

视觉通道感知能力比较

可视化与可视计算概论·作业一

✧ 王子龙*

🏢 信息科学技术学院 1600012751

2018 年 10 月 16 日

摘要

这个项目试图比较不同视觉通道下，人类对比例的感知能力。在实验中，设计 4 个视觉通道：长度、角度、线速度、角速度，对 4 个数据点（3%，30%，76%，97%）分别建立可视化对象，由测试者评定，获得数据，最后评估模型。评定模型通过方差分析分析视觉通道和数据大小两个因素对结果的影响，并通过假设检验比较数据样本的误差值。最终实验表明：对于这些等分点附近的值，长度与角度两视觉通道差异不显著，而动态情况会导致较大的误差。

1 实验设计

实验借助 JavaScript 编程技术，针对不同通道不同数据点设计可视化对象，制作在线网页，并挂载到服务器，收集数据，最后利用 Python、Excel、Matlab 进行数据分析，分析其显著性水平等指标。

1.1 视觉通道选取

实验选取 4 个视觉通道：长度、角度、线速度、角速度。其中长度与线速度相对应，角度与角速度相对应，试图通过两方面衡量视觉通道对人类比例感知效果的影响：

- 其一，长度与角度两大类别的对比。作为在日常生活中最为常见的两种视觉通道，笔者先验的假设为：对于“比例”这一数据类型，角度应优于长度。
- 其二，静态与动态两种情况的对比。线速度即为单位时间内长度变化量，角速度即为单位时间内角度变化量。测试者往往抓住某一瞬间长度与角度的比例来判断结果。通过长度与线速度的对比、角度与角速度的对比，可以分析动态情况下人类对比例的感知能力。笔者的先验假设为：动态情况下产生的误差大于静态情况。

1.2 数据点选取

在实验中选取了 4 个数据点：3%、30%、76%、97%，分别位于 0、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、1 附近。笔者观察到人们对诸如二等分、三等分的比例相对敏感，对于未知的情况，往往也从这些位置出发，进行估计。所以，根据实验结果计算测试者估计值与实际值的绝对误差，观察测试者对不同等分点附近的点的感知情况，根据数据分析不同等分点是否影响测试者对比例的估计。

1.3 可视化对象设计

在实验中通过 JavaScript 编程，并借助其中 d3.js 的支持，绘制图像，完成静态和动态共 4 种类型的可视化对象（对应 4 种视觉通道）。图像和测试问题如下所示：



图 1: 长度（Q：黑色线条占整体线条的比例）

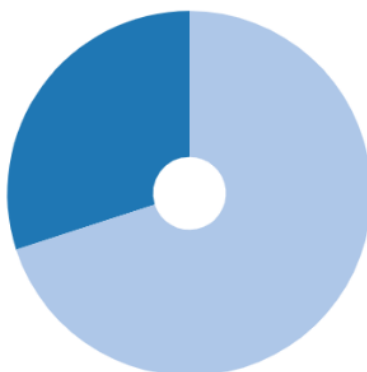


图 2: 角度（Q：深蓝色占整体的比例）



图 3: 线速度（Q：黑色线条运动速度是灰色长条运动速度的百分之几）

图 3 与图 4 是两张动态图的截图，测试者一般通过特定时刻的长度、角度完成对动态情况下的估计。

对于静态图，图 1 中黑色线条长度占总体的比例即为当前数据点，图 2 中饼图深蓝色部分对



图 4: 角速度 (Q: 红色指针角速度 (慢) 是黑色指针 (快) 角速度的百分之几)

应圆心角比例即为当前数据点; 对于动态图, 通过 JavaScript 中 `setInterval(func, time)` 函数完成定时更新, 实现动态效果, 其计算方法与参数如下:

$$\begin{aligned} V_{hundred} &= 100 * v_k \text{ px/10ms} \\ V_{percent} &= percent * v_k \text{ px/10ms} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} A_{hundred} &= 100 * \alpha_k * 360 \text{ deg/10ms} \\ A_{percent} &= percent * \alpha_k * 360 \text{ deg/10ms} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 V 、 A 分别为线速度与角速度, $percent$ 为数据点 ($percent \in 3, 30, 76, 97$), v_k 与 α_k 控制两张动态图速度大小, 通过反复测试, 选定 $v_k = 0.01$ 、 $\alpha_k = 0.000033$ 较为合适, 便于测试者捕捉合适时机比较长度与角度, 又不会过慢以至于动态效果差、与静态图区别不明显。

具体图像与测试流程可以参考制作的测试网页 https://PrinsDragon.github.io/Vis_Test/final.html。

1.4 测试者选取

为了保证数据的可靠性与普遍性, 实验最终获得了 9 组有效实验样本, 每组实验样本包含测试者通过 4 个视觉通道针对 4 个不同数据点的估计值。

2 实验过程

实验通过网页测试的方式进行, 事先向测试者介绍不同图像类型与对应测试方法, 如: 对线段长度比例的问题、对角速度比较的问题等。其中较为重要的一点是强调两张动态图的估计方法, 指导测试者关注长度、角度瞬时位置的比例, 而非单纯通过直觉感受其运动快慢, 进而使得结果更加准确, 并使其使静态、动态图的估计方法相互关联, 让测试数据的比较更加科学。

