

基于小波域的虚拟现实模糊图像复原方法

朱珂涵^{1,2} 王艳敏^{1,2} 李泽瑜^{1,2} 薛峰^{1,2}
ZHU Kehan WANG Yanmin LI Zeyu XUE Feng

摘要

为提高虚拟现实模糊图像复原图像的 SSIM 值,文章提出了基于小波域的虚拟现实模糊图像复原方法。通过摄像头、传感器等设备对虚拟现实图像进行采集,并基于小波域的方法对采集到的图像进行分解处理;建立虚拟现实模糊图像复原流程,并融入小波域理论优化复原流程;将采集到的图像及分解的数据在优化后的图像复原流程中进行操作,实现小波域虚拟现实模糊图像复原。对上述设计进行实验,结果显示,基于小波域虚拟现实模糊图像复原方法所复原图像的 SSIM 值均在 90 以上。

关键词

小波域;虚拟现实;图像复原;复原模型;图像降噪

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.11.050

0 引言

如今,虚拟现实图像在人们的认知中不断深化,虚拟现实图的使用率也越来越高,因此,人们对于虚拟现实图像的品质要求也越来越高。在此背景下,数字图像处理技术的发展也在不断提高^[1]。在形成、处理和传输虚拟现实图像的过程中,图像传输介质、处理方法和成像系统等对图像造成一定的影响,这种影响使得图像质量下降,图像效果不清晰,这些问题对引发的高质量图像的恢复有着重要意义。虚拟现实模糊图像的复原是为了解决图像在噪声污染和光学模糊等情况下解决图像失真问题,其涉及领域包括图像处理学科和计算机视觉学科。虚拟现实模糊图像复原的难点在于该工作的特性,该工作具有不适定数学反问题的病态性,为解决此类问题,大多数在图像复原的研究中引入了不同的技术,这些技术对虚拟现实模糊图像的复原起到很大的作用。虚拟现实模糊图像复原工作是一种将低质量图像恢复出清晰图像的技术工作,而小波神经网络是小波与神经网络的结合,其具有对图像逼近能力强、在很大程度上避免图像像素局部最小值和收敛速度快等诸多优点。用基于小波域的虚拟现实模糊

图像复原方法可以有效解决此问题^[2],利用图像的轮廓信息验证虚拟现实模糊图像的约束解空间,使得到的复原图像更接近原本图像。小波域指的是小波变换的频域表示,它是一种数学工具,用于分析信号和图像的时频特性。

1 基于小波域的虚拟现实模糊图像复原方法的设计

1.1 虚拟现实图像的采集与分解

虚拟现实图像进行采集是虚拟现实技术中的重要环节^[3],通过摄像头直接拍摄现实场景,利用传感器捕捉虚拟场景的动作和位置信息,然后利用计算机生成相应的虚拟图像,采集生成图像中失真图像。在虚拟现实图像采集过程中,由于摄像机与虚拟现实画面之间存在相对运动,导致虚拟现实画面模糊,画面模糊退化模型如图 1 所示。

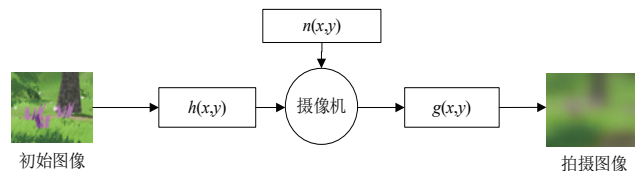


图 1 拍摄图像退化示意图

由图 1 可看出,虚拟现实图像模糊退化模型系统可以看做是线性不变的,图 1 的图像退化过程用公式表示为:

$$g(x,y) = h(x,y) \times f(x,y) + n(x,y) \quad (1)$$

式中: $g(x,y)$ 表示模糊图像, $h(x,y)$ 表示模糊核函数, $f(x,y)$ 表示清晰图像, $n(x,y)$ 表示噪音信号。

通过上述方法完成对虚拟现实图像的采集。对采集到的图像进行分解是基于小波域的方法通过小波变换将图像分解到不同的频率子带上^[4],针对每个子带的特点进行有针对性地处理。利用小波变换将模糊图像分解为多个频率子带,包

