

基于区间梯度的联合双边滤波图像纹理去除方法

魏明强¹ 冯一箴² 王伟明³ 谢浩然⁴ 王富利⁵

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院 南京 210016)¹

(合肥工业大学仪器科学与光电工程学院 合肥 230009)²

(中国科学院深圳先进技术研究院 广东 深圳 518055)³

(香港教育大学 香港 999077)⁴ (明爱专上学院 香港 999077)⁵

摘要 图像纹理去除是指保留图像的语义结构并去除图像中的纹理和噪声部分,从而将纹理区域与结构特征划分开,是计算成像和图像分析的基础研究问题。近年来,在该领域中出现了许多优秀的算法,但它们在结构纹理的区分效果、纹理滤除的干净程度和算法运行的效率等方面仍存在一些问题和矛盾。鉴于此,提出一种基于区间梯度的滤波方法来去除图像纹理。首先,为简化先验模型的复杂度,将区间梯度的概念应用到结构提取模型中,实现了纹理与结构的二元化标记,为下一步单独对纹理区域进行滤波处理做准备。其次,针对复杂多变的纹理部分,将最值替换机制融入到联合双边滤波算法中,即在目标像素的邻域中选取颜色差异最大的像素作为颜色权重分布的中心点,使其在滤波过程中起主导作用。实验证明,所提方法能应用于多种纹理图像,可有效缓解强纹理去除与运算效率之间的矛盾,同时,因在达到相近纹理去除效果时所需迭代次数更少,其在本类滤波方法中取得了更好的边缘保持效果。

关键词 图像纹理去除,联合双边滤波,区间梯度,最值替换机制

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.03.005

Interval Gradient Based Joint Bilateral Filtering for Image Texture Removal

WEI Ming-qiang¹ FENG Yi-dan² WANG Wei-ming³ XIE Hao-ran⁴ WANG Fu-lee⁵

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)¹

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)²

(Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen, Guangdong 518055, China)³

(The Education University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China)⁴

(Caritas Institute of Higher Education, Hong Kong 999077, China)⁵

Abstract Image texture removal is a fundamental problem in image processing. It aims to decompose an image into texture patterns and structure features. Many filters have been proposed for removing image textures. However, these techniques suffer from some problems in balancing the performance among texture distinction, texture removal and time efficiency. In this paper, an interval gradient-based filter was proposed to remove image textures. First, to simplify the prior model, interval gradient is employed to extract the structure features. And the binary map that separates the structures from texture is achieved, which will be used as a guidance image when the filtering texture regions are processed. Then, to deal with complicated texture patterns, the shift smoothing technique is incorporated into joint bilateral filtering, and the pixel possessing the maximal color difference with the target pixel is selected as the center point for color weight distribution, so that it can dominate the filtering process. Experiments show that the proposed method can be applied to various types of texture images, achieving both effective texture removal and high time efficiency. Moreover, this method can better preserve the edge features attributing to fewer iteration times required for obtaining similar results of texture removal.

Keywords Image texture removal, Joint bilateral filtering, Interval gradient, Shift smoothing technique

到稿日期:2017-07-18 返修日期:2017-09-22 本文受国家自然科学基金(61502137),香港研究资助局(UGC/FDS11/E04/16),中国博士后基金(2016M592047),香港教育大学院长研究基金(FLASS/DRF/SFRS-1)资助。

魏明强(1985—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机图形学, E-mail: mingqiang.wei@gmail.com(通信作者);冯一箴(1995—),女,主要研究方向为图像处理, E-mail: fengyidan1995@126.com;王伟明(1984—),男,博士,助理研究员,主要研究方向为虚拟现实;谢浩然(1985—),男,博士,助理教授,博士生导师,主要研究方向为机器学习、深度神经网络、大数据、教育技术等;王富利(1973—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为信息检索、机器学习、教育技术等。

1 引言

纹理在生活中随处可见,但在计算机中它不仅很难被直接利用,还会对图像的语义理解造成阻碍。因此,将一幅图像分解为显著结构和小尺度细节,有助于对图像进行后续操作,如处理计算成像和图像分析中的色调映射、细节增强、视觉抽象、场景理解等问题。对图像纹理去除的研究始于纹理的定义。一般认为,纹理是由一些基元根据类周期性的变化规律所构成的模式,可由密度、强度、方向性、粗糙度等特征进行区分。本文所研究的图像,不仅包含自相似的规则性纹理,还包含随机杂乱的背景纹理以及各种纹理区域叠加组合而成的复合纹理。

