

人机交互中 人体工效模型的建立 及其应用的研究

RENJI JIAOHUZHONG
RENTI GONGXIAO MOXING DE JIANLI
JIQI YINGYONG DE YANJIU

周晓磊 ◎ 著



首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

人机交互中 人体工效模型的建立 及其应用的研究

RENJI JIAOHUZHONG
RENTI GONGXIAO MOXING DE JIANLI
JIQI YINGYONG DE YANJIU

周晓磊 ◎ 著



首都经济贸易大学出版社
Capital University of Economics and Business Press

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

人机交互中人体工效模型的建立及其应用的研究/周晓磊
著. —北京:首都经济贸易大学出版社, 2014. 10

ISBN 978 - 7 - 5638 - 2288 - 1

I. ①人… II. ①周… III. ①人-机系统—工效学—建立
模型—研究 IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 239148 号

人机交互中人体工效模型的建立及其应用的研究
周晓磊 著

出版发行 首都经济贸易大学出版社
地 址 北京市朝阳区红庙(邮编 100026)
电 话 (010)65976483 65065761 65071505(传真)
网 址 <http://www.sjmcb.com>
E-mail publish@cueb.edu.cn
经 销 全国新华书店
照 排 首都经济贸易大学出版社激光照排服务部
印 刷 北京京华虎彩印刷有限公司
开 本 880 毫米×1230 毫米 1/32
字 数 176 千字
印 张 6.25
版 次 2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 5638 - 2288 - 1/TB · 3
定 价 19.00 元

图书印装若有质量问题,本社负责调换
版权所有 侵权必究



前 言

人机交互(Human Computer Interaction, HCI)是一门综合学科,主要研究人与计算机之间的信息交互理论与方法,涉及计算机科学、人体工效学、认知心理学、社会学、多媒体技术以及虚拟现实技术等诸多学科。微软的图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)视窗系统和苹果公司 iPhone、iPad 等系列产品的巨大商业成功印证了人机交互技术在计算机应用过程中所发挥的重要作用。

面对当前市场上出现的大量的操作工具和操作软件,系统设计者和用户都陷入了困惑:人们很难判断对于某种操作工具的选择是建立在科学实验数据分析的基础之上,还是单纯地出于个人喜好的目的。因此,人们需要判断出某种工具的设计是否让用户可以更加舒适、方便、省力而又高效率地工作。因此,我们需要的是更加能够从生理和心理角度适应人的需求的交互工具。对于一些新的工具的设计,不仅需要尽量减少新用户的学习适应时间,还应该考虑到身体残障人士的需求。为了能给设计提供一个好的参照和评估准则,模型的建立成为人机交互领域的一个重要分支。人们可以通过模型,更准确地认识和了解一种操作过程,并设计出更为理想的交互工具。然而,操作模型的建立并非简单的工作。针对目前在模型建立方面存在的缺陷与不足,笔者试图从用户的主观操作层面、时间约束层面以及不同的用户群体层面入手,研究模型的建立、评估以及在实际设备与界面中的应用。

本书共分9章,第1章主要介绍人机交互的相关概念、发展



历史、研究内容以及评价方法等内容;第2章主要介绍人机交互中现有的人体工效模型,着重探讨目标选择与获取任务中的 Fitts' 法则等模型以及轨道滑动任务中 Steering 法则等模型;第3章主要介绍在轨道滑动任务中引入用户主观操作层面因素时的人体工效学问题,详细描述研究的实验实施过程以及模型的建立与评估过程;第4章主要介绍在轨道滑动任务中引入时间约束因素时的人体工效学问题,详细探讨任务完成的精确度随完成时间的长短变化的关系;第5章主要介绍轨道滑动任务中现有的 Steering Law 模型所适用的最大轨道宽度;第6章主要介绍轨道滑动任务中不同的滑动方向对任务完成时间以及精确度的影响;第7章主要介绍老年用户群体与年轻用户群体对待操作快慢指令集的不同操作行为反应,并通过聚类分析详细描述了不同用户群体内部的个体差异;第8章主要介绍用户使用笔压力与笔倾斜角输入技术控制光标的位置、角度和范围的能力,同时详细描述相关的实验过程和研究结论;第9章主要介绍七种鼠标的滚动组件装置在执行拖拽任务与网页浏览任务中的人体工效学问题,描述这两种任务的实验过程以及研究结论。

