



西北大学
NORTHWEST UNIVERSITY

硕士学位论文

低分辨率环境下的微表情识别

作者姓名： 李桂锋

指导教师： 彭进业 教授 西北大学

学位类别： 工学硕士

学科专业： 电子与通信工程

培养单位： 信息科学与技术学院

2019 年 6 月

Micro-expression Recognition Under Low-resolution Case

**A thesis submitted to
Northwest University
in partial fulfillment of the requirements
for the degree of
Master of Engineering
in Electronics and Communication Engineering
By
Li Guifeng
Supervisor: Peng Jinye Professor**

June 2019

西北大学学位论文知识产权声明书

本人完全了解西北大学关于收集、保存、使用学位论文的规定。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版。本人允许论文被查阅和借阅。本人授权西北大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时授权中国科学技术信息研究所等机构将本学位论文收录到《中国学位论文全文数据库》或其它相关数据库。

保密论文待解密后适用本声明。

学位论文作者签名：_____ 指导教师签名：_____

年 月 日 年 月 日

西北大学学位论文独创性声明

本人声明：所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，本论文不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得西北大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：_____

年 月 日

摘要

人脸表情在我们的社交互动中发挥着重要作用，因为它传达了丰富的信息。我们可以从一张人脸图像中阅读很多内容，但是如果没有特殊设备，我们也无法感知到这些信息。本文采用计算机视觉方法分析肉眼难以察觉的两种微妙的面部信息：微表情和心率。微表情是快速、不自主的面部表情，揭示了人们不打算表达的情感。人们很难感知微表情，因为它们太快和微妙，因此自动微表情分析是很有价值的工作，具有重大的应用前景。本文综述了微表情研究的进展，并分四部分工作进行描述。1) 我们介绍了第一个自发的微表情数据库—SMIC。缺乏数据阻碍了微表情的分析研究，因为很难收集自发的微表情。引入用于诱导和注释SMIC的协议以帮助未来的微表情收集。2) 引入了包括三个特征和视频放大过程的框架用于微表情识别，其优于两个微表情数据库上的其他最先进的方法。3) 描述了一种基于特征差异分析的微表情定位方法，该方法可以从自发的长视频中发现为微表情。4) 提出了一种自动微表情分析系统(MESR)，用于发现并识别微表情。心率是我们健康和情绪状态的重要指标。传统的心率测量需要皮肤接触，不能远程应用。我们提出了一种方法，可以对抗照明变化和头部运动，并从彩色面部视频远程测量心率。我们还应用该方法来解决面部反欺骗问题。我们展示了基于脉冲的特征比传统的基于纹理的特征更能够抵抗看不见的掩模欺骗。我们还表明，所提出的基于脉冲的特征可以与其他特征相结合，以构建用于检测多种类型的攻击的级联系统。最后，我们总结了工作的贡献，并基于当前工作的局限性提出了关于微表情和心率研究的未来计划。还计划将微表情和心率（可能还有来自面部的其他微妙信号）结合起来构建用于情感状态分析的多模式系统。

微表达是一种基本的非言语行为，它能忠实地表达人类隐藏的情感。它在国家安全、计算机辅助诊断等领域有着广泛的应用，促使我们对自动微表情识别进行研究。但从监控视频中获取的图像容易出现质量问题，导致实际应用困难。由于捕获的图像质量较低，现有的算法无法达到预期的效果。为了解决这个问题，我们进行了全面的研究

关键词：微表情识别，监控视频，低分辨率，超分辨率，Fast LBP-TOP

ABSTRACT

The face plays an important role in our social interactions as it conveys rich sources of information. We can read a lot from one face image, but there is also information we cannot perceive without special devices. The thesis concerns using computer vision methodologies to analyse two kinds of subtle facial information that can hardly be perceived by naked eyes: the micro-expression (ME), and the heart rate (HR)

MEs are rapid, involuntary facial expressions which reveal emotions people do not intend to show. It is difficult for people to perceive MEs as they are too fast and subtle, thus automatic ME analysis is valuable work which may lead to important applications. In the thesis, the progresses of ME studies are reviewed, and four parts of work are described. 1) We introduce the first spontaneous ME database, the SMIC. The lacking of data is hindering ME analysis research, as it is difficult to collect spontaneous MEs. The protocol for inducing and annotating SMIC is introduced to help future ME collections. 2) A framework including three features and a video magnification process is introduced for ME recognition, which outperforms other state-of-the-art methods on two ME databases. 3) An ME spotting method based on feature difference analysis is described, which can spot MEs from spontaneous long videos. 4) An automatic ME analysis system (MESR) was proposed for firstly spotting and then recognising MEs

The HR is an important indicator of our health and emotional status. Traditional HR measurements require skin-contact which cannot be applied remotely. We propose a method which can counter for illumination changes and head motions and measure HR remotely from color facial videos. We also apply the method for solving the face anti-spoofing problem. We show that the pulse-based feature is more robust than traditional texture-based features against unseen mask spoofs. We also show that the proposed pulse-based feature can be combined with other features to build a cascade system for detecting multiple types of attacks.

At last, we summarize the contributions of the work, and propose future plans about ME and HR studies based on limitations of the current work. It is also planned to combine the ME and HR (maybe also other subtle signals from face) to build a multimodal system for affective

status analysis.

Micro-expression is an essential non-verbal behavior that can faithfully express the human's hidden emotions. It has a wide range of applications in the national security and computer aided diagnosis, which encourages us to conduct the research of automatic micro-expression recognition. However, the images captured from surveillance video easily suffer from the low-quality problem, which causes the difficulty in real applications. Due to the low quality of captured images, the existing algorithms are not able to perform as well as expected. For addressing this problem, we conduct a comprehensive study about the micro-expression recognition problem under low-resolution cases with face hallucination method. The experimental results show that the proposed framework obtains promising results on micro-expression recognition under low-resolution cases.

Keywords: Micro-expression recognition, Surveillance video, Low-resolution, Super-resolution, Fast LBP-TOP

插图索引

图 1	人脸宏表情样本示例（CK+数据集）(a)厌恶, (b)快乐, (c)惊讶, (d)恐惧, (e)愤怒, (f)轻蔑, (g)沮丧, (h)中性表情	12
图 2	一个消极的微表情片段示例（SMIC数据集）	14
图 3	微表情数据采集示意图	15
图 4	人脸面部肌肉划分	18
图 5	ResNet结构图	21
图 6	Q判据等值面图, 同时测试一下一个很长的标题, 比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长的标题.....	28
图 7	激波圆柱作用	28
图 8	总声压级。(a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息	29
图 9	Q判据等值面图, 同时测试一下一个很长的标题, 比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长的标题.....	36
图 10	激波圆柱作用	36
图 11	总声压级。(a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息	37
图 12	Q判据等值面图, 同时测试一下一个很长的标题, 比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长的标题。	44
图 13	激波圆柱作用。	44
图 14	总声压级。(a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息。	45

表格索引

表 1	微表情的研究方法	8
表 2	摆拍微表情数据集	13
表 3	自发微表情数据集	17
表 4	这是一个样表	27
表 5	这是一个样表	35
表 6	这是一个样表。	43

符号对照表

符号	符号名称
Δ	difference
∇	gradient operator
δ^\pm	upwind-biased interpolation scheme

缩略语对照表

缩略语	英文全称	中文对照
ME	Micro Expression	微表情
TIM	Time In Model	时间插值模型
BART	Brief Affect Recognition Test	微表情识别标准测验
FACS	Facial Action Coding System	面部动作编码系统
AU	Action Unit	动作单元
METT	Micro Expression Training Tool	微表情训练工具
FD	Feature Difference	特征差异
PD	Peak Detection	峰值检测
LOSO	Leave One Subject Out	留一法

目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
插图索引	V
表格索引	VII
符号对照表	IX
缩略语对照表	XI
第一章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 微表情研究的意义	1
1.1.2 计算机视觉对微表情研究的意义	2
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 人工微表情识别训练工具研究	4
1.2.2 自动微表情识别研究	4
1.3 本文的研究内容	9
第二章 相关工作	11
2.1 宏表情和微表情	11
2.1.1 宏表情数据集	11
2.1.2 早期微表情数据集	12
2.1.3 自发微表情数据集	13
2.1.4 宏表情与微表情比较	17
2.2 微表情特征提取的一般方法	18
2.2.1 LBP-TOP	18
2.2.2 光流法	18
2.2.3 Gabor特征	19
2.3 相关深度学习网络	19
2.3.1 3DCNN	19
2.3.2 ResNet	20

第三章 个人研究1	23
3.1 低分辨率微表情数据获取	23
3.2 数据预处理	23
3.2.1 ASM	23
3.2.2 LWM	23
3.2.3 TIM	23
3.3 超分辨重建	23
3.3.1 基于块方法	23
3.3.2 基于像素的方法	23
3.4 LSVM及参数设置	23
3.4.1 LSVM	23
3.4.2 参数设置	23
3.5 实验及分析	23
第四章 个人研究2	25
4.1 先试试效果	25
4.2 文档目录简介	25
4.2.1 Thesis.tex	25
4.2.2 编译脚本	25
4.2.3 Tmp文件夹	26
4.2.4 Style文件夹	26
4.2.5 Tex文件夹	26
4.2.6 Img文件夹	27
4.2.7 Biblio文件夹	27
4.3 数学公式、图表、参考文献等功能	27
4.3.1 数学公式	27
4.3.2 表格	27
4.3.3 图片插入	28
4.3.4 算法	28
4.3.5 参考文献引用	28
4.4 常见使用问题	31
第五章 系统设计	33
5.1 先试试效果	33
5.2 文档目录简介	33
5.2.1 Thesis.tex	33
5.2.2 编译脚本	33

5.2.3 Tmp文件夹	34
5.2.4 Style文件夹	34
5.2.5 Tex文件夹	34
5.2.6 Img文件夹	35
5.2.7 Biblio文件夹	35
5.3 数学公式、图表、参考文献等功能	35
5.3.1 数学公式	35
5.3.2 表格	35
5.3.3 图片插入	36
5.3.4 算法	36
5.3.5 参考文献引用	36
5.4 常见使用问题	39
第六章 总结与展望	41
6.1 先试试效果	41
6.2 文档目录简介	41
6.2.1 Thesis.tex	41
6.2.2 编译脚本	41
6.2.3 Tmp文件夹	42
6.2.4 Style文件夹	42
6.2.5 Tex文件夹	42
6.2.6 Img文件夹	43
6.2.7 Biblio文件夹	43
6.3 数学公式、图表、参考文献等功能	43
6.3.1 数学公式	43
6.3.2 表格	43
6.3.3 图片插入	44
6.3.4 算法	44
6.3.5 参考文献引用	44
6.4 常见使用问题	47
附录 A 附录	49
A.1 论文无附录者无需附录部分	49
A.2 测试公式编号	49
A.3 测试生僻字	49
参考文献	51
攻读博士/硕士学位期间取得的科研成果	55
作者简介	57

第一章 绪论

微表情（Micro Expressions），心理学名词，心理应激微反应的一部分，是人类表达自身情感信息的重要非语言性行为。微表情从人类本能出发，在大多数情况下，不受思想的控制，无法掩饰，也不能伪装^[1]。因为它无法伪装的特性起初被人们用来作为鉴谎的辅助工具，随着人们对其不断深入的研究发现它在临床诊断、司法系统等有着很高的应用价值。近几年来随着计算机技术的不断发展，人们利用计算机视觉对微表情识别研究有了突飞猛进的成果，但就目前而言，还没有团队在低分辨率环境下对微表情做任何研究。本文从实际应用的角度出发，分析实际场景中面临的各种低质量问题，分别使用传统机器学习方法和深度学习方法对微表情识别。

本章主要阐述微表情识别研究的意义和低分辨率环境下微表情识别的重要性，国内外对微表情识别相关的研究和发展趋势，最后概述了文章的内容和结构分配。

1.1 研究背景与意义

达尔文在1872年出版了《The Expression of Emotions in Man and Animals》，从此拉开了人类对面部表情的系统性研究。时至今日，人类对面部表情的研究已经非常丰富与成熟，但主要关注的是显而易见的宏观表情（Macro Expressions），虽然在1966年Haggard和Isaacs首次提出了微表情现象（Micro-momentary Facial Expressions），但当时并未引起人们的普遍重视。直到三年后（1969年），Ekman和Friesen在临床发现了微表情，这一发现奠定了微表情在临床辅助治疗上的重要地位^[2]，也开启了微表情的研究热潮。

本节将从微表情研究的意义和计算机视觉对微表情研究的意义两方面分析。

1.1.1 微表情研究的意义

加利福尼亚大学洛杉矶分校的心理学教授Albert Mehrabian在上世纪六十年代发现了人际交流中的“55384”原则，他提出有效的沟通技巧应该包含三大要素：身体语言、声音和谈话内容^[3]。其中谈话内容传递的信息量是总信息量的7%，声音（包括交谈时的语气、音调和音量）传递的信息量占总信息量的38%，剩下的55%来自身体语言（包括谈话期间身体姿势、肢体动作、面部表情、眼神和目光等），也就是说身体语言比谈话内容能传达更多有价值的信息。论文中阐明，出现这种情况的主要原因是谈话内容（口头语言）可以有意识地被控制，而身体语言这种非语言行为是无意识的举动，人类的主观意识很难控制动作语言行为。身体语言由三部分构成：表情语言、动作语言和空间语言。表情语言指的是通过面部肌肉运动和眼睛神态所传递出来的思想感情，动

作语言指人类通过身体各个部位的动作或姿态来传递感情，空间语言主要指由个体与个体之间所保持的间距所形成的一种信息表达方式。在这三种身体语言中最容易被观察到的就是表情语言，艾伯特教授的这项发现说明了表情语言的重要性。

神经学家Paul Donald MacLean于上世纪五十年代提出了“大脑三位一体”理论 (The Triune Brain)，他认为人类颅腔内的脑并非只有一个，而是三个，这三个脑作为人类不同进化阶段的产物，按照出现顺序依次覆盖在已有的脑层之上，如同考古遗址一样^[4]。根据在进化史上出现的先后顺序，他将人脑分成“爬行动物脑”(Reptilian brain)、“古哺乳动物脑”(Paleomammalian Brain) 和“新哺乳动物脑”(Neomammalian Brain) 三大部分，它们分别对应人脑的脑干(Archipallium)、边缘系统(Limbic System) 和新皮质(Neocortex)，它们共同控制着人类的身体行为。新皮质被称作“爱说谎的大脑”，经常会因为当事人的某种需要而出现说谎的现象。语言等由新皮质大脑控制的行为是不可信的，欺骗的嫌疑很大，想要得知对方内心的真实感受，必须观察对方边缘系统所控制的表情或肢体动作。边缘系统是控制人类情感的中心，管理着人类的非语言行为表达，因此是分析身体语言的重点。让人不加思索的产生本能反应是它的一大特点，它反映出一个人最真实的一面，这很难被控制和掩饰。比如，当听到刺耳的噪音时你会不自主地捂住耳朵、手碰到高温或极寒物体时会马上缩回等。所以边缘系统的行为是诚实可信的行为，是人类的思想、感觉和意图的真实反应，也是人类生存、本能的反应，它属于微反应中除微语言以外的非语言行为反应，它包括了微动作(Micro Action)、微表情。

