

# 基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价

杨俞玲, 张丙辰, 李寻, 赵佳宝, 韦懿洋  
(江苏师范大学 工业设计中心, 江苏 徐州 221000)

**摘要:** **目的** 为提高设计师在 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价阶段中进行合理决策的效率, 提升 ASD 儿童干预 APP 的干预效果, 提出一种基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价方法。**方法** 首先, 通过文献分析, 结合专家评估, 构建导航界面设计的评价指标体系。其次, 运用 AHP 和熵权法分别确定各项评价指标的权重, 然后对其进行组合赋权, 并通过加权计算得到较为合理的设计方案综合排序。最后, 将该评价方法应用于 6 种干预 APP 导航界面的设计方案评价中, 通过 AHP-熵权法的综合计算筛选出最优方案, 能够更好地提升导航界面的关注度、吸引力和引导性。**结论** 融合 AHP 和熵权法对 ASD 儿童干预 APP 导航界面进行研究, 以期为干预 APP 导航界面设计提供相关的理论参考、为教辅人员和设计师提供有效的帮助。

**关键词:** AHP; 熵权法; ASD 儿童; 干预 APP; 导航界面

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)12-0165-09

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.12.019

## Evaluation of Navigation Interface Design of ASD Children Intervention APP Based on AHP-Entropy Weight Method

YANG Yu-ling, ZHANG Bing-chen, LI Xun, ZHAO Jia-bao, WEI Yi-yang  
(Industrial Design Center, Jiangsu Normal University, Jiangsu Xuzhou 221000, China)

**ABSTRACT:** In order to improve the designer's efficiency in making reasonable decisions in the evaluation stage of ASD children's intervention app navigation interface design and improve the intervention effect of ASD children's intervention app, an evaluation method of ASD children's intervention app navigation interface design based on AHP-entropy weight method is proposed. First of all, through literature analysis and expert evaluation, the evaluation index system of navigation interface design is constructed; Secondly, AHP and entropy weight method is used to determine the weight of each evaluation index respectively; Then, the combination weighting is carried out, and the more reasonable design scheme comprehensive ranking is obtained through weighted calculation; Finally, the evaluation method is applied to the evaluation of 6 design schemes of intervention APP navigation interface. The optimal scheme is selected through the comprehensive calculation of the AHP-entropy weight method, which can better enhance the attention, attraction and guidance of the navigation interface. AHP and entropy weight method are combined to study APP navigation interface for ASD children, which provided a relevant theoretical reference for the design of APP navigation interface for intervention, and provided effective assistance for the selection of teaching staff and decision-making of designers.

**KEY WORDS:** AHP; entropy weight method; ASD children; intervention APP; navigation interface

收稿日期: 2022-01-12

基金项目: 江苏师范大学研究生科研与实践创新计划项目 (2020XKT195); 教育部人文社会科学研究规划基金项目 (18YJAZH123)

作者简介: 杨俞玲 (1997—), 女, 硕士生, 主攻设计学。

通信作者: 张丙辰 (1976—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为儿童产品设计。

自闭症谱系障碍 (Autism Spectrum Disorder, ASD), 是一种以社会沟通与社会交往缺失、兴趣范围狭窄以及活动刻板重复为主要特征的神经发育障碍<sup>[1]</sup>。国内外相关研究学者对 ASD 儿童的干预技术进行了广泛的研究, 结果表明对 ASD 儿童的干预越早、越系统, 其干预效果就越显著<sup>[2]</sup>。随着信息技术的不断发展, 移动终端 APP 在自闭症康复领域中得到了广泛的应用, 为 ASD 儿童的康复带来了更多的希望与便捷<sup>[3]</sup>。视觉感知能力是 ASD 儿童的突出优势, 将视觉认知特点引入干预 APP 界面设计中, 为 ASD 儿童的早期干预治疗和教育问题提供了新的思路<sup>[4]</sup>。

## 1 背景

### 1.1 ASD 儿童干预 APP 导航界面的研究现状

ASD 儿童干预 APP 是以提高 ASD 儿童沟通能力、社交技能为主要目的, 兼具教育和辅助治疗功能的系列应用程序<sup>[5]</sup>。近年来, 国内外自闭症 APP 研究发展迅速, 已成为一种重要的干预训练手段。如 Withey<sup>[6]</sup>在研究中运用 APP 对 ASD 儿童的社会情绪进行干预, 发现其社会适应能力得到显著提升。Golan 等<sup>[7]</sup>采用心智解读软件训练 ASD 儿童通过人脸和声音来识别情绪, 结果显示他们的情绪识别能力有所提高。Ganz 等<sup>[8]</sup>通过应用程序对 ASD 儿童进行语言训练, 结果表明与接受传统行为训练项目的 ASD 儿童相比, 其表现出更多的注意, 并能够学习更多的词汇。卢美杏等<sup>[9]</sup>研究发现, 利用 APP 辅助 ASD 儿童进行康复训练, 能够有效促进其社交技能和学习能力的发展。