本书相关的研究工作受到国家自然科学基金项目(No. 61303106)资助。

由于时间仓促,编者水平有限,书中欠妥和纰漏之处在所难免,恳请读者和同行不吝指正。



目 录

1 人机交互概述	1
1.1 什么是人机交互	2
1.2 人机交互的发展历史	3
1.3 人机交互的研究内容	6
1.4 人机界面设计的评价方法	8
1.5 理想的人机交互	9
1.6 参考文献	11
2 人机交互中的人体工效模型	13
2.1 引言	14
2.2 目标获取任务中速度—精度折中的研究	16
2.3 轨道滑动任务中速度—精度折中的研究	27
2.4 结论与展望	32
2.5 参考文献	33
3 基于用户主观操作倾向的人体工效模型的研究	39
3.1 引言	40
3.2 相关工作	41
3.3 实验	43



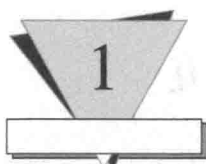
3.4 实验结果	49
3.5 模型推导与验证	62
3.6 结论	69
3.7 参考文献	70
4 基于时间约束的人体工效模型的研究	73
4.1 引言	74
4.2 问题定义与假设	77
4.3 实验	78
4.4 实验结果	82
4.5 模型推导与验证	90
4.6 讨论	92
4.7 结论	95
4.8 展望	96
4.9 参考文献	97
5 轨道滑动任务中最大轨道宽度的研究	101
5.1 引言	102
5.2 实验	103
5.3 实验结果	106
5.4 讨论	111
5.5 结论	111
5.6 参考文献	112
6 轨道滑动任务中不同起始位置对人体工效的 影响	113
6.1 引言	114
6.2 实验	115



6.3 实验结果	119
6.4 讨论	123
6.5 结论	123
6.6 参考文献	125
7 用户界面中评估与年龄相关的人体工效的变化	127
7.1 引言	128
7.2 相关工作	130
7.3 实验	131
7.4 实验结果	134
7.5 讨论	140
7.6 对界面设计的指导意义	141
7.7 结论	144
7.8 参考文献	145
8 笔式界面中笔的压力与倾斜输入技术之间的 比较研究	149
8.1 引言	150
8.2 相关研究	151
8.3 研究方法	154
8.4 实验 1——结合光标位置	156
8.5 实验 2——结合光标角度	163
8.6 实验 3——结合光标范围	167
8.7 讨论	171
8.8 结论	174
8.9 参考文献	175



9 滚动任务中七种鼠标性能的比较研究	178
9.1 引言	179
9.2 实验1——拖拽任务	181
9.3 实验2——网页浏览任务	185
9.4 结论及展望	188
9.5 参考文献	190



人机交互概述



1.1 什么是人机交互

人机交互(Human Computer Interaction, HCI)是一门综合学科,它与计算机、人体工效学、认知心理学、多媒体技术以及虚拟现实技术等紧密相关。人机交互技术在20世纪90年代初发展日趋成熟,微软的图形用户界面(Graphical User Interface, GUI)视窗系统和苹果公司 iPhone、iPad 等系列产品的巨大商业成功印证了人机交互技术在计算机应用过程中所发挥的重要作用。

人机交互技术是当前信息产业竞争的一个焦点,世界各国都将 HCI 技术作为一项重点研究的关键技术。美国总统信息顾问委员会“21 世纪信息技术报告”明确将“人机交互和信息管理”列为21世纪4项重点发展的信息技术之一^[5]。我国国家重点基础研究发展计划(973)、国家高技术研究发展计划(863)等项目指南中,均将先进的人机交互技术、虚拟现实技术列为予以特别关注的资助项目。

在学术界,对人机交互的定义与解释主要有以下几种。美国 ACM 组织下的人机交互特别兴趣小组 ACMSIGCHI 给出的定义为:人机交互是关于设计、评价和实现供人们使用的交互式计算机系统,并围绕相关的主要现象进行研究的学科。狭义地讲,人机交互技术主要研究人与计算机之间的信息交换,包括人到计算机以及计算机到人双方向的信息交换。在人到计算机的信息交换中,人们可以借助鼠标、键盘、电子笔、操纵杆、数据手套、眼动跟踪器、位置跟踪器等设备,用手、脚、声音、姿势或身体动作、眼睛甚至脑电波等向计算机传递信息;在计算机到人的信息交换中,计算机可以通过显示器、头盔式显示器、打印机、音箱、力反馈



仪器等输出或显示设备向人们提供可理解的信息。Preece 在 1994 年出版的 *Human Computer Interaction* 一书中提到,人机交互是关于设计计算系统的学科,支持用户的使用得以成功,从而有保障地完成他们的任务。Dix 在 2004 年出版的另外一部 *Human Computer Interaction* 中也提到,人机交互研究人们的学习、计算技术以及它们之间的相互作用与影响的方式,其最终目的是使计算技术得以更方便地被人们所利用。