早期的结构提取方法仅考虑局部对比度的量值,对比度较高的部分被定义为结构,使得真正的结构与高对比度的纹理互相混淆。后来,研究热点转向对结构和纹理引入有效先验,从而建立约束模型,如全变分法^[1]和相对全变分法^[2],其通过基于L1范数的正则式强制保留了尺度较大的边缘,因此分离效果较好,但运算更加复杂。其他结构提取先验方法还包括测地线距离^[3]和扩散距离分割法^[4]等,传统的欧氏距离法效果更优。另外,文献^[5]提出了区间梯度的概念,即以梯度为桥梁,先在梯度域进行结构提取,再进行恢复,该方法也取得了较好的效果。

近年来,结构提取算法总体分为3类,即基于优化的方法、基于学习的方法和基于滤波的方法。其中,基于优化的方法在结构与纹理先验模型的基础上,通过求解优化方程来压缩图像中的振动信号,如L0优化法^[6]和相对全变分法^[2]等。这类方法以牺牲运算效率为代价来获得优秀的纹理去除效果,因此难以应对大尺寸图像的处理问题,亦无法满足实时应用的需求。基于学习的方法^[7]则是利用机器学习的理论,通过对已知数据库的学习找到符合语义要求的结构边缘信息,再使用基础滤波器迭代滤波,以完成纹理去除。理论上,此类方法考虑了使用者主观需求的因素,是最符合纹理分割需求的算法。然而,这种方法是建立在先验知识的基础上的,需要包含足量已标记图像的数据库。与以上两类方法相比,基于滤波的方法简单高效,不需要先验知识,并且有丰富的简单算法作为基础。这类方法的研究难点在于不能准确地区分结构区域和纹理区域,并且难以滤除高对比度、大尺度的纹理。其中,双边滤波^[8]是被广泛使用的滤波算子,具有简单、高效、可延展、可改造、易于实施等优点。本文便基于双边滤波进行改进。

本文在联合双边滤波框架的基础上,提出了一种新颖的图像纹理去除算法。它首先简单地分出纹理和结构区域,再使用搜索替代机制来产生能够高效模糊纹理特征的引导图像。本文工作主要有两点贡献:1)在区分纹理和结构的问题中,把文献^[5]中的区间梯度(interval gradient)概念应用到结构提取的先验模型中,实现了简单高效的纹理结构二元划分。与大多数将先验信息转化为滤波器参数的算法不同,本文仅仅利用先验信息对纹理和结构做二元化分类处理,以此作为

后续模糊操作的约束范围,避免了参数设计中繁琐的计算工作。2)本文的模糊算法受到文献^[8]的启发,选取在目标像素邻域中颜色差异最大的像素作为颜色权重分布的中心点,其在滤波过程中起主导作用。实验证明,本文方法能应用于多种纹理图像,有效缓解了强纹理去除与运算效率的矛盾;同时,因在达到相近纹理去除效果时所需迭代次数更少,其在同类滤波方法中取得了令人满意的边缘保持效果。

2 原理

2.1 基于区间梯度的纹理结构划分方法

在纹理与结构的分离中,输入图像被分解为结构图像和纹理图像,其中结构部分包含不重复边缘和平滑阴影,纹理部分则由振荡信号与噪声组成。纹理滤波的首要目的是找到与输入图像尽可能相似的结构图像。本节首先定义了一维信号中结构与纹理的局部特征;然后引入了文献^[5]中的区间梯度的概念,以区分局部结构信号与纹理信号。

2.1.1 基于区间梯度的纹理结构划分方法

对于一维输入信号 I ,在以像素 p 为中心的局部窗口 Ω_p 中,本文将结构 S 定义为平滑上升或下降的非重复显著边缘,将纹理 T 定义为局部振动信号。在此定义下,纹理与结构混合起来可以复原输入信号,即 $I=S+T$ 。

