中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2017)11-0041-05
DOI：10.14085/j.fjyl.2017.11.0041.05
收稿日期：2017-07-29
修回日期：2017-10-12

面向风景园林数字化设计教学的开源硬件设计实验初探

An Elementary Study on Experiment of Open Source Hardware Design for Digital Design Teaching of Landscape Architecture

包瑞清 王丁冉
BAO Rui-qing, WANG Ding-ran

摘要：借助嵌入式系统搭建装置原型，编写程序处理测量数据，通过小环境因子动态变化捕捉实验、装置灯具互动实验和水流源点动态记录实验，探索面向风景园林数字化设计教学的开源硬件设计实验。小环境因子动态变化捕捉实验利用所搭建测量设备的便携性和数据无线传输的能力，选定游走动线，在环境变化相对稳定的时间段内，获取环境因子测量值沿动线的剖面线，深入探索地物变化与小环境因子之间的关系。装置灯具互动实验引入嵌入式系统和各类环境传感器的应用，探索装置与环境变化的响应，以及装置与人互动的方式，寻求更能自然引发互动行为发生的机制，为进一步的互动艺术装置实验提供必要参考。水流源点动态记录实验源于风景园林专业课程实验，借助已有物理模型，通过视觉追踪捕捉随水流漂移的物体、收集坐标数据并记录轨迹，为教学实验提供了数字化渗入的可能。
关键词：风景园林；数字化；装置实验；编程语言

Abstract: This paper develops prototype installations with an embedded system and processes measured data by writing programmes. It explores how to improve digital design teaching of landscape architecture by exploring designs of open source hardware through experiments for capturing dynamic changes to small environmental factors, installation-lamp interaction experiments, and experiments for keeping dynamic records regarding sources of water flow. In the experiments for capturing dynamic changes to small environmental factors, flow routes are selected by developed portable measurement devices and wireless data transmissions. Within the period when environmental changes are relatively stable, the section lines along the flow routes are identified for measurements of the environmental factors to lay a foundation for intensively exploring relationships between feature changes and small environmental factors in terms of data. Embedded systems and various environmental sensors are applied in the installation-lamp interaction experiments to examine responses to installations and environmental changes as well as ways of interactions between installations and people, in an attempt to find a mechanism which can better induce interactions, so as to provide necessary references for further experiments about interactive art installations. The experiments for keeping dynamic records concerning sources of water flow derive from specialized experiments of landscapes. In these experiments, existing physical models are used for capturing objects which drift with water flow, collecting data about coordinates and recording trajectories via visual tracking, in order to make it possible for digitalizing teaching experiments.
Keywords: landscape architecture; digitalization; device experiment; programming language

目前，数字化景观的探索已经积累了丰富的研究成果，涉及方方面面，以地理信息系统（GIS）、参数化设计技术、景观信息模型（LIM）等可以直接应用于规划设计项目实践的为主。由于开源硬件（例如嵌入式系统）与本学科跨度较大，因此相关探索较少。本次基于嵌入式系统开源硬件探索之于设计领域应用的途径，包括 3 个实验：小环境因子动态变化捕捉、互动的装置灯和水流源点动态记录实验，实验涉及室外小环境（小气候）适宜性设计研究，景观互动艺术装置和水环境模拟。

包瑞清 /1980 年生 / 男 / 河北人 / 博士 / 西安建筑科技大学讲师 / 研究方向为数字景观（西安 710055）

BAO Rui-qing, who was born in 1980 in Hebei province, is a lecturer in School of Landscape Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. His research focuses on digital landscape architecture technology(Xi'an 710055).

王丁冉 /1990 年生 / 女 / 陕西人 / 硕士 / 西安建筑科技大学讲师 / 研究方向为数字景观与生态规划设计（西安 710055）

2017 年 3 月以来，以数字化设计教学的需求为基础，在西安建筑科技大学成立了数字营造学社，初次筛选出各个年级 2~4 人，共计 14 名学生与 3 名老师，通过将数字化设计方法渗入到各年级教学的课程体系中，以及建立数字化设计基本核心课程和网络化开源社区推进数字化设计教学。截至目前，数字化设计教学已经取得一定的成果，其中完成的 3 个装置实验，均由数字营造学社成员参与完成。

