

3D 打印和生成技术结合下短线智能化产品设计模式探索

毛溪, 梁天一, 严城雨, 姜智馨, 褚梓琦, 凤丹, 张清
(华东师范大学, 上海 200062)

摘要: **目的** 人工智能深度神经网络的生成技术在三维形态和产品设计中尚没有被成熟应用。3D 打印可以快速实现产品设计, 有助于智能设计的形态和效果评估。希望通过探索人工智能技术在产品设计中的应用, 结合 3D 打印技术的快速输出, 形成短线智能设计新模式。**方法** 先构建生成数据库, 利用三维形状数据训练生成模型, 将短时间内形成的大量的立体产品形态交给设计师进一步优化, 最终经过格式转换, 优化网格并渲染, 再由 3D 打印输出。**结论** 利用人工智能生成技术推动人机融合创意, 提高设计方案的丰富程度, 并且启发设计师更多的形态创意。3D 打印输出的便捷性有助于提升设计效率, 实现短线智能产品设计。

关键词: 人工智能; 生成技术; 三维形态; 智能化设计; 3D 打印

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)16-0016-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.16.003

Combination of 3D Printing and Generation Technology in Short-line Intelligent Product Design Mode

MAO Xi, LIANG Tian-yi, YAN Cheng-yu, JIANG Zhi-xin, CHU Zi-qi, FENG Dan, ZHANG Qing
(East China Normal University, Shanghai 200062, China)

ABSTRACT: The generation technology of deep neural network of artificial intelligence has not been maturely applied in 3D printing technology and product design. 3D printing can help the rapid realization of product design and facilitate the form and effect evaluation of intelligent design. It is hoped that by exploring the application of artificial intelligence technology in product design, combined with the rapid output of 3D printing technology, a new model of short-run intelligent design can be formed. First, a dataset based on a reference product is created and treated as 3D shape data to train the deep generative model. Second, a large number of 3D product forms formed in a short period of time are given to designers for further optimization. Finally, after proper format conversion, the 3D modeler will optimize the meshes, render the textured product design and output the results through 3D printing. Using artificial intelligence generation technology to promote human-machine fusion creativity can improve the richness of design schemes and inspire designers to have more form creativity. The convenience of 3D printing output improves the overall design efficiency and realizes the short-line intelligent product design.

KEY WORDS: artificial intelligence; generation technology; 3D form; intelligent design; 3D printing

设计是人类的创造性活动。从石器时代到智能时代, 设计不断吸收各个时代的技术和其他文明的发展成果, 自身也在不断发展中。现代设计是综合性应用学科, 跨学科研究合作是设计创新的主要源泉之一。

1 研究综述

1.1 智能设计

结合计算机技术的智能化设计是大量的设计师

收稿日期: 2021-05-26

作者简介: 毛溪(1974—), 女, 上海人, 硕士, 华东师范大学副教授, 主要研究方向为人工智能与艺术设计结合。

通信作者: 张清(1982—), 男, 上海人, 博士, 华东师范大学副研究员, 主要研究方向为材料工程。

和计算机工程师共同探索的方向,也是计算机和设计学科跨学科合作的共同目标^[1]。作为一项跨学科合作项目,计算机技术的介入推动了设计从传统设计发展转向了基于程序的设计新方法,并引入了人工智能进行生成设计的探索。其中基于程序的设计就包括运算设计。运算设计也被称为参数化设计,即利用计算机数字技术,按照制定计算方法与规则,调节参数属性、改变参数变量及其关系,从而输出大量复杂的差异化结果,目前被应用于建筑工程项目、产品、服装和首饰等领域^[2]。

1.2 人工智能和创意设计

人工智能和设计的结合被认为是数字创意的高级阶段。1956年,在美国达特茅斯会议上首次确立了人工智能(Artificial Intelligence,简称AI)的概念,让机器像人那样理解、思考和学习,即用计算机模拟人的智能^[3]。2017年,埃森哲公司在《技术展望》中明确提出人工智能就是新的用户界面^[4]。

