



博士学位论文

无参考图像质量评价算法及其应用研究

No-reference Image Quality Evaluation  
and its Application

作 者: \*\*\*\*  
导 师: \*\*教授

中国矿业大学  
2015 年 12 月

# 学位论文使用授权声明

本人完全了解中国矿业大学有关保留、使用学位论文的规定，同意本人所撰写的学位论文的使用授权按照学校的管理规定处理：

作为申请学位的条件之一，学位论文著作权拥有者须授权所在学校拥有学位论文的部分使用权，即：①学校档案馆和图书馆有权保留学位论文的纸质版和电子版，可以使用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编学位论文；②为教学和科研目的，学校档案馆和图书馆可以将公开的学位论文作为资料在档案馆、图书馆等场所或在校园网上供校内师生阅读、浏览。另外，根据有关法规，同意中国国家图书馆保存研究生学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）。

作者签名：

年 月 日

导师签名：

年 月 日

中图分类号 TP391

学校代码 10290

UDC 655

密 级 公开

中国矿业大学  
博士学位论文

无参考图像质量评价算法及其应用研究  
No-reference Image Quality Evaluation  
and its Application

作 者 \*\*\*\*\*

导 师 \*\*\*\*\*

申请学位 工学博士

培养单位 中国矿业大学

学科专业 通信与信息系统

研究方向 数字图像处理

答辩委员会主席

评 阅 人

二〇一五年十二月

## 论文审阅认定书

研究生\_\_\_\_\_在规定的学习年限内,按照研究生培养方案的要求,完成了研究生课程的学习,成绩合格;在我的指导下完成本学位论文,经审阅,论文中的观点、数据、表述和结构为我所认同,论文撰写格式符合学校的相关规定,同意将本论文作为学位申请论文送专家评审。

导师签字:

年 月 日

# 致谢

时光荏苒，光阴如梭，转瞬之间五年已过，我的求学生涯也将要告一段落。蓦然回首，这一段难忘的成长岁月既充满着欢笑和激情，也流下了汗水和泪水，但留给我最多的感触却是充实和感恩。在此论文完成之际，谨向多年来给予我指导、帮助、支持和鼓励的老师、同学和朋友们致以我最诚挚的谢意！

衷心感谢我敬爱的导师\*\*教授，感谢他给予我学习深造的机会。\*老师治学态度严谨求实，理论知识丰厚渊博，具有勇于开拓的拼搏精神、精益求精的钻研态度、诲人不倦的长者之风和平易近人的高尚师德，是我科研道路上的指路明灯。在博士论文的写作过程中，\*老师给予我精心的指导和亲切的关怀，在博士生涯的学习研究里，\*老师也在学术、个人成长、生活等各个方面给予关怀，为我创造了许多科研和学习机会，给我提出了不少中肯的建议，使我不仅收获了知识，更懂得了刻苦钻研、积极向上的重要。

真诚感谢给予我无私帮助的\*\*副教授，从论文的选题、研究工作的开展，到实验的完成，他都给了我很多的指导和帮助，很多的疑惑和问题都在与他的共同探讨中得以解决。感谢\*\* \*\*副教授，他的指导和帮助，让我的研究工作更加全面和深入。感谢\*\*\*副教授、\*\*\*副教授和实验室的师兄师姐、师弟师妹们在学习生活上对我的帮助，正是他们坚持不懈、团结奋进的学习氛围感染了我，让我能够在繁忙的工作生活中挤出时间研究学习、努力奋斗，使我度过了一段最难忘和最值得回忆的美好时光。

深深感谢我亲爱的父母和公婆，在生活上，他们给予我细致入微的关怀，为我营造了最好的学习和生活环境。感谢我的爱人，他的安慰和鼓励是我坚持学习研究的不竭动力，使我拥有了战胜困难的勇气和决心。感谢我可爱的女儿，她的善解人意和自立好学让我充满了对未来的憧憬和希望。家人们无私的爱是我最坚实的后盾，感谢他们对我学业的理解和支持，正是他们的鼓励使得我的求学生涯顺利度过。

在此，还要对参与论文评审的各位老师和出席学位论文答辩的各位专家表达深深的谢意，非常感谢百忙之中的您们对本论文的悉心指导和帮助。

\*\*\*\*\*

2015 年于信电学院



## 摘 要

数字图像作为最直观高效的一种信息描述和交流载体,正在成为一种人类社会更为自然的通用信息交流方式。随着数字图像技术的发展,图像质量评价方法的研究越来越多的受到关注和重视,而在工程应用中,原始图像大多难以获得,因此更加符合实际应用需要的无参考图像质量评价研究十分必要。本论文在深入研究无参考图像质量评价的理论基础和一些经典算法后,针对图像中模糊、块效应等失真类型进行研究,分别提出了基于解析稀疏表示和离散正交矩特征的无参考图像质量评价算法,并基于图像质量评价体系,将提出的图像块效应无参考评价算法应用于图像中马赛克区域的自动效应检测中,获得了理想的效果。

论文的研究内容和成果如下:

(1) 系统论述了图像质量评价的主观、客观方法,研究分析了全参考、半参考、无参考质量评价算法的优缺点和应用价值,将研究重点放在符合现实工程应用需要的无参考图像质量评价上,对图像质量评价中的难点问题进行了说明,系统地分析了图像质量评价的常用数据库以及质量评价算法性能的评价标准。本论文还研究了图像被动取证篡改检测,分析讨论了常见的图像取证算法的实现原理、相应的优缺点和适用范围,总结分析了图像被动取证算法的一般规律,给出了数字图像被动取证的系统理论框架,并对图像建模、图像数据库等数字图像取证系统进行了研究分析。

(2) 提出了一种基于解析稀疏表示的图像模糊无参考快速评价算法。该方法是针对模糊失真图像类型进行的无参考质量评价。由于从自然图像训练得到的字典原子与人眼初级视觉皮层中简单细胞的工作机理相一致,因此基于字典的稀疏表示能够较好的应用于图像识别并满足图像质量评价的性能要求,基于此,本论文提出了采用解析字典对失真模糊图像进行分析,从而达到对模糊图像快速无参考评价的效果。主要思想为:利用解析字典描述图像中由于模糊带来的高频能量衰减,并通过归一化消除图像内容的影响,同时利用视觉显著性进行加权处理,使得模糊分数更加切合人眼视觉系统的特点。通过在目前国际通用的四个图像质量数据库上进行的实验仿真,以及与 6 种目前较具代表性的质量评价方法的比较表明,该算法的性能总体优于现有方法,并且具有很高的计算效率。

(3) 提出了一种基于离散正交矩的图像块效应评价方法,该方法是针对图像中的块效应进行的无参考质量评价,能够在没有参考图像的情况下准确地对存在块效应的 JPEG 压缩图像进行质量评价,得出与人的主观感受一致的评价结果,真实反映图像的质量。主要思想为:利用离散正交矩(Tchebichef 矩)提取图像特征,以失真图像块效应边缘为条件沿水平方向和垂直方向划分成不重叠的图像

块,通过对每一个图像块进行离散正交矩变换,选取矩变换矩阵中能反映图像块效应严重程度的参数计算得到图像块质量分数,并对每个方向每个图像块质量分数求平均值,最终得到图像的质量分数。该方法把图像的块效应程度通过变换域计算得出,对图像的描述更加准确,更加符合人的主观感受。通过在 LIVE、MCT 图像数据库中的进行仿真实验表明,并与 4 种该领域主流方法综合比较表明,该方法各项性能指标均明显优于其他 4 种方法,在评价图像质量准确性最高,且具有良好的单调性。

(4) 提出了一种基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证框架,基于对失真图像质量特征的分析,使用图像质量参数来侦测图像不同区域的质量特性,从而达到检测和定位的目的。主要思想为:把图像质量评价得出的差异特征值引入到图像取证中,再通过图像失真特征分析,用图像质量评价的方法提炼出对失真图像比较敏感的图像质量差异特征量,完成图像质量建模并进行训练和测试,得出图像局部质量评价得分,并基于质量评价的分数特征进行图像取证实验,从中检测出质量参数不一致的区域并标记为存在篡改/修改的区域。

(5) 将提出的图像块效应无参考质量评价算法应用于图像中马赛克区域的定位取证中,提出了一种基于图像视觉质量差异的马赛克效应检测算法。基于马赛克区域和正常区域在视觉质量上存在明显差异的特点,本论文用提出的块效应质量评价方法对待检测马赛克图像进行特征提取,分块计算得出图像块效应分数来描述图像的个体特性,并采用块效应分数特征进行图像取证实验,生成视觉质量图,最后从中检测出低质量集聚区域并标记为马赛克区域,实现对马赛克区域的定位。该方法的实验中,从 UCID、NCID 图像库中各选取 100 幅图像,制作  $8 \times 8$  和  $16 \times 16$  大小的马赛克图像库进行仿真实验,实验结果表明,算法能够准确地判断图像中是否存在马赛克效应,并将含有马赛克的图像的马赛克区域准确无误地检测出来,检测的正确率达到 0.98 以上,实验结果表明该算法的检测性能优良。

本论文有图 38 幅,表 8 个,参考文献 143 篇。

**关键词:** 图像质量评价; 图像取证; 无参考; 解析稀疏表示; 块效应; 马赛克效应



# Abstract

Digital image as one of the most intuitive and efficient carrier for information description and communication , is becoming a more natural and general information communication mode for the human society. With the development of the digital image technology, the research of image quality evaluation methods have more and more concern and attention, and in the practical application process of image quality evaluation , in most cases it is difficult to obtain the reference images for comparing, so realistic situation of the no- reference image quality assessment method is necessary. In further study of the theoretical basis of this no-reference image quality assessment and some typical algorithms, this paper select image distortion types such as image blur and image block effect, which is proposed based on the reference image quality assessment algorithm about analysis sparse representation and discrete orthogonal moment. This visual discrepancy based on Image block effect no-reference evaluation algorithm of the orthogonal moments, used in the Mosaic effect detection.

The main research contents and achievements of this paper are as follows:

(1) From the perspective of the image quality evaluation, this paper analyzed the objective quality evaluation and application value, which about the full-reference, reduced-reference and no-reference of three kinds of quality evaluation algorithmic, study focus on no reference image quality assessment which can accord with realistic engineering application needs, explain the difficult problem in image quality evaluation, systematically analyses the commonly used database and evaluation standard of the image quality evaluation. This paper also studied the related image forgery identification technology of passive digital image forensics, analysis discussed the algorithm implementation principle, the corresponding advantages or disadvantages and the applicable scope of the common digital image forensics, Summary analysis of the general rule with the Passive digital image forensics algorithm, given the theoretical framework of passive digital image forensics system, and analyzed such as the image modeling, image database and digital image forensics system.

(2) This paper presents a fast no-reference image blur assessment approach based on analysis sparse representation. This method is a no-reference quality evaluation for the distortion type of blur image. Therefore, based on the Analysis sparse representation of the dictionary can be applied to a good image of image

recognition, and meet the performance requirements for image quality assessment. On account of this, the paper puts forward the analytical dictionary to sparse representation of blurred images distortion, so as to achieve evaluate effect of fast no-reference image blur assessment. Its main idea is: analytical dictionary is used to describe the image because of the high frequency energy attenuation caused by blurred, and through the normalized to eliminate the influence of image content, then using visual saliency weighted processing, makes blur scores more relevant to the characteristics of human visual system. Through in the international general 4 image quality of the database on the experimental simulation, and the quality with 6 kinds of more representative evaluation methods of Image quality assessment, shows that the overall performance of the proposed algorithm better than that of the existing methods, and has high computing efficiency.

(3) This paper presents a no-reference quality metric for evaluating the blocking artifacts in images. This method is aimed at blocking artifacts image type in no-reference quality evaluation, can accurately to quarantine effects of block distortion image quality evaluation in the absence of reference images, consistent with people's subjective evaluation results, really reflect the quality of the image. The conditions for distortion image blocking artifacts along the horizontal direction and vertical direction into nonoverlapping blocks, put each image block transform for discrete orthogonal Moments, select moment transformation matrix can reflect the severity of the image block effect parameters to calculate the image block mass fraction, and the quality of each image block in each direction score averaging, finally get the image quality scores. compare with the usual no-reference quality metric for evaluating the blocking artifacts, This method use the discrete orthogonal moments (Tchebichef moment) to extract the image features, compare with the usual no-reference quality metric for evaluating the blocking artifacts. The method is calculated by transform domain to the image block effect degree, is more accurate in explaining images, and more in line with people's subjective feeling. Shows of experimental simulation through in the LIVE and the MICT image database, and the quality with 4 kinds of more representative evaluation methods of this assessment, shows that the overall performance of the proposed algorithm better than the other existing methods, and has good monotonicity.

(4) Based on the analysis of distortion image quality characteristics, this paper proposes a image forensics framework that based on a general system of no-reference

image quality objective assessment. This paper detect quality characteristics which comes from the distortion image of different area by use of image quality parameters, so as to achieve the goal of detection and location. The main idea is: The difference eigenvalue which extracted from image quality evaluation is introduced to the image forensics, and then through the characteristics analysis of image distortion, extract image quality difference eigenvalue which sensitive to the distortion image by using image quality assessment method, complete image quality modeling to training and testing, concluded that image quality assessment score, and do the image forensics experiment that based on the quality assessment eigenvalue, to detect the disagree quality concentration areas which are marked as distortion area.

(5) The proposed No-reference Quality Metric of Blocking Artifacts is applied to the Mosaic effect detection, this paper presents a blind image quality assessment based on Mosaic effect detection algorithm. Mosaic is the difference between the region and normal region exist obvious differences in visual quality, for this feature, a mosaic detection method is proposed based on visual quality differences in this paper. Which use the no-reference quality metric of blocking artifacts based on Tchebichef moments method to detect Mosaic image feature extraction, image block effect scores calculated to describe the individual characteristics of the image, and based on the characteristic of image quality evaluation concluded that the block effect of fraction image forensics experiment, producing the visual quality map, Finally, the low quality gathering area is detected and marked as the mosaic area. The method of experiment, One hundred images are taken from UCID and NCID image databases respectively, based on which 400 images are generated with  $8 \times 8$  or  $16 \times 16$  mosaic blocks to conduct the experiments. the experimental results show that the algorithm can accurately judge whether the image Mosaic effect, and containing the mosaic area of this mosaic image can accurately detected, detection accuracy reaches 0.98 above, the experimental results show that the efficiency of the proposed method.

The dissertation contains 38 figures, 8 tables and 143 references.

**Keywords:** Image quality assessment; Image forensics; No-reference; Analysis sparse representation; Blocking artifact; Mosaic effect

## Extended Abstract

With the rapid development of IT, In recent years, the demand of demanding consumer image applications in all aspects of our human society is increasingly apparent. The process of the collection, acquisition, compression, transmission, processing and reproduction of image often leads to degradation or distortion, the problems of image quality have become increasingly prominent, and obstruct the development of perceiving object things and research of image information. Therefore, reasonable assessment of image quality is important. It is necessary to optimize or design an image and video processing method by measuring the degradation of the image and video, so that, we will get the perfect visual quality to the least cost. The aim of the image quality assessment is to find a computational model that can predicted the perceptual visual quality automatically.

Image quality assessment is widely used in areas such as transportation, medical care, monitoring and it is necessary to study the corresponding method of image quality assessment. The results of the image quality assessment can be used to measure and optimize the performance of the image processing system. In the practical application of image processing, we will encounter a variety of images of uneven quality grades, how to accurately assess the quality and give advice for further processing has a very important practical value.

Objective image quality assessment aims to automatically measure the quality degradation perceived by human eyes. It is fundamental importance to address a wide variety of problems in image and video processing. Based on the availability of the information with the reference image, image quality assessment models can be classified into full-reference, reduced-reference and no-reference image quality assessment methods. However, some distortions haven't the original image to refer. So no-reference image quality evaluation emerges.

The main research of this paper presents a no-reference visual quality evaluation and its application in image forensics. Our main work and innovation include the following:

(1) From the perspective of the image quality evaluation, this paper having studied the existing papers related to image quality assessment, especially the objective image quality assessment, and describes their ideas and then analyzes their advantages and disadvantages, study focus on no reference image quality assessment

which can accord with realistic engineering application needs, explain the difficult problem in image quality evaluation, systematically analyses the commonly used database and evaluation standard of the image quality evaluation. This paper also studied the related image forgery identification technology of passive digital image forensics, analysis discussed the algorithm implementation principle, the corresponding advantages or disadvantages and the applicable scope of the common digital image forensics, Summary analysis of the general rule with the Passive digital image forensics algorithm, given the theoretical framework of passive digital image forensics system, and analyzed such as the image modeling, image database and digital image forensics system.

(2) Blur is a key factor that causes image quality degradation. So the quality assessment of blurred images is of great importance. This paper having analysed the cause of image blur, studied the existing papers related to image blur quality evaluation algorithm, and describes their ideas and then analyzes their advantages and disadvantages, especially analysed the analysis sparse representation, then presents a fast no-reference image blur assessment based on analysis sparse representation.

This method is a no-reference quality evaluation for the distortion type of blur image. With the consideration that blur causes loss of high-frequency components in images, the proposed method evaluates blur by estimating energy in an image. Therefore, based on the Analysis sparse representation of the dictionary can be applied to a good image of image recognition, and meet the performance requirements for image quality assessment. On account of this, the paper puts forward the analytical dictionary to sparse representation of blurred images distortion, so as to achieve evaluate effect of fast no-reference image blur assessment. Specifically, To reduce the influence of varying image contents, the energy is normalized using the summed standard deviations of image blocks. analytical dictionary is used to describe the image because of the high frequency energy attenuation caused by blurred, the blurred image is first decomposed using an analysis dictionary, and the energy of the image is computed using the sparse coefficients, which is used to measure the extent of blur. and through the normalized to eliminate the influence of image content, Furthermore, visual saliency is incorporated in the pooling so as to produce blur scores consistent with subjective evaluations, makes blur scores more relevant to the characteristics of human visual system.

Through in the international general 4 image quality of the database on the

experimental simulation, and the quality with 6 kinds of more representative evaluation methods of Image quality assessment, shows that the overall performance of the proposed algorithm better than that of the existing methods, and has high computing efficiency.

(3) Digital images are inevitably subject to various distortions during their acquisition, processing and transmission. Image quality assessment aims to model the distortions and generate a scalar to measure the extent of degradation. Blocking artifacts are mainly caused by block-DCT based coding, such as JPEG and MPEG. Orthogonal moment is efficient in image representation, and has been widely used in pattern recognition. Orthogonal moment is efficient in image representation, and has been widely used in pattern recognition. To this end, we propose a novel discrete Tchebichef moment based NR method for evaluating the blocking artifacts in images.

This method is aimed at blocking artifacts image type in no-reference quality evaluation. The proposed method is based on our finding that the strength of blocking artifact has direct effect on the distribution of TMs. Therefore, the proposed blocking artifact metric is defined by analyzing the distribution of the TMs. It can accurately to quarantine effects of block distortion image quality evaluation in the absence of reference images, consistent with people's subjective evaluation results, really reflect the quality of the image. The conditions for distortion image blocking artifacts along the horizontal direction and vertical direction into nonoverlapping blocks, put each image block transform for discrete orthogonal Moments, select moment transformation matrix can reflect the severity of the image block effect parameters to calculate the image block mass fraction, and the quality of each image block in each direction score averaging, finally get the image quality scores. compare with the usual no-reference quality metric for evaluating the blocking artifacts, This method use the discrete orthogonal moments (Tchebichef moment) to extract the image features, compare with the usual no-reference quality metric for evaluating the blocking artifacts.

The method is calculated by transform domain to the image block effect degree, is more accurate in explaining images, and more in line with people's subjective feeling. Shows of experimental simulation through in the LIVE image database and the MICT image database, and the quality with 4 kinds of more representative evaluation methods of this assessment, shows that the overall performance of the

proposed algorithm better than the other existing methods, and has good monotonicity.

(4) Based on the analysis of distortion image quality characteristics, this paper proposes a image forensics framework that based on a general system of no-reference image quality objective assessment. This paper detect quality characteristics which comes from the distortion image of different area by use of image quality parameters, so as to achieve the goal of detection and location.

The main idea is: based on the image forensics method of image quality assessment parameters, the difference eigenvalue which extracted from image quality evaluation is introduced to the image forensics, and then through the characteristics analysis of image distortion, extract image quality difference eigenvalue which sensitive to the distortion image by using image quality assessment method, complete image quality modeling to training and testing, concluded that image quality assessment score, and do the image forensics experiment that based on the quality assessment eigenvalue, to detect the disagree quality concentration areas which are marked as distortion area.

(5) Mosaic is the difference between the region and normal region exist obvious differences in visual quality, this also is the human eye to distinguish the fundamental basis of Mosaic effect.

For this feature, this paper presents a blind image quality assessment based on Mosaic effect detection algorithm. Which use the no-reference quality metric of blocking artifacts based on Tchebichef moments method to detect Mosaic image feature extraction, A blind quality metric of blocking artifacts is first proposed based on the finding that the blocking artifact affects the distribution of discrete orthogonal moments. For mosaic detection, the image is divided into nonoverlapping blocks and a quality score is computed for each block, image block effect scores calculated to describe the individual characteristics of the image, and based on the characteristic of image quality evaluation concluded that the block effect of fraction image forensics experiment, producing the visual quality map, Finally, the low quality gathering area is detected and marked as the mosaic area.

The method of experiment, One hundred images are taken from UCID and NCID image databases respectively, based on which 400 images are generated with  $8 \times 8$  or  $16 \times 16$  mosaic blocks to conduct the experiments. the experimental results show that the algorithm can accurately judge whether the image Mosaic effect, and containing

the mosaic area of this mosaic image can accurately detected, detection accuracy reaches 0.98 above, the experimental results show that the efficiency of the proposed method.

The dissertation contains 38 figures, 8 tables and 143 references.

**Keywords:** Image quality assessment; Image forensics; No-reference; Analysis sparse representation; Blocking artifact; Mosaic effect



# 目 录

摘 要 .....	I
目 录 .....	XI
图清单 .....	XV
表清单 .....	XVIII
<b>1 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 图像质量评价概述 .....	1
1.2 图像质量评价的分类 .....	2
1.3 图像质量评价的研究和应用 .....	8
1.4 图像质量评价数据库与评价标准 .....	9
1.5 论文的主要研究工作 .....	16
<b>2 数字图像被动取证.....</b>	<b>19</b>
2.1 图像取证技术的产生 .....	19
2.2 图像取证的分类 .....	20
2.3 图像被动取证现有技术 .....	25
2.4 数字图像被动取证系统 .....	34
2.5 图像被动取证发展趋势 .....	36
2.6 本章小结 .....	36
<b>3 基于解析稀疏表示的图像模糊无参考快速评价算法.....</b>	<b>37</b>
3.1 模糊产生的原因 .....	37
3.2 现有的图像模糊质量评价算法 .....	38
3.3 解析稀疏表示 .....	41
3.4 模糊评价 .....	42
3.5 实验结果与分析 .....	46
3.6 本章小结 .....	51
<b>4 基于离散正交矩的图像块效应无参考评价算法 .....</b>	<b>53</b>
4.1 图像块效应的产生 .....	53
4.2 现有图像块效应质量评价算法 .....	53
4.3 离散正交矩 .....	54
4.4 方法原理 .....	59

4.5 实验结果与分析 .....	62
4.6 本章小结 .....	66
<b>5 基于块效应评价算法的图像中马赛克区域取证应用 .....</b>	<b>67</b>
5.1 基于质量差异的图像取证框架 .....	67
5.2 马赛克产生的原因 .....	69
5.3 现有的马赛克检测方法 .....	69
5.4 方法原理 .....	70
5.5 实验结果与分析 .....	73
5.6 本章小结 .....	78
<b>6 结论 .....</b>	<b>79</b>
6.1 研究工作总结 .....	79
6.2 研究展望 .....	81
<b>参考文献 .....</b>	<b>83</b>
<b>作者简介 .....</b>	<b>93</b>
<b>学位论文原创性声明.....</b>	<b>95</b>
<b>学位论文数据集 .....</b>	<b>96</b>

# Contents

<b>Abstract .....</b>	<b>III</b>
<b>Extended Abstract.....</b>	<b>VI</b>
<b>Contents .....</b>	<b>XIII</b>
<b>List of Figure.....</b>	<b>XV</b>
<b>List of Tables .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1 Overview of Image Quality Assessment .....	1
1.2 Classification of Image Quality Evaluation .....	2
1.3 Research and Application of Image Quality Evaluation .....	8
1.4 Image Quality Evaluation Database and Evaluation Criterion .....	9
1.5 The Main Research Work of this Paper .....	16
<b>2 Passive Digital Image Forensics .....</b>	<b>19</b>
2.1 Produce of Image Forensics .....	19
2.2 Classification of Image Forensics .....	20
2.3 Existing Technology of Passive Digital Image Forensics .....	25
2.4 Passive Digital Image Forensics System .....	34
2.5 Development of Passive Digital Image Forensics .....	36
2.6 The Chapter Summary .....	36
<b>3 Fast No-reference Image Blur Assessment Based on Analysis Sparse Representation .....</b>	<b>37</b>
3.1 Cause of Image Blur .....	37
3.2 Existing Image Blur Quality Evaluation Algorithm .....	38
3.3 Analysis Sparse Representation .....	41
3.4 Image Blur Evaluation .....	42
3.5 The Experiment Results and Analysis .....	46
3.6 The Chapter Summary .....	51
<b>4 No-reference Quality Metric of Blocking Artifacts Based on Orthogonal Moments.....</b>	<b>53</b>
4.1 Cause of Image Blocking Artifacts .....	53
4.2 Existing Quality Metric of Blocking Artifacts .....	53

4.3 Discrete Orthogonal Moments .....	54
4.4 Method and Principle .....	59
4.5 The Experiment Results and Analysis .....	62
4.6 The Chapter Summary .....	66
<b>5 Mosaic Effect Detection Based on Blocking Artifacts Evaluation.....</b>	<b>67</b>
5.1 Forensics Framework based on Image Quality Assessment .....	67
5.2 Cause of Mosaic Effect .....	69
5.3 Existing Method of Mosaic Detection .....	69
5.4 Method and Principle .....	70
5.5 The Experiment Results and Analysis .....	73
5.6 The Chapter Summary .....	78
<b>6 Conclusions .....</b>	<b>79</b>
6.1 Conclusions .....	79
6.2 Prospects .....	81
<b>References .....</b>	<b>83</b>
<b>Author's Resume .....</b>	<b>93</b>
<b>Declaration of Dissertation Originality.....</b>	<b>95</b>
<b>Dissertation Data Collection .....</b>	<b>96</b>

# 图清单

图序号	图名称	页码
图 1-1	MSE 值相同视觉效果不同的失真图像	3
Figure 1-1	Fault image of the same MSE and different visual effects	3
图 1-2	SSIM 方法的系统实现图	4
Figure 1-2	The fram work of SSIM	4
图 1-3	半参考图像质量评价方法设计框架图	5
Figure 1-3	Design frame diagram of Reduced- Reference	5
图 1-4	TID2008 图像数据库中的原始图像	10
Figure 1-4	Original image in the TID2008 image database	10
图 1-5	LIVE 图像数据库中的原始图像	11
Figure 1-5	Original image in the LIVE image database	11
图 1-6	CSIQ 图像数据库中的原始图像	12
Figure 1-6	Original image in the CSIQ image database	12
图 1-7	IVC 图像数据库中的原始图像	13
Figure 1-7	Original image in the IVC image database	13
图 1-8	Toyama 图像数据库中的原始图像	13
Figure 1-8	Original image in the Toyama image database	13
图 1-9	图像质量评价算法性能评价框架图	14
Figure 1-9	Image quality assessment algorithm performance	14
图 2-1	美军伊拉克战争造假照片	20
Figure2-1	Fake photos about american troops in Iraq War	20
图 2-2	数字水印图像取证原理图	21
Figure 2-2	The framework of image forensics based on digital waterprint	21
图 2-3	数字签名图像取证原理图	23
Figure 2-3	The framework of image forensics based on digital signature	23
图 2-4	copy-move 篡改	26
Figure 2-4	Copy-move tamper	26
图 2-5	“张鸽子”造假照片	27
Figure 2-5	“Zhang Gezi” tamper Photo	27
图 2-6	枕形失真和桶形失真效果图	30
Figure 2-6	Impression drawing of pincushion distortion and barrel distortion	30

图 2-7	计算机生成图像	31
Figure 2-7	Computer generated images	31
图 2-8	计算机生成图像鉴定取证一般流程	32
Figure 2-8	General process of computer generated image identification	32
图 2-9	图像模糊润饰篡改	33
Figure 2-9	Tamper with blur or retouch image	33
图 2-10	数字图像被动取证系统框架 (Shih-Fu Chang 研究团队)	34
Figure 2-10	System frame of passive digital image forensics (The research team of Shih-Fu Chang)	34
图 3-1	训练图像与过完备解析字典	42
Figure 3-1	Training image and over complete resolution dictionary	42
图 3-2	自然图像及其块能量分布图	44
Figure 3-2	Natural images and their block energy distribution	44
图 3-3	视觉显著性对图像模糊判断的影响	45
Figure 3-3	The influence of visual saliency on blur judgment of images	45
图 3-4	四个数据库上主观分数与客观分数的非线性拟合结果	47
Figure 3-4	Nonlinear fitting results of subjective scores and objective scores on 4 databases	47
图 3-5	本章方法的模糊分布图及其与主观结果的比较	50
Figure 3-5	Comparison of blur distribution graph on this chapter method and subjective results	50
图 4-1	不同阶数的 Tchebichef 矩对 Lena 图像的重建	58
Figure 4-1	Reconstruction of lena images with different order Tchebichef moments	58
图 4-2	8×8 图像块与其相邻图像块	59
Figure 4-2	8×8 Image block and its adjacent image block	59
图 4-3	图像水平方向和垂直方向的分块方法	60
Figure 4-3	The block method of image horizontal and vertical direction	60
图 4-4	理想图像块边界与其矩变换矩阵能量图	61
Figure 4-4	The ideal image block boundary and its transformation matrix energy graph	61
图 4-5	失真图像及其质量得分	63
Figure 4-5	Distorted images and their quality scores	63
图 4-6	LIVE 数据库中 5 种方法主客观质量分数的非线性拟合图	64
Figure 4-6	Nonlinear fitting about 5 methods subjective and objective quality Scores in LIVE	64

图 4-7	比特率对比测算图	66
Figure 4-7	Plot of Q versus bit rate (bpp)	66
图 5-1	基于无参考型图像质量客观评价体系的图像被动取证技术路线图	68
Figure5-1	Technical roadmap of this passive image forensics base on no-reference image quality assessment	68
图 5-1	正常图像和马赛克图像的对比图	69
Figure 5-1	Comparison between normal and mosaic image	69
图 5-2	马赛克区域检测过程	71
Figure 5-2	Detection process of mosaic area	71
图 5-3	马赛克测试图像及其检测结果	74
Figure 5-3	Mosaic test image and its test result	74
图 5-4	JPEG 品质因子平均正确率	76
Figure 5-4	Average correct rate of JPEG quality factor	76
图 5-5	JPEG 品质因子平均错误率	76
Figure 5-5	Average error rate of JPEG quality factor	76
图 5-6	马赛克定位性能比较	77
Figure 5-6	Performance comparison of the mosaic position	77

## 表清单

表序号	表名称	页码
表 1-1	图形质量评价数据库特征比较	14
Table 1-1	Characteristics comparison of graphic quality evaluation database	14
表 3-1	预测准确性(PLCC)实验结果	48
Table 3-1	Experimental results of predictive accuracy (PLCC)	48
表 3-2	预测准确性 (RMSE) 实验结果	48
Table 3-2	Experimental results of predictive accuracy (RMSE)	48
表 3-3	预测单调性 (SRCC) 实验结果	49
Table 3-3	Experimental results of predictive monotonicity (SRCC)	49
表 3-4	时间复杂度实验结果	51
Table 3-4	Experimental results of time complexity	51
表 4-1	LIVE 图像数据库实验结果	65
Table 4-1	Experimental results of LIVE	65
表 4-2	MICT 图像数据库实验结果	65
Table 4-2	Experimental results of MICT	65
表 5-1	UCID 和 NCID 图像库的测试结果	75
Table 5-1	Test results of UCID and NCID image library	75



# 1 绪论

## 1 Introduction

### 1.1 图像质量评价概述（Overview of Image Quality Assessment）

图像是反映自然界事物客观存在的一种生动描述，它所展现的信息更真切、更高效、更丰富、更生动。随着智能手机、计算机、数码相机的不断普及和网络技术、通信技术的不断发展，人类正在全面步入数字化信息时代，而数字图像作为最直观高效的信息交流和描述载体之一，正在越来越多地被人们熟知和使用，并通过微信、微博以及各种公众社交网络等公共媒介的快速传播，逐渐改变着人们的生活方式，成为了一种人类社会更为自然的通用信息交流方式。

然而，数字图像在获取、传输、压缩等过程中，由于受到设备、外界环境和使用过程的影响，会出现各种失真和质量退化现象，如：拍摄过程中的电子系统热噪声、机械抖动、光学聚焦模糊、曝光不均等问题，都会造成图像质量的下降或失真。在图像使用过程中，由于自身数据量巨大，通常需要通过压缩的方式进行存储和传输，这种有损压缩会导致块效应、模糊效应和振铃效应等失真，另外，在图像加密、图像融合、信息隐藏、图像格式转换等图像处理过程中，都会造成各种各项的失真。因此，在图像系统的各个实际处理环节一般都会经历各种失真过程。

人眼是图像的最终受体，图像是否清晰、色彩是否饱满鲜明、曝光度是否合理、灰度对比是高是低等图像中的瑕疵都逃不过人眼的评判，人眼是评价和判断图像质量的重要依据。然而现实社会中，图像的数量激增，人们对数字图像质量的要求也越来越高，面对浩如烟海的图像信息，想要用人眼来迅速及时的判断图像质量已经力不从心，这就需要设计出一种图像质量评价系统，让计算机来代替人们进行图像质量的评判。图像质量是衡量图像评价系统各个环节技术水平高低的核心评价标准，图像处理系统研发者们为了满足人们对图像质量的各种要求，致力于在条件允许的基础上尽可能的改进和提高图像质量。为了优化图像处理系统，量化辨识数字图像失真现象，需要对图像质量作出准确客观的评价，因此，研究开发性能优良的图像质量评价系统具有重要的现实意义。

图像质量评价在图像获取系统、图像传输系统、图像处理系统中可以得到广泛的应用。如在图像获取过程中，较容易受到各种外界环境因素的影响，当在阴雨天气、雾霾天气等恶劣天气进行拍摄时，会出现拍摄图像清晰度不够，图像质量退化的现象，难以满足人们对图像质量的实际需求，这种情况下，可以安装图像质量自动评判装置，使得图像获取系统具备自动调节自身参数的功能，以便尽