从上述例子可以看出，有关微表情的研究在心理学和神经学两大学科都有着充分的理论依据。Ekman等人在临幊上发现微表情是来自于观看一位有自杀倾向的精神病患者的视频，视频中患者在回答医生问题时表现的很开心，没有任何想要自杀的异常迹象，但在随后的二次会谈中患者向医生承认其状况并未好转，而且她曾隐藏了自杀的计划。Ekman和 Friesen在逐帧慢放视频时发现确实存在两帧和绝望有关的负面表情，这与患者的二次会谈内容相吻合，但只持续了1/12 s。之后的几十年里Ekman和他的同事继续研究微表情，在不断的实践中量化并定义了微表情，这也引起了越来越多学术界和商业界人士的兴趣，目前微表情已经被应用到了众多领域，比如国家安全、司法系统、政治选举、临床诊断、公共管理和教育领域等^[5]。

1.1.2 计算机视觉对微表情研究的意义

我们人类是优秀的“人脸识别专家”，我们已经习惯甚至并没有意识到这一点。与其他类型的物种相比，我们人类为应对复杂的社交交互问题，大脑已经开发了特殊的识别脸部信息的功能模块，以便我们更好地从人脸中获取更丰富的信息，所谓“察言

观色”就是很好的佐证。当然，人脸也是丰富的视觉信息的来源之处，我们可以从人脸中读取很多信息。比如眼前之人如果是著名人士，我们可以立即认出他或她，如果是陌生人，我们可以对这个人的性别、年龄、种族等做出基本正确的猜测，同时如果该人脸存在表情，我们也可以大致感知他或她的情绪状态。然而尽管我们是人脸识别专家，但这并不意味着我们已经解析出了全部的人脸信息，因为仍然存在部分无法用肉眼读取的深层次信息。

与其他感官（例如听觉和嗅觉）相比，我们的视觉认知功能在我们的大脑中更加精巧地被构建。然而，我们获取视觉信息的能力仍然受到生理机制的限制。超出我们感知范围的视觉变化（在空间域中太微妙或在时域中太快）将被我们的眼睛忽略。比如我们很难从人脸上观察到某个微表情，因为微表情会短暂且快速地发生，所涉及的肌肉运动强度也非常微弱，甚至表情发出者和观察者都察觉不到，尤其在高风险条件下微表情出现的机率更高，被察觉的可能性也更低。研究人员经过严密的统计，发现微表情持续时间最长为1/2秒而最短只有1/25秒，所涉及的肌肉运动强度更是微乎其微，而正常的表情（宏观表情）一般持续时间在1/2秒到5秒之间，有一个起承转合的过程。[\[6-8\]](#)。

由于微表情识别务实的使用价值，其提出者Ekman从2005年开始对英国情报机构、美国中央情报局等各国机构进行微表情识别培训，而那时他已经71岁高龄了[\[9\]](#)。他教辩护律师、健康专家、扑克选手，甚至对配偶心怀猜疑的人识破谎言，并且制作了网络课程。但他坦言人类对于微表情的识别能力终归是有限的，不仅要花费大量的人力和物力培训微表情识别专家，而且准确度不高，同时还伴有影响正常生活的风险[\[10\]](#)。Ekman曾说自己的识谎能力影响到了日常生活，他从不试图去识破周围朋友、亲戚的微表情，“去揭露每个人的微表情，揭穿每个人的谎言，这只会让自己的生活痛苦万分”。

同时当前对微表情研究的研究中，需要使用FACS（Facial Action Coding System）对包含被试微表情的视频进行逐帧的编码^[? 1]。但是，不仅FACS编码的训练比较费时，编码者一般都需要接受100小时的训练才能达到初步熟练的程度；而且使用FACS进行编码也很费时，编码1分钟的视频平均需要2个小时^[? 1]。为了更快地对基本表情编码，在FACS基础上，研究者发展出了一套附加的编码系统EMFACS（Emotion Facial Action Coding System），但人工对视频进行逐帧编码依然费时费力，这极大地限制了目前的微表情研究。因此，有效的微表情自动分析工具是开展微表情表达研究需要解决的一个重要问题。

计算机的发明是为了帮助人类更好地处理人类不想去处理的任务，而识别人脸微

表情这种会影响到日常生活的任务就是计算机存在的价值所在。而且当通过摄像机和计算机系统对待分析者分析时，不仅采集到的表情真实可靠（采集中采集对象并不知情，不存在任何干扰）而且通过计算机算法可以发现细微的人类无法察觉的表情变化，并且已经有大量的实验证明计算机的识别能力确实高于人类^[11]。我们可以更好更快的训练计算机完成人类能够完成的任务，如人脸检测、人脸识别，同时我们还可以训练计算机执行我们无法完成的任务，如捕获肉眼难以察觉的细微信息^[12]。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 人工微表情识别训练工具研究

早期研究中，研究人员注重于测量或训练个体的微表情识别能力。Ekman 和 Friesen 在 1974 年制定了第一个微表情识别标准测验机制——BART (Brief Affect Recognition Test)，但当时的微表情识别标准测验有着很大的缺陷，它所呈现的微表情是孤立的呈现，这与现实生活中微表情的动态呈现方式完全不相符，这样的测验没有任何生态效度^[? 1]。1978 年，Ekman 发布了面部动作编码系统 FACS，他们将人脸部的肌肉划分为 43 块，将它们随机组合获得了 1 万多种表情，但其中只有 3000 种具有情感意义，Ekman 等人又根据人脸解剖学特点，将这 43 块肌肉划分成相互独立又相互联系的运动单元 (Action Unit, AU)，分析这些运动单元的运动特征和其所控制的主要区域，将这些信息与相关的表情匹配就能得出面部表情的标准运动。为了克服 BART 的缺陷，Matsumoto 等人在 2000 年开发了更完善的微表情识别测量工具 (Japanese and Caucasian Brief Affect Recognition Test, JACBART)，该测验具有很好的可信度和严密的实验过程^[? 1]。Ekman 等人在 2002 年根据日本人与高加索人短暂表情识别测验开发出了一个新的微表情识别训练工具 METT (Micro Expression Training Tool)，该训练工具有 7 种基本情绪的微表情，包括悲伤、恐惧、愤怒、厌恶、轻蔑、惊讶和高兴，METT 被应用在多种人群和领域，且对微表情受训者的识别能力有明显的提升^[? 1]。

1.2.2 自动微表情识别研究

除上述通过训练提升人工识别能力外自动地微表情识别系统也在如火如荼的发展中，研究者们已经开发出很多相关的算法，甚至在某些数据集的准确度可达 90% 以上，但这些数据集有个明显的缺点，所有的微表情均为摆拍 (Posed)，这一缺点有其产生的必然性，但也严重违背了微表情的定义。为了解决这一问题，国内外的研究团队相继发表了自发微表情数据集，如中科院心理所分别在 2013 年和 2014 年发布了 CASME^[? 1] 和 CAMSE II^[? 1] 两个版本的数据集，后者比前者有着更高的时空分辨率和更多的数据量，但参与者全部为蒙古利亚人种（中国人），在数据的多样性上有一定的

不足；芬兰奥卢大学的CMVS团队在2013年发布了SMIC数据集^[? 1]，包括8名高加索人种和8名蒙古利亚人种，同时数据集中包含了高速视频数据（High speed video, HS）、近红外视频数据（Near infrared videos, NIR）和普通彩色视频数据（Normal color video, VIS）；英国曼彻斯特城市大学在2017年发布了SAMM数据集^[? 1]，是目前发表最新的数据集，包括了几乎全部的人种（蒙古利亚人种、高加索人种、尼格罗人种和大洋洲人种）和均衡的性别比，但其数据集只包含了高速灰度视频数据（见表3）。优秀的数据集提供了良好的实验基础，自动微表情识别系统的研究主要集中在微表情检测（Micro-expression Spotting）和微表情识别（Micro-expression Recognition）。

微表情的检测指在一个图像序列（视频帧）中检测微表情发生的起始时间点。有许多研究致力于类似的任务，如检测普通的人脸表情、眨眼和人脸AU^[? ? ?]，以及各种有效的算法被提出，与微表情识别研究相比，微表情检测的研究较少。由于缺乏自发的微表达数据，大多数早期的微表达检测研究多采用摆拍的微表情数据。Shreve等首次先提出了一种基于应变的光流方法来识别视频中的宏表情(普通人脸表情，微表情的反义词)和微表情，在USF-HD数据集（摆拍的数据集）中进行了测试，同时他们还对从在线视频中收集的28个微表情进行了测试，但是这个数据集很小，没有发表^[? ?]。在另一组研究中，Polikovsky等人提出了一种新的微表情检测方法，他们使用三维梯度直方图作为特征描述符，对中性面部微表情帧进行不同阶段(起始、顶峰和终止)分类^[? ?]。在他们的研究中，将微表情检测任务作为分类任务，并训练模型根据所涉及动作的阶段将视频片段分为四类。关于Polikovsky的研究，有一点很好，那就是作者试图在一个精细的层面上构建微表情的时间范围。这可能适用于摆拍的微表情片段，因为它们具有相似的时间结构，但不适用于自发的微表情，因为在真实场景中，微表情在其时间范围上存在显著差异。分类任务需要对视频预分割，这在实际应用中也是一个问题。Wu等人提出利用Gabor滤波器构建微表情识别系统进行微表情检测^[? 1]。该方法在METT训练数据上进行了测试，取得了良好的效果。但有一点需要说明的是，METT训练样本完全是合成的视频片段（在一系列相同的中性人脸图像中间插入一张有情感的人脸图像）。在这些视频片段中，表情的“开始”和“结束”非常的尖锐和突然，上下文界线也非常清晰，所以它们根本不能代表计算机真正的微表情检测问题。

虽然上述研究可能会为微表情检测提供潜在的贡献，但一个主要的缺点是，它们仅在摆拍的(或METT等合成的)微表达数据集上进行了测试。与自发微表情相比，提出的数据更容易完成微表情的检测任务。摆拍或合成的微表情数据通常具有相似的时间范围结构，即人为控制的起止时间点，这与自发微表情之间存在显著差异。考虑到视频的上下文，摆拍的微表情片段通常在视频中会禁止无关的动作，所以摆拍的微表

情片段通常具有更清晰的上下文。自发微表情视频的情况更加复杂，由于普通人脸表情(包含相同或相反的情绪价^[? 1])、眨眼和其他头部动作也可能发生，并且还可能与自然情绪相互重叠。这些在自发微表达数据中遇到的挑战，在以往的研究中利用摆拍的微表情数据都无法解决，因此利用自发微表情数据进行微表情检测还需要更多的工作。论文[26]和其他几项研究使用了一种更简单的方法，即微表达“探测”来解决这个问题^[27? ?]。在这些研究中，微表情检测被视为二分类问题，一组带标签的微表达片段与另一组非微表达片段进行分类。这些研究都是在自发微表情数据集中测试的，这是一个很大的优点。但是对于分类任务，训练和测试视频都需要进行适当的分割，这在实际应用中可能会遇到困难。二分类方法与直接从长视频中提取自发微表情的实际应用目标仍有较大差异。Li等人提出了一种将特征差异（Feature Difference, FD）比较和峰值检测（Peak Detection, PD）相结合的微表情识别框架，这种方法是第一个用于真实微表情数据集检测微表情且行之有效的方法^[26]。在最近的另一篇文章中作者提出了一种基于概率框架的随机游走模型（Random walk model）来检测微表情，通过几何变形建模从视频片段中识别自发微表情片段，该方法被证明对SMIC和CASMEII都是有效的^[?]。

微表情识别的任务类似于普通人脸表情识别，差异处在于微表情片段(包含微弱面部运动的起始到终止的帧序列)的标签，具体是指根据表达的情感内容训练一个分类器将其分类为两个或两个以上的类别(例如快乐、悲伤等)。在众多已发表的文献中微表情识别的研究比微表情检测的研究更为突出，在摆拍和自发的数据集上提出并测试了很多算法。早期的工作都是从摆拍的微表情数据开始的。Polikovsky和Kameda等人采用三维梯度描述符对AU标记的微表情进行识别，将提出的方法在自己采集的摆拍微表情数据上进行了测试^[?]。Wu等人将Gentleboost和支持向量机（Support Vector Machine, SVM）分类器结合，在METT训练工具中识别合成的微表达样本。随着自发微表达数据库的出现，利用自发微表达数据库进行微表达识别的研究也越来越多。2011年，论文[26]提出了第一个微表情识别方法，并在第一版的SMIC数据集上取得了很好的效果（第一版的SMIC数据集包含77个自发的微表情样本）。该方法采用时间插值模型(temporal interpolation model, TIM)对微表情计算帧数，将其与和多核学习（Multiple Kernel Learning, MKL）结合捕获图像序列的主要变化，使用三正交平面的局部二值模型（Local Binary Patterns on Three Orthogonal Planes, LBP-TOP）特征作为描述符提取动态纹理作为微表情识别的特征，再用随机森林（Random forest, RF）作为分类器分类。这是首次尝试构建一个可行的方法来识别这些细微的面部行为，并在77个微表情样本上取得了很好的效果(二分类准确度为71.4%)。同样的方法在新版本的SMIC数据集上进

行了测试，在包含164个微表情的SMIC-HS数据集上得到了48.78%(三分类)的识别结果。此后，论文[26]的研究结果被许多其他研究人员引用为微表情识别研究的基准。Ruiz-Hernandez和Pietikäinen等人利用二阶高斯流的再参数化来生成更鲁棒的直方图，在第一版SMIC数据库上得到了比论文[26]更好的识别结果^[27]。Huang等人通过在时空域中的积分投影获得被试者（目标）的形状属性，将形状属性与时空域上的纹理信息结合组成新的特征，提出了时空局部量化模式(SpatioTemporal Completed Local Quantization Patterns, STCLQP)作为微表情识别的特征，在SMIC上实现了64.02%的精度^[?]。

几个其他的微表情识别研究使用了CASMEII微表情数据库。Wang等人从张量独立颜色空间(非普通的RGB颜色空间，Tensor independent color space, TICS)中提取LBP-TOP进行微表情识别，并在CASMEII数据集进行测试^[31]。Wang等人在其另一篇论文中，将局部时空方向特征与鲁棒主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)的稀疏部分相结合一起用于微表情识别，在CASMEII上实现了65.4%的准确率^[28]。Wang等人提出利用6个交叉点的局部二值模式(LBP-Six Intersection Points, LBP-SIP)进行微表情识别，并在CASMEII和SMIC上进行了测试，该方法是减少了LBP-TOP中的冗余信息^[29]。Huang等人为了提高微表情的辨别力，提出一种新的基于Laplacian的特征选择方法，在已发表的数据集中得到了很好的识别效果^[35]。Wang等人提出了一种紧实的LBP-TOP描述符(Super-compact LBP-Three Mean Orthogonal Planes, MOP)，MOP所描述的紧实鲁棒形式不仅保留了基本模式而且减少了影响编码特征判别的冗余^[30]。Hong等人为提高LBP-TOP在时空信息上的计算效率，引入了张量的概念，这加速从三维空间到二维空间的实现过程^[51]。

除LBP及其变体外，部分研究人员致力于对光流特性的研究。如Liu等人提出利用主方向平均光流特征(Main direction Mean opticflow, MDMO)进行微表情识别，同时还考虑了局部统计运动和空间位置信息，在SMIC和CASMEII数据库上都取得了良好的性能，但是他们只使用了SMIC的第一个版本，而不是SMIC的完整版^[36]。Liong等人从光学应变量值得到一个时间段内人脸的细微相对位移量，并对局部特征赋予不同的权重，形成新的特征^[33]。Xu等人利用光流估计对微表情图像序列选择的粒度进行像素级对齐，得到主光流方向，将其作为精细的面部动态特征描述符^[38]。

