

摘要 随着生物反馈技术的普及，人们很可能在未来的10—20年实现感官增强和智能增强。此外，随着物联网的发展，人们控制世界的手段也将大大拓展。这些可穿戴设备和移动终端将深远地改变人与环境互动的方式。从可穿戴设备、生物传感器、情感计算等软硬件技术进步开始，介绍它们为环境体验测量和绿色开放空间的健康效益评价等方面研究与应用提供的新机遇，以及给环境设计带来的技术革新。在此基础上，简要介绍近四年课题组在环境感知测量及设计决策支持方面的研究进展，主要包括基于脑电测量恢复性环境对认知水平的影响、基于自主神经反馈的环境情感地图分析和情绪测量等方面实验初步结论。

关键词 环境神经科学 可穿戴设备 人机交互 生物传感器 情感地图

ABSTRACT In the next 10 to 20 years, with the progress and popularization of biofeedback technology, we will likely achieve sensory augmentation and intelligent augmentation. Our means of controlling the world is greatly expanded by the internet of things. These wearable devices and mobile terminals will revolutionize the way we interact with the environment. This paper starts with the technical advances in hardware and software such as wearable devices, bio-sensors, and affective computing, and introduces their new opportunities in environmental experience measurement and health benefits evaluation of green open space, as well as the technology innovation brought to environmental design. On the basis of this, the research progress of environmental awareness measurement and design decision support in the last four years is briefly introduced, including the influence of restorative environment on the cognitive level based on EEG measurement, the environmental affective map analysis based on autonomous neural feedback and emotional measurement, and other aspects of experimental preliminary conclusions.

KEY WORDS environmental neuroscience, wearable devices, human-computer interface, bio-sensor, affective mapping

DOI 10.12069/j.na.201803004

中图分类号 TU-05 **文献标志码** B **文章编号** 1000-3959 (2018) 03-0020-04

基金项目 住房城乡建设部科学技术计划与北京未来城市设计高精尖创新中心开放课题项目(UDC2017010521); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(22120170016, 22120180084); 同济大学高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室项目; 同济大学人文社科青年基金课题(1400219033)

陈筝 杨云 曹静* 王为峰 刘颂

CHEN Zheng YANG Yun CAO Jing WANG Weifeng LIU Song

可穿戴交互技术下的健康循证设计

Evidence-Based Health Design via Wearable Human-Computer Interface Techniques

一 可穿戴技术下的建成环境设计

作为建成环境设计学科的研究者，我们研究的核心对象就是环境与人的互动，并通过对环境的塑造和控制去满足使用者在这种互动过程中的需求和偏好^[1]。传统的人与环境互动的方式主要通过人体的感觉器官，如眼睛、耳朵等去感知这个世界；然后用大脑去加工这些感觉、知觉信息，从而理解这个世界；在理解的

基础上，再通过手以及各种工具去控制、支配这个世界（图1）。

随着可穿戴反馈技术的进步和普及，我们在未来的10—20年将很可能实现感官增强和智能增强，控制世界的手段也被物联网大大拓展。这些可穿戴设备和移动终端将会深远地改变我们和环境互动的方式。首先，我们不再仅仅依靠肉体的感觉器官去感知世界，因为将有一系列可穿戴传感器技术给我们提供所

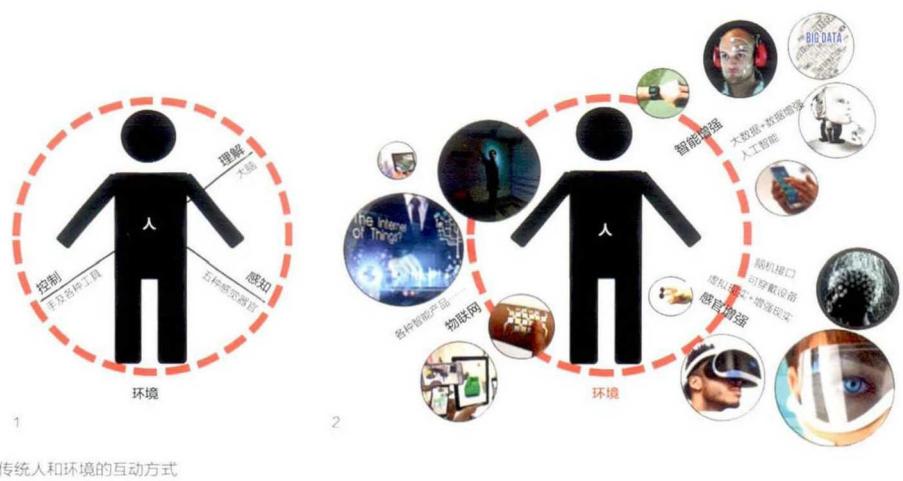
[作者单位] 陈筝、杨云、王为峰、刘颂：同济大学建筑与城市规划学院，高密度人居环境实验室数字景观分实验室（上海，200092）

