

Shanghai Astronomical Observatory

中国科学院上海天文台

精勤司天 诚信修文

四孔径干涉望远镜样机研制

张聪聪

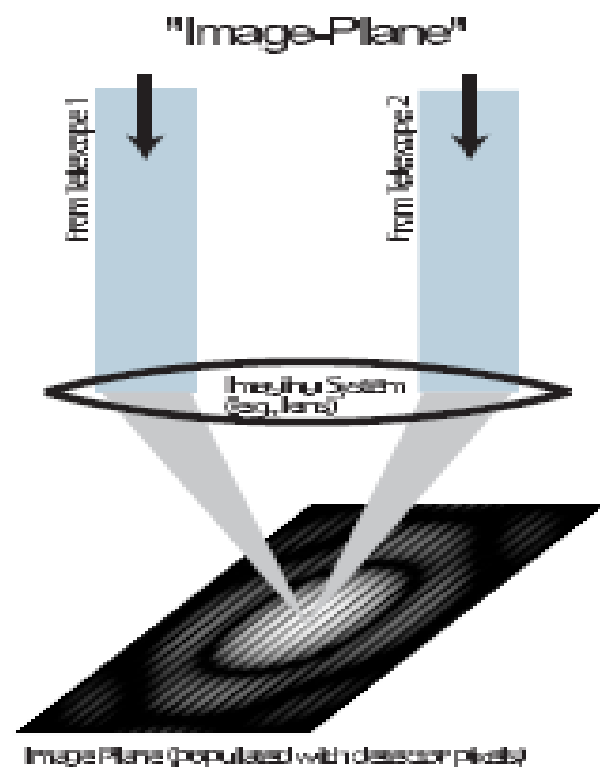
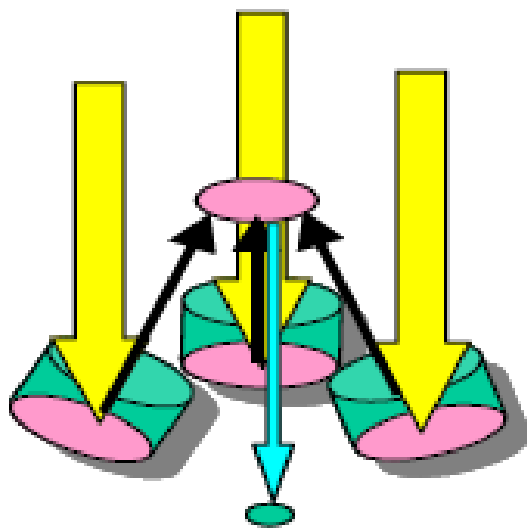
光干涉团队

中国科学院上海天文台

2023年11月21日

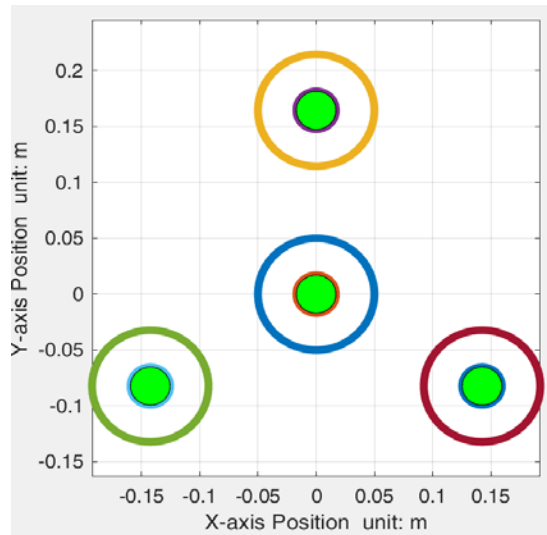
— 光干涉成像技术发展路线

- Fizeau型干涉望远镜将若干子望远镜组成阵列，在像面直接干涉成像
- 特点：高分辨率，大视场（相对于长基线），实时成像
- 应用：
 - 1，高分辨、大视场对地观测
 - 2，空间目标监测和成像识别

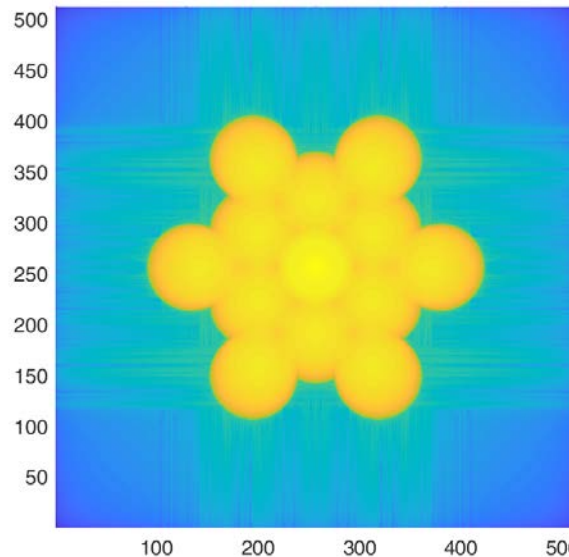


— 光干涉成像技术发展路线

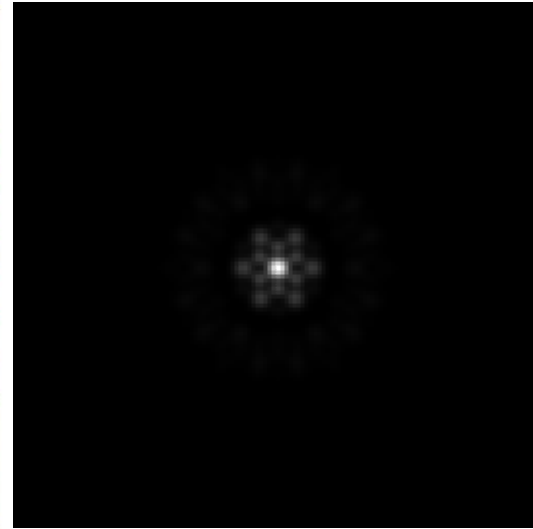
- 朱能鸿院士提出了子孔径Y形分布概念
- 更好的UV覆盖
- 更高的能量集中度



