

# 数据与知识联合驱动的移动应用交互界面设计

尹浩 姜泽勋 赵冰

(清华大学北京信息科学与技术研究中心, 北京 100084  
中国传媒大学动画学院, 北京 100024)

**摘要:** 随着智能手机与移动终端的快速发展, 移动应用成为了网民信息消费与交流的主要门户, 受屏幕尺寸和交互方式的限制, 交互界面设计对于移动应用的用户体验与推广成败有着重大的影响。充分了解交互设计是如何影响用户满意度, 并针对性的进行优化, 将极大提高移动应用的成功率。本文分析了移动应用交互界面设计难以适应海量用户主观审美的难点, 并进一步提出了数据与知识联合驱动的交互界面设计方法, 将交互设计理论知识与海量数据挖掘模型相结合, 驱动产生新型移动应用交互设计知识体系。结果表明, 本文提出的面向移动应用的交互界面视觉设计指标和模型能较好预测和表示用户反馈, 并针对不同的应用场景给出交互界面的设计原则。

**关键词:** 数据与知识联合驱动; 交互设计; 人机交互; 信息技术  
**中图分类号:** TP399 **文献标识码:** A

## Design of mobile application interactive interface driven by data and knowledge

YIN Hao, JIANG Ze-xun, ZHAO Bing

(Beijing National Research Center for Information Science and Technology, Tsinghua University, Beijing, 100084, China,  
School of Animation and Digital Arts in Communication University of China, Beijing, 100024, China)

**Abstract:** With the rapid development of smart phones and mobile terminals, mobile applications have become the main portal for netizens' information consumption and communication. Limited by screen size and interaction methods, interactive interface design has a major impact on the user experience and promotion of mobile applications. A full understanding of how interaction design affects user satisfaction and targeted optimization will greatly increase the success rate of mobile applications. This paper analyzes the difficulty of mobile application interface design that is difficult to adapt to the subjective aesthetics of a large number of users, and further proposes an interactive interface design method driven by data and knowledge, which combines interactive design theoretical knowledge with massive data mining models to drive new mobile applications Interaction design knowledge system. The results show that the visual design index and model of the interactive interface for mobile applications proposed in this paper can better predict and express user feedback, and give the design principles of the interactive interface for different application scenarios.

**Key words:** Data and knowledge; interaction design; human-computer interaction; information technology

## 1 引言<sup>1</sup>

人类历史与社会的变革和进步往往伴随着新技

---

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFB2100804), 国家自然科学基金资助项目 (92067206,61972222), 国家民委民族

---

研究项目 2019-GMC-049。作者简介: 尹浩 (1974-), 清华大学北京信息科学与技术国家研究中心研究员、博导, 教育部长江学者, 国家万人计划领军人才; 姜泽勋, 清华大学北京信息科学与技术研究中心博士后; 赵冰, 中国传媒大学动画学院副教授。

术的发明与应用。20 世纪以来，数字技术与数字媒介的迅速发展构建出了一个全新的数字时代，人们感知世界与相互交流的方法比之前任何时代都更加丰富，艺术、社会、政治、经济、文化等诸多方面与数字世界不断相互渗透与融合[1]。人与计算机的交互在这个时代变得尤为重要，其中，智能手机与移动互联网的迅速发展极大拓展人机交互技术可触及的用户群体和市场规模。美国移动应用报告[2]中的数据显示，目前移动应用已经以 52% 的比例牢牢占领着人们使用媒体设备的时间。根据统计[3]，每个智能手机用户平均每天花费 3 小时在各个移动应用上，每月平均要使用 40 个移动应用。在 2019 年，消费者在全球各大应用商店上消费已经超过 1540 亿美元[4]，并仍然在快速发展。用户与市场的发展为人机交互技术的应用提供了更加丰富的场景，也推动了相关技术研究。

随着移动应用市场的迅速发展，用户和市场对于移动应用质量的要求也在不断提高。因为智能手机受限的用户交互途径和屏幕尺寸，结合移动应用用户快节奏的应用场景，移动应用的交互界面设计变得尤为重要[5]，其重要性甚至超过了移动应用的功能与内容，能很大程度上影响应用设计质量和用户留存度，所以研究和理解交互界面设计与用户反馈（feedback）之间的关系就显得十分重要，能帮助设计师与开发者更有针对性的优化移动应用的交互界面，提高用户体验。许多相关研究尝试总结出具有共性的移动应用交互界面设计方法与标准[6-10]。一方面，交互界面设计涉及主观审美评判，有研究表明，文化背景和年龄等因素都会影响受众的主观审美倾向，不存在统一的美学度量衡。另一方面，移动应用是面向海量用户的人机交互场景，需要具有共性的设计方法与标准来指导移动应用交互界面的设计，使得交互界面设计特征之间的关系复杂，影响用户反馈的形式也更加多变，所以基于有限样本的定性研究难以系统性的在交互界面设计与用户反馈之间建立关系，同时经验性研究时间上的滞后性也无法适应当前快速变化的大众审美，因此定性研究难以支撑移动互联网等实际应用场景的交互界面设计研究。

针对交互界面设计的复杂性，为了系统性的研究移动应用交互界面设计与用户反馈之间的关系，本文尝试回答以下理论问题：

- 交互界面视觉特征是否会影响用户的反馈和体验？
- 不同的视觉特征对用户体验的影响程度是否不同？
- 如何利用数据与计算能力优化移动应用交互界面设计？

为了回答以上问题，本文提出了数据与知识联合驱动的移动应用交互界面设计方法，通过数据和机器学习的方法厘清交互界面设计视觉特征与用户反馈之间的关系，主要包含以下步骤：

