

抑郁障碍的语音特征研究进展

吕娜 叶惠玲 范青 肖泽萍

200030 上海交通大学医学院附属精神卫生中心

通信作者: 肖泽萍, Email: xiaozeping88@163.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2019.07.013

【摘要】 近年来,关于抑郁障碍的语音特征研究受到广泛关注,并且结合机器算法探索将其应用到抑郁症的诊断与识别领域。现对近年来研究发现的与抑郁障碍相关的语音特征,以及影响此类研究结果的混杂因素进行综述,并对当前该领域存在的问题进行总结,进一步提出未来研究方向。

【关键词】 抑郁障碍; 语音特征; 综述

基金项目: 国家自然科学基金项目(81771460); 上海市科学技术委员会科研项目(18411952000); 上海市卫生和计划生育委员会科研课题计划(201740086)

Research progress on speech features of depression Lyu Na, Ye Huiling, Fan Qing, Xiao Zeping
Shanghai Mental Health Center, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200030, China
Corresponding author: Xiao Zeping, Email: xiaozeping88@163.com

【Abstract】 Recently, the research on the speech characteristics of depression disorders has been widely concerned, and it has been applied to the diagnosis and recognition of depression by combining machine algorithms. This article reviews the speech acoustic features found in recent years related to depressive disorders and confounding factors that influence the results of these studies. The existing problems in this field were also summarized, and future research directions were further proposed.

【Key words】 Depression disorder; Speech features; Review

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (81771460); Shanghai Science and Technology Commission Research Project (18411952000); Scientific Research Project Plan of Shanghai Municipal Commission of Health and Family Planning (201740086)

-
- [23] Langeland E, Riise T, Hanestad BR, et al. The effect of salutogenic treatment principles on coping with mental health problems A randomised controlled trial[J]. Patient Educ Couns, 2006, 62(2): 212-219. DOI: 10.1016/j.pec.2005.07.004.
- [24] Van Eck RM, Burger TJ, Vellinga A, et al. The Relationship Between Clinical and Personal Recovery in Patients With Schizophrenia Spectrum Disorders: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Schizophr Bull, 2018, 44(3): 631-642. DOI: 10.1093/schbul/sbx088.
- [25] Oles SK, Fukui S, Rand KL, et al. The relationship between hope and patient activation in consumers with schizophrenia: Results from longitudinal analyses[J]. Psychiatry Res, 2015, 228(3): 272-276. DOI: 10.1016/j.psychres.2015.05.100.
- [26] Coşkun E, Şahin Altun Ö. The Relationship Between the Hope Levels of Patients With Schizophrenia and Functional Recovery[J]. Arch Psychiatr Nurs, 2018, 32(1): 98-102. DOI: 10.1016/j.apnu.2017.10.006.
- [27] Chuang SP, Wu JY, Wang CS, et al. Self concepts, health locus of control and cognitive functioning associated with health-promoting lifestyles in schizophrenia[J]. Compr Psychiatry, 2016, 70: 82-89. DOI: 10.1016/j.comppsy.2016.06.014.
- [28] Morgades-Bamba CI, Fuster-Ruizdeapodaca MJ, Molero F. The impact of internalized stigma on the well-being of people with Schizophrenia[J]. Psychiatry Res, 2019, 271: 621-627. DOI: 10.1016/j.psychres.2018.12.060.
- [29] Çapar M, Kavak F. Effect of internalized stigma on functional recovery in patients with schizophrenia[J]. Perspect Psychiatr Care, 2019, 55(1): 103-111. DOI: 10.1111/ppc.12309.
- [30] Holubova M, Prasko J, Hruby R, et al. Coping strategies and self-stigma in patients with schizophrenia-spectrum disorders[J]. Patient Prefer Adherence, 2016, 10: 1151-1158. DOI: 10.2147/PPA.S106437.
- [31] Kopelowicz A, Zarate R, Gonzalez Smith V, et al. Disease management in Latinos with schizophrenia: a family-assisted, skills training approach[J]. Schizophr Bull, 2003, 29(2): 211-227. DOI: 10.1093/oxfordjournals.schbul.a006999.
- [32] Alexander JA, Hearld LR, Mittler JN, et al. Patient-physician role relationships and patient activation among individuals with chronic illness[J]. Health Serv Res, 2012, 47(3 Pt 1): 1201-1223. DOI: 10.1111/j.1475-6773.2011.01354.x.