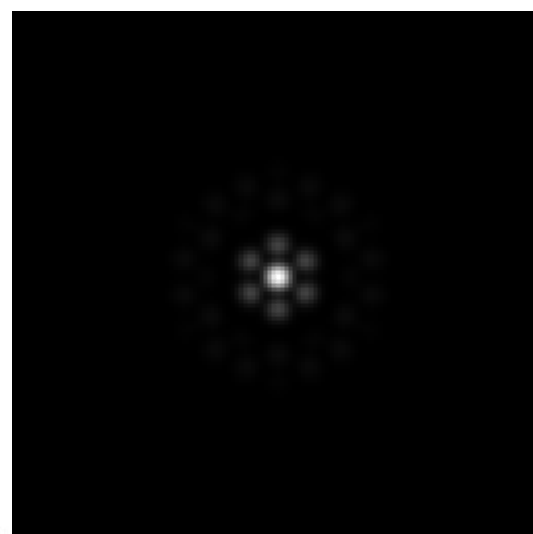
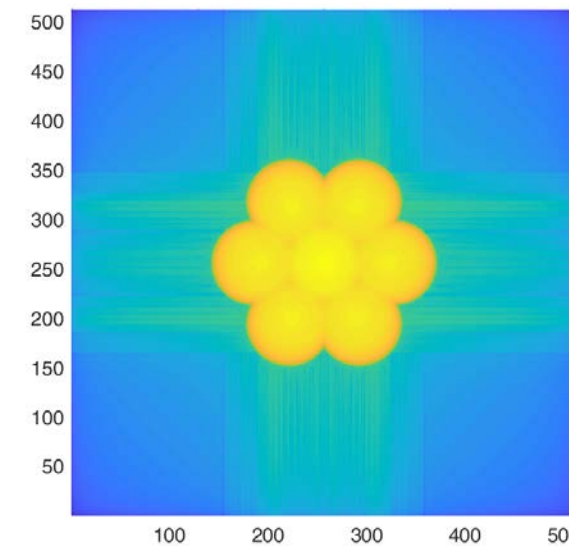
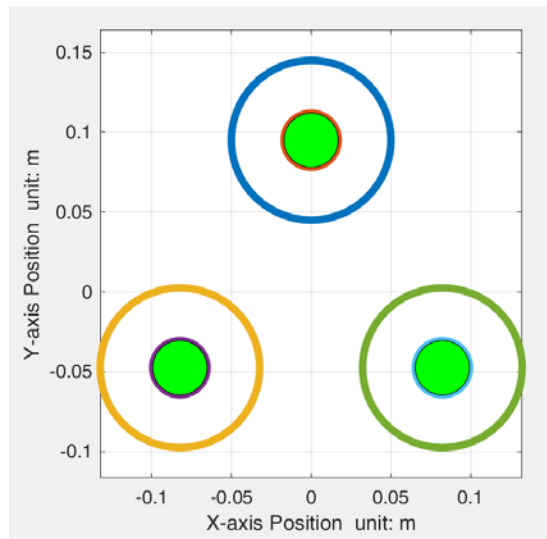
Array

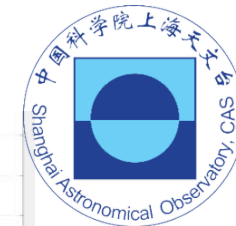


U-V Coverage



PSF

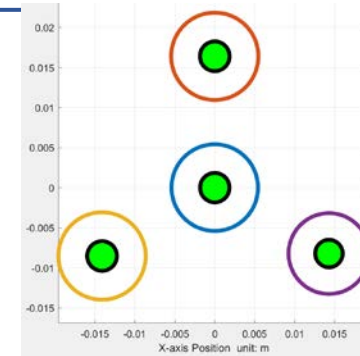




定位：关键技术攻关到工程化验证，**建更大口径**的干涉望远镜做技术储备

目标：共相误差精密检测，实现可见光波段干涉成像

应用：双星天文、近地天体、中低轨空间目标跟踪

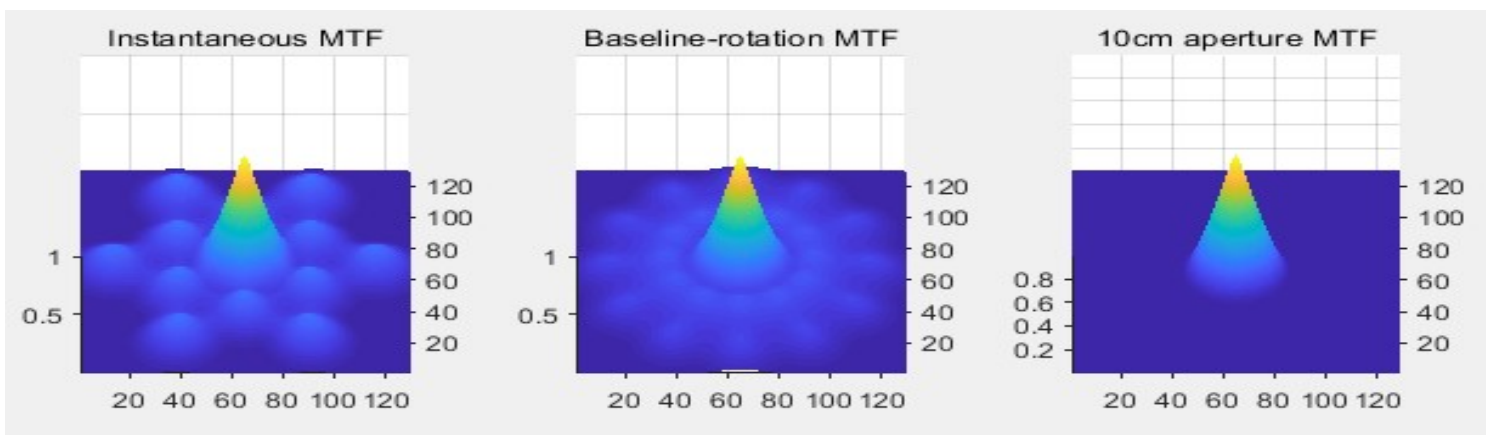
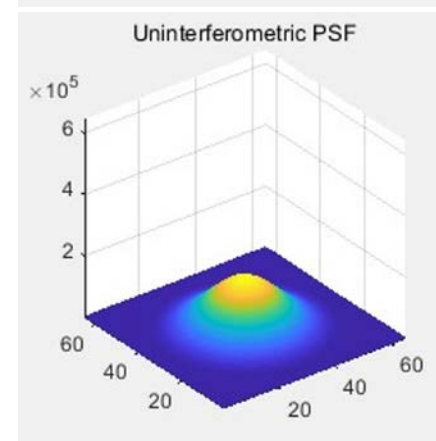
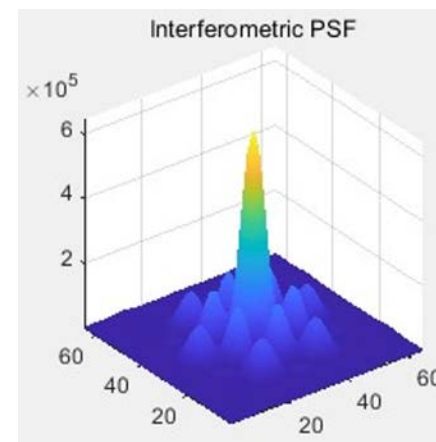


