

# LIP 理论在彩色图像增强上的应用

陈志昂 徐晓刚 徐冠雷  
(海军大连舰艇学院 大连 116018)

**摘要** 近年来,随着计算机技术、多媒体技术的迅猛发展及计算机视觉领域相关研究的不断深入,特别是彩色图像采集设备的普及,彩色图像在社会的各个领域得到了越来越广泛的应用。针对彩色图像的性质,提出了一种基于 LIP 理论的递归增强算法。该算法的核心思想是在 RGB 颜色空间中分别考察图像中不同像素点的各个不同分量间具有的比例关系,此外在 LIP 框架下对每个像素进行放大,从而实现对彩色图像进行增强的目的。

**关键词** 图像增强, LIP 理论, 彩色图像

中图法分类号 TP751 文献标识码 A

## Application of LIP Theory in Color Image Enhancement

CHEN Zhi-ang XU Xiao-gang XU Guan-lei  
(Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

**Abstract** In recent years, with the rapid development of computer technology, such as multimedia technology and computer vision research, especially popular color image capture device, color image has been more and more widely used in various fields of society. For the nature of color images, this paper proposed a recursive enhancement algorithm based on the theory of LIP. The core idea of the algorithm is that in the RGB color space images the proportional relationship between the different components of different pixel is investigated. In addition, under the LIP framework, each pixel was amplified, achieving the color image enhancement.

**Keywords** Image enhancement, LIP theory, Color image

## 1 引言

图像是在现实世界中通过各种观测系统获得的进行信息传输的有效载体,同时也是人类进行信息获取和交换的主要来源之一。彩色图像的增强处理能够根据不同的应用实现对图像细节信息的增强,从而突出其中重要的信息,使得同一幅图像中不同物体之间的特征差别更加明显,能够改善图像的视觉质量并突出图像的细节特征。彩色图像比灰度图像包含了更多信息,从人的视觉角度来讲,人眼只能在 256 个灰度级中区分出大概 40 个不同的等级,然而却能分辨出上千种不同颜色的色度和亮度<sup>[1]</sup>。随着计算机技术的不断发展以及实际应用需求的不断增加,彩色图像的处理能力也得到了很大的提高。

彩色图像增强是彩色图像处理领域中的一项重要研究内容,对彩色图像的后续处理至关重要。Trahanias 和 Venetsanopoulos<sup>[2]</sup>提出了一种三维直方图均衡化方法用于彩色图像增强。Niback<sup>[3]</sup>通过迭代处理 3 个二维的直方图均衡化提出了另一种基于均衡化思想的彩色图像增强方法。另外, Faugeras<sup>[4]</sup>提出了基于人类彩色视觉的同态方法。Sapiro 等人<sup>[5]</sup>通过结合局部增强方法与全局的形状保持,提出了一种保持形状的局部直方图均衡化方法。Bockstein<sup>[6]</sup>在 HSL 颜色空间提出了一种彩色图像增强方法,该方法分别对图像的

亮度分量和饱和度分量进行了增强处理。Ku 和 Wang<sup>[7]</sup>用一种通过非线性对比度增强从权值化的亮度调整比率得到的色调的补偿增益去调整色度信号的方法来对彩色图像进行增强。Strickland<sup>[8]</sup>等人注意到了彩色图像中亮度信息和饱和度信息之间的关系,通过深入研究与分析,提出一种基于 HSL 颜色空间的彩色图像增强方法。谭乐怡<sup>[9]</sup>等人提出了一种基于高维形象几何理论的彩色图像增强算法,该算法将彩色图像看作是高维空间的点,通过对多幅图片的分析,推导出点与点之间的内在联系,提出“模糊\_再模糊\_清晰”的增强算法,并由实验证明该算法对模糊图像的清晰化有很好的效果。

