

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2017.03.010

医学信号处理与医学仪器

电子耳蜗n of m算法的特性

陈又圣,王健,陈伟芳

深圳信息职业技术学院,广东 深圳 518000

【摘要】目前主流的电子耳蜗言语处理策略包括基于提取特征的算法和基于滤波器组的算法。SPEAK算法和ACE算法是主要的基于滤波器组的算法策略,而从算法结构上来说,都属于n of m策略。n of m策略的频带划分数量和最大谱峰选择数量可调,有助于基于语音特征更好地传递目标信号。本文研究电子耳蜗n of m算法的特征,比较算法参数特征的变化,为算法改进及算法嵌入提供研究基础,具有较高的理论价值和应用价值。

【关键词】电子耳蜗;言语处理策略;语音信号;算法特征

【中图分类号】R318;TH776

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)03-0266-06

Feature of n of m algorithm for cochlear implant

CHEN Yousheng, WANG Jian, CHEN Weifang

Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518000, China

Abstract: At present, the mainstream speech processing strategy of cochlear implant includes feature extraction-based algorithm and filter bank-based algorithm. SPEAK and ACE algorithms are the main filter bank-based algorithms, which can be considered to be n of m strategy as their algorithm structures. The n of m strategy has adjustable quantity of frequency bands and maximal spectral peak, which helps to transfer desired signal based on speech features. Herein, the features of n of m algorithm for cochlear implant were studied and the changes of algorithm parameter features were compared. With theoretical and practical values, the study provides research basis for algorithm improvement and algorithm implanting.

Keywords: cochlear implant; speech processing strategy; speech signal; algorithm feature

前言

目前我国听力障碍人群众多,基于听力损失的程度可以选择佩戴助听器或者植入电子耳蜗。对于耳朵内部毛细胞损失较多的听力损失患者,植入电子耳蜗通过产生电刺激来刺激听觉神经并产生听觉感知是目前针对该类患者最为有效的方式。经过多年的发展,电子耳蜗的性能已经有了很大的提高,电子耳蜗在安静环境下的识别率已经较高,而噪声环境下的识别率仍有待提高^[1-4]。目前主流的电子耳蜗

言语处理策略是基于连续交替采样策略(Continuous Interleaved Sampling Strategy,即CIS言语处理策略^[5-6])发展起来的,该策略是把信号用滤波器组划分为若干频带,每个频带近似为窄带信号,然后每个频带分别用一组纯音信号来调制其包络能量,每一组纯音的频率与对应刺激电极的刺激频率对应。CIS言语处理策略的特点是分频带和连续交替刺激(即瞬时只有一个电极在刺激)。基于CIS言语处理策略的算法结构发展起来了其它的算法模式,比如广泛使用的SPEAK算法^[7]和ACE算法^[8],而从算法架构上看,它们都可以认为是n of m算法^[9-10]的一种特定情形,即从电子耳蜗滤波器组m个通道中选取n个最大的频带传输到电子耳蜗体内机电极阵列上并用于刺激听觉神经,以产生更好的听觉感知能力。而近年来开发的一些电子耳蜗研究平台的硬件结构和算法处理适合用于n of m算法的植入,因此,本文重点研究n of m算法策略的特征,通过提取算法特征并比较不

【收稿日期】2016-12-22

【基金项目】国家自然科学基金(81401539);广东省自然科学基金博士启动基金(2016A030310073);深圳科技计划基础研究(JCYJ20160415114250896)

【作者简介】陈又圣,男,博士,讲师,主要研究方向:语音增强、麦克风阵列波束形成、电子耳蜗言语处理、医疗仪器设计, E-mail: chenyoushengtsinghua@aliyun.com