(收稿日期: 2019-05-13)

(本文编辑: 戚红丹)

抑郁障碍是一类以心境低落、兴趣丧失以及精力缺乏为核心特征的心境障碍,同时伴有其他认知、生理以及行为症状,如注意力不集中、反应迟钝、失眠、活动减少等。根据中国精神卫生调查的最新调研结果,在我国,心境障碍是患病率第二高的精神障碍,终身患病率为7.4%,其中抑郁障碍的终身患病率达到6.8%^[1]。抑郁障碍具有患病率高、致残率高、复发率高和自杀率高的特点^[2],已经成为当今社会中突出的精神健康问题。及早识别、科学诊断是治疗抑郁障碍的基础。然而目前抑郁症的诊断主要依靠临床医生的经验,采取临床访谈,以及结合自评工具等方式,存在难以排除主观因素的偏差、消耗医疗人力资源等限制。近年来,人们开始寻找客观的生理或行为指标来协助抑郁症的诊断,其中包括语音特征。

语音信号具有易获取、非侵入、客观性等特点,且能够反映人的情绪和认知功能,在抑郁症的识别和诊断领域发挥着重要作用。近年来,结合机器学习、人工智能等技术,将语音指标用于抑郁症的诊断识别以及抑郁严重程度的预测更是情感计算领域的研究热点,在临床上具有广阔的应用前景。

本文中的语音特征指的是副语言特性(paralinguistic properties),即语音信号的声学(acoustic)特性,而不是语音的内容或意义^[3]。人的情绪、认知等的变化会影响语音产生过程,如呼吸、喉、共振以及发音的子系统等,最终以语音信号的形式呈现出来。对应的,从语音信号中提出特定的语音特征,可以推测说话者的状态。在临床观察和研究中,都发现抑郁患者有独特的语音模式。本文将对抑郁症患者的语音模式进行总结,阐述影响抑郁症语音识别的因素,最后针对以往研究的不足,提出未来的研究及应用展望。

一、抑郁障碍的语音特征

与抑郁障碍相关的语音特征主要包括韵律特征、频谱特征、声源、声门特征等。

1. 韵律特征:韵律特征表示语音中节奏、重音和语调方面的长时变化。常见的韵律特征包括语速、音调、音量等,也可以用基频和能量参数表征。

从临床表现上,抑郁症患者具有精力缺乏,行动减少,常伴随着思维、运动迟缓,说话变慢、话语内容变少等特征。早期对抑郁性言语的临床研究发现,抑郁性言语有几个明显的韵律特征,如语音音调变化少^[4],音量降低,说话速度和发音变慢^[5],停顿时间和反应延迟增加,这些变化与抑郁症患者的

临床表现相一致。以上结果在后来的研究中也得到了验证。如Mundt等^[6]的一项为期6周的纵向研究发现,有治疗反应的抑郁症患者在6周治疗结束时说话停顿减少、速度变快。Mundt等^[7]又在后续的研究中发现了6个与抑郁症严重程度显著相关的韵律指标:总录音时长、总暂停时长、停顿变异性、停顿占总语音时长的百分比、语音/停顿的比率和语速。Alghowinem等^[8]的研究考察了抑郁症组与健康对照组在自发作答任务下语音样本的韵律差异,结果发现两组之间只有平均音节时长(即总言语持续时长除以音节数)差异显著,抑郁症患者的平均音节时长明显更长。相应的,Hoening等^[9]也发现平均音节时长与抑郁程度呈正相关。Liu等^[10]的研究表明多数情况下,抑郁症患者的录音时长、发音时长和停顿时间都比健康对照组长。以上研究结果都与抑郁症患者的整体语速减慢相一致。

抑郁症患者的语音给人一种单调、枯燥、毫无生气的感觉,这与文献中报道的随着抑郁症严重程度增加,基频(F0)范围缩小和F0均值降低的结果是一致的^[5-6,9]。然而,也有一些研究发现F0变量与抑郁症之间没有显著的相关性^[7,11-13]。这些相互矛盾的结果可能是由于抑郁症患者的性别、情绪状态、症状异质性等原因造成的。

抑郁对能量参数的影响也存在不一致的结果。Darby等^[5]报道,治疗前的抑郁症患者由于缺乏说话的努力而导致语音能量的变异性减小,而这一现象在治疗后显著改善。然而,Kuny和Stassen^[14]却发现,平均响度的提升和响度的变异性与患者的康复只有微弱的相关性,而Alpert等^[11]发现,抑郁症患者的音量比对照组更大,但并不显著。Stassen等^[15]则发现抑郁症患者一部分人群表现出缺乏能量,在治疗后能量有所提升,一部分人群在治疗开始前声音过大,在治疗后下降到正常水平。Quatieri和Malyska^[13]则发现能量的变异性与抑郁程度呈轻度负相关,能量速度(energy velocity)与抑郁程度呈显著正相关。