- **构建数据集：**本文通过自动化移动应用交互界面获取工具（AMACS，Automated Mobile Application Content Sensing）收集移动应用交互界面数据，并进一步结合应用市场数据与用户评分，构建移动应用交互数据集，解决传统理论研究样本集小的问题；
- **量化视觉特征：**基于现有定性移动应用交互界面设计和数据集，定义移动应用交互界面设计视觉特征，包括界面对比度、一致性等；
- **分析特征关系：**利用决策树和支持向量回归等机器学习方法，分析交互界面设计视觉特征与用户反馈之间关系；
- **形成知识：**利用决策树模型反推特征范围，产生定量移动应用交互界面设计原则。

通过以上步骤，本文充分利用现有的交互设计理论知识与海量移动应用交互数据来产生新的移动应用交互设计原则、方法与标准。全文结构如下，第 2 章综述相关工作，第 3 章描述构建数据集的方法和过程，第 4 章描述了识别移动应用交互界面设计视觉特征的方法，第 5 章分析了视觉特征与用户反馈之间的关系，第 6 章通过模型归纳交互界面设计原则，第 7 章对文章进行总结，并展望未来工作。

## 2 相关工作

近年来，人与计算机的关系正在从“人机交互”向“人机共生”发展[11]，研究者在不断探索人机自然融合、深度协作的技术发展方向，新型信息技术的不断涌现和消费电子市场的快速发展都为人机交

互技术的发展带了全新的机遇。

现有的移动应用交互界面设计研究主要基于定性设计经验总结，比如文章[6]总结了5个被讨论和引用最多的交互界面设计原则，包括一致性、层级关系、对比度、平衡感与和谐感。研究工作[7]通过比较不同的购物应用的界面设计，分析用户对不同设计特性的偏爱程度。文章[8]分析了老龄用户使用移动医疗应用的行为，提出了针对老龄用户的应用界面设计要充分考虑用户的文化背景。这类定性研究能为相关的交互设计工作提供思路与依据，但样本数有限的定性研究难以充分客观的感知用户的交互审美倾向，用户的审美主观性和交互行为本身的复杂性使得基于经验总结和定性分析难以在交互界面设计的复杂要素之间建立因果关系，所以现有方法无法解决当前交互设计中面临的挑战。

为了解决以上挑战，基于人工智能的人机交互界面设计是重要发展方向之一，目标是通过人工智能研究具有基础指导意义的人机交互与界面设计规则。Swire[12]通过深度学习的方法提取交互界面特征，并支持通过草图进行快速搜索和辅助设计。文章[13]在[14]收集的数据集的基础上通过神经网络研究移动应用界面设计模型和交互模式，并把相关成果和研究思路成果推广到服装设计[15]等相关领域。

基于数据的移动应用交互界面设计分析需要数据集的支撑，但移动应用交互界面数据获取是具有挑战性的。交互数据获取的方式主要分为两种：白盒测量和用户侧黑盒采集。白盒测量的方式简单直接，能获取到相对准确的交互数据，但需要交互目标和用户的配合，适用的应用场景较少，大部分场景还是需要使用黑盒的方式进行数据获取，如[16-17]采用类似自动化测试的方式实现自动化的交互数据获取，但无法很好的保证效率与隐私。文章[14]采用众筹的方式采集移动应用交互数据，这类方法依赖于人工，成本高，可拓展性差。

### 3 构建数据集

海量的数据是在用户主观审美与大众公共审美

要素之间建立关联的“桥梁”，但目前缺乏大规模移动应用交互界面数据集和获取工具，面临的主要技术挑战包括：1) 移动应用大部分是闭源程序，无法获得源代码并进行分析，在不使用源码分析的情况下，能获取到的应用内容和系统信息都十分有限；2) 受限跳转和动态内容也使得探索移动应用变得具有挑战性，移动内容经常是与相关移动应用强耦合的，在不安装和使用相关移动应用的情况下无法直接获取移动应用内容。

为了应对移动应用交互界面难获取的挑战，作者提出了一种自动移动应用交互界面获取工具AMACS (Automated Mobile Application Content Sensing)[18]，其主要工作原理如图1所示，AMACS主要由4个部分构成：1) Android设备，由于成本和隐私保护的考虑，AMACS使用了Android虚拟设备(AVD)，以虚拟机的形式运行在服务器上，能像正常智能手机一样安装和运行移动应用；2) 设备控制器，AMACS利用开源的移动应用测试工具Appium[19]控制Android设备和移动应用。设备控制器作为远程调试工具与Android设备通过网络连接，能将逻辑单元的指令翻译成交互命令，发送给Android设备，实现驱动设备探索和提取内容的目的；3) 逻辑单元，通过运行动态内容兼容的探索算法来为设备控制器生成指令，实现对移动应用的探索和-content获取；4) 数据存储单元，负责存储所有从移动应用获取的交互界面内容和所有的中间结果，比如应用状态标识符等。

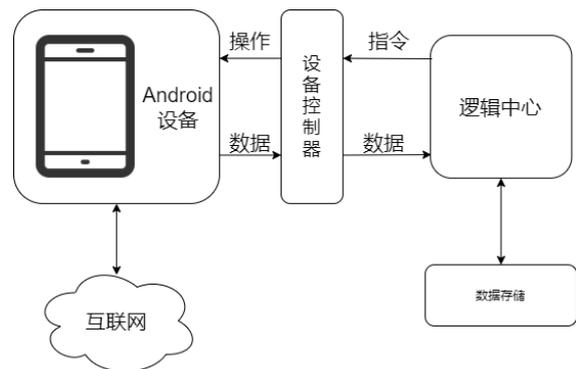


图1 移动应用交互界面获取工具

AMACS基于交互界面布局树(如图2)对交互界面进行建模识别，设计应用状态标识符模型，AMACS基于应用状态标识符，确定移动应用的状态，并追踪探索路径，检索已经获取到的内容，支持高效的移动应用探索和交互界面获取。