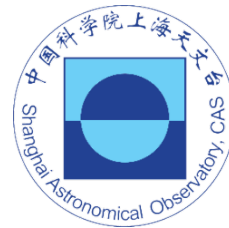
斐索型光干涉关键技术

阵列与结构设计，最大化实现空间频域覆盖

共相检测控制误差精度要求优于1/10波长

干涉图像复原





由4个10cm子孔径组成的干涉成像望远镜

- 地平式
- C形架高度轴系
- 保证高刚性

机架

- 4个10cm
- 呈Y形分布
- 等效28cm

子孔径分布

- 粗、精两级piston补偿
- 倾斜闭环模块

延迟补偿系统

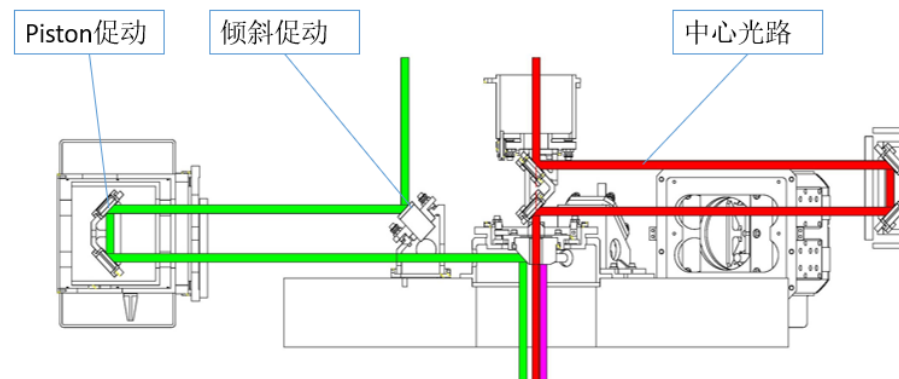
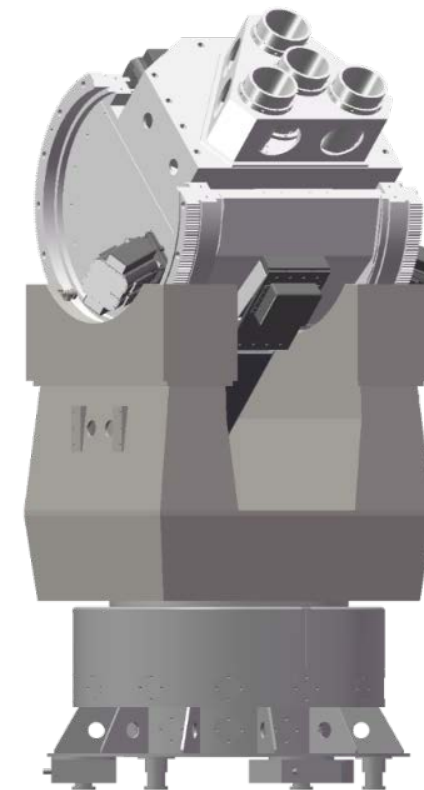
- 条纹扫描和傅里叶功率谱piston检测
- Tip/Tilt误差检测

