

大气湍流对拼接镜面共相误差 探测的影响研究

王斌 金振宇 戴懿纯 杨德华 吴常铖 王昆延

中国科学院云南天文台
南京天文光学技术研究所
南京航空航天大学

报告提纲

研究背景介绍

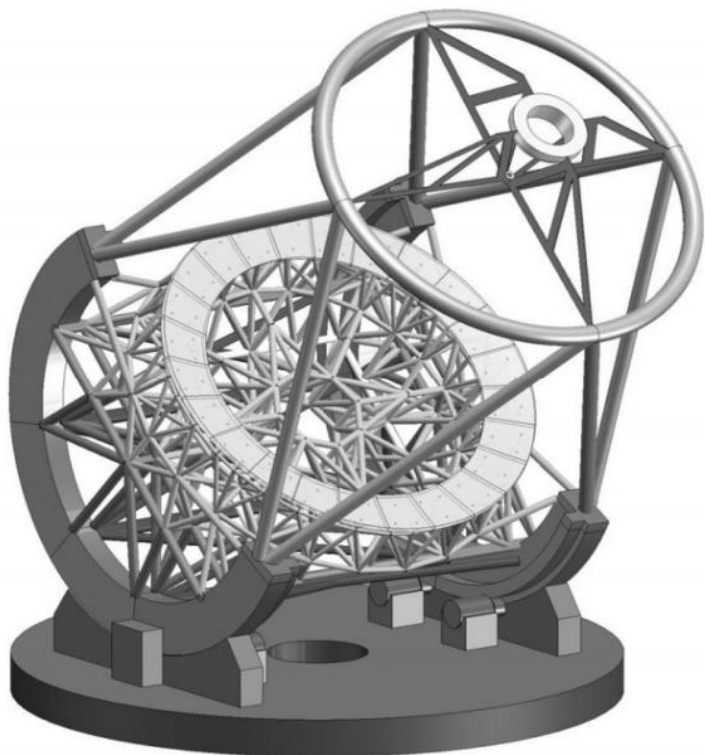
大气湍流对探测的影响

湍流环境下的探测实验

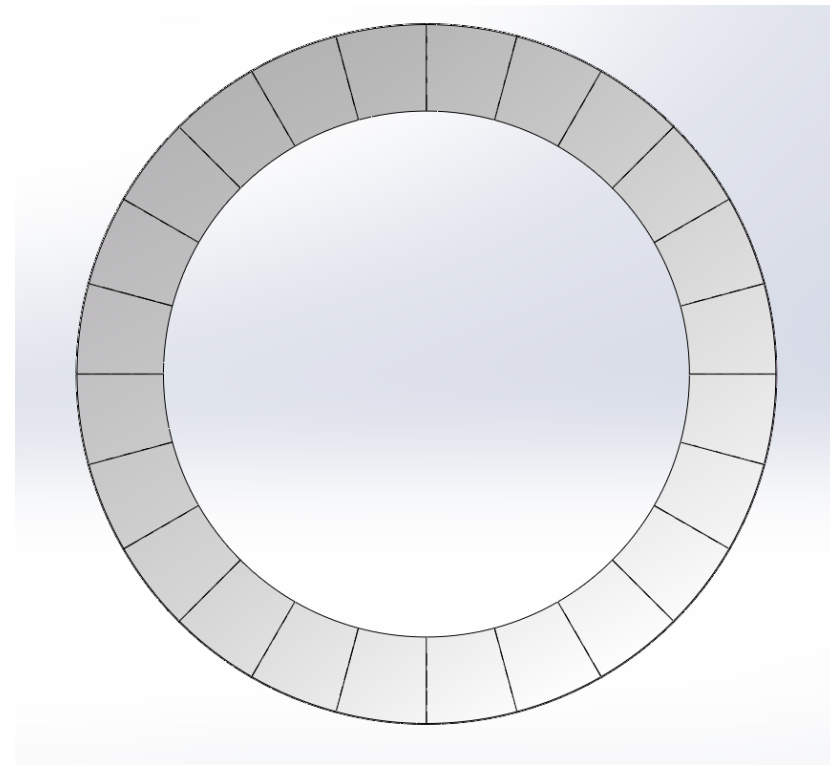
总结

1

研究背景



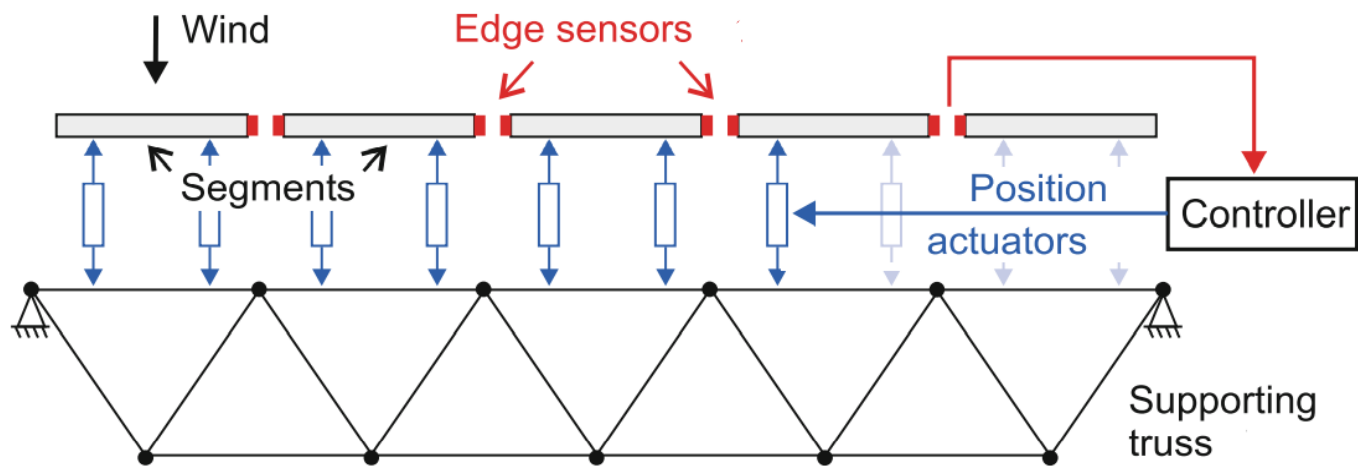
中国巨型太阳望远镜(CGST)



主镜采用拼接镜面

1

研究背景



