

# 视线辅助气泡光标精确定位的工效学研究\*

马校星<sup>1</sup> 葛列众<sup>2</sup> 王丽<sup>3</sup> 王琦君<sup>\*\*1</sup>

(<sup>1</sup> 浙江理工大学心理学系, 杭州, 310018) (<sup>2</sup> 浙江大学心理科学研究中心, 杭州, 310007)

(<sup>3</sup> 中国航天员科研训练中心 人因工程重点实验室, 北京, 100094)

**摘要** 针对视线交互技术中的点击定位问题, 本研究在视线辅助点击技术的基础上引入气泡光标技术, 提出了视线辅助气泡光标技术, 并考察了该技术在精确定位方面的作用。结果显示: (1) 视线辅助气泡光标的点击操作绩效显著优于手控尖点光标, 并且时间知觉更低; (2) 视线辅助气泡光标的点击操作时间显著慢于手控气泡光标, 并且主观努力程度更高; (3) 目标位置对三种光标类型的操作绩效均有显著影响, 且对视线辅助气泡光标的影响作用最大。本研究的结果为视线辅助点击技术的优化提供了新思路。

**关键词** 视线辅助点击 气泡光标 点击增强技术 精确定位

## 1 前言

有效提高人机交互的自然性和高效性是人机交互等领域不断追求的目标, 而通过鼠标等指点设备进行点击操作的过程是人机交互的主要形式之一, 因此, 如何有效提高点击操作的自然性和高效性, 一直是人机交互领域研究的重点。

为了提高点击操作的自然性和高效性, 以往研究者提出了基于视线的点击技术(冯成志, 2010; 胡炜, 宋笑寒, 冯桂焕, 骆斌, 2014; Jacob, 1990)。根据以往研究可知, 基于视线的点击技术是一种提取用户视线信息直接代替鼠标进行点击操作的技术。Jacob (1990) 第一次提出了“所见即所得”的基于视线信息的交互技术, 这也是最早尝试用视线驻留时间代替鼠标点击的研究。随着眼动技术的成熟, 研究者对基于视线的点击技术进行了进一步探讨。例如: 冯成志 (2010) 开展了基于眼控汉字输入的屏幕软键盘布局的研究, 并在汉字输入操作方面将用视线驻留时间代替鼠标点击的方式与传统鼠标点击进行了比较; 胡炜等人 (2014) 比较了不同年龄组在使用基于视线的点击技术(用随意性眨眼和视线驻留时间代替鼠标点击)、混合输入(眼动与键盘输入相结合)、键盘输入 3 种方式进行密码输入的绩效。以上研究的实验结果均表明, 普通用户操作基于视线的点击技术的操作绩效并未优于传统的鼠标/键盘交互。Duchowski (2002) 的研究也指出

眼睛作为人类主要的感知器官, 对控制操作并不擅长。Jacob (1990) 认为用随意性眨眼或视线驻留时间代替鼠标点击操作的方式抵消了视觉输入通道固有的高效性。

针对基于视线的点击技术中存在的问题, 又有研究者提出了将视线信息与其他输入设备相结合进行点击操作的视线辅助点击技术(Drewes & Schmidt, 2009; Vertegaal, 2008; Zhai, Morimoto, & Ihde, 1999), 例如胡炜等人 (2014) 研究中提到的眼动与键盘输入相结合的混合输入技术。Zhai 等人 (1999) 第一次提出了视线辅助点击技术并将视线信息与手控点击相结合提出了 MAGIC 技术。该技术用视线进行粗略定位, 鼠标进行精确定位和点击功能。实验结果表明, 该技术提高了点击操作绩效并降低了视觉负荷。随后, 许多研究也验证了视线辅助点击技术的优势。例如: Vertegaal (2008) 与 Drewes 和 Schmidt (2009) 的研究分别将视线辅助点击技术应用到了普通鼠标和触摸敏感的鼠标(touch-sensitive mouse)上, 并且两者的实验结果都表明了视线辅助点击技术相比于传统手控尖点光标的优势。

以上研究结果表明, 视线辅助点击技术在提高点击操作的自然性和高效性方面确实存在优势。但以上研究只是将视线信息作为粗略定位的工具, Stellmach 和 Dachsel (2012) 的研究指出将视线信息用于选择操作时存在速度和精度的折中问题。当日

