

# 基于图上随机游动的 Web 页面布局可用性评价<sup>①</sup>

刘业政<sup>1,2</sup>, 叶俊杰<sup>1,2</sup>, 蒋 玮<sup>1</sup>, 徐俊芬<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学管理学院, 合肥 230009; 2. 过程优化与智能决策教育部重点实验室, 合肥 230009)

**摘要:** 针对 Web 页面布局可用性设计中缺乏实用的定量评价模型和方法的问题, 根据扫描路径理论, 使用视线跟踪法将网络用户在 Web 页面上的浏览行为模型化为注视点在赋权有限图上的随机游动, 据此提出新颖实用的基于图上随机游动模型的 Web 页面布局可用性评价方法 (WLUE-RWG), 并以淘宝商城和阿里巴巴的商品展示页面为例对其使用过程与效果进行验证, 说明模型的可行性与方法的有效性。

**关键词:** Web 页面布局; 可用性评价; 扫描路径理论; 图上随机游动; 视线跟踪法

**中图分类号:** F713.36   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2013)09-0075-07

## 0 引言

随着网格化、模块化成为 Web 页面设计的主流, 页面布局(各功能模块的呈现方式与位置)的可用性<sup>[1]</sup>逐渐成为需要重点考虑的因素, 因此急需实用、有效的布局可用性评价方法。相比于站点结构优化与内容优化所需的点击流、搜索词与在线评论<sup>[2]</sup>, 布局优化所需的用户浏览行为数据更难以有效获取, 使得常见评价方法在这一领域的应用效果欠佳<sup>[3]</sup>。近年来, 有学者提出“eyetracking web usability<sup>[4]</sup>”, 尝试引入视线跟踪法来测度用户在 Web 界面上的浏览行为, 以此作为可用性评价的依据, 效果较好。但由于布局可用性评价需要对随机性极强的用户视觉扫描路径进行分析, 直接使用注视数目与持续时间等眼动参数并不能满足要求, 必须引入注视转移频次矩阵等与布局有关的因素<sup>[5]</sup>。

搜索文献发现, 虽然在 Web 可用性设计领域缺乏有针对性并得到设计人员认可的定量模型, 但在平面广告设计领域, 有学者使用马尔可夫模型和字符串编辑方法<sup>[6]</sup>来测试 70 年代 Noton 基

于认知心理学所提出的扫描路径理论, 其中 Pieters 等的实验表明用户扫描路径遵守着稳定的、可逆的、一阶的马尔可夫过程<sup>[7]</sup>。近年来, 开始有学者尝试将 Web 页面作为刺激材料对视觉感知的扫描路径理论进行测试<sup>[8]</sup>, 所得研究结果基本都验证了扫描路径理论的预言。

为此, 本文借助眼动仪作为辅助工具获取用户浏览数据, 结合随机图原理和扫描路径理论, 使用赋权有限图上的随机游动模型来分析用户的浏览行为, 获取评价参数, 并根据相关经验性指导原则提出了 Web 页面布局可用性评价的 3 个准则及相应的布局瑕疵判断公式, 尝试构建新颖实用的 Web 页面布局可用性评价方法, 即 WLUE-RWG (webpage layout usability evaluation based on random walks on graph) 方法, 以期对 Web 可用性设计提供更好的支持。

## 1 相关研究

### 1.1 布局可用性评价的指导原则

针对 Web 页面布局可用性, 目前已有一些经

① 收稿日期: 2011-10-12; 修订日期: 2012-10-09.

基金项目: “973 计划”资助项目(2013CB329603); 国家自然科学基金资助项目(71071047); 高等学校博士点基金资助项目(20120111120029); 教育部人文社会科学资助项目(12YJC630073); 安徽省自然科学基金资助项目(1208085MG120)。

作者简介: 刘业政(1965—), 男, 安徽和县人, 博士, 教授。Email: liuyezheng@gmail.com

验性的指导原则散见于相关理论论著与实践报告中<sup>[9, 4]</sup> 这些原则可归纳总结为 3 个方面: ①Nielsen 等认为“把最重要的内容放置在正确的地方”是可用性的目标之一, 类似的观点包括用户感兴趣的内容应该占据网页的显著部分; ②识别胜于回忆, 从用户角度来说, 网页布局时要保证浏览者在任意时间停止都已经读到了最重要的信息. 由于选择众多, 转移成本极低, 网络用户明显表现出缺乏耐心, 需要能迅速满足自己的要求, 所以要在第一时间让用户看到其想要的信息; ③要在视觉清晰的基础上保证布局适合扫描且符合视觉路线, 这就需要优化区域的位置使布局更符合用户的视觉习惯, 以获得更好的用户体验效果.