CGST共相拼接的难点: 共相误差的探测和改正

拼接镜面太阳望远镜面临的问题：**复杂的观测环境**

日间环境温度起伏大

主镜面温控

望远镜结构受热辐射影响

机电型边缘传感器的**零点漂移**

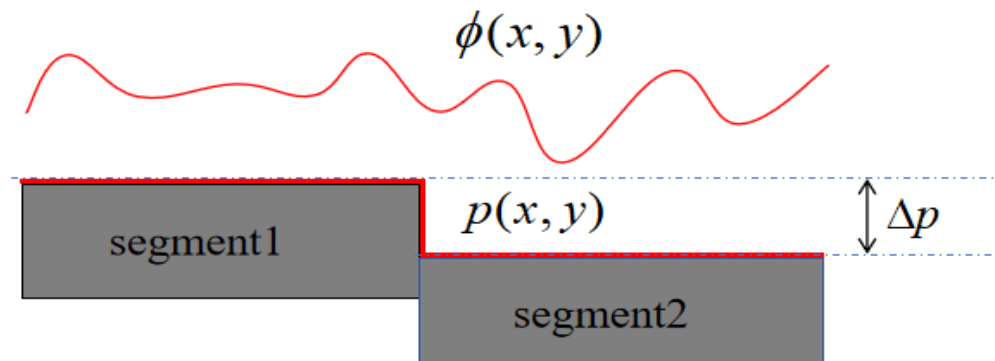
解决方案：
光学探测进行短周期定标
光学探测器替代边缘传感器

大气湍流影响光学探测的精度、频率

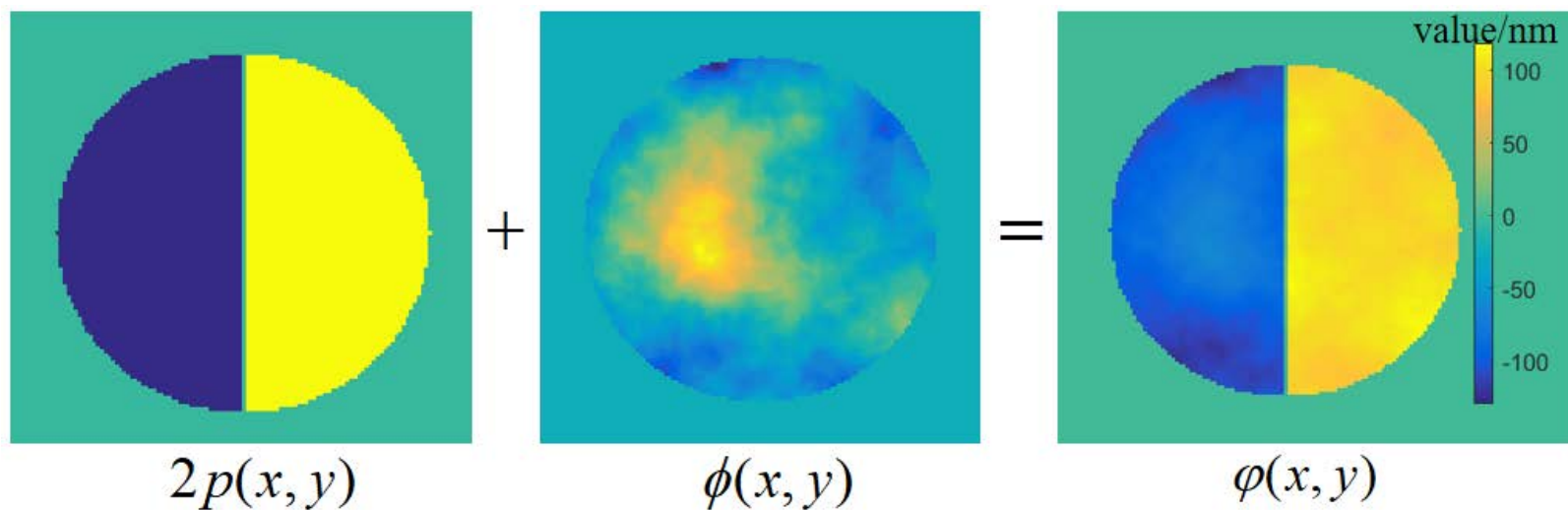
拼接望远镜	共相误差探测周期
Keck	30s~60s
GTC	15s~30s
ELT (预计)	15s~20s

