
条纹投影系统的全链路噪声传递模型

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25515.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！

条纹投影系统的全链路噪声传递模型。



近日，新加坡南洋理工大学计算机科学与工程学院钱克矛副教授课题组，针对条纹投影技术（FPP）的精度评估与系统开发过于依赖于实验和经验的问题，提出了一个全链路噪声传递模型，为FPP系统的开发中的硬件选择、误差容限、和精度估计提供理论指导。

该文章发表在期刊Light: Science Applications，题为Modeling the measurement precision of Fringe Projection Profilometry，新加坡南洋理工大学吕深圳博士为论文第一作者，钱克矛副教授为论文的通讯作者。

条纹投影技术(FPP)由于其高精度、高速度、低成本和非接触等优点，已成为一种重要的非干涉光学三维形貌测量技术,并在过去几十年里被广泛应用于许多科学和工程领域。

然而，到目前为止，FPP系统的精度评估与系统开发严重依赖于实验和经验。

理论精度模型的建立将对此技术带来两大好处：

首先，可在系统开发前对测量精度进行理论预测和误差分配；

其次，通过理论与实验的交叉验证，更好地表征系统的测量能力。

典型的FPP系统由一个相机，一个投影仪和计算机构成，如图1所示。投影仪用于将条纹图像投影到物体表面；相机采集经物体表面调制后的形变条纹；计算机用于处理采集的条纹图恢复出物体的3D信息。完整的测量过程可以分为一个采集过程和三个计算步骤：

- (1) 从采集的相移条纹图像中计算位相；
- (2) 利用计算出的位相，实现相机和投影仪像素的匹配；
- (3) 从匹配的像素计算出3D信息。

因此，在整个测量过程中，噪声传递链路是清晰的——随机噪声在采集过程中产生，在后三个计算步骤中依次传递直到3D结果。

图1：典型的FPP系统[Opt. Express 30, 33515 (2022)]

本文提出一个全链路噪声传递模型，如图2所示。该模型包括四个状态模型和两个转换模型：(S1)相机噪声模型 M_C ；(S2)条纹强度噪声模型 M_I ；(S3)位相噪声模型 M_P ；(S4)3D几何噪声模型 M_G ；(T1)从条纹强度到位相的转换模型 M_{ItoP} ；(T2)从位相到3D几何噪声的转换模型 M_{PtoG} 。

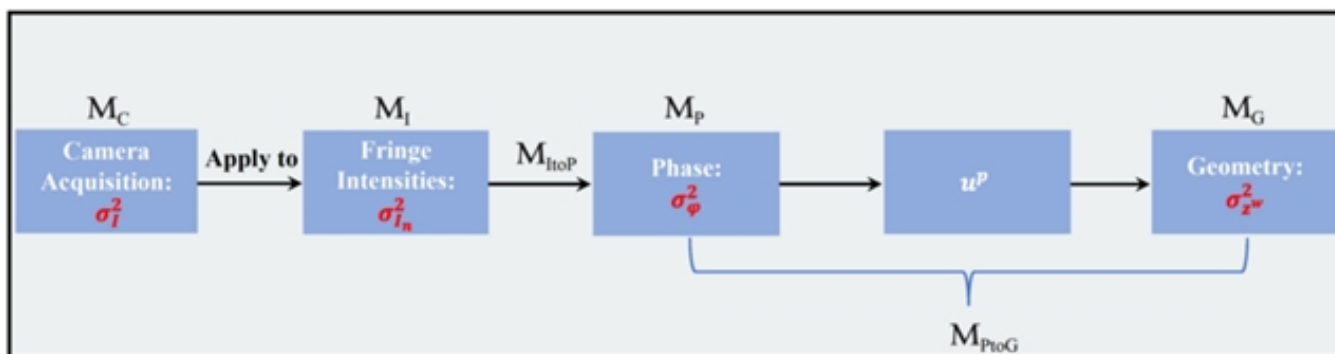


图2：FPP系统的全链路噪声模型

本文的贡献之一是采用了非高斯的相机噪声模型，建立了相机电子参数(可事先从相机制造商获得)和条纹强度噪声之间的关联，并建立了三个位相噪声模型，以便对测得相位进行快速的估计和比较。

