

# 眼动结合用户集群的苗族文化感性工学模型构建研究

常开心<sup>1</sup>, 林丽<sup>1\*</sup>, 周铃<sup>2</sup>

<sup>1</sup>贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>贵州大学工程训练中心, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年5月5日; 录用日期: 2023年6月22日; 发布日期: 2023年6月29日

## 摘要

为解决传统用户感性需求映射存在模糊性和不确定性的问题, 对此提出了一种眼动结合用户集群的苗族文化感性工学模型构建方法。首先, 获取苗族纹样和文化意象, 运用造型分析法解构纹样形态, 基于K-modes建立用户集群; 其次, 开展面向集群用户意象-纹样认知眼动实验; 再者, 基于KNN算法识别被试所属集群, 基于集群眼动数据遴选苗族文化符码样本关键造型类目; 最后, 引入PLS多元回归分析, 获得集群意象和苗族文化符码的相关性回归系数, 实现集群用户文化意象-符码映射模型构建。基于此模型能够快速获取用户偏好的苗族符码造型, 有效地促进苗族文创产品的创新设计与开发。

## 关键词

用户集群, 感性工学, 苗族文化, 眼动技术

# Study on Eye-Movement Combined with User Clusters for Miao Cultural Kansei Engineering Model Construction

Kaixin Chang<sup>1</sup>, Li Lin<sup>1\*</sup>, Ling Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Guizhou University, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>Engineering Training Center, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: May 5<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2023

\*通讯作者。

## Abstract

In order to solve the problem of ambiguity and uncertainty of traditional user perceptual demand mapping, an eye-movement combined with user clusters is proposed to build a Kansei engineering model of Miao culture. First, we obtain Miao motifs and cultural imagery, deconstruct the motif morphology using modeling analysis, and establish user clusters based on K-modes; second, we conduct eye-movement experiments on image-motion perception for cluster users; further, we identify the clusters to which the subjects belong based on KNN algorithm, and select the key modeling categories of Miao cultural symbols samples based on cluster eye-movement data; finally, PLS multiple regression analysis was applied to obtain the cluster image and the correlation regression coefficients of Miao cultural codes to realize the construction of the cluster user cultural image-code mapping model. Based on this model, we can quickly obtain the user's preferred Miao symbolic shapes and effectively promote the innovative design and development of Miao cultural and creative products.

## Keywords

User Clusters, Kansei Engineering, Miao Culture, Eye-Tracking Technology

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着民族旅游经济的兴起，苗族文化逐渐进入大众视野。肇始悠远的苗族文化孕育了枝脉繁蔚、造诣卓越的纹样体系。这些纹样凝聚着苗族人民的文化认知以及情感希冀，具有较高的艺术价值和研究价值。在苗族文化的设计研究中多以纹样形态为研究对象，对苗族蜡染纹样收集建库以便设计开发时便于图案组合[1]，或对纹样进行简化获取纹样因子[2]，重构设计新图案应用于日常生活用具[3]、家具设计[4]等。苗族文化内涵在产品中的表层体现使得市场上的文化产品粗制滥造、符号化、同质化等问题饱受诟病。

新产品成功上市的关键在于迎合消费者的需求[5]。对于苗族文化产品，消费者更注重产品蕴含的文化内涵和情感诉求[6]。以用户需求出发的设计往往更能吸引消费者[7]。感性工学作为一门强而有力的以用户为导向的产品开发技术，能将用户的情感需求与产品设计要素进行匹配，与用户心理诉求耦合，提高用户对于产品的使用体验[8]。万露等[9]运用前向式感性工学、因子分析等方法分析苗族文化，建立叙事要素关联性评判指标。王美超[10]等人基于感性模糊因子评价结合聚类分析的方法以意象反推设计图案。通过满足用户的感性需求，感性工学将人类主观体验和情感反应纳入设计考虑中，能够增加产品的文化价值与吸引力。在传统的感性意象映射过程中，用户的感性意象认知映射通过问卷调查、访谈等手段获取，此类方法简单高效，但往往会忽略用户的真实需求，造成用户数据精度低、有效性差的问题。为避免用户在认知感性意象时产生的模糊性，需要运用更客观的科学方法和数理模型进行研究。眼动追踪测量技术作为可靠的生理测量技术，基于用户眼动数据分析可以建立产品美学评估相关性机制[11]、用户偏好产品配色决策[12]等，也可用于评估产品设计的可用性和效率[13]。故此，本研究应用眼动实验获取用户的视觉认知数据和主观意象评价数据，提高研究过程中用户信息的客观性。

此外，随着知识与经济的迅猛发展，消费者感性需求呈现差异化，他们更青睐于个性化表达的苗族文化产品。然而，企业在用户需求的定位上存在模糊性和不确定性，限制了产品设计的多样化[14]。因此，更精准的用户定位成为产品设计开发重要环节。为更好地定位用户细分需求，用户集群理论应运而生。用户集群指由具有相同或相似属性的用户集合而成[15]。苏建宁等[14]针对用户需求差异，构建基于用户集群的产品设计策略，将集群属性加入细分用户需求考虑范畴；Lin 等[16]对汽车论坛用户根据创新特征和用户特征进行划分集群，提出指向性的共创模式。融合用户集群理论针对苗族文化产品进行意象设计定位，能够更精准地满足消费者需求。

综上所述，本研究在眼动技术、用户集群和感性工学理论的支持下，在集群用户意象认知的眼动实验分析基础上，以苗族符码设计要素作为自变量，集群被试意象评价数据为因变量，运用偏最小二乘法多元回归分析，实现苗族文化感性工学模型的构建，协助设计专家进行设计创作工作，提高用户的苗族文化需求与设计要素的感性匹配度，为苗族文创产品设计提供方案上的定位与指导。

## 2. 集群用户意象 - 符码的眼动认知实验设计

### 2.1. 筛选和建立样本集和意象集

蜡染是苗族纹样体系重要一环，其中，丹寨蜡染作为贵州蜡染发展过程中极具代表性的一个支系，故此，将丹寨蜡染作为主要研究对象。收集大量蜡染纹样样本，成立专家小组，建立样本相似性矩阵，基于 SPSS 聚类收敛样本，实现样本集的构建。在此基础上，专家小组基于造型分析法解构纹样，归纳纹样的造型要素及类目。

