

基于分频和奇异值分解的轮胎图像增强方法 *

艾玲梅, 郭 春

(陕西师范大学 计算机科学学院, 西安 710062)

摘 要: 针对传统图像增强方法会丢失图像细节信息这一缺陷,提出了一种基于分频和奇异值分解的轮胎图像增强新方法。该方法先使用巴特沃斯低通滤波器对图像进行分频处理;然后对得到的低频和高频分量分别使用奇异值分解和线性方法进行增强;最后把处理后的低频和高频分量进行叠加得到最终增强结果。实验结果表明,新方法能在增强图像视觉效果的同时具有较好的细节保持性能。

关键词: 轮胎图像; 奇异值; 低通滤波; 高斯噪声; 图像增强

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)03-1178-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.105

Tire image enhancement based on frequency division and singular value decomposition

AI Ling-mei, GUO Chun

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: For the existing problems of losing image details in the process of traditional image enhancement algorithms, this paper presented a new tire image enhancement algorithm on the basis of frequency division and singular value decomposition. Firstly, it divided the image into the low frequency part and high frequency part with Butterworth low pass filter. Then the low frequency part took advantage of singular value decomposition method to get enhanced, while enhanced the high frequency part by linear method. At last, it reunited the two parts which had been enhanced to get the enhanced image. The experimental results demonstrate that this algorithm can enhance the visual perception effect of tire image and has a good performance of keeping image details.

Key words: tire image; singular value; low pass filter; Gaussian noise; image enhancement

近年来,随着我国汽车保有量的急剧增加,国内汽车犯罪案件和交通肇事逃逸案件也随之增多。及时侦破此类案件是减少经济损失、维持社会稳定的有效方法。从案发现场获得的轮胎及轮胎痕迹图像能为此类案件的侦破提供重要的线索和证据,然而,实际获得的图像往往存在过暗、过亮、模糊等质量问题,导致信息识读出现困难。因此,为了从图像中获得更多的有用信息,有必要对轮胎图像进行增强处理。

图像增强效果的好坏与图像数据特征和具体算法密切相关,不同类型的图像所需的处理方法不同,迄今为止还没有通用的图像增强算法。传统的直方图均衡化(histogram equilibrium, HE)算法和自适应直方图均衡化(adaptive histogram equilibrium, AHE)^[1]算法因其有效性和简单性被广泛应用,但是它们都存在着丢失图像细节和清晰度不够等缺点。为了得到更好的图像质量,学者们提出了一些新的图像增强算法及相应的改进算法,其中基于神经网络^[2~4]和 Retinex 理论模型^[5~7]的图像增强算法因其有效性而备受国内外学者重视。然而,这些算法对不同类型的图像增强效果不同,这使得它们的应用具有一定的局限性。针对轮胎图像的增强,目前还没有人提出相应的算法,因此,本文旨在研究轮胎图像增强问题,并

提出一种新的基于分频和奇异值分解的轮胎图像增强方法。

1 轮胎图像增强

1.1 分频理论

图像的概貌信息主要集中在低频分量中,细节和噪声信息则主要集中在高频分量中。处理图像时,对低频和高频分量进行不同的处理可以获得更好的图像效果。巴特沃斯低通滤波器具有在通过频率与截止频率之间没有明显的不连续性,不会出现振铃现象,并能提高图像的细节清晰度^[8]等特点,因此本文使用巴特沃斯低通滤波器对图像进行分频处理。其传递函数为

$$H(u, v) = 1 / (1 + [D(u, v) / D_0]^{2n}) \quad (1)$$

其中: D_0 是截止频率; $D(u, v)$ 定义为点 (u, v) 到频率平面原点的距离, $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$; n 为阶数,其值取正整数,用来控制衰减速度。