\* 本研究得到国家自然科学基金面上项目(项目批准号:31671146)、2015 年装备预先研究基金项目(9140C770202150C77317)和浙江省教育厅项目(Y201635486)的资助。

\*\* 通讯作者: 王琦君。E-mail:wqijun1981@163.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20170610

标大小不能满足眼动精度时,视线辅助点击技术的优势将逐渐消失。这说明在小目标情况下视线辅助点击技术存在无法精确定位的问题。因此,如果该问题能得到解决,将进一步扩大视线辅助点击技术的应用范围。

在提高点击操作绩效的研究中,许多研究者提出了点击增强技术,例如:拖拉弹出(drag-and-pop)、气泡光标(bubble cursor)、语义指点(semantic pointing)等技术(Baudisch et al., 2003; Blanch, Guiard, & Beaudouin-Lafon, 2004; Grossman & Balakrishnan, 2005)。实验结果表明,这些点击增强技术均在不同程度上提高了点击操作的绩效,其中,作为点击增强技术中较为典型、成熟的气泡光标技术具有提高目标精确定位的优势。

气泡光标是由 Grossman 和 Balakrishnan (2005) 提出的一种新型的动态区域光标,该技术能够根据周围目标的位置分布动态改变激活区的大小。其实质是通过泰森多边形算法(voronoi diagram)最大化每个目标的有效点击区域(effective width, 简称 EW)来提高点击操作绩效。有效点击区域是指目标有效激活区域的实际物理空间边界组成的区域(如图1中绿色实心圆所在的虚线封闭区域)。气泡光标的实现算法决定了气泡光标只会选择距离当前圆心位置最近的一个目标,其外形如图1中半透明的灰色圆形所示。当选中目标时,半透明的灰色圆形会覆盖到目标物上(如图1中蓝色实心圆表示被选中的目标),并且其半径会随气泡光标圆心位置与距离最近的目标位置的距离的变化而变化。Grossman 和 Balakrishnan (2005) 的研究结果表明,气泡光标的点击操作绩效显著优于尖点光标,并且该优势在小目标条件下更明显。

随后,许多研究者对气泡光标的特性进行了研究。例如:Moffatt 和 McGrenere (2010) 将气泡光标与恒定点击技术(steady clicks)进行结合形成了恒定气泡光标(steadied-bubbles),并将其应用于基于触控笔的平板电脑上;Mott 和 Wobbrock (2014) 在气泡光标的基础上提出了气泡透镜技术(bubble lens),并将其与气泡光标和尖点光标进行了比较;王琦君、金昕沁、王丽、徐凤刚和葛列众(2017)将自适应技术引入到气泡光标中,形成了自适应气泡光标(adaptive bubble cursor)。以上实验的结果在证明新技术有效性的同时,均验证了气泡光标提高点击精度的优势。

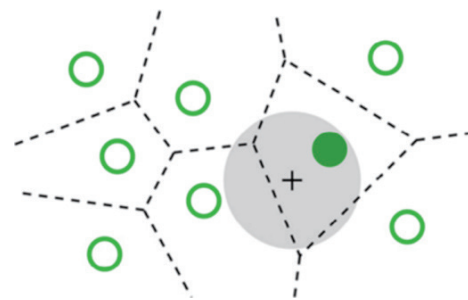


图1 气泡光标示意图

基于以上分析,我们发现气泡光标在提高点击精度方面有着出色的表现,而此优势恰恰能弥补视线辅助点击技术存在的无法精确定位问题。因此,本研究在视线辅助点击技术和气泡光标技术的基础上提出了一种新的交互技术--视线辅助气泡光标,并将其与手控气泡光标和手控尖点光标进行了比较,以验证该技术的有效性,同时也希望能为完善人机交互设计提供一种新思路。

