

基于生物电传感的受众感知探索与研究

沈旭昆, 闫烁

(北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: **目的** 通过对智能传感技术及表演媒介演变进行探索与分析, 提出基于生物电传感的受众感知评估框架, 探究真实环境与虚拟空间下的观众情感监测与交互反馈方法。**方法** 对从真实环境到虚拟空间发展过程中观众的观演模式及其情感感知方法进行综述, 对表演空间中的人机交互模式进行分析, 提出面向受众感知的表演交互评估框架, 将不同媒介下的观演模式进行归纳, 通过表演实例阐述真实环境与虚拟空间下的观众情感监测及内容反馈方法。**结论** 对现场表演和虚拟表演中的观众体验进行评估发现, 观众对激发维度的评价与其参与度水平呈现一定的相关性, 证实了基于脑电信号的感知方法可用于观众情感监测与表演评估。研究对虚拟空间下的受众感知研究进行拓展, 为未来表演界面的构建、虚拟表演的评估提供了可行性建议。

关键词: 生物电传感; 受众感知; 表演艺术; 参与度; 虚拟现实

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)10-0026-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.10.005

Exploration and Research on Audience Perception Based on Bioelectric Sensing

SHEN Xu-kun, YAN Shuo

(Beihang University, Beijing 100191, China)

ABSTRACT: The paper proposes an audience perception evaluation framework based on bioelectric sensing and explores the methods of audience emotion monitoring and interactive feedback in real environments and virtual spaces through exploring and analyzing the evolution of intelligent sensing technology and performance media. The performance interaction evaluation framework oriented to audience perception is proposed. The performance mode is summarized, and the audience emotion monitoring and content feedback methods in real environment and virtual space are explained through performance examples. It is confirmed that the perception method based on EEG signals can be used for audience emotion monitoring and performance evaluation. The research expands the audience perception research in the virtual space and provides feasible suggestions for the construction of future performance interfaces and the evaluation of virtual performances.

KEY WORDS: bioelectric sensing; audience perception; performing art; engagement; virtual reality

伴随智能传感及可穿戴计算的蓬勃发展, 基于生物电传感的自然人机交互技术逐渐融入到不同的应用领域^[1]。研究表明, 在表演艺术活动中, 受众感知 (Audience Perception) 是决定其成功与否的关键因素。然而, 基于观察经验的传统评估方法已难以适应由多维表演媒介和角色化研究主体构成的复杂表演环境, 成为制约表演叙事内容和交互模式构建的瓶颈

问题。随着生物电领域中感知材料的拓展, 通过对观众的情感状态进行监测与识别, 即对其生理信号进行采集、处理与分析, 建立与情感模型的映射关系, 可以帮助创作者将真实的情感体验融入到表演活动中, 实现表演内容的构建及广泛应用。因此, 如何选择合适的生物电传感设备, 设计并建立有效的交互反馈机制成为表演评估的关键性问题。这样能够为未来虚拟

收稿日期: 2021-03-01

作者简介: 沈旭昆 (1965—), 男, 北京人, 博士, 北京航空航天大学教授、博士生导师, 主要研究方向为虚拟现实与可视化。

通信作者: 闫烁 (1988—), 女, 北京人, 博士, 北京航空航天大学讲师, 主要研究方向为智能交互、用户感知材料等。

空间下的表演活动建立评估规则及内容反馈机制，增强观演体验。

1 表演领域中的受众感知

麻省理工学院媒体实验室最早提出了“Augmented Theater”^[2]的概念，通过数字化互动式投影增强真实舞台的视听效果。Williams 团队在现场演出“*The Tempest*”中创建远程表演模式对传统舞台进行空间扩展，增强受众群体间的交互性^[3]。随着数字化虚拟内容的增长，观众在表演活动中逐渐占据主导位置，针对观众的情感评估开始逐渐增多。越来越多的研究者开始利用生物电传感技术进行受众感知研究（见图 1）。Latulipe 最先在表演活动中采集观众的皮肤电信号，对其情感状态进行监测，将观众的情感体验与生理信号特征建立联结^[4]。Martella 团队为观众佩戴三轴加速计，对其身体动作的加速度进行计算，并对表演活动中观众的重要情感体验进行量化，能够反映观众在观演过程中的沉浸程度^[5]。

