

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(2014213282)

指 导 教 师 袁自均

系（教研室）负责人 高伟清

<p>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）</p> <p>i. 任务及背景</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>论文工作的主要内容：</p> <p>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；</p> <p>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；</p> <p>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。</p> <p>4、写出相关的研究论文。</p> <p>ii. 工具环境</p> <p>a) 软件：MATLAB2018a 计算环境，3ds Max 三维动画渲染和制作软件。</p> <p>b) 硬件：个人电脑</p> <p>iii. 成果形式</p> <p>1、实现莫尔莫尔条纹的产生、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；</p> <p>2、反映以上成果汇的毕业论文。</p> <p>iv. 着重培养的能力</p> <p>1、自主学习的能力；</p> <p>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；</p> <p>3、学习和利用现有工具，以及高效的学习方法。</p>		
<p>2、 应收集的资料及主要参考文献</p> <p>i. Mohammadi, Fatemeh. "3D optical metrology by digital moiré: Pixel-wise calibration refinement, grid removal, and temporal phase unwrapping." (2016).</p> <p>ii. 莫尔测量技术相关历史文</p> <p>iii. 数字莫尔 3D 测量近期相关文献</p> <p>iv. 完成课题所需的相关基础理论和技术书籍。</p>		
<p>三、毕业设计（论文）进度计划</p>		
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。