通过网络爬虫收集网络文化赛事文本，通过 TF-IDF 算法筛选感性意象，建立文化意象集。

### 2.2. 建立基础用户集群

用户类型可以通过人口属性和情感倾向等方面进行划分[17]。其中，以性别、年龄等用户基础信息描述人口属性；以用户对产品的精神诉求指代情感倾向。另外，林丽等[18]为进一步研究集群用户需求，加入性格特点、态度倾向等指标。参酌上述研究，本文整合影响用户认知偏好的用户属性，基于用户问卷调研和分析用户对苗族文化纹样的需求特征类目，实现用户特征元的获取，用户特征类目见表 1。

**Table 1.** User characteristics category

**表 1.** 用户特征类目

特征类目	特征元
性别	男、女
年龄	18 岁以下、18~28、29~40、41~59、60 以上
性格特点	内向、外向
生活偏好	简约、时尚、文艺
态度倾向	感性、理性
学历	低学历、中学历、高学历
预算	500 以下，500~1000，1000~2500，2500 以上
地域	东部、中部、西部、北部

其次，将用户特征转换为编码以便后续聚类分析。将第  $i$  个目标用户  $x_i$  的特征元编码为  $\{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}\}$ ，形成用户特征矩阵运用 K-modes 聚类分析，得到若干个由  $n$  个用户构成的用户集  $k_g = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 。基础用户集群为眼动实验被试集群划分的测试基础。

### 2.3. 基于苗族符码集和文化意象集的眼动实验

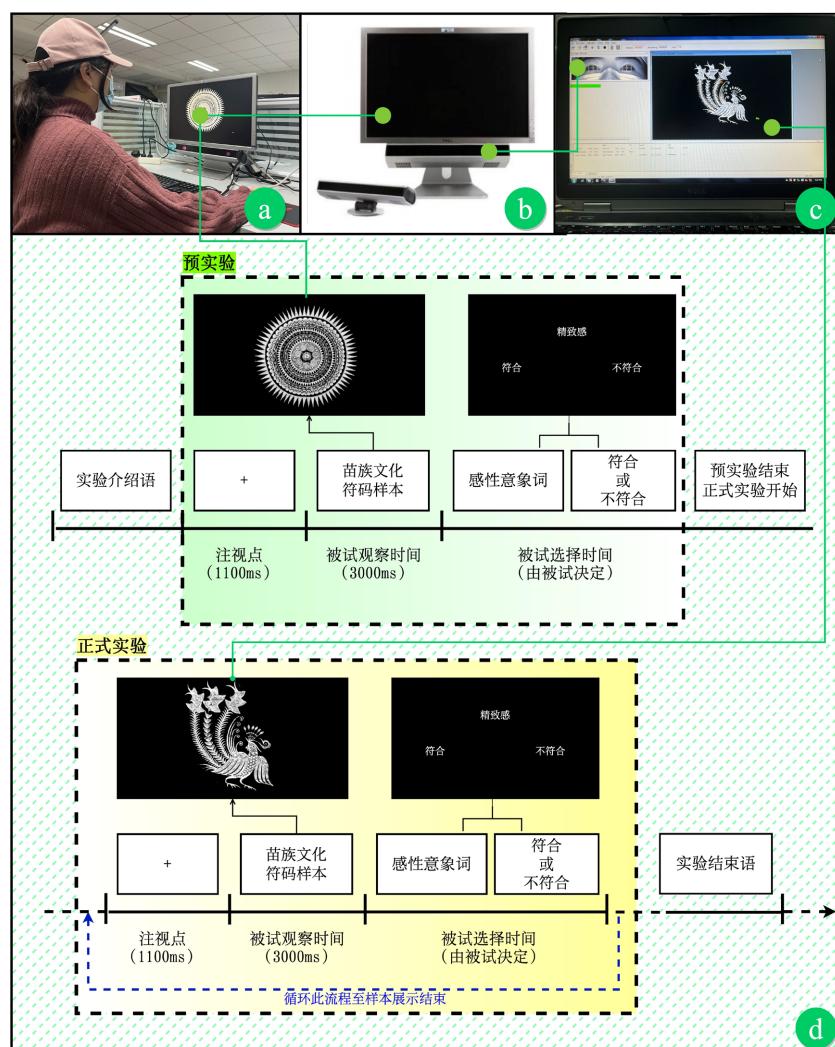
#### 1) 实验被试与实验流程

计划招募 40 名以上被试，要求被试填写用户属性调查问卷，便于后续识别被试集群。

基于文化意象和文化符码开展眼动实验，实验之前，被试需要完成用户信息问卷填写，应用于后续用户集群辨别。在实验过程中，被试将会根据所展示的纹样样本判断意象词的符合程度打分。实验分为预实验和正式实验，两者流程一致。流程如图 1(d)所示。

#### 2) 实验环境与实验设备

实验场地位于光线柔和且静谧的封闭房间内，如图 1(a)所示。SMI 显示屏是实验样本和意象的呈现载体，并用于连接眼动，如图 1(b)所示；实验室配备 Dell 笔记本电脑一台，安装 iView 软件以采集眼动数据，如图 1(c)所示。



**Figure 1.** Eye movement experiment (a) Eye movement experiment environment; (b) SMI eye movement instrument and display; (c) iView software recording interface; (d) Eye movement experiment core process

**图 1.** 眼动实验。(a) 眼动实验环境；(b) SMI 眼动仪及显示屏；(c) iView 软件记录界面；(d) 眼动实验核心流程

### 3. 被试集群认知数据提取与处理

#### 3.1. 基于 KNN 的被试集群辨别

K 近邻算法(K-Nearest Neighbor, KNN)可以通过比较训练集和测试集的特征元数据之间的距离将未标记的观察值分类至最相似的标记示例的类。以基础用户集群作为训练集, 实验被试的特征元信息则作为测试集, 避免因为身份相近或者被试数量不足等原因造成无法细分实验被试的所属集群的情况。