和人工智能相比,创造力是人类智能的基本特征^[5],创造力的形成机制是当前人工智能面临的核心挑战之一。2016年后进入人工智能2.0时代,这个阶段设计智能的研究专注于解决新一代人工智能在创意和设计中创造力的发挥。Boden^[4]的研究指出计算创造力是聚焦创新创意过程的计算模型,通过研究创造力的形成和运行机制,可以实现人类智能的模拟。

1.3 深度神经网络、生成技术和三维形态设计

人工神经网络(Artificial Neural Network,简称ANN)中的深度神经网络(Deep Neural Network,简称DNN)是实现人工智能创造性任务的重要手段。生成式对抗网络(Generative Adversarial Networks)是一种深度神经网络模型,由Goodfellow I J等人于2014年10月提出^[5]。深度神经网络等现代机器学习技术在合成新设计方面也显示出了有希望的结果。生成模型,包括生成对抗网络(GANs)^[5]和变分自编码(VAEs)^[6]等数据驱动方法,已被用于许多设计综合问题,它可以学习现有设计的复杂分布,甚至在生成新设计时考虑性能和质量评估要素^[7]。

目前,大部分神经网络在产品设计和创意辅助方面主要停留在二维图像层面。有些设计师借助无监督对抗生成网络,合成了勺子与树叶之间的颜色、形状、纹理,以及其功能等特征和创意启示,启发出了基于无监督对抗生成网络的设计方案^[8]。通过人工智能,设计师能够让计算机学习现有的座椅形态,然后自动生成座椅的大量概念设计草图,辅助人类设计师进行设计创作等。这是从产品图像方面入手,开展的人工智能辅助下的产品创意设计^[9]。

2016年,麻省理工学院Wu J等人提出了将生成对抗网络应用在三维形状生成方面的具体方法;Chen L等人用隐式场作为3D数据表征优化了深度生成模

型Latent GAN的3D模型拟合效果,使得基于插值生成的三维模型具有更加连续平滑的效果;Marching Cube算法可以将体素数据转为被应用得更为广泛的三维网格数据^[10-12]。

1.4 3D打印在快速智能设计中的应用

3D打印在产品设计和产品应用阶段已经得到了业界的广泛认可。首先,3D打印是一种快速成型技术,相对于之前的石膏、泡沫等模型制作材料和方法,3D打印更加准确高效,因此越来越多地成为现代设计的辅助工具和技术。同时,3D打印也可以用于高端精密产品的零件制造,如应用3D打印技术研制的某型号发动机点火装置,标志着3D打印技术被首次成功应用于固体火箭发动机试车^[13]。在医疗领域,3D打印可直接介入到手术和骨骼、器官等辅助修复治疗中^[14]。在装饰性的产品和形态设计方面,因3D打印对首饰制作各环节的重塑,大幅度提升了首饰的设计效率;珠宝首饰企业可以建立智能化生成模式,形成规模化个性定制^[15]。

3D打印技术结合智能化设计,可以辅助设计师更加精确地塑造和评估设计形态,便于设计师和用户的沟通,提高设计效率。结合生成技术,3D打印可以直接完成设计,成为短线智能设计的重要实现手段。

2 三维形状生成方法

2.1 三维形态设计路径和关键问题

本文所述为一种快速智能三维形态生成及产品设计方法,是基于设计和计算机的学科交叉研究。首先,在设计师和计算机工程师的协同下,在产品形态设计阶段介入深度生成模型,由设计师构建三维形态生成资源库,挑选适合的深度生成模型。然后,通过生成物形态优化或者由多个生成物激发设计师二次创意形成设计方案。最后,通过3D打印快速输出实体模型,供设计师、工程师和相关开发人员,以及用户共同评价,推动完成最后的设计方案优化。高价值生成物指在造型创意性和产品的可实现性方面具有较高质量的形态,或者是给设计师启发价值大的形态。

