

电子耳蜗言语训练及发音模拟系统

陈又圣, 颜桂灵, 林炜臻, 方如康, 陶佛钦, 曹智亮, 陈伟芳
深圳信息职业技术学院, 广东 深圳 518000

【摘要】听力障碍患者可根据听力障碍程度选择佩戴助听器或植入电子耳蜗,其中重度耳聋患者需要植入电子耳蜗以恢复听力感知能力。电子耳蜗手术植入后,患者仍需要大量的言语康复训练,以适应电子耳蜗和日常言语交流。目前,训练的主要方式是人工训练,不利于提高听力康复训练的效率。本研究开发了一套基于电子耳蜗常用言语处理策略的言语训练及发音模拟系统。该系统可用于语音信号的采集,并进一步将采集到的信号转换成特定的言语处理策略。它可以帮助医生对患者进行听力训练,也可以用于开发新的言语处理策略和算法评估,该系统采集和合成的康复训练信号能准确地反映电子耳蜗言语处理策略的特点,GUI界面简单易用,便于在临床推广应用。

【关键词】电子耳蜗;言语训练;言语处理策略;发音模拟

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)02-0220-06

Speech training and pronunciation simulation system for cochlear implant

CHEN Yousheng, YAN Guiling, LIN Weizhen, FANG Rukang, TAO Foqin, CAO Zhiliang, CHEN Weifang
Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518000, China

Abstract: Patients with hearing impairment can choose to wear hearing aids or have cochlear implantation according to the degree of hearing impairment, and those with severe deafness need cochlear implant to restore their ability of hearing perception. After cochlear implantation, patients still need a lot of speech rehabilitation training to adapt to cochlear implant and daily speech communication. At present, the main training method is artificial training which is not conducive to improving the efficiency of hearing rehabilitation training. Therefore, a speech training and pronunciation simulation system based on common speech processing strategies of cochlear implant is developed. The system which can be used to collect speech signals and further convert the collected signals into specific speech processing strategies can help doctors to carry out hearing training for patients and can be used to develop new speech processing strategies and algorithm evaluations. The rehabilitation training signals acquired and synthesized by the system can accurately reflect the characteristics of speech processing strategies of cochlear implant. Moreover, the GUI interface is simple and easy to use, which is benefit for clinical application.

Keywords: cochlear implant; speech training; speech processing strategy; pronunciation simulation

前言

我国有大量的听力受损患者,患者可以按照听力损伤的程度来选择佩戴助听器或者植入电子耳蜗^[1]。电子耳蜗是一种通过电脉冲刺激听觉神经来产生听觉的植入电刺激装置,植入电子耳蜗是目前

治疗重度耳聋听力疾病的有效方法^[2-4]。目前的电子耳蜗在噪声环境和各种失配情况下的言语识别率仍然较低^[5-6]。为了提高言语识别率,精细结构编码^[7-8]、麦克风阵列语音增强^[9]等方法被相继提出。新的方法需要植入到电子耳蜗使用者中进行算法评估和测试,并通过言语训练的方式让使用者适应特定的言语处理策略。

听力患者植入电子耳蜗后,仍需要接受大量的听力康复训练。目前的听力训练以人工训练为主,不利于提高听力康复训练的效率。因此,开发出一套基于计算机的电子耳蜗言语训练及发音系统是必要且迫切的。另一方面,汉语是声调语言,与英语等语言有很大的不同。目前主流的电子耳蜗言语处理策略是基于英语等语言开发的,为了适应使用汉语

【收稿日期】2019-11-12

【基金项目】广东省自然科学基金(2018A030313146);广东大学生科技创新培育专项资金项目(2019年攀登计划专项, pd-jh2019b0863, pdjh2019b0866)

【作者简介】陈又圣,博士,讲师,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: chen-youshengtsinghua@aliyun.com