定义有  $c$  个被试组成的集合为  $\{b_1, b_2, b_3, \dots, b_c\}$ , 其中第  $r$  个被试的特征元编码为  $\{b_{n1}, b_{n2}, b_{n3}, \dots, b_{rn}\}$ 。基于 4.2.3 中所获用户集群数据作为训练集, 将被试数据进行测试, 集群 K 中用户  $x_i$  与被试  $b_r$  特征向量间距为:

$$d_{kn}(b_r, z_i) = \sqrt{\sum_{f=1}^c (b_r, z_i)^2} \quad (1)$$

将欧式距离识别标准设为  $d_{kn}(x)$

$$d_{kn}(b_r, z_i) \leq d_{kn}(x) \quad (2)$$

如  $f$  个用户中的大多数用户满足上式, 则将其归为一类, 否则为其他类。

#### 3.2. 基于眼动数据的符码关键造型设计类目遴选

眼动实验结束后, 导出被试的视觉认知数据。Guo 等[19]通过实验指出与产品意象决策相关的眼动指标包括: 用户对样本的感兴趣的区域、注视次数、注视时间等; 苏建宁等[20]通过被试者的首次注视时间、回视时间、回视次数等眼动数据, 建立了设计要素评价模型。

参酌上述研究, 依据苗族符码设计要素及类目, 基于眼动数据和多因素多元方差分析的设计要素遴选方法[21]对符码造型类目进行分析, 确认苗族文化符码的关键造型类目。

#### 3.3. 集群被试意象评价数据提取

被试的意象评价数据可以通过计算被试的主观意象选择率反映苗族符码样本所对应不同意象的等级。将符合结果定义为 1, 不符合结果定义为 0。定义符苗族码样本集为  $\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\}$ ,  $m$  表示样本个数, 第  $j$  个样本表示为  $w_j$  第  $r$  个被试对所有样本的意象评选为  $p$ , 在所有被试  $c$  中, 共有  $R$  个被试对样本  $j$  在意象  $t$  下选择了符合, 则样本  $j$  的主观选择率为:

$$p = [p_{b_1}(0,1) \ p_{b_1}(0,1) \ \cdots \ p_{b_m}(0,1)] \quad (3)$$

$$p_j = \frac{1}{c} \sum_{r=1}^R p \quad (4)$$

### 4. 基于偏最小二乘法的集群意象 - 苗族符码映射模型构建

偏最小二乘法(Partial Least Squares Regression, 简称 PLS)属于线性回归分析方法, 旨在通过同时对自变量和因变量进行降维处理, 建立一个最佳的线性模型, 用于预测因变量的取值。PLS 将多个自变量通过线性组合转化为少数几个新的综合变量, 这些新的综合变量可以反映原始自变量的主要信息, 然后再将这些综合变量作为自变量与因变量进行回归分析。传统的多元线性回归方法要求用户数据高度独立, 对于同一集群内用户相近的意象数据并不适用。PLS 可以有效地解决多重共线性和高维问题, 并且可以提高预测的准确性。

根据用户集群, 基于偏最小二乘法原理构建集群意象 - 符码映射模型, 以纹样设计要素作为自变量  $X_0$ , 被试数据综合值为因变量  $Y_0$ , 进行 PLS 多元回归分析, 获得集群用户的文化意象和苗族文化符码的

相关性回归系数。

具体的表达式为:

$$Y_{0k}^* = \beta_1 X_{01} + \beta_2 X_{02} + \cdots + \beta_r X_{0r} \quad (5)$$

其中,  $Y_{0k}^*$  是纹样样本在文化意象词  $k$  的评价数据,  $\beta_r$  是自变量设计要素  $X_0$  对意象评价数据的影响权重。基于相关性回归系数构建集群意象 - 苗族符码映射模型。

## 5. 实例研究

### 5.1. 集群用户意象 - 符码的眼动认知实验实施

#### 5.1.1. 建立样本集以及意象集

##### 1) 筛选并建立样本集

以丹寨地区苗族蜡染作为研究对象, 通过实地调查、查阅文献、网络平台收集和筛选了市面上的丹寨蜡染纹样, 收集蜡染纹样共 378 张。其中包括鸟纹、鱼纹、植物纹、蝴蝶纹、抽象几何纹、铜鼓纹、神话动物纹等纹样。随后成立专家小组对样本的综合相似度进行评分, 获得相似性矩阵, 基于数理统计软件聚类分析矩阵。根据聚类样本距离的远近程度, 选取 26 个纹样样本, 见图 2 所示。

