

基于联合失真控制的子空间语音增强算法

叶琪^{1,2}, 陶亮¹, 周健^{1,2}, 王华彬¹

(1. 安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽合肥 230031;
2. 安徽大学媒体计算研究所, 安徽合肥 230601)

摘要: 为提高低信噪比环境下的语音可懂度, 提出了一种基于联合失真控制的子空间语音增强算法。由于误差信号中的语音失真和残余噪声分量不能被同时最小化, 同时, 由语音估计器引起的语音放大失真超过 6.02 dB 时会严重损害语音可懂度。为此分别对语音失真和残余噪声进行最小化处理, 最小化时把语音放大失真控制在 6.02 dB 以下作为约束条件, 通过求解两个约束最优化问题得到两个不同的估计器, 再对这两个估计器进行加权求和, 得到一种基于联合失真控制的语音估计器。实验结果表明, 相比于传统的子空间增强方法, 在低信噪比环境下所提出的算法能更有效提高增强后语音的可懂度。

关键字: 语音可懂度; 失真控制; 子空间增强

中图分类号: TN912.35

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2016)-03-0254-06

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2016.03.014

A subspace speech enhancement algorithm based on combined distortion control

YE Qi^{1,2}, TAO Liang¹, ZHOU Jian^{1,2}, WANG Hua-bin¹

(1. Key Laboratory of Intelligent Computing and Signal Processing of Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230031, Anhui, China;

2. Institute of Media Computing, Anhui University, Hefei 230601, Anhui, China)

Abstract: In order to improve speech intelligibility in low signal-to-noise ratio environment, a subspace speech enhancement algorithm combined with distortion control is proposed. Due to the facts that the components of speech distortion and residual noise in the error signal can not be simultaneously minimized and that the amplification distortion of speech in excess of 6.02dB caused by speech estimator will seriously damage the speech intelligibility, the speech distortion and the residual noise are minimized respectively, and meanwhile the speech amplification distortion is kept below 6.02dB as a constraint condition. By solving these two constraint optimization problems, two different estimators are obtained, and then a weighted sum of these two estimators is made to get the speech estimator based on combined distortion control. The results show that the proposed approach can improve enhanced speech intelligibility more effectively in low signal-to-noise ratio environment, compared with the traditional subspace enhancement method.

Key words: speech intelligibility; distortion control; subspace enhancement

0 引言

自语音增强技术被提出以来, 该技术被广泛地应用到助听器、通讯设备以及自动识别等系统中。现有的增强技术主要分为四类, 谱减法类^[1]、维纳滤波类^[2]、统计模型类^[3]和子空间类^[4-7]。子空间方法将估计误差分为语音失真和残余噪声两部分, 并在这两部分之间进行权衡控制。相比于其他方法, 经子空间法处理后的语音受到音乐噪声的影响较

小。Ephraim 等^[4]假设背景噪声为白噪声, 利用卡胡南-洛夫变换(Karhunen-Loeve Transform, KLT)变换将含噪语音空间分解为相正交的信号子空间和噪声子空间, 最后将噪声子空间置零, 从信号子空间中估计出语音信号。为了处理有色噪声的情况, Mittal 等^[5]将含噪语音帧按噪声帧和语音帧分类, 并分别处理。Rezayee 等^[6]则利用语音信号特征向量近似对角化噪声协方差矩阵, 得到次优估计方法。Yi Hu 等^[7]提出了基于广义特征值分解的方法, 获得了有色噪声下的最优估计器。

传统算法的主要目的是改善语音质量, 并不一定能提高语音可懂度。Yi Hu 等^[8]对 4 类不同的增强算法是否能提高语音可懂度进行了研究。研究发现, 传统算法并不能提高语音可懂度, 低信噪比的情况下甚至会降低可懂度。Loizou 等^[9]分析了传统

