

基于模糊 Kano 模型与熵权 TOPSIS 的产品设计研究

李宇轩¹, 韩旭², 余毅¹

(1. 武汉理工大学, 武汉 430070; 2. 湖北工业大学, 武汉 430068;)

摘要: 目的 为提供以玩家体验为中心的严肃游戏产品, 提出一种融合学习方法(游戏化机制模型、模糊 Kano 模型、熵权 TOPSIS 法)的严肃游戏设计方法。方法 首先, 根据游戏教育目标结合相关成熟范式建立有针对性的学习机制——游戏化机制模型(Learning Mechanics-Game Mechanics Model), 然后对模型中指标进行相关性评价, 筛选得到初步符合游戏主题与教育目的的设计要素。其次, 使用模糊 Kano 模型设计问卷调查得到需求分类, 以必备需求为核心设计要素, 提取期望需求、兴奋需求进行再次筛选排序, 计算满意度指标。再次, 通过李克特量表收集对满意度指标的评价信息结合熵值法得到具有客观性的设计要素权重, 使用逼近理想解法(TOPSIS)确定各设计要素重要性排序。最后, 以宣传网络信息安全的实体严肃游戏“DataCapital”作为设计案例, 验证了该设计方法的可行性与优越性。结论 认为该方法能较好地帮助严肃游戏的开发、切实提高游戏的玩家满意度, 能为其他类似产品提供设计方法借鉴。

关键词: 严肃游戏; 模糊 Kano 模型; TOPSIS 法; 熵值法; 学习机制-游戏化机制模型

中图分类号: TP 391; TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)18-0057-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.18.008

Product Design Based on Fuzzy Kano Model and Entropy Weight TOPSIS

LI Yu-xuan¹, HAN Xu², YU Yi³

(1. University of Edinburgh, Edinburgh Scotland, Edinburgh EH8 9ST, United Kingdom; 2. Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 3. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: In order to provide serious game products with player experience as its core, this paper proposes a serious game design method of learning methods game mechanism model, fuzzy Kano model and Entropy TOPSIS method. Firstly, according to the goal of game and related paradigms, a targeted learning mechanism-game mechanism model is established, and then the relevance of the indicators in the model is evaluated to screen out the design elements that initially accord with the theme of the game and the purpose of education. Secondly, the fuzzy Kano model is used to design the questionnaire survey to get the demand classification. Taking the essential demand as the core design element, the expected demand and excited demand are extracted to sort, thereby calculating the satisfaction index. Thirdly, the evaluation information of satisfaction index is collected by Likert scale, and the objective weight of design elements is obtained by entropy method, and the importance order of each design element is determined by TOPSIS. Finally, taking the entity serious game "data capital" as a design case, the feasibility and superiority of the design method are verified. In conclusion, this method can be conducive to developing serious games, improving the satisfaction of game players, and providing reference for other similar products.

KEY WORDS: serious games; educational games; fuzzy Kano model; TOPSIS; Entropy weight method; learning mechanism-gamification mechanism model

收稿日期: 2022-07-22

基金项目: 教育部人文社科基金(20YJC760025); 湖北省文化创意产业化设计研究中心开放基金重点项目(HBCY2005)

作者简介: 李宇轩(1998—), 男, 博士生, 主要研究方向为信息设计, 工业设计, 交互设计。

通信作者: 韩旭(1987—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为游戏化设计, 虚拟现实设计, 智能交互设计。

严肃游戏 (Serious Games) 作为一种数字游戏学习工具,是游戏化理念与教育机制的结合,因其能利用游戏的吸引力和现代通信技术提升信息传播效率与影响力,在各个领域广泛应用^[1]。在 Starks 等^[2]的研究中证明具有充分学习方法支撑的严肃游戏在帮助掌握复杂技能、提高学习效率上对比传统教育具有优势。因此能够整合恰当学习方法指导游戏化过程,使学习方法与游戏机制相辅相成,共同贡献于教育的目的是高效的严肃游戏设计方法关键点^[3]。

针对严肃游戏的设计方法, Arnab 等^[4-5]提出了 Mapping-learning 严肃游戏创新设计思路,通过利用根节点为游戏化机制与学习方法的学习机制-游戏机制模型 (Learning Mechanics and Game Mechanics, LM-GM 模型) 指导游戏化过程,为严肃游戏设计提供了高效的通用指导工具。Callaghan 等^[6]应用 LM-MG 模型设计严肃游戏,将严肃游戏应用于工程师技能教学中,在实际的技能教育场景中验证了该方法的可行性。Alvarez^[7]等提出了将实现-传播-应用 (RDU) 模型应用在严肃游戏中,将设计迭代融入严肃游戏设计。Romero 等^[8]将 LM-GM 模型作为评估与改进研究生课程的工具,使用定性研究方法得出引入不合适游戏元素会加重学生认知负荷的结论。综上所述,LM-GM 模型作为严肃游戏设计通用工具在综合设计范式、指导学习方法匹配游戏化机制上起到了积极作用,但在设计过程中拘泥于参考成熟范式设计,对用户即玩家需求的发掘停留在浅表层。