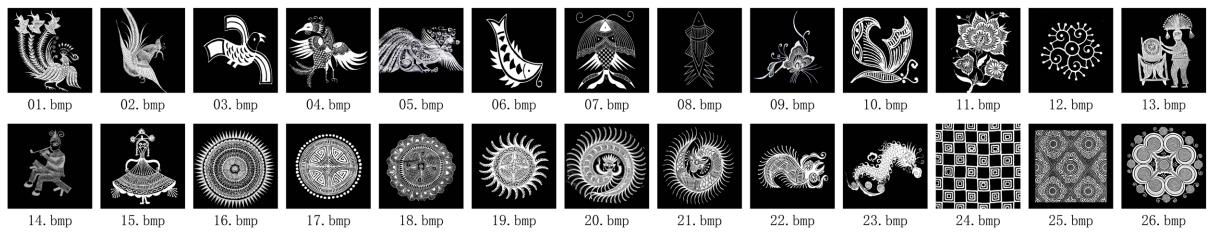


Figure 2. Miao pattern sample collection

图 2. 苗族纹样样本集

对样本进行图片处理, 统一图片尺寸和黑白色调。专家小组对样本集所含的纹样基于形态分析法进行解构分析, 得到每类纹样的设计要素及其类目, 如表 2 所示。

Table 2. Miao runic code design elements and classes

表 2. 苗族符码设计要素及类目

	设计要素	类目
禽类纹样 Q	禽首 QS	无冠 QS <sub>1</sub> 、曲线冠 QS <sub>2</sub> 、扇形冠 QS <sub>3</sub> 、蝴蝶冠 QS <sub>4</sub> 、花冠 QS <sub>5</sub>
	禽腹 QF	单一纹样填充 QF <sub>1</sub> 、多种纹样填充 QF <sub>2</sub>
	禽翼 QY	展开 QY <sub>1</sub> 、收拢 QY <sub>2</sub>
	禽尾 QW	长单尾 QW <sub>1</sub> 、长多尾 QW <sub>2</sub> 、短单尾 QW <sub>3</sub> 、短多尾 QW <sub>4</sub>
鱼类纹样 Y	鱼须 YX	无须 YX <sub>1</sub> 、曲线 YX <sub>2</sub>
	鱼姿态 YZ	直立 YZ <sub>1</sub> 、弯曲 YZ <sub>2</sub>
	鱼腹 YF	单一纹样填充 YF <sub>1</sub> 、多种纹样填充 YF <sub>2</sub>
	鱼鳍 YQ	排线 YQ <sub>1</sub> 、线面结合 YQ <sub>2</sub> 、色块 YQ <sub>3</sub>
	鱼尾 YW	扇形 YW <sub>1</sub> 、分叉 YW <sub>2</sub>

**Continued**

	触须 HX	单对 HX <sub>1</sub> 、多对 HX <sub>2</sub>
	翅膀 HC	单 HC <sub>1</sub> 、双 HC <sub>2</sub>
植物纹样 Z	花瓣 ZB	单层花瓣 ZB <sub>1</sub> 、多层花瓣 ZB <sub>2</sub>
	花束 ZS	单支 ZS <sub>1</sub> 、多支 ZS <sub>2</sub>
人纹 R	首 RS	正脸 RS <sub>1</sub> 、侧脸 RS <sub>2</sub>
	姿态 RZ	直立 RZ <sub>1</sub> 、坐 RZ <sub>2</sub> 、干活 RZ <sub>3</sub>
	太阳纹 TT	窝妥纹 TT <sub>1</sub> 、马蹄纹 TT <sub>2</sub> 、鱼纹 TT <sub>3</sub>
铜鼓纹 T	纹样层数 TC	5 层以下 TC <sub>1</sub> , 5~10 层 TC <sub>2</sub> , 10 层以上 TC <sub>3</sub>
	光芒纹 TM	尖刺 TM <sub>1</sub> 、花瓣 TM <sub>2</sub> 、圆点 TM <sub>3</sub> 、曲线 TM <sub>4</sub>
奇异动物 QY	首 QYT	人首 QYT <sub>1</sub> 、动物首 QYT <sub>2</sub> 、龙首 QYT <sub>3</sub> 、虫首 QYT <sub>4</sub>
	躯体 QYQ	弯曲 QYQ <sub>1</sub> 、螺旋 QYQ <sub>2</sub>
抽象 C 线型 X	纹样构成 CG	几何 CG <sub>1</sub> 、螺旋 CG <sub>2</sub> 、组合 CG <sub>3</sub>
	线型疏密 X	稀疏 X <sub>1</sub> 、密集 X <sub>2</sub>

**2) 筛选并建立意象集**

基于 Python 3, 以“文创比赛”作为搜索关键词, 精准采集近 5 年各大文创比赛主流网站的数据信息, 共搜集 132 篇相关新闻、通告及文章(约 30 万余字)。最终将采集的文化赛事文本以 csv 格式保存。运用 TF-IDF 算法将清洗完毕的赛事文本文档转换为 TF-IDF 矩阵, 选取形容词词性的关键词作为感性意象词, 对排名前 15 的意象词进行问卷调查, 发放问卷 30 份, 回收问卷 26 份, 筛选出符合用户需求的意象, 见表 3。

**Table 3.** Sample Cultural Imagery**表 3.** 文化意象样本

文化意象词刺激			
精致感	亲切感	舒适感	仪式感

**5.1.2. 用户集群建立**

根据特征类目设计并发放用户属性问卷, 从而获得用户特征属性信息, 实现构建苗族文化产品用户集群构建。共发放问卷 57 份, 其中回收有效问卷 54 份。因为用户特征类目为定性变量, 将在同一层级下比较所有类目。需要在 SPSS 中对用户数据进一步标准化处理, 结果见表 4。

**Table 4.** Base user feature meta-coding**表 4.** 基础用户特征元编码

用户 编号	基础用户特征元编码							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0.95466	2.22740	-0.85334	1.02810	1.02517	0.69439	-0.44305	0.49523
2	1.02810	-0.33174	1.15016	-0.95466	-0.65238	-0.74781	1.15194	-0.66749
3	-0.95466	2.22740	-0.85334	1.02810	1.02517	0.69439	-0.44305	-0.66749

**Continued**

4	-0.95466	-0.33174	1.15016	1.02810	-0.65238	0.69439	2.74693	-1.83020
5	-0.95466	-0.33174	-0.85334	-0.95466	1.02517	0.69439	-0.44305	0.49523
...	...	...	...	...	...	...	...	...
52	1.02810	-0.33174	-0.85334	-0.95466	1.02517	-0.74781	-0.44305	0.49523
53	-0.95466	-0.33174	1.15016	-0.95466	-0.65238	-0.74781	-0.44305	0.49523
54	1.02810	2.22740	1.15016	1.02810	1.02517	-0.74781	-0.44305	0.49523

将用户数据输入至软件 MatLab，通过 K-modes 算法分类用户集群，归类类似用户。上述用户被分为 4 个集群，对用户进行特征分析，归纳属性标签，见表 5。

**Table 5.** Basic user cluster classification and labeling**表 5. 基础用户集群分类及标签**

集群	集群人数	用户标签	用户编号
$k_1$	17	青春时尚	1、5、6、9、10、11、13、14、18、19、21、27、31、36、38、39、51
$k_2$	10	成熟理性	12、16、17、25、28、37、40、44、49、53
$k_3$	14	感性文艺	3、7、23、26、32、34、35、41、43、47、48、50、52、54
$k_4$	13	沉稳现代	2、4、8、15、20、22、24、29、30、33、42、45、46

### 5.1.3. 眼动认知实验实施

#### 1) 实验被试

45 名右利手被试被招募，(男 24 名，女 21 名，年龄 18~35 岁，平均年龄 24.71 岁，SD = 3.15 岁)。被试来自不同群体，包括大学生、研究生、教职工和教师。所有参与者视力正常或矫正至正常。所有被试在实验前签署知情同意书并填写用户属性问卷，并在试验结束后获得参与费用和小礼品。