导航界面是用户获取信息、实现自我需求的重要入口, 导航界面设计的优劣能够直接影响用户的操作体验<sup>[10]</sup>。优秀的导航界面设计能够帮助用户快速了解软件功能、减少学习时间、提高使用效率和满意度<sup>[11]</sup>。多位学者对导航界面设计在 ASD 儿童干预 APP 中的应用进行了研究, Wallace 等<sup>[12]</sup>运用交替治疗设计探讨了不同导航界面布局对 ASD 儿童的干预效果, 结果表明导航界面布局会极大地影响定位信息的效率和准确性。Lau 等<sup>[13]</sup>通过比较 ASD 儿童在多媒体环境下语言词汇习得方面的变化, 发现儿童对清晰、简单的导航界面更有兴趣, 学习效果更佳。Mokashi 等<sup>[14]</sup>利用不同的导航界面训练 ASD 儿童的语言能力和社交技能, 结果显示训练效果的差异极为显著。

从以上研究可以看出, 干预 APP 在 ASD 儿童的康复训练中发挥着重要的作用, 使用干预 APP 对儿童进行训练时, 导航界面对其具有较好的引导作用, 能够提高其识别有效信息的效率。

### 1.2 层次分析法

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种将定量研究与定性分析相结合, 对复杂问题进

行决策的主观赋权法, 由美国运筹学家 Saaty 于 20 世纪 70 年代提出, 目前已广泛应用于技术评价、关联分析、资源分配等领域。王媚雪等<sup>[15]</sup>基于 AHP 和 TOPSIS 构建了自闭症儿童康复训练产品的评估指标模型。何思俊等<sup>[16]</sup>在人机交互界面的布局评价中, 借助 AHP 确定了各项设计要素的权重。赵欣等<sup>[17]</sup>运用 AHP 分析了信息系统界面在设计开发过程中的影响因素问题。

### 1.3 熵权法

熵权法是根据各项指标观测值所提供信息量的大小来确定指标权重的客观赋权法, 普遍应用于社会经济和工程技术领域。范续等<sup>[18]</sup>运用熵权法, 建立了瞭望塔布局优化设计的数学评价模型, 对不确定度影响因素进行了定量分析。陈香<sup>[19]</sup>利用熵权法, 确定了产品设计中各项指标的权重系数, 提升了专家判断的有效性。刘大帅等<sup>[20]</sup>基于熵权法和 FKM 算法, 计算出用户需求的满意度与重要性, 建立了综合评价模型。

## 2 基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价流程

通过对 AHP 和熵权法的文献研究分析, 提出一种基于 AHP-熵权法的干预 APP 导航界面设计方案 (评估模型、流程及应用), 可以削弱层次分析法在处理评价指标时的主观性和不确定性, 提高熵权法定量分析的准确度, 研究方法架构见图 1。

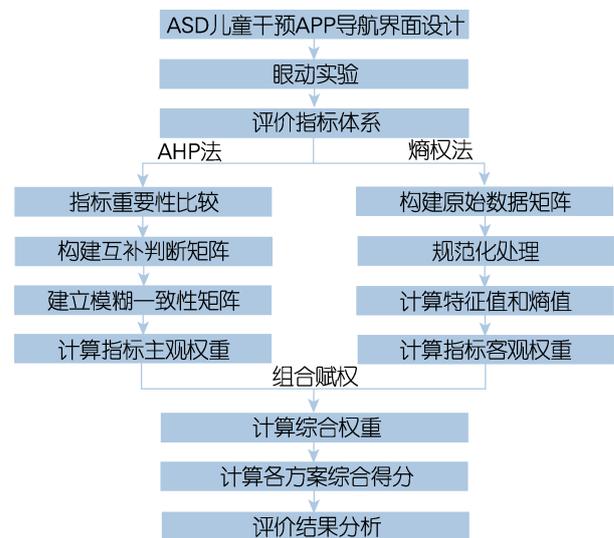


图 1 基于 AHP-熵权法的研究方法架构  
Fig.1 Research method framework based on AHP-entropy weight method

### 2.1 基于眼动实验内容确定评价指标

眼动实验通过视线追踪技术记录用户在处理视觉信息时不同的眼动轨迹特征<sup>[21]</sup>, 将其与 ASD 儿童的视觉认知特点相结合, 可有效提高产品的干预效

果。Brandon<sup>[22]</sup>通过比较 ASD 儿童和正常儿童在形状特征搜索过程中眼动数据的特点, 发现 ASD 儿童在视觉搜索上占有优势。贺超颖等<sup>[23]</sup>通过眼动实验发现, 将卡通面孔作为图片背景, 对人们认知能力的提升和不良情绪的改善具有积极作用。

现已有学者结合眼动实验对 APP 界面进行了研究, 如王艺璇等<sup>[24]</sup>将眼动实验与层次分析法相结合, 从客观的角度分析了界面设计的优劣; 李晶等<sup>[25]</sup>通过眼动实验对界面布局中的密集度、复杂度等认知要素之间的映射关系进行了研究。

根据文献研究<sup>[26-28]</sup>, 结合专家访谈和问卷调查的结果, 确定了 AHP 模型中准则层的要素为吸引力、关注度和引导性, 并将其与眼动指标相结合, 建立了评价指标体系, 见图 2。

