基于老年用户感知能力的人机界面视觉匹配研究

周橙旻[1]，黄婷[1]，罗欣[1]，Jake Kaner[2]
（1.南京林业大学，南京 210037；2.诺丁汉特伦特大学，诺丁汉 NG1 4FQ）

摘要：目的 构建老年用户感知能力梯度，在人机界面交互过程中确定老年用户视觉匹配范围，帮助老年用户准确识别用户界面信息，给研发设计人员提供适老化改造的参数依据。**方法** 老年用户在识别界面信息时往往会受到尺寸和数量的影响。通过控制变量“图表尺寸”和“图表大小”，测试老年用户在 25 种组合下对页面信息的辨识和搜集能力，并提出综合绩效指标 GP。**结果** 综合老年用户反应时长和正确率，老年用户在人机交互过程中摘取信息时，图标间距小于图标尺寸 2 倍距离的情况下，边长为 32~48 px 的图标，老年用户的反应时长较短；边长低于 32 px 的图标，老年用户的反应时间会有所增加；边长高于 48 px，受图标间距影响较大；老年用户的视觉搜索能力与图标尺寸呈正相关联系；当图标间距尺寸大于图标尺寸 1 倍时，GP 会在图标尺寸边长大于 40 px 的情况下呈下降趋势。**结论** 兼顾老年用户生理等实际因素，以优化人机界面、提高老年用户识别准确率为前提，建议界面设计要素要以图标尺寸和图标间距为重点要素，其中图标尺寸应不低于 32 px，最优范围区间为 32~48 px，图标间距应不超过 2 倍距，最优范围区间为 1~2 倍。

关键词：人机界面；老年用户；适老化开发；视觉图标匹配；感知能力梯度
中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2022)20-0179-08
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.20.019

Visual Human Machine Interface Matching on Perception Ability of Elderly Users

ZHOU Cheng-min[1], *HUANG Ting*[1], *LUO Xin*[1], *Jake Kaner*[2]
(1.Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;
2.Nottingham Trent University, Nottingham, NG1 4FQ, UK)

ABSTRACT: The paper aims to construct the gradient of the perception ability of elderly users, determine the visual matching range of elderly users in the process of human-computer interface interaction, help elderly users accurately identify user interface information, and provide R&D designers with a parameter basis for aging modification. Older users are often affected by size and quantity when recognizing interface information. By controlling the variables "chart size" and "chart spacing", the elderly's ability to identify and collect page information under 25 combinations is tested, and a comprehensive performance index GP is proposed. Combined with the response time and accuracy of the elderly, when elderly users extract information during human-computer interaction, 1) when the icon spacing is less than twice the distance of the icon size, the side length of the icon is 32 px-48 px, the elderly’s response time shorter; the reaction time will be longer if the side length is less than 32 px; the side length higher than 48 px will be greatly affected by the icon spacing; 2) The visual search ability of the elderly will increase as the icon size increases, and the accuracy rate will increase; 3) When the icon spacing size is greater than 1 times the icon size, GP will show a downward trend when the icon size side length is greater than 40 px. Taking into account the physiological factors of elderly users and other physiological factors, in order to optimize the human-computer interface and improve the recognition accuracy of elderly users, it is recommended that the interface design elements should focus on icon size and icon spacing, and the icon size should not

收稿日期：2022–05–19
基金项目：2020 年江苏省研究生“国际智慧康养家具设计与工程”项目（20200227）；江苏省“十四五”高校生态康养家居产学研用国际合作联合实验室项目（20221102）；江苏高校“青蓝工程”资助（202202）
作者简介：周橙旻（1978—），女，副教授，主要研究方向为家具设计与工程、工业设计工程。

be less than 32 px. The optimal range is 32 px-48 px, the icon spacing should not exceed twice the spacing, and the optimal range is 1 to 2 times.

KEY WORDS: interface; elderly users; suitable for aging development; visual icon matching; construction of perceptual ability gradient

视觉过程有难易、级别高低之分。简单的视觉过程，包括对物体形状基本要素的感受（如点、线、角、纹路等），以及感知色彩梯度、光流强度、物体深度等信息[1-2]。高层级的视觉感知可以实现对物体轮廓、形状、边缘的感知，如感知对象的整体亮度特征可通过结合物体的颜色和形状，感知运动状态可通过改变光的流动，感知三维形状可结合物体的形状和深度等[3-4]。老年用户在产品界面人机交互过程中，精准摘取信息的速度受尺寸、数量、间距等因素的影响[5-6]。