在此定义下,本文认为当且仅当 Ω_p 中的信号只单调增加或减少且无振荡时, Ω_p 是非纹理性的,此时称平缓变化的信号为阴影,称突变信号为结构边缘。这种定义不能囊括所有的纹理情况,区域内的非纹理信号也可能平缓上升再下降,从而被误判为纹理,但实验证明(详见文献^[5])这种定义在大多数案例中都是有效的。

基于以上定义,通过对一维信号 I 的分析计算来判断它是否满足非纹理性。与大多数引用相对全变分^[2]度量算子的方法^[8-9]不同,本文利用了文献^[5]中提出的区间梯度算子,使得运算更加简单,同时可以判断信号是否具有非纹理性。

2.1.2 区间梯度的定义

对于一维离散信号 I 和像素点 p ,前向差分是一种常见的梯度算子,写作:

$$(\nabla I)_p = I_{p+1} - I_p \quad (1)$$

式(1)度量了两个相邻像素点信号的差值。在自然信号中,它的大小很不稳定,受噪声、纹理等多种因素的影响,不适合直接作为梯度先验模型,因此引入区间梯度算子。对于像素点 p ,区间梯度的定义为:

$$(\nabla_a I)_p = g_l^i(I_p) - g_r^i(I_p) \quad (2)$$

其中, $g_l^i(I_p)$ 和 $g_r^i(I_p)$ 分别代表对目标像素 p 左半边邻域和右半边邻域进行加权平均的结果,可以将其看作 p 点左、右部分的特征值。与前向差分不同,区间梯度度量了目标像素点左右区域之间加权平均的差异。区间梯度算子中加权平均的类型能反映像素点左右区域间的平均差异,如高斯平均或均值平均,实验证明其效果无明显差别。本文实验选用均值平均,即:

$$g_l^i(I_p) = \frac{1}{k_l} \sum_{n \in \Omega_p} I_n, n \leq p \quad (3)$$

$$g_r^i(I_p) = \frac{1}{k_r} \sum_{n \in \Omega_p} I_n, n > p$$

其中, $k_r = k_l = \frac{k-1}{2}$ 。

2.1.3 区间梯度的特征

区间梯度最重要的特征是:对于局部窗口 Ω_p ,若它满足非纹理性,则 $|(\nabla I)_p| \leq |(\nabla_n I)_p|$ 成立。按照 2.1.1 节的定义, Ω_p 中信号单调递增或单调递减时称其具有非纹理性。对于信号递增的情况, $I_{p+1} \leq g_r^i(I_p)$ 且 $I_p \geq g_l^i(I_p)$, 因此上述不等式成立;同理可证信号递减时,该不等式同样成立。

对于一个结构元素 p ,由于平滑算子对梯度有放大作用,因此 $(\nabla_n I)_p$ 的值大于 $(\nabla I)_p$ 的值。而对于纹理区域,相反方向的振动的梯度值相互抵消,所以 $(\nabla_n I)_p$ 的值更小。因此,可以通过区间梯度判断一个局部窗口是否包含纹理。

2.1.4 由区间梯度生成标记图

为了能够在后续滤波算法中对二维图像中的结构与纹理部分分别进行处理,首先将上述一维的梯度运算拓展到二维运算中,然后建立一个阈值标准,以对纹理和结构做二值化标记。

将一维运算拓展到二维的核心思想是:在 x 和 y 两个方向上做一维运算,然后将它们结合起来(具体方法借鉴文献[10]),在每次迭代中,将 x 方向的运算结果作为 y 方向运算的输入。

为了对纹理和结构做二值化标记,定义非纹理性程度的度量算子 D ,它是区间梯度与前向差分差值的绝对值:

$$D = |(\nabla_n I)_p - (\nabla I)_p| \quad (4)$$

如 2.1.3 节所述, D 值取决于它在不同区域表现出的不同特性。当窗口内信号振动时,因为区间梯度的稳定性高于方向梯度, $(\nabla_n I)_p$ 往往小于 $(\nabla I)_p$;而当信号趋于单调时,由于区间梯度的运算域较大, $(\nabla_n I)_p$ 往往大于 $(\nabla I)_p$ 。因此, D 值在结构区域较大,在纹理区域则较小。为了明确划分纹理与结构,定义一个人为设定的阈值 T ,据上述分析,阈值 T 应该接近于零,本文中 T 值是多次实验所得的经验参数。对于局部窗口 Ω_p 的中心像素点 p ,若计算得 $D \geq T$,则将像素点 p 的颜色值置为 1,否则置为 0,从而生成二值化的标记图,记作图 M 。上述操作的结果如图 1 所示,在阈值和窗口大小选取合适的前提下,可以取得很好的区分效果。