## 2 视线辅助气泡光标技术的设计和验证

### 2.1 视线辅助气泡光标技术的设计

本研究中的视线辅助气泡光标,其气泡光标部分的实现算法与 Grossman 和 Balakrishnan (2005) 研究中的一致。另外,基于以往研究者(Laukkanen, Isokoski, & Riih , 2008; Su, Au, & Lau, 2014)对气泡光标外形干扰性的考虑,本研究去掉了气泡光标的外形,仅保留了气泡光标的有效点击区域。因此,实验中光标外形与传统的尖点光标一致,均为填充成白色的箭头形状多边形。如图2中所示,手控尖点光标是指传统的通过鼠标来控制尖点光标移动的技术;手控气泡光标依旧由被试操作鼠标来移动光标;而视线辅助气泡光标则由程序获取被试的视线位置信息来控制光标的移动。其中,后两者中程序会根据目标的空间分布为每个目标划分出相应的有效点击区域(如图2中的虚线封闭区域)。光标选择某个目标所在的有效点击区域即表示光标选中该目标。实验中所有的目标选择确认操作均通过鼠标左键的单击完成。



图2 光标类型示意图

本研究中的视线控制技术首先获取眼动仪内部的原始视线信息,然后将其用李宏汀、江康翔、王琦君和葛列众(2017)研究中的自适应低通滤波算

法进行处理,最后得到相对稳定的视线信息作为用户控制光标移动的依据。

## 2.2 视线辅助气泡光标技术的验证实验

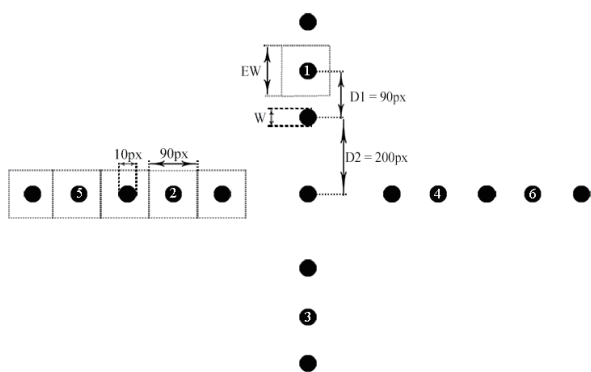
本实验的目的是考察新型的视线辅助气泡光标对用户点击操作绩效和主观疲劳度的影响作用。

### 2.2.1 被试

实验被试为 60 名(男性 27 人,女性 33 人)在校大学生,平均年龄为 21.40 岁( $SD = 2.12$  岁)。所有被试均为右利手,视力或者矫正视力正常,并有 3~5 年鼠标使用经验。所有被试被随机分配到三种实验条件下,其中手控尖点光标 20 人(男性 10 人,女性 10 人),平均年龄 21.5 岁( $SD = 2.14$  岁);手控气泡光标 20 人(男性 9 人,女性 11 人),平均年龄 22.4 岁( $SD = 1.69$  岁);视线辅助气泡光标 20 人(男性 8 人,女性 12 人),平均年龄 20.9 岁( $SD = 1.90$  岁)。

### 2.2.2 设备和程序

本实验用一个 19 英寸的宽屏显示器(分辨率为  $1440 \times 900$  像素)来呈现实验刺激。显示器置于被试视线正前方约 60cm 处(视角范围约为  $37.7^\circ \times 24.5^\circ$ )。实验采用德国 SMI 公司生产的 iViewX-RED 头部追踪式红外眼动仪,固定于显示器正下方,取样频率为 120Hz。实验程序在 .NET 框架下用 C# 语言编写而成,通过调用 iViewX SDK 的 API 函数来实现与眼动仪的通讯,程序自动记录点击操作正确率、完成时间等相关数据。实验过程中,被试将下巴置于托架上来固定头部,以避免头部运动对眼动数据的精确性产生影响,并统一使用一款常规鼠标(型号为戴尔 MS111)进行点击操作,鼠标各参数属性均为默认状态。



EW: 实心圆的有效点击区域边长; W: 实心圆的直径

D1: 周围实心圆之间的两两距离; D2: 中心圆和周围第一个实心圆的距离

图3 视线辅助气泡光标实验程序主界面示意图

程序主界面如图 3 所示,位于屏幕正中间并铺

满显示器界面。屏幕中心有一个实心圆(起始目标,显示为绿色  $RGB = (0, 255, 0)$ ),围绕该中心圆,上、下、左、右四个方向上各有一组实心圆(显示为蓝色  $RGB = (0, 0, 255)$ )。结合王琦君等人(2017)的研究和具体实验环境,并综合衡量方向和距离对点击操作绩效的影响,本研究将图中标注数字的 6 个实心圆作为点击任务的候选目标,其余实心圆作为干扰目标(实验中有且只有一个候选目标会成为绿色目标圆,干扰目标始终为蓝色),其中 1 号和 3 号实心圆作为垂直方向上的近距离目标,2 号和 4 号实心圆作为水平方向上的近距离目标,5 号和 6 号实心圆作为水平方向上的远距离目标。同时,本研究将目标的有效点击区域边长和周围实心圆两两之间的距离都设为 90 像素,中心圆和周围第一个实心圆的距离设为 200 像素;实心圆的直径 W 在练习阶段为 50 像素(视角为  $1.356^\circ \times 1.356^\circ$ ),而正式实验阶段则为 10 像素(视角为  $0.27^\circ \times 0.27^\circ$ )。