【通信作者】王健,女,博士,副教授,主要研究方向:听觉音高感知、语音信号处理, E-mail: wangj01@szit.com.cn

同状态下算法的特征变化,有助于进一步探索基于汉语特征的电子耳蜗言语处理策略^[11-13]。

1 n of m 言语处理策略的算法架构

n of m 言语处理策略的算法结构如图 1 所示,图 1 表示的是电子耳蜗 n of m 言语处理策略的算法结构。麦克风采集到的目标信号通过电子耳蜗滤波器

组进行频带划分形成 m 个子带,每个通道通过整流和低通滤波的方式提取各频带对应的包络信息,然后计算每通道包络的能量并进行排序,选出能量最大的 n 个序列。该 n 个序列对应着选取的电子耳蜗通道 x_1, x_2, \dots, x_n ,对选取的 n 个最大的通道进行动态范围的压缩和声电压缩后传递到电极阵列上用于刺激听觉神经并获得听力感知效果。

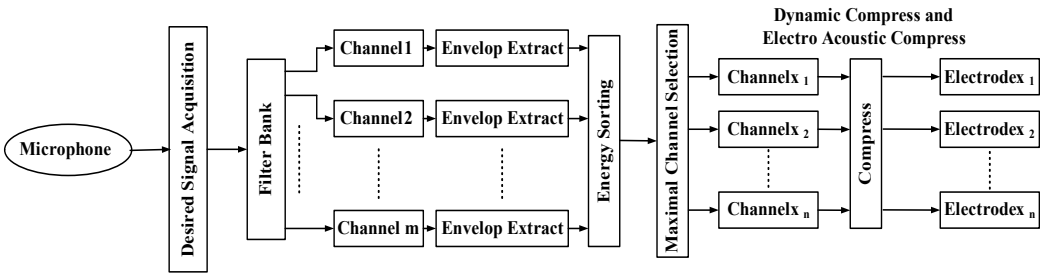


图1 连续交替采样策略的算法结构图
Fig.1 Algorithm structure of continuous interleaved sampling strategy

2 算法特征提取及分析

2.1 硬件系统及信号采集

本文开发了一套电子耳蜗信号采集平台用于实验研究,目标信号用音箱播放,距离硬件系统 1 m,全向性麦克风采集到的信号经过硬件预处理电路的放大和滤波后,通过 USB 方式传输到计算机中保存,然后用 Matlab 进行信号特征的提取和分析。本实验选取的语料是女声“Great”(美式英语),信号波形如图 2 所示。

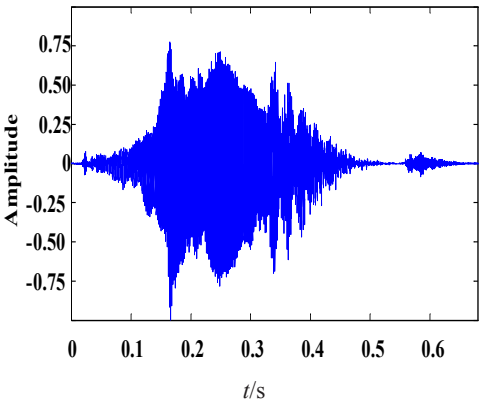


图2 采集的原始信号波形
Fig.2 Waveform of original recorded signals

本文选取单词作为语料是为了便于细节波形特征的比较,短时的单个单词时长短,通过不同 n of m 电子耳蜗言语处理策略系数调整用于细节特征的比较。

2.2 n of m 算法的参数变化及波形特征

电子耳蜗 n of m 算法所划分的频带和选取用于

刺激的频带数是不同的,为了研究不同频带的信号特征变化,本文通过调整 n 和 m 的参数值来研究 n of m 策略的特征。本文分析了 3 类参数变化情形,即固定 m 参数增大 n 值、固定 n 参数增加 m 值和 m、n 等比例增加 3 类。

首先是固定 m 参数增大 n 值,选取 8 通道电子耳蜗,并依次选取最大的 2 频带、4 频带和 6 频带,即 2 of 8、4 of 8、6 of 8 言语处理策略,通过该算法 3 种参数处理后的信号波形如图 3 所示(为了便于比较,信号能量进行了均衡,即信号的总能量保持一致)。

