

基于触屏移动操作界面的 KLM 模型改良

赵欣¹, 陈凯翔², 谷贺瑾², 侯文军^{2,3}

(1.中国电子科技集团公司电子科学研究院, 北京 100041; 2.北京邮电大学 数字媒体与设计艺术学院, 北京 100876; 3.北京邮电大学 网络系统与网络文化北京市重点实验室, 北京 100876)

摘要: **目的** 击键水平模型(KLM)量化了用户的操作行为, 使设计师在产品上线前能够根据模型参数, 快速预估产品在高效性方面的表现。KLM 模型的局限性在于其模型参数的建立是以 PC 界面为标准, 由于移动设备的交互方式和使用场景与 PC 设备不同, 所以简单地将 KLM 模型迁移到移动界面的评估上来, 可能会带来较大的评估误差。**方法** 本研究在前期研究的基础上, 提出了更适用于触摸显示操作设备的手持水平模型, 通过实验对物理操作单元进行量化, 在不同交互方式的属性间建立全面操作时间的预估关系, 使其评估结果更可靠, 在移动界面评估方面的应用更为广泛。**结论** 以时钟 APP 中的典型操作任务为例, 运用 HLM 模型预估及实验采集两种方式评估其高效性, 验证了 HLM 模型的有效性。

关键词: 触屏手机界面; 可用性评估; 高效性; hand-level model

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)16-0031-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.16.006

Evolving KLM for Touchscreen Based Mobile Interface

ZHAO Xin¹, CHEN Kai-xiang², GU He-jin², HOU Wen-jun^{2,3}

(1.China Academic of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China; 2.School of Digital Media and Design Arts, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 3. Beijing Key Laboratory of Network Systems and Network Culture, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

ABSTRACT: Keystroke-level model(KLM) can help designers quickly estimate the performance of their design in terms of efficiency by quantifying the operation behavior of users. However, the limitation of KLM is that it's establishment is based on PC interface. Due to the difference of interaction and usage scenario between mobile devices and PC devices, simply apply the KLM to user interface of mobile devices may lead to some serious evaluation error. In our study, a modified KLM, tentatively called the hand-level model(HLM), is proposed to better apply to touchscreen-based mobile interface. HLM build a more comprehensive relationship between efficiency evaluation dimension and interaction of mobile user interface by quantifying more physical operating unit including sliding, translation, zooming and rotating than previous studies, which is more reliable and widely applicable in the evaluation of mobile interface. Finally, our study takes a typical operating task of clock APP as an example, using two ways including HLM and experiment collection method to evaluate the efficiency of the task, and the results verify the effectiveness of the HLM.

KEY WORDS: touchscreen-based mobile interface; usability evaluation; efficiency; hand-level model

在人机交互界面的研究领域中, 用户模型是人对外部世界的认识以及人与外部世界交互的描述, 同时也是人机界面设计和评估的重要依据。20 世纪 80 年代, Card 等提出了 GOMS 模型^[1], 并衍生出了简化

版的 KLM 操作模型。

最早 KLM 模型是针对 PC 应用的, 其中包含 6 个参数^[2]。在 PC 端时代, 使用场景单一, 输入设备是键盘、鼠标, 使用十指操作, 输出设备是屏幕, 在

收稿日期: 2018-02-12

作者简介: 赵欣(1981—), 男, 河北人, 硕士, 中国电子科技集团公司电子科学研究院高级工程师, 主要从事大型电子信息系统方面的研究。

交互过程中存在着大量的眼睛注视位移以及手在操作键盘、鼠标时的切换等。对于移动设备而言,使用场景易受外界影响,用户输入、输出皆通过显示屏,此外交互方式也丰富多样。在此方面,已有不少前人的研究验证了 KLM 模型应用到手持设备上的可行性^[3],但这些研究中的对象多为传统的键盘手机,对于交互更为复杂的触屏智能手机的研究却十分稀少。此外,由于触屏智能手机的交互具有多样性,KLM 模型中的操作单元指标只能覆盖部分触屏智能手机的操作特征,所以使得 KLM 模型的应用范围十分局限。