可能拍摄出高质量的图像。在图像传输过程中,为了降低成本,节约资源,传输图像在压缩编码时会有选择性的丢弃一些图像细节,从而导致图像质量退化,这种情况下,可以通过安装图像质量自动评价装置来衡量传输图像质量,并对图像传输中压缩编码的参数设置和算法设计进行相应的修正指导,以便传输图像在传输数据量最小化的同时,可以更好的满足用户的实际质量需求。在图像处理过程中,可运用图像质量评价系统来选择最佳的图像处理算法,尽可能的保证图像质量。因此,图像质量评价可以应用在图像系统的各个环节,是一项很有现实意义的研究课题<sup>[1,2]</sup>。

## 1.2 图像质量评价的分类 (Classification of Image Quality Evaluation)

图像质量评价主要通过度量图像的失真程度来进行判断,一般分为主观评价方法和客观评价方法两类。

主观评价方法是基于人眼这种视觉感知终端的,实施方法通常是由多名观察者在固定的环境下,按照固定的评判准则对待评图像质量进行打分,最后综合处理得出图像质量的主观分值。由于人是最终图像的接收者和消费者,主观评价方法被认为是感知图像质量最直接、最可靠的方法,但这种方法也存在着成本较高、操作性不强、评价结果存在不稳定性、在实际应用过程中不便于图像系统的集成和实现等等不足之处。由于受到各种客观条件、观测环境和观察者自身条件等因素的影响,主观评价方法无法完成可重复性、可操作性的图像测量,很难直接应用于实际的批量图像处理应用系统中。基于上述不足,主观评价方法很少在实际的图像质量度量系统中直接应用,更多的是作为一种图像质量定性分析的辅助手段。

客观评价通过建立数学模型或使用机器学习的方法,提取数字图像中与视觉质量相关的特征信息来衡量图像退化和失真程度,从而代替人类视觉系统自动评价图像质量,得出与主观评价高度一致的质量评价结果。根据评价方法对原始图像信息的需要程度,图像质量客观评价方法可分为三种类型,分别是全参考(FR)图像质量评价方法、半参考(RR)图像质量评价方法和无参考(NR)图像质量评价方法。

### 1.2.1 全参考(FR)图像质量评价方法

FR 评价方法是在原始图像和待检测图像完全已知的情况下,通过对待检测图像和原始图像之间的比较,计算二者间的差异程度,来评价待检测图像的质量,待检测图像和原始图像的差异值越大,说明待检测图像的质量越差,失真程度越高。FR 方法的预测准确性一般较高,质量评价比较可靠。

下面介绍几种较为典型的 FR 质量评价方法。

### 1、基于能量误差的方法

传统的 FR 评价方法大部分是对图像中像素级差异的度量，如基于能量误差的质量评价方法<sup>[3]</sup>，是将待检测图像与原始图像之间的误差逐点进行计算，选择误差的能量强度作为质量评价的特征量和衡量二者差异程度的标准。最常用的基于能量误差的方法是均方误差（MSE）和峰值信噪比（PSNR）。

$$\text{MSE}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \quad (1.1)$$

$$\text{PSNR}(x, y) = 10 \log_{10} \left( \frac{L^2}{\text{MSE}} \right) \quad (1.2)$$

公式（1.1）、公式（1.2）中， $x$  为待检测图像， $y$  为原始图像， $N$  为图像的像素个数， $L$  为峰值信号即图像最大可能像素值，按照 8 位的灰度图像来看， $L=28-1=255$ 。

均方误差法和峰值信噪比法具有计算复杂度低，方法简单直观、清晰明了的优点，但这两种方法均没有充分考虑图像内容、图像位置信息等图像的结构关系，仅仅只对图像像素间的差异进行计算，因此这两种方法并不能很好地与人眼对图像的视觉效果和感知质量保持一致。目前，均方误差法和峰值信噪比法这两种算法在图像质量评价中的主要作用是为其其他算法在性能比较时作评价参考<sup>[4-6]</sup>。如图 1-1 所示，图（b）-（f）的 MSE 都为 144，但这几幅图像的人眼视觉效果却大相径庭。

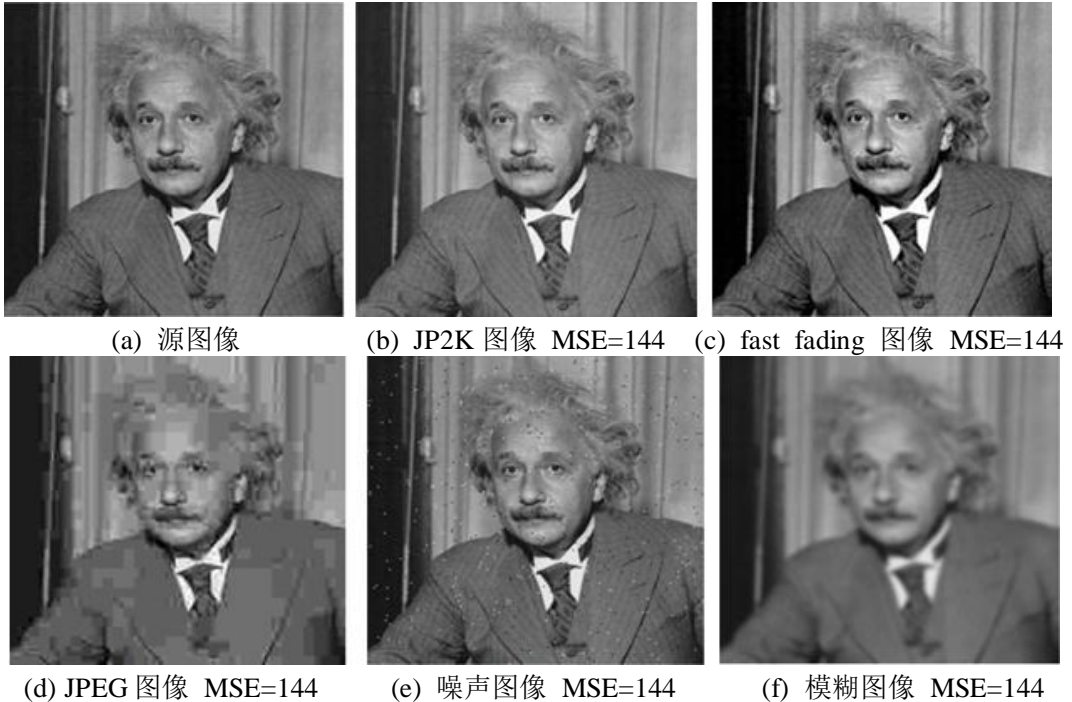


图 1-1 MSE 值相同视觉效果不同的失真图像<sup>[5]</sup>

Figure 1-1 Fault image of the same MSE and different visual effects

## 2、基于结构相似度的方法

基于结构相似度<sup>[7]</sup>（SSIM，Structural SIMilarity）的全参考图像质量评价方法是从图像的结构信息入手，设计出一种基于 SSIM 的图像质量计算模型，通过计算图像结构信息、图像亮度和对比度的变化来评价图像质量。SSIM 模型如图 1-2 所示，通过对原始图像和失真图像对比度比较、亮度比较和结构比较，最终综合得出 SSIM 评价价值。

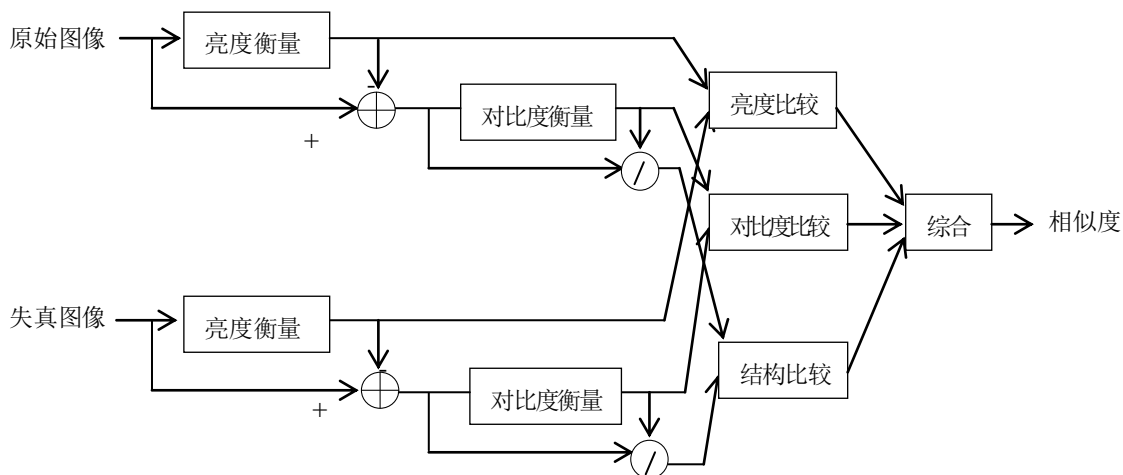


图 1-2 SSIM 方法的系统实现图

Figure 1-2 The fram work of SSIM

SSIM 方法提取原始图像信号和失真图像信号的结构信息，对两幅图像分别进行对比度、亮度和结构方面的比较，最后综合这三项得出 SSIM 评价价值<sup>[7,8]</sup>。SSIM 是一种自上而下的方法，旨在研究感知结构的损伤而不是感知误差，相较于 MSE、PSNR 等方法，SSIM 方法能够较好的与人眼对图像的视觉感知效果保持相关性，评价性能得到进一步提高，计算也较为简洁，得到广泛应用。

## 3、基于信息保真度的方法

该方法将图像质量评价与图像的视觉质量和信息保真度联系起来，图像通过人眼视觉系统在大脑映像，在此过程中，图象质量退化限制了失真信息的流通，建立基于自然统计特性的人眼视觉失真和信息失真通道参考模型计算图象退化衰减的合成影响，并通过信息论的方法来度量原始图像和失真图像的相关性信息，这种信息即为图像的信息保真度。信息保真度准则（Information Fidelity Criterion，IFC）是由 Hamid 等人在 2005 年提出的，通过研究图像信息与视觉质量间的联系，计算原始图像和失真图像间的互信息来对图像质量进行评价<sup>[9]</sup>。其后，信息保真度准则被扩展为视觉信息保真度（VIF）<sup>[10]</sup>。当前大量实验研究表明，全参考图像质量评价方法中，VIF 和 SSIM 的评价性能明显优于传统评价方法。

现阶段，对 FR 图像质量评价方法的研究已经较为深入和成熟，测量的精确度也在逐步提高。FR 图像质量评价方法的研究难度要低于 RR、NR 评价方法，

但这种评价方法必须具有原始图像的全部信息，在实际生活中，原始图像的存储和传输所需要的数据量很大，很难获得原始图像的全部信息作为参考，这就限制了 FR 图像质量评价方法在实际领域中的应用。

### 1.2.2 半参考（RR）图像质量评价方法

RR 质量评价方法是利用原始图像的部分信息来对待检测图像质量进行预测和评价的一种图像质量评价方法<sup>[11]</sup>。这种评价方法在一定程度上解决了无法获得或很难获得完美质量原始图像的问题，只需要知道原始图像的部分信息，就可以预测失真图像的视觉感知质量，RR 图像质量评价方法为网络系统和视觉信息通道提供了一种有效实用的工具<sup>[12-14]</sup>，在一些特定场合被用于跟踪图像质量的下降，有着较为广泛的应用。

RR 质量评价方法的基本原理是：通过一个图像传输系统，在发送端提取出原始图像的部分特征信息，将提取出的特征信息使用特定的辅助信道传输到接收端，同时，在接收端提取失真图像相应部分的特征信息，得到失真图像的特征值，然后将辅助通道传输过来的特征信息和接收端提取的失真图像特征信息进行比较，综合分析特征信息间的差异最终得出失真图像的质量评价结果。图 1-3 给出了半参考图像质量评价方法的设计框架。

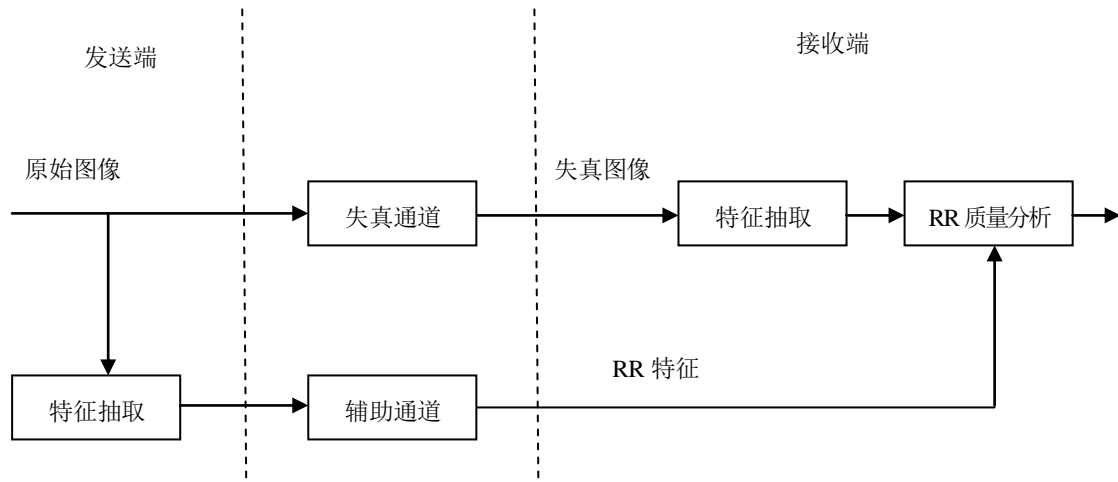


图 1-3 半参考图像质量评价方法设计框架图

Figure 1-3 Design frame diagram of Reduced- Reference

设计 RR 图像质量评价算法最重要的方面是找到合适的半参考图像结构特征，如图像的模糊效应、块效应、振铃效应、梯度活跃度、边缘活跃度、亮度掩模等特征，RR 图像质量评价算法所要具备的图像特征要对图像失真敏感，能够和人眼对图像质量的视觉感知相一致，并且该特征应该是对原始图像的有效总结。另外，在半参考图像特征的选择上，还需要考虑到图像特征信息数据量和质量预测准确度的平衡问题，一方面，图像特征信息数据量越大，则可获得原始图像的参

考信息越多,这样,图像质量评价的质量和预测准确度就会提高,但网络的传输负担也会相应增加。另一方面,如果采用的图像特征信息数据量较少,则会相应减轻网络传输的负担,但图像质量评价的质量又难以保证。因此,虽然图像特征信息数据量越多,得到的图像质量评价效果越接近 FR 图像质量评价方法,预测准确度越高,但在现实工程实现过程中,对 RR 图像质量评价算法性能优劣的评估,不仅要看算法的预测准确度,还要考虑到算法的预测精度和所利用的参考特征信息数据量的平衡。

下面介绍几种较为典型的 RR 图像质量评价算法:

### 1、基于小波域自然图像统计模型的 RR 图像质量评价方法

Wang 等人研究发现,不同的失真类型中,图像小波变换系数的边缘概论分布产生的变化也不相同,因此他们设计出小波域自然图像统计模型应用于 RR 图像质量评价<sup>[15]</sup>,该算法将参考图像和失真图像小波系数边缘分布提取出来,通过计算小波系数分布直方图的距离差异来评估失真图像的质量。这种算法具有适用失真类型较多,所需原始图像特征信息较少,算法较易实现等特点,但该算法不适用于评估含有多种失真类型的组合失真图像,会导致算法精确度明显降低。Zhou Wang 等人对该方法进行了改进<sup>[16]</sup>,他们通过相邻域小波变换的系数能力得到归一化因子,并与小波变换系数进行能量归一化处理,将原始图像和失真图像的归一化系数的概率分布距离作为质量评价的指标,算法的预测精度得到有效提高。Rehman 进一步研究了小波域统计模型中各通道的关系<sup>[17]</sup>,提出了 RR-SSIM 模型,进一步提高了算法的预测精度。

### 2、基于特征嵌入的 RR 图像质量评价方法

基于特征嵌入的 RR 图像质量评价方法<sup>[18,19]</sup>的原理是:利用水印信息的嵌入作为统计特征量,提取原始图像的特征信息,将特征信息嵌入原始图像中去,经过处理后,嵌入水印的图像产生失真,并与原始图像一起传输到接收端,接收端在收到信息后,将原始图像中的隐藏的水印特征信息进行解码,将解码信息同提取自失真图像的对应水印特征信息进行差异比较,得出水印信息的质量差异特征量,从而对图像质量进行评估。

### 3、基于多尺度几何分析的 RR 图像质量评价方法

多尺度几何分析方法 (Multiscale Geometry Analysis, MGA) 是基于模拟人眼视觉感知的特性提出的一种质量评价方法<sup>[20]</sup>,该方法在发送端和接收端分别对原始图像和失真图像进行几何特征信息的分解和提取,对比得出他们视觉感知认证信息的相关性和差异性,从而对图像质量进行评价和度量。Lu 等人模拟人眼视觉系统,提出了一种利用多尺度几何分析有效提取图像特征的 RR 图像质量评价模型<sup>[21]</sup>,该模型综合利用 MGA、HVS、JND 等对图像信息的感知过程进行建

模，实验结果表明，该算法的预测精度高，与主观感知结果较一致。

RR 图像质量评价方法设计中，最具挑战性的问题是如何提取出能够精确有效的区分原始图像和失真图像的特征信息，从而利用这些特征信息来感知图像的失真程度。一个成功的 RR 图像质量评价算法，不仅仅要看他的预测准确度，还需要考虑到图像特征信息数据量和质量预测准确度的平衡问题，随着自然场景统计模型研究的不断深入和人眼视觉系统的模拟应用，越来越多性能优越、准确度高的 RR 图像质量评价方法不断涌现，该领域已经成为图像质量评价的重要研究方向。

### 1.2.3 无参考（NR）图像质量评价方法

无参考图像质量评价方法是指在对失真图像进行质量评价时，不需要借助原始图像任何信息的一种图像质量评价方法。该方法通常也叫盲图像质量评价方法。由于实际应用中，往往不存在或者无法获得原始参考图像，如在进行实时视频通讯的时候，就没有原始图像和视频可以获得，但是人们却关心图像和视频质量是否符合要求，因此不需要借助原始图像的 NR 图像质量评价方法是最切合实际情况的一种评价方法。在现实生活中，人眼在判断图像质量时，只凭感觉而不需要任何参考图像就能判断出图像质量的好坏，是真正的无参考图像质量评价方式，因此有理由相信，在不久的将来，研究者们也将能够开发出像人眼视觉系统一样，真正在没有任何原始图像信息的前提下，也能对失真图像进行精确可靠的质量评价。

相比 FR、RR 图像质量评价方法，NR 评价方法由于没有任何原始图像信息可供参考，设计难度更高，但不可否认的是，NR 评价方法在现实工程应用中最具实用价值。当前，由于人们对图像失真的真正原因掌握不够，对人们自身的视觉感知系统以及大脑的视觉认知系统认识有限，导致目前已开发的 NR 图像质量评价方法的评价准确性还不够理想，设计真正的 NR 图像质量评价方法有两个难点。第一个难点是难以合理定义和有效提取与失真图像相关的特征。图像在传输和处理过程中，很多原因都可能带来失真，从而导致质量退化，这些质量退化特征差异性很大，很难用一种或几种特征来表达，由于人们对图像失真的真正内在原因没有得到有效认知，也不清楚真正影响人眼视觉感知的是哪些图像质量特征，因此，人们难以真正定义和提取图像失真的相关特征量。第二个难点在建模，观察者在观察图像时大脑中的想法非常复杂，他们的审美观、知识境界、认知素养等因素都会导致不同的视觉感知差异，目前，研究者们对自身视觉感知系统的研究和认知还很有限，导致人们在模拟人类视觉系统建模进行模型描述时困难重重，难以用简单的数学模型来具体模拟，这就使 NR 图像质量评价的模拟建模更加困难。



按照现有的 NR 评价方法适用范围,可以分为通用型方法和单一型方法两类。单一型方法是只针对单一失真类型适用或者指在某一特定场合有效的 NR 图像质量评价方法,在失真类型已知并且单一存在的情况下,这种评价方法一般能取得较高的评价准确度。在现阶段的研究中,有不少针对单一失真类型的 NR 评价方法评价效果都较为准确,如针对单一模糊失真类型图像进行的质量评价<sup>[22-27]</sup>,针对 JP2K 失真类型图像进行的质量评价<sup>[28-30]</sup>,针对 JPEG 压缩失真类型的图像进行的质量评价<sup>[31-33]</sup>等。目前已知的大部分 NR 图像质量评价方法都是单一型的,但此类方法必须要在失真图像的失真类型已知且单一的情况下进行质量评价,这种情况在实际应用环境中几乎是不可能存在的,因此单一型方法的应用范围有限,实用性较低。通用型方法是指能够适用于任意场合的任何失真,可以评价多种失真类型的通用 NR 图像质量评价方法。通用型方法的实际应用价值较高,但截至目前,已经开发出来的针对多种失真类型的质量评价通用型方法非常有限,且评价性能和精度方面都不高,无法满足生产和实际应用的需要。因此,未来通用型 NR 图像质量评价方法有着更加广阔的应用前景,它的研究开发必将成为图像质量评价领域的一个研究热点。

### 1.3 图像质量评价的研究和应用 (Research and Application of Image Quality Evaluation)

图像质量评价是衡量各类图像获取、传输、处理算法性能的重要指标,也是优化图像系统性能参数的重要依据,因此,在图像采集、网络传输、编码压缩等领域建立有效的图像质量评价系统具有十分重要的现实意义。近年来,随着各类图像处理技术的快速发展,图像质量评价领域的研究开发已受到各国研究人员的广泛关注,国内外众多科研机构和商业公司都在积极进行相关方面的研发,如美国泰克公司研发的图像质量分析仪已经被全世界广泛应用。此外,IBM、韩国 SK 电信集团等电子业的世界巨头也就图像及视频的质量评价问题开展深入研究并取得阶段性成果。于此同时,各类图像质量的评价方法也屡见不鲜,比较经典的模型有基于 SSIM 的评价模型、基于 HVS 的评价模型等。国内也已经有许多高校和科研机构从事该领域的研究,并取得了不错的成果。但总体来看,图像质量评价领域还有许多未知问题有待进一步探究<sup>[34-36]</sup>。

图像质量评价的具体应用途径大体可分为四类:

- 1、优化图像/视频处理算法。如自动评价图像/视频接收端收到的图像/视频质量,并将评价结果反馈给发送端,这样发送端能够根据反馈的图像/视频质量自动调整图像的编码方法,再进行传输,这样可以达到优化和改善图像/视频处理系统或者处理算法的目的。

- 2、评价图像或视频处理系统性能。图像质量评价方法可以用于可以比较分



析各种不同的图像/视频处理系统以及处理算法，评价各种算法的性能优劣。

3、自动筛选海量的图像/视频。很多图像/视频工程应用领域在运行过程中会产生大量的图像/视频，图像质量评价算法可以自动找出其中质量低下、模糊的图像/视频，将性能较高的筛选出来。

4、智能视频监控。能够在视频监控过程中实时监测环境的变化，监控网络传输的图像质量，并根据监控结果自主改善图像处理的参数和算法，从而达到优化视频质量的目的。如图像质量评价在遥感领域的研究应用等。

## 1.4 图像质量评价数据库与评价标准 (Image Quality Evaluation Database and Evaluation Criterion)

### 1.4.1 图像质量评价数据库

在图像质量评价指标的研究中，图像质量评价数据库占据重要位置，它为人们提供了一个研究图像质量评价指标的公共测试平台，便于研究者在平台上比较各类不同的图像质量指标的性能优劣。下面主要对目前世界上通用的几种图像质量评价数据库进行简要介绍。

#### 1、TID2008 和 TID2013 图像数据库

TID2008 图像数据库<sup>[37,38]</sup> 是失真图像和失真类型较多的一个图像质量评价数据库，由多个欧洲国家联合开发，2008 年投入使用。该数据库对失真类型的划分十分详细和全面，对更好的研究各类图像失真类型和更好的体现图像质量评价算法的性能具有重要意义。数据库开发者邀请了来自三个国家的 654 位观察者参加了该实验，数据库包括 25 幅原始图像，17 种失真类型，1700 幅失真图像。TID2008 中图像的失真类型有：量化噪声、脉冲噪声、加性高斯噪声、高斯模糊、彩色噪声、空域相关噪声、高频噪声、掩膜噪声、无偏心模式噪声、图像去噪、JPEG 压缩和传输错误、JP2K 压缩和传输错误、对比度变化、强度差异的块失真、均值漂移等。TID2008 图像数据库的主观评价价值 (MOS) 的得分范围在 (0.2, 7.3)。图 1-4 展示了 TID2008 图像数据库中的 25 幅高质量原始图像。

2013 年，TID2008 图像数据库扩展为 TID2013 图像数据库<sup>[39]</sup>，TID2013 是当前最具挑战性的图像质量评价数据库，在评价图像质量评价模型与人类平均感知的匹配方面得到了越来越广泛的应用，该数据库包含 25 幅参考图像，24 种失真类型，5 种失真等级，共计 3000 幅失真图像，所有图像都以 Bitmap 格式保存在数据库中，没有经过任何压缩。TID2013 图像数据库的失真类型除包含 TID2008 图像数据库中的所有失真类型外，还包括：色彩饱和度变化、乘性高斯噪声、舒适噪音、噪声图像的有损压缩、图像颜色量化和抖动、色像差、稀疏采样与重构等失真类型。TID2013 中，PSNR (峰值信噪比) 和平均人类感知 (MOS，平均





图 1-5 LIVE 图像数据库中的原始图像

Figure1-5 Original image in the LIVE image database

### 3、CSIQ 图像数据库

CSIQ 图像数据库<sup>[41]</sup>由奥克拉荷马州立大学计算感知和图像质量实验室研究开发，该图像数据库包括 30 幅原始图像以及 6 种失真类型产生的 866 幅失真图像，该数据库的 6 种失真类型包括：JPEG 压缩、JP2K 压缩、高斯模糊、全局对比度下降、高斯白噪声、加性高斯噪声。该数据库共有 35 位观察者对每幅图像的质量进行测评，得出了 5000 个主观评级，主观评价值（DMOS）的得分范围在（0,1）。CSIQ 数据库是当前较为实用有效的图像质量评价数据库。图 1-6 中展示了 CSIQ 图像数据库中的 30 幅高质量原始图像。







图 1-7 IVC 图像数据库中的原始图像

Figure1-7 Original image in the IVC image database

### 5、Toyama 图像数据库

Toyama 图像数据库<sup>[43]</sup>由日本富山大学多媒体和通信技术实验室研究开发。Toyama 数据库的图像失真类型和失真程度较少，仅有 JPEG 压缩、JP2K 压缩两种失真类型，该数据库包含 14 幅原始图像以及 168 幅不同失真程度的失真图像，数据库中图像之间的视觉差异不够明显，实用性较低。该数据库采用 DMOS 的形式进行总体评分。图 1-8 中展示了 Toyama 图像数据库中的 14 幅高质量原始图像。



图 1-8 Toyama 图像数据库中的原始图像

Figure1-8 Original image in the Toyama image database

综上所述，这些图像数据库的差别主要存在于参考图像数量、失真图像数量和类型，以及主观评价时观察者的数目及评分标准等方面，下面将这 6 种图像数据库的具体特征总结如表 1-1 所示。



表 1-1 图像质量评价数据库特征比较

Table 1-1 Characteristics comparison of graphic quality evaluation database

数据库	原始图像	失真图像	失真类型	观察者	图像类型
TID2008	25	1700	17	654	彩色
TID2013	25	3000	24	865	彩色
LIVE	29	779	5	161	彩色
CSIQ	30	866	6	35	彩色
IVC	10	185	4	15	彩色
Toyama	14	168	2	16	彩色

#### 1.4.2 图像质量评价算法的评价标准

理想的图像质量评价算法应当具备如下性能。

- (1) 能够符合人类的视觉感受。
- (2) 评价算法具有通用性。也就是当面对不同的图像和环境时，质量评价的性能能够保持稳定。
- (3) 评价结果要具有单调性、一致性、准确性、稳定性。

最直接有效的图像质量评价算法<sup>[44-46]</sup>优劣的验证方法就是将客观评价与主观评价的结果作比较，也就是判断图像质量评价算法与人类视觉感受是否一致，图像质量评价算法的性能评价框架图如图 1-9 所示。

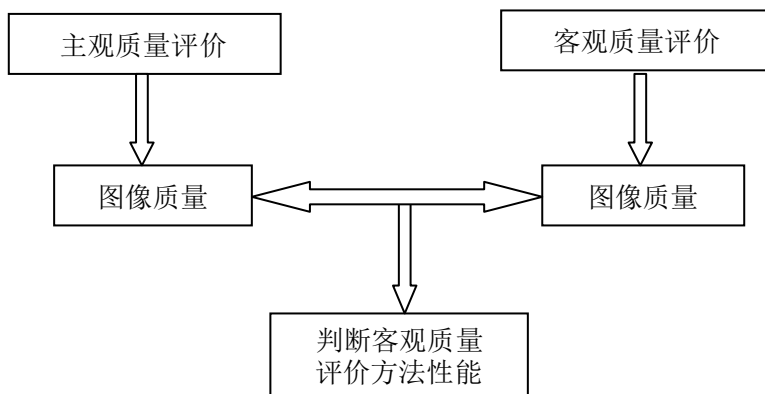


图 1-9 图像质量评价算法性能评价框架图

Figure1-9 Image quality assessment algorithm performance

首先进行主观测试，获得主观评分，主观评分由平均意见得分（MOS）和差异平均意见得分（DMOS）两部分组成，MOS 值为所有主观得分的算法平均值，图像质量越高，MOS 值越大；DMOS 值表示原始图像和失真图像间的质量差异得分均值，图像质量越高，DMOS 值越小。

其次，将客观得分应用回归函数转化为与图像质量主观分值 DMOS(或 MOS)

在同一个范围的预测主观得分  $S_p$ ，使用  $S_p$  与 DMOS（或 MOS）间的最大相关性来进行参数的估算。

$$s_p = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1.3)$$

$$s_p = \frac{b_1}{1+e^{-b_2(x-b_3)}} \quad (1.4)$$

$$s_p = \beta_1 \log \text{istic}(\beta_2, (x - \beta_3)) + \beta_4 + \beta_5 \quad (1.5)$$

$$\log \text{istic}(\tau, x) = \frac{1}{2} - \frac{1}{1+\exp(\tau x)} \quad (1.6)$$

最后，计算预测主观得分  $S_p$  和主观得分 DMOS（或 MOS）间的评价指标，对客观图像质量评价算法的性能进行评价。

下面给出 3 种常用的评价指标。

（1）线性皮尔森相关系数（PLCC）

$$\text{PLCC} = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})(q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}} \quad (1.7)$$

该指标评价预测精度，其中， $s_i$  为主观得分 DMOS（或 MOS）， $q_i$  为线性回归后的目标分数（主观预测得分）。

（2）斯皮尔曼等级相关系数（SRCC）

$$\text{SRCC} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (1.8)$$

该指标评价预测的单调性，其中， $N$  代表图像或者视频总数， $d_i$  代表第  $i$  幅图像或视频的主观评价等级与客观评价等级的差异。SRCC 值是唯一对非线性回归函数具有鲁棒性的一种评价指标。

（3）均方根误差（RMSE）

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N-d} \sum (s_i - q_i)^2} \quad (1.9)$$

RMSE 代表客观评分在非线性回归条件下对主观评分的估计值主观评分 DMOS 之间的误差。其中， $d$  代表回归函数的自由度。

上述几种性能指标通常被用来检测客观质量评价算法与主观视觉感知之间的一致性程度，进而评价算法的性能优劣。这些性能指标的取值范围在 0-1 之间，PLCC 和 SRCC 性能指标越接近于 1，RMSE 指标越接近于 0，则客观质量评价算法的预测准确度越高。

## 1.5 论文的主要研究工作 (The Main Research Work of this Paper)

### 1.5.1 论文主要工作及章节安排

本文以设计开发适应性强、准确度高、复杂度低的图像质量评价算法为目标,主要研究工作可以概括为:研究当前主流数字图像质量评价方法和图像篡改取证技术,分析研究当前一些主流的图像质量评价和图像篡改检测方法,分析图像的统计特征,设计开发出针对图像模糊、图像块效应等图像类型的质量评价有效方法,探索研究运用无参考图像质量评价的检测方法来进行马赛克图像被动篡改取证方面的应用。

具体章节安排如下:

第1章:介绍了图像质量评价的研究意义和发展现状,对现有的各种图像质量评价方法进行了系统分析,介绍了图像质量评价的常用数据库以及图像质量评价算法的性能评价标准,对图像质量评价中的热点和难点问题进行了说明,为后续研究工作提供了理论基础。

第2章:系统介绍了图像被动取证的背景及现状,对现有的图像篡改鉴定技术进行了分类归纳和总结,研究讨论了常见的图像取证算法的实现原理、相应的优缺点和适用范围,总结分析了图像被动取证算法的一般规律,给出了数字图像被动取证的系统理论框架,并对图像建模、图像数据库等数字图像取证系统进行了介绍说明。

第3章:提出了一种基于解析稀疏表示的数字图像中模糊的无参考快速评价方法。通过对图像模糊产生原因的分析,提出了采用解析稀疏表示对图像进行分解,并在此基础上计算图像的能量,作为图像模糊程度的指标。为了消除图像内容对评价结果的影响,利用图像分块的标准差对能量进行归一化,并利用视觉显著性进行自适应加权,使模糊分数与主观评价结果相一致。四个国际通用图像质量数据库上的算法性能测试表明,该方法的计算复杂度低,性能优于现有算法。

第4章:提出了一种基于离散正交矩的图像块效应无参考评价方法。首先以图像中块效应边缘为条件沿水平方向和垂直方向划分成互不重叠的分块,然后对水平方向和垂直方向每个图像块进行离散正交矩(Tchebichef矩)变换,通过矩变换矩阵中提取的数据对图像块进行质量评价,最终对图像块质量分数求平均得到图像客观质量分数。通过在一些图像数据库中的实验表明,该算法在评价图像质量上所得出的结果与主观质量评价结果(DMOS)一致性较好,算法性能优良。

第5章:提出了一种一般性的基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证框架,通过使用图像质量参数来侦测失真图像不同的区域质量特性,从而达到检测和定位的目的。为了验证方法的有效性,本章采用基于图像质量评价特征的马赛克效应检测算法,基于图像中的马赛克区域在视觉上与正常区域存在明显差



异的特点,通过分析块效应对离散正交矩块效应系数分布的影响设计质量评价函数,得出视觉质量图,再利用视觉质量图侦测图像中的低质量集聚区域,从而实现对图像中马赛克区域的定位。仿真实验结果证明,该算法能较好的检测定位图像中马赛克区域。

第6章:总结全文工作,并对图像质量评价领域的发展进行展望。对研究工作的相关成果和存在问题进行了总结,提出了后续工作的研究方向,并对未来图像质量评价方法的研究手段和领域研究的发展趋势进行展望。

### 1.5.2 论文主要创新成果

本论文重点围绕图像质量客观评价中无参考质量评价的几个重要类型进行研究,论文中涉及的主要研究方向及创新点概述如下:

