10公里被动式无人机单光子特征成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/36396.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！

10公里被动式无人机单光子特征成像。 导读

单光子成像通常依赖光子计数技术，但因其积分时间长而无法捕捉目标物体的高速动态特征。为解决这一问题，山西大学胡建勇/肖连团课题组提出一种新体制单光子成像技术，利用光子探测的量子随机性构建压缩感知测量体系，实现了对无人机旋翼高频动态特征直接捕获，成像距离达10公里。

该成果以10-km passive drone detection using broadband quantum compressed sensing imaging为题发表于《Light: Science Applications》。论文第一作者为山西大学博士生吴舒啸，通讯作者为胡建勇和肖连团。

研究背景

低空经济作为一种新兴的经济形态，近年来发展迅猛。随着无人机数量的激增和飞行活动的日益频繁，若缺乏有效的监管将对航空安全和公共安全构成严重威胁。在此背景下，无人机探测技术的研究显得尤为重要。然而，传统成像技术受限于成像灵敏度不足以及背景噪声干扰等问题，难以满足远距离无人机探测的实际需求。

单光子成像技术因其能够显著提升成像灵敏度并有效拓展成像距离而备受关注。然而，在实际应用中，无人机探测通常面临复杂环境背景（如城市楼房、天空、丛林等），这使得成像过程容易受到背景噪声的干扰。通过提取运动目标特征进行成像，可以有效屏蔽背景噪声干扰，显著提高成像信噪比，特别是对于无人机这类点目标的成像，能够提供新的特征识别维度。然而，传统的光子计数技术为了克服散粒噪声引起的强度涨落，往往需要较长的积分时间，导致其成像帧频较低，无法捕获目标物体的高频动态特征。

