结合用户导向和遗传算法的医疗终端界面布局设计

李源枫¹⁾, 吴群^{2)*}, 张剑³⁾, 牛蓉²⁾, 朱一凡⁴⁾, 宗婕聪²⁾

¹⁾ (浙江农林大学暨阳学院 绍兴 311800)

²⁾ (浙江理工大学艺术与设计学院 杭州 310000)

³⁾ (浙江外国语学院 杭州 310000)

⁴⁾ (南京航空航天大学自动化学院 南京 210000)
(wuq@zstu.edu.cn)

摘要: 为了优化公共终端界面设计, 提升用户体验, 提出一种结合用户导向和遗传算法的界面布局方法。该方法将用户主观认知与客观视觉原则结合后转化为布局指标, 以界面布局方案的指标为自变量, 用户体验值为因变量, 将界面设计布局指标与主观用户体验之间的认知关系建模为可计算的函数。在通过切片树方式对界面布局特征编码后进行展开解空间搜索, 具体步骤包括生成树结构、确定切割方式获得最佳切片树和调整元素节点找到最佳布局。以医疗公共终端中挂号界面和交款界面为例, 使用该方法对其进行布局优化, 最后使用可用性测试进行验证。实验结果表明, 经过优化后的界面布局在各可用性指标上与初始界面的相比有明显的提升, 证明了该方法在医疗终端界面设计场景的应用中具有有效性; 此外, 这类生成式辅助设计有助于减轻设计师的工作量, 提升工作效率。

关键词: 医疗公共终端界面布局; 用户导向; 遗传算法; 可用性测试; 切片树

中图法分类号: TP391.41 **DOI:** 10.3724/SP.J.1089.2021.18338

Layout Design of Medical Terminal Interface Combining User-Oriented and Genetic Algorithm

Li Yuanfeng¹⁾, Wu Qun^{2)*}, Zhang Jian³⁾, Niu Rong²⁾, Zhu Yifan⁴⁾, and Zong Jiecong²⁾

¹⁾ (Jiyang College of Zhejiang A&F University, Shaoxing 311800)

²⁾ (School of Art and Design, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310000)

³⁾ (Zhejiang International Studies University, Hangzhou 310000)

⁴⁾ (College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210000)

Abstract: In order to achieve the optimal interface design of the public terminal while improving user experience, this paper proposes an interface layout method that combines user orientation and a genetic algorithm. According to this method, the subjective cognition of users and their objective vision principle are integrated before conversion into a layout index. With the index of the interface layout scheme taken as the independent variable and the user experience value as the dependent variable, the cognitive relationship between the interface layout index and subjective user experience was modeled as a computable function. The expansion solution space was searched after the interface layout features were encoded using the slicing tree method. The specific steps include generating tree structure, determining the cutting method to obtain the

收稿日期: 2020-4-29; 修回日期: 2021-02-26. 基金项目: 国家自然科学基金(61972361); 教育部人文社科基金(18YJC760099); 杭州市哲学社科规划项目(M21JC073). 李源枫(1990—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为用户体验设计、人机交互; 吴群(1978—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, CCF 会员, 论文通讯作者, 主要研究方向为工业设计、人机工程、可用性研究; 张剑(1978—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为机器学习、多媒体信息处理、神经网络; 牛蓉(1994—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为可用性研究、工业设计; 朱一凡(1997—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉; 宗婕聪(1992—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为产品设计。

best section tree, and adjusting the element nodes to identify the most satisfactory layout. With the registration interface and payment interface of the medical public terminal as an example, this method was applied to optimize its layout and then verified through a usability test. According to the experimental results, the usability indicators of the optimized interface layout was improved more significantly compared with the initial interface, suggesting the effectiveness of this method in the application of medical terminal interface design scenarios. Moreover, the generative auxiliary design of this kind is conducive to reducing the workload placed on designers and to enhancing efficiency.

