

移动终端三维用户界面的可用性评估^{*})

任 刚¹ 王建民² 黄鼎隆³

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)¹ (清华大学软件学院 北京 100084)²

(清华大学工业工程系 IT 可用性实验室 北京 100084)³

摘 要 本文针对移动终端的三维用户界面进行了可用性评估。从系统性能、任务绩效和用户偏好三个方面进行了全面的考察。物体选取是三维用户界面中基础的交互任务,我们结合实验数据分析,基于二维环境下的指点模型,提出并验证了一个新的基于三维用户界面的通用性能模型。同时通过用户调查和问卷分析,说明了三维用户界面在移动终端上具有较高的用户偏好。

关键词 三维用户界面,移动终端,可用性评估,性能模型,用户偏好

An Usability Testing for the 3D User Interface on Mobile Terminals

REN Gang¹ WANG Jian-Min² HUANG Ding-Long³

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084)¹

(School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084)²

(IT Usability Lab, Department of Industrial Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)³

Abstract This paper gives a usability testing for the 3D user interface on mobile terminals. The test is based on the investigation on system performance, task performance and the user preference. We analyze the data collected from user performance in pointing in the 3D user interface which is the most fundamental interaction task, and building upon the results in the modeling of pointing in 2D environment, we propose and validate a new general performance model that describes pointing at targets in the 3D user interface. We also prove that the 3D user interface on mobile terminals has a high user preference using user questionnaires survey.

Keywords 3D user interface, Mobile terminals, Usability testing, Performance model, User preference

1 引言

随着移动终端性能的迅速提高和网络条件的迅速改善,移动终端上能够完成的任务也越来越丰富。但是,一项调查表明^[1],在手机增值服务中,图铃下载的市场比例占据到70%以上,而信息浏览作为信息获取的重要手段,同时也是在传统互联网上最广泛的一项应用,在移动终端上得到的应用比例只有4%。

移动用户无法在移动终端上进行有效的信息浏览,一方面是因为相关的内容和服务还不够丰富,另一方面是由于移动终端(主要是手机)自身的特点所造成的,包括:

- 屏幕小,难以显示较多的信息;
- 定位困难,缺乏类似鼠标的屏幕定位装置;
- 输入设备简单,按键数目很少,交互不便。

由于以上三个特点,在移动终端上的信息浏览变得非常困难:既无法有效获取信息,也很难快捷交互。

现有的移动终端交互技术,主要是继承了桌面应用的相关交互组件,通过简单的减小面积和简单化操作的方式,移植到移动终端上。事实上,对于某些非传统桌面应用而言,这些界面组件常常是不合适的^[2]。

三维交互方式在很多类型的应用中都表现出显著的优势和发展潜力^[3,4]。在移动终端上,也是一种用户交互的有效

解决方案^[5]。这种方式能够充分结合现有移动终端的计算能力和网络带宽的提高,给用户更加良好的体验。本文针对一个典型的移动终端三维用户界面,进行了全面的测试,对三维用户界面在移动终端应用时的可用性和需要注意的问题进行了全面的考察。

2 原型系统与测试方案

为了有效地进行相关数据的采集和用户测试,我们构建了一套原型系统。根据实际情况选取了适当的三维漫游方式。同时根据常用的可用性测量方法,选定了测试的范围。

2.1 原型系统

该系统主要采用 J2ME^[6]、JSR-184^[7] 和 XML^[8] 技术构建。J2ME 是 Java 语言针对移动平台上的版本,针对移动平台上的特点进行了调整。JSR-184 标准是一个在手机上进行 3D 开发的完整工具包,提供了一整套完整的高级 3D API 和三维数据封装格式 M3G。系统信息数据采用 XML 格式定义,客户端的 XML 解析使用 kXML^[9]。与现有手机上使用的 HTML/WML 相比较,体系结构非常类似,都有客户端(浏览器和客户端),页面标记语言(HTML 和 XML),不同之处在于虚拟现实移动网络系统多了获取场景的过程,如表 1 所示。

