DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)07-0085-04

基于加权SSIM算法的文档中图像相似度检测方法

汤 力，潘 媛，王 菁，刘跃龙
（云南电网有限责任公司信息中心，云南 昆明 650214）

摘 要：为了提高文档中图像相似度检测的准确性，提出一种基于加权结构相似性指数算法（structural similarity index，SSIM）算法的文档中图像相似度检测方法。将含有噪声的文档中图像采用小波变换的阈值去噪处理，采用小波变换完成局部重构，提取图像的低频和高频细节。将高频和低频信号两者实行小波重构处理，获取去噪后的图像。同时提取采用K-means算法提取图像的边缘特征，将全部边缘特征融合处理。采用加权SSIM算法计算文档中图像相似度，最终实现文档中图像相似度检测。经实验测试结果表明，所提方法可以有效提升文档中图像相似度检测结果的准确性，同时还可以大幅度降低检测用时。

关键词：加权SSIM算法；文档中图像；相似度检测；去噪
中图分类号：TP277；TP391.413 **文献标识码：**A **文章编号：**1003-7241（2025）07-0085-04

Image Similarity Detection Method in Documents Based on Weighted SSIM Algorithm

TANG Li, PAN Yuan, WANG Jing, LIU Yuelong
(Information Center of Yunnan Power Grid Co., Ltd., Kuming 650214, China)

Abstract: In order to effectively detect image similarity in documents, a method for image similarity detection in documents based on weighted structural similarity index (SSIM) algorithm is proposed. The image in the document with noise is denoised by the threshold value of wavelet transform, and the local reconstruction is completed by wavelet transform, and the low-frequency and high-frequency details of the image are extracted. Both high-frequency and low-frequency signals are subjected to wavelet reconstruction processing to obtain denoised images. The denoised image is decomposed by non-subsampling contourlet transform to expand multi-scale decomposition. At the same time, K-means algorithm is used to extract edge features of the image, and all edge features are fused to obtain edge regions. The weighted SSIM algorithm is used to calculate the image similarity in the document, and the edge calculation is used to compare the image similarity, and finally the image similarity detection in the document is realized. The experimental test results show that the proposed method can effectively improve the accuracy of the image similarity detection results in the document, and can also greatly reduce the detection time.

Keywords: weighted structural similarity index algorithm; image in document; similarity detection; denoising

0 引言

文档在企业中占据十分重要的地位，企业大部分有利用价值的信息全部存储在文档中，如文字、图像等。随着各个企业之间竞争日益激烈，如果企业的核心文档出现泄露的情况，企业不仅会面临惨重的经济和名誉损失，甚至会面临倒闭的风险。所以企业对文档安全防护和管理的重视程度也就越来越高。国内外相关专家针对文档中图像相似度检测方面的内容展开了大量研究[1-2]，代晓丽等[3]主要通过层次分析法计算不同词语的位置权重，同时提取对应的特征词，计算不同词语之间的语义关联，将其设定为广义Diec系数的权重计算相似度，最终实现文本相似度检测。肖晗等[4]通过Doc2Vec对文档训练获取文档向量，采用隐含狄利克雷分布（latent dirichlet allocation，LDA）模型获取文档各个特征词出现的频率，计算概率加权和，实现文本相似度检测。郭渝洛等[5]主要通过SIMD算法计算不同图像的相似度，经过对比分析，最终实现图像相似度检测。为进一步提高相似度的检测准确性，提出一种基于加权SSIM算法的文档中图像相似度检测方法。

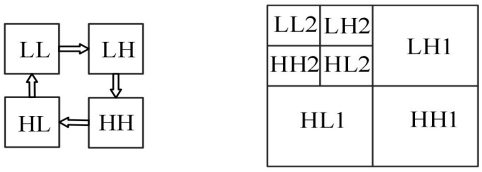
1 文档中图像相似度检测方法

1.1 文档中图像去噪处理

小波变换属于一种局部变换方法，为了图像的细化处理，需要借助小波变换中的计算功能。对图像展开小波变换处理的主要目的是完成各行各列信号的分解处

*基金项目：云南电网有限责任公司信息中心项目（059300HK42210001）；云南省自然科学基金（2017JS952）
收稿日期：2024-02-01

理，同时将图像划分为相同规格的子图像。其中，一阶以及二阶小波变换分解的形式如图 1 所示。



(a) 一阶小波变换分解 (b) 二阶小波变换分解

图 1 一阶和二阶小波变换分解图

如图 1(a)所示，一阶小波变换分解每次只能通过低通滤波处理图像 1 行或 1 列特征。其中 LL 表示代表原始图像的小波系数，HL 和 LH 分别表示图像水平和竖直方向的特征，HH 表示图像的对角特征。而图 1(b)所示的二阶小波变换分解则可以通过高通过滤对一次分解后的子图像进行二维离散小波变换分解。由一阶的 LL1 分解为二阶的 LL2、HH2、HL2 和 LH2。