图 3 比较了 8 通道电子耳蜗在 n of m 言语处理策略中选取不同 n 值对应的输出信号波形。图 3a₁ 为原始信号的波形图,对比 2 of 8 策略(图 3b₁)、4 of 8 策略(图 3c₁)和 6 of 8 策略(图 3d₁),可以看到, n of m 策略的各个波形包络与原始信号的包络总体较为一致,因此 n of m 策略能较好地提取目标信号的特征,但 2 of 8 策略的波形较 4 of 8 和 6 of 8 策略偏差较大。为了进一步比较相同电子耳蜗通道数而提取不同频带的信号差别,图 3a₂、图 3b₂、图 3c₂、图 3d₂ 分别为截取 0.3~0.5 s 时间段内的一小段语音信号并放大显示。可以看到,图 3a₂ 中信号成分复杂,波形变化多,而图 3b₂ 中 2 of 8 策略的波形较少,波形跟随性在总体上具有较好匹配性,但在细节上的匹配性有所减弱,而 4 of 8 策略和 6 of 8 策略在细节上的匹配性增强,波形成分也增多,这说明 n of m 策略里选取的频带更多有助于获取目标信号的特征。

对于固定 n 参数增加 m 值的情形,选取电子耳蜗

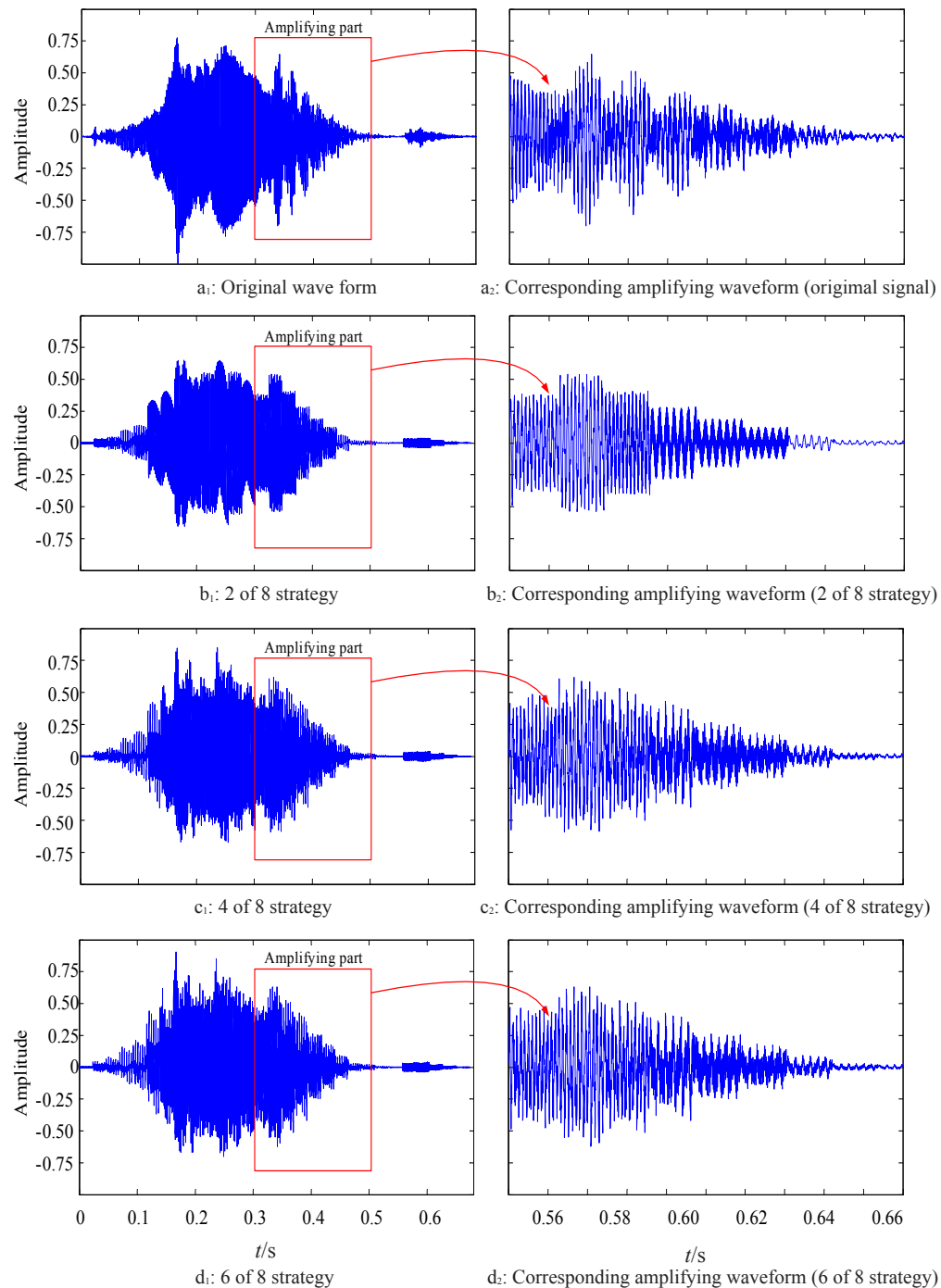


图3 2 of 8、4 of 8、6 of 8 言语处理策略的波形比较

Fig.3 Waveform comparison among 2 of 8, 4 of 8 and 6 of 8 speech processing strategies

6 of 16 策略、6 of 20 策略和 6 of 24 策略的算法处理后的信号波形如图 4 所示。图 4 是选取相同的 6 个频带数而电子耳蜗通道数不同时的信号波形。与图 3a₁ 的原始波形比较,可以看到,当电子耳蜗通道数增大时,波形包络的失配会有所增大。例如,24 通道电子耳蜗(6 of 24 策略)在 0.22~0.28 s 的位置波形包络分裂出两个明显的峰。因此,从波形匹配角度看,固定筛选的频带数(n 值)并增加通道数(m 值)会增加波形失配性。

对于 m 和 n 等比例增加的情形,本文用通道筛选比 Q 表示电子耳蜗筛选的通道比例,如式(1)所示:

$$Q = \frac{n}{m} \quad (1)$$

式中, m 为电子耳蜗通道数, n 为电子耳蜗筛选的频带数。

对于固定的通道筛选比来说($Q=0.5$),信号在 8 of 16、10 of 20 和 12 of 24 言语处理策略条件下的信号波形如图 5 所示。从图 5 可以看到,在相同的通道筛选比条件下($Q=0.5$),信号的波形匹配特性与图 4

