

信号相位匹配噪声估计的小波去噪方法

吴 鹏^{1,2} 王爱侠¹ 李晶皎¹

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)¹ (沈阳师范大学软件学院 沈阳 110034)²

摘 要 多数小波阈值去噪方法需要根据噪声方差来计算相应的阈值,所以噪声方差的估计将直接影响阈值去噪的效果。提出了一种新的相位匹配的噪声方差估计方法,利用该方法实时地逼近当前噪声,建立新的噪声的阈值求取方法。通过实验证明该方法能够大幅度提高信噪比,可以取得非常好的去噪效果。

关键词 相位匹配,小波变换,噪声估计,小波阈值

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Wavelet Denoising of Phase Matching the Signal Noise Estimation

WU Peng^{1,2} WANG Ai-xia¹ LI Jing-jiao¹

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)¹

(Software College, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)²

Abstract Most of the wavelet threshold denoising method needs to calculate the corresponding threshold. The estimation of noise variance will directly affect the effect of threshold denoising method. This paper presented a new phase matching of the noise variance estimation method, using the method in real-time estimate the current noise. A new method of noise threshold was set up. The experiments show that the method can greatly improve the signal to noise ratio and can be made a very good denoising effect.

Keywords Phase-matching, Wavelet transform, Noise estimation, Wavelet threshold

1 引言

改善信噪比去除噪声的传统方法是利用信号相关而噪声不相关的这种假设,采用时域相关或时域平均,也可以采用频域滤波技术来处理^[1],但处理的效果在噪声与信号相关的情况下非常不好。近几年有自适应滤波方法,由于不能同时获得加噪信号中的噪声而采用延时的参考噪声与实际噪声的相关性进行噪声估计,如果延时采用不当,处理结果最坏达到假结果^[2]。神经网络抵消噪声也同样存在着这样的缺点^[3]。而近几年采用的高阶谱去噪方法,其数学意义上可以进行去噪处理,但只对高斯白噪声在理论上可以去除,对有色噪声无能为力。本文采用一种新的相位匹配噪声估计方法,对噪声进行实时估计,能够准确地通过噪声的差值估计噪声方差,将估计结果应用在小波阈值求取方法上进行去噪,达到很好的去噪效果。

2 信号相位匹配的实时噪声的获取

在这里首先假定信号和噪声是线性可加的,而加性噪声是生活中最常见的,所以本文对该方式的噪声进行估计。基于上面的假设写成数学表达式的形式为 $r(t) = s(t) + n(t)$ 这里 $s(t)$ 是期望的真实信号, $n(t)$ 是加性噪声信号。为了研究问题方便,将该表达式采用极坐标形式的频域表示:

$$|R| e^{j\varphi} = |S| e^{j\alpha} + |N| e^{j\beta}$$

式中, φ, α 和 β 分别为接收到实际信号、期望信号和噪声信号的相位角。

为了获取噪声信号,在这里采用三元阵来接收含噪信号。三元阵为一个线阵,如图 1 所示。

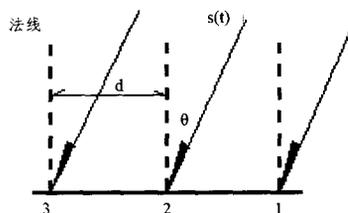


图 1 三元阵列

其中阵元间的距离是 d , $s(t)$ 与线阵的法线的夹角为 θ 。对于远场信号而言,波前到达的时间是不一样的,其时间差用 $\tau = \frac{d}{c} \sin\theta$ 表示, c 为波速。这样根据图 1, 就可以表达 3 个阵元的接收信号的方程组^[4,5]:

$$|R|_1 e^{j\varphi_1} = |S| e^{j\alpha} + |N|_1 e^{j\beta_1} \tag{1}$$

$$|R|_2 e^{j\varphi_2} = |S| e^{j(\alpha - \omega\tau)} + |N|_2 e^{j\beta_2} \tag{2}$$

$$|R|_3 e^{j\varphi_3} = |S| e^{j(\alpha - 2\omega\tau)} + |N|_3 e^{j\beta_3} \tag{3}$$

从该方程组中可以看到该三元阵的 1, 2, 3 阵元接收到的

到稿日期:2009-08-28 返修日期:2009-11-06 本文受国家自然科学基金(60970112)资助。

吴 鹏(1973-),男,博士生,主要研究方向为图像处理等,E-mail:wu_peng@163.com;王爱侠(1973-),女,博士生,主要研究方向为图像处理等;李晶皎(1964-),女,博士生导师,主要研究方向为嵌入式图像处理。