2. 频谱特征:声音的频谱是将声波的幅值按频率排列形成图形而得到的。频谱特征反映的是语音信号的短时特性,即语音信号在特定时刻的频率分布信息。常见的频谱特征包括共振峰(format)和梅尔倒谱系数(Mel-frequency cepstral coefficients, MFCCs)。

共振峰反映了声道(共振腔)的物理特征。声音在经过声道时发生共振的频率就是共振峰频率。一

般可以从语音中提取出4~5个稳定的共振峰,研究中常用前三个共振峰。据报道,随着说话人抑郁程度的增加,共振峰频率也随之降低^[6],这一现象可能是由于精神运动迟滞对声道的收紧作用或缺乏运动协调。不少研究发现共振峰频率的降低会随着精神运动迟滞的改善而改善^[13, 16-18]。France等^[19]发现在抑郁症患者中共振峰频率(F1~F3)和F1带宽呈上升趋势,而更高的共振峰带宽呈下降趋势。在Mundt等^[6]2007年的论文中提到F1变异与抑郁症没有显著相关性,而F2变异与抑郁症有轻度相关性。然而,在后续研究中,F1和F2、位置和变异性与抑郁症均无显著相关性^[7]。

MFCCs指的是组成梅尔频率倒谱(Mel-frequency cepstrum)的系数,而梅尔频率倒谱是基于声音频率的非线性梅尔刻度的对数能量频谱的线性变换。Taguchi等^[20]比较了抑郁症患者与健康对照的MFCC,发现MFCC的第二维度在组间存在显著差异,且利用这一特征区分患者与对照组的敏感性为77.8%,特异性为86.1%,研究者认为MFCC2可能是检测重度抑郁症的一个有用的生物标志物。MFCCs结合高斯混合模型(Gaussian mixture model, GMM)是一种流行的语音参数化方法,这些方法已被证明适用于对低/高程度的抑郁症进行分类^[21],或抑郁症的存在与否^[8, 22]。总之,包括共振峰、MFCCs在内的频谱特征目前在抑郁症的识别领域应用十分广泛。

3. 其他特征:例如,声源特征。声源特征捕获与声音产生源相关的信息,即从肺部通过声门流出的空气。既可以通过声门特征(glottal features)直接参数化这种流动,也可以通过语音质量特征(voice quality features)参数化声带运动^[2]。抑郁状态对喉部控制产生影响,则会在声源特征上有所反映,但以往结果依旧并不一致。

常用的语音质量特征包括抖动(jitter, 声带振动从一周到另一周在时间上不规律的度量)、颤动(shimmer, 声带振动从一周到另一周在声强上不规律的度量),以及谐波噪声比(harmonic-to-noise, HNR),即谐波与非谐波的比值。这些特征已被证明与抑郁症密切相关。Ozdas等^[23]通过F检验发现抑郁个体与对照组之间在抖动特征上具有显著性差异;在使用两样本t检验时,发现声门频谱斜率存在显著性差异,但抖动特征却无显著性差异。Quatieri和Malyska^[13]对声门频谱进行子带分解,发现声门频谱与抑郁症严重程度呈一致的高频正相关。声门特征也常用于抑郁性语音分类系统。Moore等^[24]和

Low等^[25]研究中都发现声门参数在抑郁患者和对照组之间表现出显著差异。

二、抑郁症语音特征识别的影响因素

人们的语音特征除了会受到抑郁发作的影响之外,还会受到个体差异因素、语音产生的情境因素等影响。

1. 个体差异:影响抑郁症语音识别的最明显的个体差异因素是性别。从日常对男女声音的听觉感知上我们就能体会到不同性别者在音色、音高、音调上的差异,表现在语音参数上自然也存在显著差异。在抑郁症语音研究领域,性别因素的考量已经基本成为共识。