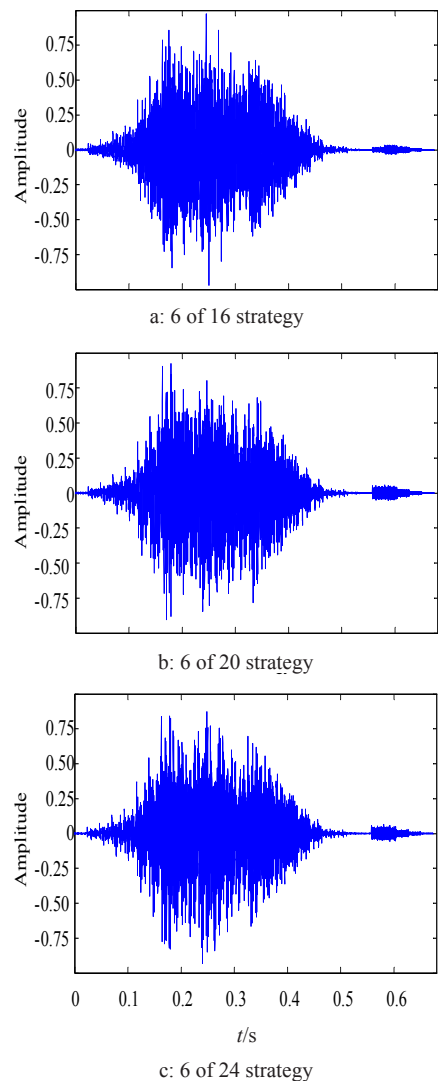


图4 选取相同频带数的言语处理策略的波形比较

Fig.4 Waveform comparison of speech processing strategies based on the same quantities of frequency bands

的结果类似,24 通道电子耳蜗(12 of 24 策略)在 0.22~0.28 s 的位置波形包络也分裂出两个峰,但 3 种参数情形的波形差别并没有太大。为了进一步分析信号的谱特征,画出前面 9 种参数变化情形的语谱图如图 6 所示。

图 6 画出了不同参数的电子耳蜗 n of m 策略对应处理后的信号语谱图。在所画的语谱图中,高能量部位用红色表示,低能量部位用蓝色表示。从原始信号的语谱图中可以看到,信号各频率成分丰富,而对比用电子耳蜗 n of m 策略处理后的的各个信号,其语谱在特定帧表现为离散的线谱。对于 2 of 8 策略来说,能量集中的位置(红色)分布在固定的 8 个频率位置(即 274.0、517.5、761.0、1 005.0、1 462.0、2 376.0、3 869.0 和 6 276.0 Hz),而在每一个特定的时间片段都只有两个能量集中的谱线(红色谱线)。对于 4 of 8 策略来说,红色谱线位置是一样的,只是同

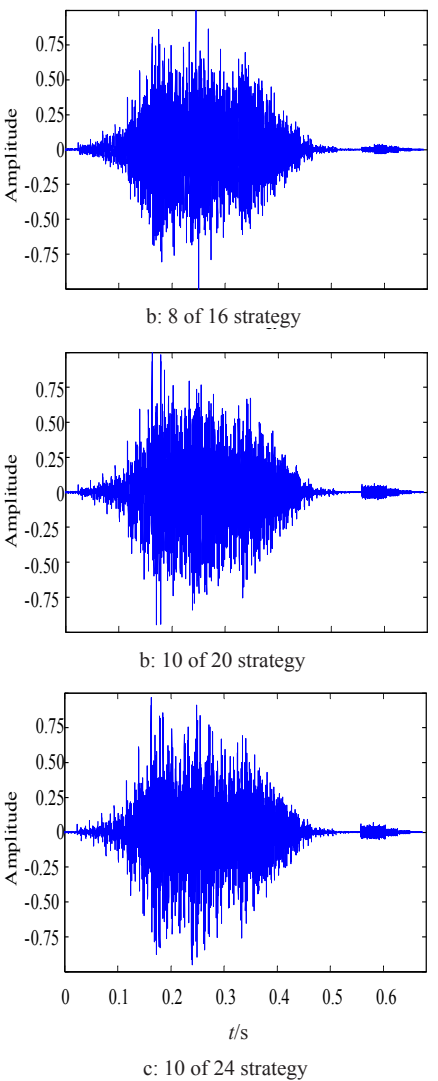


图5 等通道筛选比条件下的言语处理策略的波形比较

Fig.5 Waveform comparison of speech processing strategies based on the same channel proportion (Q) value

一帧有 4 个能量集中的谱线。对比 2 of 8、4 of 8 和 6 of 8 策略,对于固定 m 参数增大 n 值的情形来说, n 越大,选取的频带越多,信号包含的成分越多,因此增大 n 值有助于增强处理后的信号与目标信号的匹配性。

