基于灰色聚类法的老年人 APP 用户界面配色评价研究

高帅，朱丽萍，李永锋
（江苏师范大学，徐州 221116）

摘要：目的 对老年人 APP 用户界面配色进行评价。**方法** 首先采用文献研究与焦点小组法，构建老年人 APP 用户界面配色评价体系；其次采用层次分析法（AHP）来确定 APP 用户界面配色评价体系中各评价指标的相对权重；接着根据市场调研与用户访谈的结果，与 PCCS 色彩体系相结合制作实验样本；然后使用灰色聚类法对实验观测值进行灰色聚类得到聚类系数，并由得到的聚类系数对聚类对象进行聚类；最后根据聚类结果对实验样本进行分类并进行结果分析。**结论** 本文以老年人医疗 APP 用户界面配色作为研究案例，结果验证了基于灰色聚类法的老年人 APP 用户界面配色评价方法的可行性与有效性。

关键词：灰色聚类法；老年人；用户界面配色；APP；PCCS
中图分类号：TP472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2021)06-0198-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.06.028

Color Matching Evaluation of APP User Interface for Elderly Based on Grey Clustering Method

GAO Shuai, *ZHU Li-ping*, *LI Yong-feng*
(Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

ABSTRACT: The work aims to evaluate the color matching of APP user interface for the elderly. First of all, the literature research and focus groups were used to build the color matching evaluation system of APP user interface for the elderly. Then, AHP was adopted to determine the relative weight of each evaluation index in the APP user interface color matching evaluation system. Next, according to the results of market research and user interviews, the test samples were provided combined with PCCS color system. Then, the grey clustering method was applied to cluster the test observed values to get clustering coefficients, and the clustering objects were clustered by the clustering coefficients. Finally, the test samples were classified and the results were analyzed according to the clustering results. The color matching of medical APP user interface for the elderly is taken as the study case and the results verify the feasibility and effectiveness of the color matching evaluation method of APP user interface for the elderly based on the grey clustering method.

KEY WORDS: grey clustering method; elderly; user interface color matching; APP; PCCS

移动互联网的兴起，使智能手机成为了居民日常重要的生产生活工具，而各种类型的 APP 的不断更新更为智能手机的使用增添了色彩。近年来，我国老龄化现象愈发严重，老年人口逐渐增多，越来越多的老年人成为智能移动设备的使用者，因此提高老年人用户智能移动设备的使用体验值得关注[1]。目前大多数的 APP 在设计时界面配色主要依靠设计师对产品赋色，用户能够参与到设计中的情况较少[2]。如果设计师不考虑用户需求，那么设计出的产品就很难得到大众的青睐。人眼对色彩有着很强的识别能力，优秀

收稿日期：2020-12-10
基金项目：江苏省高校哲学社会科学研究项目（2019SJA0930）；江苏师范大学研究生科研项目创新计划项目（2019XKT167）；江苏师范大学研究生质量工程项目（Y2018YXK0305）
作者简介：高帅（1996—），男，江苏人，江苏师范大学硕士生，主攻人机交互和界面设计。
通信作者：朱丽萍（1980—），女，黑龙江人，硕士，江苏师范大学副教授，主要从事产品设计、交互设计、设计心理学等方面的研究。

的配色能够在用户使用 APP 时增加更多的便利性和实用性[3]。

在一个完整的 APP 研发生命周期中，用户界面配色处于一个十分关键的位置，良好的色彩搭配能够让 APP 更加出彩。在日常使用 APP 的过程中，好的色彩组合能够减少用户的混乱感和焦虑感，使用户能够尽快找到他们需要的信息[4]，因此，在进行 APP 设计时，色彩组合是满足消费者使用偏好的一个重要因素[5]。当前许多学者采用了各种各样的方法来给产品的色彩选择提供更多的路径，杨冬梅等人采取基于感性意象的设计方法来解决老年人产品的色彩问题[6]；Ding Man 等人采用多情感方法来给产品色彩提供设计思路[7]；刘肖健等人使用即时提取移动端交互式获取的图像色彩用以构成信息并用于配色的设计[8]；李永锋等人提出基于模糊层次分析法的配色设计方法[9]。但是，很少有研究采用灰色聚类法从老年人用户真实生理心理需求的角度出发对 APP 用户界面配色进行研究。老年人使用 APP 时多有着特定的需求，并且由于年龄问题很难准确表达自己的真实想法与意图，而灰色聚类法对于少数据、贫信息的对象有着较好的处理能力[10]，非常适合老年人 APP 用户界面配色评价这种主观性较强的问题。