图3为位相模型的实验验证结果，其中横坐标代表像素，纵坐标则是位相方差。从图中可见，全模型预测（橙色）和近似模型预测（黄色）与实测数据（蓝色）吻合。

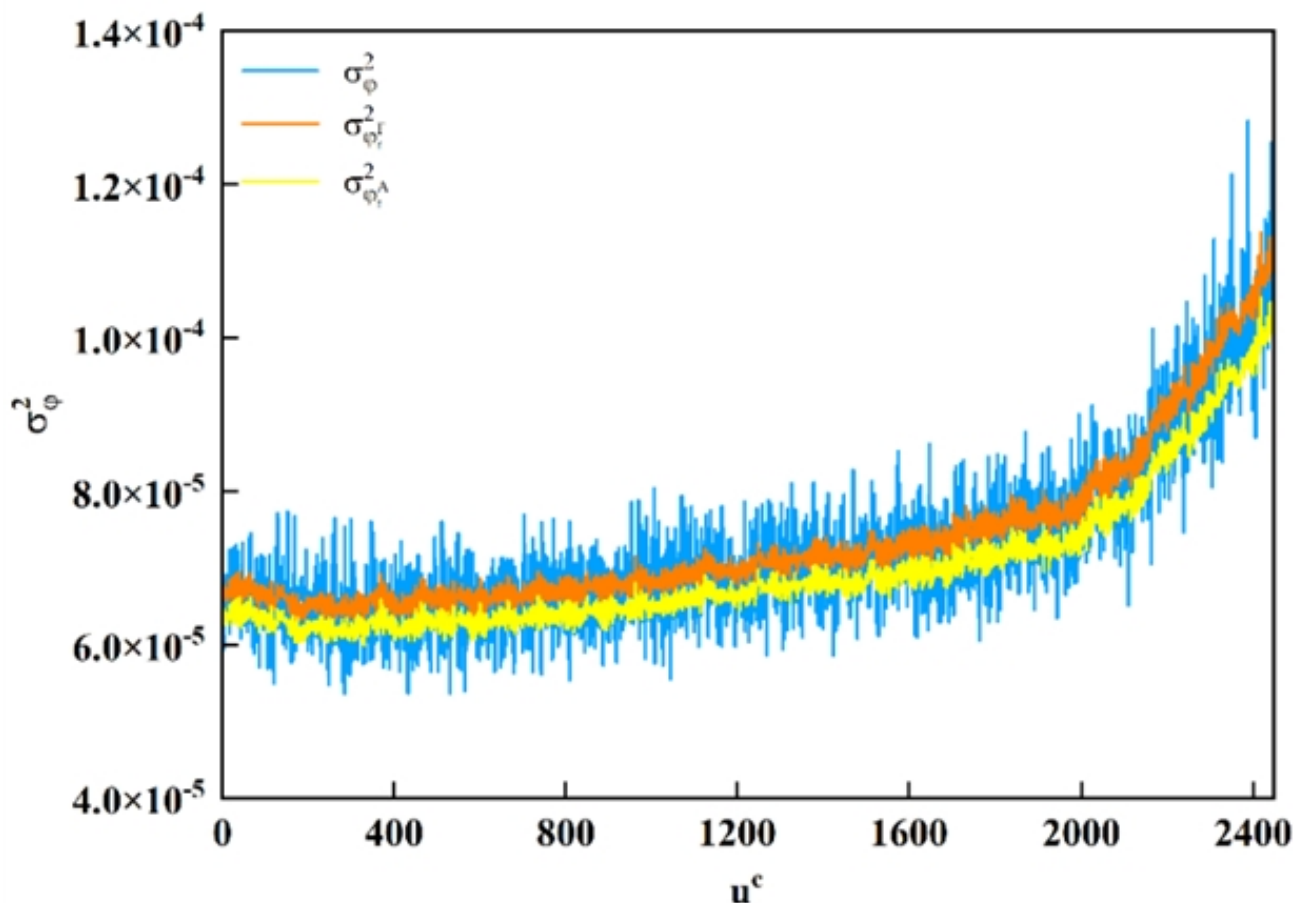


图3：实验结果与理论位相模型比较

本文的另一个贡献是结合FPP系统结构，进一步推导出了完整的系统测量精度模型，包括全模型MG-F、两个服务于不同目的的近似模型MG-A1，和MG-A2，以及精度极限模型MG-L。图4为精度模型在相机不同区域的实验验证结果，相对误差皆在5%以内。

