

基于第二代 bandelets 的图像去噪

杨晓慧, 焦李成, 李 伟

(西安电子科技大学智能信息处理研究所, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文提出一种基于第二代 bandelets, 并结合多层阈值和自适应 Wiener 滤波的图像去噪方法. 第二代 bandelets 能充分利用图像内在的几何正则性, 自适应获得图像的最优表示; 多层阈值符合小波多尺度域的系数统计特性; 维纳滤波可以有效去除阈值去噪带来的纹理效应. 实验结果表明: 该去噪方法与基于小波变换的方法相比, 作用于含有加性高斯白噪声的光学图像时, 避免了小波变换带来的边界的振铃效应, 并在峰值信噪比上有一定的改善; 作用于合成孔径雷达图像中的相干斑抑制时, 不论从视觉效果还是等效视数和比值图等衡量指标上都取得了较好的效果.

关键词: 多尺度几何分析; 第二代 bandelets; 几何正则性; 多层阈值; 合成孔径雷达

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372 2112 (2006) 11-2063 05

Second Generation Bandelets Based Image Denoising

YANG Xiaohui, JIAO Licheng, LI Wei

(Institute of Intelligent Information Processing, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: Based on second generation bandelets and combined with multi level thresholding and Wiener filter, this paper proposes a novel denoising method. As a new multiresolution geometric analysis tool, second generation bandelets can make full use of intrinsic geometric regularity and provide optimal representation adaptively. Multilevel thresholdings satisfy the statistic characteristics of coefficients. Wiener filter can get rid of the texture effects introduced by thresholding denoising. Numerical tests applied on optical images show that the image denoising method avoids visible ringing effects and provides improvements in Peak to Signal Ratio. More significance, this technique is used for restraining speckle noise in synthetic aperture radar images successfully in equivalent number of looks and ratio images.

Key words: Multiresolution geometry analysis (MGA); second generation bandelets; geometry regularity; thresholding; synthetic aperture radar (SAR)

1 引言

实际图像在形成和传输的过程中, 会受到各种噪声的干扰, 例如光学图像中的高斯白噪声和 SAR 图像中的相干斑等. 噪声的存在降低了图像的分辨率, 严重影响目标的识别和分类, 因此图像降噪是一种常用的图像预处理方法, 其目的为改善图像质量, 突出图像本身的期望特征.

图像去噪的方法主要有基于统计和基于变换域两种. 文 [1] 给出了一种基于高斯混合尺度模型和贝叶斯最小均方估计的统计去噪方法, 对自然图像取得了较好的去噪效果. 自 Donoho 提出阈值 [2] 之后, 基于小波变换的阈值去噪方法得到广泛研究 [3-6]. Guo 等 [7] 通过实验表明硬阈值用于去除 SAR 图像的斑点噪声效果较好.

多尺度几何分析是小波先驱者掀起的另一场重大革命, 源

于小波, 但又高于小波 [8-11], 其基函数具有各向异性 (anisotropy) 和多方向性 (multi directional, MDIR) 等良好特性, 能有效处理高维函数. Bandelets [12-14] 和第二代 bandelets [15,16] 是基于边缘的几何多尺度分析新工具, 能捕获图像中的几何正则性, 并自适应给出最优表示. 第一代 bandelets 由于要对原始图像重采样 (resampling), 并要把任意几何方向弯曲 (warping) 至水平或垂直方向, 从而借助二维可分离标准小波变换来处理, 实现复杂度较高, 对于含 N^2 个像素的图像, 计算复杂度为 $O(N^2 (\log_2 N)^2)$. 第二代 bandelets 巧妙地借助多尺度分析和几何方向分析, 既保留了第一代 bandelets 的优点, 又能获得更快速、鲁棒的去噪算法, 计算复杂度为 $O(N^{3/2})$, 近乎线性.

本文根据图像和噪声的特性, 提出一种基于第二代 bandelets, 结合多层阈值的图像去噪算法, 分别作用于标准测试 Lena 和 Barbara 图像的高斯白噪声去除, 以及 SAR 图像的相干

斑抑制, 分别从视觉效果和客观衡量指标两方面来验证本文去噪算法的有效性和鲁棒性.