2.2 两种路径

路径一:在拥有具体的设计需求和产品概念的情况下,通过生成技术形成更多的形态创意方案供设计师筛选优化,最终形成设计方案,见图1。

路径二:在没有具体的产品概念和设计需求的情况下,利用多种形态特征数据库进行训练和生成,然后在生成物形态中挖掘出有价值的三维形态,最终发展成为概念设计,见图2。

这两种路径的关键在于以下几点:一是数据模型库的构建;二是深度学习网络的选择优化,从而形成合适的生成器;三是整个过程中的数据格式转化。数

据格式转换的过程较为复杂，具体短线智能设计流程，见图3。

2.3 设计师和计算机工程师的协同工作

在这个阶段，团队中设计师的工作分为两个部分：(1) 选取较高设计形态价值的生成物，通过形态优化处理形成设计方案；(2) 在单个或多个生成物的启发下，设计师形成二次创意，产生新的设计方案。设计师对仿生形态的敏感度、形态处理技巧和产品设计

的经验在这个过程中起到关键作用。计算机工程师则需要充分理解设计师的选取标准，并协助设计师完成筛选工作，以及生成物格式和模型的转换。

设计师和计算机工程师的协同工作贯穿于整个过程，互相配合，分别执行不同的工作内容，设计师作为主导和引导，工程师在技术和效果上给予支持。设计师和工程师在形态生成各个阶段的不同的任务见表1。

设计师和计算机工程师在协同过程中，表现出了



图1 路径一
Fig.1 Path 1

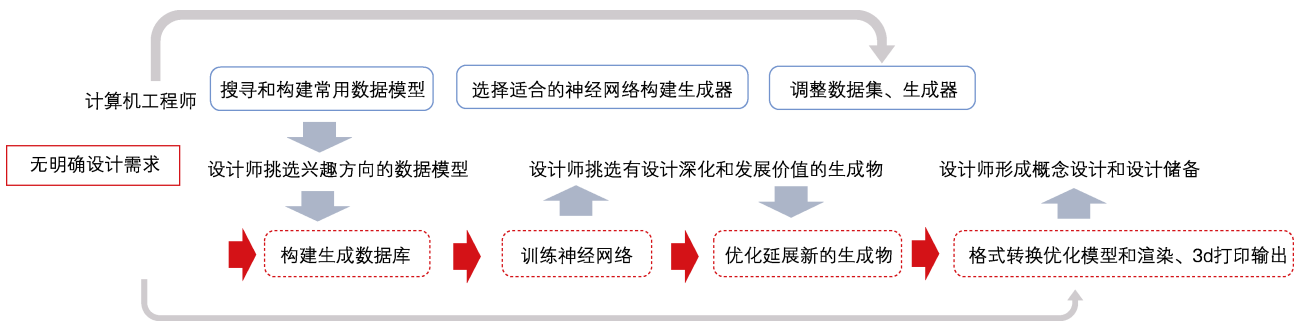


图2 路径二
Fig.2 Path 2

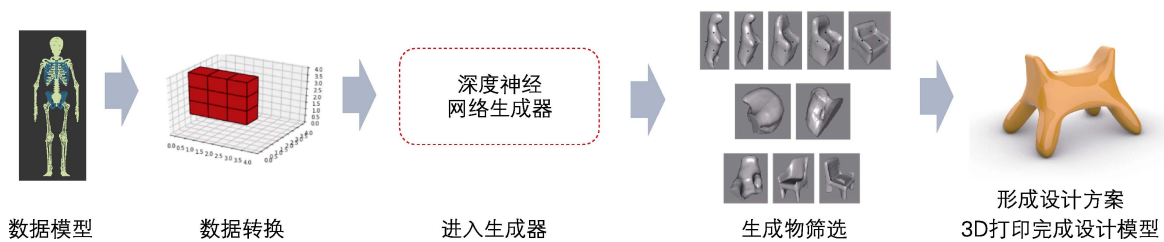


图3 短线智能设计流程

Fig.3 The flow of short-term intelligent design

表1 设计师和工程师在形态生成各个阶段的不同的任务
Tab.1 Designers' and engineers' different tasks in different stages of morphogenesis