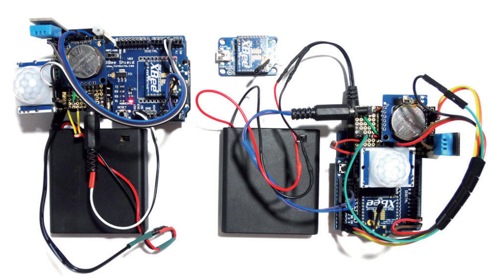
1 小环境因子动态变化捕捉实验

当前，小气候环境研究主要使用 Watchdog 小型气象站等设备定点测量风速、风向、温度、相对湿度、降雨量和太阳辐射量等信息，用于小气候变化与设计研究；或使用手持式风速计（带温湿度）测量相关数据；进一步地深入研究，则多使用涡度相关系统以综合测量各项环境变量。上述设备较多用于环境监测和生态系统研究，而风景园林规划设计方向相关研究多关注地物变化与环境因子的变化关系、生境营建与体验，上述设备本身受限于相对固定的测量内容以及测量方式，难以满足风景园林规划设计需求，同时在教学上不利于直观观测环境因子的变化。

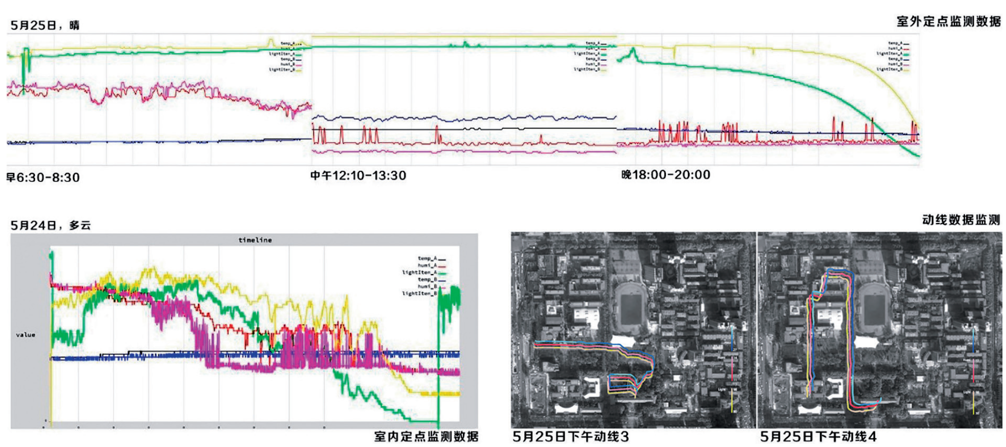
小环境因子动态变化捕捉实验 1 在上述背景下开展，实验最初目的在于对艺术装置本身进行试验，通过传感器获取环境因子数据，并通过 Processing 语言的编写实现互动艺术设计。然而，随着实验进展，实验方法、数据分析及可视化这几个方向最终成为重点，并由小气候环境设计研究进一步拓展到小环境因子的动态变化探索上。实验根据环境因子传感器所能获得的读数，实现更为自由的组合，例如除了基本的温湿度，还可以获取特定环境下的色彩、声音、气体和粉尘等读数，以及热释人体红外传感器等不同测量传感器所采集的数据，并根据组合数据分析研究不同地物下环境的变化，指导具体的规划设计。经过调整，实验的目的设定为：通过数据实时读取和可视化，直观地观察地物特征与环境因子变化的关系。

根据实验目的设计实验方法如下：1）根据实验目的设计装置。实验所测量的初始内容较少，包括温湿度、人活动监测等 3 项内容。2）通过建立原型确定可行性。3）在可行性确认后进一步增加传感器，获取更多环境数据。如图 1 所示，装置设计使用 Arduino 的生态开源嵌入式系统，包含 2 个监测设备，同时监测 2 个地点的环境数据。随着研究的深入，可以制作更多的监测设备，同时获取大量不同典型地的实时数据，更全面地探索不同环境下因子变化情况。各个监测设备获取数据之后，由 XBee 无线传输至电脑端，在电脑端使用互动艺术编程平台 Processing 处理接收到的数据，做可视化处理如图 2 所示。

