

条形图和圆环图数据占比映射的比较研究

李茂宁¹, 玄颖双²

(1.广州大学, 广州 510006; 2.广州番禺职业技术学院, 广州 511483)

摘要: **目的** 研究在观察时间受限制的条件下, 条形图和圆环图在映射数据占总体比值关系时的优势。**方法** 实验设计了 3 种尺寸 (占屏幕 7.5%, 15%, 22%) 和 3 种映射取值 (1, 1/2, 1/3) 的条形图和圆环图, 被测对象对图形映射的数据占比进行判断, 以获得 2 种形态的判断时间均值和错误率均值。实验使用计算机化实验生成系统 E-prime 收集数据, 使用 SPSS 进行数据统计和分析。**结果** 映射取值为 1、1/2、1/3 条件下, 条形图的 3 种尺寸判断时间均值均低于圆环图; 条形图判断错误率均值为 2.51%, 低于圆环图的错误率 4.03%; 2 种图的映射取值越小, 判断的速度越慢。**结论** 条形图的映射判断速度和准确性比圆环图更具有优势, 更适合应用于时空受限制的场景, 有助于数据可视化设计时减少因数据堆集而导致的信息过载。

关键词: 可视化; 条形图; 圆环图; 映射

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)08-0210-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.08.027

Study on the Data Proportion Mapping of Bar Graph and Doughnut Graph

LI Mao-ning¹, XUAN Ying-shuang²

(1.Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

2.Guangzhou Panyu Polytechnic, Guangzhou 511483, China)

ABSTRACT: Under the condition of limited observation time, the advantages of bar graphs and doughnut graphs in mapping data to the overall ratio relationship are studied. The experiment designed bar graphs and doughnut graphs of three sizes (7.5%, 15%, 22% of the screen) and three mapping values (1, 1/2, 1/3), the percentage of data is used for judgment to obtain the average value of the judgment time and the average error rate of the two forms. The experiment uses the computerized experiment generation system E-prime to collect data, and uses SPSS for data statistics and analysis. When the mapping value is 1, 1/2, 1/3, the average value of the judgment time of the three sizes of the bar graph is lower than that of the donut chart; the average judgment error rate of the bar graph is 2.51%, which is lower than that of the donut chart The error rate is 4.03%; the smaller the mapping value of the two graphs, the slower the judgment speed. The speed and accuracy of the mapping judgment of the bar graph is more advantageous than that of the doughnut graph, and it is more suitable for use in time- and space-constrained scenarios, which helps to reduce the information overload caused by data accumulation in the data visualization design.

KEY WORDS: visualization; bar graph; doughnut graph; mapping

数据可视化用图形来映射数据, 揭示事物之间的内在关系, 广泛应用于信息呈现和界面设计。数据可视化常使用条形图和圆环图来中介数据的比值关系, 应用于终端界面的设计。先前的大量研究基于静态环境, 在动态、交互环境下, 2 种形态的图形映射效率

并未明确。为了探明在时空受限的条件下两者的映射优势, 研究设计了条形图和圆环图比值判断实验, 用 E-prime 来收集数据, 使用 SPSS 进行数据的统计, 分析和比较 2 种形态映射的差异, 探索的结论将有助应用于动态交互场景, 或有助于数据可视化设计时减

收稿日期: 2021-12-11

作者简介: 李茂宁 (1979 年—), 男, 博士, 高级实验师, 主要研究方向为信息设计与游戏设计。

少因数据堆集而导致的信息过载。

1 数据可视化机制和图形感知

映射是一个从数理理论借用而来的术语,表示两组事物要素之间的关系^[1]。唐纳德·A·诺曼认为设计中的映射应该符合人的自然认知和直接经验,反馈具有快速准确的特点,这样形成的一个交互过程才具有良好的体验,他的观点在界面设计和交互体验中起到了重要的作用。数据可视化即是利用图形的形状、色相、亮度、纹理或多个特征联合的差异来表示抽象的数据。

