

基于无人系统的建筑智能表皮装置初探

Research on Intelligent Building Surface Device Based on Unmanned System

郭志鹏¹, 张芮¹, 马云天¹, 马明睿², 刘晓霖¹

GUO Zhi-peng¹, ZHANG Rui¹, MA Yun-tian¹, MA Ming-rui², LIU Xiao-lin¹

(1. 西北工业大学力学与土木建筑学院; 2. 西北工业大学航空学院)

(1.School of Mechanics, Civil Engineering and Architecture, Northwestern Polytechnical University; 2.School of Aeronautics, Northwestern Polytechnical University)

【摘要】参数化设计与数字建造的快速发展为建筑表皮智能化提供了新的可能。文章在建筑学与交互设计融合的背景下, 基于 Grasshopper、Python 软件与 Raspberry Pi 系统, 并结合互动技术, 为智能化建筑表皮系统的实现提供一种有效方案。

【Abstract】The rapid development of parametric design and digital construction provides new possibilities for the intelligentization of building skins. In the context of the integration of architecture and interactive design, the article provides an effective scheme for the realization of intelligent building skin system based on Grasshopper, Python software, Raspberry Pi system and the combination of interaction technology.

【关键词】智能化建筑表皮; 表皮模块化; 参数化设计; 互动建筑

【Keywords】intelligent building skin; modular skin; parametric design; interactive building

【基金项目】省级大学生创新创业计划: 基于无人系统的未来建筑系统更新设计和开发研究, 项目编号: S202010699406

中图分类号: TU201.4

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2021.08.056

1 引言

随着参数化设计软件发展与数字化建造技术改革的进行, 建筑设计在观念、方法和过程方面发生了较大改变, 建筑表皮设计结果因此展现出了更为灵活自由的立面效果。例如利用 Grasshopper 软件中的分形、干扰、缩放等功能为建筑表皮设计非线性的立面纹理样式。即便如此, 目前大多数建筑表皮依旧停留在静止状态, 动态化的互动建筑表皮是目前打破静止的主要手段之一。

建筑互动需要以数字传输为核心, 以交互装置为主体, 融合以建筑构造、建筑美学以及其他相关技术, 从而实现令建筑得以实时接收外部信息, 控制改变表皮互动装置的几何形状、分布情况或表层物理属性, 以对周围环境做出反应, 适应不同要求。作者在参与大学生创新项目“基于无人系统的智能化建筑表皮研究”过程中, 结合无人系统与交互设计技术, 利用 Grasshopper、Python 软件与 Raspberry Pi 系统建立装置模型, 探索了一种为实现智能化建筑表皮系统的一种有效方案^[1]。

2 互动表皮构造

2.1 表皮模块化处理

表皮模块化处理是本次设计的实现基础。由于互动式建筑表皮需实时针对外部变化因子作出反应, 表皮整体的变化自由度决定了表皮可适应外界环境的复杂程度, 模块化表皮的设计策略可在很大程度上提高互动表皮的应用潜力^[2]。

模块化表皮的基本组成单位是模块表皮单元, 其作为系统的基础部分, 自身结构性能完好, 各模块单元之间无干扰, 且模块可拆卸, 便于更新与维护。本次设计中的表皮模块单元外板轮廓呈方形, 单个模块具有 35° 空间角活动范围与 150mm 最大直线行程, 各模块单元可独

立接收运动指令, 模块群体依据一定逻辑重组, 可实现指定函数曲面的拟合从而完成对于环境变化的响应(见图1)。

2.2 表皮模块单元模型设计

如图2所示, 表皮模块单元模型分为亚克力背板和 PVC 外板, 背板固定时, 外板可由 4 个 MG996R 舵机控制而灵活运动。

如图3所示, 4 个舵机通过扎带与背板相连, 舵机臂、延长臂通过螺丝与舵机相连, 定位销与延长臂相连, 延长臂通过导轨与外板相连, 导轨通过螺丝与外板相连。直线轴承固定在背板上, 与光轴相连, 光轴与 KFL08 带座球面轴承相连, 轴承通过连接板与外板相连。

