

图式理论视阈下儿童编程立体书设计研究

付久强, 张倩倩, 孙远波
(北京理工大学, 北京 100081)

摘要: **目的** 编程教育是信息时代儿童教育的重要方面, 如何引导儿童把无形的逻辑思维转化成有形的存在, 成为儿童编程教育亟待解决的课题。**方法** 从儿童编程教育认知图式的角度出发, 采用 AEIOU 框架和用户参与式方法, 分析用户在典型编程学习场景下的行为特性与潜在需求, 结合儿童编程教育产品的市场现状, 探究编程启蒙教育立体书的设计路径。**结果** 设计案例以木板为表达载体, 借助 Arduino 开源硬件和 KRobot 可视化编程教育软件, 将“木板”、“电路”和“编程”相结合, 开发出集趣味性、创造性和分享性于一体的编程启蒙教育立体书, 并根据用户的主观满意度指标评测产品效果, 完善产品的内容体系。**结论** 立体书的设计可以降低编程启蒙教育的入门难度, 建立由教育内容服务、用户内容共创与效果反馈机制融合的编程教育内容服务范式, 为儿童编程教具的设计提供新思路。

关键词: 图式理论; 儿童编程教育; Arduino 平台; 立体书设计; 设计评价

中图分类号: J524.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)02-0036-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.02.006

Design of Children's Programming Stereo Books from the Perspective of Schema Theory

FU Jiu-qiang, ZHANG Qian-qian, SUN Yuan-bo
(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

ABSTRACT: Programming is an important aspect of children's education in the information age. How to give full play to children's creativity and transform intangible logical thinking into tangible existence has become a problem to be solved in children's programming education. From the perspective of cognitive schema of children's programming education, AEIOU framework and user participation method were used to analyze the behavior characteristics and potential needs of users in typical programming learning scenarios and explore the design path of three-dimensional book of programming enlightenment education in combination with the current market situation of children's programming education products. In the design case, "laminated veneer" was taken as expression vector and "veneer", "circuit" and "programming" were combined by Arduino open source hardware and KRobot visual programming education software to develop a programming enlightenment education product integrated with interest, creativity and sharing and evaluate the effect of the product according to the subjective satisfaction index of the user, thus improving the content system of the product. The design of three-dimensional books can reduce the difficulty of getting started in programming education. A paradigm of programming education content service is established, which integrates educational content service, user content co-creation and effect feedback mechanism, to provide new ideas for the design of children's programming play aids.

KEY WORDS: schema theory; programming education for children; Arduino platform; stereo book design; design evaluation

收稿日期: 2019-11-07

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目 (19YJC760020)

作者简介: 付久强 (1979—), 男, 北京人, 博士, 北京理工大学副教授, 主要研究方向为信息设计、实体交互设计、智能产品设计、文化遗产数字化等。

通信作者: 孙远波 (1965—), 男, 河南人, 硕士, 北京理工大学教授, 主要研究方向为工业设计、人因工程、设计教育等。

在信息时代,“大数据”、“人工智能”等概念层出不穷,信息技术逐渐成为人人必备的基本素养,编程教育成为儿童教育的重要方面。如何发挥儿童的创造力,推动编程启蒙教育发展成为研究者日益关注的问题。在线教育的日益兴盛为儿童教育提供了良好的平台基础,教具对于儿童启蒙教育与各方面能力的培养具有重要作用。目前国内的儿童编程教育蓬勃发展,创业公司不断涌现,研发出诸如编程猫、码高、KRobot 等教育产品,但儿童编程教育产品的同质化及其高昂的价格,常常令家长望而却步,编程启蒙教育仍存在入门困难的问题,探究编程教具的新型载体逐渐成为设计者的关注重点。立体书作为儿童启蒙教育的传统载体,在信息时代与编程学习相结合,将被赋予新的意义。基于儿童对编程语言的理解与生成图式,探索编程启蒙教具的产品雏形,探究儿童启蒙编程教具的设计路径。

1 理论基础

1.1 儿童认知图式理论研究

图式是一种知识表征形式,是大脑为了便于信息储存和处理而将新事物与已有的知识、经历进行有机组织,构成的完整信息系统^[1]。图式理论最早是由德国哲学家、心理学家康德提出,他认为图式是连接概念和感知对象的纽带^[2]。皮亚杰认为,图式是儿童认知结构的起点和核心,图式的形成和变化使认知不断地从低级向高级发展,他提出认知发展理论:儿童认知发展的四个阶段,见图 1。具体运算期(7~12岁)的儿童有自己的审美认知和价值取向,具备较成熟的逻辑理解能力,适合接受编程启蒙教育。这个阶段的儿童,认知图式具有渐进性和连续性,他们对事物的理解是利用图式从事物中抽取出一般性、本质性的东西,从而构建起事物之间的联系,将新输入的信息纳入已有图式的框架中,进行整合,融为一体^[2]。乌申

