

殷继彬 著

“接触+非接触”式 交互界面的设计与研究



云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS







ISBN 978-7-5482-3367-1



定价：35.00元

殷继彬 著

“接触+非接触”式 交互界面的设计与研究



云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

“接触+非接触”式交互界面的设计与研究 / 殷继彬
著. — 昆明: 云南大学出版社, 2018
ISBN 978-7-5482-3367-1

I. ①接… II. ①殷… III. ①人机界面—程序设计
IV. ①TP311.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第136135号

策划编辑: 赵红梅

责任编辑: 周 飞

封面设计: 郑明东

“接触+非接触”式 交互界面的设计与研究

殷继彬 著

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 昆明涂伦印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 10

字 数: 200千

版 次: 2018年7月第1版

印 次: 2018年7月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5482-3367-1

定 价: 35.00元

社 址: 昆明市一二一大街182号(云南大学东陆校区英华园内)

邮 编: 650091

电 话: 0871-65033244 65031071

网 址: <http://www.ynup.com>

E-mail: market@ynup.com

若发现本书有印装质量问题, 请与印厂联系调换, 联系电话: 0871-65623363。

前言

自从自然交互界面（NUI）的概念被提出以来，一直成为人机交互领域的热点研究内容，当前对 NUI 较为合理的看法是“自然人机交互是利用人的日常技能进行的”操作方式。“接触+非接触”式的混合交互模式源于对“人们在工作台空间，双手时而接触工作台控件，时而手执部件悬于空中，双手相互配合完成工作任务”的抽象，因此其交互方式符合 NUI 的设计理念。同时“接触+非接触”式交互结合非接触式交互的优势，弥补了接触式交互和非接触式单独设计时存在的缺陷，丰富了界面设计的交互属性。

本书紧扣人机交互的发展趋势，主要针对“接触+非接触”交互这一前沿性交互方式，力争在其基础研究方面有所突破和创新，进而丰富和完善基于笔+触控界面的人机交互理论和技术体系，推动其开发应用和普及。“接触+非接触”交互目前处于概念性研究阶段，缺乏完善的基础理论体系，同时不同类型的输入模态的组合使用常常引起有别于传统人机界面的，不容忽视的人因问题。本书主要从三个方面对此加以深入研究：一是研究在“接触+非接触”交互模式下用户对多输入参数的控制能力，并给出参数初值和交互控制量之间的最优映射关系曲线，研究多输入模态的耦合算法；二是结合界面中的人因工程、认知心理方面的重要问题，研究笔+触控界面交互范式、用户界面设计和评估原则；三是对关键交互任务提出一个新的模型，解决此领域至今尚无一个被广泛接受的人体工效理论模型的问题。本书旨在为下一代自然交互界面研究提供有力的理论基础和方法支持，实现若干原始创新，推广“接触+非接触”界面技术。

全书分为三章，第一章“接触 + 非接触”交互中手势的设计与决策优化算法，介绍了基于接触 + 非接触交互的手势设计方法并提出手势的客观设计与评价算法；第二章通过对非接触交互空间进行垂直分层，从而获取到离散的输入模态，并通过分层实验去研究用户对垂直分层输入模态的控制能力；第三章介绍了笔 + 触控交互界面中双手点击模型的建立与研究，着重讨论了异步条件下双手点击模型以及对该模型的实验验证。

本书由昆明理工大学殷继彬主导撰写，参与本书撰写的还有研究生皮力、陈苗云和娄泽华，他们分别对各章节中的项目进行了实验和调试。

由于笔者的知识和写作水平有限，书中缺点和错误在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 “接触 + 非接触”交互中手势的设计与决策优化算法

1.1	绪 论	1
1.1.1	选题背景及研究意义	1
1.1.2	研究范围及研究目的	2
1.1.3	国内外研究现状及发展动态分析	2
1.1.4	面临的关键问题	3
1.1.5	本章研究内容	4
1.1.6	本章组织结构	5
1.2	人机交互中的手势设计原则分析	5
1.2.1	引 言	5
1.2.2	手势设计原则对比	6
1.2.3	手势设计原则分类	8
1.2.4	指导性分析	14
1.2.5	结 语	15
1.3	基于属性重要性的手势改善方向决策算法	16
1.3.1	序 言	16
1.3.2	手势改善方向评价模型的理论依据	18
1.3.3	手势改善方向评价模型的建立	23
1.3.4	小 结	32
1.4	“接触 + 非接触”手势实验设计与分析	33
1.4.1	相关工作	33
1.4.2	实验组织	34
1.4.3	实验平台和开发环境	34
1.4.4	专家评估 FCJM 矩阵	34
1.4.5	指定手势的属性评分	38
1.4.6	用户对优化后的手势的问卷调查	42