【通信作者】陈伟芳,硕士,讲师, E-mail: 517225605@qq.com

的人群,国内的研究机构和相关厂商开展了基于汉语的电子耳蜗言语处理策略的新算法的研究^[10-12]。所开发的不同的言语处理策略需要进行听力评估和测试才能验证新算法的有效性。然而,通过植入新算法到电子耳蜗植入体来评估算法性能的方法难以广泛使用,一方面是流程多、耗时长,另一方面是测试风险大,容易引起患者的不满。因此,可以在新算法进行临床测试的前期进行计算机的发音模拟,由正常人来初步评估新算法的性能,最后才进行临床试验。目前已有学者和研究机构开发了电子耳蜗体外调试机^[13-15],但辅助功能较少。便携式系统(例如基于PDA的信号采集系统)受到研究者的关注,并有

相应的系统设计出来^[16-18]。在综合性电子耳蜗体外硬件平台方面,国内的研究机构设计了双通道电子耳蜗前端语音增强系统^[19]、头部影响研究系统^[20]、基于嵌入式脉冲控制方式的电子耳蜗调试平台^[21]等,但并没有电子耳蜗言语训练和发音模拟的功能。为此,本研究基于电子耳蜗言语训练和听力前期评估的需求开发了一套电子耳蜗言语训练及发音模拟系统。

1 系统结构及软件界面

电子耳蜗言语训练及发音模拟系统的各模块连接示意图如图1所示。

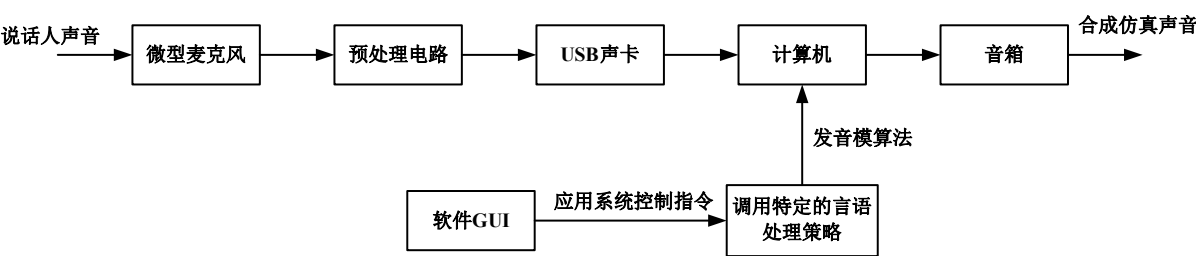


图1 系统的各模块连接示意图
Fig.1 Schematic diagram of connections among modules of the system

说话人的声音通过微型麦克风进行采集,然后通过预处理电路对信号进行滤波和放大,最后通过USB声卡接入计算机。通过在计算机上开发发音模拟的软件GUI,在GUI上选取和设置好参数后,调用特定的言语处理策略,把所采集到的声音信号用该言语处理算法进行信号处理,然后合成出该算法所对应的模拟声音,最后通过音箱播放出所合成的声音。音箱播放的声音是基于电子耳蜗言语处理策略和实际参数的,因此,所合成的声音信号可以模拟电子耳蜗使用者被电极刺激所产生的听觉。

为了便于调用不同类型的电子耳蜗言语处理策略,本研究开发的言语训练及发音模拟系统的软件部分是基于Matlab开发的,其GUI界面如图2所示。

在图2的系统软件GUI界面中,言语处理算法的参数通过可视化界面来进行设置。在本系统中,电子耳蜗言语处理策略有CIS、ACE、SPEAK和FFS这4类,后续可在本系统中更新和补充更多的言语处理算法。信号采集时间可直接在本系统GUI界面上直接设置一个数值,单位是s。通道数可选16~24,对应16~24个植入电极。

