

基于纹理分析的保细节平滑滤波器

朱菊华 杨新 李俊 施鹏飞

(上海交通大学图象处理与模式识别研究所, 上海 200030)

摘要 平滑去噪是图象处理中的一个重要课题,但是以往在处理平滑去噪问题上一直存在平滑和保细节的矛盾.为解决此问题,提出了一种基于纹理分析的保细节平滑滤波器.该滤波器采用了多尺度多方向的模板,并利用纹理分析等手段,同时根据图象各部分特性,通过自适应地选择模板来进行平滑滤波.该算法兼顾了降噪和保细节两方面要求.实验结果证明,该算法实现简单,计算速度快,且效果优于其他几种常用的保边界平滑算法.

关键词 图象平滑 纹理分析 保细节平滑 多尺度

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2001)11-1038-07

Texture Analysis Based Detail Preserving Smoothing Filter

ZHU Ju-hua, YANG Xin, LI Jun, SHI Peng-fei

(Inst. of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong Univ., Shanghai 200030)

Abstract Smoothing is an important topic in image processing area. However, smoothing and edge preserving are hard to achieve simultaneously. In this paper, we propose an improved adaptive detail preserving smoothing algorithm using multiscale and multidirectional mask to deal with this issue. Before smoothing, complexity of texture is calculated according to the edge map. We ourselves define a measurement of complexity of texture which is simple and fast for operation. For the area with large value of texture complexity, that is the area with details, "stick" is used for smoothing to preserve these minute features, while for the area with small value, block mask is employed to speed and emphasize smoothing. As to using "stick", eight different directions are considered to make the most suitable mask take effect. To achieve that, we take the standard deviation as the criterion, small standard deviation denoting homogeneous area and suiting for being taken as the smoothing mask. This method, to some extent, is effective for both smoothing and edge preserving, mainly because it selects different mask according to the local feature of the image utilizing texture analysis. Compared with other methods, including traditional Median Filter, MWMF, Nagao's Filter, DMF and PDE, this algorithm is easy and faster to implement in computer and has better performance.

Keywords Image smoothing, Edge preserving smoothing, Adaptive filtering, Multiscale

0 引言

目前数字图象平滑有很多种方法,其中空域平滑(Spatial Smoothing)是数字图象处理领域比较活跃的一个分支,已经历了几十年的研究探索,目前已有多种算法.空域平滑的基本思想就是用所选邻域中各象素灰度的平均值来替代中心象素的灰度

值^[1],但是空域平滑算法有一个共同的不足,就是它们不仅平滑噪声,而且使图象中的细节模糊化,为解决此问题,近年来保边界平滑算法的研究比较活跃.

中值滤波^[2,3]是一种很常用的非线性滤波技术,它能够有效抑制脉冲、椒盐噪声(salt-and-pepper),而且对图象边缘也有较好的保护作用,但它对于图象中一些点线等细节的模糊作用却是不可忽视的.为此,有人提出了几种改进的中值滤波算法,比如加

基金项目:国家自然科学基金(60072026)的部分资助

收稿日期:2000-10-05;改回日期:2000-12-04

权中值滤波,多窗口中值滤波(MWMF)等。

Tomita 和 Tsuji 提出了一种保边界的算法^[1],该算法是用中心像素的 5 个矩形邻域模板中最平滑的一个模板的灰度平均值来替代中心像素的灰度值,因为他们的方法采用的是矩形模板,所以应用于复杂图象时,并不能取得满意的效果。为了克服 Tomita 滤波器的缺点,Nagao 提出了一种新的保边界平滑算法^[2],他的算法采用了 9 个邻域模板(包括五边形、六边形和正方形的模板),然后寻找其中方差最小的一个来平滑中心像素,它虽能够有效降低噪声,并保留边界,但是图象平滑后会产生一些伪象(artifacts),从而影响图象质量。Czerwinski 等人提出了一种采用线形模板(stick)的多方向中值滤波器(DMF)^[3],但是由于模板都是采用线形的,因此去噪效果并不理想,而且由于该算法是以中值大小来选择模板,并将其作为进行平滑的标准(选择中值最大的模板),因此结果将使图象中的白色线条加宽,并且会产生白色的伪象。Wang 等提出了一种采用灰度倒数权(GIW, Gradient Inverse Weighted)的平滑滤波器^[4],GIW 算法基于这样的思想,即区域内部的灰度变化小于区域之间的灰度变化,但是由于他们的算法忽视了方向概念(Directional Conception),因此平滑的效果也不怎么理想^[5]。另外,采用偏微分方程(PDE)算法来进行保边界的平滑降噪也日益活跃^[6,7],并取得了一定的成绩,但是其用一般计算机来实现则比较复杂,不仅计算量比较大,速度比较慢,而且兼顾平滑和保边界的效果也有局限性。