对于固定 n 参数增加 m 值的情形,即图 6 中的 6 of 16、6 of 20 和 6 of 24 策略,在同一帧位置都是选取 6 个频带信息(对应同一时刻 6 个红色线谱),而能量集中的位置(红)则不同。对于电子耳蜗通道数(m 值)更大的情形来说,选取的频带往高频分布,表明提取了更多的高频信息。而图 6 中最下面一行的 3 个子图是 m 、 n 等比例增加的情形($Q=0.5$)。对于 m 通道电子耳蜗来说,信号集中在 m 通道信息里,其中 n 个通道的信息被选取,当 $Q=0.5$ 时,电子耳蜗有一半的通道信息被选取。当通道数增加时,电子耳蜗的频带划分更加细,有助于提取精细的信号信息,但 Q 值相同情形下电子耳蜗提取的频带比例是相同的,

通道数的增加并没有增加提取的比例。另外,对比原始信号的语谱图,原始信号能量集中的位置并不是和n of m策略处理后信号的位置完全一致,这是因为电子耳蜗频带划分是固定的,信号能量智能集中在所设定的频率位置上。例如,原始信号在 0.58~0.60 s 信号的能量集中在 5 300~5 600 Hz 的频段,而 8 of 16 策略、10 of 20 策略和 12 of 24 策略在对应位置附近把能量分别集中在频率 5 148.0、5 209.5 和 5 758.0 Hz 上,对于该位置时间段 0.58~0.60 s 位置,10 of 20 策略的能量更为匹配。相同Q值条件下增加通道数不一定能使处理后的信号与目标信号更匹

配,但基于增加通道数会增加频带的细分,其匹配的可能性会增加,单独从某个时刻看 12 of 24 策略不一定是最匹配的,但总体则是最匹配的。

3 结 论

本文着重研究电子耳蜗基于滤波器组算法里具有代表意义的n of m策略的特征,重点探讨n of m策略在不同参数条件下的信号波形及语谱特征,从信号匹配和能量分布的视角分析参数变化对信号匹配的影响特征,有助于进一步研究基于信号特征电子耳蜗言语处理算法,具有较高的理论价值和实用价值。

