

图形用户界面环境中的鼠标操作活动分析

张彤 杨文虎 郑锡宁

(浙江大学心理与行为科学系, 杭州, 310028)

摘 要 本研究探讨 GUI 环境中目标的方向、大小和距离对鼠标指点定位和拖动操作的影响。实验结果表明, 鼠标指点定位和拖动操作的 MT 随着目标距离的增加而增加, 随着目标的增大而减小, 但下降率呈递减趋势。对于指点定位任务, 目标方向对鼠标操作的 MT 有影响, 而对于拖动操作任务, 这一影响不明显。总体上, 以上 3 个因素交互地影响鼠标操作的 MT。根据本实验数据, 我们为上述两种常规鼠标操作任务建立了 8 个方向的费茨模型。这些结果有助于 GUI 的工效学设计。

关键词 鼠标 指点定位和拖动 运动时间 费茨定律

中图分类号: B849: TB18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—6020(2003)—03—0014—06

1 引 言

自美国斯坦福研究所 Engelbart 于 1963 年发明以来, 随着窗口型和基于图符的软件系统的急剧发展, 鼠标已成为应用最多的直接操作界面装置。如有研究表明, 用户在图表和绘图的计算机操作中有 50%—60% 以上的时间是用鼠标完成的^[1]。鼠标的主要功能是通过移动鼠标来控制显示屏上的光标位置, 或以不同的方式控制鼠标按钮来实现特定的计算机操作。相对于用键盘输入命令, 鼠标的使用大大减低了用户的认知负荷。然而, 鼠标的长期使用使手长时间地暴露在极端的腕部伸展和尺侧偏移以及上臂抬高的应激姿势下, 易引起

肌肉骨骼不适或损伤。为此, 对鼠标的工效学研究受到了人们的重视。早期的研究主要针对鼠标与其他输入装置如操纵杆、光笔、追踪球和触摸屏等的操作绩效比较, 最近也有研究者比较了鼠标与新型的直接和间接图形输入板的指点定位绩效。在当前, 研究者更侧重于从图形用户界面(简称 GUI)设计和人一计算机交互建模的角度, 探讨显示布局特征对鼠标操作的影响, 研究费茨定律对描述鼠标操作运动的适宜性。此外, 还从流行病学的角度, 针对不同的 GUI 设计, 对鼠标操作的姿势、力、疲劳、肌电反应等进行研究。本研究将在前人研究的基础上, 着重探讨 GUI 环境中目标的大小、距离和方向对鼠标的指点定位和拖动操作的运动时间(简称 MT)的综合影响, 以便为

良好的 GUI 设计提供工效学依据。

2 鼠标指点定位实验

2.1 实验方法

本实验测试目标的方向、距离和大小对鼠标指点定位的 MT 的影响。实验采用模拟 GUI 环境中的鼠标指点定位作业,即要求被试用鼠标将光标从起点移至目标位置。起点位于计算机屏幕中心,是一直径为 2mm 的圆。目标是直径为 1、5、10 和 15mm 四种大小的圆,位于起点周围 0° (正上方)、 45° 、 90° (水平右侧)、 135° 、 180° (正下方)、 225° 、 270° (水平左侧)和 315° 八个方向,距起点 20、60、100mm 三种距离,由此构成 96 种测试条件。

实验测试 96 种条件下光标从起点移至目标的时间。测试开始,屏幕呈现起点、目标和箭头光标,被试首先用鼠标将箭头光标移至起点内,调整好鼠标位置后点击鼠标左键(箭头光标变成手指光标),再立即移动鼠标,将光标移向目标,当手指进入目标内,被试立即点击鼠标左键(手指变成箭头)。两次按键之间的时间即为 MT。每次测试前,被试需将光标移入起点内再按键,否则光标不会变成手指形,计时不开始。如果光标在目标外被试就按键,光标不会变成箭头形,计时也不停止。一次测试完毕,屏幕随即呈现下一个目标。