近年来，对微表情识别的研究十分活跃。到目前为止，大多数提出的方法都考虑使用基于纹理的特性来完成任务。时空纹理特征是描述面部运动的合适选择，但单独使用它们可能不足以进行微表情识别，识别性能仍有很大的提升空间。Li等人将低强度的微表情视频经过欧拉视频放大，在三个正交平面上利用不同的特征提取符提取特征对微表情进行识别。随后Li等人基于LBP-TOP的思想在三个正交平面上扩展了梯度

方向直方图（HOG）和图像梯度方向直方图（HIGO）提出了HOG-TOP和HIGO-TOP。Song等人通过从面部和身体微弱运动中学习的稀疏编码来识别情绪，他们的微表情定义更加广泛，将身体部位（脸部除外）的姿势包括在内^[2]。Ngo等人提出了一种用于微表情图像序列预处理的选择性转移机（Selective Transfer Machine, STM），用于解决数据库中不平衡和不同面部形态的问题^[32]。Lu等人发现微表情的图像序列在时空域中基于Delaunay三角归一化，提出了基于Delaunay的时间编码模型（Delaunay-based temporal coding model, DTOM）^[37]。Oh等人通过Riesz小波变换获得多尺度单原信号，提取其幅值、相位、方向特征组成新的特征描述符进行微表情识别^[34]。He等人提出了一种多任务的中层特征学习方法进行特征提取，该方法能够获得更具识别能力和泛化能力的中层特征^[39]。由于深度学习模型需要大量的数据进行训练，而现有的微表情数据还远远不够，但最近，Patel等人提出了一种利用深度学习模型解决微表情识别问题的方法^[?]。作者建议选择性使用基于普通人脸表情数据库训练的卷积神经网络(Convolutional Neural Networks, CNN)模型的深度特征，但效果并不理想。Li等人发现微表情的峰值帧能够表达更丰富的情感，他们提出了一种在峰值帧应用深度神经网络的方法检识别表情，在CASME II上取得了不错的成果^[?]。表 1 对目前提出的大多数方法做了列举。

表 1 微表情的研究方法

摆拍微表情数据集（Posed）		自发微表情数据集（Spontaneous）	
微表情检测	微表情识别	微表情检测	微表情识别
3D梯度	Gentleboost和SVM	特征差异与峰值检测	TIM+MKL+LBP-TOP+RF 二阶高斯射流的再参数化 从张量独立色彩空间中提取LBP-TOP 局部时空方向特征+鲁棒PCA 低强度的微表情视频经过欧拉视频放大 基于普通表情的迁移学习
			LBP-SIP、STM、MOP、STCLQP、DTOM Riesz小波变换、光流估计 引入张量概念的Fast LBP-TOP MDMO+局部运动+空间位置 HOG/HIGO-TOP
Gabor滤波器	人脸与身体微弱运动结合	基于概率的随机游走模型	
应变的光流方法			

1.3 本文的研究内容

本文简单介绍了微表情识别的研究现状和基本方法，以及其不容小觑的应用价值。然而，目前的微表情研究都是基于高质量数据集的基础上展开的，例如SMIC数据集的人脸分辨率为 190×230 像素，最新发布的SAMM数据集的人脸分辨率达到 400×400 像素之高，但在实际应用中由于图像采集设备的机能限制，难免会遇到低像素的视频数据，这严重影响了几乎所有的微表情识别算法的性能，为了解决这一问题，本文提出了专门针对低分辨率环境下的微表情识别方法：按照常规方法对视频做预处理，然后再使用超分辨重建技术从低维图像中近似的重建出高维图像，对重建出的高维图像进行微表情识别，最后比较重建后的微表情识别效率与未重建前的低维图像的识别效率，同时分别从传统机器学习和深度学习两个角度介绍了系统框架和识别结果。

本文共分为六章，内容具体安排如下：

第一章：绪论。阐述了微表情研究的背景及意义，概括了国内外最新的微表情研究现状，最后对文章的整体结构做出安排；

第二章：相关工作。简单介绍了微表情的概念和微表情数据集，总结了微表情识别在传统方法和深度学习方法的进展，阐述了低分辨率微表情的识别的意义和最新进展；

第三章：基于传统方法的低分辨率环境下微表情识别的研究。主要介绍了人脸对齐与分割，其中包括对单一目标检测中主动形状模型（Active Shape Model，ASM）准确度的算法改进，图像序列的超分辨重建，LBP-TOP和SVM；

第四章：基于深度学习的低分辨率环境下微表情识别的研究。主要介绍了伪3D残差网络（Pseudo-3D Residual Networks，P3D ResNet），数据增强以及实验分析；

第五章：低分辨率环境下微表情识别可视系统。通过对需求分析设计出系统的时序图和功能图，最后设计出功能完善的可视化系统；

第六章：总结与展望。总结全文的工作，分析不足和展望未来前景。

第二章 相关工作

本章的主要内容分为三个部分，第一部分主要介绍微表情研究中使用的数据集以及微表情和常见的宏表情之间的差异，第二部分介绍近几年微表情研究中所使用的特征提取的几种方法，第三部分介绍本文将在第四章中使用的相关深度网络的基础知识。

2.1 宏表情和微表情

普通的人脸表情可以是自然产生的，也可以是根据需要人为的摆拍出来。摆拍的人脸表情是有意表现出某种情绪，而自然产生的人脸表情是在表达自己的真实情感。所以在人脸宏表情（普通人脸表情）的研究中，既有自然产生的表情数据，也有摆拍的表情数据，微表情研究也存在类似的问题。在微表情研究领域用“自发”这个词来强调微表情的产生(或被诱导)是自然的，因为参与者的内心存在实际的情感。

所以根据表情的产生方式将微表情分为“自发”产生的自然微表情和“摆拍”的微表情。目前摆拍的数据集主要有USF-HD数据集和Polikovsky数据集，自然状态下诱发产生的自发数据集，主要包括SMIC、SMIC2、CASME、CASME II和SAMM等数据集，本节将简单介绍几种数据集的产生方式和优缺点，同时列举典型的宏表情数据集做对比，明确微表情的概念。。

2.1.1 宏表情数据集

随着图像识别和表情研究的深入，宏表情数据集的建立越来越完备。目前常用的人脸宏表情数据集有日本女性表情库（The Japanese female facial expression, JAFFE）^[2]、Yale表情数据集^[3]和CK+人脸表情数据集^[4]等。本文提出的算法中没有用到宏表情，此处以最常用的CK+数据集举例只为说明宏表情和微表情之间的差异。

CK+数据集是在Cohn-Kanade Dataset的基础上扩展来的，发布于2010年。2000年，Cohn-Kanade（CK）数据集发布，目的是促进人脸面部表情的自动检测研究。从那时起，CK数据集成为算法开发和评估中使用最广泛的测试平台之一。在此期间，产生了三个明显的局限性：1)虽然AU编码经过了很好的验证，但是情感标签是错误的，因为标注的标签是被要求的，而不是实际产生的；2)对新算法的评估缺乏一个通用的性能指标；3)不包含常见数据集的标准协议。因此，CK数据集被用于AU和情感检测时缺少与基准算法的比较，并且使用原始数据集的随机子集使得对元数据的分析变得困难。为了解决这些问题，发布了扩展版的Cohn-Kanade数据集CK+。CK+数据集中的表

情分为三类，包括了摆拍和自发的表情以及其他类型的元数据（Metadata）。对于摆拍的表情，序列的数量比第一版的增加了22%，参与者的数量增加了27%。与初始版本一样，每个序列的目标表情都是完整的FACS编码，情感标签也经过了修改和验证。此外，元数据中还添加了经过验证的情感标签。数据集中还包含使用主动外观模型（Active Appearance Models, AAMs）和线性支持向量机分类器给出的基线结果，使用留一法交叉验证对摆拍的数据进行AU和情绪检测。

CK+数据集包括123个参与者，593个图像序列，每个图像序列的最后一张帧有AU标签，而在这593个图像序列中，有327个序列有情感标签。CK+数据集是人脸表情识别中比较流行的一个数据集，该数据集将情感分为8类，包括中性，厌恶，愤怒，蔑视，恐惧，高兴，悲伤，惊讶。图1给出了该数据集中的样本图片。综合来说，CK+是目前较为理想的表情数据集。

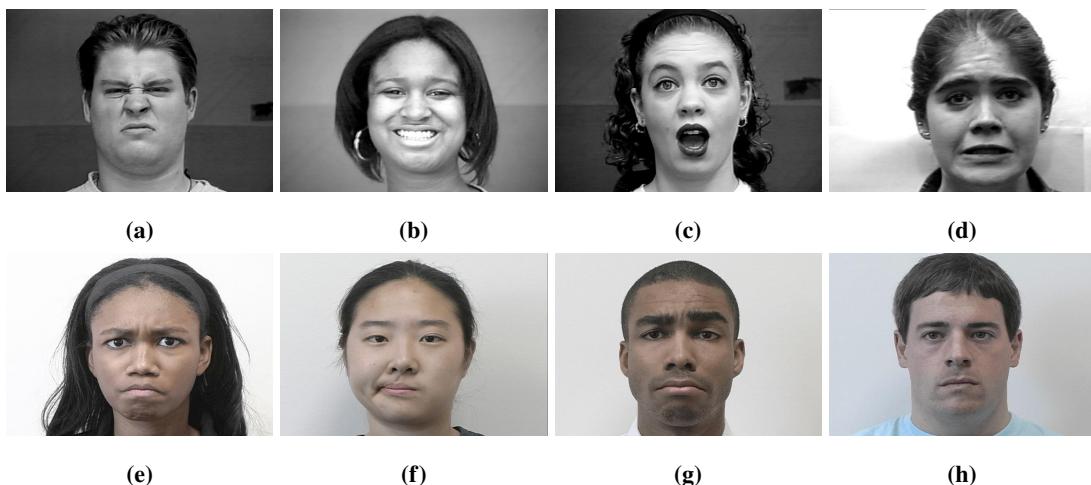


图1 人脸宏表情样本示例（CK+数据集） (a)厌恶, (b)快乐, (c)惊讶, (d)恐惧, (e)愤怒, (f)轻蔑, (g)沮丧, (h)中性表情

2.1.2 早期微表情数据集

由于微表情在镜头下很难产生，所以微表情数据的缺乏是微表情研究的第一障碍。虽然微表情已经被心理学家研究了很长一段时间，但网络上广泛传播的微表情样本仅仅只有片段，并没有发现任何心理学研究小组分享的大数据集。作者认为第一个原因是心理学研究更关注微表情本身的性质，比如什么时候出现或者看起来是什么样子，所以他们不需要像使用计算机研究那样需要大量的微表情数据。其次，在某些情况即使涉及到大量的微表情数据，但由于保密性限制，数据无法公开共享，例如患者的病历或司法讯问记录等。

以2009年为时间点，在此以前属于微表情的早期研究阶段，一些研究人员在他们的研究中使用了摆拍的微表情数据，这些数据避免了自发微表情数据获取时的困

难，作为早期自动微表情识别研究的尝试，使用摆拍的数据是一次历史性的突破。例如Shreve等人收集了一个名为USF-HD的数据集，其中包含100个摆拍的微表情片段，视频长度平均在1分钟左右，最长2分钟，最短20秒。研究人员要求参与者模仿屏幕上显示的微表情样本作为数据的来源，同时在他们的文章中明确写到可以通过要求参与者尽可能快地模仿来收集一个摆拍的微表情数据集。Polikovsky等人也收集了一个摆拍的微表情数据集，要求受试者在低强度下表演七种基本情绪，并尽快回到中性表情，数据由一台每秒200帧的高速摄像机记录。表2列出了摆拍的微表情数据集的详细属性。

表2 摆拍微表情数据集

	USF-HD	Polikovsky
微表情片段	100	N/A
参与者	N/A	10
分辨率	720 × 1280	480 × 640
FPS	29.7	200
FACS	NO	YES
表情类	N/A	7
人种	N/A	3

值得注意的是摆拍的微表情数据不可以代替或与自发的微表情数据一起使用，因为这两种数据是不同性质的。例如在研究微表情的起始点时，由于两者是在不同的机制下产生的，所以摆拍的微表情在时空特性上与自发的微表情存在很大的差异，其次在研究视频的上下文时，由于模仿的表情与通过视频编辑生成的摆拍微表情片段通常在起止点很突兀，而且期间禁止其他无关的动作发生，这也与自发的微表情有很大的不同。另一方面，自然环境下自发的微表情可能伴随着复杂的场景，比如头部运动和眨眼等动作。基于这些事实，利用摆拍的微表情数据进行研究并不能真正解决实际中微表情分析的自动化问题，所以努力收集自发的微表情数据是后续工作的正确路径。需要说明的是在本文接下来的内容中，所有的工作都是关于自发微表情的，如果没有特别说明，“微表情”一词表示自发微表情。

2.1.3 自发微表情数据集

A. SMIC数据集介绍

2011年，论文[26]首次提出了一种诱导和收集自发微表情的方法，将获得的数据集命名为“自发微表情语料库”，简称SMIC，它是第一个使用自然诱发状态的微表情数据集，对后续的数据集建立具有很好的指导性意义。第一版的SMIC数据集只包含了6位参与者的数据，论文[?]对其进行了扩充，包含了16名参与者的164个自发微表情片段，

由三种相机记录的3个数据集组成：100fps的高速相机记录的HS数据集、25fps的普通彩色相机记录的VIS数据集和25fps的近红外摄像机记录的NIR数据集，且所有数据集具有相同的图像分辨率 640×480 。增加VIS和NIR摄影机有三个考虑：（1）提升数据集的多样性；（2）研究高速相机在微表情分析方面是否优于普通速度相机；（3）研究时间插值方法是否可以应用于普通高速相机，以解决相机的短时插值问题。图2给出一个消极的微表情序列，通过该样例可以看出，一个微表情是由一组图片序列构成的，本样例的变化主要表现为嘴角的细微下沉。



图2 一个消极的微表情片段示例（SMIC数据集）

a) 视频采集

研究表明通过图像、视频和音乐等一定的刺激能够诱发真实的表情^[2]。自发微表情是由人的内心感受触发的非自愿行为，所以可以使用上述方法引发情感反应。但必须找到一种能确保诱发的表情足够短的方法（满足微表情的标准）。一些心理学著作研究了微表情发生的条件，Ekman等人认为当人们试图隐藏自己的真实情感时，尤其是当被抓住后果会很严重时，微表情就会出现，这被称为高风险条件，例如嫌疑人正在接受警察或测谎专家的审问，这是一种很自然的高风险场景。但是对于采集数据而言，营造真正的审问现场显的不太可能。所以为了诱导参与者自发的微表情，需要找到一种模拟高风险环境的方法。设计的情景必须满足以下两个要求：（1）激发参与者情绪的刺激必须有效，使激发的情绪反应强烈到无法完全隐藏；（2）应该制造高压力，这样参与者才会有动力去尽力隐藏自己的真实感受。

作者使用了心理学研究中诱导抑制情绪产生的方法。采集前向参与者详细说明研究内容和过程，显示器上显示如下提示性语句：“（1）将向您展示几段诱发情绪的短片，请尽量保持头部稳定并仔细观看。（2）每段视频片段后，您将有一个短暂的休息。请根据您对刚才看到的视频的真实感受填写调查表（报告中的情感反馈是标注过程中的重要参考。）。（3）当您在看视频的时候，我会待在另一个房间，通过摄像头观察您的面部和身体动作，并尝试猜测您所看的视频片段(片段是随机播放的)。您的任务是装出若无其事的样子，而不是表露您的真实感情。如果您不能隐藏您的感觉，您将不得不填写一份超过500个冗长而乏味的问题问卷。”