Key words: medical terminal interface layout; user-oriented; genetic algorithm; usability test; slicing tree

许多用户在使用智能公共终端时发现诸多终端界面的可用性较低,如用户在操作医疗类公共终端界面时往往需要在服务人员的指导下完成。这类现象在一定程度上是由于对公共终端界面布局混乱,操作烦琐等原因导致的。这意味着智能公共终端未能真实地根据用户需求进行界面设计。因此,如何基于用户导向对公共终端界面进行布局设计,已经成为提高界面操作可用性的重要手段,也是当下的研究热点。

目前,针对用户界面的设计改良主要有2个方向:一是从通过主观量表等方式搜集用户主观认知数据改良用户界面,以提高可用性;二是从利用算法或生成式设计等技术手段对界面展开布局设计。前者,Alves等^[1]在设计前对用户的思维过程和行为有关的某些心理因素进行了量化评估;Quinn等^[2]通过测试来预测用户动作或纠正输入,以辅助界面设计、更广泛地对基于用户偏好的平台进行定义。上述研究很好地阐述了界面布局可用性的重要性,但分析过程只从用户认知角度展开,研究结果受被试者主观意愿影响较大。后者有学者运用算法对设施布局问题进行计算,如Tate等^[3]成功地使用数学编程技术建模并增强了约束条件;文献[4]运用两段式遗传算法对设备电路面积折中优化,得到合理折中解。这证明从客观技术角度解决布局问题是可行的,但不足之处在于缺少基于用户角度的主观认知的考虑。

针对公共终端界面布局问题,本文提出一种结合用户导向与遗传算法的界面布局方法。通过建立界面设计布局指标与主观用户体验之间的映射,利用遗传算法模拟种群的进化过程,生成界面布局方案集。并以医疗终端界面自助挂号界面和付款界面布局设计为例,展开方案集的生成;最后选取60位用户,对生成的方案集和初始方案进行可用性评估,为后续界面设计提供依据。

1 相关工作

结合用户导向与遗传算法的界面布局方法主要涉及用户体验设计规则和遗传算法的概念。本文将从这2个方面介绍相关工作。

用户体验设计主要的内容为用户界面,在行业的发展过程中诞生了许多通用的设计准则。Sanders等^[5]建立了界面元素排列的基本设计规则,即要求在操作顺序中使用的界面元素必须相对于这些顺序进行定位,要求元素的排布要符合用户的操作顺序。接近相容性规则^[6]要求同任务操作相关的元素应相邻或靠近,并且考虑界面中每个元素的使用频率。因此,经常使用的元素必须占据便于快速操作的位置,高频元素所占据的位置和面积要方便访问和使用。Cooper等^[7]提出的极简规则要求目标导向的交互设计反映用户的心智模型,消除界面中不必要的复杂度。但是,类似关于用户体验的研究通常在智能手机或是车载界面等个人设备上展开,而在公共终端界面设计方面的相关研究较少。

遗传算法^[8]是一种基于“优胜劣汰”的达尔文生物进化论的并行、随机、自适应的优化算法。Diego-Mas等^[9]使用遗传算法对界面布局进行优化,并成功地使用眼动仪和鼠标移动进行验证。此外,文献[10]将遗传算法运用到首饰设计中,基于用户偏好生成了新的首饰方案。Srinivas等^[11]的研究证明了切片树和遗传算法的组合方法可用于优化界面布局中控件和显示的布局,对本文具有一定的借鉴意义。

关于界面设计的研究非常多,本文只介绍医疗公共终端界面布局问题,提出结合用户导向和遗传算法的设计方法。该方法在传统遗传算法的基础上,融合用户对医疗界面可用性问题的调研结果,并通过切片树的方法将主观认知问题转变成计算指标,通过计算获得最佳布局方案集。

2 本文方法

结合通用布局规则 and 用户调研结果获得基于用户导向的医疗布局原则, 遗传算法从技术角度对界面布局进行计算, 二者结合能更科学地解决界面布局设计问题。

将搜集到的用户对医疗终端界面的主观认知和文献中的设计规则相结合, 建立基于用户导向的布局原则。使用切片树方法对界面布局原则和方案进行转换, 形成相应布局指标。以界面布局方案的指标为自变量, 用户体验值为因变量, 建立适应度函数。在对布局特征进行编码后, 进入遗传算法的计算流程中, 解码后得到优化方案集。最后, 通过对初始方案和生成方案进行可用性对比测试得出结论。图 1 所示为本文方法流程图。