#### 2) 实验流程

实验内容通过 E-Prime 2 程序软件呈现在屏幕上，实验开始时屏幕中央呈现“+”注视点 1000 ms，随后出现苗族文化符码样本，3000 ms 后出现文化意象词汇，被试通过数字按键为意象词汇和纹样样本的匹配度进行打分，此为一个循环流程。循环至所有纹样样本和词汇判断完毕，实验结束。

## 5.2. 被试集群认知数据提取与处理

### 5.2.1. 基于 KNN 的被试集群识别

将基础用户特征元编码作为训练区。实验前，对被试基于问卷进行用户属性调查，提取被试特征元，标准化处理后编码作为测试区，见表 6。因实验存在被试数量较少，被试信息类目差异较小等不足，为避免和降低上述问题造成的影响，应用 KNN 算法识别被试集群。运用公式(1)至(2)识别集群训练区，划分被试集群，结果见表 7。

### 5.2.2. 基于被试集群视觉认知数据遴选符码设计要素

在眼动生理测量实验中，集群被试的数据记录、分析及导出工作由 SMI 眼动仪配套软件 iView 和 BeGaze 软件完成。但 BeGaze 中仅能对眼动数据进行初步分析，需要将各指标数据导入 SPSS 软件中进一步分析，以筛选与意象认知相关的苗族符码造型设计类目。部分眼动指标图如图 3 所示。

**Table 6.** Meta-coding of experimental subjects' characteristics  
**表 6. 实验被试特征元编码**

被试编号	实验被试特征元编码							
	1	2	3	4	5	6	7	8
55	-1.03458	-0.2511	1.13397	0.94461	-0.68545	-0.59013	-0.40668	0.37176
56	-1.03458	-0.2511	1.13397	-1.03458	-0.68545	-0.59013	-0.40668	0.37176
57	-1.03458	-0.2511	-0.86182	-1.03458	-0.68545	-0.59013	-0.40668	0.37176
58	-1.03458	-0.2511	1.13397	0.94461	0.82254	-0.59013	-0.40668	0.37176
59	-1.03458	-0.2511	1.13397	0.94461	0.82254	2.46465	-0.40668	-0.88651
60	-1.03458	-0.2511	1.13397	0.94461	-0.68545	-0.59013	-0.40668	0.37176
61	-1.03458	-0.2511	-0.86182	0.94461	-0.68545	-0.59013	-0.40668	-0.88651
...	...	...	...	...	...	...	...	...
96	0.94461	2.51097	1.13397	-1.03458	0.82254	2.46465	1.22003	1.63004
97	-1.03458	-0.2511	-0.86182	0.94461	0.82254	-0.59013	-0.40668	0.37176
98	0.94461	-0.2511	1.13397	0.94461	0.82254	-0.59013	-0.40668	0.37176

**Table 7.** Clusters to which the experimental subjects belonged**表 7. 实验被试所属集群**

集群	集群人数	用户编号
$k_1$	28	55、56、57、58、59、60、61、64、66、67、68、70、71、73、74、76、77、78、82、84、85、87、88、90、93、94、97、98
$k_2$	4	62、86、91、96
$k_3$	5	65、72、81、89、95
$k_4$	8	63、69、75、79、80、83、92



**Figure 3.** Partial eye movement index chart  
**图 3. 部分眼动指标图**

以  $k_1$  集群的被试数据为例，将集群内被试的眼动认知指标数据通过多因素多元方差分析对纹样造型类目进行分析，选择对眼动数据影响较大的造型类目作为关键纹样形态设计要素。抽象纹样与线型类目因在眼动实验中难以区分并考量，故不进行类目筛选。

首先，检验眼动指标数据是否符合方差齐性，检验某一设计要素下不同类目的 7 项眼动指标(指标 1-进入时间；指标 2-首次注视持续时间；指标 3-注视持续时间；指标 4-总固定时间；指标 5-总固定计数；指标 6-平均固定次数；指标 7-平均注视时间。)的总体方差是否一致，结果见表 8。以禽类纹样禽首部件

为例, 指标 2 和指标 3 显著性水平  $> 0.01$ , 说明其符合方差齐性。

**Table 8.** Results of chi-square test for design elements of the pattern

**表 8.** 纹样设计要素方差齐性检验结果

纹样种类	设计要素	指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	指标 6	指标 7
禽类纹样 Q	禽首 QS	-	0.606	0.011	-	0.000	0.000	-
	禽腹 QF	-	0.000	0.003	-	0.000	0.000	-
	禽翼 QY	-	0.014	-	-	0.279	-	0.000
	禽尾 QW	-	0.002	-	0.0301	0.000	0.000	-
鱼类纹样 Y	鱼须 YX	-	-	-	0.008	0.000	0.000	-
	鱼腹 YF	0.000	0.000	-	0.149	0.000	0.000	-
	鱼鳍 YQ	0.001	0.000	-	0.328	0.000	0.000	-
	鱼尾 YW	-	0.000	0.000	0.000	0.079	0.000	-
蝴蝶纹样 H	触须 HX	-	0.001	0.000	0.000	-	-	0.000
	翅膀 HC	-	0.000	0.000	0.020	0.000	-	0.000
植物纹样 Z	花瓣 ZB	-	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004	0.000
	花束 ZS	-	0.000	0.024	0.000	0.035	0.000	0.000
人纹 R	首 RS	0.009	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	-
	身体 RZ	-	-	0.000	0.036	0.000	0.000	-
铜鼓纹 T	太阳纹 TT	0.000	0.000	0.000	0.472	0.000	-	-
	中间纹样 TC	-	0.000	0.026	0.000	0.003	-	0.000
	光芒纹 TM	-	0.000	0.486	0.000	0.000	-	-
奇异动物 QY	首 QYT	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.002	-
	躯体 QYQ	-	-	-	-	0.030	-	0.000