斯基曾指出,儿童一般通过形状、颜色、声音和形象来认知事物^[3],他们的关注顺序往往是从局部、细节到整体^[4]。这就要求儿童教具的设计要注重模块化,通过儿童易于认知的模块,构建较复杂的整体知识体系,促使儿童渐进地学习。

维果茨基认为,在正规学习之前的每一种学习都是以其实际生活经验为基础的。儿童思维活动的图式将儿童的动作和思维、所做和所想联系起来,连接儿童行为与认知兴趣^[5]。编程启蒙教育需要基于儿童认知的特点,树立以儿童为主体的早期教育观念,为儿童提供集趣味性、教育性、思维性于一体的教具与教学模式。处于具体运算期的儿童缺乏概括能力,抽象推理尚未发展。因此,在进行儿童教具设计时,应尽量采用易于认知的几何形态^[6]。另外,儿童有对新生事物自主探索、独立操作的强烈欲望,但往往缺乏合理使用产品的能力,需要在家长的陪伴下完成。儿童看似简单的行为活动,几乎会调动全身的感知觉系统,这就要求设计者在儿童教具设计时,充分考虑产品的趣味性、丰富性、互动性、可视化等要素,全方面地锻炼儿童的行为能力^[6]。

1.2 儿童编程教具现状研究

儿童编程教育可以追溯至 20 世纪 60 年代,由 MIT 人工智能实验室的创办人之一,西摩尔·帕普特研发出的标志海龟画图的儿童编程语言^[7]。编程教育一经提出就得到了广泛关注,并在短时间内取得了长足进展。儿童编程一般是针对小学生及幼儿设计的编程模式,是把复杂的英文代码转换成图形化、指令化、模块化的形式,以游戏、情景动画、积木构件等载体呈现,旨在培养孩子的观察力、想象力、创造力、逻辑思维能力、问题解决能力,以及空间思维、判断性思维、调试操作等能力。

儿童编程教具是为了进行儿童编程教育研发的软件或硬件。按照软硬件分类,儿童编程教具可以分

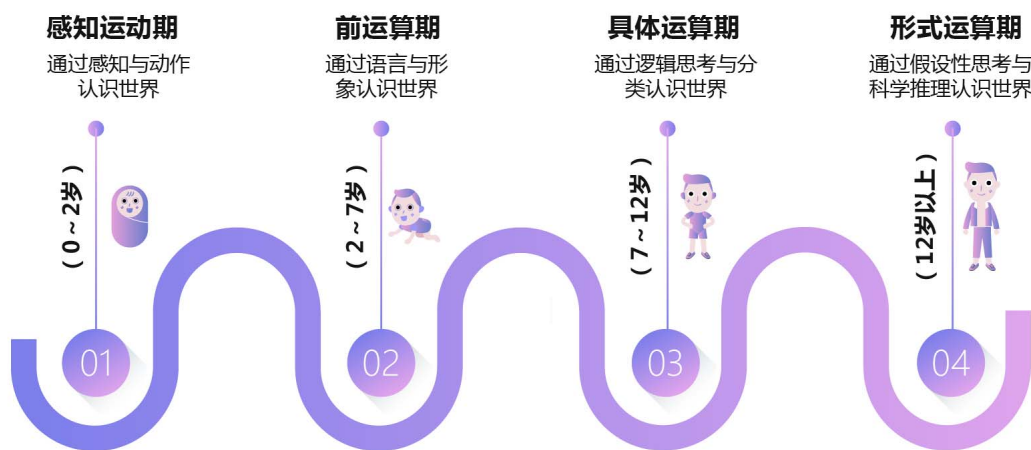


图 1 认知发展理论：儿童认知发展的四个阶段

Fig.1 Cognitive development theory: four stages of children's cognitive development

表 1 儿童编程教具分类
Tab.1 Classification of children’s programming instruments

分类	应用方式	特点	示例
硬件与软件结合	机器人、开源硬件平台	可编程开源硬件；提供编程课程；DIY 与编程学习相结合；亲子互动，实时分享	乐高机器人、Arduino
纯软件	创意式软件、游戏式软件	注重游戏互动；在线平台，创作简单；PBL 项目驱动式学习方法；寓教于乐伴随深入教学	Scratch、Alice Lightbot、Code、KRobot
线上教学平台	图形化在线编程、学习平台	课程设置不同层级；图形化编程为主；在线一对一	编程猫、阿儿法营、码高