对待处理的图像 $f(x, y)$,可将其分解为低频分量 $f_l(x, y)$ 和高频分量 $f_g(x, y)$,即

$$f(x, y) = f_l(x, y) + f_g(x, y) \quad (2)$$

收稿日期: 2011-07-06; **修回日期:** 2011-08-14 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60803088); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2009JM8018); 中央高校基本科研业务费专项资金重点资助项目(GK200901006); 陕西师范大学研究生培养创新基金资助项目(2011CX028)

作者简介: 艾玲梅(1965-),女,陕西西安人,副教授,硕导,博士,主要研究方向为智能信息处理(almsac@yahoo.com.cn); 郭春(1987-),女,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理。

低频分量 $f_l(x,y)$ 可通过 $f(x,y)$ 与巴特沃斯低通滤波器 $h(x,y)$ 卷积得到,即

$$f_l(x,y)=f(x,y)*h(x,y) \tag{3}$$

其中: $*$ 代表卷积运算, $h(x,y)=1/(1+[D(x,y)/D_0]^{2n})$ 。

高频分量 $f_g(x,y)$ 则可由从图像 $f(x,y)$ 中减去低频分量 $f_l(x,y)$ 得到,即

$$f_g(x,y)=f(x,y)-f_l(x,y) \tag{4}$$

1.2 奇异值分解

任何数字图像都可以看做一个由多个非负标量组成的矩阵。矩阵的奇异值矢量是唯一的,它能刻画矩阵数据的分布式特征。奇异值特征描述图像是稳定的,且具有转置、平移、旋转以及镜像不变等特性^[9,10],它可以有效描述图像的代数特征。所以,通过增强图像矩阵的奇异值可以达到增强图像的目的。

对矩阵进行奇异值分解,可以得到矩阵的奇异值。其中,奇异值分解(singular value decomposition, SVD)的定义为^[10]: 设 A 是 $m \times n$ 的实矩阵,且 $\text{rank}(A)=r$,则存在 m 阶酉矩阵 U 和 n 阶酉矩阵 V ,使得

$$A=USV^H=U\begin{bmatrix}\Sigma & 0 \\ 0 & 0\end{bmatrix}V^H, U^H U=I, V^H V=I$$

其中: $\Sigma=\text{diag}(\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_r)$, $\sigma_1\geq\sigma_2\geq\cdots\geq\sigma_r>0$ 是 A 的全部 r 个非零奇异值; U 和 V 的各列分别是 $A \cdot A^H$ 或 $A^H \cdot A$ 的特征矢量; S 是分解出来的奇异值矩阵。

数字图像经奇异值分解后,图像的纹理和几何信息包含在矩阵 U 、 V 中,图像的能量信息则集中于奇异值中。本文通过给图像加入一定量的高斯噪声来增强图像矩阵的奇异值,其具体步骤如下:

- a) 将待处理图像 $f(x,y)$ 进行奇异值分解,得到矩阵 U 、 S 、 V ;
- b) 将高斯噪声叠加到待处理图像中,并对含噪声图像进行奇异值分解,得到矩阵 U_n 、 S_n 、 V_n ;
- c) 奇异值分解增强后的图像为 $g(x,y)=US_nV^H$;
- d) 对图像 $g(x,y)$ 使用自适应直方图均衡化算法进行灰度修正,得到最终的增强图像。

1.3 基于分频的奇异值分解算法

为了得到更好的图像增强效果,本文采用巴特沃斯低通滤波器将图像高频和低频分量分离,并对其作不同处理。对低频分量,采用1.2节方法进行增强;对高频分量,为了在增强细节的同时有效抑制噪声,使用如式(5)所示的线性增强方法进行增强;最后,将处理后的高频与低频分量进行叠加得到增强的最终图像。本文方法流程如图1所示。

