

基于模糊逻辑的脉冲噪声自适应滤除

文 婷^a, 周激流^b, 何 坤^b

(四川大学 a. 电子信息学院; b. 计算机学院, 成都 610065)

摘要: 为了去除具有多个随机值的普通脉冲噪声, 提出一种基于模糊逻辑的自适应去噪方法。首先, 利用像素邻域梯度并结合模糊逻辑相关理论进行噪声点初步检测; 然后, 通过噪声直方图统计对噪声点作二次检测, 排除误判的噪声点; 最后, 保留非噪声点, 对噪声点进行自适应加权均值滤波, 滤除噪声。仿真结果表明, 该算法可以取得优于传统方法的去噪效果, 并且能很好地保护图像的边缘和纹理信息。

关键词: 脉冲噪声; 邻域梯度; 模糊逻辑; 噪声直方图

中图分类号: TP 391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)06-2377-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.06.109

Impulse noise adaptive removal based on fuzzy logic

WEN Ting^a, ZHOU Ji-liu^b, HE Kun^b

(a. College of Electronic & Information, b. College Computer, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: To remove the impulse noise with random values, this paper proposed an adaptive noise removal method based on fuzzy logic. Firstly, detected the noise pixels initially by the neighboring gradients of pixels and fuzzy logic theory. Secondly, detected the noise pixels secondarily by noise histogram statistics and excluded wrong noise pixels. Lastly, preserved the non-noise pixels and removed noise pixels by adaptive weighted mean filter. Simulation results show that the method can get better performance than traditional algorithms and it can preserve fine edges and texture details.

Key words: impulse noise; neighboring gradients; fuzzy logic; noise histogram

0 引言

在各类图像系统中, 图像在形成、传输和记录过程中, 由于受多种因素的影响, 图像中会存在噪声, 图像的质量会下降。图像去噪是图像预处理的必要步骤之一。脉冲噪声与图像的内容是相互独立的, 并且有很大的差异, 运用线性滤波器不能取得很好的效果, 最常见的方法是标准中值滤波(SM)^[1]。该方法能在一定程度上抑制噪声, 但它具有以下三点不足^[2]: a) 不能完全消除图像中的噪声; b) 不能较好地保留图像边缘和纹理等信息; c) 去噪效果与邻域尺寸大小有关。为进一步提高去噪能力的同时更好保护边缘纹理信息, 提出了许多改进方法, 如自适应中值滤波^[3]、开关中值滤波^[4,5]、加权中值滤波等^[6]。这些方法均能在一定程度上弥补中值滤波的不足, 但是当噪声浓度很高时仍不能取得很好的效果。另外, 上述方法主要是针对双极脉冲噪声(椒盐噪声), 对于普通脉冲噪声, 噪声值不是只有两种, 也不一定为图像中的最大或最小值时, 上述方法由于不能正确地检测噪声点而不能实现去噪的目的。本文提出的基于模糊逻辑的脉冲噪声去除方法, 不仅能去除椒盐噪声, 也同样适用于噪声点可以取多个任意值的普通脉冲噪声。该方法分为两个阶段: 第一阶段利用图像梯度、模糊准则、噪声直方图正确检测噪声点; 第二阶段对噪声点进行自适应均值滤波, 滤除噪声, 重建灰度值。

1 噪声模型

最常见的脉冲噪声是双极脉冲噪声, 也叫椒盐噪声, 其概率密度函数(PDF)可由下式给出^[7]:

$$p(z) = \begin{cases} p_a & z = a \\ p_b & z = b \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (1)$$

其中: a, b 通常取图像中的最大值和最小值, 如一个 8 位图像, $a, b = 0, 255$ 。

由此可以推出普通脉冲噪声(多极脉冲噪声)的 PDF:

$$p(z) = \begin{cases} p_i & z = n_i \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