图 1 结构纹理区分标记图 ($k=5, T=0.08$)

Fig. 1 Image structure-texture decomposition ($k=5, T=0.08$)

2.2 联合双边滤波

联合双边滤波是建立在双边滤波基础上的滤波模型,它

允许颜色高斯核在原图像之外的先导图像中获取样本,从而拓宽了滤波先验信息的来源。其基础双边滤波模型的形式如下:

$$J_p = \frac{1}{k_p} \sum_{q \in \Omega_p} f(\|q-p\|) g(\|I_q - I_p\|) I_q \quad (5)$$

其中, I 和 J 是输入图像和输出图像, p 是目标像素点, q 代表以 p 为中心的邻域 Ω_p 内的像素点, $f(\cdot)$ 和 $g(\cdot)$ 分别代表位置和颜色的高斯核函数, k_p 则代表整体的平衡系数。双边滤波在高斯滤波的基础上引入了颜色高斯核,使得颜色差值成为滤波权重的重要决定因素,因此双边滤波具有保留高对比度特征的特点。然而,实际的滤波需求往往更加复杂,具有高强度、低密度特征的纹理在双边滤波模型下倾向于被保留。为了改善这些问题,提出联合双边滤波模型。

$$J_p = \frac{1}{k_p} \sum_{q \in \Omega_p} f(\|q-p\|) g(\|G_q - G_p\|) I_q \quad (6)$$

所谓联合双边滤波,是指用引导图像作为 $g(\cdot)$ 的输入图像,引导图像中的颜色值分布是决定滤波权重的重要因素。式(6)中 G 代表先导图像,本文的算法就是围绕引导图像的设计展开的。

2.3 最值替换机制

基于块特征的图像分析方法较传统基于像素特征的方法性能更优,目前此类方法多根据以块为单位的纹理信息来改良引导滤波的参数。本文算法的特别之处在于,在考量块特征之前,已经对图像的结构与纹理特征做了二值化标记,因此对块特征的设计集中于纹理部分的快速平滑处理。

2.3.1 基于块特征的最值替换机制

本文将块 Ω_p 定义为 $k \times k$ 大小的窗口,对于图像 I 中的每个像素点 p ,将包含像素点 p 的块记作 $\Omega_q, q \in \Omega_p$ 。对每个像素点 p ,共有 k^2 个 Ω_q ,称之为 p 的 k^2 个候选块。本文以均值滤波为图像预处理方式(预处理方式分析见 3.1.3 节),即对每个候选块的颜色值求均值,结果记作 B_q 。定义距离算子为:

$$L = |B_q - B_p| \quad (7)$$

其中, L 表示候选块颜色均值与 p 的中心块颜色均值的 $L1$ 距离,将其作为分析过程中块 Ω_p 的特征值。定义像素点 q_m ,对应 L 取得最大值时,候选块 Ω_q 所对应的像素点为:

$$L_{\max} = |B_{q_m} - B_p| \quad (8)$$

2.1.4 节中已经计算出区分纹理与结构特征的标记图 M 。对于像素点 p ,如果它的候选块不包含被标记的像素点,则令 $G_p = B_{q_m}$;否则,令 $G_p = B_p$ 。本文中,上述运算被称为最值替换机制。

2.3.2 最值替换机制的特征

最值替换机制的优点在于能够迅速混合局部窗口中振荡信号的权重,这个特点对于高对比度纹理尤其奏效。对于式(6)中的值域核 $g(\|G_q - G_p\|)$ ($q \in \Omega_p$), q 与中心像素点 p 的颜色差值越大,其所占有的权重就越小。本文中的纹理部分对应于候选块不包含 M 中被标记的像素点的部分,中心块被与其颜色均值的差值最大的块替代。比如,对于中心点位于波峰的窗口,原本波谷的颜色值与波峰差异大,对峰点滤波