#### (1) 提出了一种基于解析稀疏表示的图像模糊快速评价算法

利用解析稀疏表示字典对待评价图像进行分解,通过稀疏表示系数计算图像的归一化能量来作为图像模糊程度的指标。为了消除图像内容对评价结果的影响,利用图像分块的标准差对能量进行归一化。同时,利用视觉显著性进行自适应加权,使模糊分数与主观评价结果相一致。最后,在四个国际通用图像质量数据库上对算法的性能测试表明,本文算法的性能优于现有算法,并且计算复杂度低。

#### (2) 提出了一种基于离散正交矩的图像块效应无参考评价算法

以图像中块效应边缘为条件沿水平方向和垂直方向划分成互不重叠的分块,然后对水平方向和垂直方向每个图像块进行离散正交矩(Tchebichef 矩)变换,通过矩变换矩阵中提取的数据对图像块进行质量评价,最终对图像块质量分数求平均得到图像客观质量分数。通过在一些图像数据库中的实验表明,在评价图像质量上所得出的结果与主观质量评价结果(DMOS)一致性较好,能够比较准确的评价图像质量。

#### (3) 提出了一种基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证框架

提出了一般性的基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证框架,通过使用图像质量参数来侦测失真图像不同的区域质量特性,从而达到检测和定位的目的。主要思想为:将图像质量评价的差异特征值引入到图像取证中,再通过图像失真特征分析,用图像质量评价的方法提炼出对失真图像比较敏感的图像质量差异特征量,完成图像质量建模并进行训练和测试,得出图像质量评价得分,并基于质量评价的分数特征进行图像取证实验,从中检测出质量参数特征不一致的区域并标记为失真区域。

#### (4) 提出了一种基于视觉质量差异的图像中马赛克检测算法

提出了一种基于图像块效应无参考评价的图像中马赛克效应检测方法。根据块效应图像对离散正交矩系数分布情况的影响设计质量评价函数,得出质量特征,

并对待检马赛克图像进行分块，计算得出每个分块的块效应分数，从而生成视觉质量图，利用视觉质量图对马赛克图像中的低质量集聚区域进行检测和定位。仿真实验结果验证了算法的优良性能。

## 2 数字图像被动取证

## 2 Passive Digital Image Forensics

### 2.1 图像取证技术的产生（Produce of Image Forensics）

二十世纪中期，一场新的技术革命在人类社会兴起，这就是数字化革命。这场革命以计算机技术为代表，产生了一系列给人们生活带来很大便利的数码产品，也使得数字图像在生活应用当中越来越普遍。随着数码相机、智能手机和打印扫描设备的普及和推广，人们接触到的图片、照片越来越多，人们对照片也有了更高的要求，希望可以对数字图像进行各种方式的修改。在这样的背景下，数字图像处理技术高速发展，各大软件公司相继推出多种图像编辑和图像处理软件来满足消费者的需求，如：Photoshop、美图秀秀、光影魔术手、CorelDRAW、XMind等，这些图像处理软件功能强大，大多集图像扫描、编辑、修改、制作等为一体，人们在图像处理软件的帮助下，能够对数码图片进行任意尺寸的裁剪、缩放和格式改变，也能方便的使用色阶调整、曝光度调整、锐化、红眼去除等图像处理软件自带的图片处理手段，来让数字图像变得更加美观和具有表现力，使用者们编辑、修改、存储图片、照片变得更加简单和方便。数字图像处理软件的日益普及，极大的便利了数码产品的应用和推广，对数字图像技术的研究和发展起到了重要的推动作用。

但另一方面，数字图像处理技术和数字图像处理软件的普及，也给数字图像的传播和使用带来了各种隐患。人们利用各种图像处理工具对图像进行篡改变得更加简易，稍有经验的人就能做到对图片做出人眼看不出痕迹的篡改。这些篡改后的图像，有的是单纯为了照片更加美观，如写真照、婚纱照，只是单纯的为了增强图像的视觉效果，让照片看起来更“美好”；也有的纯粹是为了吸引眼球、恶搞或娱乐等目的对照片等进行加工、润饰，如一些娱乐小报的“八卦”新闻等；更有一些人，他们心怀叵测，通过精心篡改数字图像，并把伪造过的数字图像故意传播来达到不可告人的目的。如今，图像篡改已经对科技、法律、政治、传媒等多个方面产生了消极影响，如西班牙马德里车站爆炸案图片事件、国内的“周老虎”、“刘羚羊”事件等。

如图 2-1 所示为美联社发布的美军伊拉克战争造假照片，发布的照片剪裁掉了原始照片中美军持枪顶住伊拉克战俘头部的左半部分，人们就只能看到美军解救战俘于危难之间的人道主义关怀，这张照片被披露造假后引起轩然大波，成为批评国家媒体牵引舆论走向的利器。



图 2-1 美军伊拉克战争造假照片

Figure2-1 Fake photos about american troops in Iraq War

一系列造假事件和越来越多足够以假乱真的高品质篡改、伪造数字图片的广泛传播，对社会造成了严重不良影响，也使得大众对数字图片的真实性产生了怀疑。科技专著中的图例说明是否真实？关键时刻曝光的热点人物“丑闻”是真是假？作为法庭上呈堂证供的照片是真实的还是蓄意伪造？这充分表明，目前真假难辨、鱼龙混杂的信息环境需要人们拥有更加精准的图片识别能力，因此，能够有效甄别数字图像的质量的数字图像取证技术应运而生。

数字图像取证涉及数字图像本身的理论基础和技术方法，也是图像处理和分析、数据挖掘、传感器成像、计算机视觉、密码分析学等多学科的交叉融合，是一种新的研究方向和技术应用的有益探索，具有较为广泛而深层次的现实意义。

## 2.2 图像取证的分类（Classification of Image Forensics）

数字图像取证技术是对数字图像的真实性、完整性和原始性进行认证的一门技术，该技术利用检测图像本身或者图像的内嵌信息、依附信息等来分析、鉴别和认证图像是否被修改。

数字图像取证技术通过对数字图像的篡改监测和篡改定位来判断图像是否被篡改，一般分为主动取证技术和被动取证技术两种。现有的主动取证技术主要包括以脆弱数字水印、鲁棒性数字水印为代表的防篡改技术，以及以数字签名、数字指纹为代表的取证技术。这些技术的基本原理都是通过对数字图像添加附加信息来进行真实性和完整性鉴别，但从目前的现状来看，绝大部分的数码图片来自于数码相机，而绝大部分的数码相机不具备嵌入数字水印或数字摘要的功能，这是由于具有数字水印功能的数码相机成本较高，且嵌入数字水印后，数码相机拍摄的图像质量有所下降，图像的安全性也很难得到可靠保障。另外，从图像取证的适用性来看，主动取证需要原始图片、待检图片共存的前提下，共享算法和

密钥来进行取证，而被动取证技术则不需要数字签名或水印信息，只需要取证方根据待检图片本身就可以实施鉴别取证，不用预先对图像做任何处理，可以由取证方独立实施和完成，适用性更强，是数字图像鉴别的新兴领域。

### 2.2.1 主动取证技术

数字图像主动取证技术主要针对已经事先添加了数字签名或者数字水印的图片，取证时提取图片的数字签名或水印相关信息，并鉴定信息是否遭到破坏，如果被破坏，则认为数字图像被篡改，否则为未篡改。主动取证技术主要通过基于数字水印的方法和基于数字签名的方法实现。

#### (1) 数字水印

数字水印技术是数字图像主动取证技术的主要方向。数字水印主动取证技术是在保证一定视觉质量的前提下，把特征信息预先嵌入原始数字图像，在进行取证时，提取出水印信息，鉴别验证信息真伪，从而鉴定数字图像完整性和真实性的一种图像处理技术。

最早提出数字水印（Digital Watermark）的是 Tirkel 等人，他们在 1993 年提出了一种基于时域最低有效位进行水印嵌入的算法<sup>[47]</sup>，随后，Cox 等人首次给出了图像频域系数与数字图像内容、嵌入水印的关系，提出了一种基于图像频域的 NEC 水印嵌入算法<sup>[48]</sup>。随后，大量数字水印经典算法不断涌现，Wolfgang 引入了 M 序列，并把它作为水印嵌入到时域 LSB 当中，这种算法<sup>[49]</sup>通过在嵌入和检测水印的过程中使用块结构来实现对图像伪造区域的鉴别和定位。Zeng 等人提出了一种基于密码学的数字水印嵌入算法<sup>[50]</sup>，特征嵌入采用三元组方式，图象中水印嵌入的位置通过密钥进行控制，这种方法优于传统水印嵌入方式，规避了其所引起的频率特征分布。数字水印技术通常都遵循一定的过程原理，如图 2-2 所示。

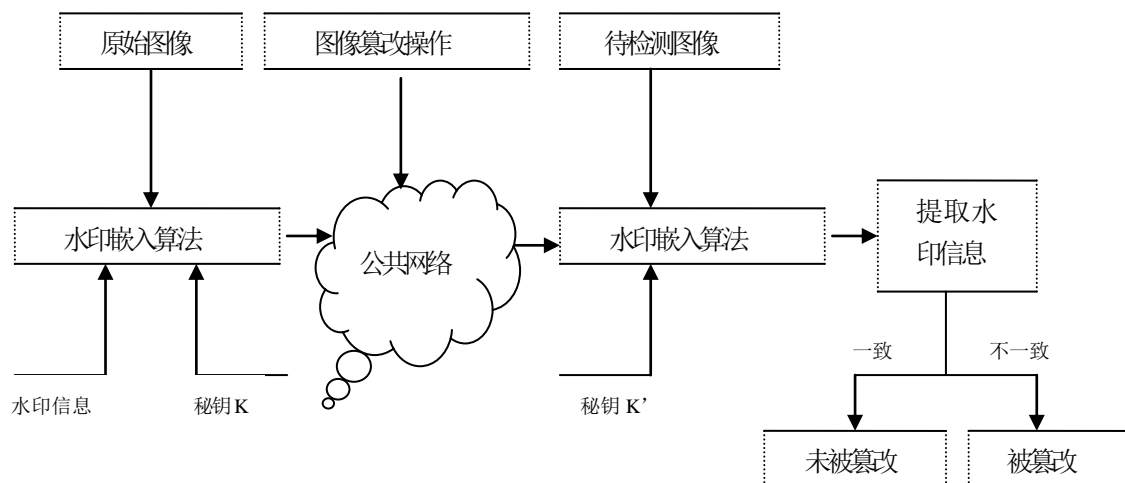


图 2-2 数字水印图像取证原理图

Figure2-2 The framework of image forensics based on digital watermark

数字水印图像取证技术的基本原理是,在数字图像原始图像中通过水印嵌入器隐秘写入某种特征信息认证信号,当需要验证时,再通过水印检测器鉴别这些认证信号是否发生变动,从而达到鉴别数字图像原始数据真实性、完整性的目的。

水印信号能够以多种形式出现,比如可以是关于媒体内容或特征的校验信息,或者是人为设置叠加的辅助模板。数字水印技术将认证信息隐藏于原始数据之中,这样相比数字签名技术,不仅认证算法的透明度得到有效提高,也有效增强了认证信息的安全性。数字签名在面对数据量庞大的数字媒体信息时,存在着准确度不高、效率较为低下和篡改定位不够精确等显著缺陷,而数字水印技术则可以弥补这些不足,这种技术不需要附加额外的数据消息,用来认证的关键信息处于隐藏状态而且不像数字签名那样易于去除,能够更精确的确定篡改发生的位置和篡改特征。

数字水印可分为鲁棒性数字水印和脆弱性数字水印。鲁棒性数字水印“抗攻击”性较强,即图像处理软件在对预先嵌入特征信息的数字图像进行复制、粘贴、剪裁、阴影、降噪等“攻击”性操作处理后,仍然能够检测出预先嵌入的特征信息。鲁棒性的强弱按照数字水印被“攻击”后成功检测的程度确定,成功检测的程度越高,则抗攻击性越高,鲁棒性越强。鲁棒性数字水印在拥有版权的数字作品中广泛应用,利用水印技术来标识著作权信息,在数字作品中隐秘嵌入创建者或所有者的标示信息,或者嵌入购买者的标识比如序列号。当发生版权纠纷时,可通过数字作品创建者的信息对版权所有者进行信息标识,并通过数字作品序列号追踪伪造数据的盗版用户。脆弱性数字水印相对“脆弱”,如果被篡改的是嵌入脆弱水印的图像,则嵌入的水印信息必定被破坏,不能提取完整的水印信息。脆弱性数字水印能较好的检测和鉴别数字图像是否被篡改,并判断图像的篡改位置和篡改类型。

## (2) 数字签名

数字签名是现代密码学的一个重要分支,主要在网络安全问题日趋严重的今天,研究如何在网络上鉴别身份的问题。数字签名的发送方使用私有秘钥生成电子密码加密认证信息,将原始图像和加密的认证信息一起传送给接收方,并将公有秘钥公开发布,接收方可以使用公有秘钥解密信息,由于公有秘钥不可能反推出私有秘钥<sup>[51]</sup>,要验证接收到的图像在传送过程中有没有被破坏,只需要用公开发布的公有秘钥对私有秘钥加密后的认证信息进行解密,能够解密成功则认定该图像由发送方签名,没有被破坏。数字签名主要应用于图像主动取证,数字签名主动取证的系统原理如图2-3所示。

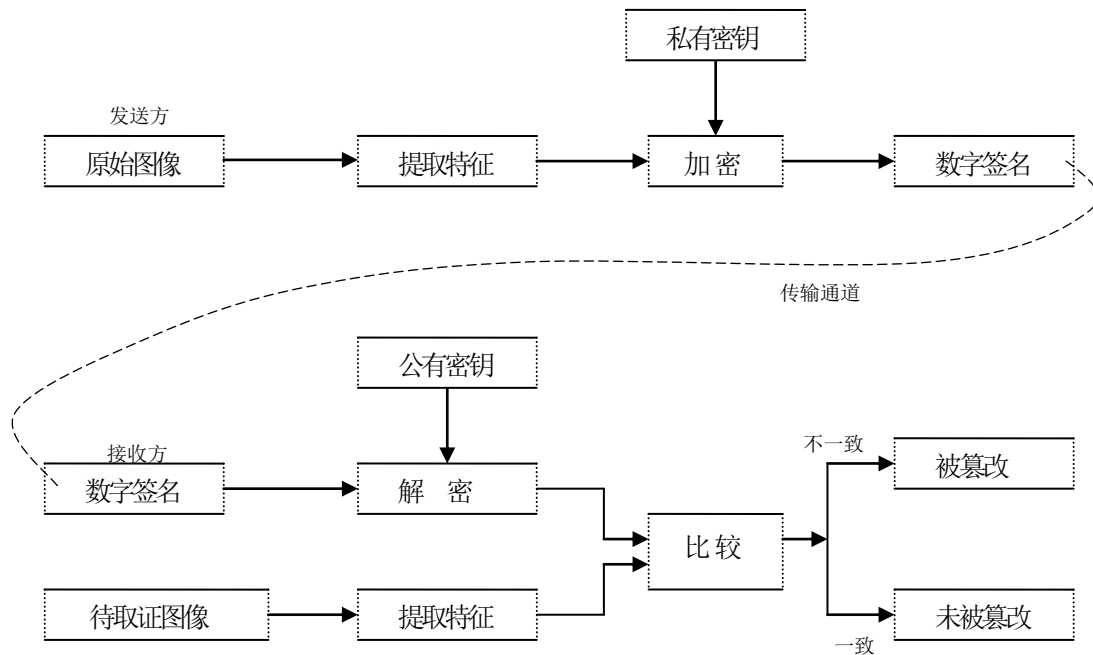


图 2-3 数字签名图像取证原理图

Figure2-3 The framework of image forensics based on digital signature

基于数字签名的图像主动取证技术提取原始图像特征信息形成的数字签名，利用已公开的公有密钥对数字签名进行解密，将解密信息同待取证图像提取的特征信息进行对比，一致则表明待取证图像未被篡改，反之则被篡改。

在实际情况下，数字签名主动取证技术有一定的局限性，该方法需要存储的特征数据（数字签名）容易吸引攻击者，一旦特征信息被破解，则密文失效。并且数字签名在图像的存储传输过程中，不允许进行任何改动，甚至必要的图像压缩也不可以，否则接收方将无法恢复真实数据，这些局限性问题限制了数字签名在图像取证技术中的应用。

数字图像主动取证技术主要应用于数字图像作品的版权保护方面，但在图像取证的实际应用中，要求进行鉴别取证的图像多数情况下没有原始图像，或者原始图像难以获取，因此不能通过向原始图像中添加数字签名、数字水印等主动取证技术手段进行图像取证，这在一定程度上阻碍了主动取证技术的推广使用。而只要给出待检测图像就可以直接利用图像本身信息进行鉴别判断的被动取证技术，则有更加广阔的应用空间。

### 2.2.2 被动取证技术

功能强大、使用方便的图像处理软件的日益问世，促进了图像篡改技术越来越趋向成熟化。当前，存在较多应用条件限制的主动取证技术，在遏制图像篡改现象上已经越来越力不从心，而无需原始图像，也不要求图像中预先嵌入附加特征信息的数字图像被动取证技术在实际应用中发挥着越来越重要的作用。数字图像被动取证技术可应用于数字图像来源鉴别、互联网图像真实性鉴定、法律证据

图像真实性和完整性认证、电子证书或文书图像的真伪鉴定等多个方面。

数字图像被动取证是指不需要原始图像以及任何预嵌入信息,只通过研究分析待检图像自身的特征信息,来鉴别取证图像真伪和来源的图像取证技术。当前,数字图像被动取证技术的研究应用主要集中在图像的来源认证和内容认证等方面。图像来源认证用于甄别生成数字图像的获取设备,如数码相机、平板电脑、拍照手机、扫描仪等,这些图像生成设备的成像原理和特征各不相同,生成的数字图像也具有不同的特征信息,来源认证技术通过分析提取这些数字图像特征信息来对图像的生成设备进行鉴别和认证。图像内容认证用于解决获得的数字图像是否经历过处理或修改,经历了怎样的处理以及这种处理对图片造成的影响等问题。

数字图像被动取证技术近几年才开始发展,具有较高的创新性和挑战性,很多高校和研究机构都进入该领域开展研究。美国 Binghamton 大学的 Fridrich 教授研究团队是最早从事数字图像取证领域研究工作的研究机构,该团队首次提出了基于统计特征的图像拼接篡改取证算法,将多种数字图像隐写分析的典型算法引入图像取证<sup>[52]</sup>,并在图像来源认证、图像重压缩等研究领域处于领先水平。Farid 教授研究团队已经和 Adobe 公司达成合作,将在后续的 Photoshop 系列产品中添加图像鉴定的相关插件,该团队在基于统计特征和光源特征的图像篡改取证方面处于领先地位<sup>[53,54]</sup>。另外,美国 Columbia 大学<sup>[55]</sup>、Maryland 大学<sup>[56]</sup>、Purdue 大学<sup>[57]</sup>等都专门成立了数字图像取证技术研究小组,并在这一领域开展深入研究。一些国际著名的期刊和会议也对数字图像被动取证领域投入了越来越多地重视和关注。IEEE、Springer 旗下的国际知名期刊均开设了图像被动取证方向的独立期刊,一些著名的专业国际会议如 International Information Hiding Workshop, SPIE EI 等也开展了相关的会议专题,数字图像取证技术的前沿性和重要性进一步凸显。

同国外相比,国内在数字图像被动取证技术方面的研究起步更晚一些,总体仍处于初步探索阶段。国家自然科学基金委专门划拨研究经费支持有关高校和科研院所对图像被动取证方面的研究。一些多媒体信息安全领域的重要期刊和会议也把数字图像被动取证列为重要议题,如全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术研讨会(CIHW)自 2006 年起,将图像被动取证技术列为会议征文的主题之一,并多次邀请在该领域有较大影响力的专家作专题报告,在国内掀起了数字取证的研究热潮。一些高校和研究机构如北京邮电大学信息安全中心、大连理工大学信息研究中心、南开大学信息安全实验室、解放军信息工程大学、中科院高能所、上海市信息安全综合管理技术研究重点实验室等也在进行图像取证方面的研究,并已经取得了一些有价值的成果,北京邮电大学周琳娜等将图像滤波边缘特性应



用于图像中模糊操作的被动取证中<sup>[58]</sup>；北京工业大学张震等针对目前自然图像和计算机生成图像鉴定准确率不高的问题,提出了一种基于 Benford 定律的自然图像与计算机生成图像的鉴别方法<sup>[59]</sup>；四川大学王浩明等提出了一种基于 DCT 系数直方图差异的 JPEG 图像篡改检测方法<sup>[60]</sup>；长沙理工大学许国栋等针对一种常见的复制粘贴伪造图像篡改,提出了一种基于模糊不变矩的自动检测标识数字图像中复制区域的鉴别伪造方法<sup>[61]</sup>，该方法在抗模糊处理方面具有明显的优势。

## 2.3 图像被动取证现有技术（Existing Technology of Passive Digital Image Forensics）

随着数字图像处理技术和处理软件的不断发展完善,数字图像篡改变得越来越简单,效果也越来越“以假乱真”,国内外发生的一系列涉及图像篡改伪造的丑闻和风波提醒人们,数字图像真伪性鉴别技术的重要性进一步凸显。

要对数字图像的真伪性进行鉴别取证,首先应该对数字图像的篡改方法有深刻的了解,在图像篡改鉴定领域,最经典的篡改行为分类方法由 Dartmouth 大学的 Farid 教授研究团队提出<sup>[62]</sup>,该团队将数字图像的篡改行为分为了合成、变种、润饰、增强、计算机生成、绘画 6 种类型,这就是我们俗称的 Farid 6 分法。Farid 6 分法基本涵盖了目前常见的数字图像篡改类型,但这种分类方法主要针对的是图像内容篡改,在现实中,被动取证有时还需要对数字图像的来源、图像是否携带隐秘信息等进行判断取证,如区分一幅数字图像是数码相机拍摄还是手机拍摄、扫描仪生成等。

### 2.3.1 copy-move 篡改取证

拼接合成是一种最为常见的数字图像篡改方法,通常需要两幅以上的数字图像,将其中一幅的某一部分复制并粘贴到另一幅图像上,或者把某幅图像的一部分复制并粘贴到另一部分上,以此来制造某种假象或掩藏重要信息。这种篡改手法常见于现实生活和网络,图像合成所使用的数字图像的质量、大小、色彩等方面的相似度决定了合成篡改的实际效果,在现实应用中,有经验的篡改者往往可以达到相当真实的篡改效果。例如图 2-3 所示,2003 年《洛杉矶时报》刊登的英军士兵和伊平民对峙的照片被证实造假,图 2-3 (c) 即为篡改得到的合成照片。该照片被证实由图 2-3 (a)、(b) 两张原始照片经过 copy-move 得到。



(a) 原始图像

(b) 原始图像



(c) 合成图像

图 2-4 copy-move 篡改

Figure2-4 Copy-move tamper

copy-move 图像篡改是一种能够严重扭曲图片内容的篡改行为，该篡改行为会给图像带来严重的歪曲和误导，是图像取证领域关注和研究最多的篡改形式，目前的研究热点和方向大致分为基于同幅图像的拼接篡改和基于多幅图像的拼接篡改。

#### (1) 基于同幅图像的拼接篡改取证

同幅图像拼接篡改是最常用的图像篡改方式之一，操作方式是复制一幅图像中的部分区域，然后将其副本粘贴到同幅图像另外区域中去，这种篡改手法简单，一般用来掩盖或加深某种特定目标，篡改后的图像也不易察觉。此类篡改行为较为常见，图 2-5 给出了 2005 年首届国际新闻摄影比赛金奖作品“张鸽子”篡改照片。



图 2-5 “张鸽子”造假照片

Figure2-5 “Zhang Gezi” tamper photo

针对同幅图像的拼接篡改，国内外研究者已经取得了一些阶段性成果。Fridrich 最先提出用 DCT 块系数字典排序方法来检测同幅图像拼接篡改<sup>[32]</sup>，该方法将图像分成多个大小固定的滑动窗口，对每个窗口进行离散余弦变换，根据字典排序后的 DCT 系数矩阵来遍历所有窗口中的匹配图像块，匹配度超过阈值的冲突区域则被认为是 copy-move 区域。Fridrich 的算法非常直观，是同幅图像拼接篡改检测的基础，但也存在着计算量过大，鲁棒性较差的问题。Hany Farid 团队提出了基于主成分分析(PCA)的算法<sup>[63]</sup>，用 PCA 分析大小固定的图像块，使匹配特征维数降低，该算法能够抵抗 JPEG 压缩和一定强度的噪声攻击，算法的鲁棒性得到提高。Zimba 团队提出了基于小波分析的算法，检测成功率较高<sup>[64]</sup>。国内该领域的研究也十分活跃，骆伟琪等人提出了基于图像块像素密度的检测算法<sup>[65,66]</sup>，该算法提取图像块中三个通道的像素密度作为匹配特征量，具有相对良好的鲁棒性。魏为民等人利用小波变换、奇异值分解以及自相关系数来匹配特征量，获得了较高的检测成功率<sup>[67,68]</sup>。张新鹏教授等人提出了基于对数极坐标变换来定位篡改区域的算法<sup>[69]</sup>，该算法对经过模糊操作及旋转攻击的 copy-move 区域具有一定的抵抗性，检测效果较好。

## （2）基于多幅图像的拼接篡改取证

相较于同幅图像的拼接篡改，多幅图像间的拼接篡改应用更加广泛，篡改的取材范围也更加多样化。伪造者复制需要体现的一种或多种篡改素材，并将它们移动到待修改图片的合适位置，为使整幅图片获得较好的视觉效果，伪造者往往通过模糊、润饰等修饰操作，来降低图片经过拼接合成所导致的视觉差异，这类篡改模式就是多幅图像的拼接篡改。这类篡改虽然是几幅图像的精心合成，但是无论图像经过如何细致的修饰，合成后的图像经过对不同主体的特征分析和特征

提取,总会呈现出整体上的不一致性,研究者们主要应用这些特征对这类篡改进行分析取证。Tian-TsongNg 提出利用双向干谱和相位特征等进行检测<sup>[70]</sup>,辨识成功率为 72%。Shi 等研究提出了以小波分解特征函数矩为统计特征的自然图像模型<sup>[71]</sup>,并利用 Hilbert-Huang 时频分析变换检测待检图像的非线性特征和非平稳特征,辨识成功率达到 80.15%。Chen 等提出了基于拼接图像二维相位一致性的辨识方法<sup>[72]</sup>,利用小波矩特征和二维相位一致性特征量来辨识拼接图像,辨识成功率达到 82.32%。

拼接篡改的生成图像中会存在一些固有的规律和特征,这些特征很多都可以应用于图像篡改鉴定中,图像被篡改时,图像固有的规律和特征也会受到不同程度的破坏,因而研究者们可以通过统计这些固有特征的一致性来判断图像是否经过篡改。如针对由相机拍摄得到的数字图像,他们的噪声水平<sup>[73]</sup>、差值算法<sup>[74]</sup>等统计特征会遵循特定的规律,还有拍摄时的光照强度变化等规律,都被用来检测图像篡改。一些研究者还提出利用图像纹理复杂度、图像重采样特征量等对图像进行篡改取证<sup>[75]</sup>。

当前,研究最深入的图像篡改鉴定统计特征是 JPEG 压缩特征。JPEG 格式是数字图像最常见的格式之一, JPEG 图像的应用范围广泛,现有的成像设备、各种各类网络浏览器、图像处理软件等均支持和适用 JPEG 格式的图像, JPEG 格式图像的优点是能够把图片所占空间压缩至 10%至 20%,且图像的画质和细节方面的损失并不明显,这满足了人们对数字图像的使用需求,但从另一方面来说,为了压缩图像占用空间, JPEG 格式图像在保存图像主要信息的同时,会丢弃一些人眼视觉不敏感的细节信息来压缩图像大小,这种方式为伪造者模糊篡改痕迹提供了便利条件,这也导致了伪造者对该格式的图像伪造最为关注。数码设备生成的 JPEG 格式图片一般只经过一次 JPEG 压缩,而篡改者要修改 JPEG 格式图片,必须将此图片在图片编辑软件中进行加载并进行相应修改,然后再对此图片进行一次 JPEG 压缩存储,这样篡改后的图片就经过了两次 JPEG 压缩,研究者就是利用 JPEG 压缩特征对 JPEG 格式图像进行篡改鉴定研究。Yi L.Chen 等人对单次 JPEG 压缩和二次 JPEG 压缩过程中的图像 DCT 变换系数进行量化研究,提出构建量化噪声模型来区分单次、二次压缩图像的算法<sup>[76]</sup>; FaridH.等人提出了基于 JPEG 压缩因子的 JPEG 合成图像检测算法<sup>[77]</sup>; Fridrich 等人提出了使用 DCT 变换系数的低频部分来构造特征量,并进入 SVM 分类器来进行区分的检测算法<sup>[78]</sup>; Zhang 等人提出了基于 DCT 变换系数双重量化效应的检测算法<sup>[79]</sup>,该方法能够较好的定位出被篡改区域,辨别成功率较高。

### 2.3.2 图像获取设备篡改取证

现有的数字图像成像设备有数码相机、摄像头、拍照手机、扫描仪等,图像

来源认证就是在来源信息未知的情况下,对待检图像进行特征分析,进而判断成像设备类型和品牌的一种技术。图像来源认证是数字图像取证的重要组成部分,从认证技术的本质来看,计算机生成图像鉴定技术和图像来源认证技术的基本检测流程较为类似,而图像来源认证的研究成果能够兼容计算机生成图像的鉴定,因此在本论文的图像被动取证论述中,将这两种认证技术放在一起进行论述。下面介绍几种常见的图像来源认证技术。

### (1) CFA 插值系数

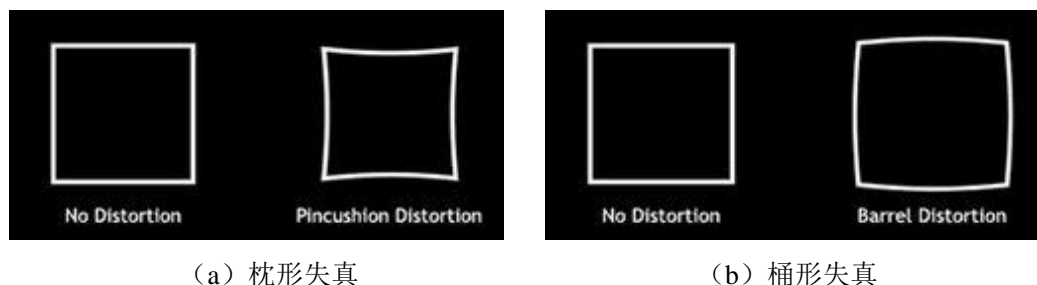
当前,数码相机成像系统研究设计的核心技术是颜色滤波矩阵(Color Filter Array, CFA)模式和插值算法。品牌型号不同的数码相机所使用的 CFA 插值技术各不相同,因此,研究者们能够利用不同器材的数码相机 CFA 模式和插值算法的差异性来鉴别图像来源。Bayram 等人提出了基于 CFA 插值周期性的图像来源认证算法<sup>[49]</sup>,利用线性插值模型得到平滑区域的插值系数等特征量,并通过对图像光滑区域和非光滑区域的特征辨识,得到每个颜色通道谱图和谱图峰值位置,最后,将这些特征量输入 SVM 分类器进行分类,实现对相机来源的辨识,实验数据包括 5 种品牌的数码相机,在所有拍摄相机均选择自动设置和压缩质量最高的情况下,辨识准确率达到 78%。吴旻研究团队提出了与 Bayram 的结论相反的 CFA 插值辨识数码相机源算法<sup>[80]</sup>,他们研究发现,成像来源不同的数码图像所采用的插值技术在平滑区相似度较高,因此他们在估算每个颜色通道的差值系数时,只选择水平或垂直边缘的非平滑区域,将这些特征量输入 SVM 分类器,通过对 9 种品牌 19 个型号的相机进行实验,算法对图像来源的辨识准确率高于 Bayram 等人。

### (2) 传感器噪声

传感器是数码相机最重要的组件之一,各类品牌和型号的数码相机在拍摄图片过程中,由于数码相机中传感元件的差异性,都会引起传感器噪声。传感器的模式噪声是传感器的重要特征之一,它的优劣取决于传感器所用的材料和生产工艺。噪声模式对每个相机具有唯一确定性,因此研究者们可以通过提取模式噪声特征量进行图像来源鉴定,若待检图像中存在未检测出应有的模式噪声的区域,则认为该图像被篡改。Lukas 等人研究指出<sup>[81]</sup>,模板噪声中的光响应非一致性噪声(PRNU)可以作为传感器的唯一确定性特征量。他们将已知拍摄相机的图像或拍摄自同一相机的多幅图像低通滤波后的噪声差值平均得到 PRNU 估计,将此估计与待检图像的噪声相关联,进行概率分析和阈值比较,通过衡量二者的相关度来鉴别相机的品牌和型号。Chen 为 PRNU 信号的提取和来源鉴定建立了统一框架<sup>[82]</sup>,他们通过最大似然准则估计得出 PRNU 信号特征量,并提取 PRNU 特征量建立统计信号估计模型,通过相关度检测,有较高的辨识度。

### (3) 光学镜头畸变参数

一般来说, 光学镜头在成像过程中, 会发生光学透镜固有的透视失真现象, 且因为光学透镜特有的凸透镜汇聚光线、凹透镜发散光线的特性, 这种失真只能改善, 无法从根本上消除。当前, 世界范围内最高质量的光学镜头在严格条件下进行测试, 镜头边缘也会发生不同程度的失真和畸变。最常见的两种径向畸变为枕形畸变(Pincushion Distortion)和桶形畸变(Barrel Distortion), 如图 2-6 所示。枕形畸变是由镜头引起的枕形失真, 这种失真的成像画面呈现向中间“收缩”的现象。市面上常见的品牌数码相机的枕形失真率通常为 0.4%。桶形畸变是由镜头引起的桶形失真, 由光学镜头的透镜物理性能以及镜片组结构引起, 这种失真的成像画面呈现桶形向中间“膨胀”的现象。市面上常见的品牌数码相机桶形失真率通常为 1%。研究者们提出了利用光学镜头径向失真进行源辨识的方法, Choi 等人研究发现<sup>[83]</sup>, 基于直线特征的径向失真参数能够较好的分析光学镜头失真特征, 他们将此参数与颜色滤波差值 CFA 特征量相结合, 输入 SVM 分类器来区分机的品牌和型号, 分类表现优于单独使用 CFA 差值的取证算法<sup>[84]</sup>。使用光学镜头畸变参数作为特征量进行图像来源取证实实现方法相对简单, 也较为实用, 但由于畸变参数提取自数码相机的拍摄焦距, 而品牌和型号不同的数码相机在拍摄过程中, 会有一定的几率出现不同焦距下拍摄照片存在程度相同畸变的可能, 因此使用镜头畸变参数鉴定相机来源也存在着一一定的误检率。



(a) 枕形失真 (b) 桶形失真  
图片 2-6 枕形失真和桶形失真效果图  
Figure2-6 Impression drawing of pincushion distortion and barrel distortion