数据可视化基于图形感知的研究多集中在形状方面,其中诸多方形与圆形的感知规律对数据可视化有直接的指导意义。圆形具有示能、意指作用^[2-3],圆环具有较小的面积,在圆形界面中具有组织视觉秩序的优势。抛开视觉审美的因素,不同形态的图形在映射数据时,效率有较大的差异。先前的研究表明被测试对象在比较不同图形映射数据一致性时,圆环和实心圆的正确率最高(正确率 64.5%),比实心圆和正方形(正确率 43.5%)或实心圆和三角形(正确率 38.5%)明显更好^[4],换句话说,在数据可视化呈现时,实心圆、三角形和正方形之间映射的准确性有较大差异,圆环和实心圆的差异不大。

虽然圆环和实心圆在映射数据时差异不大,但是圆环图能更好地呈现多维群集数据。Arcs 等人测试了实心圆和圆环视觉编码,认为圆环和实心圆主要依赖于弧长和面积编码,在判断占比时圆环和实心圆具有同等的优势。^[5]圆环图可视化利用多个同心圆环的组合,用色彩特征映射数据,可用于反映水文地质和环境的规律^[6];环形图可用于识别多种疾病诊断率的时空趋势,分析疾病与性别、种族和社会因素的关联^[7],以及用于多元流行病学数据的空间可视化^[8]。在使用环形图映射的众多案例中,数据大多呈现集群和多维度特征,由于圆环比圆形占有更少的面积和更易于组合,而且圆环的这一特征更容易阐释数据间的抽象关系。

基于形状差异映射的研究还表明,条形图和圆环图在数据映射的效率上各有优劣。Heer 等^[9]的实验表明,比较正方形的大小不如比较具有不同长宽比的矩形准确。Hollands 等^[10]发现,随着条形图中组件数量的增加,它们在传达比例上的有效性也会降低。Frederick 在研究个体与总体比例关系的映射时,发现在 50%、25%百分比时,圆形图的判断比条形图准确,在 12%、33%百分比时条形图的判断比圆形图准确;在 40%百分比时,圆形图的判断与条形图的判断没有显著差异^[11],造成这种差异与被分割的图形特征有关,与前注意加工(Preattentive)^[12]有关。Frederick E.C 后续研究中关于个体间关系的映射时,发现基于条形图的估计比基于正方形,圆形或立方体的估计更加准确^[13]。有些研究认为条形图的修饰会严重影响图

表内数据的传递程度^[14],但还有些研究认为在认知负荷较低,认知适应后,可视化图形中的标签可以提高信息提取的速度和准确性^[15]。条形图利用 AR 技术,可在室外环境中以沉浸式传递地理空间的数据^[16],条形图也可以通过转换而生成其他原型图^[17]。

虽然上述的研究侧重和上下文不尽相同,但都是基于静态环境,对比较的时间也并没有明确的限定。在某些特定的条件下,数据反馈的速度比数据反馈的精度更重要,例如行驶中汽车的仪表盘,或者大量群集的数据阵列,需要对映射的比值做快速的判断,同时与动态环境做交互处理。在控制时间的条件下,条形图和圆环图映射的差异性可能会加剧。先前的数据可视化研究主要关注静态环境下的数据映射的准确性,而排除了时间和空间的限制。而在某些动态场景中数据可视化的观察受到时间、终端物理界面、或数据量群集等因素的限制,速度非常重要,而数据映射的精度则相对次要。

具体到时空环境中,Blascheck 等^[18]做了条形图、圆环图和径向条形图在智能手表中数据比较的实证研究,结果表明,在需要快速比较数据的情况下,条形图和圆环图比径向条形图更具有优势。先前研究的成果对数据可视化的比较关系设计具有重要的指导意义,但是目前没有明确的研究证明,在控制时间的条件下数据占总体比值关系时,条形图与圆环图的差异和优势。

比较此情境下的条形图与圆环图映射的效率和优势,探索其判断感知的依据,是对界面设计的有益补充,或有助于减少因数据堆集而产生的信息过载。为了探索这一问题,研究设计了映射判断实验,比较二者的判断速度和准确性。