本文尝试建立更精确的手持触屏设备的用户操作模型——HLM 模型,提出合适的物理操作单元指标并将其进行量化,增加模型的适用性,从而更好地应用到移动触屏手机的评估中。

1 相关工作

早在 2000 年时,Dunlop 就将 KLM 模型应用到手机界面的评估中^[4];Luo 等用 KLM 模型预测手持移动产品任务的操作时间,通过实验发现评估的误差率较低^[5]。随着科技的发展,KLM 模型在移动设备上的适用性不断降低。随后开始不断有学者尝试针对手持移动设备对 KLM 模型进行改进。有不少学者针对 KLM 模型中的指标参数进行调整,重新测量定义了键盘手机的 12 键键盘的菲茨定律^[6-7];而 Lee 等人则研究了全触屏点击指标的菲茨定律^[8]。这些研究针对的都是传统带硬件键盘的智能机,因此受到设备本身的差异影响,导致了同一指标在不同设备上的表现有所差异。

也有学者针对实际的应用场景,将 KLM 模型进行整体的扩展和衍生。例如 Lee 提出了基于触屏游戏的 FLM 模型^[9],包含点击、快掷、拖拽、指向以及心理操作指标和系统反应指标等指标参数^[10],但是 FLM 模型的指标偏向于游戏中的简单操作,而在实际应用中,交互形式更丰富,FLM 模型无法满足指标分析。

要建立 KLM 模型,首先需要定义操作单元。KLM 模型的操作包括物理操作和心理操作。物理操作的测量方法有实验测量和公式测量。实验测量是指根据定义好的各个操作单元的起始点和终止点对用户的操作进行计时;公式测量用菲茨定律计算手指移动的时间^[11],本文着重于物理操作的时间单元,并结合菲茨定律计算操作时间。在心理操作单元方面,虽有论文提出的操作时间为 1.35 s^[12],但是有研究使用该指标的心理操作来预测各种应用,例如电子白板^[13]、触摸屏的 Touch-level Model 模型^[14]。在本文的研究中,心理操作单元将继续沿用之前的 KLM 模型参数。

2 定义新模型

总结得到常用的物理操作单元有:点击(T),手指按下、提起;指向(M),手指在无操作的情况下从一个位置移动到另一个位置;对于移动设备,手指姿势替换了鼠标,因而需要进行区分;拖拽(D),一只手指按下,移动目标物至目标位置后再提起。该指标继承原始 KLM 模型,但与点击(T)指标不同的是,这里的(D)是一个连续操作,多用于修图工具或移动操作桌面操作系统中;滑动(S),动作为一只手指按下,并快速朝某一方向移动,最终离开屏幕,该动作多用于水平或垂直方向的滑动,常用于列表控件;长按(Pr),手指按下,片刻提起;放大/缩小(Z),两个手指合并或分离;平移(Pa),动作为保持手指按下状态,朝向某一方向移动,多用于在内容无边界的情况下,对内容进行查看,例如查看地图;旋转(R),以两个手指尖端中点为圆心,旋转后提起;反向(C),包括整只手对设备的操作。以上指标对于手指与触摸屏界面间的交互关注较多,但丰富的传感器使得其具有整机交互的特点。

完成任务所需时间可以用公式(1)来表示:

$$T = TD + TM + TT + TS + TPr + TZ + TPa + TR + TC + TMT + TO \quad (1)$$

在公式(1)中,T代表预估的总时间;TT, TM, TD, TS, TPr, TZ, TPa, TR, TC 分别代表上述介绍的 9 项操作单元的总耗时;TMT 代表心理操作单元的总时间;TO 代表系统反应的总时间。其中,TO 不仅取决于移动操作系统的反应程度,还取决于用户的网络条件等。

3 HLM 建模

3.1 设备及用户

男女的人数比例为 1:1,共 30 人,年龄在 22~26 岁之间。所有用户均有 3 年以上的触屏智能移动操作的使用经验,视力正常,可正常操作。实验通过一台 4.7 英寸屏幕的移动设备进行操作,分辨率为 1334 px×750 px, 326 ppi。

