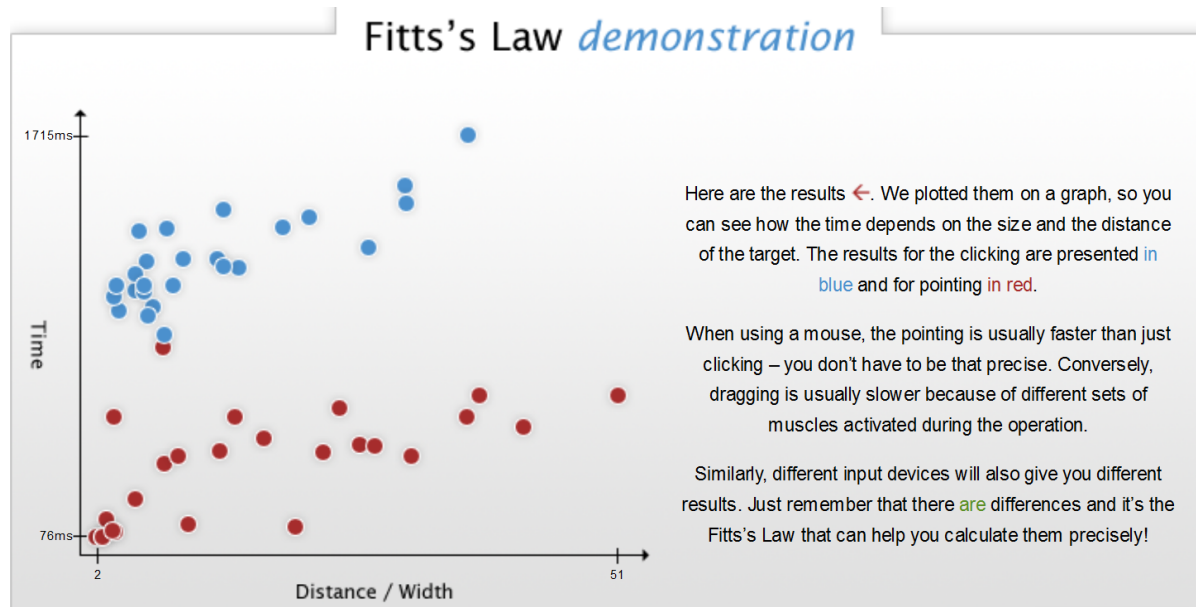


Fitts' Law study

陈炫中 2019011236

一、Fitts' Law demonstration

Experiment 5 的结果截图如下：



对 Experiment 5 结果的解释：

- 在上图中，蓝色的点代表使用鼠标点击目标的耗时，红色的点代表使用鼠标指向目标的耗时，从整体上看，用鼠标指向目标的耗时明显小于用鼠标点击目标的耗时，这是因为鼠标点击目标是在指向目标的基础之上增加了一步点击的操作。
- 在随着 Distance/Width 不断增大的过程中，无论是用鼠标点击目标还是指向目标的耗时都在逐渐增加，从趋势上看，两者的耗时 Time 和 Distance/width 都大致符合线性关系，而这也恰好印证了 Fitts' Law 的公式 $T = a + b \log_2(D/S + 1)$ 。