在每段影片结束后，参与者将在问卷中回答以下问题：“（1）您在看视频时感受到

了什么样的情绪(快乐、悲伤、厌恶、恐惧、惊讶、愤怒或困惑)? (2) 看视频的时候您是否感觉到愉悦? (从1到7愉悦程度逐渐上升)”。选择最有效的刺激作为情感诱导因子是后续数据采集的关键因素之一。通过查阅文献比较不同类型的情绪诱导材料,如图像、音乐、视频和互动。最终决定使用短视频作为微表情采集诱导剂的原因有三个: (1) 视频包含音频和视觉信息, 因此比图像和音乐的影响更强大; (2) 视频能够持续一段时间, 更能激发强烈情绪, 更容易产生微表情; (3) 从获取稳定额叶面部视频的实际角度来看, 观看视频的参与者比多人参与的互动场景更容易控制。

20名来自奥卢大学的学生和研究人员自愿参与数据集的制作, 参与者的年龄从22岁到34岁不等, 其中7位是女性, 13位是男性, 9人是白种人, 11人是亚洲人。研究人员在电脑显示器上向参与者展示了16段精心挑选的能引发强烈情绪的视频片段。当参与者观看视频片段时, 三个固定在电脑显示器上的摄像头记录参与者的面部反应, 操作人员在前方通过另外一台电脑监控参与者的面部反应, 图3给出了环境设置示意图。



图3 微表情数据采集示意图

b) 视频的标注

录制的视频需要进行分割和标注, 目的是得到适合研究人员进行训练与测试的微表情样本和相应的标签。采集的三种视频中高速视频由于具有最佳的时间分辨率所以非常适合标注, 另外两个摄像头拍摄的视频需要同步后再进行标注。首先, 从原始的长视频中分割出微表情的起始和终止帧, 微表情序列的开始表示的是与之前中立(或接近中立)的人脸表情相比的可见运动的第一帧, 而微表情序列的终止指在与下一帧相比可以发现任何运动时结束的最后一帧。关于微表情精确的长度限制目前还存在争议, SMIC数据集参考论文[6]和[7]等人的建议, 设置了1/2秒较宽松的分割节点。注意, 并不是所有的微表情都结束于一个完全的中性表情, 有些表情可能会上升, 然后下降到接近中性的状态, 并保持这种状态很长时间, 这也被认为是微表情的结束。

随后，对所有的视频片段都用情感标签进行标注。情感标签的证据有两种：视频片段的内容和参与者提交的报告。虽然在视频播放前已经预知将可能产生某种确定情绪，但研究发现，参与者在某些视频刺激下可能会产生不同的情绪表现(甚至相反的情绪)。在少数情况下，当参与者提交的问卷报告与视频内容相反对(例如，一些参与者反馈在观看恐怖视频片段时感到快乐或有趣)，SMIC数据集使用参与者的提交的报告作为微表情标签的标准。起初，SMIC数据集根据视频内容分配了五种情感标签，包括快乐，悲伤，恐惧，厌恶，惊讶。后来，SMIC数据集将五类标签合并为三类：积极（Positive）、惊喜（Surprise）和负面（Negative）。将第一版本的快乐类别改为新的积极类别，而消极类别则是由第一版的悲伤、恐惧和厌恶这三个类别组合而成。将三种消极情绪融合在一起的原因是：首先，参与者在该段视频的报告中选择了三种情绪中的一种以上；其次，三种标签的样本量都太小，合并后会更好的平衡。根据具体情况，惊喜类别可以分为正面惊喜和负面惊喜。同时为了验证数据标签的有效性，标注由两位标注者分别执行。然后，两位标注者相互交换检查各自的标注，只有当两位标注者的标注结果一致时的标签有效。

B. CASMEC数据集介绍

在SMIC发表后不久，另一组研究人员收集了新的自发微表情数据集。由中国科学院Yan等人采用与SMIC相似的情绪诱导方式收集的中国科学院微表情数据集(CASME)，包含19位中国参与者的195个微表情片段。CASME由两台相机记录，一台是明基M31相机，帧率为60fps，分辨率为 1280×720 (CASME-A)，另一台是灰点GRAS-03K2C相机，帧率为60fps，分辨率为 640×480 (CASME-B)。CASME数据集中的微表情首先使用AU标记，然后被分为八类情绪，包括娱乐、悲伤、厌恶、惊讶、蔑视、恐惧、压抑和紧张。之后又发布了第二版数据集CASME II，CASME II提供了更多具有更高时空分辨率的微表情样本。新数据集的平均人脸尺寸为 280×340 ，每秒200帧，是从26名中国参与者中获得的247个微表情样本。CASMEII样本有五个类的AU标签和情感标签，即幸福、厌恶、惊讶、压抑和其他。

CASME II数据集相比之前的数据集引入了AU标签，它是在充分考虑了主客观因素(除了FACS编码的基本判断)外，还参考了参与者自己的主观回忆来辅助判断样本标签。除此之外，该数据集还对微表情的起始帧、峰值帧和终止帧都做了详细的标注。

C. 其他数据集介绍

最近又有一个自发微表情的数据集SAMM也使用了类似的情绪诱导方法，从13个不同民族的32名参与者中获得159个微表情。SAMM数据具有更高的帧分辨率 2040×340 ，帧速率为200fps。数据提供了AU标签和七种表情标签，包括生气、开心、蔑视、

恐惧、惊讶、厌恶和其他。

表3列出了当前所有提到的微表情数据集的详细参数。

表3 自发微表情数据集

	SMIC-HS	SMIC-subHS	SMIC-NIR	SMIC-VIS	CASME II	SAMM
微表情片段	164	71	71	71	247	159
参与者	16	8	8	8	26	32
分辨率	640×480	640×480	640×480	640×480	640×480	2040×1088
人脸分辨率	190×230	190×230	190×230	190×230	280×340	400×400
FPS	100	100	100	100	200	200
性别比(F/M)	6/10	2/6	2/6	2/6	15/11	16/16
FACS	NO	NO	NO	NO	YES	YES
表情类	3	3	3	3	5	7
平均年龄(SD)	26.7(N/A)	26.7(N/A)	26.7(N/A)	26.7(N/A)	22.03(SD=1.6)	33.24(SD=11.32)
人种	2	2	2	2	1	4

2.1.4 宏表情与微表情比较

目前存在的宏表情和微表情数据集形式多样，各具特色。但受限于理论研究的不统一，各个数据集的成果迁移性较差，存在着较多的局限性，目前数据集存在的问题主要体现在：

首先，建库标准不一致。对于常用的宏表情数据集，例如JAFFE和CK+两个常用的数据集，他们对情感分类的标准并不一样，JAFFE将表情分为高兴、生气、悲伤、厌恶、惊讶、恐惧、中性7类，而CK+在此基础上加入了蔑视这一类情感。对于微表情数据集，他们的诱发方式不同，有的数据集使用自然诱发，有的使用非自然状态的模拟得到;SMIC数据集并没有对AU单元进行标注，CASME的光照并非自然光照，会与真正的自然光照下的微表情存在一定的差异;另外，不同的数据集根据研究需要，在情感标签分类上也有较大的不同。例如，SMIC微表情数据集将情感分类为积极、消极、惊讶三类，而CASME系列将情感分类高兴、惊讶、悲伤、厌恶、恐惧、抑制和其他七种类型;不同的建库标准导致难以使用统一的方法对数据集进行性能评价。

其次，样本数量有限。目前各个数据集的样本数量较少，尤其是受试者的数量有限，导致数据集的样本数量不够，难以有较强的说服性。微表情数据集目前的样本数量都比较少，不具有普遍意义。

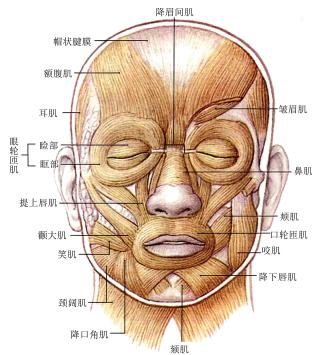


图4 人脸面部肌肉划分

2.2 微表情特征提取的一般方法

2.2.1 LBP-TOP

LBP可以有效地处理光照变化，在纹理分析，纹理识别方面被广泛应用。

但是LBP只能处理单张的二维图像，对于视频或者图像序列，如何用LBP来提取特征，捕捉视频序列的运动信息呢。今天我们就介绍一种称为 LBP-TOP 的特征，是芬兰奥卢大学的 Guoying Zhao 等人提出来的，最早是用来处理动态纹理的识别，但是现在已经被广泛用在基于视频的人脸表情识别上面。

LBP-TOP 是 LBP 从二维空间到三维空间的拓展，LBP-TOP 的全称为: local binary patterns from three orthogonal planes, 这里的three orthogonal planes 指的就是三个正交平面，我们知道，单张的图像只有X, Y两个方向，而一个视频或者图像序列除了X,Y 方向之外，还有一个沿着时间轴 T 的方向，而 X-Y, X-T 和 Y-T 三个方向是相互正交的。

2.2.2 光流法

光流的概念是Gibson在1950年首先提出来的。它是空间运动物体在观察成像平面上的像素运动的瞬时速度，是利用图像序列中像素在时间域上的变化以及相邻帧之间的相关性来找到上一帧跟当前帧之间存在的对应关系，从而计算出相邻帧之间物体的运动信息的一种方法。一般而言，光流是由于场景中前景目标本身的移动、相机的运动，或者两者的共同运动所产生的。其计算方法可以分为三类：

- (1) 基于区域或者基于特征的匹配方法；
- (2) 基于频域的方法；
- (3) 基于梯度的方法；

简单来说，光流是空间运动物体在观测成像平面上的像素运动的“瞬时速度”。光流的研究是利用图像序列中的像素强度数据的时域变化和相关性来确定各自像素位置的“运动”。研究光流场的目的就是为了从图片序列中近似得到不能直接得到的运动

场。

光流法的前提假设：

- (1) 相邻帧之间的亮度恒定；
- (2) 相邻视频帧的取帧时间连续，或者，相邻帧之间物体的运动比较“微小”；
- (3) 保持空间一致性；即，同一子图像的像素点具有相同的运动

这里有两个概念需要解释：运动场，其实就是物体在三维真实世界中的运动；光流场，是运动场在二维图像平面上的投影。

2.2.3 Gabor特征

Gabor 特征是一种可以用来描述图像纹理信息的特征，Gabor 滤波器的频率和方向与人类的视觉系统类似，特别适合于纹理表示与判别。Gabor 特征主要依靠 Gabor 核在频率域上对信号进行加窗，从而能描述信号的局部频率信息。

说到 Gabor 核，不能不提到傅里叶变换。正是靠傅里叶变换，我们才能将信号转换到频率域，才能让 Gabor 核在频率域去加窗。而在原本的空间域中，一个 Gabor 核实际上就是一个高斯核与正弦波调制的结果，可以看做是高斯核应用在了正弦波的频域部分。

2.3 相关深度学习网络

2.3.1 3DCNN

3D CNN 在视频分类，动作识别等领域发挥着巨大的优势，文章：3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition，该框架应用于动态表情识别。采用 2D CNN 对视频进行操作的方式，一般都是对视频的每一帧图像分别利用 CNN 来进行识别，这种方式的识别没有考虑到时间维度的帧间运动信息。使用 3D CNN 能更好的捕获视频中的时间和空间的特征信息。

需要注意的是：3D 卷积核只能从 cube 中提取一种类型的特征，因为在整个 cube 中卷积核的权值都是一样的，也就是共享权值，都是同一个卷积核。我们可以采用多种卷积核，以提取多种特征。

输入层 (input)：连续的大小为 60×40 的视频帧图像作为输入。

硬线层 (hardwired, H1)：每帧提取 5 个通道信息（灰度 gray，横坐标梯度 (gradient-x)，纵坐标梯度 (gradient-y)，x 光流 (optflow-x)，y 光流 (optflow-y)）。前面三个通道的信息可以直接对每帧分别操作获取，后面的光流 (x, y) 则需要利用两帧的信息才能提取，因此 H1 层的特征 maps 数量： $(7 + 7 + 7 + 6 + 6 = 33)$ ，特征 maps 的大小依然为 60×40 ；

卷积层（convolution C2）：以硬线层的输出作为该层的输入，对输入5个通道信息分别使用大小为 $7 \times 7 \times 3$ 的3D卷积核进行卷积操作（ 7×7 表示空间维度，3表示时间维度，也就是每次操作3帧图像），同时，为了增加特征maps的个数，在这一层采用了两种不同的3D卷积核。

降采样层（sub-sampling S3）：在该层采用max pooling操作，降采样之后的特征maps数量保持不变。

卷积层（convolution C4）：对两组特征maps分别采用 $7 \times 6 \times 3$ 的卷积核进行操作，同样为了增加特征maps的数量，文中采用了三种不同的卷积核分别对两组特征map进行卷积操作。这里的特征maps的数量计算有点复杂。

降采样层（sub-sampling S5）：对每个特征maps采用 3×3 的核进行降采样操作，此时每个maps的大小： 7×4 。在这个阶段，每个通道的特征maps已经很小，通道maps数量分布情况如下：

gray通道maps数量 = gradient-x通道maps数量 = gradient-y通道maps数量 = 3

optflow-x通道maps数量 = optflow-y通道maps数量 = 2；

卷积层（convolution C6）：此时对每个特征maps采用 7×4 的2D卷积核进行卷积操作，此时每个特征maps的大小为： 1×1 ，至于数量为128是咋来的，就不咋清楚了，估计是经验值。

对于CNNs，有一个通用的设计规则就是：在后面的层（离输出层近的）特征map的个数应该增加，这样就可以从低级的特征maps组合产生更多类型的特征。

通过多层的卷积和降采样，每连续7帧图像就可以获得128维的特征向量。输出层的单元数与视频动作数是相同的，输出层的每个单元与这128维的特征向量采用全连接。在后面一般采用线性分类器对128维的特征向量进行分类，实现行为识别，3DCNN模型中所有可训练的参数都是随机初始化的，然后通过在线BP算法进行训练。

2.3.2 ResNet

ResNet在2015年被提出，在ImageNet比赛classification任务上获得第一名，因为它“简单与实用”并存，之后很多方法都建立在ResNet50或者ResNet101的基础上完成的，检测，分割，识别等领域都纷纷使用ResNet，Alpha zero也使用了ResNet，所以可见ResNet确实很好用。

随着网络的加深，出现了训练集准确率下降的现象，我们可以确定这不是由于Overfit过拟合造成的(过拟合的情况训练集应该准确率很高)；所以作者针对这个问题提出了一种全新的网络，叫深度残差网络，它允许网络尽可能的加深，其中引入了全新的结构如图5；

