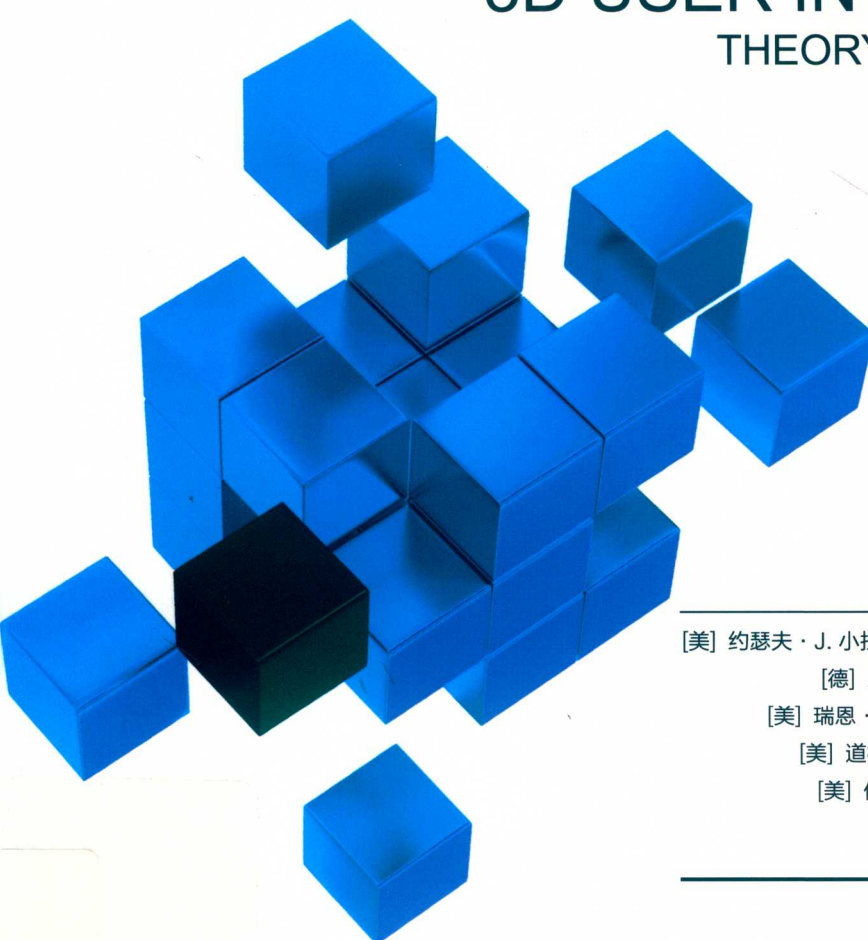


3D用户界面 设计与评估

(原书第2版)

3D USER INTERFACES
THEORY AND PRACTICE
(Second Edition)



[美] 约瑟夫·J. 小拉维奥拉 (Joseph J. LaViola Jr.)

[德] 恩斯特·克鲁伊夫 (Ernst Kruijff)

[美] 瑞恩·P. 克马汉 (Ryan P. McMahan) 著

[美] 道格·A. 鲍曼 (Doug A. Bowman)

[美] 伊凡·普彼列夫 (Ivan Poupyrev)

