

殷继彬 刘 华 王 锋 周晓磊 钱 谦 著

基于笔多种输入 模态的界面设计

 云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

殷继彬 刘 华 王 锋 周晓磊 钱 谦 著

基于笔多种输入 模态的界面设计

 云南大学出版社
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

基于笔多种输入模态的界面设计/殷继彬等著. —
昆明: 云南大学出版社, 2013
ISBN 978 - 7 - 5482 - 1412 - 0

I. ①基… 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 (2013) 第 027763 号

基于笔多种输入模态的界面设计

殷继彬 刘 华 王 锋 周晓磊 钱 谦 著

策划编辑: 叶枫红

责任编辑: 叶枫红

封面设计: 刘文娟

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 昆明彩邦印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 11.875

字 数: 220 千

版 次: 2013 年 2 月第 1 版

印 次: 2013 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5482 - 1412 - 0

定 价: 39.00 元

社 址: 昆明市翠湖北路 2 号云南大学英华园 (邮编: 650091)

电 话: 0871 - 65031071 65033244

网 址: <http://www.ynup.com>

E - mail: market@ynup.com

前 言

计算机发展的历史也是人机交互（Human Computer Interaction, HCI）方式不断改善的历史。人机交互是一个涉及心理学、社会学、人口学、文化以及生命健康等学科的综合交叉学科。随着计算机输入输出设备的不断更新，人机交互方式也不断地发生演变，人机交互的风格正朝着自然智能的交互方向发展。笔交互具有固有的非精确性以及较强的信息表达能力，这使得笔式用户界面作为一种自然用户界面快速发展起来。

尽管笔式界面为用户提供直观、自然的交互方式，但当前许多的笔式交互系统，如微软公司的 Tablet PC，基本上都在一个 GUI（图形用户界面）的环境中嵌入一些笔式交互元素，依然保留 Windows 界面的 WIMP（Window, Icons, Menus, Pointer）交互特征，而笔也仅仅是扮演了鼠标替代品的作用。在这样的笔式操作系统中，很多基于鼠标的 GUI 交互技术并不完全适应笔操作，在一定程度上束缚了笔的交互优势。针对目前笔式交互系统中存在的缺陷和不足，我们试图从研究笔的基本输入、输出交互特征入手，提出和测试基于笔交互特征的笔式交互技术。

本书共分 12 章，第 1 章主要介绍人机交互的相关概念、研究内容和发展历史等内容；第 2 章主要介绍笔式界面的基本概念、交互特征和发展历史等内容；第 3 章主要介绍人机交互中的人体工效模型，着重探讨了目标选择任务中的 Fitts' 法则等模型以及轨道滑动任务中的 Steering 法则等模型；第 4 章主要介绍了基于压力的画线任务应用实例以及相关的人体工效学问题，同时详细描述研究的实验实施过程和实验结论；第 5 章主要介绍了用户对笔倾角操作的控制能力的相关研究；第 6 章主要介绍了一种面向多点触控屏幕的目标选择技术的设计方法，同时描述了对该技术的评价实验和实验结论等内容；第 7 章主要介绍了基于笔式用户界面的目标选择技术的设计方法和评价；第 8 章主要介绍了两种基于笔压力的交互技术：变焦选择技术和压力滚动技术，同时介绍了相关的实验和研究结论；第 9 章主要介绍了三种应用在笔式界面上的多目标选择技术，同时描述了对这几种技术的实验和研究结

论；第 10 章主要介绍基于电子笔的书法模拟系统，阐述了电子钢笔的模拟实现过程；第 11 章主要介绍了如何在视频会议系统中将手写笔等多种模拟笔形引入到电子白板中；第 12 章主要介绍了笔 + 触控界面的交互策略，这部分研究还处于起步阶段；笔和触控输入具有很好的互补性，会给用户带来自然的交互体验。

