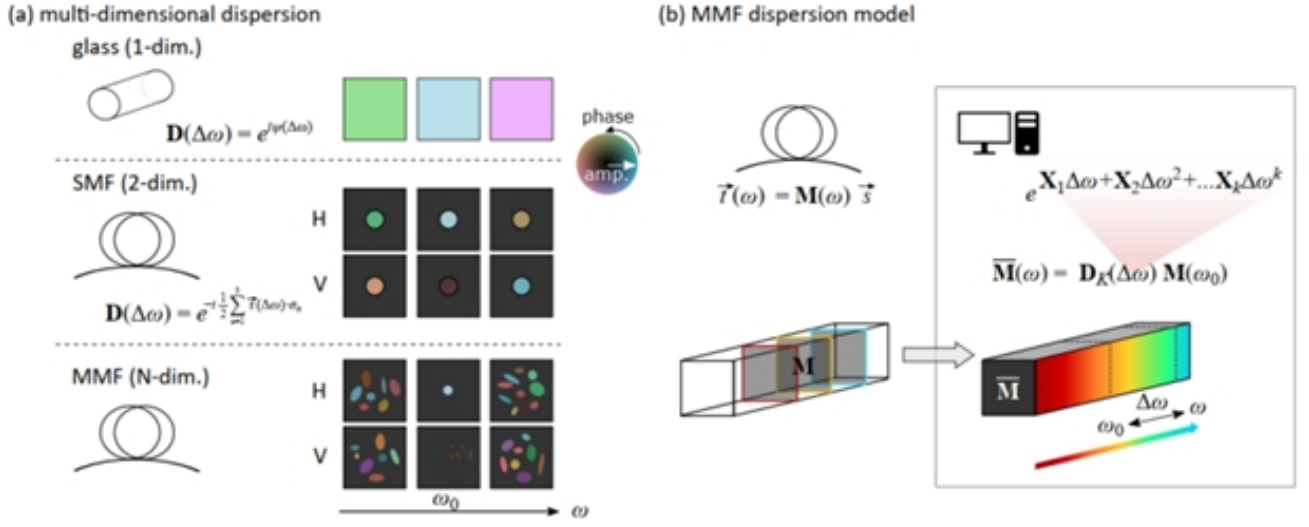


图1: 参数色散模型的概念。(a)对于波在玻璃等各向同性介质中的传播, 由频率差 $\Delta\omega$ 引起的色散相当于一个标量相位项 $\psi$ 。在单模光纤中, 剩余波导各向异性的偏振依赖性导致了波长相关的偏振态和偏振模式色散。在多模光纤中, 波长的变化对偏振和空间模式都有影响。(b)所有这些色散表现都可以用频率差 $\Delta\omega$ 的多项式指数来模拟。具体来说, 在几个离散的光学频率上测量了多模光纤传输矩阵, 并将这些测量值与矩阵相对应的色散模型拟合。然后在连续频率处重构传输矩阵, 以预测完整空间光谱的传输矩阵。