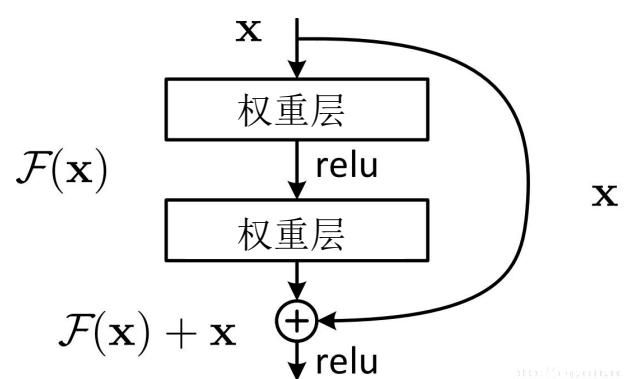


图 5 ResNet结构图

第三章 个人研究1

3.1 低分辨率微表情数据获取

3.2 数据预处理

3.2.1 ASM

3.2.2 LWM

3.2.3 TIM

3.3 超分辨重建

3.3.1 基于块方法

3.3.2 基于像素的方法

3.4 LSVM及参数设置

3.4.1 LSVM

3.4.2 参数设置

3.5 实验及分析

第四章 个人研究2

为方便使用及更好地展示 \LaTeX 排版的优秀特性，ucasthesia的框架和文件体系进行了细致地处理，尽可能地对各个功能和板块进行了模块化和封装，对于初学者来说，众多的文件目录也许一开始让人觉得有些无所适从，但阅读完下面的使用说明后，会发现原来使用思路是简单而清晰的，而且，当对 \LaTeX 有一定的认识和了解后，会发现其相对Word类排版系统极具吸引力的优秀特性。所以，如果是初学者，请不要退缩，请稍加尝试和坚持，以领略到 \LaTeX 的非凡魅力，并可以通过阅读相关资料如 \LaTeX Wikibook^[14]来完善自己的使用知识。

4.1 先试试效果

1. 安装软件：根据所用操作系统和章节 1.2 中的信息安装 \LaTeX 编译环境。
2. 获取模板：下载 ucasthesia 模板并解压。 ucasthesia 模板不仅提供了相应的类文件，同时也提供了包括参考文献等在内的完成学位论文的一切要素，所以，下载时，推荐下载整个 ucasthesia 文件夹，而不是单独的文档类。
3. 编译模板：
 - (a) Windows：双击运行artratex.bat脚本。
 - (b) Linux或MacOS: `terminal -> chmod +x ./artratex.sh -> ./artratex.sh xa`
 - (c) 任意系统：都可使用 \LaTeX 编辑器打开Thesis.tex文件并选择xelatex编译引擎进行编译。
4. 错误处理：若编译中遇到了问题，请先查看“常见问题”（章节 6.4）。

编译完成即可获得本PDF说明文档。而这也完成了学习使用ucasthesia撰写论文的一半进程。什么？这就学成一半了，这么简单???, 是的，就这么简单！

4.2 文档目录简介

4.2.1 Thesis.tex

Thesis.tex为主文档，其设计和规划了论文的整体框架，通过对它的阅读可以了解整个论文框架的搭建。

4.2.2 编译脚本

- Windows：双击Dos脚本artratex.bat可得全编译后的PDF文档，其存在是为了帮助不了解 \LaTeX 编译过程的初学者跨过编译这第一道坎，请勿通过邮件传播和接收此脚本，

以防范Dos脚本的潜在风险。

- Linux或MacOS: 在terminal中运行
 - `./artratex.sh xa`: 获得全编译后的PDF文档
 - `./artratex.sh x`: 快速编译模式
- 全编译指运行 `xelatex+bibtex+xelatex+xelatex` 以正确生成所有的引用链接, 如目录, 参考文献及引用等。在写作过程中若无添加新的引用, 则可用快速编译, 即只运行一遍`LATEX`编译引擎以减少编译时间。

4.2.3 Tmp文件夹

运行编译脚本后, 编译所生成的文档皆存于Tmp文件夹内, 包括编译得到的PDF文档, 其存在是为了保持工作空间的整洁, 因为好的心情是很重要的。

4.2.4 Style文件夹

包含ucasthesis文档类的定义文件和配置文件, 通过对它们的修改可以实现特定的模版设定。若需更新模板, 一般只需用新的样式文件替换旧的即可。

1. `ucasthesis.cls`: 文档类定义文件, 论文的最核心的格式即通过它来定义的。
2. `ucasthesis.cfg`: 文档类配置文件, 设定如目录显示为“目录”而非“目录”。
3. `artratex.sty`: 常用宏包及文档设定, 如参考文献样式、文献引用样式、页眉页脚设定等。这些功能具有开关选项, 常只需在`Thesis.tex`中的如下命令中进行启用即可, 一般无需修改`artratex.sty`本身。

```
\usepackage[options]{artratex}
```

4. `artracom.sty`: 自定义命令以及添加宏包的推荐放置位置。

4.2.5 Tex文件夹

文件夹内为论文的所有实体内容, 正常情况下, 这也是使用`ucasthesis`撰写学文论文时, 主要关注和修改的一个位置, 注: 所有文件都必须采用UTF-8编码, 否则编译后将出现乱码文本, 详细分类介绍如下:

- `Frontpage.tex`: 为论文中英文封面及中英文摘要。论文封面会根据英文学位名称如**Bachelor**, **Master**, 或是**Doctor**自动切换为相应的格式。
- `Mainmatter.tex`: 索引需要出现的Chapter。开始写论文时, 可以只索引当前章节, 以快速编译查看, 当论文完成后, 再对所有章节进行索引即可。
- `Chap_xxx.tex`: 为论文主体的各个章节, 可根据需要添加和撰写。
- `Appendix.tex`: 为附录内容
- `Backmatter.tex`: 为发表文章信息和致谢部分等。

4.2.6 Img文件夹

用于放置论文中所需要的图类文件，支持格式有：.jpg,.png,.pdf。其中，`ucas_logo.pdf`为国科大校徽。不建议为各章节图片建子目录，即使图片众多，若命名规则合理，图片查询亦是十分方便。

4.2.7 Biblio文件夹

1. `ref.bib`: 参考文献信息库。
2. `gbt7714-xxx bst`: 符合国标的文献样式定义文件。由 `zepinglee` 开发，并满足最新国标要求。与文献样式有关的问题，请查阅开发者所提供的文档，并建议适当追踪其更新。

4.3 数学公式、图表、参考文献等功能

4.3.1 数学公式

比如Navier-Stokes方程：

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{V}) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{V}) \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} u \, d\Omega + \int_S \mathbf{n} \cdot (u \mathbf{V}) \, dS = \dot{\phi} \quad (4.2)$$

数学公式常用命令请见 WiKibook Mathematics。`artracom.sty`中对一些常用数据类型如矢量矩阵等进行了封装，这样的好处是如有一天需要修改矢量的显示形式，只需单独修改`artracom.sty`中的矢量定义即可实现全文档的修改。

4.3.2 表格

请见表 6。制表的更多范例，请见 WiKibook Tables。

表 4 这是一个样表

Row number	This is a multicolumn						
Row 1	1	2	4	5	6	7	8
Row 2	1	2	4	5	6	7	8
Row 3	1	2	4	5	6	7	8
Row 4	1	2	4	5	6	7	8

4.3.3 图片插入

论文中图片的插入通常分为单图和多图，下面分别加以介绍：

单图插入：假设插入名为`tc_q_criteria`（后缀可以为`.jpg`、`.png`、`.pdf`，下同）的图片，其效果如图12。

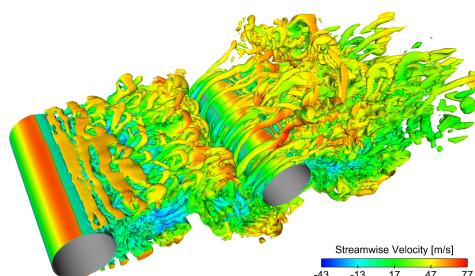


图 6 Q判据等值面图，同时测试一下一个很长的标题，比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长很长的标题

如果插图的空白区域过大，以图片`shock_cyn`为例，自动裁剪如图13。

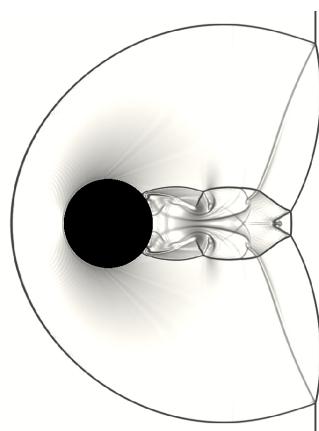


图 7 激波圆柱作用

多图的插入如图14，多图不应在子图中给文本子标题，只要给序号，并在主标题中进行引用说明。

4.3.4 算法

如见算法 3，详细使用方法请参见文档 `algorithmicx`。

4.3.5 参考文献引用

参考文献引用过程以实例进行介绍，假设需要引用名为"Document Preparation System"的文献，步骤如下：

1) 使用Google Scholar搜索Document Preparation System，在目标条目下点击Cite，展开后选择Import into BibTeX打开此文章的BibTeX索引信息，将它们copy添加到ref.bib文件中（此文件位于Biblio文件夹下）。

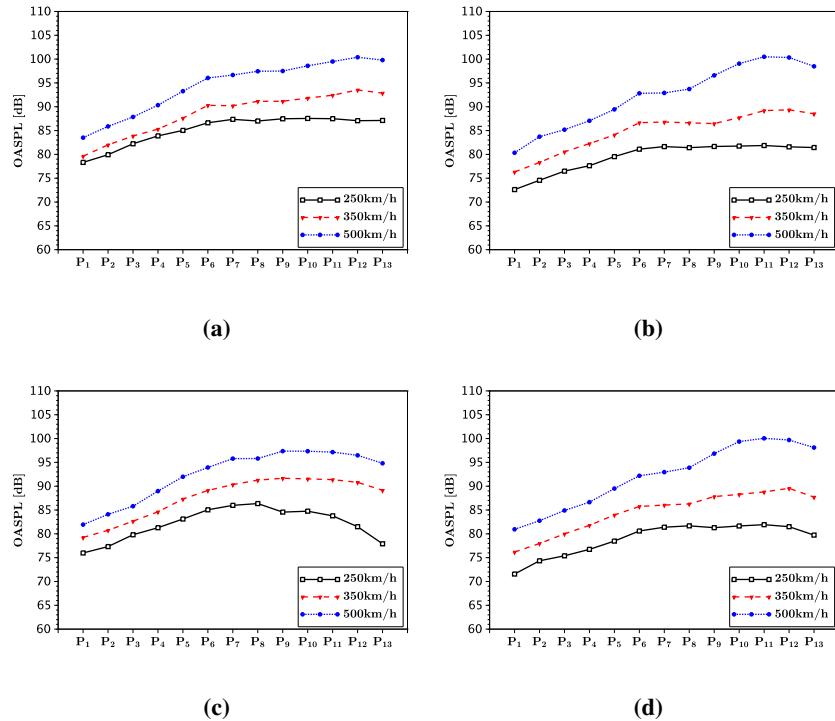


图 8 总声压级。 (a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息

Algorithm 1 Euclid's algorithm

```

1: procedure EUCLID( $a, b$ ) ▷ The g.c.d. of a and b
2:    $r \leftarrow a \bmod b$ 
3:   while  $r \neq 0$  do ▷ We have the answer if r is 0
4:      $a \leftarrow b$ 
5:      $b \leftarrow r$ 
6:      $r \leftarrow a \bmod b$ 
7:   end while
8:   return  $b$  ▷ The gcd is b
9: end procedure

```

2) 索引第一行 `@article{lamport1986document}`, 中 `lamport1986document` 即为此次文献的label (中文文献也必须使用英文label), 一般遵照: 姓氏拼音+年份+标题第一字拼音的格式), 想要在论文中索引此文献, 有两种索引类型:

文本类型: `\citet{lamport1986document}`。正如此处所示 Leslie^[15];

括号类型: `\citep{lamport1986document}`。正如此处所示^[15]。

多文献索引用英文逗号隔开:

`\citet{lamport1986document, chu2004tushu, chen2005zhulu}`。正如此处所示^[15-17]

更多例子如:

Walls et al.^[18]根据...的研究, 首次提出...。其中关于...^[18], 是当前中国...得到迅速发展的研究领域^[19]。引用同一著者在同一年份出版的多篇文献时, 在出版年份之后用英文小写字母区别, 如: ^[20? ?]。同一处引用多篇文献时, 按出版年份由近及远依次标注, 中间用分号分开。例如^[19,21-23]。

使用著者-出版年制 (authoryear) 式参考文献样式时, 中文文献必须在BibTeX索引信息的 **key** 域 (请参考ref.bib文件) 填写作者姓名的拼音, 才能使得文献列表按照拼音排序。参考文献表中的条目 (不排序号), 先按语种分类排列, 语种顺序是: 中文、日文、英文、俄文、其他文种。然后, 中文按汉语拼音字母顺序排列, 日文按第一著者的姓氏笔画排序, 西文和俄文按第一著者姓氏首字母顺序排列。如中^[23]、日^[24]、英^[21]、俄^[25]。

如此, 即完成了文献的索引, 请查看下本文档的参考文献一章, 看看是不是就是这么简单呢? 是的, 就是这么简单!

不同文献样式和引用样式, 如著者-出版年制 (authoryear)、顺序编码制 (numbers)、上标顺序编码制 (super) 可在Thesis.tex中对artratex.sty调用实现, 如:

- `\usepackage[numbers]{artratex}` % 文本: Jones [1]; 括号: [1]
- `\usepackage[super]{artratex}` % 文本: Jones 上标[1]; 括号: 上标[1]
- `\usepackage[authoryear]{artratex}` % 文本: Jones (1995); 括号: (Jones, 1995)
- `\usepackage[alpha]{artratex}` % 文本: 不可用; 括号: [Jon95]

当前文档的默认参考文献样式为**authoryear**。若在上标 (**super**) 模式下, 希望在特定位置将上标改为嵌入式标, 可使用

文本类型: `\citetns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示Leslie^[15], 陈浩元^[17]

括号类型: `\citepns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示^[15, 17]

参考文献索引更为详细的信息，请见 zepinglee 和 WiKibook Bibliography。

4.4 常见使用问题

1. 模板每次发布前，都已在Windows, Linux, MacOS系统上测试通过。下载模板后，若编译出现错误，则请见 ucasthesis和LATEX知识小站 的 编译指南。
2. 模板文档的编码为UTF-8编码。所有文件都必须采用UTF-8编码，否则编译后生成的文档将出现乱码文本。若出现文本编辑器无法打开文档或打开文档乱码的问题，请检查编辑器对UTF-8编码的支持。如果使用WinEdt作为文本编辑器（不推荐使用），应在其Options -> Preferences -> wrapping选项卡下将两种Wrapping Modes中的内容：

TeX;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

修改为：TeX;UTF-8|ACP;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

同时，取消Options -> Preferences -> Unicode中的Enable ANSI Format。

3. 推荐选择xelatex或lualatex编译引擎编译中文文档。编译脚本的默认设定为xelatex编译引擎。你也可以选择不使用脚本编译，如直接使用 LATEX文本编辑器编译。注：LATEX文本编辑器编译的默认设定为pdflatex编译引擎，若选择xelatex或lualatex编译引擎，请进入下拉菜单选择。为正确生成引用链接，需要进行全编译。

4. Texmaker使用简介

- (a) 使用 Texmaker “打开(Open)” Thesis.tex。
- (b) 菜单“选项(Options)” -> “设置当前文档为主文档(Define as Master Document)”
- (c) 菜单“自定义(User)” -> “自定义命令(User Commands)” -> “编辑自定义命令(Edit User Commands)” -> 左侧选择“command 1”，右侧“菜单项(Menu Item)”填入 Auto Build -> 点击下方“向导(Wizard)” -> “添加(Add)”：xelatex + bibtex + xelatex + xelatex + pdf viewer -> 点击“完成(OK)”
- (d) 使用 Auto Build 编译带有未生成引用链接的源文件，可以仅使用 xelatex 编译带有已经正确生成引用链接的源文件。
- (e) 编译完成，“查看(View)” PDF，在PDF中“ctrl+click”可链接到相对应的源文件。