当前市面上主流的 APP 都遵循 Android 和 iOS 平台的规则，每个平台上各种类型的 APP 数目繁多，给用户提供了大量的选择余地[11]。色彩是人们认知最直观的一种表达方式，色彩能够给用户带来最直接的美感，让用户更加方便直接地使用 APP。色彩在一定程度上能够在用户使用 APP 时起到引导作用，减轻用户的认知负担，增加用户的使用兴趣。在诸多同类型 APP 中，选择用户满意喜爱的用户界面配色，能够为 APP 的推广和使用起到很大的推动作用，因此，运用合理的方法对多种界面配色组合进行评价分析，能够为 APP 的设计起到非常好的辅助作用[12]。

本文以 APP 用户界面配色为例进行研究，使用灰色聚类法对 APP 用户界面配色设计进行聚类，然后对聚类结果进行判定和分析，从而得到相应的评定等级，为设计师在设计 APP 用户界面配色时提供参考。

1　理论背景

1.1　灰色聚类法

灰色聚类法这一灰色系统概念是由我国邓聚龙教授根据“灰箱”概念拓广而来的。灰色系统是指部分信息清楚，但机制关系、模型等完全清楚的技术系统，目前灰色聚类法已成功运用于许多研究中[13]。灰色聚类法是根据灰色聚类关联矩阵或灰数的白化权函数将观测指标或观察对象聚集成若干个可以定义类别的方法[14]。本研究采用灰色聚类法作为评价分析老年人 APP 用户界面配色的方法的原因有以下几点。

灰色系统理论对于解决那些外部信息清晰、内部信息不清晰的问题有很好的效果。本研究通过将已知的主观评价与客观的观测结果相结合，来探索具有不确定性的老年人 APP 用户界面配色评价问题。

对于样本数并不是很大时，使用灰色聚类法可以通过少量并且离散的用户评价就能进行用户体验分析，并且能够获得重要的参考依据。

通过灰色聚类法，设计师能够根据获得的信息推断出老年人 APP 用户界面配色之间的关系，了解不同的配色方案对用户的影响，从而分析出优秀的老年人 APP 用户界面配色设计。

1.2　PCCS 色彩体系

PCCS 全称实用色坐标系，共包括 24 个色相，根据明度值从黑色的 1.5 到白色的 9.5，并且各层次色相的最高纯度值均为 10，所有的纯色到色轴中心的距离均相等。但是色彩的本身属性在观察时往往会受到实际情况的影响，因此 PCCS 引入了“色调”这一概念，从而能够更准确地表述对色彩的直观印象[15]。

PCCS 除了人性化和准确性这两个优势以外，还有简洁实用的特点。PCCS 正确地构建了色彩 3 种属性的尺度关系，并且在色立体中的等色面上通过色调来进行色彩的划分，从而将色相和色调这两个色彩概念结合在一起，用来描述全部色彩的连续性变化[16]，PCCS 色相环和色调分布图见图 1。

2　研究方法

本文提出了使用灰色聚类法对老年人 APP 用户界面配色进行评价的方法，研究架构见图 2。首先构建用户界面配色评价体系；再确定各指标的主观权重；接着明确用户需求来确定常使用的功能，制作出老年人 APP 用户界面配色评价实验样本；然后再针对实验所得的观测值进行灰色聚类并得到聚类结果；最后根据聚类结果即可对老年人 APP 用户界面配色进行分类。

2.1　老年人 APP 用户界面配色评价体系的构建

本研究以 Park 等提出的用户体验评价模型为基础构建老年人APP用户界面配色的体验评价体系[17]，为了能够对老年人 APP 用户界面配色进行全方位的研究，本研究采用焦点小组法，并结合老年人的生理心理特征和智能移动设备的特点[18]，构建出合适的用户界面配色评价体验模型。