共相检测系统

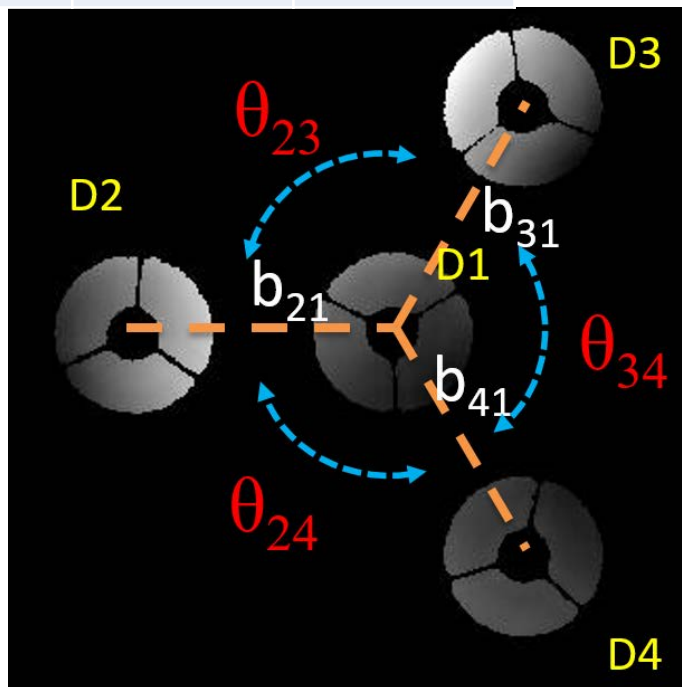
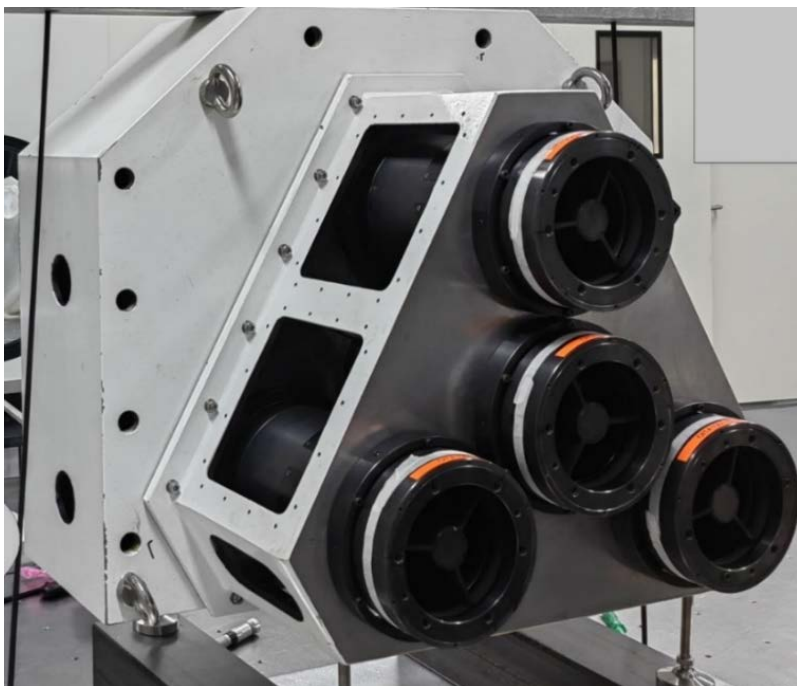
需求：高精度的共相控制，获得高稳定性和持续性干涉成像

- 由4个10cm子孔径呈Y形分布分辨率等效28cm望远镜
- 如何在望远镜上实现实验室内的纳米级共相精度
- 如何获得高稳定性和持续性干涉成像

- 采用独特的C形架，替代传统高度轴形式，保证刚性
- 采用模块化设计，保证高精度共相控制
- 在C形架内部设计了延迟光路平台，提高了稳定性



子孔径像质	1#	2#	3#	4#	平均值
波前PV/ (λ)	0.262	0.366	0.28	0.22	0.28 ($1/4\lambda$)
波前RMS/ (λ)	0.039	0.046	0.049	0.026	0.04 ($1/25\lambda$)

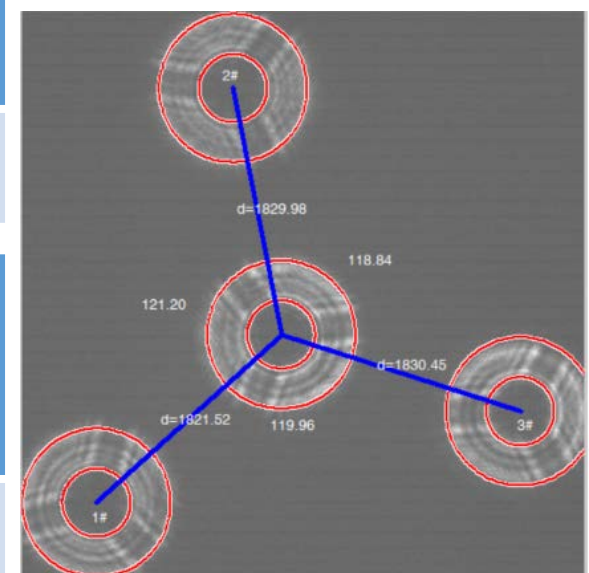
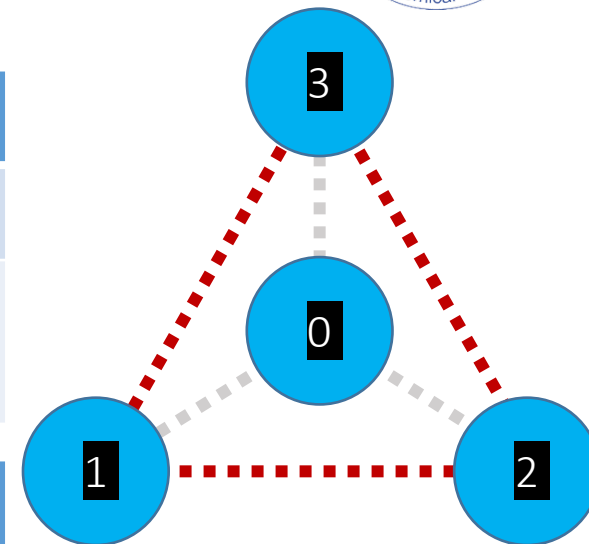


