

User Experiments of Pattern Locks

陈雅培

趙貞豪

閔梓軒

2017050029

2019110070

2017011352

➤ Introduction

随着人们对行动装置安全性的重视，屏幕锁成为了第一道防线，也在当今有各式各样的应用出现。然而，它的使用往往造成使用上的效率下降。依据苹果公司在 2016 年进行的调查，平均每个用户需打开手机约 80 次，可以想见其中手机解锁所造成的 overhead 是非常之大。因此，本项目基于这样的理念，对手机屏幕锁进行了使用习惯上的分析，并试图缩短这中间的时间差。我们想出以「开锁+激活 app」一步到位的方式去减少使用者到主页面选取应用的操作时间。这个概念核心在于它广泛的应用范围，不论是较旧式的九宫格锁，以及现在的指纹、脸部辨识锁，都可以套用此设定。而以下实验将基于九宫格解锁的介面，针对使用者进行目标物选取的行为进行详细的讨论。

➤ Methods

本项目着眼于九宫格解锁的研究，我们设计了一套实验，包含了三个子项目，分别针对落点习惯、错误率、时间做了相对应的测试。以下展开实施上的细节：

● 受试者募集：本实验共招募 11 位受试者，6 名女性 5 名男性。经过访问，11 名受试者皆有使用智能手机超过 5 年，有熟练使用经验，手部皆无不适症状，惯用手皆为右手。

● 实验一：整体 workflow 的部分如 Figure 1 所示，本实验将评估受试者在手机屏幕上使用九宫格解锁并以拖曳方式激活 app 的落点分析。其中实验变量为目标 app 的位置、长压后弹跳视窗的排版，控量为九宫格解锁图形的样式(路径)、长压的激发时间、app 图形大小、距离，而依变量为其点击位置。

● 实施细节：输入设备为 Android 手机，并使用实验 app 的模式一测试[1]。受试者须以惯用手拇指滑动图形锁，并可以另一只手持手机托在惯用手手背进行辅助。在实验开始之前会先告知以下几点：

1. 在此实验中必须以单手滑开图形锁，图案为 36987452 (Figure 4)。
2. 在此实验中当到达定点(2)时，必须手持不放维持 0.5s，会有图示框跳出。
3. 图示框跳出后，将手指移至目标图案上放开。
4. 请留意目标图案会每隔五次更换位置，不会计时，请以准确性为优先。

会记录不同配置(共 4 种)下，不同 app 位置(配置一、二为 4 种，配置三、四为 6 种)，的手指放开位置(5 次)数据，因此受试者在本阶段会经历 $4*4*5*2+4*6*5*2=400$ 次测试。实验所需时间约 7 分钟。

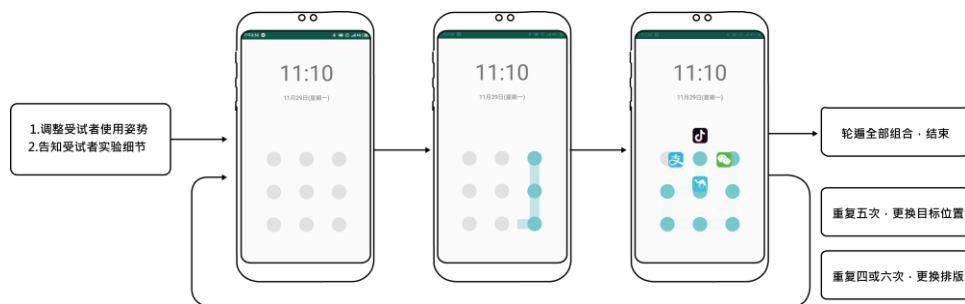


Figure 1. workflow of the first experiment

● 实验二：整体 workflow 的部分如 Figure 2 所示，本实验将评估受试者在手机屏幕上使用九宫格解锁并长压激活弹跳视窗的意图分析。其中实验变量为长压的激发时间，控量为九宫格解锁图形的样式(路径)，而依变量为所引发的错误率。

● 实施细节：输入设备为 Android 手机，并使用实验 app 的模式二测试[1]。受试者须以惯用手拇指滑动图形锁，并可以另一只手持手机托在惯用手手背进行辅助。在实验开始之前会先告知以下几点：

