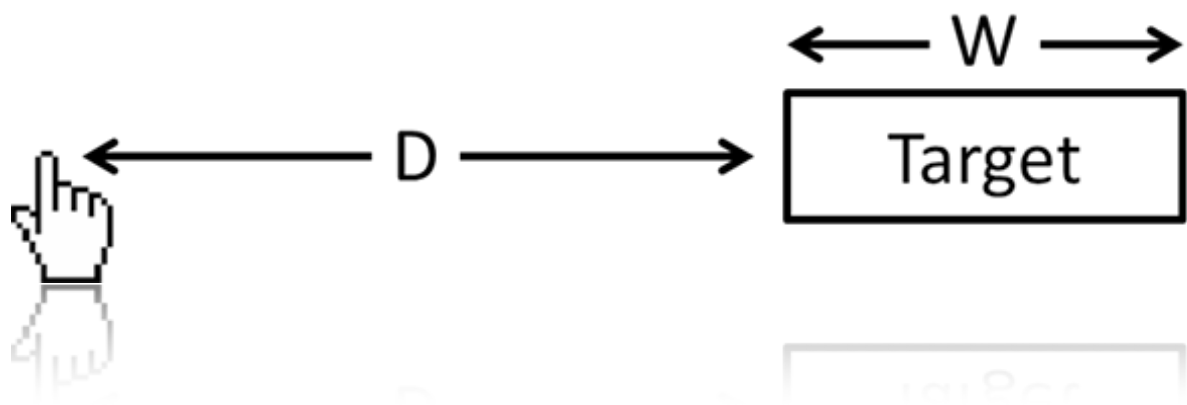


人机交互理论与技术

课程作业

Fitts' Law Experiment



计43

唐玉涵

2014011328

人机交互理论与技术

课程作业

Fitts' Law Experiment

1. 实验原理

费茨法则 (Fitts' Law) 是一个人机交互以及人体工程学中人类活动的模型，它预测了快速移动到目标区域所需的时间是目标区域的距离和目标区域的大小的函数。费茨法则多用于表现 指、点的概念模型，无论是用手或者手指进行物理接触，抑或是在电脑屏幕上用假想的设备（例如鼠标）进行虚拟的触碰。该法则由 Paul Fitts 于 1954 年提出。

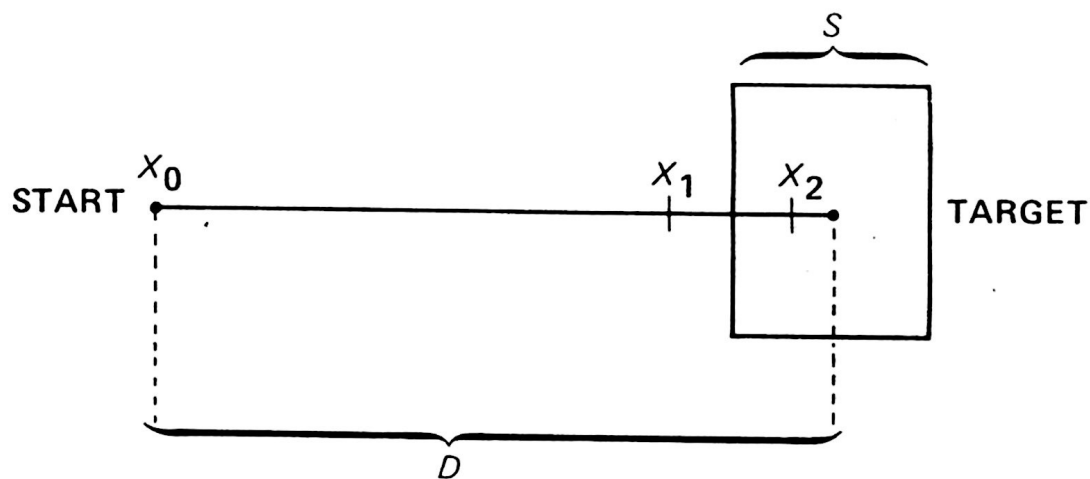
费茨法则 (Fitts' Law) 可以用多种不同的公式进行表达。比较通用的是用于一维运动的 Shannon 公式：