2.2　老年人 APP 用户界面配色评价指标权重分析

本研究采用层次分析法来确定权重，层次分析法是一种将定性问题转变为定量问题然后进行计算的有效方法。对于确定老年人 APP 用户界面配色评价

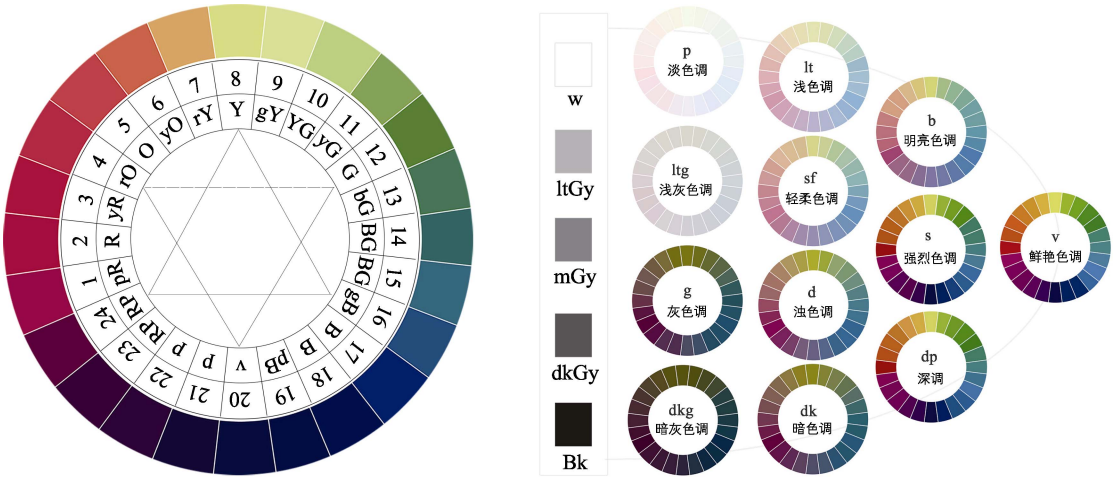


图 1 PCCS 色相环及色调分布

Fig.1 PCCS color ring and color distribution

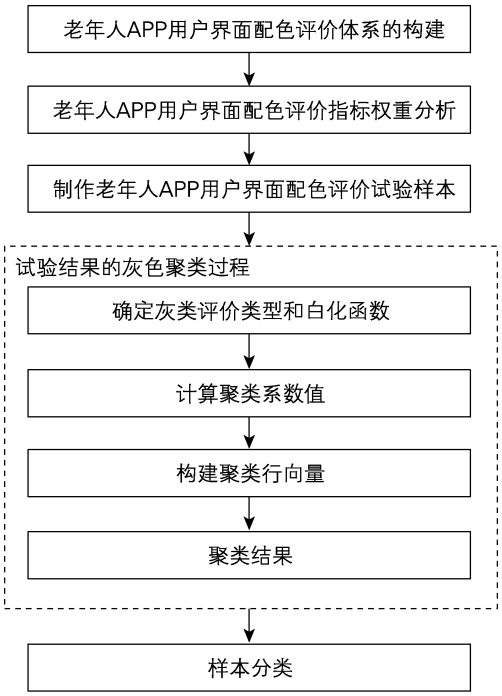


图 2 研究架构

Fig.2 Research framework

指标的权重问题，先使用层次分析法将其由定性问题转化为定量问题，再进行计算，便能够有效地确定各指标的权重。

层次分析法应用于老年人 APP 用户界面配色评价指标的权重分析主要涉及 4 个过程：进行比较问卷调查、建立判断矩阵、计算相对权重值和一致性检定[19]。

设计问卷。重要性量表尺度分为同等重要、稍重要、颇重要、极重要以及绝对重要，1、3、5、7、9 为对应的评估数值，相邻尺度的中间值为 2、4、6、8。

根据各个指标之间的相对重要程度，建立配对比较矩阵 $A=[a_{ij}]m\cdot m$，其中 m 为指标的数目。

计算各指标相对权重值，求得权重向量 $w=[w_1, w_2,\cdots,w_m]$，其中针对每一个指标的权重，先使用式(1)计算各个指标的平均权重：

$$\overline{w}_i=\left(\prod_{j=1}^{m}c_{ij}\right)^{\frac{1}{m}} \tag{1}$$

再使用式(2)计算各个指标的相对权重：

$$w_i=\frac{\overline{w}_i}{\sum_{i=1}^{m}\overline{w}_i} \tag{2}$$

确定各个指标之间是否存在冲突与矛盾的情况，一般使用一般性指标(C.I)与一致比率(C.R)加以检定。

2.3 制作老年人 APP 用户界面配色评价实验样本

2.3.1 实验样本的生成

首先以老年人用户的生理及心理特征为基础，通过焦点小组与用户访谈，对用户在真实场景下使用 APP 的各个方面进行分析，从而得出关键的 APP 设计要素；其次采用组合法将这些设计要素组合在一起，制作低保真实验样本；然后从当前市面上的主流 APP 中采用 KJ 法选出具有代表性的 APP 产品；最后再将这些具有代表性的 APP 的用户界面配色运用到低保真实验样本的用户界面配色设计中，从而得到符合要求的实验样本。

2.3.2 体验评价实验

邀请被试参与用户界面配色评价实验，依据构建的评价体系并采用 7 阶李克特量表（1 表示非常不同意，7 表示非常同意）对实验样本进行度量。

2.4 实验结果的灰色聚类过程

本研究采用灰色聚类法对实验观测值进行聚类，共有 4 个步骤。

第一，确定灰类评价类型和白化函数。当使用灰类数来衡量老年人 APP 用户界面配色时，灰类数过多时聚类效果过于分散，无法达到期望聚类，过少时聚类结果则过于集中，不能有效反映对象之间的区