实验采用被试内设计。实验中 96 种条件各随机呈现 10 次,总共 960 次。实验中间给

予被试适当的休息。被试共有 6 名,男女各半,年龄在 20~26 岁之间。给予一定的报酬。

实验使用 P4 计算机,17 寸纯平显示器(分辨率为 1204×768 像素)和 Logitech 光电鼠标。

2.2 实验结果

2.2.1 不同目标方向、距离和大小条件下的鼠标指点定位 MT 分析

本实验测试了 8 种目标方向、3 种目标距离、4 种目标大小条件下鼠标指点定位的 MT。图 1 表明 MT 与上述变量的函数关系。图 2 则分别表明目标方向(a)、目标距离(b)和目标大小(c)对 MT 的效应。从图 2a 可见,对不同的目标方向,MT 略有差异,在 90° 和 270° 方向 MT 较短,在 45° 和 315° 方向 MT 较长,另 4 个方向的 MT 大致处于这两者之间;从图 2b 和图 2c 可见,MT 随着距离的增大而增大,随着目标的增大而减小,但下降率呈递减趋势。方差分析结果表明:目标方向 [$F(7, 35) = 5.643, p < 0.01$]、目标距离 [$F(2, 10) = 161.606, p < 0.01$]和目标大小 [$F(3, 15) = 376.225, p < 0.01$]的主效应显著,目标方向与目标距离 [$F(14, 70) = 3.056, p < 0.01$]以及目标方向与目标大小 [$F(21, 105) = 2.109, p < 0.01$]的交互作用显著,而目标距离与目标大小 [$F(6, 30) = 0.627, p > 0.05$]以及三阶 [$F(42, 210) = 0.856, p > 0.05$]的交互作用均不显著。