期望真实信号相互间只差时间 $\tau = \frac{d}{c} \sin\theta$ 产生的相位差。接下来要做的是对齐期望真实信号的相位,目的是消掉信号,获取噪声。对式(2)、式(3)式两边分别乘以 $e^{j\omega\tau}$ 和 $e^{j2\omega\tau}$, 这样就将式(2)、式(3)的相位与式(1)对齐了。相位对齐后得到下式:

$$|R|_2 e^{j(\varphi_2 + \omega\tau)} = |S| e^{j\omega\tau} + |N|_2 e^{j(\beta_2 + \omega\tau)} \quad (4)$$

$$|R|_3 e^{j(\varphi_3 + 2\omega\tau)} = |S| e^{j2\omega\tau} + |N|_3 e^{j(\beta_3 + 2\omega\tau)} \quad (5)$$

用式(4)与式(1)做差运算,用式(5)与式(1)做差运算。这里为了简单表示,将式(1)、式(4)和式(5)的左边用向量符号表示为 \vec{R}_1, \vec{R}_2 和 \vec{R}_3 , 将式(1)、式(4)和式(5)的右边噪声用向量符号表示为 \vec{N}_1, \vec{N}_2 和 \vec{N}_3 , 于是可以得到下式:

$$\vec{R}_2 - \vec{R}_1 = \vec{N}_2 - \vec{N}_1 \quad (6)$$

$$\vec{R}_3 - \vec{R}_2 = \vec{N}_3 - \vec{N}_2 \quad (7)$$

由于式(6)、式(7)中的左半部分是已知的由三元阵检测的信号,因此可以求得以时间 τ 为间隔的噪声差值。通过估计噪声差值的方差来估计当前噪声的方差。

3 噪声方差的估计

目前对噪声方差的估计方法主要有 Donoho 提出的在小波域中噪声标准方差的估计公式^[6] $\delta^2 = (mad/0.6745)^2$, 由此来估计噪声方差。由此又有基于它的改进方法:全局方差还是局部方差估计方法。但无论是全局方差还是局部方差的方法,都是居于信号能量主要在低频部分而噪声主要在高频部分的假设基础之上的,并不是从实际噪声信号估计出来的方差。本文给出的估计方法是通过噪声的差值来估计噪声的方差。通过上面的分析可以获得实时的噪声差值。由于噪声的随机性导致了差值的随机性,噪声向量差的随机性表现在其幅值和相位的随机性。对于一个确定的噪声差值采样序列,经傅立叶变换后,在每一个频点上的幅值是确定的,其频点上的相位为噪声频谱虚部和实部的比值的反正切值。首先以时间 τ 为间隔的噪声是独立分布随机向量,其方差的性质^[7]是:

$$D(N_i \pm N_j) = D(N_i) + D(N_j) \quad (8)$$

式中, $i < j$, N_i 和 N_j 是以 τ 为时间间隔的噪声采样,由式(8)知道式(6)、式(7)右侧的噪声差值的方差的取值范围为:

$$0 \leq \delta^2 \leq D(N_i) + D(N_j) \quad (9)$$

由于 N_i 和 N_j 是以 τ 为时间间隔的同一种噪声采样,因此上式可以得到 $0 \leq \delta^2 \leq 2D(N_i)$ 。通过前式知道 δ^2 的变化范围,其具体的取值采用均值的方式表示,即取阵元间噪声差方差的均值来表示实时噪声的方差。

4 小波去噪

由小波变换的线性性质可知,对观测信号 $r(t) = s(t) + n(t)$ 做离散小波变换之后,得到的小波系数仍由两部分组成:一部分是信号 $s(t)$ 对应的小波系数,另一部分是噪声 $n(t)$ 对应的小波系数^[8]。小波阈值去噪的主要理论依据是属于 Besov 空间的信号在小波域内其能量主要集中在有限的几个系数中,而噪声的能量却分布于整个小波域内。因此经小波分解后,信号的小波变换系数要大于噪声的小波变换系数,于是可以找到一个合适的数 λ 作为阈值(门限)。当 $r(t)$ 的小波变换系数小于该阈值时,认为这主要是由噪声引起的;当 $r(t)$

的小波变换系数大于该阈值时,认为这主要是由信号引起的,从而实现了信噪分离^[9-11]。

本文采用小波阈值去噪,及软阈值去噪。方差估计采用上面提到的噪声差值方差估计。

5 仿真实验

本文实验采用正弦曲线信号,加入高斯白噪声。采用本文的方法进行信号去噪处理,还原信号并估计小波域中的噪声标准方差后,再采用软阈值进行信号去噪处理,并加以比较。在不同的信噪比下,本文的方法稳定准确。为了说明噪声差的方差估计,本文又对噪声差做了时间函数和幅频分析仿真,得到结果如图2—图8所示。