模糊 Kano 模型 (FKM)、熵值法、TOPSIS 法被应用于多个领域的用户需求分析上。Huang^[9]等运用模糊 Kano 法对问卷数据进行分析,以提取当地文化的兴奋质量需求用于校园文化产品创新设计中。周祺等^[10]将模糊 Kano 模型结合情景 FBS 应用于情景玩具设计,两种模型优势互补,实现了情景化玩具在应用场景下功能、行为、结构的合理性设计。通过 AHP 专家打分法结合 TOPSIS 法对设计方案进行综合评价优选,实现了相对安全的儿童座椅产品设计。以上分析中 Kano 模型能较好地对用户需求进行分类,但传统 AHP 赋权过分依赖主观评价,易影响测评结果。刘大帅等^[11]运用熵值法进行客观赋权,经对比传统专家打分测评法,发现熵值法能更客观地反应用户实际需求指标,有效避免主观判断误差。因此,使用 FKM 结合熵权 TOPSIS 的需求评价能更客观地反应用户实际需求,在严肃游戏设计实践过程中给予开发人员客观设计指导。

综上所述,本文使用严肃游戏设计指导模型 (LM-GM 模型) 作为范式研究与文献调研的基础,使需求收集具有明确方向性。在设计需求分类中应用模糊 Kano 调查问卷得到实际需求,使用熵值法计算各设计指标客观权重,最后使用 TOPSIS 法得到各指标客观的重要度排序。充分发挥各模型的长处,并在实际案例中验证该设计流程的优越性。

1 严肃游戏设计创新方法

1.1 设计步骤

融合 LM-GM 模型、模糊 Kano 法与熵权 TOPSIS 的严肃游戏设计流程,见图 1。

步骤 1: 通过范式研究与文献调研,总结相关学习方法与游戏化机制后,加入 LM-GM 模型,建立有针对性的设计模型。其次,对模型中核心组件进行专家评价,筛选与游戏主题与教育目的的相关性较高的设计要素。

步骤 2: 通过模糊 Kano 模型建立调查问卷收集用户实际想法,计算满意度系数。使用客观赋权方法 (熵权法) 计算各设计指标的信息熵,进一步得到设计指标的加权评价矩阵。

步骤 3: 通过 TOPSIS 法对加权决策矩阵进行分析,得到设计要素重要度排序,以此指导设计实践。

1.2 基于 LM-GM 模型的初步设计需求信息获取

LG-GM 模型,全称为学习机制-游戏化机制模型,是 Limi 等^[12]于 2013 年提出的。其作为欧盟支持的游戏与学习联盟工作成果的一部分,LM-GM 模型设计的目的是解决在设计以教学目的为驱动的游戏化产品在游戏化机制与学习方法上匹配的问题。LM-GM 模型基于常见的教育机制与游戏机制 (包括严肃游戏方式与娱乐游戏方式) 的互相匹配可以使游戏化机制为大多数的教育场景提供严肃游戏解决方案^[13]。在设计过程中,LM-GM 模型可视为根节点为学习机制与游戏化机制,水平轴上学习方法、游戏机制可看作类似广度优先搜索排列,核心组件以类似于深度优先搜索的方式从两个根节点垂直向下运行,侧或叶节点表示支持该核心的学习方法或游戏化机制,见图 2。

针对严肃游戏设计,设计过程中需对 LM-GM 模型中的核心组件进行筛选,保留与游戏主题和其教育目的关联性高的指标。因此,将所有核心组件进行公信度评测。要求具有丰富经验的专家选择模型中重要游戏设计要素,公信度低于 0.5 的核心组件被认为与游戏教育目的相关性较低,将该组件从模型中剔除,过程如下:

$$H = \frac{P}{N} \quad (1)$$

式中, H 为核心组件的相关性, P 为选择该指标的专家人数, N 为收到有效问卷数量。

1.3 模糊 Kano 模型

Kano 教授在 1984 年提出 Kano 模型^[13]。Kano 模型主要是为了表现用户的满意度与产品的质量要素之间的非线性关系^[13]。Kano 模型将产品质量要素分为 5 类^[14],见图 3。根据定义,严肃游戏设计中 Kano 模型的设计要素应分为 5 类^[15],即基本设计需