曹静：同济大学设计创意学院，同济大学亚洲生活方式及设计基因研究实验室（上海，200092）

*通讯作者（E-mail: caojing.tongji@gmail.com）

谓的感观增强 (sensory augmentation)。如脑机接口 (brain-computer interface) 可以直接读取大脑意识信号，捕捉我们的运动控制、感觉，甚至高级知觉信号，增强现实 (augmented reality) 和虚拟现实 (virtual reality) 技术可以实现多模态数字信息融合，丰富人眼可以看到的视觉信息，并可以直接被直觉脑加工。实时的皮电导 (skin conductance) 等电生理信号将比我们的意识更快、更准确地识别我们的压力和情绪变化。其次，通过各种个性化行为数据和生理数据的数据挖掘，如社会计算 (social computing)，城市计算 (urban computing)，情感计算 (affective computing) 等，我们可以实现智能增强 (cognitive augmentation)，更深刻地理解单个使用者独特的行为偏好和环境需求，而这种偏好和需求在智能增强之前，使用者自己很可能都没有意识到。再次，日新月异的人机交互方式 (human-computer interface) 和物联网 (internet of things) 大大拓展了我们控制环境的方式，可以通过手势、表情、动作、意念等实现对外部环境的无接触远程控制。更让人兴奋的是，通过认知增强对这些个性化实时数据的偏好需求挖掘，可以借助物联网实现环境对于个体需求的实时智能响应 (图2)。

比如一个智能手机，在过去5年中竟深刻影响着我们的生活方式。人们的联系、交流方式从电话短信发展到更加便捷的微信语音或视讯；微博等应用能更大程度地满足人们的信息需求，并先于电视、广播、报纸等传统载体接收到最新的资讯；现在足不出户，需要购物时，只需打开手机应用，浏览各类商品，选中自己想要的产品进行支付就能送货上门；外出旅行前，打开相关应用，安排路线、订机票酒店等各种服务一应俱全；支付宝、微信支付等支付方式的普及使得人们出门无需携带钱包，通过手机支付就能满足交通、饮食、娱乐等各类需求，同时也带动了共享单车、共享充电宝等共享产品的兴起与发展。不难预期这一系列的新技术将会深远地影响着人和环境、人和人的互动方式。而以研究环境与人互动为核心的建成环境设计学科势必也会伴随着这一系列技术革新发生变化。这种技术改变将会深远影响着这个学科的发展前沿，提供更



¹²⁾ 多新的可能性。

接下来，将分别从感观增强、智能增强和交互物联控制三个方面介绍这方面的国际研究前沿及同济大学数字景观分实验室最近的研究进展。

二 感观增强

智能手机和可穿戴传感器的进步和普及，一方面拓展了空间使用者的环境体验，另一方面为设计师提供更多的可能性。

1 加强空间体验：华盛顿纪念碑基于GPS传感器的空间音乐

利用智能手机和可穿戴传感器加强空间体验的一个成功例子，是来自于一款斯坦福大学的实验媒体艺术实验室设计的智能手机应用。该应用利用手机GPS传感器的地理定位信号，现场生成具有场所特征的空间音乐，以强化场地体验^[3]。每个行人行走的路径不同，通过的场所空间也不一样，因此每个人听到的音乐都不一样。

该实验室人员为纽约中央公园和华盛顿纪念碑各自制作了一款空间音乐。以华盛顿纪念碑为例，当你从周围的广场逐渐靠近纪念碑时会陆续听到各种乐器的声音。首先是电子琴独奏，旋律简单而舒缓，随着靠近又加入了小提琴的声音，继续向前走，合唱团的声音也融入进来，气势愈发高亢，此时的心情就像

逐渐爬上一座高山。最终到达纪念碑时，鼓声和烟花爆炸的声音响起，音乐变得激昂震撼，人的情绪也到达了顶端，好像所有声音从公园中心的纪念碑石塔顶端中迸发而出。而如果行进的方向相反，即逐渐远离纪念碑时，音乐的进程也相反，从激昂澎湃到宛转悠扬，直至逐渐消退（图3）。