实验内容主要包括 2 个方面：其一，在一定时间长度下，监测环境因子随时间变化曲线。本次实验分为 2 个部分，2017 年 5 月 24 日于西建大主楼选取南向和北向的 2 个专教同时测量，时间段为 8：30—21：00，以及 2017 年 5 月 25 日于西建大校史馆前室外空间选取林荫与空地 2 个地点同时测量，时间段为 6：30—8：30、12：10—13：30 和 18：00—20：00 这 3 个时间段；其二，同一时间段下，沿路径游走实时测量数据记录。设备的便携性、实时数据的获取以及无线传输的设计，使得沿路径游走动线的测量成为可能。在环境变化随时间变化较小的时间段内，记录所选取路径下环境因子的数据。同时将数据在 Rhinoceros 的 Grasshopper 节点式编程平台下加载，通过编写程序将沿路径游走数据可视化，便于分析不同地物下小环境因子变化情况，直观对比分析地物变化所带来环境因子的变化。本次实验选取西建大主楼至西门和主楼至宿舍区并经教学大楼返回主楼 2 条路径，于 2017 年 5 月 25 日 9：12—9：29 和 15：36—15：43 测量第 1 条动线，9：34—9：53 和 15：56—16：19 测量第 2 条动线。



1



2

1 基于 Arduino 的测量设备
Arduino-based measuring equipment

2 Processing 可视化与 Grasshopper 可视化测量数据
Measurement data of Processing visualization and Grasshopper visualization

WANG Ding-ran, who was born in 1990 in Shaanxi province, is a lecturer in School of Landscape Architecture, Xi'an University of Architecture and Technology. Her research focuses on digital landscape architecture technology and ecological planning(Xi'an 710055).

小环境因子动态变化捕捉初步实验结果基本达到实验测量和初步研究探索室外小环境随地物变化的目的。通过改变用于测量的实验设备，根据实验目的自行建造实验装置，调整常规测量方法，引入动线测量，可以在环境变化较小的时间段内完成地面小环境测量的数据剖面线。从测量数据，能够直观反馈出温湿度、光照变化与地物紧密的关联关系，为深入研究探索室外小环境提供了一种可行的实验方法。

进一步的研究也已经开展，涉及 2 个方向的探索：1）更多传感器的接入，例如动线下环境颜色、景深变化与地物的关系等；2）借助 RS 遥感影像提取地物，获取地物分类，地表覆盖度和不渗透区域以及反演的地表温度等信息，对比分析传感器获取的数据，洞察数据下各环境因子与不同地物特征之间的关系，获取有价值的结论。亦可借助机器学习，例如 scikit-learn 开源程序，建立地物特征与环境因子之间的关系算法，在规划设计阶段预测未建成环境因子变化情况，有利于设计阶段方案的修正调整。该部分实验的代码主要涉及嵌入式系统下的 Arduino C，Processing 和 Grasshopper 3 个部分。

2 装置灯具互动实验

如何将嵌入式系统，例如 Arduino 生态系统以及 ROS 机器人操作系统等机械电子、智能化机器人领域的内容融入到设计当中，一直是需要思考的问题。在 2010 年之前，就已经有很多这方面的探索，也涌现出大量的互动艺术作品、智能家居解决方案等。Arduino、树莓派、LattePanda、SparkFun、SeeedStudio、Intell 控制器等大量嵌入式微控制器也因此而诞生。设计师们期望能够在自己的设计作品中应用最新的科技拓展出新的领域，不管是应用机器人建造，还是最新的材料应用，以及打印技术和辅助设计手段，都是在设计、建造等不同方向上寻找科技所带来的创新。