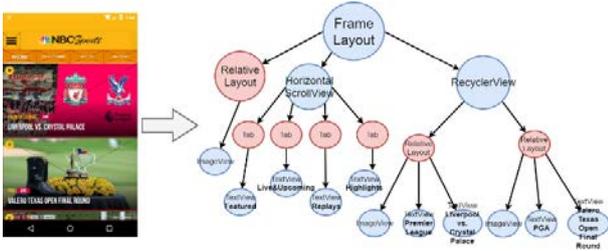


图 2 移动应用交互界面布局树

在应用标识状态标识符模型的基础上，如图 3 所示，AMACS 进一步利用有限状态自动机模型对移动应用进行建模。

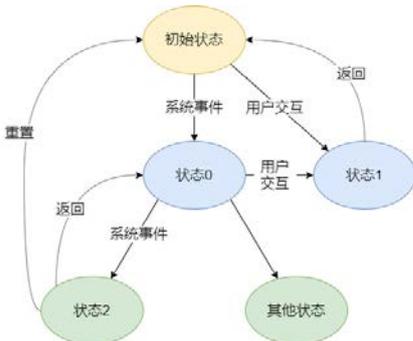


图 3 移动应用有限状态自动机模型

定义 1 (移动应用模型)：

$$App = (\Sigma, S, s_0, \delta, F)$$

$$\delta: S \times \Sigma \rightarrow S$$

其中 $\Sigma$ 是输入集合，包括系统事件和用户交互。 $S$ 是由所有应用状态标识符组成的状态集合， $s_0$ 是应用初始状态，一般为应用主页或者欢迎页面。 $\delta$ 为状态转移方程， $F$ 为结束状态，应用退出。

在移动应用模型的基础上，本文设计了动态内容鲁棒的移动应用交互界面探索算法，能够在没有任何先验知识的情况下自动探索移动应用，并自动提取相关交互数据。AMACS 能够自动安装移动应用、自动生成用户交互、提取交互界面和保存截图，具体采集的交互数据包括：

1) 交互界面截图，AMACS 通过自动探索移动应用，并同时移动应用交互界面进行截图；

2) 原始内容布局文件，与交互界面截图一一对应，以 XML 文件的形式输出，与网页源代码 HTML 类似，包含所有显示的元素和相关的属性，如图 2 所示，能解析成树状结构，从中可以获得所有元素的位置和大小。

新闻咨询类的移动应用具有界面内容丰富和交互操作相对简单的特点，适合 AMACS 提取丰富的交互界面内容，能很好的支撑移动应用交互界面视觉特征的分析。本文通过 AMACS 对 109 个该类别的移动应用进行了数据收集（如表 1），主要分为三类：国内新闻、国际新闻和旅游咨询。

表 1 数据集

	应用数量	交互界面数量
国内新闻	46	6614
国际新闻	29	5446
旅游咨询	34	3347
合计	109	15408

图 4 是数据集中交互界面截图的示例图片，红框标记的部分是工具识别出的页面上的关键控件与内容，以原始内容布局文件的形式输出。图 4 显示 AMACS 能有效的获取移动应用交互界面的截图，识别交互界面布局与元素，支撑面向移动应用的交互界面设计定量分析。

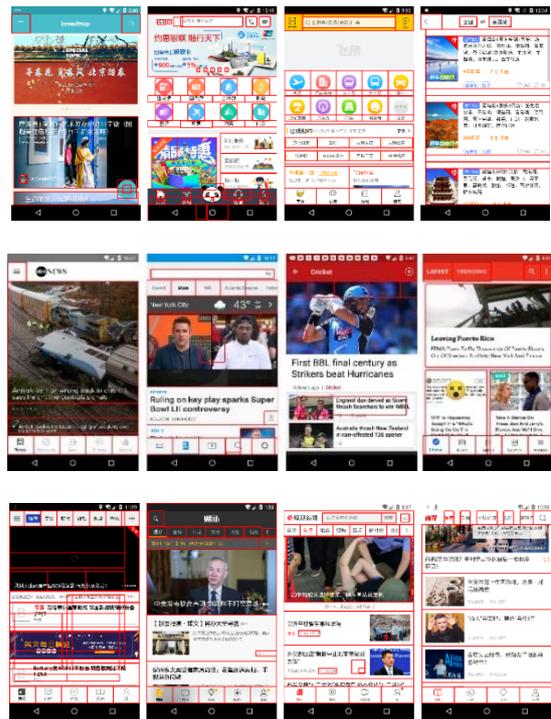


图 4 移动应用交互界面截图

为了评估移动应用的交互界面设计质量，本文利用网页爬虫和被试实验收集了两方面的移动应用用户反馈质量指标：

- 移动应用下载量，来自移动应用榜单网站 App Annie[20]的移动应用的下载量数据，可以从一定程度上代表用户市场对应用质量的评价；
- 人工评分，通过被试人员对移动应用交互界面进行主观比较打分，整理后形成移动应用交互界面设计的人工评分

## 4 量化视觉特征

通过相关文献调研[6]，本文总结了 5 个被讨论和引用最多的交互界面设计原则，如表 2 所示。结合 AMACS 构建的数据集和定性原则，进一步构建了相应的量化视觉特征[21-22]。