研究大气湍流是如何影响光学型的共相误差探测

评估存在大气湍流时，光学方法能否满足短周期定标的需求 (rms 3nm, 不少于0.1 Hz)



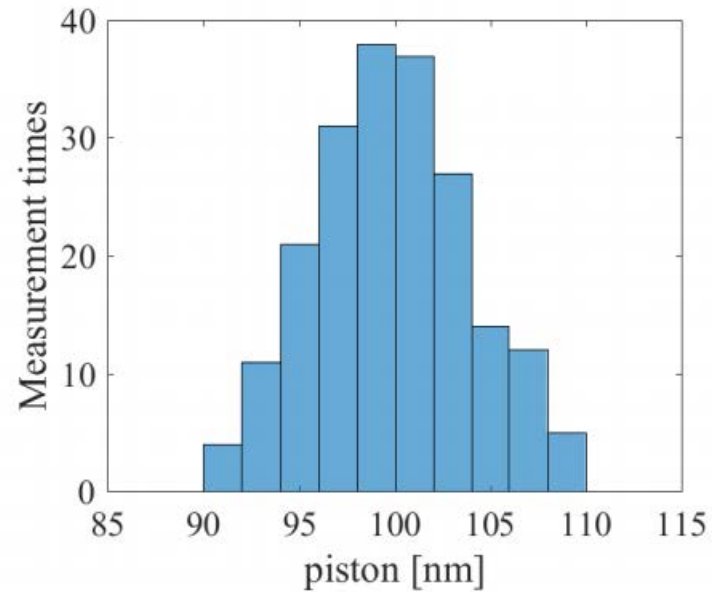
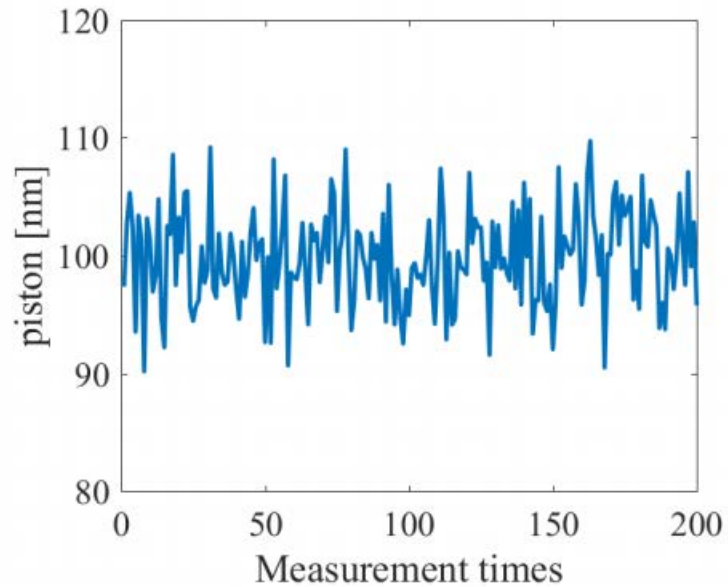
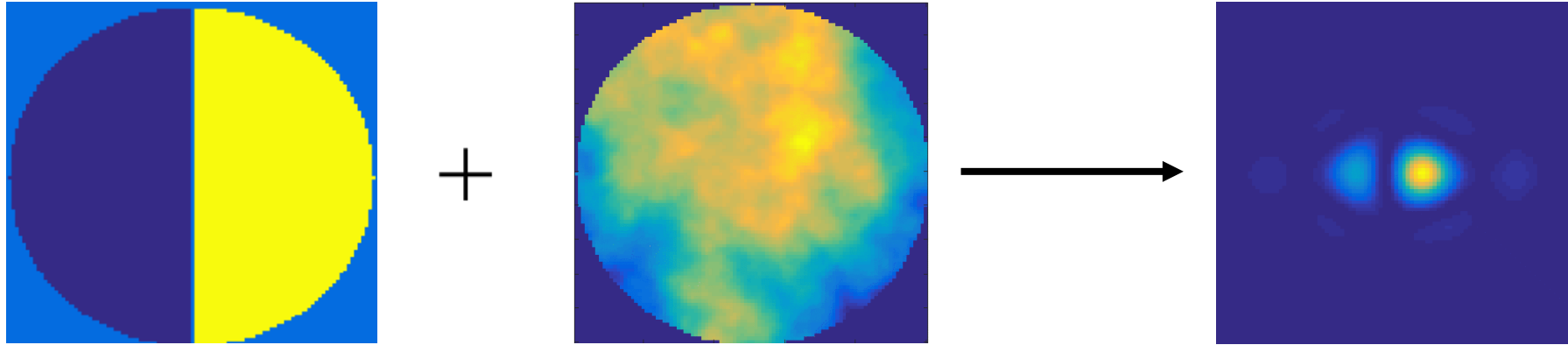
$$\varphi(x, y) = 2P(x, y) + \phi(x, y)$$



