

文章编号:1007-2780(2014)02-0275-06

基于 LoG 算子改进的自适应阈值小波去噪算法

董 雪,林志贤*,郭太良

(福州大学 物理与信息工程学院,福建 福州 350002)

摘要:图像在传输过程中会受到各种噪声干扰,为了实现消除噪声的目的,提出一种基于 LoG 算子改进的自适应阈值去噪算法。首先,利用 LoG 算子提取图像的边缘特征信息。接着,根据图像的边缘特征和非边缘特征分别求取改进的阈值函数;对于图像非边缘部分的阈值函数,在软阈值函数的基础上添加一个阈值修正系数,构建新的阈值函数;对于图像边缘部分的阈值函数,将边缘部分小波系数附近的能量和阈值相结合,构建新的阈值函数。最后利用改进的阈值函数对图像 R、G、B 3 个通道分别处理,保留图像所有的细节信息。实验结果表明,消噪后图像与含噪图像的 PSNR 值高于传统自适应算法 12.09%;MAE 值低于传统自适应算法 22%。该算法有效保存了图像的边缘信息,综合去噪效果明显提高。

关 键 词:阈值去噪;LoG 算子;边缘信息;小波系数能量

中图分类号:TP394.1;TH691.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142902.0275

Improved self-adaptive threshold wavelet denoising analysis based on LoG operator

DONG Xue, LIN Zhi-xian*, GUO Tai-liang

(College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The image will be affected by various noise interference in the process. In order to eliminate the noise of the image, an improved self-adaptive threshold wavelet denoising analysis based on LoG operator was proposed. First, the image edge character information was extracted by LoG operator. Then, according to the edge of the image features and the no-edge of the image features, the improved threshold function was calculated respectively; on the basis of soft-thresholding function, a modified threshold coefficient was added for the threshold function in the image no-edge areas; in the no-edge areas, a new threshold function was built combining the energy near the wavelet coefficients with threshold. Finally, dealing with the red, green and blue (R, G, B) channels separately by the improved threshold function, all the details of the image were reserved. Experimental results show that PSNR of the image was above 12.09% compared with the traditional adaptive algorithm; MAE of the image was below 22% compared with the traditional adaptive algorithm. The image of this algorithm has a better

收稿日期:2013-09-13; **修订日期:**2013-10-12.

基金项目:国家 863 重大专项 (No. 2012AA03A301, 2013AA030601), 国家自然科学基金 (No. 61101169, No. 61106053), 福建省自然科学基金项目专助 (No. 2011J01347)

* 通信联系人, E-mail: lzx2005000@163.com

quality than others, keeping the edge's information effectively, the integrative denoising is improved obviously.

Key words: threshold denoising; LoG operator; edge information; the energy of the wavelet coefficients; computer vision; edge detection; geometric figure; curve fitting; subpixel

1 引言

随着科学技术的进步,以及各种数码产品和电子设备的日益普及,人们习惯于通过图像或者视频的形式获取事物的信息,但图像传输过程中会受到各种噪声干扰,导致图像质量降低^[1]。因此,对图像进行降噪处理以提高图像质量就显得尤为重要。传统的小波阈值去噪算法由于阈值函数选取不恰当,以致去噪效果较差,同时去噪过程中会造成图像边缘信息的丢失,导致图像模糊^[2]。人眼视觉系统理论显示,人眼对于边缘等细节信息较敏感,因此边缘信息的丢失会导致图像视觉质量降低。

本文提出一种基于边缘的自适应阈值小波去噪改进算法,首先利用 LoG 算子提取图像的边缘信息。然后在分析、改进传统自适应阈值函数的基础上,对图像非边缘部分的阈值函数加入一个阈值误差修正系数;对图像边缘部分,通过将边缘部分小波系数附近的能量和阈值相结合,提出一种新的阈值函数。最后利用改进的阈值函数对图像 R、G、B 3 个通道分别处理^[3]。该算法能够较好的保留图像的边缘特征,提升去噪后图像的质量。