5. 模版的设计可能地考虑了适应性。致谢等所有条目都是通过最为通用的

`\chapter{item name}` and `\section*{item name}`

来显式实现的(请观察Backmatter.tex)，从而可以随意添加，放置，和修改，如同一般章节。对于图表目录名称则可在ucasthesis.cfg中进行修改。

6. 设置文档样式: 在artratex.sty中搜索关键字定位相应命令，然后修改

- (a) 正文行距: 启用和设置 `\linespread{1.5}`，默认1.5倍行距。
- (b) 参考文献行距: 修改 `\setlength{\bibsep}{0.0ex}`
- (c) 目录显示级数: 修改 `\setcounter{tocdepth}{2}`
- (d) 文档超链接的颜色及其显示: 修改 `\hypersetup`

7. 文档内字体切换方法:

- 宋体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗宋体: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 黑体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗黑体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s
- 仿宋: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗仿宋: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 楷体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗楷体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s

8. 封面下划线上的文本不居中下划线, 这是因为下划线前面还有字头, 导致文本只能在页面居中和在下划线上居中二选一。当前封面采取页面居中。如需要调整文本在下划线上的位置, 可用 \hspace{+/- n.0em} 命令来插入或删除 n 个空格, 进行手动调整, 比如

\advisor{\hspace{+3.0em} xxx~研究员~xxx单位}

有时下划线看上去粗细不一致, 这是显示的问题, 打印正常。

第五章 系统设计

为方便使用及更好地展示 \LaTeX 排版的优秀特性，`ucasthesys`的框架和文件体系进行了细致地处理，尽可能地对各个功能和板块进行了模块化和封装，对于初学者来说，众多的文件目录也许一开始让人觉得有些无所适从，但阅读完下面的使用说明后，会发现原来使用思路是简单而清晰的，而且，当对 \LaTeX 有一定的认识和了解后，会发现其相对Word类排版系统极具吸引力的优秀特性。所以，如果是初学者，请不要退缩，请稍加尝试和坚持，以领略到 \LaTeX 的非凡魅力，并可以通过阅读相关资料如 \LaTeX Wikibook^[14]来完善自己的使用知识。

5.1 先试试效果

1. 安装软件：根据所用操作系统和章节 1.2 中的信息安装 \LaTeX 编译环境。
2. 获取模板：下载 `ucasthesys` 模板并解压。`ucasthesys`模板不仅提供了相应的类文件，同时也提供了包括参考文献等在内的完成学位论文的一切要素，所以，下载时，推荐下载整个`ucasthesys`文件夹，而不是单独的文档类。
3. 编译模板：
 - (a) Windows：双击运行`artratex.bat`脚本。
 - (b) Linux或MacOS: `terminal -> chmod +x ./artratex.sh -> ./artratex.sh xa`
 - (c) 任意系统：都可使用 \LaTeX 编辑器打开`Thesis.tex`文件并选择`xelatex`编译引擎进行编译。
4. 错误处理：若编译中遇到了问题，请先查看“常见问题”（章节 6.4）。

编译完成即可获得本PDF说明文档。而这也完成了学习使用`ucasthesys`撰写论文的一半进程。什么？这就学成一半了，这么简单???, 是的，就这么简单！

5.2 文档目录简介

5.2.1 Thesis.tex

`Thesis.tex`为主文档，其设计和规划了论文的整体框架，通过对它的阅读可以了解整个论文框架的搭建。

5.2.2 编译脚本

- Windows：双击DOS脚本`artratex.bat`可得全编译后的PDF文档，其存在是为了帮助不了解 \LaTeX 编译过程的初学者跨过编译这第一道坎，请勿通过邮件传播和接收此脚本，

以防范Dos脚本的潜在风险。

- Linux或MacOS: 在terminal中运行
 - `./artratex.sh xa`: 获得全编译后的PDF文档
 - `./artratex.sh x`: 快速编译模式
- 全编译指运行 `xelatex+bibtex+xelatex+xelatex` 以正确生成所有的引用链接, 如目录, 参考文献及引用等。在写作过程中若无添加新的引用, 则可用快速编译, 即只运行一遍`LATEX`编译引擎以减少编译时间。

5.2.3 Tmp文件夹

运行编译脚本后, 编译所生成的文档皆存于Tmp文件夹内, 包括编译得到的PDF文档, 其存在是为了保持工作空间的整洁, 因为好的心情是很重要的。

5.2.4 Style文件夹

包含ucasthesis文档类的定义文件和配置文件, 通过对它们的修改可以实现特定的模版设定。若需更新模板, 一般只需用新的样式文件替换旧的即可。

1. `ucasthesis.cls`: 文档类定义文件, 论文的最核心的格式即通过它来定义的。
2. `ucasthesis.cfg`: 文档类配置文件, 设定如目录显示为“目录”而非“目录”。
3. `artratex.sty`: 常用宏包及文档设定, 如参考文献样式、文献引用样式、页眉页脚设定等。这些功能具有开关选项, 常只需在`Thesis.tex`中的如下命令中进行启用即可, 一般无需修改`artratex.sty`本身。

```
\usepackage[options]{artratex}
```

4. `artracom.sty`: 自定义命令以及添加宏包的推荐放置位置。

5.2.5 Tex文件夹

文件夹内为论文的所有实体内容, 正常情况下, 这也是使用`ucasthesis`撰写学文论文时, 主要关注和修改的一个位置, 注: 所有文件都必须采用UTF-8编码, 否则编译后将出现乱码文本, 详细分类介绍如下:

- `Frontpage.tex`: 为论文中英文封面及中英文摘要。论文封面会根据英文学位名称如**Bachelor**, **Master**, 或是**Doctor**自动切换为相应的格式。
- `Mainmatter.tex`: 索引需要出现的Chapter。开始写论文时, 可以只索引当前章节, 以快速编译查看, 当论文完成后, 再对所有章节进行索引即可。
- `Chap_xxx.tex`: 为论文主体的各个章节, 可根据需要添加和撰写。
- `Appendix.tex`: 为附录内容
- `Backmatter.tex`: 为发表文章信息和致谢部分等。

5.2.6 Img文件夹

用于放置论文中所需要的图类文件，支持格式有：.jpg,.png,.pdf。其中，`ucas_logo.pdf`为国科大校徽。不建议为各章节图片建子目录，即使图片众多，若命名规则合理，图片查询亦是十分方便。

5.2.7 Biblio文件夹

1. `ref.bib`: 参考文献信息库。
2. `gbt7714-xxx bst`: 符合国标的文献样式定义文件。由 `zepinglee` 开发，并满足最新国标要求。与文献样式有关的问题，请查阅开发者所提供的文档，并建议适当追踪其更新。

5.3 数学公式、图表、参考文献等功能

5.3.1 数学公式

比如Navier-Stokes方程：

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{V}) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{V}) \end{cases} \quad (5.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} u \, d\Omega + \int_S \mathbf{n} \cdot (u \mathbf{V}) \, dS = \dot{\phi} \quad (5.2)$$

数学公式常用命令请见 WiKibook Mathematics。`artracom.sty`中对一些常用数据类型如矢量矩阵等进行了封装，这样的好处是如有一天需要修改矢量的显示形式，只需单独修改`artracom.sty`中的矢量定义即可实现全文档的修改。

5.3.2 表格

请见表 6。制表的更多范例，请见 WiKibook Tables。

表 5 这是一个样表

Row number	This is a multicolumn						
Row 1	1	2	4	5	6	7	8
Row 2	1	2	4	5	6	7	8
Row 3	1	2	4	5	6	7	8
Row 4	1	2	4	5	6	7	8

5.3.3 图片插入

论文中图片的插入通常分为单图和多图，下面分别加以介绍：

单图插入：假设插入名为`tc_q_criteria`（后缀可以为`.jpg`、`.png`、`.pdf`，下同）的图片，其效果如图12。

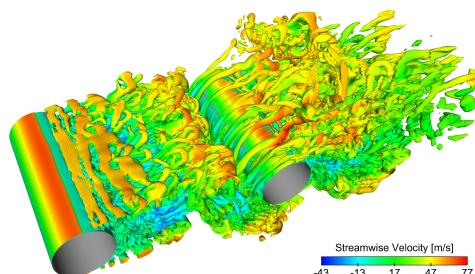


图9 Q判据等值面图，同时测试一下一个很长的标题，比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长很长的标题

如果插图的空白区域过大，以图片`shock_cyn`为例，自动裁剪如图13。

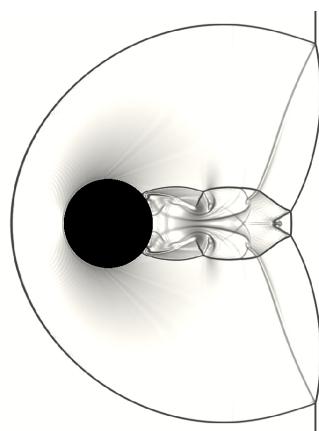


图10 激波圆柱作用

多图的插入如图14，多图不应在子图中给文本子标题，只要给序号，并在主标题中进行引用说明。

5.3.4 算法

如见算法3，详细使用方法请参见文档`algorithmicx`。

5.3.5 参考文献引用

参考文献引用过程以实例进行介绍，假设需要引用名为"Document Preparation System"的文献，步骤如下：

1) 使用Google Scholar搜索Document Preparation System，在目标条目下点击Cite，展开后选择Import into BibTeX打开此文章的BibTeX索引信息，将它们copy添加到ref.bib文件中（此文件位于Biblio文件夹下）。

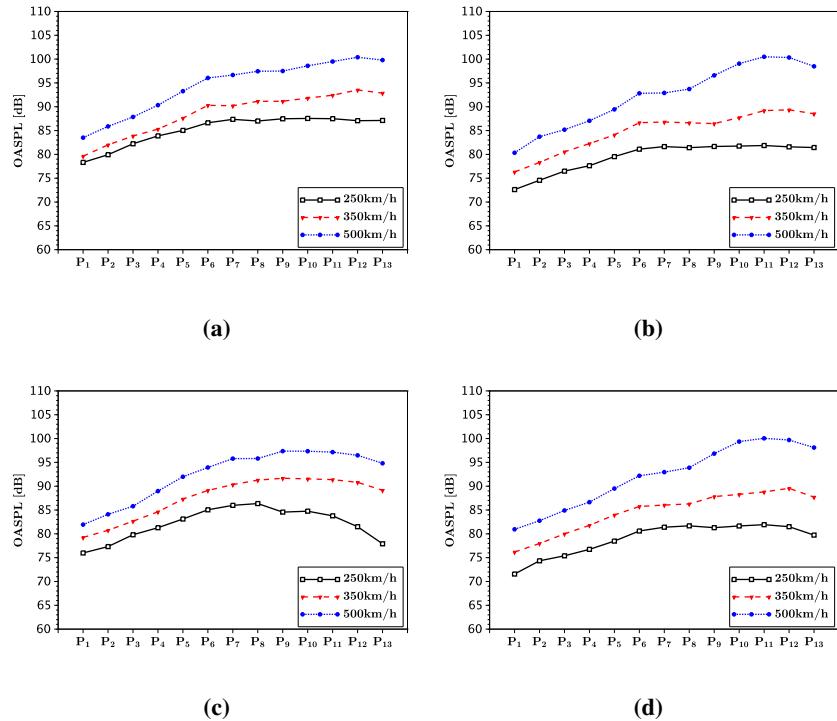


图 11 总声压级。 (a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息

Algorithm 2 Euclid's algorithm

```

1: procedure EUCLID( $a, b$ ) ▷ The g.c.d. of a and b
2:    $r \leftarrow a \bmod b$ 
3:   while  $r \neq 0$  do ▷ We have the answer if r is 0
4:      $a \leftarrow b$ 
5:      $b \leftarrow r$ 
6:      $r \leftarrow a \bmod b$ 
7:   end while
8:   return  $b$  ▷ The gcd is b
9: end procedure

```

2) 索引第一行 `@article{lamport1986document}`, 中 `lamport1986document` 即为此次文献的label (中文文献也必须使用英文label), 一般遵照: 姓氏拼音+年份+标题第一字拼音的格式), 想要在论文中索引此文献, 有两种索引类型:

文本类型: `\citet{lamport1986document}`。正如此处所示 Leslie^[15];

括号类型: `\citep{lamport1986document}`。正如此处所示^[15]。

多文献索引用英文逗号隔开:

`\citet{lamport1986document, chu2004tushu, chen2005zhulu}`。正如此处所示^[15-17]

更多例子如:

Walls et al.^[18]根据...的研究, 首次提出...。其中关于...^[?]^[18], 是当前中国...得到迅速发展的研究领域^[19]。引用同一著者在同一年份出版的多篇文献时, 在出版年份之后用英文小写字母区别, 如: ^[20? ?]。同一处引用多篇文献时, 按出版年份由近及远依次标注, 中间用分号分开。例如^[19,21-23]。

使用著者-出版年制 (authoryear) 式参考文献样式时, 中文文献必须在BibTeX索引信息的 **key** 域 (请参考ref.bib文件) 填写作者姓名的拼音, 才能使得文献列表按照拼音排序。参考文献表中的条目 (不排序号), 先按语种分类排列, 语种顺序是: 中文、日文、英文、俄文、其他文种。然后, 中文按汉语拼音字母顺序排列, 日文按第一著者的姓氏笔画排序, 西文和俄文按第一著者姓氏首字母顺序排列。如中^[23]、日^[24]、英^[21]、俄^[25]。

如此, 即完成了文献的索引, 请查看下本文档的参考文献一章, 看看是不是就是这么简单呢? 是的, 就是这么简单!