权重的影响几乎为零。然而,在应用最值替换机制后,中心点被波谷的颜色值替代,原窗口内与波谷相近的像素点占有更大权重,因此在滤波后波峰与波谷的差值迅速减小。

图2中,纵坐标代表高斯核中各像素点的权重值,横坐标代表滤波窗口中像素点归一化后的颜色值。图2以 3×3 窗口为例,在横坐标上标注了局部窗口内9个像素点对应的颜色值。右侧曲线代表原权重函数,左侧曲线代表替换后的权重函数。应用最值替换机制相当于将原权重函数中心点平移至最边缘像素点。可以看到,平移后局部窗口内所有像素点都仅分布在权重函数的一侧,原本占有最小权重的像素点在替换后占有最大权重。因此,处理振动信号时,应用最值替换机制可以改变高斯函数对高对比度信号的保留倾向,从而快速模糊高对比度的纹理。

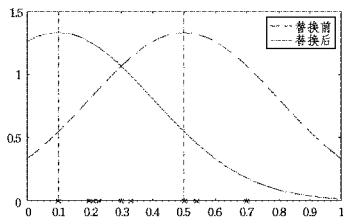


图2 最值替换原理图

Fig. 2 Extreme value substitution mechanism

本文算法的步骤如下。

输入:原始图像 I

输出:纹理滤波成果图 J

- 步骤1 用 $k \times k$ 大小的窗口对 I 做均值滤波,滤波结果记作 B。
- 步骤2 由式(1)、式(2)、式(4)计算每个像素点对应的 D 值,若 $D \geq T$,则标记该像素点,标记结果记作 M。
- 步骤3 对于 I 的每个像素点 p,若其 $k \times k$ 个候选块都不包含被标记的像素点,则 $G_p = B_m$;否则 $G_p = B_p$,结果记作 G。
- 步骤4 式(5)的输入图像 I 与引导图像 G 共同参与联合双边滤波,得到本次迭代的输出图像 J^n 。若迭代不终止,则 $I = J^n$,开始新一轮迭代(迭代过程更新 M 和 G)。

3 实验结果

图3展示了 BTF^[8], RCV^[11], RTV^[2], RGF^[12] 和本文方法对同一张 800×600 像素马赛克图像的处理结果。此类算法的目的是尽可能保留语义特征结构,同时干净地去纹理。其中,RTV(见图3(d))是一种典型的基于优化的方法,能够保持清晰的边缘,并非常干净地去纹理。但是从嘴部细节可以看出,此方法可能丢失部分阴影变化及不显著的特征。其他4种方法都是基于滤波的方法,其中 RGF(见图3(e))能够去除小于一定尺度的纹理,但同时也丢失了小尺度的特征,这在此例中导致了眼角和鼻孔部分的过模糊。BTF, RCV 及本文算法都是基于块特征的滤波方法,其中 RCV(见图3(c))能够较好地去除纹理,但边缘处块的重叠导致了边缘不够锋利。为了解决这个问题,BTF 提出了转移块的思想,但是其结果(见图3(b))产生了不光滑的边缘,这与处理过程中边缘处的块信息失真有关。相较而言,本文方法(见图3(f))从改善纹理滤除效率的角度入手,减少了滤波所需的迭代次数,从