别。将评价灰类数确定为 k（其中 $k \in \{1,2,\cdots,s\}$），分别代表着不同等级的灰类评价类型。将 n 个对象关于指标 j 的值相应地分为 s 个灰类，称之为 j 指标子类。j 指标 k 子类的典型白化权，函数记为 $f_j^k(\cdot)$，如式(3)所示：

$$f_j^k[x_j^k(1), x_j^k(2),\cdots, x_j^k(s)] \tag{3}$$

第二，计算聚类系数值。由上一步中的白化权函数与前文通过层次分析法确定的指标权重 w_i 以及对象 i 关于指标 j 的样本值 x_{ij} 计算出灰色聚类系数值 σ_i^k，计算公式如式(4)所示：

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^{m} f_j^k(x_{ij}) w_i \tag{4}$$

第三，构建聚类行向量。对于第 i 个对象的聚类行向量如式(5)所示：

$$\sigma_i = (\sigma_i^1, \sigma_i^2, \cdots, \sigma_i^s) = \left(\sum_{j=1}^{n} f_j^1(x_{ij}) \cdot w_1, \sum_{j=1}^{n} f_j^2(x_{ij}) \cdot w_2, \cdots, \sum_{j=1}^{n} f_j^s(x_{ij}) \cdot w_j \right) \tag{5}$$

第四，聚类结果。针对上面得到的聚类行向量，若 $\max\limits_{1\le k\le s}\{\sigma_i^k\} = \sigma_i^{k*}$，则称对象 i 属于灰类 $k*$。

2.5　样本分类

依据实验样本的聚类结果，即可对实验样本的用户界面配色体验评价实验结果进行分类。

3　案例研究

医疗 APP 作为一种新型的就医模式，它可以有效地缓解因为医疗资源不足造成的看病难、就医难等问题，同时又有着快捷、方便、及时和易上手的优点[20]。为了能够更好地给老年人用户带来良好的使用体验，本研究选用市场上常见的医疗 APP 用户界面配色作为案例进行研究。

3.1　老年人医疗 APP 用户界面配色评价体系的构建

根据文献提出的用户体验评价模型，结合老年人用户生理和心理诉求以及医疗产品的特性，构建老年人医疗 APP 用户界面配色评价体系，并依据此体系对被试群体进行体验实验，老年人医疗 APP 用户界面配色评价体系见图 3。

对上面的评价体系进行信度分析，结果显示其 Cronbach's α 系数为 0.875，信度较高，即这个评价体系是可靠的，可以用到老年人医疗 APP 用户界面配色体验评价实验中。

3.2　老年人医疗 APP 用户界面配色评价指标权重分析

邀请了 30 名被试参与层次分析法确定老年人医疗 APP 用户界面配色评价体系中各指标权重的实验，被试群体均有 1 年以上的智能手机使用经验，其中男性 15 名，女性 15 名，平均年龄为 63.5 岁，标准差为 2.9，矫正后视力为 0.8 以上，无色盲色弱问题。实验中要求被试依据自己日常使用 APP 时的真实感受对每个维度中的指标进行重要性比较，给出每个指标的数值评估，然后根据实验的观测值建立配对比较矩阵，接着使用公式(1)计算每个层面的平均权重，最后使用公式(2)计算各指标的相对权重，老年人医疗 APP 用户界面配色评价指标权重见表 1。

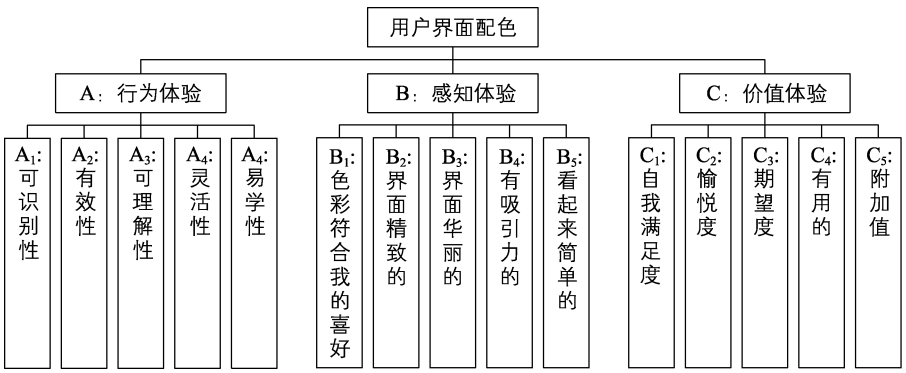


图 3　老年人医疗 APP 用户界面配色评价体系

Fig.3　Color matching evaluation system of medical APP user interface for the elderly

表 1　老年人医疗 APP 用户界面配色评价指标权重

Tab.1　Evaluation index weight of color matching of medical APP user interface for the elderly

