

压缩感知理论在语音信号去噪中的应用

程经士

(西安航空技术高等专科学校, 陕西 西安 710077)

摘 要:针对小波阈值滤波的局限性,将压缩感知理论应用到语音信号去噪中,并与小波阈值滤波方法进行了比较,仿真实验结果表明:基于压缩感知的小波滤波方法可以有效地去除语音信号中的噪声,并且去噪效果优于传统小波阈值滤波方法,对工程中音频信号的降噪具有指导意义。

关键词:语音信号去噪; 压缩感知; 小波滤波; 信噪比

中图分类号: TN911.7-34

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2012)07-0084-02

Application of compressed sensing theory in speech denoising

CHENG Jing-shi

(Xi'an Aerotechnical College, Xi'an 710077, China)

Abstract: According to limitation of wavelet filter, the compressed sensing theory was applied to sound denoising, and a comparison between wavelet filter based on compressed sensing and traditional wavelet filter was made through experiment. The experiment shows that the wave filter based on compressed sensing can effectively deduct speech noise, and the denosing effect of wavelet filter based on compressed sensing is better than traditional wavelet filter. The method has an engineering significance for sound signal denoising.

Keywords: sound signal denoising wavelet filter; compressed sensing; wavelet filtering; signal noise rate

0 引 言

噪声不仅影响语音可懂度和清晰度,而且造成人耳听觉疲劳,因此语音去噪技术是语音信号处理的一个重要分支,它在解决噪声污染、改进语音质量、提高语音可懂度等方面发挥着重要的作用。

由于小波具有较好的时频分辨特性,近年来,小波滤波理论被广泛应用到语音信号的去噪中^[1]。目前,小波去噪方法大致分为三类^[2],其中,小波阈值去噪方法应用最为广泛。该方法是根据白噪声的小波系数和有用信号的小波系数在幅值上存在不同的表现形式,通过选择适当的阈值将它们分开,从而达到有效滤除噪声和保留高频信息的目的^[3]。文献[4]将软阈值和硬阈值方法进行综合,得到了一种折中的小波滤波阈值选取方法,并在语音信号去噪中取得了较好的效果。文献[5]将小波包应用于语音信号去噪中,在抑制平稳白噪声的同时减小了语音信息的损失。文献[6]通过分析语音信号中的噪声特性,从而自适应地选择小波分解层数和滤波阈值大小,有效地去除了语音信号中的噪声。由于选取适当的小波阈值决定着去噪效果的优劣,因此,目前

大多数研究都集中在小波阈值的最优选择和计算上,限制了小波滤波的应用。

压缩感知理论的核心思想是通过采集信号的非自适应线性投影,然后根据相应的重构算法由量测值重构原始信号^[7]。文献[8]指出由于无噪声信号通过 Mallat 算法得到的小波系数应该是稀疏的,即在各尺度下的小波系数中仅有少量大幅值系数,但当信号存在噪声时,小波系数的稀疏性将大大降低,因此,可以利用压缩感知理论恢复小波系数的稀疏性,达到对信号降噪的目的。采用这种方法避免了小波阈值滤波中阈值选取的问题。

本文将基于压缩感知的小波滤波方法应用到语音信号去噪中,从而达到对信号去噪的目的。实验结果表明,经过基于压缩感知的小波滤波方法对语音信号的去噪效果优于小波阈值滤波方法。

1 基于压缩感知的小波滤波方法对语音信号去噪方法

1.1 压缩感知理论

压缩感知理论是 Candes 和 Donoho 在 2006 年提出的,其核心思想是通过采集信号的非自适应线性投影,然后根据相应的重构算法由量测值重构原始信号^[9]。已知某一个测量矩阵 $\Phi \in R^{M \times N} (M \ll N)$,以及

某信号 $f \in R^N$ 在测量矩阵下的线性量测值 $y \in R^M$, 即:

$$y = \Phi f$$

现考虑由 y 重构 f , 显然, 由于 y 的维数远远低于 f 的维数, 上述方程有无穷多个解, 理论证明, 信号 f 可以由测量值 y 通过求解最优 l_0 范数精确重构:

$$\hat{f} = \operatorname{argmin} \| f \|_0$$

$$\text{s. t. } y = \Phi f$$

或:

$$\hat{f} = \operatorname{argmin} \| y - \Phi f \|_2^2 + \lambda \| f \|_0$$

但 Donoho 指出, 最小 l_0 范数问题求解本质上是一个 NP-hard (Nondeterministic Polynomial-time hard) 问题, 通常需要对该问题进行转换, 因此, 研究人员提出了一系列求得次最优解的算法, 主要包括最小 l_1 范数法、匹配追踪系列算法、迭代阈值法以及最小全变分法等^[7]。