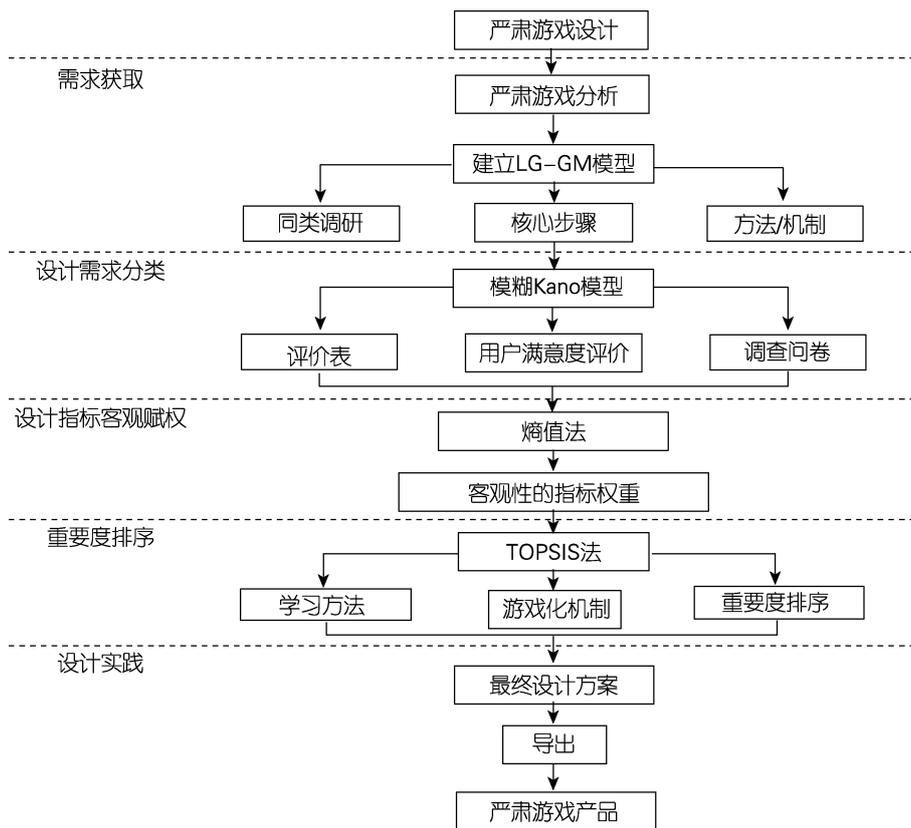


图 1 严肃游戏游戏设计流程
Fig.1 Serious game game design flow chart

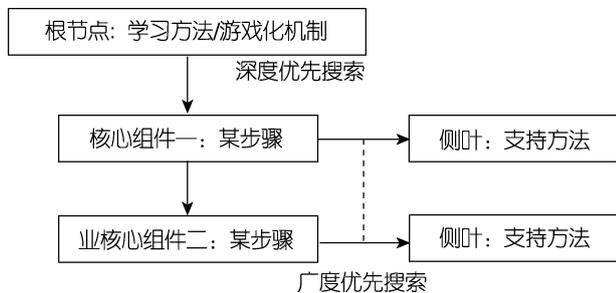


图 2 LM-GM 模型
Fig.2 Schematic diagram of LM-GM model

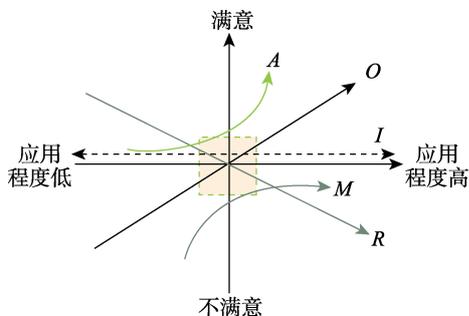


图 3 Kano 模型
Fig.3 Kano model

求 (M)、期望设计需求 (O)、兴奋设计需求 (A)、无关设计需求 (I)、反向设计需求 (R), 见图 3。设计过程中使用 Kano 调查问卷、Kano 评估表进行分类

分析, 使用 Kano 调查结果表统计分类结果。

相比传统 Kano 模型,FKM 模型能更好地反映用户对模糊问题时的真实思维^[15]。例如某游戏要素具备时, 用户可将 1 分配给满意 0.4、理应如此 0.5 和可以接受 0.1, 严肃游戏设计要素的 FKM 调查问卷 (见表 1), 然后根据表 2 FKM 评测表进行评测, 并计算用户满意度。

表 1 严肃游戏 FKM 问卷
Tab.1 Serious Games FKM Questionnaire

编号	属性	满意	理应如此	并不在意	可以接受	不满
G _{11,21}	应用	0.5	0.4	0.1	-	-
	无应用	-	-	0.2	0.6	0.2
G ₁₂	应用	-	0.6	0.4	-	-
	无应用	-	-	0.1	0.5	0.4
G ₇₁	应用	0.4	0.1	0.4	-	-
	无应用	-	-	0.3	0.7	-
.....						
L ₁₁	应用	-	0.4	0.5	0.1	-
	无应用	-	0.2	0.8	-	-
L _{12,22}	应用	0.7	0.2	0.1	-	-
	无应用	-	-	0.1	0.3	0.6

表2 FKM需求分类评价表
Tab.2 FKM Demand Classification Evaluation Form

用户需求	不具备某要素				
	满足	理应如此	中立	可以接受	不满
具备要素	<i>Q</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>O</i>
	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
	<i>R</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>R</i>	<i>Q</i>