近年来随着便携式脑电传感器的出现，使得脑机接口（Brain-Computer Interface, BCI）逐渐成为表演情感识别的新方向^[6-7]。研究者们获取观众的脑电信号（Electroencephalography, EEG）进行识别分析，建立情感状态，通过反馈系统辅助表演者进行内容调整，利用参数评估模型分析表演者和观众的情感相似度，辅助其对表演内容的理解^[8-9]。除了被动式的监测与评估，研究者们利用脑电信号也进行了自适应交互界面方面的研究。自适应性的概念来源于人机界面技术，根据用户需求和上下文环境自主设定交互行为与反馈机制^[10]。在表演领域，自适应性最早用于互动影像研究，即根据观众的情感状态实时反馈相应的情

感内容。如英国艺术与创新影展的“Scanners”作品^[11]和栾凌菲以《纽约，我爱你》为实验影片的反馈研究^[12]等，通过对观众的生理信号进行追踪和情感监测，尝试设计并呈现多样化的表演情节。“Neurable 团队在 SIGGRAPH 上首次发布虚拟环境下的智能脑机接口，通过观众的 EEG 信号实现虚拟环境中的主动控制与交互反馈行为^[13]。对当前表演活动中的受众感知研究进行分析可知，表演媒介的转变使得虚拟空间下观众的情感感知逐渐受到关注。Naz 团队通过实验证实虚拟空间与真实环境中的共性表征（如色彩、明度、纹理等）在情感体验上具有一致性，说明虚拟空间可以有效模拟出真实的“视听”环境并诱发相应情感^[14]。Moghimi 等人针对情感化的虚拟环境首次构建多模态生理数据集，实现基于情感维度空间的准确分类^[15]。虚拟空间的出现为观众的情感研究建立了新的方向。但同时多维表演空间存在一定的环境复杂性，针对观众与表演者的交互方法及行为机制并不明确，为受众情感体验的识别与量化增加了难度。因此，稳定、精确的受众感知监测方法是当前表演活动中评估观众体验效果的关键因素。

2 感知材料赋能生物电传感技术

精准的脑电信号监测作为认知心理研究的一个重要实验手段，要求传感器和头皮要有良好接触，阻抗较低且稳定。生物电信号传感器是用于测量的关键组件，其中湿式传感器需要导电糊状物（如导电胶，导电膏）来降低阻抗，测量精度高，但导电糊状物的使用在一定程度上增加了操作难度，同时舒适性较差，对大部分应用情境都有限制。干式传感器通常采用刚性的管状金属柱并前置放大器，虽然这种设计佩

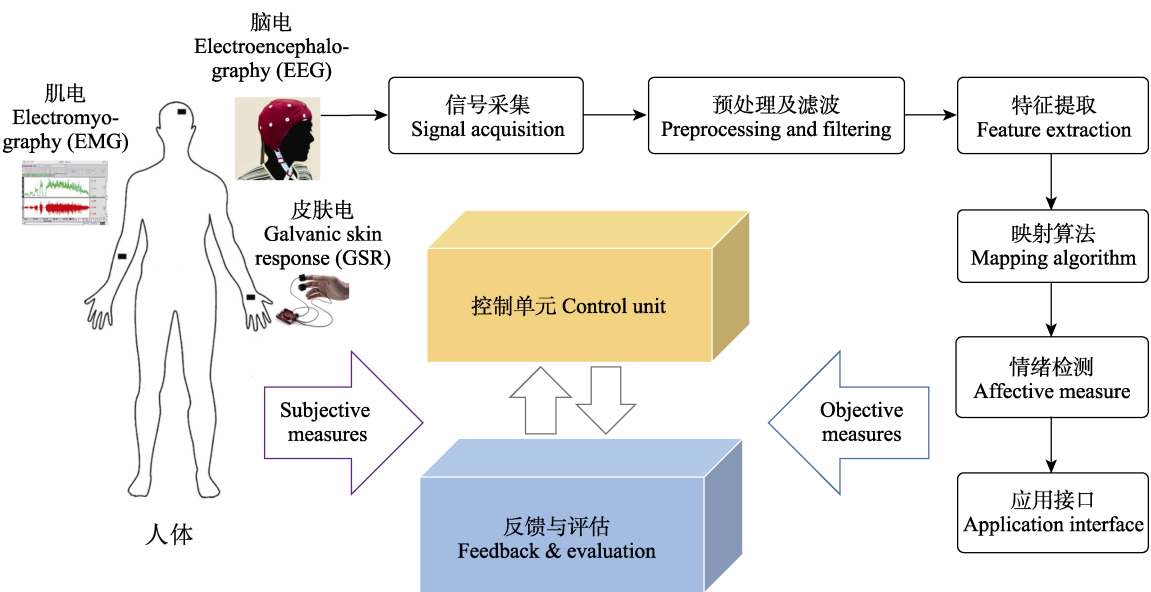


图 1 人体生物电信号的采集与处理
Fig.1 The collecting and processing of biomedical electronic signal