## 2 LIP 理论

对数图像处理(Logarithmic Image Processing, LIP)理论是 20 世纪 80 年代中期由 Jourlin 和 Pinoli<sup>[10]</sup>提出的一种基于抽象代数的图像处理模型,它通过数学结构和操作为图像处理技术的发展开辟了新的道路。LIP 模型在有界的实数区  $[0, M)$  中定义了封闭的加法运算和数乘运算,这两种运算具有完备的数学定义,并且与离散的数字图像的形成法则一致<sup>[11]</sup>。另外 Jourlin 和 Pinoli 还指出,大多数现有图像处理模型都源于数学上的泛函理论,而传统的加“+”和数乘“ $\times$ ”在这些图像处理模型中并不适用,像素的加法和数乘操作很

本文受国家自然科学基金,广义测不准原理及其应用研究(61002052),国家自然科学基金,基于调制解调的图像多分辨率分解方法(61273262),国家自然科学基金,信号稀疏表示的广义测不准原理研究(61471412)资助。

陈志昂(1990—),男,主要研究方向为军事图形图像、虚拟现实, E-mail: cza-90@163.com; 徐晓刚(1967—),男,博士后,教授,主要研究方向为军事图形图像虚拟现实; 徐冠雷(1978—),男,博士生,讲师,主要研究方向为信号与图像处理。

有可能会超出图像灰度值的范围,这就是前文已经提到的“溢出”现象。LIP 理论是基于透射光成像原理提出的,符合人类的视觉感知,并且它封闭的数学操作能够有效地避免在处理数字图像时的“溢出”现象。经过近 30 年的发展,LIP 理论已经被成功地应用于图像增强、图像恢复、图像分割、图像重建等图像处理的多个领域。

### 3 本文方法

为了解决上节中传统的基于 LIP 理论的彩色图像增强算法导致的颜色退化变淡的问题,本文提出了一种基于 LIP 理论的递归增强算法。该算法的核心思想是在 RGB 颜色空间中分别考察图像中不同像素点的各个不同分量间具有的比例关系,此外在 LIP 框架下对每个像素进行放大,从而达到对彩色图像进行增强的目的。

首先计算一幅彩色图像的色调函数,然后对色调函数进行处理。分别考察一幅图像中的各个像素点,以递归的方式分别计算如下 3 个量:

$$\bar{R}(i,j) = \beta \bar{R}(i,j-1) + (1-\beta)I(i,j,1), \bar{R}(i,1) = I(i,j,1)$$

$$\bar{G}(i,j) = \beta \bar{G}(i,j-1) + (1-\beta)I(i,j,2), \bar{G}(i,1) = I(i,j,2) \quad (1)$$

$$\bar{B}(i,j) = \beta \bar{B}(i,j-1) + (1-\beta)I(i,j,3), \bar{B}(i,1) = I(i,j,3)$$

其中,  $\beta$  是一个取值范围在  $[0,1]$  之间的调整参数,而  $I(i,j,1)$ 、 $I(i,j,2)$ 、 $I(i,j,3)$  分别表示一幅彩色图像的 R、G、B 3 个分量。

然后以其中某个颜色分量作为基准计算图像的颜色补偿系数。本文以 G 分量作为基准,基于下式分别计算两个颜色补偿系数  $\gamma_R$  和  $\gamma_B$ 。

$$\gamma_R(i,j) = \frac{\bar{G}(i,j)((1-\alpha)\bar{R}(i,j) + 255\alpha)}{\bar{R}(i,j)((1-\alpha)\bar{G}(i,j) + 255\alpha)} \quad (2)$$

$$\gamma_B(i,j) = \frac{\bar{G}(i,j)((1-\alpha)\bar{B}(i,j) + 255\alpha)}{\bar{B}(i,j)((1-\alpha)\bar{G}(i,j) + 255\alpha)} \quad (3)$$

其中,  $\alpha$  是一个取值范围在  $[0,1]$  之间的调整参数。利用  $\gamma_R$  和  $\gamma_B$  对图像的 R、B 分量进行颜色补偿。由于  $\gamma_R$  和  $\gamma_B$  是以 G 分量作为基准的,因此 G 分量相应的颜色补偿系数为 1,计算公式如下所示。

$$F(i,j,1) = \gamma_R I(i,j,1)$$

$$F(i,j,2) = I(i,j,2) \quad (4)$$

$$F(i,j,3) = \gamma_B I(i,j,3)$$

然后基于下式以递归的方式计算图像中每个像素的放大系数  $H(i,j)$ 。

$$H(i,j) = pH(i,j-1) + (1-p)((1-\alpha) + 255\alpha/Y(i,j)) \quad (5)$$

其中,  $H(i,1) = (1-\alpha) + 255\alpha/Y(i,j)$ ,  $p$  是一个取值范围在  $[0,1]$  之间的调整参数;而  $Y(i,j)$  表示图像的亮度。