具体利用 FKM 对游戏设计要素进行分类步骤如下:

根据表1某用户的FKM问卷调查表为例, $G_{11,21}$ 机制 $P=[0.5\ 0.4\ 0.1\ 0\ 0]$, $N=[0\ 0\ 0.2\ 0.6\ 0.2]$, 则生成的模糊矩阵如下:

$$S_{x1} = P^T N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.1 & 0.3 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0.08 & 0.24 & 0.32 \\ 0 & 0 & 0.02 & 0.06 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

通过式(2)计算矩阵,并根据FKM分类评价表进行比较与计算。由表2计算评价矩阵如下:

$$T_{x1} = \left(\frac{0.4}{M}, \frac{0.1}{O}, \frac{0.4}{A}, \frac{0.4}{I}, \frac{0}{R} \right) \quad (3)$$

为获取可信数据,引入阈值 α 对统计结果中的数据进行筛选。采用 $\alpha=0.4$ 对数据进行筛选,当 $\alpha \geq 0.4$ 时 $T_{x1}=(1\ 0\ 1\ 1\ 0)$ 。

根据 FKM 问卷调查的结果,计算严肃游戏具有某学习方法或游戏化机制时的用户满意度为 C , 不具备时的不满意度为 D , 即 C 与 D 分别表示如下:

$$C = \frac{f_A + f_O}{f_A + f_O + f_M + f_I} \quad (4)$$

$$D = \frac{f_O + f_M}{f_A + f_O + f_M + f_I} \quad (5)$$

1.4 熵权法指标赋权

熵权法是一种客观赋权方法。与专家打分法(AHP)有主观性较强的缺点^[16]相比,熵权法运用数据本身的信息熵计算权重得到客观赋权结果。计算过程如下:

步骤1:构造决策矩阵。假设有 m 个要素和 n 个专家决策打分,则评价决策矩阵如下:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (6)$$

步骤2:计算得到归一化处理后的标准化矩阵,以标准化矩阵中列向量与所有元素和的比组成归一

化矩阵 Q , 其计算过程如下:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$Q = (q_{ij})_{m \times n}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\text{其中 } q_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}^2$$

步骤3:计算指标的信息熵,根据规范化矩阵 $Q=(q_{ij})_{m \times n}$ 利用式(8)得到指标 j 的信息熵 H_j 。

$$H_j = -K \sum_{i=1}^m p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}), j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

式(9)中 K 为调节系数, $K=1/\ln n$

步骤4:确定指标权重值。根据信息熵,利用式(10)得到指标 j 的权重值 ω_j

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{i=1}^m H_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

1.5 TOPSIS法进行设计要素重要度评价

TOPSIS法是针对多属性问题在多个行业领域被广泛运用的决策方法^[17]。

步骤1:根据指标权重构建加权决策矩阵 B

$B=(b_{ij})_{m \times n}$, 其中 b_{ij} 计算公式如下:

$$b_{ij} = \omega_j \cdot q_{ij} \quad (11)$$

步骤2:根据加权决策矩阵 B 确定正理想解 U^+ 和负理想解 U^- 。

$$U^+ = \left\{ \max_{1 \leq i \leq m} \{b_{ij}\} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} = \{U_1^+, U_2^+, \dots, U_n^+\} \quad (12)$$

$$U^- = \left\{ \min_{1 \leq i \leq m} \{b_{ij}\} \mid j = 1, 2, \dots, n \right\} = \{U_1^-, U_2^-, \dots, U_n^-\} \quad (13)$$

步骤3:根据正、负理想解,确定严肃游戏设计要素与理想解之间的加权欧氏距离。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - U_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - U_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

步骤4:计算各目标的相对贴近度值,并进行排序。

$$v_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+}, 0 \leq v_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

将 v_i 值按大小排序, v_i 越大,则评价指标的重要度越高。根据需求指标的重要度排序,综合考虑重要度高的若干指标和用户诉求,根据决策结果对设计要素重要度进行排序,指导学习方法与游戏化机制匹配,产出合理设计的严肃游戏产品。

2 应用实例

2.1 基于LG-MG模型的设计要素统计

传统严肃游戏设计主要依据设计师经验和各类

成熟游戏范式进行游戏设计, 忽略了用户满意度的重要性。本文以提高青年学生群体软件安全意识的严肃桌面游戏 DataCapita 为例, 阐述运用所提严肃游戏设计方法进行用户的设计需求分析。经市场调研、查阅相关文献、总结成熟严肃游戏范式^[18]等方法, 开发团队对 LM-GM 模型进行合理优化。为便于设计信息可视化, 将表格中各要素编号, L_1, L_2, \dots, L_n 表示 n 个学习机制要素; $L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1n}$ 表示支