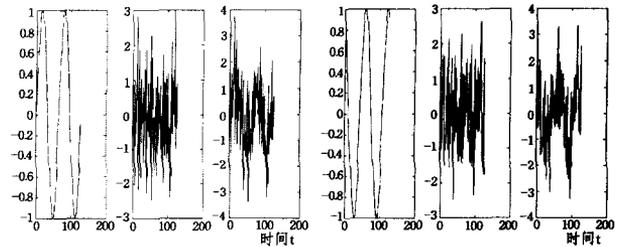


图2 阵列1点的原始信号、噪声、原始信号+噪声 图3 阵列2点的原始信号、噪声、原始信号+噪声

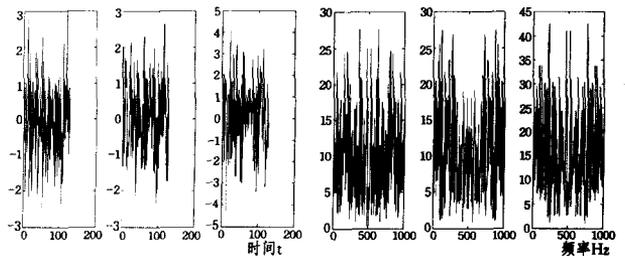


图4 在时域中的1点噪声、2点噪声、1点2点噪声差 图5 阵列1点噪声、2点噪声、1点2点噪声差的频谱图

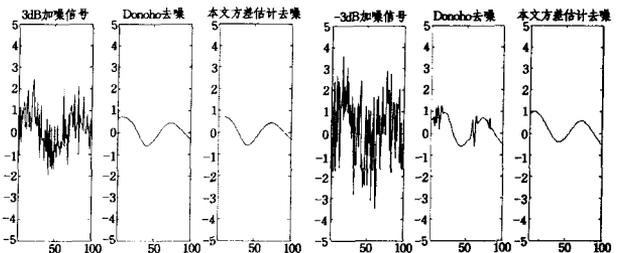


图6 3dB加噪信号的去噪对比 图7 -3dB加噪信号的去噪对比

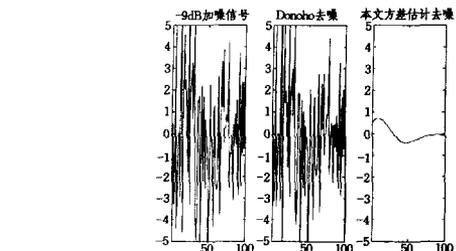


图8 -9dB加噪信号的去噪对比

结束语 小波去噪的方法应用到各个领域,而这其中噪声方差大小的估计至关重要。本文提出了一种新的相位匹配噪声差的方差估计方法。通过实验证明本方法的性能好于

(下转第303页)

pass),增加的 bypass 逻辑如图 9 所示。若 LP_bypass=0 且 T_bypass=0,此时测出的是 SRAM、低功耗辑及测试逻辑三者功耗之和;若 LP_bypass=0 且 T_bypass=1,此时测出的是 SRAM 及低功耗逻辑的功耗之和;若 LP_bypass=1 且 T_bypass=0,此时测出的是 SRAM 及测试逻辑的功耗之和;若 LP_bypass=1 且 T_bypass=1,此时测出的是 SRAM 的功耗。其中二者相减便可得到低功耗逻辑部分或测试逻辑部分的功耗。

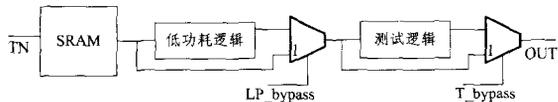


图 9 测试需增加的 bypass 逻辑

3 测试结果及讨论

表 2 是低功耗优化前后的测试结果总结,优化后 SRAM64K×32 功耗降低了 $[(30.704 - 21.625)/30.704] \times 100\% = 29.569\%$,面积仅增加了 0.836%。而目前存储器在 SOC 芯片中的面积已经达到了 80%,若 SOC 芯片中的存储器均采用这种 SRAM,则总功耗将降低 $80\% \times 29.569\% = 23.655\%$ 。

表 2 低功耗优化前后测试结果总结

SRAM64K×32	电压(V)	频率(MHz)	面积(mm ²)	功耗(mW)
优化前	1.20	132	3.697	30.704
优化后	1.20	132	3.728	21.625