为硬件与软件结合、纯软件以及线上教学平台三类，见表 1。麻省理工开发的图形化编程语言 Scratch、乐高开发的编程机器人，至今仍是儿童编程教育市场的主流产品，这些产品本质上并不是教孩子学会某种编程语言，而是告诉孩子利用类似程序的逻辑关系，获得独立解决问题的能力与逻辑思维能力。近几年，国内的厂家与教育机构开始在这一领域探索创新，研发出诸如编程猫、码高、KRobot 等系列教育产品。编程猫在线儿童编程平台采用 PBL 项目驱动式学习方法，注重知识的运用与游戏互动，通过趣味编程实现数学、物理等学科知识的可视化。码高以乐高机器人为基础，具有可编程传感器模具，将动手拼装与编程学习相结合，搭配相应的软件，提供不同层级的编程课程，价格昂贵。自 2015 年至今，国内儿童编程教育蓬勃发展，大批儿童编程相关创业公司不断涌现，促进了行业的发展，但儿童编程教具的同质化、课程的断层以及高昂的价格常常令家长望而却步，探究编程教具的新型载体，逐渐成为设计者的关注重点。

1.3 用户及编程场景研究

为了更直接地了解小学生在课后对编程语言的掌握情况，对五名初学编程儿童进行真实学习情境下的参与式观察。观察流程主要分为三步：观察前，通过简单的用户访谈了解他们的背景信息及其课后学习编程的形式；观察中，在避免被观察者干扰的前提下，记录他们在自然条件下完成学习任务所经历的系列流程；观察后，针对观察期间遇到的问题再次进行用户访谈，深入了解被观察者的行为与内心感受^[8]。

为了准确地描述用户的行为特性，采用 AEIOU 框架对观察情况进行整理分析^[9]，并结合访谈内容，描摹典型的学习场景，探究样本用户的共性与差异性行为特征，挖掘用户的学习壁垒与期望，小学生课后编程学习场景分析见图 2，是对样本中一名用户的详细记录。研究发现，对儿童初学者来说，编程语言学习困难，存在技术壁垒。图形化编程软件虽然能减轻

学习负担，但是缺乏可视化的实物载体，用户完成任务后无法与同伴分享，成就感偏低，兴趣不足，从而导致无法长期坚持。此外，这个阶段的逻辑思维训练可以借助实物化和具像化的教学道具，辅助儿童在编程游戏中学会有序的观察和思考，并在试错中培养正确的思维方法和解决问题的习惯。因此，编程的图形化、硬件连接的可视化、表现形式的趣味化、实物作品的分享化逐渐成为儿童用户对编程教育产品共同的期待。

2 编程启蒙立体书教具设计实践

2.1 定位与外观设计

产品定位为智能化的儿童编程启蒙教具，主要适用于 7~12 岁处于具体运算期的学习者，以引导性、趣味性、创新性、适宜性和专业性为设计原则，其功能为：编程启蒙、寓教于乐、自主创作、亲子互动、故事情境、木艺加持。产品结构包含三个部分，“木板”是产品的外观表现，包含视觉设计、内容设计与结构设计；“电”是产品的物理硬件，即电路设计；“编程”是产品的内在驱动，即程序设计。“木”、“电”、“编程”三者相结合构成立体书教具。

教具的整体外观表现为易读、规律、活泼、美观，以图形化表达为主，文字内容为辅，有利于提高产品的易读性；在色彩上，教具采用大面积的、饱和度较高的对比色调，以互补色作为辅助，营造视觉冲击力与辨识度；在平面设计上，多种点、线、面的规律性排列组合，形成水果、数字与音符，借助色彩的冲突打破常规，营造科技感与时代感。立体书整体外观设计见图 3。

2.2 功能设计

立体书教具以水果拟人化故事为主线，包含四个案例，每个案例详细讲解一个 Arduino 编程项目，每个项目包含案例介绍页、DIY 操作指引页、电路操作指引页、程序代码页与视觉表现层（核心操作页）五个部分，研究将以案例形式进行详细说明，案例的主题是“我的水果会发光”。