持第一个机制核心的 n 个教育方法, 游戏化机制使用 G 表示。当核心没有支持方法时说明在当前教育环境中其本身就是可以使用的方法或机制, 在本案例中各支持机制同等重要。LM-GM 模型共有 31 个核心组件^[4-5], 邀请 8 位设计经验丰富的高校教师根据公式 (1) 对核心组件进行打分, 得到公信度高于 0.5 的学习核心与游戏核心共 15 个, 详细统计见表 3。

表 3 基于 LM-GM 模型的设计需求统计表
Tab.3 Statistical table of design needs based on LM-GM model

L 学习核心	支持方法一	支持方法二	G 游戏核心	支持机制一	支持机制二
L_1 引导教学	L_{11} 教程/说明书	L_{12} 示范	G_1 角色扮演	G_{11} 养成	G_{12} 视角转换
L_2 参与学习	L_{21} 行动/任务	L_{22} 示范	G_2 合作	G_{21} 养成	G_{22} 协作
L_3 问答教学	-	-	G_3 资源管理	G_{31} 策略/计划	G_{32} 任命/购买
L_4 辨认	L_{41} 探索/发现	L_{42} 选择/判断	G_4 行动点	G_{41} 回合制	G_{42} 等级要求
L_5 竞争	L_{51} 督促	-	G_5 代币	G_{51} 选择/判断	G_{52} 货物/信息
L_6 塑造学习	L_{61} 模仿	L_{62} 回顾	G_6 交互	G_{61} 元游戏	G_{62} 反馈
L_7 方法掌握	L_{71} 动机/技巧	L_{72} 回顾	G_7 状态	G_{71} 奖励/惩罚	G_{72} 生命值
-	-	-	G_8 像素化	G_{81} 捕捉/收集	G_{82} 无限回合

2.2 模糊 Kano 模型的设计需求指标分类

采用表 1 的模糊 Kano 调查问卷对各项设计要素进行调研, 获得实际用户需求。该产品目标用户为青年学生群体, 因此选择了解严肃游戏概念的青年学生发放调查问卷。共发放 110 份问卷, 除 2 份不合理问卷和 3 份空白问卷, 有效问卷 105 份。在设计过程中应对学习方法与游戏化机制分别进行测试, 最终择优匹配。因篇幅原因, 下文以游戏化机制评价为例, 根据表 3 中视角转换设计要素 $P=[0.6 \ 0.4 \ 0 \ 0]$, $N=[0 \ 0 \ 0.1 \ 0.5 \ 0.4]$, 由式 (2) 得到评价矩阵如下:

$$S_{x1} = P^T N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.06 & 0.3 & 0.24 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.2 & 0.16 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

由式 (3) 计算评价矩阵, $T_{x1} = \left(\frac{0.16}{M}, \frac{0.24}{O}, \frac{0.5}{A}, \frac{0.38}{I}, \frac{0}{R} \right)$ 。采用 $\alpha \geq 0.4$ 对数据进行筛选, $T_{x1} = (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0)$ 。将所得游戏化机制评价信息汇总记入表 4。以其中频数最高的属性类别作为该用户需求属性类型。

由表 4 可知, 针对游戏化机制 G_{32} , G_{41} , G_{51} 属于必备设计要素具有较高的用户需求重要度。因此作为核心设计要素, 记录到最终设计方案中。提取表 4 中期望需求与兴奋需求进行下一步分析, 筛选其中关键指标作为推荐设计要素指导设计实践。由式 (4) - (5) 得到各要素满意度值, 见表 5。

表 4 设计要素 FKM 分类结果统计表
Tab.4 Statistical table of FKM classification results of design elements

编号	设计要素	M	O	A	I	R	Q	分类
G_{12}	视角切换	19	13	59	14	0	2	A
$G_{11,21}$	养成	17	23	48	17	0	2	A
G_{22}	协作	5	9	14	77	0	2	I
G_{31}	策略/计划	11	59	23	12	0	2	O
G_{32}	任命/购买	65	21	17	2	0	2	M
G_{41}	回合制	59	23	14	9	0	2	M
G_{42}	等级限制	11	19	18	57	0	2	I
G_{51}	选择/判断	70	15	11	9	0	2	M
G_{52}	货物/信息	20	17	27	41	0	2	I
G_{61}	元游戏	27	50	15	13	0	2	O
G_{62}	反馈	20	24	50	11	0	2	A
G_{71}	奖励/惩罚	29	43	22	11	0	2	O
G_{72}	生命值	18	21	41	25	0	2	A
G_{81}	捕捉/收集	9	28	50	18	0	2	A
G_{82}	无限制	24	26	25	30	0	2	I

表 5 设计要素正、负满意度
Tab.5 Positive and negative satisfaction of design elements

需求编号	C	D
G_{12}	0.686	0.305
$G_{11,21}$	0.676	0.381
G_{31}	0.781	0.667
G_{61}	0.619	0.733
G_{62}	0.705	0.419
G_{71}	0.619	0.686
G_{72}	0.590	0.371
G_{81}	0.743	0.352