1.4.7 实验结果分析	44
1.5 总结与展望	45
1.5.1 总 结	45
1.5.2 展 望	46
参考文献	46

第二章 非接触交互界面中空间分层输入模态的研究与应用

2.1 绪 论	54
2.1.1 研究背景	54
2.1.2 国内外研究发展及现状	56
2.1.3 本章研究内容及组织结构	58
2.1.4 本章研究意义	61
2.1.5 本节小结	61
2.2 人机交互界面中的理论介绍	61
2.2.1 人机交互模型简介	61
2.2.2 人机交互中的人类工效学模型——Fitts' law 模型	62
2.2.3 手势识别技术	63
2.2.4 本节小结	66
2.3 Leap Motion 手势识别技术以及开发平台和工具的概述	67
2.3.1 Leap Motion 交互技术的概述	67
2.3.2 开发平台的介绍	71
2.3.3 实验硬件运行环境介绍	76
2.4 实验 1：可检测区域中常用范围的研究	76
2.4.1 研究常用范围的实验介绍	76
2.4.2 实验参与者介绍	76
2.4.3 实验设计以及实验过程	77
2.4.4 实验数据的分析	77
2.4.5 实验结论	79
2.4.6 本节小结	79
2.5 实验 2：特殊精度要求范围的研究	79
2.5.1 实验介绍	79

2.5.2 实验设计以及实验过程	80
2.5.3 实验数据以及实验结果	81
2.5.4 实验结论及小结	83
2.6 实验 3: 界面分层实验的研究以及 Fitts' law 模型的验证	83
2.6.1 Fitts' law 模型的适应性研究	83
2.6.2 分层任务实验数据以及实验结果	88
2.6.3 实验结论	89
2.6.4 本节小结	89
2.7 总结与展望	89
2.7.1 总 结	89
2.7.2 展 望	90
参考文献	91

第三章 笔 + 触控交互界面中双手点击任务模型的建立与研究

3.1 绪 论	98
3.1.1 研究背景	98
3.1.2 国内外研究发展及现状	100
3.1.3 本章研究内容及组织结构	103
3.1.4 本章研究意义	104
3.1.5 本节小结	105
3.2 人机交互中的人类工效学模型理论基础	105
3.2.1 人机交互中人类工效学模型的相关研究、定义及分类	105
3.2.2 一维人机交互中的人类工效学模型	106
3.2.3 二维人机交互中的人类工效学模型	111
3.2.4 三维人机交互中的人类工效学模型	113
3.2.5 双手交互理论	114
3.2.6 本节小结	115
3.3 Fitts' law 模型在笔 + 触控双手点击任务中的适用性研究	115
3.3.1 实验软件开发环境介绍	115
3.3.2 实验硬件运行环境介绍	118
3.3.3 实验参与者介绍	118

3.3.4	实验 1：基于异步条件下笔 + 触控双手点击任务的 Fitts' law 适用性研究.....	119
3.3.5	实验 2：基于同步条件下笔 + 触控双手点击任务的 Fitts' law 适用性研究.....	124
3.3.6	本节小结.....	128
3.4	基于异步条件下的笔 + 触控双手交互点击任务人类工效学模型的 提出与研究.....	129
3.4.1	研究介绍.....	129
3.4.2	模型的假设与提出.....	129
3.4.3	实验 3：反应时间的研究	131
3.4.4	实验 4：异步条件下笔 + 触控双手点击任务模型的研究	134
3.4.5	本节小结.....	137
3.5	基于同步条件下的笔 + 触控双手交互点击任务人类工效学模型的 提出与研究.....	138
3.5.1	研究介绍.....	138
3.5.2	模型的假设与提出.....	139
3.5.3	实验 5：同步条件下笔 + 触控双手点击任务模型的研究	141
3.5.4	本节小结.....	146
3.6	总结与展望.....	146
3.6.1	总 结.....	146
3.6.2	展 望.....	147
	参考文献.....	149