^{*})基金项目:国家“973”计划资助项目(2002CB312000)。任 刚 硕士生,主研方向:无线增值服务,三维用户界面;王建民 教授,博士生导师,主研方向:数据管理与信息系统;黄鼎隆 博士生,主研方向:人机交互与信息安全。

表1 传统网页浏览和3D界面交互的对比

	网页	3D交互
文本格式	HTML/WML	XML
场景信息	无	M3G格式场景文件
浏览方式	鼠标二维定位	在三维场景中移动
信息流动方式	点击链接	碰撞事件

在交互设计方面,我们主要考虑漫游和物体选取的方式。漫游在我们实际的物理环境中是一个基础的人类任务。在三维环境中,漫游是浏览的基本组成部分,是导航的动力组件。漫游执行的行为是:把我们从当前位置移动到一个新的目标位置,或者在我们希望的方向上移动。

漫游的重要性体现在如下两个方面:

- 漫游在三维界面中是最普通和通用的交互任务;
- 漫游支持其他的任务。

常用的漫游方式有模拟步行、设备仿真、注视方向驾驶、指点驾驶等。考虑到手机键位较少,同时触摸屏还没有真正普及,所以系统采用注视方向驾驶技术作为漫游的基本技术。在操作的过程中,前后方向键负责移动,左右方向键负责转向。用户的视点朝注视的方向移动。

在物体选取规则上,我们规定:当物体在视点前的距离足够小时,即为该物体被选中。

原形系统的主要应用场景为图片新闻浏览。

原型系统的截图如图1所示。

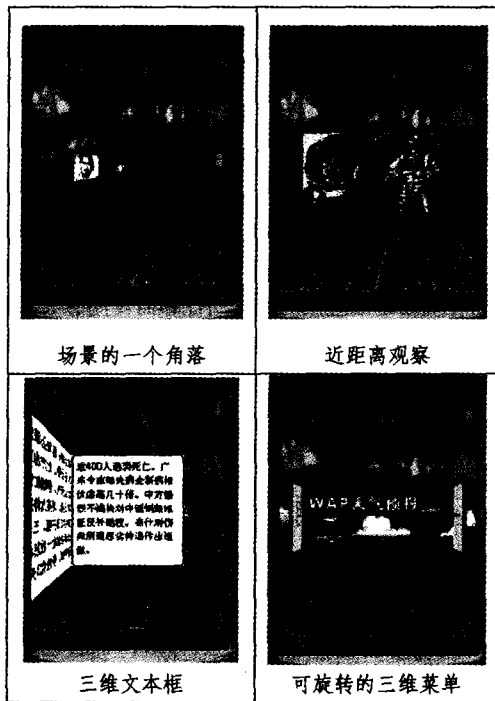


图1 原型系统截图

2.2 测试方案

评价一个三维用户界面的特点时,主要集中在可用性的通用度量上。讨论三维用户界面主要使用三个方面的标准^[2]:

系统性能:主要指计算机或者手持设备处理图形系统时候的性能,使用帧率,延迟等进行度量。不能由于性能上的原因,影响用户任务的完成和正常使用。

任务绩效:用户任务绩效是指在三维应用中特定任务的执行质量,比如到一个指定位置的导航时间、对象放置精度或用户对对象集中选择一个的时候所犯的错误。速度和精度是最重要的任务绩效度量参数。可以使用通用的性能模型进行度量,也可以使用用户测试获得数据。

用户偏好:用户偏好是指用户对界面的主观感知,比如易用性、易学习型、满意度等。这些偏好通常使用问卷或访谈来测量。用户偏好度量对整个可用性的贡献非常明显。对于三维界面来说,临场感和用户舒适度是重要的度量标准。

将原型系统在一款市场上中的档次的手机摩托罗拉 E2 上运行时,运行流畅,基本没有延迟,帧率可以保持在每秒 10 帧以上,完全可以正常运行,不影响用户体验。以下我们主要针对任务绩效和用户偏好两方面对原型系统进行考察。