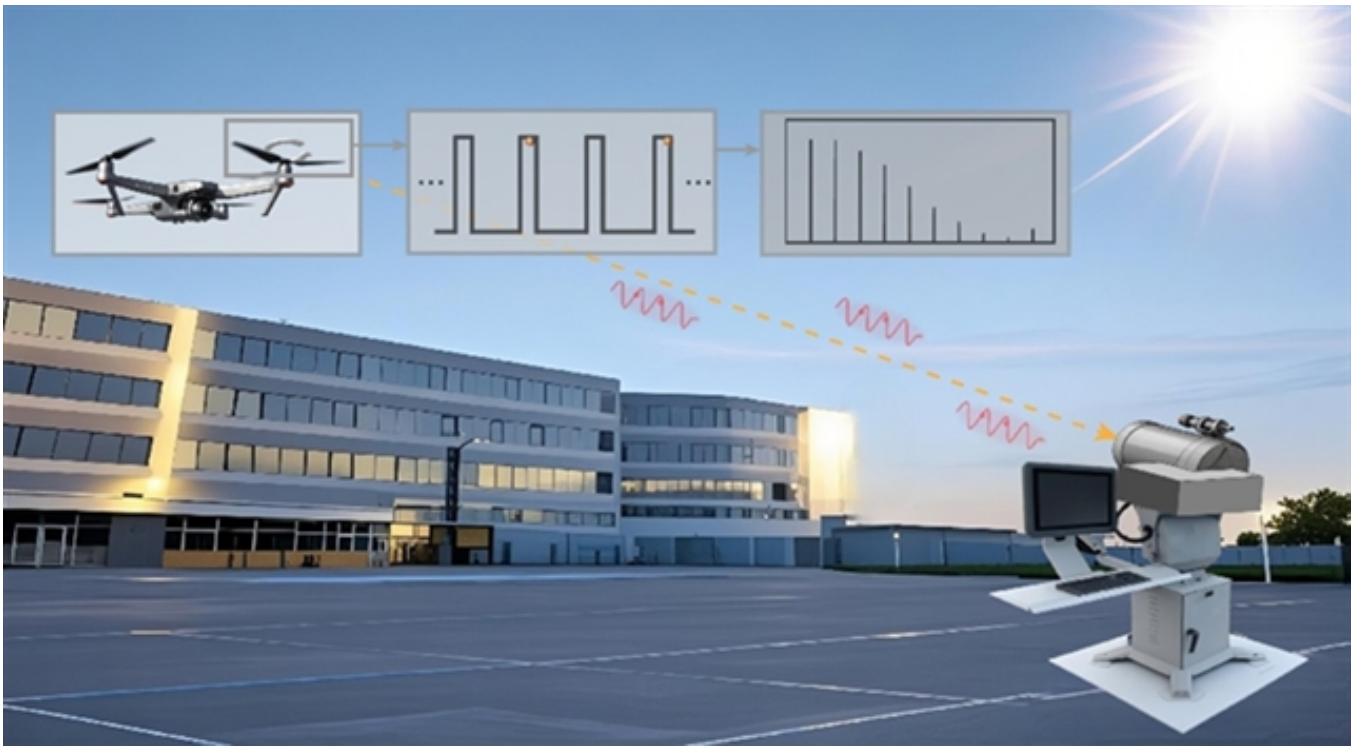


图1. 无人机探测示意图

为解决这一问题，课题组提出了一种基于量子压缩感知的被动单光子动态成像技术。该技术利用光子辐射和探测的固有随机性构建感知矩阵，实现了基于离散、随机光子探测的频域稀疏信号重构，探测带宽高达2.05 GHz，相较于传统光子计数成像提升了6个量级。通过提取目标区别于背景噪声的特征，该技术在抗噪声性能方面表现出优异的性能。课题组在10 km距离下成功探测到无人机旋翼的动态特征频率，充分验证了该技术在实际场景中的应用价值和技术潜力。

创新研究

课题组实验演示了基于量子压缩感知成像的无人机动态特征成像，如图1所示。无人机旋翼转动对环境光进行了周期性调制，因此，辐射或反射的光信号可以看作是一种频域稀疏信号。光子被探测时携带了旋翼转动信息，通过随机光子探测构建感知矩阵，课题组构建了一种压缩测量体系，从而实现频域特征的重构，如图2d所示。进一步地，根据频域特征重构时域波形，从而实现无人机旋翼的图像重构。实验中，使用32×32单光子探测阵列，记录光子到达时间作为重构算法输入，成功捕获530Hz旋翼特征频率。

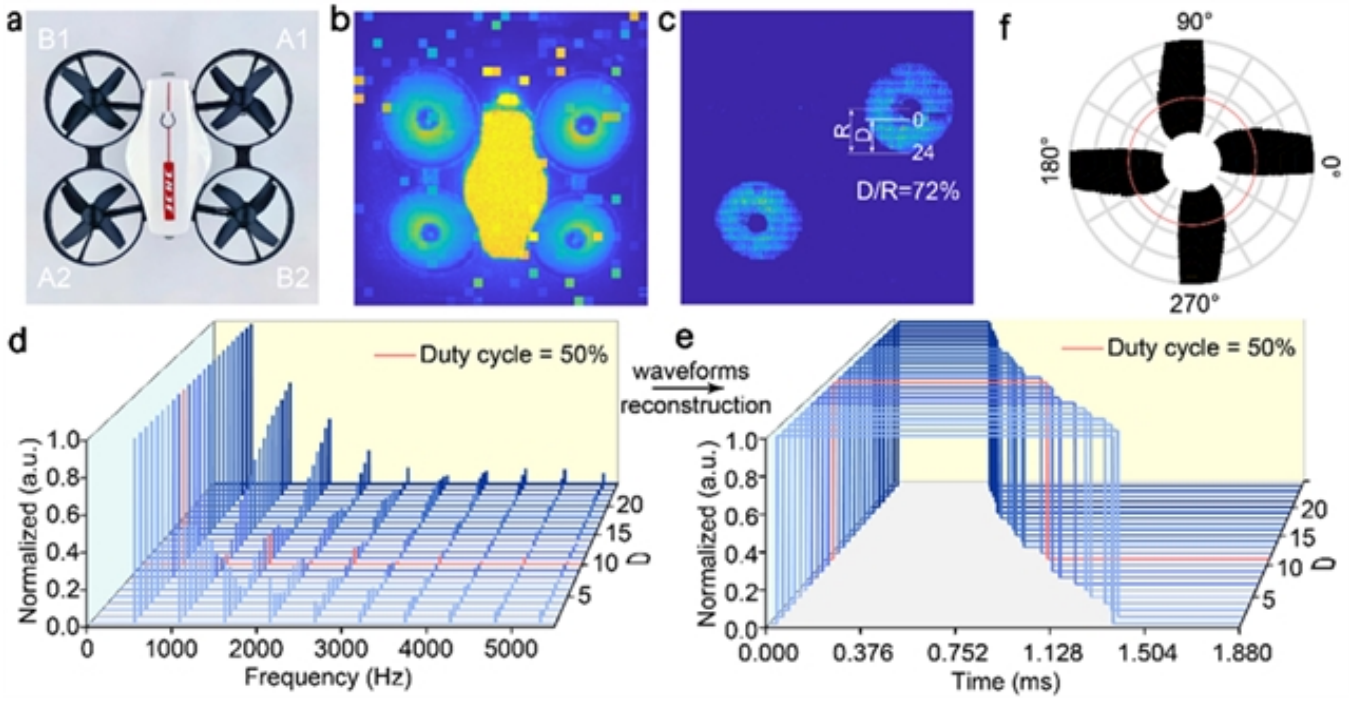


图2. 基于量子压缩感知的无人机旋翼图像重构。(a) 无人机的照片；(b) 无人机开机状态下的亚像素扫描光子计数图像；(c) 530Hz 量子压缩感知成像；(d) 无人机旋翼的特征频谱；(e) 为重构的时域波形；(f) 无人机旋翼图像重构结果。