2 实验设计

研究的目的是探索在速度优先,精度次之的场景下,条形图与圆环图的映射效率。因此研究假设在此条件下,条形图的映射比圆环图更为快速而准确。为了验证这一假设,本文使用数字化行为实验的方法收集数据,通过比较反应时间来判断速度,通过比较错误的频率来判断准确性,结合两者数据来分析映射的效率。

2.1 刺激物

实验的刺激物是条形图和圆环图。为了得到相对客观的数据,规避可能的其他干扰因素,对条形图和圆环图的基本形态做了一些考虑和限定。构成条形图的线可能存在多种方向,由于线的倾斜会产生方向错误感,而感知速度会随着线的角度而变化^[19],所以实验设计的条形图使用常用的水平状直线,映射的取值也按照由左到右的阅读习惯,以灰度差异来判断数值,从而规避因阅读方向会导致空间偏差^[20]。

圆环图不封闭,开口在右下角,构成圆环图的线占整个圆环的 75%。阅读的方向由上至下。由于感知判断基于圆环图的线的面积和条形图线的面积一致性,2 根线的 2 个端点间的粗细没有变化,但是面积相同的 2 根线的粗细有差异。2 根线都不含任何装饰和刻度。

2.2 参与者

实验被测对象来自广州的高校,一共 51 名。他们的年龄在 18~24 岁之间,平均年龄是 20.3 岁 (SD 为 175 cm),其中男性 27 人,女性 24 人,裸眼视力或矫正视力正常,无色盲色弱,全部是右利手。

2.3 实验装置

映射判断的实验用计算机化实验生成系统 E-prime 2.0 编制。条形图和圆环图随机出现在屏幕中央,被

测对象通过按键反应来判断映射的数值,计算机记录反应的时间和判断的数值,从而获得映射判断的速度和判断的错误率。刺激呈现在 68.5 cm 彩色 Led 显示器上 (屏幕分辨率是 1920 PX ×1200 PX)。条形图线长度有 3 个取值,分别是 143PX、287PX (2° 视角) 和 430PX,圆环图的半径取值分别是 23PX、61PX 和 68PX。由于实验对判断时间的限制,并未强调映射取值的精度,条形图和圆环图的映射取值分别设置为占总体的 1、1/2 和 1/3。

2.4 实验程序

为了控制时间条件,被测对象被告知如果超过 2 秒没有反应被视为错误判断,在确保判断正确的前提下,快速按键反应。正式实验前需要进行练习,如果正确率高于 95%且平均反应时低于 1 000 ms 才可以正式开始实验。单次实验流程见图 1。

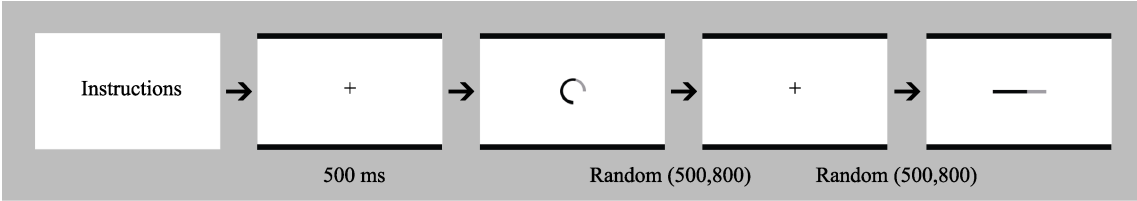


图 1 单次实验流程
Fig.1 Single experiment flow

实验开始时首先会在屏幕中央呈现一个十字形的灰色注视点,实验过程中空屏间隔的屏幕中央都有注视点。实验过程中,被测对象手指放在“1”“2”“3”键位置,使用这些键映射数值并快速按键判断,记录正确率与反应时。被测对象按键反应后画面随即消失,判断任务结束 (如被测对象 2s 内未作出反应,视为一次错误反应),随机间隔 500 ms~800 ms 后再次开始。单次画面判断完成后,刺激消失,屏幕中央出现提示,继续进入下一画面。