1 用户感知与人机界面视觉相关理论基础

1.1 产品界面的感知能力要素

产品界面的人机交互过程中，老年用户的视觉匹配范围是设计痛点[7-9]。

1）尺寸，以直接方便的形式实现信息的传递，在识别方面有着不可取代的优势。

2）布局，有限的空间中需要展现出五花八门的信息，需要通过逻辑算法将这些无关联的信息进行串联，让用户在有限的时间里找到相关信息，提高信息的准确识别。

3）位置，空间有限就要求设计人员进行合理的板块划分，以提升信息处理的连贯性和逻辑性。

多级菜单面板布局的出现，要求用户花费更多的时间并执行更复杂的操作来提取有效的信息。值得关注的是部分老年用户在认知操作的前一步，即视觉搜索的感知过程中便存在困难和障碍。例如 Lindberg 等[10]进行了图标能力感知的测试研究，结果表明，图标间间距需大于自身尺寸，显示尺寸不小于 0.7 cm，以确保老年用户的操作绩效。鄂明顺[11]从设计学角度针对人机界面，确立了视觉记忆和工作记忆为两大关键因素，以此建立不同交互视觉要素的设计法则。

1.2 界面视觉搜索能力评估

界面的搜索能力一般指代用户排除外界干扰因素准确搜寻目标界面的能力[12]。老年用户对科技产品了解甚少，缺乏操作经验，因此在产品多级界面下对目标信息进行精准搜索变得愈发困难。数量、尺寸、形状等都会成为影响老年用户精准搜寻界面信息的影响因素。测评老年用户界面视觉搜索能力的方法主要分为以下两种：

1）绩效评估[13-14]。现有的绩效评价指标通常可分成三种：操作准确率（Action Accuracy rate，ACC），指用户在完成测试任务过程中正确操作数量和总操作数量的比，如将操作正确率作为一项绩效指标；反应时间（Reaction Time，RT），指用户完成测试任务所耗费的时长，如将任务完成的时间作为一项指标；正确率与完成时的复合评估（ACC&RT），正确率是判别任务完成与否的唯一指标，发生正确率无明显差别的情况，依据完成时间进行辅助评估，如将操作正确率和反应时两者复合为评价指标。

2）眼动评估[15-18]。眼动评估指标主要有两种：热点图（Attention Heat Map），眼动仪捕捉下，利用热点反应测试者关注区域的时长；注视次数（Fixation Count），注视次数的数量反映界面的繁简程度[19]。

2 感知能力梯度构建实验

2.1 实验样本设计

20 种风格相近、色彩类似的家具产品图标，在尺寸、布局、间距的自变量下，依据被试的水平设定参数范围，进行三次重复实验最终选取平均值。图标尺寸分别为 24*24、32*32、40*40、48*48 和 56*56 五种（单位：px²）。布局分为两种，分别为列表式排列、宫格式排列。界面尺寸为 375 px*812 px（一倍图），图标间距离分为五种，分别为 1/2、1、3/2、2、5/2 图标尺寸。本次实验采用 5x2x5 种界面配置，在实验手机界面共展示 20 个家居设备图标。老年感知能力实验样本（如表 1 所示）图标尺寸分别为 24*24、32*32、40*40、48*48 和 56*56 这五种，单位：px²。图标距为 1~2 倍、2~2 倍、3~2 倍、4~2 倍、5~2 倍进行实验，见表 2。

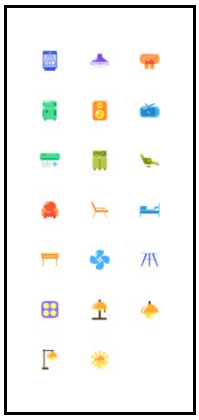
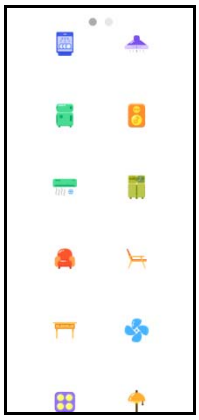
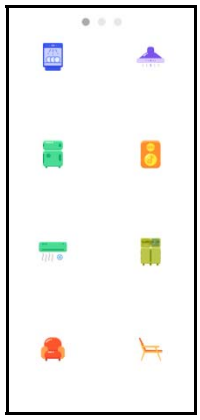
表 1 宫格布局尺寸汇总（列数*行数+余数，单位 px²）

Tab.1 Summary of square layout dimensions (number of columns * number of rows + remainder, unit: px²)

