Light 条纹投影轮廓术精度理论新进展：统一模型与工程设计

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/42865.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！

Light 条纹投影轮廓术精度理论新进展：统一模型与工程设计。 导读

新加坡南洋理工大学计算机与数据科学学院的钱克矛副教授、吕深圳研究员等联合英国国家未来计量中心的蒋向前教授和唐大为高级研究员，就条纹投影轮廓术（Fringe Projection Profilometry, FPP）精度理论进行研究。研究团队针对三种主流 FPP 重建方法（Ver3/Hor3/OptE3）建立了统一精度模型，厘清了其内在几何关系；进一步从精度角度阐明了 FPP 与双目视觉、激光三角法之间的理论等价关系；在此基础上，开发了 FPP-Planner 工具，可为实际系统的精度分析、结构设计与方法选择提供有效指导。该研究以 On the precision models of fringe projection profilometry: unification, simplification and connection 为题发表在《Light: Science Applications》上。

研究背景

作为一种重要的非干涉式高精度三维形貌测量技术，FPP因具有非接触、全场、高精度和高效率等优势，已广泛应用于精密制造、航空航天、复杂表面三维重建等领域，也是光测力学中的结构形貌表征、离面变形测量和动态响应分析的一种重要手段。

然而，先进制造和精密工程中的不同应用场景，对三维测量精度要求各不相同，如何根据实际精度需求有的放矢地进行系统设计，已成为亟需解决的重要问题。对于FPP而言，这一问题尤为关键，因为系统测量性能不仅取决于条纹分析质量，还与所采用的重建方法及系统几何结构密切相关。

创新研究

针对上述问题，研究团队通过系统理论分析，首次建立了Ver3/Hor3/OptE3三种主流FPP 重建方法的统一精度模型（GUPM），并发现了其中隐含的具有明确几何意义的毕达哥拉斯关系，从理论上解释了OptE3具有更优精度的原因，也使原本看似相互独立的三种重建方法在同一理论框架下实现统一（图1）。

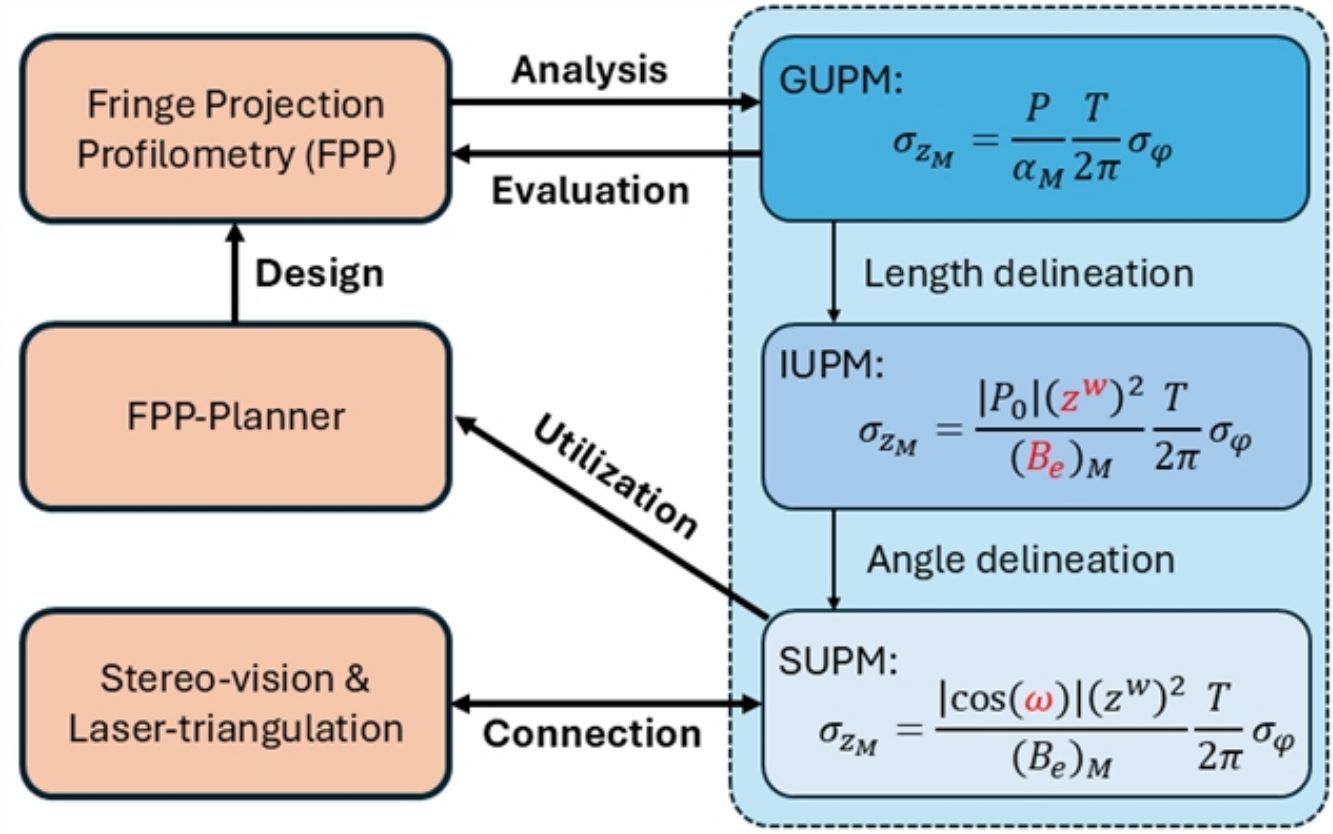


图1. 本研究的创新点与技术结构图。

在统一模型基础上，对精度模型进行了逐步简化。首先，研究团队考虑了一类具有代表性的系统构型，即投影仪光轴方向与系统基线方向垂直，并获得了中间统一模型（IUPM），并提出了有效基线这一关键概念。结果表明，三种方法的有效基线之间同样满足特殊的毕达哥拉斯关系，这说明不同方法的精度差异，本质上可以归结为对系统几何基线利用方式的不同。