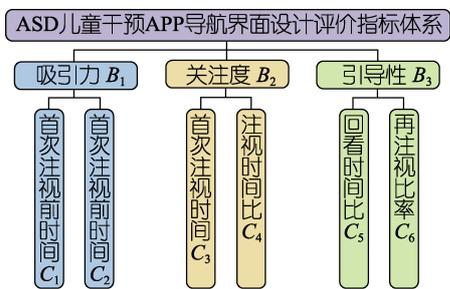


图 2 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价指标体系  
Fig.2 Evaluation index system of navigation interface design for ASD children intervention APP

不同的眼动指标对应不同的认知特点, 对所选择的 6 个眼动指标进行了解释说明, 见表 1。

表 1 眼动指标及其含义  
Tab.1 Eye movement index and its implication

眼动指标	指标含义
首次注视前时间 ( $I_{TFF}$ )	从观看样本开始到视线第 1 次注视到兴趣区的时长, 首次注视前时间越短, 该兴趣区越容易被注意到, 吸引力越强
首次注视前次数 ( $I_{FB}$ )	视线第 1 次落入兴趣区之前所有注视点的总个数, 首次注视前次数越多, 表明该兴趣区越不容易被注意到, 吸引力越弱
首次注视时间 ( $I_{FFD}$ )	落入兴趣区内第 1 个注视点的持续时间, 首次注视时间越长, 证明被试者对该兴趣区的关注程度越高
注视时间比 ( $I_{PPD}$ )	$I_{PPD}=T_s/T_f$ (兴趣区注视时间/总注视时间), 注视时间比率越高, 说明注视该兴趣区的时间越长, 兴趣越浓厚, 关注度越高
回看时间比 ( $I_{GBTR}$ )	$I_{GBTR}=T_r/T_f$ (兴趣区累计回看时间/总注视时间), 回看时间比越低, 说明对该兴趣区的回看时间越短, 认知效率越差, 引导性越弱
再注视比率 ( $I_{RR}$ )	$I_{RR}=N_r/N_f$ (兴趣区回看次数/总注视次数), 再注视比率越高, 说明对该兴趣区的回看次数越多, 认知效率越好, 引导性越强

## 2.2 使用 AHP 法确定评价指标权重

使用 AHP 法进行评价指标权重的确定, 主要包括 4 个步骤: 指标重要性比较、构造互补判断矩阵、建立模糊一致性矩阵和各指标权重值的计算。

邀请  $n$  名专家采用 0—1 评价标度对各项评价指标进行重要性比较并评分, 评价标度见表 2。

表 2 评价标度及其含义  
Tab.2 Evaluation scale and its meaning

标度	0	0.5	1
含义	要素 $i$ 没有要素 $j$ 重要	要素 $i$ 与要素 $j$ 同等重要	要素 $i$ 比要素 $j$ 重要

根据专家对  $n$  项界面评价指标的评比结果, 构建互补判断矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  :

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{matrix} C_1 & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \\ C_2 & \\ \vdots & \\ C_n & \end{matrix} \quad (1)$$

式中,  $C_1, C_2, \dots, C_n$  为 ASD 儿童干预 APP 导航界面的评价指标,  $a_{ij}$  表示评价指标  $C_i$  与  $C_j$  的比较结果, 若  $C_i$  比  $C_j$  重要, 则  $a_{ij} = 1$ , 反之,  $a_{ij} = 0$ , 且  $a_{ij} + a_{ji} = 1$ ; 主对角线 ( $a_{11}, a_{22}, \dots, a_{nn}$ ) 表示评价指标自身的比较, 因此  $a_{ii} = 0.5; i \in [1, n], j \in [1, n]$ 。

根据互补判断矩阵建立模糊一致性矩阵  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  :

$$b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{b_i - b_j}{2n} + 0.5 \quad (3)$$

先计算模糊一致性矩阵  $B$  中每一行元素的乘积:

$$c_i = \prod_{j=1}^n b_{ij} \quad (4)$$

再计算各项界面评价指标的权重, 得到权重向量  $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$  :

$$y_j = \left( \prod_{i=1}^n c_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

$$Y_j = \frac{y_j}{\sum_{j=1}^n y_j} \quad (6)$$

## 2.3 使用熵权法确定评价指标权重

使用熵权法进行评价指标权重的确定, 主要包括 4 个步骤: 构造原始数据矩阵、规范化处理、计算特征值和熵值以及评价指标权重的计算。

邀请  $m$  名 ASD 儿童对  $m$  个样本方案进行眼动实验, 导出眼动实验数据, 选取  $n$  项眼动指标作为评价

指标，并根据眼动实验数据构造原始数据矩阵  $D = (d_{ij})_{m \times n}$  :

$$D = (d_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

为解决各项评价指标因量纲不同造成数量级相差较大的问题，使用式(8)和式(9)对矩阵  $D$  进行规范化处理，得到标准化矩阵  $D' = (d'_{ij})_{m \times n}$ 。式(8)为正相关公式，适用于正向指标，即眼动指标数值越大越好；式(9)为负相关公式，适用于负向指标，即眼动指标数值越小越好。

$$d'_{ij} = \frac{d_{ij} - \min d_{ij}}{\max d_{ij} - \min d_{ij}} \quad (8)$$

$$d'_{ij} = \frac{\max d_{ij} - d_{ij}}{\max d_{ij} - \min d_{ij}} \quad (9)$$

计算第  $j$  个评价指标下第  $i$  个方案的评价特征比重，即第  $i$  个方案中第  $j$  个评价指标的指标比重，得到矩阵  $F = (f_{ij})_{m \times n}$ 。

$$f_{ij} = \frac{d'_{ij}}{\sum_{j=1}^n d'_{ij}} \quad (10)$$

再计算第  $j$  个指标的熵值  $E_j$  :

$$E_j = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad k = \frac{1}{\ln n} \quad (11)$$