二、Tog's quiz

Question 3

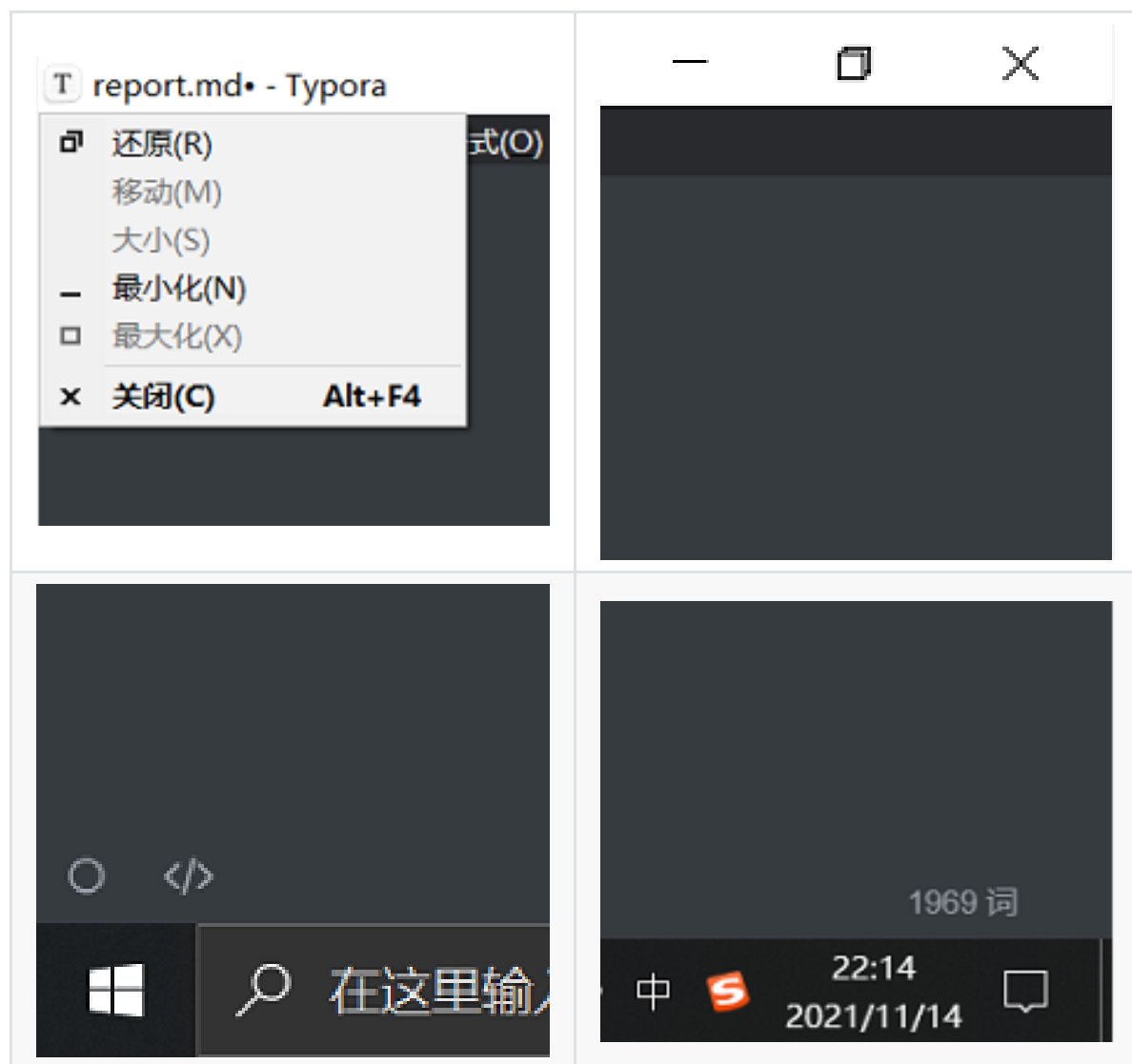
A right-handed user is known to be within 10 pixels of the exact center of a large, 1600 X 1200 screen. You will place a single-pixel target on the screen that the user must stop upon and point to exactly. List the five pixel locations on the screen that the user can access fastest. For extra credit, list them in order from fastest to slowest access.

答：

首先我们可以直接想到，当前鼠标光标所在位置的像素点，是整个屏幕中最容易达到的点，无需进行任何移动，可以直接进行点击操作，因此从目标尺寸的角度上考虑，这个像素点对于使用者而言可以等价于一个无穷大的点，比如在很多应用程序的界面，我们可以在任意位置直接单击鼠标右键来弹出菜单栏，以下是一个应用界面实例：



之后，关于其他四个屏幕上最容易达到的点，我们可以比较容易地想到屏幕上的四个角落点。虽然这四个点距离屏幕中心的距离是最远的，但因为这四个点位于屏幕的边缘，因此在整个二维平面内，这四个点对使用者而言所要进行点击的目标尺寸可以视作是无限的，在尺寸大小的意义上弥补了移动距离上的劣势。在实际的应用当中，只要我们鼠标移动的方向大致正确，然后以较快的速度对鼠标进行移动，鼠标光标就会停留在我们想要移动到的目标角落点。因此，无论是操作系统还有一些应用程序，都会把一些功能按键安排在这四个角落点上，如下图所示：