图 1 用户导向的界面布局优化流程

Step1. 制定基于用户导向的医疗布局设计原则。根据用户主观调研结果结合通用布局原则制定医疗场景下的界面布局原则。

Step2. 通过切片树建立布局方案的计算模型, 布局原则的计算指标。

Step3. 建立适应度函数。根据设计原则与编码方式建立适应度函数。

Step4. 布局特征编码。将界面中的元素进行编码, 将设计规划问题转化成数学问题。

Step5. 遗传算法操作过程。通过适应度函数计算个体适应值, 并按照规则对种群执行遗传操作; 解码后得到优化方案集。

Step6. 可用性测试。优化方案集与初始方案进行可用性对比试验。

2.1 建立基于用户导向的医疗界面布局原则

为了对当下医疗终端界面布局设计进行可用性问题采集, 以现有用户认为可用性较差的浙江大学医学院附属第二医院的医疗自助服务终端为调查对象。评估内容按照布局模块划分标头、导航、底行栏、选择类型、确定与翻页键以及内容共 6 个模块; 并根据模块搜集可用性评估问卷 (post-study system usability questionnaire, PSSUQ)^[12], 通过线上渠道下发问卷 315 份, 其中有效问卷 298 份。最终获得终端界面布局可用性问题如表 1 所示。由于这些可用性问题与文献[5-7]有一定相似性, 因此可使用通用设计规则解决表 1 中的问题, 对应关系如表 2 所示。

表 1 医疗终端界面布局可用性问题

模块	可用性问题(来自调研结果)
标头	图形展示面积占比过大, 无效信息过多
导航	引导信息不明显, 无实质功能, 逻辑混乱
底行栏	无效信息过多
选择类型	操作步骤烦琐且混乱, 用户易误点, 需要减少步骤, 无关图标易误导用户
确定与翻页键	医疗终端老年人使用较多, 按键不明显且与内容选择按键混淆, 对元素大小的适配要求
内容	内容排列缺乏规律, 缺乏层次感, 内容类目过多, 寻找目的内容按键时间过长

表 2 医疗终端界面布局可用性问题归类及布局规则对应表

对可用性问题的归类(调研结果)	解决可用性问题的布局规则(来自文献)
医疗终端老年人使用较多, 重要的、高频访问的功能按键面积比例需要调整	接近相容性规则
医疗类界面对有效性要求较高, 当下引导信息混乱, 易造成用户逻辑混乱	元素排列顺序规则
操作步骤烦琐, 同一操作任务下, 连续按键不易寻找, 需要进行简化	极简规则
界面主体内容排列缺乏规律, 层次感较差, 寻找目标元素时间较长	接近相容性规则
	接近相容性规则
	元素排列顺序规则

结合用户医疗界面主观体验反馈, 以及界面元素排列、接近相容性规则等通用布局设计规则, 提出基于用户导向的医疗布局设计原则如下:

原则 1. 操作流程频繁访问的界面元素在布局中必须彼此靠近。医疗服务终端中选择类型模块、确定翻页模块、导航模块使用频率较高, 需要彼此

靠近。

原则 2. 在操作同一任务时,元素之间距离尽量相互靠近。在进行类型选择的任务中,类型选择按钮、点击内容按钮与确定翻页按钮作为前后点击行为,元素需要尽量相互靠近。

原则 3. 元素的面积及比例大小应根据其访问和使用的频率确定。医疗场景下,需要降低患者对界面的认知成本。因此,类型选择模块(挂号选择、科室选择模块)、导航模块、确定与翻页模块由于点击频率较高,区域面积和按钮面积需要适当放大。

原则 4. 在操作过程中,可操作按钮布局放置在显著的区域。在医疗终端界面中有内容模块的区域尽量放置在界面的中心显著区域;反之,仅作为信息展示的非功能模块则放置在周边。

2.2 建立数学模型及计算流程

上述基于用户导向的医疗界面布局原则是整合用户的主观需求和客观设计原则后建立的。为了将其量化并转化为可进行数学建模的指标,引入切片树的方法对布局问题进行编码^[13],将布局原则转变为切片树相应的计算指标几何势 p_G 和相关势 p_R 。界面中的元素除了需要遵循几何限制,还必须保持交互成本最小的方式来获得平面区域上元素的布局^[14],在本文中用户所消耗的交互成本越低,该方案的用户体验值 E_f 就越好。

因此,在数学建模的过程中,整个模型的输入 X 为基于各布局原则的布局方案所对应的计算指标 (p_G 和 p_R); 输出 Y 为用户体验值 E_f 。最后,通过遗传算法求得整个函数为求 E_f 极小值所对应的布局指标 (p_G 和 p_R) 的值,最终解码得到优化后各元素布局方案集。该部分的流程如图 2 所示。