3.2 方法及过程

实验要求被试者竖直方向持机,不控制用户单手或双手持机的手势和操作环境,保证实验场景更贴近日常使用习惯。实验开始时,先由主试向用户介绍实验内容,并请用户具体操作一遍任务,即熟悉操作,待用户已熟悉操作任务后,再正式开始任务和实验记录。在实验期间,要求参与者在舒适的位置尽可能准确地执行每一项操作任务,通过后台记录每个任务的绩效数据。实验任务将按随机顺序呈现,以消除遗留影响。为尽量消除偶然性误差的影响,每个被试将完

成 3 遍实验任务，每组实验各收集共计 90 份测试数据。具体任务细节如下。

滑动：在实验中有两个自变量，一是方向，分成上、下、左、右 4 个方向；二是距离，为 12 mm、41 mm、70 mm。因变量是操作时间，每一个用户被要求将灰色方框移动到目标区域中，滑动实验变量及操作示意

见图 1。

平移：在平移实验中，有 4 个不同的方向，在任务观察中发现用户较少沿直线去平移对象，因此并没有选择上、下、左、右 4 个方向，而是选择了左右 45°斜线的方向，距离仍然是 12 mm、41 mm、70 mm，平移实验变量及操作示意图 2。

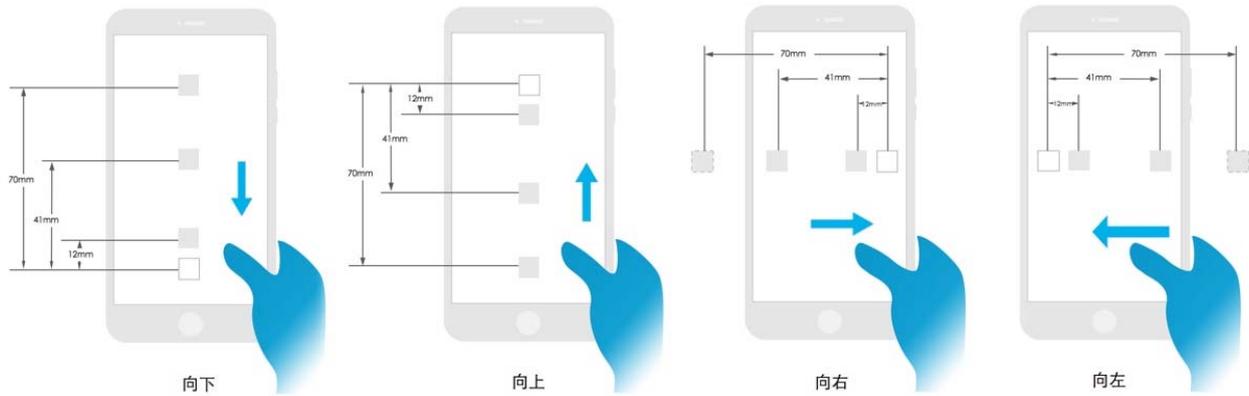


图 1 滑动实验变量及操作示意
Fig.1 Sliding experiment variables and operation diagram

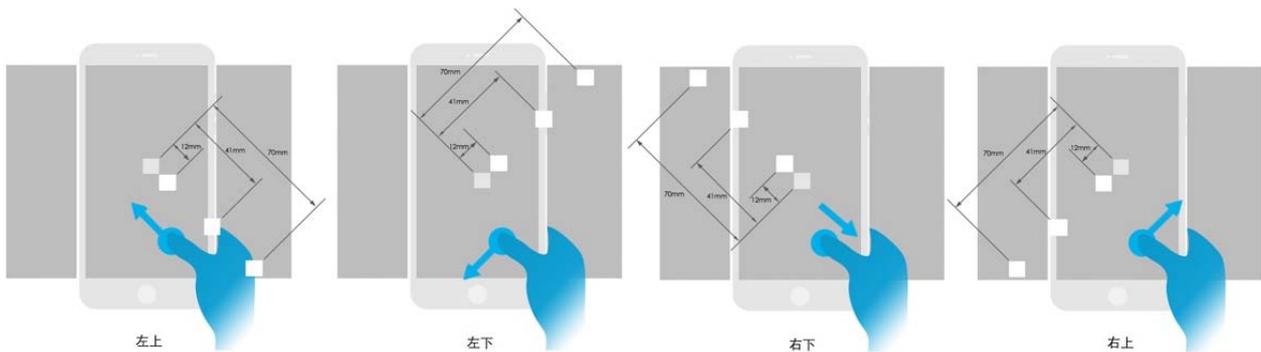


图 2 平移实验变量及操作示意
Fig.2 Pan experiment variables and operation diagram

旋转：由于移动操作屏幕尺寸大小的原因，选择的直径分别是 10 mm、32 mm、56 mm。另一个自变量是角度，分别是 15°、30°、90°、180°。在转动过程中，用户可以将手指抬起，不强制一次完成角度旋转操作，旋转实验变量及操作示意图 3。

放大及缩小：双指捏合或放大或缩小两个方向，以左上角为固定顶点，选择的对角线距离分别为 21 mm、51 mm、80 mm。请用户将目标操作对象通过手势放大及缩小的操作扩充至整个区域中，放大及缩小实验变量及操作示意图 4。