### 2.2.3 变量和设计

本实验为 3(光标类型:手控尖点光标/手控气泡光标/视线辅助气泡光标)  $\times$  3(目标位置:垂直近距离/水平近距离/水平远距离)混合设计,其中光标类型为被试间变量,目标位置为被试内变量。

因变量包括被试点击操作完成时间、点击操作正确率和主观疲劳度评价。点击操作完成时间是指被试点击起始目标到成功点击绿色目标之间的平均时间。点击正确率指的是被试成功点击目标的次数与点击总次数的比值。点击操作主观疲劳度的测量采用 Mott 和 Wobbrock (2014) 在实验中使用的美国宇航局作业负荷指数量表(NASA-TLX)。

### 2.2.4 实验任务

本实验的任务是在没有时间限制的条件下,让被试使用随机分配到的光标既快又准确的点击屏幕中随机出现的绿色目标圆。如图 3 所示,每次任务开始时,被试需要先点击起始目标(同时开始计时),起始目标圆被点击后变为蓝色。随后,程序将随机选取一个候选目标作为绿色目标。此时,被试需要驱动光标至绿色目标圆上(选中的目标变为红色),最后单击鼠标左键完成选择操作(同时结束计时)。如果被试点击错误(即点击了除绿色目标所在有效区域以外的区域),则直接开始下一次点击任务。

### 2.2.5 实验流程

三种点击类型条件下的实验流程相同。首先,用户签署知情同意书并填写信息登记表,然后进行



眼动校准（视角误差小于 0.5° 则表示通过）。主试通过显示器向用户呈现指导语，使其清楚实验的具体流程和要求。接着被试进行 18 次光标使用练习（每个候选目标随机出现 3 次）。如果被试练习阶段的正确率大于 90%，则进入正式实验，否则，继续练习。正式实验中，被试需要完成 120 次点击任务（每个候选目标随机出现 20 次）。最后，被试填写 NASA-TLX。整个实验时长为 15 分钟。

2.3 结果分析

实验数据由 SPSS 13.0 软件包进行分析处理获得。对每个被试所在处理水平的每个点上 3 个标准差以外的异常数据进行剔除，剔除的数据占数据总数的 4.9%。

表 1 为被试在每种处理条件下点击操作绩效的结果。分别对点击操作正确率和完成时间进行 3 × 3 重复测量方差分析。

表 1 不同处理条件下的点击操作正确率和完成时间 (M±SD)

	手控尖点光标			手控气泡光标			视线辅助气泡光标		
	垂直-近	水平-近	水平-远	垂直-近	水平-近	水平-远	垂直-近	水平-近	水平-远
正确率 (%)	89.0±9.3	89.5±6.0	87.5±8.3	99.3±2.0	99.3±1.8	98.8±2.5	98.1±2.3	98.9±1.9	96.0±5.2
完成时间 (ms)	1597±227	1384±178	1591±216	1068±120	950±102	1101±111	1412±203	1074±128	1367±255

2.3.1 点击操作正确率结果分析

结果表明，光标类型主效应显著  $F(2, 57) = 32.97, p < .001, \eta^2 = .536$ ，事后检验 (LSD) 结果表明，视线辅助气泡光标和手控气泡光标的点击操作正确率显著优于手控尖点光标 ( $ps < .05$ )，手控气泡光标与视线辅助气泡光标的点击操作正确率差异不显著 ( $p = .298$ )。目标位置主效应显著  $F(2, 57) = 4.73, p < .05, \eta^2 = .076$ ，事后检验 (LSD) 结果表明，水平近距离条件和垂直近距离条件下的点击操作正确率显著优于水平远距离条件 ( $ps < .05$ )，水平近距离条件和垂直近距离条件下的点击操作正确率差异不显著 ( $p = .493$ )。目标位置与光标类型的交互作用不显著 ( $p = .219$ )。

