

适于可穿戴计算机点击操作的图标尺寸研究

黄志奇, 陈东义, 王厚军

(电子科技大学移动计算中心 成都 610054)

【摘要】 Twiddler和HMD是可穿戴计算机最常用的输入设备, 点击绩效直接影响可穿戴计算机的可操作性和可用性。该文根据费兹原理进行点击测试, 得到了大量实验数据, 建立了Twiddler-HMD方式下点击绩效模型。模型表明Twiddler的操控比较困难。基于Twiddler的点击绩效模型, 对信息量与平均点击时间之间的关系进行研究, 结果表明当图标尺寸宽度与界面宽度的比值在1/15左右时比较适合于Twiddler-HMD方式下的点击操作。

关键词 费兹原理; 图标尺寸; 信息量; 点击绩效模型; 可穿戴计算机

中图分类号 TP20

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.06.018

Research on the Size of Icon Suite for the Wearable Computer Tapping Operation

HUANG Zhi-qi, CHEN Dong-yi, and WANG Hou-jun

(The Mobile Computing Center of University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

Abstract The Twiddler and head mounted display (HMD) are the most useful input and output devices for wearable computers, the tapping performance of Twiddler directly affects the controllability and usability of wearable computers. According to Fitts's law, the model of tapping performance in the Twiddler-HMD mode is established. Based on the model of tapping performance, the relationship between average tapping time and information quantity is researched. The result shows the icon is suitable for tapping operation of the wearable computer, when the ratio of the icon size to the width of graphical user interface (GUI) reaches 1/15.

Key words Fitts' law; icon size; information quantity; tapping performance model; the wearable computer

穿戴计算机是一类新概念、超微型、可穿戴的个人移动计算系统, 可实现人机之间自然、方便和直接的交互。与传统计算机最大的差别是提供了一种可穿戴的交互模式, 这不仅要求其微型化便于穿戴, 也要求其提供全新的输入输出方式以满足“hands free or one handed operation”和“interactional constancy”^[1]的特性。因此由Twiddler代替传统的鼠标和键盘作为输入装置, 由HMD代替传统的显示器作为输出装置。Twiddler是将Chording键盘和Trackpoint指点鼠结合成一个可单手操作的输入装置, 同时具有文本和指点输入的功能^[2]。HMD是一种包含微型图像源及相应光学系统的头戴显示装置, 通过微型图像源将VGA等视频电信号转换成光信号显示出来, 经光学系统处理后可得到一个放大的虚像^[3]。

目前可穿戴计算机仍采用图形用户界面(GUI)技术的桌面操作系统(如Windows XP、Linux等), GUI

是以所谓的WIMP(Windows、icon、menu、pointing device)为基础的人机界面技术。然而这些操作系统所提供的GUI中图标的尺寸不适于Twiddler-HMD方式下的点击操作, 严重影响了可穿戴计算机操作的灵活性和准确性。在使用可穿戴计算机的过程中, 经常发生点击困难, 甚至误点击的现象。设计符合自身点击操作方式的GUI已成为可穿戴计算机发展进程中急需解决的关键问题之一。本文从点击绩效模型出发, 对Twiddler-HMD方式下点击绩效与信息量的内在关系进行研究, 提出合适的图标尺寸范围, 为可穿戴计算机的GUI设计提供参考。

1 点击绩效模型

在Twiddler-HMD方式下, 点击绩效是指用户操作Twiddler在GUI上不同目标之间进行来回点击的功效, 在保证一定点击正确率的条件下, 点击速度是衡量点击绩效的主要指标。点击绩效的优劣直接

收稿日期: 2008-06-20; 修回日期: 2008-09-18

基金项目: 国家863计划(2006AA01Z113); 国家自然科学基金(60674077)