图标尺寸	图标间距				
	1/2 图标尺寸	1 图标尺寸	3/2 图标尺寸	2 图标尺寸	5/2 图标尺寸
特小（24*24）	10*2+0	7*2+6	6*3+2	5*4+0	5*4+0
小（32*32）	7*2+6	5*4+0	4*5+0	3*6+2	3*6+2
中（40*40）	6*3+2	4*5+0	3*6+2	3*6+2	2*10+0
大（48*48）	5*4+0	3*6+2	3*6+2	2*10+0	2*10+0
特大（56*56）	5*4+0	3*6+2	2*10+0	2*10+0	2*10+0

表 2　老年感知能力实验样本（部分）

Tab.2　Experimental sample of perception ability of the elderly (section)

类别	24*24px 试样样本	32*32px 试样样本	40*40px 试样样本	48*48px 试样样本	56*56px 试样样本
样本					
	1~2 倍图标距	2~2 倍图标距	3~2 倍图标距	4~2 倍图标距	5~2 倍图标距

2.2　实验方法

2.2.1　被试

招募实验被试 60 名，29 名男性、31 名女性，年龄为 60~80 岁（M=67，SD=6.051），视力正常或者矫正后正常。实验前，被试会被要求填写有关基本特征感知的问卷信息，包括姓名、性别、视力辨识能力、色彩喜爱程度等。

2.2.2　设备条件

采用心理实验软件 E-prime 编写实验程序，采用 CPU 主频为 3.0 GHz 的计算机。采用 6.25 英寸显示器显示刺激目标，该设备屏幕分辨率为 1520×720 HD，显示亮度为 92 cd/m^2。实验在室内照明条件正常的家居环境中进行，电脑屏幕背景为黑色，被试与屏幕中心的距离为 300~350 mm。

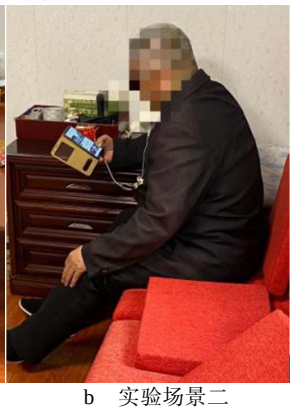
2.2.3　实验流程

实验具体操作为单独个体测验。在测试进行前，被试需要按照实验要求完成基本的练习实验；通过计算机显示屏向被试显示导语指令，告知实验流程与需求。正式测试开始时，注视点显示在屏幕中央，持续时长 500 ms。接着一个图标界面显现在屏幕中，告知被试要找的图标名称，如图 1 所示。

当参与者点击正确的图标时，图标突显且界面变暗，屏幕会随机显示一种测试条件下的界面配置。为了避免被试者的点击行为对视觉搜索时间造成影响，实验要求被试者在点击前大声说出“找到了”，由实验员记录被试者的视觉搜索时间、次数，至此一次测试完毕，屏幕随即呈现下一个需要查找的图标，依次类推直到所有测试完毕。每种排列需测试 3 次，即进行 3 次目标选择，共 150 次，实验样本如图 1 所示。实验结束后，对用户进行深度访谈，要求用户给出一个可识别度评分用来评估图标的辨识度。在测试中，每完成 50 次，被试者有 5 min 的休息时间。每个被试者完成所有测试的平均时间约为 17.9 min。

a　实验样本

b　实验场景一



b　实验场景二

图 1　老年测试程序界面图表大小和图标间距实验样本举例

Fig.1 Samples of aging test program interface

2.2.4　因变量说明

正确率与反应时间之间是否存在科学逻辑关系尚未可知，因此利用综合性绩效指标 GP 来同时表述

这两种变量。

$$GP=\frac{ACC}{\ln\left(\frac{RT}{1000}\right)} \quad (1)$$

式中，ACC 为正确率，如全都准确辨认则取 1；否则，以正确数除以全部题数。

RT 是指用户反应所花费的时间（单位：ms），取它的自然对数。GP 与正确率的关系呈线性正相关，正确率越高 GP 也越高；而 GP 与反应时间的关系呈非线性负相关，反应时间越短，GP 值越高。特别地，当正确率为 0 时，GP 与反应时间无关，定值为 0 可以排除错误数据，不包含在性能统计中。

3 实验结果

利用 SPSS 软件对实验结果进行重复测量方差分析，结果如表 3 所示（表中 F 值是 F 检验的统计量，也就是组间和组内的离差平方和与自由度的比值；偏 Eta 平方：η2（eta-squared）在方差分析中用于估计独立变量的效应大小，等于某自变量的方差与总方差的比值）。