收稿日期: 2015-05-23; 修回日期: 2015-08-23

基金项目: 国家自然科学基金(61301295, 61372137)、安徽省自然科学基金(130805QF100)、安徽大学博士启动资金资助项目。

作者简介: 叶琪(1990—), 女, 安徽宣城人, 硕士研究生, 研究方向为语音增强。

通讯作者: 叶琪, E-mail:yeqi17@126.com

算法不能提高语音可懂度的因素。研究发现, 由增益函数引起的语音放大失真和语音衰减失真对可懂度的影响不同, 超过 6.02 dB 的放大失真会严重损害可懂度, 衰减失真对可懂度的影响却很小。为提高语音可懂度, 有不少研究人员在增强算法的设计中引入了失真控制, 直接或间接地找出对可懂度有害的放大失真区域, 再将增强后语音的放大失真约束在 6.02 dB 以下^[10-13]。也有学者利用非对称代价函数对衰减失真和放大失真给予不同的惩罚力度^[14], 以削弱放大失真的影响。

传统子空间增强方法在增强过程中只考虑最小化误差信号中的语音失真分量, 也没有对衰减失真和放大失真进行分类控制。本文对基于广义特征值分解算法的估计器推导进行改进, 由于语音失真和残余噪声不能被同时最小化, 本文通过分别最小化语音失真和残余噪声, 同时引入失真控制, 将语音放大失真控制在 6.02 dB 以下作为约束条件, 对求解出的两个语音估计器进行加权求和, 得到最终的语音估计器。

1 基于广义特征值分解的子空间语音增强

在单通道子空间语音增强算法中, 假设干净语音信号和加性噪声不相关, 含噪语音表示如下:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (1)$$

其中, \mathbf{y} 、 \mathbf{x} 、 \mathbf{n} 分别是 K 维的含噪语音、干净语音、干扰噪声。令 $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{y}$ 是干净语音 \mathbf{x} 的线性估计, \mathbf{H} 是 $K \times K$ 的线性估计器, 由估计产生的误差信号为

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x} = (\mathbf{H} - \mathbf{I}) \cdot \mathbf{x} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{n} = \boldsymbol{\varepsilon}_x + \boldsymbol{\varepsilon}_n \quad (2)$$

其中, $\boldsymbol{\varepsilon}_x$ 和 $\boldsymbol{\varepsilon}_n$ 分别表示语音失真和残余噪声。语音失真和残余噪声能量定义如下^[4]:

$$\begin{aligned} \overline{\varepsilon_x^2} &= \text{tr}(\mathbf{E}[\boldsymbol{\varepsilon}_x \boldsymbol{\varepsilon}_x^\top]) = \text{tr}((\mathbf{H} - \mathbf{I}) \mathbf{R}_x (\mathbf{H} - \mathbf{I})^\top) \\ \overline{\varepsilon_n^2} &= \text{tr}(\mathbf{E}[\boldsymbol{\varepsilon}_n \boldsymbol{\varepsilon}_n^\top]) = \text{tr}(\mathbf{H} \mathbf{R}_n \mathbf{H}^\top) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, \mathbf{R}_x 和 \mathbf{R}_n 分别是干净语音和噪声的协方差矩阵。最优线性估计器可以通过求解以下约束最优化问题得到:

$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{H}} \overline{\varepsilon_x^2} \\ \text{subject to: } &\frac{1}{K} \overline{\varepsilon_n^2} \leq \sigma^2 \end{aligned} \quad (4)$$

其中, σ^2 是一个正常量, 利用拉格朗日乘子法对式(4)求解, 可得最优估计器:

$$\mathbf{H}_{\text{opt}} = \mathbf{R}_x (\mathbf{R}_x + \mu \mathbf{R}_n)^{-1} \quad (5)$$

其中, μ 为拉格朗日乘子。为了将式(5)化简, 设

$\boldsymbol{\Sigma} = \mathbf{R}_n^{-1} \mathbf{R}_x$, $\boldsymbol{\Sigma}$ 的特征向量矩阵可以同时对角化 \mathbf{R}_x 和 \mathbf{R}_n , 具体如下:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}^\top \mathbf{R}_x \mathbf{V} &= \mathbf{A}_x \\ \mathbf{V}^\top \mathbf{R}_n \mathbf{V} &= \mathbf{I} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, \mathbf{A}_x 和 \mathbf{V} 分别是 $\boldsymbol{\Sigma}$ 的特征值对角矩阵和特征向量矩阵, 将式(6)代入式(5)中, 可得估计器为:

$$\mathbf{H}_{\text{opt}} = \mathbf{V}^{-\top} \mathbf{A}_x (\mathbf{A}_x + \mu \mathbf{I})^{-1} \mathbf{V}^\top \quad (7)$$

