研究的话题：试图探索人的眼动行为和网页美感的关系

工具：眼动仪

## - introduction

眼动检测技术在今天已经不算什么新鲜的话题了，在各类平面、网页乃至产品的设计中，它已经有了相当长一段时间的应用。很大一部分的眼动研究旨在评估图像上的目标区域对用户的注意力的吸引能力，从而确定一个设计的有效性，商业价值等。也有一部分的研究聚焦在行为学的研究上。

现今用于分析或是可视化眼动实验数据结果的指标有heatmap：一种评估画面上不同区域所受到眼动聚焦强度的二维图像；bee swarm，一段沿时间播放的表现每个时刻点每个用户所注视的位置的视频；gaze plot，一种把所有用户的眼动转移路径通过圆点和直线标注出来的复杂图像；AOI cluster，一种对用户的眼动数据进行空间上的聚类，从而在二维图像上标注出若干个视觉重点区块的技术。针对上述的可视化，尤其是AOI，又有相当多的指标来评估眼动的结果。以一个聚类得到的AOI为例，常见的指标有用户平均首次聚焦到AOI的时刻，在AOI上的平均停留时长，最长单次停留时长，首次停留时长，注视次数等，在此就不一一展开了。

不难发现，这些常见的眼动指标很多旨在通过不同的维度表现眼动的一种强度属性，可能是沿时间来展开，如首达时间、持续时间，可能是沿空间来展开如热图，AOI。我们的实验旨在研究一群用户的眼动行为，尤其是这些行为的一致性，与美感之间的联系。现有的可视化和指标在这方面，尤其是表现一致性方面，显得力不从心。因而本文中，我们将一定程度上基于现有的眼动指标，探讨优化和改进他们的方法，并提出一些新的指标，来考察他们与网页美感的联系，从而试图探寻人类眼动行为和美感之间的关联性。

## - related works

## - hypothesis：

一，提出猜想：一个公认好看的网页应该具有对视觉的较强的引导作用，从而使得被试者们的浏览轨迹相对于较差的网页表现出更强的一致性。 需要注意的是，我们这里所指的一致性是个体之间的一致性而非单个个体多次实验的一致性。 单个个体多次实验的一致性由于存在印象残留等干扰因素，在本实验中不予探讨。为了评估这种一致性，我们提出如下的眼动熵的概念。

二，提出概念： 眼动熵。现有的对于熵的定义包括热力学和信息论，概念上，熵表达一个系统的有序度、混乱度、或者反过来，纯度，一致度。

与此对应的，当我们把熵的概念应用在一个群体的被试者对同一个网页对象的观察所产生的一系列眼动行为上时，眼动熵的概念表达为这些被试者的眼动行为在时空上的一致性。越大的熵代表越弱的一致性，越小的熵代表越强的一致性。

而这里之所以借用熵这个概念来刻画一致性，是因为我们试图借鉴基于概率分布的香侬信息熵的计算方式来得到这样的一个表现一致性的指标。

下文中我们将通过充分的实验数据分析，尝试找到能反映上述视觉引导作用的眼动熵的合理表达，分析其与美感的关系。

## - experiment：

一，网页的收集：由于眼动实验的数据规模不是很大，我们挑选已经具有先验评价的网页以增强代表性。我们对一个评选优秀网页设计的网站（\*）和一个评选丑陋网页设计的网站（\*），从第一页开始，挑选基数序号的网页。其中，为了尽可能减小干扰，我们滤除了包含具有非拉丁字母字符和具有高识别度的商标、符号或人脸的网站。以上述规则直到获得来自上述两个网站的各20张网页。对这些网页我们统一在1280\*800的分辨率（\*一方面我们使用的眼动仪Tobii T50是1280\*1024的，一方面为了照顾到被试常用的横屏， 我们选择了这个分辨率作为实验分辨率）下截屏为图片（包含了使用的浏览器窗口），用作实验用的刺激物。

二，被试的邀请：一共有30名被试参与了眼动的实验，这些人全部都是来自上海交通大学的学生或老师，\*\*\*

三，实验环境：实验在上海交通大学的IXD交互设计实验室内进行。实验过程中室内没有除了实验操作者和被试者之外的人员以及噪声的干扰，房间的窗帘被拉上以避免不可控的光源和反光因素，实验用的眼动仪被布置在一面纯净的白墙前，以减少背景对用户注意力的分散。

四，实验设备：我们采用的实验设备为一台Tobii T50眼动仪，配合Tobii Studio 9软件使用。该眼动仪的分辨率为1280\*1024，如之前所描述，我们的实验页面采用1280\*800的尺寸。

五，眼动实验：对于每个被试，先进行的是眼动实验。所有被试都被保证是第一次浏览实验的网页，并被告知以平时放松地在网上闲逛的心态去浏览这些页面。为了减少疲劳的干扰，40张实验页面被随机（对于每个被试，这样的分组都是随机产生的）分为等量的两组，分前后两次进行实验，期间有半分钟的休息时间。每次，眼动仪会先自动播放3张Dummy页面以使被试进入实验状态，其后是以随机顺序出现的20张的实验页面，每张页面显示3秒钟，之后会有1秒钟的黑屏休息（\*这里确认一下）。这样每次实验大概进行1分半。

整个实验过程中，被试对鼠标是具有控制的，但由于所浏览的网页本质上是一张截图，翻页行为是不被允许的。

较短的曝光时间（3秒）足够使我们考察早期的下意识的眼动行为同时避免了过长的实验时间带来的疲劳。

六，评分实验：为了得到较为准确的评分同时减少评分过程对眼动的干扰，评分实验被安排在眼动实验之后分开进行。在评分实验中，被试得以再次浏览一遍刚才的40张实验网站，这次没有时长限制，被试需要对每张页面给出“好看”或是“不好看”的二值化评分。