表 2 交互界面设计原则

设计原则	描述
一致性	文字、颜色、图片、动画和导航等设计元素的相似程度，能帮助用户更快的适应和上手
层级关系	页面内容组织形式，用于判断内容之间的重要程度和关系
对比度	通过颜色、大小和形状等要素建立对比度，改善界面的可视度和可读性
平衡感	合理布置元素与空间，使页面上的任何一部分都不过分突出
和谐感	通过设计为用户提供一个舒服和具有美感的环境，来帮助用户学习和适应

### 4.1 一致性

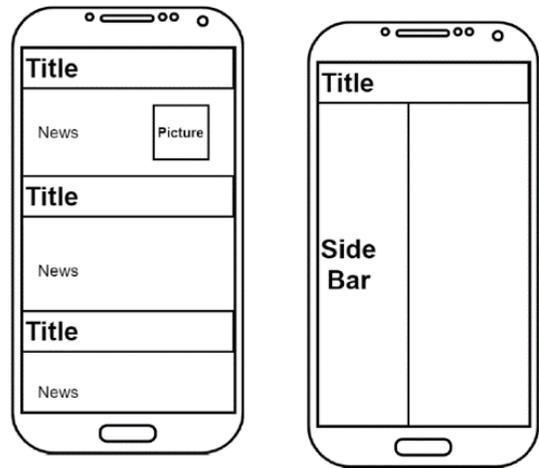
一致性是被讨论最多的界面设计原则之一，文字、颜色、图片、动画和导航等设计元素应该在移动应用中保持相对一致[23]，类似的属性和布局能帮助用户更快的适应和上手[24]。基于以上定性的描述，一致性定义为移动应用所包含的不同的交互界面布局或模式的数量。页面一致性的计算过程可以分为以下两步：

**步骤 1：计算界面之间的相似度。**本文使用离散余弦变换函数作为感知哈希函数[25-26]，计算交互界面截图之间相似度，这种方法经常用于图片检索，感知哈希函数能针对每张截图生成一个数字指纹，并基于指纹计算图片之间的相似程度。

**步骤 2：聚类。**在相似度的基础上，本文对图片进行 DBSCAN[27]聚类，该聚类方法的好处是不需要提前设置聚类的类别数量，并且对噪音具有较强的鲁棒性。聚类结果中的类别代表移动应用中存在的不同交互界面模式，类别的数量代表移动应用的页面一致性。

### 4.2 层级关系

层级关系用于衡量页面或屏幕上的内容组织形式是否满足用户的阅读习惯。用户倾向于通过层级关系判断内容之间的重要程度和关系[6]，“相似内容、相近排列”的原则经常用于良好的层级关系设计，能减少界面的复杂程度。



(a) 横贯模式

(b) 非横贯模式

图 5 层级关系

本文根据用户使用移动设备的习惯将层级关系分类为：

- 横贯模式：如图 5(a)所示，移动设备屏幕被横向贯穿的线条分割成多块，主要的元素沿着屏幕自上而下分布；
- 非横贯模式：如图 5(b)所示，屏幕上有纵向的线条对功能区域进行切分。

移动应用交互界面的原始内容布局 XML 文件中包含界面显示的所有元素和相应的元素属性，比如位置和包含文字等。因为 XML 文件通常可以转化成树状数据结构，其中的点代表页面元素，文章[21]中提出了一种自底向上的启发式算法通过界面的树状结构来判断页面的层级关系类型，如算法 1 所示。

### 算法 1 确定层级关系

输入：界面元素树 T, 层级阈值 l, 屏幕大小(W, H)

1. 目标节点集合:  $A_{tar} \leftarrow \{\}$
2. 横贯节点数量:  $num_k \leftarrow 0$
3. 总节点数:  $tot \leftarrow 0$
4. for T 上的每个叶子节点 n do
5.      $tot \leftarrow tot + 1$
6.     找到 n 之上 l 的节点 n'
7.     n' 元素的大小为 (w', h')
8.     if  $w' \approx W$  then
9.          $num_k \leftarrow num_k + 1$
10.     end if
11. end for
12. if  $num_k \approx tot$  then
13.     界面为横贯模式
14. else
15.     界面为非横贯模式
16. end if

基于数据集的分析表明, 76% 的移动应用主要的交互界面是横贯模式, 说明了移动应用更倾向于这种层级关系模式, 这样也许更加符合用户的阅读习惯。

### 4.3 对比度

对比度是影响交互界面可读性和层级关系的重要指标之一, 交互界面通过颜色、大小和形状等要素建立对比度, 改善界面的可视度和可读性[28]。移动应用中的交互界面不仅要传递视觉信息, 还要支持方便高效的交互行为, 界面的对比度能有效影响界面的可用性。因为缺少移动应用对比度的具体标准与计算方法, 所以本文参考了网页设计规范[29]中的相关定义。

**定义 2** (移动应用交互界面对比度)

$$c(p) = \frac{L_{white} + 0.05}{L_d + 0.05}$$

其中  $L_{white}$  是交互界面上亮色的相对明度, 因为大部分界面的默认背景颜色是白色的, 所以就选取白色为默认的亮色;  $L_d$  是界面上主导颜色的相对明度, 文章[21]中提出了一个启发式算法来确定界面的主导颜色。相对明度定义如下。