2 基于联合失真控制的子空间语音增强算法

经估计器处理得到的估计语音和干净语音间会存有误差, 当误差为负值时, 说明由估计器引起了衰减失真, 相反, 则是放大失真。文献[9]研究发现, 设 \mathbf{X} 和 $\hat{\mathbf{X}}$ 分别是干净语音和估计语音的幅度谱, 则当 $2\mathbf{X} < \hat{\mathbf{X}}$, 即放大失真超过 6.02 dB 时, 语音可懂度损失严重。为提高可懂度, 将放大失真控制在 6.02 dB 以下, 即需使 $\hat{\mathbf{X}} \leq 2\mathbf{X}$, 将其转化为下式:

$$\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{X} \leq \mathbf{X} \quad (8)$$

转化式(8)得到下式:

$$\mathbf{E}\{\|\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{X}\|^2\} \leq \mathbf{E}\{\|\mathbf{X}\|^2\} \quad (9)$$

其中, $\mathbf{E}\{\|\hat{\mathbf{X}} - \mathbf{X}\|^2\}$ 为误差信号能量 $\overline{\varepsilon^2}$, 其值等于语音失真能量 $\overline{\varepsilon_x^2}$ 和残余噪声能量 $\overline{\varepsilon_n^2}$ 之和, 即 $\overline{\varepsilon^2} = \overline{\varepsilon_x^2} + \overline{\varepsilon_n^2}$, $\mathbf{E}\{\|\mathbf{X}\|^2\}$ 是干净语音能量, 令 $\alpha = \mathbf{E}\{\|\mathbf{X}\|^2\}$, 可按下式求解出线性估计器 \mathbf{H}_1 :

$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{H}_1} \overline{\varepsilon_x^2} \\ \text{subject to: } &\overline{\varepsilon_x^2} + \overline{\varepsilon_n^2} \leq \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

将式(3)代入式(10), 得到如下估计器 \mathbf{H}_1 方程:

$$\mathbf{H}_1 \mathbf{R}_x - \mathbf{R}_x + \mu (\mathbf{H}_1 \mathbf{R}_x - \mathbf{R}_x + \mathbf{H}_1 \mathbf{R}_n) = 0 \quad (11)$$

由式(11)解得的估计器为:

$$\mathbf{H}_1 = (1 + \mu) \mathbf{R}_x [(1 + \mu) \mathbf{R}_x + \mu \mathbf{R}_n]^{-1} \quad (12)$$

将式(6)代入式(12), 可将估计器化简为

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{V}^{-\top} (1 + \mu) \mathbf{A}_x ((1 + \mu) \mathbf{A}_x + \mu \mathbf{I})^{-1} \mathbf{V}^\top \quad (13)$$

其中, 设

$$\mathbf{Q}_1 = (1 + \mu) \mathbf{A}_x ((1 + \mu) \mathbf{A}_x + \mu \mathbf{I})^{-1} \quad (14)$$

上述估计器在最小化语音失真的基础上推出, 由于语音失真和残余噪声不能被同时最小化^[4], 但在增强后语音中, 两者同时存在, 并共同影响增强后语音的质量和可懂度。为减小两种失真对增强后语音可懂度的影响, 本文通过最小化残余噪声推出另外一个估计器 \mathbf{H}_2 , 最后利用 \mathbf{H}_1 和 \mathbf{H}_2 加权求和,

得到基于联合控制的估计器。

$$\begin{aligned} & \min_{H_2} \overline{\varepsilon_n^2} \\ & \text{subject to: } \overline{\varepsilon_x^2} + \overline{\varepsilon_n^2} \leq \alpha \end{aligned} \quad (15)$$