随后，从投影仪外参数中分离出相机与投影仪光轴之间的夹角，得到了最终的简化统一精度模型（SUPM）。与完整模型相比，该模型形式更加紧凑，物理意义也更加清晰，使研究者能够更直观地理解系统结构参数对测量精度的影响。这种从复杂模型到几何化、可解释表达的转化，使 FPP 精度理论更接近系统配置与工程设计应用需求。

基于该简化模型，研究团队开发了 FPP-Planner 工具（见图2）。借助这一工具，研究人员和工程师可以在系统搭建之前，根据目标精度预算对相机和投影仪的位置与姿态进行规划，从而推动 FPP 从依赖经验调试，走向以理论预测和精度预算为基础的可设计技术路线。

最后，研究团队将FPP、双目视觉和激光三角法等测量方法进行比较，从测量精度的角度建立了其理论等价性。这一结果不仅深化了对 FPP
本质的理解，也为不同三维测量技术之间的统一分析提供了新思路。

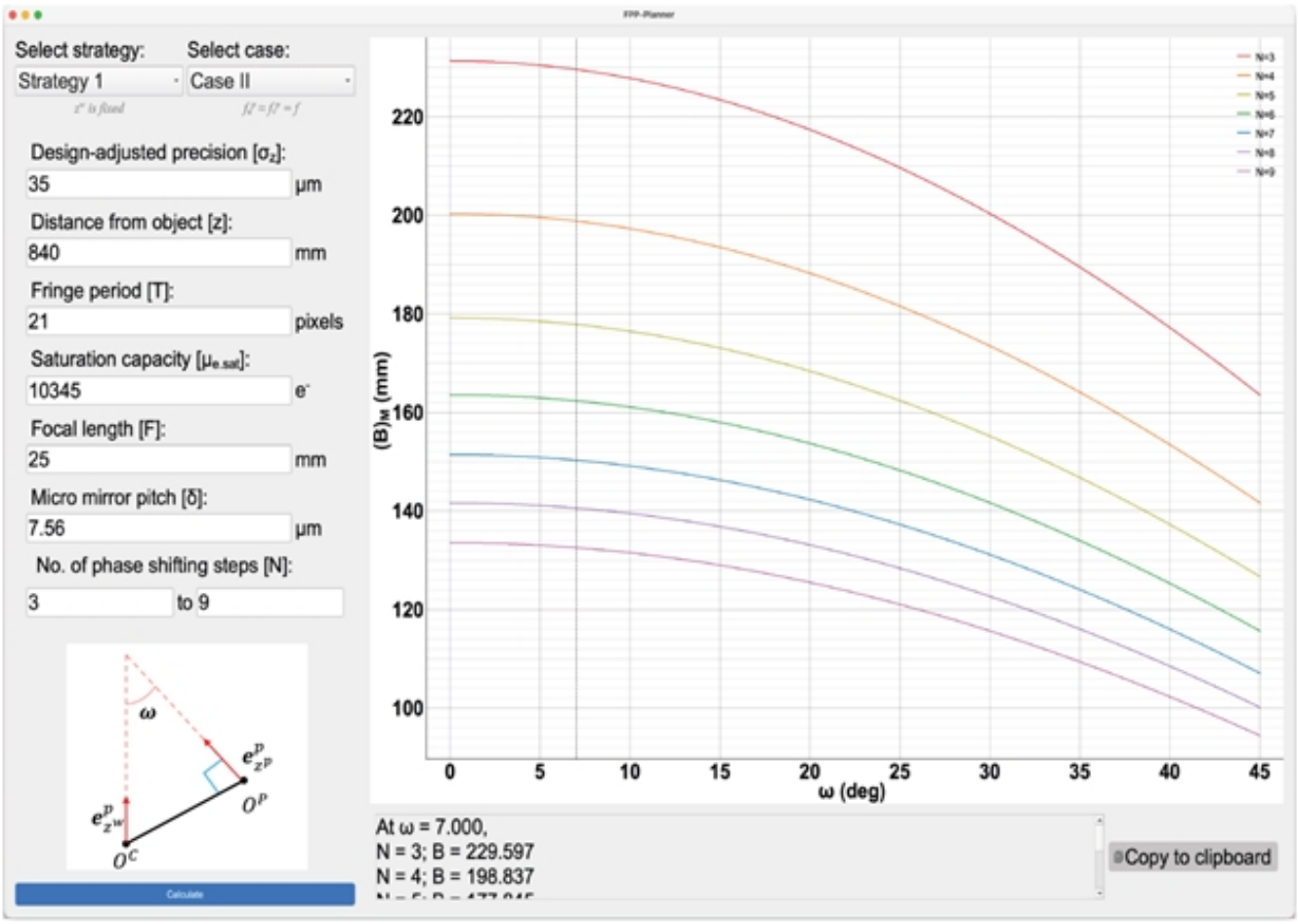


图2. FPP-Planner工具。

总结与展望

该研究围绕统一建模、模型简化和跨方法关联，系统推进了FPP精度理论的发展，为测量应用中的方法选择以及基于精度预算的系统结构规划提供了理论依据。相关成果不仅可为现有系统的性能评估提供支持，也有望为新系统的前期设计与优化提供指导，推动FPP由经验驱动的系统搭建模式进一步迈向以精度模型为基础的可设计技术路线。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-026-02300-x

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等事宜，请与我们接洽。
作者：钱克矛等 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转发