当前, 数字图像来源认证受到越来越多的关注, 这方面的算法多数是基于成像设备中物理器件的成像特征或者是依靠相机成像后处理过程中使用的参数进行取证。Dirik 等人提出基于镜头灰尘引起的像素值变化特征的鉴定算法<sup>[85]</sup>, Farid 提出基于 JPEG 量化矩阵检测数码相机来源的分类方法<sup>[86]</sup>, 图像来源认证领域的研究正在越来越受到重视。

### (4) 计算机生成图像的鉴别技术

随着计算机图像处理技术的快速发展, 越来越多的计算机绘图软件被开发使用, 有经验的操作人员使用计算机绘图软件生成的图像和现实中拍摄的真实图像相差无几, 足以“以假乱真”。计算机生成图像的制作方法如下: 首先根据期望的



形态构建 3D 多边模型模拟图，其次为模拟图添加颜色、纹理、细节效果等，并照射模拟光源，进行光影处理，然后将修饰后的模型送入软件的虚拟照相机进行成像，最后生成最终图像。图 2-7 展示了两张 100% 由计算机制作生成的图片，毫无 PS 痕迹，逼真的效果让人分不清现实和虚构。但从实际应用看，这种高仿真的计算机生成图片如果在法庭举证、科学研究、新闻媒体中出现，真伪性鉴别就非常重要了。



图 2-7 计算机生成图像

Figure2-7 Computer generated images

操作人员在制作计算机生成图像时，会使用多种绘图工具、运用各类制图技巧来对图像进行处理和修饰，这就导致了计算机生成图像的连续性、一致性、相关性等特征具有很大的随机性，也就是说，计算机生成图像不存在固定的生成模式，仅与操作人员和制图题材相关。但对于使用成像设备拍摄的自然照片来说，由于各种成像设备在制造工艺和成像规则等方面的差异，其表现出来的各种统计特征会呈现一定的规律性，这些特性的分类分析和取证，就是计算机生成图像的鉴定方法。

在计算机生成图像鉴定过程中，一般需要对待检测图像进行特征提取处理，通常处理方式是采用离散小波变换（DWT）、离散傅立叶变换（DFT）或者离散余弦变换（DCT）的方法，把图像从空域映射到频域，按照约定的规则集聚阶数、频率、系数分布等图像特征信息，对这些特征信息进行分类统计分析，并放入学习好的特定分类器中进行图像的鉴定取证。

Hany Farid 最早提出了基于图像小波多尺度分解变换的检测方法<sup>[87]</sup>，将分解后的高阶小波特征如均值、方差、偏态、峰态等图像统计特征利用线性分类器 FLD 进行分类，用于计算机生成图像的鉴定取证。Farid 给出了计算机生成图像鉴定取证的一般流程，该流程被公认为这一领域的标准流程，如图 2-8 所示。

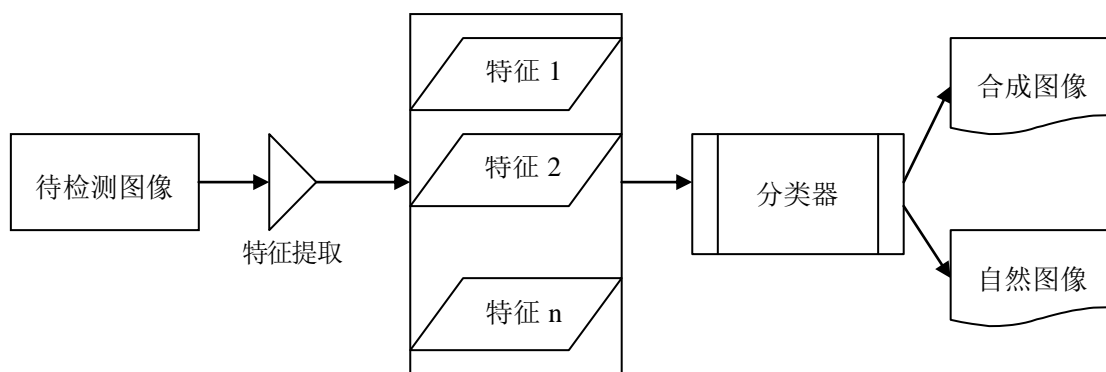


图 2-8 计算机生成图像鉴定取证一般流程

Figure2-8 General process of computer generated image identification

Shih-Fu Chang 等人深入研究了计算机生成图像与自然图像在光线传播、目标物体、获取方式等方面的差异特征点<sup>[88]</sup>，并将这些特征点提取几何不变量矩特征来进行反映，辨识率达到 70%，Ng 等人对计算机生成图像获取过程进行深入研究<sup>[89]</sup>，发现计算机生成图像和自然图像在锐利边缘、伽玛校正等特征量上存在差异，由此提出了基于矢量矩的分类算法，辨识率达到 83.5%。

王颖等人研究发现<sup>[90]</sup>，计算机生成图像在经过渲染后，在场景、色彩细微变化等细节方面差异于自然图像，这就导致计算机生成图像可能同时存在着相当比例的高频子带和低频子带，通过分析特征量的小波高阶特征有效性，并用 SVM 对图像分类，用此种算法检测图片库<sup>[91]</sup>中图片，在 0.1%虚警率的情况下检测成功率达到 100%，并且特征量的提取和检测时间都大幅度缩减。Chen 等人提出一种基于图像颜色空间和纹理特征的分类算法<sup>[92]</sup>，他们实验得出，计算机生成图像的纹理区域包含的色彩相对较少，并且色彩的变化相对平缓，通过 HSV 色彩空间对预计残差特征和特征函数矩特征等特征量进行分类，检测包括图片库<sup>[91]</sup>中的图片，检测成功率为 82.1%。

### 2.3.3 模糊润饰篡改取证

图像的模糊润饰篡改是一种不生成新的元素，只对原始数字图像的部分区域产生影响的篡改行为，这种篡改行为只对图片进行温和的修饰处理，对照片产生的影响比较轻微，主要在写真照、艺术照、婚纱照等中应用，让图片看起来更加“美好”。模糊润饰篡改通过调整原始图像特定部分的背景、对比度、颜色等手段，按照操作者需求突出或模糊图像的某部分内容，达到修饰图像的目的。如图 2-9 所示，左图调整了女士衣服的颜色和图片的对比度，右图调整了图片的对比度和饱和度，并进行了背景模糊处理。





图 2-9 图像模糊润饰篡改效果图

Figure2-9 Tamper with blur or retouch image

下面介绍两种模糊润饰类篡改常用篡改操作手段的鉴定技术。

#### （1）面向模糊篡改的取证技术

模糊篡改是经常被使用的一种润饰篡改操作手段，模糊操作的处理方法是将选定区域内的像素在特定的颜色通道上进行平均化处理，该方法能够减小图像拼接处的边缘视觉反差，使原本差异明显的区域原有的对比特征、梯度特征减小，变得更具有接续性。研究者们对模糊操作的篡改检测正是基于模糊操作能够让物体的边缘特征降低这种变化特性。实验证明，同态滤波可以对模糊操作形成的边缘特征进行有效的放大和增强，因此面向模糊篡改的检测一般都先采取同态滤波法放大边缘特征，再采用边缘腐蚀法检测正常边界，进而实现对模糊篡改的定位和取证。

Tong 等人提出一种基于小波变换的检测算法<sup>[93]</sup>，该算法采用小波变换将图像变换到小波域，然后通过对比分析整幅图像和局部区域来实现模糊篡改检测，周琳娜等提出了一种基于图像形态学滤波边缘特性的检测算法<sup>[58]</sup>，对篡改数字图像的模糊操作辨识成功率较高；王波等提出了基于异常色调率的检测算法<sup>[94]</sup>，通过分析成像系统和模糊操作在图像局部色彩属性上的差异，对模糊篡改进行有效辨识。

#### （2）面向图像重采样的取证技术

篡改者在经过一系列篡改操作后，为掩饰伪造图像中的篡改痕迹，经常会采取旋转、缩放等润饰处理操作对图像中的篡改部分进行修饰，这些操作会在伪造图像中留下重采样的痕迹，图像重采样的过程从本质上来说是图像恢复的过程，经过重采样后，数字图像变成了原始图像信号和周期信号的叠加。这种操作不会引起视觉差异，但常常伴随图像插值操作，从而使得重采样后的篡改图像区域相邻像素的相关性发生变化，现有的重采样篡改取证技术大多是基于改变实现的。Popescu 和 Farid H.利用 EM 算法检测重采样操作<sup>[95]</sup>，他们研究各个相邻像素线性相关概率的周期排列模式，进而识别相关图像区域是否进行了重采样操作。Kirchner 等人提出了一种基于线性滤波概率图最大化的重采样识别算法<sup>[96]</sup>，他们

还提出了一种基于 JPEG 图像块效应的检测算法<sup>[97]</sup>，利用噪声原理在 JPEG 图像中添加一定的噪声,主要针对双重压缩图像的重采样问题进行检测，辨识成功率较高。

## 2.4 数字图像被动取证系统（Passive Digital Image Forensics System）

当前，数字图像被动取证技术方面的研究尚处于起步阶段，各相关领域和专业的研究人员由于研究的切入点不同，如数字信号处理、计算机视觉、计算机图形学等等专业对数字图像被动取证系统的理解也不完全相同，世界上也没有经权威机构认可的较为成熟完整的系统理论框架，作者认为，哥伦比亚大学的 Shih-Fu Chang 研究团队最早提出了一种通用数字取证系统框架<sup>[98]</sup>，较有代表意义，如图 2-10 所示。下面对该取证框架作简要介绍。

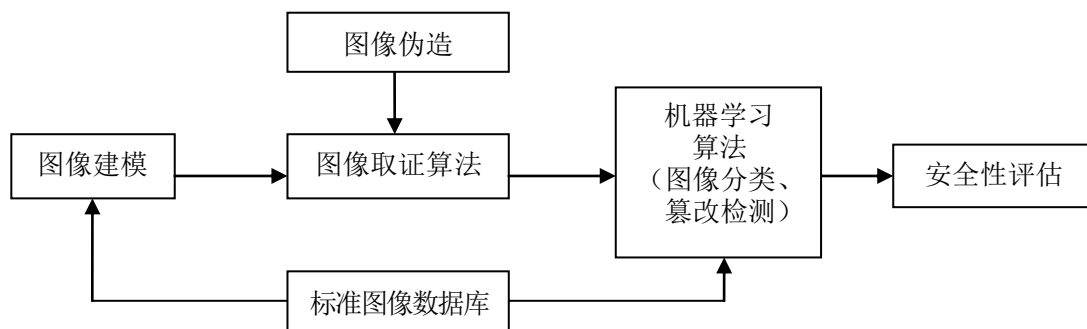


图 2-10 数字图像被动取证系统框架（Shih-Fu Chang 研究团队）

Figure2-10 System frame of passive digital image forensics（The research team of Shih-Fu Chang）

### 2.4.1 图像建模

图像建模就是数字图像被动取证需要建立的图像模型，主要目的是为了找到独立于图像内容、成像过程及物理过程等方面的不变特征，并提取出特征量，再运用这些特征量进行数字图像取证。对数字图像被动取证的图像建模来说，最重要的问题是如何从图像中提取出模型的特征量，这些特征量应该对缩放、旋转、增强、模糊等常规性操作具有不敏感性即鲁棒性，如提取图像的小波变换系数、功率谱、异常色调率、DCT 系数、CCD 模式噪声、相机镜头失真、目标物体色温一致性等。提取出的用于图像建模的特征应满足稳定性好、提取速度快、区分能力强等特点。

### 2.4.2 图像数据库

在数字图像被动取证领域，一个完整可靠的标准图像数据库对于图像建模及取证算法、图像检测等都非常重要。在通用的图像数据库平台上，研究者可以方便的使用标准图像开发算法和比较检验算法的优劣，目前，世界上还没有公认的

标准图像库，比较常用的是 Columbia 大学多媒体研究室提供的两个数字图像标准数据库：图像拼接检测评估数据库和自然图与计算机生成图数据库<sup>[99]</sup>。图像拼接检测评估数据库中的图像主要用于检测图像拼接实验，包含了大小为 128×128 的 933 幅原始图像和相同大小的 912 幅拼接合成图像。自然图与计算机生成图数据库主要包含大量自然图像和计算机生成图像，该图像数据库分成四个子库，分别为 800 幅来源于网络的计算机生成图像；800 幅来源于摄影者拍摄的图像；800 幅来源于 Google 上搜索得到的图像；800 幅对计算机生成图像进行重新拍摄后得到的图像，这些图像包括建筑、人物、场景、体育、物体、生活、自然景色等。这两个数据库虽然为数字图像取证实验提供了方便，为数字图像拼接研究和计算机生成图像鉴别方面提供了较为可靠的资源，但随着数字图像取证范围的扩大和相关研究的深入，为了应对越来越方式多变的数字图像被动取证研究，人们还需要扩充更多不同类型的图像资源进入图像数据库，如需要增加对不同品牌和型号的成像设备所生成图像的识别，对图像增强操作、边缘模糊操作的识别等，来对标准图像数据库进行尽可能多的扩展。

### 2.4.3 图像取证算法

现阶段已有很多种类的数字图像被动取证算法，如 copy-move 检测、图像模糊操作检测、图像设备来源检测等算法，都已经被开发应用，但本文通过对现有算法的深入研究，发现绝大部分取证算法的针对性都很强，都具体针对于某一种具体的图像篡改手段，而现实中经篡改的图像，篡改者经常会综合运用多种篡改手段对图像进行篡改伪造，因此，目前针对性强、较为单一的检测取证算法很难对综合运用多种伪造手段的图像进行取证，在该领域中，目前对已有的取证算法还没有一个比较公认、确定的分类。

现有的图像被动取证算法按照研究方向主要可以分为三类，第一类是基于篡改遗留痕迹、篡改引入特征的取证算法，这类算法主要通过检测图像呈现的特定特征实现取证，需要对图像中每个较小的特征检测单元进行遍历覆盖，当检测到图像中的相关信息出现特定特征时，就认为图像存在相应类型的篡改，这类算法普遍耗时较多，对复合篡改和专业篡改的有效性较低。第二类是基于统计特征的取证算法，这类算法主要通过检测篡改图像在统计特征上的变化来实现取证，如图像的噪声特征、色温特征等，由于篡改图像中的统计特征变化很难被掩盖，因此这类技术具有较强的鲁棒性，对复合篡改和专业篡改的辨识度较高。第三类是基于局部特征的取证算法，这类技术通过对局部图像和整幅图像的成像特征、光照特征等进行特征分析估计，综合得出取证结论，这类算法对经过后期渲染、润饰等操作的复合篡改有较高的鲁棒性。

## 2.5 图像被动取证发展趋势（Development of Passive Digital Image Forensics）

数字图像被动取证是近年来兴起的热门研究领域之一，目前越来越多的研究者积极投入该领域进行深入研究，并在其中的一些关键技术上取得了重大进展，但总体看来，目前图像被动取证的研究步伐还是落后于图像篡改日益繁复的操作手段。随着图像篡改的手段越来越多样化，这些篡改手段经常被综合运用到同一幅伪造图像中，这就使得目前较为单一的篡改检测技术难以应对。

从现实应用看，目前对图像被动取证的研究较为散乱，统一的公认的标准尚未形成，已经实现的篡改取证技术还较为单一，且复杂度较高，只能够检测出特定类型的篡改，难以应对经过多种篡改手段进行综合篡改的图像取证，作者认为，数字被动取证未来的方向是提出完整的图像取证系统模型，建立统一客观的取证评价体系 and 设计规范，逐步研究出基于智能分类的全方位取证分析综合系统，为数字图像内容安全提供有力保障。

## 2.6 本章小结（The Chapter Summary）

本章系统介绍了数字图像取证的相关理论，如定义、产生、分类、发展现状和主要应用等。阐述概括了图像被动取证技术的技术分支，总结分析了常见的数字图像篡改类型，介绍了国内外图像被动取证经典算法，研究讨论了现有技术相应的优缺点和适用范围，并给出了数字图像被动取证的系统理论框架，简要阐述了图像建模、图像数据库和图像取证算法的相关理论。最后提出图像被动取证的发展趋势。

### 3 基于解析稀疏表示的图像模糊无参考快速评价算法

### 3 Fast No-reference Image Blur Assessment Based on Analysis Sparse Representation

随着信息技术的发展,图像处理技术广泛应用各个领域。然而,数字图像在获取、压缩、处理、储存和传输的过程中都会不可避免地受到各种各样的失真,导致视觉质量的下降。图像质量评价可用于图像处理算法的性能评价和实际应用中的图像质量监控,因此具有重要的理论和现实意义。对图像质量的评价可以通过主观和客观的方式实现,主观质量评价通过人眼观察判断图像质量的好坏,客观评价方法则是通过对图像失真建立评价模型来实现。由于人眼是图像的最终接收器,因此主观评价方法可靠性高。但在实际环境中存在大量图像,因此主观评价方法效率低,不适合于实时实现。近年来,图像质量评价得到了广泛的研究,而符合人类视觉系统(HVS)特性的客观质量评价方法是图像质量评价的核心问题。本文的第一章对图像质量评价的方法已经进行了较为全面的阐述。

客观质量评价根据鉴定时对原始图像的需求情况,可分为全参考、半参考和无参考质量评价<sup>[100,101]</sup>。全参考和半参考质量评价方法全部或部分依赖原始图像信息,通过对待检测图像和原始图像之间的比较,计算二者间的差异程度,来评价待检测图像的质量。当前,这两种类型的算法研究相对成熟,已知算法较多。但在现实工程应用中,很多需要评估图像质量的场合无法提供原始参考图像,因此,不需要原始图像任何信息就可以对失真图像进行评价的无参考图像质量评价方法具有更高的实用价值,挑战难度也更高。本论文下面的章节将重点研究几种特定失真类型的图像质量无参考评价算法。

#### 3.1 模糊产生的原因 (Cause of Image Blur)

模糊是自然图像中最常见的一种失真,对图像质量有重要的影响。在现实情况下,相机对焦不准、目标运动、图像压缩等因素都会造成图像的模糊。虽然造成模糊的原因各不相同,但是模糊的图像中一般都伴随着边缘的变宽,高频部分的能量也相应地衰减。通常,可以采用以下的数学模型表示图像的模糊失真<sup>[124]</sup>:

$$g(x,y) = f(x,y) \otimes d(x,y) + n(x,y) \quad (3.1)$$

其中,  $f(x,y)$  表示原始图像,  $d(x,y)$  表示点扩散函数 (PSF) <sup>[125]</sup>,  $n(x,y)$  表示噪声信号。不同类型的图像模糊产生原因不同,所对应的点扩散函数  $d(x,y)$  也不相同,下面介绍几种比较常见的模糊类型:

##### (1) 散焦模糊

散焦模糊的主要原因是，图像在获取的过程中聚焦不准确。散焦模糊又称离焦模糊，其数学模型可表示为<sup>[126]</sup>：

$$d(x, y) = \begin{cases} 1/\pi R^2, & x^2 + y^2 \leq R^2 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3.2)$$

从上式可以看出，散焦模糊的点扩散函数  $d(x, y)$  相当于一个圆内的灰度值的均值计算。系统的离焦量越大，图像越模糊。

#### (2) 运动模糊

运动模糊的产生原因是成像设备在成像过程中，在 CCD 传感器的感光时间内与所拍摄的对象间发生了相对位移，从而导致了图像在发生相对位移方向上产生了模糊现象。其数学模型可表示为：

$$d(x, y) = \frac{1}{L} \Pi_L(x \cos \theta + y \sin \theta) \quad (3.3)$$

其中， $L$  表示相对运动的距离， $\theta$  为模糊方向角， $\Pi_L(u)$  是阶跃函数，即

$$\Pi_L(u) = \begin{cases} 1, & (|u| \leq L/2) \\ 0, & (|u| > L/2) \end{cases} \quad (3.4)$$

#### (3) 高斯模糊

高斯模糊是一种最常见的模糊形式，在 Photoshop 等图像处理软件中，该模糊被广泛用于减少图像噪声。用高斯低通线性平滑滤波器对原始图像进行滤波操作能够得到高斯模糊。该模糊的点扩散函数为：

$$d(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (3.5)$$

其中， $\sigma$  是高斯分布的标准差。

#### (4) 压缩模糊

图像在传输和处理等过程中，通常会进行有损压缩处理，这必然会引起图像信息的丢失。压缩算法不同，丢失的图像信息也不同，所以压缩模糊没有固定的数学模型，其点扩散函数视压缩算法情况而定。

### 3.2 现有的图像模糊质量评价算法 (Existing Image Blur Quality Evaluation Algorithm)

通过前述章节对图像质量评价的研究背景及意义的综合概述，我们知道不需要参考信息的无参考图像质量评价在实际中的应用最为广泛。本小节主要是对现有的无参考模糊图像质量评价方法的简介。目前的无参考模糊图像质量评价算法

大致可分为三类：常规的模糊图像质量评价方法、基于构造参考图像的评价方法、基于机器学习和人工神经网络的评价方法<sup>[127-129]</sup>。本节就这三种模糊评价方法中的一些典型进行简单介绍。

#### (1) 常规的模糊图像质量评价方法

##### ①空间域的方法

Marziliano 等提出了一种空间域的方法<sup>[102]</sup>，通过描述图像中边缘的宽度计算模糊分数。该方法使用 Sobel 检测算法进行边缘检测，并通过寻找各个边缘两侧最近的局部极值点确定边缘宽度，最后将边缘宽度的均值作为图像的模糊分数。但在现实情况中，由于受到噪声的影响，对局部极值点的确定会存在较大的误差，而且这种方法受图像模糊程度的影响较大，当图像模糊程度较高时，边缘检测难以实现，因此，这种图像模糊评价方法相对来说准确度不高。

Ferzli 等基于空间域的方法提出了一种恰可察觉模糊（Just Noticeable Blur, JNB）模型<sup>[103]</sup>，首先从图像中筛选出含有边缘的图像块，然后将图像块中边缘的宽度和局部对比度输入概率求和模型，得到模糊分数。Narvekar 等随后对这一模型进行了改进，提出模糊检测的累计概率模型（Cumulative Probability of Blur Detection, CPBD），性能得到进一步的提升<sup>[104]</sup>。

Bahrami 等提出了一种基于最大局部变化（Maximum Local Variation, MLV）的图像模糊快速评价算法<sup>[107]</sup>，在这个方法中，定义每个像素相对于其 8 邻域像素的最大强度的变化为最大局部变化（MLV），用像素的 MLV 的分布表示图像的清晰度。MLV 的定义如下：

$$\psi(I_{i,j}) = \{\max |I_{i,j} - I_{x,y}| | x = i-1, i, i+1; y = j-1, j, j+1\} \quad (3.6)$$

其中， $I_{i,j}$  表示图像  $I$  中位置为  $(i,j)$  的像素， $I_{x,y} (i-1 \leq x \leq i+1, j-1 \leq y \leq j+1)$  表示  $I_{i,j}$  的一个 8 邻域像素。

由于较大的像素变化强度比小的像素变化强度能更好的表示图像的清晰度，所以可以通过对于像素的 MLV 值进行加权的方式提升算法的性能。具体来说，就是给大的 MLV 值分配大的权重，改善 MLV 的分布，从而提高其对于不用的模糊程度的描述能力。最后，以加权后的 MLV 分布的标准差作为衡量图像的模糊程度的指标。

##### ②频域的方法

Hassen 等提出了一种新颖的基于局部相位相干性（Local Phase Coherence, LPC）的模糊评价方法<sup>[106]</sup>。他们研究发现，模糊会破坏 LPC 的结构，因此 LPC 的强度可用于描述图像中模糊的强弱。通过在目前国际通用的四个图像质量数据库上进行的实验仿真表明，该算法的性能较高，并且具有很高的计算效率。

### ③频域和空域相结合的方法

Vu 等提出了一种基于光谱和空间清晰度 (Spectral and Spatial Sharpness, S3) 的模糊评价算法<sup>[105]</sup>, 将频域和空域相结合, 在频域利用图像局部幅度谱的梯度衡量模糊造成的高频能量衰减, 同时在空域利用全变差描述局部对比度对模糊的影响。这两个因素的结合在图像模糊评价中获得了较为理想的效果。

#### (2) 基于构造参考图像的评价算法

Phan 等中提出了一种基于构造参考图像的模糊评价算法<sup>[127]</sup>, 该方法主要应用的是无参考图像质量评价方法常用的结构相似度 (SSIM) 算法。所谓 SSIM 算法, 主要思路是对参考图像和失真图像进行相关的计算, 得出两者的亮度、对比度等图像信息, 并加以对比分析。该方法的设计思路是, 由于清晰图像所含有的高频信息比模糊图像更多, 而图像的细节特征主要存在于高频信息中, 因此对于模糊图像的质量评价应当着重参考图像的高频信息。主要步骤如下:

①构造参考图像。对待评价的模糊图像进行高斯低通滤波处理, 得到的图像就是所需的参考图像。

②计算方差。首先计算参考图像和待评价图像的梯度, 然后对其进行分块, 计算图像块的方差。梯度图像块的方差越大, 说明其包含越多的高频信息, 即体现越多的图像细节。求出方差最大的 N 块, 其中 N 由实验设定, 通常设  $N = 64$ 。

③计算参考图像和待评价图像的 N 个梯度图像块之间的结构相似度 SSIM 值, 得到模糊图像质量评价分数 NRSS:

$$NRSS = 1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SSIM(x_i, y_j) \quad (3.7)$$

其中,  $x_i$  和  $y_j$  分别表示参考图像和原始图像的具有最大方差值的图像块。

#### (3) 基于机器学习和人工神经网络的评价方法

该类方法首先提取出一个或几个恰当的特征向量, 然后应用支持向量机回归模型或神经网络对其进行训练学习, 得到一个基于机器学习和人工神经网络的图像质量评价模型。

特征提取又可以分为对图像局部特征的提取和对图像全局特征的描述。图像的边缘信息是属于图像的局部特征, 通常使用 Sobel 算子进行边缘检测和提取。在局部特征提取的基础上, 对于所提取的特征信息进行统计处理, 便可以得到描述图像全局的特征值。

Zhu 等提出了一种基于神经网络的无参考模糊图像质量评价方法<sup>[128]</sup>, 该方法对模糊图像边缘特征信息的描述, 是通过建立神经网络模型来实现的, 模型的输出结果就是图像质量值。对于局部特征的整合计算如下:

$$f \equiv \{\varphi_\alpha; \alpha \in \{0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100\}\} \quad (3.8)$$



$$\varphi_\alpha = \left\lfloor \frac{N_F}{100} \alpha + \frac{1}{2} \right\rfloor \quad (3.9)$$

该神经网络的模型采用的是环形反向传播（Circular Back Propagation, CBP）神经网络模型。设模型的输入为  $x = \{x_1, \dots, x_{n_i}\}$ ，其中  $n_i$  的值可以通过输入层连接到每个隐含层神经元  $n_h$ 。第  $j$  个隐含层需要进行以下转换：

$$\alpha_j = \text{sigm}(w_{j,0} + \sum_{i=1}^{n_i} w_{j,i} \cdot x_i + w_{j,n_i+1} \sum_{i=1}^{n_i} x_i^2) \quad (3.10)$$

其中， $j = 1, \dots, n_h$ ， $i = 1, \dots, n_i$ ， $\text{sigm}(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$ ， $w_{j,0}$  是设置的阈值， $\alpha_j$  是神经元激活函数。则输出层的输出值可计算为：

$$y = \text{sigm}(w_0 + \sum_{j=1}^{n_h} w_j \cdot \alpha_j) \quad (3.11)$$

在评价过程中，向量  $x$  为局部特征向量，向量  $y$  为主观质量分数，则该计算模型的最终输出为图像质量的客观质量分数。

目前的图像模糊评价方法主要利用低层次特征，而人眼在分析图像时往往提取更为抽象的高层次特征，因此高层次特征能够提高图像质量评价方法的性能。

### 3.3 解析稀疏表示（Analysis Sparse Representation）

近年来，基于字典的稀疏表示已经在很多模式识别问题中应用并取得了优异的性能。从自然图像中训练得到的字典中的原子与人眼初级视觉皮层（Primary Visual Cortex）中简单细胞的工作机理一致<sup>[108]</sup>。因此，稀疏表示能更好地满足图像质量评价的要求。基于此，本章提出了一种新的基于解析稀疏表示的图像模糊快速无参考评价方法。其主要思想为利用解析字典描述图像中由于模糊带来的高频能量衰减，并通过归一化消除图像内容的影响。在目前通用的图像质量数据库上进行的实验仿真以及与目前主流方法的比较表明本章方法的性能优于现有方法，并且具有很高的计算效率。

目前针对数字图像的稀疏表示主要采用综合字典，其中最具代表性的为 K-SVD 算法<sup>[109]</sup>。这种方法一般利用从图像中训练得到的过完备字典，采用正交匹配追踪（OMP）算法进行图像的稀疏分解。K-SVD 算法已在许多图像识别问题中取得了很好的效果，但其稀疏表示的过程计算复杂度较高，不太适合于对实时性要求较高的无参考图像质量评价问题。在此背景下，解析稀疏表示应运而生，其仍采用从图像中训练得到的过完备字典进行稀疏表示，不同的是，稀疏表示的过程可通过字典与信号的直接相乘实现，无需 OMP 这一过程，因此计算复杂度大大降低。设解析字典为  $\Omega$ ，待表示的信号为  $y$ ，则解析稀疏表示的过程为：

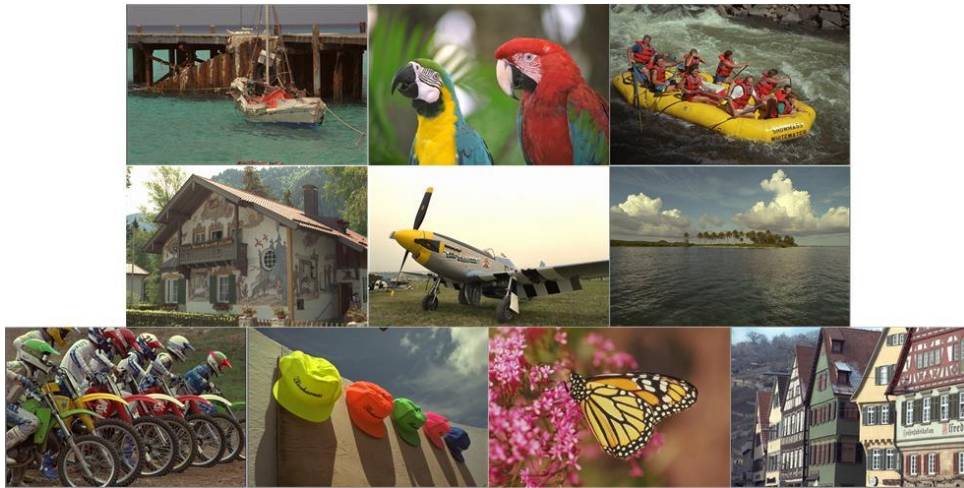
$$x = \Omega y \quad (3.12)$$

其中,  $\mathbf{x}$ 表示稀疏系数向量。图 3-1 所示为本章中使用的训练图像(均为 LIVE 图像数据库中的自然图像)和图形化后的过完备解析字典<sup>[110]</sup>。从图中可以看出,字典中的原子主要为边缘模式,这些原子能够表达稍高层次的图像特征,与人眼初级视觉皮层中简单细胞的工作机理一致。

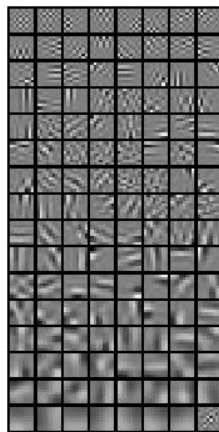
### 3.4 模糊评价 (Image Blur Evaluation)

#### 3.4.1 基于稀疏表示的图像能量表示

图 3-1 给出了解析训练图像与过完备解析字典图,从图 3-1(b)中可以看出,字典中的原子主要表现为边缘模式。由于数字图像中的模糊主要表现为边缘的展宽,因此这些原子能够有效地捕捉到图像中边缘的变化,从而对模糊进行有效的评估。因此,本章将利用解析字典对图像中边缘的能量进行表示。



(a) 训练图像



(b) 解析字典(128×64)

图 3-1 训练图像与过完备解析字典

Figure 3-1 Training image and over complete resolution dictionary

对一幅大小为 $M \times N$ 待评价的彩色图像  $F$ ，首先利用公式（3.13）将其转换成灰度格式：

$$I = 0.299F_r + 0.58F_g + 0.114F_b \quad (3.13)$$

式中 $F_r$ ， $F_g$ ， $F_b$ 分别表示图像 $F$ 的红色、绿色和蓝色分量。

然后，将灰度化后的图像  $I$  划分为大小 $R \times R$ 的分块，分块图像记为 $\{B_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n\}$ ，其中， $m = \lfloor M/R \rfloor$ ， $n = \lfloor N/R \rfloor$ ，分别表示水平和垂直方向图像块的数量， $\lfloor \cdot \rfloor$ 为下取整操作。

在此基础上，利用下式计算各图像分块的梯度 $G_{ij}$ ：

$$G_{ij}^X = [-1 \ 0 \ 1]^T * B_{ij} \quad G_{ij}^Y = [-1 \ 0 \ 1]^T * B_{ij} \quad (3.14)$$

$$G_{ij} = \frac{G_{ij}^X + G_{ij}^Y}{2} \quad (3.15)$$

对梯度块 $G_{ij}$ ，通过解析字典 $\Omega$ 与 $G_{ij}$ 相乘，得到稀疏表示的系数 $X_{ij}$ ：

$$X_{ij} = \Omega G_{ij} \quad (3.16)$$

利用稀疏系数 $X_{ij}$ 计算图像梯度块 $G_{ij}$ 的能量如下：

$$e_{ij} = \langle X_{ij}, X_{ij} \rangle \quad (3.17)$$

图 3-2 中给出了五幅自然图像及其相对应的块能量的分布，其中(a)-(c)为前景与背景存在较大差异的图像，(d)-(e)为前景与背景差异较小的图像。(f)-(j)为(a)-(e)自然图像分别对应的块能量分布图（块能量分布图放大到与原始图像相同大小显示），由图像可以看出，无论是对于背景和前景存在较大差异的图像还是差异较小的图像，高能量图像块均主要集中在图像中的清晰边缘区域。因此，本章中所提出的基于解析稀疏表示的图像能量能够客观地反映图像中不同区域的模糊情况。

