

文章编号: 1004-4353(2020)03-0221-05

增强重建单帧字符图像分辨率的方法研究

徐秀妮, 胡紫薇

(陇东学院 电气工程学院, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 针对传统单帧字符图像重建方法存在分辨率较低的问题,提出了一种增强重建单帧字符图像分辨率的方法. 首先,构建单帧字符图像重建的三维轮廓特征检测模型;其次,采用边缘轮廓分割法提取单帧字符图像的三维细节特征,并结合小波多尺度分解法实现尺度特征分离;然后,采用小波阈值去噪法对图像进行滤波降噪,并使用非负邻域嵌入的方法增强小波阈值辨识度,以此构建增强重建单帧字符图像分辨率的模型,完成单帧字符图像的高分辨率重建. 最后,以 Matlab 2013 软件为实验平台进行仿真测试显示,采用本文方法得到的重建图像的清晰度明显优于文献[2-4]方法,且平均峰值信噪比(26 dB)也显著优于文献[2](15 dB)、文献[3](10 dB)、文献[4](16 dB)的方法. 因此,本文方法在车牌号码识别、基于内容的图像检索、文档图像分析等领域中具有较好的应用价值.

关键词: 单帧字符图像; 三维轮廓; 边缘轮廓; 分辨率

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Research on enhancing the resolution of reconstructed single frame character image

XU Xiuni, HU Ziwei

(College of Electrical Engineering, Longdong University, Qingyang 745000, China)

Abstract: To solve the problem of low resolution in traditional single frame character image reconstruction method, a single-frame character image reconstruction resolution enhancement method is proposed. Firstly, a three-dimensional contour feature detection model for single-frame character image reconstruction is formed. Second, the edge contour segmentation method is used to extract the three-dimensional detailed features of a single frame character image, and the wavelet multi-scale decomposition method is used to achieve the separation of scale features. Then wavelet threshold denoising method is used to denoise the image. The conversion noise reduction is performed, and the non-negative neighborhood embedding method is used to enhance the wavelet threshold recognition. Finally, Matlab 2013 software is used as the experimental platform for simulation test, the results show that the resolution of the reconstructed image obtained by this method is better than that of the references [2-4], and the average peak signal-to-noise ratio (26 dB) is better than that of literature [2] (15 dB), literature [3] (10 dB), and literature [4] (16 dB). This method has good application value in applications such as license plate number recognition, content-based image retrieval, and document image analysis.

Keywords: single frame character image; three-dimensional contour; edge contour; resolution

字符是图像的重要组成元素之一. 在一些分辨率较低的字符图像中常常存在字符难以辨识的

问题,这给字符图像的分析带来了较大困难^[1]. 因此,基于单帧字符图像重建和图像信息增强的字

收稿日期: 2019-11-08

作者简介: 徐秀妮(1980—),女,讲师,研究方向为智能测控系统、交通信息工程及控制.

符图像分析受到学者们的关注. 文献[2]根据多任务学习思想以及利用最优化求解参数集合建立了一种单帧图像超分辨率的重建方法, 该方法虽然对字符图像特征的提取能力较强, 但较为复杂, 且图像重建分辨率较低. 文献[3]提出了一种基于深度学习特征字典的超分辨率重建方法, 该方法虽然操作简单, 但计算成本较高, 重建结果的修正性也较差. 文献[4]提出了一种基于生成对抗网络的单帧遥感图像超分辨率增强技术, 该方法虽然计算过程简单, 但图像重建效果较差. 基于上述研究中存在的问题, 本文提出一种基于小波阈值辨识度的增强重建单帧字符图像分辨率的方法, 并通过仿真实验验证该方法的有效性.