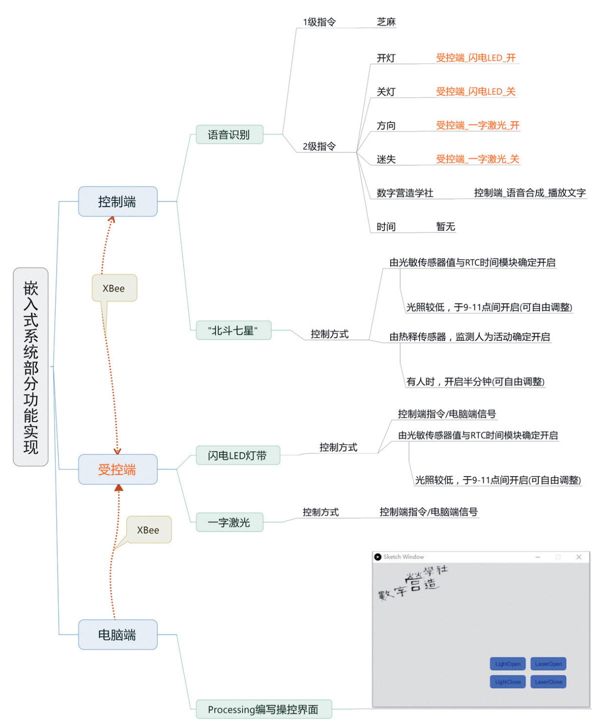
在装置灯具互动实验 2 中，用各类传感器获取外界环境因子的量化数据，作为研究的基础；同时，摆脱所购置设备功能固定的限制，根据实验需求自由搭建实验装置，从而获得创新的实验方法，必然有益于研究的深入推进。基于上述实验背景，第 2 个实验目的是建造一个艺术装置，嵌入语言识别与合成、环境光照、时间和热释红外感应等模块，共同作用下控制 LED 灯的开启与关闭。装置的设计可以分成 3 个层次，层次 1 为“容器”设计形式的建造；层次 2 为非智能化电气部分；层次 3 为加入智能化嵌入式系统部分。

层次 1 实际上即为常规的设计内容，只是在设计的过程中需要考虑未来容纳嵌入式系统装置的位置空间。在构思的过程中，根据所实现的内容不断修正，最终实际的建造则选择了 2 根保留木料原始纹理原汁原味的老榆木，建造过程大部分手工完成。

层次 2 和层次 3 同时考虑，首先确定嵌入式系统部分功能的实现（图 3）。在控制端：5V 电源连接 7 个光纤冰蓝小光源，通过内直径 2mm 外直径 3mm 尾端点发光外包黑色外皮的通体光纤探出木料外，构建“北斗 7 星”；受控端：包括 2 个部分，一个 5V 电源连接的 LED 灯带和一只一字激光头，打出红色激光，指示方向。控制端和受控端均设置有红外热释传感器，当有人接近时，启动灯光。控制端增加语音识别模块，通过指令来控制受控端的灯光开启和闭合。并介入环境光照和时间 2 个条件的控制，例如 0：00 之后关闭 LED 灯，或者在指定时间段内，根据测量的环境光照数据控制 LED 灯的开关等。在电脑端，编写控制界面，远程控制受控端。

图 4 为控制端和受控端嵌入式系统的安装。木料单元一般通过螺栓或木榫连接。在受控端各个单元间并没有设置连接，希望它们能够自由地摆放。本次装置，所使用的语言包括嵌入式系统的 Arduino C 和用于电脑端界面设计的 Processing。图 5 为最终完成后的装置。

实际环境的观测中，选取了西建大校园内的室内公共空间和室外公共空间，体会装置在实际场景中的应用情况，并实验记录（表 1，图 6）。



3

3 装置功能实现
Implementation of device features

表 1 互动装置灯实际场景应用情况的观察记录
Tab. 1 Observational record of actual-scene application of interactive device lamp

观察时间	放置地点	场所基本情况	问题反馈
2017 年 6 月 26 日 13:35—15:00	东四	自习与讨论空间。自习学生较多，较为安静。路过装置的行人阅读说明书后，未与装置互动。	根据所置环境，考虑调整装置设计的互动方式，使之与人以更自然的状态交互，促使互动发生。
2017 年 6 月 27 日 19:00—19:30	安仁园	室外公共活动休憩区域。以老人、小孩居多，对装置产生好奇。	指令相对复杂，小孩难以理解，也不会深究口令，实验互动成功率低。
2017 年 7 月 9 日 19:40—20:00	南门花园	室外公共活动休憩区域，场地空间相对较小，较为幽静，鲜有行人活动。	互动装置亦放置于休闲功能为主的场所。

主要记录内容见表 1。

装置灯具互动实验顺利完成从装置的设计、建造到场所测试和问题反馈的基本流程。在设计阶段因为受制于当前实验室环境与工具设备的限制，经过学社成员方案的筛选与调整，选择能够建造实施的方案，并具有一定与户外环境相协调的形式。加工老榆木料大部分为手工，部分采用电锯、电钻。反馈的问题也较好为进一步探索研究交互式装置提出意见，核心的问题是如何设计互动的方式，使得交互自然发生，同时如果能够使装置包含更多有价值的内容，例如颜色变化反馈所处环境的舒适度，或者基于移动互联网，反馈装置所在场所随时间变化互动的热力等。