1.2 人机交互的发展历史

计算机作为 20 世纪的一项伟大发明正在给 21 世纪人类生活、工作的方方面面带来深刻的影响。计算机的发展历史不仅是处理器速度、存储器容量和网络技术等飞速发展的历史,也是人机交互方式不断改善的历史^[1]。简单来说,人机交互技术的发展过程是一个从人适应计算机到计算机不断适应人的发展过程,它经历了如下几个阶段^{[4][8]}。

1.2.1 命令行界面 (Command Line Interface, CLI) 交互阶段

最初,程序通常直接采用机器语言指令(二进制机器代码)或汇编语言编写,通过纸带传输或卡读机输入,通过打印机输出计算结果,人与计算机的交互一般是采用控制键或控制台直接手工操作。这种形式很不符合人们的习惯,既耗费时间,又容易出错,只有专业的计算机管理员才能做到应用自如。

后来,出现了 ALGOL 60、FORTRAN、COBOL、PASCAL 等高级语言,使人们可以用比较习惯的符号形式描述计算过程,交互操



作由受过一定训练的程序员即可完成,命令行界面开始出现。这一时期,程序员可采用批量处理作业语言或交互命令语言方式同计算机打交道。虽然要使用许多命令和熟练地敲击键盘,但已经可以用较方便的手段来调试程序、了解计算机执行的情况。通过命令行界面,人们可以通过问答式对话、文本菜单或命令语言等方式来进行人机交互。

命令语言的典型形式是动词后面接一个名词宾语,即“动词+宾语”,二者都可带有限定词或量词。命令语言可以具有非常简单的形式,也可以有非常复杂的语法。命令语言要求惊人的记忆和大量的训练,并且容易出错,使入门者望而生畏,但比较灵活和高效,适合专业人员使用。

1.2.2 图形用户界面 (Graphical User Interface, GUI) 交互阶段

图形用户界面是当前用户界面的主流,广泛应用于各种台式计算机、便携式电脑和图形工作站,其出现使人机交互的方式发生了巨大变化。比较成熟的商品化系统有 Apple 的 Macintosh、Microsoft 的 Windows 和运行于 Unix 环境的 X - Window、OpenLook 和 OSF/Motif 等。当前各类图形用户界面的共同特点是以窗口管理系统为核心、使用键盘和鼠标作为输入设备。窗口管理系统除基于可重叠多窗口管理技术外,广泛采用的另一核心技术是事件驱动技术。图形用户界面和人机交互过程极大地依赖视觉和手动控制的参与,因此具有直接操作的特点。图形用户界面中的菜单界面与命令语言界面相比,用户只需确认而不需要回忆系统命令,从而大大降低记忆负荷。但菜单的缺点是灵活性和效率较差,可能不是十分适合专家用户。



总之, GUI 的主要特点是桌面隐喻、WIMP (Window, Icon, Menu, Pointing Device) 技术、直接操纵和“所见即所得”。GUI 简单易学、减少了键盘操作,使得普通用户也可以熟练地使用,从而拓展了用户群,使计算机技术得到了普及。

1.2.3 自然智能的人机交互界面 (Intelligent User Interface) 阶段

目前,人类常用的自然交互方式——基于语音和笔的交互技术,包括手写识别、笔式交互、语音识别、语音合成、数字墨水等,已经有了很大的发展。近年来,强大的社会需求产生了各种各样的应用场景。

随着网络的普及性发展和无线通信技术的发展,人机交互领域面临着巨大的挑战和机遇,传统的图形用户界面交互已经产生了本质的变化,人们的需求不再局限于界面的美学形式的创新,现在的用户更多地希望在使用多媒体终端时,有着更便捷、更符合他们的使用习惯,同时又有着比较美观的操作界面。利用人的多种感觉通道和动作通道(如语音、手写、姿势、视线、表情等输入),以并行、非精确的方式同(可见或不可见的)计算机环境进行交互,使人们从传统的交互方式的束缚中解脱出来,使人们进入自然和谐的人机交互时期。这一时期的主要研究内容包括:多通道交互、情感计算、自然语言理解、虚拟现实、智能用户界面等方面。在这里,我们重点介绍一下与本书内容有关的多通道交互以及智能用户界面。

多通道交互 (Multi Modal Interaction, MMI)^[2] 是近年来迅速发展的一种人机交互技术,它既适应了“以人为中心”的自然交互准则,也推动了互联网时代信息产业(包括移动计算、移动通信、