由第  $j$  个指标的熵值，可以计算出该指标的客观权重  $W_j$ 。

$$W_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j}, 0 \leq W_j \leq 1, \sum_{j=1}^m W_j = 1 \quad (12)$$

### 2.4 综合权重计算

AHP 在处理评价指标时存在较强的主观性，而熵权法主要以量化的数据为基础，客观性较大，因此，结合 AHP 和熵权法将分别计算出的权重值进行组合赋权，得到各项评价指标的综合权重系数  $\phi_j$ ，可以使实验结果更加合理。

$$\phi_j = \frac{Y_j W_j}{\sum_{j=1}^m Y_j W_j}, 0 \leq \phi_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \phi_j = 1 \quad (13)$$

### 2.5 计算方案综合得分

将  $m$  个方案的标准化特征值按照综合权重系数  $\phi_j$  进行加权计算，可得到各方案的最终得分  $Q$ ，以此对方案进行排序。

$$g_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{j=1}^n d_{ij}} \quad (14)$$

$$Q_i = \phi_j g'_{ij} \quad (15)$$

## 3 基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价应用

### 3.1 眼动实验

通过眼动追踪实验可以记录被试者对不同实验样本的注视轨迹，以便为后续基于 AHP-熵权法的设计评价研究提供数据基础。眼动实验的具体流程见图 3。

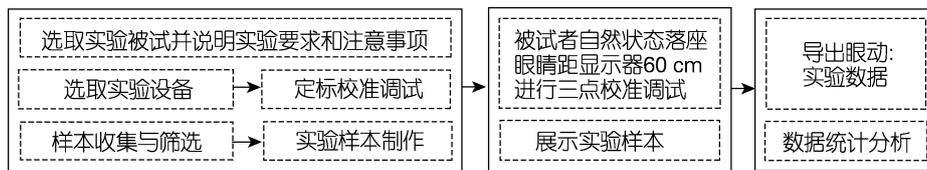


图 3 眼动实验流程  
Fig.3 Flow chart of eye movement experiment

#### 3.1.1 被试者

实验初期，笔者联系了徐州市禾润福利院、五彩鹿儿童发展中心等机构的 29 名 ASD 儿童。由于实验时间较长，且实验过程需要被试者的配合度较高，经反复筛选，选定 26 名 6~8 岁的 ASD 儿童作为被试者，其具备正常的视觉认知能力，能够理解实验过程中出现的相关要求，可以较好地进行实验。对被试儿童的家长详细说明此次实验的内容和意义，获得自愿参加研究的家长的书面同意书。

#### 3.1.2 实验设备

采用 aSee Glasses 眼镜式眼动仪、Surface Pro7 (分辨率为 2 650\*1 600)，以及附带的 aSee Glasses Studio 软件记录所有参与实验的被试儿童在自由观看固定样本时的注视行为，显示屏与被试者眼睛之间的距离约为 60 cm，注视持续时间大于 100 ms 为一次注视。

#### 3.1.3 实验材料

通过 APP Store、华为应用市场和 Google 应用市

场对自闭症类型的 APP 进行取样, 并进行初步的整理和筛选, 前期收集到的导航界面样本共 81 个。除去风格相似及下载量偏低的 APP 导航界面图片, 邀请 3 位具有资深儿童 APP 设计经验的设计师和 2 位视觉传达设计专业的研究生, 结合导航界面的可视性、引导性以及市场需求进行综合考虑, 最终筛选出 6 种干预 APP 的导航界面作为实验材料。

为避免界面上的文字和图形符号对被试者产生影响, 以 6 种界面为原型, 通过 Photo Shop 软件进行样本的重新制作, 并在后续实验中分别以  $X_1$ 、 $X_2$ 、

$X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$  作为样本代号, 其主要内容信息见表 3。

### 3.1.4 实验程序

实验采取个别测试的方法, 在安静的房间内, 被试者进入实验室, 熟悉环境后在距离显示器约 60 cm 的地方坐下。测试时, 邀请被试家长或机构教师进行辅助, 处理可能出现的行为问题。为了确保实验能够准确进行, 在每次实验前进行 3 点校准法, 校准成功后方能进行实验。实验结束后给予被试者一定的物质奖励。实验场景见图 4。