多变量检验是多变量方差分析中最重要的一个部分。从分析结果中可以看到，对于截距、图标尺寸、图标间距，以及图标尺寸*图标间距，都采用了比莱轨迹、威尔克 Lambda、霍特林轨迹、罗伊最大根四种方法进行检验。四种方法的检验结果都是一致的，截距显著性小于 0.001，图标尺寸、图标间距以及图标尺寸*图标间距显著性也都小于 0.001。模型截距一项小于 0.001，表示当自变量取值为 0 时，因变量的值并不为 0，即图标尺寸或图标间距为 0 时，反应时长、正确率、GP 都不一定为 0。图标尺寸/图标间距/图标尺寸*图标间距显著性小于 0.001，表示不同图标尺寸/图标间距/图标尺寸*图标间距下的反应时长、正确率、GP 存在极其显著的差异。

通过表 4 主体间效应检验可知，不同变量对应的因变量的差异情况。图标尺寸对应的反应时长、正确率、GP 的 p<0.001，存在极其显著的差异。且偏 Eta 平方最小为 0.655，最大为 0.833，表明自变量“图标尺寸”，能很好地区分反应时长、正确率和 GP，可信度较高。图标间距对应的反应时长、GP 的 p<0.001，而正确率的 p>0.05，说明图标间距对正确率没有统计学差异，且偏 Eta 平方一栏，正确率值为 0.145，可信度较低。在图标尺寸与图标间距的交互作用下，反应时长、GP 的 p<0.001，存在极其显著的差异，而正确率的 0.05>p>0.001，存在显著差异。偏 Eta 平方最小为 0.518，可信度较高。

结合表 4 可以得出，图标尺寸以及图标尺寸与图标间距的交互作用对反应时长、正确率、GP 的影响较大。图标间距对用户的反应时长产生影响，从而影响 GP。

3.1 不同图标间距下，图标尺寸对反应时长的影响

从图 2 反应时长的估算边际平均值中可知，除图

表 3 多变量检验[a]

Tab.3 Multivariate test A

效应		值	F	假设自由度	误差自由度	P	偏 Eta 平方
截距	比莱轨迹	1.000	205 141.694[b]	3.000	48.000	0.000	1.000
	威尔克 Lambda	0.000	205 141.694[b]	3.000	48.000	0.000	1.000
	霍特林轨迹	12 821.356	205 141.694[b]	3.000	48.000	0.000	1.000
	罗伊最大根	12 821.356	205 141.694[b]	3.000	48.000	0.000	1.000
图标尺寸	比莱轨迹	1.884	21.095	12.000	150.000	0.000	0.628
	威尔克 Lambda	0.016	40.305	12.000	127.288	0.000	0.748
	霍特林轨迹	13.641	53.049	12.000	140.000	0.000	0.820
	罗伊最大根	9.442	118.024[c]	4.000	50.000	0.000	0.904
图标间距	比莱轨迹	1.061	6.843	12.000	150.000	0.000	0.354
	威尔克 Lambda	0.084	16.409	12.000	127.288	0.000	0.562
	霍特林轨迹	9.144	35.559	12.000	140.000	0.000	0.753
	罗伊最大根	8.952	111.903[c]	4.000	50.000	0.000	0.900
图标尺寸 * 图标间距	比莱轨迹	1.395	2.715	48.000	150.000	0.000	0.465
	威尔克 Lambda	0.039	5.915	48.000	143.558	0.000	0.661
	霍特林轨迹	14.595	14.189	48.000	140.000	0.000	0.829
	罗伊最大根	13.954	43.607[c]	16.000	50.000	0.000	0.933