1. 在此实验中必须以单手滑开图形锁，图案为 36987452 (Figure 4)。
2. 在此实验中当到达定点(2)时，必须手持不放维持。
3. 停止特定时间后会自动重新开始，为正常现象。
4. 不会计时，请以准确性为优先。

会记录不同停顿时间配置(共 6 种)下，滑开图形锁(10 次)所需的时间，因此受试者会经历 $6*10=60$ 次测试。实验所需时间约 4 分钟。

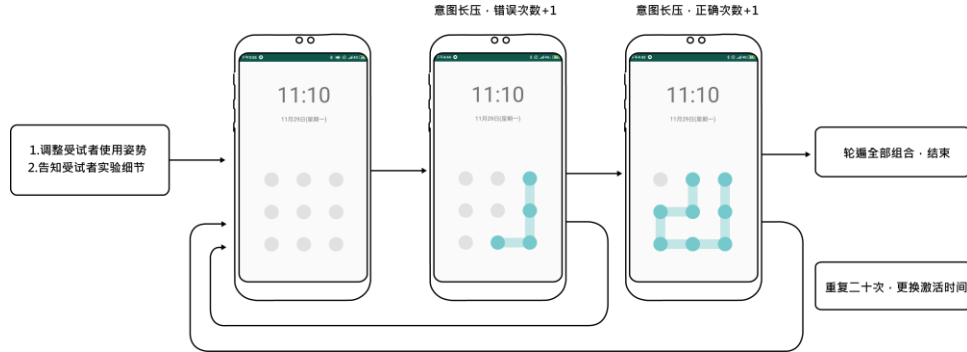


Figure 2. workflow of the second experiment

● 实验三：整体 workflow 的部分如 Figure 3 所示。本实验将比较受试者在手机屏幕上使用九宫格解锁并以拖曳方式激活 app 以及一般方式解锁后开启 app 的时间差异。其中实验变量为解锁后激活 app 的模式、目标 app 的位置、长压后弹跳视窗的排版，控量为九宫格解锁图形的样式(路径)、长压的激发时间、app 图形大小、距离，而依变量为其操作时间。

● 实施细节：输入设备为 Android 手机，并使用实验 app 的模式三测试[1]。受试者须以惯用手拇指滑动图形锁，并可以另一只手持手机托在惯用手手背进行辅助。在实验开始之前会先告知以下几点：

1. 在此实验中必须以单手滑开图形锁，图案为 36987452 (Figure 4)。
2. 实验分为两阶段，每阶段前会有 3 秒预备时间，请受试者专注。
3. 开始后必须以最快的速度去滑开图形锁，并点中目标。
4. 第一阶段为模拟一般手机页面，请以一般习惯的方式点击即可。
5. 第二阶段为实验页面，受试者者必须以长压来激活 app。
6. 目标位置为随机产生，请随时留意，不要抢快，必须以正确率为前题。

会记录不同配置(两种一般配置，四种实验配置)下，不同 app 位置(随机)，滑开图形锁(5 次)所需的时间，因此受试者会经历 $1*4*5+1*6*5+2*4*5+2*6*5=150$ 次测试。实验所需时间约 8 分钟。