2 第二代 Bandelets 和阈值方法

二维可分离标准小波变换可以把图像中的能量主要集中在少量小波系数上, 但对奇异点附近产生的大系数却无能为力. 现代图象处理技术希望挖掘并充分利用图像内在的几何正则性, bandelets 和第二代 bandelets 正是在离散小波域对含有几何正则性的数字图像给出最优表示的多尺度几何分析新工具, 旨在充分利用图像自身的几何正则性并去除标准小波变换所不可避免的这种各向异性几何冗余, 并对所要表示的函数自适应给出最优表示.

自然图像由于光学散射等效应在边缘造成不连续性, 这种沿着边缘的模糊效应可以建模为模糊核 h 和原函数的卷积 $f = \tilde{f} * h$, 这里 $\tilde{f} \in C^a$ 称为 C^a 几何正则函数. 对此类函数, 第二代 bandelets 能自适应给出最优表示:

$$\forall M > 0, \|f - f_M\| \leq CM^{-a}$$

其中 f_M 是由 M 个参数得到的原函数的逼近重构, C 是不依赖于模糊核 h 的常数. 在图像处理的实际应用中, 几何正则性一般要从离散图像信息中估计出来. 为了使这个问题更易于处理, bandelets 引入几何矢量流, 用来刻画图像空间结构灰度值变化的局部正则方向.

第一代 Bandelets 先采用类似于 Donoho 构造 Wedgelet 基函数时采用的四叉树 (quadtree) 剖分^[7], 对原始图像作二进连续剖分, 终止准则为每个剖分子块中只含唯一的一个边界, 并把相应的子区域分别标示为水平区域、垂直区域、正则(或光滑)区域或角点区域, 再通过弯曲 (warping) 算子的作用把相应区域内对应于实际几何

方向的边界弯曲至水平或垂直方向, 最后再借助二维可分离标准小波来处理这种水平和垂直奇异性. 此外, bandelets 的实现中还需要进行重采样操作, 为避免二进剖分时带来块状效应,

在块与块相接的边界处又引入仿射函数并采用改进的提升程序. 实现过程中的弯曲作用如图 1 所示.

对于含 N^2 个像素的图像, 第一代 bandelets 的实现复杂度为 $O(N^2(\log^2 N)^2)$, 对不含几何正则性的复杂函数, 第一代 bandelets 至多达到和小波一样好的效果.

2.1 第二代 Bandelets

第二代 bandelets 避免了重采样和弯曲等繁杂操作, 通过多尺度分析和几何方向分析共同完成图像的分解. 多尺度分析通过二维标准小波变换完成, 几何方向分析通过几何正交方向上的一维小波变换完成.

一维小波函数 $\psi(t)$ 和尺度函数 $\varphi(t)$ 的伸缩和平移为 $\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2}\psi(2^{-j}t - k)$ 和 $\varphi_{j,k}(t) = 2^{-j/2}\varphi(2^{-j}t - k)$, 这里 $j, k, t \in Z$, 它们的点积为:

$$\begin{cases} \varphi_{j,m}(x) = \varphi_{j,m_1}(x_1)\varphi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^V(x) = \psi_{j,m_1}(x_1)\varphi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^H(x) = \varphi_{j,m_1}(x_1)\psi_{j,m_2}(x_2) \\ \psi_{j,m}^D(x) = \psi_{j,m_1}(x_1)\psi_{j,m_2}(x_2) \end{cases} \quad (1)$$

这里 $\varphi_{j,m}(x)$ 表示粗略逼近, $\psi_{j,m}^V(x)$ 、 $\psi_{j,m}^H(x)$ 和 $\psi_{j,m}^D(x)$ ($j \in Z, m, x \in Z^2$) 分别为水平、垂直和对角方向子带的高频信息. 假定原始图像信号为 f , 其二维小波变换为 $\langle f, \psi_{j,m}^s \rangle = f * \psi_{j,m}^s$ ($m_1, m_2 \in Z, s \in \{H, V, D\}$), 得到小波多尺度分解系数图. 把如上得到的多尺度分解系数图作二进四叉树剖分, 即连续地把一个区域剖分为四个等大小的子区域, 然后采用自底向上的 CART 算法来修剪此四叉树. 在每一个二进剖分子区域内, 计算由逼近精度和计算复杂度的折中所定义的 Lagrangian 目标函数值:

$$L(f, R, B) = \|f - f_R\|_2^2 + \frac{3}{28}T^2R \quad (2)$$

其中 T 代表阈值, $\|f - f_R\|_2^2$ 代表重构误差, $R = \sum_j R_{jS} + R_{jC} + R_{jB}$ 表示计算复杂度, 通过施加罚因子 $\frac{3}{28}T^2$ 加以限制, 对每一个尺度 2^j , R_{jS} 是二进剖分的编码数, R_{jC} 是量化每个剖分子块中多项式几何流的数目, R_{jB} 是量化 bandelets 系数的数目. 在每一个二进剖分子块中总可以找到一个尽量平行于真实几何方向的方向, 通过在这个方向上的正交投影, 使得二维小波系数转换为一维离散信号 f_d , 然后再对此一维信号做一维小波变换得到 bandelet 变换的系数, 记为 $\{b_k\}_{k \in Z} = \{\langle f_d, b_k \rangle\}$, 这里 μ 是标示 bandelet 基函数向量的参数.

第二代 bandelets 在图像压缩领域已取得很好的效果^[15,16], 在图像去噪方面, 第二代 bandelets 具有如下潜力:

(1) 小波变换导致边缘和边界部分产生明显的振铃效应, 破坏了图像的几何正则性. 第二代 bandelets 尽管采用互不交叠的二进剖分, 但由于基函数在空域是带状延长并互相交叠的带子, 且小波域的块重构是通过几何方向变换的滤波完成的, 每一个剖分子块中的最优方向是通过目标函数最小化而获得的最接近真实几何方向的, 因此几乎没有产生影响人视觉的块状人工效应;

(2) 分解过程中第一步采取的是多尺度变换, 把原图的信息主要集中在少量非零小波系数上, 这些系数大多集中在奇异点附近, 而噪声也密布在这些大系数中, 这对小波变换来说是无能为力的, 第二代 bandelets 的几何方向分析部分恰好可以去除这种各向异性几何冗余;

(3) 如果正交基能用非零系数逼近重构原始信号, 则对此正交基采用阈值估计子去除加性噪声比较有效^[3], 第二代 bandelets 正是这种变换工具.

2.2 阈值方法

传统的去噪方法总是以模糊细节信息为代价, 因此, 去除噪声并同时保持细节成为图像去噪最关键的问题.

最早的阈值方法是 Donoho 提出的基于最大最小原则的小波阈值 $T = \sigma \sqrt{2 \log n} / \sqrt{n}$ 这里 n 是数据的个数, σ 是噪声级, γ 是常数能最优处理加性 Gaussian 噪声. 对于自然噪声图

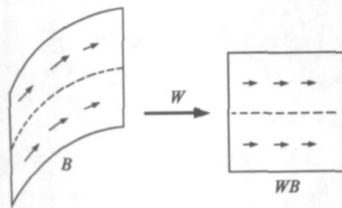


图 1 水平型区域 B 和相应的弯曲区域 WB

像, 确切的噪声级通常是未知的, 一般通过如下鲁棒的中值估计子来做估计:

$$\sigma = \frac{\text{Median}(Y_{i,j})}{0.6745}, Y_{i,j} \in \text{subband}\{HH1\}.$$

硬阈值和软阈值是两种最基本的阈值方法, 前者的优点是能较好地保持图像的细节特征, 后者则平滑效果更好. 硬阈值和软阈值分别定义如下:

$$D(T, \lambda) = \begin{cases} T, & \text{for all } |T| > \lambda \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$D(T, \lambda) = \text{sgn}(T) \max(0, |T| - \lambda) \quad (4)$$

3 基于第二代 bandelets 和多层阈值的图像去噪

本节提出一种基于第二代 bandelets, 并结合多层阈值和自适应维纳滤波的去噪新算法. 实验结果表明: 此算法对于去除光学图像中的加性高斯白噪声和抑制 SAR 图像中的斑点噪声都有较好的效果.

为实验方便, 对自然测试图像人为地添加计算机随机生成的加性高斯白噪声. 假定原始图像信号为 $X(m, n)$, 其中 $m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N, M, N$ 均为 2 的整数倍, $N(m, n)$ 是服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布的高斯白噪声, 和原始信号独立, $Y(m, n)$ 是带噪图像, 它们之间的关系如下:

$$Y(m, n) = X(m, n) + N(m, n) \quad (5)$$

采用如下定义的 PSNR 来衡量去噪效果的优劣:

$$\text{PSNR} = -20 \log_{10} \frac{\sqrt{\|X(m, n) - Y(m, n)\|^2}}{M \times N} \quad (6)$$

SAR 作为一种先进的微波成像系统, 具有高分辨率和全天候工作的优点, 但它是一种相干成像系统, 对分布式目标作相干处理产生的相干斑将降低对目标的探测能力和对分散目标的分离和分类能力, 因此相干斑抑制问题是 SAR 图像处理的关键. 相干斑的产生过程可简化建模为:

$$I = \omega n \quad (7)$$

其中 I 是 SAR 图像的强度测量值, ω 是未受干扰的理论值, n 是均值为 1, 方差为 σ^2 的斑点噪声, 这里方差与图像的等效视数有关.