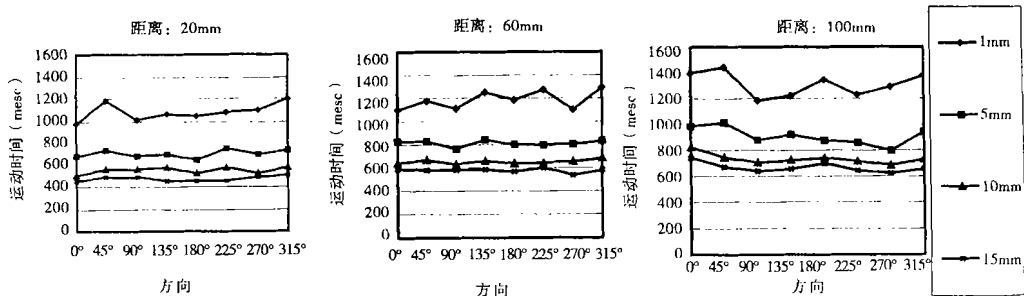


图 1 不同目标方向、大小和距离条件下鼠标指点定位的 MT

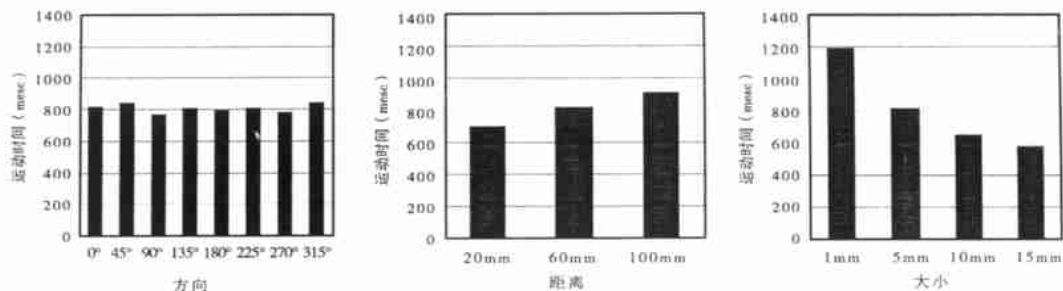


图 2 鼠标指点定位中目标的方向、距离和大小与 MT 的关系

用 q 检验对各种实验条件的 MT 差异作进一步配对比较分析。对于目标方向,不同方向的 MT 差异只出现在目标距离为 20mm、目标大小为 1mm 和目标距离为 100mm 的实验条件下。具体地说,当目标的距离为 20mm 和大小为 1mm 时,0°、90°和 180°的 MT 相对较短,而 45°和 315°的 MT 相对较长,且 0°和 90°与 45°和 315°以及 180°与 315°的差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平;当目标距离为 100mm 时,对于 1mm 的目标,90°、135°和 225°的 MT 相对较短,而 0°、45°、180°和 315°的 MT 相对较长,且 90°、135°和 225°与 0°、45°和 315°以及 90°与 180°差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平;对于 5mm 的目标,270°的 MT 相对较短,而 0°和 45°的 MT 相对较长,且 270°与 0°和 45°的差异达到 $p < 0.05$ 显著水平,45°与 90°、180°和 225°的差异也接近 $p < 0.05$ 显著水平;对于 10mm 和 15mm 的目标,除了 0°的 MT 相对较长外,其余方向的 MT 差异不大,而 0°与 90°、135°、225°和 315°的差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平。在其余的实验条件下,各种方向的 MT 之间均不显著。

对于目标距离,除个别情况外,在所有的目标方向和大小,20mm 与 100mm 的 MT 差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平。然而,20mm 与 60mm 的 MT 差异达到或接近 $p < 0.05$ 统计显著水平的主要出现在 0°、135°、180°和 315°方向;60mm 与 100mm 的 MT 差异达到或接近 $p < 0.05$ 统计显著水平的主要出现在 0°、45°和 180°方向。

对于目标大小,除个别情况外,在所有的目标方向和距离,1mm 和 5mm 分别与其他 3 种目标大小的 MT 差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平,而 10mm 与 15mm 的 MT 差异不显

著。
2.2.2 鼠标指点定位中的菲茨定律方程式
菲茨定律表明定位运动的 MT 与运动难度指数成线性关系,难度指数表示为 $\log_2(2D/W)$,其中, D 为目标距离, W 为目标宽度。利用本实验结果计算了 8 个方向和总的鼠标指点定位的菲茨定律方程式,结果见表 1。检验表明,结果数据的线性很好。

表 1 鼠标指点定位的菲茨定律方程式

方向	菲茨定律方程式	F	p
0°	MT= 201. 76+ 143. 47ID	251. 08	0. 00
45°	MT= 195. 99+ 152. 31ID	94. 62	0. 00
90°	MT= 265. 21+ 118. 77ID	139. 04	0. 00
135°	MT= 231. 98+ 135. 17ID	125. 20	0. 00
180°	MT= 181. 66+ 144. 28ID	207. 96	0. 00
225°	MT= 237. 19+ 133. 28ID	81. 61	0. 00
270°	MT= 223. 79+ 130. 07ID	69. 55	0. 00
315°	MT= 199. 34+ 151. 56ID	86. 60	0. 00
总	MT= 217. 11+ 138. 61ID	147. 20	0. 00

3 鼠标拖动操作实验

3.1 实验方法

本实验测试目标的方向、距离和大小对鼠标拖动操作的 MT 影响。实验采用模拟 GUI 环境中的鼠标拖动操作作业,即要求被试用鼠标将选中的项目从起点拖至目标位置。起点与目标参数(方向、距离和大小等)均同前实验。拖动操作与指点定位的做法不同的是:被试用鼠标将箭头光标移至起点内后要按下鼠标左键(不能松手,这时,箭头光标变成手指光标,并带有选中项符),再立即移动鼠标,将光