注：a 指设计——截距+图标尺寸+图标间距+图标尺寸*图标间距；b 指精准统计；c 指此统计是生成显著性水平下限 F 的上限。

表 4　主体间效应检验
Tab.4 Test of inter-agent effect

源	因变量	III 类平方和	自由度	均方	F	Sig.	偏 Eta 平方
修正模型	反应时长	368 595 588.278[a]	24	15 358 149.512	16.075	0.000	0.885
	正确率	0.122[b]	24	0.005	13.021	0.000	0.862
	GP	0.057[c]	24	0.002	10.685	0.000	0.837
截距	反应时长	15 976 911 080.775	1	15 976 911 080.775	16 722.621	0.000	0.997
	正确率	62.172	1	62.172	159 211.072	0.000	1.000
	GP	8.809	1	8.809	39 562.709	0.000	0.999
图标尺寸	反应时长	905 350 29.310	4	22 633 757.327	23.690	0.000	0.655
	正确率	0.098	4	0.024	62.554	0.000	0.833
	GP	0.024	4	0.006	27.010	0.000	0.684
图标间距	反应时长	112 278 012.117	4	28 069 503.029	29.380	0.000	0.702
	正确率	0.003	4	0.001	2.114	0.093	0.145
	GP	0.008	4	0.002	9.473	0.000	0.431
图标尺寸*图标间距	反应时长	165 782 546.851	16	10 361 409.178	10.845	0.000	0.776
	正确率	0.021	16	0.001	3.365	0.001	0.518
	GP	0.025	16	0.002	6.907	0.000	0.689
误差	反应时长	47 770 356.142	50	955 407.123			
	正确率	0.020	50	0.000			
	GP	0.011	50	0.000			
总计	反应时长	16 393 277 025.195	75				
	正确率	62.314	75				
	GP	8.878	75				
修正后总计	反应时长	416 365 944.421	74				
	正确率	0.142	74				
	GP	0.068	74				

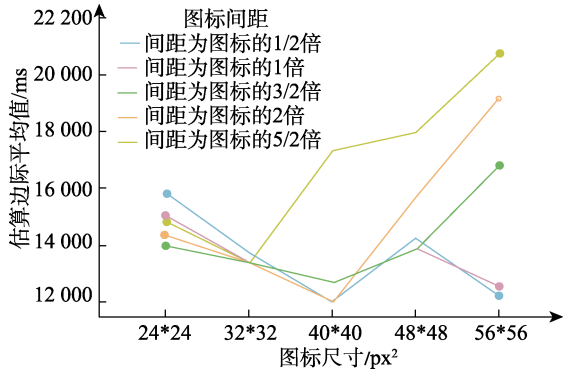


图 2　反应时长的估算边际平均值
Fig.2 Marginal average estimated reaction time

标间距为图标 5/2 倍这一条折线之外，其余四条（不同图标间距）折线的谷值图标尺寸皆为 40*40 px，且图标尺寸越大，间距在 3/2 倍及以上的反应时长越长，间距在 3/2 倍以下的会出现异常突变。表明在图标间距小于图标尺寸 2 倍距离的情况下，边长为 32~48 px 的图标，老年用户的反应时长较短；边长低于 32 px 的图标，老年用户反应时间会有所加长；边长高于 48 px，受图标间距影响较大。

估算边际平均值：是指剔除其他变量影响时算出的均值。例如当自变量唯一时，边际均值和普通均值是一样的；当有两个自变量时，边际均值和普通均值的结果是不同的。

3.2　不同图标间距下，图标尺寸对正确率的影响

正确率的估算边际平均值反映出，老年用户视觉搜索能力会随着图标尺寸增长，呈现正确率增加的情况。总体峰值在图标尺寸边长为 40 px 时，图标尺寸边长为 24~40（不包含）px 时，会出现正确率大幅提升情况，大于 40 px 会出现波动，正确率皆大于 90%，见图 3。