钱冰沁 译



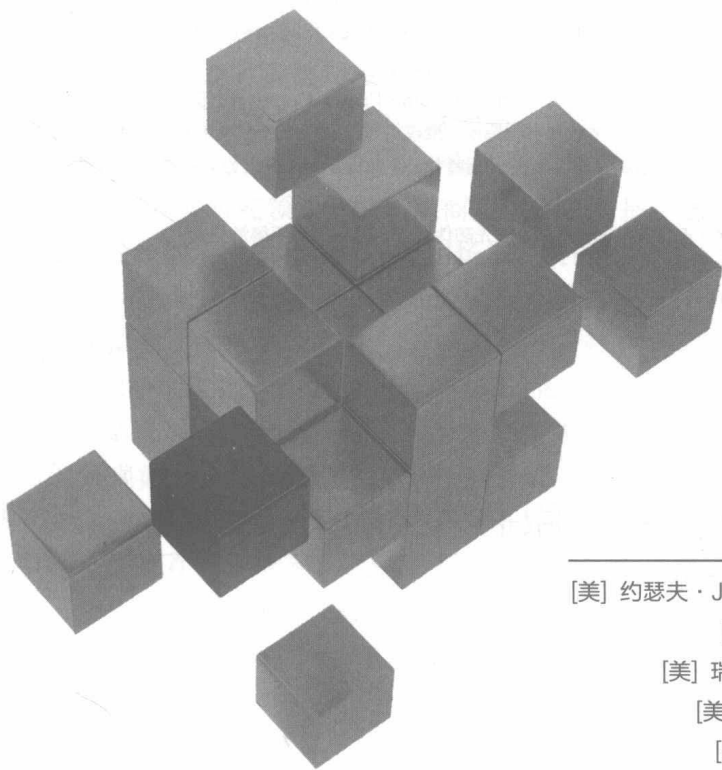
机械工业出版社
China Machine Press

3D用户 界面设计与评估

(原书第2版)

3D USER INTERFACES
THEORY AND PRACTICE

(Second Edition)



[美] 约瑟夫·J. 小拉维奥拉 (Joseph J. LaViola Jr.)

[德] 恩斯特·克鲁伊夫 (Ernst Kruijff)

[美] 瑞恩·P. 克马汉 (Ryan P. McMahan) 著

[美] 道格·A. 鲍曼 (Doug A. Bowman)

[美] 伊凡·普彼列夫 (Ivan Poupyrev)

钱冰沁 译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

3D 用户界面设计与评估 (原书第 2 版) / (美) 约瑟夫·J. 小拉维奥拉 (Joseph J. LaViola Jr.) 等著; 钱冰沁译. —北京: 机械工业出版社, 2019.3

(UI/UE 系列丛书)

书名原文: 3D User Interfaces: Theory and Practice, Second Edition

ISBN 978-7-111-62002-0

I. 3… II. ①约… ②钱… III. 人机界面—程序设计 IV. TP311.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 032060 号

本书版权登记号: 图字 01-2017-4112

Authorized translation from the English language edition, entitled 3D User Interfaces: Theory and Practice, Second Edition, ISBN: 9780134034324 by Joseph J. LaViola Jr., Ernst Kruijff, Ryan P. McMahan, Doug A. Bowman, Ivan Poupyrev, published by Pearson Education, Inc, Copyright © 2017 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press, Copyright © 2019.

本书中文简体字版由 Pearson Education (培生教育出版集团) 授权机械工业出版社在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 独家出版发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

本书封底贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

3D 用户界面设计与评估 (原书第 2 版)

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 冯秀泳

责任校对: 李秋荣

印 刷: 北京诚信伟业印刷有限公司

版 次: 2019 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm × 240mm 1/16

印 张: 30

书 号: ISBN 978-7-111-62002-0

定 价: 129.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379426 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

译者序

说起 3D 交互和人造现实的历史，最早可以追溯到 20 世纪 30 年代，美国作家斯坦利·G·温鲍姆首次在他的小说《皮格马利翁的眼镜》中提出这一概念，而当时人们都将其视为科幻故事，简直是异想天开。而近期引发人们关注 AR/VR 技术的则是 2014 年，Facebook 用 30 亿美元收购了 Oculus 公司。该消息传出后，新一轮 3D 热被点燃。这时人们才发现，原来对 3D 交互的研究与向往从来都没有停止过。同年，随着 Google Glass 的面世，3D 交互从研究领域开始迈入商业运作。只是在之后的短短几个月内，由于软件技术、硬件设备的不成熟和对用户使用场景定义的不明确，让这次商业版的 3D 交互遭遇滑铁卢，但人们也并未放弃这一领域，只是重新调整了方向，转入企业研究。现如今，3D 交互、虚拟现实和增强现实在制造业、医疗、教育及军事行业中大放异彩。同样地，在这近 10 年的时间里，苹果、微软、Facebook 等公司也从未放弃对 3D 交互的研究，它们正在逐渐结合 AI、大数据等新科技，力求在软硬件方面都有更大的突破。