2.3 熵值法确定设计要素权重值

使用七级李克特量表收集设计要素的专家评价意见。邀请5位具有丰富经验的工业设计系教师对游戏指标重要性进行打分,结果见表6。由式(7)得标准化游戏设计要素权重决策矩阵,结果见表8。

表6 设计要素权重决策标准矩阵
Tab.6 Standardized Matrix of Design Element Satisfaction

需求编号	专家1	专家2	专家3	专家4	专家5
$G_{11,21}$	7	6	5	7	7
G_{31}	5	6	7	5	5
G_{61}	4	5	4	3	5
G_{62}	7	4	7	6	7
G_{71}	6	6	4	4	3
G_{72}	5	6	4	4	5
G_{81}	4	3	3	3	6

根据式(8)~(9)得到各设计要素的信息熵 H_j ,得到每个设计指标熵权值 ω_j ,汇总结果见表7。

表7 设计要素重要度熵值、熵权值
Tab.7 Design elements importance entropy value, entropy weight value

需求编号	类别	信息熵 H_j	熵权值 ω_j
G_{12}	A	0.434 4	0.104 1
$G_{11,21}$	A	0.306 1	0.127 8
G_{31}	O	0.382 1	0.113 8
G_{61}	O	0.438 9	0.103 3
G_{62}	A	0.430 3	0.104 9
G_{71}	O	0.269 0	0.134 6
G_{72}	A	0.039 4	0.176 9
G_{81}	A	0.269 0	0.134 6

2.4 熵权 TOPSIS 确定设计要素重要度

根据数据信息熵与熵权,为指标客观赋权。由式(10)计算得到设计要素重要度加权评价矩阵,结果见表8。

表8 设计要素重要度加权评价矩阵
Tab.8 Design elements importance weighted evaluation matrix

需求编号	设计要素重要度加权评价矩阵 B	
G_{12}	0.071 4	0.031 8
$G_{11,21}$	0.086 4	0.048 7
G_{31}	0.088 9	0.075 9
G_{61}	0.064 0	0.075 7
G_{62}	0.074 0	0.044 0
G_{71}	0.083 3	0.092 3
G_{72}	0.104 4	0.065 6
G_{81}	0.100 0	0.047 4

依照式(12)~(13)得正理想解 $U^+=[0.104 3, 0.092 3]$,负理想解 $U^-=[0.063 9, 0.031 7]$ 。根据规范化的重要度决策矩阵和正、负理想解,利用式(14)~(16)求得各游戏化机制的设计要素满意度的正、负理想解的欧氏距离、相对贴近度 ν_i 值,结果见表9。

表9 设计要素重要度的相对贴近度及其正、负理想解的欧式距离
Tab.9 The relative closeness of the importance of design elements and the Euclidean distance of positive and negative ideal solutions

编号	D_i^+	D_i^-	ν_i	类别	排序
G_{12}	0.068 9	0.040 4	0.369 3	A	8
$G_{11,21}$	0.047 2	0.059 0	0.555 6	A	5
G_{31}	0.022 6	0.062 3	0.733 7	O	2
G_{61}	0.043 7	0.032 2	0.424 3	O	7
G_{62}	0.057 1	0.043 4	0.431 5	A	6
G_{71}	0.021 0	0.055 1	0.723 6	O	3
G_{72}	0.026 7	0.083 1	0.756 7	A	1
G_{81}	0.045 2	0.077 2	0.630 9	A	4

由表9可知,除必备设计要素外,游戏化机制的需求重要度排序为, $G_{72}>G_{31}>G_{71}>G_{81}>G_{11,21}>G_{62}>G_{61}>G_{12}$ 。其中 G_{72} 、 G_{31} 、 G_{71} 的需求重要度最高,因此游戏规则中可以加入“生命值”“策略”“奖励惩罚”概念。其次, $G_{11,12}$ 、 G_{81} 、 G_{62} 的需求重要度较高,当缺失时不会明显影响玩家体验,设计时以游戏流程为主尽量满足。 G_{31} 、 G_{72} 的重要度偏低,在不影响教育目的与游戏流程情况下可以进行灵活取舍。以同样计算步骤得到,在学习方法要素中除必备设计需求外,以 L_{41} 、 L_{42} 、 L_{71} 最为重要优先考虑, $L_{62,72}$ 、 L_{21} 次之, $L_{12,22}$ 再次。

2.3 严肃游戏设计方案确定

将学习方法与游戏机制重要度排序结果根据游戏步骤合理结合,汇总于表10。设计流程中遵循核心要素>推荐要素>备选要素的顺序。围绕游戏教育目的设计游戏流程并安排游戏化机制,其中核心要素为FKM得出的必备设计要素,当核心要素满足游戏形式与目的时,尽最大可能满足用户需求;推荐设计要素为期望需求与兴奋需求中重要度排序靠前设计要素,可围绕核心设计要素,合理搭配使用在各个游戏环节中;备选设计要素为重要度排序较后的设计要素,一般不推荐使用在主要游戏步骤中。