表 3 样本信息介绍  
Tab.3 Sample information introduction

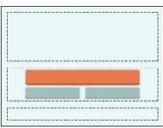
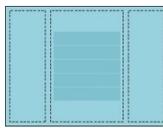
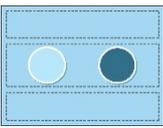
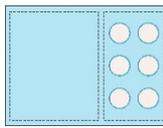
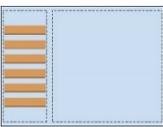
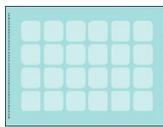
原型	样本 $X_1$ — $X_3$	形式特征	原型	样本 $X_4$ — $X_6$	形式特征
		导航布局位于界面水平偏下位置; 按钮采用圆角矩形设计, 倒角较小; 背景色彩饱和度较低, 与按钮对比强烈			导航布局位于界面居中位置; 按钮采用圆角矩形设计, 倒角较小; 背景与按钮均采用冷色系色彩, 饱和度接近, 对比较弱
		导航布局位于界面水平居中位置; 按钮采用圆形设计; 背景色彩饱和度较低, 按钮饱和度较高, 对比比较强			导航布局位于界面右侧垂直位置; 按钮采用圆形设计; 背景采用饱和度较低的蓝色, 按钮采用白色, 对比明显
		导航布局位于界面左侧垂直位置; 按钮采用细长的圆角矩形, 无倒角; 背景采用饱和度较低的蓝色, 按钮采用暖色调黄色, 对比明显			导航布局采取宫格式布局, 布满整个界面; 按钮采用正方形设计, 倒角较小; 背景与按钮均采用饱和度、明度较低的蓝色, 对比较弱



图 4 实验场景  
Fig.4 Experimental scene diagram

### 3.1.5 实验数据

实验结束后, 通过 aSee Glasses 眼镜式眼动仪配套的 Studio1.1.17.8 分析软件, 对 26 名被试者的热点图进行叠加处理, 可展示出被试者在各实验样本上的视线分布情况, 能够较为直观地反映出被试者的视觉关注重点。实验样本热点图见图 5。由图 5 可知,  $X_1$  和  $X_2$  的兴趣区主要集中在导航布局的中央水平部分;  $X_3$  的兴趣区主要集中在左侧;  $X_4$  的兴趣区主要集中

在中央垂直部分;  $X_5$  的兴趣区主要集中在右侧;  $X_6$  的兴趣区较为分散, 无明显规律; 其中,  $X_2$  的兴趣区域最为显著,  $X_6$  的兴趣区最为分散。

为了更加清晰、系统地对导航界面布局进行分析, 提高设计评价的准确度, 借助 SPSS 22.0 软件的“可靠性分析”功能对导出的眼动数据进行信度分析。数据的克伦巴赫系数  $\alpha$  为 0.802, 说明数据的同质性相对较高, 属于  $\alpha$  系数评价表中的理想层次。然后对实验数据进行统计分析, 详细数据见表 4。

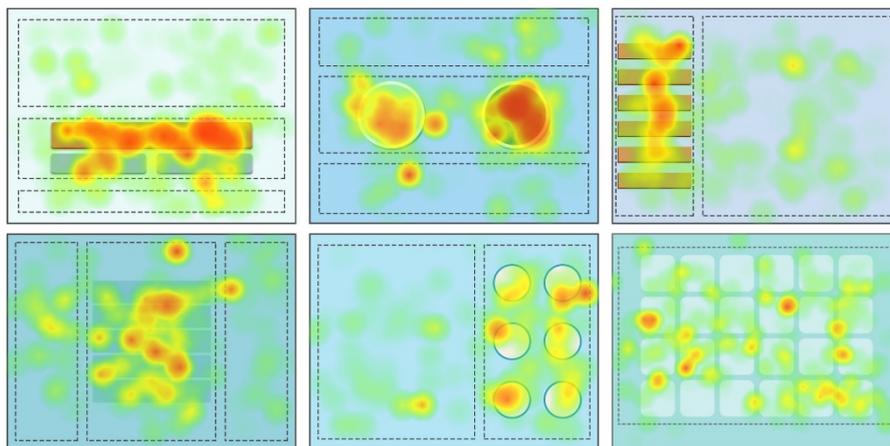


图5 实验样本热点图  
Fig.5 Heat map of experimental sample

表4 眼动实验数据  
Tab.4 Eye movement experimental data

样本	眼动指标	首次注视前 时间/s	首次注视前 次数/n	首次注视 时间/s	注视时间 比/%	回看时间 比/%	再注视 比率/%
	$X_1$	0.03	3.23	0.37	0.352	0.272	0.295
	$X_2$	0.02	2.34	0.32	0.340	0.270	0.256
	$X_3$	0.04	4.17	0.24	0.260	0.208	0.226
	$X_4$	0.03	4.10	0.24	0.291	0.238	0.255
	$X_5$	0.07	8.48	0.17	0.201	0.165	0.163
	$X_6$	0.10	12.21	0.18	0.188	0.151	0.169

3.2 使用 AHP 法确定眼动评价指标权重

邀请五彩鹿儿童发展中心的3位教辅人员、3位具备资深儿童 APP 设计经验的设计师和2位视觉传达设计专业的研究生组成专家团，对 ASD 儿童的行为特征进行交流讨论。在此基础上，由专家团共同研讨实验样本中评价指标的相对重要性。采用表2中的0—1评价标度，对 ASD 儿童干预 APP 导航界面中的6项评价指标，即6个眼动指标进行重要性比较，构建互补判断矩阵：

$$A = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0.5 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0.5 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