其中: n_i 为噪声灰度值, 可以取任意值, p_i 为出现的概率。

对于含有脉冲噪声的图像, 其像素值应满足下式^[8]:

$$y_{i,j} = \begin{cases} x_{i,j} & \text{概率为 } 1-p \\ n_{i,j} & \text{概率为 } p \end{cases} \quad (3)$$

其中: $y_{i,j}$ 为噪声图像的灰度值; $x_{i,j}$ 为原始图像的灰度值; $n_{i,j}$ 为噪声灰度值。

2 噪声点检测

2.1 图像梯度

根据脉冲噪声的性质, 噪声点与其邻域像素值存在一定的

收稿日期: 2009-09-19; 修回日期: 2009-11-04

作者简介: 文婷(1985-), 女, 成都人, 硕士, 主要研究方向为图像处理(wtysswt@163.com); 周激流(1963-), 男, 成都人, 教授, 博导, 博士, 主要研究方向为图像处理、人脸识别、模糊系统; 何坤(1972-), 男, 成都人, 讲师, 博士, 主要研究方向为图像处理、人脸识别等。

差异,可以由图像梯度来检测噪声点。以位于 (i,j) 点的待处理像素为中心,设其八个邻域对应于八个方向: NW, N, NE, W, E, SW, S, SE, 如图 1(a)所示。各个方向的基本梯度为

$$d'_{y_i,j} = |y_{i+m,j+n} - y_{i,j}|, m, n \in [-1, 1] \text{ 且 } m, n \neq 0 \quad (4)$$

如果只依靠单方向的梯度来判断噪声点存在一些缺陷,如当处理像素不是噪声点,但邻域中存在噪声点,邻域中存在边缘或者处理像素位于边缘上时,都有可能因为梯度值较大而被误判为噪声点。本文采用综合考虑八个方向的梯度信息,并引入文献[9~11]中提出的邻域梯度的方法来解决以上问题。

邻域梯度是特定邻域像素相应方向的梯度,本文中,每个方向存在一个基本梯度和两个邻域梯度,如图 1(b)所示,对于 NE 方向,设基本梯度为 $d_{y_i,j}^{NE}$, 邻域梯度为 $d_{1y_i,j}^{NE}, d_{2y_i,j}^{NE}$, 则 $d_{y_i,j}^{NE} = |y_{i-1,j+1} - y_{i,j}|, d_{1y_i,j}^{NE} = |y_{i-1,j} - y_{i,j-1}|, d_{2y_i,j}^{NE} = |y_{i,j+1} - y_{i+1,j}|$, 各个方向的基本梯度与邻域梯度的定义如表 1 所示。

表 1 各方向基本梯度与邻域梯度定义

方向	基本梯度	邻域梯度
N	$ y_{i-1,j} - y_{i,j} $	$ y_{i-1,j-1} - y_{i,j-1} , y_{i-1,j+1} - y_{i,j+1} $
NE	$ y_{i-1,j+1} - y_{i,j} $	$ y_{i-1,j} - y_{i,j-1} , y_{i,j+1} - y_{i+1,j} $
E	$ y_{i,j+1} - y_{i,j} $	$ y_{i-1,j+1} - y_{i-1,j} , y_{i+1,j+1} - y_{i+1,j} $
SE	$ y_{i+1,j+1} - y_{i,j} $	$ y_{i+1,j} - y_{i,j-1} , y_{i,j+1} - y_{i-1,j} $
S	$ y_{i+1,j} - y_{i,j} $	$ y_{i+1,j-1} - y_{i,j-1} , y_{i+1,j+1} - y_{i,j+1} $
SW	$ y_{i+1,j-1} - y_{i,j} $	$ y_{i,j-1} - y_{i-1,j} , y_{i+1,j} - y_{i+1,j+1} $
W	$ y_{i,j-1} - y_{i,j} $	$ y_{i+1,j-1} - y_{i+1,j} , y_{i-1,j-1} - y_{i-1,j} $
NW	$ y_{i-1,j-1} - y_{i,j} $	$ y_{i,j-1} - y_{i+1,j} , y_{i-1,j} - y_{i,j+1} $