标(带着选中项)移向目标,当手指光标进入目标内,被试立即松开鼠标左键(手指变成箭头)。按下与松开键之间的时间即是所测试的 MT。与指点定位不同的另一点是当光标进入目标内时,目标将改变颜色,如果光标又离开目标时,目标又变回原色。每次测试前,被试必须将光标移入起点内再按键,否则光标不会变成手指形,计时不开始。如果光标在目标时外被试就松开键,在松手时的光标位置会出现一个圆形符,被试必须将光标移回圆形符位置,按下键继续操作,此间计时不停止。一次测试完毕,屏幕随即出现下一个目标。

本实验方法和程序等均与前一实验相同。

3.2 实验结果

3.2.1 不同目标方向、距离和大小条件下的鼠标拖动操作 MT 分析

本实验测试了 8 种目标方向、3 种目标距

离、4 种目标大小条件下鼠标拖动操作 MT。图 3 表明 MT 与上述变量的函数关系。图 4 则分别表明目标方向(a)、目标距离(b)和目标大小(c)对 MT 的效应。从图 4a 可见,在不同的目标方向,MT 略有差异,在 270° 方向 MT 相对较短,在 45° 、 135° 和 225° 方向 MT 相对较长;从图 4b 和图 4c 可见,MT 随着距离的增大而增大,随着目标的增大而减小,但下降率呈递减趋势。方差分析表明:目标方向主效应不显著 [$F(7, 35) = 2.133, p > 0.05$], 目标距离 [$F(2, 10) = 158.115, p < 0.01$] 和目标大小 [$F(3, 15) = 86.835, p < 0.01$] 的主效应显著,目标方向与目标距离交互作用显著 [$F(14, 70) = 3.161, p < 0.01$], 目标方向与目标大小 [$F(21, 105) = 1.587, p > 0.05$], 目标距离与目标大小 [$F(6, 30) = 1.290, p > 0.05$] 以及三阶的交互作用 [$F(42, 210) = 1.153, p > 0.05$] 均不显著。