四个子孔径直径和基线对比

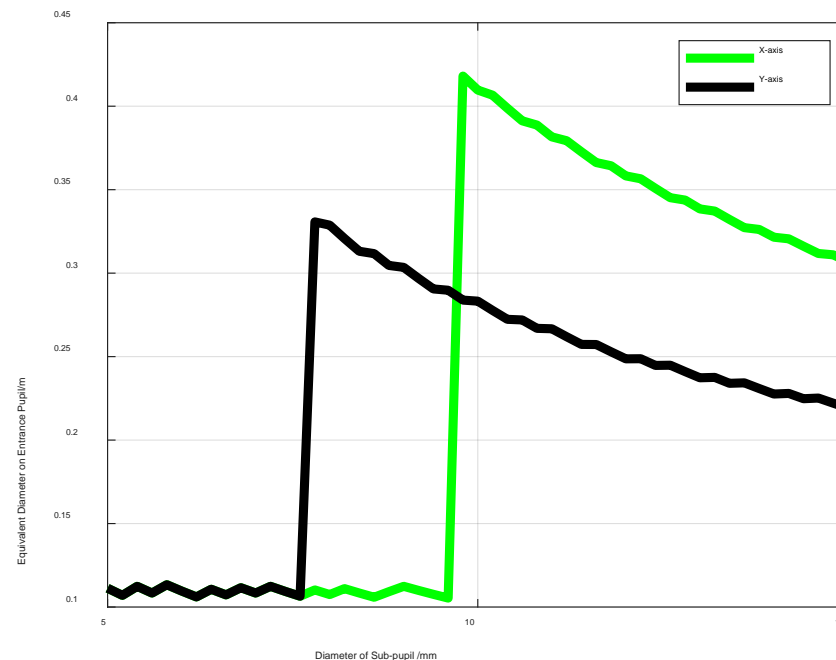
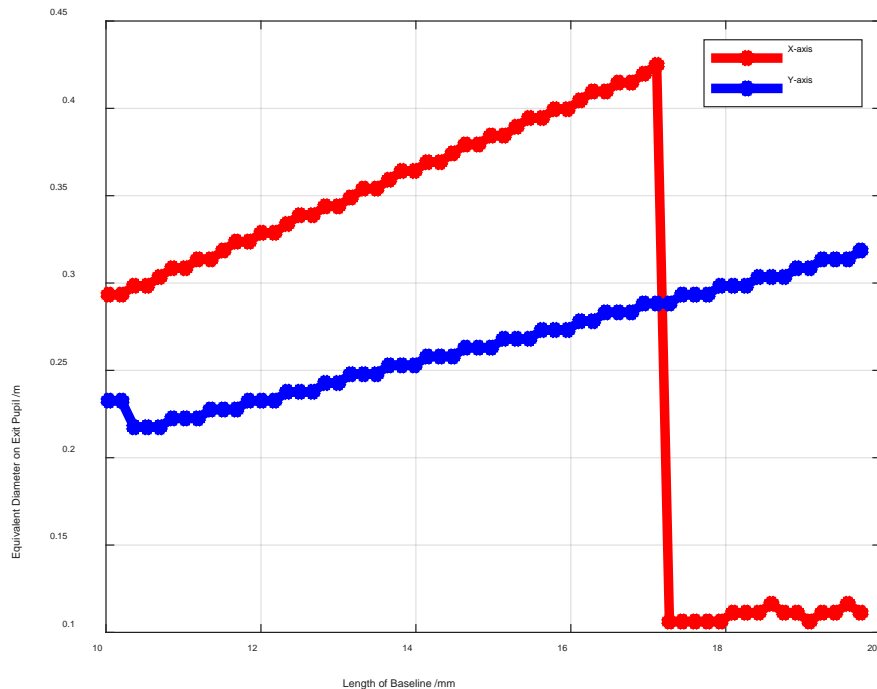
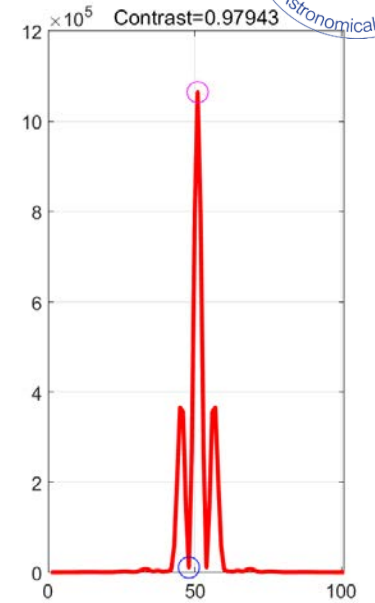
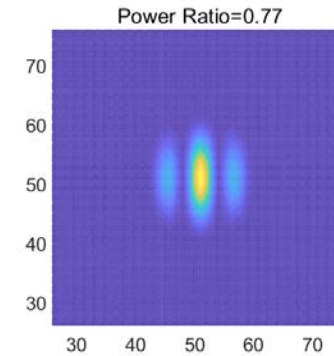
孔径编号	理论值	0	1	2	3	Max-Ref	Max-Min
直径D(mm)	10	10.81	10.90	10.91	10.08	0.91	0.83
能量比PR(以0号为参考)	1	1	0.949	0.941	0.952	0.059	0.011

基线编号	理论值	0-1	0-2	0-3	Max-Ref	Max-Min
L基线长度(mm)	16.45	16.394	16.470	16.474	0.056	0.08