### 1.2 视线跟踪法与扫描路径理论

视线跟踪法也称眼动方法, 该方法使用眼动仪来收集用户的眼动数据, 用特殊软件进行整理、分析, 得出特定的眼动指标, 以用于分析用户的心理和行为. 图 1 为使用该方法获取的某用户的测试结果, 图中圆圈表示该位置有个注视, 带方向的箭头表示 1 次扫视, 并用框线标明各区域的边界.

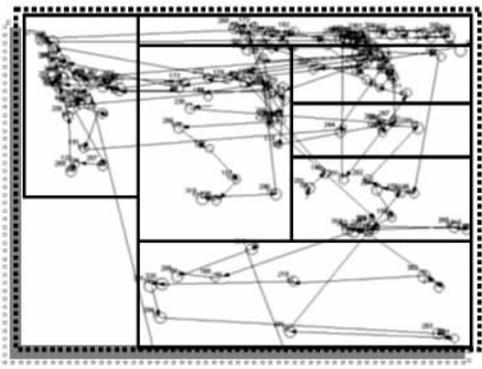


图 1 使用视线跟踪法获取眼动数据

Fig. 1 Eye movement data using eye-tracking method

在扫描路径理论中, 扫描路径被定义为注视和扫视的反复序列, 当用户在浏览刺激物时, 他会将注视序列存储在记忆中作为 3 维立体模型, 由此建立了扫描路径, 这个 3 维立体模型被视为预知、感知模型, 它控制指引着眼动序列<sup>[10]</sup>.

### 1.3 赋权有限图上的随机游动

有限图  $G = (V, E)$  是由顶点集  $V$  和定义在  $V$  上的二元关系  $E$  组成. 两个顶点  $i$  和  $j$  相邻当且仅当  $(i, j) \in E, \forall i \in V, \Gamma(i) = \{j | (i, j) \in E, j \in V\}$  称作顶点  $i$  的邻集;  $V$  中元素个数称为图  $G$  的

阶, 具有有限阶数的图为有限图.

定义函数  $\omega: E \rightarrow R^+; (i, j) \rightarrow \omega_{ij}$ , 则得到赋权图  $(G, \omega)$ .

$$\omega_i = \sum_{j \in \Gamma(i)} \omega_{ij}, \text{ 对 } \forall i, j \in V \text{ 定义}$$

$$P_{ij} = \begin{cases} \frac{\omega_{ij}}{\omega_i}, & \text{当 } j \in \Gamma(i) \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

则  $P = (P_{ij})$  是一非负的随机矩阵.

根据上述定义, 一个质点在赋权图  $(G, \omega)$  上的随机游动是个随机序列  $X_0, X_1, \dots, X_n, \dots$ , 式中  $X_n$  表示质点在  $n$  时刻的位置. 若质点在  $n$  时刻位于位置  $i$ , 则在下一时刻 ( $n+1$  时刻) 位于位置  $j$  的概率为  $P_{ij}$ . 已有学者证明一个赋权有限图上的随机游动就是一个有限马尔可夫链<sup>[11]</sup>, 所以显然, 随机序列  $X_n, n \geq 0$  是状态空间为有限集  $V$  转移矩阵为  $P$  的马尔可夫链.

## 2 WLUE-RWG 方法

根据 1.1 节的相关指导原则, 结合 1.2 和 1.3 节的相关理论, 本文提出了 WLUE-RWG 方法, 其基本思路为 (如图 2 所示): ①按照实际的功能模块组成和评价的需要将页面划分为若干个独立的功能区域, 并记录各区域的功能与位置属性 (如区域的大小、位置、内容和重要程度等); ②若将 Web 页面视为由若干个区域构成的平面空间, 则用户浏览页面的过程可映射为注视点在该空间上的转移过程. 以功能区域作为图的顶点可将页面空间拓扑成一个有限图, 根据扫描路径理论, 若用户视线转移过程具有无后效性, 则该过程就可以视为质点在有限图上的随机游动过程, 进而计算初始分布、转移矩阵、平稳分布和前  $n$  步的绝对分布等评价参数; ③依据评价参数的可用性涵义, 结合布局可用性评价准则和区域的功能与位置属性等信息, 分析网页布局对用户浏览行为的影响, 对网页的布局可用性做出合理有效的评价并给出合理的调整建议; ④若有需要还可按照建议对布局进行调整, 亦可对调整后的页面重新进行测试, 分析其可用性水平是否有所提高、是否达到设计要求. 但若经过 1-3 轮调整仍然不能达到设计要求, 则建议停止只针对布局的“评价-调整”循