评价指标	权重值	评价指标	权重值	评价指标	权重值
A_1：可识别性	0.031	B_1：色彩符合我的喜好	0.066	C_1：自我满足度	0.071
A_2：有效性	0.116	B_2：界面精致的	0.047	C_2：愉悦度	0.094
A_3：可理解性	0.037	B_3：界面华丽的	0.045	C_3：期望度	0.048
A_4：灵活性	0.065	B_4：有吸引力	0.042	C_4：有用的	0.196
A_5：易学性	0.057	B_5：看起来简单的	0.032	C_5：附加值	0.053

3.3 制作老年人医疗 APP 用户界面配色评价实验样本

3.3.1 实验样本的生成

本研究通过分析老年人用户的真实生理心理需求与其群体特征，结合医疗 APP 的产品特性，将市场调研与用户访谈搜集到的信息整合起来，制作低保真实验样本，然后再通过对这个低保真实验样本进行赋色的方式制作实验样本。通过对市面上主流的老年人医疗 APP 进行分析，挑选出 12 款具有代表性的老年人医疗 APP 用户界面配色组合；接着使用 KJ 法选出具有代表性的 6 组用户界面配色组合作为实验案例进行研究；然后分别提取这 6 个研究样本的界面配色组合；最后将这些配色组合分配到低保真实验样本中，形成用户体验评价实验样本，老年人医疗 APP 用户界面配色体验评价实验样本见图 4。