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

其中字母的含义如下：

- T 是完成动作的平均时间
- a 代表装置（拦截）开始/结束的时间，b 表示该装置本身的速度（斜率）。这些常数可以以测得数据进行直线近似的方式通过实验取得。
- D 是起始位置到目标中心的距离。（传统上来说，研究者多用 A 来表示，意味着运动的振幅 Amplitude）
- S 是目标区域在运动维向上的宽度。因为运动的最终点必须落在目标中心 $\pm S/2$ 以内，所以 S 也可以被认为是被允许的最终位置的容差。

示意图见下页：



2. 实验设计

1. 目标大小选择12，24和36，起始位置到目标中心的距离为100，200和300，即 $W(S)$: 12/24/36, $A(D)$: 100/200/300。
2. 选用电脑上的触摸板(touchpad)和手机端(mobile)的手指触摸两种方式，进行对比实验，电脑和手机均选用同一台设备，防止外部因素对实验产生的干扰。
3. 共邀请8名实验参与者，全部来自清华大学计算机系大三，对手机和触摸板的操作方式比较熟悉。

3. 实验结果分析

1. 回归分析

(1) 电脑端触摸板

① 错误率: $72/1296 = 5.56\%$

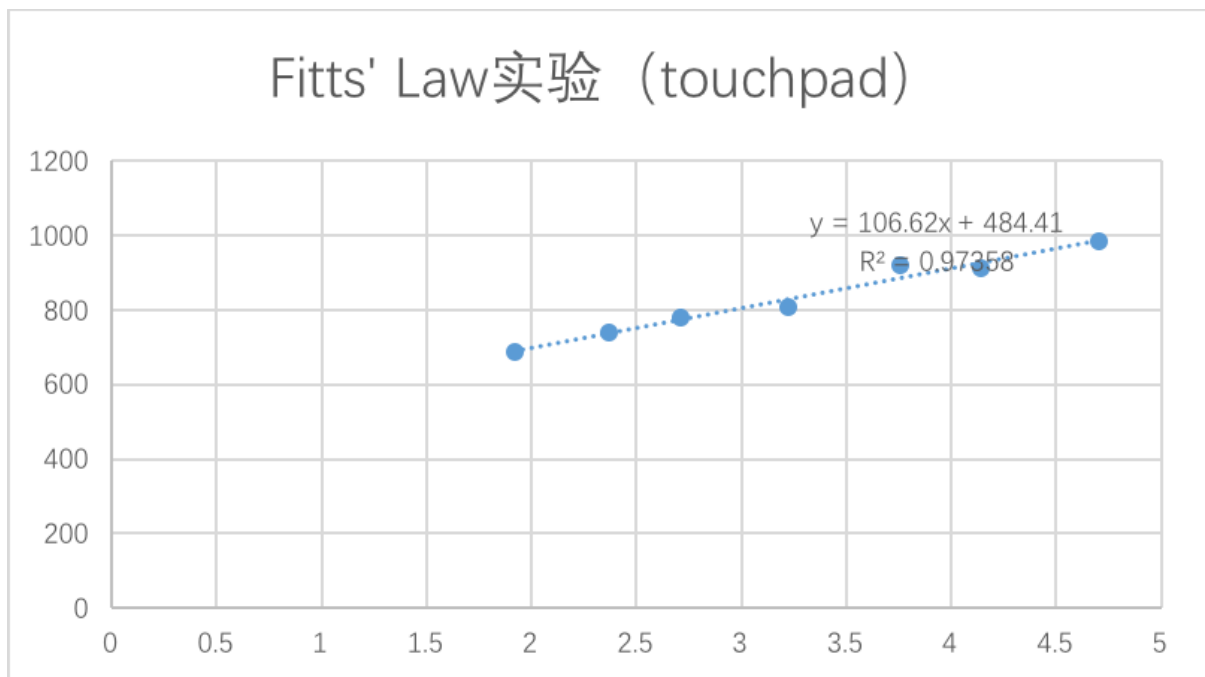
一共有 $18 * 9 * 8 = 1296$ 个数据点，由于已知目标点 x , y 位置 and 实际触摸点的 x , y 位置，以及目标大小（直径），即可计算出每一个数据点是否落在目标之中，经计算共有72个数据点落在目标之外，故剔除这些数据点。