本文结合了 Nagao 滤波器和 Czerwinski 线形模板的基本思想,根据纹理分析的结果,针对图象各部分不同特性采用了包括线形模板和块状模板在内的不同尺度、不同方向的模板来进行滤波。实验结果表明,采用该方法对图象进行降噪处理,不仅能有效降低噪声水平,而且几乎完全可以保留边缘和细节,效果基本令人满意,同时,算法简便,计算速度快。

1 Nagao 滤波器的主要思想

Nagao 等人在 Tomita 和 Tsuji 平滑算法的基础上,改进了模板形状,从而获得了较好的结果。Tomita 和 Tsuji 的算法是从中心像素周围的 5 个矩形(如图 1 所示)中选择一个最平滑的模板来平滑中心像素,尽管他们的方法比邻域平均法有了一定的改进,但是,对于稍复杂的图象,其平滑结果还是不

理想,甚至迭代多次后,原图就面目全非了,而 Nagao 算法的思想则是,首先围绕中心像素旋转一个长条形模板(如图 2 所示),同时检测模板所覆盖区域的方差,旋转一周后,再选择方差最小的模板位置,并以其灰度平均值来代替中心像素的灰度值,这样迭代数次,直至变化的像素数很少为止。

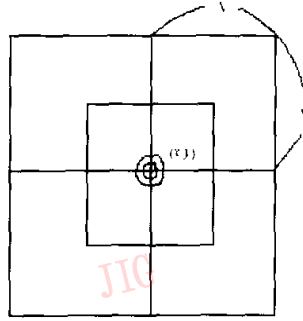


图 1 Tomita 滤波器的矩形模板

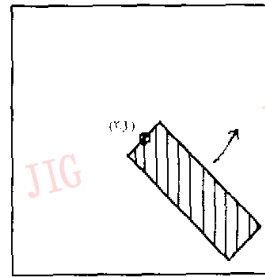


图 2 长条形模板围绕中心像素旋转

实际应用中,因为图象都是数字化的,离散的,所以 Nagao 选择了如图 3 所示的模板,他一方面考虑到计算的开销,选择了一个圆周上几个代表性的位置;另一方面,他综合考虑了平滑和保边界,不仅选择了正方形模板(主要用于平滑),还选择了五边形和六边形的模板(用于平滑和保边界)。

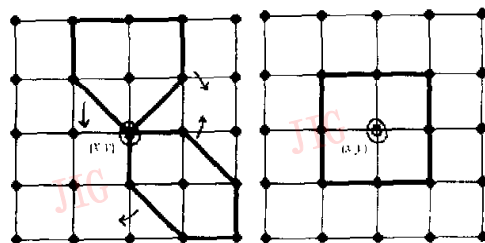


图 3 Nagao 滤波器的模板

2 关于模板

通过对常用的邻域平均、中值滤波器以及 Tomita 和 Tsuji 的平滑算法、Nagao 的平滑算法的考察可以看到,滤波器性能的好坏,很大程度上取决于模板的形状和尺寸,这一方面是因为大尺度模板虽有较强的去噪能力,但是它存在着边缘模糊的效应,用其进行平滑,图象细节将会丢失;另一方面,由于小尺度模板的去噪能力比较差,故达不到应用的要求.另外,要想保留边缘,用于邻域平均的模板肯定不应该包含边缘,否则边缘会被周围像素所模糊,而这样的模板必然有相对较大的方差,所以用方差大小为标准来选择邻域是比较合理的.

为了有效地兼顾平滑和保留边缘两方面要求,可以认为模板的选择应该满足如下一些条件:(1)模板尺度选择,即在具有图象特征的位置上(边缘和很多细节处),模板尺度应该减小,这样才能保边界和保细节,而在没有明显特征(灰度变化平缓)处,模板尺度应增加,否则降噪速度比较慢,或达不到降噪效果;(2)模板方向选择,即模板应该在沿图象特征的方向上进行平滑,而在穿过图象特征的方向上,则不应该进行平滑,否则将使特征模糊化.