2 基于 LoG 算子的边缘检测

常用的边缘检测算子是直接对图像边缘进行检测得到突出边缘信息的图像,如 Sobel 算子, Prewitt 算子, Canny 算子, Roberts 算子等,没有考虑目标图像封闭的轮廓内部包含的信息结构的保留,因此不适用于提取含噪图像的边缘轮廓。LoG 算子将拉普拉斯锐化滤波器和高斯平滑滤波器结合起来,先对图像进行平滑处理去掉噪声,再进行边缘检测,对噪声有一定抑制作用,因此本文选择用 LoG 算子进行边缘检测,提取边缘信息。

用 LoG 算子提取边缘信息时,首先对图像进

行平滑处理,然后用拉普拉斯算子对平滑图像进行边缘检测,最后得到边缘图像,具体过程如下所示:

(1) 假设原始图像为 $f(x, y)$, 对其进行平滑处理得到图像 $g(x, y)$:

$$g(x, y) = h(x, y) \times f(x, y), \quad (1)$$

其中: $h(x, y)$ 为平滑函数:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\delta^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}}. \quad (2)$$

(2) 平滑后的图像 $g(x, y)$ 相较于原始图像 $f(x, y)$ 会变模糊, 标准差 δ 决定图像的模糊程度。

再次对 $g(x, y)$ 采用拉普拉斯算子进行边缘检测^[4], 即:

$$\begin{aligned} \nabla^2 g(x, y) &= \nabla^2 [h(x, y) \times f(x, y)] = \\ &\nabla^2 h(x, y) \times f(x, y), \end{aligned} \quad (3)$$

$\nabla^2 g(x, y)$ 为拉普拉斯算子:

$$\begin{aligned} \nabla^2 h(x, y) &= \frac{\partial^2 h(x, y)}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 h(x, y)}{\partial^2 y} = \\ &\frac{1}{\pi\delta^4} \left[\frac{x^2+y^2}{2\delta^2} - 1 \right] e^{-\frac{x^2+y^2}{2\delta^2}}. \end{aligned} \quad (4)$$

3 改进的自适应阈值小波去噪算法

3.1 数学模型以及算法介绍

传统的基于边缘的小波阈值去噪算法基本思路是: 首先, 用边缘检测算子对含噪图像进行边缘检测; 其次, 对图像边缘部分和非边缘进行小波分解, 得到两组小波系数, 分别比较小波系数与阈值的大小; 然后, 利用阈值函数得到新的小波系数; 最后, 通过小波反变换, 得到重构图像^[5]。其算法框架如图 1 所示。

传统的算法由于边缘检测算子选取不恰当, 导致边缘检测图像中比较粗糙, 为后续去噪带来一定难度。同时, 传统算法在边缘部分图像的阈值选取中, 忽略了小波系数附近的能量对图像的影响, 造成图像边缘信息丢失, 以致图像模糊^[6]。因此, 本文对传统的自适应阈值小波去噪算法进行了改进, 为了保留图像的所有细节信息, 不再直接对图像进