Ellgring和Scherer^[4]早在1996年的研究中就发现在抑郁症治疗前后,最低基频的降低可以预示女性患者的情绪发生改善,但是在男性患者中没有发现这一结果。Hashim等^[3]收集了成年抑郁患者的语音样本和临床抑郁评分,利用语音中的频谱特征和时间特征,构建模型,预测临床抑郁评分。从阅读语音中提取的语音特征在预测男性和女性抑郁评分方面的有效性存在差异。总体而言,男性阅读语音预测模型比女性阅读语音预测模型更准确(即预测误差更小),变异性更小。Low等^[25]发现在抑郁症语音识别技术上,依赖于性别的建模表现优于独立于性别的建模。这一结果说明,抑郁症对男性和女性发声机制的影响可能是存在差异的,需要考虑使用基于性别的不同预测模型。

药物服用情况也会影响语音特征。有研究发现,抗抑郁药物会使得声道和口腔变干,直接影响共振峰性质和能量分布^[27],因此,患者既往及当天是否服用过抗抑郁药物,以及进一步考虑药物类型,可能都会影响到收集的语音特征。

其他需要考虑的个体因素包括文化背景、种族、生活地区等,以上变量信息最好在试验中进行收集并在分析中加以控制。

2. 语音收集方式:收集语音时会用到不同的言语任务范式。常见的言语产出范式包括自动或机械式言语任务(例如计数、发音练习、阅读等)和自发式言语任务(包括图片描述、自由应答、演讲、临床访谈等)。机械式言语任务相对简单,且材料固定,每位被试者的录音在内容上也保持一致,分析解释起来更便捷,而自发性语言由于不止涉及发音,还需要被试者自己经过思考说出符合语境的语言内容,认知过程更加复杂,也更接近日常会话,生态效度更高,当然这样收集的每个被试者的语料都是不

同的。不同范式各有特点,有学者对不同言语任务范式对于抑郁性语音的识别效果进行了研究。

在这一问题上,不同研究的结果并不一致。Horwitz等^[26]使用Mundt数据库分析了阅读文章与自由应答任务下收集的抑郁症患者语音与他们的抑郁得分之间的相关性,结果发现,相比于自由应答,阅读文章任务中的各类语音指标(声源特征、共振峰特征和韵律特征)与抑郁严重程度的负相关性更高,暗示可能阅读文章时的语音比自由应答时的语音更能反映抑郁症患者的特点。但是Alghowinem等^[27]用不同特征研究和比较了抑郁症分类,发现自发性言语具有比朗读更高的分类正确率。2014年音频/视觉情绪挑战(AVEC 2014)的许多参与者发现,自由语音数据比阅读文章提供了更好的预测性能^[28-29]。当然,理想情况下,由于每种方法都有不同的优点,最好收集朗读、演讲、发音练习和自由应答等范式的组合。

另外,不同的情绪激发的作用也需考虑,尤其是其与言语任务的交互作用。国内学者潘玮等^[30]采用3(情绪状态:正性、中性、负性)×3(任务类型:语言问答、文本朗读、图片描述)的试验设计,运用逻辑回归分类算法来构建抑郁识别模型。分类预测结果显示,任务类型与情绪状态存在一定的交互作用,在正性和负性情绪启动下,语音问答任务的预测效果最好;而在中性情绪启动下,图片描述任务的效果最好。Jiang等^[31]的研究在考虑言语任务类型和情绪的交互作用基础上,另外考虑了性别的影响,针对男女受试者分别建模。结果发现对于男性而言,图片描述任务的分类结果明显最优,而在女性中则是访谈任务最优。不同情绪任务下分类器的性能相似,对男性和女性均是如此。

认知载荷也会影响语音特征。Cohen等^[32]采用双注意试验任务,对226例成年人进行不同认知负荷水平的语音表达进行了测量,结果表明认知负荷的增加会导致更长的停顿、更少的话语、更大的总体沉默以及更少的声音频率和强度的变化。

综上所述,在进行抑郁症的语音特征研究及利用语音特征识别抑郁症时,都需要考虑混杂因素的影响,尽量将这些因素加以控制,以保证研究结果的准确性和有效性。

三、目前存在的问题及展望

回顾之前在抑郁症语音特征领域的研究,可以发现虽然有很多语音特征与抑郁症的诊断以及严重程度存在关联,但是研究结果之间的一致性问

题也很突出,因此目前还不能明确地提出抑郁性语音的特征模型。究其原因,有以下几点:首先,普遍存在样本量较小、代表性不足的问题,未来需要开展更大的抑郁症语音样本库的建立;其次,语音采集范式缺乏统一、标准的模式,不同研究之间采集方式的差异也会影响最终提取出的语音特征,难以解释不同研究的结果差异究竟是语音特征对抑郁预测的不稳定性造成的,还是采集方式的差异引起的;再次,语音特征的提取还存在争议,究竟提出哪些语音特征,利用什么技术提取,语音特征之间是否存在冗余等问题还需要进一步的研究进行探讨。