本书第 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 和 12 章由殷继彬执笔，第 3 章由周晓磊（北京经济贸易大学）执笔，第 10 和 11 章由刘华执笔，王锋和钱谦在本书的撰写过程中给出了很多宝贵的建议和意见。本书受国家自然科学基金项目（61262042 和 61063027）资助。

由于时间仓促，书中欠妥和纰漏之处在所难免，恳请读者和同行不吝指正。

作者

2013 年 2 月

目 录

第 1 章 人机交互概述	(1)
1.1 人机交互的演化与发展	(1)
1.1.1 人机交互的定义	(4)
1.1.2 人机交互的发展历史	(5)
1.1.3 人机交互界面风格的演变	(7)
1.2 人机交互中的人—机—环境关系	(12)
第 2 章 笔式用户界面概述	(18)
2.1 背 景	(18)
2.2 笔式用户界面的发展趋势	(21)
2.3 笔式界面交互特征	(22)
2.4 人机交互关键任务的人体工效模型	(30)
2.4.1 Fitts' law 模型	(30)
2.4.2 Steering law 模型	(31)
第 3 章 人机交互中的人体工效模型	(37)
3.1 引 言	(37)
3.2 目标获取任务中速度—精度折中的研究	(38)
3.2.1 Woodworth(1899)——关于速度—精度折衷现象的最早的 研究	(38)
3.2.2 Fitts' 法则及其扩展研究	(39)
3.2.3 ID_e 模型	(41)
3.2.4 SH - 模型	(42)
3.2.5 Schmidt 法则与刺激变异模型	(43)

3.2.6	Power 法则与随机优化子运动模型	(44)
3.2.7	窥视孔点击运动模型和魔术镜头点击运动模型	(45)
3.2.8	点击任务中的出错率模型	(46)
3.3	轨道滑动任务中速度—精度折中的研究	(46)
3.3.1	Steering 法则及其扩展研究	(46)
3.3.2	Crossing 模型	(48)
3.3.3	CLC 模型	(49)
3.3.4	基于时间约束的轨道滑动任务模型	(49)
3.4	结论与展望	(50)
第4章	用户在画线任务中控制笔压能力的研究	(55)
4.1	引言	(55)
4.2	基于压力的画线任务应用实例以及相关的人体工效学问题 ..	(56)
4.2.1	具有不同交互状态的画线技术	(56)
4.2.2	笔压滚动条技术	(56)
4.2.3	压力笔画命令	(56)
4.3	相关研究	(58)
4.4	实验1	(59)
4.4.1	被测试者	(59)
4.4.2	实验设备	(59)
4.4.3	第一部分	(59)
4.4.4	第二部分	(61)
4.5	实验2	(61)
4.5.1	实验设计与操作规程	(61)
4.5.2	实验结果	(63)
4.6	实验3	(64)
4.6.1	Steering law 和实验任务设计	(66)
4.6.2	实验设计与执行	(66)
4.6.3	实验结果	(67)
4.7	结论与分析	(69)

第 5 章 用户对笔倾角操作的控制能力	(73)
5.1 引 言	(73)
5.2 相关工作	(74)
5.3 实 验	(75)
5.3.1 实验目的	(75)
5.3.2 实验器材	(75)
5.3.3 实验人员	(75)
5.3.4 实验任务	(75)
5.3.5 目标选择技术	(77)
5.3.6 实验设计及操作步骤	(78)
5.3.7 实验结果	(79)
5.4 讨 论	(82)
5.4.1 问题讨论	(82)
5.4.2 基于角度的用户界面的设计准则	(83)
5.5 笔倾角技术	(84)
第 6 章 一种面向多点触摸桌面的目标选择技术的研究	(88)
6.1 引 言	(88)
6.2 杠杆光标技术的设计原理	(89)
6.3 实 验	(90)
6.3.1 实验设计	(91)
6.3.2 实验结果	(92)
6.4 结 论	(93)
第 7 章 光束光标:基于笔式用户界面的目标选择技术	(96)
7.1 引 言	(96)
7.2 相关工作	(97)
7.2.1 放大目标或减少距离	(97)
7.2.2 其他选择技术	(99)
7.2.3 光束光标的设计与实现	(99)
7.3 实验 1	(102)