正式实验包括 36 次测试,每 18 次测试完毕被测对象休息片刻,之后按确认键继续操作。

3 实验结果

在这个实验中共采集到 1 836 条数据。采集到的反应时数据做了筛选处理,将被测对象的反应时数据以 Z 值区间 (-2.0,+2.0) 为标准去除离群值,保留了 1776 条数据。采集的数据使用 SPSS 25 软件进行统计分析。

球形度检验 $P=0.000<0.05$,不符合球形性,采用多变量检验结果,见表 1。多变量检验 2 种形状的映射 (Form) $F=218.385$, $P=0.000<0.05$,表明 2 种形状的映射判断有差异,见表 2。

表 1 莫奇来球形度检验
Tab.1 W sphericity test

效应	莫奇来 W	近似卡方	自由度	显著性	格林豪斯-盖斯勒	辛-费德特	下限
Form	1	0	0		1	1	1
Count	0.460	57.458	2	0.000	0.649	0.656	0.50
Mapping	0.034	250.547	2	0.000	0.509	0.509	0.50
Form * Count	0.714	24.885	2	0.000	0.778	0.791	0.50
Form * Mapping	0.642	32.835	2	0.000	0.736	0.747	0.50
Count * Mapping	0.040	236.878	9	0.000	0.408	0.416	0.25
Form * Count * Mapping	0.077	188.325	9	0.000	0.414	0.422	0.25

表 2 多变量检验
Tab.2 Multivariate test

效应	方法	取值	<i>F</i> 值	假设自由度	误差自由度	显著性
Form	Pillai's Trace	0.744	218.385 ^b	1	75	0.000
	Wilks' Lambda	0.256	218.385 ^b	1	75	0.000
	Hotelling's Trace	2.912	218.385 ^b	1	75	0.000
	Roy's Largest Root	2.912	218.385 ^b	1	75	0.000
Count	Pillai's Trace	0.843	199.389 ^b	2	74	0.000
	Wilks' Lambda	0.157	199.389 ^b	2	74	0.000
	Hotelling's Trace	5.389	199.389 ^b	2	74	0.000
	Roy's Largest Root	5.389	199.389 ^b	2	74	0.000
Mapping	Pillai's Trace	0.988	3 068.055 ^b	2	74	0.000
	Wilks' Lambda	0.012	3 068.055 ^b	2	74	0.000
	Hotelling's Trace	82.920	3 068.055 ^b	2	74	0.000
	Roy's Largest Root	82.920	3 068.055 ^b	2	74	0.000
Form * Count	Pillai's Trace	0.650	68.846 ^b	2	74	0.000
	Wilks' Lambda	0.350	68.846 ^b	2	74	0.000
	Hotelling's Trace	1.861	68.846 ^b	2	74	0.000
	Roy's Largest Root	1.861	68.846 ^b	2	74	0.000
Form * Mapping	Pillai's Trace	0.890	298.201 ^b	2	74	0.000
	Wilks' Lambda	0.110	298.201 ^b	2	74	0.000
	Hotelling's Trace	8.059	298.201 ^b	2	74	0.000
	Roy's Largest Root	8.059	298.201 ^b	2	74	0.000
Count * Mapping	Pillai's Trace	0.968	544.608 ^b	4	72	0.000
	Wilks' Lambda	0.032	544.608 ^b	4	72	0.000
	Hotelling's Trace	30.256	544.608 ^b	4	72	0.000
	Roy's Largest Root	30.256	544.608 ^b	4	72	0.000
Form * Count * Mapping	Pillai's Trace	0.818	80.647 ^b	4	72	0.000
	Wilks' Lambda	0.182	80.647 ^b	4	72	0.000
	Hotelling's Trace	4.480	80.647 ^b	4	72	0.000
	Roy's Largest Root	4.480	80.647 ^b	4	72	0.000

注：“b”表示精确统计。

成对比较数据表明,在 3 种大小取值和 3 种映射取值下,条形图的映射判断速度与圆环状的映射判断速度均有显著差异 ($P<0.05$),见表 3。

反应时间平均值见图 2,条形图在映射取值为 1 时,平均值为 573 ms;在映射取值为 1/2 时,平均值为 657 ms;在映射取值为 1/3 时,平均值为 744 ms;