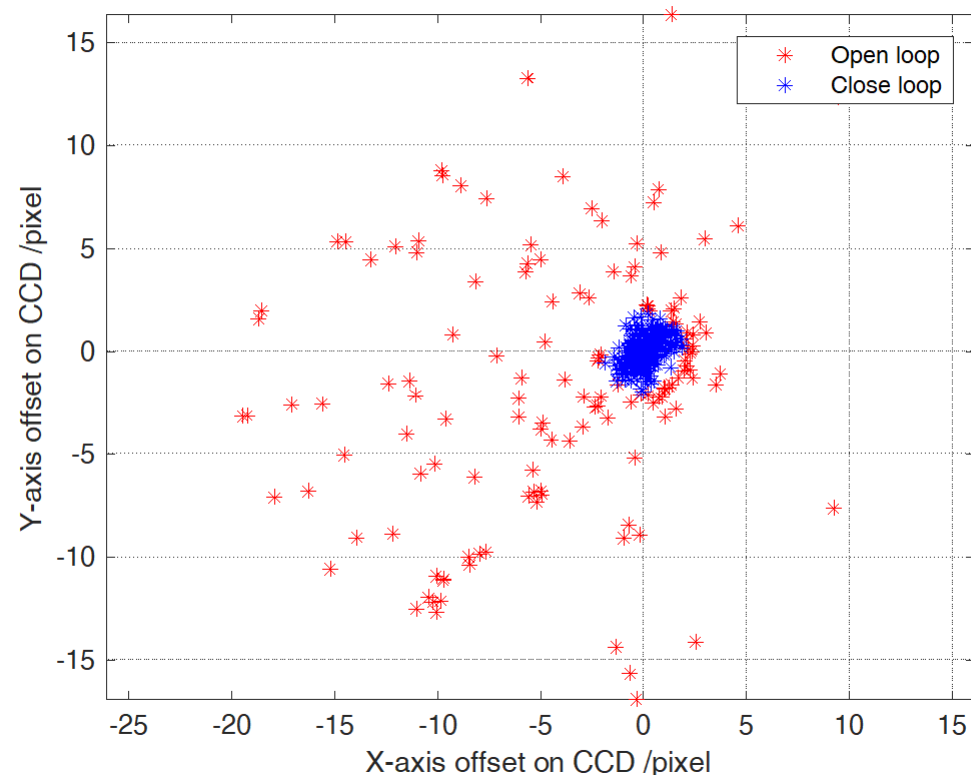
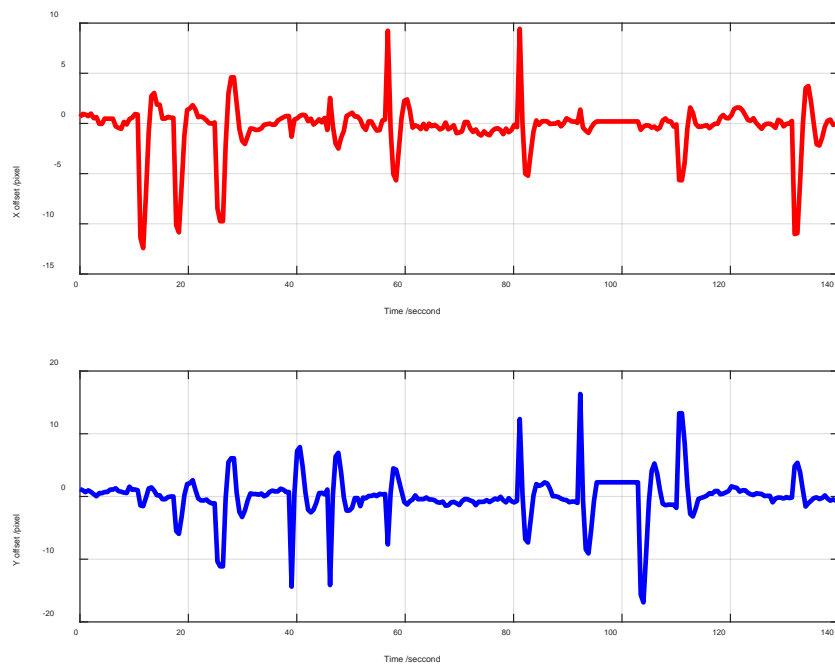
夹角编号	理论值	0-1 : 0-2	0-2 : 0-3	0-3 : 0-1	Max-Ref	Max-Min
基线夹角 $\theta(^{\circ})$	120	121.2	118.84	119.96	1.2	2.36



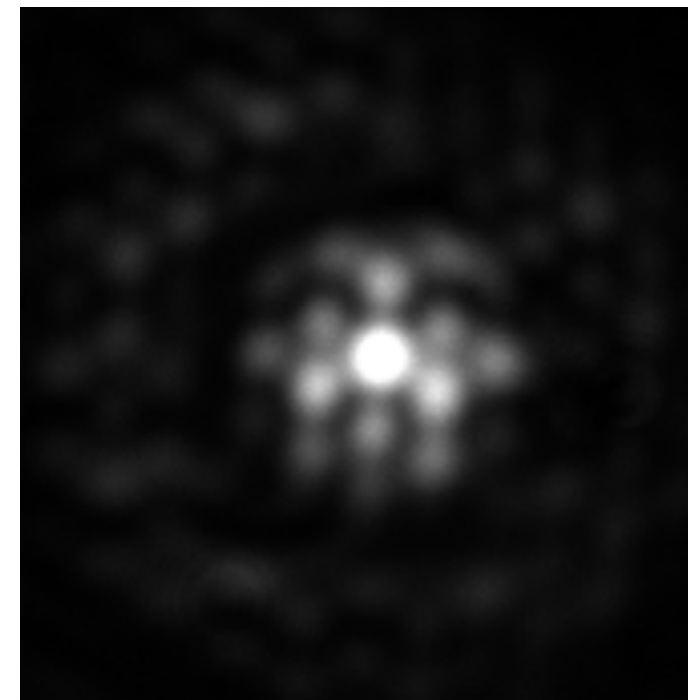
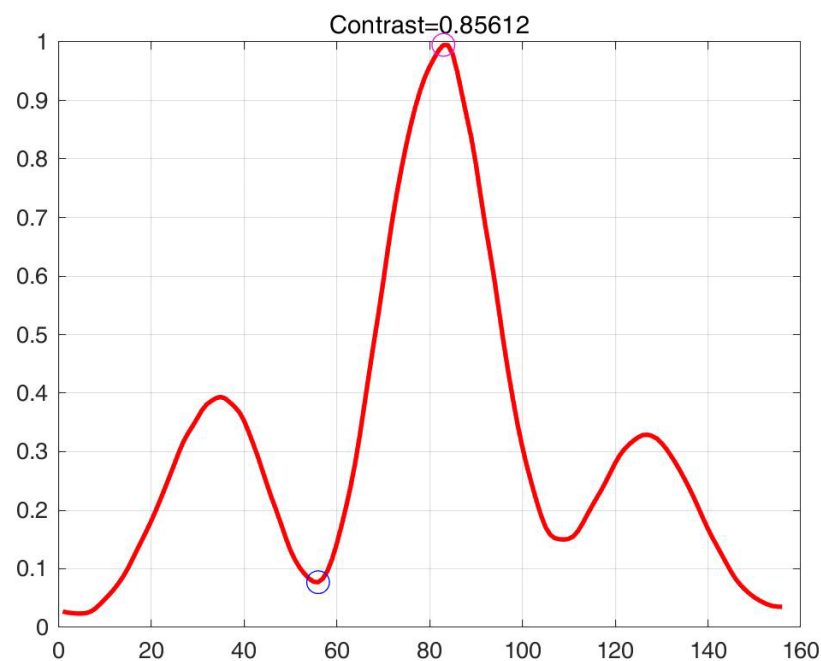
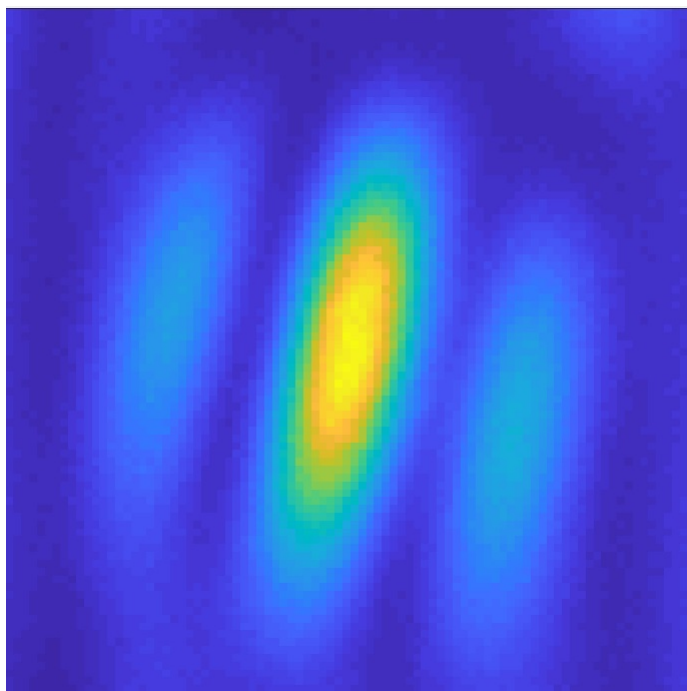
- 子孔径能量不一致影响条纹对比度
- 实测值 (能量比 ≥ 0.94 , 直径比 ≤ 1.09) 影响条纹对比度 0.98 , 能满足条纹对比度要求
- 当前基线实际值 (基线差 $\leq 0.056\text{mm}$) 能满足等效口径 28cm 要求