1 单帧字符图像的三维轮廓特征检测模型和特征提取

1.1 三维轮廓特征检测模型的构建

本文采用相关近邻的特征权重分析方法分析单帧字符图像的三维轮廓特征, 并由此得到图像轮廓融合的滤波相关系数 C :

$$C = f \sum_0^i d_i [x_i - x_{i-1}]. \quad (1)$$

式中: f 为融合滤波系数, i 为图像边缘像素点集, d_i 为图像的区域激光跟踪识别分布场, x_i 和 x_{i-1} 分别为第 i 像素及其相邻像素的像素值. 根据滤波结果, 采用超像素特征重构的方法对单帧字符图像的三维轮廓特征进行动态检测, 检测频率为

$$\omega_0 = C \left(\theta_1 + \frac{\pi}{2} \right). \quad (2)$$

式中, θ_1 为像素特征重构频率, $|\theta_1| < \frac{\pi}{2}$. 根据式(2)可得到单帧字符图像的多分量传递函数的表达式:

$$g_i^* = \begin{cases} g_i, & 0 \leq i \leq \omega_0; \\ R s_j, & \text{其他.} \end{cases} \quad (3)$$

式中, R 表示规范常量, s_j 表示单帧字符图像的模糊度系数, g_i 表示单帧字符图像的三维轮廓特征匹配系数. 通过激光跟踪定位可得到单帧字符图像的多尺度分解函数, 为

$$J(e) = g_i \frac{\mu}{2} \omega^T + \frac{1}{2} \gamma \left(\sum_{k_i}^{s_j} x_i^2 \right). \quad (4)$$

式中, $\gamma(\cdot)$ 为连续映射函数, μ 为激光跟踪像素值, ω^T 为激光跟踪频率. 利用多尺度分解函数构建单帧字符图像的模板匹配跟踪函数, 并由此得到模板匹配的灰度分量表达式:

$$h = J(e) \left[\left(\sum_{\mu}^i x_i \cdot x_{\mu} \right) \cdot \prod_{i, \mu} (x_i \cdot x_{\mu}) \right]. \quad (5)$$

本文根据图像特征空间的多个局部流形结构, 通过对单帧字符图像的像素信息来确定任意像素的分布函数 $s(i, j)$. 由单帧字符图像的模板匹配跟踪函数和像素分布函数即可得到单帧字符图像的三维轮廓特征检测模型:

$$I(i, \mu) = h s(i, j) \sum_{k=1}^i G_{m, n} \times 2^{k-1}. \quad (6)$$

式中, k 为单帧字符图像的空间位置分布阶数, $G_{m, n}$ 是将单帧字符图像按 $M \times N$ 分割所得的子块.

1.2 基于边缘轮廓分割的图像三维细节特征提取

基于上述单帧字符图像的三维轮廓特征检测模型, 本文采用边缘轮廓分割法提取图像的三维细节特征. 首先利用小波多尺度分解法分离单帧字符图像的尺度特征, 并提取单帧字符图像的灰度像素特征分量; 然后利用输出信息传输控制方法^[5] 压缩输出码元, 以此得到单帧字符图像中的尺度空间信息特征分布集; 最后采用离散信号的双正交小波分解法对单帧字符图像中的尺度空间信息特征进行分解, 以此得到单帧字符的三维重构图像. 单帧字符图像中的尺度空间信息特征的分解公式为:

$$z_i = I(i, \mu) \cdot \sum_{k=1}^i g_x \cdot h, \quad (7)$$

$$y_i = I(i, \mu) \cdot \sum_{k=1}^i d_x \cdot h. \quad (8)$$

式中, z_i 和 y_i 分别为特征分解之后得到的单帧字符图像的低频信号和高频信号, g_x 和 d_x 为单帧字符图像的低频和高频样本输入序列. 若 O_i 为原始单帧字符图像的信息传导序列, 则根据 y_i 和 z_i 可得到单帧字符图像的特征重构公式:

$$O_i = \sum_{k=1}^i (\bar{h}_k y_i + \bar{h}_{k-1} z_i). \quad (9)$$

式中, \bar{h}_k 和 \bar{h}_{k-1} 分别为图像空间中的像素及其相邻像素的灰度分量均值. 得到单帧字符图像的重

构特征后即可提取单帧字符图像的重构特征信息:首先采用小波神经网络对单帧字符图像信息进行可靠性传输,以此得到较为可靠的单帧字符图像重构特征信息;然后采用高斯模糊与色阶算法模拟单帧字符图像的尺度空间信息,并结合谱特征检测方法对单帧字符图像进行高分辨识别,以此得到单帧字符的三维重构图像.三维重构图像的输出可定义为