圆环图在映射取值为 1 时,平均值为 614 ms;在映射取值为 1/2 时,平均值为 689 ms;在映射取值为 1/3 时,平均值为 752 ms;横线状映射判断平均值为 658 ms,圆环状映射判断平均值为 685 ms。条形图的 3 个尺寸的均值在不同映射取值时的反应时均低于圆环图的反应时。

表 3 成对比较
Tab.3 Pairwise comparison

Count	Mapping	(I) Form	(J) Form	平均差值(I-J)	标准误差	显著性 ^b	差值的 95%置信区间 ^b	
							下限	上限
1	1	1	2	-38.842 [*]	2.967	0.000	-44.752	-32.932
		2	1	38.842 [*]	2.967	0.000	32.932	44.752
	2	1	2	-37.276 [*]	2.040	0.000	-41.340	-33.213
		2	1	37.276 [*]	2.040	0.000	33.213	41.340
	3	1	2	-23.961 [*]	5.046	0.000	-34.013	-13.908
		2	1	23.961 [*]	5.046	0.000	13.908	34.013

续表 3

Count	Mapping	(I) Form	(J) Form	平均差值(I-J)	标准误差	显著性 ^b	差值的 95%置信区间 ^b	
							下限	上限
2	1	1	2	-44.382 [*]	2.220	0.000	-48.805	-39.958
		2	1	44.382 [*]	2.220	0.000	39.958	48.805
	2	1	2	-10.500 [*]	1.897	0.000	-14.280	-6.720
		2	1	10.500 [*]	1.897	0.000	6.720	14.280
	3	1	2	-16.184 [*]	2.799	0.000	-21.760	-10.609
		2	1	16.184 [*]	2.799	0.000	10.609	21.760
3	1	1	2	-39.289 [*]	2.801	0.000	-44.870	-33.709
		2	1	39.289 [*]	2.801	0.000	33.709	44.870
	2	1	2	-46.987 [*]	2.698	0.000	-52.361	-41.613
		2	1	46.987 [*]	2.698	0.000	41.613	52.361
	3	1	2	16.263 [*]	1.212	0.000	13.849	18.677
		2	1	-16.263 [*]	1.212	0.000	-18.677	-13.849

注：“*”表示平均值差值的显著性水平为 0.05；“b”表示平均值差值的显著性水平为 0.05。

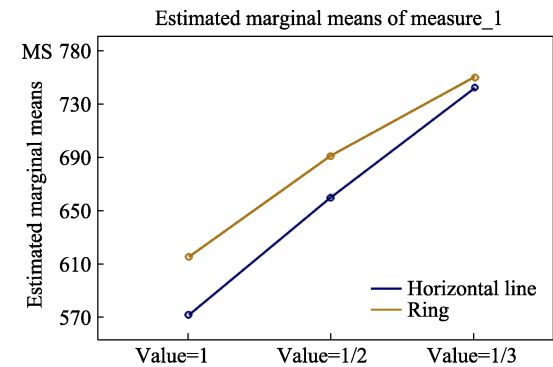


图 2 反应时间平均值
Fig.2 Average reaction time

条形图和圆环图映射判断错误数据见表 4，圆环图映射判断错误率是 4.03%，条形图的映射判断错误率是 2.51%。数据表明相同条件下，条形图在判断映射数值时更准确。

表 4 映射判断错误率
Tab.4 Mapping judgment error rate

形态	正确	错误	错误率/%
条形图	895	23	2.51
圆环图	881	37	4.03

4 分析与讨论

实验结果表明，条形图的映射判断无论是速度还是准确性都比圆环图要高，综合这 2 个方面，条形图在此条件下具有更高的效率和优势。

条形图和圆环图都具有简洁的知觉特征，掌握二者的映射效率，不仅有助于速度优先的场景下提高交互的效率，而且在呈现大量的数据时，有助于提升界面视觉组织的秩序，减少信息加工负荷。过滤器模型