将游戏方法与游戏化机制根据表10进行合理匹配,经过原型测试验证设计方案可靠性后将方案导出。按照游戏流程绘制最终方案设计信息可视化图指导产品设计,见图4。

游戏基本规则如下:玩家同时扮演普通网民与堯

表 10 信息安全严肃游戏设计需求汇总表
Tab.10 Summary of Design Requirements for Information Security Serious Games

内容	核心设计要素	推荐设计要素	备选设计要素
学习方法	L ₁₁ 引导教学	L ₄₁ 探索/发现	L _{11,22} 行动/任务
	L ₃ 问答教学	L ₄₂ 选择/判断	
		L _{62,72} 回顾学习	
游戏机制	G ₄₁ 回合制	G ₃₁ 策略/计划	G _{11,21} 养成游戏
	G ₅₁ 选择/判断	G ₇₂ 生命值	
	G ₃₂ 任命/购买	G ₇₁ 奖励/惩罚	G ₆₂ 元游戏

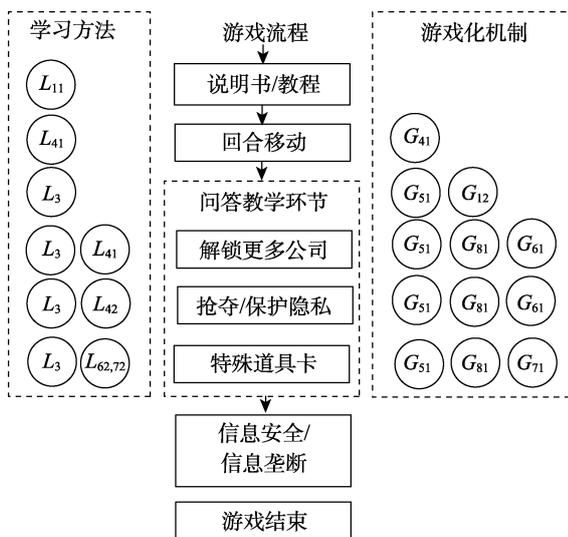


图 4 最终方案设计信息可视化图

Fig.4 Visualization of the final design plan information

断公司, 即视角切换机制; 玩家开局时拥有 5 张代表 5 种不同个人隐私信息的卡, 如家庭地址, 电话号码等; 玩家开局时将同时扮演一种公司类型, 如社交媒体公司; 通过正确答题解锁更多公司, 即问答教学与收集游戏; 行走在他人公司会接受盘问, 公司所有者可以抽取公司卡提问, 回答错误则失去信息卡, 即问答教学、元游戏理念、奖惩机制; 玩家也可以仅能在终点格时通过保护完好的个人信息卡宣布胜利, 而从垄断公司视角集齐他人特定信息卡时可以直接宣布胜利。

根据图 4, 从学习方法角度来看, 该游戏的主要教学方式为问答教学, 以探索棋盘的方式通过选择判断问答、回顾学习等学习方法, 让玩家学习在不同的情况下如何保护自身信息安全。从游戏化机制来看, 该游戏主要是一款策略游戏并搭配元游戏的设计概念, 玩家通过正确回答问题得到更多的奖励道具、解锁地图上的公司, 让游戏有高度的开放性、可控性。从游戏流程上来看, 游戏核心是问答教学环节。依照最终设计方案, 产出严肃游戏产品——信息安全教育严肃游戏“DataCapital”见图 5。

对比传统设计产品, 经过合理设计方法产出的严



1-棋盘; 2a-机会卡; 2b-选择卡; 2c-问题卡; 3-骰子; 4a-个人信息卡; 4b-棋子卡; 5-公司问题卡; 6-包装盒; 7-说明书。

图 5 信息安全教育游戏“DataCapital 信息资本主义”

Fig.5 Data Security Educational Game "DataCapital" (1.Game board 2a. Chance card 2b. Choice card 2c. Question card 3. Dice 4a. Personal information card 4b.Chessman card 5. Company question card 6. Packing box 7. Manual)

肃游戏产品具有认知过程顺畅、学习方法多、游戏玩法新颖的特点。可以通过设计手段在兼顾教育目的的同时, 保持游戏本身的可玩性, 良好地化解了如今严肃游戏设计拘泥于范式设计、套路化的困境。提升了玩家体验与学习效率, 为严肃游戏方法应用领域的推广、应用层次的提升创造可能。

3 结语

针对严肃游戏设计中缺少用户需求分析过程的问题, 提出基于 LM-GM 模型作为范式分析与信息收集指导, 融合模糊 Kano 模型与熵权修正 TOPSIS 法为重要度分析工具的设计方法。具体流程是, 首先根据 LM-GM 模型作为初始设计需求并通过市场调研、范式分析完善对模型的针对性优化; 其次应用模糊 Kano 模型为设计要素分类, 熵权 TOPSIS 法得出具有客观性的设计要素重要性排序; 最后, 以宣传信息安全的实体游戏产品“DataCapital”为设计案例, 验证设计方法优越性。该设计方法改变了以往以经验主义与参考成熟范式为主导的严肃游戏设计思路, 将用户对设计需求的评价融入设计调研流程中, 拓宽了游戏设计的思路。