但是现如今，抬眼望去，市场上每天都有大量分析 3D 交互、VR、AR 市场未来走势的文章和书籍面世，这些不同的声音和预测让人激动不已，但也令人稍许不安，因为似乎每个人都在市场调研、软硬件技术的改进、未来规模化方面投入了大量的精力，而鲜有人关注到，当真正落地到 3D 交互界面时，该如何设计与评估，设计师与其他相关从业人员又该如何下手、需要注意些什么。从这个角度来讲，本书的出现就如及时雨一般。

本书第 1 版于 2008 年出版，它不同于时效性较强的市场分析报告与深奥的科技研究论文，而是站在 3D 交互的设计角度，通过大量的研究与实践，深入浅出地讲述 3D 交互的发展历史、基本原则和设计评估方法。而 10 年后的今天再版时，作者重新整合出版内容，撰写新内容，增加了全新的两章。本书的第二部分探讨了人体因素与人机交互的基础，深刻剖析了人类在生理、感知和认知方法方面对 3D 交互的影响，而这些正是设计 3D 交互必不可少的。同时本书还增加了两个真实案例，一款 VR 游戏，一款移动式 AR

应用，并将其贯穿全书的始终。

细细算来，完成本书的翻译也两月有余了，一直都在揣摩该如何向大家介绍这本书。因为在我眼里，对任何一个想要了解 3D 交互或正在从事 3D 交互相关工作的人来说，本书都算得上是一本不可多得的百科全书。而我更是何其有幸可以在第一时间接触它，将它翻译成中文，让更多的人认识它，并从中受益。

第2版序

回想起本书第1版的出版就好像还是昨天的事情，然而，这个“昨天”却已经是十几年以前了。而我也正好赶上了用它作为3D用户界面课程的教材，从那以后我一直在教这门课程。而本书的第1版也是首部针对3D用户界面的书籍，它雄心勃勃并大获成功，对于这一领域，更是一个及时并广受欢迎的礼物。本书是一个积极从事前沿研究团队的作品，而这个团队也通过开发一系列教程来编纂并逐步完善他们的著作。

正如 Jim Foley 在第1版的序中写道：“3D用户界面的时代终于到了！”但是，尽管当时这令人兴奋，但随后的岁月带来了更令人振奋的进步。当我在撰写本序言时，虚拟现实正在成为用户的现实，只要用户系上连接台式电脑的头戴式显示器和由手机驱动的可移动头戴式显示器就可以。这些显示器在许多方面都大大优于本书第1版出版时在研究实验室里的昂贵系统。同时，手持式增强现实游戏也已经风靡全球，被下载了数亿次。早期的商用头戴式增强现实显示器也已经被那些急切的开发者掌握在了手中。

简单地说，3D交互所需的处理和显示技术现在已经非常普遍了。目前智能手机的图形能力已经与十几年前（本书第1版出版时）首次亮相的全尺寸游戏机相当，而且越来越多的智能手机中集成了用于准确追踪手机或用户头部3D位置和方向的硬件与软件来捕获全手和身体姿势。现在甚至连智能手表也可以运行3D应用了。

但是，在这个令人兴奋的3D大众化过程中，存在一个问题。其实强大的处理器、高性能显示器、响应式交互设备和高效的软件本身都不足以使3D变得有用。这些技术需要以正确的方式结合，才能创建出有效的3D用户界面。然而，绝大多数用户界面设计师和开发人员只熟练掌握并习惯使用2D用户界面。对于3D用户界面，他们又可以做些什么呢？

这就是本书出版的缘由。Joseph LaViola、Ernst Kruijff、Doug Bowman 和 Ivan Poupyrev 是第1版的作者，之后 Ryan McMahan 也加入了。他们为我们带来这本进行了大量更新的第2版，这一版提供了了解当前3D用户界面及其构建的软件和硬件所需的全