2.3.2 点击操作完成时间结果分析

结果表明，光标类型主效应显著  $F(2, 57) = 44.07, p < .001, \eta^2 = .607$ ，目标位置主效应显著  $F(2, 57) = 117.86, p < .001, \eta^2 = .674$ ，目标位置与光标类型的交互作用显著  $F(2, 57) = 5.88, p < .05, \eta^2 = .171$ 。进一步简单效应分析可知，三种光标类型条件下，水平近距离的点击操作时间均显著快于水平远距离和垂直近距离 ( $ps < .001$ )，水平远距离和垂直近距离的点击操作时间差异不显著 ( $p > .05$ )；三种目标位置条件下，手控气泡光标的点击操作时间均

显著快于视线辅助气泡光标 ( $p < .05$ )，视线辅助气泡光标的点击操作时间均显著快于手控尖点光标 ( $p < .05$ )。结合下图 4 可知，点击近距离目标时，方向对视线辅助气泡光标的操作时间影响作用最大 ( $1412-1074 = 338$ )；点击水平方向上的目标时，距离对视线辅助气泡光标的操作时间影响作用最大 ( $1367-1074 = 293$ )。

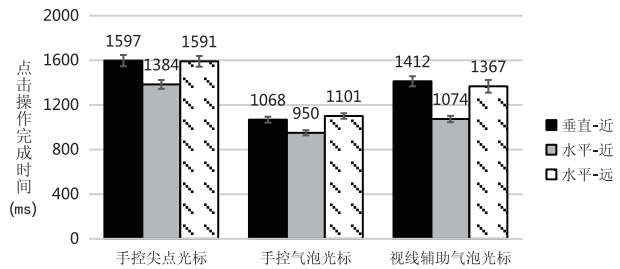


图 4 不同处理条件下的点击操作完成时间比较 (ms)

2.3.3 主观疲劳度结果分析

表 2 为被试在每种处理条件下主观疲劳度评分的结果，对其进行单因素方差分析。结果表明，三类光标类型下的主观疲劳度“总分”之间不存在显著差异。进一步分析具体项目，在“时间需求”维度上，三类光标之间的主观评价存在显著差异影响  $F(2, 57) = 5.089, p = .009, \eta^2 = .152$ ，事后检验 (LSD) 结果表明，视线辅助气泡光标和手控气泡光标显著优

表 2 不同点击操作条件下的主观疲劳度比较 (M±SD)

	手控尖点光标	手控气泡光标	视线辅助气泡光标
脑力需求	.9 ± 1.29	.7 ± 1.15	1.2 ± 1.38
体力需要	1.8 ± 1.54	1.5 ± 1.48	1.1 ± 1.14
时间需求	2.4 ± 1.53	1.4 ± 1.35	1.0 ± 1.26
业绩水平	1.1 ± .97	1.2 ± 1.24	1.4 ± 1.31
努力程度	2.1 ± 1.28	2.1 ± 1.52	3.1 ± 1.41
受挫程度	.6 ± 1.03	.5 ± .72	.9 ± 1.18
总分	8.8 ± 3.48	7.3 ± 4.12	8.7 ± 3.29

于手控尖点光标 ( $p < .05$ )，视线辅助气泡光标和手控气泡光标之间无显著差异；在“努力程度”维度上，三类光标之间的主观评价存在边缘显著 ( $F(2, 57) = 2.901, p = .063, \eta^2 = .092$ )，事后检验 (LSD) 结果表明，手控气泡光标和手控尖点光标显著优于视线辅助气泡光标 ( $p < .05$ )，手控气泡光标和手控尖点光标之间无显著差异。

上述结果表明，相对于手控尖点光标，视线辅助气泡光标和手控气泡光标均显著提高了点击操作绩效，两者在正确率指标上无显著差异，但在操作时间指标上，手控气泡光标显著优于视线辅助气泡光标。被试主观上认为两种气泡光标能更快的完成点击任务，但是视线辅助气泡光标需要付出更多的努力。并且，目标位置（方向和距离）对三种光标类型的操作绩效均有显著影响，且对视线辅助气泡光标的影响作用最大。