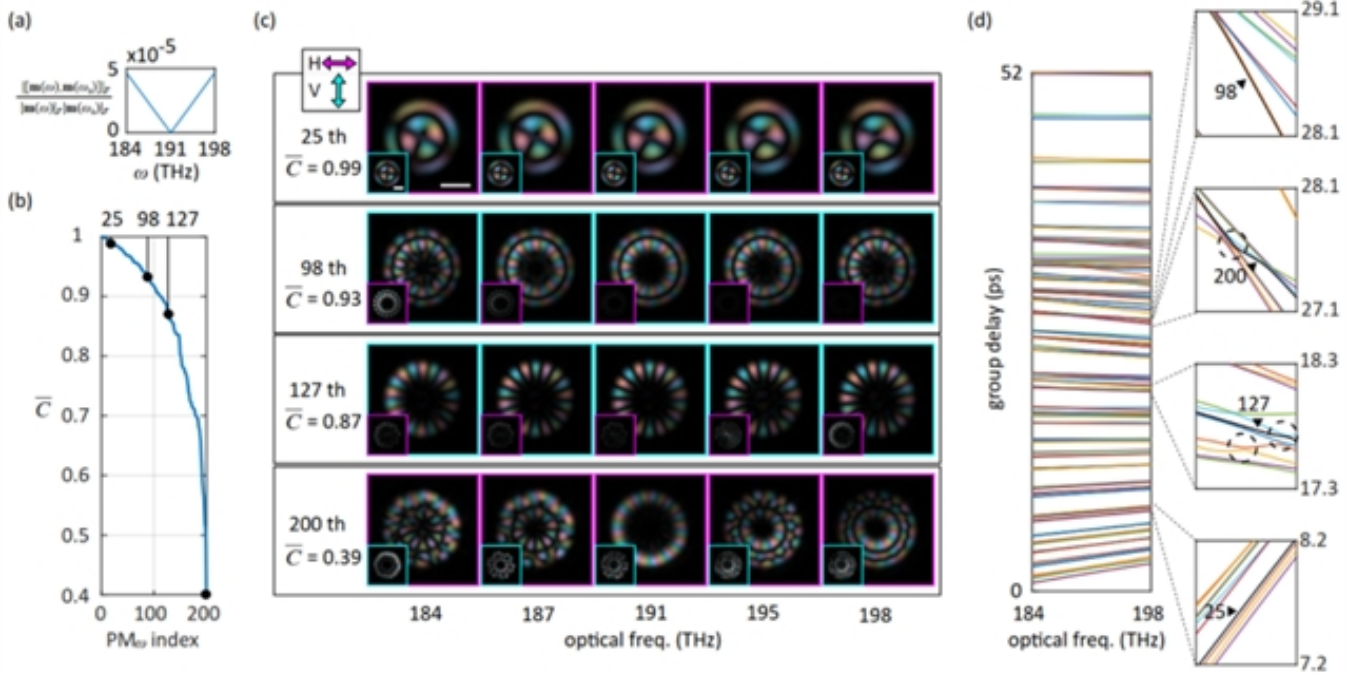


图2: 光谱变化的主模特征。(a)  $m(\omega)$  的归一化交换律。(b) 通过平均整个源光谱的光谱相关性计算的有序 200 个输出主模的持久性。(c) 第 25、98、127 和 200 输出主模在不同波长和相应持久性下的 H 和 V 偏振模式分布。比例尺为  $20 \mu\text{m}$ 。(d) 左: 高阶色散模型中单个主模群延迟的频率依赖性;右图: 放大插图突出了示例主模(黑色箭头)和简并效

应的群延迟演变。

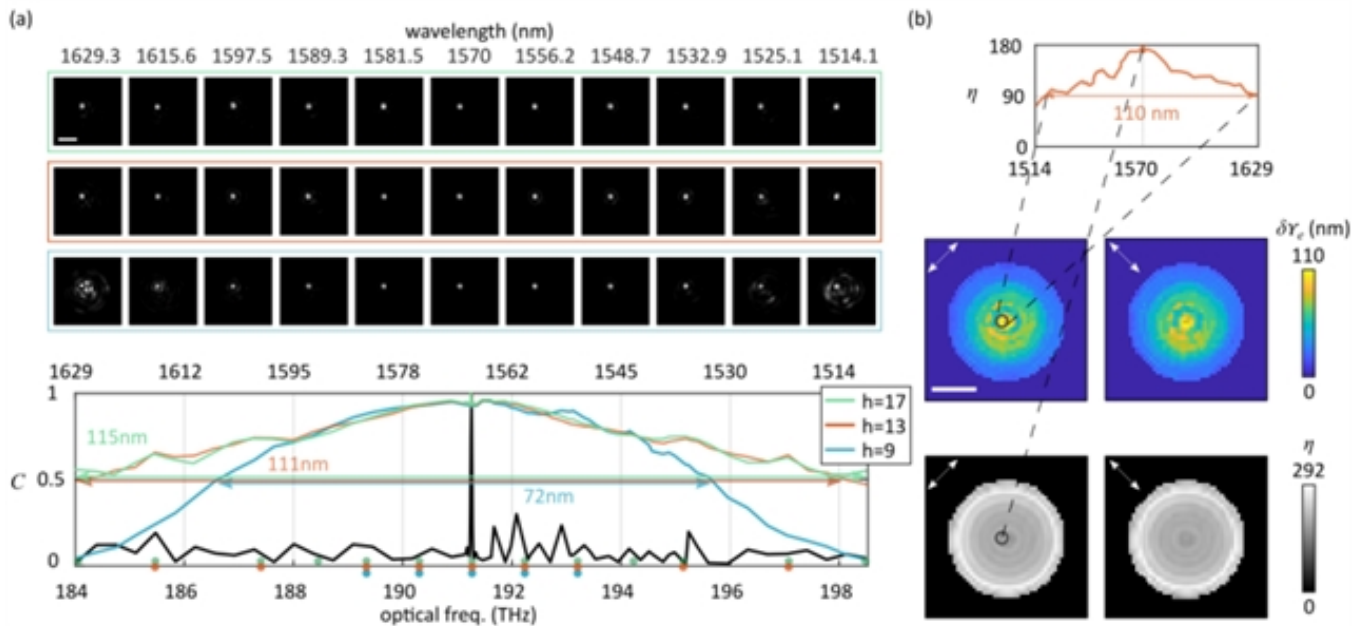


图3: 有效计算二阶色散。(a)

使用传输矩阵测量通过多模光纤进行多模光纤传输和聚焦的光谱相关性。(b) 在  $h = 13$  的情况下, 不同波长下每个空间通道的焦点对比度。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》, 题为Efficient dispersion modeling in optical multimode fiber, Szu-Yu Lee为论文的第一作者, Martin Villiger教授为论文的通讯作者。(来源: LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息: <https://www.nature.com/articles/s41377-022-01061-7>

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: Martin Villiger 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