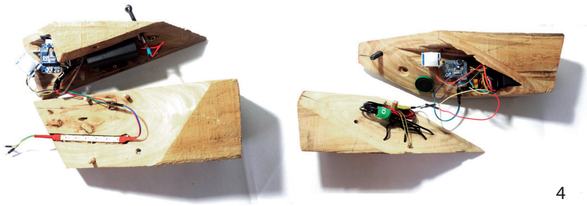
3 水流源点动态记录实验

水流源点动态记录实验 3 起源于风景园林专业一年级第二学期专业课《风景园林设计基础Ⅱ（生态与艺术介入空间）》的数字化教学实验。该课程为了能够直观地让学生观察到设计中水、风、日照等变化与设计形式的关系，基于手工模型研究浐灞湿地公园自然秩序与空间构成，并在手工模型的基础上完成了浐灞湿地公园参数化模型的建立、环境模拟分析及 VR 技术的渗入。而水流源点动态记录实验即在该背景下，借助 Pixy CMUcam5 图像识别传感器捕捉水流路径，使用 Arduino 读取数据（图 7），读入 Grasshopper 节点式编程平台，实时绘制水流线，量化水流变化情况的实验目的。

本次实验方法的关键点包括：1）利用 Pixy CMUcam5 图像识别传感器，支持多物体、7 种色彩颜色识别的功能；同时，在模型注入水之后，为了能够使被检测的物体浮于水面，用重量较轻的小块泡沫塑料，涂以高亮的颜色，便于 Pixy 的识别。2）Pixy 可以记录物体移动的坐标，借助开源硬件 ArduinoUNO 读取 Pixy 的数据。但是如何将数据按照模型模拟过程实时显示出来，这里借助 grasshopper 将 Arduino UNO 读取的数据进而读入到电脑端 grasshopper 参数化设计平台，编写节点式程序，实时观测小块泡沫塑料随水流流动的情况。图 8 为学生在专教搭建实验装置，开展实验测量的场景。3）在本次实验装置设计的过程中，一些连接的构件在三维平台中构建基本模型后，直接 3D 打印，从而快速构建原型，开展实验。

本次实验选取一点或多点的捕捉，除了物理模型本身对于地形变化与水流关系的模拟，亦通过嵌入式系统获取模拟的数据，将课程中对于自然的观察训练提升到数据量化的层面，有利于课程教学的量化测量与分析，对于设计具有明确的指导意义。图 9 为实时记录的水流源点途经路径。通过对源点路径的记录，可以确认源点（污染源）主要容易集聚的区域，一方面有效强化了学生对无法观察的自然过程的认识，另一方面也为规划设计提供了参考。

通过实验，发现一些待进一步解决的问题。课程中所建立的实体模型虽然是按照实际的比例搭建，但是对于地形部分的处理较为简单，与实际建成情况有所差异，必定会影响实验结果；本实验是捕捉随水流移动的物体，然而由于部分实体模型比例较小，水口处和溪流较窄，故所测量的物体无法通过，

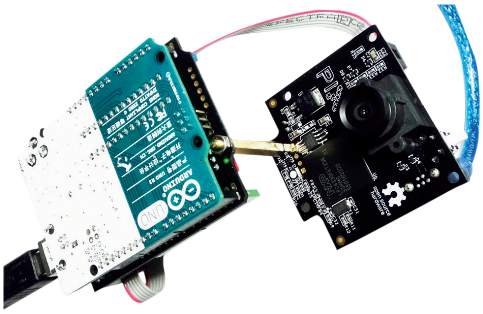

4


5


6

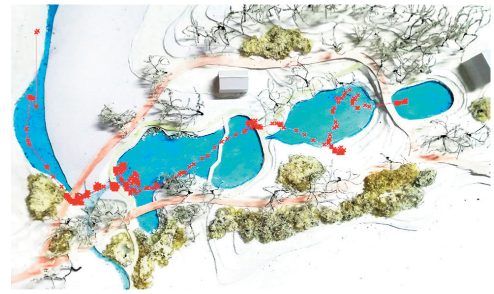
4 控制端和受控端嵌入式系统的安装
Embedded system installation of control and controlled terminals
5 互动的装置灯
Interactive device light