角色和阶段性任务	数据集构建	数据集扩充和调整	生成物的检查和筛选	生成物优化	形成设计方案
设计师	找出典型数据模型	判断扩充的数据集是否合乎设计和形态要求	找出具有高设计价值的生成物	给出优化建议	选择具有高设计价值的生成物进行下一步设计优化工作
计算机工程师	核对数据格式	拓展数据的开源来源训练集进行重建、数据增强	对设计师挑选出来的高形态价值生成物进行数据和模型的评估	根据设计师建议,对生成器进行修改,提高生成物质量	数据格式转换,使其适用于3D打印及其他渲染工作

表 2 设计师和工程师在形态生成和设计过程中的不同特征

Tab.2 Designers' and engineers' different characteristics in different stages of morphogenesis and design

角色和差异点	需求表述	关注点	对价值的评估	能力特征
设计团队成员	感性、发散、多样化、跳跃	形态整体、细节特征、结构要素	美观、功能性、产品可实现性、用户体验、创新度	美的提炼和发现、形态的变化能力和概况能力、对用户的研究和把握能力
计算机团队成员	精准、秩序和条件约束强、技术可执行	前期工作延续、对技术能力的要求和体现、数据要求、计算时间和算力消耗	技术和应用领域创新度、技术的简洁和规范	对数据和格式的转换、对问题的标准化、对问题阐述和构建的清晰度和逻辑性

两个学科团队成员间所存在的明显差异性。主要体现在对需求的表达、对项目 and 过程的关注、对成果价值的评估等方面, 在整体合作过程中也能非常明确地体现出两个团队的能力差异点。设计师和工程师在形态生成和设计过程中的不同特征见表 2。

基于对跨学科团队中不同成员的特点和差别的对比, 可以总结出一些合作的经验。对于由艺术设计和计算机科学组成的跨学科团队的合作而言, 首先要明确合作双方的优势, 对研究目标明确化, 做好前期重要的数据准备和用户调研等各项工作; 对每个阶段的工作内容和目标也要明晰并制定阶段化任务, 以便双方团队的配合和及时调整。项目开始前, 双方团队只有对彼此的工作习惯、言语表达习惯和能力特征有所了解, 才会对项目的顺利推进起到较大帮助。

2.4 检验和评估生成物形态

3D 打印在智能设计和产品设计领域中已经被广泛应用, 可以辅助设计师的创意表现, 或者形成一体化的形态, 适应特定的功能需要。深度学习网络的生成物具有很多不确定的形态, 有些并不符合常规的造型原则, 或者是设计师没有经验探索和创建的特殊形态。在这种情况下, 为了便于形态的推敲和设计优化, 通过 3D 打印出缩小比例的实体模型, 再进行形态的观察和评估, 并与共同开发者和用户进行测试才是比较好的方式。这可以最终推动智能设计从创意到设计方案的落地, 也有助于团队内部交流, 以及与用户的互动交流。

实践证明, 在整体结合生成技术的产品开发设计过程中, 多次介入 3D 打印是很有必要的。首先, 通过 3D 打印输出前期的创意形态小样, 帮助设计师和工程师共同观察和推敲形态, 找出在电脑界面上看不出来的形态缺陷, 并分析形态的力学原理和结构稳定性等。在这个阶段还可以通过 3D 打印的模型, 探讨更多的形态变化的可能, 以及新的创意形态的形成方向。由于 3D 打印的材料选择范围较广, 在最终方案确定之前, 还可以通过 3D 打印输出等比例模型, 便于用户、市场和研发团队提前体验和感受, 而不需要传统设计中的开模制作, 投入较大的前期时间和费用成本。

2.5 适用领域

这两种路径所针对的实际场景, 始终贯穿于设计

师的设计生涯之中, 一方面设计师接受客户的委托, 进行定制化设计; 另一方面, 设计师也在不断通过学习和各种探索性的创新活动, 提升自己的设计能力、创意和表现能力, 以及和客户沟通的技巧。设计和计算机技术的结合, 引入了人工智能神经网络, 以一种可控、短线智能设计的方式, 无论是在设计形态探索阶段, 还是在实际的设计方案创意阶段, 都能带给设计师更多的创新可能性。与计算机团队沟通的过程也是激发设计师反思, 以及传递和延伸创造性思维的过程。其中孕育着更多的创新机会, 再结合 3D 打印, 可以将创意生成的结果更加可视化, 提高团队和客户对形态的认知和感受, 加快设计流程。在设计方案确定后, 一部分定制化的产品设计可以通过 3D 打印实现, 完全实现了短线智能产品的开发。