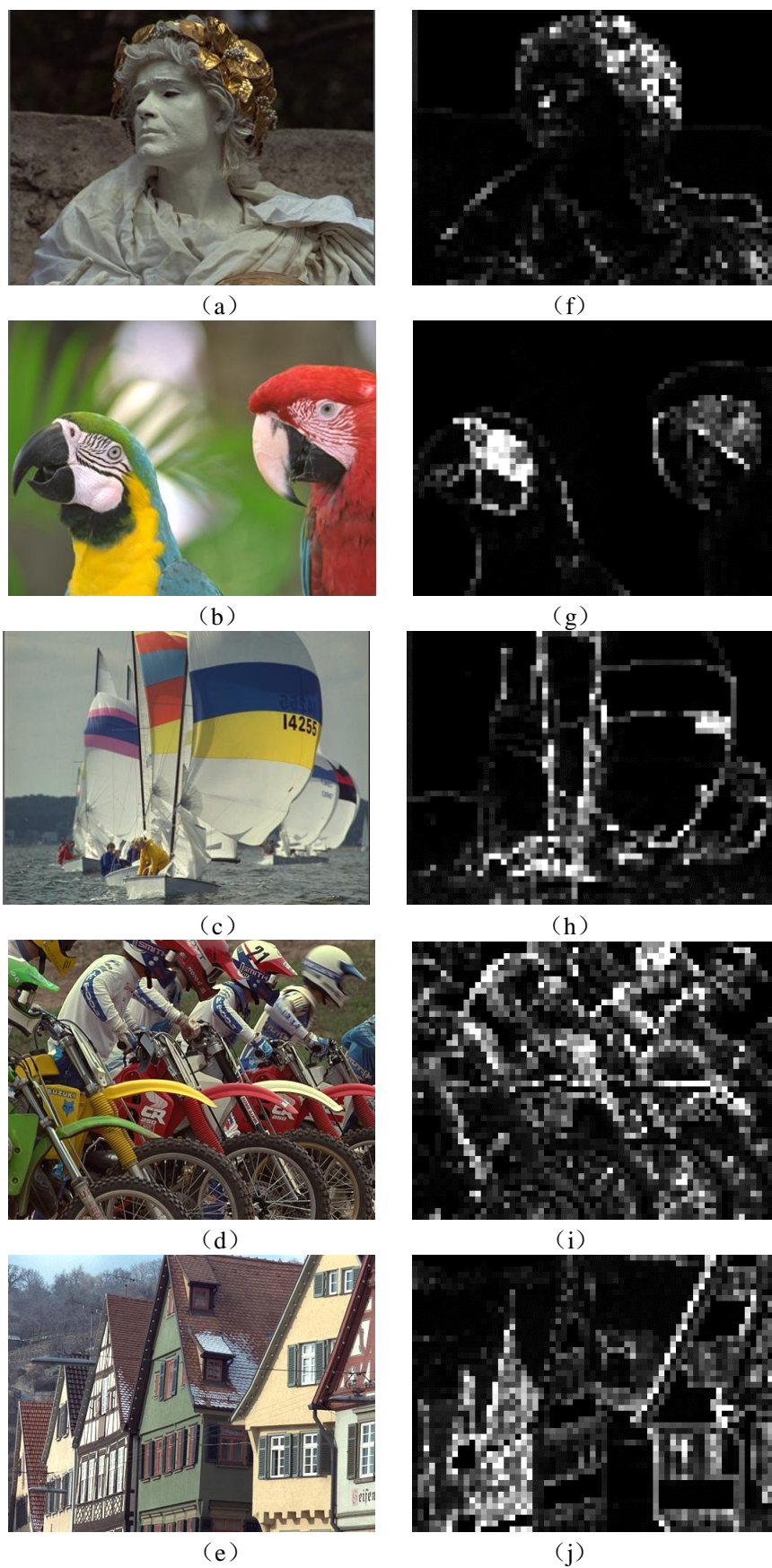


图 3-2 自然图像及其块能量分布图

Figure 3-2 Natural images and their block energy distribution

### 3.4.2 基于图像分块标准差的归一化

人眼视觉系统在判断图像的模糊时可以自动消除图像内容的影响，而图像的能量受内容的影响很大，因此要在不同内容的图像上得到客观的图像模糊评价度量，就需要尽量减少图像内容的影响。基于上述考虑，本章采用图像分块的方差对能量进行归一化：

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n e_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2} \quad (3.18)$$

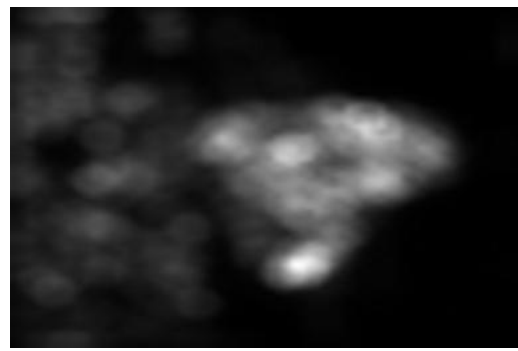
公式(3.18)中， $e_{ij}$ ， $\sigma_{ij}^2$ 表示第 $(i, j)$ 个图像块的能量和方差。 $Q$ 为模糊图像分数。由于纹理复杂图像的能量一般较大，而其相应的分块反差也较大，因此通过图像分块的归一化可以减少图像内容对评价结果的影响，获得与人眼感觉更为一致的模糊分数。

### 3.4.3 基于视觉显著性的加权处理

图像中的不同区域对图像模糊的评价有着不同的影响，人眼在观察图像时首先关注的区域对图像的清晰度/模糊评价影响最大。视觉显著性检测通过计算机模型来模拟人类视觉系统，观察时对一幅图像中的不同区域关注优先级。一幅图像中人眼首先关注的区域是视觉显著性强的区域，也是对图像的模糊度和清晰度评价最为重要的区域。因此，可以借助图像的视觉显著性图对生成图像模糊分数的过程进行指导，即对公式(3.18)中的图像块能量（分子）和块方差（分母）赋予不同大小的权值。具体来讲，处于视觉显著性较强区域中的分块，赋予较大的权值；视觉显著性较弱区域中的分块，赋予较小的权值。



(a) 原始图像



(b) 视觉显著性图

图 3-3 视觉显著性对图像模糊判断的影响

Figure 3-3 The influence of visual saliency on blur judgment of images



图 3-3 中给出了一幅前景目标清晰而背景很模糊的图像及其视觉显著性图像。从图中可以看出, 尽管图 3-3 (a) 中的图像背景很模糊, 但是由于前景中的蝴蝶 (人眼首先关注到的区域) 很清晰, 因此人眼倾向于将其认定为清晰的高质量图像。从上述分析进一步证实: 要得到与人眼视觉系统更为一致的模糊评价结果, 就需要考虑图像中不同区域对模糊评价的不同影响。图 3-3 (b) 中为利用频谱残差模型<sup>[111]</sup>计算的视觉显著性图。可以看出, 人眼首先关注的是前景中的蝴蝶, 然后是花丛, 而对背景的关注度很低, 因此视觉显著性的检测结果能很好地反映图像中不同区域的视觉显著性程度, 可据此在图像的模糊评价中赋予不同的权值。

本章所述算法结合视觉显著性, 以得到更符合人眼视觉系统特性的模糊评价结果。将待评价图像的视觉显著性图记为  $W = \{W_{ij}\}$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $j \in \{1, 2, \dots, N\}$ , 并将其缩放到与图像块的分布相同大小, 标记为  $\tilde{W} = \{\tilde{W}_{ij}\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , 得到最后的图像模糊分数:

$$Q_{final} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{W}_{ij} \cdot e_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{W}_{ij} \cdot \sigma_{ij}^2} \quad (3.19)$$

由公式 (3.19) 得到的图像模糊分数随着模糊程度的增强而减小。本章中, 我们采用文献<sup>[111]</sup>方法中的基于频谱残差 (SR) 的视觉显著性来检测模型。

## 3.5 实验结果与分析 (The Experiment Results and Analysis)

### 3.5.1 实验设置

通过采用国际通用的四个图像质量数据库对算法的性能进行实验, 包括 LIVE<sup>[112]</sup>、CSIQ<sup>[113]</sup>、TID2008<sup>[114]</sup>和 TID2013<sup>[115]</sup>。四个数据库中共含有 520 幅通过高斯低通滤波获得的模糊图像, 其中 LIVE 中 145 幅, CSIQ 中 150 幅, TID2008 中 100 幅, TID2013 中 125 幅。各个数据库中均提供了每个图像对应的主观质量分数, 其中 LIVE 和 CSIQ 采用差分平均意见分数 (DMOS), TID2008 和 TID2013 中采用平均意见分数 (MOS)。

实验中使用的软硬件设置:

Intel Pentium CPU, 主频 3.20 GHz, 内存 4GB

操作系统: Windows 7, 64 位

MATLAB 版本: R2013b

使用常用的三种标准来衡量算法的性能, 包括皮尔逊线性相关系数 (PLCC)、斯皮尔曼等级相关系数 (SRCC) 和均方根误差 (RMSE)。一般地, 好的质量评价算法有较大的 PLCC 值、SRCC 值, 以及较小的 RMSE 值。PLCC 和 RMSE 用于衡量算法评价的准确性, SRCC 用于衡量评价的单调性。在计算 PLCC 和 RMSE 之前, 需要首先将模型分数与主观分数映射到相同的尺度, 本文中采用四参数非

线性拟合方式:

$$f(x) = \frac{\tau_1 - \tau_2}{1 + e^{(x - \tau_3)/\tau_4}} + \tau_2 \quad (3.20)$$

其中,  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$  为需要拟合的参数。性能优良的算法会产生较大的 PLCC 和 SRCC 值, 较小的 RMSE 值。

### 3.5.2 性能分析

本章算法在 LIVE、CSIQ、TID2008 和 TID2013 四个图像库上的拟合曲线如图 3-4 所示, 其中每个“+”符号表示一幅图像。从图中可以看出, 四个图像库中的客观分数都聚集在拟合曲线附近, 这说明利用本文算法得到的客观分数与主观分数保持了很好的一致性。

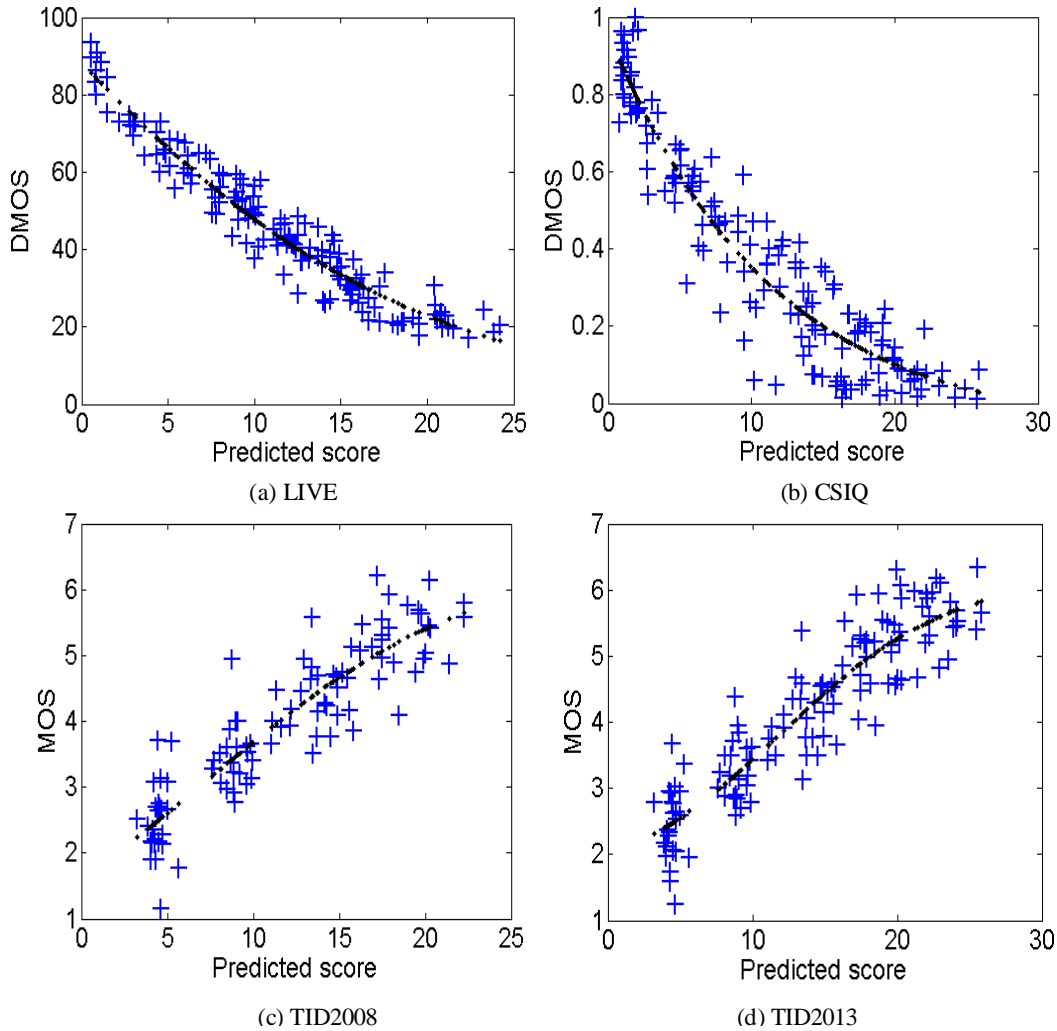


图 3-4 四个数据库上主观分数与客观分数的非线性拟合结果

Figure 3-4 Nonlinear fitting results of subjective scores and objective scores on 4 databases

表 3-1 至表 3-3 中列出了本章算法在四个图像库中的实验结果, 其中, 表 3-1、3-2 分别为预测准确性 PLCC、RMSE 试验结果, 表 3-3 为预测单调性 SRCC 试验结果。此外, 为了综合评价算法在不同数据库中的整体性能, 本文还对四个图

像库上的结果进行了平均，包括直接平均和加权平均。为验证本算法的性能优越性，表 3-1 至表 3-3 中将本章算法与现有的 6 种较具代表性的基于图像模糊的无参考评价算法<sup>[102-107]</sup>进行了对比。

表 3-1 预测准确性（PLCC）实验结果

Table 3-1 Experimental results of predictive accuracy (PLCC)

PLCC	LIVE	CSIQ	TID2008	TID2013	直接平均	加权平均
文献[102]	0.7980	0.7936	0.7010	0.7661	0.7647	0.7704
JNB [103]	0.8161	0.8061	0.6931	0.7113	0.7567	0.7644
CPBD [104]	0.8955	0.8818	0.8235	0.8552	0.8640	0.8680
S3 [105]	0.9433	0.9107	0.8541	0.8813	0.8974	0.9018
LPC [106]	0.9181	0.9158	0.8574	0.8917	0.8958	0.8994
MLV [107]	0.9429	0.9489	0.8584	0.8827	0.9082	0.9139
本文方法	<b>0.9657</b>	<b>0.9458</b>	<b>0.9013</b>	<b>0.9124</b>	<b>0.9313</b>	<b>0.9348</b>

表 3-2 预测准确性（RMSE）实验结果

Table 3-2 Experimental results of predictive accuracy (RMSE)

PLCC	LIVE	CSIQ	TID2008	TID2013	直接平均	加权平均
文献[102]	11.1317	0.1744	0.8369	0.8020	3.2363	3.5081
JNB [103]	10.6753	0.1696	0.8459	0.8771	3.1420	3.3992
CPBD [104]	8.2216	0.1351	0.6657	0.6467	2.4173	2.6150
S3 [105]	6.1289	0.1184	0.6103	0.5896	1.8618	2.0023
LPC [106]	7.3224	0.1151	0.6040	0.5647	2.1516	2.3269
MLV [107]	6.1522	0.0905	0.6019	0.5865	1.8578	1.9984
本文方法	<b>4.7991</b>	<b>0.0931</b>	<b>0.5083</b>	<b>0.5107</b>	<b>1.4778</b>	<b>1.5856</b>



表 3-3 预测单调性 (SRCC) 实验结果

Table 3-3 Experimental results of predictive monotonicity (SRCC)

PLCC	LIVE	CSIQ	TID2008	TID2013	直接平均	加权平均
文献[102]	0.7977	0.7661	0.7042	0.7620	0.7575	0.7620
JNB [103]	0.7872	0.7624	0.6667	0.6902	0.7266	0.7336
CPBD [104]	0.9182	0.8853	0.8412	0.8518	0.8741	0.8779
S3 [105]	0.9436	0.9059	0.8418	0.8609	0.8881	0.8933
LPC [106]	0.9389	0.9071	0.8561	0.8888	0.8977	0.9018
MLV [107]	0.9312	0.9247	0.8548	0.8787	0.8974	0.9020
本文方法	<b>0.9620</b>	<b>0.9177</b>	<b>0.9005</b>	<b>0.9085</b>	<b>0.9222</b>	<b>0.9245</b>

从表 3-1 至 3-3 综合来看,本章提出的基于解析稀疏表示的图像模糊快速无参考评价方法在四个图像库中均表现出了优异的性能。具体地看,由于性能优良的算法会产生较大的 PLCC 值和 SRCC 值,较小的 RMSE 值,在 LIVE 数据库, TID2008 数据库和 TID2013 数据库上,本章算法产生的 PLCC 值和 SRCC 值均大于其他 6 种现有算法,产生的 RMSE 值均小于其他 6 种现有算法,这表明本章算法在评价准确性和单调性方面的性能均明显优于现有算法;在 CSIQ 数据库上,本章算法的 PLCC 值和 SRCC 值略低于 MLV 算法,高于其他 5 种现有算法,而 RMSE 值为 7 种算法中最低,因此本章算法在 CSIQ 数据库中所表现的性能与 MLV 算法相当,且均优于其他算法。从加权平均的结果看,本文算法的性能最好。以上分析和结果说明,本章所提出的基于解析稀疏表示的图像模糊算法性能优于现有的 6 种算法,是一种能够快速准确的进行模糊图像无参考评价的优良算法。

### 3.5.4 模糊分布图

图像的模糊度主要用来衡量图像的降质程度。在实际应用中,除了需要知道图像的整体模糊情况外,往往还需要能够对图像中不同部分的模糊程度进行评价,即模糊分布图。本文的算法计算图像的模糊分数时,在分块的基础上通过解析稀疏表示进行。在这一过程中,图像块能量的大小可以作为图像局部模糊程度的度量,因此本章方法还可以获得图像的模糊分布图。

为客观地评价算法得到的模糊分布图与人眼主观结果的一致性程度, Vu 等提出的结合频域和空域的模糊评价算法<sup>[105]</sup>中,利用频域和空域两个因素的结合描述局部对比度,对图像的局部模糊进行了主观的标记,并作为模糊分布图的真实情况,这样就能够在此基础上评价算法所得到的模糊分布图与原始图像真实值

的差异，效果较为明显。为了验证本章算法生成的模糊分布图的真实程度，在本部分的实验中，将原始图像、文献<sup>[105]</sup>中的主观模糊分布图同本章所用方法得到的模糊分布图进行了比较，实验结果如图 3-5 所示。(a) - (d) 为原始图像；(e) - (h) 为与之对应的主观模糊分布图；(i) - (l) 为与之对应的本文方法模糊分布图。

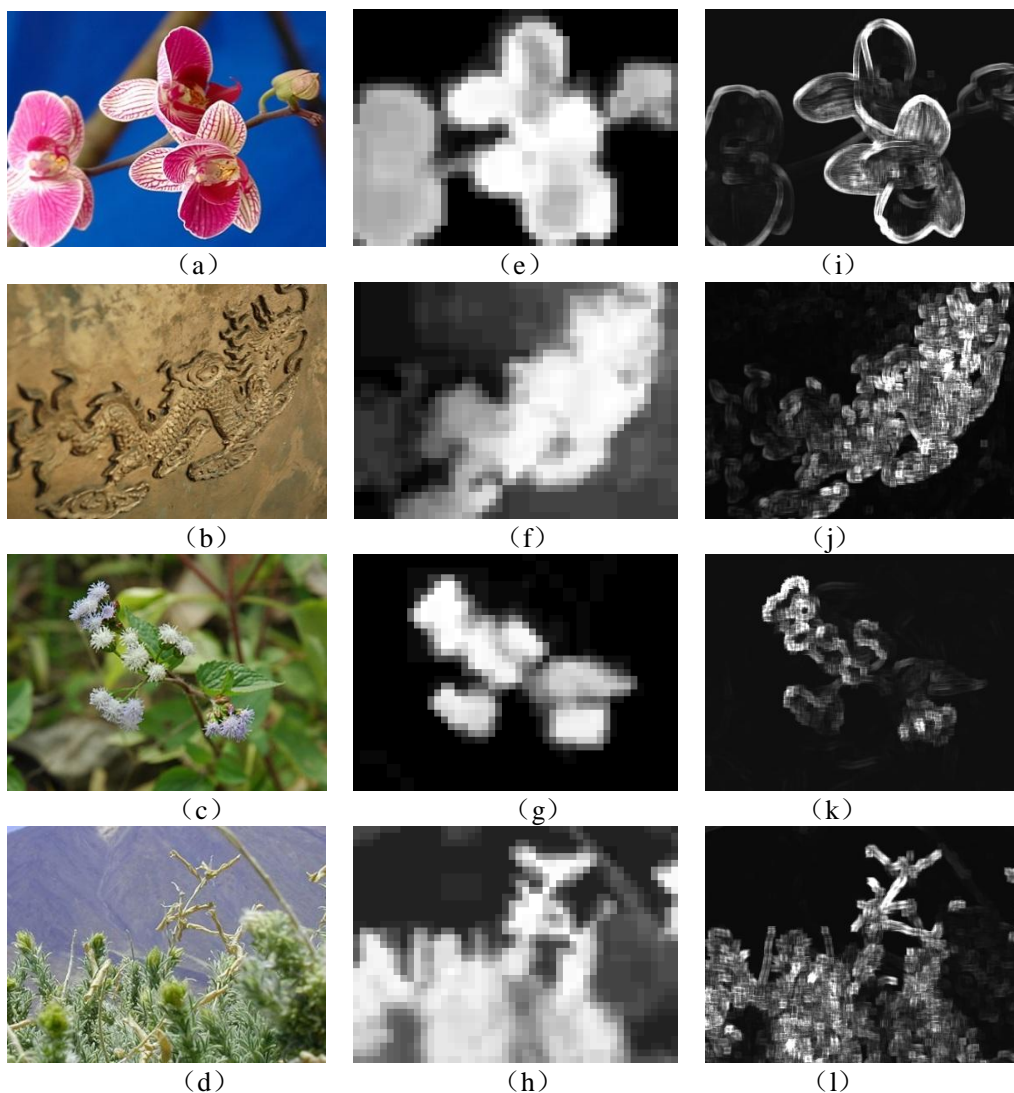


图 3-5 本章方法的模糊分布图及其与主观结果的比较

Figure 3-5 Comparison of blur distribution graph on this chapter method and subjective results

从图中可以看出，相比较文献<sup>[105]</sup>方法的主观模糊分布图，利用本章算法得到的模糊分布图与真实值保持了很好的一致性，说明本章所提出的模糊评价算法所生成的模糊分布图能够真实地反映图像中局部区域的模糊程度。

### 3.5.3 计算复杂度

本章算法在实现时的步骤主要涉及基于解析字典的稀疏表示(通过矩阵相乘实现)、求梯度、视觉显著性，这些操作的运算复杂度都很低，因此本文算法的

计算复杂度整体上也很低。对一幅 $N \times N$ 大小的图像，求梯度过程的运算复杂度为 $O(N^2)$ ；解析稀疏表示的操作为矩阵相乘，运算复杂度为 $O(N^3)$ ；SR 视觉显著性检测算法中涉及快速傅里叶变换（FFT）、逆 FFT 和矩阵相乘，FFT 与 IFFT 的运算复杂度为 $O(N \log N)$ ，矩阵相乘的运算复杂度为 $O(N^3)$ 。可见，本文算法中所涉及的操作运算复杂度阶数都比较低，因此算法的整体运算复杂度较低。

为了更直观地了解算法的计算速度，我们在 CSIQ 图像库上（共有 150 幅分辨率为  $512 \times 512$  模糊图像）测试本文方法以及现有的 6 类较具代表性的算法的总运行时间和平均运行时间，实验结果见表 3-4（时间单位为秒）。

表 3-4 时间复杂度实验结果  
Table 3-4 Experimental results of time complexity

PLCC	总运行时间 (s)	平均运行时间 (s)
文献[102]	38.7891	0.2586
JNB [103]	64.9033	0.4327
CPBD [104]	58.8412	0.3923
S3 [105]	2201.2159	14.6748
LPC [106]	131.5697	0.8771
MLV [107]	11.6771	0.0778
本文方法	<b>12.6965</b>	<b>0.0846</b>

从表 3-4 中可以看出，本章提出的算法在时间复杂度上明显优于其它的 5 种现有算法，与耗时最长的文献<sup>[105]</sup>相比，运行时间是该方法的 1/173。与耗时最短 MLV 算法相比，总体运行时间与 MLV 算法相差小于 1S，平均运行时间与 MLV 算法相差仅为 0.0068S。其它 5 种方法中，耗时第二短的文献<sup>[102]</sup>方法，所耗费的时间是本章算法的 3 倍。因此可以认为，本章算法在时间复杂度上与 MLV 算法相当，明显优于其它 4 种参考算法。以上分析和结果说明，本章算法具有很高的计算效率，适合于实时实现。

### 3.6 本章小结（The Chapter Summary）

本论文提出了一种基于解析稀疏表示的无参考图像模糊快速评价算法。该方法是针对模糊失真图像类型进行的无参考质量评价。由于从自然图像训练得到的字典原子与人眼初级视觉皮层中简单细胞的工作机理相一致，因此基于字典的稀疏表示能够较好的应用于图像识别并满足图像质量评价的性能要求，基于此，本论文提出了采用解析字典对失真模糊图像进行稀疏表示，从而达到对模糊图像快速无参考评价的效果。其主要思想是：利用解析字典描述图像中由于模糊带来的

高频能量衰减,并通过归一化消除图像内容的影响,再利用视觉显著性进行加权处理,使得模糊分数更加切合人眼视觉系统的特点。通过在目前国际通用的四个图像质量数据库上进行的实验仿真,以及与 6 种目前较具代表性的质量评价方法的比较表明,该算法的性能总体优于现有方法,并且具有很高的计算效率。

## 4 基于离散正交矩的图像块效应无参考评价算法

### 4 No-reference Quality Metric of Blocking Artifacts Based on Orthogonal Moments

#### 4.1 图像块效应的产生 (Cause of Image Blocking Artifacts)

离散余弦变换 (DCT) 是图像压缩过程中的一种广泛应用, 当对整幅图像进行 DCT 时, 由于整幅图像在各部位细节表征上的丰富程度不同, 导致这种整体处理的方法起不到很好的效果。为此, 发送者首先将原始图像分解为各个图像块, 然后再对每一个图像块进行独立二维 DCT, 并对 DCT 系数进行相应的量化、编码和传输, 这样的基于块的编码变换的分块 DCT 会忽略块与块之间的相关性。同时, 在对图像块 DCT 量化的过程中, 一些对图像质量影响较小的高频分量会被丢弃, 这样, 码率变低, 量化变得相对粗糙, 在重建后的图像块边界处会出现不连续的跳变, 造成重建图像的明显缺陷, 即为图像的块效应。

当前的图像或视频编码国际标准中, 大多使用 DCT 变换编码技术, 在比特率较低时, 解码重建的图像会有较为明显的块效应出现在图像的块边界上, 这就导致了图像质量的退化, 进而影响实际应用效果。因此需要采取一定的处理方法来对图像进行增强或恢复, 尽可能的降低或消除块效应效果, 提高图像视觉质量。用来检测图像中是否存在块效应的方法称为图像块效应检测, 该检测方法应该能够准确的块定位, 并评估块效应的严重程度, 其重要性主要体现在以下方面:

(1) 当前的工程应用中, 图像去除块效应一般采用空域和变换域的后处理去块滤波方法, 这种后处理方法将不可避免的导致图像整体质量下降, 如果能够在去块滤波前检测出是否存在图像块效应, 就可以只对存在块效应的图像进行去块滤波处理, 这样能够有效避免去块滤波给不存在块效应的图像造成质量下降。

(2) 基于去块滤波的后处理算法大多都需要定位块边界的准确位置, 块边界信息的准确与否会对去块滤波效果产生严重影响, 但在实际的工程应用中, 大多数情况下块边界并不已知, 图像剪裁、信号传输以及模数转换等都有可能造成块边界位置的改变, 导致去块滤波算法大多需要进行实时块定位。

因此, 如何设计算法来准确地表示图像块效应严重程度是评价图像块效应的关键。本章将详细介绍一种基于离散正交矩的无参考图像块效应评价方法。

#### 4.2 现有图像块效应质量评价算法 (Existing Quality Metric of Blocking Artifacts)

JPEG 是目前应用最为广泛的图像压缩方法, 在压缩过程中, JPEG 图像会出

现不同程度的图像块效应失真现象，因此很多的无参考质量评价算法针对 JPEG 图像块效应进行研究。现有的针对 JPEG 图像块效应的无参考评价算法，主要是用压缩图像块边界上的梯度值变化程度来作为特征量，对图像块效应失真程度进行衡量和评估。JPEG 图像中的块效应主要是因为 JPEG 图像压缩过程中进行了分块二维 DCT 和相应的量化。JPEG 标准将图像分为  $8 \times 8$  大小的图像块，并将每个图像分块独立编码，由于是分别对各个图像块 DCT 变换，块与块间的相关性被忽略，容易造成各分块的二维 DCT 出现过度量化的现象，这种情况下，为降低码率，一些影响较小的高频分量就会被大量丢弃，从而导致在图像重建后，图像中各个块边界呈现出连续性的跳变，即为图像的块效应。

近年来，国内外在图像质量评价方面都开展了一些基于图像中块效应的质量评价算法的研究。Bovik 等提出了一种基于图像 DCT 域的块效应无参考评价算法<sup>[116]</sup>，该方法直接提取计算图像块的 DCT 系数，根据图像常值块与白噪声的叠加进行图像块建模，并结合 HVS 构造二维阶跃函数，分析提取该函数的幅度变化特征量，据此评估待检图像质量。Pan 等提出了一种利用 BDCT 的图像/视频无参考块效应评价算法<sup>[118]</sup>，该算法分析提取块效应边缘部分的梯度方向生成方向直方图，分析比较图中水平方向边缘梯度所占比例和垂直方向所占比例间的关系，得到块效应特征分数，进而对图像质量进行评估。Perra 等利用图像梯度特征量进行块效应无参考评价<sup>[117]</sup>，该方法采用 Sobel 边缘检测算法计算图像边缘梯度，利用图像块效应边缘梯度的强度特征进行图像质量评估。Chen 等提出了一种基于 DFT 的图像块效应评价算法<sup>[119]</sup>，该算法先计算待检图像梯度，运用归一化函数得到图像的归一化梯度，然后将经过归一化和平均的梯度特征转换为一维微分信号，最后计算得出 DFT 域的周期性尖峰强度特征量，作为质量得分对图像进行评估。Lee 等提出一种利用 Sobel 边缘检测进行图像块效应无参考评价的方法<sup>[120]</sup>，该方法用 Sobel 算子检测图像水平方向和垂直方向的块效应特征量，通过设置合理的阈值得出图像质量得分。Wang 等人提出了一种 JPEG 压缩失真图像无参考质量评价算法<sup>[121]</sup>，该算法通过提取空间域图像块效应特征，加权得出图像质量分数。Liu 等提出了一种新颖的块效应无参考度量方法<sup>[122]</sup>，该方法基于图像的局部结构信息，通过比较图像块效应边缘各相邻梯度间的差异程度对各分块质量进行度量，再结合人类视觉系统（HVS）特性构建一个简单有效的视觉掩蔽模型，最后得到整体块效应得分来评估图像质量。Xia 等研究发现，人眼视觉系统对图像中平坦区域产生的块效应相对较为敏感，因此设计开发了一种基于图像平坦区域相关性的块效应无参考评价算法<sup>[123]</sup>，算法的实用性和准确性较高。

### 4.3 离散正交矩（Discrete Orthogonal Moments）

图像矩的图像特征描述能力很强，通过对图像矩的研究，我们发现图像矩中

的离散正交矩在图像描述方面更具优势，本章中，我们选择离散正交矩中的 Tchebichef 矩进行应用，提出了一种基于 Tchebichef 矩的图像块效应无参考图像评价方法。实验表明，该算法效果良好。下面介绍离散正交矩的一些相关特性。

#### 4.3.1 图像矩相关特性

在力学中，矩用来表示物质的空间分布。而在对图像的分析 and 处理中，图像矩利用的是图像的颜色(红、绿、蓝)三分量来表征图像特征，这相当于力学中物体的质量分量。如果我们用  $f(x, y)$  表示图像中的一点  $(x, y)$  的像素亮度值，那么一幅图像可以用二维密度函数  $f(x, y)$  表示图像，它的  $(p + q)$  阶矩函数可定义为：

$$\Phi_{pq} = \int \int \psi_{pq}(x, y) f(x, y) dx dy \quad (4.1)$$

其中， $p, q = 0, 1, 2, \dots$ ， $\psi_{pq}(x, y)$  是关于  $(x, y)$  的连续函数，称为图像矩的核函数（变换核）。根据核函数的不同，图像矩可以划分成不同的类型。

图像矩有着很强的图像特征描述能力，因为它不仅描述图像的几何特征，还可以描述图像形状的全局特征。一般的，零阶图像矩可以用来表征图像的质量；一阶图像矩可以用来确定图像的质心位置；二阶图像矩可以用来提取二维图像的边界、确定方向等参数；三阶图像矩可以用来表示物体投影的倾斜程度；总之低阶图像矩主要描述的是图像的总体特征。更高阶的图像矩更能偏向于对图像细节的描述，但缺点是容易受到图像噪声的影响。

图像矩在图像处理中应用广泛，常用于图像的增强、编码、描述和模式识别、机器视觉等方面。几何矩、复数矩，旋转矩和正交矩是图像矩的几种主要类型。但是，一般的图像矩在表征图像特征时，其表达信息存在较多的冗余，这不但会图像的进一步处理（如图像的复原等）的难度，也影响处理算法的高效性。而基于正交基函数为基本集的正交矩，各阶矩都是相互独立的，所以具有最小的冗余信息，因而在图像描述方面有很好的发展。这也是本文使用正交矩描述图像块能量的原因。

对数字图像进行某种正交变换可以获得一些图像的特征信息，变换后，图像的能量不变，但能量的分布变化，往往集中于少数项上。同时，正交矩还有信息冗余度小的优点，所以，用很少的正交矩系数就可以描述图像信息<sup>[132]</sup>。正交矩的特点是：正交矩变换是一种可逆变换，可以对变换前的信息进行恢复或重建；正交矩的各阶矩是相互独立的，具有最小冗余信息和较小的噪声敏感性<sup>[133]</sup>。其最初是应用于黑白字符的识别，抗干扰能力强，可以较好的描述图像的轮廓信息。

若函数  $f(x, y)$  是连续正交函数（或连续正交多项式），则得到的图像矩为连续正交矩；若函数  $f(x, y)$  是离散正交函数（或连续正交多项式），则得到的图像

矩为离散正交矩。在连续正交矩的计算过程中，连续积分的值不是直接得到的，而是采用核函数的数值离散和公式近似表示，这导致计算的数值存在一定的误差。与此同时，离散函数是以二维图像的像素为单位，将二维图像从空间域转换为正交基所作用的变换域，所以在坐标变换过程中也不可避免的会产生计算误差。综上所述，使用连续正交矩进行图像描述的过程中，随着正交矩的阶数的增加和图像尺寸的增大，计算误差也在不断的累计，这对于图像处理和图像质量评价是不利的。而离散正交矩的核函数和连续正交矩的核函数一样具有正交性，并且建立在图像坐标的离散域上，可以直接计算、精确的计算，因此不存在近似和坐标转换所带来的计算误差。所以，离散正交矩在图像描述方面比连续正交矩更有优势。