环,进行更大范围的可用性分析和页面调整。

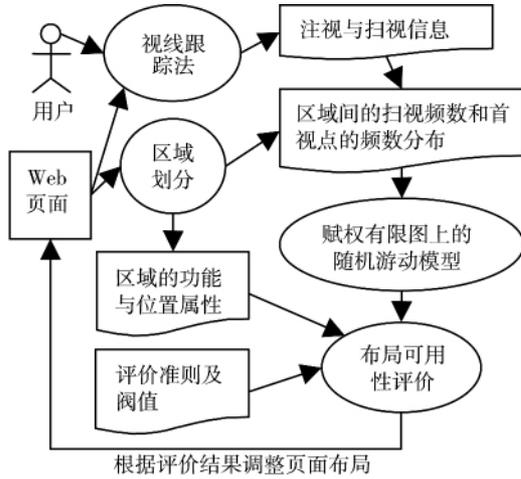


图 2 WLUE-RWG 方法基本思路

Fig. 2 Thinking of WLUE-RWG

### 2.1 用户视线转移特征的提取

以待评价的 Web 界面作为眼动仪测试的材料,根据需要将页面划分为  $N$  个区域,记页面区域集合为  $V, V = \{1, 2, \dots, N\}$ . 与 1.3 节顶点集  $V$  等价,再使用专用软件获取每个第 1 次注视出现的被试区域  $V_j^{(0)}$  和区域间的扫视频数  $\omega_{ij}$  等眼动数据,以此作为模型输入。

设  $k \in \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $M$  为被试的总人数. 记第  $k$  个被试者从区域(顶点)  $i$  到区域(顶点)  $j$  之间的扫视次数为  $Y_{ij}^{(k)}$ , 则从区域  $i$  到区域  $j$  之间的扫视总次数  $\omega_{ij}$  为

$$\omega_{ij} = \sum_{k=1}^M Y_{ij}^{(k)} \quad i, j \in V \quad (2)$$

记第  $k$  个被试者的第 1 次注视特征  $Z^{(k)}$  为  $N$  维向量. 若第 1 次注视点在  $j$  区域出现, 则其第  $j$  个分量  $Z_j^{(k)}$  的值为 1, 其余分量的值为 0, 则第  $j$  个区域初次被注视的总次数为

$$V_j^{(0)} = \sum_{k=1}^M Z_j^{(k)} \quad j \in V \quad (3)$$

易知  $\sum_{j=1}^N V_j^{(0)} = M$ . 则图的权重矩阵  $\omega = (\omega_{ij})$  为  $N \times N$  的方阵, 初始注视数目  $V^{(0)} = (V_j^{(0)})$  为  $N$  维向量。

### 2.2 模型计算过程

将用户浏览页面的过程表达为质点(用户的注视点)在赋权有限图( $G, \omega$ )上的随机游动,亦即有限马尔科夫链  $\{X_n, n \geq 0\}$ , 则向量  $V^{(0)}$  即为

初始分布  $\overrightarrow{P^{(0)}}$ , 根据各边的权重  $\omega_{ij}$  可计算转移矩阵  $P$ . 再根据图上随机游动和马尔科夫链的相关理论和性质,计算平稳分布  $\pi$  和前  $n$  步的绝对分布  $\overrightarrow{P^{(n)}}$  ( $n$  根据评价需要和平均转移步数来确定)等输出参数。

具体计算过程为:

1) 计算平均的转移步数  $n_{av}$

$$n_{av} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \omega_{ij}}{MN} \quad (4)$$