3.3　不同图标间距下，图标尺寸对 GP 的影响

GP 由反应时长和正确率共同计算得出，是两者的综合体现，在一定程度上反应了两者的特征。如图 4 所示，除图标间距为图标 5/2 倍这一条折线之外，

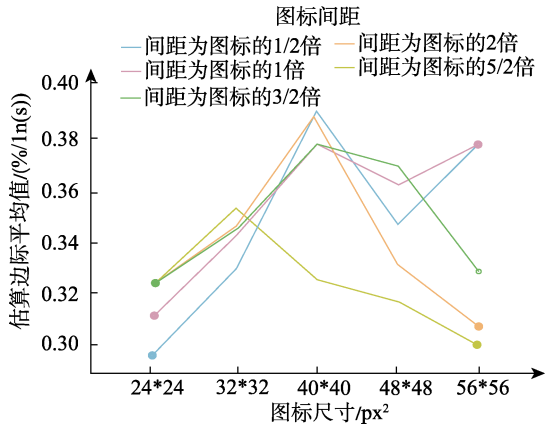


图 3 正确率的估算边际平均值

Fig.3 Marginal mean of accuracy estimation

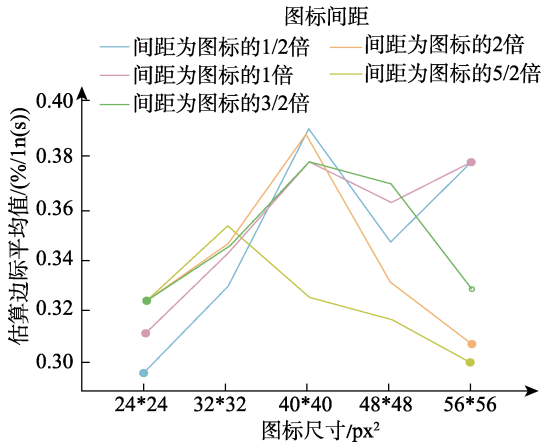


图 4 GP 的估算边际平均值

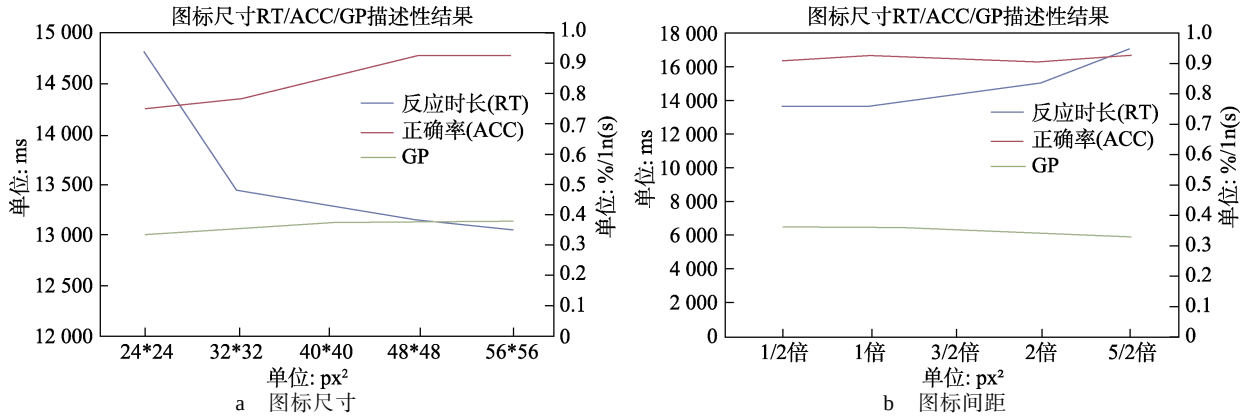
Fig.4 Estimated marginal mean of GP

其他折线的峰值皆在图标尺寸边长 40 px 上。图标尺寸边长为 24~40（不包含）px，会出现 GP 的大幅提升。当图标间距尺寸大于图标尺寸 1 倍时，GP 会在图标尺寸边长大于 40 px 的情况下呈下降趋势。

4 感知能力梯度构建

根据上述分析可得，当图标间距为图标尺寸的 1/2~5/2 倍，图标尺寸为 40 px*40 px 时测试结果最佳。本研究以探究老年用户可操作能力范畴下的能力余裕范围、能力适配范围、能力不足范围为主要目的，主要关注能力适配范围前后的阈值，即能力余裕-适配阈值（Capability Excess to Adaptation Threshold，EA）和能力适配-不足阈值（Capability Adaptation to Inadequate Threshold，AI）。本实验根据图 5a 图标尺寸 RT/ACC/GP 描述性结果、图 5b 图标间距 RT/ACC/GP 描述性结果，即反应时长、正确率，以及两种交互作用得出的 GP，可将图标尺寸、图标间距各分为三档。

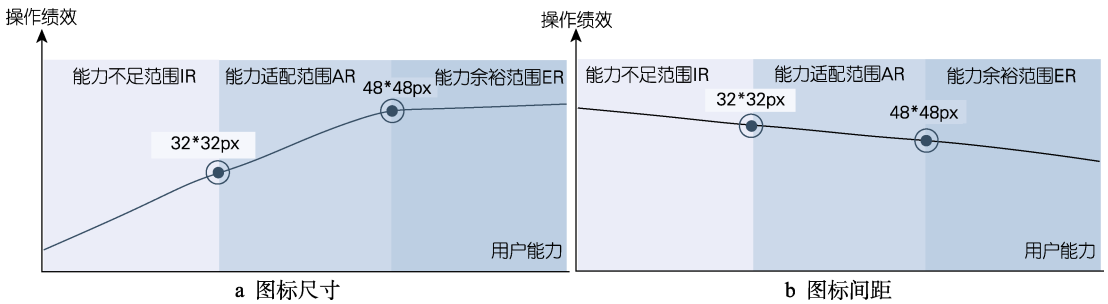
根据实验研究结果，得出能力余裕-适配阈值 EA 和能力适配-不足阈值 AI 的具体数值后，即可录入数值，通过逻辑算法最终模拟构建用户的实际能力梯度，为后续用户需求的功能难度系数计算与设定提供了理论指导意义。结合图 6a 和图 7a 可知，



