

合肥工业大学

毕业设计（论文）任务书

设计（论文）题目 数字莫尔三维测量方法及精度分析

学 院 名 称 电子科学与应用物理学院

专 业（班 级） 应用物理学（应用物理 15-1 班）

姓 名（学 号） 张凡

指 导 教 师 袁自均

系（教研室）负责人 高伟清

1、 毕业设计（论文）的主要内容及要求（任务及背景、工具环境、成果形式、着重培养的能力）		
i. 任务及背景 数字莫尔三维测量技术是条纹投影轮廓术的一种。这类技术一般用于全场、非接触式表面形状测量，应用范围广泛。其中，相移轮廓术因其高精度、高空间分辨率、对背景强度和表面反射率变化的敏感性低等优点而被广泛应用。由于数字莫尔技术的测量过程只需单次曝光，它更适合对于快速运动或柔性目标表面形状进行测量，并成为近年来深入研究的方向之一。 本毕业论文题目以加拿大滑铁卢大学(University of Waterloo)Fatemeh Mohammadi 2016 年的博士论文为蓝本，结合本专业的课程设计和本科毕业设计的特点而确立。 论文工作的主要内容： 1、通过查阅近期和历史相关资料，了解莫尔三维测量技术的原理、发展过程和技术特点； 2、利用 3ds Max 三维动画渲染和制作软件构建数字莫尔测量装置的虚拟场景，以获得条纹图像数据； 3、在 MATLAB 数学计算环境中实现莫尔条纹的产生、载波条纹的去除、位相计算以及位相解包裹等各种基本功能；并对其中各参数的变化及其产生的影响加以实验、讨论。 4、写出相关的研究论文。		
ii. 工具环境 a) 软件：MATLAB2018a 计算环境，3ds Max 三维动画渲染和制作软件。 b) 硬件：个人电脑		
iii. 成果形式 1、实现莫尔条纹的产生、载波条纹的去除、位相计算以及位相解包裹等各种基本功能的 MATLAB 程序； 2、反映以上成果汇的毕业论文。		
iv. 着重培养的能力 1、自主学习的能力； 2、归纳实际问题并与自身已有的知识相结合的能力；以期逐步培养和建立科学的思维方法； 3、学习和利用现有工具，以及高效的学习方法。		
2、 应收集的资料及主要参考文献		
i. Mohammadi, Fatemeh. "3D optical metrology by digital moiré: Pixel-wise calibration refinement, grid removal, and temporal phase unwrapping." (2016). ii. 莫尔测量技术相关历史文 iii. 数字莫尔 3D 测量近期相关文献 iv. 完成课题所需的相关基础理论和技术书籍。		
三、毕业设计（论文）进度计划		
起 讫 日 期	工 作 内 容	备 注
2018.12-2019.6	文献调研，根据所给主要文献以及主要文献的被引用和引用文献，了解数字莫尔 3D 的原理和技术发展状况；构建数字莫尔测量装置的虚拟场景，获得条纹图像数据；设计和编写主要文献提出数字莫尔 3D 测量方法各主要功能模块的程序；对其中各主要参数的变化及其产生的影响加以实验并讨论；按期完成毕业论文。	

开 题 报 告

(该表格由学生独立完成)

建议填写以下内容: 1. 简述课题的作用、意义, 在国内外的研究现状和发展趋势, 尚待研究的问题。2. 重点介绍完成任务的可能思路和方案; 3. 需要的主要仪器和设备等; 4. 主要参考文献。

1. 课题介绍

a) 作用和意义

数字莫尔 3D 测量属于无损检测方法的一种, 目前被用于文物 3D 扫描, 动画人物油泥模型数字化等场景。数字莫尔 3D 方法在测量过程仅仅需要朝被测物体投影明暗间隔的条纹, 然后利用数字相机拍摄, 将图像在后端处理。因此, 该方法无需直接接触物体, 在接触易变形, 价值珍贵的被测物体的 3D 测量等方面具有较高的应用价值。同时, 该方法的研究有助于合肥工业大学 3D 打印实验室的项目进展, 可以直接将利用数字莫尔 3D 测量方法得到的被测物体的较为精准的 3D 模型导入 3D 打印机打印, 能扩展实验室 3D 打印机系统的功能, 进一步开展在逆向工程方向的研究, 同时减少购买昂贵 3D 扫描仪的金钱成本和培训使用仪器的时间成本。数字莫尔 3D 测量方法相比结构光, 近距离接触传感器等 3D 测量方法, 量程大, 并有潜力适用于与更加复杂的测量任务, 在具有以上优点的同时, 能使用实验室现有设备——相机和投影仪直接搭建测量平台, 无需额外购买传感器和软件。

b) 研究现状和发展趋势

上世纪 80 年代初, 日本学者 Hiroshi Takasaki 发表文章, 总结了利用莫尔现象测量物体 3D 形状技术的诞生到实际应用。此后, 莫尔 3D 测量技术经过多方学者努力, 将最初需要在镜头前加装同等周期的光栅的 Shadow Moiré (J. Degrieck), 发展为仅需投影仪和照相设备在后端相移, 提取相位的数字莫尔 3D 测量方法 (Fateme Mohammadi)。同时, 国内学者, 例如山东大学, 大连理工大学等相关课题组, 将数字莫尔 3D 测量方法的应用范围进一步扩大到动态物体 (易变形, 或正在移动的物体) 的 3D 测量中, 达到了优异的测量效果。