### 3 讨论

本研究的实验结果表明，视线辅助气泡光标的点击操作绩效显著优于手控尖点光标，并且点击操作正确率和手控气泡光标没有显著差异。可见，引入气泡光标可有效提高视线辅助点击技术的定位精度。在视线辅助气泡光标技术中，程序根据目标的空间分布为每个目标划分了相应的有效点击区域，光标点击该有效点击区域即表示点击有效区域所在的目标，这无形中扩大了目标的尺寸，从而有助于视线精确的定位。与以往同类研究相比，Zhai 等人 (1999) 提出的 MAGIC 技术，将粗略定位与精确定位进行分离，打断了原本自然流畅的点击操作过程，使得用户不得不花费额外的时间和精力适应新的点击操作流程；Salvucci 和 Anderson (2000) 采用基于概率和用户行为的智能算法解决精度问题，该智能算法需要对原始的视线信息进一步加工以推测用户的意图，这一方面对智能算法预测的准确性有很高的要求，另一方面也可能会提高该技术的使用门槛；Špakov 和 Miniotas (2005) 为了提高在标准尺寸菜单项 (standard-size menu items) 点击任务中视线定位的精度，提出了一种动态扩大目标的技术。实验结果表明，该技术有效的提高了视线选择菜单目标项的正确率（提高了 6 倍），但也显著增加了点击操作的时间（增加了 39%），并且这种动态扩大目标的技术难免会产生视觉上的干扰。本研究的结果不仅验证了视线辅助气泡光标技术在提高

视线定位精度方面的有效性，也验证了新技术在交互自然性、直观性、干扰性等方面的优势。

进一步分析目标位置对不同光标类型的影响作用发现，目标位置（方向和距离）对三种光标类型的操作绩效均有显著影响，且对视线辅助气泡光标的影响作用最大。在水平方向上，近距离条件的点击操作绩效显著优于远距离，这一结果符合 Fitts 定律的基本假设。由 Fitts 定律可知，鼠标移动光标点击目标所需的时间由光标到目标的距离和目标大小决定，当目标大小一定时，点击时间与点击距离成正比。本研究中，三种点击操作技术在水平方向上的操作绩效均符合 Fitts 定律。在近距离条件下，水平方向的点击操作绩效显著优于垂直方向，这一结果与以往研究中关于鼠标定位操作的方向效应结果一致。Thompson, McConnell, Slocum 和 Bohan (2007) 考察了运动方向对鼠标点击绩效的影响，研究结果表明水平方向上的点击操作绩效显著优于垂直方向，并且该结果在 Lee 和 Bang (2013) 的研究中也得到了验证。

另一方面，手控气泡光标在点击不同位置目标时，操作完成时间均快于视线辅助气泡光标。我们推测这可能与用户的操作经验和动态的视标反馈有关。首先，作为最主要的日常交互手段之一，被试均具有较为丰富的鼠标操作经验，而视线控制对被试来说是一种新的交互方式，需要付出更多的努力，这一点在主观负荷评价结果上得到了验证。其次，本研究中采用的视线控制技术经过李宏汀等人 (2017) 研究中的自适应滤波算法后，已显著降低由眼睛生理特性引起的“抖动”等干扰，但视线交互的实时性无可避免的导致了反馈视标的动态变化，这将对缺少视线控制经验的被试带来一定的影响。除此之外，我们发现手控气泡光标相对于视线辅助气泡光标的点击优势，由大到小依次体现在垂直近距离目标、水平远距离目标和水平近距离目标上，我们认为这可能与眼球的生理特性和眼动仪的精度有关。首先，眼球运动的水平视角大于垂视角，而且以往关于不同方向上视觉运动追踪的研究表明，相比于垂直方向，水平方向的视线追踪更加平滑、更加精确 (丁锦红, 林仲贤, 2001; Collewijn & Tamminga, 1984)，这将在一定程度上增加垂直方向上视线控制的难度和点击操作时间；其次，眼动仪追踪视线的精度随视线远离屏幕中心而降低，因此，相比于手控气泡光标，被试使用视线辅助气泡光标进行远距离目标定位的操作更难。

尽管受到以上因素的影响, 视线辅助气泡光标技术在目标定位方面的有效性及其未来的应用潜力是显而易见的, 尤其是在一些特殊交互情景和群体中。例如, 远程、大屏幕等用户活动范围受限的情景及老年人和手臂受损的残障人士。此时, 如果将视线信息作为一种交互媒介, 可以很好的解决人机交互的问题。