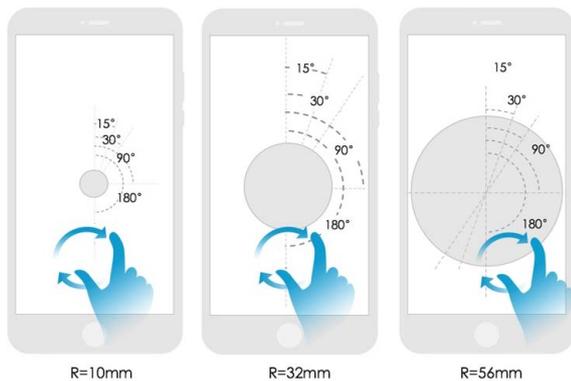


图 3 旋转实验变量及操作示意
Fig.3 Rotation experiment variables and operation diagram

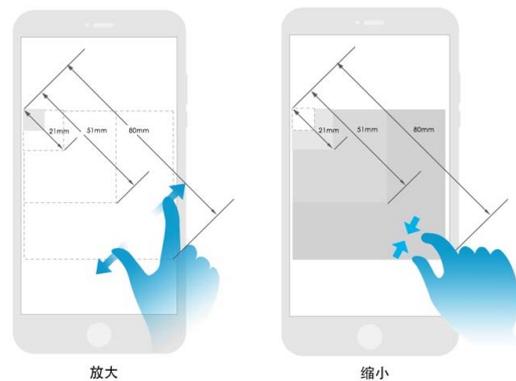


图 4 放大及缩小实验变量及操作示意
Fig.4 Zoom In and zoom out experiment variables and operation diagram

3.3 数据收集及分析

用户第一次的训练操作时间不计,只记录用户后3次实验的数据,进而进行分析。

滑动:不同滑动方向两两间具有显著性差异(F=15.78, p<0.001),4个方向对操作时间有显著影响,然后分别计算。进一步计算可知,向下滑动效率高于向上滑动,向右滑动效率高于向左滑动。对于滑动操作单元双变量的平均操作时间见表1。

表1 对于滑动操作单元双变量的平均操作时间
Tab.1 Average operation time of sliding operation unit

距离	下 Means	上 Means	右 Means	左 Means
12 mm	471	1147	495	932
41 mm	817	1558	1154	1527
70 mm	1132	1654	1968	2258
平均时间	809	1454	1196	1574

所需时间 T 见公式(2):

$$T = a + b * \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right) \quad (2)$$

公式(2)中 $\log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$ 被称为 ID 系数(Index of difficulty), Bi^[15]对 ID 系数提出了较为准确的计算方法,但其方法不适合此次实验。可以简化为 T=a+b×ID。