戴起来方便快捷,但仍存在一些问题。首先是电极与皮肤间的阻抗较高,测量噪声大;其次,由于刚性柱直接与皮肤接触,长时间佩戴会产生痛感^[16]。半干式传感器(Semi-dry polymer sensor)介于湿式传感器与干式传感器之间,其技术原理是在人体外建立类似体液的离子通道来传输生物电信号,能够在脑电电极上执行高质量的信号采集,实际收集到的数据质量相比干式传感器更加准确。与传统的湿式传感器对比,仅需要极短的系统配置时间即可开始工作,使用后无需清洁设备和头部皮肤。对于参与者来说,少许湿润对比长时间涂抹导电糊状物也大大提高了用户体验与满意度,并且实验完成后水分可直接蒸发。Emotiv公司的人机界面控制系统(如14导、5导头戴脑电设备),使用非侵入式、半干式传感器,持续对头部皮肤施加压力,使传感器捕捉脑电信号,从而测量人体脑电活动、实时探测和处理各类不同的脑电波模式,见图2。此类头戴脑电设备的稳定性与便携性为表演活动中观众的情感监测与自适应性反馈提供了强有力的保障。

由于不同媒介下的表演交互形式及观演模式存在一定的不规律性与复杂性,观众个体在特定时间段、特定内容下的情感评估往往具有片面性。因此,研究通过具体表演实例,重点分析并阐述表演活动中基于生物电传感的观众情感度量方法与交互反馈机制,建立面向受众感知的表演交互评估框架,通过表演实例证明半干式脑电传感器在表演领域中的可用性与有效性,为未来虚拟空间中新型表演交互形式的创建、虚拟表演的情感评估及其内容反馈提供指导性建议。

3 面向受众感知的表演交互评估框架

3.1 表演交互评估框架

在真实环境中,观众以观看者的身份参与实际表演活动,评估框架见图3。研究基于连续情感维度模型,对观众的生物电信号进行采集、处理与分析。利用情感维度模型在定性的情感状态与定量的空间坐标之间建立映射关系。有效的情感识别能够反映表演