3 任务绩效模型

现代人迹交互学最成功和使用最广泛的数量模型之一就是 Fitts 定律^[10],该定律指出,当用户要选定一个目标时,所用的时间 MT 和鼠标距离目标的距离 A 以及目标的宽度 W 之间的关系是:

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{A}{W} + 1 \right)$$

a 和 b 是经验常量,公式中的对数部分被称为任务的难度系数(Index of Difficulty, ID)。Fitts 定律最初设计是用来对一维环境下的选定操作进行建模,所以只考虑了宽度和距离两个因素。由于在二维空间中,高度和宽度会同时影响用户对目标的选取,因此出现了如下两个新的难度系数公式^[11],来纠正上述问题:

$$ID_{\min} = \log_2 \left(\frac{A}{\min(W, H)} + 1 \right)$$

$$ID_{W/H} = \log_2 \left(\sqrt{\left(\frac{A}{W} \right)^2 + \eta \left(\frac{A}{H} \right)^2} + 1 \right)$$

在 $ID_{\min}$ 中,考虑了 H 的影响因素,但是在 W 和 H 之中,只能有一个发挥作用,不能全面地反应实际情况,所以在 $ID_{W/H}$ 中,增加了经验系数 η ,将 $(A/W, A/H)$ 作为限制向量,同时考察宽度和高度对选取所发生的影响,相比 $ID_{\min}$,是一个重大的改进。

但是在三维的情况中,情况又有所变化,由于透视法在三维场景中的应用,距离 A 和宽度 W 两个变量的独立性有所减弱。在距离远的时候,宽度很大的目标可以变得非常小,相反,在距离很近的时候,所有的物体都几乎会占据全屏的范围。同时,在三维空间中展现的物体,往往只具有一个主要的面,也就是物体的宽度和高度,而物体的厚度往往很小,大多数情况下可以认为是一个二维的平面。再加上我们选取的注视方向驾驶技术很少在三维空间中垂直方向进行移动。所以,我们认为,距离 A 在三维漫游的过程中起决定性作用,它综合了物体的体积信息。

另外一方面,移动终端的输入设备限制和三维空间中的特点又为三维浏览又带入了新的变量——目标物体距离视点的角度 θ 。基于方向键的控制方式在单手操作时,用户在调整方向需要停止前进,然后按下左右键, θ 越大,调整方向的时间越长。

三维空间漫游还需要考虑的一个因素就是当视线正对目标物体时,物体正面和视线的夹角。这个夹角在一定程度上

决定了我们看到的物体的宽度。

根据上述分析,我们为基于匀速注视方向驾驶操作方式的三维用户界面设定了如下模型:

$$ID_1 = \log_2 \left(\frac{A \cdot \theta}{\sin(\delta)} + 1 \right)$$

$$ID_2 = \log_2 \left(\frac{A^2 \cdot \theta}{\sin(\delta)} + 1 \right)$$

$$ID_3 = \log_2 (A^2 \cdot (\theta - \sin(\delta)) + 1)$$

$$ID_4 = \log_2 (A^{2.5} \cdot \theta + 1)$$

ID_1 是根据经典的 Fitts 模型做出的,其中 A, θ 都相当于视点对应目标物体的距离, $\sin(\delta)$ 相当于传统模型中的宽度 W 。

ID_2 考虑到在三维模型中的透视法原则, A 应该在很大程度上影响物体的大小,距离越远,物体越小,某种情况下相当于宽度的倒数,所以在 ID_2 中将 A 改为 A 的平方。

根据经验可以知道, δ 对结果的影响很不稳定,有可能并没有相对于宽度同等重要的影响,因为可以选择一边,按照弧线前进,此时物体的宽度就会明显增大,所以在 ID_3 中降低了 $\sin(\delta)$ 对最终结果的影响。