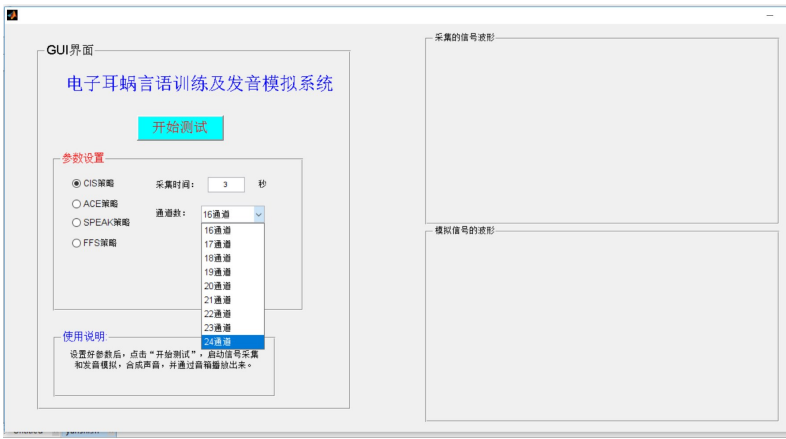


图2 系统软件GUI界面
Fig.2 System software GUI interface

为了便于测试,本系统进行信号采集和测试时系统会自动发出提示音来指导操作。系统提示音源

于提前录制好的wav声音文件,使用时直接通过本软件调用并播放,具体流程如图3所示。

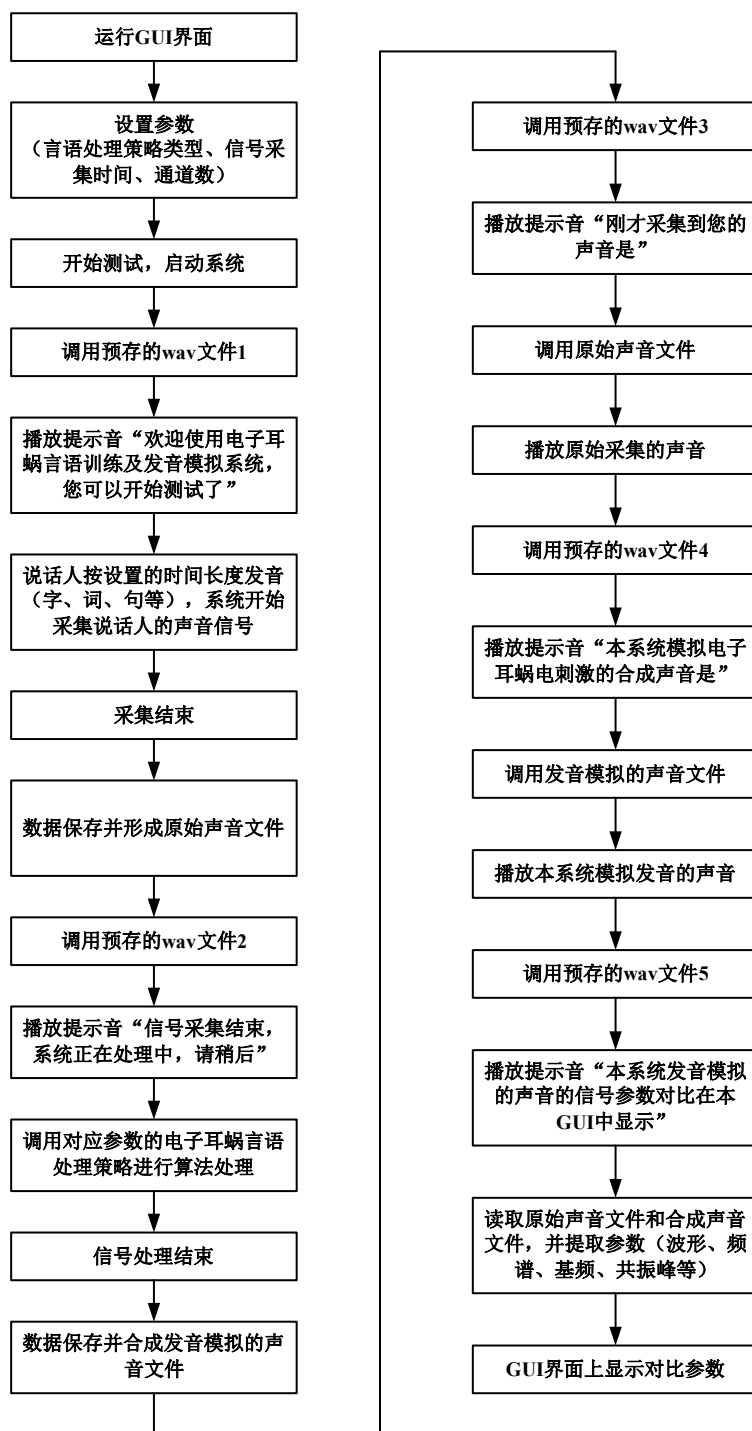


图3 GUI界面信号处理流程图

Fig.3 Schematic diagram of signal processing in GUI interface

系统提示音通过预存的声音文件产生,原始信号通过实时信号采集获得,模拟发音信号通过算法合成。运行GUI界面后,使用者在界面上设置电子耳蜗的言语处理策略的类型、信号采集时间和通道数等参数,然后点击“开始测试”按钮运行本软件,启