在实验中, 对 4 个视觉通道、4 个数据点共计 16 个可视化对象随机打乱, 防止多个相同视觉通道或多个相同数据点连续出现, 影响实验结果准确性。同时, 统计每个测试者在每一个可视化

对象上花费的时间，用于过滤花费时间过长的样本，因为如果花费时间过长，其估计结果很可能依赖具体测量手段，而非仅凭视觉判断，使得结果丧失意义。

实验结束后收集实验结果，通过 Python 脚本程序处理结构化数据，保存为.mat 格式文件，用于后续 Matlab 的数据分析。

3 实验结果与分析

通过实验结果，计算各视觉通道在各数据点的误差，得到图 5。由于观察估计值偏离各等分点的距离，故对误差值取绝对值，得到图 6。然后，通过误差绝对值的数据验证假设：

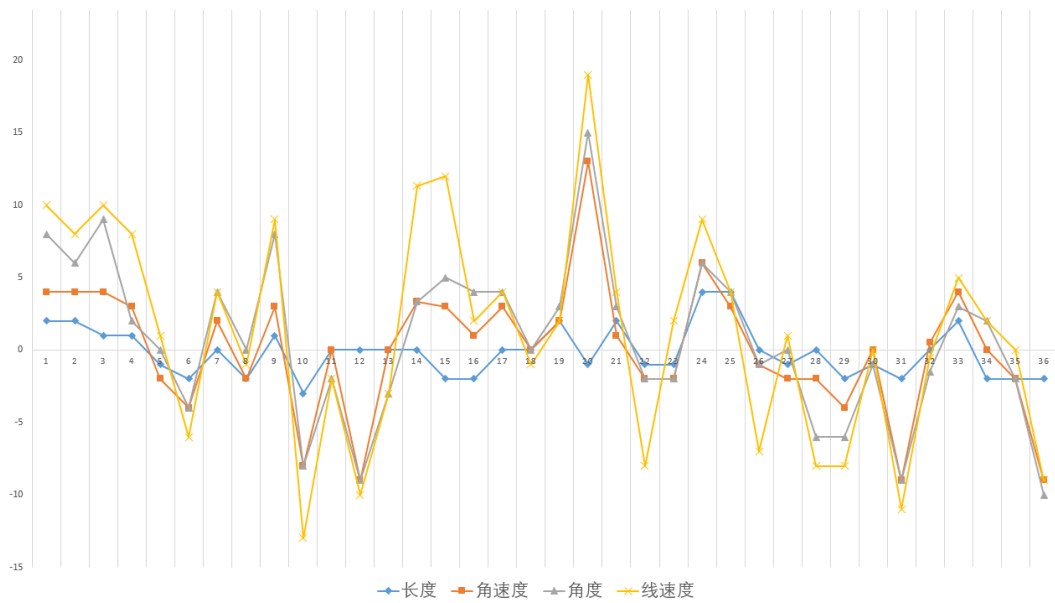


图 5: 各数据样本误差，其中 1-9 为 3%，10-18 为 30%，19-27 为 76%，28-36 为 97% 的数据

- 假设 1: 针对“比例”变量类型，角度视觉通道感知能力优于长度视觉通道；
- 假设 2: 针对“比例”变量类型，静态情况感知能力优于动态情况；
- 假设 3: 比例大小，对视觉误差存在影响。

3.1 方差分析

首先，通过可重复双因素方差分析检测“比例大小”和“视觉通道”两个因素对实验的影响，置信度设置为 0.90，其结果如下：

通过 F 值比较：

- $F_A > F_{\alpha}^A$: 拒绝因素 A 均值相等的假设，即因素 A 对实验结果有显著影响；
- $F_B < F_{\alpha}^B$: 接受因素 B 均值相等的假设，即因素 B 对实验结果影响不明显；
- $F_{AB} > F_{\alpha}^{AB}$: 接受因素 AB 均值相等的假设，即因素 AB 对实验结果影响不明显。