ID_4 中,我们认为实际上 $\sin(\delta)$ 对结果的影响可以忽略,而 A 的重要性应该比我们实际估计的还要高。在这个公式中,影响参数的数量已经减为 2 个。

我们使用 WTK2.0 模拟器进行实验,记录数据见图 2。

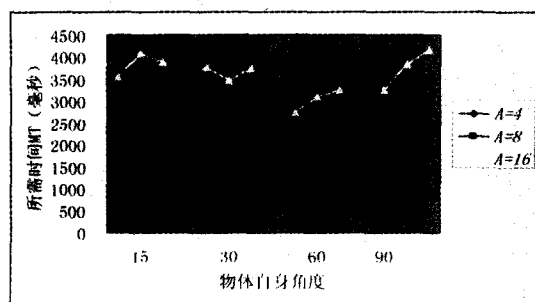


图 2 匀速漫游时的测试数据

图 2 中,从上到下三种颜色的线分别表示距离是 16、8 和 4 的情况,从左到右的每一组三条颜色的线表示当摄像机正对物体时,物体自身的角度,分别为 15 度、30 度、60 度和 90 度,其中 90 度时,物体正对摄像机。每一条线段上的三个点,表示物体距离摄像机的角度,从左到右依次是 30 度、60 度和 90 度。漫游速度为每帧 0.5 单位长度。

根据以上数据,对上述四个公式进行回归分析,所得的结果如表 3 所示。

表 3 回归分析结果

	a	b	R ²
ID_1	-2775.73	544.49	0.5688
ID_2	-3076.68	438.48	0.8096
ID_3	-3052.00	504.85	0.9051
ID_4	-3099.71	416.74	0.9126

由上述结果可以知道, ID_4 的判定系数最高,是最符合实验结果的数量模型,而 ID_1 的判定系数非常低,说明 A, θ, δ 对移动时间 MT 的影响不是同等有效。从 ID_1 到 ID_2 判定系数明显增大,说明了 A 在三维空间中的重要作用。 ID_3 的

结果没有 ID_3 好,进一步说明了实际上 δ 对系统的影响很小。通过上述结果可以知道,在三维系统中,当使用匀速注视方向驾驶漫游技术时,视点和目标的距离 A 扮演着最重要的角色。

和二维情况下的相关模型相比, A 的影响从原来的一次方变成了 2.5 次方。这意味着有效的三维界面的设计必须局限在一个很小的空间范围之内。这个要求极大地限制了三维界面的应用。

出现上述情况的原因,是由于我们指定了一个恒定的漫游速度。实际的情况是,当 A 很小时,要求运动速度不能太快,从而提高精度,当 A 较大时,可以提高速度,让视点尽快到达需要的范围之内。这种技术被称为速率指定^[2]。

根据实际情况,我们指定,当距离 A 大于一定范围(4 个单位长度)时,漫游速率为:

$$v' = 2.5(\log_2 A - 1) \cdot v$$

其中, v 是匀速漫游中使用的速率。

再对所有物体正对视点的情况测试数据,根据 ID_4 的基本形式,做回归分析后可以得到如下模型:

$ID_5 = \log_2 (A^{1.5} \cdot \theta + 1)$ 可以看出,进行速率指定之后,距离 A 的影响大大减小。

在上述测试中,我们均指定操作方式为单手操作,即只能用拇指对方向键进行操作,每次操作只能控制移动和方向之一。我们进一步针对操作方式进行改进,将操作键从方向键(杆)移动到数字键上,上,下,左,右和确定分别对应数字 2, 8, 4, 6 和 5,这样可以双手进行操作:在一手拇指控制前后位置移动的同时,另一手进行方向调整。在这种操作方式下,可以在前进的同时控制防线。根据实测数据进行回归统计后可以得到以下模型:

$$ID_6 = \log_2 (\sqrt{A} \cdot \theta + 1)$$

可以看出,同时移动和调整方向的操作方式进一步改善了模型中 A 的影响。 ID_5 和 ID_6 的相关实验数据见图 3。

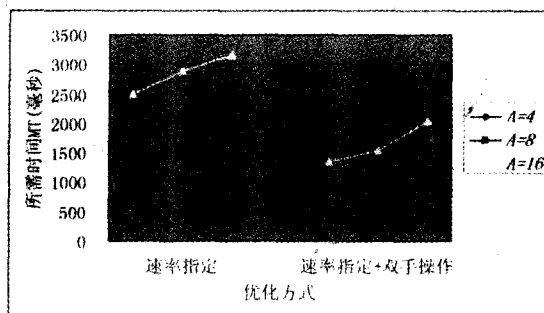


图 3 速率指定漫游和操作方式改进时的测试数据

左边一组是进行速率指定后常规操作方式下的数据,右边一组是进行了操作改进之后的数据,其他的数据意义和图 1 中相同。

相关回归分析的数据见表 3。

表 4 回归分析结果

	a	b	R ²
ID_5	-2974.13	490.04	0.959
ID_6	-1761.11	438.79	0.939

进一步对 ID_4, ID_5, ID_6 进行分析,我们可以得出一个更加通用的经验公式:

$$ID_7 = \log_2 (A^{\frac{1}{\log_2(v+1) \cdot f(\lambda, v)}} \cdot \theta + 1)$$

在 ID_7 中,引入了漫游速度 v 和使用操作方式的难度系数 λ ,其中 $f(\lambda, v)$ 是一个经验公式,表明了在一一定的操作方式下,速度对操作精度的影响。

ID_7 说明,在三维环境下,使用视点方向驾驶漫游技术进行物体选取,所用的时间和距离 A ,角度 θ ,漫游速度 v 以及操作方式的难度系数 λ 相关,和三维物体自身的大小,角度无关。在有效的提高可操作性,增加速度同时保证操作精度的情况下,能够改善用户的体验。

对实验数据进行计算可以得出,在进行速率指定和操作优化的情况下,当在一个长宽都为 16 单位长度的空间中进行浏览时,每一次选取目标所用的时间平均为 1432.95 毫秒。

4 用户偏好调查

我们选取了一个在小样本情况下正确率提高很快的调查问卷 System Usability Scale(SUS)^[12,13] 作为模板,去掉了其中三个不相关问题,增加了三个专门针对原型系统的问题。问卷如下:

1. 这套系统如果网上有我会经常用;
2. 这个系统太复杂,没必要;
3. 用这种方式浏览很高效;
4. 这个系统用起来挺简单的;
5. 要用这个系统我必须问技术人员;
6. 用这种方式浏览很直观;
7. 大部分人能很快学会用这个系统;
8. 这个系统用起来很麻烦;
9. 使用这个系统时我不会出什么错;
10. 用这个系统浏览信息比用手机自带的浏览器总体感觉好。

每个问题都从非常不同意到非常同意设定了五个选项。选择了长期使用手机,并且有手机上网经验的用户进行试用和问卷调查,回收问卷 19 份。去掉无效问卷后,最后得到有效问卷 14 份,满足基本的样本需求^[12]。

我们采用内部一致性作为对问卷进行可信性分析的方法^[14]。采用 Cronbach's α 系数进行测量。使用 SPSS 统计分析软件所得到的结果表明,本次问卷的 α 值为 0.77,符合一般研究的一致性标准^[14],表明问卷设计的较为合理,结果能够显示实际系统的可用性指标。

所得结果按照 SUS 问卷标准得分计算方法^[13] 处理后,得到所有问卷的平均分数为 85.18 分。说明在用户简单浏览的情况下,系统具有较好的可用性。

针对实验系统的原型,在用户测试的过程中的到了如下的意见和反馈:

- 原型系统空间尺寸稍大,不利于迅速浏览。
- 图片尺寸较小时,从远处看不够清楚。
- 空间中地板和天空的设计需要简洁美观,不能让用户产生晕眩感。
- 可以考虑使用文本自动滚动方式,减少用户的按键次数。
- 需要明确区分用户意图,尽量减少三维空间中遮挡给用户带来的困难。
- 给用户一个中心点,使得用户在浏览时距离各个部分距离差别不至于过大。