2 大气湍流对光学探测的影响

$r_0 = 10 \text{ cm}$

$D = 5 \text{ cm}$



子孔径尺寸

曝光时间

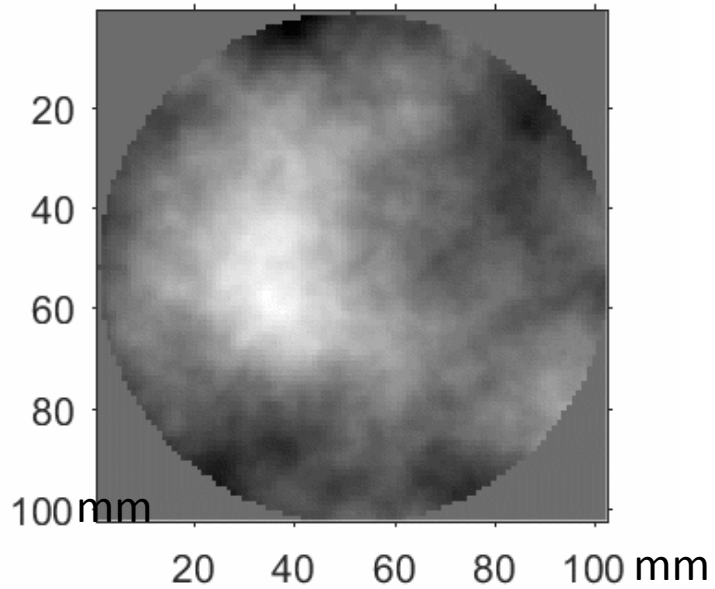
2.1 不同D/r₀对探测的影响

D/r_0	piston=-67nm		piston=28nm		piston=100nm	
	STD(nm)	PV(nm)	STD(nm)	PV(nm)	STD(nm)	PV(nm)
0.5	3.58	19.02	3.71	19.67	3.73	19.58
1	6.96	35.95	6.91	35.75	6.85	35.12
1.5	11.98	61.81	12.18	61.52	12.27	62.43

当子孔径尺寸接近或小于大气相干长度时，PSF主要表现为随机抖动，测量起伏较小

大气湍流对光学探测的影响

2.2 不同曝光时间对探测的影响



Exposure time	STD(nm)	PV(nm)
5 ms	8.41	45.72
10 ms	6.23	34.38
20 ms	3.98	17.21
40 ms	2.14	9.82

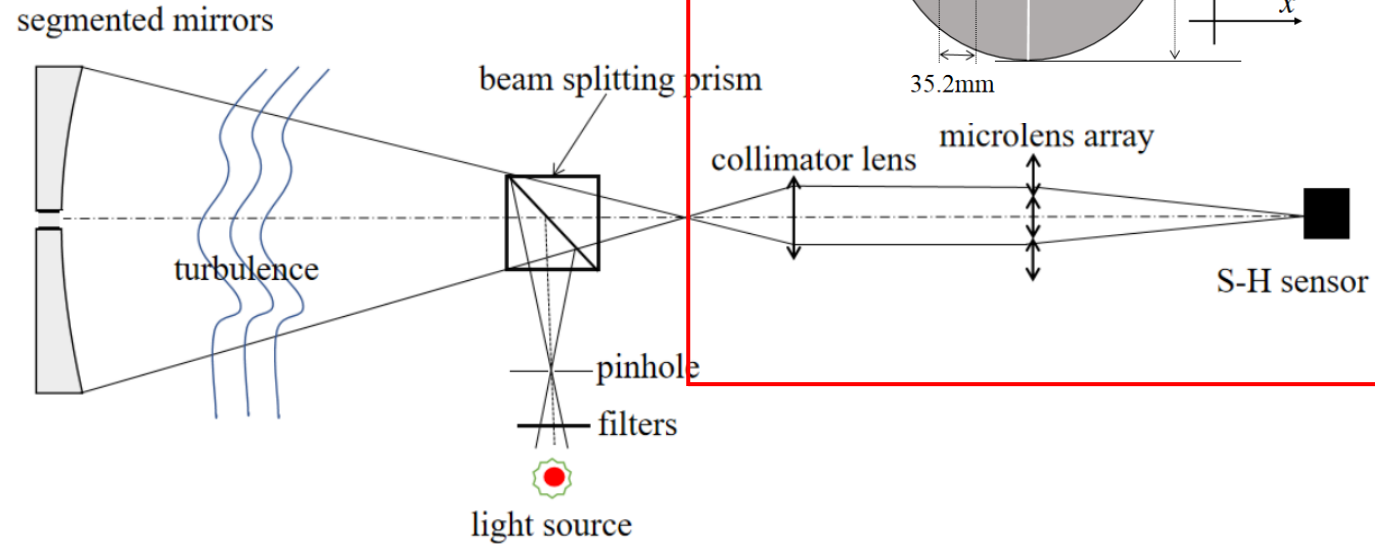
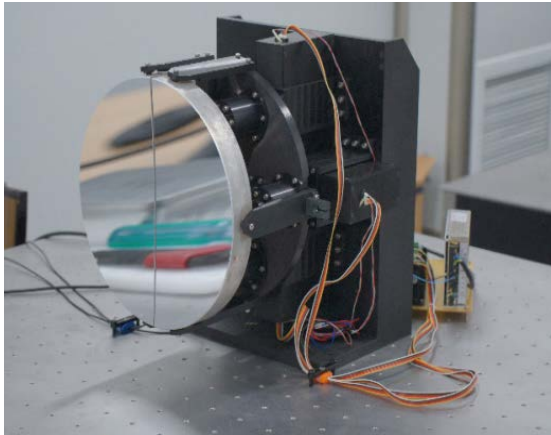
$$r_0 = 10 \text{ cm} \quad D = 10 \text{ cm} \quad v = 5 \text{ m/s}$$