**定义 3** (相对明度) 对于 sRGB 颜色,

$$L = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B$$

因为移动应用界面在某种程度上与网页的用处是类似的, 所以使用以上公式来确定移动应用界面的对比度也是在合理范围之内的。

### 4.4 平衡感

交互界面设计中的平衡感指的是合理布置元素与空间, 使页面上的任何一部分都不压过其他部分。由于文字是大部分移动应用的用户关注点, 本文提出了通过计算应用界面文字密度分布的方式来评价界面的平衡感。

**定义 4** (文字密度) 界面上特定点 pos 的密度可以定义为

$$\rho_e(pos) = \frac{T_e}{w_e h_e} - \alpha |pos - center_e|, \rho_e(pos) \geq 0$$

$$\rho_e(pos) \geq 0$$

$$\rho(pos) = \sum_{e \in E} \rho_e(pos)$$

其中 e 为交互界面元素集合 E 中的元素,  $T_e$  为元素 e 中的字符数量,  $w_e, h_e$  为元素 e 的长和宽。

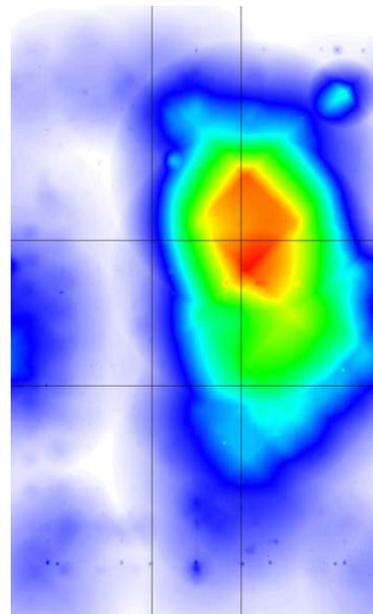


图 6 平衡感分布

图 6 是移动应用界面文字密度分布的热力图例子, 从图上可以显著看出屏幕上的文字密度的顶点在屏幕的右上角, 并且向四周以递减的趋势分布。为了方便表示, 本文使用文字密度最大处在交互界

面上的位置来代表交互界面的平衡感特征，本文将交互界面按照 4x4 分成 16 份，并按照 1-16 进行编号，文字密度顶点所在的区域即为平衡感特征。

#### 4.5 和谐感

和谐感指的是通过交互界面设计为用户提供一个舒服和具有美感的交互环境，来帮助用户学习和适应[30]。其中，颜色和和谐指的是在设计中通过颜色的布置来提升用户感受。颜色和和谐[31]包含两种基本模式：互补和谐，指相反的色调之间的互补关系；同色和谐，指类似的色调之间的和谐。

在 HSV 颜色模型（色调、饱和度和明度）中，色调通常是以角度  $[0^\circ, 360^\circ]$  的方式来表示的。本方法中将色调盘等分成 6 等份，每个部分为  $60^\circ$  代表一组相似的颜色。根据[31]，对于两个不同颜色，如果它们的色相属于同一部分或相邻部分，被认为是同色和谐；如果两个颜色所属的色相部分相差  $180^\circ$ ，则认为是互补和谐。

**定义 5**（交互界面和谐度）对于交互界面  $p$ ,

$$h(p) = \frac{\max \{N_0, N_{60}, N_{120}\}}{N_{tot}}$$

其中， $N_i$  是属于  $(i^\circ, (i + 60)^\circ]$  和  $((i + 180)^\circ, (i + 240)^\circ]$  的像素数量， $N_{tot}$  是像素总量。

## 5 分析特征关系

分析和理解交互界面设计视觉特征与用户反馈之间的关系，能帮助设计师与开发者更有针对性的优化移动应用的交互界面，提高用户体验。但视觉特征之间的关系相对复杂，比如交互界面的层级关系、平衡感和和谐感都会影响交互界面的一致性；另一方面，视觉特征影响用户反馈的方式也比较复杂，比如相对简单的交互界面设计会提高交互界面的一致性和简化层级关系，也许能提高用户对移动应用的审美评价，但简化的界面也可能使得应用无法快速满足部分用户的交互需求，降低移动应用的易用性。

为了厘清视觉特征和用户反馈之间的关系，本章节定义了两个不同用户反馈指标[21]，如下所示：

**定义 6**（下载量指标）：对于移动应用  $a$ ,

$$d_a = \log_{10} Down(a)$$

其中  $Down(a)$  为移动应用  $a$  的下载量， $d$  的取值范围为 2 到 10。

**定义 7**（人工评分指标）：对于移动应用  $a$ ,

$$S_a = Norm(\sum_{p \in P(a)} t(p))$$

其中  $t(p)$  为页面  $p$  的人工评分， $P(a)$  为移动应用  $a$  的页面集合， $Norm$  为归一化函数。

下载量指标相对综合，表示用户对于移动应用质量的总体评价，而人工评分指标代表用户对于交互界面设计的评价。

基于以上用户反馈指标，本文首先计算了特征与指标之间的相关系数，结果展示在表格 3 中。从结果中可以看出，下载量和人工评分之间的相关度比较低，只有 0.078，说明影响下载量的不只是交互界面设计，可能还有其他的因素发生作用。单个视觉特征和用户反馈指标之间并没有特别强的直接线性相关性，说明特征与指标之间的关系更加复杂。

表 3 相关系数

	下载量	人工评分
一致性	-0.064	0.22
层级关系	0.30	-0.016
对比度	-0.0039	0.25
平衡感	0.13	-0.066
和谐度	0.17	0.22
下载量	1.0	0.078
人工评分	0.078	1.0