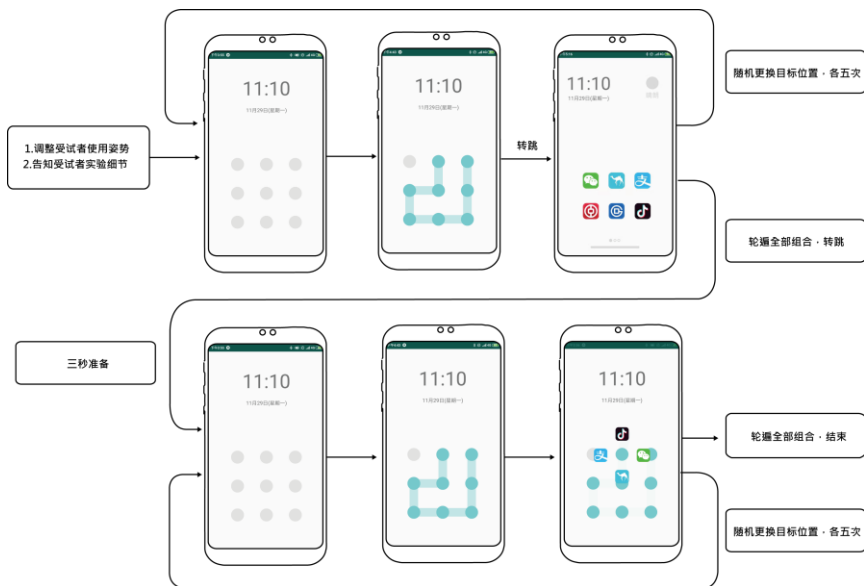


Figure 3. workflow of the third experiment

总结来说，我们可以藉由实验一得到使用者在没有反馈的条件下的点击位置，藉由这些位置点，我们可以拟合出使用者对特定配置下的习惯；藉由实验二我们可以推测使用者的意图，并找出最适合的长压时间；而实验三则是一个综合性的测试，我们能比较出在一般配置与实验配置下时间上的差异，并探讨这是否为一个有效的设计。



Figure 4. (左) 受试者须滑开的正确图形 (中) 错误时的报错 (右) 四种实验配

➤ Results

在这个章节我们将分析由上述三个实验采集而来的数据点，并讨论其代表的意义。首先是实验一的数据，我们将藉由采集而来得坐标点推知使用者操作情形。下图(Figure 5)表示在第一种实验配置(90 度、0 度、-90 度、180 度)下的落点(经剔除异常点)，而 Distribution 图中的红线代表 Gaussian distribution，紫色代表实际分布。

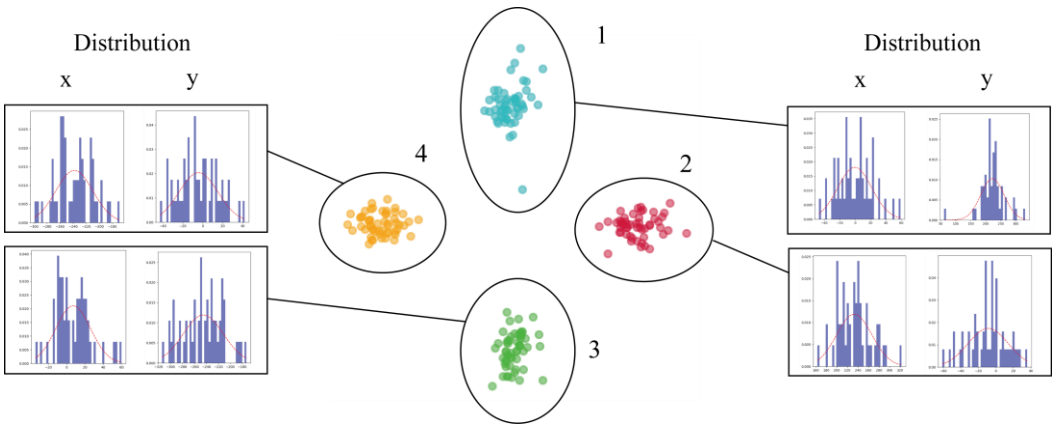


Figure 5. 实验配置一的落点分布

目标位置	x 座标平均	x 座标标准差	y 座标平均	y 座标标准差
1	-0.4906	22.0391	222.0566	38.8364
2	233.1154	31.5921	-8.6346	21.2350
3	7.1481	18.8988	-245.0741	33.1885
4	-238.1296	28.0826	-4.3519	19.5970

Table 1. 实验配置一落点的平均值与标准差

藉由 Table 1 当中的数据我们可以得知在长宽比、大小、距离一致的图形中，仍是出现点击不准的情况存在，而这样的分布与手指运动的方向有密切关联。以目标位置 1 来说，图形中心点定位在(0, 200)，而平均值却落在了(-0.4906, 222.0566)，可见在使用者在手指向上的同时，会不经意的将手指放开的位置(落点)偏向上。这样的情形存在于四个方位的目标位置图形(即当使用者向右的时候，会更往右一些，以此类推)。