动系统。软件调用预先存储的声音文件1,用音箱播放提示音“欢迎使用电子耳蜗言语训练及发音模拟系统,您可以开始测试了”。使用人可对着系统说话,系统实时采集说话人的声音信号。信号采集结束后,数据被保存在计算机中并形成原始的声音文

件。接着,系统调用预先存储的声音文件2,用音箱播放提示音“信号采集结束,系统正在处理中,请稍后”。系统调用对应参数的电子耳蜗言语处理策略对原始信号进行算法处理,算法处理结束后把新数据保存在计算机中并用该数据合成模拟电子耳蜗发音的声音文件。系统调用预存的wav文件3,用音箱播放提示音“刚才采集到您的声音是”,然后,系统调用原始声音文件,用音箱播放出原始采集的声音。系统调用预存的wav文件4,用音箱播放提示音“本系统模拟电子耳蜗电刺激的合成声音是”,系统调用前面所合成的模拟电子耳蜗发音的声音文件,用音箱播放出本系统模拟发音的声音。系统接着调用预

存的wav文件5,用音箱播放提示音“本系统发音模拟的声音的信号参数对比在本GUI中显示”,系统调用算法函数,读取原始声音文件和合成声音文件,并提取参数(波形、频谱、时频谱、基频、共振峰等)。最后,系统在GUI界面上显示算法处理前后参数,有助于使用者进一步比较电子耳蜗言语处理策略的特征。