2) 计算初始分布向量  $\overrightarrow{P^{(0)}}$ ,  $\overrightarrow{P^{(0)}} = (P_j^{(0)})$  是  $N$  维向量, 其中

$$P_j^{(0)} = \frac{V_j^{(0)}}{M} \quad (5)$$

3) 计算 1 步转移矩阵  $P^{(1)}$ , 根据式 (1) 求得转移矩阵  $P$ . 若该马尔科夫链满足有限不可约非周期的性质, 则继续下述各步, 否则可通过随机的增加或减少样本的方法使其满足条件。

4) 计算第  $n$  步的绝对分布, 由 K-G 方程有

$$\overrightarrow{P^{(n)}} = \overrightarrow{P^{(0)}} P^n = \overrightarrow{P^{(n-1)}} P \quad (6)$$

$n$  分别取  $1, 2, \dots$ , 直至  $\overrightarrow{P^{(n+1)}} = \overrightarrow{P^{(n)}}$  为止. 记最终的  $\overrightarrow{P^{(n)}}$  为该马尔科夫链的平稳分布  $\pi$ .

### 2.3 可用性评价准则与应用

通过模型计算所获得的参数指标反映了页面布局的可用性程度, 其数学属性和可用性涵义如表 1 所示。

表 1 模型参数及其可用性涵义

Table 1 The availability meaning of model parameters

参数	符号	数学属性和可用性涵义
初始分布	$\overrightarrow{P^{(0)}}$	$P_j^{(0)} = P\{X_0 = j\}$ ; 各区域属于首视点的概率, 第 1 时间被浏览概率
绝对分布	$\overrightarrow{P^{(n)}}$	$P_j^{(n)} = P\{X_n = j\}$ ; 通过 $j$ 步转移各区域被注视的概率; 根据 K-G 方程有 $P^{(n)} = P^n$
平稳分布	$\pi$	各区域在平稳状态下被注视的概率; $\pi = \pi P$ 存在且唯一, 满足收敛定理 <sup>[12]</sup> : 当 $n \rightarrow \infty$ , $P\{X_n = j\} \rightarrow \pi_j$
转移矩阵	$P$	视线在区域间转移的概率, 区域间的视觉关联性

注: 表中所有参数的数学属性均针对模型为有限不可约非周期的马尔科夫链情况下。

根据 1.1 节的 3 条原则, 结合参数的数学属性和可用性涵义, 本文提出了适合定量化评价的 3

条准则:

准则1 尽量使重要的区域尽可能早、同时确保最重要的区域在第1时间被用户浏览.亦即最重要信息所在区域的初始分布要足够大( $P_j^{(0)}$ 不能小于阈值 $\alpha_1$ ),重要信息所在区域的前 $n_{av}$ 步的绝对分布不能太小( $P_j^{(n)}$ 不能全部小于阈值 $\alpha_2$ ).这里的重要区域是指用户感兴趣或站点希望用户优先浏览的区域,可根据眼动实验中区域内的注视点数目和时间来确定,也可根据设计目标预先确定.分别记重要和最重要的区域集合为 $V_{ipt}$ 和 $V_{mippt}$ .相应的布局瑕疵判断公式可形式化为

$$c_1 = \Lambda(p_j^{(0)} < \alpha_1 | j \in V_{mippt}) \quad (7)$$

$$c_2 = \Lambda(\max\{p_j^{(n)} | n < n_{av}\} < \alpha_2 | j \in V_{ipt}) \quad (8)$$

准则2 在强调准则1的同时,需要保证页面上所有功能区域(包括重要性较低的区域)都有足够的被用户浏览的可能性.亦即各区域的平稳分布不能太小( $P_j^{(n)}$ 不能小于阈值 $\alpha_3$ ).相应的布局瑕疵判断公式可形式化为

$$c_3 = \Lambda(p_j^{(n)} < \alpha_3 | j \in V) \quad (9)$$

准则3 为了保证布局清晰的同时又符合用户视觉习惯,要求页面的区域边界清晰,但相邻区域间的视觉关联性尽可能大,不相邻区域间的视觉关联性尽可能小.亦即不相邻区域间的转移概率不能太大( $P_{ij}$ 不能大于阈值 $\alpha_4$ ),而相邻区域间的转移概率不能太小( $P_{ij}$ 不能全部小于阈值 $\alpha_4$ ).这里的相邻区域是指实际网页上有边界重合的两个区域,与图上顶点相邻的概念无关,记与区域 $j$ 实际相邻的区域集合为 $\tilde{T}(j)$ .相应的布局瑕疵判断公式可形式化为

$$c_4 = \Lambda(p_{ij} > \alpha_4 | j \in V, i \notin \tilde{T}(j)) \quad (10)$$

$$c_5 = \Lambda(\max\{p_{ij}\} < \alpha_4 | j \in V, i \in \tilde{T}(j)) \quad (11)$$

为了更直观的呈现这类布局瑕疵,可结合区域实际位置,画出相应的赋权有限图,在图上标出转移概率大于 $\alpha_4$ 的边,然后寻找相邻区域间没有边相连或不相邻区域间存在边相连的情况即可.