6 装置与好奇的老人和小孩
Devices & curious elderly and children



7 Arduino UNO 与 Pixy CMUcam5 组成捕捉水流的实验装置
Arduino UNO and Pixy CMUcam5 constitute the experimental device to capture water flow

8 学生在专教搭建的实验测量装置
The students set up experimental measuring devices in special classroom



9 实时记录水源途经路径
Make real-time recording of the route of water source

而采取了分段测量方式，导致难以全程持续跟踪。随着对追踪方法的改进，并寻求新的追踪方式，可以将追踪拓展到更多研究领域，例如将视觉追踪应用到户外公开活动空间、游人行为研究；加入 GPS 定位系统的漂浮物，对自然、人工湖泊水流变化进行实际测量；在同一视域下，连续记录被测量对象的影像，分析特定色彩和材料的物体在自然光变化情况下，所记录色彩的变化与环境的关系等。

4 结论

规划设计领域成熟的教学体系和当前对规划设计的范围界定，使得嵌入式系统在具体的规划设计项目中的运用微乎其微，往往限于相对小众的互动艺术。实际上通过上述实验，嵌入式系统在规划设计领域的教学和科研上会更具潜力，产生更深远的影响。实验 1 可以继续通过实验装置的改进，改变实验的方法深入小环境研究，而实验 3 则意在将教学上对自然过程的理解数据化，不仅使教学可视化，也能够从数据量化层面上理解自然。装置 2 则是将嵌入式系统直接应用于设计的物体上，例如互动艺术装置，在精神层面、互动性和功能上进一步强化所设计的内容。嵌入式系统不局限于互动艺术装置，亦能够从更多实用价值方面获得突破，最为明显的就是根据实验的目的自行建造测量仪器，获取数据或改变实验数据的获取方式。

在教学上，如何将数字化设计渗入到既有成熟的教学体系中，可以依托已有培养方案教学体系课程，拓展数字化范畴的方法；建设实践“数字营造”基本核心课程，例如开设“数字营造方法导论”、“结合编程语言（Python）的规划设计方法”等课程；以及借助“互联网 +”和网络信息化技术，建立“数字营造”教学生态体系“开源社区”等。为了开展上述活动，通过部分老师和学生组成“数字营造学社”，结合到各个年级的专业课程，开展数字化设计应用的探索和实践已初具成效，是推进数字化教学有益的途径之一。在研究上，嵌入式系统已经在智能家居等产品领域中日渐发展成熟，居住单元环境因子变化的记录、网络数据库的建立、实时数据检索和可视化以及应用机器学习分析居住环境大数据，必然为建筑环境的规划设计提供新的切入点。此次装置原型的建构和实验，综合使用了 Arduino C、Processing、Python、Grasshopper 等语言和节点可视化语言。可见，编程语言已然成为规划设计领域中探索新方法所必要掌握的基本工具，也是开展数字化设计和研究的前提条件。再者，使用Arduino开源硬件，设计搭建智能化装置，实现环境数据的获取和装置控制这一新的途径能够更深层次上探究环境因子变化成因，发现隐藏的规律以及互动反馈数据。借助编程语言和开源硬件，从底层改变风景园林相关实验的机制，调整实验的方法，找到解决问题的新思路。

注释：
①实验 1 由数字营造学社（大三组）孙浩鑫、吴昕恬、周天新参与完成。
②实验 2 由数字营造学社（大三组和大二组）孙浩鑫、李碧涵、吴昕恬、丁蔚、李煜参与完成。
③实验 3 由数字营造学社（大一组）肖景天、赵虎宸、王垚参与完成。
④图 1~9 为数字营造社成员自绘或拍摄；表 1 为作者自绘。

参考文献 (References，非直接引用，无法在文中注明位置)：
[1] 董芦笛，樊亚妮，李冬至，等．西安城市街道单拱封闭型林荫空间夏季小气候测试分析 [J]．中国园林，2016（1）：10-17.
Dong Ludi, Fan Yani, Li Dongzhi, et al. An Analysis of Summer Microclimate Survey for Crown Dome Space under Two-row Crown-closure Alee-trees on Urban Street in Xi'an[J]. Chinese Landscape Architecture, 2016(1): 10-17.
[2] Michael Margolis. Arduino Cookbook[M]. US:O'Reilly Media, 2011.
[3] Matt Pearson. Generative Art: A Practical Guide Using Processing[M]. New York: Manning Publications, 2011.

（编辑 / 刘昱霏）