2 系统信号采集及发音模拟的效果

用本系统采集一段说话人的声音(语料为女声的普通话发音的汉语句子),通过系统GUI进行测试后的结果如图4所示。

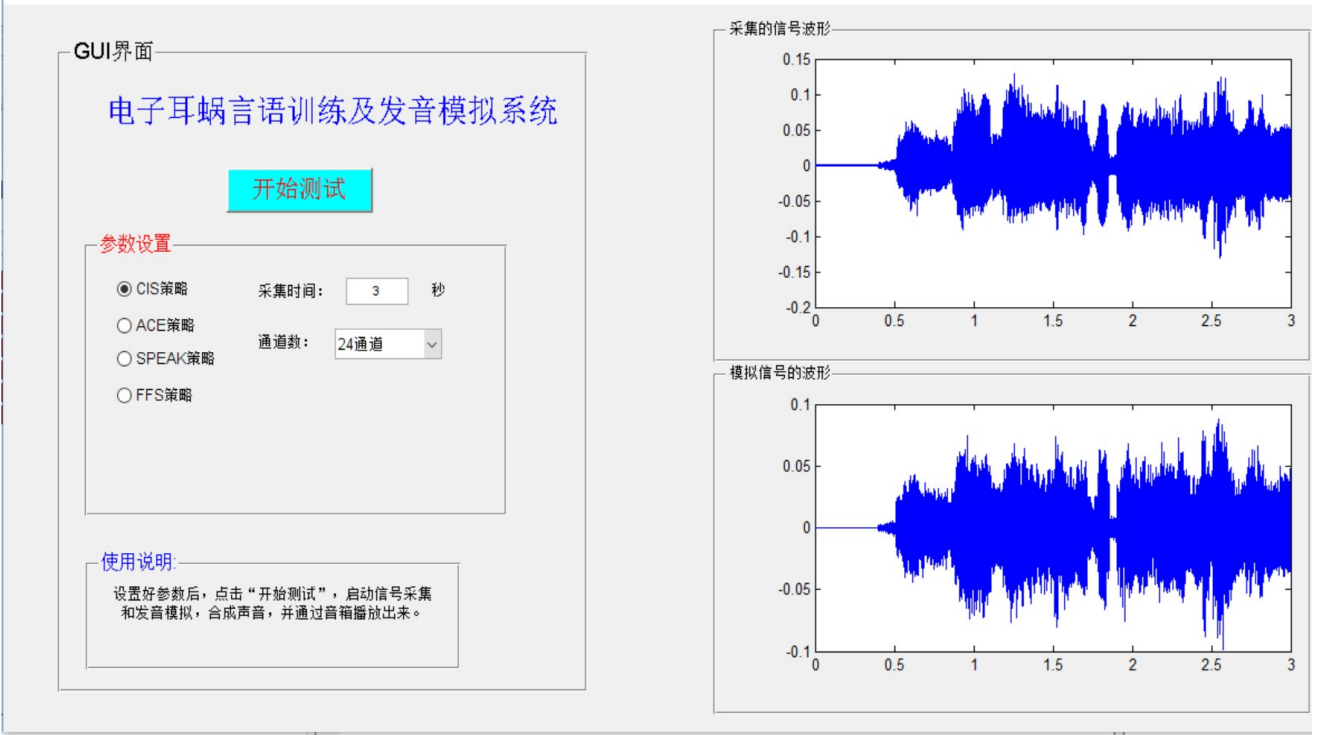


图4 原始采集的信号与发音模拟系统合成的信号波形对比

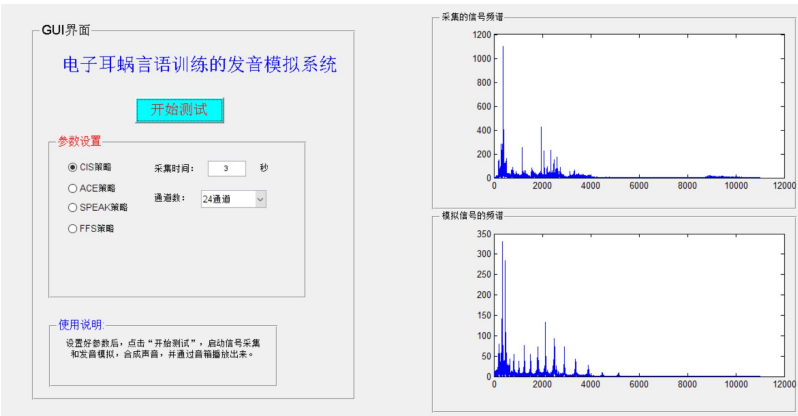
Fig.4 Waveform comparison between original signal acquisition and signals synthesized by pronunciation simulation system

图4表示用本系统通过GUI界面进行实验测试后的结果,左侧显示测试参数,右侧显示原始信号的波形和模拟发音的信号的波形。如果需要更细节的参数特征,本系统还提供了所合成的模拟电子耳蜗发音信号的频谱图、时频分布图、基频曲线、共振峰曲线等特征,如图5所示。

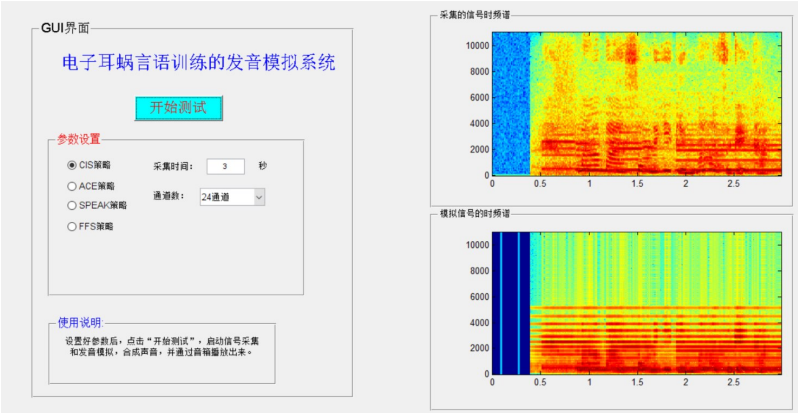
通过波形、频谱、时频分布、基频、共振峰等特征的对比可以比较发音模拟系统的特征,并可进一步探索 and 比较电子耳蜗电刺激模式的信号特征,有助于提升电子耳蜗言语训练的效果。