最后统计汇总所有不符合有用性准则的布局瑕疵情况,记为 $\bar{u}$ ,则 $u = c_0 - \bar{u}$ 为该页面的布局可用性水平,有

$$u = c_0 - \bar{u} = c_0 - \sum_{i=1}^5 c_i \quad (12)$$

式(7) - 式(12)中 $\Lambda$ 为计数运算符,统计符合相应的布局瑕疵条件的次数,输出为自然数; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 为阈值; $c_0$ 为常数,各参数的涵义与取值标准如表2所示.

此外,WLUE-RWG方法不仅输出可用性水平的数值,还为设计人员调整布局设计提供了大量有价值的信息.对于不符合准则1、准则2的区域,可适当调整其面积或位置,尽量消除视线难以到达的区域,实现页面整体负荷的均衡,使页面布局更趋合理.对于不符合准则3的区域,可尝试调整区域位置和区域间的邻接关系,以尽量增加相邻区域间的转移并减少跨区域的转移.

表2 阈值的涵义与取值

Table 2 The meaning and value of threshold

阈值	涵义与取值标准	取值建议
$\alpha_1$	根据最重要区域第1眼即被浏览到的期望概率来确定	$\geq 0.5$
$\alpha_2$	根据重要区域能被较早浏览的期望概率,抑或重要区域与最重要区域的相对关系来确定	$\geq 0.1$
$\alpha_3$	根据对最不重要区域的最低关注要求来确定	0.05左右
$\alpha_4$	根据可用性设计中对视觉关联性的要求来确定	0.2左右
$c_0$	根据预估的测试页面可能出现瑕疵的最大次数来取值.	10左右

### 3 应用实例

本文根据40位潜在用户的测试数据,将上述模型应用于淘宝商城、阿里巴巴网站的诺基亚N97手机的商品展示页面的可用性评价,以验证模型的可行性与方法的有效性.40位被试者的年龄介于21岁-37岁之间,其中男性25人,女性15人,每周上网时间在40h以上的有20人.在两个网站各随机选取一个符合要求的页面进行截屏(如图3),并根据需要进行了微调,统一页面大小为1024×768像素.使用眼动仪获取每位被试者在两个页面上的眼动数据,建立测试数据集.实验

使用 EyelinkII 型眼动仪,显示器为 17 in 纯平液晶,分辨率为 1 024 × 768. 所有被试者视力良好,无色盲,无行为缺陷,实验时,模式设置为 35 mm 镜头、静态单眼,其它参数采用默认设置.

针对页面 1 和页面 2 分别定义了一个 7 阶和 8 阶的图(如图 3). 顶点 1 到 8 依次为标题、图标、价格、购物车、商品信息、商家信息、广告信息和过渡区域;两个页面中,重要区域均为 2、3、4、5,其中

最重要区域为 2. 参数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \epsilon_0$  依次取为 0.5、0.1、0.05、0.2、10. 将测试数据集代入模型,使用 Matlab7.1 编程实现模型计算过程,所得模型参数输出如表 3 所示. 结果汇总如表 4 和表 5 所示. 另外根据表 3 数据可绘制出有限图(图 3),图中列出了转移概率大于 0.2 的边及各顶点的初始分布和平稳分布的值,据此可辅助进行页面布局的可用性评价.