7.3.1 设 备	(102)
7.3.2 参与者	(103)
7.3.3 实验设计与执行	(103)
7.3.4 结 论	(104)
7.4 实验2	(105)
7.4.1 设 备	(106)
7.4.2 参与者	(106)
7.4.3 实验设计与过程	(106)
7.4.4 实验结果	(107)
7.5 讨论与总结	(109)
第8章 基于压力的变焦选择技术和压力滚动技术	(113)
8.1 引 言	(113)
8.2 相关工作	(114)
8.2.1 关于压力的相关工作	(114)
8.2.2 关于精确选择技术的相关工作	(114)
8.2.3 关于滚动技术的相关工作	(115)
8.3 基于压力的技术	(115)
8.3.1 在笔式接口中像素级目标的基于压力的变焦选择技术 (ZWPS)	(115)
8.3.2 压力滚动技术	(117)
8.4 实验1:ZWPS	(119)
8.4.1 实验设备	(119)
8.4.2 参与者	(119)
8.4.3 实验任务设计与执行	(120)
8.4.4 设 计	(120)
8.4.5 实验结果	(121)
8.5 实验2:压力滚动	(124)
8.5.1 参与者	(124)
8.5.2 设 备	(124)

8.5.3 设计与过程	(124)
8.5.4 结 果	(125)
8.6 结 论	(127)
8.6.1 ZWPS	(127)
8.6.2 压力滚动技术	(127)
第9章 三种新颖的线式选择技术	(130)
9.1 前 言	(130)
9.2 相关工作	(131)
9.3 新颖的多目标选择技术的设计	(132)
9.4 实验1:在笔输入设备下四种选择技术的比较	(134)
9.4.1 测试人员	(134)
9.4.2 实验设备	(134)
9.4.3 实验任务与设置	(134)
9.4.4 实验设计	(136)
9.4.5 实验结果	(137)
9.5 实验2:在鼠标输入设备下三种选择技术的比较	(141)
9.5.1 测试人员	(141)
9.5.2 实验设备和实验任务	(142)
9.5.3 实验结果	(142)
9.6 分析和总结	(143)
第10章 电子笔书法模拟系统的研究	(148)
10.1 背 景	(148)
10.2 电子钢笔的压感优化数学模型的探讨	(149)
10.2.1 电子钢笔书写绘画的压感要求	(149)
10.2.2 电子钢笔压感优化数学模型及其实验结果	(149)
10.3 电子钢笔模拟手写笔迹的实现	(150)
10.3.1 手写钢笔的物理特性及实验	(150)
10.3.2 钢笔运笔方式及笔迹要素的分析	(150)
10.3.3 电子钢笔的计算机模拟实现	(152)

第 11 章 视频会议系统中手写笔共享通道技术	(154)
11.1 概 述	(154)
11.1.1 视频会议系统	(154)
11.1.2 本章的主要研究内容	(155)
11.2 系统设计与实现策略	(156)
11.2.1 系统设计	(156)
11.2.2 电子白板系统	(157)
11.2.3 系统的开发策略	(158)
11.3 书写板与计算机间的接口	(158)
11.4 多种笔型网络传输的实现	(159)
11.4.1 利用 Netmeeting SDK 建立数据通道	(159)
11.4.2 笔型的传输	(163)
第 12 章 笔 + 触控界面的交互策略	(166)
12.1 国内外研究现状及发展动态分析	(167)
12.2 笔 + 触控界面的交互策略和关键人因问题	(170)
12.2.1 新型基于笔 + 触控的混合手势的设计策略及关键人因 问题	(170)
12.2.2 笔 + 触控界面基本交互策略和认知心理问题	(172)
12.2.3 笔 + 触控交互关键任务的人体工效模型的研究	(174)
12.3 研究意义	(177)