第一章 “接触 + 非接触” 交互中手势的设计与决策优化算法

1.1 绪 论

1.1.1 选题背景及研究意义

随着计算机在国民经济各个领域应用深度和广度的全面推进，它与我们日常生活的联系越来越紧密，从而使研究高效的人机交互方式成为必要^[1]。如图 1.1 所示，人机交互的风格从命令行界面阶段逐步发展到以“所见即所得（WYSIWYG）”^[2]为特征的图形用户界面（GUIs）阶段，且正向自然智能交互方向发展^[3]。如何设计有效的计算机输入设备和输入技术，增加人与计算机之间的信息通道，以提高应用系统的使用效率成为人机交互研究的主旋律。

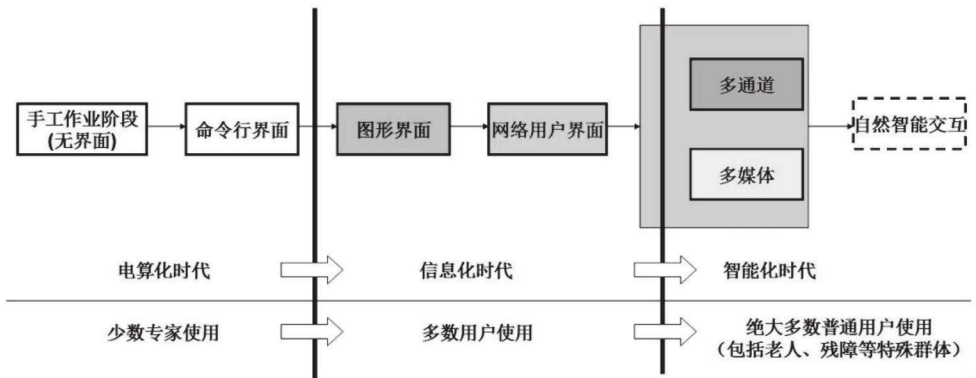


图 1.1 人机交互阶段的演变

多模态输入融合了视觉、听觉、触觉、嗅觉等交互方式，整合来自多通道的精确和非精确信息，提高了计算机的信息采集能力，更符合人机交互的自然性。多模态交互中，可以按是否为接触反馈输入分为接触式交互模式和非接触式交互模式。

接触式交互模式是指当交互方式发生时,交互输入信息需要通过某个接触面(如鼠标和多点触控界面)来实现,这使得用户在交互的过程中能够直接获得更多的触觉反馈,给用户带来了更多的真实体验。非接触式交互模式可以通过 Wii、Kinect 或者 Leap Motion 等设备跟踪双手来实现,与之前的技术相比有着新的优秀特性:操作非常直观。“接触 + 非接触”式交互具有双手操作的直观、自然特征^[4],并能够获得更多的触觉反馈。近年来,“接触 + 非接触”式交互正逐步成为人机交互技术(Human Computer Interaction, HCI)一个新的研究热点。

虽然以用户双手为主的人体运动控制系统和其他感知系统(如视觉和触觉等)都能直接参与人机交互,成为信息输入的通道,但是由于人的输入习惯多是通过手实现的,有手参与的输入方式一直处于主流。因此从输入方式上看,对手势的研究是非常重要的。“接触 + 非接触”式混合交互模式还处于概念性的研究阶段,设计完善的系统比较困难,从“接触 + 非接触”式手势入手,研究“接触 + 非接触”手势的设计与优化方法,对于提高人机交互中相关应用系统的使用效率有着重要意义。

1.1.2 研究范围及研究目的

名词解释:目前的手势(gesture)广义上指用以表达思想或用以传达命令的示意动作,不局限于手或手臂,如眼动手势;狭义上是指人在运用手臂时,所出现的具体动作与体位。根据“手”所指的腕、肘、肩等关节的不同,分别包括直接或间接由腕部到指尖部分的手参与的姿态及动作和直接或间接由整个手臂参与的姿态及动作。