行处理,而是先将图像分解成R、G、B 3个通道,然后分别处理这3个通道。改进的算法在采用对噪声有一定抵抗能力的LoG算子提取边缘信息的基础上,

将边缘部分小波系数附近的能量与修正阈值相结合,得到改进的阈值函数。本文提出的改进算法思路整体框架如图2所示。

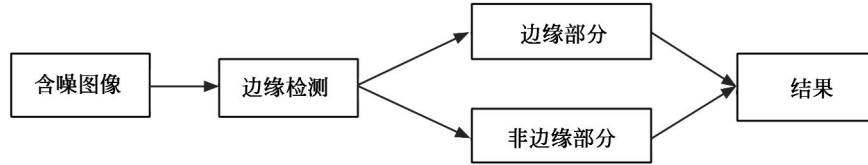


图1 传统的自适应阈值小波去噪算法框架

Fig. 1 Frame of traditional self-adaptive algorithm

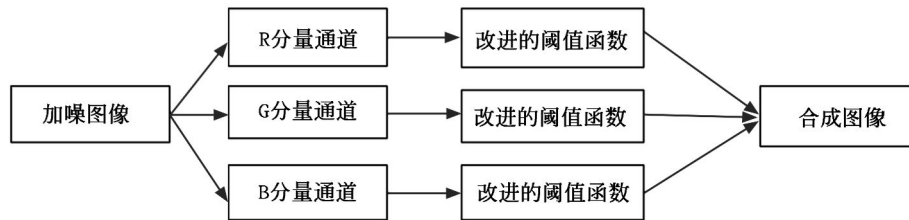


图2 改进的算法整体框架图

Fig. 2 Whole frame of improved algorithm

为了进一步解释算法的具体过程,本文将含噪图像模型定义为:

$$g(i, j) = f(i, j) + x(i, j), \quad (5)$$

其中: $g(i, j)$ 表示含噪图像, $f(i, j)$ 表示未加噪的大小为 $M \times N$ 的原始图像, $x(i, j)$ 表示高斯噪声^[7]。

将含噪图像 $g(i, j)$ 分解成 R、G、B 3 个通道的灰色图像, 分别对各个通道用 LoG 算子进行边缘检测, 得到边缘图像, 然后对含噪图像和边缘图像进行相同尺度的小波分解, 得到两组小波系数 $W_{j,k}$ 和 $W_{j,k1}$ 。将得到的两组小波系数相减得到非边缘图像的小波系数 $W_{j,k2}$, 其次对边缘图像的小波系数和非边缘图像的小波系数分别用不同的改进的阈值函数处理, 得到两组新的小波系数 $\hat{W}_{j,k1}$ 和 $\hat{W}_{j,k2}$, 将新得到的两组小波系数对应相加, 得到一组去噪图像的小波系数 $\hat{W}_{j,k}$, 将得到的小波系数进行小波反变换, 分别得到 R、G、B 3 个通道的重构图像^[8]。最后将 R、G、B 3 个通道的灰色重构图像合成, 得到去噪图像 $p(i, j)$ 。

3.2 改进算法最佳阈值及阈值函数的选取

硬阈值函数和软阈值函数是小波阈值去噪中最常见的阈值函数。其表现形式为:

硬阈值函数:

$$\hat{W}_{j,k} = \begin{cases} W_{j,k}, & |W_{j,k}| \geq \lambda \\ 0, & |W_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (6)$$

软阈值函数:

$$\hat{W}_{j,k} = \begin{cases} \text{sign}(W_{j,k})(W_{j,k} - \lambda), & |W_{j,k}| \geq \lambda \\ 0, & |W_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (7)$$

式中: $W_{j,k}$ 为含噪图像经小波变换后得到的小波系数, $\hat{W}_{j,k}$ 为经阈值处理后得到的小波系数, λ 表示阈值。

但上述阈值函数在消除图像中的噪声时, 经常把图像中的有效信息当作噪声消除掉, 以致图像失真。针对该问题, 本文提出一种改进算法, 分别对非边缘部分和边缘部分使用新的阈值函数:

(1) 对于图像非边缘部分, 本文在软阈值函数的基础上加以改进。对大于阈值的小波系数, 软阈值函数只是求取小波系数与阈值的差值, 虽然能够有效去除噪声, 但是对图像本身有效信息的小波系数造成了较大误差, 以致图像信息的丢失, 造成图像模糊^[9], 因此本文提出的改进阈值函数对阈值增加了一个阈值误差修正系数, 利用其与修正阈值之间的差值对其进行误差修正, 以减少失真。改进后的阈值函数定义为:

$$\hat{W}_{j,k} = \begin{cases} W_{j,k} \times |1 - (W_{j,k} - \lambda \times s)|, & |W_{j,k}| \geq \lambda \\ 0, & |W_{j,k}| < \lambda \end{cases} \quad (8)$$