1.2 基于压缩感知的语音信号方法实现步骤

由小波滤波理论可知, 噪声信号在各个尺度下的小波系数不具有稀疏性, 因此, 可以利用压缩感知理论恢复小波系数稀疏性, 从而达到对信号降噪的目的。算法流程如图 1 所示。

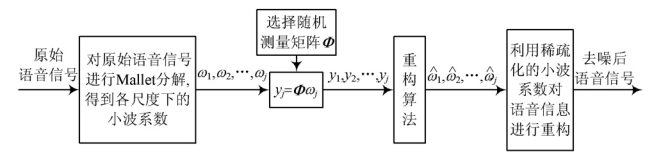


图 1 语音去噪算法流程图

算法中随机测量矩阵 Φ 须满足一致不确定原理 (UUP), 即对于任意 S -稀疏向量 x , 如果:

$$0.8 \frac{M}{N} \| x \|_2^2 \leq \| \Phi x \|_2^2 \leq 1.2 \frac{M}{N} \| x \|_2^2$$

则称 $\Phi_{M \times N}$ 满足集合大小为 S 的 UUP 原理, 其中 $S \leq M \log N$ 。目前常用的感知矩阵是随机矩阵, 如高斯矩阵、贝努利矩阵、傅里叶随机测量矩阵、非相关测量矩阵等^[8]。

2 仿真实验结果及分析

本研究截取一段语音录音, 背景噪声为高斯白噪声, 采用 ‘db4’ 小波对信号进行三层分解, 分别采用小波阈值滤波法和本文方法分别对语音信号进行消噪处理。其中, 小波软阈值滤波方法选用 “Heursure” 启发式阈值, 基于压缩感知的小波滤波方法中的压缩比 M/N 设置为 0.5, 重构方法为贪婪算法中的正交匹配追踪算法 (OMP)。对采集的语音数据处理结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出, 分别采用小波软阈值滤波方法与

本文方法对采集到的语音信号作去噪处理后, 语音信号幅值均有较大幅度下降, 并且去噪后信号的毛刺减少, 表明两种方法均能滤除语音信号中很大一部分噪声信号。通过表 1 可以看出, 使用本文方法后得到的信噪比优于小波滤波方法, 压缩比较大时本文方法的去噪效果较好; 反之, 随着压缩比的减少, 本文算法的去噪性能会略微出现下降, 但还是优于小波滤波方法。

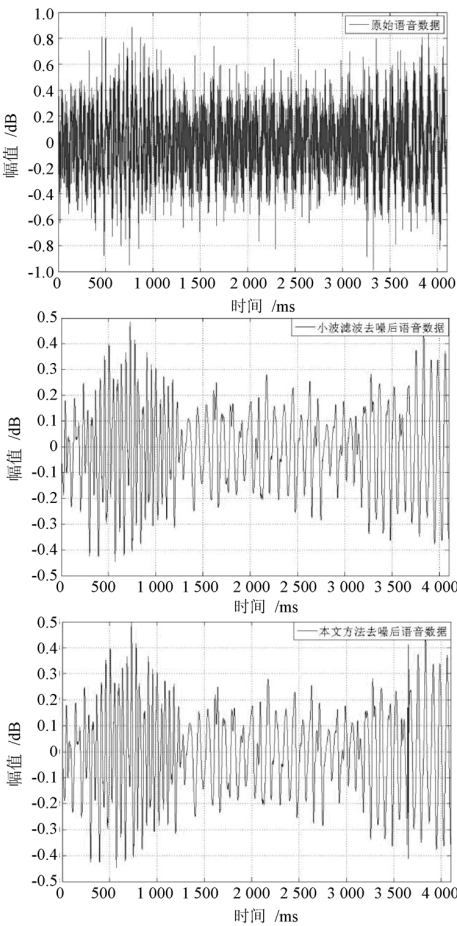


图 2 原始语音数据与去噪后语音数据比较图

表 1 不同去噪算法对语音信号去噪后信噪比

原始信号	小波滤波 方法	本文方法	
		$M/N=0.25$	$M/N=0.5$
SNR	0.776 5	2.214 8	2.174 3
			2.065 8

3 结 论

本文介绍了压缩感知理论并将其应用于语音信号去噪中, 并通过实验与传统的小波阈值滤波方法进行了比较分析, 从仿真结果以及其他性能指标可以看出: 本文方法对音频信号的去噪效果优于小波阈值滤波方法, 虽然随着压缩比的减少, 本文算法对于音频信号的去噪效果会略微出现下降, 但本文方法对音频信号的处理和分析具有指导意义。

(下转第 88 页)