• 要同时支持双手操作和单手操作,因为有的用户认为手机上的方向键使用困难,愿意用双手操作数字键。

结束语 随着移动终端性能的提升和 3G 网络的商用化,移动终端已经有能力支撑三维用户界面的应用。本文基于一个移动终端的原型,对三维用户界面的可用性问题进行了全面的评估。提出了一个针对在三维用户界面中进行物体选取任务的通用性能模型(ID_7),证明了三维用户界面的空间大小,漫游速度的指定方式和用户具体的操作方式是影响用户感受和任务效率最重要的三个因素。

在匀速视点方向驾驶漫游技术的基础上,我们使用了速率指定方式,同时对操作方式进行了改进。数据说明,这两种方式可以有效地改进任务完成的效率。

用户问卷调查的结果也表明,基于移动终端的三维用户界面具有较高的用户偏好,在良好设计的情况下,具有巨大的发展空间。

三维界面可以使用户与系统的交互变得更加流畅和直观,再加上终端本身具有移动的特性,可以承载多种增值服务种类,将成为无线增值领域的一个重要方向。今后的研究方向包括:

- 进一步针对角度 θ 的操作进行研究。
- 动终端上的操作方式改进可以进一步研究,比如:加入触摸笔的使用,采用方向键负责移动位置,触摸笔辅助方向改变的双手操作方式。
- 三维界面和移动终端结合,能够承载什么样的应用类型,以及怎样的应用能够最大的发挥三维用户界面的优势,都需要进一步的探索。

参考文献

- 1 易观国际. 2006 年第 2 季度中国移动增值服务市场季度监测[EB/OL]. <http://www.analysis.com.cn> 2006
- 2 Bowman D A, Kruijff E, Laviola J J, Poupyrev J I. 3D User Interfaces: Theory and Practice [J]. Addison-Wesley Professional, 2004
- 3 Zimmerman G, Barnes J, Leventhal L. A comparison of the usability and effectiveness of web-based delivery of instructions for inherently-3D construction tasks on handheld and desktop computers [C]. In: Proceeding of the eighth international conference on 3D Web technology. Saint Malo, France; ACM Press, 2003. 49~54
- 4 Perez C, de Antonio A. 3D visualization of text collections; an experimental study to assess the usefulness of 3D [J]. Information Visualisation, 2004, IV 2004. 317~323
- 5 Hakala T, Lehtikainen J, Aaltonen A. Spatial interactive visualization on small screen [C]. In: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services. Salzburg, Austria; ACM Press, 2005. 137~144
- 6 Sun Microsystems. Java 2 Platform, Micro Edition [EB/OL]. <http://java.sun.com/javame/index.jsp> 2006
- 7 Java Community Process, JSR 184: Mobile 3D Graphics API for J2ME™ [EB/OL]. <http://jcp.org/jsr/detail/184.jsp> 2005
- 8 W3C Recommendation, Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Second Edition) [EB/OL]. <http://www.w3.org> 2000.
- 9 Haustein S. kXML [EB/OL]. <http://kxml.org> 2005
- 10 Fitts P. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement[J]. Journal of Experimental Psychology. 1954, 47: 381~391
- 11 Grossman T, Balakrishnan R. Pointing at Trivariate Targets in 3D Environments[C]. CHI 2004. 24-29 April, Vienna, Austria
- 12 Tullis T S, Stetson J N. Assessing Website Usability[C]. UPA 2004 Conference.
- 13 Brooke J. SUS - A quick and dirty usability scale [EB/OL]. <http://www.usabilitynet.org/trump/documents/Suschart.doc> 2004
- 14 曾五一, 黄炳艺. 调查问卷的可信度和有效度分析. 统计与信息论坛[J], 2005, 20(6): 11~15