$$G=a \times G+b \tag{5}$$

其中: G 表示图像的高频分量, a 、 b 均为常量($a\geq 2, 0<b<1$)。

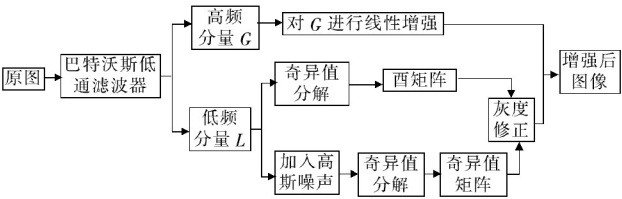


图1 图像增强方法流程

1.4 推广到彩色图像

彩色图像比灰度图像拥有更加丰富的信息,且它在人的视觉感受和后续的图像分析上具有灰度图像无可比拟的优越性,

因此,对彩色图像进行增强处理同样具有重要的意义^[11]。

HSI^[12]模型是常用的一种彩色模型,它由 Munseu 从人类的色视觉机理出发提出,采用 H 、 S 、 I 三个参数来描述图像颜色特征。其中, H (hue)定义颜色的波长,称为色调; S (saturation)表示颜色的深浅程度,称为饱和度; I (intensity)是亮度或强度,它与彩色信息无关。HSI模型反映了人的视觉对色彩的感觉,符合人类描述和解释颜色的方式,因此,本文采用HSI空间模型来处理彩色图像。

对彩色图像增强算法具体步骤如下:

- a) 把原始RGB图像转到HSI彩色空间(HSI与RGB相互转换的公式详见文献[13]),得彩色分量 H 、 S 、 I ;
- b) 保持分量 H 和 S 不变,对 I 分量使用1.3节增强方法进行增强,得到新亮度分量 I' ;
- c) 使用分量 H 、 S 、 I' 将图像转换到RGB空间,得到增强后的彩色图像。

2 实验仿真及结果分析

本文使用两幅灰度图像(图2(a)(b))和一幅彩色图像(图2(c))作为实验对象,如图2所示。

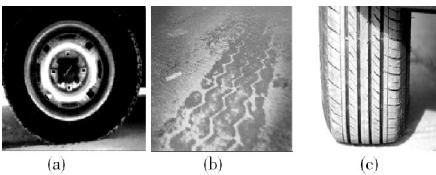


图2 实验原始图像

由于本文通过给图像引入高斯噪声来增强图像的奇异值,因此,噪声方差的大小决定了图像的增强效果。以图2(a)为例,图3是不同高斯噪声对其矩阵奇异值的增强结果(采用1.2节方法)。其中,引入高斯噪声的方差不同,均值都为0。

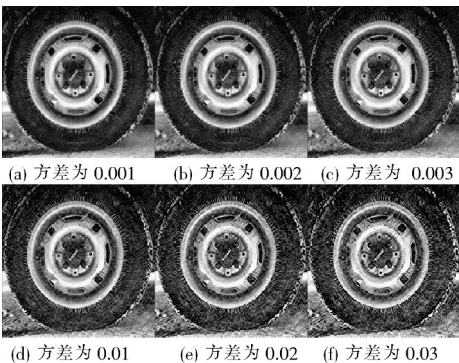


图3 图2(a)不同方差增强奇异值效果

从图3可以看出,加入噪声方差的值越大,图像对比度越强,但图像失真也越严重。在增强图像时,应该根据图像的特点和自己的需要选择合适的方差值。

实验过程中,本文部分重要参数取值如下:其中, $D_0=80$, $n=1$,加入高斯噪声的均值为0,方差为0.001。本文采用直方图和自适应直方图算法作为对比算法,并使用Sobel算子^[14]对增强前后的图像进行边缘检测,以说明实验效果。对灰度图像图2(a)(b)使用1.3节方法进行增强,对彩色图像图2(c)采用1.4节方法进行增强,结果分别如图4~6所示。

从图4~6可以看出,直方图均衡化算法在对比度上虽有明显的效果,但有过增强现象,且图像细节丢失较严重,如图4(e)中轮辐处部分细节丢失,图5(e)中右下角轮胎痕迹纹理不