式中: s 为阈值误差修正系数, 为 $0.5 \sim 1$ 的常数。

该式中, 对于非边缘平滑部分, 大于阈值的小波系数直接对小波系数作修正处理, 小于阈值的小波系数直接为 0。

(2) 对于图像边缘部分, 简单对小波系数误差修正不能保证图像轮廓的清晰, 继续对阈值函数改进。由于小波变换后的高频子图集中了图像的边缘、轮廓对应位置的大部分能量, 所以要考虑到小波系数附近的能量 $E_{j,k}$, 比较其与修正阈值的关系, 若大于修正阈值的能量, 直接求取小波系数附近能量与收缩阈值差的绝对值, 再求取与 1 的差值, 然后与小波系数相乘得到新的小波系数; 小于修正阈值的小波系数直接设为 0。定义改进后的阈值函数为:

$$\hat{W}_{j,k} = \begin{cases} W_{j,k} \times |1 - (E_{j,k} - \alpha \times \lambda)|, & |E_{j,k}| \geq s \times \lambda \\ 0, & |E_{j,k}| < s \times \lambda \end{cases} \quad (9)$$

其中: α 表示控制小波系数收缩程度, 为 $0.5 \sim 1$ 的常数^[10]。 $E_{j,k}$ 表示图像边缘部分各个方向小波系数附近的能量, 表达式为:

$$E_{j,k} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N W_{j,k}(m, n). \quad (10)$$

对于阈值 λ 的选取, 本文选择通用阈值, 因为它在正态高斯噪声模型下, 针对多维独立正态变量联合分布, 在维数趋向无穷时, 大于该阈值的系

数含有噪声信号的概率趋于零:

$$\lambda = \sigma \sqrt{2 \log(M \times N)}, \quad (11)$$

其中: σ 表示标准噪声方差^[11]。

4 实验验证

4.1 实验结果

将本文算法与小波阈值去噪算法在 Matlab 环境中编程实现, 实验结果如图 3 所示。其中阈值函数中阈值误差修正系数 $s=0.6$, 边缘部分阈值函数中小波系数收缩程度 $\alpha=0.7$, LoG 算子中 $\delta=2$, 模板选用最常用的 5×5 LoG 算子模板, 如图 4 所示。

图 3 中, (a) 表示未加噪的原始图像, (b) 表示对原始图像 200×100 截图加入均值为 0, 方差为 0.02 的高斯噪声后的图像^[12], (c) 表示硬阈值处理图像, (d) 表示软阈值处理图像, (e) 表示传统的自适应算法处理图像^[6], (f) 表示本文提出的改进的自适应算法处理图像。

实验结果表明, 硬阈值算法图像中帽子、眼睛的轮廓虽然比较清晰, 但是在保留图像信息的同时大部分噪声也被保留, 图像画面过于粗糙。软阈值算法和传统的自适应算法图像中帽子、眼睛看起来过于模糊, 轮廓不够清晰, 而改进的自适应算法图像中, 帽子、眼睛的轮廓非常清晰, 而且加入的噪声都被消除掉, 边缘细节也比较明显^[13]。