2 设计辅助：引入三种移动端信息技术

当前的空间规划设计实践，由于需要考虑方面较多，往往采用“调查-分析-综合”的设计流程。视觉分析往往需要依靠ArcGIS等分析软件，而规划设计往往需要AutoCAD、SketchUP等设计软件，故实际操作中往往把资料分析、方案设计等阶段和现场基础调研工作分开，调研和工程实施以外业为主，分析设计以内业为主。由于内、外业的阶段分工，很多风景园林师常不得不在缺乏基地及周边三维视觉信息环境下，仅通过记忆、照片以及二维地形图纸，在白背景的纸质或模型空间中进行着“被剥夺直接视觉感受的”视觉分析、规划和设计工作^[4]。

为追求更真实完整的视觉环境，有不少专业人士投身于计算机仿真方面的技术探索。但在风景园林实践中，特别在中国工期紧、数据获取不易的现实状况下，计算机内业模拟不仅耗时、耗资且效果不佳。对比之下，将主要设计决策活动向外业转移可能更为可行。但决策活动向外业转移之后，如

3 华盛顿纪念碑基于GPS传感器的空间音乐



何完成通常在内业完成的复杂计算机分析和三维模拟，以及如何将其分析模拟结果快速传到外业成为新的问题。

为了解决上述问题，更好地实现移动端外业作业智能化和内外业协同作业，我们引入了三种技术，分别是手机照片自动地理定位管理、移动地理信息系统实现实时记录和内外业协同作业，以及增强现实技术在视觉规划设计中的应用。上述技术已用于景观规划课程教学和实践^[5]。

首先，在现场调研照片采集上，我们利用智能手机的GPS定位功能，采用picasa图片管理软件内置google earth空间定位系统，根据照片元数据内的拍摄地理位置进行照片自动空间定位，改进了原来现场调查后要调查员在内业人工比对再定位照片的工作方式，大大简化了现场调研的内业工作流程（图4）。

其次，利用GISCloud平台实现现场调研和规划干预策略的内外业协同作业。近年来地理信息技术发展飞速，原来的外业调研、内业集成的作业方式现在可以通过以云储存（cloud）为核心的地理信息协同（geo-collaboration）来完成，常用平台包括ArcGIS 移动端服务平台，SuperMap iServer，Map GISCloud，iGIS，MapGoGIS，

GIS Pro/Kit等。2013年，在同济大学教改项目中，首次将地理信息协同应用到了毕业设计教学。其中图5是在GISCloud平台进行现场信息内外业记录交流的过程图片。

针对景观设计中实景信息缺乏的问题，在外业中采用三维虚拟技术对拟建设方案进行模拟也尤为重要。这方面技术在近20年来有突破性进展，其中最为突出的是增强现实（Augmented Reality）技术。该技术是近20年里开发的计算机虚拟环境（Virtual Environment）技术的一种，它通过实时摄像头影像、移动设备显示屏、google智能眼镜等，可以直接看到真实三维动态空间和虚拟三维实体的叠加影像。增强现实技术能够较好地回应对景观设计中实景信息缺乏的问题，并已较为广泛应用于文化旅游等领域，如业界熟悉的圆明园数字重建工程。通过增强现实技术，设计师可以在真实三维空间内，通过移动视点，从不同的视角考察设计方案和周边环境的视觉关系，实景模拟方案建成效果。其中图6是对虚拟方案进行的现场实景模拟图片。