通常采用等效视数和比值图像来衡量 SAR 图像中斑点噪声的抑制效果, 等效视数定义为:

$$\text{ENL} = \mu^2 / \sigma^2 \quad (8)$$

这里 μ 和 σ 分别表示局部均值和标准差. 抑制性滤波后, 斑点噪声的强度减小, 图像的方差减小, ENL 值增大, 噪声抑制效果越好, ENL 值越大. 为了更好地估计结构保持效果的好坏, 本文又给出相应的比值图像. 假定原始图像和重构图像分别为和, 比值图像定义如下:

$$\frac{I}{\omega} = \frac{\omega}{\omega} n \quad (9)$$

理想情况下, 比值图像应该是均值为 1 的斑点噪声组成, 且不含原图像的结构信息.

单视 SAR 图像相干斑的概率密度函数 (probability density function, PDF) 服从 Rayleigh 分布, 随着独立视数的增加, 相干斑趋于 Gaussian 分布, 当视数 ≥ 4 时, SAR 图像基本服从 Gaus-

sian 分布. 因此, 可以先采用对数同态变换把乘性噪声先转化为加性高斯噪声, 再作去噪处理.

这里我们选用式 (2) 中定义的目标函数, 充分考虑各尺度层小波系数的能量分布统计特性, 对各子带的系数给以平衡, 提出一种多层加权 $\omega_{l,k}$ 硬阈值去噪方法, 大于阈值 $T_{l,k}^j$ 的系数保留, 否则置零 $j = 1, 2, \dots, \log_2(N)$ 表示各分解尺度层, N 是行数和列数中较小的那一个, $l = 1, 2, 3$ 分别表示个尺度层中的垂直方向、水平方向和对角方向子区域; $k = 1, 2, 3, 4$ 表明每个子带的序列号; 最后采用二维自适应维纳滤波去除阈值去噪带来的通常称为纹理噪声的纹理效应. 去噪算法概述如下:

Step1. 对噪声图像作 2D 小波变换得到多尺度图像, 分解层数为 $\log_2(N)$, 这里 N 是原图的大小;

Step2. 对小波域的多尺度系数图作最优四叉树剖分以获得每个子带的最优逼近几何方向, 基于此再对多尺度图作几何方向变换;

Step3. 计算各高频子带的能量信息分布以获得相应的权值和阈值, 然后采用多层硬阈值去除噪声;

Step4. 自适应维纳滤波去除纹理噪声;

Step5. 逆几何方向变换和逆二维小波变换重构图像.

4 实验结果

本文采用 9-7 双正交小波, 分别对标准测试图像 Lena 256 × 256 和 Barbara 512 × 512, 以及航拍 SAR 256 × 256 图像作去噪测试.

对标准测试图像 Lena 和 Barbara, 不失一般性, 分别取噪声方差 5、10、15、20、25、50 和 100. 从视觉效果和通用的客观指标 PSNR 两方面和目前公认的最好小波去噪结果^[1]相比较. 对 SAR 图像, 与小波硬阈值相干斑抑制作比较, 从视觉效果和客观衡量指标 ENL 和比值图像等方面来衡量去噪效果好坏. 各个噪声级去噪后的 PSNR 见表 1, 图 2 用相应的曲线图给出明显对比结果, 图 3 给出噪声方差为 20 时的视觉效果对比图.

表 1 不同噪声级时的测试结果, 这里是噪声方差, 衡量指标是峰值信噪比 (PSNR)

σ	PSNR	本文方法		文[1]的方法	
		Lena	Barbara	Lena	Barbara
5		38.4002	37.8191	38.49	37.79
10		35.6859	34.1737	35.61	34.03
15		33.0672	31.2527	33.90	31.86
20		32.3788	30.6416	32.66	30.32
25		31.7811	29.6816	31.69	29.13
50		28.959	25.6491	28.61	25.48
100		25.9096	22.8183	25.64	22.61

实验结果表明本文的去噪算法对于边缘边界和纹理信息保持的较好, 几乎没有小波去噪时的边缘振铃效应, 尤其在高噪声级本文的去噪方法具有较明显的优势. 对航拍的实际 SAR 图像的噪声抑制效果如图 4 所示.