第 1 章 人机交互概述

1.1 人机交互的演化与发展

计算机作为 20 世纪的一项伟大发明正在给 21 世纪人类生活的方方面面带来深刻的影响（董士海 2004）。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（Human Computer Interaction, HCI）方式不断改善的历史。微软视窗系统以及苹果公司 iPad 等系列产品的巨大商业成功印证了人机交互在计算机应用过程中所扮演的重要作用。HCI 技术是当前信息产业竞争的一个焦点，世界各国都将 HCI 技术作为重点研究的一项关键技术。美国总统信息顾问委员会的“21 世纪信息技术报告”中明确将“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。HCI 已演变成一个涉及人口学、心理学、社会学、文化以及生命健康等学科的综合交叉领域。纵观 HCI 的发展历史，人机交互具有鲜明的时代特征。

人们对人机系统关系的认识问题，伴随着人机关系基本观点的变化由来已久。在计算机出现后的数十年的时间里，人机交互技术经历了巨大的变化。以下从几个不同的角度来观察和总结人机交互技术发生的变化及发展趋势：

（1）就用户界面的具体形式而言，过去经历了批处理、联机终端（命令接口）、（文本）菜单等多通道—多媒体用户界面和虚拟现实系统。

（2）就用户界面中信息载体类型而言，经历了以文本为主的字符用户界面（CUI）、以二维图形为主的图形用户界面（GUI）和多媒体用户界面，计算机与用户之间的通信带宽不断提高。

（3）就计算机输出信息的形式而言，经历了以符号为主的字符命令语言、以视觉感知为主的图形用户界面、兼顾听觉感知的多媒体用户界面和综合运用多种感官（包括触觉等）的虚拟现实系统。在符号阶段，用户面对

的只有单一文本符号，虽然离不开视觉的参与，但视觉信息是非本质的，本质的东西只有符号和概念。在视觉阶段，借助计算机图形学技术使人机交互能够大量利用颜色、形状等视觉信息，发挥人的形象感知和形象思维的潜能，提高了信息传递的效率。早期的计算机系统只有单调的蜂鸣声，虽然多媒体技术将声频形式和视频形式同时带入人机交互，但仍缺少听觉交互手段，即人处于被动收听状态，声音缺少位置和方向的变化，交互输入方面仍沿用图形用户界面所采用的键盘和鼠标器等交互设备。当前，在人机交互中结合进视觉的、听觉的以及更多的通道是必然趋势，特别是将听觉通道作为补充的或替换的信息通道已显示出重要性和优越性。

(4) 就人机界面中的信息维度而言，经历了一维信息（主要指文本流，如早期电传式终端）、二维信息（主要是二维图形技术，利用了色彩、形状、纹理等维度信息）、三维信息（主要是三维图形技术，但显示技术仍以利用二维平面为主）和多维信息（多通道的多维信息）空间。

不论从何种角度看，人机交互发展的趋势体现了对人的因素的不断重视，使人机交互更接近于自然的形式，使用户能利用日常的自然技能，不需经过特别的努力和学习，认知负荷降低，工作效率提高。这种“以人为中心”的思想，特别是自 20 世纪 80 年代以来，在人机交互技术的研究中得到明显的体现。如图 1-1 所示，人机交互的风格从命令行用户界面阶段逐步发展到以“所见即所得（WYSIWYG）”为特征的图形用户界面（Graphic User Interfaces, GUIs）阶段，目前正朝着自然智能的交互方向发展。用户界面设计已经从“以技术为中心”发展到“以用户为中心（User Centered Design, UCD）”的新阶段（付永刚等 2005）。