#### 4.3.2 Tchebichef 矩

常见的较为常见的离散正交矩有 Krawtchouk 矩，Hahn 矩和 Tchebichef 矩三种。Krawtchouk 矩和 Hahn 矩的作用域是图像所在的空间域，他们具备离散正交矩在计算中不需要进行坐标转换的优点，能更精确的描述图像信息。但 Krawtchouk 矩和 Hahn 矩并不具备天然的几何不变性，这就在一定程度上限制了这两种图像矩的应用。这两种图像矩可看作为图像的局部描述符，一般用于提取图像的部分特征。低阶时，这两种图像矩的重建图像的质量随阶数的增加而提高，高阶时，它们的重建图像的质量会出现较为明显的下降，因此这两种图像矩更适用于描述图像的局部特征，而不适合于描述出现局部失真的整幅图像。

离散 Tchebichef 矩是以 Tchebichef 正交多项式作为内核，能够较好的描述图像形状特征的一种图像正交矩，该矩构建不变量进行图像旋转、平移、缩放时具有不变性，因此常用于图像识别。作为描述图像形状的一种变换，Tchebichef 矩由于优越的特征表示功能使其在图像分析中十分有效。相比 Hahn 矩、Krawtchouk、Zernike 矩，Tchebichef 矩的信息冗余度低，抗噪能力强，Tchebichef 矩在图像坐标中直接定义，所以计算中没有逼近误差，重建图像的质量也不会随着阶数的变化而发生明显的改变，又因为内核的正交性，离散 Tchebichef 矩在表示图像信息时没有多余的无用信息。因此，Tchebichef 矩能够应用于描述整幅图像的特征，被较多的应用于图像的质量评价中。本章主要研究基于 Tchebichef 矩的无参考图像块效应评价。

##### (1) Tchebichef 矩正交多项式

一个  $n$  阶 Tchebichef 正交多项式为：

$$t_n(x) = (1 - N) {}_3F_2(-n, -x, 1 + n; 1, 1 - N; 1) \quad (4.2)$$

其中， $n, x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N - 1\}$ ； ${}_3F_2(\ )$  为超几何分布函数，定义如下：



$${}_3F_2(a_1, a_2, a_3; b_1, b_2; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k (a_2)_k (a_3)_k z^k}{(b_1)_k (b_2)_k k!} \quad (4.3)$$

$(a)_k$  为 Pochhammer 符号, 见式 (4.3)。

离散 Tchebichef 矩的计算<sup>[134]</sup>是将图像投影到一组加权的 Tchebichef 内核函数上。一个  $n$  阶、 $N$  点加权的 Tchebichef 内核定义如下:

$$\tilde{t}_n(x; N) = \sqrt{\frac{w(x; N)}{\rho(x; N)}} t_n(x; N) \quad (4.4)$$

其中,  $w(x; N) = \frac{1}{N+1}$  和  $\rho(x; N) = \frac{(2n)!}{N+1} \binom{N+n+1}{2n+1}$  是用于保证数值稳定性的权值和范数(归一化因子);  $t_n(x; N)$  是 Tchebichef 内核,

$$t_n(x; N) = n! \sum_{k=0}^n (-1)^{n-k} \binom{n-1-k}{n-k} \binom{n+k}{n} \binom{x}{k} \quad (4.5)$$

这些加权的 Tchebichef 内核函数满足以下的正交条件:

$$\sum_{x=0}^{N-1} \tilde{t}_m(x; N) \tilde{t}_n(x; N) = \delta_{mn} \quad (4.6)$$

其中,  $\delta_{mn}$  是克罗内克函数(Kronecker delta), 定义为:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i \neq j \\ 1 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (4.7)$$

有关 Tchebichef 内核更多的计算问题, 可以参考文献<sup>[135]</sup>。

## (2) 图像的 Tchebichef 矩

通过对 Tchebichef 内核进行加权, 一幅大小为  $M \times N$  的图像  $f(x, y)$  的  $(m+n)$  阶 Tchebichef 矩定义为:

$$T_{mn} = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \tilde{t}_m(x; N) \tilde{t}_n(y; N) f(x, y) \quad (4.8)$$

其中,  $m \in \{0, 1, 2, \dots, M-1\}$ ,  $n \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 。

在具体的操作中, 为了表达方便, Tchebichef 矩的  $(m+n)$  阶矩可以通过矩阵乘法来计算, 即  $T = K_1 I K_2'$ 。其中,  $I$  是一幅图像,  $K_2'$  是矩阵  $K_2$  的转置。

$K_1$  和  $K_2$  的均是 Tchebichef 内核矩阵, 定义如下:

$$K_1 = \{\tilde{t}_i(j; M)\}_{i,j=0}^{i-m, j-M-1}, \quad K_2 = \{\tilde{t}_i(j; N)\}_{i,j=0}^{i-n, j-N-1} \quad (4.9)$$

加权的 Tchebichef 内核构成一个完备的正交集, 因此整幅图像可以被总数共计为  $M \times N$  个的矩完全表示。因此, 图像可以使用 Tchebichef 矩如下重建:

$$f(x, y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{t}_m(x; M) \tilde{t}_n(y; N) T_{mn} \quad (4.10)$$

在实践中, 如果 Tchebichef 矩的一个子集  $\{T_{mn}\}$  存在, 其中  $m \in \{0, 1, 2, \dots, m_{\max}\}$ ,  $n \in \{0, 1, 2, \dots, n_{\max}\}$ , 则近似图像  $\hat{f}(x, y)$  的可由下式获得:

$$\hat{f}(x, y) = \sum_{m=0}^{m_{\max}} \sum_{n=0}^{n_{\max}} \tilde{t}_m(x, M) \tilde{t}_n(x, N) T_{mn} \quad (4.11)$$

Tchebichef 矩的一个重要特性是不同阶数的矩有着不同的图像信息表示能力, 因此, 该矩具有较为优越的特征表示功能。具体来说, Tchebichef 矩在图像坐标中直接定义, 所以计算中没有逼近误差, 重建图像的质量也不会随着阶数的变化而发生明显的改变, 低阶 Tchebichef 矩描述的是图像的低频分量, 而高阶 Tchebichef 矩描述的则是图像的高频分量, 这样更适合应用于整幅图像的特征描述中。如图 4-1 所示, 给出了使用不同阶数的 Tchebichef 矩对原始 Lena 图像 ( $128 \times 128$ ) 重建的一个例子。

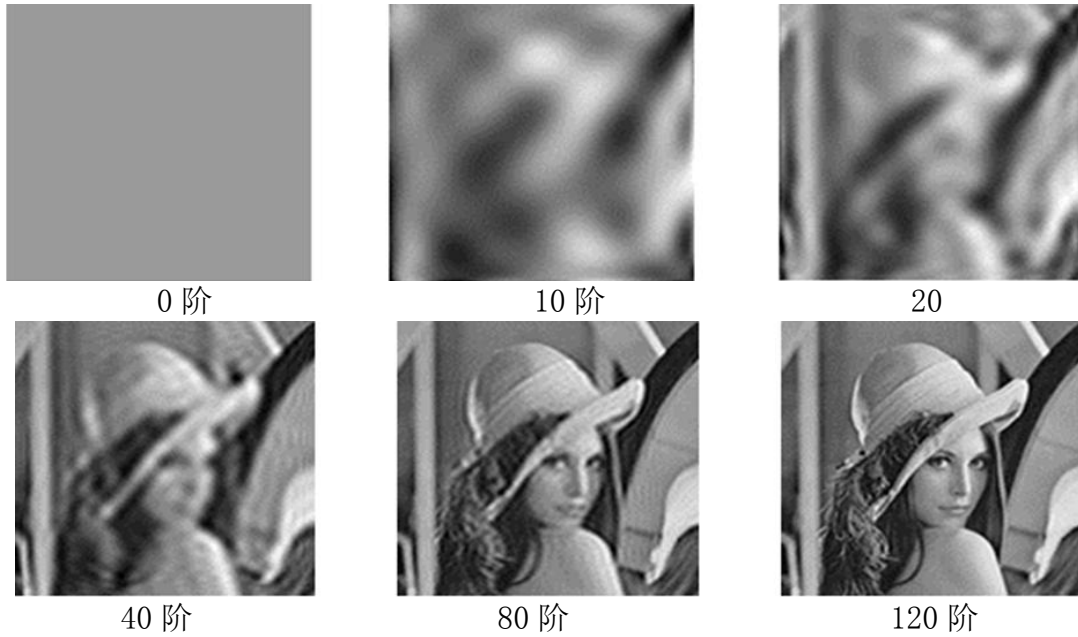


图 4-1 不同阶数的 Tchebichef 矩对 Lena 图像的重建

Figure 4-1 Reconstruction of Lena images with different order Tchebichef moments

由图 4-1 可以看出, 随着 Tchebichef 矩阶数的增加, 重建图像越来越接近于原始图像, 低阶 Tchebichef 矩的重建图像主要包含图像的大致形状, 而高阶 Tchebichef 矩的重构图像则包含更多细节。因为离散正交矩的特性, 研究者们常常利用其对图像进行特征提取, 本章算法就是利用这一点。

## 4.4 方法原理 (Method and Principle)

### 4.4.1 图像分块原理方法

JPEG 图像的块效应经常会发生在相邻的  $8 \times 8$  图像块之间。这是因为在图像压缩过程中，首先把图像分解成  $8 \times 8$  图像块；然后对每个图像块进行二维 DCT，为降低码率，高频分量会被大量压缩，导致在图像重建后，图像各个块边界呈现出不连续性的跳变。如图 4-2 所示，图像块 A、B、C、D 和 E 均为  $8 \times 8$  的图像块，图中加粗的线为 A 与 B 的水平边界和 A 与 D 的垂直边界。

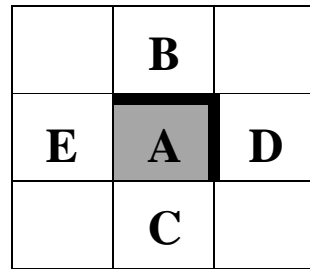


图 4-2  $8 \times 8$  图像块与其相邻图像块

Figure 4-2  $8 \times 8$  Image block and its adjacent image block

现以图像块 A 和 B 的水平边界为基准按照水平方向分块，使水平方向的图像块包含图像块 A 和 B 之间的水平边界并且其大小也为  $8 \times 8$  图像块。同样的方法，对图像块 A 和 D 的垂直边界为基准按照垂直方向分块。图 4-3 给出了本章图像的分块方法。

B11	B12	B13	B14	B15	B16	B17	B18
B21	B22	B23	B24	B25	B26	B27	B28
B31	B32	B33	B34	B35	B36	B37	B38
B41	B42	B43	B44	B45	B46	B47	B48
B51	B52	B53	B54	B55	B56	B57	B58
B61	B62	B63	B64	B65	B66	B67	B68
B71	B72	B73	B74	B75	B76	B77	B78
B81	B82	B83	B84	B85	B86	B87	B88
A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28
A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38
A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48
A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58
A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68
A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78
A81	A82	A83	A84	A85	A86	A87	A88

(a) 以图像块 A 与 B 之间的水平边界为基准的分块方法，灰色部分为水平方向图像块

A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
A21	A22	A23	A24	A25	A26	A27	A28	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28
A31	A32	A33	A34	A35	A36	A37	A38	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38
A41	A42	A43	A44	A45	A46	A47	A48	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48
A51	A52	A53	A54	A55	A56	A57	A58	D51	D52	D53	D54	D55	D56	D57	D58
A61	A62	A63	A64	A65	A66	A67	A68	D61	D62	D63	D64	D65	D66	D67	D68
A71	A72	A73	A74	A75	A76	A77	A78	D71	D72	D73	D74	D75	D76	D77	D78
A81	A82	A83	A84	A85	A86	A87	A88	D81	D82	D83	D84	D85	D86	D87	D88

(b) 以图像块 A 与 D 之间的垂直边界为基准的分块方法，灰色部分为垂直方向图像块

图 4-3 图像水平方向和垂直方向的分块方法

Figure 4-3 The block method of image horizontal and vertical direction

#### 4.4.2 图像块效应计算方法

首先对上述水平方向的  $h$  个  $8 \times 8$  图像块分别进行 7 阶 Tchebichef 矩变换，生成一个  $8 \times 8$  的矩变换矩阵，其中  $k$  代表第  $k$  个图像块， $h$  表示水平方向的图像块。

$$T_k^h = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} & m_{03} & m_{04} & m_{05} & m_{06} & m_{07} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} & m_{16} & m_{17} \\ m_{20} & m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} & m_{26} & m_{27} \\ m_{30} & m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} & m_{36} & m_{37} \\ m_{40} & m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} & m_{46} & m_{47} \\ m_{50} & m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} & m_{56} & m_{57} \\ m_{60} & m_{61} & m_{62} & m_{63} & m_{64} & m_{65} & m_{66} & m_{67} \\ m_{70} & m_{71} & m_{72} & m_{73} & m_{74} & m_{75} & m_{76} & m_{77} \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

经过研究发现，图像块中出现块效应时，相对应的 Tchebichef 矩变换矩阵中能够反映出其块效应失真情况。图 4-4 给出了理想图像块边界与其矩变换矩阵能量图，图 4-4 (a) 为含有理想水平方向和垂直方向的图像块，从它们相对应的图像  $8 \times 8$  的矩变换矩阵能量图 4-4 (b) 中可以看出，只有第一列数值较大，其他列全部为零；图 4-4 (c) 为含有理想水平方向和垂直方向的图像块，从它们相对应的图像  $8 \times 8$  的矩变换矩阵能量图 4-4 (d) 中可以看出，只有第一行数值较大，其他列全部为零。另外，当图像块中含有的图像块效应不明显时，矩变换矩阵中的高阶部分数值比较小，并且发现图像块的矩变换矩阵中的  $m_{00}$  值对图像块中是否含有块效应没有影响。

为此，选择水平方向图像块的矩变换矩阵中能正确反映图像块效应的后四列

数值绝对值之和与整个矩变换矩阵数值绝对值之和（去掉  $m_{00}$ ）的比值作为图像块的质量分数，用同样的方法求得垂直方向的图像块质量分数。

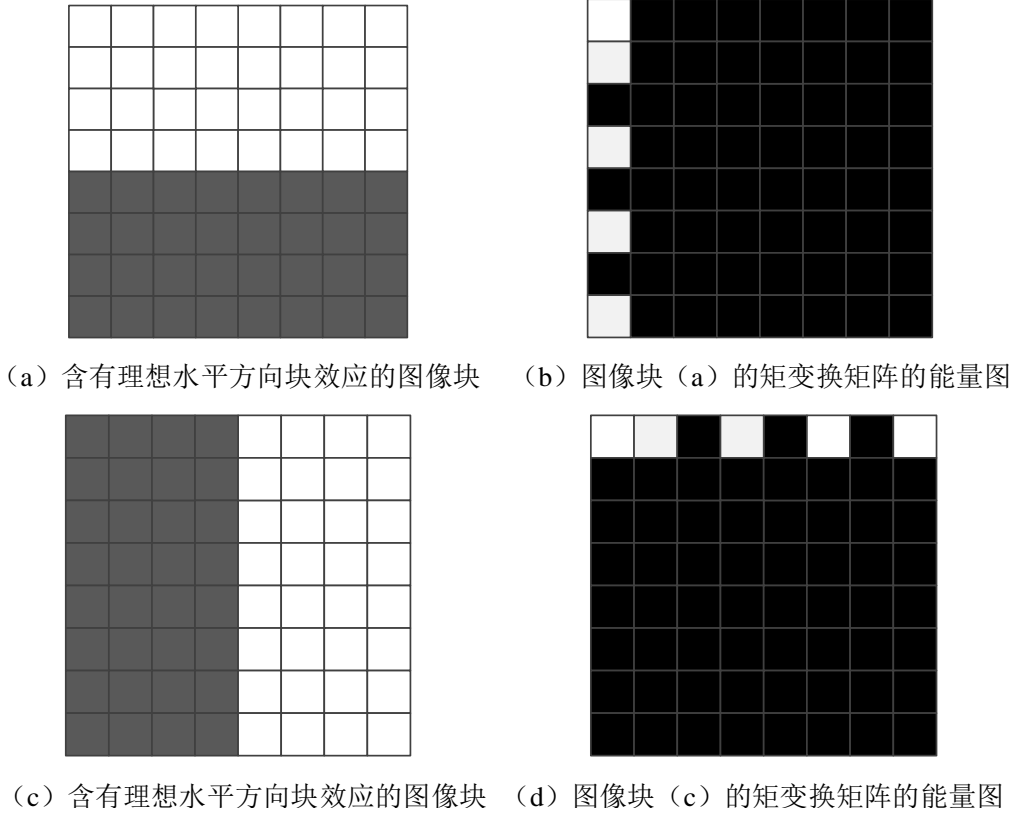


图 4-4 理想图像块边界与其矩变换矩阵能量图

Figure 4-4 The ideal image block boundary and its transformation matrix energy graph

$$Q_k^h = \frac{\sum_{i=4}^7 \sum_{j=0}^7 |m_{ij}|}{\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |m_{ij}| - |m_{00}|} \quad (4.13)$$

$$Q_s^v = \frac{\sum_{i=0}^7 \sum_{j=4}^7 |m_{ij}|}{\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 |m_{ij}| - |m_{00}|} \quad (4.14)$$

如公式 (4.13)、(4.14) 所示，其中  $k$  代表第  $k$  个图像块，则  $0 < k \leq h$ ； $s$  代表第  $s$  个图像块，则  $0 < s \leq v$ 。

这种方法在计算块效应比较严重的情况下比较准确，但是在图像块中不含有块效应或者块效应不明显时计算不是很统一。为此，约定在这里对图像块质量分数设置一个阈值  $T_q$ ，若图像块质量分数大于或等于阈值  $T_q$ ，则图像块质量分数为  $T_q$ ；若图像块质量分数小于这个阈值则其值不变。通过实验发现  $T_q$  值取 0.5 效果较好。

然后对水平方向和垂直方向每一图像块的质量分数求平均值即得到此方向上的图像质量分数。如公式 (4.15)、(4.16) 所示， $Q^h$  和  $Q^v$  分别为图像水平方向和垂直方向质量分数。

$$Q^h = \frac{\sum_{k=1}^h Q_k^h}{(\lfloor M/8-1 \rfloor \times \lfloor N/8 \rfloor)} \quad (4.15)$$

$$Q^v = \frac{\sum_{k=1}^v Q_k^v}{(\lfloor M/8 \rfloor \times \lfloor N/8-1 \rfloor)} \quad (4.16)$$

最后对两个方向的质量分数求平均值即得到整个图像的质量分数。

$$Q = (Q^h + Q^v) \quad (4.17)$$

$Q$ 为图像的质量分数， $Q$ 值的范围为（0~1），当图像中块效应程度越轻， $Q$ 值越接近 1；当图像中块效应程度越严重， $Q$ 值越趋近 0。

## 4.5 实验结果与分析（The Experiment Results and Analysis）

### 4.5.1 实验设置

为了验证本算法对图像质量评价的准确性，下面将本章中的方法与 4 种当前流行的方法在两个图像数据库进行测试，4 种方法分别为：Perra 等人的方法<sup>[117]</sup>、Pan 等人的方法<sup>[118]</sup>、Chen 等人的方法<sup>[119]</sup>和 Lee 等人的方法<sup>[120]</sup>，两个图像数据库分别是 LIVE 图像数据库<sup>[130]</sup>和 MICT 图像数据库<sup>[131]</sup>。LIVE 图像数据库中有 233 个 JPEG 图像以及对应图像的主观质量分数 DMOS；MICT 图像数据库中有 98 个 JPEG 图像以及对应图像的主观质量分数 MOS。因为离散正交矩运算的对象是灰度图像，所以需要事先把彩色图像转化为灰度图像，转化公式如下（4.18）所示：

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (4.18)$$

图 4-5 给出了 LIVE 图像数据库中 JPEG 图像及其质量得分，并给出了图像的比特率作为参考，对比图 4-5（a）-（h）各图像数据可以看出，当图像比特率降低时，图像的块效应变得更加明显，图像的质量分数也相应减少，而当图像比特率相近时，图像的质量分数大致相同。

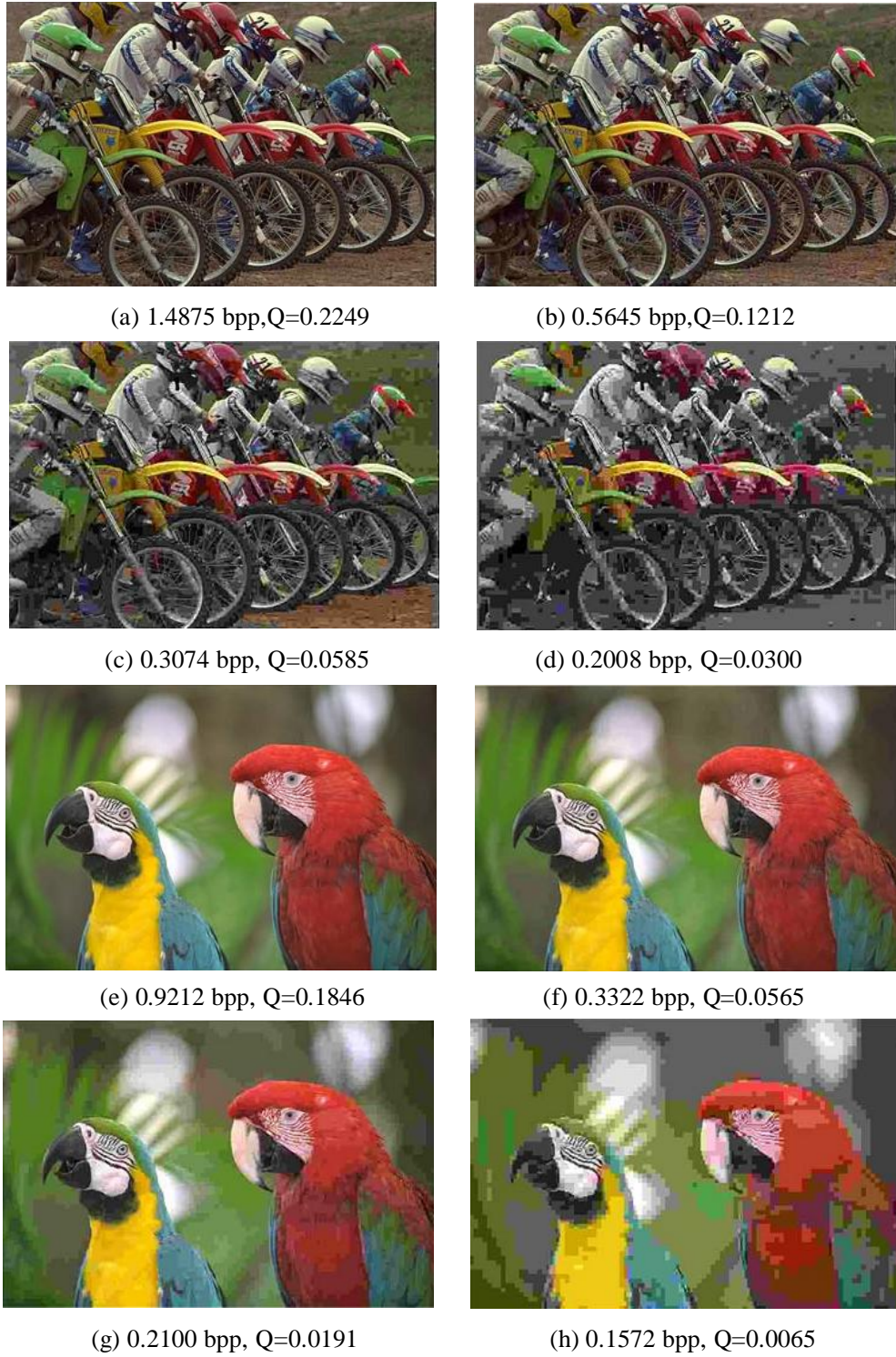


图 4-5 失真图像及其质量得分

Figure 4-5 Distorted Images and their Quality Scores

为计算 PLCC、SRCC、RMSE 等参数，本算法将客观分数与主观分数进行非线性拟合：

$$f(x) = \frac{\tau_1 - \tau_2}{1 + e^{(x - \tau_3)/\tau_4}} + \tau_2 \quad (4.19)$$

其中  $x$  代表客观质量评价分数，选择合适的  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$  和  $\tau_4$  使得  $f(x)$  与主观质量评价分数的误差最小。用回归曲线与客观分的统计指标作为评价客观评价方法性能的指标，线性皮尔森相关系数（PLCC）和均方误差根（Root mean squared error, RMSE）用于定量度量客观分数与主观分数的一致性程度；斯皮尔曼等级相关系数（SRCC）用于衡量方法的单调性。

#### 4.5.2 性能分析

图 4-6 为 4 种当前流行的方法<sup>[117-120]</sup> 与本章中的方法在 LIVE 图像数据库中主客观质量分数的非线性拟合图。

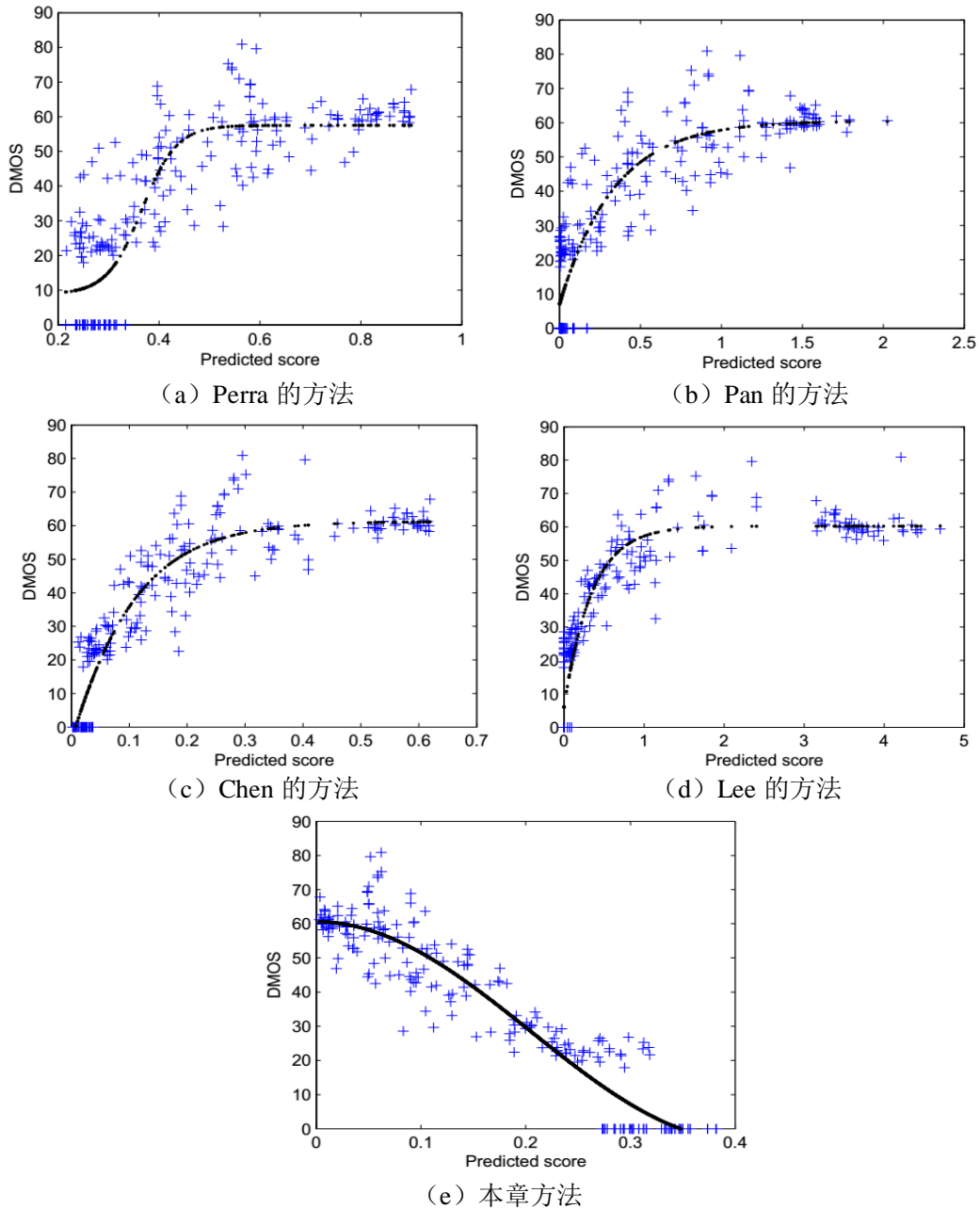


图 4-6 LIVE 数据库中 5 种方法主客观质量分数的非线性拟合图

Figure 4-6 Nonlinear fitting about 5 methods subjective and objective quality scores in LIVE



从上面的非线性拟合图中可以看出,本算法的性能优于其他 4 种算法,拟合性能最好。为了更加准确的比较这几种算法的优劣,表 4-1 和表 4-2 列出了 5 种算法分别在 LIVE 和 MICT 图像数据库中非线性拟合的 PLCC、RMSE 和 SRCC 三种相关参数。

表 4-1 LIVE 图像数据库实验结果  
Table 4-1 Experimental results of LIVE

评价指标	PLCC	RMSE	SRCC
Perra 方法	0.8570	12.5003	0.8268
Pan 方法	0.8887	11.1252	0.8728
Chen 方法	0.9356	8.5237	0.9193
Lee 方法	0.9426	8.0976	<b>0.9296</b>
本章方法	<b>0.9447</b>	<b>7.9528</b>	0.9225

由表 4-1 可以看出,本章方法性能参数中,PLCC 值为 5 种方法中最高,RMSE 值为 5 种方法中最低, Lee 的方法 SRCC 值略微高于本章方法,综合比较 5 种方法在 LIVE 图像数据库中的实验结果,本章方法优于其他 4 种方法,在评价图像质量准确性最高。

表 4-2 MICT 图像数据库实验结果  
Table 4-2 Experimental results of MICT

评价指标	PLCC	RMSE	SRCC
Perra 方法	0.7993	0.7930	0.7517
Pan 方法	0.8350	0.7260	0.8253
Chen 方法	0.8381	0.7198	0.8228
Lee 方法	0.7625	0.8538	0.8097
本章方法	<b>0.9087</b>	<b>0.5509</b>	<b>0.8916</b>

由表 4-2 可以看出,在 MICT 图像数据库中, Pan 的方法和 Chen 的方法所获得的性能参数较为类似, Perra 的方法和 Lee 的方法在 MICT 图像数据库中的实验结果较为不理想,而本章方法性能参数中,PLCC 值为 5 种方法中最高, RMSE 值为 5 种方法中最低, SRCC 值为 5 种方法中最高,综合比较 5 种方法在 MICT 图像数据库中的实验结果,本章所提出的方法各项性能指标均明显优于其他 4 种方法,在评价图像质量准确性最高。

图 4-7 给出了比特率 (BPP) 为 175 的 JPEG 图像预测质量得分之间的关系 (Q) 图。

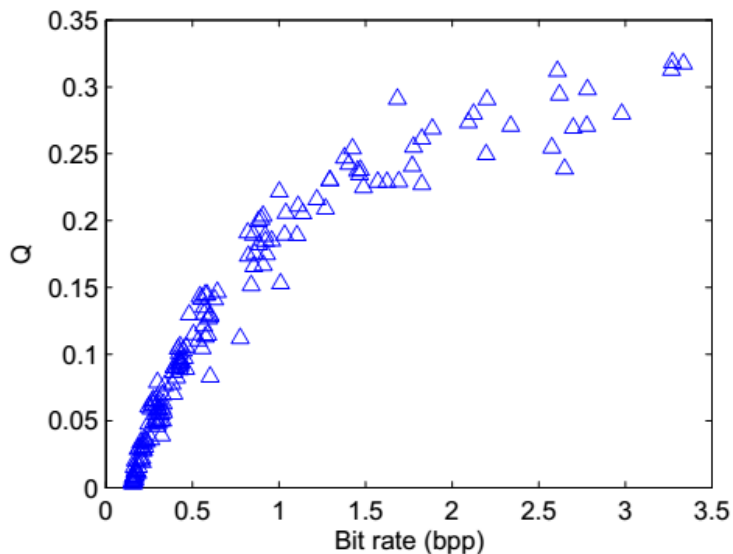


图 4-7 比特率对比测算图

Figure 4-7 Plot of Q versus bit rate (bpp).