最后,根据计算得出的放大系数,在三维 LIP 模型下对每个像素进行放大,即对图像中的各个像素做 LIP 标量数乘操作,能够得到:

$$F_{out}(i,j,k) = M - M(1 - F(i,j,k)/M)^{H(i,j)} \quad (6)$$

本文方法是对彩色图像的色调函数进行操作,整个算法执行完后会将色调函数转回原图像,从而得到最终的增强图像。算法的具体流程如图 1 所示。

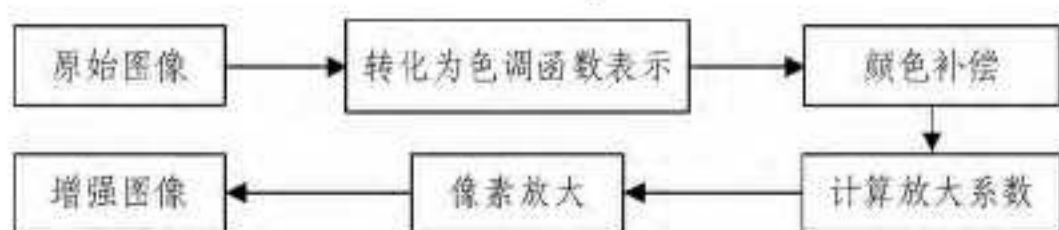


图 1 本文方法流程

### 4 实验结果与分析

为了验证算法的有效性,本文对 30 组彩色图像进行验证。本节给出了其中两组图像的实际增强效果,其中以最优化亮度增强算法作为对比算法。实验结果如图 2 所示。图 2 中,(a)、(d)是原图,(b)、(e)是最优化亮度增强算法的实验结果,(c)、(f)是本文提出的改进算法的实验结果。