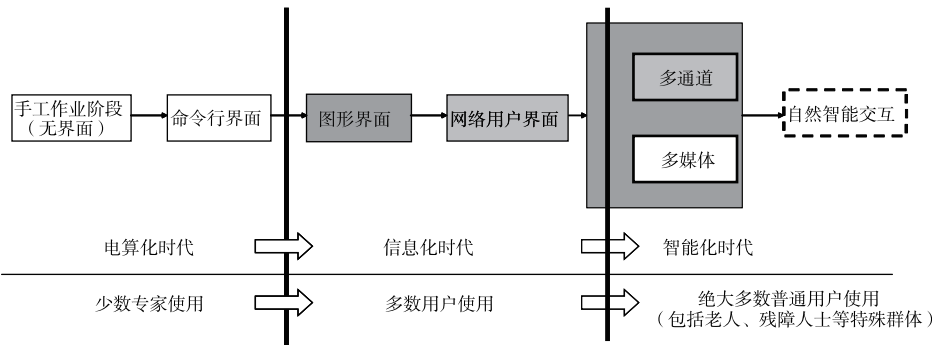
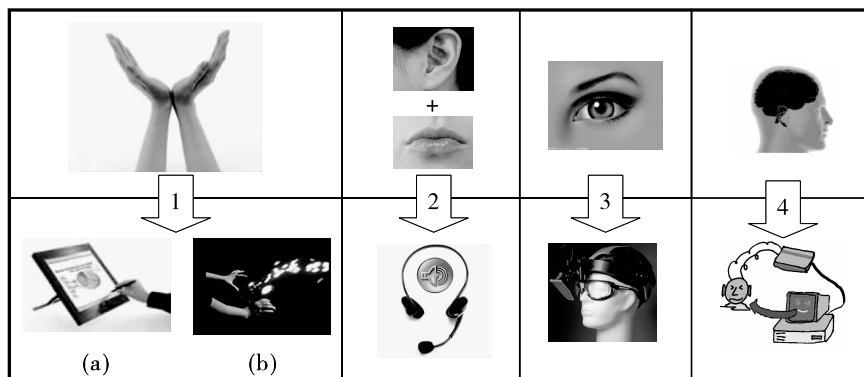


图 1-1 人机交互阶段的演化



(1) 基于手动的交互方式，除了传统的鼠标、键盘交互，还包括 (a) 笔式交互和 (b) 多点触控交互等。有时触觉系统也参与到交互过程中；(2) 语音交互方式；(3) 视线交互方式；(4) 脑机交互方式 (BCI)

图 1-2 参与人机交互的人体官能系统及其对应的交互方式

在电算化时代，计算机主要是少数研究者手中的高性能计算工具，命令语言需要用户惊人的记忆力和大量的训练，并且出错率较高，因此将很多普通用户拒之门外。随着计算机软硬件技术的发展，计算机应用系统的功能变得日益强大，计算机从单纯的计算工具转变为应用于各行各业的信息处理工具，推动社会全面进入信息化时代；并且伴随着图形用户界面的普及，个人电脑 (Personal Computer, PC) 进入了普通用户群体。然而，计算机信息处理、输出能力的强大与用户输入能力的有限形成了强烈反差，输入输出严重不平衡，成为人机交互的主要瓶颈。因此，这一时期的人机交互研究更多地将注意力集中在从人到计算机的信息输入方向上。如何设计有效的计算机输入设备和输入技术，有效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。正因如此，一大批新型交互设备、交互技术、交互范例应运而生，如图 1-2 所示，使得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。其中，基于手动操作的笔式交互和多点触控交互因其具有操作直观、自然的特点，一直被认为是很有前景的交互方式。笔式交互将人类数千年书写习惯特征引入到具体的计算机交互操作中，在传统的物理笔“直接操作”方式基础上融合了电子笔感知的“笔压”和“握笔姿态”等信息输入模态 (Input Modality)，进而拓宽了笔通道的输入带宽 (Input Bandwidth)。触控交互 (Multitouch Interaction) 依然继承了“直接操作”

的直观优势,并且在信息输入的环节上直接利用手指而不需要其他额外的输入媒介,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(在手指与屏幕的接触过程中),触控交互中的固有属性给用户带来了更多的真实体验。同时多点触控支持双手交互(Bimanual Interaction),这使得人类在现实生活中习得的劳动技能和操作技巧可以渗透到多点触控交互中。