而能够更好地保留特征。如图3(f)所示,本文算法在滤除纹理的同时,保持了光滑、清晰的边缘,也保留了较多的细节特征。

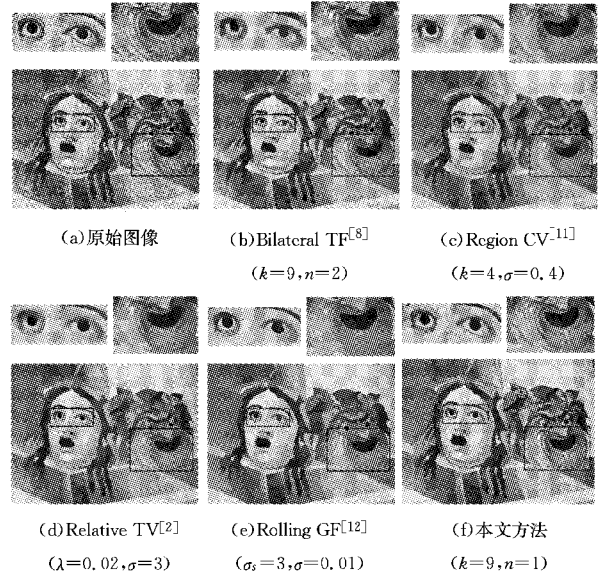


图3 常用的图像去纹理算法的效果对比图

Fig. 3 Comparisons of popular image texture removing algorithms

3.1 参数分析

3.1.1 阈值 T 与窗口大小 k

T 是计算标记图 M 时的阈值参数,其对标记图效果的影响如图4所示。T 值越大, M 中越倾向于保留对比度高的部分。T 值过大时(见图4(d)),将导致 M 丢失部分低对比度的结构元素;而 T 值过小时,则可能将纹理误判为结构。因此,当待处理图片中纹理对比度较高时,需相应选取较大的 T 值。经过大量实验,当 $T \in (0.08, 0.10)$ 时,可以满足大多数纹理去除的需求。

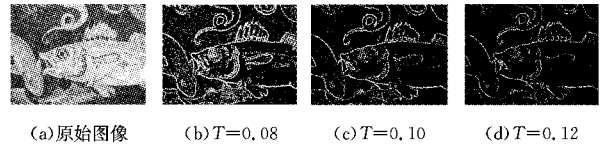


图4 k 值固定($k=5$)时不同阈值 T 对标记图效果的影响

Fig. 4 Results of marking with variable T and fixed $k(k=5)$

窗口边长 k 代表求取区间梯度时区间范围的大小,其对标记图效果的影响如图5所示。k 值较大时,图像中尺度较大的纹理更可能被准确标记,但同时边缘附近被判定为结构的像素点也更多,这会导致边缘附近存在一定程度的失真。因此,当待处理图片中的纹理尺度较大时,需相应选取较大的 k 值。实验中,我们根据图像的特点针对性地调整 k 值与 T 值,以获得准确的标记结果。

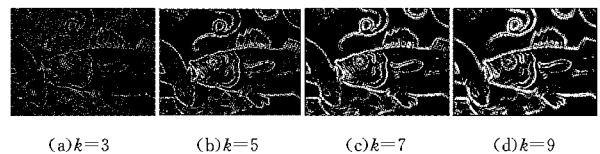


图5 T 值固定($T=0.1$)时不同窗口大小 k 对标记图效果的影响

Fig. 5 Results of marking with variable k and fixed T($T=0.1$)

3.1.2 迭代次数 n

BTF^[8]与本文算法属于同类方法。图 6 比较了两者去除纹理的效果和迭代次数(窗口大小均取 $k=5$,本文方法中 $T=0.08$)。如图 6(b)和图 6(d)所示,当纹理去除效果相近时,BTF 需要迭代 5 次,而本文算法仅需迭代 2 次。如图 6(b)和图 6(c)所示,当迭代次数相同时,本文方法能更干净地去除纹理,且能保留同等质量的结构特征。

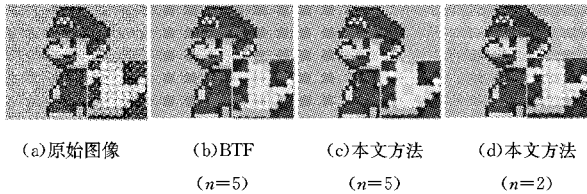


图 6 迭代次数 n 取不同值时本文方法与 BTF^[1] 的比较

Fig. 6 Comparison between the proposed method and BTF with different iteration n

图 7 展示了本文算法中不同迭代次数 n 对滤波效果的影响。由于每次迭代过程中标记图 M 和引导图 G 都被更新,因此随着迭代次数增多,纹理部分更加平滑,但此变化在 n 大于 3 后并不明显。如图 7(d)和图 7(e)所示,过多的迭代弱化了边缘的清晰度。因此在实验中,对于大多数图片,选取 $n \in \{1, 2, 3\}$ 可取得较好的纹理去除效果。