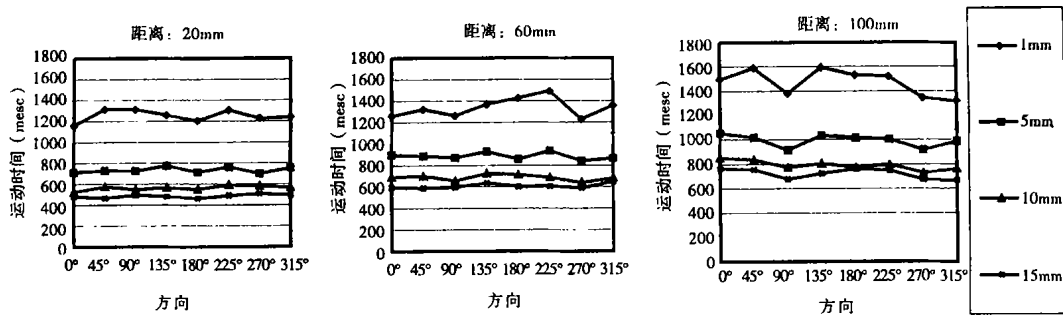


图 3 不同目标方向、大小和距离条件下鼠标拖动操作的 MT

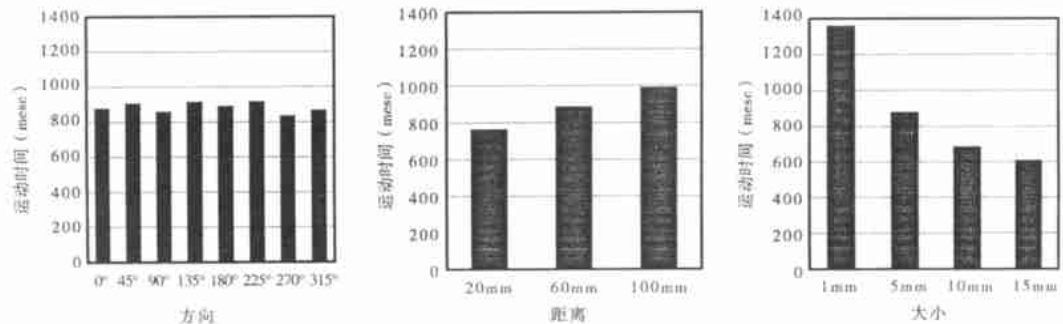


图 4 鼠标拖动操作中目标的方向、距离和大小与 MT 的关系

对鼠标拖动操作中各种实验条件的 MT 差异作进一步配对比较分析。

在全部的目标距离和大小条件下,各种目标方向间的 MT 差异均不显著。

对于目标距离,在全部的目标方向下,当目标大小为 5~15mm 时,20mm 与 100mm 的

MT 差异达到或接近 $p < 0.05$ 显著水平;对于 1mm 的目标大小,在各个方向,3 种目标距离间均不显著,且只有在个别目标方向,20mm 与 60mm 或 60mm 与 100mm 的 MT 差异达到 $p < 0.05$ 统计显著水平。

对于目标大小,在所有的目标方向和目标

距离条件下, 1mm 与其他 3 种目标大小的 MT 差异达到 $p<0.05$ 显著水平, 且除个别条件外, 5mm 与 15mm 的 MT 差异达到或接近 $p<0.05$ 显著水平, 5mm 与 10mm 或 10mm 与 15mm 的 MT 差异不显著。

3. 2. 2 鼠标拖动操作中的菲茨定律方程式计算

利用本实验结果计算的 8 个方向和总的鼠标拖动操作的费茨定律方程式如表 2 所示。统计检验表明, 数据的线性很好。

表 2 鼠标拖动的菲茨定律方程式

方向	菲茨定律方程式	F	p
0°	$PMT=172.51+165.65ID$	260.27	0.00
45°	$PMT=137.72+179.73ID$	114.51	0.00
90°	$PMT=195.73+154.72ID$	64.48	0.00
135°	$PMT=149.77+178.91ID$	145.55	0.00
180°	$PMT=121.58+179.98ID$	176.07	0.00
225°	$PMT=142.33+181.38ID$	104.49	0.00
270°	$PMT=217.37+144.82ID$	69.85	0.00
315°	$PMT=219.66+151.04ID$	80.65	0.00
总	$PMT=170.92+166.62ID$	124.65	0.00

4 讨 论

本研究着重考察在 GUI 环境中目标的方向、大小和距离对鼠标的指点定位和拖动操作 MT 的综合影响。结果表明, 无论是指点定位任务还是拖动任务, 总体上, MT 均随着目标的面积减小和距离增大而提高。这与前人的研究结果一致^[2~5]。其原因为目标越小, 光标进入目标所要求的操作越精细, 而精细的活动和长的运动距离都会导致 MT 增加。然而, 对实验结果的进一步分析发现, 目标距离对 MT 的效应与目标的方向和大小有关。如在指点定位任务中, 20mm 与 60mm 目标距离的 MT 差异显著的主要出现在 0°、135°、180° 和 315° 方向; 60mm 与 100mm 目标距离的 MT 差异显著的主要出现在 0°、45° 和 180° 方向。在拖动操作任务中, 对于 1mm 的目标大小, 在各个方向, 3 种目标距离的 MT 差异均不显著, 且只

有在个别目标方向, 20mm 与 60mm 或 60mm 与 100mm 目标距离的 MT 差异显著。此外, 本实验还发现, MT 随着目标的增大而减小呈递减趋势, 在指点定位任务中, 直径为 10mm 与 15mm 的目标的 MT 差异不显著; 在拖动操作任务中, 直径为 5mm 与 10mm 或 10mm 与 15mm 的目标的 MT 差异也不显著。