为了进一步挖掘多个视觉特征与用户反馈之间的深层次关系，本文使用的是相对简单和直接的支持向量回归 (SVR) [32] 的方法。支持向量回归与支持向量机 (SVM) [33] 的分类方法类似，使用的核函数是径向基函数[34]，主要思路是在变化过的特种空间内调整超平面来最大化间距和最小化误差，从而发现特征和质量指标之间的关系。利用第 4 章中提出的 5 个量化特征对数据集进行训练与交叉验证，在实验过程中，随机的将数据集分成 70% 的训练集和 30% 的测试集，并经过 20 次的重复交叉验证来获得更加稳定的结果。

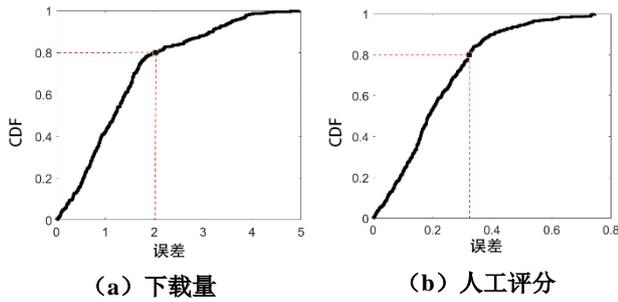


图 7 误差累计分布图

图 7(a)展示了针对下载量指标的预测误差分布，图 7(b)是针对人工评分指标的预测误差分布。对于下载量指标而言，结果显示平均预测误差 1.40，80%的测试点误差小于 2.0。对于人工评分指标而言，平均预测误差是 0.217，80%的测试点误差小于 0.3。总体而言，只使用简单的机器学习方法和默认参数的情况下，SVR 就能有效的感知移动应用界面视觉特征和用户反馈指标之间的关系。实验结果也证明了提出的定量特征和非线性的估计方法能用于进行用户反馈的估计。

在此基础上，本文进一步拓展分析模型，基于以下三种机器学习模型来分析界面视觉特征与下载量质量指标之间的非线性关系：

- **朴素贝叶斯**是应用最为广泛的机器学习分类算法之一，使用概率统计的方法对数据集进行学习和分类；
- **支持向量机**是一类监督学习分类方法，其原理是在样本空间内求解满足条件的超平面；
- **决策树**能够表示分类结果与参数概率之间的树状映射关系，树中每个分叉路径则代表的某个参数判断条件，而每个叶结点代表分类结果，对应从根节点到该叶节点的路径即特征分类标准。

模型训练与验证的结果展示在图 8 和表 4 中。

表 4 模型估计准确度

	朴素贝叶斯	支持向量机	决策树
准确度	0.381	0.775	0.835
平均误差	1.61	0.504	0.362

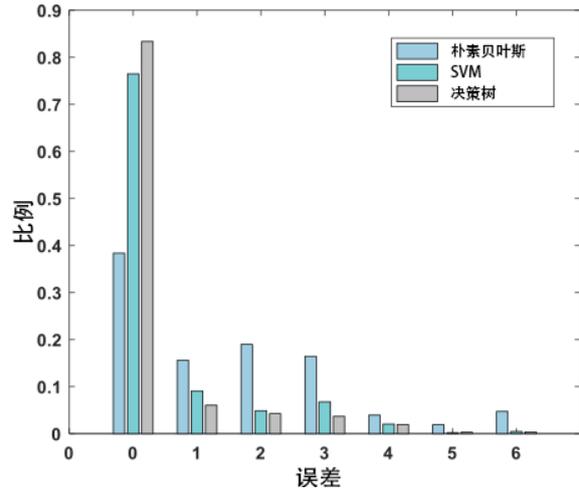


图 8 下载量估计误差

从图 8 和表 4 可以看出决策树在分类准确度上在三种方法中表现最好，能达到 83.5%的准确度，平均误差只有 0.362，表示决策树模型能相对准确的表示视觉特征与下载量指标之间的关系。

在决策树模型的基础上，可以计算出不同特征之间的不同权重，表 5 表示决策树模型中的特征权重，可以看出一致性、对比度和和谐感与下载量之间的关系更加密切，在交互界面设计中应该更加关注。

表 5 决策树模型特征权重

一致性	层级关系	对比度	平衡感	和谐感
0.406	0.0310	0.218	0.112	0.234

## 6 形成知识

第 5 章通过非线性的支持向量回归模型在交互设计视觉特征与用户反馈指标之间建立了关系，但设计师与开发者无法直接通过抽象的机器学习模型指导和优化移动应用的交互界面设计。为了产生具有可读性和可操作性的交互界面设计原则，本文通过对支持向量回归模型离散化，设置质量指标的特征阈值点，将支持向量回归模型转化为决策树，从而分析出关键的视觉设计特征边界[21]。

优质移动应用的质量指标阈值特征点设置为：

- 1) 移动应用下载量指标  $d_a > 8$ ；
- 2) 移动应用交互设计人工皮评分  $S_a$  处于数据

集整体前 10%。

通过对支持向量回归模型离散化，结合以上特征点，对模型结果进行可视化，可以得到图 9 为满足下载量指标阈值的样本点决策树，图 10 为满足人工评分指标阈值的样本点决策树。