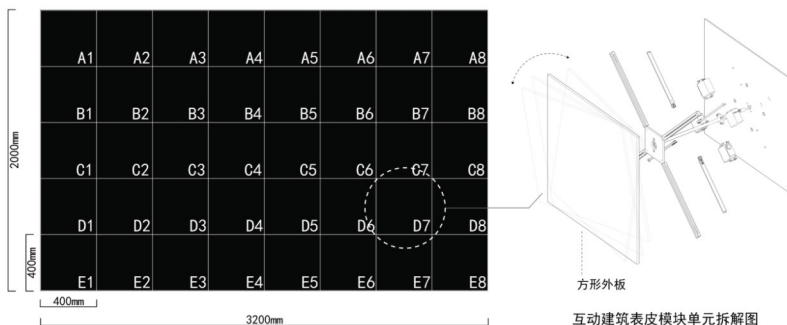


图1 智能表皮模块化处理

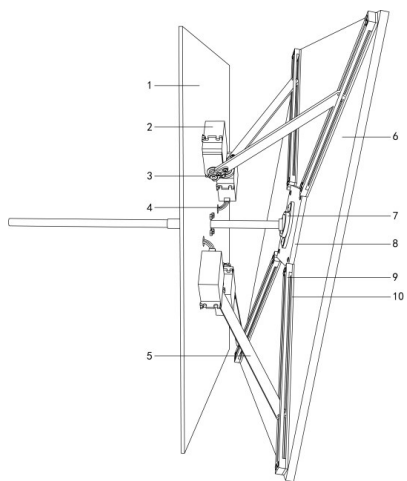


图2 可动表皮模型

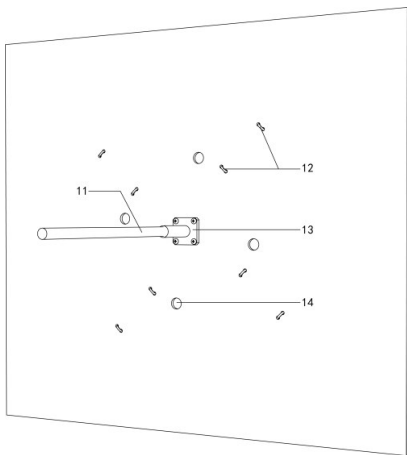


图3 模型背面结构

(其中: 1、3mm 亚克力背板; 2、MG996R 舵机; 3、舵机臂; 4、舵机线缆; 5、亚克力延长臂零件; 6、7mm PVC 外板; 7、KFL08 带座球面轴承; 8、亚克力轴承连接板; 9、亚克力导轨零件; 10、亚克力导轨垫; 11、8x300mm 光轴; 12、1.7mm 扎带; 13、LMK8LUU 直线轴承; 14、线缆孔)

执行动作时, 4 个舵机旋转至对应角度, 使延长臂相对背板伸出一定距离, 延长臂上的定位销与导轨产生滑动; 同时固定在外板上的球面轴承保证外板的角速度能够变化, 而外板的中心高度不变, 与球面轴承相连的光轴通过直线轴承与背板相连, 保证外板能够前后活动。4 个定位销的空间位置决定外板的位置, 光轴随外板自由滑动, 球面轴承也随之自由转动。光轴、直线轴承、球面轴承组成的体系能够承受外板及附属配件的重力, 保证外板在动作角度不同时板中心的垂直高度不变。

舵机 2 的安装方向安排为旋转对称

式, 保证延长臂的中心都在外板的对角线上, 还能保证安装时舵机的所有配件方向相同、舵机的控制方式相同, 简化安装流程和控制程序。

由于外板采用较软的 PVC 材质, 与外板连接的所有零件均采用直径较小的 M2 螺丝固定, 并且导轨、导轨垫采用 4 颗螺丝, 以保证螺丝与 PVC 板的接触面积充足, 连接牢固。导轨垫 10 的厚度采用 2mm, 保证延长臂的边缘不刮蹭外板, 防止产生阻力。延长臂与舵机臂的连接孔有一个半开放, 以避免零件公差影响, 并简化安装流程。延长臂与定位销的连接孔设两个, 保证意外断裂时有备份可用。球面轴承连接板的厚度为 5mm, 一方面防止球面轴承上的大尺寸螺丝直接安装在外板上产生滑丝, 另一方面为球面轴承预留转动空间, 防止外板大角度转动时偏离外板平面的球面轴承刮蹭、破坏外板。

导轨和导轨垫与背板仅通过定位销接触, 接触面积小, 且滑轨双面都为亚克力材质, 滑动阻力很小。虽然理论上支滑轨就能确定外板的位置, 但为稳定性和与外板方形的形状契合, 本技术方案采用支滑轨。

3 程序设计

在本结构的设计中, 相关程序主要分为两类: 识别程序与控制程序。

3.1 识别程序

在实际的应用场合中, 表皮结构需要根据外界不同变化而做出相应的运动, 以达到设计时要求的智能交互。在识别方面, 我们主要考虑两方面: 对外界环境变动的识别, 如运动物体, 对特定物体的识别, 如人脸, 特定手势。