对于右手习惯的使用者而言，以上五个点在移动速度上从快到慢排序为：当前鼠标光标所在点 > 右下角 > 左上角 > 右上角 > 左下角。但是在实际的主观感受上，四个角落点的移动速度并不具有十分明显的差异，在与一些同学就此问题进行交流过后，发现大家对于这四个点的移动速度的主观认知上也不尽相同，因此我认为在实际使用中这四个点的差异还是十分细微的。

三、Controlled Experiment of Fitts' Law

1、实验原理及目的

• 实验原理

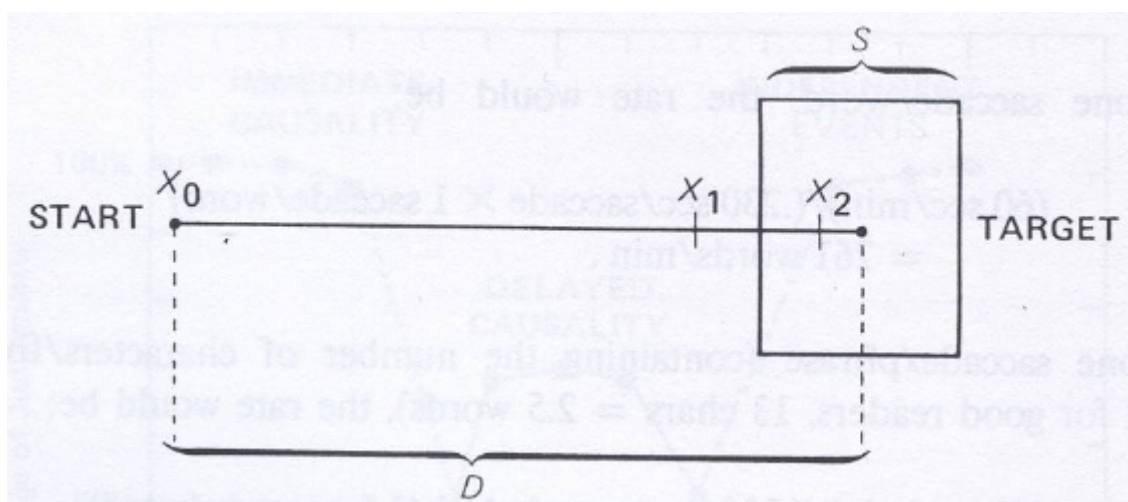
Fitts's law是一种预测人体运动的模型，主要用于人机交互和人体工程学。这一科学定律预测，快速移动到目标区域所需的时间是到目标的距离与目标宽度之比的函数。Fitts's law被用来模拟指向的行为，可以是用手或手指触碰一个物体，也可以是用指向设备在电脑显示器上指向一个物体。

Fitts's law 在公式上有多种形式，较为通用的一种是用于一维运动的 Shannon 公式：

$$T = a + b \log_2(1 + \frac{D}{S})$$

其中， T 是移动完成的平均时间， D 是开始位置到目标中心的位置， S 是目标在运动维度上的宽度（在以下实验中， S 即为 W ）。 a 和 b 分别代表实验装置 开始/结束 的时间和实验装置的速度，在本实验中， a 和 b 通过线性回归的方法对其直线近似后求得。

具体实验原理示意图如下：



• 实验目的

- (1) 通过回归分析的方法验证 Fitt's Law 的合理性；
- (2) 通过方差分析（ANOVA）的方法探究 D ， W 和设备对移动时间的影响。

2、实验设计及过程

• 实验设备及平台

- (1) 所有参与者均使用同一台笔记本电脑&&鼠标（mouse 实验）和同一部手机（mobile 实验），共进行两次实验，实验设备的屏幕参数如下表所示：

Device	Screen Width (centimeters)	Screen Height (centimeters):
mouse（笔记本电脑&&鼠标）	34.6	16.0
mobile（手机）	7.0	14.5

- (2) 实验平台为 <http://39.97.170.246/fitts>

• 实验参数设定

实验平台上的相关设置参数均采用平台默认设置，即：

Repetition	Target Width (centimeters):	Target Distance (centimeters):
19	0.25, 0.50, 0.75	2, 3, 4