3 纹理分析

由于模板的选择需要考虑图象的局部特征,因此自然就考虑到纹理分析,而纹理分析的口的就是为了表示局部纹理的复杂度,因为纹理复杂说明图象特征丰富,边缘和细节集中,这样纹理分析就能够有效地指导模板的选择.

但是不同的纹理分析方法,其效果是不一样的,且计算速度也不同.已有文献报道,图象的分形维数可以很好地描述图象中局部纹理的复杂度^[13],即纹理越复杂,相应的分形维数也越大.尽管这种方法效果良好,但是速度还是不理想.为此,本文提出了一种新的纹理分析方法.

该方法以图象中的边缘信息作为纹理复杂度的一种度量,并用其计算图象中每点的纹理复杂度.计算时,首先利用 Sobel 算子对图象进行边缘增强,然后进行图象分割,以形成二值化边缘图象,并统计所有边缘点的数目 E . 对于图象中的每一点,可先取一大一小合适的邻域,再利用边缘图象来统计邻域内

边缘点的个数 E . 这样即能够很直观地得到纹理复杂度的一个度量

$$C = \frac{M \times N}{m \times n} \cdot \frac{E}{E'} \quad (1)$$

其中, $M \times N$ 为图象大小, $m \times n$ 为邻域大小, E 为整个图象里边缘点的数目, E' 为邻域内边缘点的数目. 实验结果表明,这种纹理分析方法简单有效,计算快捷.

4 基于纹理分析的保边界平滑滤波器

基于以上对于模板和纹理分析方法的讨论,并采纳了 Nagao 滤波器的部分思想,本文对于模板的选择作以下考虑:首先,因为图象各部分特征不同,所以模板应该是多尺度的,并且在穿过图象特征的方向上应该没有平滑作用,但由于任何块状模板在各个方向都会有平滑效果,所以在特征细密区,本文选择了线形模板,同时在灰度变化平缓的地方采用了正方形模板;其次,是判断灰度变化是否平缓的方法,本文先对图象进行纹理分析,以区别出纹理复杂的部分,而后纹理复杂部分的模板选择则以灰度方差大小作为判断标准;第三,本文选择以正方形中心(即中心像素)为端点的 8 条射线方向为线形模板候选方向(如图 4 所示).

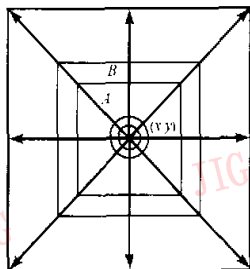


图 4 8 个线形模板的方向以及两个不同尺度正方形模板示意图

之所以采用以中心像素为端点,而不是采用以中心像素为中点的线形模板,是为了更好地保留细节.如图 5 所示,假设 a 为角点,如果模板以 a 为端点,那么,显然最后选择的结果将会用垂直向下的线形模板作为平滑模板,这样它的灰度将基本不会变化;而如果模板以 a 为中点,则 a 点将受区域外部的邻近的点的影晌而模糊化,这样迭代多次后,角点 a 就消失了.

本文的保边界平滑算法的步骤为:

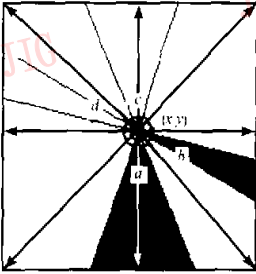


图 1 本文算法对于几种细节边缘点的作用

- (1) 利用 Sobel 算子对图象进行边缘增强;
- (2) 对边缘增强后的图象进行图象分割, 获得二值化的边缘图象, 并统计边缘点总数;
- (3) 对图象中各点计算一定大小邻域(本文为 16×16)内边缘点的数目;
- (4) 根据式(1)计算出各点纹理复杂度;
- (5) 对点 (x, y) , 如果它的纹理复杂度不大于设定阈值, 则以正方形模板为平滑模板, 转步骤(8), 否则, 转步骤(6);
- (6) 以点 (x, y) 为中心象素, 分别计算 8 个线形模板的灰度方差;
- (7) 确定灰度方差最小的模板位置, 并取方差最小的模板为平滑模板;
- (8) 以平滑模板灰度的平均值来替代中心象素的灰度值;
- (9) 对图象中每个象素都进行步骤(5)~(8)的操作;
- (10) 调整阈值和线形模板的长度, 直到平滑效果满意为止。