在同样的噪声级, 本文的去噪算法优于基于小波硬阈值

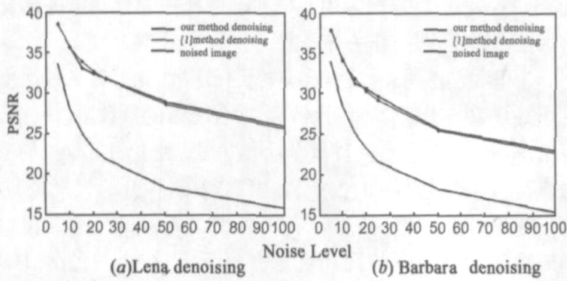


图2 Lena和Barbara测试图像在不同噪声级,基于文献[20]和第二代bandelets的实验结果对比

的方法,和目前公认最好的基于高斯混合尺度的小波去噪方法相比^[1],也很具竞争性。

总的来说,基于本文的斑点噪声抑制方法,从视觉效果上看,平滑区域去噪效果较好,且边缘和纹理保持较清晰,从客观指标上衡量,ENL有较大的提高,比值图像含有较少的原图像的结构信息。



图3 噪声方差为20时的Lena和Barbara的去噪图。(a)原始图像;(b)噪声图像;(c)小波去噪;(d)第二代bandelets去噪;

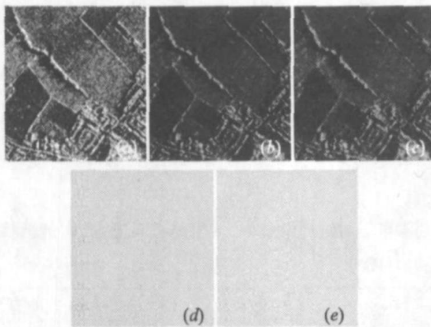


图4 SAR图像斑点噪声抑制(a)原始图像 $ENL=3.9569$;(b)小波去噪 $ENL=5.6858$;(c)第二代bandelets去噪 $ENL=7.4769$;(d)图b和图a的比值图;(e)图c和图a的比值图;

5 结论

本文研究了第二代bandelets,并提出一种结合多层阈值和自适应维纳滤波的图像去噪算法.对普通光学图像和实际SAR图像的实验结果表明这种新方法在图像去噪方面具有一定的应用潜力.由于第二代bandelets中最优几何方向的搜寻采用的是穷居串行搜索,因此运行效率有待提高,这是我们目前正在做的优化工作,已取得一定的效果.另外,结合一些新的工具并用于其它领域,例三维流形的表面处理等也是需要

进一步研究的工作。

参考文献:

- [1] Portilla J, Strela V, Wainwright M J, et al. Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2003, 12(11): 1338–1351.
- [2] Donoho D L. Denoising by soft-thresholding [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1995, 41(3): 613–627.
- [3] Donoho D L, Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage [J]. Biometrika, 1994, 81(3): 425–455.
- [4] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(9): 1522–1531.
- [5] Chang S G, Yu B, Vetterli M. Image denoising via lossy compression and wavelet thresholding [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9: 1532–1546.
- [6] Coifman R R, Donoho D L. Translation invariant denoising [A]. Antoniadis A, et al (Eds). Wavelets and Statistics [C]. Berlin, Germany: Springer Verlag, 1995, 103: 125–150.
- [7] Guo H, Odegard J E, Lang M, et al. Wavelet based speckle reduction with application to SAR based ATD/R [A]. IEEE International Conf. on Image Processing Proceedings [C]. IEEE, 1994, 1: 75–79.
- [8] 焦李成, 谭山. 图像的多尺度几何分析: 回顾和进展 [J]. 电子学报, 2003, 31(12): 1975–1981.
- [9] Jiao L C, Tan S. Development and prospect of image multiscale geometric analysis [J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(12): 1975–1981.
- [10] Candès E J. Ridgelets: Theory and Applications [D]. USA: Department of Statistics, Stanford University, 1998.
- [11] Candès E J, Donoho D L. Curvelets: A surprisingly effective nonadaptive representation for objects with edges [A]. Schumaker L L, et al (Eds). Curves and Surfaces [M]. Nashville: Vanderbilt University Press, 1999.
- [12] Do M N, Vetterli M. The Contourlets Transform: An efficient directional multiresolution image representation [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2005, 14(12): 2091–2106.
- [13] Pennec E Le, Mallat S. Image compression with geometrical wavelets [A]. IEEE International Conf. on Image Processing Proceedings (ICIP 2000) [C]. Vancouver, Canada, 2000, 1: 661–664.
- [14] Pennec E Le, Mallat S. Sparse geometric image representations with bandelets [J]. IEEE Trans. Image Processing, 2005, 14(4): 423–438.
- [15] Pennec E Le, Mallat S. Bandelet image approximation and compression [J]. Multiscale Model. Simul. 2005, 4(3): 992–1039.
- [16] Peyré G, Mallat S. Discrete bandelets with geometric orthogonal filters [A]. IEEE International Conf. on Image Processing