其次, 以 7 项眼动指标作为因变量, 以苗族符码的设计要素水平为固定因子进行方差分析。此过程进行次数由每类纹样下设计要素水平数决定。以禽类纹样为例, 其设计要素水平有 5 项, 则共需进行 5 次统计分析, 结果如表 9 所示。该环节控制单一因素, 分析设计要素水平下眼动指标数据, 忽略 Wilks  $> 0.01$  的设计要素。根据表 9, 禽类纹样的禽首构件的眼动指标 1、眼动指标 3 的显著性  $> 0.01$ , 说明禽类纹样首部构件与这 2 个眼动数据无关, 与其他指标相关。

**Table 9.** Results of chi-square test for design elements of the pattern

**表 9.** 纹样设计要素方差齐性检验结果

纹样种类	设计要素	指标 1	指标 2	指标 3	指标 4	指标 5	指标 6	指标 7
禽类纹样 Q	禽首 QS	0.021	0.003	0.053	0.005	0.000	0.009	0.003
	禽腹 QF	0.000	0.028	0.032	0.025	0.000	0.000	0.000
	禽翼 QY	0.016	0.020	0.024	0.021	0.000	0.011	0.028
	禽尾 QW	0.011	0.025	0.022	0.016	0.000	0.005	0.030

**Continued**

	鱼须 YX	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029
鱼类纹样 Y	鱼腹 YF	0.015	0.000	0.032	0.005	0.000	0.005	0.014
	鱼鳍 YQ	0.008	0.009	0.006	0.000	0.000	0.008	0.000
	鱼尾 YW	0.006	0.000	0.001	0.001	0.013	0.009	0.009
蝴蝶纹样 H	触须 HX	0.000	0.033	0.008	0.033	0.019	0.014	0.015
	翅膀 HC	0.000	0.000	0.004	0.001	0.007	0.011	0.015
植物纹样 Z	花瓣 ZB	0.025	0.029	0.029	0.026	0.030	0.011	0.031
	花束 ZS	0.004	0.000	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000
人纹 R	首 RS	0.009	0.011	0.000	0.013	0.010	0.031	0.021
	身体 RZ	0.016	0.005	0.000	0.008	0.019	0.001	0.007
	太阳纹 TT	0.014	0.008	0.002	0.010	0.016	0.028	0.002
铜鼓纹 T	中间纹样 TC	0.004	0.000	0.006	0.012	0.006	0.023	0.003
	光芒纹 TM	0.009	0.011	0.000	0.013	0.010	0.031	0.021
奇异动物 QY	首 QYT	0.016	0.125	0.000	0.028	0.019	0.021	0.017
	躯体 QYQ	0.004	0.008	0.002	0.010	0.016	0.028	0.002

根据上述检验结果，最终对每类纹样造型设计要素进行筛选。禽类纹样为禽首、禽尾和禽翼；鱼类纹样为鱼腹、鱼鳍及鱼尾；蝴蝶纹样以翅膀；植物纹样以花束；人纹以身体；奇异动物为首及躯体；铜鼓纹为光芒、太阳纹及中间纹。

### 5.2.3. 苗族纹样被试集群意象评价数据提取

以  $k_1$  类集群为例，基于公式(3)至(4)计算被试对苗族纹样的意象评价数据，意象词的主观选择率如表 10 所示。

**Table 10.** Subjective selection rate of subjects' imagery

**表 10.** 被试意象主观选择率

样本	精致感	亲近感	舒适感	仪式感	样本	精致感	亲近感	舒适感	仪式感
01	0.84	0.60	0.88	0.68	14	0.76	0.72	0.84	0.84
02	0.16	0.48	0.56	0.32	15	0.32	0.68	0.48	0.40
03	0.16	0.64	0.52	0.16	16	0.48	0.64	0.80	0.32
04	0.72	0.48	0.64	0.64	17	0.72	0.40	0.56	0.60
05	0.32	0.40	0.80	0.52	18	0.76	0.56	0.64	0.56
06	0.28	0.40	0.64	0.60	19	1.00	0.80	0.76	0.92
07	0.40	0.60	0.60	0.48	20	0.96	0.68	0.76	0.96
08	0.96	0.60	0.80	0.80	21	0.84	0.60	0.72	0.84
09	1.00	0.40	0.88	0.88	22	0.56	0.92	0.68	0.68
10	1.00	0.32	0.48	0.96	23	0.64	1.00	0.80	0.68
11	1.00	0.84	0.92	0.88	24	0.84	0.60	0.92	0.64
12	0.72	0.88	0.64	0.48	25	0.56	0.44	0.40	0.44
13	0.96	0.52	0.52	0.72	26	0.64	0.60	0.80	0.64

### 5.3. 集群意象 - 符码映射模型构建

苗族符码的设计要素属于定性变量，根据偏最小二乘法回归分析的要求，首先需要对定性变量进行赋值。将实验样本图片依据筛选的各类纹样造型设计要素整理实验样本所对应的设计要素。在赋值过程中，样本包含某一设计要素是，赋值为1，反之赋值为0。以实验样本5为例，该样本的设计要素对应情况如表11所示，赋值情况如表12所示。依据同样的方法对其余实验样本设计要素进行赋值。

**Table 11.** Experimental sample 5 design element correspondence table  
**表 11.** 实验样本 5 设计要素对应表

纹样种类		禽首 QS	禽腹 QF	禽尾 QW	线型 X
Q		QS <sub>4</sub>	QF <sub>2</sub>	QW <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>

**Table 12.** Experimental sample 5 design element assignment table  
**表 12.** 实验样本 5 设计要素赋值表

设计要素	赋值	设计要素	赋值
QS <sub>1</sub>	0	QW <sub>1</sub>	0
QS <sub>2</sub>	0	QW <sub>2</sub>	1
QS <sub>3</sub>	0	QW <sub>3</sub>	0
QS <sub>4</sub>	1	QW <sub>4</sub>	0
QS <sub>5</sub>	0	X <sub>1</sub>	0
QF <sub>1</sub>	0	X <sub>2</sub>	1
QF <sub>2</sub>	1	-	-

将集群  $k_1$  被试对所有实验样本的意象评价数据及苗族符码样本设计要素赋值表导入 SPSS 软件，以样本设计要素作为自变量  $X_0$ ，集群被试对文化意象的评价数据作为因变量  $Y_0$ ，开展偏最小二乘多元回归分析，分别获取每个意象词汇的相关性回归系数，实现集群意象和文化符码的感性工学模型构建。