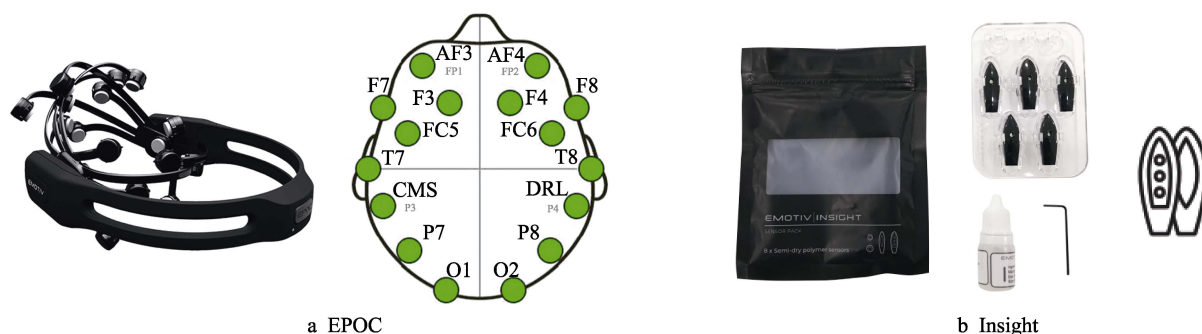


图2 Emotiv 半干式脑电传感器
Fig.2 Emotiv: the semi-dry polymer sensor

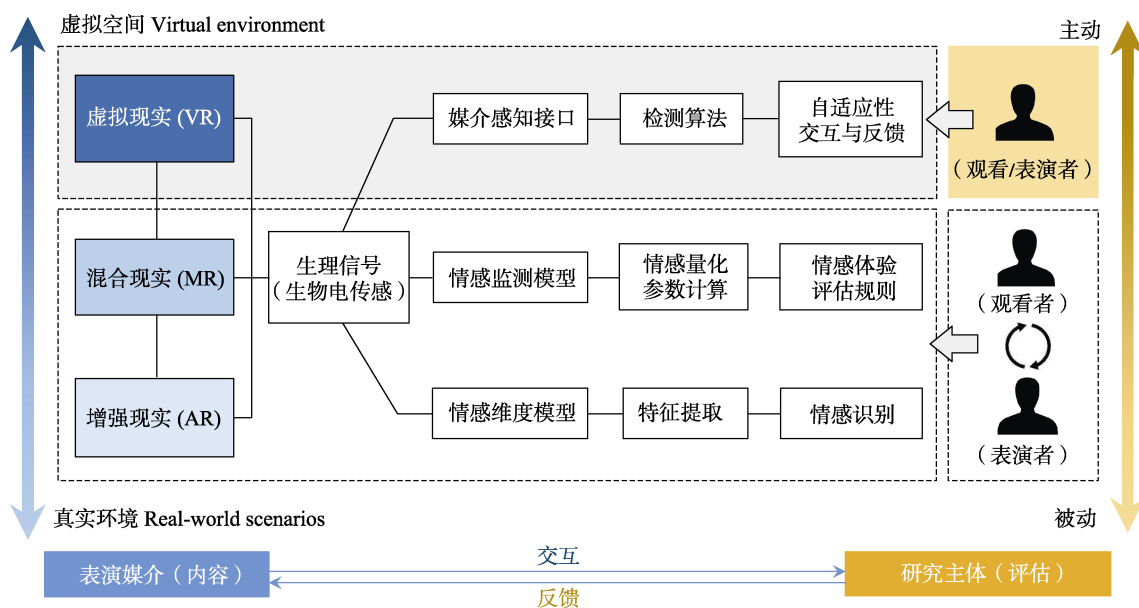


图3 评估框架
Fig.3 The evaluation framework



图 4 实验测试现场

Fig.4 Experimental testing site

内容的情感特征,提供更加准确的情感状态描述。研究通常以二维情感模型^[4]为理论基础,通过多模态生物电信号在不同情感维度上进行识别,研究其与主观情感评价之间的显著相关性。另外,实现对表演合理评估的关键是将观众的实时情感体验转化为可量化的情感度量参数。针对情感体验度量,应从个体与群体两个角度综合考虑。在个体认知方面,研究观众“参与度”(Engagement)的生理特征提取及参数量化方式,计算其情感维度辅助定性判断;在群体交互方面,探索群体在表演空间下的社会属性,研究观众与表演内容、观众之间的交互行为机制及其动态度量策略。

在虚拟空间中,观众逐渐替代了表演者的角色,开始参与表演内容的实际创建。研究采用隐式测量方法对观众的情感状态进行监测与评估,建立其与情感模型的映射关系,以适应以观众情感等级为准则进行表演内容反馈^[5,17]。在创建交互反馈机制方面,根据观众在表演过程中的情感状态构建“媒介—感知”接口对表演内容进行实时调整。在这一阶段,观众的生物电信号通过媒介接口导入,根据自适应算法进行情感度量及阈值判定,激发决策机制,对表演内容进行重塑,实现并行多线程的表演反馈,在二度创作的同时提升观演体验。

此框架将表演活动的“评估与反馈”这一核心任务进行层级化分析,在表演媒介的转化过程中对观众的情感认知进行拓展。评估框架将分散的情感识别与度量方法进行集成,明确其体系化结构,建立虚拟空间下的自适应性交互与反馈机制。为了证实基于半干式传感器的脑电信号 EEG 在表演评估中的有效性,下面分别以两个表演实例进行详细说明,两种表演均采用 Emotiv 头戴脑电设备作为脑电数据采集工具。

3.2 真实环境中的受众情感监测与评估

为研究真实环境下的受众情感监测与评估,研究以戏剧《德龄与慈禧》作为表演实例,对小样本观众的 EEG 信号进行采集(见图 4),筛选并建立了适用于现场表演的观众参与度指数,同时计算基于脑电信号的二维情感值,建立基于观众参与度和情感激发维

度的表演评估规则。实验以表演理论和故事线为基础,将整个表演过程划分为两个不同阶段,即起始阶段(CSP)与冲突阶段(CAC)。实验在两个阶段下筛选出具有情境特征的片段,计算参与度与二维情感数值,分别对观众的实际情感体验进行实时监测与评估。