将式(3)代入式(15), 求得 H_2 为

$$H_2 = V^{-T} \mu A_x (\mu A_x + (1+\mu) I)^{-1} V^T \quad (16)$$

其中, 设

$$Q_2 = \mu A_x (\mu A_x + (1+\mu) I)^{-1} \quad (17)$$

综合得到最终的估计器 H 为

$$\begin{aligned} H &= (1-\beta) H_1 + \beta H_2 = \\ & V^{-T} \cdot [(1-\beta) Q_1 + \beta Q_2] V^T \end{aligned} \quad (18)$$

$$\beta = \frac{1}{1+SNR} \quad (19)$$

$$SNR = \frac{\text{tr}(V^T R_x V)}{\text{tr}(V^T R_n V)} = \frac{\sum_{k=1}^K \lambda_x^k}{K} \quad (20)$$

其中: λ_x^k 是语音信号的第 k 个特征值; β 是平滑因子, β 值根据信噪比 SNR 调整, 文献[15]研究表明, 含噪语音经处理后, 低信噪比区域和弱语音段会存有更多的对可懂度有害的放大失真, 即超过 6.02 dB 的放大失真。所以, 当 SNR 比较低时, 含噪语音中噪声比较多, 增强后语音中的残余噪声能量多过语音能量, 使得语音信息被掩蔽, 会降低语音可懂度, 因而此时主要任务是降低增强语音中含有的残余噪声; 当 SNR 比较高时, 含噪语音中的语音能量占主导地位, 需主要减少增强后语音中的语音失真。

根据上述思路, 本文改进算法实施步骤如下:

(1) 估计出含噪语音协方差矩阵 R_y 和噪声协方差矩阵 R_n , 再利用 $\Sigma = R_n^{-1} R_y - I$ 估计出矩阵 Σ ;

(2) 对 Σ 进行特征值分解, 得到特征值对角矩阵 A_x 和特征向量矩阵 V ;

(3) 估计干净语音协方差矩阵的特征值, 将 Σ 特征值中小于 0 的特征值置零, $A_x = \max(A_x, 0)$, 最后非零特征值个数为语音信号子空间维数;

(4) 按下式计算 μ 值:

$$\mu = \begin{cases} \mu_0 - (SNR_{dB})/s, & -5 < SNR_{dB} < 20 \\ 1, & SNR_{dB} \geq 20 \\ 2, & SNR_{dB} \leq -5 \end{cases} \quad (21)$$

其中, $\mu_0 = 4.2$, $s = 6.25$, $SNR_{dB} = 10 \lg SNR$, SNR 由式(20)计算得到。

(5) 按式(19)计算出 β 值。

(6) 按式(18)得到估计器 H 。

3 实验仿真及结果分析

为验证本文算法对语音可懂度增强的有效性, 使用 Matlab 进行实验仿真。采用选自 IEEE 句子语音库中的 50 句语音作为干净语料。噪声数据选用 Noisex92 数据库^[16]中的 White 高斯白噪声、m109 坦克噪声和 Babble 噪声。实验中, 干净语料和噪声数据使用的采样率为 8 kHz, 帧长设为 32 ms, 帧间重叠率为 50%。

首先, 在 50 句干净语音中选一句加入 0 dB 的 m109 噪声作为带噪语音, 语音内容为“*A rod is used to catch pink salmon.*”, 共 8 个单词, 采用传统子空间算法和本文算法得到的增强后语音的波形图和语谱图如图 1、2 所示。从图 1、2 可以看到, 增强语音的图形与干净语音非常接近, 本文算法可以保留更多语音信息, 在提高可懂度的同时, 也能有效去除背景噪声。