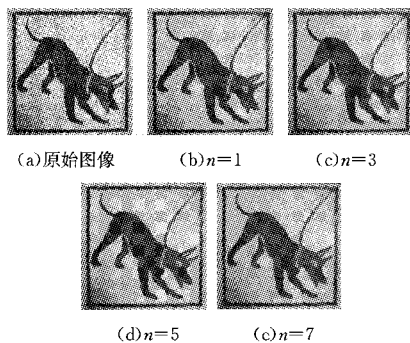


图 7 迭代次数 n 对滤波效果的影响($k=5, T=0.08$)

Fig. 7 Results of filtering with variable $n(k=5, T=0.08)$

3.1.3 预处理方式

本节对比了 2.3 节最值替换机制中 3 种不同的预处理方式所得到的滤波结果,如图 8 所示。从纹理去除的角度,高斯滤波(见图 8(b))的平滑力度最小,效果差于均值滤波和中值滤波。边缘处的局部失真,导致中值滤波(见图 8(c))的结果中产生了明显的锯齿状边缘。与前两者相比,均值滤波(见图 8(a))的平滑力度适中,并能保持平滑的边缘,因此本文实验均选用均值滤波作为预处理方式。

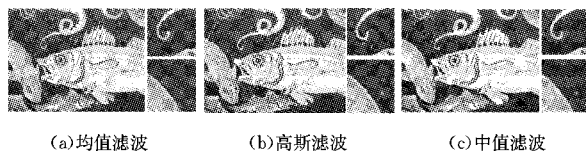


图 8 不同预处理方式的对比($k=5, T=0.08$)

Fig. 8 Comparisons of results from different preprocessing methods ($k=5, T=0.08$)

3.2 时间性能

本文算法的运算步骤比双边滤波多,因此本文算法的运算效率低于双边滤波。但是由于对纹理结构划分方法和引导图像的生成机制进行了改进,因此本文算法的运算效率高过同类的 BTF。对 800×600 像素的灰度图像做单次迭代运算的结果如表 1 所列。3 个子运算中,计算标记图 M 的耗时最少, JBF 和计算引导图 G 的耗时随窗口 k 的变大而增加。

表 1 对于 800×600 像素的灰度图像,在 Matlab 上使用本文算法进行单次迭代的时间

Table 1 Time of using 800×600 gray-scale picture on Matlab within single iteration

	(单位:s)		
运算	$k=3$	$k=5$	$k=7$
计算 M	0.062	0.072	0.083
计算 G	0.156	0.312	0.488
JBF	0.077	0.221	0.365
合计	0.295	0.605	0.936

表 2 比较了图 3 中 5 种算法在给定参数下的运行时间。实验结果均基于以下环境: Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU 3.20GHz, 4GB RAM 硬件, Win10 操作系统。

表 2 图 3 中各算法运行时间的比较

Table 2 Running time of each algorithm in Fig. 3 (单位:s)

	RTV	RCV	RGF	BTF	本文算法
	6.230	167.076	2.542	4.030	1.132

3.3 应用

3.3.1 细节增强

细节增强的目的在于获取更明确的视觉信息,产生更清晰的图像细节。例如,图 9 增强了织物纹理和光照分布等细节信息。



图 9 细节增强效果图($\lambda=3$)

Fig. 9 Results of detail enhancement($\lambda=3$)

3.3.2 边缘检测

如图 10 所示, Canny 边缘检测算子对纹理的低容忍度,使得它对原始图像 I 的检测结果毫无参考价值。然而,经过本文滤波方法处理后,同样的算子对图像 J 的检测结果十分明晰,证实了本文算法的有效性。



图 10 边缘检测效果图

Fig. 10 Results of edge detection

3.3.3 医学超声图像的散斑去除

医学超声图像中,散斑是一种颗粒状的强噪声,用一般的去噪方法很难去除。散斑信号的变化具有非单调性,因此在计算标记图 M 时不被标记,从而能被最大值替换机制高效平滑。其初步实验结果如图 11 所示,从散斑图层可以看出,本文算法取得了较好的散斑去除效果,并且没有去除太多的特征元素。然而,本文算法的标记图被设计成区分结构与纹理,对于医学图像来说,这可能会去除部分低对比度及具有重复性的特征。因此,在此应用上,先验方式还需改进。