根据边缘像素的特征,在边缘处,除了基本梯度值大,邻域梯度的值也很大,如图 1(c)所示,边缘上的 A 点, W、NW、SW 方向的基本梯度与至少一个邻域梯度值都很大。对于其他不同形状的边缘,如图 1(d)~(f),也会得到相似的结论,在部分方向的基本梯度与邻域梯度的值都很大,因而结合邻域梯度值可以在一定程度上区分出边缘及纹理信息,进而避免它们对噪声点判断产生影响。

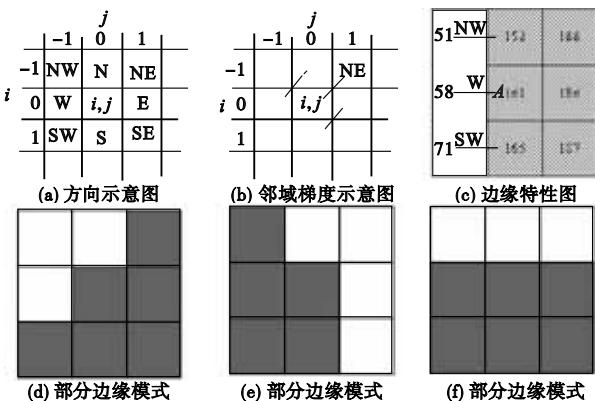


图 1 方向的邻域梯度及边缘模式

2.2 模糊准则

根据噪声点及边缘的性质,脉冲噪声点应满足:基本梯度很大,但是相应方向邻域梯度应小。所以对于图像中任意一点,当其满足以上条件时,则认为该点为噪声点的可能性很大。在本文中,用噪声隶属函数 OL 和 OS 的输出 Q 来判定某点为噪声的可能性, Q 值越大,为噪声的可能性就越大, $Q \in [0, 1]$, 设 $Q > T$ 时,该点为噪声, 阈值 $T \in (0.5, 1)$; 梯度的大小用输入隶属函数 IL 和 IS 的输出 q 来衡量,如图 2 所示,根据经验,

$$a \in [40, 70], b \in [90, 120]$$

设某一方向的基本梯度为 d' , 邻域梯度中的较大值为 d'' , 输出为 Q' , 对于两个输入值,共有四种状态,模糊准则也有四条,可以表述为:

a) 如果 d' 大, d'' 小, 则 Q'_1 大, $q_1 = \min\{IL(d'), IS(d'')\}, Q'_1 = OL(q_1)$ (5)

b) 如果 d' 大, d'' 大, 则 Q'_2 小, 即 $q_2 = \min\{IL(d'), IL(d'')\}, Q'_2 = OS(q_2)$ (6)

c) 如果 d' 小, d'' 大, 则 Q'_3 小, 即 $q_3 = \min\{IS(d'), IL(d'')\}, Q'_3 = OS(q_3)$ (7)

d) 如果 d' 小, d'' 小, 则 Q'_4 小, 即 $q_4 = \min\{IS(d'), IS(d'')\}, Q'_4 = OS(q_4)$ (8)

经过以上四条准则判断后,该方向的输出应满足 $Q^r = \max\{\min(Q'_1, q_1), \min(Q'_2, q_2), \min(Q'_3, q_3), \min(Q'_4, q_4)\}$ (9)