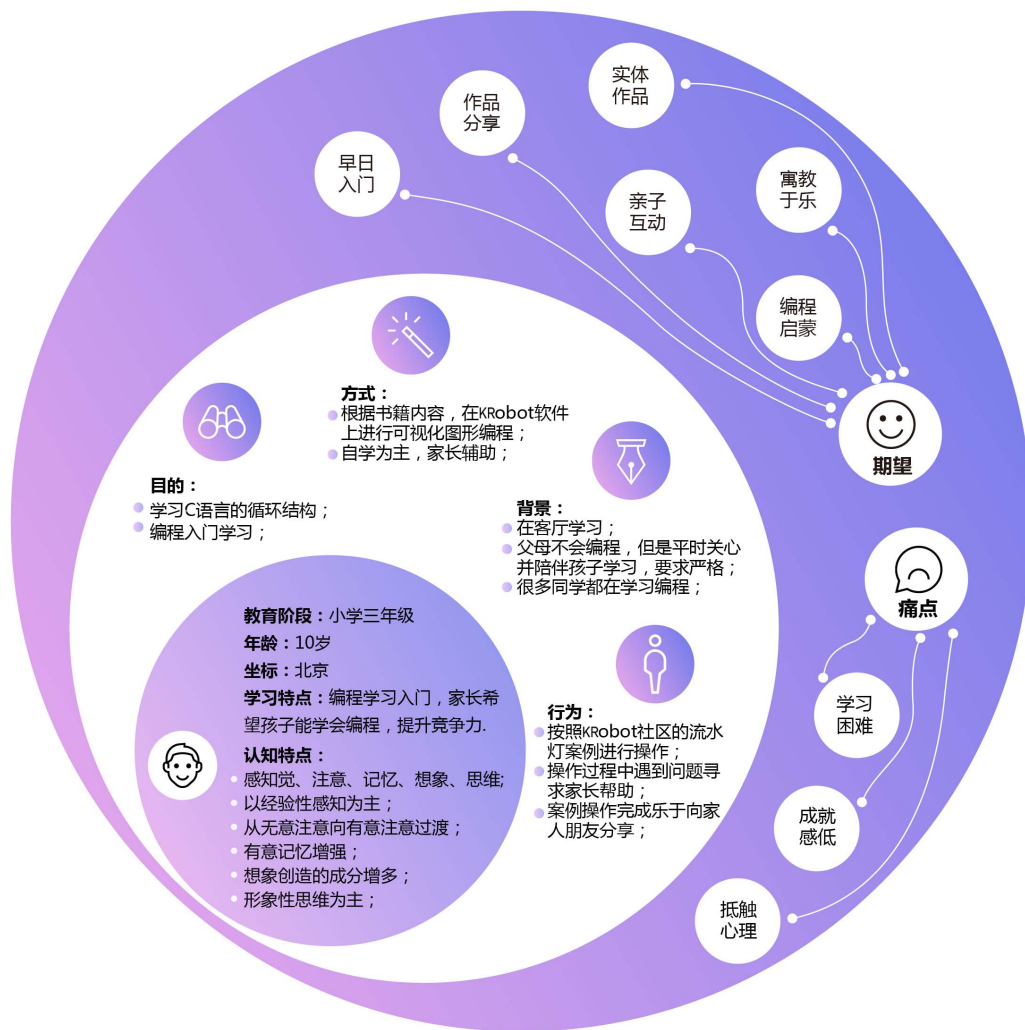


图 2 小学生课后编程学习场景分析

Fig.2 Analysis of the learning scenario of primary school students' after-class programming

1) “木板”的设计。DIY 操作指引页以图形的方式表达用户的动手操作流程；电路操作指引页表现与 Arduino 相关的硬件连接方法，帮助用户深入理解电子知识原理；程序代码页，用图形化代码表现程序编写流程，用源代码深入阐释程序原理，让用户掌握其内在的思维方式与逻辑联系，加深用户对编程语言的认知，从而达到训练思维的目标。核心操作页结构从上至下依次为立体木雕、裁切页、电子元件与电路页，前两者统称为视觉层，后两者统称为电路层，核心操作页结构展示见图 4。电路层位于视觉层的下方，包含对电路页及电子元件的设计，电路页能引导用户进行电路连接，是用户操作的载体。电路层的设计需要综合考虑各个电子元件的尺寸、形态、细节及其相互位置关系，为电路粘贴做规范指引。视觉层包含单木板结构立体木雕与裁切页，它们将被放置于电路层的上方，作为视觉表达的可视化产物，让用户创造实体化作品。单木板结构立体木雕是由一张木板折叠形成结构，经由木质胶合、薄木弯曲和面切割等工艺制作而成，其内分为三层，用胶将内衬与薄木板相连，增

加薄木板的连接强度与韧度^[10]，再借助模印工艺赋予薄木板多变的水果纹理贴图。用户通过折叠、插接与粘贴即可完成二维平面到三维物体的转化，制作出“水果灯罩”；它可以与普通平面内页相吻合，增强立体书的可操作性与趣味性。

2) “电”与“编程”的设计。立体书教具采用声、光、电作为主要表现形式，涉及传感器模块的学习，通过案例阐述“电”与“编程”的设计。案例呈现的效果为水果流水灯闪烁交替变化，即通过 Arduino 硬件编程实现三个 LED 灯的循环闪烁效果。它是 Arduino 的基础项目，目的是带领用户初识电路与 C 编程语言。在硬件方面，案例所需的元件有 Arduino 开发板、3 v 的纽扣电池、开关贴、LED 灯与杜邦线。其中，纽扣电池提供外接电源，三个 LED 灯的正极分别连接 Arduino 开发板的引脚 2、3、4，负极接地，电路设计与程序设计见图 5。在编程方面，案例用到模块语句与时间语句，产品通过图形化的编程语言引导用户完成基础程序的编写，以源代码作为深入学习的参照。