② 回归分析

对不同的 D/S ，计算 $\log_2(1+D/S)$ ，并对其所有的数据点的完成时间取平均值，得到表格如下：

D/S	$\log_2 (1+D/S)$	时间 (ms)
4.16666667	2.36923381	738.277778
2.77777778	1.91753784	687.666667
25	4.700439718	984.705882
16.6666667	4.142957954	910.055556
8.33333333	3.222392421	806.911111
12.5	3.754887502	918.277778
5.55555556	2.712718048	778.055556

画出散点图，对其进行回归分析如下：



由图可知：

$$a = 484.41$$

$$b = 106.62$$

$$R^2 = 0.97358$$

即回归结果较为理想，在桌面端用触摸板的方式较为符合Fitts' Law的预测结果。

(2) 手机端触摸屏

① 错误率：296/1296 = 22.84%

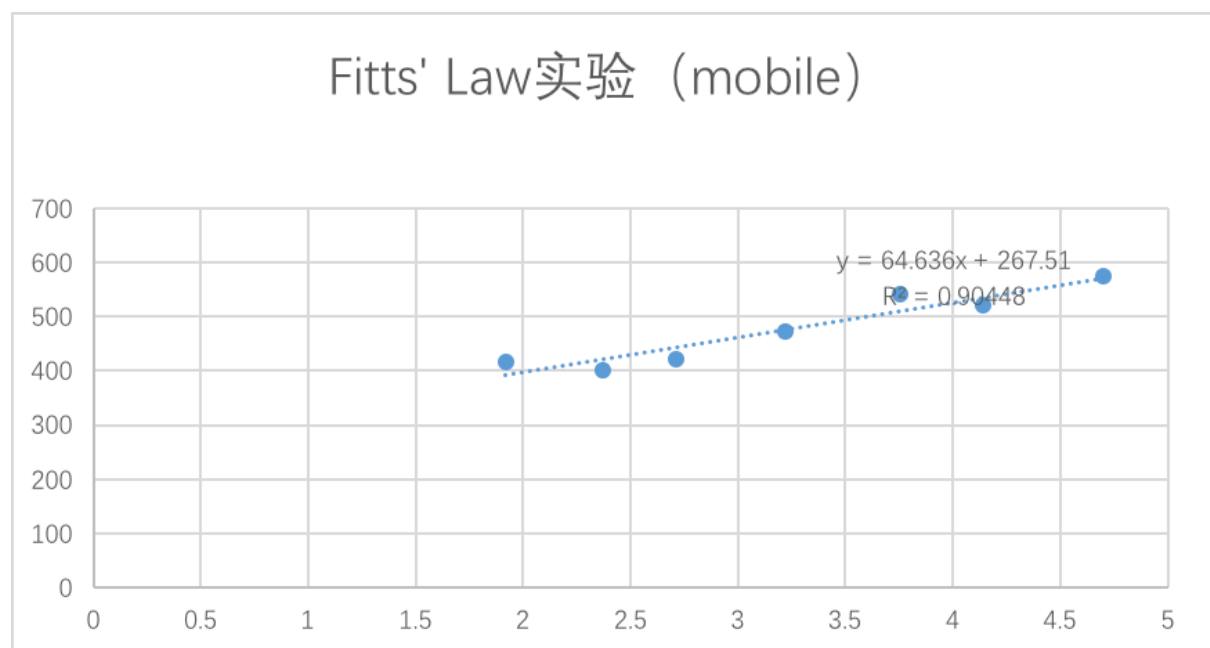
错误率的计算方式同电脑端触摸屏，由此可见手机端的错误率要明显高于电脑端（5.56%）。