增加曝光时间可以抑制大气湍流的影响

3

湍流环境下的探测实验

3.1 模拟湍流环境

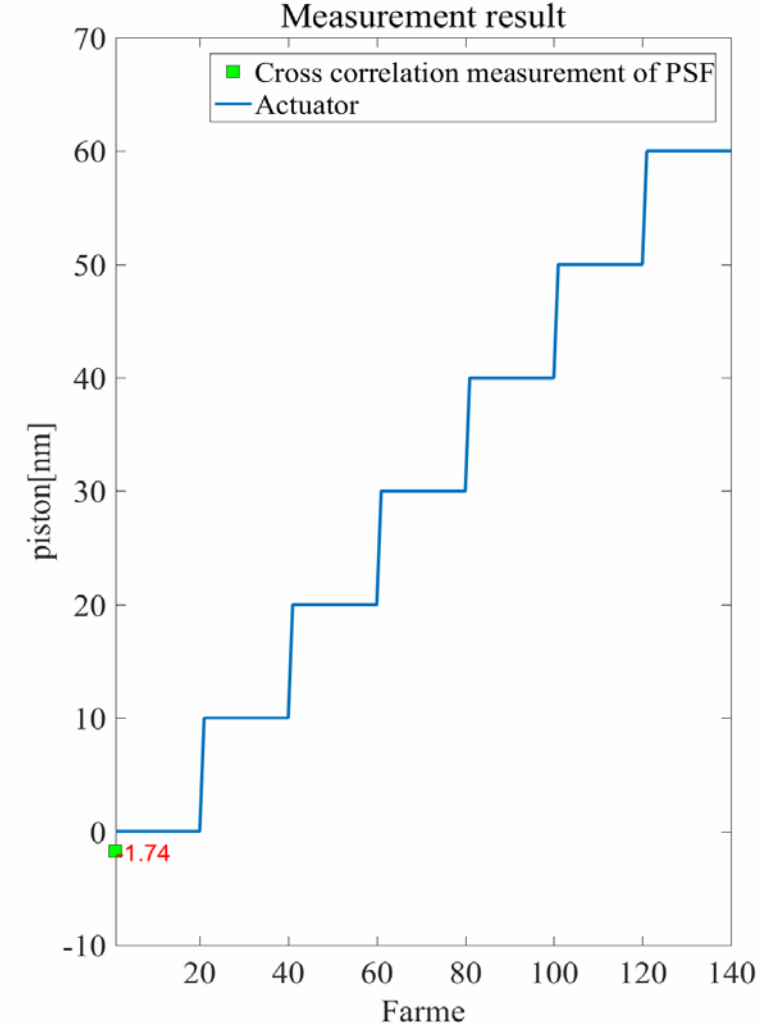
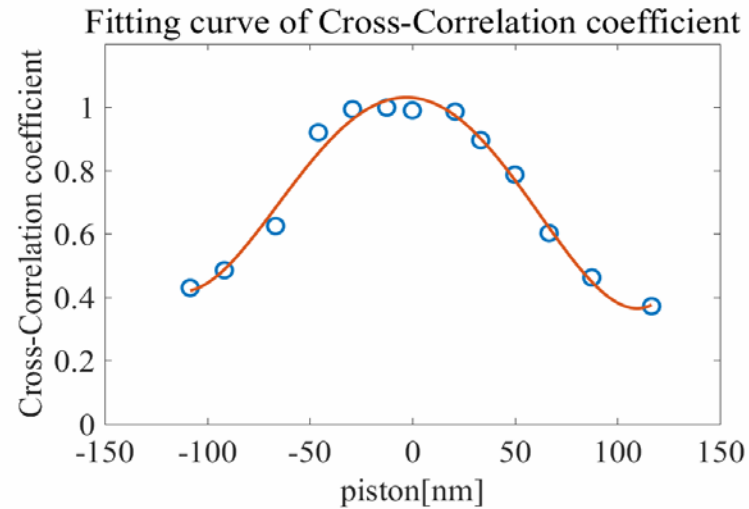
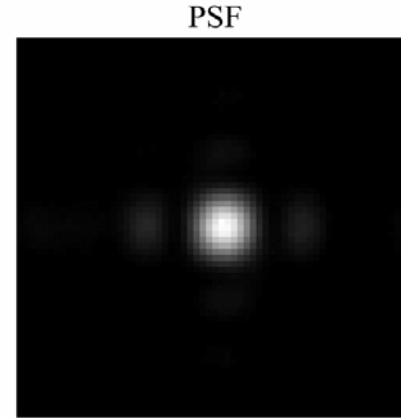
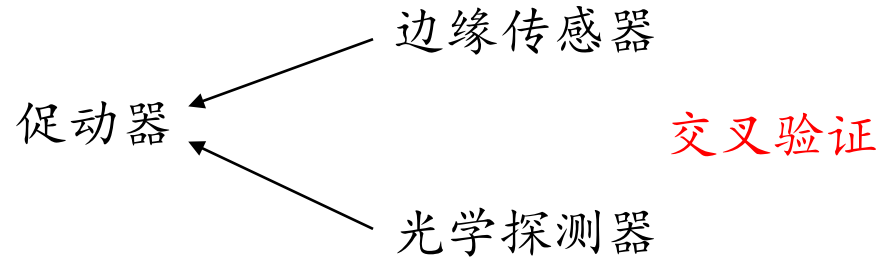