算法涉及两个参数, 即模板长度和判断纹理是否复杂的阈值, 其中, 模板长度的选择原则与普通滤波器相同, 即一般模板小, 能保留细节, 但平滑效果差; 而随着模板的扩大, 尽管滤波的作用越大, 但有效信号的损失也将明显增加, 因此模板大小的选择, 以能兼顾两者为佳。实际应用中, 根据不同图象, 模板长度一般取 3 到 7 比较合理; 判断纹理是否复杂的阈值大小决定了计算速度和平滑质量, 如果取值小, 则计算慢, 且平滑效果弱, 反之, 计算快, 但是过大的阈值会影响图象质量, 一般取 0.5 左右比较合适。

对于模板的选择, 原来的方法是直接将两种不同尺度的正方形模板与线形模板放在一起计算方差, 然后根据方差来确定采用什么模板, 但是这样对图象中每点都要计算 10 个模板的方差, 因为计算量很大, 所以速度就慢了。事实上, 一般的图象中, 细节

部分相对是比较少的, 只有部分点需要计算 8 个线形模板的方差, 这样尽管增加了纹理分析的步骤, 但整体速度还是提高了。以本文的实验为例来说明处理速度的提高, 图象大小为 256×256 , 纹理分析时, 邻域取 16×16 , 这样, 实际计算的点数为 240×240 , 若阈值取 0.55, 则纹理复杂度大于 0.55 的图象点数为 30 426, 也就是说, 需要计算 8 个模板方差的点仅占实际计算点数的 53% (如图 6 所示), 而其他 47% 的点只要简单地邻域平均就可以了, 可见这样计算速度的提高是明显的。本文在 P III 300 上对各算法运算速度进行了验证, 对于基于纹理分析的算法和完全以方差为标准的算法分别计算 10 次, 并进行计时, 然后平均, 其结果是, 基于纹理分析的算法耗时 1.764s, 而完全以方差为标准的算法则耗时 3.235s, 两者相比, 可见基于纹理分析的算法的计算速度提高了近一倍! 这在应用上是极其重要的。



图 6 纹理复杂度分布图(白色为比较复杂区域)

5 边缘增强作用

本文的平滑算法不仅可以降噪, 而且可以增强边缘, 同时可使原来模糊的边缘变得更清晰。这里, 可以用一个一维的例子来说明, 图 7 中的 (a) 表示一维模糊边缘的象素灰度值, 图 7 中的 (b) 和图 7 中的 (c) 分别表示以各点为中心象素, 大小为 3×1 模板的均值和方差。如果选择包含目标点的各模板中方差最小的一个, 并将其均值赋给该点, 那么这样操作后的结果见图 7 中的 (d), 其中, 均值已经四舍五入为整数, 由图 7 中的 (d) 可以看出, 模糊边缘上的 A、B 两点的灰度值已经分别变成了 1 和 7, 已更接近两边平滑区的灰度值了。图 7 中的 (e) 是对图 7 中的 (d) 进行平滑的结果, 其中, 原图中模糊的边缘已经完全被锐化了, 显然该结果可以推广到二维的情况。

	A	B
(a)	0.1, 0.1, 1, 0.5, 0.5, 8, 8, 8, ...	
(b)	0.1, 0.1, 3, 1.3, 3, 16, 3, 7, 8, 8, ...	
(c)	0.1, 0.1, 0.11, 3, 8, 38, 3, 6, 0, 0, ...	
(d)	0.1, 0.1, 0.1, 1, 0.7, 8, 8, 8, ...	
(e)	0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 8, 8, 8, 8, ...	

图 7 本文算法的边缘增强作用

6 实验结果和分析

本文在 P III 300 上用 VC6.0 对上述所有算法进行了实验测试。在实现本文算法的过程中,针对所选用的图象,模板长度选择为 3,判断纹理复杂度的阈值为 0.55。