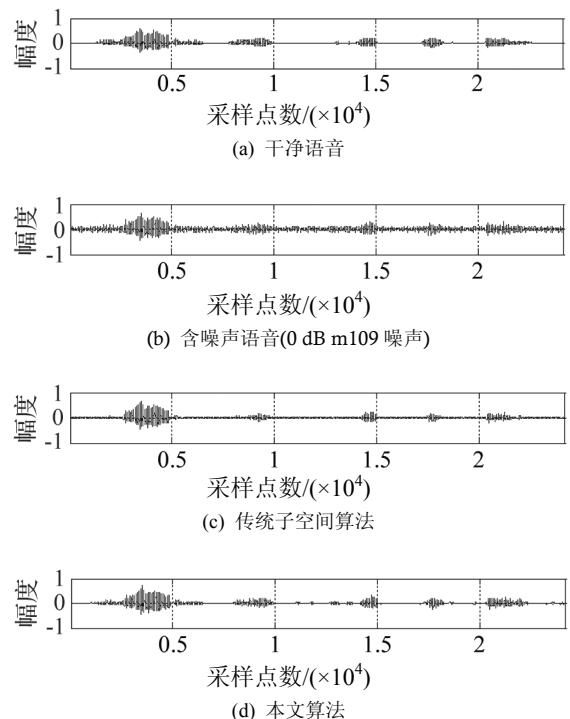


图 1 波形图
Fig.1 Speech waveforms

其次, 用 4 种信噪比将干净语音和噪声进行混合, 信噪比分别为: -6、-3、0、3 dB。采用 4 种处理方式: 加噪未处理、文献[7]时域估计器 TDC(Time Domain Constraints)、文献[7]频域估计器 SDC(Spectrum Domain Constraints) 和本文算法去噪处理。实验取 50 个测试语音评测值的平均值作为

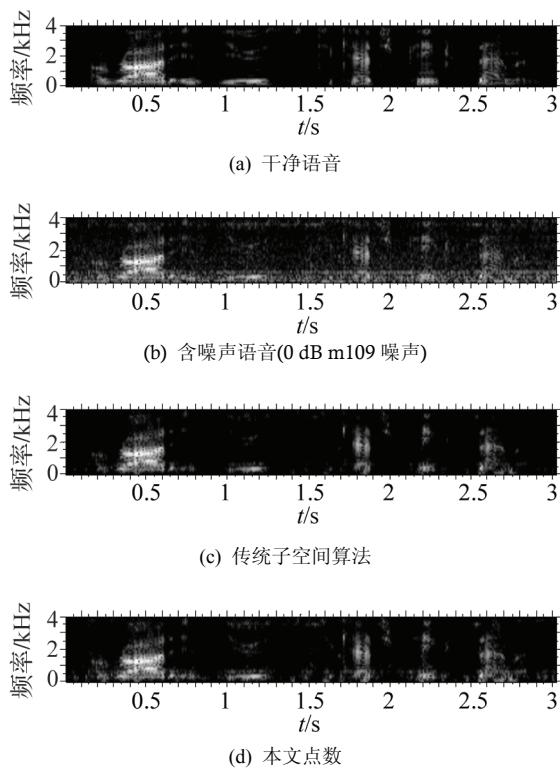


图2 语谱图
Fig.2 Speech spectrograms

语音增强后可懂度的评价值。使用可懂度衡量指标信噪比损失值 SNR_{Loss} ^[17] 和 STOI(Short-Time Objective Intelligibility)^[18] 对 4 种不同处理方式处理后语音可懂度性能进行评价。 SNR_{Loss} 算法通过比较增强前后语音的各子带激励谱信噪比丢失的方法进行可懂度测试, 信噪比损失值越大, 语音的可懂度越小。STOI 算法给出一个(0,1)范围内的值, STOI 值越大, 表示增强后的语音可懂度越高。 SNR_{Loss} 评测结果见图 3, STOI 评测结果见图 4。

从图 3 中可以看到, 在不同噪声的不同信噪比下, 本文算法的 SNR_{Loss} 评测值要明显低于加噪未处理和文献[7]中 TDC 和 SDC 的评测值, 即便输入信噪比为-6 dB 情况下, SNR_{Loss} 值远小于其他三种处理方式。信噪比丢失值越小, 说明语音的可懂度效果越好。图 4 显示的本文算法的 STOI 值要明显高于其他三种处理方式。本文算法通过将放大失真控制在 6.02 dB 以下, 在信噪比较低时, 以更多地抑制误差信号中的残余噪声成分, 降低由估计器引起的放大失真, 在信噪比较高时, 语音能量能对噪声能量起掩蔽作用, 以抑制误差信号中的语音失真成分为主。 SNR_{Loss} 和 STOI 的评测结果表明, 本文算法可取得更好和更稳定的可懂度效果。