不同文献样式和引用样式, 如著者-出版年制 (authoryear)、顺序编码制 (numbers)、上标顺序编码制 (super) 可在Thesis.tex中对artratex.sty调用实现, 如:

- `\usepackage[numbers]{artratex}` % 文本: Jones [1]; 括号: [1]
- `\usepackage[super]{artratex}` % 文本: Jones 上标[1]; 括号: 上标[1]
- `\usepackage[authoryear]{artratex}` % 文本: Jones (1995); 括号: (Jones, 1995)
- `\usepackage[alpha]{artratex}` % 文本: 不可用; 括号: [Jon95]

当前文档的默认参考文献样式为**authoryear**。若在上标 (**super**) 模式下, 希望在特定位置将上标改为嵌入式标, 可使用

文本类型: `\citetns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示Leslie [15], 陈浩元 [17]

括号类型: `\citepns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示^[15, 17]

参考文献索引更为详细的信息，请见 zepinglee 和 WiKibook Bibliography。

5.4 常见使用问题

1. 模板每次发布前，都已在Windows, Linux, MacOS系统上测试通过。下载模板后，若编译出现错误，则请见 ucasthesis和LATEX知识小站的编译指南。
2. 模板文档的编码为UTF-8编码。所有文件都必须采用UTF-8编码，否则编译后生成的文档将出现乱码文本。若出现文本编辑器无法打开文档或打开文档乱码的问题，请检查编辑器对UTF-8编码的支持。如果使用WinEdt作为文本编辑器（不推荐使用），应在其Options -> Preferences -> wrapping选项卡下将两种Wrapping Modes中的内容：

TeX;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

修改为：TeX;UTF-8|ACP;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

同时，取消Options -> Preferences -> Unicode中的Enable ANSI Format。

3. 推荐选择xelatex或lualatex编译引擎编译中文文档。编译脚本的默认设定为xelatex编译引擎。你也可以选择不使用脚本编译，如直接使用 LATEX文本编辑器编译。注：LATEX文本编辑器编译的默认设定为pdflatex编译引擎，若选择xelatex或lualatex编译引擎，请进入下拉菜单选择。为正确生成引用链接，需要进行全编译。

4. Texmaker使用简介

- (a) 使用 Texmaker “打开(Open)” Thesis.tex。
- (b) 菜单“选项(Options)” -> “设置当前文档为主文档(Define as Master Document)”
- (c) 菜单“自定义(User)” -> “自定义命令(User Commands)” -> “编辑自定义命令(Edit User Commands)” -> 左侧选择“command 1”，右侧“菜单项(Menu Item)”填入 Auto Build -> 点击下方“向导(Wizard)” -> “添加(Add)”：xelatex + bibtex + xelatex + xelatex + pdf viewer -> 点击“完成(OK)”
- (d) 使用 Auto Build 编译带有未生成引用链接的源文件，可以仅使用 xelatex 编译带有已经正确生成引用链接的源文件。
- (e) 编译完成，“查看(View)” PDF，在PDF中“ctrl+click”可链接到相对应的源文件。

5. 模版的设计可能地考虑了适应性。致谢等所有条目都是通过最为通用的

`\chapter{item name}` and `\section*{item name}`

来显式实现的(请观察Backmatter.tex)，从而可以随意添加，放置，和修改，如同一般章节。对于图表目录名称则可在ucasthesis.cfg中进行修改。

6. 设置文档样式：在artratex.sty中搜索关键字定位相应命令，然后修改

- (a) 正文行距：启用和设置 `\linespread{1.5}`，默认1.5倍行距。
- (b) 参考文献行距：修改 `\setlength{\bibsep}{0.0ex}`
- (c) 目录显示级数：修改 `\setcounter{tocdepth}{2}`
- (d) 文档超链接的颜色及其显示：修改 `\hypersetup`

7. 文档内字体切换方法:

- 宋体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗宋体: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 黑体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗黑体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s
- 仿宋: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗仿宋: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 楷体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗楷体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s

8. 封面下划线上的文本不居中下划线, 这是因为下划线前面还有字头, 导致文本只能在页面居中和在下划线上居中二选一。当前封面采取页面居中。如需要调整文本在下划线上的位置, 可用 \hspace{+/- n.0em} 命令来插入或删除 n 个空格, 进行手动调整, 比如

\advisor{\hspace{+3.0em} xxx~研究员~xxx单位}

有时下划线看上去粗细不一致, 这是显示的问题, 打印正常。

第六章 总结与展望

为方便使用及更好地展示 \LaTeX 排版的优秀特性，ucasthesia的框架和文件体系进行了细致地处理，尽可能地对各个功能和板块进行了模块化和封装，对于初学者来说，众多的文件目录也许一开始让人觉得有些无所适从，但阅读完下面的使用说明后，会发现原来使用思路是简单而清晰的，而且，当对 \LaTeX 有一定的认识和了解后，会发现其相对Word类排版系统极具吸引力的优秀特性。所以，如果是初学者，请不要退缩，请稍加尝试和坚持，以领略到 \LaTeX 的非凡魅力，并可以通过阅读相关资料如 \LaTeX Wikibook^[14]来完善自己的使用知识。

6.1 先试试效果

1. 安装软件：根据所用操作系统和章节 1.2 中的信息安装 \LaTeX 编译环境。
2. 获取模板：下载 ucasthesia 模板并解压。 ucasthesia 模板不仅提供了相应的类文件，同时也提供了包括参考文献等在内的完成学位论文的一切要素，所以，下载时，推荐下载整个 ucasthesia 文件夹，而不是单独的文档类。
3. 编译模板：
 - (a) Windows：双击运行artratex.bat脚本。
 - (b) Linux或MacOS: `terminal -> chmod +x ./artratex.sh -> ./artratex.sh xa`
 - (c) 任意系统：都可使用 \LaTeX 编辑器打开Thesis.tex文件并选择xelatex编译引擎进行编译。
4. 错误处理：若编译中遇到了问题，请先查看“常见问题”（章节 6.4）。

编译完成即可获得本PDF说明文档。而这也完成了学习使用ucasthesia撰写论文的一半进程。什么？这就学成一半了，这么简单???, 是的，就这么简单！

6.2 文档目录简介

6.2.1 Thesis.tex

Thesis.tex为主文档，其设计和规划了论文的整体框架，通过对它的阅读可以了解整个论文框架的搭建。

6.2.2 编译脚本

- Windows：双击Dos脚本artratex.bat可得全编译后的PDF文档，其存在是为了帮助不了解 \LaTeX 编译过程的初学者跨过编译这第一道坎，请勿通过邮件传播和接收此脚本，

以防范Dos脚本的潜在风险。

- Linux或MacOS: 在terminal中运行
 - `./artratex.sh xa`: 获得全编译后的PDF文档
 - `./artratex.sh x`: 快速编译模式
- 全编译指运行 `xelatex+bibtex+xelatex+xelatex` 以正确生成所有的引用链接, 如目录, 参考文献及引用等。在写作过程中若无添加新的引用, 则可用快速编译, 即只运行一遍`LATEX`编译引擎以减少编译时间。

6.2.3 Tmp文件夹

运行编译脚本后, 编译所生成的文档皆存于Tmp文件夹内, 包括编译得到的PDF文档, 其存在是为了保持工作空间的整洁, 因为好的心情是很重要的。

6.2.4 Style文件夹

包含ucasthesis文档类的定义文件和配置文件, 通过对它们的修改可以实现特定的模版设定。若需更新模板, 一般只需用新的样式文件替换旧的即可。

1. `ucasthesis.cls`: 文档类定义文件, 论文的最核心的格式即通过它来定义的。
2. `ucasthesis.cfg`: 文档类配置文件, 设定如目录显示为“目录”而非“目录”。
3. `artratex.sty`: 常用宏包及文档设定, 如参考文献样式、文献引用样式、页眉页脚设定等。这些功能具有开关选项, 常只需在`Thesis.tex`中的如下命令中进行启用即可, 一般无需修改`artratex.sty`本身。

```
\usepackage[options]{artratex}
```

4. `artracom.sty`: 自定义命令以及添加宏包的推荐放置位置。

6.2.5 Tex文件夹

文件夹内为论文的所有实体内容, 正常情况下, 这也是使用`ucasthesis`撰写学文论文时, 主要关注和修改的一个位置, 注: 所有文件都必须采用UTF-8编码, 否则编译后将出现乱码文本, 详细分类介绍如下:

- `Frontpage.tex`: 为论文中英文封面及中英文摘要。论文封面会根据英文学位名称如**Bachelor**, **Master**, 或是**Doctor**自动切换为相应的格式。
- `Mainmatter.tex`: 索引需要出现的Chapter。开始写论文时, 可以只索引当前章节, 以快速编译查看, 当论文完成后, 再对所有章节进行索引即可。
- `Chap_xxx.tex`: 为论文主体的各个章节, 可根据需要添加和撰写。
- `Appendix.tex`: 为附录内容
- `Backmatter.tex`: 为发表文章信息和致谢部分等。

6.2.6 Img文件夹

用于放置论文中所需要的图类文件，支持格式有：.jpg,.png,.pdf。其中，`ucas_logo.pdf`为国科大校徽。不建议为各章节图片建子目录，即使图片众多，若命名规则合理，图片查询亦是十分方便。

6.2.7 Biblio文件夹

1. `ref.bib`: 参考文献信息库。
2. `gbt7714-xxx bst`: 符合国标的文献样式定义文件。由 `zepinglee` 开发，并满足最新国标要求。与文献样式有关的问题，请查阅开发者所提供的文档，并建议适当追踪其更新。

6.3 数学公式、图表、参考文献等功能

6.3.1 数学公式

比如Navier-Stokes方程：

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} & \text{times font test} \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{V}) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{V}) \end{cases} \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} u \, d\Omega + \int_S \mathbf{n} \cdot (u \mathbf{V}) \, dS = \dot{\phi} \quad (6.2)$$

数学公式常用命令请见 WiKibook Mathematics。`artracom.sty`中对一些常用数据类型如矢量矩阵等进行了封装，这样的好处是如有一天需要修改矢量的显示形式，只需单独修改`artracom.sty`中的矢量定义即可实现全文档的修改。

6.3.2 表格

请见表 6。制表的更多范例，请见 WiKibook Tables。

表 6 这是一个样表。

Row number	This is a multicolumn
Row 1	1 2 4 5 6 7 8
This is a sample table.	Row 2 1 2 4 5 6 7 8
	Row 3 1 2 4 5 6 7 8
	Row 4 1 2 4 5 6 7 8

6.3.3 图片插入

论文中图片的插入通常分为单图和多图，下面分别加以介绍：

单图插入：假设插入名为`tc_q_criteria`（后缀可以为`.jpg`、`.png`、`.pdf`，下同）的图片，其效果如图12。

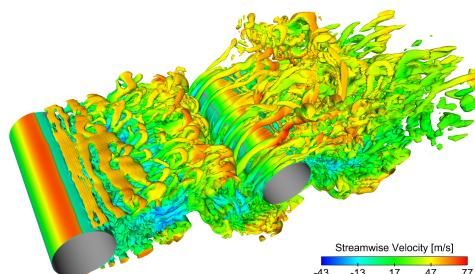


图 12 Q判据等值面图，同时测试一下一个很长的标题，比如这真的是一个很长很长很长很长很长很长很长很长的标题。

如果插图的空白区域过大，以图片`shock_cyn`为例，自动裁剪如图13。

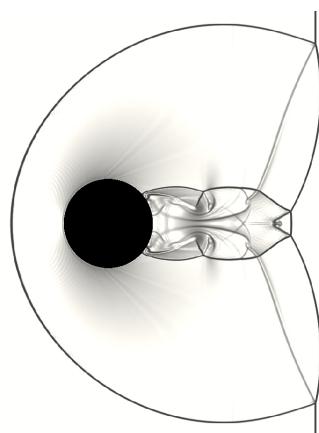


图 13 激波圆柱作用。

多图的插入如图14，多图不应在子图中给文本子标题，只要给序号，并在主标题中进行引用说明。

6.3.4 算法

如见算法 3，详细使用方法请参见文档 `algorithmicx`。

6.3.5 参考文献引用

参考文献引用过程以实例进行介绍，假设需要引用名为"Document Preparation System"的文献，步骤如下：

1) 使用Google Scholar搜索Document Preparation System，在目标条目下点击Cite，展开后选择Import into BibTeX打开此文章的BibTeX索引信息，将它们copy添加到ref.bib文件中（此文件位于Biblio文件夹下）。

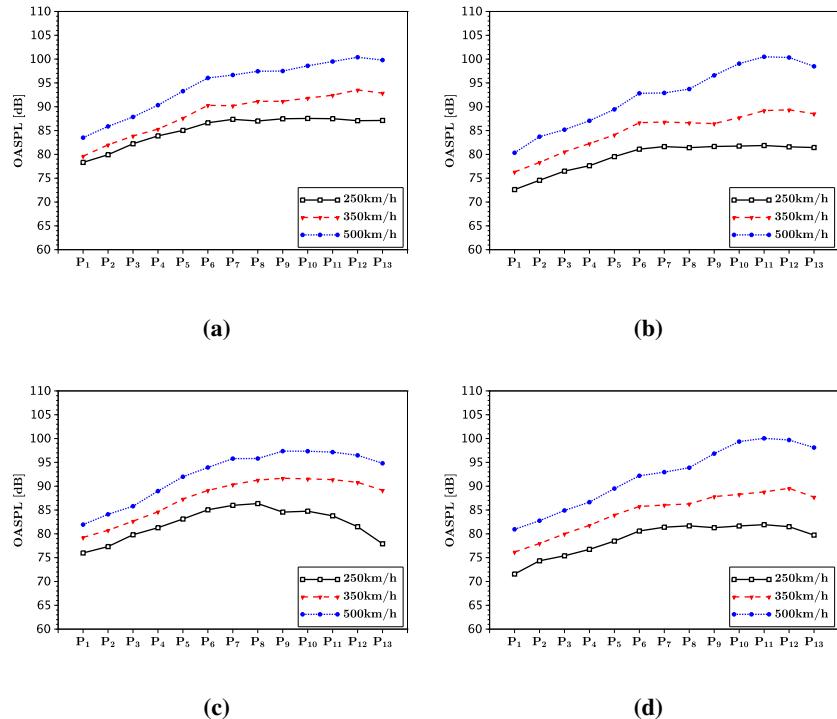


图 14 总声压级。 (a) 这是子图说明信息, (b) 这是子图说明信息, (c) 这是子图说明信息, (d) 这是子图说明信息。

Algorithm 3 Euclid's algorithm

```

1: procedure EUCLID( $a, b$ ) ▷ The g.c.d. of a and b
2:    $r \leftarrow a \bmod b$ 
3:   while  $r \neq 0$  do ▷ We have the answer if r is 0
4:      $a \leftarrow b$ 
5:      $b \leftarrow r$ 
6:      $r \leftarrow a \bmod b$ 
7:   end while
8:   return  $b$  ▷ The gcd is b
9: end procedure

```

2) 索引第一行 `@article{lamport1986document}`, 中 `lamport1986document` 即为此次文献的label (中文文献也必须使用英文label), 一般遵照: 姓氏拼音+年份+标题第一字拼音的格式), 想要在论文中索引此文献, 有两种索引类型:

文本类型: `\citet{lamport1986document}`。正如此处所示 Leslie^[15];

括号类型: `\citep{lamport1986document}`。正如此处所示^[15]。

多文献索引用英文逗号隔开:

`\citet{lamport1986document, chu2004tushu, chen2005zhulu}`。正如此处所示^[15-17]

更多例子如:

Walls et al.^[18]根据...的研究, 首次提出...。其中关于...^[18], 是当前中国...得到迅速发展的研究领域^[19]。引用同一著者在同一年份出版的多篇文献时, 在出版年份之后用英文小写字母区别, 如: ^[20? ?]。同一处引用多篇文献时, 按出版年份由近及远依次标注, 中间用分号分开。例如^[19,21-23]。

使用著者-出版年制 (authoryear) 式参考文献样式时, 中文文献必须在BibTeX索引信息的 **key** 域 (请参考ref.bib文件) 填写作者姓名的拼音, 才能使得文献列表按照拼音排序。参考文献表中的条目 (不排序号), 先按语种分类排列, 语种顺序是: 中文、日文、英文、俄文、其他文种。然后, 中文按汉语拼音字母顺序排列, 日文按第一著者的姓氏笔画排序, 西文和俄文按第一著者姓氏首字母顺序排列。如中^[23]、日^[24]、英^[21]、俄^[25]。

如此, 即完成了文献的索引, 请查看下本文档的参考文献一章, 看看是不是就是这么简单呢? 是的, 就是这么简单!