**Table 13.** Regression coefficient of correlation between Kansei imagery and pattern design elements in the cluster subjects  
**表 13.** 集群被试意象感知与纹样设计要素相关性回归系数

纹样种类	设计要素	精致感	亲近感	舒适感	仪式感	纹样种类	设计要素	精致感	亲近感	舒适感	仪式感
禽类	QS <sub>1</sub>	-0.164	0.032	0.176	-0.102	植物	ZX <sub>1</sub>	-0.136	-0.147	0.002	0.216
符码 Q	QS <sub>2</sub>	0.036	0.086	0.068	0.044	符码 Z	ZX <sub>2</sub>	0.024	-0.027	-0.058	-0.038
	QS <sub>3</sub>	0.053	0.102	-0.189	0.027	人纹	RZ <sub>1</sub>	-0.198	-0.164	0.018	0.036
	QS <sub>4</sub>	0.113	-0.162	-0.039	0.153	符码 R	RZ <sub>2</sub>	0.098	-0.191	-0.191	-0.14
	QS <sub>5</sub>	0.136	-0.004	0.051	-0.007		RZ <sub>3</sub>	-0.071	0.14	-0.158	0.042
	QF <sub>1</sub>	-0.164	0.129	0.136	-0.073		RX <sub>1</sub>	0.067	-0.22	-0.029	0.16
	QF <sub>2</sub>	0.153	-0.064	0.116	0.184		RX <sub>2</sub>	-0.002	-0.093	-0.22	0.109
	QW <sub>1</sub>	0.069	0.032	-0.222	-0.082	铜鼓	TT <sub>1</sub>	0.113	0.069	0.096	0.096
	QW <sub>2</sub>	0.113	-0.162	-0.039	0.153	符码 T	TT <sub>2</sub>	-0.187	-0.122	0.044	0.009

**Continued**

	QW <sub>3</sub>	-0.164	0.032	0.176	-0.102		TT <sub>3</sub>	0.022	-0.093	-0.138	0.04
	QW <sub>4</sub>	0.036	0.086	0.068	0.044		TC <sub>1</sub>	-0.027	-0.124	0.084	-0.049
	QX <sub>1</sub>	-0.076	0.063	0.142	-0.078		TC <sub>2</sub>	-0.091	-0.124	0.091	0.096
	QX <sub>2</sub>	0.173	0.057	0.053	0.158		TC <sub>3</sub>	0.187	-0.087	-0.084	-0.176
鱼类	YF <sub>1</sub>	-0.156	0.073	-0.116	-0.046		TM <sub>1</sub>	-0.056	0.038	0.156	0.056
符码 Y	YF <sub>2</sub>	0.176	0.149	-0.027	0.184		TM <sub>2</sub>	-0.182	0.107	-0.211	0.047
	YQ <sub>1</sub>	0.078	0.542	0.222	-0.14		TM <sub>3</sub>	-0.004	0.027	-0.027	-0.129
	YQ <sub>2</sub>	0.067	-0.111	-0.198	0.289		TM <sub>4</sub>	0.204	-0.011	0.082	0.162
	YQ <sub>3</sub>	-0.133	0.102	0.172	-0.187		TX <sub>1</sub>	0.087	-0.022	-0.06	0.184
	YW <sub>1</sub>	-0.133	0.102	0.172	-0.187		TX <sub>2</sub>	0.163	-0.116	-0.08	0.173
	YW <sub>2</sub>	0.083	-0.091	0.071	0.218	奇异	QYQ <sub>1</sub>	-0.055	0.044	0.009	-0.031
	YX <sub>1</sub>	0.178	0.122	0.082	-0.193	动物	QYQ <sub>2</sub>	0.218	0.086	0.103	0.054
	YX <sub>2</sub>	0.311	0.027	-0.016	0.227	符码 QY	QYX <sub>1</sub>	0.018	0.013	0.027	0.012
蝴蝶	HC <sub>1</sub>	0.149	-0.007	-0.211	-0.171		QYX <sub>2</sub>	0.178	-0.209	-0.011	0.169
符码 H	HC <sub>2</sub>	-0.029	0.136	0.029	0.069	抽象	CG <sub>1</sub>	-0.073	0.109	0.111	-0.121
	HX <sub>1</sub>	0.036	-0.053	-0.133	0.056	符码 CG	CG <sub>2</sub>	0.181	0.044	-0.004	0.182
	HX <sub>2</sub>	0.113	-0.138	0.124	0.109		CG <sub>3</sub>	0.296	0.047	0.042	-0.089
植物	ZS <sub>1</sub>	-0.184	-0.202	-0.1	0.158		CGX <sub>1</sub>	-0.071	0.067	-0.016	0.089
符码 Z	ZS <sub>2</sub>	0.122	0.078	-0.164	-0.189		CGX <sub>2</sub>	0.156	-0.193	0.171	0.056

表 13 中的相关性回归系数代表了每个设计类目影响不同文化意象评价的权重值, 各设计类目的绝对值指该符码类目对文化意象评价影响的强弱。以禽类纹样为例, 根据公式(5)建立符码造型设计要素与文化意象的关联模型, 如下:

$Y_1^*$  “精致感”

$$Y_1^* = -0.164QS_1 + 0.036QS_2 + 0.053QS_3 + 0.113QS_4 + 0.136QS_5 - 0.164QF_1 + 0.153QF_2 \\ + 0.069QW_1 + 0.113QW_2 - 0.164QW_3 + 0.036QW_4 - 0.076X_1 + 0.173X_2$$

$Y_2^*$  “亲切感”

$$Y_2^* = 0.032QS_1 + 0.086QS_2 + 0.102QS_3 - 0.162QS_4 - 0.004QS_5 + 0.129QF_1 - 0.064QF_2 \\ + 0.032QW_1 - 0.162QW_3 + 0.032QW_3 + 0.086QW_4 + 0.063X_1 + 0.057X_2$$