3 设计方案实例

3.1 从生成物启发中得到多个设计应用方案

产品设计需要长时间的知识和经验的积累, 其中包括对用户、市场的敏感度和研究能力, 对设计形态的创新和变化能力, 对产品制造领域的技术和成本等的评估和调控能力。因此通常产品设计师会在某个或某几个领域中有比较丰富的经验。因为设计的创意和形态的表现, 在传统设计中一直依赖于个人的才华, 所以设计师设计的产品造型的风格也有自己个人的特征。这是一把双刃剑, 一方面设计师会因其独特的创意造型能力, 被大众所熟悉和传颂; 另一方面, 设计师的形态创造和创意的发挥也被个人习惯所影响, 因此寻求突破比较难。然而在产品形态创意阶段, 生成技术和大数据驱动的介入, 可以有意识构建多种风格的数据源, 通过不同的生成器的变化, 产生出丰富且多样的形态, 避免了个人设计风格的局限, 这也为设计师设计生涯的拓展带来了新的机会。

以儿童家居椅为例, 构建完数据模型库后, 生成器会选择出在形态和产品功能上都比较具有价值的生成物, 见图 4。当设计师分析完生成物形态后, 将优化过的形态模型通过 3D 打印制作成小样, 和品牌商一起推敲使用场景和用户体验, 随后形成多个儿童家居椅的概念设计方案, 作为该品牌的新产品系列储备设计, 见图 5—6。



a 生成物

b 局部优化和调整后的生成物

图4 儿童家居椅的应用方案
Fig.4 Application of child home chair



图5 儿童家居椅参数设定
Fig.5 Child home chair parameter setting



图6 3D 打印儿童家居椅模型输出
Fig.6 Output of 3D printed child home chair model

3.2 有特定需求的艺术设计

很多艺术设计委托项目并不能随意创作,有比较多的限定因素,比如已经确定好了场景、用户对象、尺寸和规格、造价和施工条件,此外还要考虑公共安全和地域文化等方面。因此在比较多的限定下,抽象的艺术雕塑随处可见,也成为很多酒店公共艺术设计的首选。因为形态语言的创造并没有经过长期的酝酿,或者创作者缺乏才华和技巧的锤炼,往往会模仿知名的艺术作品,所以抽象形态的公共艺术大多形式雷同,导致机械的抽象和审美的疲劳。然而生成技术用于艺术设计的形态创造,已经显示了巨大的潜力。

以某酒店公共艺术设计方案为例。酒店希望能以一种抽象的方式,把当地文化中一个神兽以艺术的形式展现出来。考虑到现代的环境和用户,以及年轻人的审美。设计师汲取了一些中国传统神兽的形态并加

入到生成器中,进而产生了丰富的形态,经过讨论和筛选,形成了设计方案,并通过3D打印探讨了多种材质的效果,最后提供了多种设计方案供客户选择。公共艺术创作的应用方案见图7。

4 结语

本文探索了生成技术结合具有快速输出功能的3D打印技术的短线智能设计新模式。经过训练的深度学习神经网络生成技术,短时间内可以生成大量的立体产品形态,生成物通过3D打印输出,经过设计师筛选和优化形成设计方案,并推动设计的落地。可以将这种生成技术和大数据结合的模式看作智能化设计的新探索。3D打印输出的便捷性整体提升了设计效率,实现了短线智能产品设计新模式。

传统的设计过程中的设计师靠个人的观察、灵感



图 7 公共艺术创作的应用方案

Fig.7 The application scheme of public art creation

和专业训练, 结合对用户的研究, 不断提炼和更迭仿生的灵感, 创造更好的设计和体验。人的创造性和审美能力一直是人工智能暂时不能替代和突破的。到目前为止, 其他研究证明了人工智能在创意设计活动中仍然主要在创意阶段发挥辅助和启发的作用。深度生成模型可以根据设定完成反复多次仿生提炼和造型过程的测试和操作, 随着模型的修正和数据集的变化, 会持续产生大量的触发灵感的中间产物, 这是设计师和工程师仅靠个人短时间工作所不能完成的。再经过设计师的二次创意和提炼, 加速了创意设计方案的形成, 这个过程体现了智能化的特殊价值。目前的探索也为人工智能在创意领域的突破带来了希望。