网络服务器等)的快速发展。MMI 是指“一种使用多种通道与计算机通信的人机交互方式。通道 (Modality) 涵盖了用户表达意图、执行动作或感知反馈信息的各种通信方法,如言语、眼神、脸部表情、唇动、手动、手势、头动、肢体姿势、触觉、嗅觉或味觉等”。采用这种方式的计算机用户界面称为“多通道用户界面”。目前,人类最长使用的多通道交互技术包括手写识别、笔式交互、语音识别、语音合成、数字墨水、视线跟踪技术、触觉通道的力反馈装置、生物特征识别技术和人脸表情识别技术等方面。

智能用户界面 (Intelligent User Interface, IUI)^[9] 是致力于改善人机交互的高效率、有效性和自然性的人机界面。它通过表达、推理,并按照用户模型、领域模型、任务模型、谈话模型和媒体模型来实现人机交互^[10]。智能用户界面主要使用人工智能技术去实现人机通信,提高了人机交互的可用性:例如,规划识别和生成支持用户界面的对话管理,而语言、手势和图像理解支持多通道输入的分析,用户建模则实现了对自适应交互的支持等。当然,智能用户界面也离不开认知心理学、人机工程学的支持。

1.3 人机交互的研究内容

(1) 人机交互界面表示模型与设计方法。一个交互界面的好坏,直接影响到软件开发的成败。友好人机交互界面的开发离不开好的交互模型与设计方法。因此,研究人机交互界面的表示模型与设计方法,是人机交互的重要研究内容之一。

(2) 可用性分析与评估。可用性是人机交互系统的重要内容,它关系到人机交互能否达到用户期待的目标,以及实现这一



目标的效率与便捷性。人机交互系统的可用性分析与评估的研究主要涉及支持可用性的设计原则和可用性的评估方法等。

(3)多通道交互技术。在多通道交互中,用户可以使用语音、手势、眼神、表情等自然的交互方式与计算机系统进行通信。多通道交互主要研究多通道交互界面的表示模型、多通道交互界面的评估方法以及多通道信息的融合等。其中,多通道整合是多通道用户界面研究的重点和难点。

(4)认知与智能用户界面。智能用户界面(Intelligent User Interface, IUI)的最终目标是使人机交互像人—人交互一样自然、方便。上下文感知、眼动跟踪、手势识别、三维输入、语音识别、表情识别、手写识别、自然语言理解等都是认知与智能用户界面需要解决的重要问题。

(5)群件。群件是指帮助群组协同工作的计算机支持的协作环境,主要涉及个人或群组间的信息传递、群组中的信息共享、业务过程自动化与协调,以及人和过程之间的交互活动等。

(6)Web 设计。重点研究 Web 界面的信息交互模型和结构, Web 界面设计的基本思想和原则, Web 界面设计的工具和技术,以及 Web 界面设计的可用性分析与评估方法等内容。

(7)移动界面设计研究内容:研究移动界面的设计方法,移动界面可用性与评估原则,移动界面导航技术,以及移动界面的实现技术和开发工具。

本书将重点研究交互界面中的交互模型与设计方法(第2、3、4、5、6章),另外也涉及多通道交互技术及其可用性分析与评估(第7、8章)等内容。



1.4 人机界面设计的评价方法

评价是人机界面设计的重要组成部分,但往往被设计者忽视。通常,评价在最终产品上进行,但若在系统设计初期就进行,或对原型进行评价,就能及早发现设计缺陷,避免人力、物力的浪费。

对界面设计的质量评价通常可用四项基本要求衡量:①界面设计是否有利于用户目标的完成?②界面学习和使用是否容易?③界面使用效率如何?④设计的潜在问题有哪些?

对界面的总体设计和具体功能块设计,则可用上面提到的各类界面设计准则。根据其应用对象进行综合测试。具体要求的界面品质,通常有五项可供参考:①适应性。衡量界面在帮助用户完成一项或多项任务时的满意程度。②有效性。度量指标错误率、任务完成时间、系统各设备使用率等。③易学习性。从系统开始使用一段时间后,错误率下降的情况、完成任务时间减少的情况、正确调用设备及命令的情况以及用户知识增加的情况来评测。④系统设备及功能使用面。若有些设备或功能任何用户都未用过,则可能设计有误。⑤用户满意程度。以用户满意程度、发现问题多少及使用兴趣来衡量。

界面评估采用的方法已由传统的知觉经验的方法,逐渐转为科学的系统的方法进行。科学的系统方法主要有:①实验方法。在确定了实验总目标及所要验证的假设条件后,设计最可靠的方法是随机和重复测试。②监测方法,即观察用户行为。观察方法有多种,如直接监测、录像监测、系统监测等。③调查方法。这种方法可为评价提供重要数据,在界面数据的任何阶段均可使用。