$$R_i = O_i \cdot \bar{h}_k \left[\sum_k V_k(y_i, z_i) \right]. \quad (10)$$

式中, V_k 为图像谱特征.完成单帧字符图像三维重构后,在三维重构图像中对动态单帧字符图像进行信息融合和自适应迭代,以使图像重建分辨率最佳和重建效果最优.迭代公式为

$$D_{i,j} = z_{i,j} - \frac{R_i}{4}(f_{i,j} + g_{i,j}). \quad (11)$$

式中, j 为像素点, $z_{i,j}$ 为单帧字符图像的边缘轮廓分布的高度, $f_{i,j}$ 和 $g_{i,j}$ 分别为单帧字符图像的信息宽度和长度.完成上述信息融合和自适应迭代后即可构建基于小波多尺度分解的神经网络输出层的反射模型,模型的表达式为

$$V = \sum_{i,j} (D_{i,j}). \quad (12)$$

提取单帧字符图像的高分辨率像素特征量 P_{ij} 时,首先使用三维网格渲染单帧字符图像帧点,然后再结合模型(12)在单帧字符图像重建的过程中进行尺度特征分离^[6]. P_{ij} 的表达式为

$$P_{ij} = V(x_i) + \frac{\epsilon q_{ij}}{4\lambda}. \quad (13)$$

式中, q_{ij} 为单帧字符图像在纵坐标上的斜率, ϵ 和 λ 分别为单帧字符图像在水平、垂直方向上的细节信息.

2 增强重建单帧字符图像分辨率的方法

基于上述三维轮廓特征检测模型和边缘轮廓分割的方法,本文提出一种基于小波阈值辨识度的增强重建单帧字符图像分辨率的方法.

2.1 单帧字符图像的滤波降噪

由于硬阈值函数存在不连续的缺点,而软阈值函数的估计小波系数与分解小波系数之间存在恒定偏差,因此本文采用硬阈值和软阈值相结合的双阈值分析方法获取单帧字符图像的像素点子

集.当小波系数 $W_{i,j}$ 小于阈值 λ 时,用零替换小波系数 $W_{i,j}$ 即可,其表达式为

$$W_{i,j} = \begin{cases} 0, & |W_{i,j}| \leq \lambda; \\ W_{i,j}, & |W_{i,j}| > \lambda. \end{cases} \quad (14)$$

为提高图像的纯度,采用小波阈值去噪方法对单帧字符图像进行滤波降噪,然后再用小波系数减去阈值 λ 来修改单帧字符图像.上述过程用公式可表示为

$$Q_{i,j} = \begin{cases} 0, & |W_{i,j}| \leq \lambda; \\ \text{sgn}(P_{ij} |W_{i,j} - \lambda|), & |W_{i,j}| > \lambda. \end{cases} \quad (15)$$

式中, $\text{sgn}(\cdot)$ 为返回函数.为增强单帧字符图像重建的分辨率,引入最优线性插值阈值函数^[7],并由此得到增强系数与相应子带 η 的分布关系:

$$U_{i,j} = \begin{cases} 0, & |Q_{i,j}| \leq \lambda; \\ Q_{i,j} - \beta(Q_{i,j} - \eta), & |Q_{i,j}| > \lambda. \end{cases} \quad (16)$$

式中, β 为图像小波阈值辨识度.根据非负邻域嵌入法,增强图像小波阈值辨识度 β 的计算公式可表示为

$$\beta = \frac{\sigma_\eta^2}{U_{i,j}}(W_{i,j} - \eta). \quad (17)$$

式中, σ_η^2 为非负邻域嵌入的噪声方差.增强图像小波阈值辨识度后,采用贝叶斯准则建立单帧字符图像特征空间融合的二值模型(Dominant LBP, DLBP),并由此得到单帧字符图像的滤波降噪函数:

$$f(W_{i,j}) = \frac{\beta}{W_{i,j}(\alpha)} U_{i,j}(x_i). \quad (18)$$

式中, α 为加性高斯白噪声.根据式(18)即可实现单帧字符图像的滤波降噪.