另一个发现则来自于标准差的差异，以 Table 1 的纵向轴来看，在「x 座标标准差」当中明显可以分为两个区块，第一区块是目标位置 1、3 的部分，他们的标准差分别是 22.0391、18.8988；而第二块是目标位置 2、4 的部分，他们的标准差分别是 31.5921、28.0826。仰赖手指纵向运动的实验配置 2、4 在 x 座标上出现了较大的标准差，而以类似方式分析，我们可以发现仰赖手指横向运动的实验配置 1、3 在 y 座标上出现了较大的标准差。这说明了当使用者的拖曳位置与运动方向有密切关联，更精确地说，当手指横拖曳时落点会在 x 轴方向上差异较大，而同理纵向拖曳时落点会在 y 轴方向上差异较大。

总结以上两点，我们可以知道即使在拖曳任务当中也存在点不准的现象，并且这样的点不准现象是有规律可循的。错误的位置会以手指运动方向偏离正确位置，并且在运动方向上会有标准差较大的分布。具体可由 Figure 5 当中点的狭长分布去了解。

同样地，我们在实验配置二(45 度、-45 度、-135 度、135 度)也发现了类似的情形。

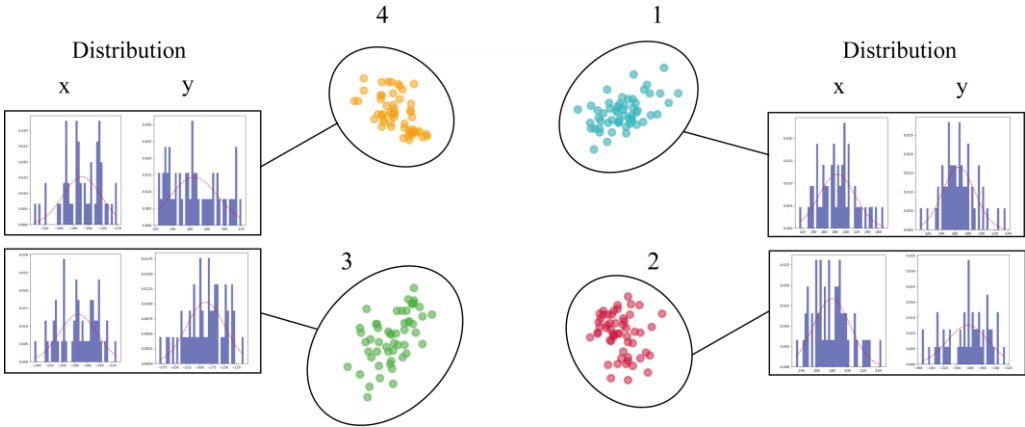


Figure 6. 实验配置二的落点分布

目标位置	x 座标平均	x 座标标准差	y 座标平均	y 座标标准差
1	183.8727	33.2752	165.9455	24.1611
2	179.5818	23.8691	-182.0909	31.8138
3	-174.2264	30.0808	-187.0377	38.8990
4	-168.3774	26.1297	164.9434	27.9989

Table 2. 实验配置二落点的平均值与标准差

这边值得注意的点是在目标位置 1、3 比起目标位置 2、4 有较大的标准差，点出了拖曳任务在 45 度轴上的差异性。事实上，我们在持手机时，手掌与手机之间并非垂直关系，而是夹了一个贴近 30 至 50 度的角度，这也造成人们使用手机时是在 45 度轴上会是较容易操作的，而非水平、垂直轴上。对比来说，2、4 的配置恰巧位于单手操作上最不灵活的位置—135 度轴，使得两者数据点十分集中，歧异性不大。

而配置三(90 度、30 度、-30 度、-90 度、-150 度、150 度)可视为配置一、二的综合版本，我们结合了垂直轴上的移动以及±30 度轴上的移动。落点情况如 Figure 7 所示：