对运动物体的识别, 我们主要运用帧差法与背景减法相结合的改进方法识别: 帧差法指对相邻帧进行差分, 相同背景部分会被抵消, 如果存在运动物体, 便会被检测出, 但受到运动物体速度的影响, 易于出现空洞或重影; 背景减法指将当前帧与背景帧相减, 并且进行二值化处理, 最终得到运动物体的形状与位置信息, 但易于受到环境光线变化影响, 并且不易检测出色彩过近的运动物体。因此, 我们综合两种方式, 对结果进行逻辑或运算, 得到最终结果, 其实现流程如图 4 所示。

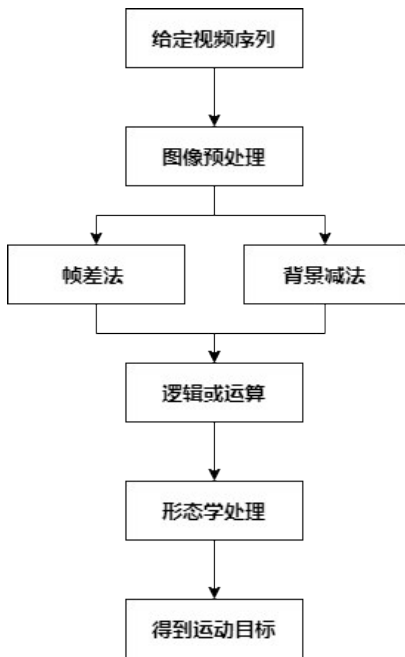


图4 检测流程

对于人脸或特定手势的识别, 我们主要拟采用基于神经网络的识别方式, 对视频中出现的脸或特定手势进行判断识别, 反馈给控制程序进行相应表皮变化^[3-6]。

3.2 控制程序

对于我们所设计的结构, 其姿态的变化主要取决于每个单元四个舵机的控制角度。在实际控制中, 对于一个给定的姿态, 我们需要得到舵机角度, 与每个舵机角度的变化速度, 以使每一时刻均满足该结构的物理特性。

通过分析物理特性, 我们可以发现, 该结构具有以下特点: 中心位置仅在一个维度发生变化; 对角线始终互相垂直, 并交于中心。因此, 我们在实际控制时, 将四个舵机角度转化为三个参量, 即: 中心伸出度 h , 对角线角度 θ_1 , 对角线角度 θ_2 。事实上, 两个对角线角度的结构特性是统一的, 因此我们以一例进行说明。

如图 5 所示, 当给定单侧参数 h 与 α_1 时, 通过求解如下方程, 即可得到对应角度 θ_1 与 θ_2 。

$$\begin{cases} \tan\alpha(R \cos\theta_1 + d) + h = R \sin\theta_1 \\ \tan\alpha(R \cos\theta_2 - d) + h = R \sin\theta_2 \end{cases}$$

需要注意的是, 为保证尽快得到预定姿态, 在存在多解时, θ_1 取较小值, θ_2 取较大值。

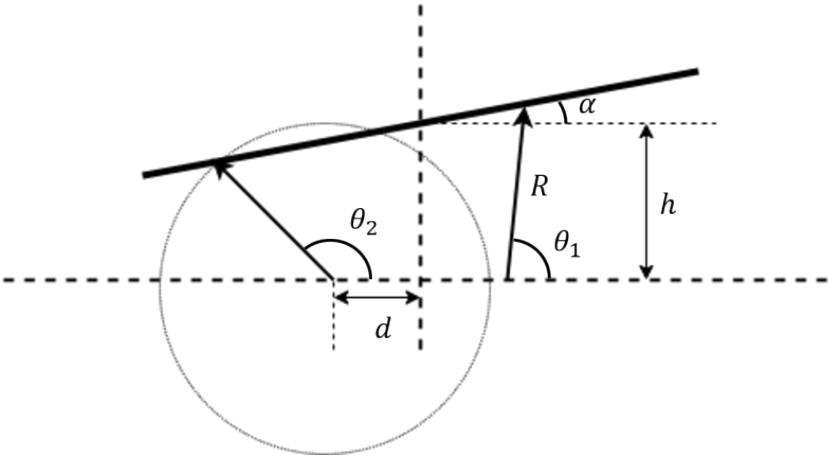


图5 单侧示意

4 互动特性

4.1 互动类型

1)从行为模式角度分类

在扬·盖尔的《交往与空间》^[7]中将户外活动分为三种类型,分别是必要性活动、自发性活动和社会性活动。建筑智能表皮装置设计就是激发建筑表皮的自发性活动的问题,对应人群在建筑外的活动行为将智能建筑表皮的互动特性设计成离散型和目标型两类。