自从自然交互界面(NUI)的概念提出以来,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。人机交互的发展日新月异,尽管WIMP界面依然占据着市场的主要份额,但WIMP界面的缺点也日益显现出来,如用户的注意力必须不停地在任务和界面元素之间切换,不能利用人们丰富多彩的感知和动作器官,无法在信息空间和物理空间之间建立自然的映射等。计算机技术的日渐成熟和WIMP固有的缺点激励着人们去思考一种全新的界面范式。与此同时,随着计算机用户群体的急剧扩张,用户对人机交互方式改善的呼声越来越高,其主要需求可以概括成几个关键词:“自然、直观和智能”。智能化时代在这样的背景下悄然而至。

1.1.1 人机交互的定义

人机交互是一个涉及计算机、人体工效学、认知学、心理学等多学科的领域,20世纪90年代初人机交互技术日趋成熟,对人机交互有了学术的定义与解释。美国ACM组织下的人机交互特别兴趣小组ACMSIGCHI给出的定义为:人机交互是一个关于人类对交互式计算系统的设计、评估与实现以及相关领域研究的学科。Dix在*Human Computer Interaction*一书中认为,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使用。Preece在*Human Computer Interaction*一书中提出: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。计算机作为一种人类的高级工具,是人们探索世界、进行生活和生产的延伸。对人机交互的广泛研究,提供了对人的交互意图和相应的生理限制、计算机性能和限制以及相关知识的描述,帮助人们完成以前无法做到的任务。人机交互的另一个主要目的是提高用户与计算机之间的交互质量,使用户更加容易掌握和使用这种技术。人机交互研究的范畴包括:人机交互模型、计算机使用的上下文、人的属性、交互设备和交互技术、计算机系统和交互架构、开发过程和方法、可行性设计和评估等。

1.1.2 人机交互的发展历史

人机交互研究和开发工作的主要动力是计算机的普及和应用计算技术的不断发展。当新的技术（例如 Internet）快速发展后，研究人员立即进入这些领域并且研究如何利用新技术，使之最有效地被人所使用。同时，如果人机交互学的研究能够拉动技术的发展，那么这种研究将更有意义。计算机应用的历史也就是人机交互发展的历史。了解人机交互的发展历史，可以学习成功经验，帮助我们展望未来；理解人机交互的发展历史，可以避免重犯过去的错误。对一个领域中知识的掌握蕴含着对该领域历史的理解和认同。

在 20 世纪 80 年代以前，计算机主要的应用是通过大型机来提供，许多人共用一台计算机。人们要用计算机，需要到公用机房，这种方式给计算机的使用带来很多的不便，计算机主要还是应用在实验室或者科研部门。从 80 年代开始，计算模式从大型机向 PC 机转移，进入了桌面计算时代；计算机能够处理的对象也从数符号、文字增强到多媒体信息，计算机逐渐进入到办公室、家庭中。目前正在进入普适计算时代。普适计算是 21 世纪的计算模式，普适计算模式就是要颠覆“人使用计算机”的传统方式，将人与计算机的关系改变为“计算机为人服务”。

从某种意义上说，人机交互界面是让人与计算环境更好地融合在一起。早期计算机到大型机的进化过程中，计算机内部结构（硬件和软件体系）的发展起到了主要推动作用。如 1904 年 John Ambrose Fleming 发明真空管和二极管，1947 年 Bardeen, Brattain 和 Shockley 发明晶体管，1958 年 Jack Kilby 发明集成电路，1946 年 Von Neuman 提出微处理器体系结构等。同时，一些基于大型机的应用也起到了推动作用，如 1943 年为美国海军计算弹道火力表的 MarkI，1946 年主要为计算弹道和研制氢弹而设计的 ENIAC。在这个阶段，计算机的主要目的是用来进行计算，完成一个自动化的计算过程，人机交互技术尚未产生。20 世纪 80 年代个人计算机诞生，人机交互技术和计算机技术在它们的发展过程中起着相互促进的作用，交互范式的变迁促进了新技术的革命，新技术的革命导致交互范式的变迁。交互范式的变迁是发生新的应用革命的根本原因，正是桌面计算范式的产生才促使个人电脑得到普及。在计算机从大型机到 PC 机的进化过程中，一方面人机交互技术自身不断发展、成熟，另一方面对 PC 机的进化过程起到了第一推动力的作用。