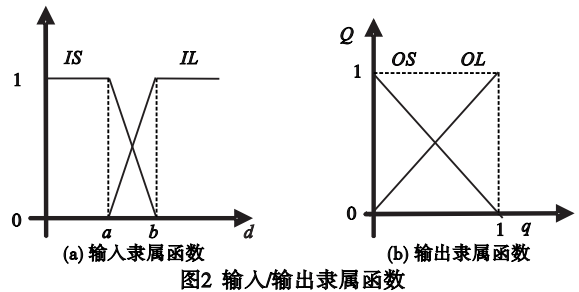


图 2 输入/输出隶属函数

2.3 噪声直方图

为进一步提高噪声检测的正确性,根据脉冲噪声的性质,噪声值是独立于图像内容的随机值,对噪声点进行直方图统计可以得到几条孤立的峰线^[11]。本文根据此性质,通过对已经初判为噪声的像素点作直方图统计,选取那些统计值高的灰度值作为噪声灰度值,组成一个噪声灰度集 N,从而可以排除那些误判的噪声点。图 6(a)为含有 10% 脉冲噪声的 Lena 图像,噪声值为 0, 50, 105, 175, 255; (b)为依据本文方法得到的噪声直方图。由图中的五条峰线所对应的灰度值组成图像噪声灰度集 N, 则 $N = \{0, 50, 105, 175, 255\}$, 恰好与真实噪声灰度值一致,统计值小的那些灰度值为误判的噪声值。基于此,进行噪声点二次检测,排除灰度值不属于噪声集的那些像素点,加强对原图信息的保护。

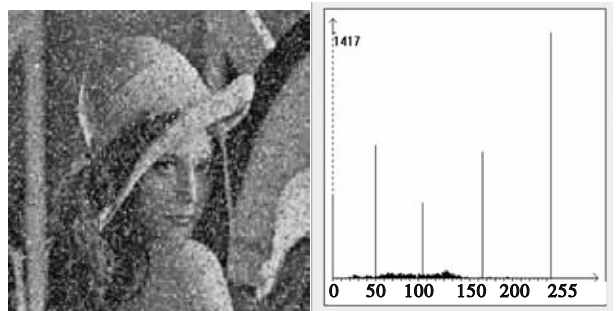


图 3 噪声图像及直方图

3 图像滤波

滤波窗口 S_{ij} 为中心在 (i,j) 点, 尺寸为 $m \times n$ 的矩形窗口,

当处理像素 $y_{i,j}$ 为信号点(非噪声点)时,直接保留,不进行滤波,当 $y_{i,j}$ 为噪声点时进行自适应加权均值滤波,具体步骤如下:

a) 对检测出的噪声点赋予权值 0,信号点赋予权值 1,即

$$w_{i,j} = \begin{cases} 0 & y_{i,j} \in N \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (10)$$

b) 统计滤波窗口内噪声点的数量,当全为噪声时,即:

$$\sum_{m,n \in S_{i,j}} w_{i,j} = 0, \text{ 自适应增大窗口尺寸, 设最大窗口尺寸为 } M_{\max} \times N_{\max} \circ$$

c) 当 $\sum_{m,n \in S_{i,j}} w_{i,j} \neq 0$ 时,进行噪声点像素值重建,恢复像素值 $y'_{i,j}$ 为

$$y'_{i,j} = \frac{\sum_{m,n \in S_{i,j}} w_{m,n} y_{m,n}}{\sum_{m,n \in S_{i,j}} w_{m,n}} \quad (11)$$

d) 当 $\sum_{m,n \in S_{i,j}} w_{i,j} = 0$ 且已达到最大尺寸,不能由式(7)直接进行噪声点像素值重建,需要修改权值 $w'_{i,j}$ 为^[12]:

$$w'_{i,j} = \frac{1/[1 + (y_{i,j} - y_{\text{med}})]}{\sum_{m,n \in S_{i,j}} 1/[1 + (y_{m,n} - y_{\text{med}})]} \quad (12)$$