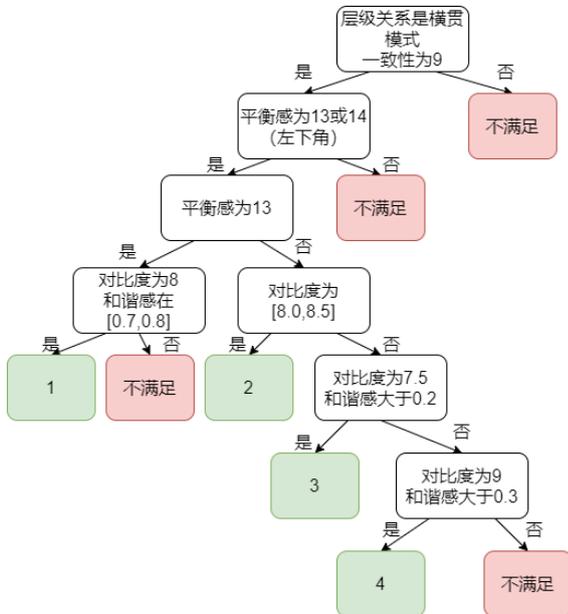


图 9 下载量指标决策树

进一步，对图 9 中的下载量指标决策树进行分析，存在 4 种满足阈值的情况如表 6。

表 6 下载量指标阈值条件

	①	②	③	④
一致性	9	9	9	9
层级关系	横贯	横贯	横贯	横贯
对比度	8	8~8.5	7.5	9
平衡感	13	14	14	14
和谐感	0.7~0.8	/	>0.2	>0.3

对所有情况的条件取交集后，可以得出在满足下载量指标阈值的情况下，交互界面设计应该满足以下条件：

- 一致性为 9，即移动应用内部有 9 种交互界面模式；
- 层级关系为横贯模式；
- 平衡感为 13 或 14，交互界面的元素和文字应该围绕着屏幕左下角进行布局；
- 和谐感在 0.7~0.8 之间。

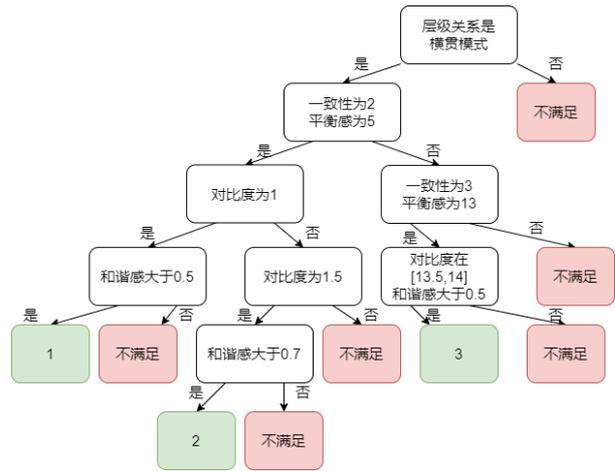


图 10 人工评分指标决策树

对图 10 的人工评分指标决策树模型进行分析，存在 3 种满足阈值的情况如表 7。

表 7 人工评分指标阈值条件

	①	②	③
一致性	2	2	3
层级关系	横贯	横贯	横贯
对比度	1	1.5	13.5~14
平衡感	5	5	13
和谐感	>0.5	>0.7	>0.5

条件取交集后对应的交互界面设计应该满足以下条件：

- 层次关系为横贯模式；
- 一致性为 2 或 3；
- 和谐感至少要超过 0.7。

通过分析发现，在两种用户反馈指标下，优质移动应用具有的共性交互界面视觉特征为 1) 层级关系为横贯模式；2) 和谐感在 0.7 以上。以上分析结果说明这两点可以作为移动应用交互界面设计的共性原则。

两种用户反馈指标对应的一致性的范围不同，因为下载量大的移动应用通常需要提供更丰富的内容，界面设计也就需要相对复杂，而使用更加简洁与和谐的设计语言能提升用户对交互界面本身的评价。根据移动应用的设计目的的不同，设计者可以相对应的调整交互界面的一致性，使得设计更加贴合用户需求。

以上的移动应用交互界面设计原则由设计理论知识和数据挖掘两方面驱动产生，既包含了现有工

作的经验，又包含了海量用户的共性审美倾向。通过数据与知识联合驱动的方法产生的交互界面设计建议是量化且具体的，更适应于指导实际场景下移动应用人机交互界面设计工作。

## 7 结论与未来工作

本文总结了面向移动应用人机交互面临的机遇与挑战，说明了交叉领域研究的必要性。在数据层面，本文提出的 AMACS 解决了移动应用交互数据获取难的挑战，高效建立了交互界面数据集；在模型层面，基于 5 个相关文献中提及最多的定性设计原则，本文提出了对应的交互界面设计视觉特征，并通过决策树等模型在将用户反馈和交互设计之间建立量化关系；在知识层面，本文基于量化模型，针对不同的交互设计评价标准，产生了实际可操作的交互界面设计原则。数据与知识驱动的移动应用交互界面设计能够有效解决交互设计理论研究复杂性的挑战，完善交互设计理论，提高设计标准的可操作性，充分融合了理论与技术两方面的研究成果。

基于现有的工作基础，下一步的研究工作可以分为以下几个方向：

- 在**构建数据集**上面，进一步完善 AMACS 工具，提高移动应用内容获取能力，拓展和丰富现有数据集，细化移动应用类别和应用场景；
- 在**量化视觉特征**方面，基于现有的数据与知识联合驱动的方法，拓展量化视觉特征的范围，进一步完善移动应用交互界面设计知识体系；
- 在**分析特征关系**方面，拓展交互界面设计相关的机器学习模型，基于用户反馈和交互设计之间的关系，研究和设计交互界面设计辅助工具，比如自动化界面布局与配色等；
- 在**形成知识**方面，研究人工智能辅助的移动应用交互界面设计，将交互设计理论与人工智能进行融合，优化和探索全新的交互设计流程。