①根据扬·盖尔的理论,离散型的单个活动可以相互激发,离散型交互针对的目标人群相对较广,人与表皮间的交互也具有随机性特征,交互信息比较模糊。因而对交互信息处理时不做过多的筛选。

②目标型交互针对的是明确的个体或群体,往往适用于人流量比较低的情形,通过沉浸式体验,目标强化等形式刺激交互行为的发生,强化目标的感官体验和趣味性。

2)从智能表皮功能属性角度分类

在《体验经济》中约瑟夫·派恩站在体验和人之间的关联的方向上,利用坐标系

的方法对体验进行分类,他将体验划分为四种,分别为娱乐、教育、逃避以及审美这四种感知行为。分析我们的智能表皮,可根据功能划分为娱乐休闲型交互和教育纪念型交互^[8]。

①娱乐休闲型交互是满足人们的娱乐休闲功能,与智能表皮的交互本身就具有游戏娱乐的属性,用户体验较强烈、刺激。

②教育纪念型交互功能是教育纪念性的,整个墙壁都是对当今科技发展的一种呈现,表皮还可以嵌入一些其他元素以达到展示效果。

4.2 智能表皮互动方式

1)动态法

通过对于外界使用者行动变化的实时捕捉分析,智能表皮的形状与状态可根据系统反馈信息进行改变。动态法互动方式利用表皮构造的动态形式最直接地做到了吸引注意的效果。在本次智能表皮设计当中,表皮模块单元可以根据程序命令改变舵机角度从而调整自身状态,例如图6塌陷与突出、空间角旋转等。

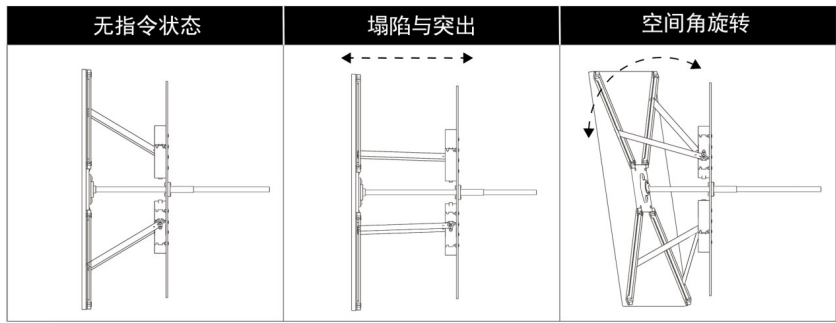


图6 模块单元塌陷与突出、空间角旋转示意图

2)强调法

在动态法交互方式的基础上,对智能表皮使用外设光源或外设设备可以引导人的注意力集中于某一片区域附近,因而更好地展示智能表皮所额外嵌入的元素。

5 结语

将传统建筑学理论与程序设计、电子信息等多学科技术融合,建筑表皮向自感应、自控制、自响应的高集成度动态化无人系统进行转化,其为建筑本身创造更为灵活的功能环境,实现更为丰富的空间形态。同时无人系统与传统建筑的融合将有利于突破传统建筑设计思维界限,为建筑学进一步探索提供思路,为未来高智能化建筑的实现提供契机。

参考文献

[1] 张汉仰, 林正豪, 钱世奇, 姚伊迪, ConstanceKenny. 基于 Arduino 的建筑互动系统研究初探[J]. 南方建筑, 2015 (3): 100-104.

[2] 石峰 周晓琳. 基于 Ladybug Tools 的可变建筑表皮参数化设计方法研究[J]. 新建筑.2020 (3): 70-75.

[3] 潘峥嵘, 钟珍珍, 张宁. 改进的背景减法与五帧差分法相结合的运动目标检测[J]. 自动化与仪表, 2017, 32(7): 22-25+64.

[4] 左 军 辉 , 贾 振 红 , 杨 杰 , KASABOVNikola. 基于改进背景减法的视频图像运动目标检测[J]. 计算机工程与设计, 2020, 41(5):1367-1372.

[5] 田林琳, 纪鉴航, 洪宠博, 董菁艺, 姚鑫浩. 深度卷积神经网络在人脸追踪中的应用[A]. 香港新世纪文化出版社有限公司. 2019年国际科技创新与教育发展学术会议论文集[C]. 香港新世纪文化出版社有限公司:香港新世纪文化出版社有限公司, 2019:3.

[6] 许晓宇. 基于卷积神经网络的动态手势识别研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.

[7] 杨·盖尔. 交往与空间[M]. 何人可译, 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.

[8] Joseph PineB., James .H .Gilmore .体验经济[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.