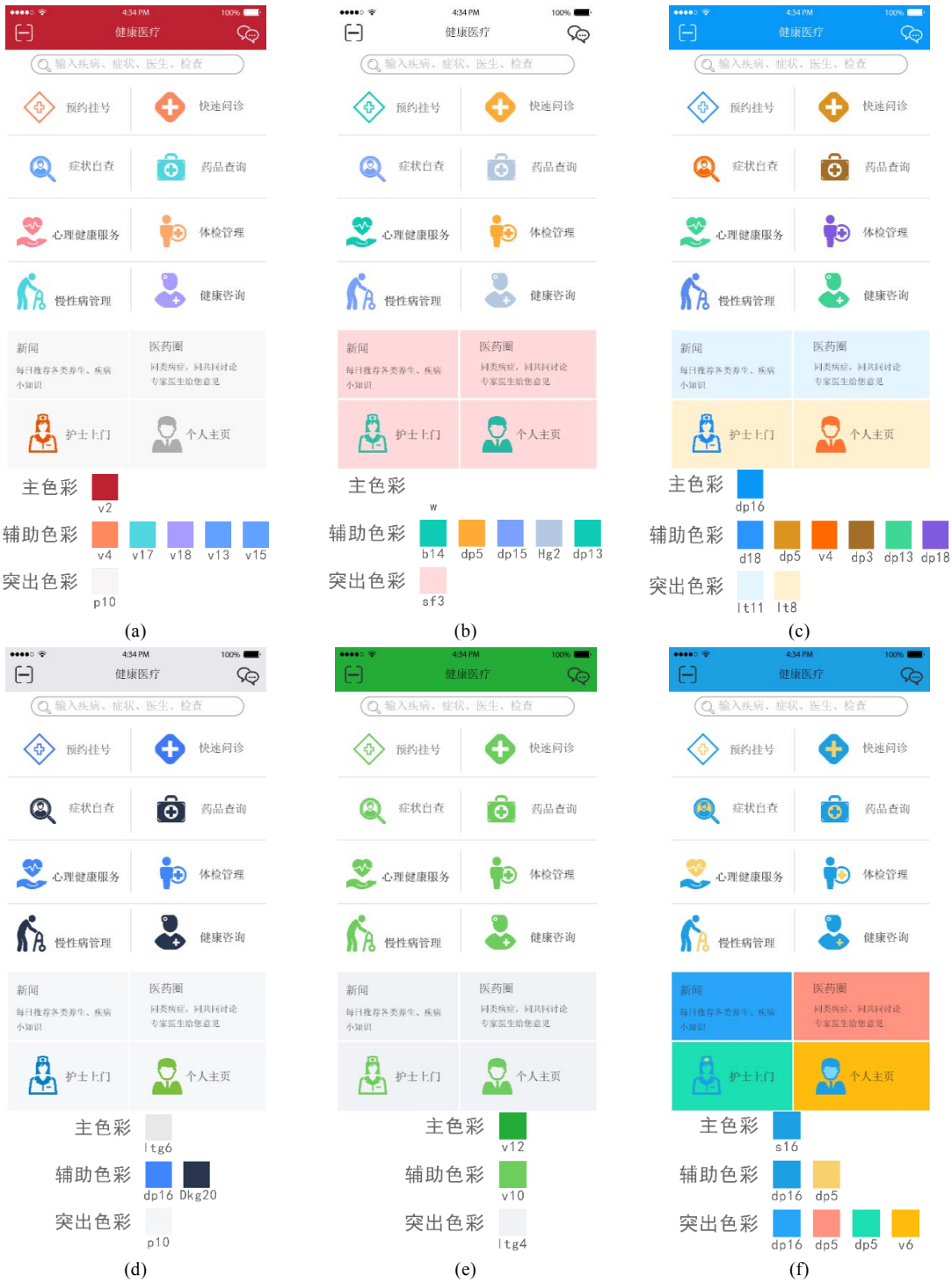


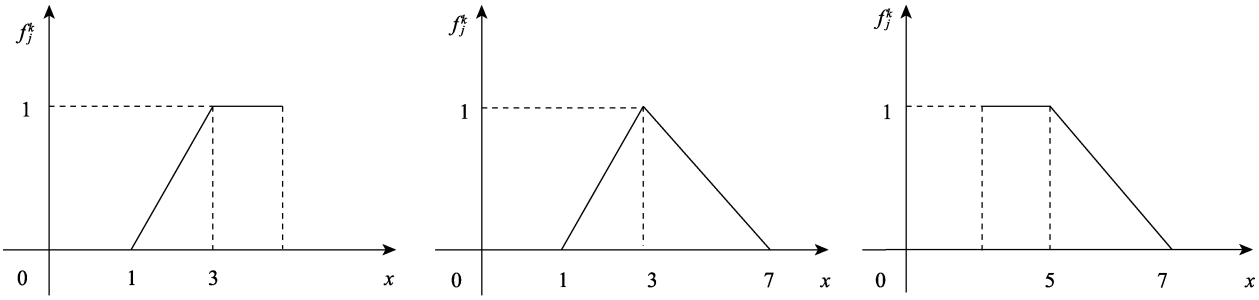
图 4 老年人医疗 APP 用户界面配色体验评价实验样本

Fig.4 Test samples for color matching experience evaluation of medical APP user interface for the elderly

表 2　体验评价实验的观测值

Tab.2　Observed value of experience evaluation test

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
S_1	3.20	2.93	2.63	2.93	3.47	3.37	3.03	3.10	2.97	3.50	3.07	2.37	2.33	2.17	1.90
S_2	4.33	3.63	4.20	3.53	3.87	3.77	3.77	3.33	3.07	3.63	3.83	3.47	3.33	2.93	2.63
S_3	5.47	5.60	5.37	4.73	5.30	4.90	5.27	4.97	4.70	4.87	4.97	5.07	5.23	4.83	4.70
S_4	5.80	5.33	5.00	5.23	4.97	5.30	5.30	5.20	5.17	4.77	5.23	5.67	4.67	4.57	4.23
S_5	4.03	3.57	3.67	3.53	3.70	3.73	3.50	3.77	4.00	3.23	3.97	3.60	3.53	3.47	3.17
S_6	4.10	3.70	3.87	3.63	3.93	4.30	3.83	3.97	3.90	3.70	3.60	3.73	3.57	2.87	2.60



a 评价等级“优秀”的白化权函数　　b 评价等级“中等”的白化权函数　　c 评价等级“一般”的白化权函数

图 5　实验样本的白化权函数

Fig.5　Whitening weight function of test sample

表 3　评价对象的灰色聚类系数

Tab.3　Grey clustering coefficient of evaluation objects

i	σ_i^1	σ_i^2	σ_i^3
S_1	0.84	0.82	1.00
S_2	0.99	0.83	1.00
S_3	1.00	0.48	0.92
S_4	1.00	0.47	0.88
S_5	0.99	0.82	1.00
S_6	0.98	0.82	1.00

表 4　评价对象的灰色聚类结果

Tab.4　Grey clustering results of evaluation objects

样本	聚类结果
S_1	一般
S_2	一般
S_3	优秀
S_4	优秀
S_5	一般
S_6	一般

3.3.2　体验评价实验

邀请同一批被试参与体验评价实验，为了模拟日常使用时的情景，要求被试在安静的环境下使用个人感觉舒适的姿势进行实验，实验中要求被试在智能移动设备上显示出医疗 APP 界面时，在 10~15 min 对 6 个样本进行体验式观察，同时根据自己的真实想法填写评分表。为平衡实验中可能出现的个体差异，以及防止可能出现的疲劳现象对实验造成的影响，实验样本需要进行随机化处理，并且实验时保证连续 5 个被试所遇到的样本出现顺序都不同。这两个步骤能够有效减弱感性因素对实验的影响，得到更加客观真实的评价结果。实验人员对收集到的观测数据进行平均化处理，即可得到体验评价实验的数据，体验评价实验的观测值见表 2。