小波变换被广泛应用于图像去噪过程中，在小波降噪过程中比较常用的方法就是阈值去噪，详细的操作步骤如下所示：

(1) 通过计算以及对比分析获取最佳小波函数以及分解层次，同时对图像展开小波分解处理。

(2) 经过小波分解处理之后，需要选择合适的阈值，依次对该层完成不同方向的量化处理。

(3) 对高低频系数展开小波逆变换处理，同时进一步对图像重构，最终完成图像去噪处理。

采用公式(1)和公式(2)分别给出两种不同阈值函数的具体表达形式：

$$\beta(w)=\alpha I\left(|\alpha|>S\right) \tag{1}$$

$$\tilde{\beta}(w)=\left(\operatorname{sgn}(\alpha)I\right)\left(|\alpha|>S\right) \tag{2}$$

式中，$\beta(w)$和$\tilde{\beta}(w)$分别代表硬阈值和软阈值函数；α代表原始小波系数；I代表高频系数；S代表阈值。

通常情况下，硬阈值方法的主要优势是保留图像中有利用价值信号的局部特征；而软阈值的主要优势是可以获取比较平滑的处理结果，但是图像的边缘部分十分容易变得模糊不清。为了获取比较满意的去噪效果，结合两者的优势对软阈值函数改进处理$\tilde{\beta}(w)$，具体的表达形式如下：

$$\tilde{\beta}(w)=\begin{cases}\alpha+S-\dfrac{S}{2k+1},\alpha<-S\\ \dfrac{1}{(2k+1)}\alpha^{2k+1},|\alpha|\le S\\ \alpha-S+\dfrac{S}{2k+1},\alpha>S\end{cases} \tag{3}$$

式中，k代表阈值处理总次数。

阈值函数在经过以上改进和完善之后，在文档图像的噪声以及信号两者之间具有一个过渡区域，整个区域是比较平滑的，可以有效满足图像的连续性需求。

阈值选择是实行小波去噪的关键，假设阈值取值比较大，则图像中有利用价值的信息会随着噪声一起被消除，图像会产生失真的情况；反之，假设阈值的取值比较小，获取的去噪效果并不理想。所以，选择合适的阈值是十分重要的，结合相关理论分析，阈值的选择需要满足公式(4)的约束条件：

$$S=\beta_n\sqrt{2\ln N} \tag{4}$$

式中，β_n代表噪声方差；N代表信号长度。

均值滤波方法主要借助滑动窗口完成图像的去噪处理[6-7]。近几年以来得到十分广泛的应用，具有比较明显的优势。

在上述分析的基础上，将小波变换和均值滤波两者有效结合对文档中图像去噪处理，详细的操作步骤为：

(1) 优先对文档中含有噪声的图像展开二层小波分解，进而获取对应的图像分解系数，如公式(5)所示：

$$f(x,y)=\frac{\sqrt{2InN}\times\tilde{\beta}(w)}{(2k+1)} \tag{5}$$

式中，$f(x,y)$代表文档中图像分解系数；

(2) 对文档中图像分解处理，获取相应的高频小波系数，并进行小波阈值去噪处理，获取如公式(6)所示的小波系数：

$$H(x,y)=\frac{f(x,y)\times\beta_n}{\left|\operatorname{sgn}(\alpha)I\right|} \tag{6}$$

式中，$H(x,y)$代表经过处理后得到的小波系数；

(3) 依次对各个层次的图像实行局部重构处理，进而获取与之对应的细节子图像；

(4) 确保文档中低频近似子图像保持不变，同时依次滤波处理不同方向的高频滤波子图像；

(5) 将步骤(3)中重构的子图像和步骤(5)中采用均值滤波处理的高频子图像两者展开小波逆变换处理，同时对其重构，进而获取经过去噪处理后的文档图像。

1.2 基于加权 SSIM 算法的相似度检测

文档中的图像经过去噪处理之后[8]，采用将去噪处理后的图像通过非下采样轮廓波变换展开多尺度分解，经过分解可以得到不同尺度取值，在每个尺度中都有与之对应的子带系数，具体的表达式如下：

$$Z_{(m,n)}=\frac{H(x,y)\times f(x,y)}{\left|\beta(w)\right|} \tag{7}$$

式中，$Z_{(m,n)}$代表子带系数。经过分解处理之后，分别对不同尺度的文档图像采用 K-means 图像边缘检测处理。其中，第一尺度图像边缘线较粗，同时还存在断裂现象，对细微边缘检测最为明显；当尺度越大，边缘线会逐渐变