2.2.1 建立基于切片树的布局指标体系

2.2.1.1 建立布局方案的数学模型

为解决布局问题,采用两阶段遗传算法^[14-15],每个布局方案都可以转换为对应的切片树。图 3 所示为医疗挂号机初始界面对应分割结构和对应切片树,该结构由 6 个不同形状的非重叠分区组成,也称为元素;图中带有数字编号的圆为元素,也称为叶子,切割节点用方块表示;切割方式为水平切割 h 或垂直切割 v ,而切割比例控制着元素的长宽比。通过修改内部节点中进行切割的类型,可以生成不同的布局。生成一个切片树的基本步骤如下:

Step1. 生成树的结构(页面结构)。

Step2. 确定切割方式,获得最佳切片树后(决定切

图2 建立数学模型及计算流程

a. 初始界面元素分割

b. 初始界面对应切片树

图3 医疗挂号机初始界面结构布局与对应的切片树

割方式即横切或纵切)。

Step3. 调整元素数值(节点微调),即调整各元素切割比例,最终找到最佳布局。

2.2.1.2 建立布局原则的计算指标

除布局方案本身与切片树的转换外,由于各布局元素是有取值范围的,即布局的几何限制^[14],同时又要满足基于用户导向的医疗布局界面原则。因此引入切片树的几何势 p_G 和相关势 p_R 概念,

可通过切片树完成对布局界面原则的指标转换与计算.

(1) 相关势 p_R

采用相关势 p_R 指标用于测量元素间的相邻程度以及用户操作时的便捷程度. 其在物理上表现为当执行同一任务时, 要求几个相关按钮相邻, 同时用户在尽量少的步骤内完成操作. 具体方法是将用户行为路径步骤数转换为切片树结构元素之间的步长, 使得各元素两两之间相邻概率与步长倒数的乘积之和的值, 即切片树结构中元素之间的步长最小化, 各元素两两之间相邻的概率最大化. 相关势的功能影响各元素排列, 因此原则 1 和原则 2 中基于界面元素间的顺序和距离均与其相关. p_R 的表达式为

$$p_R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (P(ij) \cdot f(ij)) \quad (1)$$

其中, $f(ij)$ 表示在切片树结构上元素 i 到 j 的步长的倒数; $P(ij)$ 表示元素 i 和 j 的相邻概率; n 表示元素数量. 当元素之间相邻概率 $P(ij)$ 越大, 步长 $1/f(ij)$ 越小, 那么 p_R 值越大.

(2) 几何势 p_G

采用几何势指标评估一个切片树生产其元素符合几何限制的布局能力^[14]. 其在物理上表现为当限制越低时, 切割点滑动范围越大, 获得优化切割的可能性也越高. 具体表现为扩大布局区域, 减少约束条件, 如增加元素高宽比的范围.

由于几何势所表现的是对布局元素的几何限制, 这与上文中界面布局原则 3 形成对应, 所相关的阶段为切割比例调整阶段. 原则 4 中将可操作按钮布局放置在显著区域的限制要求, 也与几何势对应. 由于原则 4 必须在切割一开始就展开, 且影响切片树的生成, 因此它所处阶段在改变树的结构、切割方式 2 个阶段. 当对界面进行最优化的切割时, 提供较低不合规性的切片树的几何势将较低, 其表达式为

$$p_G = \min(U_h(\partial), U_v(\partial)) \quad (2)$$

其中, p_G 是基本树的几何势; ∂ 是初始域比率; U_h 和 U_v 是分别对初始域进行水平和垂直切割的情况下几何限制的不符合的总和. 当 U_h 和 U_v 的值越小时, p_G 的值越小.

几何势和相关势能有效地表达切片树的结构、切割方式和切割比例, 也解决了界面布局的几何限制问题. 因此, 基于用户导向的布局原则与切片树各个阶段关联及计算指标的对应关系如表 3 所示.

表 3 基于用户导向的布局原则与切片树指标的对应

原则	切片树生成所属阶段	切片树的计算
1	改变树的结构	p_R
2	改变树的结构	p_R
3	切割比例	p_G
4	改变树的结构、切割方式	p_G

综上所述, 基于用户导向的医疗界面布局原则以及布局方案本身可通过切片树工具从认知问题转化为数学建模问题.