作者简介: 黄志奇(1977-), 男, 博士生, 主要从事可穿戴计算与移动计算方面的研究。

决定了可穿戴计算机可操作的性能。本文基于费兹原理，建立相应的点击绩效模型，对点击绩效进行了初步研究和评估。在点击操作时，需单手握住 Twiddler，用大拇指操作其上的Trackpoint来控制光标的移动，光标的点击要靠小拇指点击Chording键盘右下端的Enter键来实现，同时依靠HMD来进行视觉反馈。研究中采用的HMD是美国eMagin公司生产的Z800，分辨率为800×600 pixel，对角线视角为40°，研究实验平台如图1所示。



图1 研究实验平台

费兹原理是由Paul Fitts于1954年提出的，被广泛地应用于人机交互系统的预测评估领域^[4-5]。费兹原理量化了一个事实，即目标离当前所在位置越远，或者目标越小，从当前所在位置移动到目标的时间就会越长^[6-7]。其数学表达式为：

$$MT = a + b \cdot ID \quad (1)$$

式中 MT为移动时间；a、b为常数；ID为难度系数。ID的数学表达式有多种，以文献[8]提出的表达式最为适合点击操作的实际情况：

$$ID = \log_2(d/w + 1) \quad (2)$$

式中 d为起点到目标的距离；w为目标宽度。费兹原理是建立在对大量实验数据进行回归分析统计的基础上。其原始实验包括往复敲击实验、圆盘移动实验和插针实验三种^[6]。其中往复敲击试验是由实验者手持触笔在两个目标之间来回点击，这与使用 Twiddler进行点击操作的方式比较接近，本文设计的点击测试实验就是以往复敲击实验为参考的。

1.1 点击绩效测试

本文用java开发了点击绩效测试工具，用于建立测试环境和记录测试数据(包括每次点击位置、两次点击的时间间隔)。将显示区域分成16×12=192个边长均为50个像素的正方形，这样可记录每次点击的绝对位置。根据准确率与速度不相容原理(accuracy speed trade-off)^[9]，在目标之间的移动速度越快，相应的准确率就越低。考虑到视觉反馈作用，将点击目标设计成同心的两个大小不同的正方形。小正方形为提示区域，测试人员争取以最快的速度点击提示区域；大正方形为有效区域，其宽度为点击目标

宽度w。点击的落点可在提示区域外，但如果在有效的区域外时，本组测试中断重新开始。这样可保证在一定正确率的前提条件下，尽可能快地进行往复点击。

测试时第一个点击有效区域在测试区域内的192个正方形中随机产生，同时产生一个以此正方形点击区域的中心为中心生成一个边长为25个像素的正方形点击提示区域；第一个点击有效区域被点击后测试软件根据测试距离(这里测试距离是预先设定的，且为点击有效区域宽度的整数倍)在水平方向上产生第二个点击有效区域和点击提示区域，如图2所示。在图2中，上图中灰色的两个正方形为根据测试距离在测试区域中随机产生的，灰色正方形中心的小正方形为点击提示区域。下图标识表示出一组测试中w与d表示的长度，其中d/w=7。

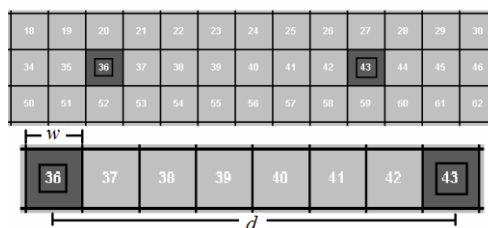


图2 试验测试区域

有10名硕士研究生参与了本次测试，其中3名为女生，参与测试的人员都能适应Twiddler-HMD方式，比较熟练地进行点击操作。难度系数ID的大小主要由d、w的取值决定，在研究中，根据d/w取值的不同将测试分为11种不同的测试情况，使得ID的取值在1~4之间，如表1所示。