图 3 立体书整体外观设计
Fig.3 Overall appearance design of stereo books

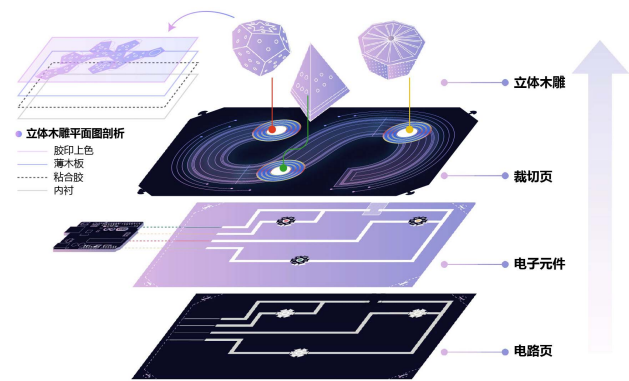


图 4 核心操作页结构展示
Fig.4 Page structure display of core operations

2.3 学习过程设计

基于图式结构的儿童编程立体书教具的学习过程包括：目标的确定、经验的选择、经验的组织及结果的评价。儿童可以参照立体书和视频课程进行学习，常规的学习流程包括：下载编程软件、学习电路与程序代码、搭建木结构电路、编写程序、上传程序、整理外观、完成实验并与同伴分享学习成果，儿童使用立体书玩教具的学习过程见图 6。儿童在学习编程

的同时可以了解电子电路、光学物理、空间结构等知识，这种知识的横向组织将突破传统知识体系，使课程内容与儿童已有的经验相结合，扩充儿童的认知架构。

此外，儿童不仅可以根据书籍上既定的程序代码完成操作，而且可以在源代码的基础上继续修改，充分发挥自身创造力与能动性，创造更多的新玩法、新体验。这种进阶式的学习方法充分基于儿童的认知图式，让儿童根据逻辑思维进行推理，将新知识纳入到已有的认知结构中，不断建立新的认知结构系统，确保学习经验的循序渐进性与相关性。

3 设计成果的评价

3.1 评估过程

为了验证木结构立体书教具的应用效果，采用定性评测与定量评测相结合的方式，选取四十一组小学生（编程初学者）及其家长，分别对三款编程启蒙教育产品进行不同维度的测评^[1]。三款产品分别为：Scratch 图形化编程软件（软件，通过图形化软件编程产出相应的游戏动画效果）；KRobot 智能硬件学习平台（软硬件相结合，通过图形化软件编程，借助 Arduino 产生相应的视觉效果）；TOP THREE 木结构

