

**机械科学与工程学院**

**《创新项目实践》中期报告**

**（题目： 双轴MEMS微镜解耦矫正 ）**

|  |  |
| --- | --- |
| **姓 名** | 刘文涛 |
| **班 级** | 机械本硕博2201班 |
| **学 号** | U202210847 |
| **报告评分** |  |

2025年 1 月 12 日

**摘要**

本学期进行了关于微机电系统（MEMS）的学习，MEMS扫描微镜作为一种关键的微型光学元件，在众多领域如光学成像、激光雷达、显示技术等都有着广泛的应用。然而，由于其双轴扫描结构的复杂性，两个扫描轴之间往往存在动态耦合现象，导致扫描图像出现失真，影响了成像质量和系统的性能。因此，实现MEMS扫描微镜的解耦矫正算法对于提升其应用价值具有重要意义。本学期在阅读论文后根据掌握的知识和技能，逐步推进完成关于双轴扫瞄镜的解耦矫正算法。

**关键词**：**MEMS、耦合、成像质量、失真**

1. 项目背景与研究意义
2. **MEMS扫描微镜的应用背景**

MEMS扫描微镜具有体积小、重量轻、功耗低、扫描速度快等优点，因此其发展速度十分迅速并且在多个领域被应用。例如，在激光雷达中，MEMS微镜可以实现对目标物体的快速扫描和距离测量；在显示技术中，通过控制微镜的偏转角度，能够实现高质量的图像投影。而MEMS扫描微镜的动态耦合问题会极大程度上影响其扫描的精确程度。

1. **解耦矫正算法的研究意义**

动态耦合现象是指输入激励后MEMS扫描微镜的两个扫描轴之间的运动相互影响，导致扫描轨迹偏离预期，产生图像失真。这种失真不仅影响了图像的清晰度和分辨率，还可能导致测量误差和定位不准确。因此，开发有效的解耦矫正算法，能够精确地控制每个扫描轴的运动，消除耦合效应，对于提高MEMS扫描微镜的性能和满足高精度应用需求具有至关重要的意义。

1. 目前掌握的方法
2. **基于奇异值分解（SVD）的解耦方法**

奇异值分解是一种强大的数学工具，可以用于分析和处理矩阵数据。在MEMS扫描微镜的解耦矫正中，首先将微镜的输入信号和输出响应构建成一个矩阵，然后通过SVD对该矩阵进行分解。SVD能够将原始矩阵分解为奇异值、左奇异向量和右奇异向量三个部分，其中奇异值反映了矩阵中各个方向上的能量分布。通过分析奇异值的大小，可以识别出耦合效应较强的方向，并利用左奇异向量和右奇异向量对输入信号进行重构，从而实现解耦矫正。这种方法能够有效地提取出耦合信息，并通过调整输入信号来抑制耦合效应，提高扫描精度。

1. **基于机器学习的解耦算法**

机器学习技术在信号处理和系统建模方面的应用越来越广泛。在MEMS扫描微镜的解耦矫正中，我们同样可以利用机器学习算法，如神经网络等，对微镜的输入输出数据进行学习和建模。通过训练机器学习模型，使其能够自动识别和学习耦合效应的特征，并输出解耦后的信号。这种方法不需要精确的物理模型和复杂的数学推导，而是通过数据驱动的方式来实现解耦矫正，具有较好的适应性和鲁棒性。但需要较长时间以及较多的数据进行模型训练。

1. **基于传递函数的解耦策略**

传递函数是描述系统输入与输出之间关系的数学模型，在控制系统设计中具有重要地位。对于MEMS扫描微镜，可以建立每个扫描轴的传递函数模型，分析其动态特性。通过将两个轴的传递函数进行联合分析，找出耦合项，并设计相应的解耦控制器。解耦控制器的作用是在输入信号中引入补偿项，以抵消耦合效应带来的影响。例如使用PID算法来进行对误差的补偿，这也是本次研究的重点方法

1. 项目进展
2. **理论研究与算法设计**

在项目初期，我在王老师和学长的指导下学习了MEMS扫描微镜的动态特性、耦合机理以及不同扫描模式下耦合效应的表现形式和影响因素。基于此，我设计了几种解耦矫正算法。通过对比分析不同算法的优缺点，最终确定了以PID算法为基础的解耦方法作为主要研究方向，并结合奇异值分解和机器学习算法进行辅助矫正。目前，我们已经完成了算法的初步设计，并正在对应的仿真环境中进行模拟。

1. **算法验证**

目前，我已具有完整的代码框架，并对实际要接入的单片机和扫描微镜的电路连接进行了学习，为保证代码能准确实现其功能要求，目前正在通过仿真软件进行对耦合数据的采集，待获取所需要的耦合矩阵后即可验证代码的完整性和可行性。

1. 后续工作计划
2. **仿真分析得到相关数据**

对于下学期的任务，首先我需要继续学习关于仿真的知识，尽快得到关于MEMS微镜模型的耦合参数，以便更高效的开展工作，并将获得的数据加入算法中，对出现的错误进行修改。

1. **对算法进行优化**

为了提高算法的实时性，我计划对解耦矫正算法进行进一步的优化，简化计算过程，降低计算复杂度。例如，可以采用近似算法、快速傅里叶变换等方法来加速计算。

1. **引入其他算法交叉验证**

为确保算法在面对多变的环境均能保证其有效性，我将尝试在数学模型，引入更多的实际因素进行模拟，并通过大量的实验数据进行模型验证和参数调整。同时，采用交叉验证等方法，评估模型的泛化性能，确保算法在不同条件下的稳定性和可靠性。

1. 结语

我在对MEMS扫描微镜解耦矫正算法的研究中取得了一定的进展，通过理论研究和实验验证，初步实现了对耦合效应的有效抑制和矫正。然而算法并不完善，仍然有许多值得改善的地方。下学期我将继续努力，优化算法，提升系统性能。

本学期的创新项目实践带个我的收获很多，不仅是关于MEMS的学习，更是助我了解科研道路上的种种困难并让我掌握高效科学的研究方法，后续我也会持续学习，不断推进任务。

## 参考文献

[1] Y. Zihao, W. Lihao, W. Yang, Z. Yonggui, L. Yichen and W. Zhenyu, "Control of a MEMS Fast Steering Mirror With Improved Quasi-Static Performance," in IEEE Access, vol. 11, pp. 95307-95314, 2023

[2] Veljko Milanović, Abhishek Kasturi, James Yang, Frank Hu, "Closed-loop control of gimbal-less MEMS mirrors for increased bandwidth in LiDAR applications," Proc. SPIE 10191, Laser Radar Technology and Applications XXII, 101910N (5 May 2017);

[3]吴少彦.MEMS微镜测控平台搭建及非线性补偿[D].上海师范大学,2017

[4] Frigerio, P., Tarsi, R., Molinari, L., Maiocchi, G., Barbieri, A., & Langfelder, G. (2021). A novel closed-loop architecture for accurate micromirror trajectory control in linear scanning MEMS-based projectors. OPTO.

[5] M. Shi, H. Zhang and Q. Chen, "The input shaping control of eletro-thermal MEMS micromirror," 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Tianjin, China, 2014, pp. 583-587