a 图标尺寸 b 图标间距

图 5 图 RT/ACC/GP 描述性结果

Fig.5 Descriptive results of RT/ACC/GP



a 图标尺寸 b 图标间距

图 6 实际能力梯度

Fig.6 Actual capability gradient

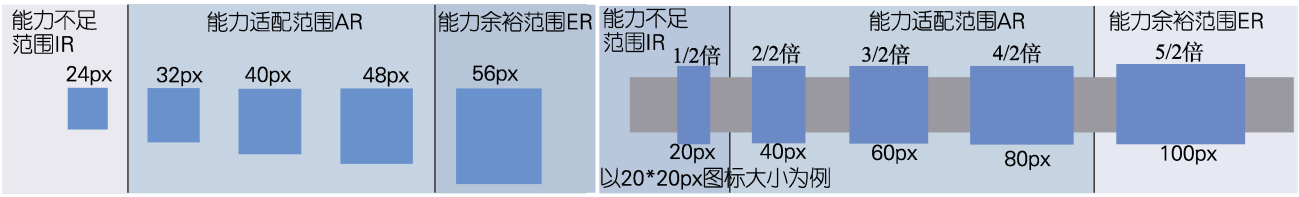


图 7　实际能力梯度示意图

Fig.7 Schematic diagram of actual ability gradient

尺寸“余裕与适配”的转折点 E=32*32 px，“适配与不足”的转折点 A=48*48 px。图标尺寸编码的余裕范围为{ER|ER>48 px}，能力适配范围为{AR|32 px≤AR≤48 px}，能力不足范围为{IR|IR<32 px}。结合图 6（b）和图 7（b）可知，间距“余裕与适配”的转折点 E=1 倍，“适配与不足”的转折点 A=2 倍。图标间距编码的余裕范围为{ER|ER<1 倍}，能力适配范围为{AR|1 倍≤AR≤2 倍}，能力不足范围为{IR|IR>2 倍}。

5　结语

针对老年用户群体进行用户感知与界面视觉匹配的相关研究，选取界面设计中的图标尺寸、图标间距为实验变量，以此进行老年用户感知能力梯度构建实验，利用综合绩效指标 GP 反映老年用户的信息抓取准确率。试验结果如下：图标尺寸，余裕范围为{ER|ER>48 px}，能力适配范围为{AR|32 px≤AR≤48 px}，能力不足范围为{IR|IR<32px}；图标间距，余裕范围为{ER|ER<1 倍}，能力适配范围为{AR|1 倍≤AR≤2 倍}，能力不足范围为{IR|IR>2 倍}。研究表明，在面向老年用户的界面设计中需要更多关注图标尺寸、图标间距两种设计因素，图标尺寸要控制在 32~48 px 且不低于 32 px，图标间距要控制在 1~2 倍，且不超过 2 倍距。

参考文献：

[1] 王秋惠，陈微. 老龄服务机器人色彩设计的视觉认知绩效研究[J]. 包装工程, 2021, 42(24): 175-180.
WANG Qiu-hui, CHEN Wei. Research on the Visual Cognitive Performance of Color Design of Service Robot for the Elderly[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(24): 175-180.

[2] 李晶，郁舒兰，吴晓莉. 人机界面形状特征编码对视觉认知绩效的影响[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(1): 163-172, 179.
LI Jing, YU Shu-lan, WU Xiao-li. Effects of Shape Character Encodings in the Human-Computer Interface on Visual Cognitive Performance[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(1): 163-172, 179.

[3] 许永生，李丽丽，吴尤荻，等. 基于注意力分配的高铁操纵台界面布局优化设计[J]. 西南交通大学学报, 2022, 57(2): 401-409.
XU Yong-sheng, LI Li-li, WU You-di, et al. Optimization Design of Interface Layout of High-Speed Railway Control Console Based on Attention Distribution[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2022, 57(2): 401-409.

[4] 付瑶，王梓通，惠荣，等. 养老机构居住空间老年人视觉舒适距离及颜色偏好分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(2): 338-345.
FU Yao, WANG Zi-tong, HUI Rong, et al. Investigation and Analysis on Visual Comfort Distances and Colors Preference of the Elderly People in Living Space of Pension Service Institutions[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2021, 37(2): 338-345.