3 结 论

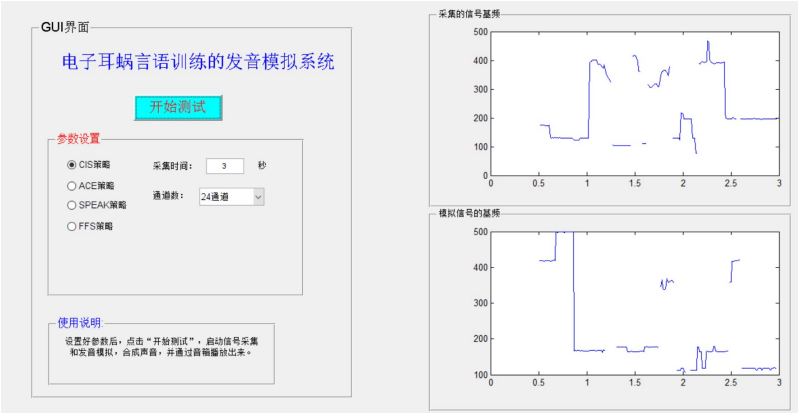
本研究开发出一套基于计算机的电子耳蜗言语训练及发音系统,可用于辅助电子耳蜗使用者的言语训练和系统开发人员的算法测试,以实现言语训练的自动化和算法测试的低风险。实际的信号采集实验表明本系统能够稳定准确地采集信号并合成电子耳蜗模拟发音的声音信号。系统设置了简洁实用的GUI界面,便于使用者进行实验测试,另外,系统植入了多种信号参数的提取模块,有助于使用者进一步比较电子耳蜗言语处理策略的特征,促进算法的二次开发。



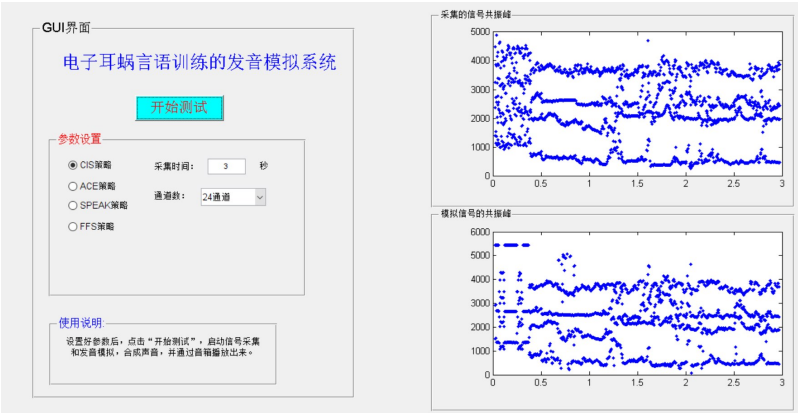
a:信号时频分布图



b:信号时频谱



c:信号基频曲线



d:信号共振峰曲线

图5 GUI所提供的发音模拟信号的多种参数的对比

Fig.5 Comparison of various parameters of pronunciation simulation signals provided by GUI