通过本课题的实践发现, 在设计师和计算机工程师共同努力和训练下的生成技术提升很快, 某些生成物已经显现了计算机“创造性”和“创造力”的雏形。而 3D 打印技术因为能所见即所得, 所以更加让设计创意的过程变得显化和快速化, 这将最终带来智能设计的进一步突破。

参考文献:

- [1] 李海海. 计算机辅助设计的发展状况及趋势[J]. 艺海, 2009, 4(12): 98-99.
LI Hai-hai. The Development Condition and Trend of Computer Aided Design[J]. Yihai Journal, 2009, 4(12): 98-99.
- [2] 常强, 高岩. 建筑运算化设计及国内当前的一些实践动态[J]. 住区, 2012(5): 44-53.
CHANG Qiang, GAO Yan. Architectural Computational Design and Some Current Practice Trends in China[J]. Design Community, 2012(5): 44-53.
- [3] CREVIER D. AI: the Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence[J]. Science, 1993, 48(1): 1-10.
- [4] BODEN, MARGARET A. Computer Models of Creativity[J]. AI Magazine, 2009, 56(5): 48-55.
- [5] GOODFELLOW I J, POUGET-ABADIE J, MIRZA M, et al. Generative Adversarial Networks[J]. Advances in Neural Information Processing Systems, 2014, 36(1): 2672-2680.
- [6] KINGMA D P, WELING M. Auto-encoding Variational Bayes[J]. arXiv preprint arXiv, 2013, 4: 12-14.
- [7] KRAHE C, BRAUNCHE A, JACOB A, et al. Deep Learning for Automated Product Design[J]. Procedia CIRP, 2020, 91: 3-8.
- [8] CHEN L, WANG P, DONG H, et al. An Artificial Intelligence Based Data-driven Approach for Design Ideation[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2019, 61: 10-22.
- [9] 高峰, 焦阳. 基于人工智能的辅助创意设计[J]. 装饰, 2019(11): 34-37.
GAO Feng, JIAO Yang. Artificial Intelligence Aided Creative Design[J]. Zhuangshi, 2019(11): 34-37.
- [10] WU J, ZHANG C, XUE T, et al. Learning a Probabilistic Latent Space of Object Shapes via 3D Generative-adversarial Modeling[C]. New York: the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2016.
- [11] ACHLIOPTAS P, DIAMANTI O, MITLIAGKAS I, et al. Learning Representations and Generative Models for 3D Point Clouds[C]. London: International Conference on Machine Learning, 2018.
- [12] CHEN Z, ZHANG H. Learning Implicit Fields for Generative Shape Modeling[C]. Sydney: the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2019.
- [13] 梁辉. 3D 打印在航天智能制造中的应用[J]. 卫星应用, 2019, 36(6): 24-25.
LIANG Hui. Application of 3D Printing in Intelligent Aerospace Manufacturing[J]. Satellite Application, 2019, 36(6): 24-25.
- [14] 兰贝蒂, 王瑞涛. 人工智能及 3D 打印技术在心血管疾病诊疗中的应用进展[J]. 心血管病学进展, 2021, 42(4): 292-296.
LAN Bei-di, WANG Rui-tao. Application Progress of Artificial Intelligence and 3D Printing Technology in Diagnosis and Treatment of Cardiovascular Diseases[J]. Advances in Cardiology, 2021, 42(4): 292-296.
- [15] 胡好, 王柳庄, 彭圣芳. 参数化设计在首饰个性化定制中的应用策略研究[J]. 装饰, 2020, 4(11): 128-129.
HU Hao, WANG Liu-zhuang, PENG Sheng-fang. Application Strategy of Parametric Design in Jewelry Personalized Customization[J]. Zhuangshi, 2020, 4(11): 128-129.