3.4　实验结果的灰色聚类过程

对于本研究中的聚类对象 i，首先通过焦点小组法确定评价类别共 3 种：$k=1$、$k=2$、$k=3$ 分别代表优秀、中等和一般，亦指将指标划分为高、中、低 3 个灰类等级；其次根据实验对象的具体特征，确定 j 指标 k 子类的白化权函数 $f_j^k(\cdot)$，实验样本的白化权函数见图 5；接着将上文中使用层次分析法确定的评价体系中各个指标的权重 w_i 带入到公式(4)中进行计算即可求出对象 i 关于 k 子类的灰色聚类系数值 σ_i^k；然后由公式(5)可计算出对象 i 的聚类行向量；重复上述步骤，即可得到评价对象的灰色聚类系数见表 3；最后针对得到的聚类系数表，其中若 $\max\limits_{1\leqslant k\leqslant 3}\{\sigma_i^k\}=\sigma_i^{k*}$，则称对象 i 属于灰类 $k*$，评价对象的灰色聚类结果见表 4。

3.5　样本分类

通过上文中使用灰色聚类法对 6 个样本进行聚类后得到的结果可知，样本 S_3 和 S_4 属于“优秀”灰

类；样本 S_1、S_2、S_5、S_6 属于“一般”灰类；没有样本属于“中等”灰类。说明样本 S_3 和 S_4 的用户界面配色体验评价为优秀，极其受用户青睐；余下样本的用户界面配色体验评价比较一般，很难受到用户的喜爱。

4 讨论

在 3.5 节样本分类中，可知样本 S_3 和 S_4 属于“优秀”灰类；样本 S_1、S_2、S_5、S_6 属于“一般”灰类。分析样本的配色组合可发现样本 S_4 的用户界面配色采用的是浅灰色调和深调组合的设计，此设计色调上是对比的关系，但是色相上是类似的，这种设计在功能上会使医疗 APP 用户界面上不同的功能图标更容易被区分出来，方便用户尽快达到使用目的。样本 S_3 的配色设计是明亮色调与深调组合，此时色调与色相的配色效果形成了对比关系，这一效果保证了用户在使用时不会出现因为相近的功能模块色彩太过相近而无法准确分辨的情况。在剩下的 4 个样本中，通过分析样本 S_1 的用户界面配色组合，可知其采用的是鲜艳色调与淡色调组合的设计，这种配色设计在色相上有着强烈的对比，但是色调上却极为类似，虽然对用户的视觉冲击极大，但是过于明显的配色组合会让用户很难及时准确地聚焦，不能保证使用时的准确快捷。

为了能够有效地对老年人医疗 APP 用户界面配色进行评价，首先需要对老年人的生理心理特征进行分析。衰老是人类必须要经历的一段过程，它给人类带来的更多的是不适、烦恼和困境，主要体现在形态衰老、感觉器官功能下降、神经运动机能变慢以及记忆的衰退上。随着年龄的增长，感知力的下降最为明显，比如人眼的视力有着明显的下降。同时，人类的情绪和情感随着年龄的增长也会一直不停地发生变化，此时的人类在遇到挫折时会更容易产生消沉、郁闷和烦躁的情绪，人类大脑中的脑细胞数量随着年龄的增长会逐渐降低，这会直接导致记忆迟钝，严重的甚至会导致失忆。

老年人用户在使用医疗 APP 时，多是进行病情咨询和药物查询，有时也有可能会处理一些敏感信息，因此，在界面配色上，各个模块的色彩分布应该有着各自的规律，不能是杂乱无章的。样本 S_4 的主色彩及突出色彩均采用与辅助色彩不同的色彩，这一设计能够有效地将功能区域与其他部分区别开来，在用户使用时不会出现无法准确分清的问题。因为老年人用户的视觉感官能力下降了，所以他们需要花费至少一倍以上的时间才能准确寻找到想要的功能模块，样本 S_1 采用了 7 种色彩，并且这 7 种色彩种类繁多，很容易让用户产生迷惑感，无法准确找到想要的功能模块。此时如果使用过于绚烂和对比强烈的配色组合，很容易对老年人用户的使用造成干扰。老年人在使用医疗 APP 时，有可能会透露一些个人健康上的问题，此时应采用更柔和、舒缓和令人享受的配色设计，比如采用浅灰色调与深调作为配色组合，给老年人用户在使用医疗 APP 时带来更好的使用体验。

5 结语

本研究采用层次分析法与灰色聚类法相结合的方法对老年人 APP 用户界面配色进行评价，然后根据聚类结果分析原因，构建老年人 APP 用户界面配色的体验评价模型，以老年人医疗 APP 用户界面配色作为研究案例，验证了方法的可行性与有效性。这一研究能够为老年人医疗 APP 用户界面配色设计提供一个有效的方法，可以给设计师提供一个新的路径来找到最优并最有价值的设计方案。本研究将老年人用户作为实验群体，后续研究可以引入年轻人群体，从而形成对照，再分析两种目标群体在体验之后的差异，为老年人 APP 用户界面配色的设计提供更精准有效的方法与思路。

参考文献：

[1] 姚江, 封冰. 体验视角下老年人信息产品的界面交互设计研究[J]. 包装工程, 2015, 36(2): 67-71.
YAO Jiang, FENG Bing. Interface Interactive Design of Information Products for the Elderly from the Perspective of Experience[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(2): 67-71.