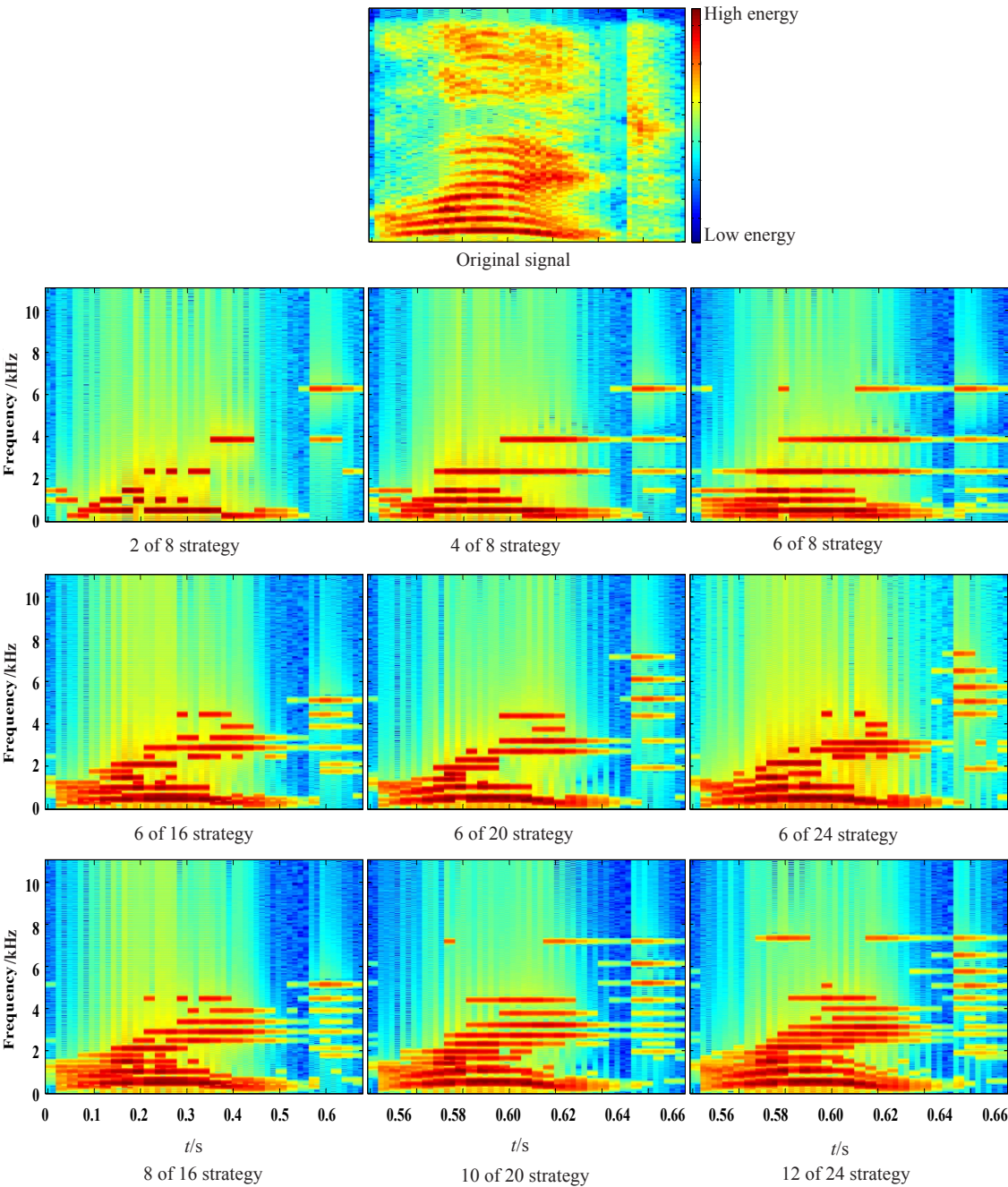


图 6 不同信号语谱图的比较
Fig.6 Comparison of different signal spectra

【参考文献】

- [1] ZENG F G. Trends in cochlear implant[J]. Trends Amplif, 2004, 8 (1): 1-34.
- [2] CHUNG K, ZENG F G. Using hearing aid adaptive directional microphones to enhance cochlear implant performance[J]. Hear Res, 2009, 250(1-2): 27-37.
- [3] CHEN Y S, GONG Q. Real-time spectrum estimation-based dual-channel speech-enhancement algorithm for cochlear implant[J]. Biomed Eng Online, 2012, 11(1): 74.
- [4] CHEN Y S, GONG Q. Broadband beamforming compensation algorithm in CI front-end acquisition[J]. Biomed Eng Online, 2013, 12(1): 1-20.
- [5] WILSON B S, LAWSON D T, ZERBI M. Design and evaluation of a continuous interleaved sampling (CIS) processing strategy for multichannel cochlear implants[J]. J Rehabil Res Dev, 1993, 30 (1): 110.
- [6] BOEX C, PELIZZONE M, MONTANDON P. Speech recognition with a CIS strategy for the ineraid multichannel cochlear implant[J]. Am J Otol, 1996, 17(1): 61-68.
- [7] SKINNER M W, HOLDER L K, WHITFORD L A. Speech recognition with the nucleus 24 SPEAK, ACE, and CIS speech coding strategies in newly implanted adults[J]. Ear Hearing, 2002, 23(3): 207-223.