七，奖励：每个被试在完成实验后会得到20元RMB的奖励。

## - raw data collection & format：

1，评分数据的产生：对来自评分实验的评分做平均，令“不好看”为得0分，“好看”为得1分，得到如下的每个网页的评分。代表着每个网页被被试评为好看的比例。\*\*\*

2，眼动数据格式：眼动数据的收集原理在眼动仪和相关软件内部发生：眼动仪以一定的频率（对于我们的设备T50而言，这个频率是50Hz）采集用户聚焦的平面坐标，并通过插值得到每个时刻的眼动速率的值，并通过一定的阈值得到基于注视的眼动数据。

基于注视的眼动数据是一般能通过眼动仪直接获得的最原始的数据。它是由一系列的注视构成的，每个注视包含了四个参数：注视开始时间，注视持续时间，注视横坐标，注视纵坐标。通俗而言，记录了一个注视发生的时间和地点。下文中我们的一切分析都仅来自于这些基于注视的原始眼动数据。

## - analysis

一，空间维度的讨论：

对眼动一致性的考量和对眼动熵的探索，我们首先从空间维度展开，讨论眼动fixation在空间范畴内的分布的一致性。

空间分布的眼动熵的定义：对于一个固定分辨率的画面（1280\*800），我们不妨把每个像素点都作为眼动注视的一种可能的选择，则根据香农信息熵的定义，entropy = sum(-p(x, y)\*log(p(x,y))) (for all (x, y) s.t. p(x, y) != 0)

其中p是眼动注视的二维空间概率密度分布, 满足sum(p) = 1，p(x, y)是眼动注视像素点(x, y)的可能性

接下来我们讨论几种获得fixations的空间概率密度的方法，并逐一评估基于他们的熵与美感的关联性（\*\*实际整个讨论过程是不断简化算法的）

一）传统热图：现有的能够直观反映眼动注视行为在网页画面上的空间分布的可视化方式是热图：

热图是将整个眼动记录时间内的所有被试的眼动注视（fixation）以其注视时长为强度，以其注视坐标为位置叠加的一系列高斯核组成的图像。计算其眼动熵的值，效果不甚理想。。。。。

二）去权热图（这个名词有待商榷）：将传统热图中的由注视时长导致的权重去除，给予每个fixation相同的权重叠加高斯核，再归一化进行计算，效果拔群！ \*\*就半径问题简单讨论一下

\*\*这里来一段简短的分析，即有权无权的区别，半径的意义是什么（代表了眼动仪的误差？亦或是人的黄斑视角范围？）

三）布尔饼图，在去权热图的基础上进一步简化，通过xor的布尔运算进行叠加，每个区域只表示看了或者没看。对得到的布尔分布图计算熵

提出算面积的简化算法，差别仅在一个log。我们把这个指标定义为我们的眼动熵的算法。

\*\*关于空间熵的讨论一：空间利用率的大前提和衡量方式，以及两者的组合效果

\*\*关于空间熵的讨论二：类似Bee swarm的可视化 => 时间切面上的空间分布熵的简单讨论，包括随时间切面熵的持续增长趋势，和800ms-1000ms左右的相关性高峰

二，通过空间分布熵到空间分布熵在时间切面上的变化的讨论，把话题延伸到对时间转移序列的熵的讨论上

单独讨论眼动的转移序列的意义： 滤除了不同观察习惯造成的停留时间不同的因素，单纯地考量被试在页面上浏览次序之间一致性 \*\*这块可以搬出传统的眼动指标gaze plot，我们的计算是试图从gazeplot中提取出信息

由于fixation的具体坐标相同的概率微乎其微，要使得不同被试者的眼动转移具有可比性，我们需要用到传统的眼动指标中的AOI的概念。\*\*介绍一下AOI\*\*。

在这里，我们使用Tobii studio 9的自带的AOI cluster算法，对整个眼动记录时间内的fixation数据进行聚类，这将产生一系列由凸多边形构成的AOI区块，每一个区块代表着一个页面上用户会普遍集中注视的视觉重点。

\*\*对AOI聚类数据的简单讨论，包括个数等等

基于这些AOI的聚类，我们得以获得如下的每个用户浏览每个页面的眼动转移序列的数据

------

我们将尝试基于马尔科夫假设的香侬熵的指标来考量这些序列之间的一致性

一）两两转移熵

二）序列出现概率的统计熵

\*\*简单分析为什么上述指标无效，其实主要是马尔科夫假设的问题，眼动的早期的行为是有明显的发展变化趋势的，故理解成马尔科夫序列或其他的随机时间序列都欠妥。

在过于复杂的条件概率结构下，我们采用DNA序列分析中常用的编辑距离的概念来评估转移序列的一致性

三）归一化的LCS编辑距离

四）简单的LCS值，有一定效果，需要说明为什么这个指标的实质和香侬熵的计算是统一的

\*\*结合作为大前提的AOI聚类数量讨论一下

三、小结。经过上述的讨论我们明确了两种时间和空间熵的对眼动一致性的考量指标，我们把它们定义为眼动熵，因为他们都具有香侬熵的底层计算原理。

## - discussion

一）人类的眼动行为的一些观察结果，如一致性随时间在个体间的持续下降，800ms眼动行为对美感的表现

二）美感与眼动的关联

- further discussion

一）基于眼动熵的对现有眼动数据可视化的探索，如去权热图，布尔饼图和相关眼动熵数据用来配合传统热图表现空间眼动的一致性；时间切面的布尔饼图和相关眼动熵数据配合gaze plot的动态可视化；gaze plot和AOI cluster配合眼动序列熵的评估

## - conclusion