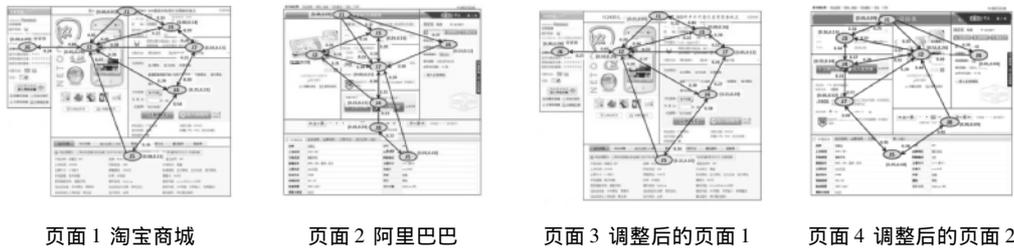


图 3 测试材料及有限图

Fig. 3 Test materials and finite graph

表 3 模型输出

Table 3 Model output

	页面 1: $N = 7; M = 40; n_{av} = 3.9; u = 8$							页面 2: $N = 8; M = 40; n_{av} = 2.4; u = 4$							
$P$	1	2**	3*	4*	5*	6	7	1	2**	3*	4*	5*	6	7	8
1	0.00	0.43	0.33	0.10	0.00	0.14	0.00	0.00	0.09	0.32	0.00	0.09	0.27	<b>0.23</b>	0.00
2	0.02	0.00	0.22	0.29	0.09	0.24	0.13	0.04	0.00	0.36	0.06	0.07	0.10	0.34	0.04
3	<b>0.09</b>	0.46	0.00	0.13	0.04	0.02	0.26	<b>0.11</b>	0.30	0.00	0.07	0.05	0.14	0.33	0.01
4	0.00	0.38	0.06	0.00	0.35	0.01	0.21	0.00	0.21	0.04	0.00	0.16	0.12	0.30	0.17
5	0.01	0.32	0.03	0.54	0.00	0.08	0.03	0.00	0.17	0.00	0.19	0.00	0.18	<b>0.24</b>	0.22
6	0.01	0.68	0.09	0.09	0.06	0.00	0.07	0.03	0.07	0.14	0.18	0.13	0.00	0.38	0.07
7	0.01	0.28	0.39	0.30	0.02	0.01	0.00	0.01	0.31	0.28	0.21	0.05	0.13	0.00	0.02
8								0.00	0.09	0.04	0.33	0.46	0.07	0.02	0.00
$\vec{P}^{(0)}$	0.00	0.65	0.00	0.25	0.08	0.00	0.03	0.00	<b>0.08</b>	0.03	0.15	0.03	0.13	0.60	0.00
$\vec{P}^{(1)}$	0.01	0.12	0.16	0.23	0.14	0.16	0.14	0.01	0.23	0.22	0.15	0.07	0.11	0.13	0.05
$\vec{P}^{(2)}$	0.02	0.37	0.11	0.19	0.11	0.05	0.12	0.03	0.16	0.15	0.10	<b>0.09</b>	0.11	0.26	0.06
$\vec{P}^{(3)}$	0.02	0.24	0.15	0.22	0.11	0.10	0.12								
$\pi$	<b>0.02</b>	0.29	0.14	0.21	0.11	0.09	0.13	<b>0.03</b>	0.18	0.16	0.13	0.10	0.12	0.23	0.06
	页面 3: $N = 7; M = 19; n_{av} = 2.7; u = 10$							页面 4: $N = 8; M = 19; n_{av} = 3.1; u = 9$							
$\vec{P}^{(0)}$	0.11	0.53	0.00	0.21	0.11	0.00	0.05	0.05	0.53	0.16	0.11	0.05	0.05	0.05	0.00
$\vec{P}^{(1)}$	0.01	0.16	0.20	0.24	0.12	0.16	0.12	0.13	0.17	0.17	0.18	0.03	0.10	0.13	0.11
$\vec{P}^{(2)}$	0.06	0.36	0.12	0.17	0.11	0.05	0.12	0.08	0.31	0.14	0.14	<b>0.09</b>	0.07	0.10	0.06
$\vec{P}^{(3)}$								0.09	0.24	0.14	0.11	0.06	0.08	0.13	0.10
$\pi$	0.05	0.29	0.16	0.20	0.10	0.09	0.12	0.09	0.26	0.13	0.14	0.08	0.08	0.12	0.09

注: 1) 表中用双线分割的四个区域分别对应图 3 中的页面 1 - 页面 4 的模型输出.

2) 其中  $N$  为功能区域(顶点)数目,  $M$  为被试人数,  $n_{av}$  为平均的转移步数,  $u$  为页面可用性水平;  $P$  为转移矩阵, 对应的  $P_{ij}$  为第  $i$  区域到第  $j$  区域的转移概率;  $\vec{P}^{(0)}$  行是初始分布向量; 对应的  $\vec{P}^{(1)}$  到  $\vec{P}^{(n_{av})}$  为前  $n_{av}$  步的绝对分布;  $\pi$  行是平稳分布.