其中: y_{med} 为窗口中的灰度中值。

然后再利用式(7)进行像素值重建。

由此可见,经过改进后的均值滤波,具有以下优点:

a) 保留信号点,只对噪声点进行滤波可以更好地保护原图信息。

b) 噪声滤波时只利用信号点,可以得到较正确的恢复值,并且能减少误差在邻域内的传播。

c) 能自适应改变窗口的大小,提高了滤波性能。

d) 当噪声浓度很大,窗口尺寸已达到最大,窗口内仍没有信号点时,对权值进行修改,使算法能够收敛,在一定程度上改善了滤波质量。

4 实验仿真

图 4 为本文算法的流程图。对 Lena、peppers、babbon 图像加上不同浓度的椒盐噪声(噪声灰度集 $N = \{0, 255\}$)或普通脉冲噪声(噪声灰度集 $N = \{0, 50, 80, 175, 155\}$),分别运用本文算法、标准中值滤波(SM)、自适应中值滤波(AM)、开关中值滤波进行处理,结果如图 5、6 所示。本文算法选择的试验参数为 $a = 40, b = 100, T = 0.55$,初始滤波尺寸为 3×3 ,最大滤波尺寸为 11×11 。利用图像的峰值信噪比(PSNR)来评价图像质量,给定一幅 $M \times N$ 大小的待测图像 $f(x, y)$,原始图像为 $f_0(x, y)$,最大灰度值为 f_{\max} ,则图像的 PSNR 为

$$\text{PSNR} = 10 \log \frac{f_{\max}^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - f_0(x, y)]^2} \quad (13)$$

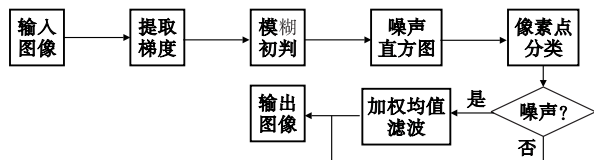


图4 算法流程图

图 5、6 中括号内的数据表示图像的 PSNR。由实验结果可知:对于低浓度的椒盐噪声,除了中值滤波会残留小部分的

噪声外,其他方法均可以完全去除,并且几乎不会丢失边缘及纹理信息,但本文方法处理后的图像的 PSNR 要高于其他方法;对于普通的脉冲噪声,以上三种传统方法均不能完全去除,图像中会残留大量的非最大、最小值的噪声,而本文算法却可以完全去除这些噪声,并且边缘和纹理信息也保护得很好,其效果明显优于传统方法;对于高浓度噪声,如噪声浓度达到 70%,本文算法仍然适用,恢复后的图像的 PSNR 为 27.4 dB。