和注意衰减模型表明大脑处理信息的能力有限，为了避免信息过载，大脑选择部分信息进入高级分析阶段，虽然人们有选择性注意的能力，但是由于认知的中枢瓶颈（bottleneck）效应而导致数据判断的失误。所以，在这种场景下映射判断的速度比映射取值的精度更重要，当注意力在多个注视点间转换时，某一焦点的信息过载会增加认知的负荷，从而导致专注于另一注视点注意力下降。因此从知觉的维度来看，数据可视化时，映射的速度越快，对其他场景的影响越小。

两者比较判断，在映射取值为 1 时，条形图和圆环图的反应时差距最大；在映射取值为 1/2 时次之；在映射取值为 1/3 时差距最小。从目前仅有的 3 个映射取值来看，映射取值与两者反应时差距是一种正相关关系。但是 Frederick E.C 在比较圆形图和条形图的占比关系时，发现判断的准确性受到映射取值的影响，而这种影响是离散型的，比如取值为 1/2、1/4 时，圆形图的判断比条形图准确，取值为 3/25、1/3 时，条形图的判断比圆形图准确。由于实验设计时未将映射取值的精度作为第一条件，映射取值只设置了 3 个最简单的值，其结果表明了差距连续减少的趋势，如果增加映射取值的精度，是否仍然保持此趋势有待进一步的验证。

条形图的 3 个尺寸的均值在映射 1，1/2，1/3 时的反应时均低于圆环图的反应时，并在映射取值趋于精细时这种差距逐渐减少，无论是条形图还是圆环图，判断所需要的时间都随着取值的精细化而越来越长，两者之间的反应时间差距趋向于 0。这也符合人们的主观猜测，同时也说明在速度优先，精度次之的场景下，两者的比较才有现实意义。

实验中设定的条形图是水平状的，虽然重力不会影响视线平分任务^[21]，但是重力对垂直状的条形图的映射判断是否产生叠加效应并未明确。

实验中设定的圆环图不封闭, 开口在右下角, 构成圆环图的线占整个圆环的 75%。实验中的映射判断基于刺激中黑色部分和灰色部分亮度上的差异, 由于一阶特征的图形会产生前注意效应^[12], 为了消除影响, 条形图和圆环图需要保持一致的面积。所以实验设计圆环图的线占整个圆环的 75%, 并缩小了圆环的半径, 以保持一致的面积。Frederick 发现在判断圆形图占比关系时, 部分判断来自扇形的面积, 部分判断来自扇形的角度。虽然在视觉搜索任务中, 闭合形状的搜索比开放形状的搜索更快^[22], 但是由于圆环不能形成实质的角度分割, 判断的依据还是面积的特征, 所以条形图更具有竞争优势。

由于实验被测对象的数量相对较少, 虽然在实验过程中严格遵循实验的程序和方法, 并严格控制被测对象的视角和实验状态, 但实验结果仍然会具有一定程度的泛化, 要获得更为客观的数据, 最好的解决方法还是增加被测对象的数量。

5 结语

上述实验数据反映了条形图和圆环图在 3 种尺寸下和 3 种取值下的判断时间均值和 2 种图形判断的错误率, 无论是何种尺寸, 条形图的映射判断速度始终比圆环图的要快。判断的错误率数据也表明, 条形图的映射判断比圆环图映射判断更加准确, 更不容易出错。实验证明了人们的假设, 在时间优先, 精度次之的场景下, 条形图的映射比圆环图的更为快速而准确, 条形图在占比的映射判断中, 具有更好的优势。

综上所述, 在占比的数据映射中, 条形图的映射判断速度和准确性比圆环图更具有优势, 更适合应用于时空受限制的场景, 有助于数据可视化设计时减少因数据堆集而导致的信息过载。

参考文献:

- [1] NORMAN D A. The Design of Everyday Things[M]. New York: Basic Books, 2008.
- [2] 章洁, 谢振平, 赵婷婷, 等. 基于视知觉动力理论的智能产品圆形数字界面的交互原语研究[J]. 包装工程, 2019, 40(22): 107-111.
ZHANG Jie, XIE Zhen-ping, ZHAO Ting-ting, et al. Interactive Primitives of Circular Digital Interface for Intelligent Products Based on the Theory of Visual Perception Power[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(22): 107-111.
- [3] 刘再行. 从需求出发的信息可视化设计方法研究[J]. 包装工程, 2016, 37(16): 1-5.
LIU Zai-xing. Information Visualization Design Methods Based on Needs[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(16): 1-5.
- [4] GREEN E J. A Layered View of Shape Perception[J]. The British Journal for the Philosophy of Science, 2017, 68(2): 355-387.
- [5] SKAU D, KOSARA R. Arcs, Angles, or Areas: Individual Data Encodings in Pie and Donut Charts[J]. Computer Graphics Forum, 2016, 35(3): 121-130.
- [6] PALMUCCI W, RUSI S, TATANGELO F. Ring Maps Applied to Hydrogeological and Environmental Studies in Alluvial Aquifers, Central Italy[J]. Journal of Maps, 2016, 12(1): 33-44.
- [7] FEDE A L D, STEWART J E, HARDIN J W, et al. Spatial Visualization of Multivariate Datasets: An Analysis of STD and HIV/AIDS Diagnosis Rates and Socioeconomic Context Using Ring Maps[J]. Public Health Reports (Washington, D C: 1974), 2011, 126(3): 115-126.
- [8] BATTERSBY S E, STEWART J E, FEDE A L D, et al. Ring Maps for Spatial Visualization of Multivariate Epidemiological Data[J]. Journal of Maps, 2011, 7(1): 564-572.
- [9] HEER J, KONG N, AGRAWALA M. Sizing the Horizon: The Effects of Chart Size and Layering on the Graphical Perception of Time Series Visualizations[C]// CHI '09: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Boston: 2009(4): 1303-1312.
- [10] HOLLANDS J G, SPENCE I. Judging Proportion with Graphs: The Summation Model[J]. Applied Cognitive Psychology, 1998, 12(2): 173-190.
- [11] CROXTON F E, STRYKER R E. Bar Charts Versus Circle Diagrams[J]. Journal of the American Statistical Association, 1927, 22(160): 473-482.
- [12] HEALEY C G, ENNS J T. Attention and Visual Memory in Visualization and Computer Graphics[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(7): 1170-1188.
- [13] CROXTON F E, STEIN H. Graphic Comparisons by Bars, Squares, Circles, and Cubes[J]. Journal of the American Statistical Association, 1932, 27(177): 54-60.
- [14] SKAU D, HARRISON L, KOSARA R. An Evaluation of the Impact of Visual Embellishments in Bar Charts [J]. Computer Graphics Forum, 2015, 34(3): 221-230.
- [15] KOPP T, RIEKERT M, UTZ S. When Cognitive Fit Outweighs Cognitive Load: Redundant Data Labels in Charts Increase Accuracy and Speed of Information Extraction[J]. Computers in Human Behavior, 2018, 86: 367-376.
- [16] QUACH Q, JENNY B. Immersive Visualization with Bar Graphics[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2020, 47(6): 471-480.
- [17] XU Dan-li, WANG Yong. Area-Proportional Visualization for Circular Data[J]. Journal of Computational and Graphical Statistics, 2020, 29(2): 351-357.

- [18] BLASCHECK T, BESANCON L, BEZERIANOS A, et al. Glanceable Visualization: Studies of Data Comparison Performance on Smartwatches[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2019, 25(1): 1-1.
- [19] FARRELL-WHELAN M, BROOKS K R. Differential Processing: Towards a Unified Model of Direction and Speed Perception[J]. Vision Research, 2013, 92: 10-18.
- [20] AFSARI Z, OSSANDÓN J P, KÖNIG P. The Dynamic Effect of Reading Direction Habit on Spatial Asymmetry of Image Perception[J]. Journal of Vision, 2016, 16(11): 8.
- [21] DRAKUL A, BOCKISCH C J, TARNUTZER A A. Does Gravity Influence the Visual Line Bisection Task? [J]. Journal of Neurophysiology, 2016, 116(2): 629-636.
- [22] ELDER J, ZUCKER S. The Effect of Contour Closure on the Rapid Discrimination of Two-Dimensional Shapes [J]. Vision Research, 1993, 33(7): 981-991.