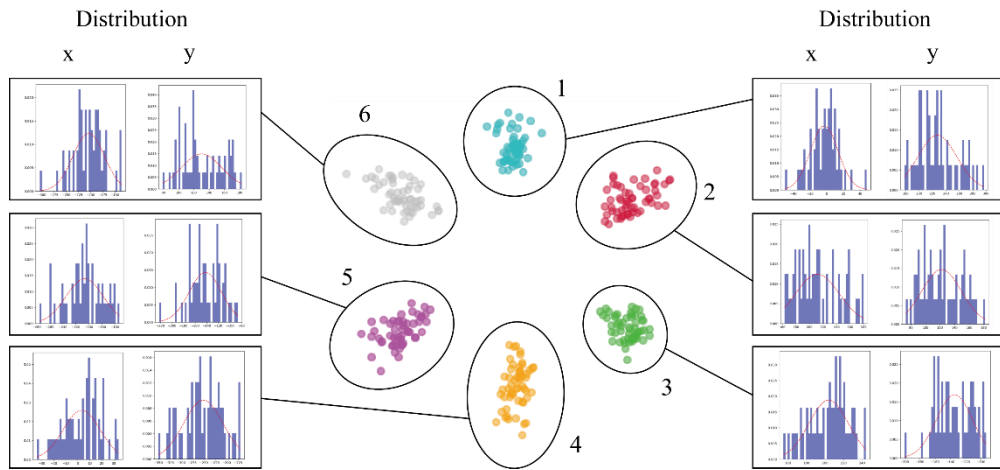


Figure 7. 实验配置三的落点分布

目标位置	x 座标平均	x 座标标准差	y 座标平均	y 座标标准差
1	-2.9259	16.7352	227.2222	29.1882
2	211.6000	32.2285	122.1273	27.1709
3	203.8909	21.2395	-134.5091	23.6088
4	3.2364	15.4343	-251.1273	43.0302
5	-206.5000	28.4737	-142.3462	27.8691
6	-203.9455	32.3011	130.1818	26.7976

Table 3. 实验配置三落点的平均值与标准差

而配置四可视为配置三顺时针旋转 90 度后的结果。具体的落点情况如 Figure 8 所示：

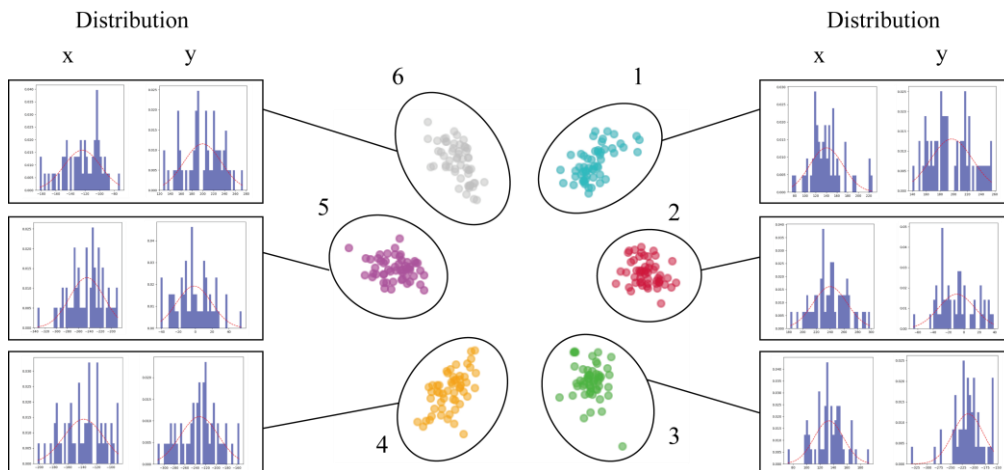


Figure 8. 实验配置四的落点分布

目标位置	x 座标平均	x 座标标准差	y 座标平均	y 座标标准差
1	139.9273	31.5173	197.1455	30.6015
2	239.9630	24.7812	-9.1852	23.5868
3	133.1667	21.9256	-212.0000	32.9798
4	-137.7778	27.7320	-231.7037	36.3515
5	-244.2222	31.4435	-1.2037	20.7153
6	-123.6727	25.1556	199.6364	34.5845

Table 4. 实验配置四落点的平均值与标准差

在六个方位的选择上，同样出现运动死角的问题，大约落在-30 度的位置，而水平方向跟-60 度方向同样受些许影响，在这些角度上点分布是比较集中的。而直观上理解，即是跟人类手部肌肉构造有关，手指这些角度的移动是相当受限的，因而拖曳停留的位置也大致雷同。另外，我们可以藉由欧氏距离上的偏离 (Function 1)得知在单手操作上，手指运动角度和距离的关联，以 Table 3 当中的数据来分析，目标位置 1 到 6 的偏离分别是：27.3790、44.3147、46.1790、51.2296、53.8679、43.0804。在 5 号位置(-150 度位置)的偏离量几乎等同两倍的 1 号位置(90 度位置)偏离量，类似现象存在于 Table 4 当中的数据，目标位置 1 到 6 的偏离分别是：46.5546、41.0050、51.0400、69.6366、44.2386、35.4826。当中在 4 号位置(-120 度位置)的偏离量也几乎等同 6 号位置(120 度位置)偏离量的两倍。以上显示了人们对于不同角度拖曳偏离习惯上的差异。

$$D = \sqrt{(u_x - v_x)^2 + (u_y - v_y)^2},$$

where U is the vector describes the distance of the target
and V is the vector describes the position of the user's prediction.