[5] 胡文刚，关惠元. 基于生物力学的老年人坐立转换模型[J]. 林业工程学报, 2020, 5(6): 174-178.
HU Wen-gang, GUAN Hui-yuan. The Sit-to-Stand Transformation Model for Elders Based on Biomechanics[J]. Journal of Forestry Engineering, 2020, 5(6): 174-178.

[6] 高翔，李春庚，安居白. 基于注意力和多标签分类的图像实时语义分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(1): 59-67.
GAO Xiang, LI Chun-geng, AN Ju-bai. Real-Time Image Semantic Segmentation Based on Attention Mechanism and Multi-Label Classification[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2021, 33(1): 59-67.

[7] 熊先青，李荣荣，白洪涛. 中国智能家具产业现状与发展趋势[J]. 林业工程学报, 2021, 6(1): 21-28.
XIONG Xian-qing, LI Rong-rong, BAI Hong-tao. Research Status and Development Trend of Intelligent Furniture in China[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(1): 21-28.

[8] 李永锋，刘焕焕，朱丽萍. 基于卡诺模型与联合分析的老年人 APP 用户体验优化设计方法[J]. 包装工程, 2021, 42(2): 77-85.
LI Yong-feng, LIU Huan-huan, ZHU Li-ping. Optimization Design Approach for User Experience of the Elderly APP Based on Kano Model and Conjoint Analy-

sis[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(2): 77-85.

[9] 何灿群, 谭晓磊. 智慧养老背景下的老年人数字阅读界面设计研究综述[J]. 包装工程, 2020, 41(20): 57-68.
HE Can-qun, TAN Xiao-lei. Review on the Interface Design of Digital Reading for the Elderly Against the Background of Smart Pension[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(20): 57-68.

[10] LINDBERG T, NÄSÄNEN R, MÜLLER K. How Age Affects the Speed of Perception of Computer Icons[J]. Displays, 2006, 27(4-5): 170-177.

[11] 鄂明顺. 基于视觉特性的老年产品数字界面交互设计研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
E Ming-shun. Research on Interactive Design of Digital Interface of Elderly Products Based on Visual Characteristics[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2015.

[12] 王宪宇, 李宏汀, 马舒. 影响图标搜索绩效因素的研究进展[J]. 包装工程, 2021, 42(6): 206-211.
WANG Xian-yu, LI Hong-ting, MA Shu. Research Progress on Factors Affecting Icon Search Performance[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(6): 206-211.

[13] 徐新然, 郭肖亚, 于瑞峰. Gap效应对搜索目标显著性和绩效的影响[J]. 工业工程, 2021, 24(1): 117-122.
XU Xin-ran, GUO Xiao-ya, YU Rui-feng. Gap Effect on Target Salience and Visual Search Performance[J]. Industrial Engineering Journal, 2021, 24(1): 117-122.

[14] 刘云, 李悦慈, 申黎明. 基于眼动追踪的南官帽椅造型特征认知分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(12): 146-152.
LIU Yun, LI Yue-ci, SHEN Li-ming. Analysis of the Cognitive of Southern Official Hat Chair Styling Features Based on Eye Tracking[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2017, 37(12): 146-152.

[15] PRABASWARI A D, UTOMO B W, PURNOMO H. Eye Tracker Evaluation on Google Classroom Using USE Questionnaire[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1764(1): 012181.

[16] 余继宏, 高伟霞, 吴智慧. 明清苏作家具木雕饰面比例与视觉感受相关性分析[J]. 林产工业, 2019, 56(12): 52-57.
YU Ji-hong, GAO Wei-xia, WU Zhi-hui. Relevance Analysis between the Proportion of Woodcarving Decoration and Visual Perception of Su-Style Furniture in Ming and Qing Dynasties[J]. China Forest Products Industry, 2019, 56(12): 52-57.

[17] 齐东楷, 徐伟. 家庭健康检测产品现状与趋势分析[J]. 林业机械与木工设备, 2020, 48(11): 9-12.
QI Dong-kai, XU Wei. Status and Trend Analysis of Household Health Testing Products[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2020, 48(11): 9-12.

[18] 洪莲, 于娜. 家具制造作业体力负荷对认知能力的影响[J]. 林业工程学报, 2021, 6(1): 191-196.
HONG Lian, YU Na. Effect of Physical Load on Cognitive Ability in Furniture Manufacturing[J]. Journal of Forestry Engineering, 2021, 6(1): 191-196.

[19] 汪颖, 余姝姝. 针对老年用户的手机应用程序界面图标辨识度研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 190-196.
WANG Ying, YU Shu-shu. Icon Identification of Mobile Application Interface for Elderly Users[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 190-196.

责任编辑：马梦遥