本章的手势默认情况下指人手手势(hand gesture),当指代广义手势时将会提前声明为“手势(gesture)”。本章研究对象是“接触 + 非接触”手势的设计原则与优化方法。对于可参考实例较少的“接触 + 非接触”混合交互模式,设计出来的混合手势的评判标准非常不稳定,这将导致这些手势的生命周期非常短。当手势的使用群体达到一定规模,重新设计手势会失去部分用户,因此手势的持续改善非常重要。研究“接触 + 非接触”手势的设计与优化方法,目的在于缩短相关产品的研发周期和延长相关产品的使用周期。

1.1.3 国内外研究现状及发展动态分析

1.1.3.1 接触式手势

触控技术从 20 世纪 60 年代后期逐渐发展起来。伊利诺斯大学的计算机教育研究实验室的 PLATO IV^[5]就是触控技术的最典型代表。Toronto 大学的 Nimish

Mehta 设计了第一个基于手指压力的 Multi-Touch 显示屏^[6], Nakatani 等提出了软机器, 完善了单点触控技术^[7]。近年来, 多点触控 (Multi-Touch)^[8-10]的发展使得触控技术重新成为研究热点, 尤其是基于受抑全内反射 (Frustrated Total Internal Reflection, FTIR) 技术的低成本 Multi-Touch 装置的出现, 推动了许多新的 Multi-Touch 技术^[11-13]的出现。多点触摸设备允许一个或多个用户使用多个手指, 通过传统的图形用户界面同时和计算机进行交互。Microsoft Surface^[14]的推出, 有力地推动了桌面计算 (Desktop Computing) 研究领域的发展。

1.1.3.2 非接触式手势

基于视觉的用户界面 (Vision-Based Interface, VBI) 也是 HCI 中的一个核心课题^[15], 而基于计算机视觉的自然手 (Naked Hand) 的 3D 跟踪又是 VBI 中的一个重要内容, 利用人体姿势尤其是双手手势作为输入设备已经成为人机智能交互 (Human Computer Intelligent Interaction, HCII) 或感知用户界面 (Perceptual User Interface, PUI) 的重要组成部分。

手势跟踪与识别将为现实或虚拟环境里的 HCI 提供新的模式, 从而实现更直接、更自然、更和谐的人机交互^[16]。

1.1.3.3 “接触 + 非接触”式手势

“接触 + 非接触”式这种新的混合交互模式的研究还处于起步阶段, 但研究者^[17-19]已经通过一些具体的研究证明了其潜在交互优势。目前“接触 + 非接触”式混合交互模式还处于概念性的研究阶段。MIT 媒体实验室和微软研究院均针对“接触 + 非接触”手势做出相应研究^{[17][19]}, 但以上研究针对具体的交互场景设计交互技术、解决对应的交互任务, 还处于对“接触 + 非接触”式混合交互模式的概念提出阶段, 还没系统地对“接触 + 非接触”式的交互特征、设计策略、交互范式进行研究。

1.1.4 面临的关键问题

从国内外研究现状可以看出, 依据手势原则的相关研究成果, 设计一种“接触 + 非接触”交互中手势的设计与决策优化算法所面临的关键问题为:

(1) 接触式交互设备往往依托于某个二维面来实现操作, 而非接触式交互在三维空间中实现操作, “接触 + 非接触”式交互手势在二维和三维操作之间融合、过渡和转换中哪些关键因素需要最优先考虑是一大难点; 各文献根据这些关键因素总结出不同的手势设计原则, 但侧重的交互设计原则存在交叉重复和差异。如何收集散布在各文献中的交互设计原则, 构建一个系统的交互设计原则集是一大难点。

(2) 用户的反馈信息具有主观性，且目前没有足够的“接触 + 非接触”手势可供参考。“接触 + 非接触”手势的设计还没有一个成熟的主流方案，无法保证设计出的手势具有稳定的易用性。如何有效处理收集到的用户反馈信息，找到现有手势的优势、劣势，决策出合理的手势改善方向是一大难点。