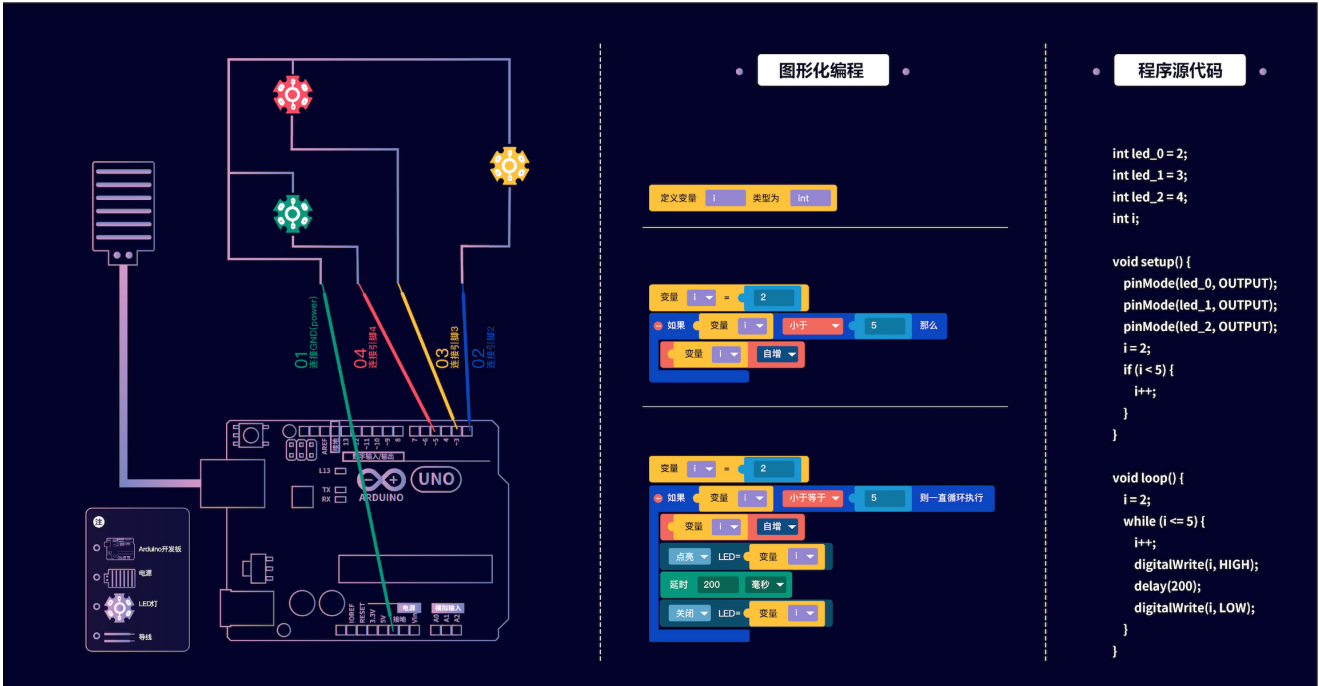


图 5 电路设计与程序设计
Fig.5 Circuit design and programming design

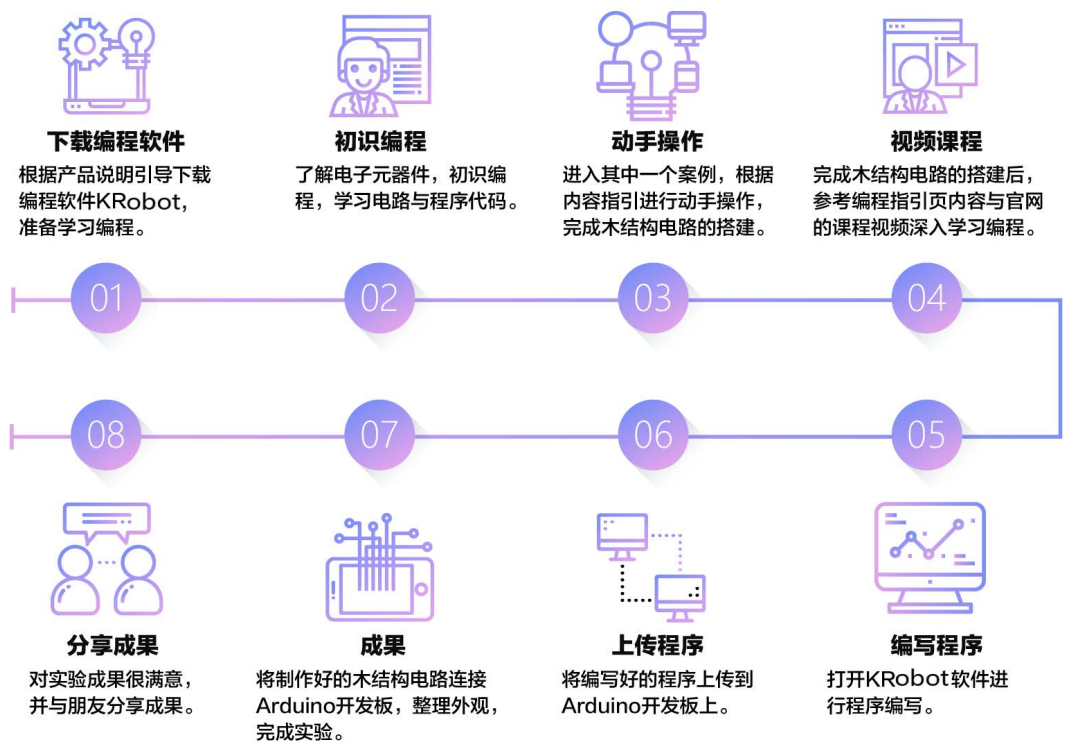


图 6 儿童使用立体书玩教具的学习过程
Fig.6 Learning process of children using stereoscopic teaching aids

立体书教具（软硬件相结合，通过图形化软件编程与木结构电路搭建，完成电子实验）。

实验要求被试者在三种设备条件下完成三个相同代码的实验，产出三个不同的小作品，分别为小游戏动画、Arduino 流水灯、木结构电路流水灯。为减少实验间的相互干扰，实验人员要求每个被试

者随机选择使用三种设备。测试后分别对每个被试者进行访谈与问卷调研，访谈内容主要针对用户的兴趣度、难易度与分享度进行调查；问卷围绕被试者对产品的“满意度”与“进一步使用期望”进行 5 点量表打分，0 分表示满意度低，5 分表示满意度高。