$Y_3^*$  “舒适感”

$$Y_3^* = 0.176QS_1 + 0.068QS_2 - 0.189QS_3 - 0.039QS_4 + 0.051QS_5 + 0.136QF_1 + 0.116QF_2 \\ - 0.222QW_1 - 0.039QW_2 + 0.176QW_3 + 0.068QW_4 + 0.142X_1 + 0.053X_2$$

$Y_4^*$  “仪式感”

$$Y_4^* = -0.102QS_1 + 0.044QS_2 + 0.027QS_3 + 0.153QS_4 - 0.007QS_5 - 0.073QF_1 + 0.184QF_2 \\ - 0.082QW_1 + 0.153QW_2 - 0.102QW_3 + 0.044QW_4 - 0.078X_1 + 0.158X_2$$

集群意象认知数据与纹样设计要素的相关性模型反映了设计要素对集群被试感性认知的影响程度。理论上而言，该模型可以基于集群意象需求实现偏好纹样的模糊推荐，也可用于苗族纹样感性评分结果的预测。以精致感为例，相关性回归系数的绝对值越大，说明该设计要素影响  $k_1$  集群被试对精致感这一文化意象的感知维度越大，正值系数代表该设计要素对意象感知起推动作用，反之，负值系数起弱化作用。其中，设计元素  $QS_1$ 、 $QF_1$ 、 $QW_3$  及  $X_1$  与纹样造型意象风格属于负相关。对精致感影响较大的正向设计要素有  $QS_4$ 、 $QS_5$ 、 $QF_2$ 、 $QW_3$  及  $X_2$ ，分别对应蝴蝶冠、花冠、多种纹样填充、尾翼长且多及线型密集等设计要素。

## 6. 结论

本文在集群用户意象认知的眼动实验分析基础上，以苗族符码设计要素作为自变量，集群被试意象评价数据为因变量，运用偏最小二乘法多元回归分析，实现集群意象 - 符码映射模型的构建，进一步加强了用户感性需求和纹样设计要素之间的关联性分析，为设计师提供精准产品定位，能在一定程度上提高消费者对产品文化内涵的认同度，提高产品研发成功率。

## 基金项目

本课题源于国家自然科学基金资助项目(51865003)与贵州省科技计划项目(黔科合基础-ZK[2023]一般 081)。

## 注 释

文中所有图片均为作者自绘。

## 参考文献

- [1] 张莉. 瑶县苗族蜡染文创产品设计作品[J]. 丝绸, 2020, 57(12): 148.
- [2] 王建华, 桂亚昕, 李鹏辉. 苗族蜡染文化元素在现代家具设计中的应用研究[J]. 家具与室内装饰, 2021(7): 41-45.
- [3] 王秦, 邓瑜荣. 苗族元素调味瓶[J]. 上海纺织科技, 2021, 49(9): 98.
- [4] 陈映芬, 饶灵珊, 吕炜亮, 等. 贵州苗族服饰艺术特色在家具设计上的应用[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 220-225.
- [5] Jiao, Y. and Qu, Q.-X. (2019) A Proposal for Kansei Knowledge Extraction Method Based on Natural Language Processing Technology and Online Product Reviews. *Computers in Industry*, **108**, 1-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.011>
- [6] Jin, J., Ji, P. and Gu, R. (2016) Identifying Comparative Customer Requirements from Product Online Reviews for Competitor Analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **49**, 61-73.  
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.12.005>
- [7] Qu, Q.-X. and Guo, F. (2019) Can Eye Movements be Effectively Measured to Assess Product Design? Gender Differences Should Be Considered. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **72**, 281-289.  
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.06.006>
- [8] 罗仕鉴, 潘云鹤. 产品设计中的感性意象理论, 技术与应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 8-13.
- [9] 万露, 林丽, 曹翀, 等. 感性叙事为导向的文创产品概念设计方法[J]. 包装工程, 2020, 41(10): 157-162.
- [10] 王美超, 林丽, 万露, 等. 基于感性语意模糊因子评价的图案设计源码特征集筛选[J]. 图学学报, 2019, 40(6): 1048-1055.
- [11] Wang, Y., Song, F., Liu, Y., et al. (2023) Research on the Correlation Mechanism between Eye-Tracking Data and Aesthetic Ratings in Product Aesthetic Evaluation. *Journal of Engineering Design*, **34**, 55-80.
- [12] Hua, Y., Ni, J. and Lu, H. (2023) An Eye-Tracking Technology and MLP-Based Color Matching Design Method. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 1294. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28331-7>
- [13] Wang, Y., Song, F., Liu, Y., et al. (2020) Color Scheme Compensatory Evaluation Method Based on Eye Movement Tracking Technology. *IEEE Access*, 8, 214240-214253. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3040495>

- [14] 苏建宁, 唐钊山, 景楠, 等. 面向用户集群的产品设计方法研究[J]. 机械设计, 2019, 36(4): 119-123.
- [15] 科特勒·菲利普, 凯勒·凯文. 营销管理[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012.
- [16] Lin, H., Chen, Y. and Yang, Y. (2018) Cluster Analysis of Automobile Innovative Users Based on Interactive Innovation Value. *Mathematical Problems in Engineering*, **2018**, Article ID: 5320645. <https://doi.org/10.1155/2018/5320645>
- [17] JANG, S.H., JANG, E.Y. and Lee, S.-J. (2006) A Study on Well-Being Marketing Strategy by Female Consumers' Types. *Journal of Korean Social Costume*, **56**, 28-41.
- [18] 林丽, 任丽, 阳明庆. 基于改进加权协同过滤的集群用户黑箱个性意象预测[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(4): 803-808.
- [19] Guo, F., Li, M., Hu, M., et al. (2019) Distinguishing and Quantifying the Visual Aesthetics of a Product: An Integrated Approach of Eye-Tracking and EEG. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **71**, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.02.006>
- [20] 苏建宁, 邱凯, 张书涛, 等. 基于眼动数据的产品造型设计要素评价方法研究[J]. 机械设计, 2017, 34(10): 124-128.
- [21] Wan, L. and Lin L. (2020) Kansei Design Method Based on Product Narrative Design Element Analysis. *International Journal of Arts and Technology*, **12**, 283-300. <https://doi.org/10.1504/IJART.2020.112634>