Function 1. 偏离量(以欧氏距离计算)， u 、 v 为一个 n 维向量，此处指 2 维向量

实验二的数据主要藉由错误率来决定使用者的意图，我们设定在特定时间判断为长压的条件下测试 10 次，共有六种实验配置，分别为 0.100, 0.135, 0.170, 0.205, 0.240, 0.275 秒。测试使用者意图的动机主要来自于 efficiency 跟 correctness 的 trade-off，停顿过久则造成整体操作过慢，背离我们的初衷；停顿过短则可能造成使用者输入意图的误解，因此想借此实验找到两者的平衡点。这部分相对实验一单纯许多，我们可以直接观察整体错误率，如 Figure 9 所表示，蓝线表示错误率，橘线表示正确率(%)：

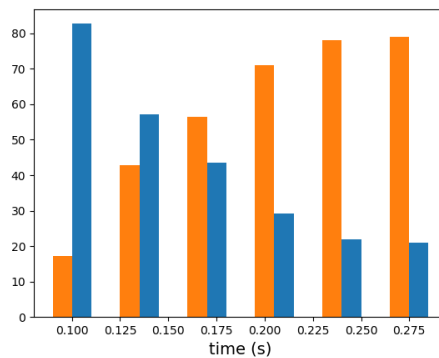


Figure 9. 错误率与停顿时间关系

我们发现停顿时间设定为 0.240 秒和 0.275 秒的正确率差异<1%，意谓增加时间并不增加使用者的正确表达率，代表 0.240 秒即是 knee point，并可将此点设定为长压意图的判定时间。

实验三则是模拟了平常使用手机的环境以及我们实验配置下的环境。主要测试在两个环境中使用者的操作时间是否有所区别。当中原配置一代表的是在受试者以九宫格解锁后到达模拟的桌面并点击到 app 的时间，在此配置下桌面会出现四个 app，而原配置二的差别只是桌面上会出现六个 app 供受试者点击。因此，我们将实验配置一、二与原配置一进行比较，实验配置三、四与原配置二进行比较。

下图(Figure 10)表示四种配置与原配置的时间差，横轴表示不同受试者，纵轴为总操作时间，橘色线段表示受试者在实验配置下所花的时间，蓝线则是表示原配置下所花的时间；下表(Table 5)则表示各配置平均所需的操作时间。

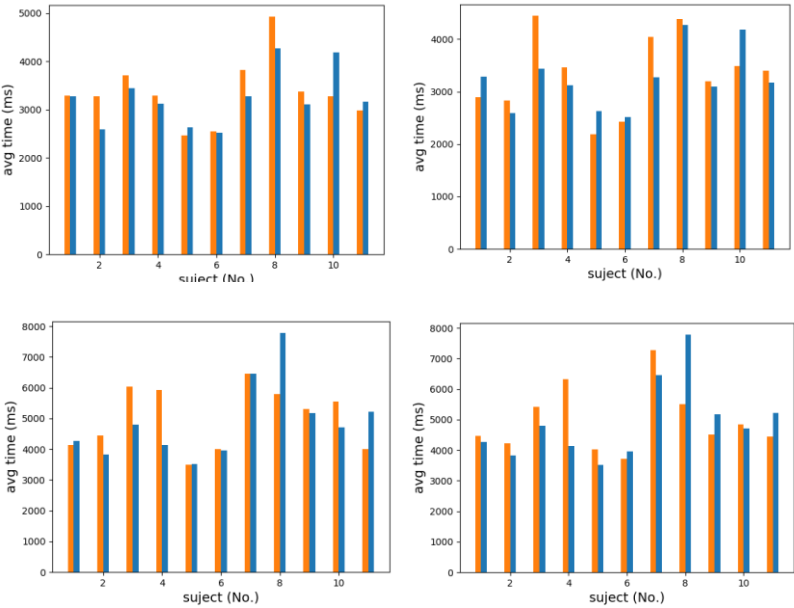


Figure 10. 各受试者的平均操作时间（左上）配置一（右上）配置二（左下）配置三（右下）配置四

	原配置一	原配置二	实验配置一	实验配置二	实验配置三	实验配置四
平均时间(ms)	3234.1409	4895.7045	3356.7363	3339.5545	5015.9545	4979.4500