在该参数设定下，一次实验中 Width 和 Distance 共有 $3 * 3 = 9$ 组搭配，而 D / W 共有 7 种结果：2.667, 4, 5.333, 6, 8, 12, 16。

参与者共需要进行 $9 * 19 = 171$ 次点击，除去每组中用于启动计时的第一次点击，每名参与者每次实验共能得到 $9 * 18 = 162$ 个数据点。

• **参与者**

本实验共邀请了 8 位受试者进行参与，参与者均为清华大学大三学生，均为男性，年龄在 19 ~ 21 岁之间，在电脑、鼠标和手机触摸屏等设备的使用上均较为熟练。

• **实验过程**

- (1) 向实验参与者详细介绍实验内容，并向其演示实验平台的使用。
- (2) 在平衡策略上，实验中 4 名参与者先使用鼠标在电脑端进行 mouse 实验，后使用手指在手机端进行 mobile 实验；另外 4 名参与者先进行 mobile 实验，后进行 mouse 实验。在两次实验之间，参与者都会进行一段时间的休息。
- (3) 在整个实验过程中对参与者是否规范操作进行监督。
- (4) 对实验原始数据进行处理和分析。

3、实验结果及分析

• **原始数据结果**

mouse 实验和 mobile 实验均得到 $8 * 162 = 1296$ 个数据点，具体如下所示：

	正例（参与者正确点击）	负例（参与者未正确点击）	错误率
mouse 实验	1226	70	5.4%
mobile 实验	1113	183	14.1%

在后续分析过程中均已剔除以上负例。

实验原始数据及相关程序可见 appendix 文件夹。

• **回归分析**

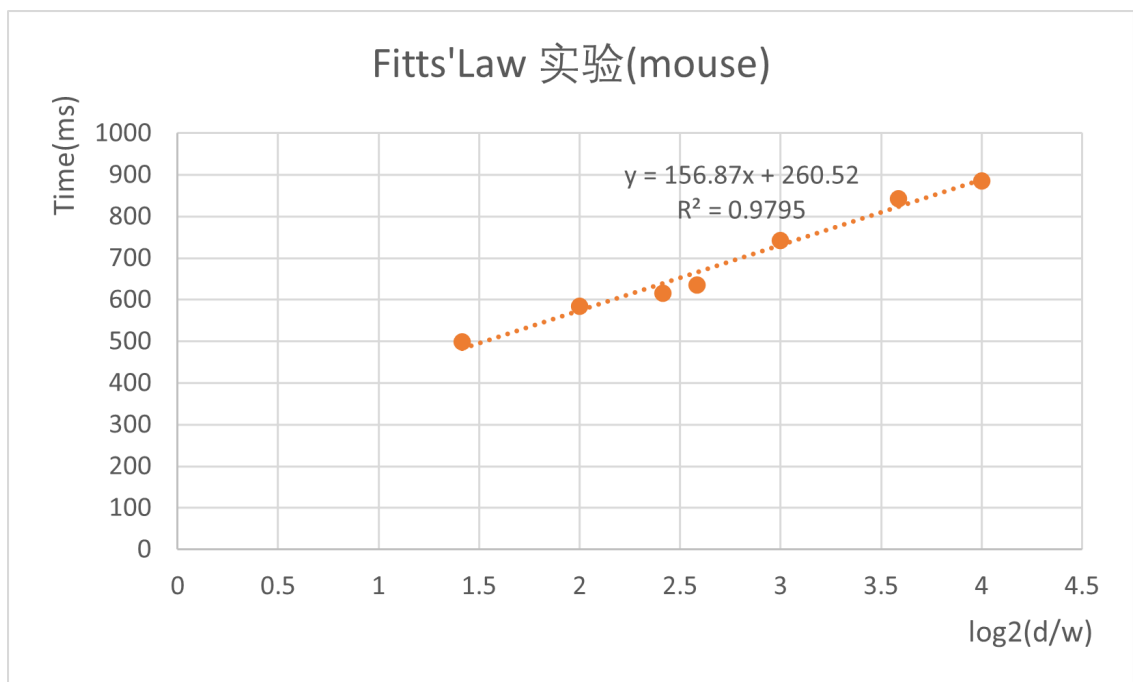
回归分析的工具使用了 Excel，对所有用户以及相同 D / W 的数据取平均作为一个拟合的数据点，共得到 7 个数据点，过程和结果均保留在 regression.xlsx，之后继续利用 Excel 相关工具进行分析。