2.2.2 建立评估函数

在完成将用户导向的布局原则转换成切片树指标后, 通过建立评估函数满足医疗终端界面布局各元素之间的交互关系消耗值, 以保持在一定水平^[14]. 基于切片树的几何势 p_G 和相关势 p_R 构建评估函数 $E_f(p_G, p_R)$, E_f 表示用户操作界面时的消耗值即用户体验值.

用户体验值 E_f 是界面布局方案指标 p_R 和 p_G 之间的映射, 整个函数为求 E_f 极小值时所对应的 p_R 和 p_G , 解码后得到元素布局方案集. 当 p_G 越大, p_R 值越小时, 才能保证用户体验值 E_f 越小. 当用户执行任务时, 用户路径越短或者所消耗时间越少, 则消耗值越低, 用户体验越好. 评估函数 $E_f(p_G, p_R)$ 表达式为

$$E_f(p_G, p_R) = c_G \cdot p_G + c_R \cdot \frac{1}{1 + p_R} \quad (3)$$

其中, E_f 为用户体验值(因变量), p_G 和 p_R 为界面布局方案指标(自变量); c_G 和 c_R 分别是几何准则和关系准则之间的相对重要性的加权系数. 其中, 分母中的加 1 是为了防止整个分母为 0.

2.2.3 编码与计算过程

根据切片树对医疗界面布局进行编码, 随后进入遗传算法流程. 界面中每个元素编码代表一个基因, 一个界面布局方案为一个个体, 多个界面布局方案组成一个种群. 与第 2.2.1 节切片树形成过程相同, 编码的方法也是将布局解构为 3 个部分的字符串, 分别表示树结构编码、切割方式编码和切割比编码. 首先, 对切片树的树结构进行编码, 树结构编码共有 $n_{\text{Block}} + n_{\text{Device}}$ 个位置, 即元素(叶子)的数量 n_{Block} 加上节点(非叶子节点)的数量 n_{Device} , 如在元素的位置编码为 1, 在节点的位置编码为 0; 切割方式编码信息表示每一次切割是横切或纵切, 如将横切 h 编码为 0 或纵切 v 编码为 1, 切割方式的编码位数由节点数 n_{Device} 决定; 根据

上述2步可获得完整的树,而切割比决定了元素的面积大小和形状,其编码为每个元素的长宽比值,即每个元素的 ϑ 值,编码位数为元素的数量 n_{Block} 。最终,将整个布局方案转换成了字符串,完成编码,如图4所示。

图4 方案编码组成示意图

在完成了编码后进入计算过程。在遗传算法优化流程中,每一组编码都对应一个布局方案,使用目标函数评估每个方案的用户体验值 E_f 。操作目标为淘汰元素间产生的较大消耗值的个体,而消耗值较低的个体进入下一代进化流程中。当函数收敛后得到最小消耗值的种群,再对其映射的布局指标解码,以获得优化方案。遗传算法的算法流程如图5所示。

图5 遗传算法流程

3 实验

3.1 界面布局的生成

3.1.1 选取实验对象

以浙江大学第二附属医院的医疗自助终端作为研究载体。由第2.1节可知,在对所搜集的关于

医疗终端问卷整理汇总后,发现出现可用性问题最多的是科室选择界面,故选取挂号界面进行布局优化。如图6所示,科室选择界面(高40.5 cm,宽51 cm)分成6类模块元素。本文只对界面布局进行研究,不考虑色彩的影响,并且将其还原成高保真原型。

a. 初始界面

b. 初始界面的高保真原型

图6 初始界面及其高保真原型

3.1.2 参数设置

算法的界面优化配置环境是在 Jupyter-Notebook 6.03 中进行,由 Python 语言编写实现界面优化。界面布局优化的初始种群根据界面特征元素随机产生 8 个,采用轮盘赌法选择、交叉和变异;交叉率和变异率均为 0.3,点击调试对其进行自动排布,以形成最优化布局,程序迭代代数设置为 2 000 代。

3.2 可用性对比测试

生成优化界面后,需要通过可用性测试对初始界面布局与生成的界面布局集进行可用性对比,以验证该方法的有效性。

实验要求被试意识清楚,能与调查员进行有

效沟通,共选取 60 名被试.为了排除年龄和性别因素的影响,其中,年龄大于等于 50 岁的老年人 30 人;20~50 岁的中青年 30 人;男性人数为 32 人,女性 28 人,被试人数分布如表 4 所示.在实验开始前,研究人员给被试讲解当前界面的操作任务及各元素的功能,在确保每位被试明确任务流程及功能后进入操作过程.在选定测试任务时,主要考虑各功能的使用频率和普遍性,选择了较为常见的眼科与较为不常见的中药门诊挂号任务,以及最常用的回到主页功能,操作任务如表 5 所示.