最后, 为进行主观听辨实验, 挑选 2 男 2 女共 4 名听力正常测试者进行词语听辨测试, 被试听的

语音包括加噪未处理和经 TDC 估计器、SDC 估计器和本文算法去噪处理后的增强语音, 其中 UN 表示加噪未处理的情况。分别在上述 4 种信噪比和 3 种背景噪声下进行听辨实验。表 1 给出了不同算法

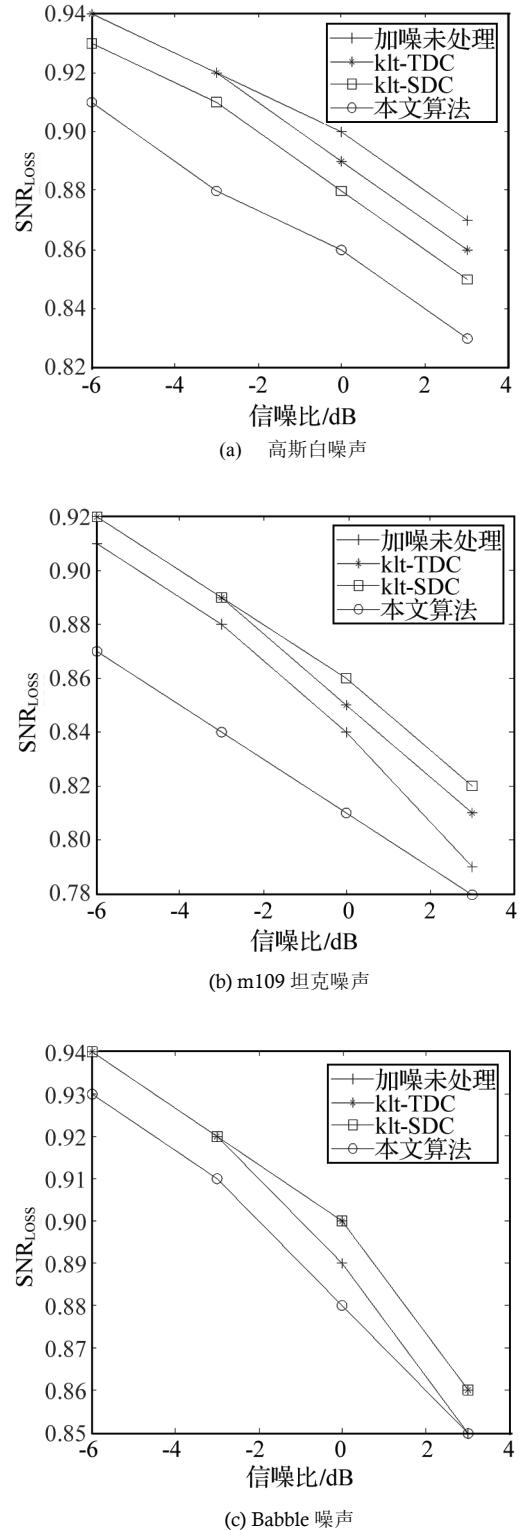


图3 不同背景噪声下不同算法的平均 SNR_{Loss} 值
Fig.3 Average SNR_{Loss} values obtained with different algorithms in different noise backgrounds