3) 表中黑体并加下划线的数字为可能存在布局瑕疵的参数; 加\* 的区域为重要区域, 其中加\*\* 为最重要区域.

评价结果(如表 4 和表 5)显示: 页面 1 的布局可用性良好, 可以通过增加标题区域的面积

来进一步改进布局; 页面 2 的布局可用性较差, 布局不够合理, 可通过扩大标题区域大面积、将图标或者价格区域放到页面中心位置以提高初始分布的值和调整区域 4 和 8 的位置等方法来改进布局。

为了验证 WLUE-RWG 方法的有效性, 在眼动测试完成后, 通过问卷让用户对页面布局设计进行打分(1分 - 10分), 收集了40位测试用户对页面布局设计的主观满意度, 然后对每个页面分别求简单平均数, 记为  $\hat{u}$  (如表 5)。还通过对 5 位长期从事 Web 前端设计的工程师的问卷调查和深度访谈获取专家对页面布局设计的综合评分和专家对本文方法判断出的布局瑕疵的认同度。首先让专家根据 1.1 节布局可用性评价的 3 条指导原则分项进行打分(1分 - 10分), 然后对每个页面分别计算简单平均数, 得到专家对页面布局设计的综合评分  $\hat{u}$  (如表 5); 并通过访谈的方式让专家分别说出各页面的布局瑕疵, 通过归纳汇总出专家认同某个布局瑕疵的比值, 记为专家对本文方法判断出的布局瑕疵的认同度  $\hat{c}$  (如表 4)。结果显示, WLUE-RWG 方法的评估结果  $u$  与  $\hat{u}$  之间具有较高的一致性, 且基本诊断出了专家对各个页面布局瑕疵的判断。

表 4 WLUE-RWG 方法评价结果

Table 4 Evaluation results of WLUE-RWG method

页面	准则	区域	WLUE-RWG 方法判断出的布局瑕疵 (对应表 3 中黑体数值)		认同度
			$c$	$\hat{c}$	
1	2	1	$P_{17}^{\bar{r}} = 0.02 < 0.05$	$c_3 = 1$	0.8
		3	$\max\{P_{21}, P_{31}, P_{61}\} = 0.09 < 0.2$	$c_5 = 1$	0.4
2	1	2	$P_2^{(0)} = 0.08 < 0.5$	$c_1 = 1$	0.6
		5	$\max\{P_5^{(1)}, P_5^{(2)}\} = 0.09 < 0.1$	$c_2 = 1$	0.6
	2	1	$P_{17}^{\bar{r}} = 0.03 < 0.05$	$c_3 = 1$	0.8
		7	$P_{17} = 0.23 > 0.2$	$c_4 = 2$	0.2
	3	7	$P_{37} = 0.24 > 0.2$		0.4
1		$\max\{P_{21}, P_{31}, P_{61}\} = 0.11 < 0.2$	$c_5 = 1$	0.6	
4	1	5	$\max\{P_5^{(1)}, P_5^{(2)}, P_5^{(3)}\} = 0.09 < 0.1$	$c_2 = 1$	

为了验证调整建议的合理性, 根据前述建议分别对两个页面进行了布局调整(如图 3 中的页面 3 和页面 4), 重新组织 19 位潜在用户进行了测试, 19 位被试者的年龄介于 21 岁 - 34 岁之间, 其

中男性 10 人, 女性 9 人, 每周上网时间在 40 h 以上的有 7 人。结果如表 3 - 5 中相关部分所示(限于篇幅, 表 3 中只列出了页面 3 和页面 4 的部分模型输出), 经过一次调整后两个页面的布局可用性都有所提高, 只有页面 4 还存在一处布局瑕疵, 其余参数均在默认阈值情况下通过了检验, 基本达到了预期效果。

表 5 评价结果比较

Table 5 Comparison of evaluation results

页面	WLUE-RWG 方法		用户主观评估方法	专家深度访谈方法
	瑕疵统计 ( $\bar{u}$ )	可用性水平 ( $u$ )	主观满意度 ( $\hat{u}$ )	综合评分 ( $\hat{u}$ )
1	2	8	7.8	8.2
2	6	4	4.6	4.1
3	0	10	9.5	/
4	1	9	9.0	/