表 4 被试人数分布

性别	老年人	中青年
男	14	18
女	16	12

表 5 被试操作任务

编号	任务
1	完成一个上午眼科门诊的专家号
2	完成一个下午中药门诊的普通号
3	回到主页

可用性评估标准使用的是国际通用指标^[16],统计被试完成任务率(有用性),每个被试的测试绩效即完成任务时间(有效性),系统满意度.其中,系统满意度量表(system usability scale, SUS)^[16]通过 10 个与满意度相关的结构性问题进行分数选择,每题选项为 5 分制的 0~4 分(0 分为非常不满意,4 分为非常满意,共 40 分).被试完成任务后,对每道题所得分值相加后转变为百分制,以获得最终 SUS 分值.

4 实验结果

4.1 布局方案的生成结果

当评估函数 $E_f(p_G, p_R)$ 求得值为最小值时,程序输出理论最优解和特征元素布局.如图 7 所示,纵坐标代表用户体验值 E_f ,横坐标代表切片树遗传算法的迭代次数;从图 7 中可得在迭代到 709 代时曲线波动开始减缓;在迭代到 1411 代时曲线开始趋于收敛,得到最优解为-4.1801719.根据适应度值随机共生成的 8 个科室界面布局优化解,其中的数字为不同模块的标号,方案如图 8 所示.

4.2 可用性测试对比结果与分析

由于单独将生成布局方案集进行可用性对比

图 7 科室界面布局得到方案的收敛过程

图 8 科室界面优化布局方案

没有意义,且为了避免除布局因素外其他因素干扰,因此使用高保真原型作为实验载体进行可用性对比测试.对比实验的载体为方案 1~方案 8 的高保真原型和初始界面,如图 9 所示.

表 6 中的统计结果表明,在有用性方面,除了初始界面(96.9%)、方案 4(87.1%)、方案 5(80.4%)

图 9 各方案及初始界面的高保真原型

外, 被试均完成了操作任务, 其余所有方案有用性均为 100%; 在有效性方面, 使用时间进行绩效统计, 单位为秒, 除了方案 4(9.12s)和方案 5(8.91s)外, 其余通过计算机生成的方案绩效均优于初始方案, 原因可能是被试不习惯将确定与翻页模块放置在上方, 导致绩效测试结果不理想; 在满意度方面, 除了方案 4(66.1)、方案 5(69.2)外, 其余方案均高于初始方案. 方案 8 的数据(100%, 4.99s, 84.4)在 9 个方案中最优.

此外, 为了分析年龄因素对测试结果的影响, 研究人员对不同年龄段用户的平均绩效进行对比分析. 表 7 的统计结果表明, 优化后的方案对老年人的影响较大, 即有效性提升较快; 而中青年人的

测试绩效略有提升. 这可能是由于中青年人已习惯使用电子产品, 对界面设计的容错率较高, 而通过优化改良后的整体布局对老年人更加友好, 因此绩效有大幅提升. 在显著性方面, $P=0.0071$, 小于 0.05, 说明年龄因素对布局方案的有效性(绩效)具有显著差异. 在绩效表现方面, 方案 8 在分年龄段和整体的测试条件下绩效均是最优的, 因此方案 8 为最优布局, 如图 10 所示. 此外, 本文还使用该方法对医疗终端的付款界面进行优化, 其初始界面优化后同样可以获得可用性良好的界面布局.

综上所述, 本文提出的结合用户导向和遗传算法对初始方案进行优化布局、生成的界面布局可用性表现良好, 证明了该方法有效性.