## 参考文献

- [1] 金江波 当代新媒体艺术特征[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [2] 2020: What Happened in Mobile and How to Succeed in 2021.[EB/OL]<https://www.appannie.com/en/insights/market-data/2020-mobile-recap-how-to-succeed-in-2021/>
- [3] The 2016 us mobile app report. comscore. [EB/OL]. <https://www.comscore.com/Insights/Presentationsandwhitepapers/2016/The2016USMobileAppReport>.
- [4] Mobile Application Market Size & Share Report [EB/OL] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/mobile-application-market>
- [5] Wasserman AI. Software engineering issues for mobile application development. [C] In: Proceedings of the FSE/SDP Workshop on Future of Software Engineering Research. FoSER '10. Association for Computing Machinery; 2010:397-400.
- [6] Kamaruddin N, Sulaiman S, Selangor S A, et al. Understanding interface design principles and elements guidelines: A content analysis of established scholars. [C] Art and Design International Conference. 2016.
- [7] Fu Y, Jiang H, Zhang D, et al. Comparison of perceptual differences between users and designers in mobile shopping app interface design: Implications for evaluation practice.[J] IEEE Access, 2019, 7:2345923470.
- [8] Alsswey A, Al-Samarraie H. Elderly users' acceptance of mhealth user interface (ui) design-based culture: the moderator role of age. [J] Journal on Multimodal User Interfaces, 2020, 14(1):4959.
- [9] Human Interface Guidelines – Apple Developer [EB/OL]. <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/>
- [10] Material Design [EB/OL] <https://material.io/>
- [11] Grudin J. From Tool to Partner: The Evolution of Human-Computer Interaction. Synthesis Lectures on Human-Centered Informatics.[M] 2017;10(1):i-183.
- [12] Huang F, Canny JF, Nichols J. Swire: Sketch-based User Interface Retrieval. [C] In: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM; 2019:1-10.
- [13] Liu TF, Craft M, Situ J, Yumer E, Mech R, Kumar R. Learning Design Semantics for Mobile Apps. [C] In: The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '18. ACM Press; 2018:569-579.

- [14] Deka B, Huang Z, Franzen C, et al. Rico: A mobile app dataset for building data-driven design applications. [C] Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM, 2017: 845854.
- [15] Vaccaro K, Agarwalla T, Shivakumar S, Kumar R. Designing the Future of Personal Fashion. [C] Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM; 2018:1-11.
- [16] Mahmood R, Mirzaei N, Malek S. Evodroid: Segmented evolutionary testing of android apps.[C] Proceedings of the 22nd ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering. ACM, 2014: 599-609.
- [17] Morgado I C, Paiva A C. The impact tool for android testing.[C] Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 2019, 3(EICS):1-23.
- [18] Jiang Z, Yin H, Luo Y, Gong J. AMACS: Automated Mobile Application Content Sensing. [J] IEEE Trans Comput Soc Syst. 2020;7(1):275-284.
- [19] Appium: Automation for Apps. [EB/OL]. <http://appium.io/>
- [20] App annie. [EB/OL]. <https://www.appannie.com/en/>
- [21] Jiang, Zexun, Hao Yin, Yan Luo, Jiaying Gong, Yuannan Yang, and Manshan Lin. Quantitative Analysis of Mobile Application User Interface Design. [C] In 2019 IEEE 38th International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), pp. 1-8. IEEE, 2019.
- [22] Jiang, Zexun, Ruifeng Kuang, Jiaying Gong, Hao Yin, Yongqiang Lyu, and Xu Zhang. "What makes a great mobile app? A quantitative study using a new mobile crawler." [J] In 2018 IEEE Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE), pp. 222-227. 2018.
- [23] Wood D. Basics interactive design: Interface design: An introduction to visual communication in ui design.[M] Bloomsbury Publishing, 2014.
- [24] Lee S H, Boling E. Screen design guidelines for motivation in interactive multimedia instruction: A survey and framework for designers.[J] Educational technology, 1999, 39(3):19-26.
- [25] Niu, Xia-mu, and Yu-hua Jiao. "An overview of perceptual hashing." [J] Acta Electronica Sinica 36, no. 7 (2008): 1405-1411.
- [26] Du, Ling, Anthony TS Ho, and Runmin Cong. "Perceptual hashing for image authentication: A survey." [J] Signal Processing: Image Communication 81 (2020): 115713.
- [27] Schubert, Erich, Jörg Sander, Martin Ester, Hans Peter Kriegel, and Xiaowei Xu. "DBSCAN revisited, revisited: why and how you should (still) use DBSCAN." [J] ACM Transactions on Database Systems (TODS) 42, no. 3 (2017): 1-21.
- [28] Junus I, Santoso H, Isal R Y, et al. Usability evaluation of the student centered e-learning environment [J/OL]. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 2015, 16(4). <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/2175>.
- [29] Andrew Kirkpatrick A C M C, Joshue O Connor. Web content accessibility guidelines (wcag) 2.1.[Z] W3C Recommendation 05 June 2018
- [30] Lee S H, Boling E. Screen design guidelines for motivation in interactive multimedia instruction: A survey and framework for designers.[J] Educational technology, 1999, 39(3):19-26.
- [31] Westland S, Laycock K, Cheung V, et al. Colour harmony.[J] JAIC-Journal of the International Colour Association, 2012, 1.
- [32] Drucker H, Burges C J, Kaufman L, et al. Support vector regression machines [J] Advances in neural information processing systems. 1997: 155-161.
- [33] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks. [J] Machine learning, 1995, 20(3):273-297.
- [34] Suykens J A, Vandewalle J. Least squares support vector machine classifiers.[J] Neural processing letters, 1999, 9(3):293-300.