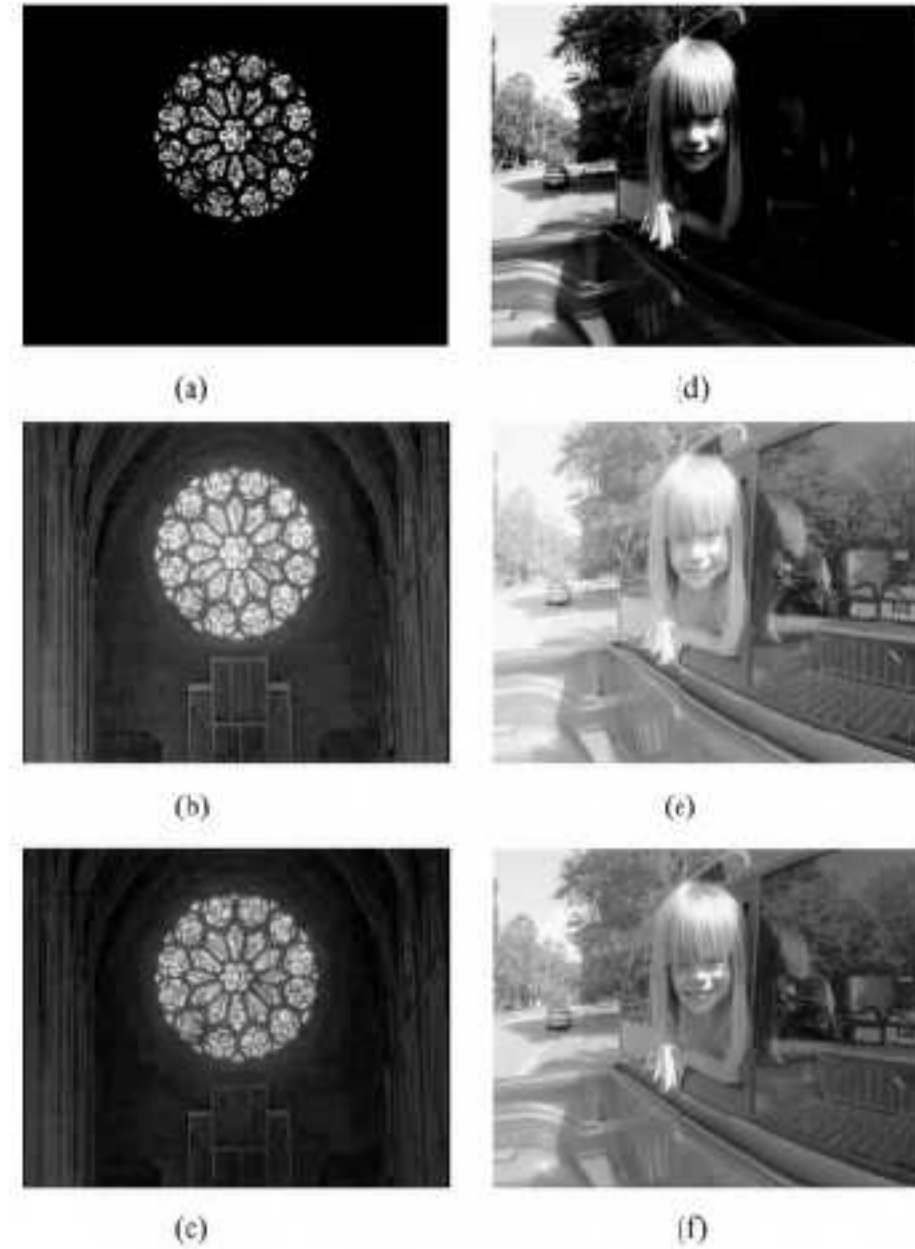


图 2 基于最优化亮度增强算法和本文方法的图像增强结果对比

从实验结果中能够清晰地看出,在基于最优化亮度增强算法的结果中,原始图像在亮度上得到了较大的增强,而基于本文方法得到的实验结果中,原始图像的亮度相对较弱,但是图像的颜色信息得到了较好的补偿,图像中具有更多的细节信息,更符合人眼的视觉感知特性。

本文以平均亮度、拉普拉斯算子和以及图像熵作为评价指标定量地对本文方法进行验证。表 1 给出了这两组实验的平均质量评价。

表 1 最优化亮度增强算法和改进算法增强结果的质量评价

标号	平均亮度	拉普拉斯算子和	图像熵
(a)	19.2555	140.9926	9.7039
(b)	88.1289	528.7541	11.9881
(c)	73.8503	624.4023	12.3925
(d)	126.1409	878.7975	15.0409
(e)	136.1763	879.4700	15.1466
(f)	164.0009	1147.1305	11.1219

结束语 与灰度图像相比,彩色图像包含了更多的颜色信息和细节信息。随着科技的高速发展,彩色图像的应用越来越广泛,因此彩色图像增强也受到越来越多的重视并逐渐成为彩色图像处理领域的研究热点。本文基于 LIP 理论,提出了一种递归的彩色图像增强方法。该方法通过颜色补偿、计算系数以及像素放大这 3 步,能对图像的颜色以及纹理细节进行很好的增强,从而使图像更加鲜艳与清晰。

### 参考文献

- [1] 孙即祥. 图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [2] Trahanisa P E, Venetsanopoulos. Color image enhancement through 3-D histogram equalization[C]// 11th IAPR International Conference on Image, Speech and Signal Analysis. 1992: 545-548

[3] Niblack W. An Introduction to Digital Image Processing [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1986

[4] Faugeras O D. Digital color image processing within the framework of a human visual model[OL]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/showciting?cid=277940>

[5] Sapiro G, Caselles V. Histogram Modification via Differential Equations[J]. Journal of Differential Equations, 1997, 135(2): 238-268

[6] Bockstein I M. Color equalization method and its application to color image processing[J]. Opt. Soc. Am. A, 1986, 3(5):735-737