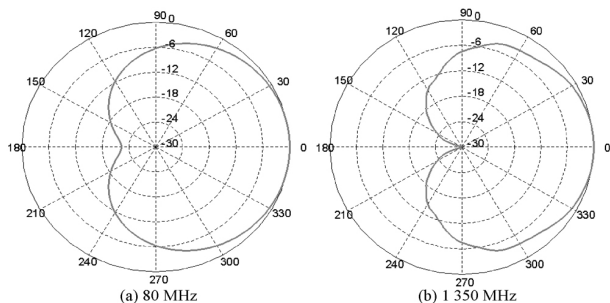


图4 80 MHz和1350 MHz H面方向图

天线的驻波和增益理论计算值和实际计算值如图5、图6所示。

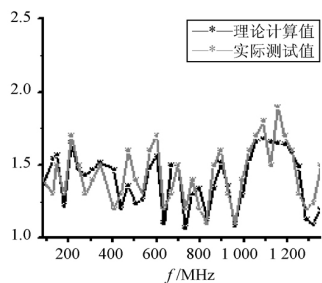


图5 驻波曲线

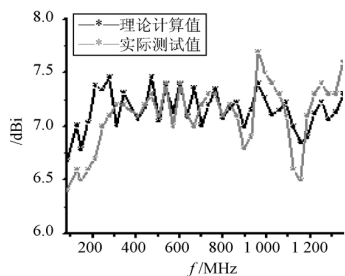


图6 增益曲线

由天线的实际测试 results 和仿真结果可以看出,本天线完全符合设计要求,设计是成功的。

作者简介: 后 骥 男,1976年出生,湖北人,工程师。主要研究方向为天线原理和设计。

魏福显 男,1981年出生,河南人,研究生,工程师。主要研究方向为天线原理和设计。

(上接第85页)

参 考 文 献

- [1] 李荣祥,马春庭,程翔,等. 一种新的小波阈值法在语音信号处理中的应用[J]. 兵工学报,2008,29(3):45-47.
- [2] 潘泉,张磊,梦晋丽,等. 小波滤波方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [3] 毛艳辉,杨根科. 一种改进的语音数据小波阈值的去噪算法[J]. 微型电脑应用,2010,26(11):60-65.
- [4] 付炜,许山川. 基于阈值的小波域语音降噪新算法[J]. 计算机与数字工程,2005,33(11):80-84.

作者简介: 程经士 男,1957年出生,西安人,副教授。主要研究方向为小波滤波、数组信号处理。

4 结 论

传统设计的对数周期天线纵向尺寸大,限制了它的应用。本文通过适当减小天线的间隔因子,通过优化设计获得一组最优的设计参数,在跨频带范围内驻波小、方向图不分裂、增益高、纵向尺寸大大缩小,满足了工程实际要求。由天线的实际测试结果和仿真结果看出,本天线是完全符合设计要求的,经用户反馈,在2008年北京奥体中心使用效果非常好。

参 考 文 献

- [1] 周朝栋,王元坤,周良鹏. 通信天线[D]. 南京:南京通信工程学院,1980.
- [2] 张士兵,张力军. 超宽带无线通信及其关键技术[J]. 电讯技术,2004(5):1-6.
- [3] 王元坤,李玉权. 线天线的宽频带技术[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1995.
- [4] CARREL R L. The design of log-periodic antennas [J]. IRE Int. Conv., Rec., 1961, AP-1: 61-75.
- [5] KRAUS John D. MRHEFKA Ronald J 天线 [M]. 章文勋,译. 北京:电子工业出版社,2006.
- [6] LINDENBLAD N E. Wide band antenna;US, 223972 [P]. 1941-04-29.
- [7] BRILLOUIN L. N. Broad band antenna; US, 2454766 [P]. 1948-11-30.
- [8] 林昌禄,聂在平. 天线工程手册[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [9] 刘江宏,周良明,梁建. 大张角对数周期天线的宽带特性[J]. 电子学报,2001,29(3):337-340.
- [10] 袁伟良,梁昌洪,史小卫. 矩量法结合网络理论分析对数周期偶极子天线[J]. 微波学报,2000,16(2):106-110.
- [11] 周建华,殷建平,张光生. 宽带对数周期天线的优化设计[J]. 电波科学学报,2000,15(2):157-161.

- [5] 徐耀华,王刚,郭英. 基于时频阈值的小波包语音增强算法[J]. 电子与信息学报,2008,30(6):1363-1367.
- [6] 蔡铁,朱杰. 小波阈值降噪算法中最优分解层数的自适应选择[J]. 控制与决策,2006,21(2):217-220.
- [7] 李树涛,魏丹. 压缩传感综述[J]. 自动化学报,2009,35(11):1369-1375.
- [8] 赵瑞珍,刘晓宇. 基于稀疏表示的小波去噪[J]. 中国科学,2010,40(1):33-40.
- [9] CANDÈS E J, TAO T. Near-optimal signal recovery from random projection: universal encoding strategies [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2006, 52: 5406-5426.