根据两子孔径间的相对质心偏移量估计湍流强度

3

湍流环境下的探测实验

3.2 探测实验

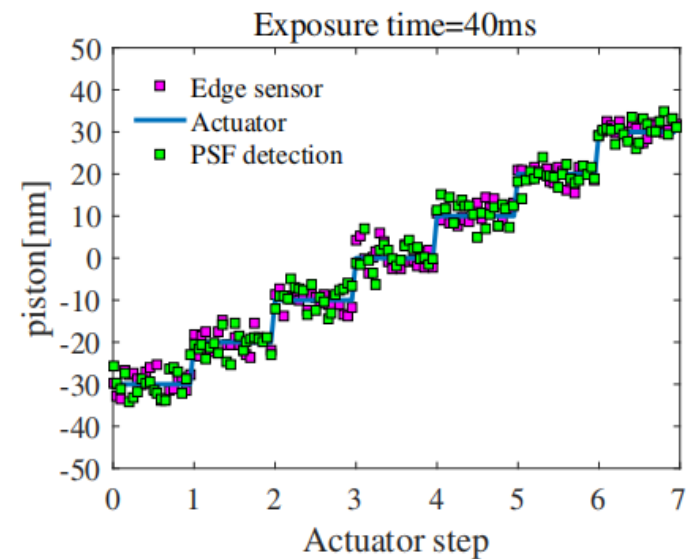
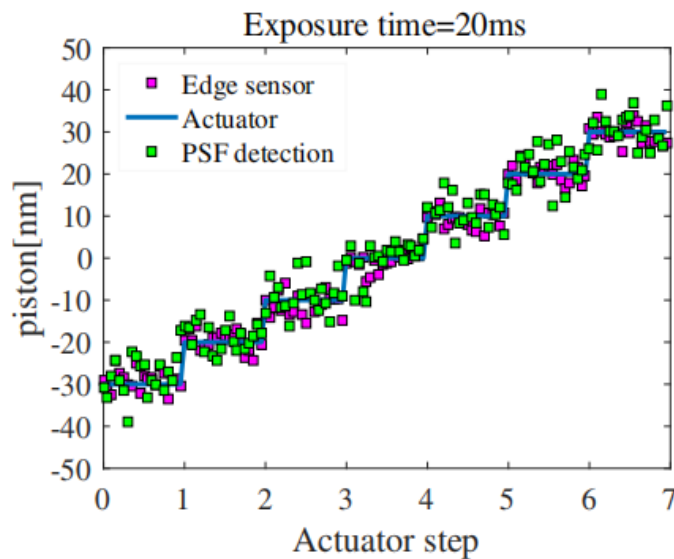
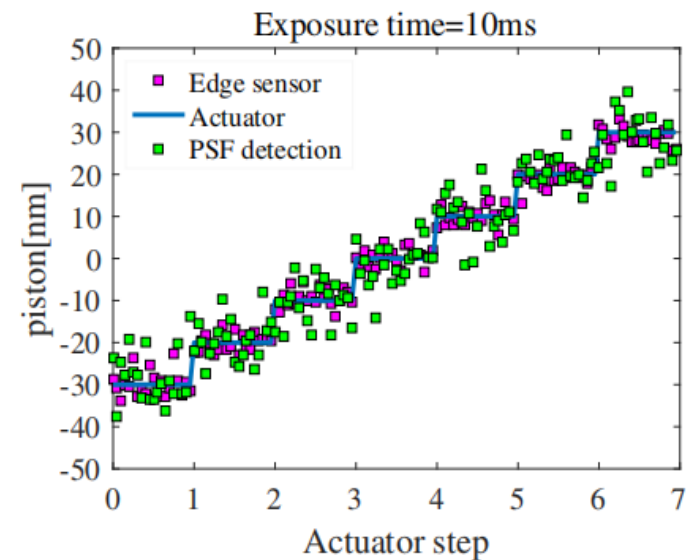
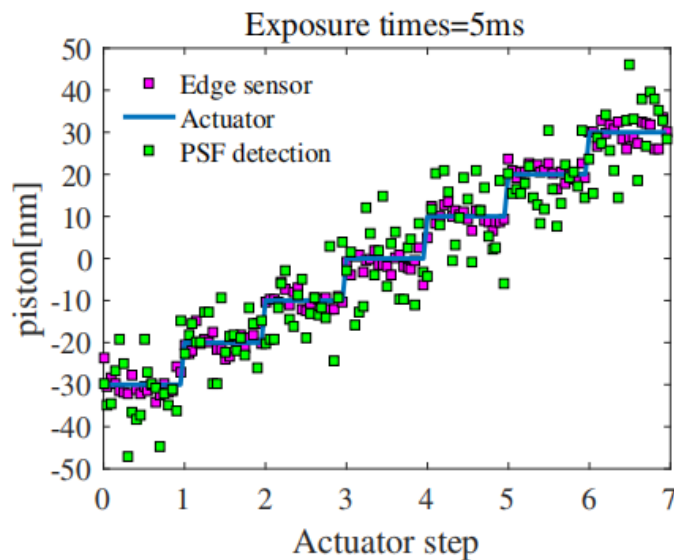