② 回归分析

对不同的D/S，计算 $\log_2(1+D/S)$ ，并对其所有的数据点的完成时间取平均值，得到表格如下：

D/S	$\log_2(1+D/S)$	时间 (ms)
12.5	3.754887502	540.666667
25	4.700439718	573.6
8.33333333	3.222392421	473.095442
2.77777778	1.91753784	416.944444
16.6666667	4.142957954	520.6
4.16666667	2.36923381	402
5.55555556	2.712718048	420.666667

画出散点图，对其进行回归分析如下：



由图可知：

$$a = 267.51$$

$$b = 64.436$$

$$R^2 = 0.90448$$

回归结果与桌面端相比拟合程度有所下降， R^2 的数值下降比较明显，从散点图也可以看出有部分数据点明显与拟合直线趋势不符，故在手机端Fitts' Law虽然仍然适用，但不如桌面端的预测那么准确，需要修正过的Fitts' Law，针对移动端加入一些新的参数才可以更好地预测手机端快速移动到目标区域所需的时间与目标区域的距离和目标区域的大小的关系。

2. 单因素方差分析（ANOVA）

分别分析D，S和不同触控方式对完成时间的影响。

(1) 起始位置到目标中心的距离 D 对完成时间的影响

选择电脑端触摸板的方式（错误率较低），选取 $S = 24$ ，D分别取100，200，300，进行单因素方差分析，结果如下图（其中1，2，3组分别对应D为100，200，300）。

描述

VAR00002

	N	均值	标准差	标准误	均值的 95% 置信区间		极小值	极大值
					下限	上限		
1.00	18	738.2778	106.86870	25.18919	685.1332	791.4223	634.00	1096.00
2.00	17	805.7647	60.19399	14.59919	774.8158	836.7136	727.00	922.00
3.00	15	907.6667	204.04225	52.68348	794.6718	1020.6615	724.00	1610.00
总数	50	812.0400	147.82546	20.90568	770.0285	854.0515	634.00	1610.00

ANOVA

VAR00002

	平方和	df	均方	F	显著性
组间	235771.917	2	117885.958	6.636	.003
组内	834994.003	47	17765.830		
总数	1070765.920	49			

由上图可知，显著性为 $0.003 < 0.05$ ，即完成时间受起始位置到目标中心的距离 D 的影响显著。同时根据均值可以得出， S 和触控方式相同的情况下，完成时间与 D 正相关。

(2) 目标区域在运动维向上的宽度 S 对完成时间的影响

选择电脑端触摸板的方式（错误率较低），选取 $D = 200$ ， S 分别取12，24，36，进行单因素方差分析，结果如下图（其中1，2，3组分别对应 S 为12，24，36）。

描述								
VAR00002								
	N	均值	标准差	标准误	均值的 95% 置信区间		极小值	极大值
					下限	上限		
1.00	17	914.5294	80.10783	19.42900	873.3418	955.7171	737.00	1083.00
2.00	17	805.7647	60.19399	14.59919	774.8158	836.7136	727.00	922.00
3.00	16	765.1875	97.03966	24.25992	713.4787	816.8963	607.00	935.00
总数	50	829.7600	101.07192	14.29373	801.0357	858.4843	607.00	1083.00

ANOVA					
VAR00002					
	平方和	df	均方	F	显著性
组间	198661.388	2	99330.694	15.464	.000
组内	301899.732	47	6423.399		
总数	500561.120	49			

由上图可知，显著性为 $0.000 < 0.05$ ，即完成时间受目标区域在运动维向上的宽度 S 的影响十分显著。同时根据均值可以得出， D 和触控方式相同的情况下，完成时间与 S 负相关。

(3) 不同触控方式对完成时间的影响

选取 $D = 200$ ， $S = 24$ ，触控方式为电脑端触摸板和手机端触摸屏，进行单因素方差分析，结果如下图（其中1组为电脑端触摸板，2组为手机端触摸屏）。