综合以上可知, 在视线辅助点击技术的基础上引入气泡光标技术, 形成新型的视线辅助气泡光标技术, 能有效提高传统视线控制技术的定位精度。后续研究中, 我们将进一步从任务难度、交互情景、人群特征等方面进一步探索新技术的操作特点和规律, 为该技术的实际应用提供理论依据和设计基础。

## 4 结论

综合以上, 本实验得到以下结论:

(1) 视线辅助气泡光标在点击操作绩效上显著优于手控尖点光标, 并且时间知觉更低。

(2) 视线辅助气泡光标与手控气泡光标在点击操作正确率和主观疲劳度上没有明显差异, 视线辅助气泡光标所需的努力程度较高, 但有其独特的使用范围和优势。

(3) 视线辅助气泡光标更易于在水平方向上的操作控制, 且该技术的操作符合 Fitts 定律。

(4) 相比手控点击方式, 目标位置(方向和距离)因素对视线辅助气泡光标的影响更大。

(5) 视线控制和点击增强技术的结合是一种有效的设计思路, 气泡光标这种点击增强技术可有效提高视线辅助点击技术的定位精度。

## 参考文献

- 丁锦红, 林仲贤. (2001). 不同方向视觉运动追踪的特性. *心理学报*, 33(4), 289-293.
- 冯成志. (2010). *眼动人机交互*. 苏州: 苏州大学出版社.
- 胡炜, 宋笑寒, 冯桂焕, 骆斌. (2014). 眼动和与键盘输入相结合的混合输入方法的分析研究与评测. *User Friendly 2014 暨 UXPA 中国第十一届用户体验行业年会论文集*, 无锡, 江苏.
- 李宏汀, 江康翔, 王琦君, 葛列众. (2017). 基于视线追踪交互式突显技术对视觉搜索的影响研究. *心理科学*, 40(2), 269-276.
- 王琦君, 金昕沁, 王丽, 徐凤刚, 葛列众. (2017). 自适应气泡光标 - 基于用户的点击增强技术. *心理科学*, 40(1), 16-21.
- Baudisch, P., Cutrell, E., Robbins, D., Czerwinski, M., Tandler, P., Bederson, B., & Zierlinger, A. (2003). Drag-and-pop and drag-and-pick: Techniques for accessing remote screen content touch- and pen-operated systems. *Proceedings of Interact 2003*(pp.57-64), Amsterdam.
- Blanch, R., Guiard, Y., & Beaudouin-Lafon, M. (2004). Semantic pointing: Improving target acquisition with control-display ratio adaptation. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp.519-526), Vienna, Austria.
- Collewin, H., & Tammenga, E. P. (1984). Human smooth and saccadic eye movements during voluntary pursuit of different target motions on different backgrounds. *The Journal of Physiology*, 351(1), 217-250.
- Drewes H., & Schmidt A. (2009). The MAGIC Touch: Combining magic-pointing with a touch-sensitive mouse. In T. Gross (Ed.), *Human-computer Interaction* (pp. 415-428). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Duchowski, A. T. (2002). A breadth-first survey of eye-tracking applications. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 34(4), 455-470.
- Grossman, T., & Balakrishnan, R. (2005). The bubble cursor: Enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 281-290), Portland, Oregon, USA.
- Jacob, R. J. K. (1990). What you look at is what you get: Eye movement-based interaction techniques. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 11-18), Seattle, Washington, USA.
- Laukkanen, J., Isokoski, P., & Riih , K. J. (2008). The cone and the lazy bubble: Two efficient alternatives between the point cursor and the bubble cursor. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 309-312), Florence, Italy.
- Lee, B., & Bang, H. (2013). A kinematic analysis of directional effects on mouse control. *Ergonomics*, 56(11), 1754-1765.
- Moffatt, K., & McGrenere, J. (2010). Steadied-bubbles: Combining techniques to address pen-based pointing errors for younger and older adults. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1125-1134), Atlanta, Georgia, USA.
- Mott, M. E., & Wobbrock, J. O. (2014). Beating the bubble: Using kinematic triggering in the bubble lens for acquiring small, dense targets. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 733-742), Toronto, Ontario, Canada.
- Salvucci, D. D., & Anderson, J. R. (2000, April). Intelligent gaze-added interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 273-280), The Hague, The Netherlands.
- Špakov, O., & Mini as, D. (2005). Gaze-based selection of standard-size menu items. *Proceedings of the 7th International Conference on Multimodal Interfaces* (pp. 124-128), Toronto, Italy.
- Stellmach, S., & Dachselt, R. (2012). Look & touch: Gaze-supported target acquisition. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2981-2990), Austin, Texas, USA.
- Su, X. J., Au, O. K. C., & Lau, R. W. (2014). The implicit fan cursor: A velocity dependent area cursor. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 753-762), Toronto, Ontario, Canada.
- Thompson, S. G., McConnell, D. S., Slocum, J. S., & Bohan, M. (2007). Kinematic analysis of multiple constraints on a pointing task. *Human Movement Science*, 26(1), 11-26.
- Vertegaal, R. (2008). A Fitts Law comparison of eye tracking and manual input in the selection of visual targets. *Proceedings of the 10th International Conference on Multimodal Interfaces* (pp. 241-248), Chania, Crete, Greece.
- Zhai, S. M., Morimoto, C., & Ihde, S. (1999). Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 246-253), Pittsburgh, Pennsylvania, USA.