平移:4个不同平移方向总体间具有显著性差异(F=3.014, p<0.1)。对于平移操作单元双变量的平均操作时间见表2。

表2 对于平移操作单元双变量的平均操作时间
Tab.2 Average operation time of pan operation unit

时间 (ms)	左上 Means	左下 Means	右下 Means	右上 Means
12 mm	821	1189	1069	858
41 mm	1343	1271	1411	1068
70 mm	2558	2266	2413	2123
平均时间	1573	1576	1631	1350

计算可得 T=0.093+0.6657ID (R²=0.776)
放大及缩小:放大和缩小没有显著性差异(F=2.588, p>0.1)。将放大/缩小实验数据进行拟合,得到线性拟合结果(公式3)与非线性拟合结果(公式4)。

$$T = 763.17 + 12.71 * A \quad (3)$$

$$T = 172.88 + 499.74 * \log_2 \left(\frac{A}{10} + 1 \right) \quad (4)$$

经标准化后,放大/缩小的模型为:

$$T = 0.1729 + 0.4997 * \log_2 \left(\frac{A}{10} + 1 \right) \quad (5)$$

旋转:直径对操作绩效时间没有显著性影响(F=0.003, p=0.959>0.1),将旋转数据进行拟合,得到线性拟合结果(公式7)与非线性拟合结果(公式8)。

$$T = 509.68 + 13.90 * A \quad (6)$$

$$T = -566.00 + 797.16 * \log_2 \left(\frac{A}{10} + 1 \right) \quad (7)$$

经过计算,线性误差 RMSElinear=151.93;非线性误差 RMSEnon-linear=120.94。经标准化后,旋转的模型为:

$$T = -566 + 0.797 * \log_2 \left(\frac{A}{10} + 1 \right) \quad (8)$$

4 HLM 模型的有效性验证

系统工具类应用更追求高效性方面的表现,以工具类应用作为评测对象具有代表性。以 GALAXY S6 和 OPPO R7 两部移动操作的时钟应用作为研究对象,选择典型任务“创建并编辑”作为实验任务,通过实际操作计时与应用 HLM 模型预估所得的时间进行差异分析,最后验证 HLM 模型的有效性。

4.1 任务操作提取

任务模块中涉及时钟列表页和时钟编辑页,界面样式见图5。

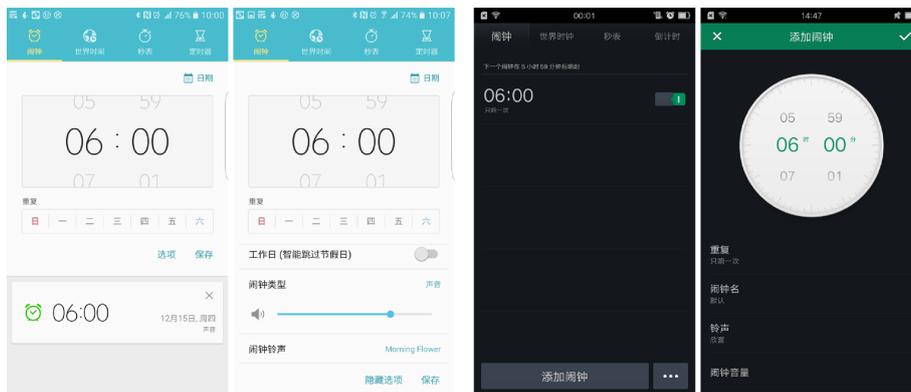


图5 时钟任务中的列表页和编辑页
Fig.5 List pages and edit pages in clock tasks

4.2 实验设计及过程

共 12 名用户参与实验, 男女人数比例为 1:1。所有被试视力正常, 可正常操作, 均为智能移动操作的熟练用户。在用户操作过程中记录用户的操作绩效, 即任务完成时间。