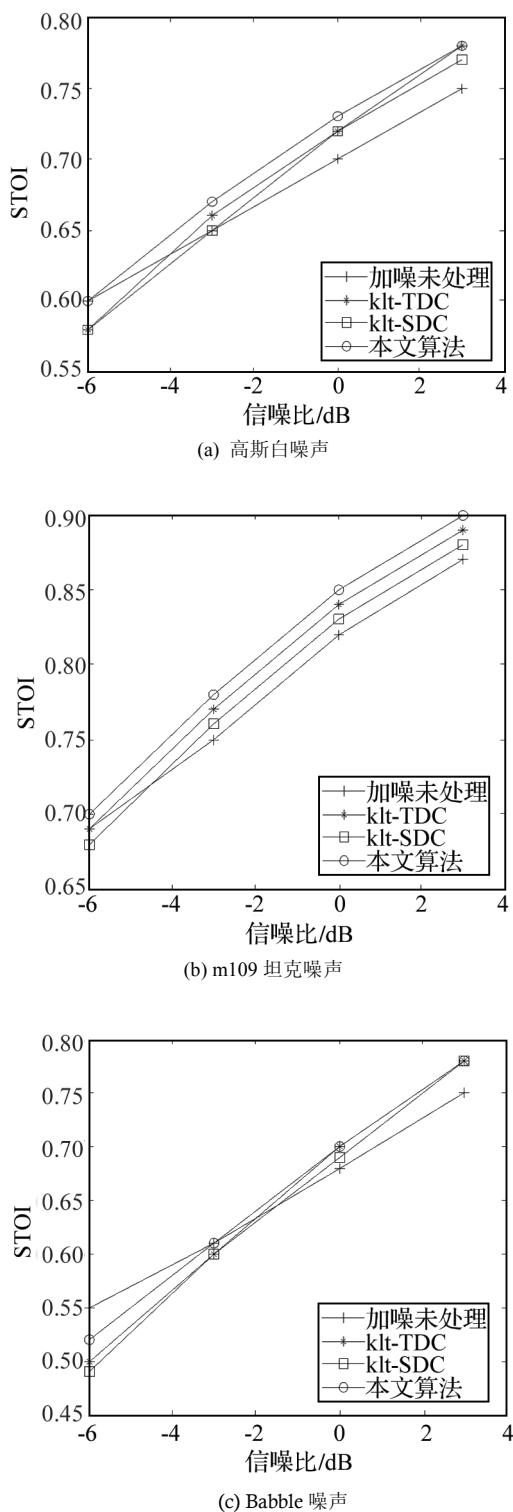


图 4 不同背景噪声下不同算法的平均 STOI 值
Fig.4 Average STOI values obtained with different algorithms in different noise backgrounds

增强后语音听辨实验中的平均词语识别率。从表 1 中可以看出，在三种不同噪声背景下，本文算法的词语识别率明显高于改进前的算法，进一步证实了本文算法可懂度增强效果的有效性。

表 1 不同背景噪声下不同算法的词语识别率比较
Table 1 The word recognition rate obtained with different algorithms in different noise backgrounds

Noise	SNR/dB	算法效果/%			
		UN	TDC	SDC	本文算法
White	-6	30.59	29.44	29.32	33.30
	-3	42.15	42.08	41.81	45.16
	0	56.61	57.44	56.91	59.49
	3	68.66	70.11	69.54	72.01
M109	-6	35.62	36.03	35.54	38.90
	-3	45.12	46.70	45.89	47.94
	0	59.06	59.82	59.64	61.25
	3	70.68	71.86	71.45	73.71
Babble	-6	28.66	26.56	26.32	27.99
	-3	37.57	36.91	36.84	37.89
	0	51.25	52.40	51.25	52.97
	3	63.54	64.86	64.73	65.18

4 结 论

本文提出了一种基于联合失真控制的子空间语音增强算法。将对超过 6.02 dB 的放大失真的控制结合到约束最优化问题中，即在最小化语音失真的同时，将语音失真和残余噪声同时进行约束，得到基于语音失真的估计器。另外，由于误差信号中存在的语音失真和残余噪声不能被同时最小化，在信噪比不同区域，语音失真和残余噪声的含量又各不相同，所以推出基于残余噪声的估计器，即最小化残余噪声，并同时约束语音失真和残余噪声。最后将上述两个不同的估计器加权求和得到新的估计器，信噪比低时，以最小化残余噪声为主，信噪比高时，以最小化语音失真为主。本文算法通过对放大失真的控制，减少由放大失真对语音可懂的损害。实验结果表明，相比于加噪未处理和 YiHu 提出的子空间算法，本文算法有更有效、更稳定的可懂度增强效果。

参 考 文 献

- [1] Boll S. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction[J]. Acoustics Speech & Signal Processing IEEE Transactions on, 1979, 27(2): 113-120.
- [2] Scalart P, Filho J V. Speech enhancement based on a priori signal to noise estimation[C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing(ICASSP), Atlanta, 1996, 2: 629-632.
- [3] Ephraim Y, Malah D. Speech enhancement using a minimum-mean square error short-time spectral amplitude estimator[J]. Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on, 1984, 32(6): 1109-1121.
- [4] Ephraim Y, Van Trees H L. A signal subspace approach for speech enhancement[J]. Speech and Audio Processing, IEEE Transactions on, 1995, 3(4): 251-266.
- [5] Mittal U, Phamdo N. Signal/noise KLT based approach for en-