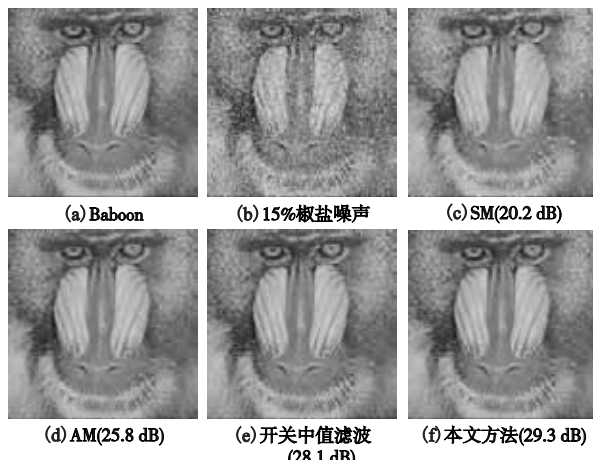


图5 对椒盐噪声的去噪处理

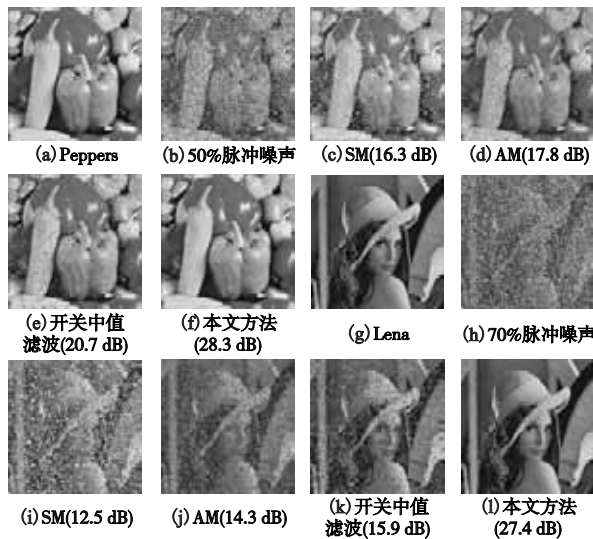


图6 对普通脉冲噪声的去噪处理

5 结束语

传统的中值滤波及其许多改进形式主要适用于去除椒盐噪声,对于普通脉冲噪声不能取得很好的效果,并且当噪声浓度较高时其性能也会明显下降。本文提出的基于模糊逻辑的自适应脉冲噪声去除方法,能很好地弥补传统方法的不足。由于引入了邻域梯度,可以加强对边缘和纹理的保护;利用模糊逻辑与噪声直方图统计相结合两次定位噪声点,能够正确地检测出具有多个任意灰度值的脉冲噪声;由于对噪声点进行自适应加权均值滤波,只利用邻域中非噪声点的均值来恢复噪声点,可以获得较正确的重建值并且保护了原图信息。实验结果表明,该算法对于椒盐噪声与普通脉冲噪声,以及高浓度噪声均能完全去除,并且边缘及纹理信息保护较好,去噪效果优于传统方法。

分辨率 320×240 pixels,所有实验的运动目标提取速度均大于 25 fps,满足实时处理要求。

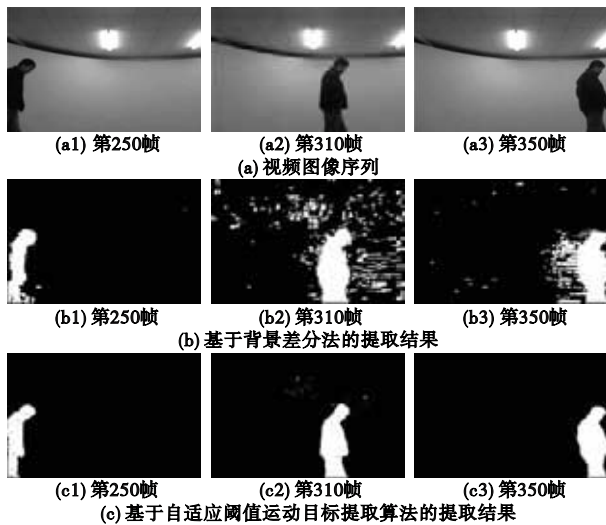


图4 室内人侧面走过摄像头视频(开灯情况下)

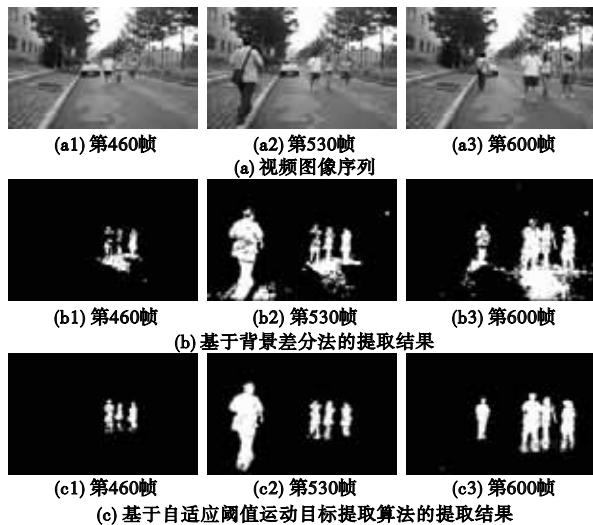


图5 室外场景视频

4 结束语

随着机器视觉系统的应用越来越广泛,运动目标的检测与提取问题成为研究热点。本文提出了一种自适应阈值的运动目标提取算法,该算法按照像素灰度值将图像划分为运动目标

和背景区域两个聚类,利用聚类间的方根—算术均值最大作为选择分割阈值的准则,采用定时和实时两种阈值更新策略,从而实现了运动目标的准确完整提取,为进一步的目标识别或跟踪提供了有力保障。