再根据式(2)和式(3)建立模糊一致性矩阵，然后根据式(4)~(6)计算出各项评价指标的权重，见表5。

3.3 使用熵权法确定眼动评价指标权重

首先根据表4中的眼动实验数据构造原始数据矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} 0.03 & 3.23 & 0.37 & 0.352 & 0.272 & 0.295 \\ 0.02 & 2.34 & 0.32 & 0.340 & 0.270 & 0.256 \\ 0.04 & 4.17 & 0.24 & 0.260 & 0.208 & 0.226 \\ 0.03 & 4.10 & 0.24 & 0.291 & 0.238 & 0.255 \\ 0.07 & 8.48 & 0.17 & 0.201 & 0.165 & 0.163 \\ 0.10 & 12.21 & 0.18 & 0.188 & 0.151 & 0.169 \end{bmatrix}$$

表5 ASD 儿童干预 APP 导航界面的评价指标权重  
Tab.5 Evaluation index weight of ASD children intervention app navigation interface

序号	评价指标	权重值
$C_1$	首次注视前时间	0.191 7
$C_2$	首次注视前次数	0.068 5
$C_3$	首次注视时间	0.191 7
$C_4$	注视时间比	0.068 5
$C_5$	回看时间比	0.460 1
$C_6$	再注视比率	0.019 6

然后根据式(8)和式(9)进行规范化处理，得到标准化矩阵。其中，首次注视时间、注视时间比、回看时间比和再注视比率属于正向指标，首次注视前时间和首次注视前次数属于负向指标。接着由式(10)和(11)计算出各项评价指标的熵值，再由式(12)

计算出各项评价指标的权重, 见表 6。

表 6 ASD 儿童干预 APP 导航界面的评价指标权重  
Tab.6 Evaluation index weight of ASD children intervention APP navigation interface

序号	评价指标	权重值
C <sub>1</sub>	首次注视前时间	0.114 6
C <sub>2</sub>	首次注视前次数	0.114 1
C <sub>3</sub>	首次注视时间	0.220 4
C <sub>4</sub>	注视时间比	0.186 4
C <sub>5</sub>	回看时间比	0.172 3
C <sub>6</sub>	再注视比率	0.192 2

### 3.4 眼动评价指标综合权重计算

根据式(13)计算各项评价指标的综合权重系数, 并对其进行排序, 见表 7。

表 7 ASD 儿童干预 APP 导航界面的评价指标综合权重  
Tab.7 Comprehensive weight of evaluation indexes for ASD children intervention APP navigation interface

序号	评价指标	权重值	排序
C <sub>1</sub>	首次注视前时间	0.130 9	3
C <sub>2</sub>	首次注视前次数	0.046 5	5
C <sub>3</sub>	首次注视时间	0.251 8	2
C <sub>4</sub>	注视时间比	0.076 0	4
C <sub>5</sub>	回看时间比	0.472 4	1
C <sub>6</sub>	再注视比率	0.022 4	6

经排序, 可得到干预 APP 导航界面设计方案的评价指标的重要度顺序: 回看时间比>首次注视时间>首次注视前时间>注视时间比>首次注视前次数>再注视比率。其中, 回看时间比和再注视比率的差异性较大, 因为相比于普通儿童, ASD 儿童的认知能力和理解能力较弱, 筛选有效信息的能力较差, 所以需要更多的回看时间, 才能获得较为清晰的判断, ASD 儿童在较短的凝视过程中难以形成有效的判断, 往往会形成较多无效的回看次数, 因此回看时间比与再注视比率在眼动指标的概念上有一定的相似性, 但综合赋权之后发现它们存在较大的差异。可以看出, 将行为的主观解析与数据的客观统计相结合, 能够为研究提供更为系统、全面的参考。

### 3.5 计算 6 种方案的综合得分

根据式(14)和式(15), 将 6 个方案的标准化特征值按照综合权重系数  $\varphi$  进行加权计算, 可得到各方案的最终得分, 见表 8。

由表 8 可知, 各方案综合得分的排序结果为  $X_1 > X_2 > X_4 > X_6 > X_3 > X_5$ , 因此可以确定  $X_1$  为最优设计方案, 在后续的相关设计中将  $X_1$  作为参考原型。根据各教辅人员和设计师的意见, 其一致认为  $X_1$  方案不

仅在导航图标形状和界面色彩设计上简约清晰、富有趣味, 而且其导航布局位于界面水平偏下位置, 明显醒目, 引导性强, 为理想方案。同时, 也验证了评价结果的可靠性。

表 8 各方案综合得分  
Tab.8 Comprehensive score of each scheme

方案	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$
综合得分	0.199 0	0.183 0	0.154 6	0.162 8	0.143 0	0.157 6
排序	1	2	5	3	6	4

通过上述实验及相关文献分析, 结合教辅人员、设计师的反馈, 可以看出准则层中的吸引力要素对儿童注视导航界面的初始印象有较大影响, 关注度要素对各界面的停留时间及内容接受程度有较大影响, 引导性要素对完成 APP 的干预训练程度有较大影响。

## 4 结语

此次研究采用 AHP 和熵权法相结合的方法, 对 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计进行评价, 降低了设计评价过程中主观因素的影响, 保证了评价结果的可信度和准确性。将眼动追踪实验相关指标与导航界面评价要素相结合, 构建评价指标体系, 在层次分析法及熵权法的基础上, 结合组合赋权和加权计算, 总结出基于眼动实验的评价指标综合权重计算方法。运用评价指标综合权重计算方法得到 6 种干预 APP 导航界面样本的综合得分, 筛选出最优方案。总结了干预 APP 导航界面评价指标体系与 ASD 儿童干预训练过程行为的映射关系。

基于 AHP-熵权法的 ASD 儿童干预 APP 导航界面设计评价模型可以帮助设计师进行合理的决策, 优化教辅人员的选择操作, 为实践训练和相关设计提供参考。

### 参考文献:

[1] MAZUREK M O, LU F, SYMECKO H, et al. A Prospective Study of the Concordance of DSM-IV and DSM-5 Diagnostic Criteria for Autism Spectrum Disorder[J]. Journal of Autism & Developmental Disorders, 2017, 47(9): 2783-2794.