1. 郑州经贸学院大数据与人工智能学院 河南郑州 451191

2. 河南省多模态感知与智能交互技术工程研究中心
河南郑州 451191

[基金项目] 2023 年河南省科技攻关项目“基于增强区块链框架的身份认证机制关键技术研究”(232102210197); 2023 年郑州经贸学院校级科研平台“多模态数据感知与融合技术工程研究中心”; 2023 年度郑州经贸学院青年科研基金项目“基于二维码技术的高校多媒体教室智能管理系统的研究与实现”

括低频子带和高频子带。低频子带包含了图像的主要轮廓信息，而高频子带则包含了图像的细节和边缘信息，从而完成对采集到的图像分解。

1.2 建立虚拟现实模糊图像复原流程

为保证图像复原的质量，在传统方法基础上融合小波域方法，建立一种基于小波域的虚拟现实模糊图像复原方法。小波域是通过小波变换得到的一个新的表示空间，其表示信号在不同尺度上的局部特性。在小波域中，信号会被分解为一系列小波系数，这些系数代表了信号在不同频率和位置上的信息。通过小波变换将图像从空域转换到频域，有助于提高图像质量、保留细节特征等作用。而虚拟现实图像往往存在距离特征的，基于所确定的图像特征，确定图像理论位置。通过设定虚拟图像点光源形成艾里斑^[5]，调整艾里斑边缘零点与其中心形成重叠状态，从而分辨图像最远距离，其计算公式为：

$$\phi = l \frac{1.22\varepsilon}{D} \quad (2)$$

式中： l 和 D 分别表示虚拟图像成像位置与虚拟现实设备的理论间距和光通直径， ε 表示光的波长。

虚拟现实技术下图像的复原过程表示为：

$$f^{(o+1)} = f^o + \sigma_o V^{-1} A_f \bullet W(p - A_f f^o) \quad (3)$$

式中： $f^{(o+1)}$ 和 $f^{(o)}$ 分别表示复原前和复原后的虚拟现实图像， σ_o 和 V 分别表示复原过程中的因数和图像的矩阵， W 表示图像的正定矩阵， p 表示图像特征提取。

所提方法根据调整动态 K 值进行对图像的复原，最终使修复图像达到最佳效果。动态 K 值的调整可以影响复原算法的性能和效果。当 K 值设置得恰当时，复原算法能够更有效地去除图像中的模糊和噪声，恢复出更清晰的图像细节。反之，如果 K 值设置不当，可能会导致复原效果不理想，甚至引入新的失真。其操作步骤为：将采集到的图像进行提取与数据分解，从而计算虚拟图像理论距离，作为图像初始状态分析；根据数据计算其PSNR值，以便判断虚拟现实图像是否需要进一步优化，PSNR值是用来衡量复原图像与干净图像之间的偏差^[6]，其数值越大则表示图像失真程度越低，图像的清晰度越高，其计算公式为：

$$\begin{aligned} \text{PSNR} &= 10 \lg \left(\frac{\text{MAX}_0^2}{\text{MSE}} \right) \\ \text{MSE} &= \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

式中： MAX_0 为图像像素信号最大值，MSE表示干净图像与复原后图像的像素方差， I 代表干净图像， K 表示复原图像，

i, j 表示图像像素坐标，图像大小为 $m \times n$ 。

在确定虚拟现实图像需要优化后，改变其 K 值，对图像进行复原，继而重复计算其PSNR值，并判断是否需要继续优化，待 K 值调整至满足虚拟现实图像所需PSNR值时将图像输出，到此完成虚拟现实模糊图像复原流程。虚拟现实模糊图像复原流程如图2所示。由图2可看出，在虚拟现实图像复原过程中，需不断优化动态 K 值的大小，从而使虚拟现实图像完成达到理想状态。