2.2 增强重建单帧字符图像分辨率的模型

在三维空间中,采用量化特征编码方法^[8]来增强滤波降噪后的单帧字符图像的编码和信息.在模糊区域中,采用滤波降噪函数提取低噪点的图像边缘特征,然后根据低噪点的图像边缘特征得出图像编码 δ 和图像信息 γ 的高斯概率密度函数:

$$f(\delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\delta} e^{-\frac{f(W_{i,j})^2}{2\sigma_\delta^2}}, \quad (19)$$

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\gamma} e^{-\frac{f(W_{i,j})}{2\sigma_\gamma^2}}. \quad (20)$$

式中, σ_δ 和 σ_γ 分别为图像编码和图像信息的高斯

概率值, $e^{\frac{f(W_{i,j})^2}{2\sigma^2}}$ 为图像低噪点边缘特征. 依据上述的图像编码和图像信息的高斯概率密度函数, 即可得到单帧字符图像的高精度特征匹配点和空间视觉特征量以及图像重建的概率密度函数:

$$f(\gamma)^* = \frac{1}{f(\gamma)} \frac{1}{2\pi\sigma_\delta\sigma_\gamma} e^{\frac{f(W_{i,j})^2}{2\sigma^2}}. \quad (21)$$

根据式(21) 构建的单帧字符图像的分辨率增强重建模型为

$$f(c) = f(\gamma)^* \frac{2\sigma_\delta^2(x_i - \mu)^2 + 2\sigma_\gamma^2(x_i - \mu)}{2\sigma_\delta^2\sigma_\gamma^2} = 0. \quad (22)$$

3 仿真实验与结果分析

为验证本文所提出方法的有效性, 以 Matlab 2013 软件为实验平台(在平台上搭建 Visual Studio 软件)进行仿真实验. 实验选用的单帧字符图像来源于 Python 图像库, 像素值为 120×200 , 如图 1 所示.



图 1 原始的单帧字符图像

仿真实验表明, 当模糊加权系数为 0.25 时, 获得的动态单帧字符图像的信息融合权重最大, 且能够在最小迭代次数(200 次)下获取超分辨率特征分布区域的最大值($350 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$, 由公式(11)计算所得). 即模糊加权系数取 0.25 时, 所得的图像重建分辨率最佳, 重建效果最优. 实验运行结束后, 将在上述条件下得到的具有三维细节特征及重建分辨率增强的单帧字符图像分别与文献[2-4]方法的结果进行对比, 如图 2—图 5 所示. 由图 2—图 5 可以看出, 本文方法得到的图像增强效果显著优于文献[2-4]的方法.



图 2 文献[2]方法的图像增强效果



图 3 文献[3]方法的图像增强效果



图 4 文献[4]方法的图像增强效果



图 5 本文方法的图像增强效果

为进一步验证本文方法的单帧字符识别率, 对不同方法的峰值信噪比 PSNR 进行对比. PSNR 的计算公式为:

$$PSNR = 10 \times \lg\left(\frac{(2^{n-1})^2}{MSE}\right), \quad (23)$$

$$MSE = \frac{\sum_{n=1}^F (I^n - P^n)^2}{F}. \quad (24)$$

式中, MSE 为像素值的均方误差, I^n 为原始图像的第 n 个噪声值, P^n 为重建图像的第 n 个噪声值, F 为高斯噪声误差. PSNR 值越大表示图像的字符识别率越高. 利用式(23) 和(24) 求出的各方法重建图像的峰值信噪比如图 6 所示.