责任编辑：陈作

(上接第 163 页)

- [12] 全冲, 赵宇翔. 基于内容分析法的弹幕视频网站用户使用动机和行为研究[J]. 图书馆论坛, 2019, 39(6): 80-89.
- TONG Chong, ZHAO Yu-xiang. Content Analysis on User Motivation and Behavior in Barrage Video Sites[J]. Library Forum, 2019, 39(6): 80-89.
- [13] 李侗桐. 利用 SPSS 进行一致性检验并计算 Kappa 值 [EB/OL]. (2019-04-03)[2020-11-25]. <http://www.iikx.com/news/statistics/4569.html.03>.<http://www.iikx.com/news/statistics/4569.html>.
- LI Tong-tong. Using SPSS to check the consistency and calculate the Kappa value[EB/OL]. (2019-04-03)[2020-11-25]. <http://www.iikx.com/news/statistics/4569.html.03>.<http://www.iikx.com/news/statistics/4569.html>.
- [14] 韦艳丽, 周璇, 刘煜炜. 基于八角行为分析法的学习类 APP 游戏化驱动设计研究[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 148-155.
- WEI Yan-li, ZHOU Xuan, LIU Yi-wei. Research on Game Driven Design of Learning APP Based on Octagonal Behavior Analysis[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(8): 148-155.
- [15] 韦艳丽, 王松琴, 孙虹, 等. 互联网产品的情感温度提升策略研究[J]. 包装工程, 2019(20): 1-5.
- WEI Yan-li, WANG Song-qin, SUN Hong, et al. Emotional Temperature Enhancement Strategy of Internet Products[J]. Packaging Engineering, 2019(20): 1-5.
- [16] 邓欣阳, 万萱. 针对弹出式广告阅读“中断感”的设计研究[J]. 包装工程, 2021, 42(18): 292-299.
- DENG Xin-Yang, WAN Xuan. Research on the Design of "Sense of Interruption" in Pop-up Advertising Reading[J]. Packing Engineering, 2021, 42(18): 292-299.

责任编辑：马梦遥

(上接第 209 页)

- [18] 姚晓林. 智能针织 CAD 提花档案制作工艺[J]. 针织工业, 2018(3): 10-13.
- YAO Xiao-lin. Manufacturing Process of Intelligent Knitting CAD Jacquard File[J]. Knitting Industry, 2018(3): 10-13.
- [19] 李华, 张敏, 程丽娜. 基于 CATIA/CAA 的轮胎花纹设计及自动节距排列[J]. 轮胎工业, 2021, 41(1): 9-12.
- LI Hua, ZHANG Min, CHENG Li-na. Tire Pattern Design and Automatic Pitch Array Based on CATIA/CAA [J]. Tire Industry, 2021, 41(1): 9-12.
- [20] 徐伯初, 李洋. 轨道交通车辆造型设计[M]. 北京, 科学出版社: 2012.
- XU Bo-chu, LI Yang. Modeling Design of Rail Transportation Vehicles[M]. Beijing, Science Press: 2012.
- [21] 朱昱宁, 徐博群, 刘肖健. 基于交互式遗传算法的参考图像辅助配色设计[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 181-188.
- ZHU Yu-ning, XU Bo-qun, LIU Xiao-jian. Reference Image Assisted Color Matching Design Based on Interactive Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 181-188.
- [22] 李愚, 刘肖健, 孙艳. 产品配色设计的色彩邻接网络模型[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(9): 2355-2364.
- LI Yu, LIU Xiao-jian, SUN Yan, LU Chun-fu. Color Adjacent Network Model for Product Color Matching Design[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(9): 2355-2364.

责任编辑：马梦遥