面背景。像第 1 版一样，第 2 版也会教读者如何设计、实现和评估 3D 用户界面，总结并分类这数十年不间断的研究和实践。新增的两个扩展的应用案例研究将贯穿整本书，为如何在概要设计、显示器、输入设备、交互技术和评估方法等方面做出正确选择提供相应的示例。

3D 用户界面中使用的许多技术与 2D 中使用的技术不同，它们没有经历同等级的标准化，仍在蓬勃发展。但都有一个不变的因素：人。认识到这一点后，作者用了几个重要章节来讨论感知、认知、物理基础和如何与 3D 世界交互的人机交互原理。以了解用户为原则有助于指导我们设计出有效的 3D 用户界面，以实现用户能力并尊重设计边界。

我期待着能在哥伦比亚大学的课程中使用本书第 2 版。无论你是经验丰富的研究人员或从业者，还是刚刚转行 3D 交互的新人，都可以享受其中！

Steve Feiner

哥伦比亚大学计算机科学系

2017 年 1 月

第 1 版序

3D 用户界面的时代终于到了！早在 20 世纪 60 年代，Ivan Sutherland、Bob Sproull、Fred Brooks、Andrew Ortony 和 Richard Feldman 等研究人员便开创了关于 3D 交互与显示的研究。虽然现在有许多成功的商业 3D 应用（例如，计算机辅助设计和仿真、放射治疗、新药研发、仿真手术、科学和信息可视化以及消遣娱乐等），也有日渐丰富的研究成果、原型系统和产品，但是仍然没有人或组织专门为此主题编写过一份全面而权威的著作。

这是为什么呢？为什么由 Doug Bowman、Ernst Kruijff、Joseph LaViola 和 Ivan Poupyrev 编写的这本书会成为第一本针对 3D UI 的书籍呢？

也许是因为在过去 20 年中，我们逐渐开始解析温普（WIMP, Windows, Icons, Menus, and Pointers）图形用户界面（GUI）之外的界面。毕竟，数百万的用户都在广泛地使用温普，一种融合了窗口、图标、菜单和鼠标点击的 GUI。Mac OS、Microsoft Windows 和许多 UNIX 用户都对它十分了解。事实上，每个登录网页的用户都在使用 GUI，这个人数已达数亿。2D GUI 仍将伴随我们很长一段时间。毕竟，我们的很多工作环境仍然是平面的，不仅仅是网页，还有文档、演示文稿和电子表格等。虽然其中一些的确可以扩展为 3D 形式，但大多数时候，2D 就已经足够了。此外，2D UI 的点击、选择和打字也相对较快，并且一般不会出错，表现非常好。

也许是因为使用 3D GUI 的用户不如使用 2D WIMP GUI 的人多，所以它们还没有被认为与 2D GUI 同等重要。但是，上面提及的 3D 应用却都是涉及数十亿美元价值的制造业，如航空航天行业和汽车制造业。在保护和挽救生命的医疗与健康产业中，其价值一样巨大，甚至更为重要。

也许是因为我们需要 Doug、Joseph、Ivan 和 Ernst 引入这些特定的背景知识。Doug 来自于佐治亚理工大学的 GVV 中心，在那里与 Larry Hodges 等人一起关注 3D UI，并全面学习了用户研究和实验所能带来的价值，他现在已经是在弗吉尼亚科技大学中颇具影

响力的 HCI 组的成员。Joe 在布朗大学与 Andy van Dam 合作, 而 Andy 更是一位拥有丰富经验的 3D 交互拥趸。Ivan 来自华盛顿大学 HIT 实验室, 与 Tom Furness 和 Suzanne Weghorst 都有过合作, 现在在索尼计算机科学实验室与 Jun Rekimoto 合作。Ernst 则与 Martin Goebel 一起在德国 Fraunhofer IMK 的 VE 集团工作。