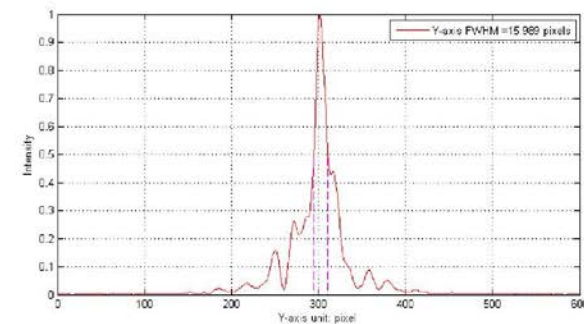
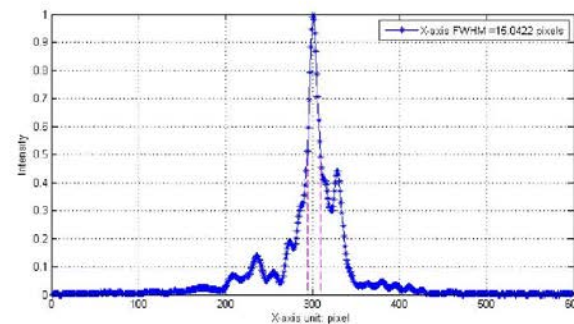
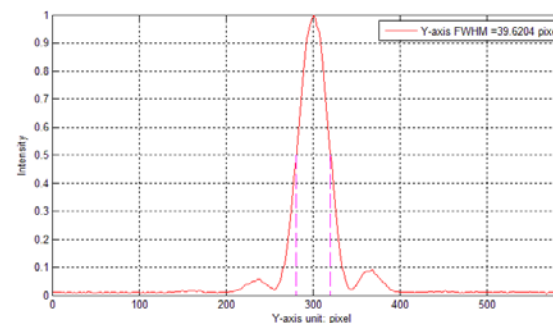
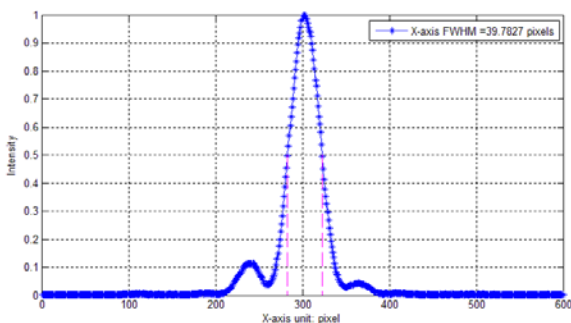
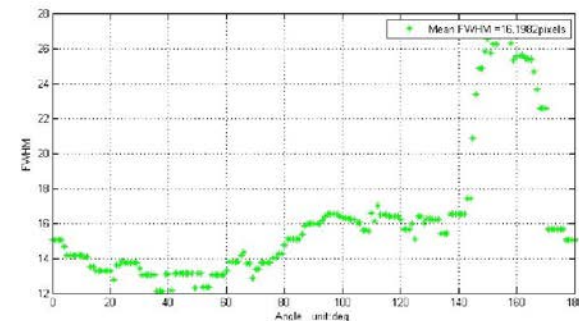
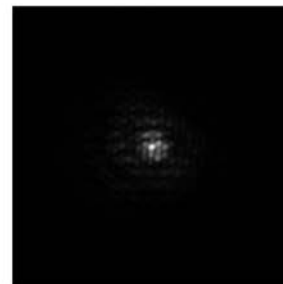
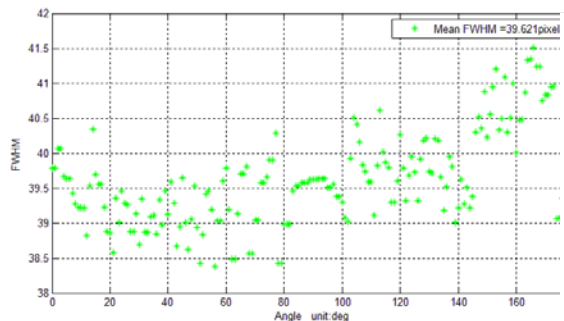
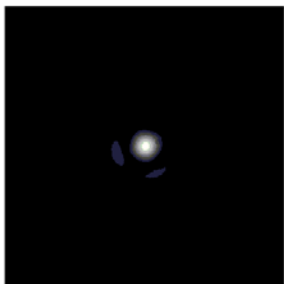
- 闭环倾斜模块
- 施加Tip/Tilt偏差：人为施加二维倾斜，使各子孔径像斑围绕初始位置作圆周运动，幅度20角秒
- 可实现倾斜闭环，闭环精度在2个像元内（ ≈ 0.3 角秒）