研究使用重复测量方差分析法对观众的现场观演体验进行评估。实验结果证明指数 $\frac{\beta}{(\alpha+\theta)}$ 可以对

观众的参与度进行较为准确的数值呈现,同时在不同表演阶段下有明显的区别。在冲突阶段,观众的参与度水平伴随表演内容的发展呈现明显的增长趋势。在两个表演阶段中,研究通过对观众的二维情感维度值的监测与分析来反应观众情感状态的变化。结果发现在冲突阶段中观众的情感激发维度要显著高于其在起始表演阶段时的水平,即 $t(1,29)=3.959, p<0.001$,然而观众在情感效价维度方面并没有明显差异,但存在个别观众负面情感较为突出的情况。研究为确保观众在表演过程中处于一个较为合适的观演状态,建立了表演评估规则,即将参与度与激发维度进行分级评定,建立相关阈值表明观众的沉浸程度,见图 5。在不同的表演阶段下,观众体验有显著差别,即起始阶段观众的参与度与情感激发维度值基本能保持在阈值范围内,处于较为沉浸的状态。而在冲突阶段,观众的情绪变化较为突出,处于高唤醒度的状态,表明相应的表演内容在为观众带来一定的心理压力。实验证明,研究所建立的表演评估规则可以准确地呈现出观众的观演状态,进而对现场表演活动进行较为合理的评估。同时观众的情感激发维度值与参与度水平呈现一定的相关性。此研究证实了基于观众脑电信号的感知方法可用于现场观众情感监测与表演评估。

3.3 虚拟空间下的自适应性交互与反馈

为研究虚拟空间下观众的情感状态及表演内容的交互与反馈,研究选取歌剧《齐格弗里德》作为表演案例,通过构建数字表演仿真平台,实现高保真的虚拟舞台效果。通过采集观众的 EEG 脑电信号对“参与度”进行监测,设计并构建与表演内容相关的实时反馈机制来提高观众的参与度,从而提升整体观演体验,《齐格弗里德》虚拟场景见图 6。

研究同时还提出一种基于 EEG 的观众参与度自适应阈值检测算法,通过阈值检测确定关键时间点来触发相应反馈信息。当系统检测到观众参与度显著下降时,触发其内容相关的表演元素,对观众的情感进行诱发。研究将表演分为 3 种模式,即无表演反馈模式(NPC),单一表演反馈模式(SPC)和多重表演反馈模式(MPC)。研究通过定量与定性分析方法验证虚拟空间下观众 EEG 情感监测的有效性、检测算法的准确性以及表演诱因对观众参与度的影响。在定量方法中,实验收集观众在表演中的参与度及其在细