现在个人计算机已进入家庭，人们对它的很多特点已习以为常。它具有直接操作和所见即所得的用户界面，可以辅助用户完成绘画、写作等任务；

它还可以联网来提供发送接收电子邮件、连接数据库、打印等服务。实际上早在 30 多年前施乐 PARC 就提出了计算机应具有的这些特点。当今所流行的个人计算机的核心思想和技术是在 20 世纪六、七十年代提出和发展的。三种力量在 PC 机的发展过程中起到了巨大的推动作用：一是人机交互的思想，二是交互设备和原型，三是应用系统。1963 年 MIT Sutherland 的博士论文开发了一个称为 Sketchpad 的系统，包含了人机交互的光辉思想。Sketchpad 可以通过使用手持物体（如光笔）直接在显示屏幕上创建图形图像，并对图形进行抓取、移动、改变大小等操作，可视的图形随即被存入计算机内存，它们可以被重新调用，并同其他数据一样可以进行后期处理。虽然今天我们把这些看成是理所当然的，但 Sketchpad 是第一个可以在显示屏幕上直接构造图形图像的系统。1982 年马里兰大学的 Ben Shneiderman 创造“直接操作”一词并建立了直接操作的心理学基础。第一批广泛应用直接操作的商业化系统有 Xerox Star（1981）、Apple Lisa（1982）和 Apple Macintosh（1984）。鼠标是 1965 年由斯坦福研究院 Doug Engelbart 发明的，当时的主要目的是取代昂贵的光笔。1968 年 Doug Engelbart 应邀参加在旧金山举行的关于人机交互的一次电脑会议，他拿出了许多令人吃惊的绝活：视窗、超媒体、群件，还有鼠标。这也是鼠标第一次作为“点击工具”公开亮相。作为商业化应用，鼠标首次出现在 Xerox Star（1981）、三河计算机公司的 PERQ（1981）、Apple Lisa（1982）和 Apple Macintosh（1984）中的视窗。1968 年 Doug Engelbart 公开演示了平铺多视窗的系统，斯坦福大学和 MIT 在 1974 年就开展了早期的平铺视窗研究工作。1969 年 Alan Kay 在他的博士论文中提出了覆盖视窗的思想，并于 1974 年在他的 Smalltalk 系统中实现。最早将视窗应用到商业化系统中的是从 MIT 人工智能实验室孵化出的 LMI 和 SLM 公司（1979）。施乐 PARC 的 Cedar（1981）是第一个主流的平铺视窗管理器，不久 CMU 的信息技术中心开发了 Andrew 视窗管理器。广泛使用视窗的商业化系统的是 Xerox Star（1981）、Apple Lisa（1982）和 Apple Macintosh（1984）。早期的 Star 和微软视窗系统都是采用平铺视窗系统，后来都采用了像 Lisa 和 Macintosh 一样的覆盖视窗系统。目前已是国际标准的 X 视窗系统是 1984 年在 MIT 研究开发的超文本。超文本的思想是由 Vannevar Bush 1945 年在他构想著名的 MEMEX 设备时提出来的。1965 年 Ted Nelson 创造“超文本”一词。1965 年斯坦福研究院的 Engelbart 在开发 NLS 系统时广泛使用了链接。1970 年的 NLS 期刊是最早的在线期刊之一，而且包含全文链接。由 Andy van Dam 和 Ted Nelson 等人开发的超文本编辑系统在当时也