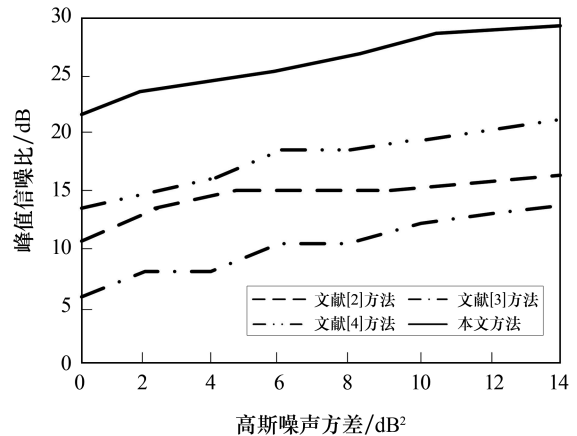


图 6 不同方法重建图像的峰值信噪比

由图6可知,本文方法重建图像的平均峰值信噪比(26 dB)均高于文献[2](15 dB)、文献[3](10 dB)、文献[4](16 dB)方法的平均峰值信噪比,由此表明本文方法的单帧字符识别率高于文献[2-4]的方法。

4 结束语

仿真实验表明,本文提出的单帧字符图像重建分辨率增强方法具有较高的特征分辨能力和字符识别率,且优于文献[2-4]中的方法。因此,本文方法在提高车牌号码识别、图像检索、文档图像分析等领域具有良好的应用价值。今后的研究中,我们将对该方法的实际应用做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 魏光杏,周献中,卜锡滨. 基于模糊C均值与人工蜂群优化的灰度图像分割[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2019, 55(2): 250-254.
- [2] 李键红,吴亚榕,吕巨建. 基于自相似性与多任务高斯过程回归的单帧图像超分辨率重建[J]. 光学精密工程, 2018, 26(11): 2814-2826.
- [3] 赵丽玲,孙权森,张泽林. 基于深度学习特征字典的单帧图像超分辨率重建[J]. 数据采集与处理, 2018, 33(4): 740-750.
- [4] 苏健民,杨岚心. 基于生成对抗网络的单帧遥感图像超分辨率[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(12): 202-207.
- [5] 余玛俐,张海. 基于低秩矩阵填充与全变分约束的HDR成像[J]. 计算机工程, 2019, 45(4): 262-266.
- [6] GRAF B L, ROJO L E, DELATORRE-HERRERA J. ChromoTrace: Reconstruction of 3D chromosomal configurations by super-resolution microscopy[J]. Food Chemistry, 2017, 131(2): 387-396.
- [7] MOON H M, CHANG H S, PAN S B. A low-cost media quality enhancement resolution up-conversion for mobile cloud[J]. Journal of Supercomputing, 2017, 73(7): 3098-3111.
- [8] WANG Y L, ZHOU Y N, WANG S X, et al. Enhancement of spatial resolution of ghost imaging via localizing and thresholding[J]. Chinese Physics B, 2019, 28(4): 194-199.

(上接第209页)

- [14] CHEN X, LIU Y C, PENG P, et al. Cooling of macroscopic mechanical resonators in hybrid atom-optomechanical systems[J]. Physical Review A, 2015, 92(3): 033841.
- [15] TEUFEL J D, REGAL C A, LEHNERT K W. Prospects for cooling nanomechanical motion by coupling to a superconducting microwave resonator[J]. New Journal of Physics, 2008, 10: 095002.
- [16] YI Z, LI G X, WU S P, et al. Ground-state cooling of an oscillator in a hybrid atom-optomechanical system[J]. Opt Express, 2014, 22(17): 20060.
- [17] LIU Y C, XIAO Y F, LUAN X S, et al. Coupled cavities for motional ground-state cooling and strong optomechanical coupling[J]. Phys Rev A, 2015, 91(3): 033818.
- [18] MANCINI S, GIOVANNETTI V, VITALI D, et al. Entangling macroscopic oscillators exploiting radiation pressure[J]. Physical Review Letters, 2002, 88(22): 120401.
- [19] BIENERT M, BARBERIS-BLOSTEIN P. Optomechanical laser cooling with mechanical modulations[J]. Physical Review A, 2015, 91(2): 023818.