表1 点击时间MT与难度系数ID对应表

NO.	MT/ms	w/pixels	d/pixels	ID
1	1 220.3	50	50	1.000
2	1 390.3	50	100	1.585
3	1 522.8	50	150	2.000
4	1 577.9	50	200	2.322
5	1 606.5	50	250	2.585
6	1 678.7	50	300	2.808
7	1 790.2	50	350	3.000
8	1 914.9	50	400	3.170
9	1 937.5	50	450	3.322
10	2 027.8	50	500	3.460
11	2 138.8	50	750	4.000

1.2 点击绩效分析

点击时间MT与难度系数ID之间存在线性关系。根据式(2)，结合实验中所得到的数据，可以建立MT与ID之间相关关系的线性回归模型，对应的点击绩效模型如式(3)，回归曲线如图3所示。其中模型的 $P < 1 \times 10^{-6}$ ，复相关系数 $R^2 = 0.9857$ ，标准误差 $S =$

49.88, 说明模型合理反应了MT与ID之间的线性相关关系。

$$MT = 871.31 + 315.25 \log_2(d/w + 1) \quad (3)$$

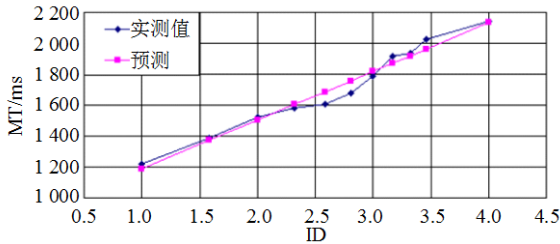


图3 点击绩效模型的回归曲线

式(1)中a的单位为ms(millisecond), 其物理意义有以下两点: (1) 表示当难度系数为0的情况下(即两个目标重合, 反复在一个目标上)点击所要花费的时间; (2) 表征的是测试系统的延迟时间, 主要包括人员的反应时间、系统的处理时间和附加运动的时间, 理论上是一个比较小的正值^[10]。式(3)中a为871.31 ms, 而文献[4]在传统鼠标-显示器方式下建立的点击绩效模型的a为172.5 ms, 这表明在Twiddler-HMD方式下, Twiddler点击难度相对较大, 这是由对Twiddler的控制较困难所造成的。

式(1)中b的单位为ms/bit, 其倒数是衡量点击绩效重要的物理量——吞吐量(throughput, TP)^[10], 即TP=1/b, 单位为b/s。TP越小说明随着ID的增大, MT增加的越快, 其点击速度受ID的影响越大。式(3)中b为315.25 ms/bit, TP为3.172 b/s, 在传统鼠标-显示器方式下所建立的点击绩效模型中的b为145.6 ms/bit, TP为6.868 b/s。这表明在Twiddler-HMD方式下, 随着ID的增加, Twiddler点击所花时间MT的增长速度要大于鼠标点击所花时间的增长速度。

2 信息量与点击绩效的关系

信息量以比特数(bit)来衡量, 1 bit表示在两个选项中做出选择。设图标为正方形, 其边长为w; 界面为长为L、宽为W的矩形。以图标为有效点击区域, 界面可被划分成LW/w²个可点击的区域, 则传递的信息量I=log₂(LW/w²)。以800×600 pixel 的Windows XP界面为例, 当采用图标为16×16 pixel时, 能传递的信息量为10.872 7 bit, 若采用图标为32×32 pixel, 则能传递的信息量为8.872 7 bit。GUI所采用图标的尺寸不仅关系点击操作的绩效, 也关系到GUI所能传递的信息量。图标尺寸越小, 点击绩效就越差, 而GUI所能传递的信息量就越多, 这是一对矛盾体。

在前面建立的点击绩效模型中, MT是在确定了ID的情况下得到的。在实际应用中, 命令图标大小

是确定的, 而用户每次在界面上点击的部位是不同的, 这就造成每次点击的ID是变化的。要确定是在Twiddler-HMD方式下, 当界面与命令图标大小(即所能传递的信息量)确定时, 平均点击时间T以及最大点击时间MT_{max}。假设每个可点击区域被点击的概率都相同为w²/(LW), 水平方向上点击区域为L/w个。根据式(2), ID_i的取值范围从1~log₂(L/w+1), 不同ID_i所对应的被点击的概率不同, 通过统计所有可能的ID_i的被点击概率, 可以得到平均点击时间T。MT_{max}是当ID_i为log₂(L/w+1)时所对应的点击时间。