在下一步研究中, 设计调研应着手进行主客观结合赋权, 避免忽略设计要素本身的重要性。而在设计实践中, 应将传统严肃游戏设计方法与新的视觉技术如 AR 与 VR 技术融合, 提升游戏体验与教学中的信息传递效率。

参考文献:

[1] LAMERAS P, ARNAB S, DUNWELL I, et al. Essential

- Features of Serious Games Design in Higher Education: Linking Learning Attributes to Game Mechanics[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2017, 48(4): 972-994.
- [2] STARKS K. Cognitive Behavioral Game Design: A Unified Model for Designing Serious Games[J]. *Frontiers in Psychology*, 2014, 5: 28.
- [3] SAILER M, HENSE J U, MAYR S K, et al. How Gamification Motivates: An Experimental Study of the Effects of Specific Game Design Elements on Psychological Need Satisfaction[J]. *Computers in Human Behavior*, 2017, 69: 371-380.
- [4] ARNAB S, LIM T, CARVALHO M B, et al. Mapping Learning and Game Mechanics for Serious Games Analysis[J]. *British Journal of Educational Technology*, 2015, 46(2): 391-411.
- [5] ARNAB S, BROWN K, CLARKE S, et al. The Development Approach of a Pedagogically-Driven Serious Game to Support Relationship and Sex Education (RSE) within a Classroom Setting[J]. *Computers & Education*, 2013, 69: 15-30.
- [6] CALLAGHAN M, SAVIN-BADEN M, MCSHANE N, et al. Mapping Learning and Game Mechanics for Serious Games Analysis in Engineering Education[J]. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 2017, 5(1): 77-83.
- [7] ALVAREZ J, PLANTEC J Y, VERMEULEN M, et al. RDU Model Dedicated to Evaluate Needed Counsels for Serious Game Projects[J]. *Computers & Education*, 2017, 114: 38-56.
- [8] ROMERO M, KALMPOURTZIS G. Constructive Alignment in Game Design for Learning Activities in Higher Education[J]. *Information*, 2020, 11(3): 126.
- [9] HUANG Meng-jun. A novel design research based on fuzzy Kano-TOPSIS exploring the local culture on innovative campus product[C]//2020 13th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). Hangzhou, China. IEEE: 145-148.
- [10] 周祺, 李旭, 周济颜. 模糊 Kano 与情景 FBS 模型集成创新设计方法[J]. *图学学报*, 2020, 41(5): 796-804.
- ZHOU Qi, LI Xu, ZHOU Ji-yan. Integrated Innovative Design Method of Fuzzy Kano and Scenario FBS Model[J]. *Journal of Graphics*, 2020, 41(5): 796-804.
- [11] 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, LV Jian, et al. Comprehensive Importance of Integrating User Satisfaction with User Demand[J]. *Journal of Graphics*, 2019, 40(6): 1137-1143.
- [12] Charlier N, Fraine B D. Game-Based Learning in Teacher Education: A Strategy to Integrate Digital Games into Secondary Schools[J]. *International Journal of Game-Based Learning*, 2014, 2(2): 1-12.
- [13] LIM T, LOUCHART S, SUTTIE N, et al. Strategies for Effective Digital Games Development and Implementation[M]. PA: IGI Global, 2013.
- [14] KANO. Attractive Quality and Must-Be Quality[J]. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 1984, 14: 39-48.
- [15] 张芳兰, 贾晨茜. 基于用户需求分类与重要度评价的产品创新方法研究[J]. *包装工程*, 2017, 38(16): 87-92.
- ZHANG Fang-lan, JIA Chen-xi. Products Innovation Method Based on Classification and Importance Evaluation of User Needs[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(16): 87-92.
- [16] LEE Yu-cheng, HUANG S Y. A New Fuzzy Concept Approach for Kano's Model[J]. *Expert Systems With Applications*, 2009, 36(3): 4479-4484.
- [17] SHI Yan-lin, PENG Qing-jin, ZHANG Jian. An Objective Weighting Method of Function Requirements for Product Design Using Information Entropy[J]. *Computer-Aided Design and Applications*, 2020, 17(5): 966-978.
- [18] OLABANJI O M, MPOFU K. Decision Analysis for Optimal Design Concept: Hybridized Fuzzified Weighted Decision Matrix and Fuzzy TOPSIS Using Design for X Tools[J]. *Procedia CIRP*, 2019, 84: 434-441.
- [19] YASIN A, LIN Liu, TONG Li, et al. Improving Software Security Awareness Using a Serious Game[J]. *IET Software*, 2019, 13(2): 159-169.

责任编辑: 陈作