[2] 赖珊, 徐光兴. 自闭症儿童干预技术[J]. 中国健康心理学杂志, 2013, 21(2): 317-320.  
LAI Shan, XU Guang-xing. Review Study on Autism: Interventions for Children[J]. China Journal of Health Psychology, 2013, 21(2): 317-320.

[3] 于新宇, 陈东帆, 李睿强. 现代化技术在自闭症康复领域应用的研究综述[J]. 中国特殊教育, 2016(3): 17-22.  
YU Xin-yu, CHEN Dong-fan, LI Rui-qiang. A Review

- of the Application of Modern Technology in Autism Rehabilitation[J]. Chinese Journal of Special Education, 2016(3): 17-22.
- [4] CIHAK D, FAHRENKROG C, AYRES K M, et al. The Use of Video Modeling via a Video iPod and a System of Least Prompts to Improve Transitional Behaviors for Students with Autism Spectrum Disorders in the General Education Classroom[J]. Journal of Positive Behavior Interventions, 2010, 12(2): 103-115.
- [5] 贺安妮, 程艳然, 雷雨迟, 等. 基于内容分析法的自闭症 APP 研究现状与分析[J]. 中华医学图书情报杂志, 2018, 27(3): 50-55.  
HE An-ni, CHENG Yan-ran, LEI Yu-chi, et al. Current Studies and Analysis of Autism Spectrum Disorder APP by Content Analysis[J]. Chinese Journal of Medical Library and Information Science, 2018, 27(3): 50-55.
- [6] WITHEY K L. Using APP to Develop Social Skills in Children With Autism Spectrum Disorder[J]. Intervention in School and Clinic, 2016, 52(4): 250-255.
- [7] GOLAN O, ASHWIN E, GRANADER Y, et al. Enhancing Emotion Recognition in Children with Autism Spectrum Conditions: An Intervention Using Animated Vehicles with Real Emotional Faces[J]. Journal of autism & Developmental Disorders, 2010, 40(3): 269-279.
- [8] GANZ J B, BOLES M B, GOODWYN F D, et al. Efficacy of Handheld Electronic Visual Supports to Enhance Vocabulary in Children With ASD[J]. Focus on Autism & Other Developmental Disabilities, 2014, 29(1): 3-12.
- [9] 卢美杏, 张文兰. iPad 在美国自闭症患者教育中的应用现状及启示[J]. 电化教育研究, 2017, 38(8): 122-128.  
LU Mei-xing, ZHANG Wen-lan. The Application Status and Enlightenment of iPad in the Education of Autistic Patients in America[J]. E-education Research, 2017, 38(8): 122-128.
- [10] 李森, 吕伟, 郭伏, 等. 基于眼动追踪技术的即时通讯 APP 导航界面设计[J]. 人类工效学, 2019, 25(4): 35-42.  
LI Sen, LYU Wei, GUO Fu. Design on the Navigation Interface of Instant Messaging APP Based on Eye Tracking Technology[J]. Chinese Journal of Ergonomics, 2019, 25(4): 35-42.
- [11] GREEN D T, PEARSON J M. Integrating Website Usability with the Electronic Commerce Acceptance Model[J]. Behaviour & Information Technology, 2011, 30(2): 181-199.
- [12] WALLACE S E, HUX K. Effect of Two Layouts on High Technology AAC Navigation and Content Location by People with Aphasia[J]. Disability & Rehabilitation Assistive Technology, 2013, 9(2): 173-182.
- [13] LAU F K, YUEN A H K, LIAN J M. Modelo Adaptado Deprograma de Aprendizagem em Linguagem Facilitada por Multimídia Para Crianças Com Autismo[J]. Psicologia Escolar Educacional, 2007, 11(9): 13-26.
- [14] MOKASHI S, YAROSH S, ABOWD G D. Exploration of Videochat for Children with Autism[J]. Association For Computing Machinery, 2013, 13(6): 320-323.
- [15] 王媚雪, 翟洪磊. 基于 AHP 与 TOPSIS 法的自闭症儿童康复训练产品设计评价方法及应用[J]. 图学学报, 2020, 41(3): 453-460.  
WANG Mei-xue, ZHAI Hong-lei. Evaluation Method and Application of Autistic Children Rehabilitation Training Products Based on AHP and TOPSIS[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 453-460.
- [16] 何思俊, 支锦亦, 杜洋, 等. 装备驾驶界面人机设计评价研究综述[J]. 机械设计与研究, 2019, 35(5): 97-103.  
HE Si-jun, ZHI Jin-yi, DU Yang, et al. A Review of Research on Man-Machine Design Evaluation of Equipment Driving Interface[J]. Machine Design & Research, 2019, 35(5): 97-103.
- [17] 赵欣, 丁怡, 侯文军, 等. 复杂信息系统界面可用性指标体系研究[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 716-722.  
ZHAO Xin, DING Yi, HOU Wen-jun, et al. On the Usability Evaluation Index System of Complex Information System Interface[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 716-722.
- [18] 范续, 武刚, 陈飞翔, 等. 林区瞭望塔布局与优化设计[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(5): 986-991.  
FAN Xu, WU Gang, CHEN Fei-xiang, et al. Layout and Optimal Design of Watchtowers in Forest Regions[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2020, 37(5): 986-991.
- [19] 陈香, 卫华. 基于结构熵权 TOPSIS 法的产品设计方案评估研究[J]. 图学学报, 2020, 41(3): 446-452.  
CHEN Xiang, WEI Hua. Research on Product Design Scheme Evaluation Based on TOPSIS Method of Structure Entropy Weight[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 446-452.
- [20] 刘大帅, 杨勤, 吕健, 等. 融合用户满意度的用户需求综合重要性研究[J]. 图学学报, 2019, 40(6): 1137-1143.  
LIU Da-shuai, YANG Qin, LYU Jian, et al. Comprehensive Importance of Integrating User Satisfaction with User Demand[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(6): 1137-1143.
- [21] HUDDLESTON P T, BEHE B K, DRIESENER C, et al. Inside-outside: Using Eye-tracking to Investigate Search-choice Processes in the Retail Environment[J]. Journal of Retailing & Consumer Services, 2018, 43(7): 85-93.
- [22] BRANDON K R. Exploring What's Missing: What Do Target Absent Trials Reveal About Autism Search Superiority?[J]. Journal of Autism & Developmental Disorders, 2016, 46(5): 1686-1698.
- [23] 贺超颖, 陈靓影, 张坤. 眼部线索对孤独症儿童视线加工的影响[J]. 中国特殊教育, 2019(6): 47-55.  
HE Chao-ying, CHEN Liang-ying, ZHANG Kun. Effects of Eye Cues on Visual Processing in Autistic Children[J]. Chinese Journal of Special Education,