关于目标方向对鼠标操作的影响的研究结果不尽相同。如 Card 等研究了右上 90° 扇区内的目标方向对鼠标指点定位 MT 的影响, 结果发现不存在目标方向主效应^[6, 4]。然而, Boritz 等以及 Whisenand 等的研究却都报道目标方向对鼠标移动光标的 MT 有显著影响, 但两者的结果也不完全一致^[3, 5, 7~8]。Boritz 的研究表明, 对于饼式菜单中的项目选择, 在水平向右方向用鼠标驱动光标运动比在垂直向上方向更快。Mackenzie 等的研究发现, 在向右上方方向的鼠标运动明显比水平向右和垂直向上方向慢。Whisenand 等研究表明, 鼠标指点定位的 MT 在 4 个对角线方向一般慢于两个水平方向和两个垂直方向, 而他们的进一步研究则表明, 水平方向的鼠标操作运动明显快于其他方向, 垂直方向的鼠标操作运动则明显慢于其他方向, 而对角线方向的鼠标操作运动基本介于这两者之间。本实验表明, 在指点定位任务中, 目标方向主效应显著, 总的来说, 在水平方向的 MT 较短, 而向上对角线方向的 MT 较长, 其他 4 个方向的 MT 大致处于这两者之间。然而, 进一步分析则表明, 不同目标方向的 MT 差异只出现在部分实验条件中: (1) 在当目标距离为 20mm, 目标大小为 1mm 时, 0°、90° 和 180° 的 MT 相对较短, 而 45° 和 315° 的 MT 相对较长; (2) 当目标距离为 100mm 时, 对于 1mm 的目标大小, 90°、135° 和 225° 的 MT 相对较短, 而 0°、45°、180° 和 315° 的 MT 相对较长; 对于 5mm 的目标大小, 270° 的 MT 相对较短, 而 0° 和 45° 的 MT 相对较长; 对于 10mm 和 15mm 的目标大小, 除 0° 的 MT 相对较长外, 其余方向的 MT 差异不大。我们认为目标方向、大小和距离是联合起来作用于操作肢体姿势、操作精细度和运动幅度, 进而影响鼠标

操作的 MT。换言之,在不同的目标大小和距离条件下,被试向不同方向移动鼠标时使用的肢体部位和采取的微姿势是不同的,这就是在不同的条件下目标方向对鼠标操作的 MT 影响会有变化的原因。此外,在本实验中,对于拖动操作任务,目标方向主效应不显著。我们认为其原因是目标方向的影响一般小于目标大小和距离的效应,在执行拖动操作时,被试须始终按住鼠标左键,这样对鼠标移动有一定的限制,从而掩盖了目标方向的影响。

概括起来,本实验结果表明,在 GUI 环境中,当距离较短时,垂直和水平方向的鼠标操作都较容易;在长距离条件下,用鼠标驱动的光标移动时在水平方向仍是容易的,但在垂直方向则难度明显增加。或许,人在使用鼠标时,肘部自然地略微向内屈曲,这种姿势不利于向右上方的鼠标移动。不管怎样,增大目标可提高鼠标操作的容易性。然而,由于计算机显示屏的空间有限,因此,根据实验结果,我们认为 GUI 中的图符、按钮和菜单选项等的直径(圆形)或边长(矩形)至少为 10mm,这样可以减少鼠标操作的工作负荷。

最后要说明的是,许多研究者认为菲茨定律同样适用于鼠标驱动光标的定位运动,并将它作为一个重要的参数用于建立人一机交互模型,如 MHP 模型、EPIC 模型等。本研究根据实验数据建立了鼠标的指点定位和拖动操作任务的 8 个方向的菲茨定律方程式,且检验有效,这一结果将有利于计算机界面的设计和工效学评价。

5 小 结

本实验结果表明,鼠标指点定位和拖动操作的 MT 随着目标距离的增加而增加,随着目标面积的增大而减小,但下降率呈递减趋势。对于指点定位任务,目标方向对鼠标操作的 MT 有影响,而对于拖动操作任务,这一影响不明显。总体上,以上 3 个因素是交互地影响鼠标操作的 MT。根据本实验数据,我们为上述两种常规鼠标操作任务建立了 8 个方向的