- (1) 电脑&&鼠标（mouse 实验）

对不同的 D / W，计算 $\log_2 (1 + D/W)$ ，得到如下表格：

D / W	$\log_2 (1 + D/W)$	Time(ms)
2.667	1.415	498.881
4.000	2.000	584.838
5.333	2.415	614.952
6.000	2.585	634.999
8.000	3.000	741.876
12.000	3.585	843.114
16.000	4.000	885.549

以 $\log_2 (1 + D/W)$ 为横轴，Time(ms) 为纵轴，绘制散点图并对其进行回归分析如下：



对图分析可得：

$$a = 260.52$$

$$b = 156.87$$

$$R^2 = 0.9795$$

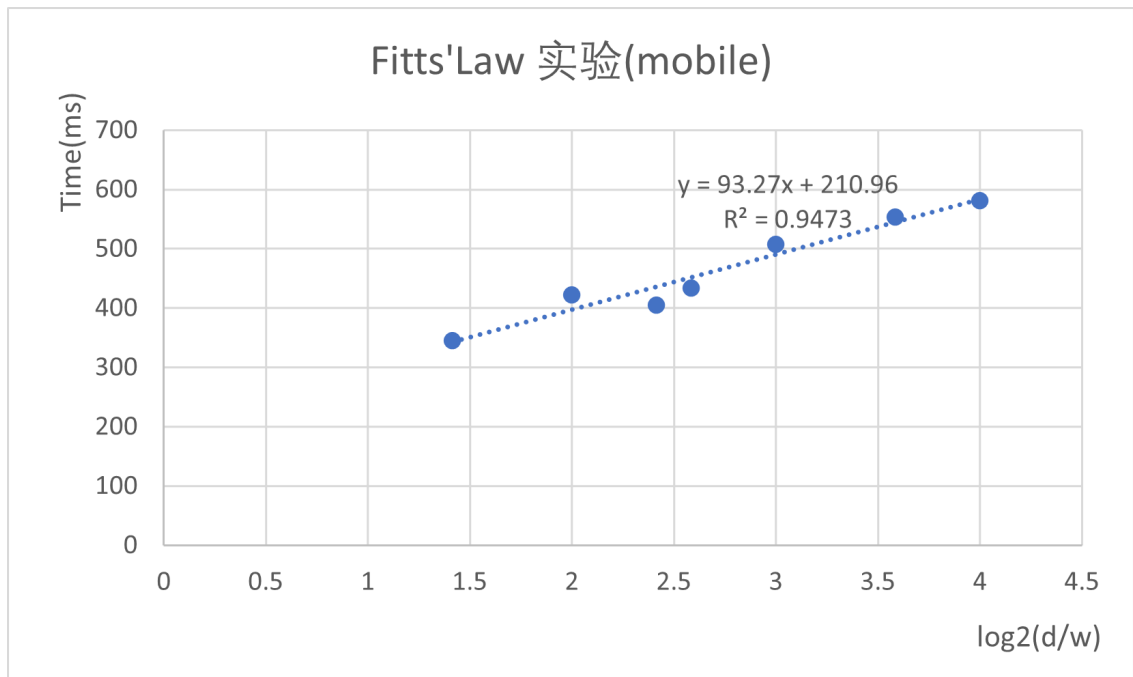
$R^2 > 0.95$ ，线性拟合效果显著，使用笔记本电脑&&鼠标进行 mouse 实验的结果较为符合Fitts' Law 的预测结果。

(2) 手机触摸屏 (mobile 实验)

对不同的 D / W，计算 $\log_2 (1 + D/W)$ ，整理得到如下表格：

D / W	$\log_2 (1 + D/W)$	Time(ms)
2.667	1.415	345.472
4.000	2.000	421.933
5.333	2.415	404.767
6.000	2.585	433.370
8.000	3.000	508.080
12.000	3.585	553.865
16.000	4.000	581.346