4.3 对操作任务模型预估

使用 HLM 模型对其操作时间进行预估, 估算过程中以大的页面变化或页面跳转导致用户心理变化来估计心理反应次数。

根据 GALAXY S6 下的操作单元序列, 使用 HLM 模型的指标进行估算, 得出: $S(140)M(40)TMtM(10)TMt=5.23$ s; 根据 OPPO R7 下的操作单元序列, 使用 HLM 模型的指标进行估算, 得出: $TMtM(70)S(90)M(40)TMtPrMtTM(80)TMtM(40)TMt=12.01$ s。

4.4 数据分析

操作绩效实测平均时间与 HLM 模型预估时间相比差异不显著 (分别为 $t=-0.494$, $p=0.631>0.1$; $t=1.322$, $p=0.213>0.1$), 说明所建立的模型有效。

5 结语

本文在 KLM 模型的基础上提出了适用于触摸屏显示操作设备的新型模型。新模型的建立, 使后续的产品设计更加准确地对产品的人机交互性能进行评估, 并对产品设计进行有效指导。由于智能移动操作的交互方式愈加多样, HLM 模型中的反向 (C) 这一指标也会越来越重要, 所以在后续的研究计划中, 笔者将会针对方向 (C) 这一指标进行更深入的实验研究。

参考文献:

- [1] CARD S K, MORAN T P, NEWELL A. The Keystroke Level Model for User Performance Time with Interactive Systems[J]. *Comm ACM*, 1980, 23(7): 396—410.
- [2] CARD S K, MORAN T P, NEWELL A. The Psychology of Human-Computer Interaction[M]. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Inc, 1983.
- [3] 杨炳, 李宏汀. KLM 在手机界面设计和评估中的应用[J]. *人类工效学*, 2012(2): 83—87.
YANG Bing, LI Hong-ting. The application of KLM in the Design and Evaluation of Mobile Phone interface[J]. *Ergonomics*, 2012(2): 83—87.
- [4] DUNLOP M D, CROSSAN A. Predictive Text Entry Methods for Mobile Phones[J]. *Personal Technologies*, 2000, 4(2): 134—143.
- [5] LUO L, JOHN B E. Predicting Task Execution Time on Handheld Devices Using the Keystroke-Level Model[C]. Portland: ACM, 2005.
- [6] SILFVERBERG M, MACKENZIE I S, KORHONEN P. Predicting Text Entry Speed on Mobile Phones[C]. Hague: ACM, 2000.
- [7] LIU Y, RÄIHÄ K J. Predicting Chinese Text Entry Speeds on Mobile Phones[C]. Georgia: ACM, 2010: 2183—2192.
- [8] LEE D, MOON J, KIM Y J, et al. Antecedents and Consequences of Mobile Phone Usability: Linking Simplicity and Interactivity to Satisfaction, Trust, and Brand Loyalty[J]. *Information & Management*, 2015, 52(3): 295—304.
- [9] FINDLATER L, FROEHLICH J E, FATTAL K, et al. Age-Related Differences in Performance with Touchscreens Compared to Traditional Mouse Input[C]. ACM: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2013.
- [10] LEE A, SONG K, RYU H B, et al. Fingerstroke Time Estimates for Touchscreen-Based Mobile Gaming Interaction[J]. *Human Movement Science*, 2015, 44: 211—224.
- [11] BI X, LI Y, ZHAI S. FFitts law: Modeling Finger Touch with Fitts' law[C]. ACM: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2013.
- [12] GOKARN P, GORE K, DOKE P, et al. KLM Operator Values for Rural Mobile Phone User[C]. Proceedings of the 3rd International Conference on Human Computer Interaction: ACM, 2011.
- [13] RASMUSSEN R, KUSHNIRUK A. The Long and Twisting Path: an Efficiency Evaluation of an Electronic Whiteboard System[J]. *Enabling Health and Healthcare Through ICT*, 2013.
- [14] RICE A D, LARTIGUE J W. Touch Level Model: Evolving KLM-GOMS for Touchscreen and Mobile Devices[C]. ACM: Proceedings of the 2014 ACM Southeast Regional Conference, 2014.
- [15] BI X, LI Y, ZHAI S. FFitts Law: Modeling Finger Touch with Fitts' Law[C]. ACM: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2013.