[2] 陈鹏, 吕健, 潘伟杰. 基于色彩方案重用的产品配色感性设计[J]. 工程设计学报, 2015, 22(6): 546-551.
CHEN Peng, LYU Jian, PAN Wei-jie. Product Color Design Based on Reuse of Color Scheme[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2015, 22(6): 546-551.

[3] 刘翔宇, 王坤, 王强. 色彩的隐喻性特征在手机 UI 设计中的运用[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 200-205.
LIU Xiang-yu, WANG Kun, WANG Qiang. Application of Metaphorical Characteristics of Color in Mobile Phone UI Design[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 200-205.

[4] 李明辉, 魏亚云. 安卓手机移动端的界面设计美学法则探析[J]. 包装工程, 2016, 37(10): 170-173.
LI Ming-hui, WEI Ya-yun. Analysis of the Aesthetics Rules of Interface Design for Android Mobile Phone Terminal[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(10): 170-173.

[5] FONG W. Effects of Color Display, Color Name, Color Formation and Color Alignment on the Screen Layout Usability of Customized Product Color Combinations[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2009, 39(5): 655-666.

[6] 杨冬梅, 张健楠, 丁满. 基于感性意象的老年产品色

彩设计方法[J]. 机械设计, 2018, 35(3): 110-113.
YANG Dong-mei, ZHANG Jian-nan, DING Man. Color Design Method for Elderly Products Based on Kansei Image[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(3): 110-113.

[7] DING M, DONG W, YANG C. Product Color Design Based on Multi-emotion[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, 27(7): 2079-2084.

[8] 刘肖健, 曹愉静. 基于移动终端的色彩信息交互式即时提取技术[J]. 包装工程, 2015, 36(12): 33-36.
LIU Xiao-jian, CAO Yu-jing. Interactive Instant Extraction Technology of Color Information Based on Mobile Terminal[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(12): 33-36.

[9] 李永锋, 朱丽萍. 基于模糊层次分析法的产品配色设计[J]. 机械科学与技术, 2012, 31(12): 2028-2033.
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Product Color Design Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2012, 31(12): 2028-2033.

[10] 刘思峰, 杨英杰. 灰色系统研究进展[J]. 南京航空航天大学学报, 2015, 47(1): 1-18.
LIU Si-feng, YANG Ying-jie. Advanced in Grey System Research[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015, 47(1): 1-18.

[11] 杨蕙馨, 王硕, 冯文娜. 网络效应视角下技术标准的竞争性扩散——来自 iOS 与 Android 之争的实证研究[J]. 中国工业经济, 2014(9): 135-147.
YANG Hui-xin, WANG Shuo, FENG Wen-na. The Competitive Diffusion of Technological Standards from the Perspective of Network Effect: An Empirical Study from the iOS-Android Spat[J]. China Industrial Economics, 2014(9): 135-147.

[12] 宗立成. 产品情感配色的计算机辅助设计及其评价方法[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 623-628.
ZONG Li-cheng. On Computer Aided Design of Product Emotion Color Matching and Its Evaluation Method[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 623-628.

[13] LI D. The Color Combination Method for Human- Machine Interfaces Driven by Color Images[J]. Journal of Engineering Design, 2017, 28(7): 505-531.

[14] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
DENG Ju-long. Grey Theoretical Basis[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.

[15] 林仲贤. 颜色视觉心理学[M]. 北京: 北京人民大学出版社, 2011.
LIN Zhong-xian. Psychology of Color Vision[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2011.

[16] 黄茜, 陈飞虎. 四大色彩体系对比分析研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 266-272.
HUANG Qian, CHEN Fei-hu. Comparative Analysis of Four Major Color Systems[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 266-272.

[17] PARK J. Modeling User Experience: A Case Study on a Mobile Device[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(2): 187-196.

[18] SUSAN M. Weinschenk. 100 More Things Every Designer Needs to Know about People[M]. California: New Riders Press, 2015.

[19] CHANG C. Multi-Level Grey Relation Comprehensive Evaluation Method for Universal Design[J]. Journal of Grey System, 2014, 17(4): 229-238.

[20] 孙陈敏, 田侃. “互联网+”背景下移动医疗发展现状研究[J]. 卫生经济研究, 2019, 36(8): 42-44.
SUN Chen-min, TIAN Kan. Research on the Status Quo of Mobile Medical Development under the Background of “Internet+”[J]. Health Economics Research, 2019, 36(8): 42-44.