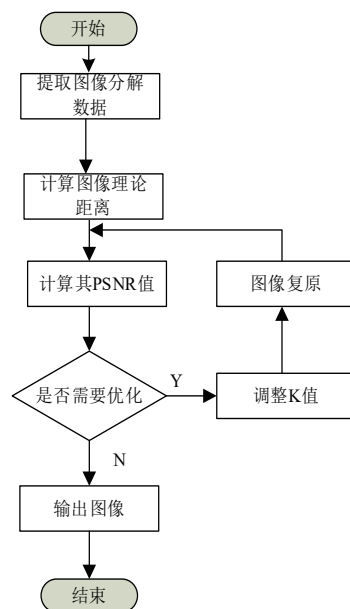


图2 虚拟现实模糊图像复原流程

1.3 基于小波域理论优化图像复原模型

利用小波变换理论^[7-8]对模糊图像进行处理恢复图像清晰度，结合小波变换在时域和频域上的良好局部化特性，有效地对图像进行去噪、边缘增强和细节恢复。在原有模型调整 K 值的基础上，通过调整小波系数的幅度或相位，增强对虚拟现实图像边缘和细节的恢复。在去除噪声的同时，对高频子带中的有效信息进行增强处理，以恢复图像的边缘和细节。针对图像复原问题，改进后的图像退化模型可表示为：

$$Y = HX + n \quad (5)$$

式中： Y 表示观测到的图像， X 表示清晰图像， H 表示图像退化矩阵， n 为图像噪声。

根据退化后的图像完成复原后清晰图像的重建：

$$x_w = \arg \min \frac{1}{2} \|y_w - \tilde{H}x_w\|_2^2 + \lambda \theta(x_w) \quad (6)$$

式中： $\tilde{H}$ 为小波域降质算子^[9]， y_w 为小波域保真项， θ 为先验证的系数， x_w 为对应的小波域所验项， λ 为系数^[10]。

除对PSNR值外，还可以引入SSIM值对图像的清晰度进行评估，其计算公式为：

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\alpha_x\alpha_y + c_1) \times (2\beta_{xy} + c_2)}{(\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + c_1) \times (\beta_x^2 + \beta_y^2 + c_2)} \quad (7)$$

式中： α_x 为 x 方向像素， α_y 为 y 方向像素， β_x 为 x 方向方差， β_y 为 y 方向方差， β_{xy} 代表协方差， c_1 、 c_2 为常数。

在完成图像输出任务之前，对 SSIM 进行判断，从而更加严谨地保证图像的清晰度。SSIM 值是评价复原图像与干净图像之间的相似度的值，数值越大代表失真程度越低。基于小波域理论优化图像复原流程图如图 3 所示。