表 6 各方案可用性指标对比

方案	有用性/%	有效性(绩效)/s	SUS 满意度
初始	96.9	7.35	74.6
1	100.0	6.31	75.9
2	100.0	7.23	75.2
3	100.0	6.67	84.2
4	87.1	9.12	66.1
5	80.4	8.91	69.2
6	100.0	5.33	82.4
7	100.0	6.67	77.3
8	100.0	4.99	84.4

表 7 年龄因素对方案有效性的影响分析

方案	有效性(绩效)/s		P
	老年人	中青年人	
初始	8.56	6.14	0.0071
1	7.50	5.12	
2	8.33	6.13	
3	7.98	5.36	
4	11.26	6.98	
5	11.00	6.80	
6	5.87	4.79	
7	6.67	6.25	
8	5.42	4.56

a. 方案 8

b. 方案 8 对应的切片树

图 10 最佳优化布局方案

5 结 语

本文提出结合用户导向和遗传算法界面布局方法,将界面设计布局指标与主观用户体验之间的认知关系建模为可计算的函数,通过计算流程自动生成优化布局.在对初始布局方案和生成布局方案进行可用性对比测试后得出以下结论:

(1) 使用结合用户导向和遗传算法的布局方法所生成的布局方案在可用性指标上优于初始界面.

(2) 切片树结合遗传算法的方法在医疗场景下能给出高可用性的界面方案,证明该方法的有效.

(3) 该类计算机辅助生成式设计方法可以作为设计辅助工具提升设计效率.

(4) 医疗场景下,界面布局的优化对老年人影响较大,各项可用性指标有明显提升.

参考文献(References):

- [1] Alves T, Natálio J, Henriques-Calado J, *et al.* Incorporating personality in user interface design: a review[J]. *Personality and Individual Differences*, 2019, 155: 109709
- [2] Quinn P, Cockburn A. Loss aversion and preferences in interaction[J]. *Human-Computer Interaction*, 2020, 35(2): 143-190
- [3] Tate D M, Smith A E. Unequal-area facility layout by genetic search[J]. *IIE Transactions*, 1995, 27(4): 465-472
- [4] Bu Dengli, Jiang Jianhui, Luo Wenlang. Two-phase GA based area and SER trade-off algorithm for MPRM circuits[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2017, 29(10): 1924-1934(in Chinese)
(卜登立, 江建慧, 罗文浪. 基于 2 个阶段遗传算法的 MPRM 电路面积与 SER 折中优化[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2017, 29(10): 1924-1934)
- [5] Sanders M S, McCormick E J. *Human factors in engineering and design*[M]. 6th ed. New York: Tata McGraw-Hill, 1982
- [6] Wickens C D, Carswell C M. The proximity compatibility principle: its psychological foundation and relevance to display design[J]. *Human Factors: the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1995, 37(3): 473-494
- [7] Cooper A, Reimann R, Cronin D, *et al.* About Face 4: the essentials of interaction design[M]. 4th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2015: 18-24(in Chinese)
(Cooper A, Reimann R, Cronin D, *et al.* About Face 4: 交互设计精髓[M]. 倪卫国, 刘松涛, 薛菲, 等译. 4 版. 北京: 电子工业出版社, 2015: 18-24)
- [8] Goldberg D E, Holland J H. Genetic algorithms and machine learning[J]. *Machine Learning*, 1988(3): 95-99
- [9] Diego-Mas J A, Garzon-Leal D, Poveda-Bautista R, *et al.* User-interfaces layout optimization using eye-tracking, mouse movements and genetic algorithms[J]. *Applied Ergonomics*, 2019, 78: 197-209
- [10] Zhang Kaiwen, Shi Jian. Research on jewelry design based on genetic algorithms[J]. *Machine Design & Research*, 2019, 35(5): 108-111+125(in Chinese)
(张凯文, 施健. 基于遗传算法的首饰设计研究[J]. *机械设计与研究*, 2019, 35(5): 108-111+125)
- [11] Srinivas M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1994, 24(4): 656-667
- [12] Lewis J R. Psychometric evaluation of the post-study system usability questionnaire: the PSSUQ[C] // *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting*. Atlanta: Proceedings of the Human Factors Society, 1992: 36: 1259-1260
- [13] Klausnitzer A, Lasch R. Optimal facility layout and material handling network design[J]. *Computers & Operations Research*, 2019, 103: 237-251
- [14] Diego-Mas J A, Santamarina-Siurana M C, Alcaide-Marzal J, *et al.* Solving facility layout problems with strict geometric constraints using a two-phase genetic algorithm[J]. *International Journal of Production Research*, 2009, 47(6): 1679-1693
- [15] Erfani B, Ebrahimnejad S, Moosavi A. An integrated dynamic facility layout and job shop scheduling problem: a hybrid NSGA-II and local search algorithm[J]. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 2018, 16(4): 1801-1834
- [16] Nielsen J. Usability inspection methods[C] // *Proceedings of Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*. New York: Association for Computing Machinery Press, 1994: 413-414