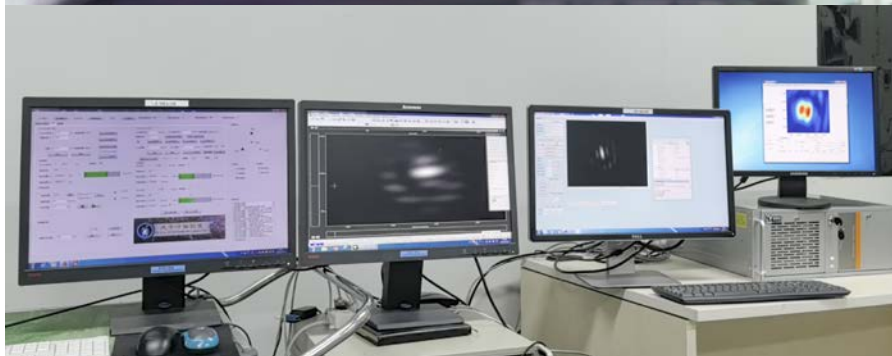
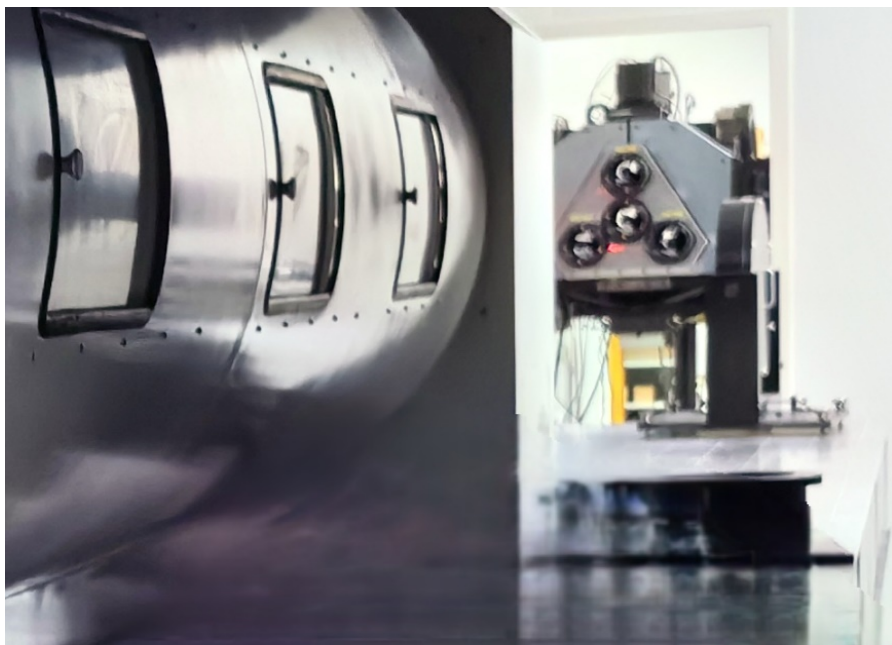
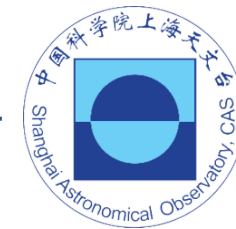
piston共相采用条纹对比度实时检测和闭环校正



- 实测单孔径FWHM约为40pixel (1.13")
- 四孔径共相后FWHM约为15pixel (0.43")
- 与理论仿真结果一致

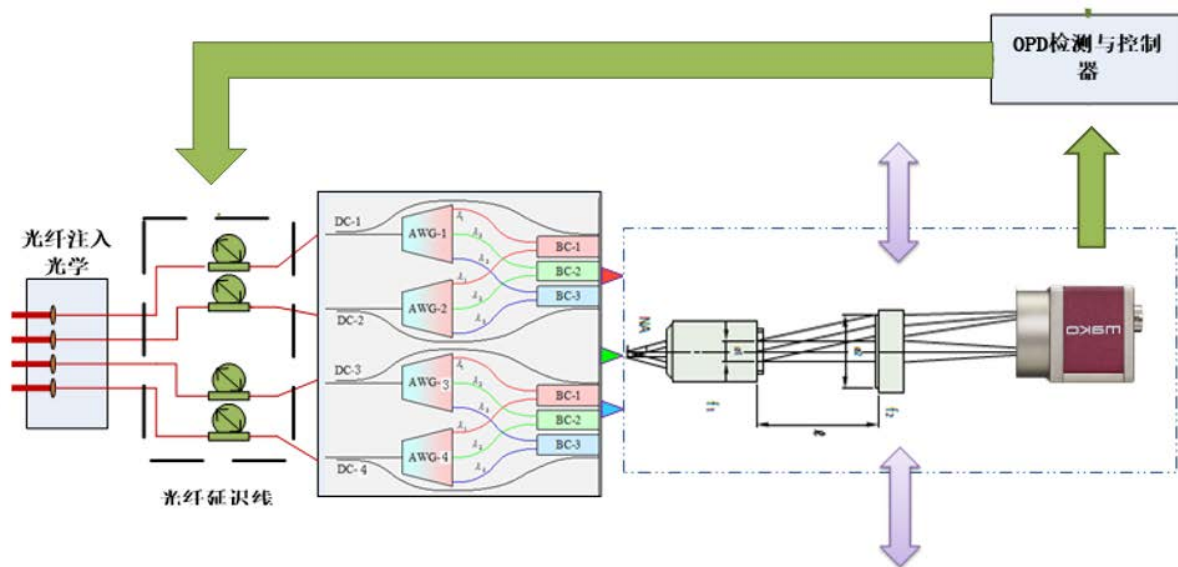


五 四孔径光干涉望远镜样机研制-现场安装



五 下一步工作

- 开展观测实验，验证闭环控制系统稳定性和持续性
- 开展消零干涉观测实验
- 开展光子芯片共相检测实验



谢谢！