另外,抑郁症是一个临床表现具有异质性的心境障碍,本身的症状特征也较为复杂,既包括情绪低落、兴趣动机减退,也伴有认知障碍、躯体反应等各种症状表现。如果要将语音特征应用于抑郁症的识别和辅助诊断,未来更具发展潜力地找到对应抑郁症状的语音识别特征集。目前,基于症状的抑郁症语音识别研究较少,但一些初步的研究结果提示了此领域研究的可能性和潜在价值,例如Horwitz等^[27]发现抑郁症患者的单个症状与语音特征的相关性是随着不同语音指标的变化而变化的,其相关性一般高于总评估分数的相关性。可以期待这一精细化的语音特征应用在抑郁症研究及临床上的应用。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 文献整理与论文撰写为吕娜,论文修订为叶惠玲、范青,审校为肖泽萍

参 考 文 献

- [1] Huang Y, Wang Y, Wang H, et al. Prevalence of mental disorders in China: a cross-sectional epidemiological study[J]. *Lancet Psychiatry*, 2019, 6(3): 211-224. DOI: 10.1016/S2215-0366(18)30511-X.
- [2] Cummins N, Scherer S, Krajewski J, et al. A review of depression and suicide risk assessment using speech analysis[J]. *Speech Commun*, 2015, 71: 10-49. DOI: 10.1016/j.specom.2015.03.004.
- [3] Hashim NW, Wilkes M, Salomon R, et al. Evaluation of Voice Acoustics as Predictors of Clinical Depression Scores[J]. *J Voice*, 2017, 31(2): 256.e251-256.e256. DOI: 10.1016/j.jvoice.2016.06.006.
- [4] Ellgring H, Scherer KR. Vocal indicators of mood change in depression[J]. *Journal of Nonverbal Behavior*, 1996, 20(2): 83-110. DOI: 10.1007/BF02253071.
- [5] Darby JK, Simmons N, Berger PA. Speech and voice parameters of depression: a pilot study[J]. *J Commun Disord*, 1984, 17(2): 75-85. DOI: 10.1016/0021-9924(84)90013-3.
- [6] Mundt JC, Snyder PJ, Cannizzaro MS, et al. Voice acoustic measures of depression severity and treatment response collected via interactive voice response (IVR) technology[J]. *J*