【参考文献】

- [1] 陈又圣, 王健, 薛国伟, 等. 电子耳蜗 CIS 言语处理策略参数特征研究[J]. 深圳信息职业技术学院学报, 2017, 15(3): 12-18.
CHEN Y S, WANG J, XUE G W, et al. Research on parameter feature of continuous interleaved sampling strategy for cochlear implant[J]. Journal of Shenzhen Institute of Information Technology, 2017, 15(3): 12-18.
- [2] 苏钰, 戴朴. 耳聋基因诊断在人工耳蜗植入中的应用[J]. 中华耳科学杂志, 2019, 16(6): 785-790.
SUN Y, DAI P. Application of genetic diagnosis in cochlear implantation[J]. Chinese Journal of Otolaryngology, 2019, 16(6): 785-790.
- [3] 宫琴, 刘京雷, 关添. 电子耳蜗声调信息的电刺激编码的改进研究[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(2): 271-278.
GONG Q, LIU J L, GUAN T. Improvement of electric-stimulus rate encoding algorithm based on mandarin tonal information in cochlear implant[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012, 33(2): 271-278.
- [4] 倪赛华, 孙文业, 孙宝印, 等. 基于低频带非均匀采样策略提高电子耳蜗汉语识别鲁棒性[J]. 生物医学工程学杂志, 2014, 31(3): 520-526.
NI S H, SUN W Y, SUN B Y, et al. Low frequency-based non-uniform sampling strategy to improve Chinese recognition in cochlear implant[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2014, 31(3): 520-526.
- [5] ZENG F G. Challenges in improving cochlear implant performance and accessibility[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2017, 64(8): 1662-1664.
- [6] DONALDSON G S, KREFT H A, LITVAK L. Place-pitch discrimination of single- versus dual-electrode stimuli by cochlear implant users[J]. J Acoust Soc Am, 2005, 118(2): 623-626.
- [7] MAGNUSSON L. Comparison of the fine structure processing (FSP) strategy and the CIS strategy used in the MED-EL cochlear implant system: speech intelligibility and music sound quality[J]. Int J Audiol, 2011, 50: 279-287.
- [8] LU C K, WANG S W. Peak-triggered sampling circuitry for a fine-structure-aware cochlear implant[C]. Malaysia: TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference, 2017: 31-34.
- [9] CHEN Y, GONG Q. Real-time spectrum estimation-based dual-channel speech-enhancement algorithm for cochlear implant[J]. Biomed Eng Online, 2012, 11: 74.
- [10] 卫铭斐, 杨放, 江莉, 等. 基于汉语端点检测的电子耳蜗语音增强系统[J]. 电子设计工程, 2019, 27(4): 109-112.
WEI M F, YANG F, JIANG L, et al. Speech enhancement system based on Chinese endpoint detection for cochlear implant[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(4): 109-112.
- [11] 倪赛华, 孙文业, 孙宝印, 等. 采用过零刺激方案提高电子耳蜗声调识别[J]. 计算机工程与应用, 2013, 50(19): 232-236.
NI S H, SUN W Y, SUN B Y, et al. Use zero-crossing stimulating strategy to enhance mandarin tone recognition[J]. Computer Engineering and Applications, 2013, 50(19): 232-236.
- [12] 杜志玥, 关添, 宫琴. 基于 OMAP-L137 的电子耳蜗体外语音处理器的设计[J]. 北京生物医学工程, 2011, 30(2): 166-172.
DU Z Y, GUAN T, GONG Q. Design of the external speech processor of cochlear implant based on OMAP-L137[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2011, 30(2): 166-172.
- [13] VAN IMMERSEEL L, PEETERS S, DYKMANS R, et al. SPAIDE: a real-time research platform for the clarion CII/90K cochlear implant[J]. EURASIP J Adv Signal Process, 2005, 18: 764821.
- [14] MIRZAHASANLOO T, GOPALAKRISHNA V, KEHTARNAVAZ N, et al. Adding real-time noise suppression capability to the cochlear implant PDA research platform [C]//California: 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012: 2271-2274.
- [15] MIRZAHASANLOO T S, KEHTARNAVAZ N, PANAHI I. Adding quiet and music detection capabilities to FDA-approved cochlear implant research platform [C]. Trieste: 2013 8th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA), 2013: 399-403.
- [16] HUSSANAIN A, ARTHUR P L, PHILIPPOS C L. A PDA platform for offline processing and streaming of stimuli for cochlear implant users [C]. 33rd Annual International Conference of IEEE EMBS, 2011: 1045-1048.
- [17] ALI H, LOBO A P, LOIZOU P C. Design and evaluation of a personal digital assistant-based research platform for cochlear implants[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2013, 60(11): 3060-3073.
- [18] LOBO A P, LOIZOU P C, KEHTARNAVAZ N, et al. A PDA-based research platform for cochlear implant[C]. Hawaii: Proceedings of the 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineer, 2007: 28-31.
- [19] 陈又圣, 宫琴. 基于双 TP 型麦克风的电子耳蜗前端指向性语音增强系统的研制[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(9): 1952-1958.
CHEN Y S, GONG Q. Study on dual TP microphone-based directional speech enhancement system for cochlear implant[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2010, 31(9): 1952-1958.
- [20] CHEN Y S, GONG Q. Head influence platform for cochlear implant [C]. Beijing: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 2012, 39: 1468-1471.
- [21] 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.

(编辑:谭斯允)