三 智能增强

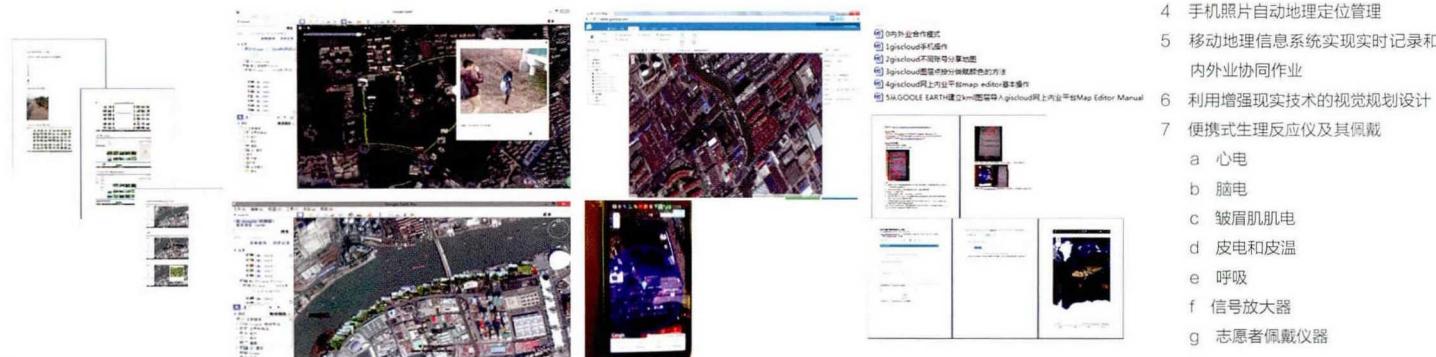
环境感受是环境设计的核心问题。在设计室内

外空间时，除了满足特定功能需求外，还要尽可能创造满足人情感需求和审美体验的空间。虽然我们能够较好地评价使用功能的满足情况，但我们却很难描述环境对于情感需求和审美体验的满足情况。

神经认知科学的知识发展以及电生理信号测量分析的技术进步为情感测量提供了新的可能，可以帮助我们更直接地观测人的情绪体验。心理学家发现，复杂的情感可以简化为情绪效价（valence）和情绪唤醒（arousal），前者表明是一种正情绪（如高兴）还是负情绪（如生气或沮丧），而后者标识情绪的强烈程度^[6]。实验心理学家进一步发现，这两个情绪维度可以通过测量生理反应来记录^[7]。

在上述理论和实证的支撑下，我们进行了视景环境体验记录的预实验。在实验中，志愿者穿戴心电、脑电、肌电、皮电、皮温和呼吸传感器，携带GPS定位仪在环境中行走，并实时记录下他们的空间轨迹和电生理信号，最后根据生理传感器同情绪效价、唤醒度的相关程度^[3]计算出行走中的环境实景体验（图7）。

预实验结果初步显示，利用行走时采集的生理数据和随后问卷采集的环境体验吻合度较好，能够有效识别引起负面情绪的环境压力源，从而帮助设计者发现设计尺度下的空间体验问题。据此诊断结

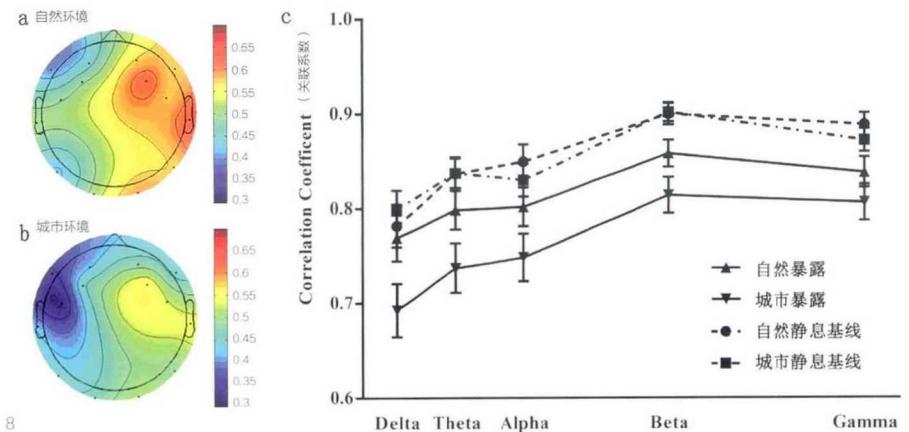


4



5

- 4 手机照片自动地理定位管理
 - 5 移动地理信息系统实现实时记录和内外业协同作业
 - 6 利用增强现实技术的视觉规划设计
 - 7 便携式生理反应仪及其佩戴
- a 心电
 - b 脑电
 - c 眉眉肌肌电
 - d 皮电和皮温
 - e 呼吸
 - f 信号放大器
 - g 志愿者佩戴仪器



8



8 自然环境下和城市环境下的大脑功能链接及频域分布
9 手套及其交互游戏
a 对手眼敏捷度的训练
b 对手眼精准度的训练
c 对视觉识别度的训练

果，我们可以进一步通过设计干预控制目前环境压力源，降低环境空间体验中的负面情绪。

不同的环境究竟引起了怎么样的大脑活动，继而影响人的身心健康呢？为了更准确地了解环境暴露对于认知的影响，我们在另一个实验中测量了在优美的绿色自然和嘈杂的人工城市两种环境对人大脑功能链接的影响。通过记录人在小花园和高架路下的实时实景大脑活动，我们发现自然环境下大脑链接明显优于城市环境下，并且观看自然比观看城市更接近于无任务的静息休息状态下的大脑功能连接（图8）^[8]。