- hancing speech degraded by colored noise[J]. Speech & Audio Processing IEEE Transactions on, 2000, **8**(2):1847-1850.
- [6] Rezayee A, Gazor S. An adaptive KLT approach for speech enhancement[J]. Speech & Audio Processing IEEE Transactions on, 2001, **9**(2): 87-95.
- [7] Hu Y, Loizou P C. A generalized subspace approach for enhancing speech corrupted by colored noise[J]. Speech and Audio Processing, IEEE Transactions on, 2003, **11**(4): 334-341.
- [8] Hu Y, Loizou P C. A comparative intelligibility study of single-microphone noise reduction algorithms[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2007, **122**(3): 1777-1786.
- [9] Loizou P C, Kim G. Reasons why current speech-enhancement algorithms do not improve speech intelligibility and suggested solutions[J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2011, **19**(1): 47-56.
- [10] Li N, Bao C C, Xia B Y, et al. Speech intelligibility improvement using the constraints on speech distortion and noise over-estimation[C]//IEEE International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Beijing, 2013: 602-606.
- [11] 郭利华, 马建芬. 具有高可懂度的改进的维纳滤波的语音增强算法[J]. 计算机应用与软件, 2014, **31**(11): 155-157.
- GUO Lihua, MA Jianfen. An improved wiener filtering speech enhancement algorithm with high intelligibility[J]. Computer Applications and Software, 2014, **31**(11):155-157.
- [12] Yang Y X, Ma J F. Speech Intelligibility Enhancement Using Distortion Control[J]. Advanced Materials Research, 2014, **912-914**: 1391-1394.
- [13] Ma Y, Nishihara A. A modified Wiener filtering method combined with wavelet thresholding multitaper spectrum for speech enhancement[J]. EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2014, **2014**(1): 1-11.
- [14] 周健, 郑文明, 王青云等. 提高耳语音可懂度的非对称压缩语音增强方法[J]. 声学学报, 2014, **39**(4): 501-508.
- ZHOU Jian, ZHENG Wenming, WANG Qingyun, et al. An asymmetric attenuated speech enhancement approach for improving intelligibility of noisy whisper[J]. Acta Acustica, 2014, **39**(4): 501-508.
- [15] Montazeri V, Khoubrouy S A, Panahi I M S. Evaluation of a new approach for speech enhancement algorithms in hearing aids[C]// IEEE International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012: 2857-2860.
- [16] Varga A, Steenken H J M. Assessment for automatic speech recognition: II. NOISEX-92: A database and an experiment to study the effect of additive noise on speech recognition systems[J]. Speech Communication, 1993, **12**(93): 247-251.
- [17] Ma J, Loizou P C. SNR loss: A new objective measure for predicting the intelligibility of noise-suppressed speech[J]. Speech Communication, 2011, **53**(3): 340-354.
- [18] Taal C, Hendriks R, Heusdens R, et al. An algorithm for intelligibility prediction of time-frequency weighted noisy speech[J]. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 2011, **49**(7): 2125-2136.

中国科学院声学研究所东海研究站成功举办 2016“相约东海”系列学术报告会

2016年5月13日上午,中国科学院声学研究所东海研究站成功举办了2016“相约东海”系列学术报告会。胡长青研究员、向大威研究员及在站职工、学生共计20余人参加了本次会议。

本次“相约东海”系列学术交流会特邀俄罗斯科学院大气物理研究所 Igor Chunchuzov 教授出席并作题为“Infrasound propagation in the atmosphere in a presence of anisotropic wind and temperature inhomogeneities”的学术报告,在报告中教授就大气中次声传播的研究背景、应用领域等作了精彩讲演,并重点介绍了近些年的相关研究工作。

本次报告会内容丰富,向大威教授与俄罗斯专家展开了传感器方面的问题讨论,同时,在站职工、学生也积极抓住交流机会,提了许多问题,使得现场的学术氛围浓厚,同时也让在站职工、学生更加了解了次声的最新国际研究进展,为以后的工作拓展了视野,达到了良好的交流效果。