基于量子压缩感知成像方法，研究人员在外场环境下开展了对无人机远距离探测的研究。如图3所示，以标志性建筑三塔作为参照，将无人机分别悬停于图中的(d)和(c)的视场中，它们在视场中仅占据1~2个像素。图3
(e)和(f)显示了该区域的量子压缩感知成像结果，可以准确地确定无人机的位置，成像距离达到10 km。图3
(g)和(h)显示了相应位置的无人机特征频谱，与无人机理论悬停状态下的动态频率保持吻合。

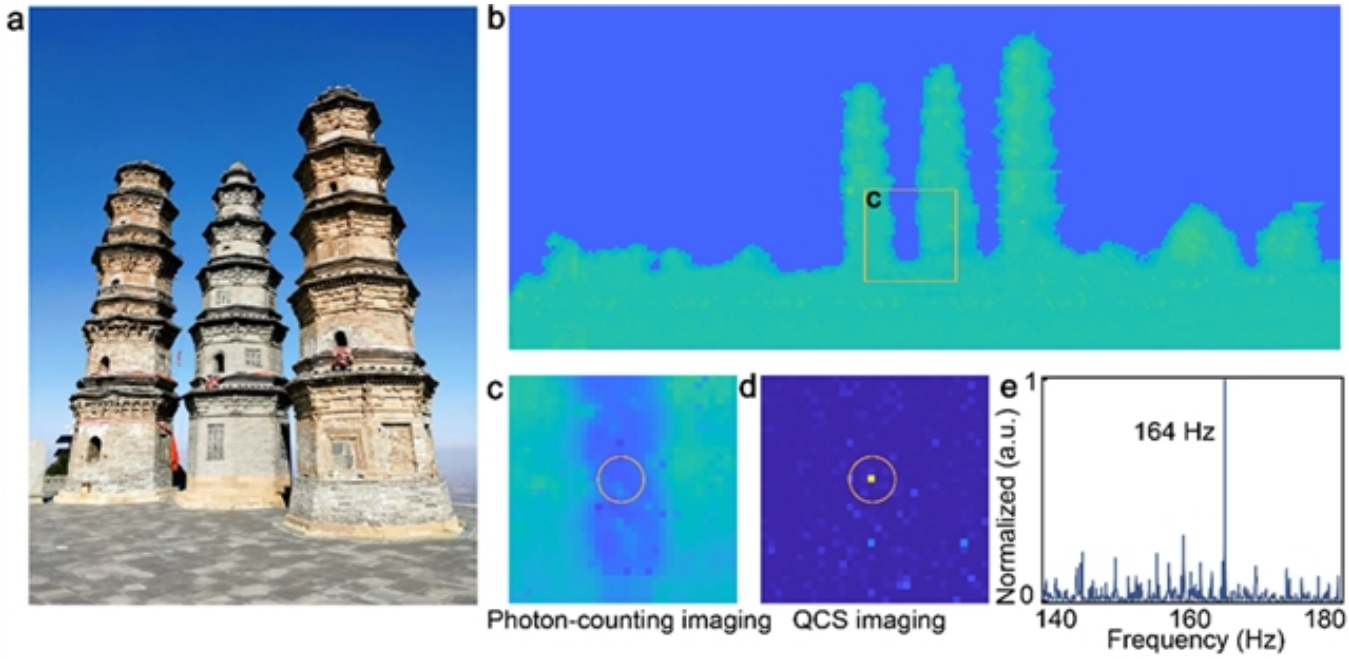


图3 远距离无人机单光子成像 (成像距离10 km)。

总结与展望

该研究提出了一种基于量子压缩感知成像的远距离无人机探测技术。利用无人机旋翼动态信号的频域稀疏性，通过离散、随机光子探测构建压缩测量体系，成功演示了10公里距离的无人机探测。该项技术通过提取目标动态特征进行成像，在保留单光子成像高灵敏探测优势的同时，实现了对目标物体动态特征的直接捕获，为点目标探测提供了新的目标识别维度。同时，由于背景噪声不具备动态特征，该方法展现出了优异的抗噪声性能。该技术还有望用于高速成像，例如空气动力学实验中的发动机转速监测和工业检测中的非接触式振动成像，从而推进了单光子成像在现实场景中的实际应用。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-025-01878-y

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：胡建勇等 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