本文所提出的理论模型将使得FPP成为一种更具可设计性的技术，以期满足针对不同尺寸的对象和不同精度要求下的需求。

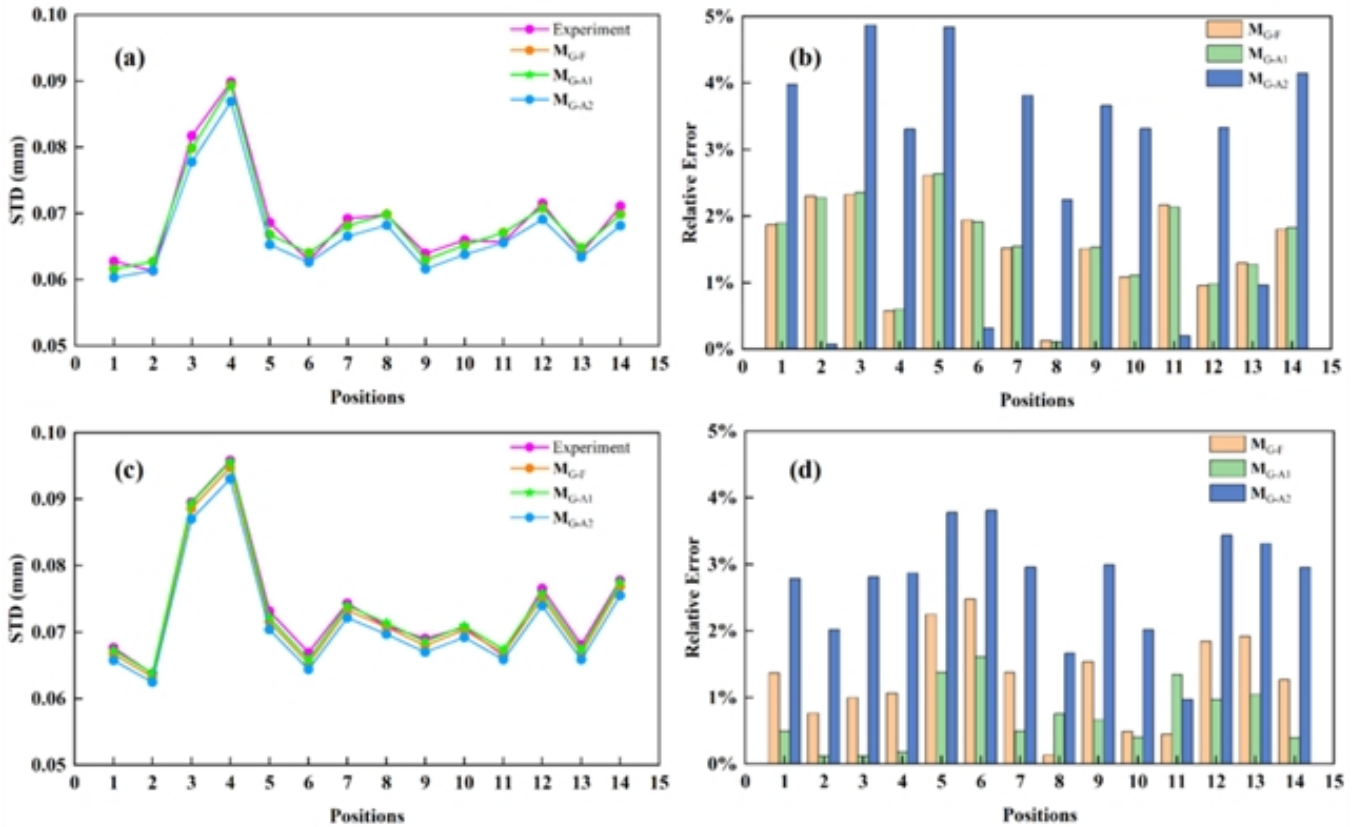


图4：实验结果与三个几何噪声模型之间的精度比较。(a)-(b)四种方法在相机中间感兴趣区域的标准差分布和相对误差；(c)-(d)四种方法在相机左下角感兴趣区域的标准差分布和相对误差

(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01294-0>

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：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](https://www.iikx.com)转发