- 2019(6): 47-55.
- [24] 王艺璇, 王小平, 吴通, 等. 基于眼动实验的音乐类手机 APP 界面设计评价[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(9): 266-271.  
WANG Yi-xuan, WANG Xiao-ping, WU Tong, et al. Interface Design Evaluation of Mobile Phone Music APP Based on Eye-tracking Experiment[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(9): 266-271.
- [25] 李晶, 郁舒兰, 刘玮. 基于眼动追踪的数控界面布局认知特性评价[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(7): 1334-1342.  
LI Jing, YU Shu-lan, LIU Wei. Cognitive Characteristic Evaluation of CNC Interface Layout Based on Eye-Tracking[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(7): 1334-1342.
- [26] 刘春丽, 王爱红. 基于眼动实验的学龄前儿童机器人设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 210-216.  
LIU Chun-li, WANG Ai-hong. Design of Preschooler Robot Based on Eye Movement Test[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 210-216.
- [27] 周雁, 宋方昊. 基于应用行为分析法的自闭症儿童认知训练 APP 设计[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 132-139.  
ZHOU Yan, SONG Fang-hao. Cognitive Training APP for Autistic Children Based on Applied Behavior Analysis[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 132-139.
- [28] 吴雪媛, 彭晓玲, 黄丹. 视觉搜索眼动模式在识别孤独症谱系障碍儿童中的应用[J]. 中国儿童保健杂志, 2019, 27(9): 949-952.  
WU Xue-yuan, PENG Xiao-ling, HUANG Dan. Identifying Children with Autism Spectrum Disorders by Eye-Movement Patterns of Visual Search Task[J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2019, 27(9): 949-952.

责任编辑: 马梦遥

(上接第 164 页)

- [13] 张小丹, 杨飞, 唐德威. 月壤钻取采样钻进导向机构多方案评价与优选[J]. 机械科学与技术, 2016, 35(12): 1967-1974.  
ZHANG Xiao-dan, YANG Fei, TANG De-wei. Project Evaluation and Optimization of Lunar Soil Drilling Sampling Guiding Mechanism[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2016, 35(12): 1967-1974.
- [14] 任甲举, 刘丹. 基于改进模糊层次分析法的食品机械设计方案评价[J]. 机械设计与制造, 2017(3): 20-22.  
REN Jia-ju, LIU Dan. Evaluation Based on Improved Fuzzy AHP Food Machinery Design[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(3): 20-22.
- [15] 徐骁琪, 程永胜, 陈国强. 基于 AHP 法的房车造型评价方法及应用研究[J]. 机械设计, 2020, 37(6): 140-144.  
XU Xiao-qi, CHENG Yong-sheng, CHEN Guo-qiang. Evaluation Method and Application of RV Modeling Based on AHP Method[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(6): 140-144.
- [16] 曾李帼, 刘纯青, 冯莹, 等. 口袋公园景观评价体系构建研究[J]. 福建工程学院学报, 2020, 18(3): 300-306.  
ZENG Li-guo, LIU Chun-qing, FENG Ying, et al. Research on Constructing an Evaluation System for Pocket Parks' Landscape[J]. Journal of Fujian University of Technology, 2020, 18(3): 300-306.

责任编辑: 陈作