以 $\log_2 (1 + D/W)$ 为横轴，Time(ms) 为纵轴，绘制散点图并对其进行回归分析如下：



对图分析可得：

$$a = 210.96$$

$$b = 93.27$$

$$R^2 = 0.9473$$

$R \approx 0.95$ ，线性拟合效果较为显著，使用手机触摸屏进行 mobile 实验的结果较为符合 Fitts' Law 的预测结果。但是尽管如此，相比于 mouse 实验，mobile 实验的线性拟合效果较差，从散点图的直接对比上也可以得出同样的结果，因此在手机端，Fitts' Law 的一维运动 Shannon 公式并不如在电脑端那样预测准确和适用。

• 单因素方差分析 (ANOVA)

分别对 D, W 和设备 对移动时间的影响进行单因素方差分析，选用的工具为 python 的 pingouin 库，详见 appendix 文件夹中的 stat.py。

(1) 探究 D 对移动时间的影响

根据 D 的取值，将全部数据分为3组（D = 2cm, 3cm, 4cm），其中各组共有48项数据，对其进行单因素分析的结果如下表所示：

Source	SS(平方和)	DF(自由度)	MS(均方)	F	p
组间	1.282×10^5	2	6.406×10^4	2.363	0.098
组内	3.823×10^6	141	2.711×10^4		
总数	3.951×10^6	143			

由结果可知, p 值 < 0.1 , 完成时间受起始位置到目标距离 D 的影响较为显著。

(2) 探究 W 对移动时间的影响

根据 W 的取值, 将全部数据分为3组 (W = 0.25cm, 0.50cm, 0.75cm), 其中各组共有48项数据, 对其进行单因素分析的结果如下表所示:

Source	SS(平方和)	DF(自由度)	MS(均方)	F	p
组间	1.282×10^6	2	6.412×10^5	33.867	9.679×10^{-13}
组内	2.669×10^6	141	1.893×10^4		
总数	3.951×10^6	143			

由结果可知, p 值为 $9.679 \times 10^{-13} < 0.05$, 完成时间受目标尺寸 W 的影响十分显著。

(3) 探究 设备 对移动时间的影响

根据 设备 的种类, 将全部数据分为2组 (mouse, mobile), 其中各组共有72项数据, 对其进行单因素分析的结果如下表所示:

Source	SS(平方和)	DF(自由度)	MS(均方)	F	p
组间	1.693×10^6	1	1.694×10^6	106.526	5.573×10^{-19}
组内	2.258×10^6	142	1.590×10^4		
总数	3.951×10^6	143			

由结果可知, p 值为 $5.573 \times 10^{-19} < 0.05$, 完成时间受 设备种类 的影响十分显著。

4、实验总结及反思

• 总结

- (1) 在本实验中, 通过回归分析的方法, Fitt's Law 的合理性得到了正确的验证;
- (2) 在本实验中, 通过方差分析 (ANOVA) 的方法得出, 距离(D), 尺寸(W) 和设备对移动时间都有显著影响, 其中尺寸(W) 和设备对时间的影响十分显著, 而距离(D)的显著性相对差一些。

• 对 mouse实验和 mobile实验结果差异的思考

本实验中, mouse 实验和 mobile 实验的错误率分别为 5.4% 和 14.1%, 从该项指标上可以看出, 手机端的错误率要明显高于电脑端, 在这一点上, 我认为是和设备的实际尺寸和使用方式 (鼠标点击和手指点击) 是直接相关的。

在回归分析中, 手机端的线性拟合效果同样也略差于电脑端, 需要可能需要对手机端的Fitts' Law进行修正, 针对其加入一些新的参数来更好地预测其移动到目标所需的时间与目标的距离和目标尺寸之间的关系。

• 用户反馈

在本人亲自多次实验以及同实验参与者进行实验后交流，在实验过程中，用户经过一些点击之后已经提前知道了下一次点击的位置，可能会作出预判，以更快地反应速度向下一个位置移动点击，有时会出现连续出错的情形，可能会对实验结果产生影响，增加重做实验的次数，这种情况在手机端（mobile 实验）较为明显。

- 鸣谢

感谢史老师，喻老师和助教对本实验的指导和提供实验平台，感谢所有协助我完成本次实验而进行参与的同学们！