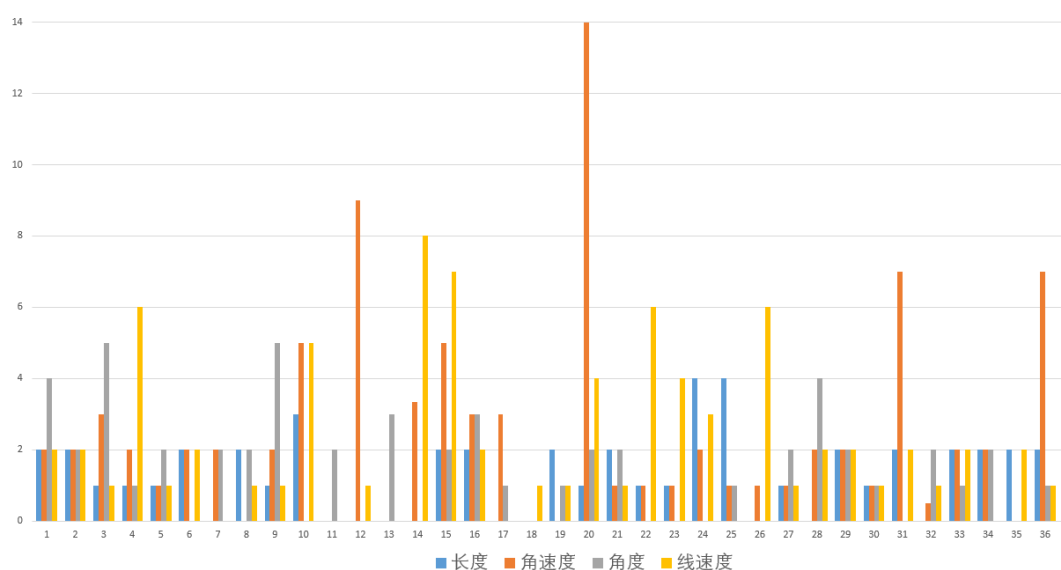


图 6: 各数据样本误差绝对值, 其中 1-9 为 3%, 10-18 为 30%, 19-27 为 76%, 28-36 为 97% 的数据

表 1: 可重复双因素方差分析

误差来源	离差平方和	自由度	平均离差	F 值	F α
行 (A: 视觉通道)	32.40	3.00	10.80	2.63	2.13
列 (B: 比例大小)	1.46	3.00	0.49	0.12	2.13
交叉	38.87	9.00	4.32	1.05	1.68
误差	525.47	128.00	4.11		
总和	598.20	143.00	4.18		

所以, 否定假设 3, 比例大小 (即因素 B) 对实验结果影响不明显, 接下来进一步比较不同视觉通道对结果的影响。

3.2 假设检验

然后, 不同视觉通道之间做双样本异方差 t 分布假设检验:

3.2.1 “长度”与“角度”

对“长度”与“角度”各 36 个数据样本做双样本异方差 t 分布假设检验, 取置信度 0.95, 得到如下结果:

从表中可以看出, “长度”与“角度”两视觉通道通过假设检验得到的 P 值过大, 远超显著性 0.05, 故在这些数据点下, “长度”与“角度”的误差均值差异不大, 故否定假设 1。

这与我们常识中的结果相违背, 人们往往认为“角度”视觉通道更适合“比例”数据类型。分

表 2: “长度”与“角度”: t 分布假设检验

统计量	A: 长度	B: 角度
平均	1.33	1.53
方差	1.20	2.03
观测值	36	36
假设平均差	0	
P 值	0.518	

析数据后认为, 由于本次实验主要观察测试者对固定等分点附近的点的比例感知能力, 说明人们对角度和长度的等分点感知能力差别不大, 而且对于距离特定点微小距离的感知能力也十分类似, 这导致在本次实验中, 长度与角度两者结果差异不显著。

3.2.2 “静态”与“动态”

对于“静态”与“动态”的比较分两方面, 分别对“长度”与“线速度”、“角度”与“角速度”做双样本异方差 t 分布假设检验, 取置信度 0.95。

“长度”与“线速度”:

表 3: “长度”与“线速度”: t 分布假设检验

统计量	A: 长度	B: 线速度
平均	1.33	2.19
方差	1.20	4.62
观测值	36	36
假设平均差	0	
P 值	0.018	

通过表 3 可以看出“长度”与“线速度”通过 t 分别假设检验计算得到 P 值小于显著性水平 0.05, 故“长度”与“线速度”差异明显, 通过均值可以看出, “线速度”视觉通道的误差大于“长度”。

“角度”与“角速度”:

通过表 4 可以看出“角度”与“角速度”通过 t 分别假设检验计算得到 P 值小于显著性水平 0.05, 故“角度”与“角速度”差异明显, 通过均值可以看出, “角速度”视觉通道的误差大于“角度”。

通过上述分析, 可以推断动态情况下视觉误差大于静态情况, 验证了假设 2。本实验数据点多位于易于识别的等分点附近, 观察数据可以发现, 虽然观测量处于动态情况下, 测试者不难判断

表 4: “角度” 与 “角速度”: t 分布假设检验

统计量	A: 角度	B: 角速度
平均	1.53	2.50
方差	2.03	8.32
观测值	36	36
假设平均差	0	
P 值	0.039	

对应的等分点，故误差多在 5 以内，但是由于动态情况下，偏离等分点的差距较难估计，导致动态情况下误差大于静态情况。

4 总结与展望

本项目设计实验，比较 4 中视觉通道下（长度、角度、线速度、角速度），人们对“比例”数据类型的感知能力。在具体实验中，选取 0、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、1 各点附近的数据值，3%、30%、76%、97%，观察测试者的估计值。结果表明对于这些等分点附近的值，长度与角度两视觉通道差异不显著，而动态情况会导致较大的误差。当然，动态的情况也受速度影响，未来可增加实验进一步分析。在本实验中，也统计了花费时间，后续可分析时间与误差的关系。