连续,图 6(e)中图像顶部纹理部分缺失;自适应直方图增强算法虽在过增强和细节保持上较直方图均衡化算法有所改善,但图像清晰度不够且仍有细节丢失现象,如图 4(e)中轮胎处部分信息丢失,图 5(e)中中部的矩形块轮廓和右下角轮胎纹理缺失,图 6(e)中右下角轮胎边缘消失。本文方法无论在视觉效果还是细节保持上都具有很好的效果,从人眼视觉效果来看,图像更加清晰、细节更加明显,从检测出来的边缘看,检测出的图像特征清晰、有用信息明显增多。

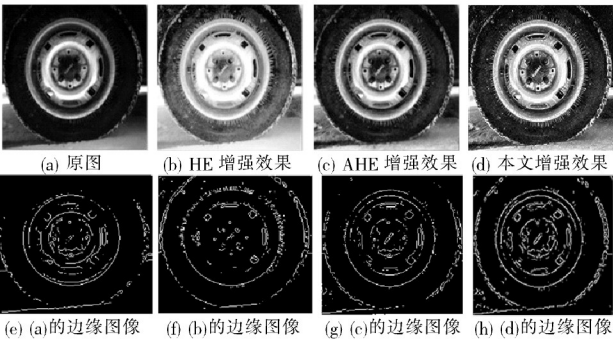


图 4 几种算法的实验结果对比 1

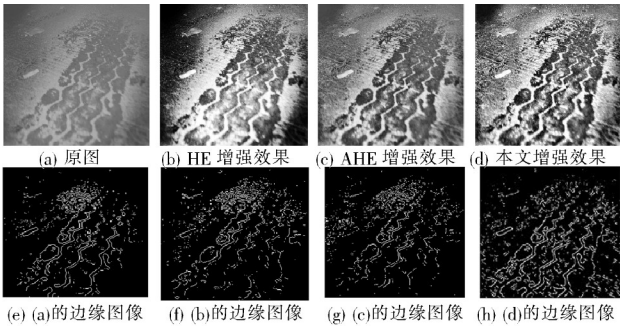


图 5 几种算法的实验结果对比 2

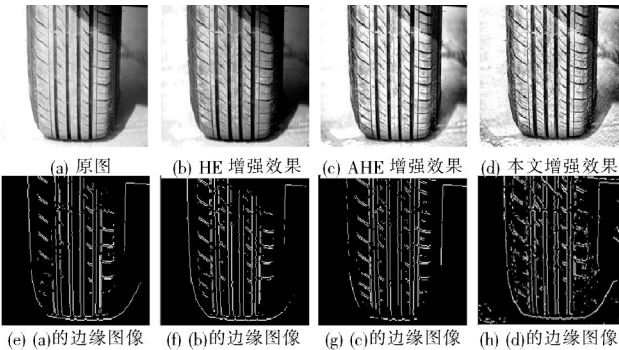


图 6 几种算法的实验结果对比 3

为了更好地说明本文方法的优越性,本文使用信息熵、清晰度和标准差对图像增强效果进行了客观评价。其中,信息熵用来衡量图像信息的丰富程度,图像的信息熵越大,说明图像的信息量越多;清晰度可敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力,用来评价图像的清晰程度,值越大表示图像越清晰;标准差反映图像中像素灰度的分布情况,标准差越大,则灰度级分布越分散。信息熵与清晰度的计算如文献[15]所示,标准差的计算在文献[16]中有详细的说明。客观评价结果如表 1 所示。

从表 1 可以得出,本文算法在图像的信息熵、清晰度和标准差方面都有明显提高,在图像清晰度上效果尤为显著。通过主、客观两种评价标准的比较可以得出,对轮胎图像的增强处理,本文方法优于直方图均衡化算法和自适应直方图均衡化算法。