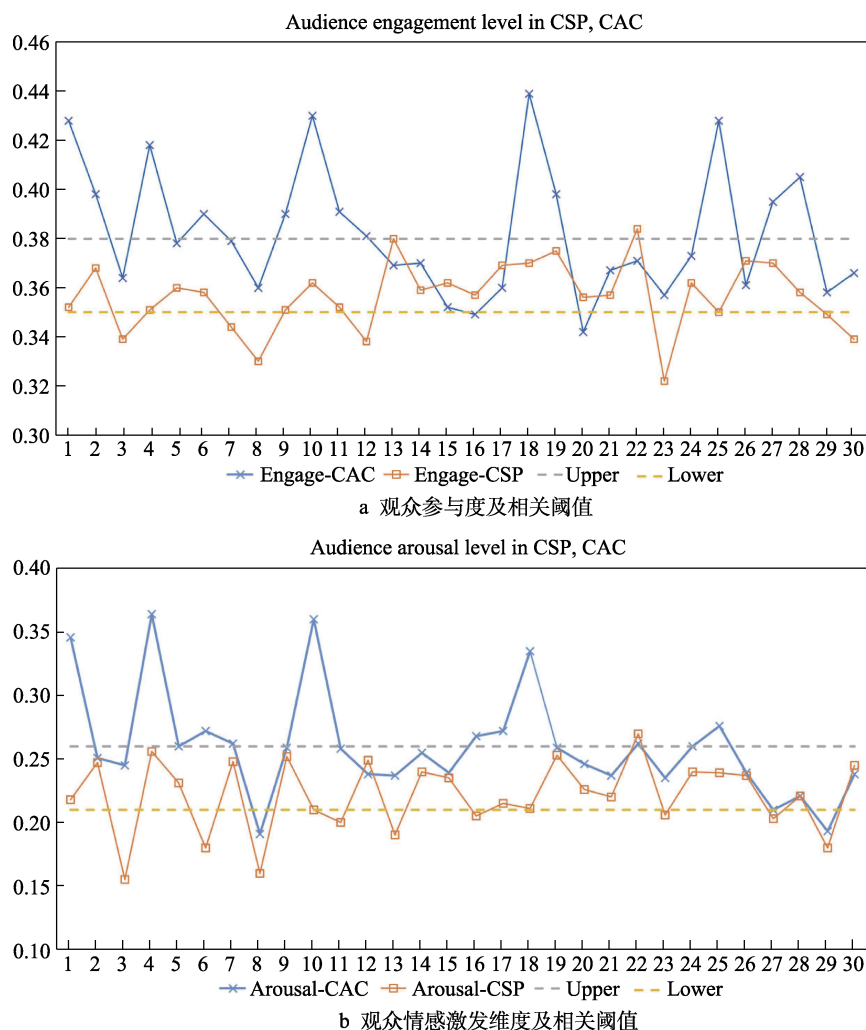


图5 观众的参与度和情感激发维度值及相关阈值

Fig.5 The engagement level/arousal level and the related thresholds

图6 《齐格弗里德》虚拟场景
Fig.6 Virtual scenes in "Siegfried"

节复述能力测试中的评定分数。在定性方法中,研究通过调查问卷对观众的主观体验进行评估,将其分为4个维度,即沉浸度、印象度、愉悦度和效能度,并

使用7个等级的李克特量表进行评价,同时允许观众对特定问题添加解释性回答。

研究结果表明,观众的参与度均值水平在所设定的阈值点之前(30 s)显著高于之后(30 s)的参与度均值水平,即 $F(1,66)=10.506$, $p=0.002$,证明研究所提出的算法可以准确判定观众参与度的显著下降。在SPC和MPC模式下,系统设定在监测到下降阈值时,同时触发相关表演反馈元素,结果表示两种表演反馈模式下观众的参与度水平在阈值前后均无显著性差异,即相关表演反馈可辅助控制参与度水平的显著下降。同时结果显示三种表演模式下观众的平均情感稳定值分别为182.8 (SD=49.3)、276.8 (SD=61.5)和349.4 (SD=48.2),即相比SPC, MPC对观众参与度的提升有显著作用。在细节复述能力测试中, NPC模式总体得分最低, MPC模式得分最高,超过SPC模式32%。证明动态化组合的表演反馈可以增强观众对表演细节的印象。相比SPC, MPC对观众的唤醒度更高。

在主观评价中,研究发现观众在MPC模式下的

沉浸度最高。在印象度的结果中, SPC、MPC 均高于 NPC, 证明观众受到动态化组合的表演反馈时, 其唤醒度较高, 这一点与细节复述能力测试结果一致。另外, 三种模式下愉悦度的差别不大, SPC 与 MPC 的效能度基本相同。研究挑选少数代表性问题并得到关键反馈, 如 MPC 模式下观众普遍认为表演内容更易于理解, 相关表演反馈能够辅助剧情类表演, 使叙事主线更加清晰。动态化组合的表演反馈相比单一表演反馈, 在观众的参与度和细节记忆的增强上有显著作用。另外, 研究对表演反馈元素的特征还有一些新的发现, 如设计与表演情境相融合的动态舞美变化以及环境特效等方式可以激发观众的短时沉浸度等, 这些发现为研究进一步探索虚拟空间下的表演内容反馈设计奠定了基础。

4 结语

面向受众感知的研究能够推动智能人机交互的未来发展, 是多样化的表演艺术形式创新的基础。通过研究发现, 生物电传感技术不断在拓展其评估领域及监测工具, 越来越多的新型感知材料赋能表演活动中的受众感知研究。在未来, 研究将尝试采用多模态生理信号对虚拟空间下的受众情感特征通过连续型情感维度模型进行准确描述, 分析其与主观评价之间的相关性、显著性等判定指标, 从而建立虚拟空间下观众的情感体验与其生理信号间的映射关系。不同的情感度量指数如“参与度”、“临场感”等可作为表演内容的评估指标。研究将通过观众情感状态推导度量参数的动态变化趋势, 着力于实现虚拟表演活动的整体化评估。