当宽度为w的命令图标把长度为L的界面在水平方向上等分为L/w个点击区域时, 对应ID_i被点击的概率为f_i, 其计算公式为:

$$f_i = 2(i-1)/((L/w)(L/w-1)) \quad i=2,3,\dots,L/w \quad (4)$$

由式(3)可得到与ID_i对应的点击时间MT_i, 结合式(4)可得到相应的平均点击时间为:

$$T = \sum_{i=2}^{W/w} MT_i f_i \quad (5)$$

在研究中, 界面的L为800像素, W为600像素, 这是由所采用的头戴显示器Z800所决定的。在选取命令图标宽度w时, 考虑使L/w成整数, 取值范围从1~20, 同时MT_i的值是由式(3)得到的。由于并没有已知的理论规律和经验可以利用, 主要应用5种已知的函数关系来拟合点击信息量I和平均点击时间T之间的关系, 如表2所示。

表2 5种拟合曲线参数表

曲线类型	回归曲线方程	F	P	R ²
回归直线	$T = 844.386 + 85.54I$	1 385.92	<1×10 ⁻⁶	0.988
对数曲线	$T = 299.578 + 599.709 \ln I$	292.95	<1×10 ⁻⁶	0.945
S型曲线	$T = e^{(7.676-2.614/I)}$	150.10	<1×10 ⁻⁶	0.898
幂曲线	$T = 665.405I^{0.403}$	451.52	<1×10 ⁻⁶	0.964
指数曲线	$T = 962.483e^{0.057I}$	4 010.27	<1×10 ⁻⁶	0.996

通过对以上5种曲线模型进行F检验和t检验, 同时对比模型的复相关系数R², 可选取指数曲线模型(如式(6))作为最优化模型。注意到回归直线模型(如式(7))虽然不是最优, 但拟合度也很高, 同时结构简洁, 可作为参考拟合曲线。两种拟合曲线如图4所示。

$$T = 962.483e^{0.057I} \quad (6)$$

$$T = 844.386 + 85.54I \quad (7)$$

图4表明, 实际的散列点与拟合曲线有一定的差别, 在图4上做两条虚线a和b将曲线分成三段。在a的左侧, 散列点的斜率(指T增长量与I增长量的比值)小于拟合曲线的斜率; 在a和b之间, 散列点的斜率

逐渐大于拟合曲线的斜率；在b右侧，散列点的斜率大于拟合曲线的斜率。因此改用分段回归直线进行拟合可以得到更优的拟合曲线：

$$T = \begin{cases} 1445.376 + 59.285I & I < 7.40 \\ 1445.376 + 103.246I & I \geq 7.40 \end{cases} \quad (8)$$

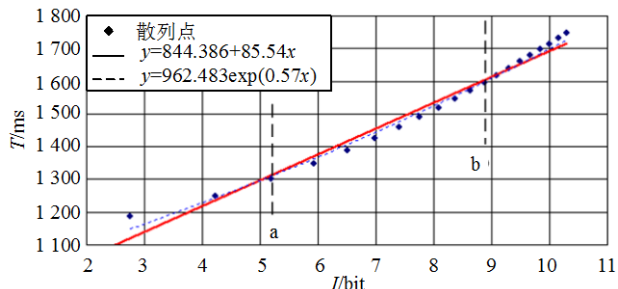


图4 信息量与平均点击时间的关系曲线

对应的 F 统计值为9 626.62, $P < 1 \times 10^{-08}$, $R^2 = 0.998$, 这表明分段回归直线模型比指数曲线模型更优, 拟合曲线如图5所示。