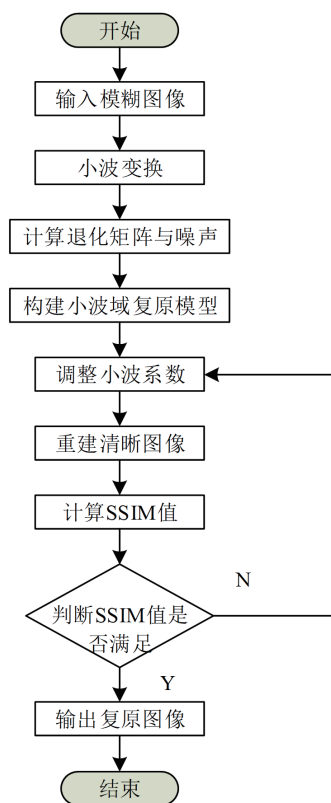


图 3 基于小波域理论优化图像复原流程图

1.4 实现虚拟现实模糊图像复原

综合以上过程，实现虚拟现实模糊图像复原，具体过程如下。

(1) 图像频率子带分解

在优化后的图像复原模型中，首先利用编码器部分对输入的虚拟现实模糊图像进行多尺度分解。

通过小波变换将图像分解成不同尺度的低频子带和高频子带。低频子带包含图像的主要信息和结构，而高频子带则包含图像的细节和边缘信息。

(2) 损失像素修正

在分解过程中，针对图像因模糊而损失的像素进行修正。

(3) 子带去模糊处理

将每个尺度的低频子带和高频子带视为独立的去模糊子问题进行处理。

利用前一个尺度的低频子带和高频子带的去模糊结果作为标准，输入到下一个尺度的模型中，进行进一步的去模糊处理。

(4) 模糊目标图像提取

在模型解码器中，通过补偿图像损失像素，结合各尺度子带的去模糊结果，逐步重建出图像中的模糊目标区域。

解码过程旨在恢复图像的整体清晰度和细节，同时保持图像的自然性和真实性。

(5) 频率子带数据训练

将不同尺度的低频子带和高频子带数据作为训练样本，通过小波变换或其他形式的数据处理技术进行进一步训练和优化。

训练过程旨在提升模型对图像模糊特征的识别能力和去模糊效果，确保复原结果的准确性和质量。

(6) 复原结果输出

经过上述步骤后，模型最终输出复原后的虚拟现实图像。该图像在保留原始图像内容的基础上，显著减少了模糊效应，提升了图像的清晰度和视觉效果。

2 实验论证分析

为验证本文所提出小波域的虚拟现实模糊图像复原方法有效，以便未来将其应用到图像复原任务中，进行实验。

2.1 实验数据样本的选择

虚拟现实模糊图像复原实验数据是根据模糊图像原本数据与文献 [3]、文献 [4] 和本文方法对图像进行复原后的图像在 5%、10%、15% 和 20% 四种噪声密度下所形成的 SSIM 值。对原本模糊图像数据进行记录并和三种方法处理后的数据，对实验后数据进行对比。图像的噪声密度在虚拟现实模糊图像的模糊程度上产生影响，其噪声密度的增加，对图像复原要求变得更加精细。图像复原模型中，SSIM 值是使用最为广泛，且准确性最好的图像质量评定指标，基于处理前后相同像素点之间的误差，其数值评定是根据亮度、结构、颜色和对比度等四个方面来评定的，相比其它传统图像质量评价方法，此方法更加符合人眼对虚拟现实图像的体验感受。虚拟现实图像的像素受图像的分辨率影响，每个像素里包含流量变化会导致图像分辨率的升高或降低，因此，在实验数据的选取上，需保持其它实验条件相同，在实验过程中，图像 SSIM 值不稳定时，不宜采用此时数据，待实验数据稳定后，选取其平均值。

2.2 实验结果分析

图 4 为在噪声密度为 10% 的情况下，三种图像复原方法处理模糊图像的对比图。

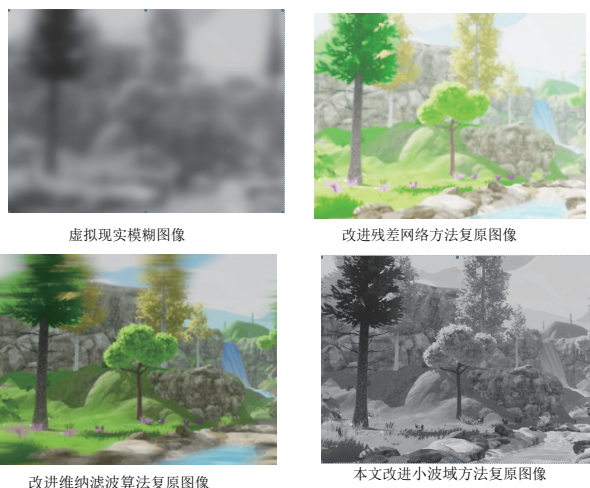


图4 图像复原对比图

由图4可看出,文献[3]方法虽然对模糊图像进行了复原,但其颜色出现曝光现象,文献[4]方法对原本图像进行了一定的复原,但部分位置仍然模糊。本文所研究的方法对图像复原既最大程度上对图像清晰度进行了还原,还保证了图像的颜色,实验结果表明文献[3]与文献[4]方法对于虚拟现实模糊图像复原效果低于本文方法对图像复原的效果,因此本文方法对虚拟现实模糊图像的复原作用更好,图像复原质量最高。