Proceedings (ICIP2005) [C]. Genova, 2005, 1: 65– 68.

[16] Peyré G, Mallat S. Surface compression with geometric bandlets [J]. ACM Transactions on Graphics. 2005, 24(3): 601

– 608.

[17] Donoho D L. Wedgelets: nearly-minimax estimation of edges [J]. Ann. Statist., 1999, 27(3): 859– 897.

作者简介:



杨晓慧 女, 1979 年生于河南许昌, 西安电子科技大学博士研究生, 主要研究方向为多尺度几何分析及其在图像处理中的应用等.

E mail: yansezi@henu. edu. cn



焦李成 男, 1959 年生于陕西白水, 西安电子科技大学教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 主要研究方向为智能算法、机器学习和智能信息处理等. E mail: lchjiao@mail. xidian. edu. cn

中国仪器仪表学会第九届青年学术会议 征文通知

中国仪器仪表学会第九届青年学术会议将于 2007 年 10 月在合肥(黄山)召开. 本次会议由中国仪器仪表学会主办; 中国仪器仪表学会青年工作委员会、合肥工业大学联合承办, 由安徽大学、中国科学院合肥智能机械研究所协办.

模版》以及《学报论文写作注意事项》, 提供中英文摘要, 全文控制在四个版面内; 详情见 <http://www.asiatest.org>.

(4) 来稿需在文章最后注明文章所属分类(见征文范围), 以及各类资助、获奖的项目名称和编号.

(5) 来稿需附另一电子文档注明论文题目、作者姓名、第一作者简介、通讯地址、邮编、电话、手机和电子信箱等.

(6) 版权纠纷, 作者自负.

一、征文范围

- (1) 测控新元件、新材料、新工艺和新装置
- (2) 传感器与检测技术
- (3) 计量技术与不确定度评定
- (4) 控制原理与系统
- (5) 测量仪表与测试系统
- (6) 信息获取原理与方法
- (7) 数据采集与信号处理
- (8) 智能计算与应用
- (9) 图像处理与模式识别
- (10) 电子设计与仪器仪表
- (11) 网络、通讯原理与系统
- (12) MEMS、光学、生物工程等新技术与仪器仪表
- (13) 故障诊断
- (14) 工业总线、安全生产、节能环保等新技术和新领域

二、征文要求

- (1) 论文应具有较高学术或应用价值, 未公开发表.
- (2) 第一作者年龄不超过 45 岁(到 2007 年 10 月).
- (3) 来稿请用 Word 编排, 排版要求请参考《仪器仪表学报

三、重要信息

本次会议将对宣读论文评选优秀论文, 优秀论文由中国仪器仪表学会颁发优秀论文证书, 并推荐优秀论文作者投稿《仪器仪表学报》正刊论文.

本次会议录用论文将刊登在《仪器仪表学报》2007 年增刊上, 英文摘要合格的论文将被 Ei 检索.

会议联系网址: www.images.hfut.edu.cn

E-mail: images@hfut.edu.cn gaojun@hfut.edu.cn

gaojun@iim.ac.cn

四、重要日期

论文截稿日期为 2007 年 5 月 30 日. 论文录用通知发出日期 2007 年 6 月 15 日.

五、投稿地址

安徽省合肥工业大学南区 98 信箱(230009)

高隽、胡良梅、徐小红或范之国收(请注明投稿)