参考文献:

- [1] SMITH S M, BRADY J M. ASSET-2: real-time motion segmentation and shape tracking[J]. IEEE Trans on PAMI, 1995, 17(8): 814-820.
- [2] MEIER T, NGAN K N. Automatic segmentation of moving objects for video object plane generation[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(5): 525-538.
- [3] 卓志敏,杨雷,杨萃元,等. 一种复杂环境下的红外成像运动目标检测方法[J]. 宇航学报, 2008, 29(1): 339-343.
- [4] 明英,蒋晶钰. 基于 Cauchy 分布的红外视频运动目标检测[J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27(1): 65-71.
- [5] STAUFFER C, GRIMSON W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]//Proc of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999: 246-252.
- [6] BASHARAT A, GRITAI A, SHAH M. Learning object motion patterns for anomaly detection and improved object[C]//Proc of CVPR. 2008: 1-8.
- [7] KORNPROBST P, DERICHE R, AUBERT G. Image sequence analysis via partial difference equations[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 1999, 11(1): 5-26.
- [8] 张文涛,李晓峰,李在铭. 高速密集视频目标场景下的运动分析[J]. 电子学报, 2000, 28(10): 114-117.
- [9] 岑峰,戚飞虎,陈茂林. 长期视频监控系统的多分布模型背景差方法[J]. 红外与毫米波学报, 2002, 21(1): 59-63.
- [10] 侯志强,韩崇昭. 基于像素灰度归类的背景重构算法[J]. 软件学报, 2005, 16(9): 1568-1576.
- [11] MITTAL A, PARAGIOS N. Motion-based background subtraction using adaptive kernel density estimation[C]//Proc of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2004: 302-309.
- [12] HARITAOGLU I, HARWOOD D, DAVIS L. W4: real-time surveillance of people and their activities[J]. IEEE Trans on PAMI, 2000, 22(8): 809-830.

(上接第 2379 页)

参考文献:

- [1] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital image processing[M]. New York: Academic Press, 2000.
- [2] 何坤,周激流. 基于局部保边函数的低信噪比图像去噪[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2009, 41(2): 179-184.
- [3] HWANG H, HADADAD R A. Adaptive median filters new algorithms and results[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1995, 4(4): 499-502.
- [4] ZHANG Shu-qun, KARIN M A. A new impulse detector for switching median filter[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(11): 360-363.
- [5] 张旭明,徐滨士. 去除脉冲噪声的自适应开关中值滤波[J]. 光电工程, 2006, 33(6): 78-83.
- [6] CHEN Tao, WU Hong-ren. Adaptive impulse detection using center-weighted median filters[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2001, 8(1): 1-3.
- [7] RAFAEL C G, RICHARD E W. 数字图像处理[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [8] 陈守水,杨新. 一种基于两阶段的脉冲噪声滤除算法[J]. 信号处理, 2008, 24(4): 627-630.
- [9] CHEN H C, WANG Wen-jun. Efficient impulse noise reduction via local directional gradients and fuzzy logic[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2009, 160(13): 1841-1857.
- [10] VILLE Dvan de, NACHTEGAEL M. Noise reduction by fuzzy image filtering[J]. IEEE Trans on Fuzzy System, 2003, 11(4): 429-436.
- [11] SCHULTE S, NACHTEGAEL M. A fuzzy impulse noise detection and reduction method[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2005, 15(5): 1153-1162.
- [12] 严琛. 基于脉冲噪声检测的图像去噪研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.