无论如何, 我很高兴这个团队每个人都分享了很多他们的研究成果和经验。当审校本书的手稿时, 我想到了这样一些词语: 全面、百科全书、权威性、分类学; 基于心理学、人机交互、人体因素和计算机图形学文献; 基于作者、他们的老师和他们的学生的研究经验。

而我自己长期以来也在宣扬将计算机研究与人类学研究相结合的重要性。事实上, 这更我在佐治亚理工大学建造 Gvu 中心的出发点。本书也体现了这一点, 其中有大量关于 3D 导航和交互的人类学问题讨论, 这些都需要引用心理学和人体因素学。

实际上, 这是一本给从业者和研究人员的书。它包含了广泛的文献综述、实例和指南, 可以帮助我们理解现在需要做什么。结合第 13 章(本版中是第 12 章)中的研究议题, 这些资料还有助于我们理解还有什么是我们不知道的。

这里我要特别推荐第 11 章中有关评估 3D UI 的讨论。在计算机图形界面设计中倾向于将设备、技术与用户分离, 这是一条不可取的道路。仔细研究与评估用户需求应该是设计环节中不可或缺的一部分, 之后才可能产生出更加有效的技术方法。本书所有的作者都从各种第一手的经验中了解到, 这在 3D 界面中是非常重要的艰巨任务。11.4 节探讨的有关 3D 界面评估过程中与众不同的特征, 就是对这些第一手知识的精彩总结。

衷心感谢 Doug、Ernst、Joseph 和 Ivan!

Jim Foley

佐治亚理工大学计算机学院 Gvu 中心

2004 年 3 月

第2版前言

自本书第1版出版，迄今已经有10多年了。在这段时间里，这一领域发生了不少变化。虽然第1版获得了大家的高度评价，但是在此之前，3D用户界面的发展一直都局限在大学和一些工业研究实验室中。然而，在过去的这10年里，随着硬件和软件的技术突破，商业领域已经开始将虚拟现实和增强现实显示器、移动设备、游戏操纵杆甚至机器人平台投入市场，因此就更需要3D用户界面技术能在众多应用领域中提供强大有效、引人入胜的用户体验。与此同时，由于这些硬件和软件的商业化，那些从事3D用户界面研究的大学研究实验室也得以焕发生机，也开始花更多的钱在学校里设立虚拟现实和增强现实实验室，让这些技术能够在研究生、大学生，甚至高中生中普及。这些发展都让本书的内容比以往任何时候都显得更加重要，对于众多的研究人员、开发人员、兴趣爱好者和学生来说，也更加实用。因此，我们相信此时正是出版本书第2版的好时机。

鉴于上面描述的变化，我们需要对本书进行大幅度的修改，不仅要反映读者（无论是新读者还是老读者）的当前需求，更需要更新材料，因为在这10年中有大量关于3D用户界面硬件与软件的研究投入实践。此外，由于3D用户界面几乎可以运用在任何地方，只要配合适当的传感器就可以确定某人或某物的位置、方向或空间运动，所以我们决定在这本书中不涉及任何具体的应用程序。在这个版本中我们做了一些调整，让本书更具有包容性与实时性，但同时也会保持它的优势，依然会从硬件和软件的角度来阐述3D用户界面，评估3D用户界面的技术与应用。

本书这一版分为六个不同的部分。其中第1版的3章——路径查找、符号输入和增强现实——不再作为独立的章存在；而是融合进本书的其他部分。在第二部分中增加了全新的两章，这样可以为读者理解之后有关3D用户界面的部分提供更加坚实的基础知识背景。我们还根据最新的研究进展与发现，使用全新的材料对每一章做出了适当修正。此外，从应用程序的发展角度来看，每章之间也应具有较好的连贯性。所以本书引入了两个正在运行的案例研究，一个是移动增强现实的应用，另一个是第一人称的虚拟现实

游戏应用。这两个案例研究的内容将会出现在本书第三部分至第五部分每章的结尾处，以便读者可以看到这些材料是如何运用在具体的应用中的，以及 3D 用户界面设计是如何在 3D 应用程序的每一处展现的。