细，大量的边缘线被检测出来[9-10]。将全部图像沿着梯度方向按照尺度由小到大的顺序排列，同时标记，融合边缘图像，最终得到边缘区域，如公式(8)所示。

$$B_{(i,j)}=\frac{\left|Z_{(m,n)}\cdot H\left(x,y\right)\right|}{f\left(x,y\right)} \tag{8}$$

式中，$B_{(i,j)}$代表文档中图像的边缘区域。

通过分析人眼视觉系统可知，采用人眼观察图像的过程中，对视觉效果影响最显著的就是图像的边缘区域以及纹理区域。将边缘和纹理区域两者有效结合，通过加权SSIM算法展开文档中图像相似度检测。SSIM算法主要是从整体出发，分别模拟人类视觉系统(human vision system，HVS)结构的各个低阶构成部分，是一种自上而下的计算方法，操作过程比较简单，且具有较高的精度。结构相似度主要是将亮度、对比度以及结构三者有效结合，通过均值(u_x，u_y)获取亮度取值，通过标准差(α_x，α_y)获取对比度，通过协方差χ获取结构相似度，设定x和y分别代表文档中的初始图像以及待检测图像，则有：

$$L\left(x,y\right)=\frac{2\left(u_x,u_y\right)+D_1}{u_x+u_y+D_1} \tag{9}$$

$$C\left(x,y\right)=\frac{2\left(\alpha_x,\alpha_y\right)+D_2}{\alpha_x+\alpha_y+D_2} \tag{10}$$

$$S\left(x,y\right)=\frac{\left(\chi_x,\chi_y\right)+D_3}{D_3} \tag{11}$$

式中，$L(x,y)$代表文档中图像的亮度；$C(x,y)$代表文档中图像的对比度；$S(x,y)$代表文档中图像的结构相似度；D_1、D_2以及D_3代表滑动子块。

经过上述分析，通过加权SSIM算法完成文档中图像相似度检测，详细的操作步骤如下所示：

(1) 文档中图像经过分解处理之后，可以得到不同尺度在不同方向的子带系数；

(2) 经过分解处理之后，采用k-means聚类对各个方向的子图像展开边缘检测处理。针对边缘线比较粗的图像而言，需要采用数字形态学对其细化处理，同时提取文档中图像对应的边缘骨架，对提取到的全部边缘部分融合处理；

(3) 使用Sobel算子依次计算不同类型文档图像中的梯度幅值，结合实际需求设定两个取值不同的阈值，将阈值作为判定依据，将满足阈值需求的像素点设定为图像的纹理区域；

(4) 在相同的文档图像内分别加入模糊噪声以及高斯白噪声，以此为依据组建参考图像。分别提取加入模糊噪声的文档图像的边缘和纹理区域，提取高斯噪声图像中的平滑区域；

(5) 求解未评价图像与提取出的边缘纹理区域结构相似度$M_{(x,y)}$：

$$M_{(x,y)}=\frac{\left(D_1\cdot D_2\cdot D_3\right)}{\left(u_x,u_y\right)\cdot\left(\alpha_x,\alpha_y\right)} \tag{12}$$

(6) 将结构相似度加权归一化处理，同时输出文档中图像相似度检测结果$P_{(m,n)}$：

$$P_{(m,n)}=\frac{M_{(x,y)}\cdot B_{(i,j)}}{H\left(x,y\right)\times f\left(x,y\right)}\times L\left(x,y\right) \tag{13}$$

2 实验与分析

为了验证所提基于加权SSIM算法的文档中图像相似度检测方法的有效性，展开实验测试与分析。

实验优先选取文档中图像作为测试对象，对所提方法、基于NLP方法(文献[3])和基于Hybrid方法(文献[4])的文档中图像的检测结果展开分析和对比，如图2所示。



(a) 所提方法



(b) 基于NLP方法



(c) 基于Hybrid方法

图2 不同方法文档中图像的检测结果对比分析

分析图2中的实验数据可知，所提方法可以非常准确地识别文档中图像的边缘，而另外两种方法检测文档中图像边缘的精度较低。由此可见，所提方法可以有效提高文档中图像相似度检测结果准确性。