- Neurolinguistics, 2007, 20(1): 50-64. DOI: 10.1016/j.jneuroling.2006.04.001.
- [7] Mundt JC, Vogel AP, Feltner DE, et al. Vocal acoustic biomarkers of depression severity and treatment response[J]. Biol Psychiatry, 2012, 72(7): 580-587. DOI: 10.1016/j.biopsych.2012.03.015.
- [8] Alghowinem S, Goecke R, Wagner M, et al. From Joyous to Clinically Depressed: Mood Detection Using Spontaneous Speech[A]. Twenty-Fifth International FLAIRS Conference[C]. 2012.
- [9] Hoinig F, Batliner A, Noeth E, et al. Automatic modelling of depressed speech: Relevant features and relevance of gender[A]. INTERSPEECH-2014[C]. 2014: 1248-1252.
- [10] Liu Z, Kang H, Lei F, et al. Speech pause time: A potential biomarker for depression detection[A]. IEEE International Conference on Bioinformatics & Biomedicine[C]. 2017: 2020-2025. DOI: 10.1109/BIBM.2017.8217971.
- [11] Alpert M, Pouget ER, Silva RR. Reflections of depression in acoustic measures of the patient's speech[J]. J Affect Disord, 2001, 66(1): 59-69. DOI: 10.1016/S0165-0327(00)00335-9.
- [12] Cannizzaro M, Harel B, Reilly N, et al. Voice acoustical measurement of the severity of major depression[J]. Brain Cogn, 2004, 56(1): 30-35. DOI: 10.1016/j.bandc.2004.05.003.
- [13] Quatieri TF, Malyska N. Vocal-source biomarkers for depression: A link to psychomotor activity[J]. Interspeech, 2012, 2: 1059-1062.
- [14] Kuny S, Stassen HH. Speaking behavior and voice sound characteristics in depressive patients during recovery[J]. J Psychiatr Res, 1993, 27(3): 289-307. DOI: 10.1016/0022-3956(93)90040-9.
- [15] Stassen HH, Bomben G, Günther E. Speech characteristics in depression[J]. Psychopathology, 1991, 24: 88-105. DOI: 10.1159/000284700.
- [16] Cummins N, Epps J, Ambikairajah E. Spectro-temporal analysis of speech affected by depression and psychomotor retardation[A]. IEEE. Proceedings of ICASSP[C]. IEEE, 2013: 7542-7546. DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6639129.
- [17] Trevino AC, Quatieri TF, Malyska N. Phonologically-based biomarkers for major depressive disorder[J]. EURASIP J Adv Sig Pr, 2011, 2011: 42. DOI: 10.1186/1687-6180-2011-42.
- [18] Williamson JR, Quatieri TF, Helfer BS, et al. Vocal biomarkers of depression based on motor incoordination[A]. Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Audio/visual emotion challenge[C]. ACM, 2013: 41-48. DOI: 10.1145/2512530.2512531.
- [19] France DJ, Shiavi RG, Silverman S, et al. Acoustical properties of speech as indicators of depression and suicidal risk[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2000, 47(7): 829-837. DOI: 10.1109/10.846676.
- [20] Taguchi T, Tachikawa H, Nemoto K, et al. Major depressive disorder discrimination using vocal acoustic features[J]. J Affect Disord, 2018, 225: 214-220. DOI: 10.1016/j.jad.2017.08.038.
- [21] Cummins N, Epps J, Sethu V, et al. Modeling spectral variability for the classification of depressed speech[A]. Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association[C]. INTERSPEECH, 2014: 857-861. DOI: 10.1038/sj.gene.6363652.
- [22] Cummins N, Epps J, Breakspear M, et al. An Investigation of Depressed Speech Detection: Features and Normalization[J]. Proc Interspeech, 2011(7): 2997-3000. DOI: 10.1103/PhysRevB.69.064514.
- [23] Ozdas A, Shiavi RG, Silverman SE, et al. Investigation of vocal jitter and glottal flow spectrum as possible cues for depression and near-term suicidal risk[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2004, 51(9): 1530-1540. DOI: 10.1109/TBME.2004.827544.
- [24] Moore E, Clements MA, Peifer JW, et al. Critical analysis of the impact of glottal features in the classification of clinical depression in speech[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2008, 55(1): 96-107. DOI: 10.1109/TBME.2007.900562.
- [25] Low LS, Maddage NC, Lech M, et al. Detection of clinical depression in adolescents' speech during family interactions[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2011, 58(3): 574-586. DOI: 10.1109/TBME.2010.2091640.
- [26] Horwitz R, Quatieri TF, Helfer BS, et al. On the relative importance of vocal source, system, and prosody in human depression[A]. IEEE International Conference on Body Sensor Networks[C]. 2013: 1-6. DOI: 10.1109/BSN.2013.6575522.
- [27] Alghowinem S, Goecke R, Wagner M, et al. Detecting depression: A comparison between spontaneous and read speech[A]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing[C]. 2013: 7547-7551. DOI: 10.1109/ICASSP.2013.6639130.
- [28] Gupta R, Malandrakis N, Xiao B, et al. Multimodal Prediction of Affective Dimensions and Depression in Human-Computer Interactions[A]. Proceedings of the 4th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge[C]. ACM, 2014: 33-40. DOI: 10.1145/2661806.2661810.
- [29] Senoussaoui M, Sarria-Paja M, Santos JF, et al. Model Fusion for Multimodal Depression Classification and Level Detection[A]. Proceedings of the 4th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge[C]. ACM, 2014: 57-63. DOI: 10.1145/2661806.2661819.
- [30] 潘玮, 汪静莹, 刘天俐, 等. 基于语音的抑郁症识别[J]. 科学通报, 2018, 63(20): 2081-2092. DOI: 10.1360/N972017-01250. Pan W, Wang JY, Liu TL, et al. Depression recognition based on speech analysis[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(20): 2081-2092.
- [31] Jiang HH, Hu B, Liu ZY, et al. Investigation of different speech types and emotions for detecting depression using different classifiers[J]. Speech Commun, 2017, 90: 39-46. DOI: 10.1016/j.specom.2017.04.001.
- [32] Cohen AS, Dinzeo TJ, Donovan NJ, et al. Vocal acoustic analysis as a biometric indicator of information processing: implications for neurological and psychiatric disorders[J]. Psychiatry Res, 2015, 226(1): 235-241. DOI: 10.1016/j.psychres.2014.12.054.

(收稿日期: 2019-06-19)

(本文编辑: 戚红丹)