数字莫尔 3D 测量方法的研究方向, 也从其他需要特殊设备的 3D 测量方法, 中脱离出来, 不断将处理难度转移到计算机后端处理上, 而不是设备, 传感器本身的设计上。在噪声处理, 相位提取和展开等方面, 出现不同的方案。

c) 尚待研究的问题

数字莫尔 3D 测量的精度和误差分析, 后端处理算法的比较和优化, 数字莫尔 3D 测量的正反两面结合做到真正 3D 测量。

2. 预想方案

为了实现上述功能和优点, 考虑到实验地点和数字莫尔 3D 测量方法核心的后端处理算法成为了本次毕业论文的内容。而将实体测量平台搭建, 交由实验室作为后续研究。数字莫尔 3D 测量方法的后端处理算法可实现, 仅需捕捉少量测量图像, 经过日常配置电脑 (台式机, 个人笔记本) 的较短时间运算, 就能运算出需要的点状云 3D 模型。

以下是对数字莫尔 3D 测量后端处理算法的任务分工和初步计划:

a) 理解和实现数字莫尔 3D 测量的理论计算和分析

利用几何关系推导所得莫尔图样的相位和物体高度的实际关系。包括使用相机和投影仪夹角计算莫尔波长, 利用物体高度, 和其他几何参数建立莫尔图样和物体等高线的联系, 和调查可能出现噪声影响最终结果的因素。

b) 实现参考文献中提出的数字相移

根据主要参考文献中的流程, 反推实现数字相移的方法。包括采集 3ds Max 的渲染图, 转换成图形矩阵, 便于后期处理; 产生初始相位不同的条纹图样; 弄清数字相移叠加的实际方法; 在实现以上方法的同时, 需要尽量采用矢量和矩阵数据类型和运算。

c) 高频条纹滤除

研究主要文献推荐和比较的滤波方法, 分析原理和基本数学关系。正确认识和理解所用到的滤波方法的数学解释, 并编程实现, 根据实例结果调整优化编写的程序。

d) 实现参考文献中的提出的折叠相位提取方法

首先使用三角函数关系, 结合之前的相位和物体等高线的对应关系, 推导折叠相位的计算公式。然后使用已经滤波后的莫尔条纹, 编程得出折叠相位。

e) 实现相位的展开

根据主要参考文献的相位展开方法, 在模拟仿真环境下, 理解数学原理, 并编程实现。

3. 所需仪器设备

硬件：个人笔记本电脑，CPU i5(2.2Ghz)，GPU GTX 825M，内存 4G

软件：MATLAB2018A, Autodesk 3ds MAX 2016 English

4. 主要参考文献

a) 数字莫尔 3D 测量原理

- i. Gorthi, S. S. and P. Rastogi (2010). "Fringe projection techniques: whither we are?" Optics and lasers in engineering **48**(ARTICLE): 133-140.
- ii. Meadows, D., et al. (1970). "Generation of surface contours by moiré patterns." Applied Optics **9**(4): 942-947.
- iii. Mohammadi, F. (2017). "3D optical metrology by digital moiré: Pixel-wise calibration refinement, grid removal, and temporal phase unwrapping."
- iv. Talebi, R., et al. (2013). 3-D reconstruction of objects using digital fringe projection: survey and experimental study. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET).
- v. Zhou, C., et al. (2018). "Dynamic 3D shape measurement based on the phase-shifting moiré algorithm." arXiv preprint arXiv:1807.01399.

b) 滤波消除噪声

- i. Coifman, R. R. and D. L. Donoho (1995). Translation-invariant de-noising. Wavelets and statistics, Springer: 125-150.
- ii. Mohammadi, F. and J. Kofman (2016). "Improved grid-noise removal in single-frame digital moiré 3D shape measurement." Optics and lasers in engineering **86**: 143-155.
- iii. Münch, B., et al. (2009). "Stripe and ring artifact removal with combined wavelet—Fourier filtering." Optics express **17**(10): 8567-8591.
- iv. Xie, J., et al. (2012). Image denoising and inpainting with deep neural networks. Advances in neural information processing systems.

c) 相位展开

- i. Mohammadi, F. and J. Kofman (2019). "Multi-Wavelength Digital-Phase-Shifting Moiré Based on Moiré Wavelength." Applied Sciences **9**(9): 1917.

指导教师评语：（建议填写内容：对学生提出的方案给出评语，明确是否同意开题，提出学生完成上述任务的建议、注意事项等）

开题报告符合毕业设计任务要求。进行了初步的文献调研，并给出具有一定可行性的设计方案。应保证有足够的时间投入。通过毕业论文工作培养自己自主学习和分析、解决问题的能力。同意开题。

指导教师签名：

20 年 月 日

毕业设计过程记录表 (教师填写)

序号	检查时间	检查内容	指导教师阶段检查评语 (要指出该阶段存在的问题及解决的方法)	指导教师 签 名
1	3月中旬	1. 资料收集情况 2. 开题报告完成情况 3. 外文翻译完成情况	1. 缺少原理和数学推导的书籍文献，已推荐相关文献 2. 开题报告需做一定的调研，吸收批改后建议，修改 3. 格式修正	年 月 日
2	4月上旬	1. 检查学生投入情况 2. 设计论文进展情况	1. 建议把毕业设计任务拆解 2. 论文结果仍需要更多例子	年 月 日
3	5月中旬	1. 总体任务完成是否过半 2. 院系中期检查意见 3. 存在问题及采取措施	1. 已有初步结果，建议深入原理 2. 中期通过，书写论文 3. 原理推导仍然不够，推荐综述文章	年 月 日
4	6月上旬	1. 审查论文质量注意英文摘要部分 2. 答辩前的准备情况	1. 论文图片排版，格式不对，按模版修改 2. 英文摘要按建议修改 3. PPT 字太多，说话自信	年 月 日

备注：指导教师应按要求和时间段及时填写，该表格由学生保管，留在毕业设计（论文）现场随时接受校、院两级督导组检查。