另一方面, 表演活动的对象为观众, 即表演内容需要提供给观众群体良好的观演体验, 同时保持其特殊的空间社交属性。针对这个问题, 未来研究将个体认知与群体交互进行结合, 着力于探索群体社会属性在虚拟空间下的重现方式, 研究观众与表演者以及观众之间的交互行为机制及其动态度量策略, 深入开展虚拟空间下的表演评估与实时反馈研究。

参考文献:

- [1] BENFORD S, GIANNACHI G. Performing Mixed Reality[M]. Cambridge: The MIT Press, 2011.
- [2] SPARACINO F, WREN C, DAVENPORT G, et al. Augmented Performance in Dance and Theater[J]. International Dance and Technology, 1999, 99: 25-28.
- [3] WILLIAMS D L, KEGEL I C, URSU M, et al. A Distributed Theatre Experiment with Shakespeare[C]. Brisbane: In Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia, 2015.
- [4] LATULIPE C, CARROLL E A, LOTTRIDGE D. Love, Hate, Arousal and Engagement: Exploring Audience Responses to Performing Arts[C]. Vancouver: Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems, 2011.
- [5] MARTELLA C, GEDIK E, CABRERA Q L, et al. How was it?: Exploiting Smartphone Sensing to Measure Implicit Audience Responses to Live Performances[C]. Brisbane: In Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia, 2015.
- [6] ZIOGA P, CHAPMAN P, MA A, et al. A Wireless Future: Performance Art, Interaction and the Brain-computer Interfaces[C]. Lisbon: International Conference on Live Interfaces, 2014.
- [7] NIJHOLT A, NAM C S. Arts and Brain-computer Interfaces (BCIs)[J]. Brain-computer Interfaces, 2015, 2(3): 57-59.
- [8] HASSIB M, SCHNEEGASS S, EIGLSPERGER P, et al. EngageMeter: A System for Implicit Audience Engagement Sensing Using Electroencephalography[C]. Denver: In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2017.
- [9] EATON J, JIN W, MIRANDA E. The Space Between us: A Live Performance with Musical Score Generated Via Affective Correlates Measured in EEG of One Performer and an Audience Member[C]. Shanghai: The International Conference on New Interfaces for Musical Expression, 2014.
- [10] BROWNE, D. Adaptive user interfaces [M]. Amsterdam: Elsevier, 2016.
- [11] PIKE M, RAMCHURN R, BENFORD S, et al. Scanners: Exploring the Control of Adaptive Films Using Brain-computer Interaction[C]. San Jose: In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2016.
- [12] 栾凌菲. 延伸与反思: 基于电影感知研究的中国电影研究新思路[J]. 电影艺术, 2019(1): 138-144.
- [13] LUAN Ling-fei. Extension and Reflection: Film Perception and Cognition Study as a New Approach for Chinese Film Research[J]. Film Art, 2019(1): 138-144.
- [14] JANTZ J, MOLNAR A, ALCAIDE R. A Brain-computer Interface for Extended Reality Interfaces[C]. Los Angeles: In ACM SIGGRAPH 2017 VR Village, 2017.
- [15] NAZ A, KOPPER R, MCMAHAN R P, et al. Emotional Qualities of VR Space[C]. San Diego: IEEE, 2017.
- [16] MOGHIMI M, STONE R, ROTSHEIN P. Affective Recognition in Dynamic and Interactive Virtual Environments[J]. IEEE Transactions on Affective Computing, 2017(11): 45-62.
- [17] 段晏文, 李广利, 樊安生. 一种生物电信号传感器及其用于制作电信号采集装置的方法: 中国, CN105011926A[P]. 2015-11-04.
- [18] DUAN Yan-wen, LI Guang-li, FAN An-sheng. Bioelectric Signal Sensor and Method for Making Electric Signal Acquisition Device: 中国, CN105011926A [P]. 2015-11-04.
- [19] FLEUREAU J, GUILLOT P, ORLAC I. Affective Benchmarking of Movies Based on the Physiological Responses of a Real Audience[C]. Geneva: Geneva, 2013.
- [20] MARTELLA C, GEDIK E, Cabrera-Quiros L., Engle-bienne G., Hung H. How was it?: exploiting smartphone sensing to measure implicit audience responses to live performances [C]. In Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Multimedia (pp. 201-210). ACM, 2015.