模板选择对 median 滤波算法效果有一定影响,实

验结果证明,对于选用的图象,虽然水平方向 3×1 模板取得了相对较好的结果,然而,在采用 3×1 模板的 median 滤波结果(图 8(c))中,仍然残留了比较大的噪声,而且损失了一些细节;图 8(d)是对图象采用 MWMF 算法处理的结果,由该图可见,人物脸部等细节已经被模糊;在 Nagao 滤波器的滤波结果(图 8(e))中,外围轮廓边缘的确是保留得不错,但是细节已经被模糊;Czerwinski 的线形模板 median 滤波器还产生了大量的白色伪象(如图 8(f)所示);在偏微分方程的平滑结果(图 8(g))中,虽然噪声几乎全部滤去,且轮廓线和大部分细节都保留得很好,但是因为它不能区分作为景物的草地和背景噪声,所以平滑后,背景景物变得很模糊;而本文提出的算法则兼顾了降噪和保留边界、细节等两个方面的要求,效果比较令人满意(见图 8(h))。



图 8 “摄影者”图象几种预处理结果的比较

为了更清晰地显示各种算法的降噪效果,用可视化软件 Matlab 显示了 y 坐标(如图 8(a)所示,其水平向右方向为 G 方向,垂直向下方向为 y 方向)为 67 位置(即图 8(a)的白线所示位置)处的灰度变化曲线(如图 9 所示)。从如下几个方面可以很明显看出改进算法的效果:①曲线是否有毛刺,即是否有效地滤除了噪声,特别是两侧对应于曲线背景的地方,从图 9 可以看到,图 9(d)、图 9(e)和图 9(f)有不同程度的毛刺,尤其以图 9(f)为严重;②通过对照

图 9(a)可以看到,图 9(c)、图 9(d)和图 9(f)在横坐标邻近 150 的位置上,曲线的变化减少了很多,说明图象中的细节被模糊了;③在横坐标邻近 80 和 100 的位置上,两个波峰在图 9(e)和图 9(g)中都有明显损失,而在图 9(f)中又产生了多余的波峰,可见,各种算法都没有很好地同时满足平滑和保细节两个要求(图 9(c)~图 9(g))。相比之下,本文算法的结果令人满意,对应于细节的曲线和原图几乎完全吻合,对应于背景的曲线比原图更为平滑。