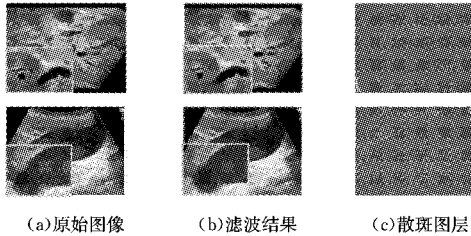


图 11 超声图像的散斑去除效果($k=5, T=0.1, n=1$)

Fig. 11 Results of speckle removing in supersonic pictures
($k=5, T=0.1, n=1$)

3.3.4 算法的不足之处

本文算法也有一定的缺陷,与很多纹理去除方法相似,其要求固定的尺度参数,因而难以应对纹理尺度变化较大的情况。如图 12(a)所示,倾斜的拍摄角度使得图片顶端的部分被误判为纹理。另外,本文算法中对纹理的判定是基于局部振荡的特性,因此在不规则纹理与边缘的交界处可能会出现误判,如图 12(b)所示。最后,本文算法不具备学习能力,因此在语义理解上存在一定的局限性,难以应用在一些需要对复杂语义进行准确理解的场合。如图 12(c)所示,在自然图像中,扎堆的斑马被误判成纹理,在滤波过程中被过度模糊。另外,如何通过改进计算标记图的度量算子来使得本文算法更好地应用于医学超声图像的散斑去除问题,有进一步研究的价值。

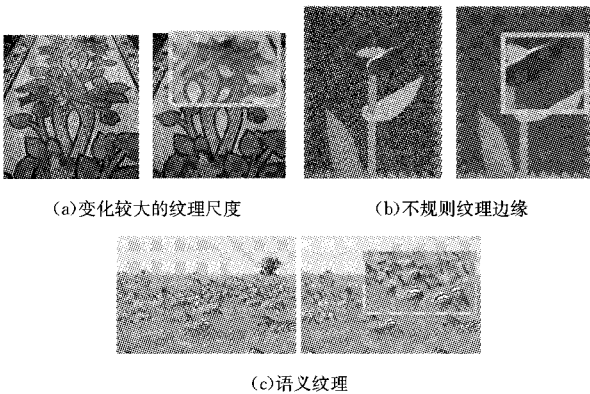


图 12 缺陷示例图

Fig. 12 Samples of defects

结束语 本文提出的纹理去除算法继承了双边滤波简单且高效的特性,但仍然存在一定的可拓展性。基于联合双边滤波的框架,本文从基于区间梯度的纹理结构二元划分和基于最大值替换机制的块替换方法两个角度改善了富含纹理的图像的滤波效果。除此之外,由于取得相同品质结果所需迭代次数更少,较同类方法而言,本文算法能够更好地保存边缘。

参考文献

- [1] RUDIN L I, OSHER S. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1992, 60(1-4): 259-268.
- [2] XU L, YAN Q. Structure extraction from texture via relative total variation[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2012, 31(6): 139.
- [3] CRIMINISI A, SHARP T. Geodesic image and video editing[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2010, 29(5): 134.
- [4] FARBMAN Z, FATTAL R, LISCHINSKI D. Diffusion maps for edge-aware image editing[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2010, 29(6): 1-10.
- [5] LEE H, JEON J. Structure-Texture Decomposition of Images with Interval Gradient[J]. *Computer Graphics Forum*, 2017, 36(6): 262-274.
- [6] XU L, LU C. Image smoothing via L_0 gradient minimization [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2011, 30(6): 1-12.
- [7] YANG Q. Semantic filtering[C]//*Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016: 4517-4526.
- [8] CHO H, LEE H. Bilateral texture filtering[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2014, 33(4): 128.
- [9] JEON J, LEE H. Scale-aware Structure-Preserving Texture Filtering[J]. *Computer Graphics Forum*, 2016, 35(7): 77-86.
- [10] GASTAL E S L, OLIVEIRA M M. Domain transform for edge-aware image and video processing[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2011, 30(4): 1-12.
- [11] KARACAN L, ERDEM E. Structure-preserving image smoothing via region covariances[J]. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 2013, 32(6): 1-11.
- [12] ZHANG Q, SHEN X. Rolling guidance filter[C]//*European Conference on Computer Vision*. Springer International Publishing, 2014: 815-830.