曝光时间: 5 ms , 10 ms , 20ms , 40 ms

子孔径尺寸(D/r_0): 1.21 , 0.82

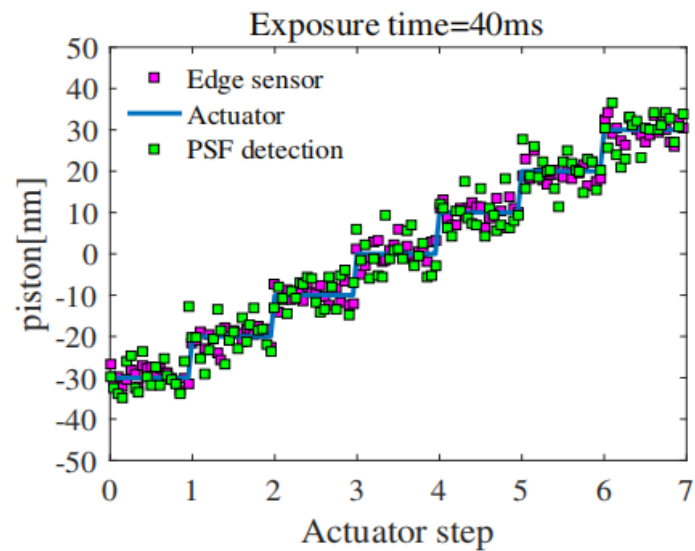
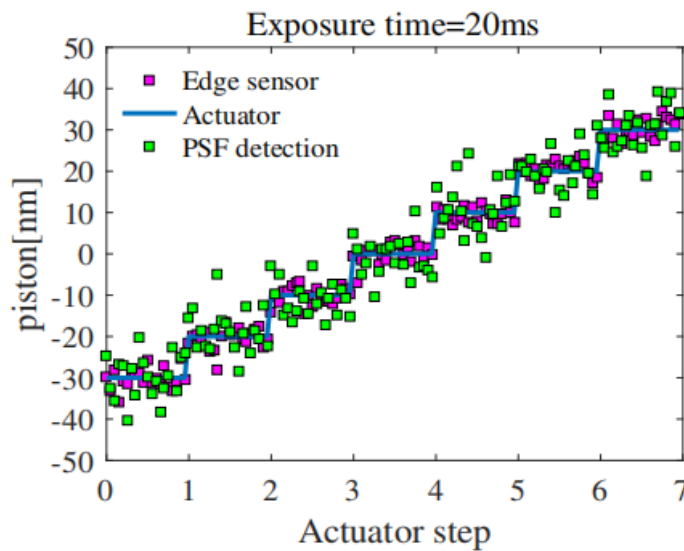
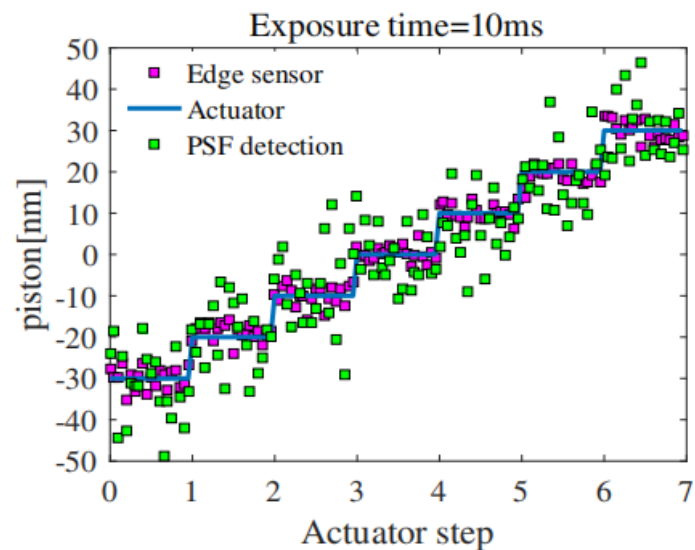
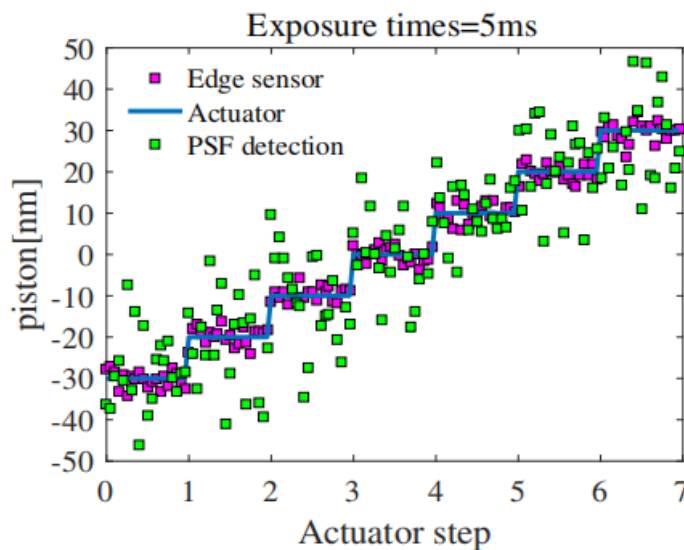
3.3 实验结果