[7] Ku Chhao-Chee, Wang Tsung-Ming. Luminance-Based Adaptive Color saturation Adjustment [J]. IEEE Transactions on Con-

sumer Electronics, 2005, 151(51):939-945

[8] Strickland R N, Kim C S, McDonnell W F. Digital color image enhancement based on the saturation component[J]. Optical Engineering, 1987, 6(7):609-616

[9] 谭乐怡, 王守觉. 一种基于高维形象几何理论的彩色图像增强算法[J]. 计算机科学, 2008, 35(12):214-215

[10] Grigoryan A M, Jenkinson J, Agaian S S. Quaternion Fourier transform based alpha-rooting method for color image measurement and enhancement[J]. Signal Processing, 2015, 109:269-289

[11] Abdul G, Ahmad S, Mat Isa, et al. Underwater image quality enhancement through integrated color model with Rayleigh distribution[J]. Applied Soft Computing Journal, 2015, 27:219-230

(上接第 210 页)

与 Sobel 算子和二维最大熵阈值分割算法作对比。结果显示,采用 Sobel 算子分割图像,使得图像的黑色和白色区域对比相当明显,速度很快,但也丢掉了一些有用的相关信息;采用二维最大熵阈值分割速度较慢,而采用本文新算法不仅比原算法速度快了 10 倍,而且分割效果也比改进前的要好很多,如图 2 所示。