- [8] PSARROS C E, PLANT K L, LEE K. Conversion from the SPEAK to the ACE strategy in children using the nucleus 24 cochlear implant system: speech perception and speech production outcomes[J]. Ear Hearing, 2002, 23(1 suppl): 18S-27S.
- [9] ZIESE M, STUTZEL A, SPECHT H, et al. Speech understanding with the CIS and the n-of-m strategy in the MED-EL COMBI 40+ system[J]. ORL J Otorhynolaryngol Relat spec, 2000, 62(6): 321-329.
- [10] BUECHNER A, FROHNE C, BOYLE P. A high rate n-of-m speech processing strategy for the first generation Clarion cochlear implant[J]. Int J Audiol, 2009, 48(12): 868-875.
- [11] 陈又圣. 基于 Matlab 的电子耳蜗信号采集的研究[J]. 深圳信息职业技术学院学报, 2016, 14(3): 6-10.
CHEN Y S. Research on Matlab based signal acquisition for cochlear implant[J]. Journal of Shenzhen Institute of Information Technology, 2016, 14(3): 6-10.
- [12] 蒋涛, 宫琴. 基于嵌入式脉冲控制方式的电子耳蜗调试平台的体内系统的研发[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(7): 1673-1680.
JIANG T, GONG Q. Development of the *in-vivo* system of the cochlear implant debugging platform based on embedded pulse control mode[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36 (7): 1673-1680.
- [13] 刘托, 关添, 宫琴. 无线便携式人工耳蜗调试系统的设计[J]. 北京生物医学工程, 2013, 32(1): 58-65.
LIU T, GUAN T, GONG Q. Designing a wireless portable research platform for cochlear implant[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2013, 32(1): 58-65.