为了更加准确评价所提方法的实用性，在设定的视频分辨率条件下依次测试三种不同方法的文档中相似图

像相似度检测结果，利用表1给出具体的实验对比结果。

表1 不同视频分辨率下各个方法的文档中图像相似度检测用时测试结果对比

视频分辨率	文档中图像相似度检测用时/ms		
	所提方法	基于NLP方法	基于Hybrid方法
120×120	48	50	53
120×240	50	53	55
120×360	52	54	57
120×480	48	51	54
240×120	46	49	52
240×240	47	50	51
240×360	51	53	56
240×480	49	51	54
360×360	52	55	57
360×480	53	55	56
360×600	50	53	55
360×720	48	50	51
480×480	52	54	56
480×600	54	57	60
480×720	55	58	61
480×960	45	48	50

分析表1中的实验数据可知，由于视频分辨率不同，导致各个方法的图像相似度检测用时也存在比较明显的差异。经过具体的对比和分析可以，所提方法可以快速完成目标检测，而另外两种的检测用时明显较高一些，还需要进一步改进和研究。

为了更进一步验证所提方法的有效性，选取误检率作为测试指标，具体结果如图3所示。

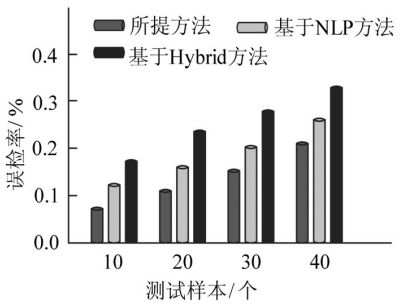


图3 不同测试样本数量下各个方法的误检率测试结果对比分析

由图3可知，在相同测试样本数量下，所提方法的误检率更低一些。主要是因为所提方法在展开文档中图像相似度检测过程中，加入了图像去噪环节，图像经过去噪处理之后，图像的整体质量会得到有效提升，进而可以有效降低图像相似度误检率，获取更加准确的检测结果。

3 结束语

随着知识经济的高速发展，各个企业之间的竞争形态正在不断发生改变，知识竞争逐渐替换市场竞争，成为全新的战场。企业面临的竞争压力也在持续增加，所以研究文档中图像相似度检测具有十分重要的意义。为此，提出一种基于加权SSIM算法的文档中图像相似度检测方法。经过具体的实验测试对比可知，所提方法主要具有检测速度快以及检测精度等优势，可以被广泛应用于不同的研究领域中。由于研究时间有限，所提方法仍然存在很多需要完善的地方，后续将针对以下几方面的内容展开更加深入的研究：(1)后续将可以将所提方法应用于医疗研究领域中，为后续的医学图像评价提供一定的理论依据；(2)在后续研究过程中可以将图像分析和图像理解两者有效结合，使其可以更好满足人类的主观感受，全面提升视觉质量。

参考文献：

[1] 赵琪，杜彦辉，芦天亮，等. 基于Capsule -BiGRU的文本相似度分析算法[J]. 计算机工程与应用，2021，57(15)：171-177.

[2] VENKANNA G，BHARATI D. Optimal text document clustering enabled by weighed similarity oriented jaya with grey wolf optimization algorithm[J]. The Computer Journal，2021，64(6)：960-972.

[3] 代晓丽，刘世峰，宫大庆. 基于NLP的文本相似度检测方法[J]. 通信学报，2021，42(10)：173-181.

[4] 肖晗，毛雪松，朱泽德. 基于HybridDL模型的文本相似度检测方法[J]. 电子技术应用，2020，46(6)：28-31，35.

[5] 郭渝洛，边浩东，董润婷，等. 基于SIMD的并行傅里叶空间图像相似度计算[J]. 计算机工程，2021，47(11)：247-253.

[6] 净亮，邵党国，相艳，等. 基于支持向量机的自适应均值滤波超声图像降噪[J]. 电子测量与仪器学报，2020，34(3)：1-8.

[7] 姜庆胜，李研彪，计时鸣. 轴缺陷检测中的快速均值滤波应用研究[J]. 浙江工业大学学报，2021，49(1)：82-87.

[8] 扎西曲达，张恒志，李畅，等. 架空输电线路可视化监拍图像联合去雨雾算法研究[J]. 自动化技术与应用，2023，42(5)：64-67.

[9] 肖凡雨，刘泽，胡泓. 同轴理线机视觉系统设计与分析[J]. 自动化技术与应用，2023，42(10)：1-4，14.

[10] 郭亮. 图像静帧现象自动识别方法[J]. 自动化技术与应用，2023，42(11)：19-21.

作者简介：汤力(1994—)，女，硕士，助理工程师，研究方向：软件工程、信息化项目管理。