图 4-7 中的每个三角形对应一个图像。众所周知，当图像比特率降低时，更可能出现图像块效应，通过观察可以得出，当图像的质量得分增加时，图像比特率也相应提高，由此得出，本章所提出的方法具有良好的单调性。

## 4.6 本章小结（The Chapter Summary）

本章提出了一种基于离散正交矩的图像块效应评价方法，能够在没有参考图像的情况下准确地对待评价的压缩图像进行质量评价，与人的主观感受一致，真实地反映图像的质量。本方法与以往的一些无参考的块效应图像质量评价的方法相比，利用离散正交矩提取图像特征，把图像的块效应程度通过变换域计算得出，对图像的描述更加准确，更加符合人的主观感受。但是在对高质量的图像进行评价时的结果并不是特别准确，所以下一步需要对矩变换矩阵中特征提取时进行改进并加以完善。

## 5 基于块效应评价算法的图像中马赛克区域取证应用

### 5 Mosaic Effect Detection Based on Blocking Artifacts Evaluation

#### 5.1 基于质量差异的图像取证框架 (Forensics Framework based on Image Quality Assessment)

通过对本论文前述章节对失真图像质量特征分析得出, 失真图像与自然图像相比, 具有特殊的质量特征, 当一幅图像局部失真时, 失真部分与其它部分具有不同的图像质量特征值, 因此, 失真图像中各个区域的相关性必然会受到影响, 基于上述分析, 本章提出了一种基于图像质量客观评价体系的图像被动取证方法, 通过使用图像质量参数来侦测失真图像不同的区域质量特性, 从而达到检测和定位的目的。

##### 1、图像质量评估体系

数字图像是以数字的形式进行存储和处理的图像, 也可以看作是对客观存在的真实场景的一种离散采样, 在图像处理的各个阶段, 会不可避免的引入各种不同类型的失真, 导致图像质量的退化, 而数字图像作为人类视觉感知和机器模式识别的重要载体之一, 使用范围越来越广, 频率越来越高, 因此研究者们一直致力于建立科学、完善的图像质量评估体系。

图像质量评价有主观评价和客观评价两种方法, 主观评价方法比较耗时费力, 需要先建立相应的质量等级标准, 由多位观测人对待检测图像的质量进行主观评估得出质量分数, 这种评估结果受观测人自身条件的影响较大。而客观评价方法一般利用相应的算法评估图像质量, 这种评价方法比较容易实现, 并能结合到现实的应用系统中。本论文的研究目标是实现对失真图像的自动盲检测, 采用无参考图像质量评估体系, 在检测的过程中无需原始图像作参考, 也无需多位观测者的参与。数字图像有较强的特征信息内在统计特性, 无参考型图像质量客观评价体系主要分析提取这一特性建立统计模型, 得出图像质量参数, 从而评估数字图像质量。

##### 2、图像质量参数

在图像质量学中, 图像质量可以理解为人们对图像再现 (或复制) 质量好坏的主观印象。近年来, 图像质量研究的焦点正在向图像评价转变。

用于评价图像质量的参数就是图像质量参数, 一般由图像的物理参数和人眼视觉系统 (HVS) 的基本属性获得。常用的图像质量计算参数有: ①基于边缘特性的图像质量参数; ②基于像素差异的图像质量参数; ③基于特征相关性的图像

质量参数；④基于谱距的图像质量参数；⑤基于 HVS 的图像质量参数。这些图像质量参数通过图像质量提取公式进行计算，所得出的质量差异特征值可以用质量得分的形式对图像的质量作出标识。

本节提出了一种基于图像质量差异的一般性图像取证框架，其主要思想是：将图像质量评价的差异特征值引入到图像取证中，再通过图像失真特征分析，用图像质量评价的方法提炼出对失真图像比较敏感的图像质量差异特征量，完成图像质量建模并进行训练和测试，得出图像质量评价得分，并基于质量评价的分数特征进行图像取证实验，从中检测出质量参数分布不一致的区域并标记为失真区域。

图 5-1 给出了基于无参考图像质量评价的图像被动取证技术路线图：

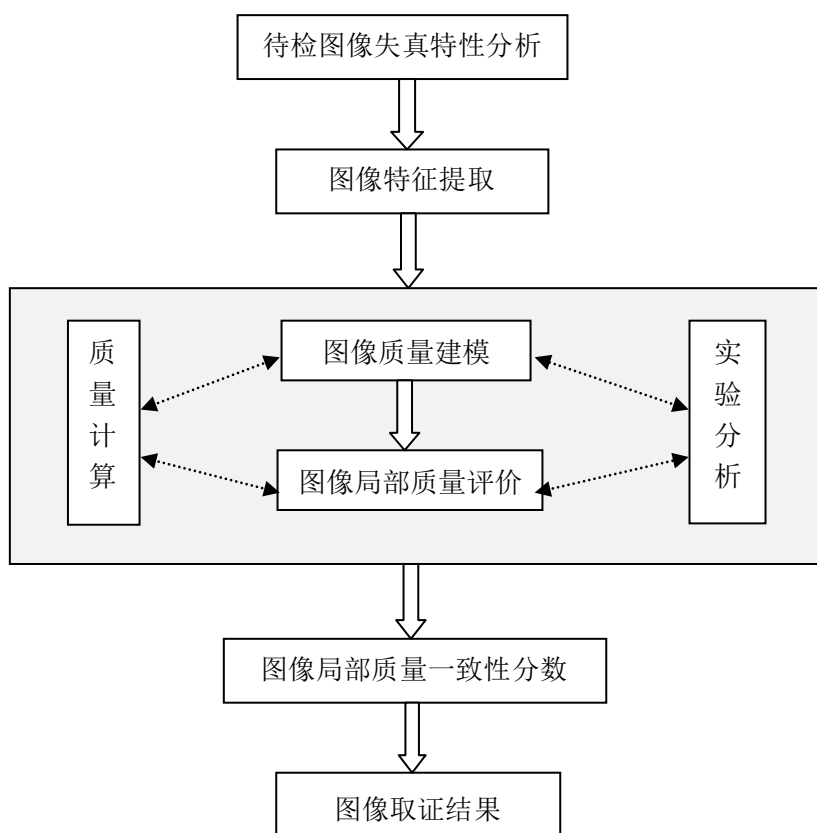


图 5-1 基于无参考图像质量评价的图像被动取证技术路线图

Figure5-1 Technical roadmap of this passive image forensics base on no-reference image quality assessment

首先对待检图像进行图像失真特征分析，用图像质量评价的方法提炼出对失真图像较为敏感的图像质量差异特征量，然后完成图像质量建模并进行训练和测试，通过实验分析和图像质量计算得出图像质量评价得分，并给予图像质量评价的分数特征进行图像取证方面的仿真实验，最后检测得出图像中局部质量参数分布不一致的区域，并标记为失真篡改区域。

本论文下面的章节提出了一种基于视觉质量差异的马赛克区域自动检测算

法,就是研究马赛克图像的无参考质量评价体系在图像质量取证中的应用,实验结果证明,该方法理论依据清晰、简明实用,能够实现对马赛克图像马赛克区域的定位,算法的有效性较高,识别率良好。

## 5.2 马赛克产生的原因 (Cause of Mosaic Effect)

含有马赛克的图像在生活中非常普遍,马赛克效应的出现有两个主要原因:

(1) 非人为因素。即数字图像或视频的制作要经过处理、压缩、传输等多个过程,在这些过程中,图像或视频在解码和编码的每个环节都可能产生误码或丢包现象,导致解码端出现马赛克块,图像或视频质量下降。

(2) 人为因素。主要指人为添加马赛克块以掩盖图像中的特定区域。图像中的马赛克效应主要表现为块内部信息的高度相关性和块间信息的不连续性,即马赛克块内部的像素差异一般很小,而块与块之间的像素差异一般较大。本章主要研究由于人为因素在图像中添加的马赛克块的检测问题,这种马赛克可以理解为对图像的一种篡改。图 5-2 为正常图像和马赛克图像的对比图。



图 5-2 正常图像和马赛克图像的对比图

Figure 5-2 Comparison between normal and mosaic image

## 5.3 现有的马赛克检测方法 (Existing Method of Mosaic Detection)

较为经典的图像中的马赛克检测算法大致有三类,分别是基于边缘检测的算法、基于区域特性的算法以及基于模板匹配的算法。

基于边缘检测的图像中马赛克检测算法一般先对图像进行边缘检测,然后结合模板匹配区分由于马赛克造成的边缘和正常的边缘,该算法可以快速分析处理图像信息,操作简单、性能高效,但在算法处理过程中,由于提取边缘信息时会不可避免的丢失一部分轮廓信息,往往会导致算法的评估结果存在一定的误差率。Wei 等利用 Canny 边缘检测算法进行边缘检测,统计分析各个固定大小的图像块四条边界上的像素数,如果像素数大于规定的阈值则认定为实边界,有三条以上为实边界的图像块则认定其为马赛克块。周超等研究发现,图像中的马赛克区域产生的图像块具有色彩灰度单调性<sup>[142]</sup>,基于此,他们利用 Canny 边缘检测算法

检测马赛克图像的边缘特性,首先用生成的线性高斯滤波函数平滑待检图像,得出滤波后图像的像素梯度幅值和方向来确定边缘特性,该方法能够提取得出图像中马赛克区域和正常图像区域的边缘结构图,并通过对马赛克块的边缘规律进行模板匹配的方法确定马赛克区域的边缘信息。Liu 等利用 Sobel 边缘检测算法进行边缘检测<sup>[138]</sup>,根据每个图像块中实边界的数量将图像块分类,并分析得出各个图像块与四个周边相邻块间的方差,并将其连同块类型进行模糊 C 均值聚类,进而判定图像中马赛克区域的位置。

基于区域特性的检测算法一般先将图像分成固定大小的图像块,然后比较分析各个图像块与周边的分块间的差异,若满足规定特性的差异则被判定为图像中马赛克块。该算法评估精确度高,但算法的计算复杂度也相对较高,难以适应当前的工程实时应用。Dong 等人提出了一种检测由于误码或者数据丢失引起马赛克故障的取证算法<sup>[141]</sup>,通过衡量相邻块的边界像素差来定位视频中马赛克块的数量,从而对待检视频进行质量评估。Sun 等提出了基于空间域的图像中马赛克快速检测算法<sup>[140]</sup>,该算法首先运用空间域理论检测图像中的平坦块,然后通过图像边缘检测预处理定位平坦块的边界,并检测四个边界交叉点,从而对图像中马赛克区域进行定位。

基于模板匹配的检测方法先通过一定的算法提取图像特征,通过各个图像块间的特征对比来区分图像中马赛克块区域和正常区域,再利用模板匹配算法对图像中马赛克区域进行精确定位。该类算法精确度较高,但效率较低,多数此类算法处理时间偏长。Zhang 等提出了一种基于模板匹配策略的图像中马赛克快速检测算法<sup>[137]</sup>,利用边缘检测算法检测图像边缘,然后通过预设模板匹配检测边缘图像中图像块的水平方向和垂直方向,得出图像块效应的交叉点,多于四个交叉点则认定待检图像中存在马赛克区域。Huang 等提出了一种基于支持向量机(SVM)的模板匹配算法<sup>[139]</sup>,先采用 Canny 边缘检测算法进行边缘检测,接着使用模板匹配策略对马赛克块进行初次筛选,再使用 SVM 对初次定位的马赛克块进行二次筛选,从而区分和定位出真正的马赛克区域。

## 5.4 方法原理 (Method and Principle)

马赛克区域和正常区域的区别是在视觉质量上存在明显差异,这也是人眼区分马赛克效应的根本依据。针对这一特点,本章提出了一种基于视觉质量差异的图像马赛克区域检测算法。利用本论文第四章提出的图像块效应评价算法对待检测马赛克图像进行特征提取,分块计算得出图像块效应分数来描述图像的个体特性,并基于图像质量评价得出的块效应分数特征进行图像取证实验,生成视觉质量图,最后从中检测出低质量集聚区域并标记为马赛克区域。

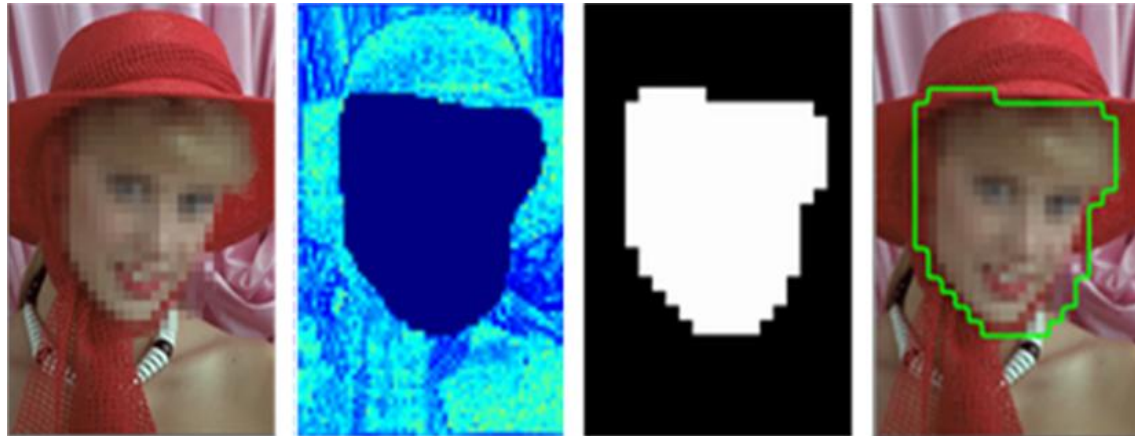
### 5.4.1 块效应评价

马赛克最直接的表现是明显的块效应，主要特点是马赛克块内部的像素差异较小，而块与块之间的差异较大。因此，如果能对图像中的块效应进行有效地评价，就可以判断出其中的马赛克块。Tchebichef 矩是一种描述图像统计特征的正交矩，在图像处理和图像识别领域，该矩具有较强的图像表达能力，是一种被广泛应用的基于统计的特征提取技术。

本章采用基于 Tchebichef 矩的图像块效应算法对待检测马赛克图像进行特征提取，分块计算得出图像块效应得分，具体算法详见第四章，这里不再赘述。得出的块效应评价分数  $Q_k \in (0,1)$ 。 $Q_k$  越接近 1，说明图像块质量越好，块效应越弱； $Q_k$  越接近 0，图像块质量越差，块效应越明显。当然，对所有图像块的块效应分数进行统计平均，还可以得到整幅图像的块效应评价分数。

### 5.4.2 生成视觉质量图

视觉质量图是指能够从视觉感知上直观区分图像中各个区域质量的视觉效果图。本章方法生成的视觉质量图是指利用第四章的质量评价方法，分别计算得出待检图像中的各个图像块的质量分数，并将这些不同区域的分块质量分数用视觉质量图像的方式进行描述。如图 5-3 解释了马赛克区域的检测过程。



(a) 含马赛克图像 (b) 视觉质量图 (c) 低质量集聚区域 (d) 马赛克定位结果

图 5-3 马赛克区域检测过程  
Figure 5-3 Detection process of mosaic area

图 5-3 (a) 是一幅含马赛克的待检测图像，首先将待检图像划分为固定大小的图像块，计算得出每个图像分块的块效应质量分数，然后按区域位置组合所有图像分块的块效应分数，得到如图 5-3 (b) 所示的待检图像视觉质量图，可以观察得出，图像中的正常区域图像块的质量得分相对较高，在视觉质量图中表现为亮色显示，而质量得分低的图像中马赛克区域在视觉质量图中表现为暗色显示部分，这部分暗色显示区域在视觉质量图中的视觉效果与其他正常区域差异明显，



表现为低亮度集聚区，本章方法将这类区域定义为图像低质量集聚区域（Low Quality Gathering Area, LQGA）。图 5-3（c）在图 5-3（b）的基础上，标记出了原始图像上低质量集聚区域的边界，直观地显示出了马赛克区域，图中白色区域为 LQGA，黑色为正常区域。图 5-3（d）为在待检图像中定位标记出 LQGA 边界的结果。由上述马赛克区域检测过程可以得出，LQGA 的检测和提取，能够实现图像中马赛克区域的准确定位。

### 5.4.3 低质量集聚区域检测

分析本章提出的检测方法可知，所需解决的马赛克区域定位问题，可以看作是视觉质量图中 LQGA 的检测定位问题。因此，需要基于视觉质量图中 LQGA 和正常图像块区域的质量分数差异特征，设计一种能够定位 LQGA 的检测模板。

为了消除可能出现的错误检测结果，保证每个图像块质量得分的有序标记，本章方法采用数学形态学的方法，使用具有质量形态的结构元素来检测提取图像中的相应形状进行处理，得到优化后的检测结果。

具体步骤为：将视觉质量图分为大小为  $K \times K$  的滑动窗口  $A$ ，采用滑动窗口算法定义模板，按照光栅扫描规定的扫描顺序从图像的左上角依次遍历各个图像块，模板每  $K$  个单位移动一次位置，在每个位置上，模板及时提取当前窗口的质量分数，并与阈值  $T_{LQ}$  进行对比，若发现质量分数低于阈值  $T_{LQ}$  的单位个数高于总数的  $2/3$ ，则该窗口所在的区域将被标记为马赛克区域，否则标记为正常图像区域。设定滑动窗口  $A$  中低质量元素个数为  $N_{LQ}$ ，标记如下：

$$LQGA = \begin{cases} 0, & \text{如果 } N_{LQ} < \frac{2}{3}K^2 \\ 1, & \text{如果 } N_{LQ} \geq \frac{2}{3}K^2 \end{cases} \quad (5.1)$$

在本章方法的设计中，设定当检测到的马赛克区域像素数占图像总像素数的 5% 以上时，则认为该图像中含有马赛克区域；否则，认为图像中不含马赛克区域。

如果图像中存在马赛克区域，则进一步计算检测的正确率与错误率。具体方法为：将整幅图像记为  $S$ ，其中的马赛克区域记为  $S_{mosaic}$ ，正常区域记为  $S_{normal}$ ，则  $S_{mosaic} \cap S_{normal} = \emptyset$ ， $S_{mosaic} \cup S_{normal} = S$ 。检测到的图像中马赛克区域记为  $S'_{mosaic}$ ，设检测的正确率为  $r$ ，错误率为  $w$ ，则马赛克区域检测正确率和错误率分别定义如下：

$$r = \frac{|S_{mosaic} \cap S'_{mosaic}|}{|S_{mosaic}|} \quad (5.2)$$

公式 5.2 指利用本章方法检测到的图像中马赛克区域占待检图像实际马



赛克区域的比例， $r$ 值越趋近于 0，则表明被检测出来的实际马赛克区域的比例越低， $r$ 值越趋近于 1，则表明本章算法的检测正确率越高。

$$w = \frac{|S_{normal} \cap S'_{mosaic}|}{|S_{normal}|} \quad (5.3)$$

公式 5.3 是指在待检图像的实际正常区域中检测出马赛克区域的比例， $w$  值越小，则表明从图像实际正常区域中检测出马赛克的区域越少， $w$  值越趋近于 0，则表明本章算法的检测错误率越低。

## 5.5 实验结果与分析 (The Experiment Results and Analysis)

### 5.5.1 实验设置

为了验证本章算法的有效性，本节对所提出的算法进行测试。实验中，我们首先对图像进行分块，分块的大小设置为常用的  $8 \times 8$ 。同时，实现过程中计算的 Tchebichef 矩阶数设置为 14，即  $m = n = 7$ ，此时为矩的最高阶数，Tchebichef 矩对图像具有最好的表达能力，对图像块效应的评价也最为准确。文中涉及的用于判断块效应的阈值设置为  $T_{LQ} = 0.05$ ，用于检测低质量集聚区域的滑动窗口大小为  $3 \times 3$ 。

### 5.5.2 性能分析

图 5-4 (a) 所示为在 UCID<sup>[142]</sup> 图像库中随机抽取的 4 幅原始图像，在原始图像中添加部分马赛克区域，制作成如图 5-4 (b) 所示的马赛克图像，按照各个图像块所在区域位置组合马赛克图像各分块的质量分数，得出如图 5-4 (c) 所示的视觉质量图，图中暗色聚集显示区域位置为马赛克区域，亮色区域为正常区域，标记视觉质量图中低质量集聚区域的边界，并将其在原始图像中进行定位标记，得出如图 5-4 (d) 所示的检测结果。通过视觉感知可以直观看出，本章算法所得出的视觉质量图能够较好的反映图像中的视觉质量差异，准确区分图像中马赛克区域与正常区域，并精确描述图像中马赛克区域的边界信息，实现对马赛克区域的精确定位。

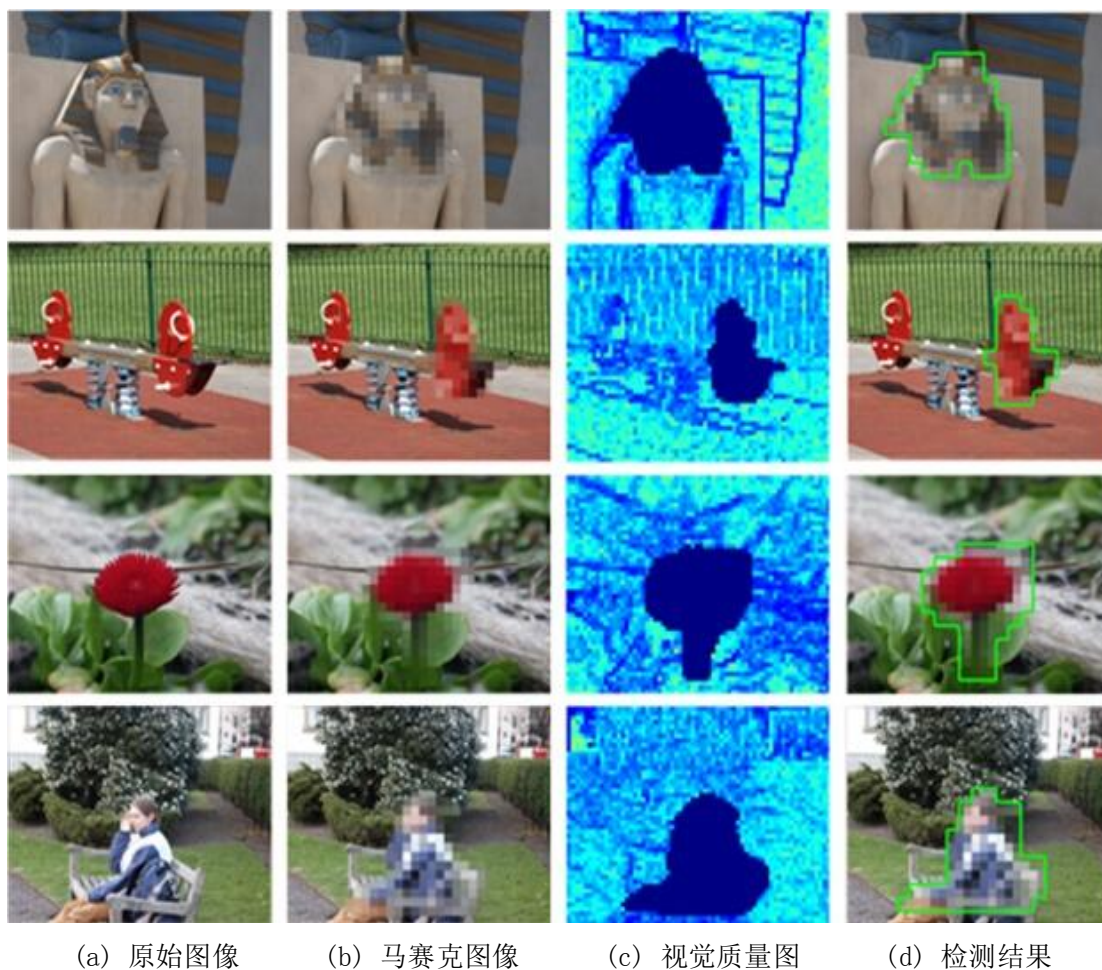


图 5-4 马赛克测试图像及其检测结果

Figure 5-4 Mosaic test image and its test result

为了验证算法性能，对算法优劣进行综合评价，我们随机选取 UCID<sup>[143]</sup> 和 NCID<sup>[144]</sup> 图像库中各 100 幅原始图像，利用 Photoshop 工具分别在原始图像中添加部分马赛克区域，具体为：在 100 幅 UCID 图像库原始图像中，选取  $160 \times 160$  大小的固定区域，分别添加  $8 \times 8$  和  $16 \times 16$  大小的马赛克效应块，生成 200 幅图像大小为  $512 \times 384$  的 UCID 图像库马赛克图像。同时，在 100 幅 NCID 图像库原始图像中，选取  $120 \times 120$  大小的固定区域，也分别添加  $8 \times 8$  和  $16 \times 16$  大小的马赛克效应块，生成 200 幅图像大小为  $512 \times 384$  的 NCID 图像库马赛克图像。这样制成含有 200 幅原始图像和 400 幅马赛克图像的本章算法图像库。

表 5-1 中给出了对图像库中 200 幅原始图像以及 400 幅马赛克图像进行检测的结果，表中给出的检测正确率和错误率分别为图像库中各种类型生成的 100 张图像各自的正确率和错误率取平均值。

表 5-1 UCID 和 NCID 图像库的测试结果  
Table 5-1 Test results of UCID and NCID image library

图像库	马赛克图像数	无马赛克图像数	正确率	错误率
UCID 原始	0	100	/	/
UCID 8×8	100	0	1	0.0178
UCID 16×16	100	0	1	0.0178
NCID 原始	0	100	/	/
NCID 8×8	100	0	0.9834	0.0093
NCID 16×16	100	0	0.9834	0.0093

从表 5-1 中可以看出,本章算法在 600 幅测试图像中获得了较好的效果。对于图像中是否存在马赛克区域,算法能够给出准确度较高的判断,图像库中的 400 幅存在马赛克区域的图像,分别为 UCID8×8、UCID16×16、NCID8×8、NCID16×16 马赛克图像各 100 张,马赛克区域的检出率为 100%,这验证了算法的有效性。另外,400 幅含马赛克图像的平均检测正确率高于 98%,其中 UCID 图像库中的 200 幅马赛克图像检测正确率为 100%;含马赛克图像的平均检测错误率低于 2%;NCID 图像库中的 200 幅马赛克图像检测正确率高于 98%;含马赛克图像的平均检测错误率低于 1%;这说明算法的精确度很高。从表中还可以看出,不论是 UCID 图像库还是 NCID 图像库中的马赛克图像,马赛克块的大小(8×8 或 16×16)对算法性能的影响都很小。上述实验结果说明,本算法的性能优良,能够很好地检测定位图像中的马赛克区域。

当前,应用最为广泛的图像压缩算法是 JPEG 压缩,图像在添加了马赛克之后往往会存储成 JPEG 格式,因此,有必要对算法抵抗 JPEG 压缩的性能进行测试。下面,对本章算法图像库中 400 幅图像(4 种类型各 100 幅马赛克图像)分别进行品质因子 10-90 的 JPEG 压缩,并采用本章提出的算法对压缩后的马赛克图像进行检测,计算出平均正确率和错误率,实验结果如图 5-5 和图 5-6 所示。图 5-5 检测 10-90 的 JPEG 品质因子平均正确率。图 5-6 检测 10-90 的 JPEG 品质因子平均错误率。

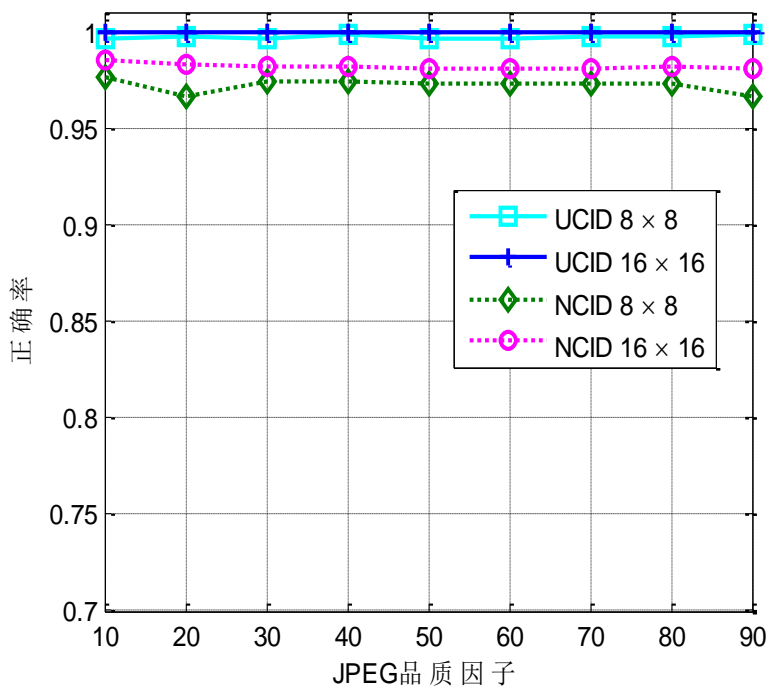


图 5-5 JPEG 品质因子平均正确率  
Figure 5-5 Average correct rate of JPEG quality factor

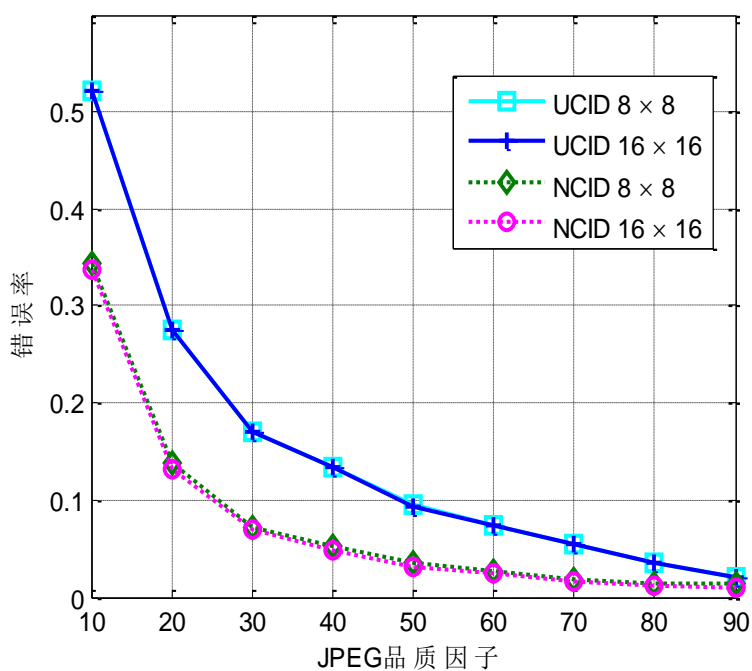


图 5-6 JPEG 品质因子平均错误率  
Figure 5-6 Average error rate of JPEG quality factor

分析图 5-5 可以得出，图像马赛克区域检测准确率受 JPEG 格式压缩的影响很小，UCID8×8 和 16×16 两种类型共 200 张马赛克图像经过品质因子 10-90 的 JPEG 压缩后的检测正确率为 100%，NCID8×8 和 16×16 图像压缩后的正确率也保持在 96% 以上，并且这种影响和 JPEG 品质因子的高低无关。这是由于在 JPEG 图像在使用基于块的变换编码进行压缩时会产生块效应，这些块效应会和图像中

的马赛克块进行迭加，这样就相当于图像的失真区域迭加了不同的量化误差，当品质因子越低时，这种迭加带来的块效应效果越明显，图像中的马赛克区域就容易被检测出来，因此 JPGE 压缩对检测的正确率没有影响。

相比检测正确率而言，JPEG 压缩对图像中正常区域的检测效果影响更大。分析图 5-6 可以得出，随着 JPEG 品质因子的降低，马赛克图像的检测错误率逐渐递增，且当品质因子低于 40 时，检测错误率的增幅较为明显，这是由于 JPEG 压缩过程中产生的块效应会随着品质因子的降低而更加明显，因此当马赛克图像中正常区域的块效应也越来越明显时，就有可能被算法当做是马赛克块进行检测提取，导致检测错误率增高。当 JPEG 品质因子高于 50 时，检测错误率相对较小，UCID 图像的平均错误率低于 10%，NCID 图像的平均错误率低于 5%，而在现实工程应用中的 JPEG 压缩图像品质因子多数高于 50。通过上述分析得出，本章算法对 JPEG 压缩图像具有较好的鲁棒性。

最后，将本章算法与 Zhang 的方法<sup>[137]</sup>进行比较，实验结果如图 5-7 所示。

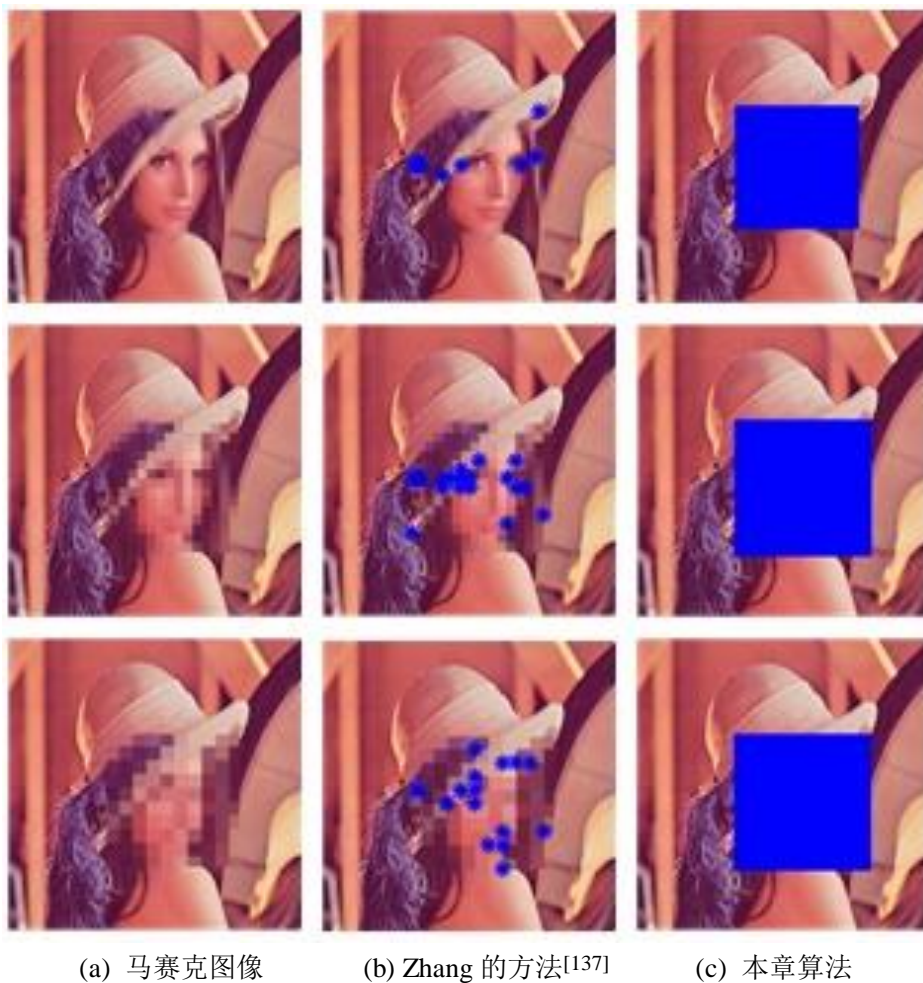


图 5-7 马赛克定位性能比较

Figure 5-7 Performance comparison of the mosaic position

图中从上至下依次对图像添加  $8 \times 8$ 、 $16 \times 16$ 、 $24 \times 24$  大小的马赛克块，并利

用两种方法分别进行检测。参考文献的方法用星号标记马赛克块的相接位置,本章中则用颜色直接标记出马赛克区域。从图 5-7 看出,对于不同大小的马赛克块,本章方法均能够准确定位马赛克区域。Zhang 的方法<sup>[137]</sup>虽能定位马赛克区域,但仅能标记出少部分马赛克块,大部分的马赛克块无法准确定位。此外,参考文献的方法受马赛克块大小的影响较大,较大的马赛克块容易检测,马赛克块太小则会出现较多的错误检测结果。

## 5.6 本章小结 (The Chapter Summary)

本章首先基于对失真图像质量特征的分析,提出了一种一般性的基于无参考型图像质量客观评价体系的图像被动取证方法,通过使用图像质量参数来侦测失真图像不同区域的质量特性,达到检测定位的目的。为检测该方法的性能和效果,本章提出了一种基于视觉质量差异的马赛克区域自动检测算法,研究马赛克图像的无参考质量评价体系在图像质量取证中的应用。该算法从视觉质量无参考评价的角度对图像块效应进行定量分析,生成视觉质量图,区分并标记其中的正常区域和低质量集聚区,从而实现对图像中马赛克区域的检测定位。实验表明,该方法的有效性高、识别率好,能够准确定位马赛克区域。



## 6 结论

## 6 Conclusions

### 6.1 研究工作总结 (Conclusions)

数字图像作为最直观高效的一种信息描述和交流载体,正在成为一种人类社会更为自然的通用信息交流方式。图像质量是衡量图像评价系统各个环节技术水平高低的核心评价标准,为了优化图像处理系统,量化辨识数字图像失真现象,需要对图像质量作出准确客观的评价。而面对浩如烟海的图像信息,想要用人眼来迅速及时的判断图像质量已经力不从心,这就需要设计出图像质量评价方法,让计算机来代替人们进行图像质量的评判。图像质量评价能够广泛应用于图像的获取、传输、处理等各个环节,研究开发性能优良的图像质量评价系统具有重要的现实意义。