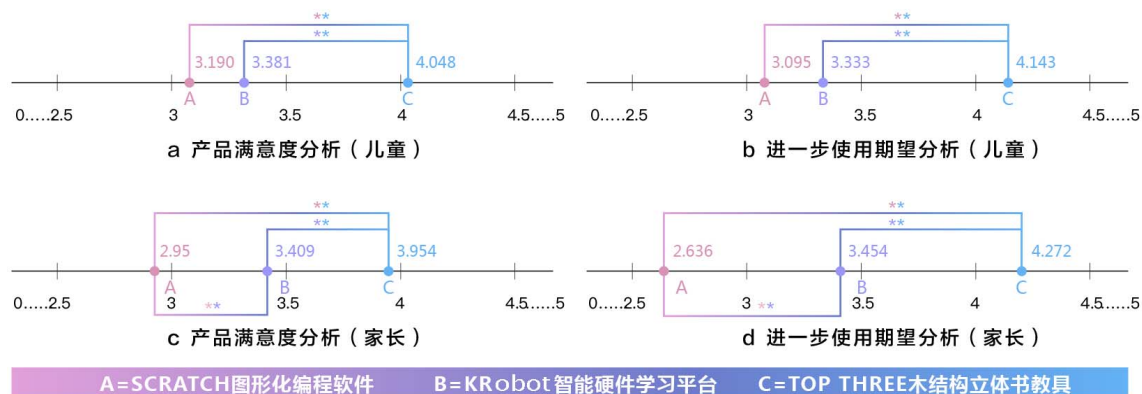


图 7 编程启蒙产品对比评估

Fig.7 Comparison evaluation form of programming enlightenment products

3.2 评估结果分析

运用单因素 ANOVA 检验的方式进行数据分析^[12], 结果表明, 产品“满意度”与“进一步使用期望”的数据结果相似, 两者呈现一定的相关性。条件一为仅通过软件学习编程, 得分最低; 条件二、三均为通过软硬件相结合的方式学习编程, 得分较高, 其中以木板为表达载体的木结构立体书教具得分最高。此外, 无论儿童组还是家长组, 与条件一、二相比, 条件三的用户对产品的“满意度”与“进一步使用期望”呈现显著性差异, 编程启蒙产品对比评估见图 7。此外, 访谈发现, 大多数儿童对编程的学习具有一定的抵触情绪, 相较于纯软件的学习, 更多的儿童倾向于有一定的实物产出, 他们喜欢以木板为载体的产品表达形式而非单纯的电子硬件, 木结构立体书教具产出的作品形态可爱、完整度高, 并且儿童乐于分享自己的作品。评估结果表明, 这种以手工的方式入手, 通过可视化编程软件的加持, 产出实体化的编程作品并与他人分享作品的形式, 有助于激励儿童编程学习。

4 设计的启示意义

研究致力于引导儿童编程启蒙教育, 产出集教育内容服务、实体化操作与用户内容共创三者于一体的智能化编程启蒙教育产品。

1) 寓教于乐、实体化操作的学习方式有助于儿童编程启蒙教育。7~12 岁的儿童在多数情况下是通过直观的动作、具体情境或图像来理解与表达。他们在编程学习场景中产生想法, 建立对编程概念的认知, 把抽象的语言形象具体化, 通过简单有趣的图形诠释复杂难懂的代码。

2) 儿童图式理论的由浅入深原理可以解释编程学习过程的阶段性, 这有利于儿童深入学习编程相关知识, 不断拓宽认知范畴。儿童可根据对知识的掌握程度, 进一步改编源代码, 创造同一案例下的不同操作结果, 进行“玩具”的升级。这种多样化的案例产出有助于激励儿童进行逻辑推理, 学习者与玩家心态

共同促进儿童深度学习, 完善认知结构。

3) 教育类产品需要策划学习的全面内容, 内容的专业性、适宜性是评价课程服务的重要标准。在此项目中, 教育内容主要以视频和图文的方式提供, 图文以立体书为主要载体, 包含课程引导、操作说明、原理介绍等方面, 两者结合分别为产品的四个案例做出了最全面详细的教学。

4) 利用教具吸引广大用户参与产生内容, 形成 PGC 和 UGC 相结合的内容共创体系。通过官方网站和社交平台, 鼓励用户发布与产品相关的源代码、新玩法, 这样有助于产品形成良好的口碑, 促使用户发布项目成果, 提高用户活跃度。以产品为纽带建立用户社群, 让更多家长与儿童进行沟通, 增强用户粘性。同时建立反馈机制, 即时了解用户的更多需求, 产品据此迭代, 形成不断提升用户体验的良性循环。

5) 教具对儿童编程启蒙教育的引导和各方面能力培养具有重要意义。研究以儿童认知图式为基础, 将可视化编程搭载物理声、光、电, 统一集成于木结构立体书中, 通过动手操作达成学习成就、案例升级引导深度学习、亲子参与增进有效互动等方式, 进行立体书教具的设计, 为儿童编程教具的设计提供新思路, 丰富儿童编程教具的形式, 拓展儿童编程启蒙教育行业的外延。