四 交互物联网控制

在利用可穿戴传感器通过感官增强捕捉人们没有充分感受的环境数据，并通过智能增强，对这些数据进行加工，进而转化为有意义的信息。然后，我们可以进一步利用这些信息通过交互物联网控制我们的环境。因为可穿戴传感器采集的数据是实时的，并且可以有效识别个体差异，所以我们可以实现精准相应个体用户需求的智能控制，从而控制建筑物理环境的声、光、电等。

我们实验室首先关注的是目前医学治疗效果并不理想的阿兹海默症，并尝试着将交互控制用于成本较低的功能性游戏开发。目前认知训练仍是对阿兹海默症早期干预的主要方式之一，但由于这类训练很机械枯燥，患者常常因为各种原因难以坚持，最后达不到治疗效果。

我们先后测试了脑电、触屏、压力传感器等多种交互方式，最后采用了触屏和压力传感器，发明了一款针对阿兹海默症早期干预的ADlove 认知训练手套（图9）。该手套大大改善了目前枯燥的认知训练方法，让深受阿兹海默症困扰的老年人在有

趣的游戏中快乐地完成治疗。游戏分别针对病人的手眼协调敏捷度、手眼协调精准度和边缘注意力感知进行训练。手套特别加入了利于祖孙互动完成的游戏元素：一方面，可以让老年人重新发现并肯定自我价值，同时在和孙辈的互动中获得更多的乐趣和欢笑；另一方面，新生代的孙辈也能通过游戏引导老年人接受并使用电子产品，并且两代人通过一副手套和一系列游戏能建立起更亲密的关系。该项目由景观系学生杨云负责，由合作的创意学院曹静老师指导学生进行智能软硬件技术开发，最终项目获2016年上海创客竞赛第二名。

五 总结和展望

神经认知和可穿戴交互技术正深远地影响着当代人与环境的交互方式。虽然目前在环境设计领域神经认知和可穿戴交互技术的应用前景还不明朗，但这样一种新的需求趋势，正在改写着国际环境设计领域的研究前沿。例如，美国建筑师协会（American Institute of Architects, AIA）2003年新成立了建筑神经科学分会（The Academy of Neuroscience for Architecture, ANFA）^[9]。美国环境行为学会（Environmental Design and Research Association, EDRA）也将2015年年会主题确定为“头脑风暴：环境行为和神经科学的动态互动”（BrainSTORM: Dynamic Interactions of Environment-Behavior and Neuroscience）。

在可以预见到的20年内，我们将在建筑及建成环境设计领域看到更多围绕交互技术的应用。这项应用需要环境设计、心理、神经认知、信号处理、微电子等多个学科的知识，因此只有当这些学科密切合作，才能解决真正具有突出价值的现实问题，创造真

正针对当前社会需求痛点的智能建成环境。□

图片来源：图3引自Holladay的TED讲座视频截图。
http://www.ted.com/talks/ryan_holladay_to_hear_this_music_you_have_to_be_there literally；其余图片均由作者绘制或拍摄。

参考文献

- [1] Kaplan S, Kaplan R. Cognition and Environment : Functioning in an Uncertain World [M]. New York: Praeger, 1982.
- [2] 怀松垚, 陈筝, 刘颂. 基于新数据、新技术的城市公共空间品质研究 [J]. 城市建筑, 2018 (5) : 12-20.
- [3] Holladay R. To Hear This Music You Have to Be There[EB/OL]. [2017-09-14]. http://www.ted.com/talks/ryan_holladay_to_hear_this_music_you_have_to_be_there literally.
- [4] 陈筝, 刘悦来, 刘颂. 美国景观视觉资源规划设计方法评析及新技术改进潜力分析 [J]. 风景园林, 2015 (5) : 111-117.
- [5] 陈筝. 环境综合信息支持的同济景观详细规划教学探索 [M]//同济大学建筑与城市规划学院景观学系. 同济大学景观学系科研教学成果年鉴 (2014 卷). 上海: 同济大学出版社, 2015: 56-65.
- [6] Russell J A, Snodgrass J. Emotion and the Environment[M]/Stokols D, Altman I. Handbook of Environmental Psychology. New York: Wiley, 1987: 245-281.
- [7] Lang P J. The Emotion Probe: Studies of Motivation and Attention[J]. The American Psychologist, 1995, 50(5): 372-385.
- [8] Chen Z, He Y, Yu Y. Enhanced Functional Connectivity Properties of Human Brains During In-situ Nature Experience [J/OL]. PeerJ, 2016(4) [2018-05-08]. <https://peerj.com/articles/2210/>.
- [9] 刘博新, 李树华. 基于神经科学的研究的康复景观设计探析 [J]. 中国园林, 2012 (11) : 47-51.

收稿日期 2017-09-14