相比全参考、半参考图像质量评价方法,无参考评价方法设计难度更高。本论文针对现实工程应用中,原始参考图像难以获得的现象,重点研究了更具实用价值的无参考图像质量评价及其应用。在深入研究无参考图像质量评价的理论基础和一些相关的典型的算法后,选取普遍存在的图像模糊、图像块效应、马赛克图像等类型的失真图像进行研究,提出了基于解析稀疏表示特征、离散正交矩特征、视觉质量差异特征的相关规律,开发出了 2 种无参考图像质量评价算法,并将提出的图像块效应无参考质量评价算法在图像中马赛克区域的定位取证中进行了应用研究。

概括的讲,本论文的研究工作主要从以下几个方面展开:

(1) 本论文从图像质量评价入手,分析研究了客观质量评价的全参考、半参考和无参考三类质量评价算法的优缺点和应用价值,将研究重点放在符合现实工程应用需要的无参考图像质量评价上,对图像质量评价中的难点问题进行说明,系统地分析了图像质量评价的常用数据库以及质量评价算法的评价标准。本论文还研究了图像被动取证的相关图像篡改鉴定技术,分析讨论了常见的图像取证算法的实现原理、相应的优缺点和适用范围,总结分析了图像被动取证算法的一般规律,给出了数字图像被动取证的系统理论框架,并对图像建模、图像数据库等数字图像取证系统进行了研究分析。

(2) 本论文提出了一种基于解析稀疏表示的图像模糊无参考快速评价算法。该方法是针对模糊失真图像类型进行的无参考质量评价。由于从自然图像训练得到的字典原子与人眼初级视觉皮层中简单细胞的工作机理相一致,因此基于字典的稀疏表示能够较好的应用于图像识别并满足图像质量评价的性能要求,基于此,

本论文提出了采用解析字典对失真模糊图像进行稀疏表示,从而达到对模糊图像快速无参考评价的效果。其主要思想是:利用解析字典描述图像中由于模糊带来的高频能量衰减,并通过归一化消除图像内容的影响,再利用视觉显著性进行加权处理,使得模糊分数更加切合人眼视觉系统的特点。通过在目前国际通用的四个图像质量数据库上进行的实验仿真,以及与 6 种目前较具代表性的质量评价方法的比较表明,该算法的性能总体优于现有方法,并且具有很高的计算效率。

(3) 本论文提出了一种基于离散正交矩的图像块效应评价方法,该方法是针对块效应失真图像类型进行的无参考质量评价,能够在没有参考图像的情况下准确地对待检块效应失真图像进行质量评价,得出与人的主观感受一致的评价结果,真实反映图像的质量。该方法与以往的一些无参考的块效应图像质量评价的方法相比,利用离散正交矩(Tchebichef 矩)提取图像特征,以失真图像块效应边缘为条件沿水平方向和垂直方向划分成不重叠的图像块,通过对每一个图像块进行离散正交矩变换,选取矩变换矩阵中能反映图像块效应严重程度的参数计算得到图像块质量分数,并对每个图像块每个方向质量分数求平均值,最终得到图像的质量分数。该方法把图像的块效应程度通过变换域计算得出,对图像的描述更加准确,更加符合人的主观感受。通过在 LIVE 图像数据库和 MICT 图像数据库中的进行仿真实验表明,并综合比较该方法与 4 种该领域主流方法的实验结果表明,该方法各项性能指标均明显优于其他 4 种方法,在评价图像质量准确性最高,且具有良好的单调性。

(4) 本论文基于对失真图像质量特征的分析,提出了一种一般性的基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证框架,通过使用图像质量参数来侦测失真图像不同的区域质量特性,达到检测和定位的目的。其主要思想是:基于图像质量评价参数的特征值提取将图像质量评价的差异特征值引入到图像取证中,再通过图像失真特征分析,用图像质量评价的方法提炼出对失真图像比较敏感的图像质量差异特征量,完成图像质量建模并进行训练和测试,得出图像质量评价得分,并基于质量评价的分数特征进行图像取证实验,从中检测出质量参数分布不一致的区域并标记为失真区域。

(5) 本论文将提出的图像块效应无参考质量评价算法应用于图像中马赛克区域的定位取证中。针对图像中马赛克区域和正常区域在视觉质量上存在明显差异的特点,本论文提出了一种基于视觉质量差异的图像马赛克区域检测算法,利用基于 Tchebichef 矩的图像块效应无参考质量评价方法对待检测马赛克图像进行特征提取,分块计算得出图像块效应分数来描述图像的个体特性,并基于图像质量评价得出的块效应分数特征进行图像取证实验,生成视觉质量图,最后从中检测出低质量集聚区域并标记为马赛克区域,实现对马赛克区域的定位。该方法



的实验中,从 UCID 和 NCID 两个图像库中各选取 100 幅图像,制作  $8\times 8$  和  $16\times 16$  大小的马赛克图像库进行仿真实验和 JPEG 压缩影响试验,实验结果表明,算法能够准确地判断图像中是否存在马赛克效应,并将含有马赛克的图像的马赛克区域准确无误地检测出来,检测的正确率达到 0.98 以上,实验结果表明该算法的检测性能优良。

## 6.2 研究展望 (Prospects)

随着科学技术的进步和数字图像技术的发展,数字图像产品日益普及,提高图像质量已经成为一个非常紧迫的问题,因此,有效评价图像质量就显得尤其重要。近年来,国内外在数字图像客观质量评价的研究方面不断发展,取得了较大的进步,但是图像质量评价特别是无参考质量评价的评价准确率还有待进一步提高。今后可以在以下几个方面开展更进一步的研究工作:

(1) 本论文提出了一种一般性的基于无参考型图像质量客观评价体系的图像取证策略,并通过对马赛克图像的取证定位应用验证了策略的有效性,但由于时间和精力有限,没有对该策略进行更加深入和广泛的研究和应用,在今后的工作和学习中,可以尝试将这一策略应用于不同的失真类型,进一步拓宽应用范围,改进方法性能。

(2) 加强对人类视觉系统模型的研究。当前,人们对人眼视觉感知系统的研究和认知还很有限,各种外在因素会导致不同的视觉感知差异,导致人们在模拟人类视觉系统建模进行模型描述时困难重重,应当进一步加强对人眼视觉系统的深层次研究,并将其应用在图像质量评价模型上,进一步提升图像质量评价性能。

(3) 加强对混合失真类型的评价研究。现有的大部分图像质量评价算法,大多是针对同一失真类型的图像进行研究,而在现实的工程应用中,数字图像往往存在着混合了多种失真类型的现象,因此,加强对混合失真类型的评价研究是未来图像质量评价研究的重要方向。

(4) 加强对图像色彩特征信息的研究。现有的图像质量评价方法,大部分都是直接将彩色图像转化成灰度图像进行评价,下一步,如果能够对图像色彩本身的特征信息加以利用,直接对彩色图像进行性能评价,将会使彩色图像的评价精确度得到提高。

(5) 加强对立体图像质量评价的研究。从当前的图像质量评价研究进展看,研究者们不再只注重研究二维平面图像质量评价,开始更多的关注对三维立体图像和视频的评价。如何合理的运用现有的平面图像评价理论,研究开发立体图像的质量评价体系,将是未来图像质量评价研究的重要趋势。

(6) 加强对通用型无参考质量评价模型的研究。为了更好地让计算机来代

替人眼进行图像质量的评判,未来图像质量评价研究最重要的方向就是研究出能够评价所有失真类型的通用无参考质量评价模型。可以加强多核机器学习、神经网络等方法在无参考图像质量评价中的应用研究。

## 参考文献

- [1] Wang Z, Bovik A C. Reduced- and No-Reference image quality assessment [J]. IEEE Signal Processing Magazine.2011, 28(6): 29-40.
- [2] Wang Z, Bovik A C. Modern Image Quality Assessment [M]. New York: Morgan and Claypool Publishers, 2006.13-27.
- [3] Winkler S. Vision Models and Quality Metrics for Image Processing Applications, Vienna University of Science and Technology, Electrical Engineering/Communications Engineering, 2000.
- [4] Wang Z, Bovik A C. Mean squared error: Love it or leave it? A new look at Signal fidelity measures[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2009, 26(1): 98-117.
- [5] Eckert M P, Bradley A P. Perceptual quality metrics applied to still image compression [J]. Signal Processing, 1998, 70(3): 177-200.
- [6] Pappas T N, Safranek R J. Perceptual criteria for image quality evaluation[C]. Handbook of Image and Video Processing, New York, 2000.
- [7] Wang Z, Bovik A C, Lu L. Why is image quality assessment so difficult?[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP2002), 2002(4): IV3313-3316.
- [8] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-84.
- [9] Sheikh H R, Bovik A C, de Veciana G. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2005, 14(12): 2117-2128.
- [10] Sheikh H R, Bovik A C. Image information and visual quality [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2006, 15(2): 430-444.
- [11] Wang Z, Wu G, Sheikh H R, Simoncelli E P, Yang E H, Bovik A C. Quality-aware images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1680-1689.
- [12] Rehman A, Wang Z. Reduced-reference image quality assessment by structural similarity estimation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(8): 3378-3389.
- [13] Wang Z, Simoncelli E P, Bovik A C. Multiscale structural similarity for image quality assessment[C]. In: Signals, Systems and Computers, 2003. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on. IEEE, 2003, 2: 1398-1402.
- [14] Wang Z, Shang X. Spatial pooling strategies for perceptual image quality assessment[C]. In: Image Processing. 2006 IEEE International Conference on. IEEE, 2006: 2945-2948.

- [15] Wang Z, Simoncelli E P. Reduced-reference image quality assessment using A wavelet domain natural image statistic model[C]. In Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging, 2005, 5666(1): 149-159.
- [16] LiQ, Wang Z. RR Image Quality assessment using divisive normalization based image representation[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(2): 202-211.
- [17] Rehman A, Wang Z. Reduced-reference image quality assessment by structural similarity estimation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2012, 21(8): 3378-3389.
- [18] Wang Z, Wu G, Sheikh H R, et al. Quality-aware images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1680-1689.
- [19] Wang S, Zheng D, Zhao J, et al. An image quality evaluation method based on digital watermarking[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(1): 98-105.
- [20] Gao X, Lu W, Tao D, Li X. Image quality assessment based on multiscale geometric analysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(7): 1409-1423.
- [21] Lu W, Gao X, Li X, et al. An image quality assessment metric based contourlet[C]. In: Image Processing, ICIP 2008. 15th IEEE International Conference on. IEEE, 2008: 1172-1175.
- [22] Wee C Y, Paramesran R, Mukundan R, et al. Image quality assessment by discrete orthogonal moments [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(12): 4055-4068.
- [23] He L, Gao X, Lu W, et al. Image quality assessment based on S-CIELAB model [J]. Signal, Image and Video Processing, 2011, 5(3): 283-290.
- [24] Narvekar N D, Karam L J. A no-reference image Blur metric based on the cumulative probability of Blur detection (CPBD)[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(9): 2678-2683.
- [25] Capodiferro L, Jacovitti G, Di Claudio E D. Two-Dimensional Approach to Full-Reference Image Quality Assessment Based on Positional Structural Information [J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2012, 21(2): 505-516.
- [26] Li C F, Yuan W, Bovik A C, Wu X. No-reference Blur index using Blur comparisons [J]. Electronics Letters, 2011, 47(17): 962-963.
- [27] He L, Tao D, Li X, et al. Sparse representation for blind image quality assessment[C]. 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012: 1146-1153.
- [28] Sheikh H R, Bovik A C, and Cormack L. No-reference quality assessment using natural scene statistics: JPEG2000 [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2005, 14(11): 1918-1927.
- [29] Wang Z, Bovik A C. Bitplane-by-bitplane shift (BbBShift) - A suggestion for JPEG 2000 region of interest coding [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(5): 60-62.

- [30] Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, Ebrahimi T. Perceptual blur and ringing metrics: Application to JPEG2000 [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2004, 19(2): 163-172.
- [31] Wang Z, Sheikh H R, Bovik A C. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images[C]. *International Conference on Image Processing*, 2002, 1(2): 477-480.
- [32] Narwaria M, Lin W, McLoughlin I V, et al. Fourier transform-based scalable image quality measure [J]. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 2012, 21(8): 3364-3377.
- [33] Liu S, Bovik A C. Efficient DCT-domain blind measurement and reduction of blocking artifacts. *IEEE Trans [J]. Circuits and System for Video Technology*, 2002, 12(12):1139-1149.
- [34] VQEG. Final report from the video quality experts group on the validation of objective models of video quality assessment [EB/OL]. <http://www.vqeg.org/>.
- [35] Sheikh H R. Image quality assessment using natural scene statistics [D]. The University of Texas, 2004.
- [36] Wang Z, Bovik A C. Reduced and No-Reference image quality assessment [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2011, 28(6): 29-40.
- [37] Ponomarenko N, Carli M, Lukin V, Egiazarian K, Astola J, Battisti F. Color image database for evaluation of image quality metrics[C]. *Proceedings of International Workshop on Multimedia Signal Processing*, 2008, 403-408.
- [38] Ponomarenko N, Battisti F, Egiazarian K, Astola J, Lukin V. Metrics performance comparison for color image database [C]. *Proceedings of International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics*, 2009, 6: 14-16.
- [39] Ponomarenko N, Ieremeiev O, Lukin V, Egiazarian K, L.Jin, Astola J, Vozel B, Chehdi K, Carli M, Battisti F, et al. Color image database tid2013: peculiarities and preliminary results[C]. *European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP2013)*, 2013.
- [40] Sheikh H R, Wang Z, Bovik A C, Cormack L K. Image and Video Quality Assessment Research at LIVE [EB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/>.
- [41] Larson E C, Chandler D M. Categorical image quality (csiq) database [EB/OL]. 2009. <http://vision.okstate.edu/csiq>.
- [42] Ninassi A, Le Callet P, Autrusseau F. Subjective quality assessment-ivc database [EB/OL]. <http://www2.irccyn.ec-nantes.fr/ivcdb>.
- [43] Horita Y, Shibata K, Kawayoke Y, Sazzad Z M P. Mict image quality evaluation database [EB/OL]. <http://mict.eng.u-toyama.ac.jp/mict/index2.html>.
- [44] Xue W, Zhang L, Mou X. Learning without Human Scores for Blind Image Quality Assessment[C]. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2013. 995-1001.

- [45] Sheikh H R, Sabir M F, Bovik A C. A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2006, 15(11): 3440–3451.
- [46] Serir A, Beghdadi A, Kerouh F. No-Reference Blur Image Quality Measure Based on Multiplicative Mutiresolution Decomposition [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24(7): 911-925.
- [47] 赵泽茂. 数字签名理论[M]. 北京:科学出版社, 2007:1-80.
- [48] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of copy-move forgery in digital images[C], In Digital Forensic Research Workshop, Cleveland, 2003.
- [49] Bayram S, Sencar H T, Memon N. Classification of digital camera-models based on demosaicing artifacts [J]. Digital Investigation, 2008, 5(1-2): 49-59.
- [50] Fridrich J, Lukas J. Estimation of primary quantization matrix in double compressed JPEG Images [C]. In Digital Forensic Research Workshop, Cleveland, 2003:5-8.
- [51] 李丽新, 袁烨. 网络安全通讯中的数字签名[J]. 现代情报, 2007, 8: 53-56.
- [52] Fridrich J, Soukal D, Lukas J. Detection of copy-move forgery in digital images[C]. In Digital Forensic Research Workshop, Cleveland, 2003.
- [53] Lukas J, Fridrich J, Goljan M. Determining digital image origin using sensor imperfections[C]. In SPIE Electronic Imaging San Jose, 2005: 249-260.
- [54] Farid H, Lyu S. Higher-order wavelet statistics and their application to digital forensics[C]. In IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer Vision, Madison, 2003, 8: 94-94.
- [55]. Johnson M K, Farid H. Exposing digital forgeries in complex lighting environments[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(3): 450-461.
- [56] Hsu Y, Chang S. Detecting image splicing using geometry invariants and camera characteristics consistency[C]. In IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2006: 549-552.
- [57] Matthew C, Steven K.Tjoa, W.Sabrina Lin, K. J. Ray Liu. Undetectable image tampering through JPEG compression anti-forensics[C]. In IEEE 17th International Conference on Image Processing, Hong Kong, 2010: 2109-2112.
- [58] 周琳娜, 王东明, 郭云彪, 杨义先. 基于数字图像边缘特性的形态学滤波取证技术[J]. 电子学报, 2008, 36(6): 1047-1051.
- [59] 张震, 任远, 平西建, 康吉全. 基于图像质量评价量和隐马尔科夫模型的图像拼接检测[J]. 武汉大学学报信息科学版, 2008, 33(10): 1030-1033.
- [60] 王浩明, 杨晓元. 一种基于 DCT 系数直方图差异的 JPEG 图像篡改检测[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2014, 46(1): 27-32.
- [61] 许国栋, 李峰, 熊兵, 殷苒茗. 基于模糊不变矩的复制粘贴伪造检测方法[J]. 计算机工

程与应用, 2012, 48(20): 211-215.

- [62] Farid H. Creating and detecting doctored and virtual images : implications to the child pornography prevention act[R]. Technical Report, TR2004-518, Dartmouth College, 2004.
- [63] Popescu A C, Farid H. Exposing digital forgeries by detecting duplicated image regions[R]. “Dept. Comput. Sci” Dartmouth College, Tech. Rep. TR2004-515, 2004.
- [64] Zimba M, Sun X. DWT-PCA (EVD) based copy-move image forgery detection[J]. In International Journal of Digital Content Technology and its Applications, January 2011: 251-258.
- [65] Weiqi Luo, Jiwu Huang, Guoping Qiu. Robust detection of region duplication forgery in digital image[C]. The 18th International Conference on Pattern Recognition(ICPR), 2006:746-749.
- [66] 骆伟祺, 黄继武, 丘国平. 鲁棒的区域复制图像篡改检测技术[J]. 计算机学报, 2007, 30(11): 1998 -2007.
- [67] 魏为民, 王朔中, 唐振军. 一类数字图像篡改的被动认证[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007, 37(1): 58-61.
- [68] Guohui Li, Qiong Wu, Tu D, et al. A Sorted Neighborhood Approach for Detecting Duplicated Regions in Image Forgeries Based on DWT and SVD[C]. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2007: 1750-1753.
- [69] Micah K. Johnson, Hany Farid. Exposing Digital Forgeries through Specular Highlights on the Eye[C]. In: The 9th International Workshop on Information Hiding, Saint Malo, France, 2007: 311-325.
- [70] Tian-TsongNg, Shih-FuChang. A Model for Image Splicing[C]. ICIP2004 International Conference. SingaPore: IEEE, 2004: 1169-1172.
- [71] Fu D, Shi Y Q, Su W. Detection of Image Splicing based on Hilbert-huang Transform and Moments of Characteristic Functions with Wavelet Decomposition[C]. Lecture Notes in Computer Science, 2006: 177-187.
- [72] Chen W, Shi Y Q, Su W. Image Splicing Detection Using 2-d Phase Congruency and Statistical Moments of Characteristic Function[C]. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2007, vol. 6505.
- [73] Chen M, Fridrich J, Lukas J, et al. Imaging Sensor Noise as Digital X-ray for Revealing Forgeries [C]. In Information Hiding. Springer Berlin Heidelberg, 2007:342-358.
- [74] Johnson K, Farid H. Exposing Digital Forgeries through Chromatic Berration[C]. International Multimedia Conference Proceeding of the 8th Workshop on Multimedia and Security. NewYork, ACMPress, 2006: 48-55.

- [75] Popescu A C, Farid H. Statistical tools for digital image forensics[C]. 6th International Workshop on Information Hiding LNCS vol. New York, Springer-Verlag, 2004: 128-147.
- [76] Yi Lei Chen, Chiou Ting Hsu. Detecting doubly compressed images based on quantization noise model and image restoration[C]. IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing, 2009: 1-6.
- [77] Farid H. Exposing digital forgeries from jpeg ghosts[J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2009, 4(1): 154-160.
- [78] Pevny T, Fridrich J. Detection of Double-Compression in JPEG Images for Applications in Steganography[J]. IEEE Trans on Information Forensics and Security, 2008, 3(2): 247- 258.
- [79] Ting Zhang, Wang Rangding. Doctored JPEG image detection based on double compression features analysis[C]. ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 2009 : 76-80.
- [80] Swaminathan A, Wu M, Liu K J R. Nonintrusive component forensics of visual sensors using output images[J]. IEEE Transactions of Information Forensics and Security, 2007, 2(1): 91-106.
- [81] Lukas J, Fridrich J, Goljan M. Digital camera identification from sensor noise[J]. IEEE Transactions on Information Security and Forensics. 2006, 1(2): 205-214.
- [82] Chen M, Fridrich J, Goljan M, Lukas J. Determining image origin and integrity using sensor noise[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security. 2008, 3(1): 74-90.
- [83] Choi K S, Lam E Y, Wong K K Y. Feature selection in source camera identification[C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Washington D C, USA: IEEE, 2006: 3176-3180.
- [84] Choi K S, Lam E Y, Wong K K Y. Automatic source camera identification using the intrinsic lens radial distortion[J]. Optical Express. 2006, 14(24): 11551-11565.
- [85] Dirik A E, Sencar H T, Memon N. Digital single lens reflex camera identification from traces of sensor dust[J]. IEEE Trans. On Information Forensics and Security. 2008, 3(3): 539-552.
- [86] Farid H. Digital image ballistics from JPEG quantization[R]. TR2006-583, Hanover, NH, USA: Dartmouth College, Computer Science, 2006.
- [87] Farid H, Lyu S. Higher-order wavelet statistics and their application to digital forensics[C]. In IEEE Workshop on Statistical Analysis in Computer Vision, Madison, 2003, 8: 94-94.
- [88] Lyu S, Farid H. How realistic is photorealistic[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 845-850.
- [89] Ng T T, Chang S F, Hsu Y F, Xie L X, Tsui M P. Physics-Motivated features for distinguishing photographic images and computer graphics[C]. In: Proceedings of the 13th Annual ACM



- International Conference on Multimedia. New York, USA: ACM, 2005: 239-248.
- [90] Wang Y, Moulin P. On discrimination between photorealistic and photographic images[C]. In: Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Washington D.C, USA: IEEE, 2006: 11-11.
- [91] Ng T T, Chang S F, Hsu J. Pepeljugoski M. Columbia Photographic images and photorealistic computer graphics dataset[R]. Advent Technical Report, New York: Columbia University, 2005.
- [92] Chen W, Shi Y Q, Xuan G R. Identifying computer graphics using HSV color model and statistical moments of characteristic functions[C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Washington D.C, USA: IEEE, 2007: 1123-1126.
- [93] Tong H, Li M, Zhang H. Blur detection for digital images using wavelet transform[C]. In IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2004, 1:17-20.
- [94] 王波, 孙璐璐, 孔祥维, 尤新刚. 图像伪造中模糊操作的异常色调率取证技术[J]. 电子学报, 2006 年 12 月增刊: 2451-2454.
- [95] Popescu A C, Hany Farid. Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling[C]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 758-767.
- [96] Kirchner M. Fast and reliable resampling detection by spectral analysis of fixed linear predictor residue[C]. Proceedings of the 10th ACM Workshop on Multimedia and Security, 2008: 11-20.
- [97] Kirchner M, Gloe T. On resampling detection in re-compressed images[C]. Proceedings of first IEEE International Workshop on Information Forensics and Security, 2009: 21-25
- [98] Tian-Tsong Ng, Shih-Fu Chang, Ching-Yung Lin. Passive-blind Image Forensics[J]. Multimedia Security technologies for digital rights, Elsevier, 2006: 1-30.
- [99] PIM and PRCG 图像数据库[DB/OL]. <http://www.ee.columbia.edu/trustfoto>.
- [100] Lin W S, Jay Kuo C. Perceptual visual quality metrics: a survey[J]. Commun. Image Represent, 2011, 22(4): 297-312.
- [101] Chandler D M. Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research[J]. ISRN Signal Processing, 2013: 1-53.
- [102] Marziliano P, Dufaux F, Winkler S, Ebrahimi T. Perceptual blur and ringing metrics: application to JPEG2000[J]. Signal Processing: Image Communication, 2004, 19(2): 163-172.
- [103] Ferzli R, Karam L J. A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB)[J]. IEEE Trans. Image Process, 2009, 18(4): 717-728.
- [104] Narvekar N D, Karam L J. A no-reference image blur metric based on the cumulative

- probability of blur detection (CPBD)[J]. IEEE Trans. Image Process, 2011, 20(9): 2678-2683.
- [105] Vu C T, Phan T D, Chandler D M. S3: A spectral and spatial measure of local perceived sharpness in natural images[J]. IEEE Trans. Image Process. 2012, 21(3): 934-945.
- [106] Hassen R, Wang Z, Salama M. Image sharpness assessment based on local phase coherence[J]. IEEE Trans. Image Process, 2013, 22(7): 2798-2810.
- [107] Bahrami K, Kot A C. A fast approach for no-reference image sharpness assessment based on maximum local variation[J]. IEEE Signal Processing Lett. 2014, 21(6): 751-755.
- [108] Olshausen B A, Field D J. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images[J]. Nature, 1996, 381(13): 607-609.
- [109] Aharon M, Elad M, Bruckstein A. K-SVD: an algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representation[J]. IEEE Trans Signal Process, 2006, 54(11): 4311-4322.
- [110] Rubinstein R, Peleg T, Elad M. Analysis K-SVD: A Dictionary-Learning Algorithm for the Analysis Sparse Model[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 2013, 61(3): 661-677.
- [111] Hou X D, Zhang L Q. Saliency Detection: A Spectral Residual Approach[C]. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2007:1-8.
- [112] Sheikh H R, Wang Z, Cormack L, et al. LIVE Image Quality Assessment Database Release 2[M/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [113] Larson E C, Chandler D M. Most apparent distortion: full reference image quality assessment and the role of strategy[J]. Journal of Electron. Imaging, 2010, 19(1): 1-21.
- [114] Ponomarenko N, Lukin V, Zelensky A, et al. TID2008-a database for evaluation of full-reference visual quality assessment metrics[J]. Advances of Modern Radioelectronics, 2009, 10(4): 30-45.
- [115] Ponomarenko N, Ieremeiev O, Lukin V, et al. Color image database TID2013: peculiarities and preliminary results[C]. European Workshop on Visual Information Processing. 2013: 106-111.
- [116] Bovik A C, Liu S. DCT-domain blind measurement of blocking artifacts in DCT-coded images[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001, 3: 1725-1728.
- [117] Perra C, Massidda F, Giusto D D. Image blockiness evaluation based on Sobel operator[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Italy:IEEE Press, 2005: 389-392.
- [118] Pan F, Lin X, Rahardja S, Ong E P, Lin W S. Measuring blocking artifacts using edge

- direction information[C]. Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME04), 2004:1491-1494.
- [119] Chen C H, Bloom J A. A blind reference-free blockiness measure[C]. Proceeding of the 11th Pacific Rim conference on Multimedia. Shanghai, China: IEEE Press, 2010:112-123.
- [120] Sangwoo Lee, Sang Ju Park. A new image quality assessment method to detect and measure strength of blocking artifacts[J]. Signal Processing: Image Communication, 2012, 27(1): 31-38.
- [121] Zhou Wang, Hamid R, Sheikh. No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2002: 477-480.
- [122] Liu H T, Heynderickx I. A perceptually relevant no-reference blockiness metric based on Advances in Signal Processing[J]. Journal: Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2009: 1-15.
- [123] Xia Y H, Wang Z Y, Wang Wan, et al. Blind measurement of blocking artifacts of images based on edge and flat-region detection[J]. Journal of Software, 2013, 8(1): 168-175.
- [124] Caviedes J, Oberti F. A new sharpness metric based on local kurtosis, edge and energy information[J]. Signal Process: Image Commun, 2004, 19(2): 147-161.
- [125] Saad M A, Bovik A C, Charrier C. A perceptual DCT Statistics based blind image quality metric[J]. IEEE Signal Process. Lett, 2010, 17(6): 583-586.
- [126] Hassen R, Wang Z, Salama M. Image sharpness assessment based on local phase coherence[J]. IEEE Trans. Image Process, 2013, 22(7): 2798-2810.
- [127] Vu C, Phan T, Chandler D. S3: A spectral and spatial measure of local perceived sharpness in natural images[J]. IEEE Trans. Image Process, 2012, 21(3): 934-945.
- [128] Zhu X, Milanfar P, A no-reference sharpness metric sensitive to blur and noise[C]. Quality of Multimedia Experience Conference, 2009. International Workshop on Source: IEEE Xplore , 2009: 64-69.
- [129] Ong E, Lin W, Lu Z, Yang X, Yao S, Pan F, Jiang L, Moschetti F. A no-reference quality metric for measuring image blur[C]. Signal Processing and Its Applications Conference, 2003. Proceedings. Seventh International Symposium on, 2003, 1(1): 469-472.
- [130] LIVE Image Quality Assessment Database[DB/OL]. <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [131] MICT Image Quality Evaluation Database[DB/OL]. <http://mict.eng.u-toyama.ac.jp/mictdb.html>.
- [132] 王海波, 平子良. 几种正交矩描述图像的性能比较[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2005, 34(01): 35-39.
- [133] 高月芳, 陈国华, 王敏琴, 肖宿. 基于离散正交矩的图像模糊不变性研究[J]. 计算机应

- 用研究, 2009, 26(3): 1154-1156.
- [134] Mukundan R, Ong S H, Lee P A. Image analysis by Tchebichef moments[J]. IEEE Trans. Image Process, 2001, 10(9): 1357-1364.
- [135] Mukundan R. Some computational aspects of discrete orthonormal moments[J]. IEEE Trans. Image Process, 2004, 13(8): 1055-1059.
- [136] Wei Z H, Lin J, Zhang L, et al. Mosaic Defect Detection Based on Macro Block Solid Edge Detection[J]. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013, 5(13): 3549-3553.
- [137] Zhang H B, Ling J, Lian Y Q. Fast Mosaic Detection for Real-time Video Based on Template Matching Strategy[C]. Proc of International Conference on Image Analysis and Signal Processing, Hangzhou: IEEE, 2012: 1-4.
- [138] Liu J P, Huang L F, Lin J A. An Image Mosaic Block Detection Method Based on Blur c-means Clustering[C]. Proc of 3rd International Conference on Computer Research and Development, Shanghai: IEEE, 2011: 237-240.
- [139] Huang X D, Ma H D, Yuan H D. Video Mosaic Block Detection Based on Template Matching and SVM[C]. Proc of The 9th International Conference for Young Computer Scientists, Hunan: IEEE, 2008: 1082-1086.
- [140] Sun S F, Han S H, Wang G, et al. Mosaic Defect Detection in Digital Video[C]. Proc of Chinese Conference on Pattern Recognition, Chongqing: IEEE, 2010: 1-5.
- [141] Mukundan R, Ong S H, Lee P A. Image Analysis by Tchebichef Moments[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2001, 10(9): 1357-1364.
- [142] 周超, 唐继勇. Canny 算子在马赛克图像检测中的应用[J]. 技术应用, 2011, 36(01): 136.
- [143] UCID-Uncompressed Colour Image Database,<http://homepages.lboro.ac.uk/~cogs/datasets/ucid/ucid.html>.
- [144] NCID-Never-compressed image database, <http://www.shsu.edu/~qxl005/New/Downloads/index.html>.

# 作者简介

## 一、基本情况

姓名: \*\*\* 性别: 女 民族: 汉 出生年月: 1981-10-01 籍贯: 山东省滕县  
1999-09—2004-07 中国矿业大学计算机学院学士;  
2006-09—2010-06 中国矿业大学信电学院硕士;  
2010-09—2015-06 中国矿业大学信电学院攻读博士学位

## 二、学术论文

1. No-reference quality metric of blocking artifacts based on orthogonal moments[J]. Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2014, 5 (4): 701-708. (EI 检索号: 20150900576441). 本人排名: 1;
2. Forgery detection in surveillance video using optical flow based motion analysis[J]. ICIC Express Letters, 2013, 7 (9): 2557-2562. (EI 检索号: 20133916792409) 本人排名: 1;
3. 基于解析稀疏表示的图像模糊无参考快速评价算法[J]. 《计算机应用研究》, 已录用。本人排名: 1;
4. 基于视觉质量差异的马赛克效应检测[C]. 第 11 届全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会论文集, 西安, 2013, 253-259. 本人排名: 2;
5. Detection of Region Duplication Forgery in Images under Affine Transforms[C]. International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2013, 543-546. (EI:20143017984805) 本人排名: 2。

## 三、获奖情况

1. 主持完成《基于云计算的矿山物联网异构数据空间研究》, 获 2012 年徐州市科技进步三等奖, 本人排名: 1;
2. 主持完成《构建徐州市科技创新体系研究》, 获 2010 年徐州市科学技术情报研究成果奖一等奖, 本人排名: 1;
3. 参与完成《基于超材料的功能器件设计与实验研究》, 获 2014 年徐州市科技进步奖三等奖, 本人排名: 4;
4. 参与完成《以工程机械产业为主导, 建设徐州市工程文献信息服务平台》, 获 2014 年度徐州市科学技术情报研究成果奖一等奖, 本人排名: 7。

## 四、参加项目

1. 参与研究国家自然科学基金项目《对象级视频修复与合成篡改检测关键技术研究》(项目编号: 61379143), 本人排名: 5;

2. 主持完成徐州市科技计划项目《基于云计算的矿山物联网异构数据空间研究》(项目编号: XF11C111), 本人排名: 1;
3. 主持完成徐州市科技计划项目《徐州市发展云计算产业对策研究》(项目编号: XM12B119), 本人排名: 1;
4. 主持完成徐州市科技计划项目《矿山安全物联网产业发展状况及产业链形成分析》(项目编号: XZZD1163), 本人排名: 1;
5. 参与研究徐州市科技计划项目《公共视频媒体安全性认证技术》(项目编号: XM13B119), 本人排名: 4。

## 学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文《无参考视觉质量分析及其在图像质量取证中的应用》，是本人在导师指导下，在中国矿业大学攻读学位期间进行的研究工作所取得的成果。据我所知，除文中已经标明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：

年 月 日

# 学位论文数据集

关键词*	密级*	中图分类号*	UDC	论文资助
图像质量评价; 图像取证; 无参考; 解析稀疏表示; 块效应; 马赛克效应	公开	TP391	655	
学位授予单位名称*	学位授予单位代码*	学位类别*	学位级别*	
中国矿业大学	10290	工学	博士	
论文题名*		并列题名*	论文语种*	
无参考图像质量评价算法及其应用		无	中文	
作者姓名*	***	学号*	WB10060025	
培养单位名称*	培养单位代码*	培养单位地址	邮编	
中国矿业大学	10290	江苏省徐州市	221008	
学科专业*	研究方向*	学制*	学位授予年*	
通信与信息系统	数字图像处理	三年	2015	
论文提交日期*		2015.12.15		
导师姓名*		职称*	教授	
评阅人		答辩委员会主席*	答辩委员会成员	
盲审				
电子版论文提交格式 文本 ( ) 图像 ( ) 视频 ( ) 音频 ( ) 多媒体 ( ) 其他 ( )				
推荐格式: application/msword; application/pdf				
电子版论文出版 (发布) 者	电子版论文出版 (发布) 地		权限声明	
论文总页数*		120		
注: 共 33 项, 其中带*为必填数据, 共 22 项。				