(编辑:陈丽霞)

(上接第258页)

- [7] 姜志荣, 侯英, 王进庆. 医学影像学教学的现状与改革[J]. 青岛大学医学院学报, 2007, 43(6): 549-551.
JIANG Z R, HOU Y, WANG J Q. Current situation and reform in medical Image teaching[J]. Acta Academiae Medicinae Qingdao Universitatis, 2007, 43(6): 549-551.
- [8] 陆大军. 基层医院影像医师继续教育形式的创新与实践[J]. 实用医技杂志, 2013, 20(10): 1130-1131.
LU D J. The innovation and practice of continuing education for medical doctors in grass roots hospitals[J]. Journal of Practical Medical Techniques, 2013, 20(10): 1130-1131.
- [9] 赵海涛, 陆军, 朱霆, 等. 《医学影像设备学》教学体会[J]. 医疗卫生装备, 2008, 29(10): 354-355.
ZHAO H T, LU J, ZHU T, et al. Reflections on teaching of medical imaging equipment science[J]. China Medical Equipment, 2008, 29(10): 354-355.
- [10] 徐跃. 医学影像设备学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012: 70-156.
XU Y. Medical imaging equipment[M]. Beijing: People's Medical Publishing, 2012: 70-156.
- [11] 韩丰谈. 医学影像设备学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 102-116.
HAN F T. Medical imaging equipment[M]. Beijing: People's Medical Publishing, 2010: 102-116.
- [12] 韩丰谈, 朱险峰. 医学影像设备安装与维修[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 136-146.
HAN F T, ZHU X F. Installation and maintenance of medical imaging equipment[M]. Beijing: People's Medical Publishing, 2007: 136-146.
- [13] 闫瑞雪, 陈小飞. 计算机电路基础课程建设——评《计算机电路基础》[J]. 高教发展与评估, 2016, 32(4): 0005.
YAN Y X, CHEN X F. The construction of computer basic course-comment on the basis of computer circuit[J]. Higher Education Development and Evaluation, 2016, 32(4): J0005.
- [14] 宋祯彦, 周瑜. 高校科研实验室的建设与管理探讨[J]. 中医药导报, 2015, 21(2): 100-101.
SONG Z Y, ZHOU Y. Discussion on the construction and management of scientific research laboratory in universities[J]. Guiding Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacology, 2015, 21(2): 100-101.
- [15] 李晋. 高校实验室建设与管理模式的探讨[J]. 实验技术与管理, 2009, 26(6): 145-147.
LI J. Laboratory and equipment management department[J]. Experimental Technology and Management, 2009, 26(6): 145-147.

(编辑:薛泽玲)