(3) 如何根据手势改善方向，改进现有的“接触 + 非接触”手势设计，减少用户不喜欢的手势特性的影响，得到实用性更好的手势，提高手势使用效果是一大难点。

1.1.5 本章研究内容

“接触 + 非接触”交互中手势的设计与决策优化算法总体框架如图 1.2 所示。首先构建系统的手势设计原则集，收集手势设计原则的相关文献，构建用于评价手势的评判标准。然后处理用户反馈信息决策手势改善方向，再基于手势改善方向，改进现有手势设计。

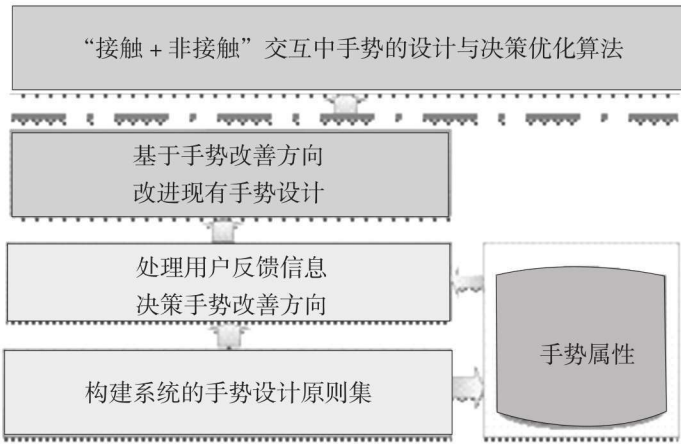


图 1.2 研究总体框架

本章将以触控手势和隔空手势的混合手势为例，围绕“接触 + 非接触”交互手势的设计和优化展开研究。具体研究内容如下：

(1) 构建了系统的手势设计原则集：设计手势输入方式的交互系统时，需要考虑手势集的设计原则。现有手势设计原则之间有交叉重复，导致设计出的手势缺乏系统性，用户体验较差。针对此问题，依据手势原则适用范围的差异采用自顶向下的方法从人、计算机以及交互过程三个角度分析了手势交互的设计原则，提出一种树状结构来组织手势设计原则集。为手势交互系统中的手势设计提供一个立足

点,并为已设计的手势集提供一个综合的评估标准。

(2)提出了一种“接触 + 非接触”手势的优化算法:研究量化的指标来指导手势改善方向的决策。基于属性重要度,给出了复杂人因条件下手势改善方向的决策算法。根据模糊层次分析法计算指定手势的每个属性的全局权重,根据用户反馈计算指定手势的每个属性局部权重,全局权重与局部权重调和得到综合权值向量。依据用户对指定手势的综合印象将各属性的评分分成两类分别处理。根据各属性的正向影响力与负向影响力得到权值向量中各属性的权值分布,对各属性的每个评分分别计算标准化评分偏置。各个属性改善需求程度的排序通过权值分布和标准化评分偏置计算。实验结果表明基于该算法比基于问卷调查的决策所制定的手势的支持率平均提高 25%。得出结论:手势优化过程中各属性的权值排序是稳定的。

1.1.6 本章组织结构

本章由五节组成,各节的组织安排如下:

第 1 节,首先介绍了本章的研究背景和意义,研究范围及研究目的,以及国内外在手势设计领域的相关研究现状,然后对“接触 + 非接触”手势设计过程中所面临的关键问题进行了分析,阐述了本章的研究内容,并给出了组织结构。

第 2 节,首先分析和整理了人机交互中手势集的设计原则的相关文献,然后从人、计算机以及交互过程三个角度分析了手势交互的设计原则,最后提出一种树状结构来组织手势设计原则集。

第 3 节,首先分析了第 2 节的原则得到手势属性,然后介绍了基于属性重要度的复杂人因条件下手势改善方向的决策算法。

第 4 节,首先设计触控手势和隔空手势的混合手势实验作为示例,然后介绍如何处理用户的反馈数据决策出手势改善方向,如何依据手势改善方向设计出优化后的手势集,最后对比实验过程中的反馈数据以及算法处理得到的数据探讨“接触 + 非接触”手势设计中需要注意的主要原则。

第 5 节,对本章主要研究内容进行了总结和展望。

1.2 人机交互中的手势设计原则分析

1.2.1 引言

手势是一种自然直观的人际交流模式,也是自然交互方式中比较常用的输入方