5 结语

儿童对编程语言的理解与生成图式具有抽象性、渐进性与连续性的特点, 这种图式特性为编程启蒙教具的设计提供了理论指导。研究着眼于儿童认知图式理论, 描摹典型学习场景, 提炼人群特性, 挖掘潜在需求, 进行教具设计, 该路径可以作为一种普适性的方式拓展到其他儿童教具产品的设计中。此外, 可视化编程与物理学相结合的木结构立体书是编程启蒙教具的新形式, 能够降低编程启蒙教育的入门难度。然而对儿童编程教育内容的合理性探讨与对编程深度学习的知识体系挖掘, 仍然需要专业教育工作者的共同努力。后续研究将针对儿童教具, 深化编程学习

内容,探讨教育内容的合理性,以期为孩子们提供完备的编程教育实践体系。

参考文献:

- [1] 闫涛. 图式理论对我国英语教学的启示[J]. 教育探索, 2003(5): 69-70.
YAN Tao. Enlightenment of Schema Theory on English Teaching in China[J]. Education Exploration, 2003(5): 69-70.
- [2] 陈瑞芳, 郑丽君. 皮亚杰认知发展理论及其对当代教育教学的启示[J]. 当代教育论坛(校长教育研究), 2007(5): 44-45.
CHEN Rui-fang, ZHENG Li-jun. Piaget's Theory of Cognitive Development and Its Implications for Contemporary Education and Teaching[J]. Forum on Contemporary Education (Principal Education Research), 2007(5): 44-45.
- [3] 桑标. 当代儿童发展心理学[M]. 上海: 上海教育出版社, 2005.
SANG Biao. Contemporary Child Development Psychology[M]. Shanghai: Shanghai Education Publishing House, 2005.
- [4] 王璇. 移动端儿童严肃游戏界面设计研究[J]. 装饰, 2014(2): 110-111.
WANG Xuan. Research on Children's Serious Game Interface Design Based on Mobile Terminal[J]. Zhuangshi, 2014(2): 110-111.
- [5] 朱静, 汤雅黎. 幼儿认知图式与幼儿教学启示[J]. 教育与教学研究, 2015, 29(4): 125-128.
ZHU Jing, TANG Ya-li. Children's Cognitive Schema and Enlightenment for Children's Teaching[J]. Education and Teaching Research, 2015, 29(4): 125-128.
- [6] 王艳群, 张丙辰, 宋丽姝, 等. 基于兴趣引导的交互式儿童玩教具产品设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(2): 119-123.
WANG Yan-qun, ZHANG Bing-chen, SONG Li-shu, et al. Research on Product Design of Interactive Children's Play Teaching Aid Based on Interest Guidance[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(2): 119-123.
- [7] 廖福林, 周崑. 人工智能与儿童逻辑编程启蒙教育[J]. 海峡教育研究, 2017(3): 66-69.
LIAO Fu-lin, ZHOU Wei. Artificial Intelligence and Enlightenment Education for Children's Logic Programming[J]. Strait Education Research, 2017(3): 66-69.
- [8] 王震亚, 张义文, 朱贵慧. 青少年学习场景下的智能产品体验设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(16): 18-22.
WANG Zhen-ya, ZHANG Yi-wen, ZHU Gui-hui. Research on Smart Product Experience Design in Youth Learning Scene[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(16): 18-22.
- [9] 胡飞, 杜辰腾. 用户观察框架比较研究[J]. 南京艺术学院学报(美术与设计版), 2012(2): 178-184.
HU Fei, DU Chen-teng. A Comparative Study of User Observation Frames[J]. Journal of Nanjing University of the Arts (Art and Design Edition), 2012(2): 178-184.
- [10] 周橙旻, 吴智慧, 吕九芳. 木作产品设计创意探讨[J]. 包装工程, 2011, 32(20): 34-37.
ZHOU Cheng-min, WU Zhi-hui, LYU Jiu-fang. Discussion on Creative Design of Wooden Products[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(20): 34-37.
- [11] 李豪, 侯文军, 陈筱琳. 基于因子分析的智能手机语音系统设计评估体系[J]. 包装工程, 2018, 39(16): 42-49.
LI Hao, HOU Wen-jun, CHEN Xiao-lin. Design and Evaluation System of Smart Phone Speech System Based on Factor Analysis[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(16): 42-49.
- [12] KANG N, ONO K. Proposal on Electronic Application for Writing Kanji Focusing on Producing Sound Based on the Various Handwriting[C]. International Conference on Human-Computer Interaction. Springer International Publishing, 2014.