表 1 客观评价结果

方法	信息熵	清晰度	标准差
图 2(a)	6.926 5	8.455 8	62.177 0
HE 增强图 2(a)	5.614 4	13.884 8	74.684 1
AHE 增强图 2(a)	7.559 4	13.941 3	70.406 2
本文方法增强图 2(a)	7.628 1	38.067 2	73.585 4
图 2(b)	6.391 1	6.690 6	22.697 1
HE 增强图 2(b)	5.719 7	23.328 3	74.906 3
AHE 增强图 2(b)	7.441 2	20.413 5	45.593 0
本文方法增强图 2(b)	7.700 1	57.930 7	73.833 9
图 2(c)	7.487 2	8.625 6	64.365 9
HE 增强图 2(c)	5.893 5	10.935 0	74.754 7
AHE 增强图 2(c)	7.775 8	16.658 7	67.138 9
本文方法增强图 2(c)	7.937 6	39.504 5	67.923 4

3 结 束 语

图像增强的目的是改善图像视觉效果,突出图像中的有用信息。用于交通肇事与刑事案件的图像,不但要求图像具有好的视觉效果,而且希望图像中有用信息能尽可能多地呈现出来,为案件的侦破提供更多线索和证据。本文通过巴特沃斯低通滤波器对图像进行分频处理,对分离的高频和低频分量采用不同方法进行处理,提高了图像的视觉效果,丰富了图像细节。另外本文方法对过暗、过亮和模糊的图像均能取得较好的效果(图 2 中三幅图像分别为过暗、模糊和过亮的图像),适用于交通与刑事部门对不同场景下的轮胎图像进行增强处理。

参考文献:

[1] ALEX S J. Adaptive image contrast enhancement using generalizations of histogram equalization[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000,9(5):889-896.

[2] KUNTIMAD G, RANGANATH H S. Perfect image segmentation using pulse coupled neural networks[J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1999,10(3):591-598.

[3] 毛伟民,赵勤杰.基于神经网络的低照度彩色图像增强算法[J].光学技术,2010,36(2):225-228.

[4] 刘晓阳,刘毅.改进的脉冲耦合神经网络矿工图像增强方法[J].煤炭学报,2011,36(S1):207-210.

[5] KIMMEL R, ELAD M, SHAKED D, et al. A variational framework for retinex[J]. International Journal of Computer Vision, 2003, 52(1):7-23.

[6] 肖泉,丁兴号,王守觉,等.有效消除光晕现象和颜色保持的彩色图像增强算法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2010,22(8):1246-1252.

[7] 冯瑞利,蔡自兴,郭瑞.基于 PCA 的可变框架模型 Retinex 图像增强算法[J].计算机应用研究,2011,28(1):395-397.

[8] 陈传峰,朱长仁,宋洪芹.基于巴特沃斯低通滤波器的图像增强[J].现代电子技术,2007,30(24):163-165.

[9] 于海征.基于奇异值分解的数字图像的特征提取[J].工程数学学报,2004,21(8):131-134.

[10] 高仕龙.矩阵奇异值分解的图像性质及其应用[J].乐山师范学院学报,2008,23(5):14-15.

[11] 王萍,程号,罗颖昕.基于色调不变的彩色图像增强[J].中国图象图形学报,2007,12(7):1173-1177.

[12] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 2 版. 阮秋琦,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社,2005.

[13] 闫钧宣,张科. HSI 空间亮度信息的多尺度 Retinex 图像增强研究[J]. 计算机工程与应用,2010,46(23):31-33.

[14] 姚敏. 数字图像处理[M]. 北京:机械工业出版社,2006:227-228.

[15] 王连庆,安锦文.基于无下采样 Contourlet 变换的图像融合算法[J].计算机工程与应用,2008,44(12):189-191.

[16] 刘涛,张登福,何宜宝.基于区域分割和非下采样 Contourlet 变换的多聚焦图像融合算法[J].计算机应用,2010,30(10):2805-2807.