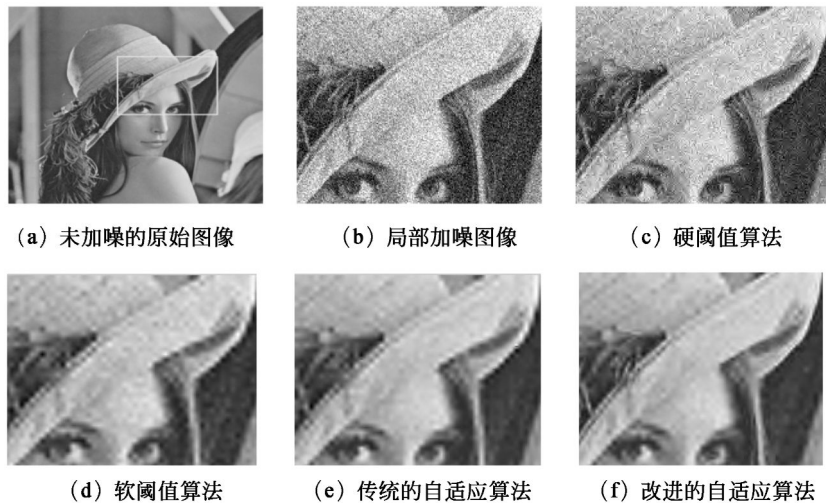


图 3 Lena 图像各种去噪算法实验结果

Fig. 3 Experimental results of Lena image with various denoising algorithm

-2	-4	-4	-4	-2
-4	0	8	0	-4
-4	8	24	8	-4
-4	0	8	0	-4
-2	-4	-4	-4	-2

图4 5×5 LoG算子模板

Fig. 4 LoG Template of 5×5

4.2 算法数据分析

为了进一步检测改进的自适应算法的优越性,分别用均方差MSE、峰值信噪比PSNR、平均绝对误差MAE等标准来客观的评价图像的质量^[14]。PSNR反映去噪后的图像与原图像的吻合程度,一般情况下,PSNR的值越高,表示失真越小,图像质量越高。MAE是所有单个观测值与算

术平均值的偏差的绝对值的平均,数值越小,图像越接近。本文采用最常用的MSE、PSNR、MAE的公式,分别如式(12)~(14)所示。

$$MSE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{(f(i,j) - p(i,j))^2}{M \times N}, \quad (12)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}, \quad (13)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|f(i,j) - p(i,j)|}{M \times N}, \quad (14)$$

其中:M、N分别表示图像的长、宽。 $f(i,j)$ 表示经处理过的图像, $p(i,j)$ 表示原始图像。

在Matlab环境中比较4.1节中未加噪原始图像 $M \times N$ 截图与经算法处理后图像的MSE、PSNR、MAE值^[15],其中 $M=200$, $N=100$,结果如表1所示。

表1 200×100点阵Lena图像去噪算法实验结果对比表

Tab. 1 Comparison of denoising effects in different methods with Lena image

Lena	含噪图像	硬阈值算法	软阈值算法	传统自适应算法	改进的自适应算法
MSE	756.75	499.85	323.88	308.19	161.51
PSNR	19.34	21.14	23.03	23.24	26.05
MAE	21.96	17.39	12.76	12.14	9.47

表2 720×576点阵Barbara图像去噪实验结果对比表

Tab. 1 Comparison of denoising effects in different methods with Barbara image

Barbara	含噪图像	硬阈值算法	软阈值算法	传统自适应算法	改进的自适应算法
MSE	354.50	435.64	142.97	145.81	82.28
PSNR	22.63	21.74	26.58	26.49	28.98
MAE	14.98	16.17	8.89	8.9	6.98

表1中,改进的自适应算法的PSNR值为26.05,高于硬阈值算法23.22%,软阈值算法13.11%,传统自适应算法12.09%,MAE值为9.47,低于硬阈值算法45.5%,软阈值算法25.79%,传统自适应算法22%。

继续在Matlab环境中比较720×576点阵Barbara图像与经算法处理后图像的MSE、PSNR、MAE值,实验结果如表2所示。

表2中,改进的自适应算法的PSNR值为28.98,高于硬阈值算法33.30%,软阈值算法9.03%,传统自适应算法9.40%,MAE值为6.98,低于硬阈值算法56.84%,软阈值算法21.49%,传统自适应算法21.58%。

综上数据表示,经改进的自适应算法处理的图像与未加噪之前的图像相比吻合度最高,失真最小,进一步证明了改进的自适应算法的优越性。

5 结论

本文提出一种改进的自适应阈值小波去噪算法:在软阈值函数的基础上,对图像非边缘部分的阈值函数加入一个阈值修正系数;对图像边缘部分,通过将小波系数附近的能量应用到自适应阈值函数中,构建新的阈值函数;最后对图像的R、G、B 3个通道分别处理,保留图像的所有细节信息。实验结果和算法实验数据分析表明,采用该算法对图像进行去噪处理,消噪后图像与含噪图像的PSNR值高于传统自适应算法12.09%;MAE值低于传统自适应算法22%。可以更好的解决边缘信息容易丢失的问题,保留图像的细节信息,改善图像的质量,提高去噪效果。

参 考 文 献:

- [1] 黎思敏,何坤,龙辉. 基于结构聚类的图像去噪[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(4): 1234-1236.
Li S M, He K, Long H, *et al.* Image denoising based on structure clustering [J]. *Application Research of Computers*, 2013, 30(4): 1234-1236. (in Chinese)
- [2] 孙春风,袁峰,丁振良. 一种新的边缘保持局部自适应图像插值算法[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(10): 2279-2284.
Sun C F, Yuan F, Ding Z L. New locally adaptive image interpolation algorithm based on edge preserving [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(10): 2279-2284. (in Chinese)
- [3] 张倩,刘圆. 基于图像复杂度的隐写算法[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6): 820-826.
Zhang Q, Liu Y. Steganographic algorithm based on image complexity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 391-395. (in Chinese)
- [4] Phani K, Tejaswi D, Shanmukha R, *et al.* GPU accelerated automated feature extraction from satellite images [J]. *International Journal of Distributed and Parallel Systems*, 2013, 4(2): 1-15.
- [5] Li S M, He K, Long H, *et al.* Image denoising based on structure clustering [J]. *Application Research of Computers*, 2013, 30(4): 1234-1236.
- [6] 米曾真,谢志江,陈涛,等. 重轨图像增强与边缘提取的关键技术[J]. 光学精密工程, 2012, 20(7): 1645-1652.
Mi Z Z, Xie Z J, Chen T. Key technology of image enhancement and edge extraction for heavy rail [J]. *Editorial Office of Optics and Precision Engineering*, 2012, 20(7): 1645-1652. (in Chinese)
- [7] 姚军财. 基于颜色色差的彩色图像压缩技术研究[J]. 液晶与显示, 2012, 27(3): 391-395.
YAO J C. Based on color chromatism of color image compression technology research [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 391-395. (in Chinese)
- [8] Anamika B, Manish K S. A novel approach of medical image enhancement based on Wavelet transform [J]. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2012, 2(3): 2356-2360.
- [9] 杨帆,张华,潘国峰,等. 应用自适应图像分割与曲线融合的人眼定位[J]. 光学精密工程, 2013, 21(12): 3255-3262.
Yang F, Zhang H, Pan G F, *et al.* Eye location based on adaptive image segmentation and curve blending [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2013, 21(12): 3255-3262. (in Chinese)
- [10] 肖方煜,汤伟,傅娜. 自寻优阈值小波去噪方法[J]. 信号处理, 2012, 28(4): 577-586.
Xiao F Y, Tang W, Fu N. Wavelet based de-noising self-optimizing method [J]. *Signal Processing*, 2012, 28(4): 577-586. (in Chinese)
- [11] 刘希佳,陈宇,王文生,等. 小目标识别的小波阈值去噪方法[J]. 中国光学, 2012, 5(3): 248-256.
Liu X J, Chen Y, Wang W S, *et al.* De-noising algorithm of wavelet threshold for small target detection [J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(3): 248-256. (in Chinese)
- [12] 韩希珍,陈朝东,赵建. 基于 PDE 的非线性图像去噪与增强 [J]. 液晶与显示, 2011, 26(1): 111-115.
Hang X Z, Chen C D, Zhao J. Nonlinear image denoising and enhancement based on PDE [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(1): 111-115. (in Chinese)
- [13] 陈恺,陈芳,戴敏,等. 基于萤火虫算法的二维熵多阈值快速图像分割[J]. 光学精密工程, 2014, 22(2): 517-523.
Chen K, Chen F, Dai M, *et al.* Fast image segmentation with multilevel threshold of two-dimensional entropy based on firefly algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(2): 517-523. (in Chinese)
- [14] Rahman Z U, Jobson D J, Woodell G A. Adaptive two-scale edge detection for visual pattern processing [J]. *Optical Engineering*, 2009, 48(9): 097006-1-9.
- [15] 万小红. 一种基于中值滤波和小波变换的图像去噪算法研究[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2012, 13(3): 352-355.
Wan X H. Image denoising based on Wavelet transform and median filter [J]. *Journal of Beihua University: Natural Science*, 2012, 13(3): 352-355. (in Chinese)

作者简介:董雪(1988—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为计算机机视觉与图像处理等。E-mail: dongxuefuda@163.com