菲茨模型。这些结果有助于 GUI 的工效学设计。

参考文献

- [1] Johnson P E, Dropkin J J, Rempel D. Office ergonomics: Motion analysis of computer mouse useage. Proceedings of the American Industrial Hygiene Conference and Exposition, 1993; 12 ~ 13
- [2] Ichikawa H, Homma M, Umemura M. An experimental evaluation of input devices for pointing work. International Journal of production Economics, 1999, 60 ~ 61: 235 ~ 240
- [3] Whisenand T G, Emurian H H. Analysis of cursor movements with a mouse. Computer in Human Behavior, 1999, 15(1): 85 ~ 103
- [4] Kotani K, Horrii K. A fundamental study on pointing force applied to the mouse in relation to approaching angles an the index of difficulty. International Journal of Industrial Ergonomics, 2001, 28(3 ~ 4): 189 ~ 195
- [5] Whisenand T G, Emurian H H. Effects of angle of approach on cursor movement with a mouse; Consideration of Fitts' law. Computer in Human Behavior, 1996, 12(3): 481 ~ 495
- [6] Card S K, English W K, Burr B J. Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. Ergonomics, 1978, 21(8): 601 ~ 613
- [7] Boritz J, Booth K S, Cowan W B. Fitts' law studies of directional mouse movement. Proceedings of the Graphics Interface' 91, Toronto: CIPS, 1991: 216 ~ 223
- [8] Mackenzie I S, Sellen A, Buxton W. Extending fitts' law to two-dimensional tasks. Proceeding of the CHI' 92 Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 1992: 219 ~ 226

(下转第 13 页)

- [3] Freeman W. How brains make up their minds. U. K.; Weidenfold and Nicolson, 1999
- [4] Damasio A. The feeling of what happens, body and emotion in the making of consciousness. New York: Harcourt Brace Javanovich, 1999
- [5] Searle J. Consciousness. Annual review of neuroscience, 2000, 23: 557 ~ 578
- [6] Edelman G, Tononi G. A Universe of consciousness. New York: Basic Books, 2000
- [7] Dehaene S, Naccache L. Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. Cognition, 2001, 79: 1 ~ 37
- [8] Crick F, Koch C A. Framework for consciousness. Nature Neuroscience, 2003, 6 (2): 119 ~ 126
- [9] Luria A. The working brain: An introduction to neuropsychology. New York: Basic Books, 1973
- [10] 唐孝威, 黄秉宪. 脑的四个功能系统学说. 应用心理学, 2003, 9(1): 3 ~ 5

Four Ingredients Theory of Consciousness

Tang Xiao-wei

(Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

Abstract

Based on experimental evidences, the idea of the internal structure of consciousness is proposed. According to the four ingredients theory of consciousness, consciousness consists of four ingredients and their interactions. The four ingredients of consciousness are awareness of consciousness, content of consciousness, intentionality of

consciousness, and affection of consciousness. The brain mechanism of four ingredients of consciousness is also discussed in the paper.

Key words: awareness of consciousness, content of consciousness, intentionality of consciousness, affection of consciousness.

(上接第 19 页)

An Analysis of Mouse Operation in Graphical User Interface Environment

ZHANG Tong YANG Wen-hu ZHENG Xi-ning

(Department of Psychology, Zhengjiang University, Hangzhou, 310028)

Abstract

The study examined the effect of the target direction, size and distance on the mouse operation of pointing and dragging in a GUI environment. The result of the experiment showed that the Movement Time(MT) of the pointing and dragging was decreased as the result of increased distance between targets, and decreased size of the target. Target direction seemed to have significant influence on the MT of the pointing. The interaction ef-

fect of the target direction, size and distance was also found on the MT of mouse operation. Base on our experiment data, a Fitts' mode for mouse pointing and dragging in eight directions was developed. The implication of the result to the ergonomic design of GUI was also discussed.

Key words: mouse, pointing and dragging, movement time, Fitts' law