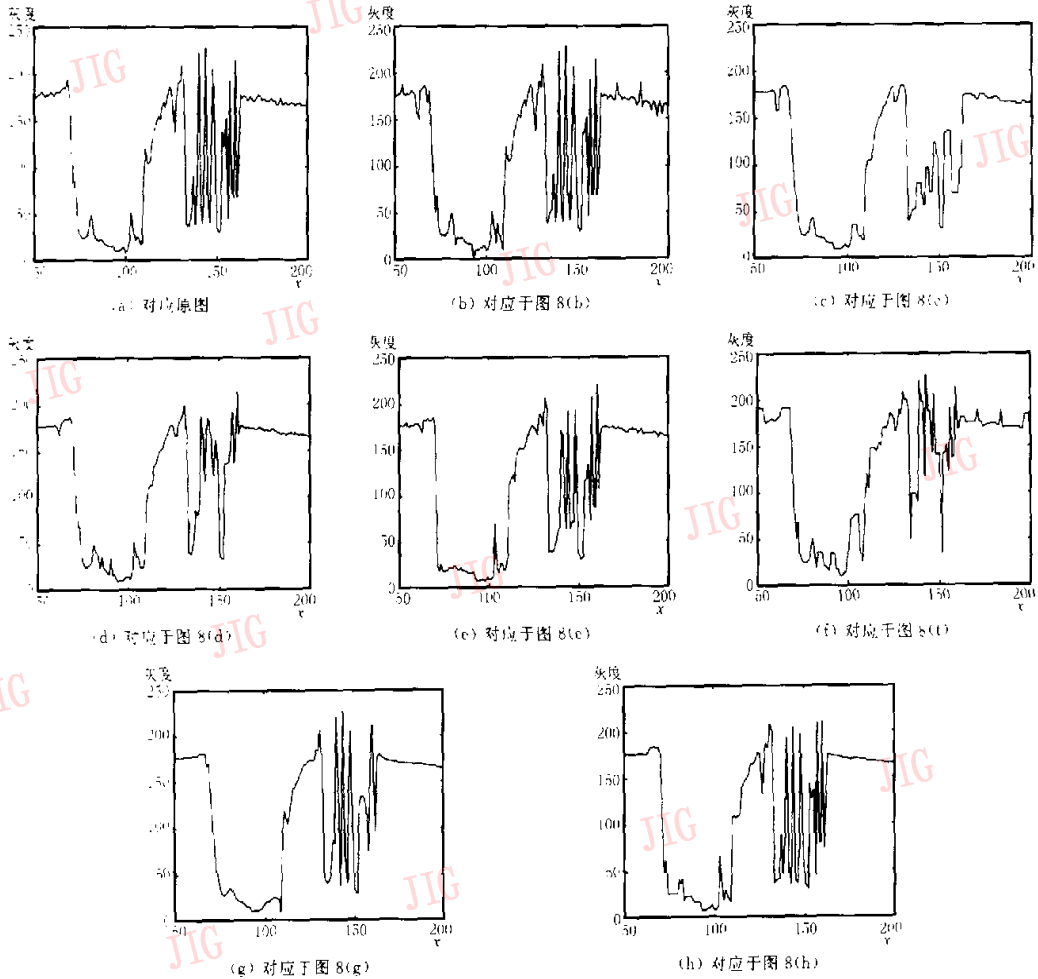


图 9 对应图 8 各图象横截线上灰度变化曲线

7 结 论

本文介绍了一种新的基于纹理分析的保细节平滑方法,该方法采用多方向、多尺度的模板,并且利用纹理分析等方法,根据图象各部分的特性自适应地选

择模板来进行平滑滤波,对比其他几种常用的平滑降噪算法,本文的算法取得了比较令人满意的结果。

参 考 文 献

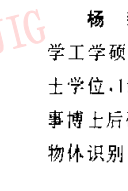
1 Davis L S, Rosenfeld A. Noise cleaning by iterated local averaging [J]. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics.

1978, SMC-7: 5~71.

2. 李介谷, 施耀文, 刘重庆等. 图象处理技术[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1988.
3. 黄煦涛. 二维数字信号处理[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
4. Tamur F., Tsui S. Extraction of multiple regions by smoothing in selected neighborhoods[J]. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1977, SMC-7: 197~199.
5. Makoto Nagao, Takashi Matsuyama. Edge preserving smoothing[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1979, 9: 343~349.
6. Richard N. Czerwinski, Douglas L. Jones, William D O'Brien Jr. Ultrasound speckle reduction by directional median filtering[A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing Vol. 1[C]. Washington, D.C., 1995: 358~361.
7. Wang D.C.C., Vagnucci A.H., Li C.C. Gradient inverse weighted scheme and evaluation of its performance [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1981, 18: 167~181.
8. Chih Cheng Huang. On the edge preserving smoothing filter [A]. In: Proceedings of IEEE Southeast Conf. '97 Engineering New Century C. 1997: 146~147.
9. Carmona R.A. Adaptive smoothing respecting feature directions [J]. IEEE Trans. on image processing, 1998, 7(3): 353~358.
10. Petroni P., Malik J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion[J]. IEEE Trans. on Pattern Anal Machine Intel., 1990, 12(7): 623~639.
11. Catto F., Colli T., Lions P.L. *et al.* Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion [J]. SIAM J. Number Anal., 1992, 29(1): 182~183.
12. Alvarez L., Lions P.L., Morel J.M. Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion - I [J]. SIAM J. Number Anal., 1992, 29(3): 845~868.
13. Pentland Alex-P. Fractal-based description of natural scenes [J]. IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelligence, 1984, 6(6): 661~674.



朱菊华 1976年生, 1998年获上海交通大学工学学士学位, 现在上海交通大学图象所攻读工学硕士, 主要从事图象增强、图象匹配及模式识别方面的研究, 已发表学术论文多篇。



杨新 1950年生, 副教授, 1982年获西北工业大学工学硕士学位, 1995年获布鲁塞尔自由大学工学博士学位, 1995年至1996年在西北工业大学计算机系从事博士后研究工作, 现研究领域为时间序列图象中运动物体识别, 已在国内外杂志和会议上发表文章10余篇。



李俊 1972年生, 1993、1998年先后获华中理工大学学士、硕士学位, 现为上海交通大学图象处理与模式识别研究所博士研究生, 现主要从事图象处理、运动目标跟踪和估计等方面的研究工作, 发表学术论文3篇。



施鹏飞 1940年生, 教授, 博士生导师, IEEE高级会员, 1965年研究生毕业于上海交通大学, 现任上海交通大学图象处理与模式识别研究所所长, 上海市模式识别与智能技术专业委员会主任, 研究领域为图象分析、模式识别、智能技术与系统, 已发表论文80余篇。