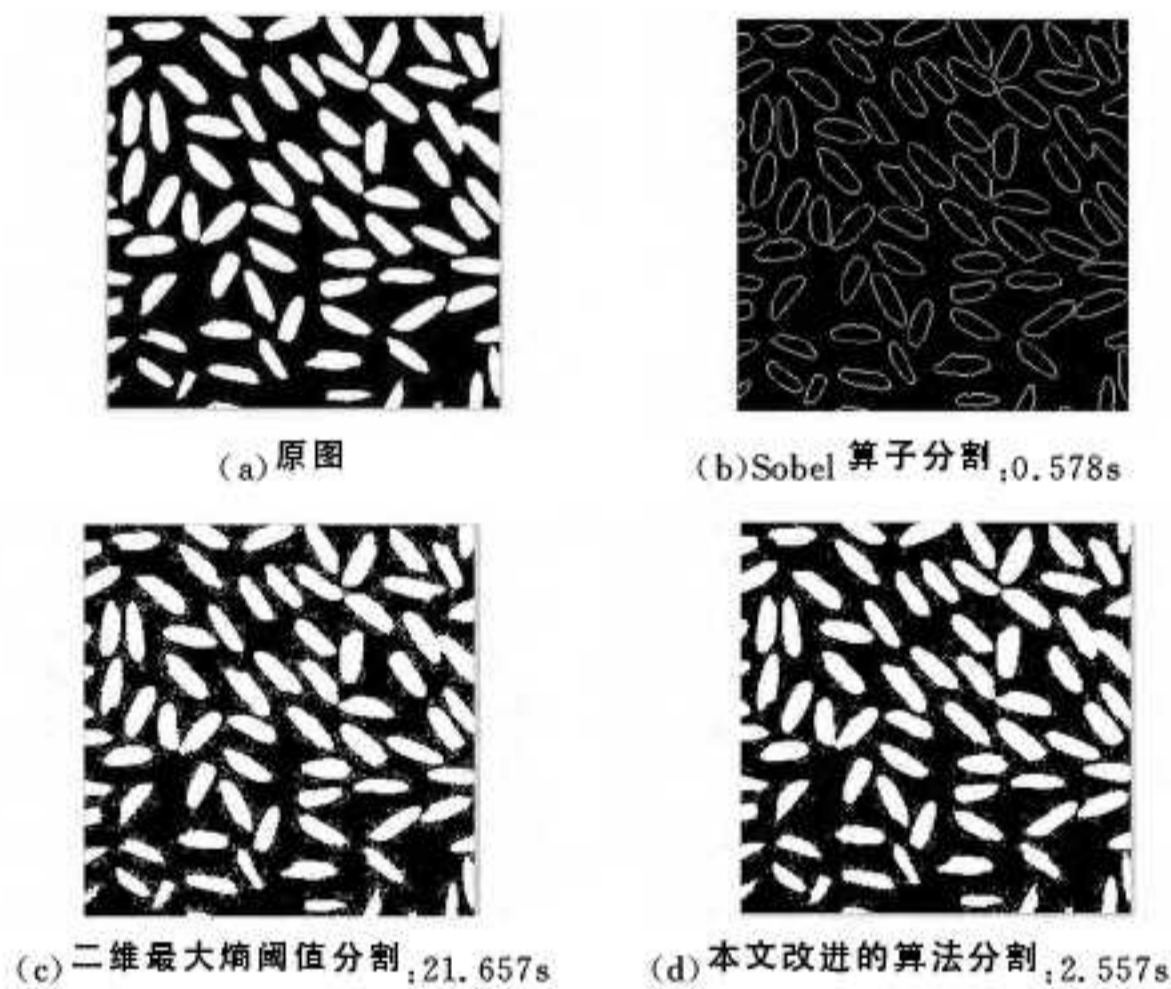


图 2 图像分割结果对比

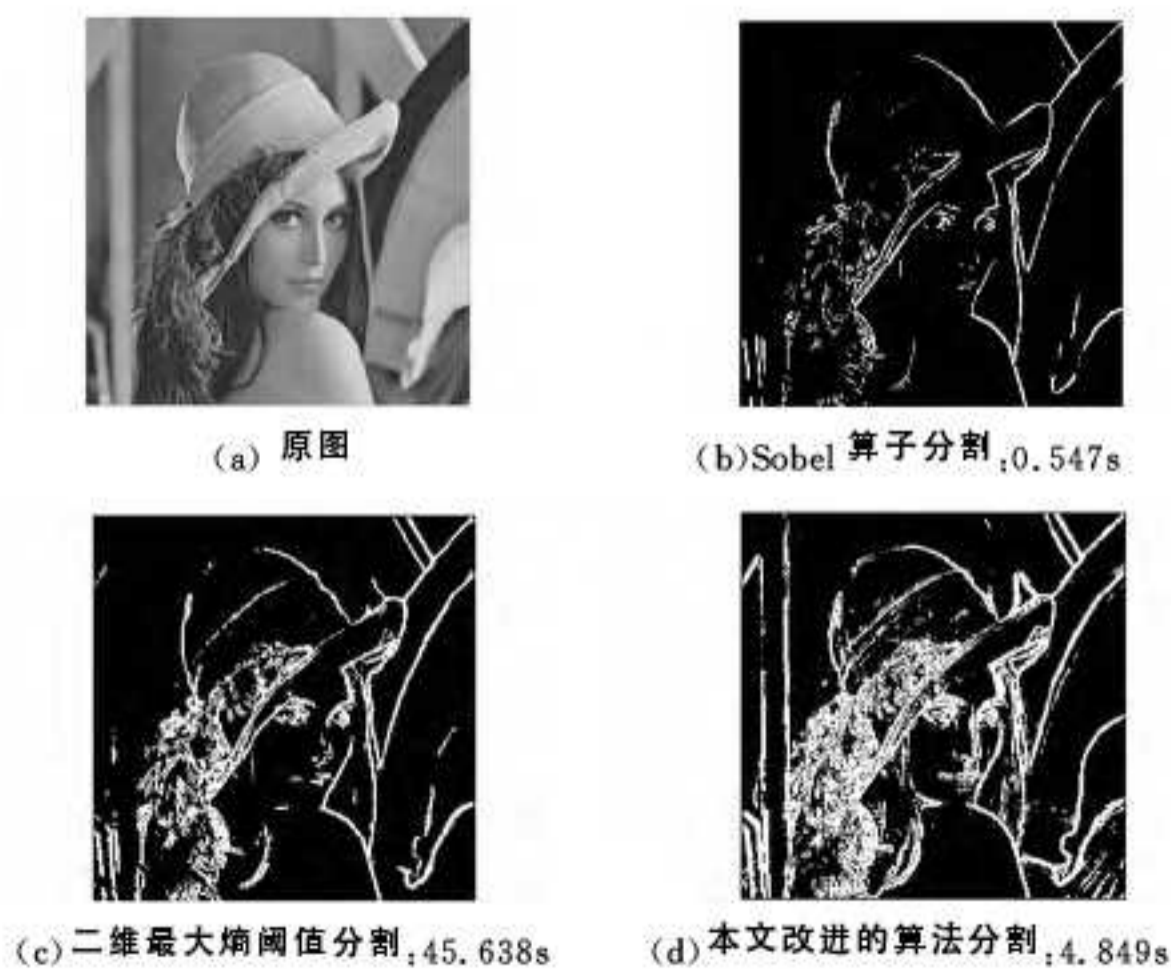


图 3 Lena 图像处理前后对比结果

图 2(a) 为原始米粒图像,图 2(b) 是采用 Sobel 算子分割的图像,图像的黑色和白色区域对比相当明显,时间只用了 0.578s,速度很快,但也丢失掉了重要的相关细节信息;图 2(c) 是采用二维最大熵阈值分割的结果,细节信息比用 Sobel

算子分割的结果体现的多,但时间用了 21.657s,速度较慢;图 2(d) 是采用本节介绍的改进的新算法分割图像结果,时间花费是 2.557s,比二维最大熵阈值分割的快了约 10 倍,同时分割效果也比二维最大熵阈值分割的效果要好。

图 3 中,图(a) 为原始的 Lena 图像,图(b) 为 Sobel 算子处理后的图像,Lena 脸的大致轮廓出来了,算法处理过程只用了 0.547s,但缺失了很多的细节,根本无法看清,处理效果差;图(c) 为二维最大熵阈值分割后的图像,Lena 图像比刚才用 Sobel 算子处理后的图像效果要好得多,图像轮廓基本描绘出来了,但用时比较多;图(d) 是用本文提出的改进的新算法分割出来的图像,Lena 图像完全勾勒出来了,细节信息也很明显,用时是图(c) 的 1/10,分割效果十分明显。

结束语 图像分割是图像处理领域的关键技术,主要针对传统的图像分割算法复杂度高、计算时间长和分割精度不高的问题,本文提出了一种基于 Sobel 算子的快速二维最大熵阈值分割算法,并将其应用于实际图像分割中。仿真实验验证了本文算法具有极大的优越性,值得推广。

## 参考文献

[1] 唐占红,兰聪花. 基于区域增长分割算法的医学图像重建[J]. 兰州工业高等专科学校学报, 2010, 15(5):205-212