描述

VAR00002

	N	均值	标准差	标准误	均值的 95% 置信区间		极小值	极大值
					下限	上限		
1.00	16	802.1250	60.20507	15.05127	770.0440	834.2060	727.00	922.00
2.00	17	446.6471	25.29066	6.13389	433.6438	459.6503	395.00	486.00
总数	33	619.0000	185.92287	32.36502	553.0746	684.9254	395.00	922.00

ANOVA

VAR00002

	平方和	df	均方	F	显著性
组间	1041550.368	1	1041550.368	499.787	.000
组内	64603.632	31	2083.988		
总数	1106154.000	32			

由上图可知，显著性为 $0.000 < 0.05$ ，即完成时间受触控方式的影响十分显著。同时根据均值可以得出，D和S相同的情况下，在手机端用触摸屏完成的时间明显小于电脑端触控板的触控方式。

4. 实验总结

1. 实验结论及简单原因分析

(1) 对Fitts' Law的检验

通过回归分析，在电脑端使用触摸板的触控方式进行试验，对结果进行拟合后十分符合Fitts' Law， R^2 值达到0.97358大于0.95。但是在手机端使用手指和触摸屏的实验效果要差一些， R^2 值只有0.90448。经过查阅资料发现近年来其他研究人员针对手指触摸屏提出了对Fitts' Law的修正，即FFitts' Law，其表述如下：

$$T = a + b \log_2 \left(\frac{A}{\sqrt{2\pi e(\sigma^2 - \sigma_a^2)}} + 1 \right)$$

其原因是当1954年Fitts' Law提出时还没有手机和触摸屏这样的硬件设备，故其适用范围有所局限。

(2) 对D，S和触控方式的单因素方差分析（ANOVA）

通过方差分析，得出起始位置到目标中心的距离 D ，目标区域在运动维向上的宽度 S 以及不同的触控方式对于完成一个触摸动作的时间的影响均是显著的。进而由数据可以得出完成一个触摸动作的时间与 D 正相关，与 S 负相关，且手机端触摸屏交互比电脑端触摸板的方式时间要短。

由此可知Fitts' Law中将 D 和 S 作为自变量是具有充分理由的。手机与电脑相比，屏幕尺寸要小很多，故虽然 D 相同，但实际物理空间上的移动距离有很大差异，故手机端的时间要少。但随之而来的是手指的触摸不够精细，故手机端的错误率（22.84%）要明显高于电脑端（5.56%）。

2. 其他可能的影响因素

本实验中已尽可能减少了其他因素对实验结果的影响，但实际上还是会有一些不可控的因素，我进行了一个简单的整理：

① 不同触控方式的实验先后顺序

在本次实验中，8组被试均为现在电脑上做实验，后在手机上做实验，这使得在手机上做实验时已经对实验比较熟悉，故可能影响其完成时间，使其在更短的时间内完成实验。

② 不同的手指

在本次实验中，未对被试在触摸板以及手机触摸屏上所用手指进行要求，故在触摸板上用食指、中指或无名指，在手机上用大拇指、食指或中指可能依个人习惯有所不同，而不同手指的活动范围和灵活程度可能略有不同，会对完成时间带来一定影响，不利于实验结果的准确性。

③ 单一设备的局限性

在本次实验中，为保证尽量减少外部因素的干扰，选用了同一台电脑和同一台手机进行实验。但实际上，无论是电脑还是手机，不同的屏幕分辨率、不同的屏幕大小、操作系统的响应、触摸板的滑动阻力等因素都会对完成一个触摸动作的时间产生或多或少的影响。故要验证Fitts' Law的正确性或者推翻Fitts' Law，都需要综合考虑这些因素，在更大范围内进行实验，才能得出更为客观合理的结果。

以上几点是我在实验后对于实验的一些反思，希望之后的同学可以有所借鉴，将本次实验做得更好。

3. 致谢

感谢史老师、喻老师和孙科助教搭建了完善的网页端实验环境，为我们本次的实验带来了很大的便利。同时对助教和其他同学在实验中给予我的帮助表示感谢。