# Ergonomic Research on the Fine Positioning of Gaze-Assisted Bubble Cursor

Ma Xiaoxing<sup>1</sup>, Ge Liezhong<sup>2</sup>, Wang Li<sup>3</sup>, Wang Qijun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Psychology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, 310018)

(<sup>2</sup>Zhejiang University, Center for Psychological Sciences, Hangzhou, 310007)

(<sup>3</sup>China Astronaut Research and Training Center, Laboratory of Human Factors Engineering, Beijing, 100094)

**Abstract** Most research for computer input considers eye gaze for pointing as an intuitive and promising interaction. The big obstacle for eye gaze as pointing device is the low accuracy. To improve that, the current study proposed gaze-assisted bubble cursor as a more effective way combining a user's gaze with bubble cursor. And we carried out an empirical experiment to verify the effect of gaze-assisted bubble cursor (compared to the point cursor and the bubble cursor).

In this paper, we reviewed the related work for eye gaze as pointing device and the pointing enhancement technology. Then, we presented gaze-assisted bubble cursor, which took full advantage of bubble cursor's effective width and avoided the visual disturbance, as shown in Fig.2. After that, we described a controlled experiment. The experiment test-bed was developed in C# and the interface of experiment as shown in Fig.3. A SMI iViewX-RED eye tracker (0.5° accuracy and 120Hz sampling rate) was used to gather gaze data. To make eye gaze more stable, an adaptive low-pass filtering algorithm was used. The experiment employed a  $3 \times 3$  mixed model design. The two manipulated variables were as follows: (a) For the cursor type: point cursor, bubble cursor, and gaze-assisted bubble cursor; (b) For the target location: close range target in the vertical direction, close range target in the horizontal direction, and long-range target in the horizontal direction. Sixty right-handed volunteers participated in the study (33 females and 27 males), and were randomly assigned to 3 levels of cursor type. For each group, participants were asked to finish 120 times of pointing task as soon as possible on the premise of guaranteeing accuracy of target acquisition. With the accuracy, the task time and the task load index (NASA-TLX) were recorded.

The mean and standard deviation under each condition and satisfaction evaluation were shown in Table 1 and Table 2. The ANOVA results showed: (1) Gaze-assisted bubble cursor outperformed the point cursor on the performance ( $p < .001$ ) and got lower temporal demand; (2) Gaze-assisted bubble cursor was inferior to bubble cursor in the task time ( $p < .05$ ) and got higher effort; (3) There were significant differences among the different target location, and the target location had the greatest effect on gaze-assisted bubble cursor.

Based on the aforementioned results, it can be concluded that gaze-assisted bubble cursor gets higher accuracy indeed and get the same level of the bubble cursor which is one of most promising techniques. Moreover, gaze is promising to bridge the gap between a user and a distant display which traditional mouse input does not apply well especially for the disabled. In summary, these findings provide a new thought for the future research on optimizing the gaze-assisted pointing technique.

**Key words** gaze-assisted pointing, bubble cursor, pointing augmented, fine positioning