[2] 李光耀. 图像阈值分割法和边缘检测法的研究和应用[J]. 信息通信, 2013, 4(4):504-510

[3] 牛晓颖, 夏立娅, 张晓瑜. K 均值和分层聚类法在大米产地鉴别中的应用[J]. 农机化研究, 2012, 34(6):408-414

[4] Koschan A, Abidi M, 章毓晋. 彩色数字图像处理[M]. 北京:清华大学出版社, 2010

[5] 孙蔚, 王靖, 王波. 改进的 Sobel 算子彩色图像边缘检测[J]. 电子技术应用, 2013, 39(2):391-398

[6] 张红顺, 杨凯达, 等. 基于二维最大熵阈值的 SAR 图像分割算法[J]. 科技信息, 2012, 6(8):301-306

[7] Guo M Sh, Liu B H. 2-D maximum entropy method in image segmentation based on chaos genetic algorithm [J]. Computer Technology and Development, 2008, 18(8):101-104

[8] Wu Y Q, Wu J M, Zhan B Ch. An effective method of threshold selection for small object image[J]. Acta Armamentarii, 2011, 32(4):469-475

[9] Zhang X M, Zhang A L, Zheng Y B. Improved two-dimensional maximum entropy image thresholding and its fast recursive realization[J]. Computer Science, 2011, 38(8):278-283

[10] 章慧, 龚声蓉. 基于改进的 Sobel 算子最大熵图像分割研究[J]. 2011, 38(12):278-281