$$D/r_0 = 0.82$$



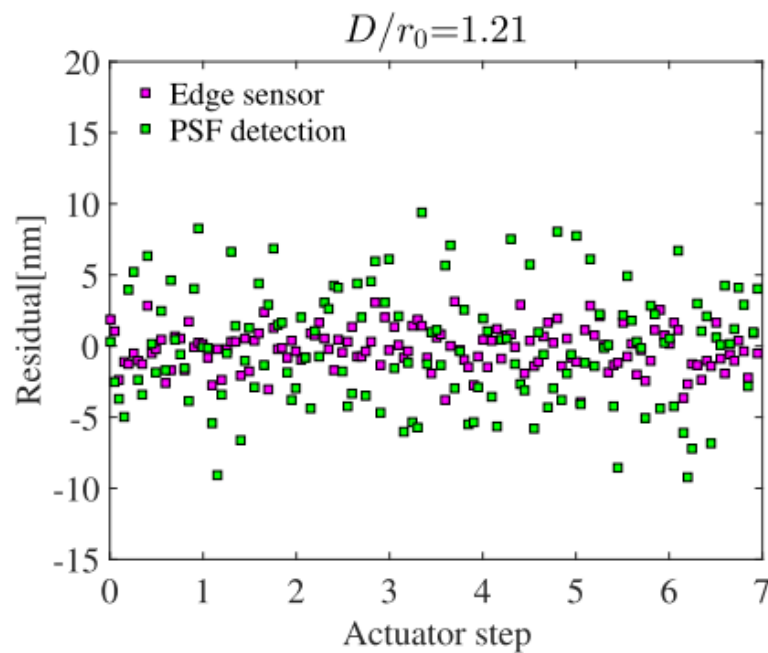
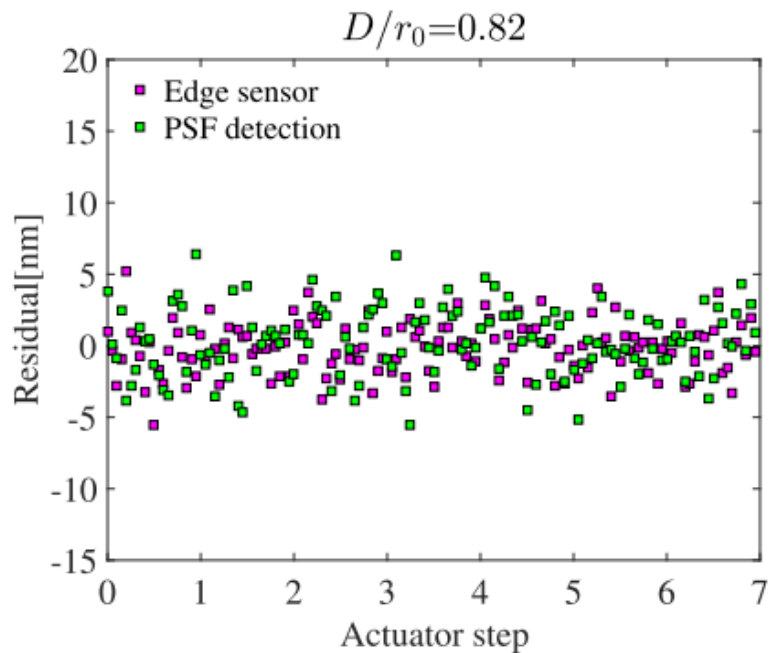
3.3 实验结果

$$D/r_0 = 1.21$$



3.3 实验结果

曝光时间40 ms



3.3 实验结果

残差的统计结果

Exposure time	$D/r_0=0.82$		$D/r_0=1.21$	
	RMS(nm)	PV(nm)	RMS(nm)	PV(nm)
5 ms	7.43	38.33	9.58	48.22
10 ms	5.26	28.52	7.12	36.61
20 ms	3.79	19.47	5.19	26.98
40 ms	2.57	12.31	3.85	19.61

探测子孔径尺寸不大于大气相干长度

曝光时间不小于40 ms

3.4 结果讨论

结论：大气视宁度良好(10cm)，探测子孔径为8cm时，光学探测的频率可达10Hz以上

讨论

机电型边缘传感器的零点定标改正频率可达10Hz

光学探测替代机电型边缘传感器的可能性

Bin Wang, Zhenyu Jin, Yichun Dai, De Hua Yang, and Fang Yu Xu. Research on piston error sensing for segmented mirrors under atmospheric turbulence[J].Optics Express ,2023,31(20):33719-33731 .

复杂的太阳观测环境导致机电型边缘传感器零点漂移，采用光学探测方法对其进行短周期定标改正，而大气湍流会影响定标改正的精度、频率。

针对这个问题，开展了以下两个研究：

- (1) 大气湍流对光学探测影响的模拟分析
- (2) 湍流环境下的探测实验

子孔径尺寸为大气相干长度0.8倍，曝光时间不少于40ms时，光学探测满足边缘传感器的短周期定标改正要求

谢谢