## 4 结束语

随机游动在许多实际问题中有着广泛的应用, 本文使用视线跟踪法获取用户的视觉特征数据, 根据扫描路径理论将用户浏览过程描述为有限图上的随机游动模型, 在拓展随机游动 - 马尔科夫链应用领域的同时, 为布局可用性评价提供了新的方法, 并以具体 Web 页面为例对其使用过程与效果进行了验证, 说明了模型的可行性与方法的有效性。该方法不仅能对 Web 页面布局可用性做出定量评价, 还能帮助找出布局可用性不足(布局瑕疵)的缘由, 为页面布局的改进提供可操作的方向, 在 Web 页面设计相关领域有着广泛的应用前景, 为开发可用的 Web 界面提供了新准则和相应的评价方法。但囿于眼动测试的成本较高, 工作量较大, 所以建议将本方法与主观定性评价方法结合使用, 评价对象主要针对专家设计的页面或经过主观评价方法改进过的页面。

下一步的工作将对 WLUE-RWG 方法进行进一步的完善并在实际应用中进行更多的测试, 对“评价 - 调整”循环过程的收敛性进行进一步的研究, 或考虑使用其它数学模型以实现带时序的浏览过程分析等。

## 参考文献:

- [1]Nielsen J. Designing Web Usability: The Practice of Simplicity[M]. Indianapolis: New Riders Publishing, 1999.
- [2]郝媛媛,叶强,李一军. 基于影评数据的在线评论有用性影响因素研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 78-88.
- Hao Yuanyuan, Ye Qiang, Li Yijun. Research on online impact factors of customer reviews usefulness based on movie reviews data[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(8): 78-88. (in Chinese)
- [3]陈衍泰,陈国宏,李美娟. 综合评价方法分类及研究进展[J]. 管理科学学报, 2004, 7(2): 69-80.
- Chen Yantai, Chen Guohong, Li Meijuan. Classification & research advancement of comprehensive evaluation methods[J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(2): 69-80. (in Chinese)
- [4]Nielsen J, Pernice K. Eyetracking Web Usability[M]. Indianapolis: New Riders Press, 2009.
- [5]程时伟,石元伍,孙守迁. 移动计算用户界面可用性评估的眼动方法[J]. 电子学报, 2009, (4A): 146-150.
- Cheng Shiwei, Shi Yuanwu, Sun Shouqian. An approach to usability evaluation for mobile computing user interface based on eye-tracking[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(4A): 146-150. (in Chinese)
- [6]Brandt S A, Stark L W. Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene[J]. Journal of Cognitive Neuroscience, 1997, 9(1): 27-38.
- [7]Pieters R, Rosbergen E, Wedel M. Visual attention to repeated print advertising: A test of scanpath theory[J]. Journal of Marketing Research, 1999, 36(4): 424-438.
- [8]Josephson S, Holmes M E. Attention to repeated images on the World-Wide Web: Another look at scanpath theory[J]. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 2002, 34(4): 539-548.
- [9]Deng L, Poole M S. Affect in WEB Interfaces: A study of the Impacts of Web page visual complexity and order[J]. MIS Quarterly, 2010, 34(4): 711-730.
- [10]Noton D, Stark L. Scanpaths in eye movements during pattern perception[J]. Science, 1971, 171(968): 308-311.
- [11]Bollobás B. Modern Graph Theory[M]. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [12]Norris J R. Markov Chains[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

## Usability evaluation method of webpage layout based on the random walks on graphs

LIU Ye-zheng<sup>1,2</sup>, YE Jun-jie<sup>1,2</sup>, JIANG Wei<sup>1</sup>, XU Jun-fen<sup>1</sup>

1. School of Management, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Key Laboratory of Process Optimization and Intelligent Decision-making, Ministry of Education, Hefei 230009, China

**Abstract:** Aiming at the deficiency of practical quantitative evaluation models and methodologies for usability design of webpage layout, this paper applies eye-tracking method to model network users' browsing behavior on web pages as the points randomly walking on empowering finite graphs based on scanning paths theory. A novel and practical method for usability evaluation of web page layout (WLUE-RWG) is proposed. Finally, two product display pages, namely, mall.taobao.com and china.alibaba.com, are used as examples to verify the feasibility and effectiveness of our method.

**Key words:** web page layout; usability evaluation; scanpath theory; random walks on graph; eye-tracking method