Table 5. 实验配置与原配置时间比较

实验当中的四个配置皆比原配置长，差值分别占总时间 3.8%、3.3%、2.5%、1.7%，可以见四个实验配置都无法得到较快的结果。

然而值得注意的是，以原配置做为基准的差值出现了递减现象(3.8%>3.3%、2.5%>1.7%)，原则上这四个配置的难度($ID=\log_2(2A/W)$)理应相同，而我们的推测是这样差值递减的现象与我们做实验的顺序有关，也就是说，在受试者熟悉实验配置后会有比较快速的表现，而非配置差异所造成的时间差异。

➤ Summary

在三个实验中分别测得了使用者在拖曳任务的落点习惯、不同反应时间的错误率以及最终的平均操作时间，我们也同时讨论了这些数据点所代表的意义。在实验一当中，藉由展示各实验配置下的落点分布，并分析各组的平均值与标准差，发现了手指运动方向和偏离位置的关系，此外，我们藉由比较落点的平均偏移量，受试者在拖曳任务中不同角度的偏移习惯。在实验二当中，我们藉由错误率的比対去分析使用者长压意图，并取得了 0.240 秒为数据中的膝点，以其作为最合适 的长压时间。在实验三当中，我们区别了原配置所需

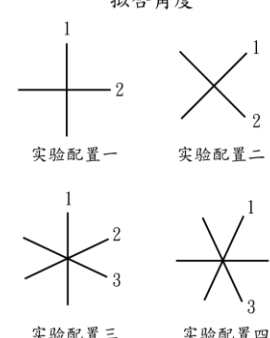
要的时间、实验配置所需要的时间，并推断这样的方式无法带给使用者一个较快的体验。总体而言，我们的实验包含了分析使用者对拖曳任务的习惯性落点、找出长压意图的判断秒数、计算使用者在整个解锁至点选 app 所需花费的平均时间，以及实验配置下的平均时间。

➤ Discussion

在实验一当中我们谈到了单手操作手机时，手掌与手机的夹角并非水平，而是约 30 至 50 度，这也造成了我们拇指活动范围在 30 至 50 度轴上是较为灵活的。基于这些实验当中的数据，我们可以对其拟合出两轴（配置三、四为三轴）。拟合的角度如 Table 6 所示，可以观察到在非垂直、水平的拟合角度会向对角线(45 度轴、-45 度轴)靠近，在配置三拟合角度 2、3 当中以及配置四拟合角度 1、3 都有此现象的出现。

实验配置	拟合角度 1	拟合角度 2	拟合角度 3
一	89.3752	-0.6675	-
二	44.7397	-44.7523	-
三	89.4283	32.0296	-33.0012
四	57.0235	-0.9108	-57.8523

拟合角度



实验配置一 实验配置二

实验配置三 实验配置四

Table 6. 拟合角度(单位：度)

这里彰显了在对角线上的操作便利性，也抛出了另一个议题—为何当今手机以水平、垂直轴作为版面设计依据。在撇除整齐、美观等主观因素之外，它所引起的是手部运动不便所引起的效率的下降。我们认为对角线的便利性，除了在本项目中有显著的结果，亦能应用于单手模式的改良上。

另一个讨论点则在于我们对实验配置的设计补强，在实验三当中，我们看到了结果是实验配置比原配置慢，然而该实验当中的意图判定是以 500ms 计算，跟我们实验二当中所找到的最佳值(240ms)有 260ms 上的差距，若针对此处优化，在减去 260ms 后四个实验配置都会有比原配置更佳效率。此外，我们可以针对实验一当中的使用习惯，去做输入判断的优化，以达到更佳的使用体验与性能。

➤ Tool

[1] <https://github.com/lance27866854/User-Experiments-of-Pattern-Lock>