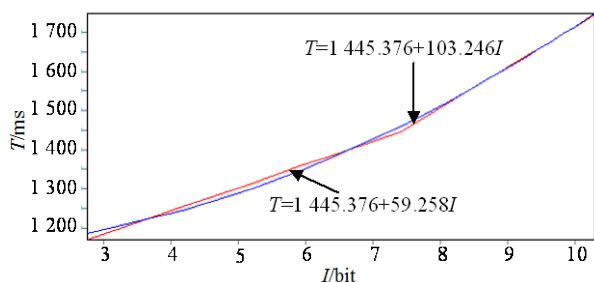


图5 分段拟合曲线

从图5可以看出, 两段回归直线的交点(7.40, 1458.66)为 T 随 I 增长速度的转折点。当 $I < 7.40$ 时, 拟合曲线的斜率为59.285, T 随 I 的增长速度比较平缓; 当 $I > 7.40$ 时, 拟合曲线的斜率为103.246, T 随 I 的增长速度加剧。同时, 第二段曲线与散列点的拟合度极高, 可以看出当 $I > 7.40$ 时, T 与 I 呈线性关系。因此(7.40, 1458.66)为设计图标尺寸的最佳点, 其所对应的 w 为53.33 pixel, MT_{\max} 为1 817.06 ms, w/L 为1/15。

3 结论

虽然Twiddler具有单手操控的功能, 是可穿戴计算机常用的专用输入设备, 但由于Twiddler操控方式和HMD的视觉反馈模式都增加了其点击操作的难度。经测试和研究发现, 在Twiddler-HMD方式下进行点击操作的绩效远远小于传统鼠标-显示器方式下进行的点击操作。同时还发现随着ID的增大, Twiddler点击的错误率远远高于鼠标点击的错误率, 测试中断的次数明显增加。

在可穿戴计算机的界面设计中, 针对不同的界面尺寸, 相应的点击图标的尺寸也不同, 点击图标尺寸与界面宽度的最佳比值为1/15。实际设计时可根据需要, 使两者的比值在1/15左右浮动, 同时兼顾点击绩效与点击信息量两者的要求。

参考文献

- [1] MANN S. Humanistic computing: WearComp as a new framework and application for intelligent signal[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(11): 2123-2151.
- [2] LYONS K, STARNER T, PLAISTED D, et al. Twiddler typing: one-handed chording text entry for mobile phones[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI 04. Vienna, Austria: [s.n.], 2004: 671-678.
- [3] LEE S, MORIZIO J C, JOHNSON K M. A LCOS microdisplay driver with frame buffer pixels[J]. Information Sciences, 2003, 149(1): 3-11.
- [4] RADIX C L, ROBINSON P, NURSE P. Extension of Fitts' law to modeling motion performance in man-machine interfaces[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 1999, 29(2): 205-209.
- [5] MACKENZIE I S, BUXTON W. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, USA: [s.n.], 1992: 219-226.
- [6] FITTS P M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement[J]. Journal of Experimental Psychology, 1992, 121(3): 262-269.
- [7] REN Xiang-shi, KONG Jing, JIANG Xing-qi, et al. A new model for different speed and accuracy requirements in pointing tasks[C]//Computer and Information Technology, CIT04, The Fourth International Conference on. [S.l.]: [s.n.], 2004: 86-93.
- [8] I S. A note on the information-theoretic basis for fitts' law[J]. Journal of Motor Behavior, 1989, 21: 323-330.
- [9] ZHAI S, KONG J, REN X. Speed-accuracy trade-off in Fitts' law tasks - on the equivalency of actual and nominal pointing precision[J]. Int J Human-Computer Studies, 2004, 61: 23-856.
- [10] SOUKOREFF R W, MACKENZIE I S. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI[J]. Int J Human-Computer Studies, 2004, 61: 751-789.

编辑 漆蓉