结束语 对改变较快的输入端引入操作数隔离技术,将比较电路的 32 位总线数据分割成高 1 位和低 31 位;使用锁存器代替了二选一,并引入了与门作为门控时钟;引入了多种操作模式,并根据各子模块的实际需要来设置电源的开关状态;将 SRAM64K×32 分解为 8 个 SRAM8K×32 子块,使得同时只有一个子块处于读写状态。将优化的 SRAM64K×32 应用到 SOC 中,并增加 bypass 逻辑来测试各部分功耗。测试结果表明:优化后的 SRAM64K×32 功耗降低了 29.569%,面积仅增加了 0.836%。

参考文献

[1] Marinissen E K, Prince B, Schulz D K, et al. Challenges in Em-

bedded Memory Design and Test [C] //Proceedings of the Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition, Munich, 2005: 722-727

[2] Hao Jie, Peng Silong. Power-Driven Circuit Netlist Multilevel Partitioning Algorithm [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(2): 190-195

[3] Hobson R F. A New Single-Ended SRAM Cell With Wire-Assist [J]. IEEE Transactions on Very Large Scale Integrated (VLSI) Systems, 2007, 15(2): 173-180

[4] Sinanoglu O. Isolation Techniques for Soft Cores [J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2008, 27(8): 1453-1466

[5] Levacq D, Dessard V, Flandre D. Low Leakage SOI CMOS Static Memory Cell with Ultra-Low Power Diode [J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2007, 42(3): 690

[6] Roy K, Mukhopadhyay S, Meimand H M. Leakage Current Mechanisms and Leakage Reduction Techniques in Deep-Submicrometer CMOS Circuits [J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(2): 305-306

[7] Yu Y, Zhao Q, Shao Z B. A Low Power SRAM/SOI Memory Cell Design [J]. Chinese Journal of Semiconductors, 2006, 27(2): 318-322

[8] Dutt S, Verma V, Suthar V. Built-in-Self-Test of FPGAs with Provable Diagnosabilities and High Diagnostic Coverage with Application to Online Testing [J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2008, 27(2): 309-326

[9] Lee C Y. Design and Chip Implementation of the Segment Weighted Random BIST for Low Power Testing [J]. Journal of Low Power Electronics, 2007, 3(2): 206-216

[10] Tan E M, Song S D, Shi W K. A vector inserting TPG for BIST design with low peak power consumption [J]. High Technology Letters, 2007, 13(4): 418-421

[11] Wang Fei, Hu Yu, Li Xiaowei. Deterministic Diagnosis Pattern Generation for Scan Chain Faults [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(1): 6-11

[12] Kim Y, Kim K, Kim I, et al. A New Scan Power Reduction Scheme Using Transition Freezing for Pseudo-Random Logic BIST [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2008, e91-d(4): 1185-1188

(上接第 286 页)

Donoho 方法。它适用于信噪比变化较大的去噪处理,与经典小波阈值估计去噪算法相比,去噪效果更好,非常适用于实时噪声估计的嵌入式程序开发。

参考文献

[1] 何正嘉. 现代信号处理及工程应用[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2007

[2] Schreiber T. Interdisciplinary application of nonlinear time series methods[J]. Physics Reports, 1999, 308(1): 1-64

[3] Schreiber T, Richter M. Nonlinear projective filtering in a data stream[J]. International Journal of Bifurcation and Chaos, 1999

[4] 朱维杰, 孙进才, 曾向阳. 基于阵列接收数据重采样的频率不变波束形成器[J]. 自然科学进展, 2002, 12(6): 669-672

[5] 孙进才, 朱维杰, 孙铁源. 利用小尺度阵的波达方向的估计[J]. 西北工业大学学报, 2003, 21(2): 218-221

[6] Donoho D L. Denoising by Soft thresholding[J]. IEEE Transac-

tions on Information Theory, 1995, 43: 613-627

[7] 赵淑清, 郑薇. 随机信号分析[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2002

[8] Chang S G, Yu Bin, Vattereli M. Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising and Compression[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2000, 9(9): 1532-1546

[9] Lin L, Holmes W H, Ambikairajah E. Adaptive noise estimation algorithm for speech enhancement[J]. Electronics Letters, 2003, 39(9): 754-755

[10] Yamashita K, Shimamura T. Nonstationary noise estimation using low frequency regions for spectral subtraction[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(6): 465-468

[11] Tsai W H, Wang Hsin-Min. Automatic Singer Recognition of Popular Music Recording via Estimation and Modeling of Solo-Vocal Signals[J]. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 2006, 14(1): 330-341