为更加客观地分析本文方法的图像复原效果,引入SSIM评价指标对实验结果进行分析,SSIM值越大代表失真程度越低,图像清晰度越高。表1为三种图像复原方法对模糊图像处理前后SSIM值。

表1 模糊图像处理前后SSIM值

噪声密度/%	SSIM 值			
	图像处理前	改进残差网络方法	改进维纳滤波算法	本文方法
5	65.8	80.9	88.1	98.8
10	52.6	70.2	84.8	95.5
15	44.7	62.4	79.7	92.1
20	35.5	53.7	76.5	90.6

由表1数据分析可知,本文方法在不同图像噪声密度影响下,其SSIM均为三种方法中最高值。图像噪声密度越高对图像复原的影响越大,不同噪声密度对不同方法的影响效果也并不相同,但本文方法在四种噪声密度影响下其复原图像的SSIM值均高于另外两种方法,且数值均在90以上,满足对图像SSIM值的要求,因此,该方法能够有效实现对虚拟现实模糊图像的增强处理工作。实验结果证明本文研究的小波域的虚拟现实模糊图像复原方法对于图像复原效果最好,采用本文研究图像复原方法能有效还原虚拟现实图像原本的轮廓、具体内容及图像信息,使复原图像清晰度提高,最大程度还原原始图像。

3 结语

本文所研究基于小波域的虚拟现实模糊图像复原方法具有良好的时频局部化特性,能够有效地对图像进行多尺度分析,对图像进行去噪的同时更好地保持图像的边缘和细节信息,从而恢复出清晰的图像,其复原效果无论在图像颜色上还是复原效果均较优。然而,在实际应用中仍需要注意选择合适的小波基和分解层数以及调整阈值等参数以获得最佳复原效果。为实现本文研究的图像复原方法,还需对小波域进行更加充分地了解,减少阈值的设定对去噪效果的影响,还需根据图像噪声水平进行调整。

参考文献:

- [1] 南诺,侯作勋,曹东晶,等.一种基于图像形态学的深空图像模糊复原方法[J].航天返回与遥感,2023,44(2):101-108.
- [2] 童俊毅,张银胜,张培琰,等.基于双阶段多尺度生成对抗网络的图像复原方法[J].国外电子测量技术,2024,43(6):50-58.
- [3] 孙灵.基于改进残差网络的运动目标模糊图像复原方法[J].现代电子技术,2024,47(15):86-90.
- [4] 杨建华,方园园,赵轩.基于改进维纳滤波算法的运动模糊二维码图像复原方法[J].激光杂志,2024,45(2):91-94.
- [5] 刘春玲,李娟.食品检测运动模糊图像复原方法及优化[J].中国果树,2023(3):146-147.
- [6] 程文涛,任冬伟,王旗龙.基于循环神经网络的散焦图像去模糊算法[J].计算机应用研究,2022,39(7):2203-2209.
- [7] 卿粼波,吴梦凡,刘刚,等.基于小波域ADMM深度网络的图像复原算法[J].工程科学与技术,2022,54(5):257-267.
- [8] 崔浩然,苗壮,王家宝,等.基于生成逆推的大气湍流退化图像复原方法[J].计算机应用研究,2024,41(1):282-287.
- [9] 邹耀斌,孟祥丹,孙水发,等.平稳小波域多尺度乘积下的指数Renyi熵自动阈值选择方法[J].光学精密工程,2023,31(12):1841-1858.
- [10] 张国明,李少义,万里勇.邻域统计检测的双树复小波图像去噪[J].传感技术学报,2023,36(4):608-615.

【作者简介】

朱珂涵(1996—),通信作者(email:305118015@qq.com),女,河南郑州人,硕士,助教,研究方向:虚拟现实技术、图像处理、动画制作。

王艳敏(1982—),女,河南郑州人,硕士,助教,研究方向:数字媒体、虚拟现实技术。

李泽瑜(1995—),女,河南焦作人,硕士,助教,研究方向:数字媒体、动画制作、影视后期技术研究。

薛峰(1983—),男,河南郑州人,硕士,副教授,研究方向:算法、计算机应用。

(收稿日期:2024-08-18)