不同文献样式和引用样式, 如著者-出版年制 (authoryear)、顺序编码制 (numbers)、上标顺序编码制 (super) 可在Thesis.tex中对artratex.sty调用实现, 如:

- `\usepackage[numbers]{artratex}` % 文本: Jones [1]; 括号: [1]
- `\usepackage[super]{artratex}` % 文本: Jones 上标[1]; 括号: 上标[1]
- `\usepackage[authoryear]{artratex}` % 文本: Jones (1995); 括号: (Jones, 1995)
- `\usepackage[alpha]{artratex}` % 文本: 不可用; 括号: [Jon95]

当前文档的默认参考文献样式为**authoryear**。若在上标 (**super**) 模式下, 希望在特定位置将上标改为嵌入式标, 可使用

文本类型: `\citetns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示Leslie^[15], 陈浩元^[17]

括号类型: `\citepns{lamport1986document, chen2005zhulu}`。

正如此处所示^[15, 17]

参考文献索引更为详细的信息，请见 zepinglee 和 WiKibook Bibliography。

6.4 常见使用问题

1. 模板每次发布前，都已在Windows, Linux, MacOS系统上测试通过。下载模板后，若编译出现错误，则请见 ucasthesis和LATEX知识小站的编译指南。
2. 模板文档的编码为UTF-8编码。所有文件都必须采用UTF-8编码，否则编译后生成的文档将出现乱码文本。若出现文本编辑器无法打开文档或打开文档乱码的问题，请检查编辑器对UTF-8编码的支持。如果使用WinEdt作为文本编辑器（不推荐使用），应在其Options -> Preferences -> wrapping选项卡下将两种Wrapping Modes中的内容：

TeX;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

修改为：TeX;UTF-8|ACP;HTML;ANSI;ASCII|DTX...

同时，取消Options -> Preferences -> Unicode中的Enable ANSI Format。

3. 推荐选择xelatex或lualatex编译引擎编译中文文档。编译脚本的默认设定为xelatex编译引擎。你也可以选择不使用脚本编译，如直接使用 LATEX文本编辑器编译。注：LATEX文本编辑器编译的默认设定为pdflatex编译引擎，若选择xelatex或lualatex编译引擎，请进入下拉菜单选择。为正确生成引用链接，需要进行全编译。

4. Texmaker使用简介

- (a) 使用 Texmaker “打开(Open)” Thesis.tex。
- (b) 菜单“选项(Options)” -> “设置当前文档为主文档(Define as Master Document)”
- (c) 菜单“自定义(User)” -> “自定义命令(User Commands)” -> “编辑自定义命令(Edit User Commands)” -> 左侧选择“command 1”，右侧“菜单项(Menu Item)”填入 Auto Build -> 点击下方“向导(Wizard)” -> “添加(Add)”：xelatex + bibtex + xelatex + xelatex + pdf viewer -> 点击“完成(OK)”
- (d) 使用 Auto Build 编译带有未生成引用链接的源文件，可以仅使用 xelatex 编译带有已经正确生成引用链接的源文件。
- (e) 编译完成，“查看(View)” PDF，在PDF中“ctrl+click”可链接到相对应的源文件。

5. 模版的设计可能地考虑了适应性。致谢等所有条目都是通过最为通用的

`\chapter{item name}` and `\section*{item name}`

来显式实现的(请观察Backmatter.tex)，从而可以随意添加，放置，和修改，如同一般章节。对于图表目录名称则可在ucasthesis.cfg中进行修改。

6. 设置文档样式：在artratex.sty中搜索关键字定位相应命令，然后修改

- (a) 正文行距：启用和设置 `\linespread{1.5}`，默认1.5倍行距。
- (b) 参考文献行距：修改 `\setlength{\bibsep}{0.0ex}`
- (c) 目录显示级数：修改 `\setcounter{tocdepth}{2}`
- (d) 文档超链接的颜色及其显示：修改 `\hypersetup`

7. 文档内字体切换方法:

- 宋体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗宋体: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 黑体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗黑体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s
- 仿宋: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗仿宋: 国科大论文模板**ucasthesi**s 或 国科大论文模板**ucasthesi**s
- 楷体: 国科大论文模板ucasthesis 或 国科大论文模板ucasthesis
- 粗楷体: **国科大论文模板ucasthesi**s 或 **国科大论文模板ucasthesi**s

8. 封面下划线上的文本不居中下划线, 这是因为下划线前面还有字头, 导致文本只能在页面居中和在下划线上居中二选一。当前封面采取页面居中。如需要调整文本在下划线上的位置, 可用 \hspace{+/- n.0em} 命令来插入或删除 n 个空格, 进行手动调整, 比如

\advisor{\hspace{+3.0em} xxx~研究员~xxx单位}

有时下划线看上去粗细不一致, 这是显示的问题, 打印正常。

附录 A 附录

学位论文是研究生科研工作成果的集中体现，是评判学位申请者学术水平、授予其学位的主要依据，是科研领域重要的文献资料。根据《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》(GB/T 7713-1987)、《学位论文编写规则》(GB/T 7713.1-2006)和《文后参考文献著录规则》(GB7714—87)等国家有关标准，结合中国科学院大学（以下简称“国科大”）的实际情况，特制订本规定。

A.1 论文无附录者无需附录部分

A.2 测试公式编号

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0 \text{ times font test} \\ \frac{\partial(\rho \mathbf{V})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} \text{ times font test} \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{V}) = \nabla \cdot (k \nabla T) + \nabla \cdot (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{V}) \end{cases} \quad (A.1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} u \, d\Omega + \int_S \mathbf{n} \cdot (u \mathbf{V}) \, dS = \dot{\phi} \quad (A.2)$$

A.3 测试生僻字

霜蟾盟薇曜灵霜飈妙鬘虛霏凌澌蕘枯菡萏汎寥宵冥瑤濩落雪雪便嬛岩峣灑澣姽婳
婳愔嫕飒纏梦俪縕冤孽甲摛藻卮言倥偬椒觞期颐夜阑彬蔚倥偬澄廓簪缨陟遐迤逦缥缃
鶡蝶憮懔闺闼璀璨错媖婀嚧咤湧洞闔闢覩缕玓瓅逡巡譏譏琭琭濂濂跼跼叆叇氤氲瓠犀流
眄蹀躞瀼瀼暭暭瓔珞螭首衡皋琳愴缱绻皵皵顰頷愀然菡萏卑陬纯懿犇羣崕崕
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇墇墇
墇墇墇墇墇
墇墇墇
墇墇
墇
墇

参考文献

- [1] Haggard E A, Isaacs K S. Micromomentary facial expressions as indicators of ego mechanisms in psychotherapy[M/OL]. Springer US, 1966: 154-165. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6045-2_14.
- [2] Ekman P, Friesen W V. Nonverbal leakage and clues to deception[J]. Psychiatry, 1969, 32(1):88-106.
- [3] Mehrabian A, Ferris S R. Inference of attitudes from nonverbal communication in two channels[J]. Journal of Consulting Psychology, 1967, 31(3):248.
- [4] Kazlev M. The triune brain[J/OL]. KHEPER, 1999, 5(19)[2003-11-19]. <http://www.kheper.net/topics/intelligence/MacLean.htm>.
- [5] Chiu M H, Chou C C, Wu W L, et al. The role of facial microexpression state (fmes) change in the process of conceptual conflict[J]. British Journal of Educational Technology, 2014, 45(3):471-486.
- [6] Yan W J, Wu Q, Liang J, et al. How fast are the leaked facial expressions: The duration of micro-expressions[J]. Journal of Nonverbal Behavior, 2013, 37(4):217-230.
- [7] Matsumoto D, Hwang H S. Evidence for training the ability to read microexpressions of emotion[J]. Motivation and Emotion, 2011, 35(2):181-191.
- [8] Porter S, Brinke L T. Reading between the lies: Identifying concealed and falsified emotions in universal facial expressions[J]. Psychological Science, 2008, 19(5):508-514.
- [9] 周凯莉. 别对我撒谎, 我懂“微表情” [N/OL]. 中国青年报, 2010, 11(10). http://zqb.cyol.com/content/2010-11/10/content_3441411.htm.
- [10] Ekman, Paul, Sullivan O, et al. A few can catch a liar[J]. Psychological Science, 1999, 10(3):263-266.
- [11] Li X, Hong X, Moilanen A, et al. Towards reading hidden emotions: A comparative study of spontaneous micro-expression spotting and recognition methods[J]. IEEE Transactions on Affective Computing, 2017, PP(99):1-1.
- [12] Li X. Reading subtle information from human faces[D/OL]. Doctoral Dissertation: Acta Universitatis Ouluensis. C, Technica, 2017[2017-09-08]. <http://urn.fi/urn:isbn:9789526216386>.
- [13] Ekman P, Friesen W V. Detecting deception from the body or face[J]. Journal of Personality & Social Psychology, 1974, 29(3):288-298.
- [14] Wikibook. <http://en.wikibooks.org/wiki/Latex>[M]. On-line Resources, 2014.
- [15] Leslie L. Document preparation system[M]. Addison-Wesley Reading, MA, 1986.
- [16] 初景利. 图书馆数字参考咨询服务研究[M]. 北京: 北京图书馆出版社, 2004.
- [17] 陈浩元. 著录文后参考文献的规则及注意事项[J]. 编辑学报, 2005, 17(6):413-415.
- [18] Walls S C, Barichivich W J, Brown M. Drought, deluge and declines: the impact of precipitation extremes on amphibians in a changing climate[J/OL]. Biology, 2013, 2(1):399-418[2013-11-04]. <http://www.mdpi.com/2079-7737/2/1/399>. DOI: 10.3390/biology2010399.
- [19] 陈晋镳, 张惠民, 朱士兴, 等. 蓟县震旦亚界研究[M]//中国地质科学院天津地质矿产研究所. 中国震旦亚界. 天津: 天津科学技术出版社, 1980: 56-114.

- [20] 袁训来, 陈哲, 肖书海. 蓝田生物群: 一个认识多细胞生物起源和早期演化的新窗口 – 篇三[J]. 科学通报, 2012, 57(34):3219.
- [21] Heinrich S, Deyan G, Catalin D, et al. MathML-aware article conversion from LaTeX[J]. Towards a Digital Mathematics Library, 2009, 16(2):109-120.
- [22] 哈里森·沃尔德伦. 经济数学与金融数学[M]. 谢远涛, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 235-236.
- [23] 牛志明, 斯温兰德, 雷光春. 综合湿地管理国际研讨会论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 2013.
- [24] ボハンデ. 過去及び現在に於ける英國と会[J]. 日本時報, 1928, 17:5-9.
- [25] Ду бровина. И. Открытое письмо Председателя Гла вного Совета Союза Русского Народа Свят-Петрбургскому Антонию, Первенствующему Члену Священного Синода [J]. Вече, 1906:1-3.
- [26] Pfister T, Li X, Zhao G, et al. Recognising spontaneous facial micro-expressions[C]//Computer Vision (ICCV), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.
- [27] Ruiz-Hernandez J A, Pietikäinen M. Encoding local binary patterns using the re-parametrization of the second order gaussian jet[C]//Automatic Face and Gesture Recognition (FG), 2013 10th IEEE International Conference and Workshops on. IEEE, 2013.
- [28] Wang S J, Yan W J, Zhao G, et al. Micro-expression recognition using robust principal component analysis and local spatiotemporal directional features[C]//Workshop at the European conference on computer vision. Springer, 2014.
- [29] Wang Y, See J, Phan R C W, et al. Lbp with six intersection points: Reducing redundant information in lbp-top for micro-expression recognition[C]//Asian Conference on Computer Vision. Springer, 2014.
- [30] Wang Y, See J, Phan R C W, et al. Efficient spatio-temporal local binary patterns for spontaneous facial micro-expression recognition[C]//PloS one. Public Library of Science, 2015.
- [31] Wang S J, Yan W J, Li X, et al. Micro-expression recognition using dynamic textures on tensor independent color space[C]//2014 22nd International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2014.
- [32] Le Ngo A C, Phan R C W, See J. Spontaneous subtle expression recognition: Imbalanced databases and solutions[C]//Asian conference on computer vision. Springer, 2014.
- [33] Liang S T, See J, Phan R C W, et al. Subtle expression recognition using optical strain weighted features [C]//Asian Conference on Computer Vision. Springer, 2014: 644-657.
- [34] Oh Y H, Le Ngo A C, See J, et al. Monogenic riesz wavelet representation for micro-expression recognition[C]//Digital Signal Processing (DSP), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015.
- [35] Xiaohua H, Wang S J, Liu X, et al. Discriminative spatiotemporal local binary pattern with revisited integral projection for spontaneous facial micro-expression recognition[C]//IEEE Transactions on Affective Computing. IEEE, 2017.
- [36] Liu Y J, Zhang J K, Yan W J, et al. A main directional mean optical flow feature for spontaneous micro-expression recognition[C]//IEEE Transactions on Affective Computing. IEEE, 2016.

-
- [37] Lu Z, Luo Z, Zheng H, et al. A delaunay-based temporal coding model for micro-expression recognition [C]//Asian conference on computer vision. Springer, 2014.
 - [38] Xu F, Zhang J, Wang J Z. [C].
 - [39] He J, Hu J F, Lu X, et al. Multi-task mid-level feature learning for micro-expression recognition[C]//Pattern Recognition. Elsevier, 2017.
 - [40] Patel D, Hong X, Zhao G. Selective deep features for micro-expression recognition[C]//Pattern Recognition (ICPR), 2016 23rd International Conference on. IEEE, 2016.
 - [41] Lei Z, Ahonen T, Pietikäinen M, et al. Local frequency descriptor for low-resolution face recognition [C]//Automatic Face and Gesture Recognition and Workshops (FG 2011), 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011.
 - [42] Wang Z, Miao Z, Wu Q J, et al. Low-resolution face recognition: a review[C]//The Visual Computer. Springer, 2014.
 - [43] Li X, Pfister T, Huang X, et al. A spontaneous micro-expression database: Inducement, collection and baseline[C]//Automatic face and gesture recognition (fg), 2013 10th ieee international conference and workshops on. IEEE, 2013.
 - [44] Yan W J, Li X, Wang S J, et al. Casme ii: An improved spontaneous micro-expression database and the baseline evaluation[C]//PloS one. Public Library of Science, 2014.
 - [45] Shi J, Liu X, Zong Y, et al. Hallucinating face image by regularization models in high-resolution feature space[C]//IEEE Transactions on Image Processing. IEEE, 2018.
 - [46] Zhou Z, Zhao G, Pietikäinen M. Towards a practical lipreading system[C]//Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on. IEEE, 2011.
 - [47] Cootes T F, Taylor C J, Cooper D H, et al. Active shape models-their training and application[C]//Computer vision and image understanding. Elsevier, 1995.
 - [48] Goshtasby A. Image registration by local approximation methods[C]//Image and Vision Computing. Elsevier, 1988.
 - [49] Zhao G, Pietikäinen M. Dynamic texture recognition using local binary patterns with an application to facial expressions[C]//IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. IEEE, 2007.
 - [50] Chang C C, Lin C J. Libsvm: a library for support vector machines[C]//ACM transactions on intelligent systems and technology (TIST). ACM, 2011.
 - [51] Hong X, Xu Y, Zhao G. Lbp-top: a tensor unfolding revisit[J]. 2016.

攻读博士/硕士学位期间取得的科研成果

1.发表学术论文

[1] ucasthesis: A LaTeX Thesis Template for the University of Chinese Academy of Sciences, 2014.

2.申请（授权）专利

(无专利时此项不必列出)

3.参与科研项目及科研获奖

可以随意添加新的条目或是结构。

作者简介

1.基本情况

吴凌云，福建省屏南县人，中国科学院数学与系统科学研究院博士研究生。

2.教育背景

2008.08~2012.07西北大学，本科，专业：

2012.09~西北大学，硕士研究生，专业：

3.攻读硕士学位期间的其它奖励

可以随意添加新的条目或是结构。