在本版中，第一部分包括两章。第 1 章是对 3D 用户界面概念的介绍，第 2 章提供该领域的历史背景，并给出发展历程图，以及该领域如何与其他领域产生关联，同时，在该章中我们也将引入贯穿整本书的两个案例研究。第二部分则提供关于一般界面和特殊的 3D 界面在人体因素方面的背景资料，重点强调人类的感官系统和认知（第 3 章），总体介绍人机交互领域（第 4 章），这些可以作为我们了解本书后文中各种关于 3D 用户界面的概念与想法的基础知识。第三部分深入探究 3D 用户界面的硬件，包括针对视觉、听觉、触觉 / 味觉系统的输出设备（第 5 章）以及界面中使用的输入设备，特别强调如何获取用户在物理空间中的三维位置、方向和运动信息（第 6 章）。第四部分是本书的核心，将重点放在大多数 3D 用户界面中会使用的基本 3D 交互任务上。在这部分中，第 7 章阐述 3D 对象选择和操作的技术。第 8 章探讨通过虚拟空间和物理空间移动的导航与标识导向技术。最后，第 9 章重点介绍不同的系统控制技术，这些技术可用于更改应用程序状态，发出命令并为 3D 应用程序提供整体输入。第五部分描述 3D 用户界面设计与评估的策略，其中第 10 章探讨选择和开发的不同设计策略，第 11 章涵盖关于 3D 用户界面评估的重要部分，这是开发 3D 界面技术与应用程序的关键部分。最后，第六部分包含第 12 章，展望 3D 用户界面的未来，并讨论需要解决的开放式研究问题，以此来推动该领域的蓬勃发展。

与第 1 版相同，我们为设计师和开发人员提供了许多参考指南，这些指南都是非常实用的、经过检验的建议。指南样式如下所示：

小贴士

按照本书的指南可以帮助你设计出可用的 3D 用户界面 (UI)。

根据读者不同的目标与意图，本书第 2 版可以有很多使用方法。对于毫无人机交互经验的本科或研究生，这本书可以作为他们入门 3D 用户界面设计的教程。如果你有一些人机交互的知识，除了全书的第二部分之外，其余章节可以满足你深入研究更多 3D 用户界面细节的要求。

开发人员和 3D 应用设计师可以在本书中找寻 3D UI 的应用设计、实现和评估的灵感与指导。在设计过程中，开发人员可以从本书第三部分中挑选合适的硬件，从第四部分中选择具体的交互技术，从第五部分学习如何评估现有技术和应用，从第 10 章得知如何更好地设计应用程序。衷心希望开发人员，特别是从事虚拟现实和增强现实的开发人员，在设计程序时可以充分使用本书，避免事倍功半的结果。

最后，研究人员可以将本书作为相关工作和前期准备的百科全书，用来帮助他们了解这一领域至今所发生过的事情，促进他们拥有新奇的研究思路，激发他们获得灵感来解决 3D 用户界面的新问题，并帮助他们一站式地学习所有的 3D UI 知识。对于想要探索具有挑战性的问题的研究人员，本书的第 12 章将带给你特别的启发。

第1版前言

一位建筑师坐在家中的办公室，正对城市公园新入口的设计方案进行最后的调整。公园的3D虚拟模型呈现在她面前的办公桌上。她轻轻地向右推出一条小路绕开低洼地段，然后将模型放大至真实尺寸，沿着小路行走并观察效果。“入口标志的颜色太深，这样给人的感觉不太舒服。”她想着，很快将颜色换成了更明亮的原色。她抬头注意到来参加最终设计评审会的客户已经到了。虽然客户处在城市不同的办公室里，但他们都可以观看到这一3D模型，可以互相交流提出修改建议。“建筑规划是什么？”其中一位客户询问道。于是建筑师播放了一段项目从开始到结束的动画短片。此时有客户说：“第一步可能并不可行，你来看看，挖掘现场距现在的操场太近了。”他向自己的窗外看去，看到公园上覆盖着它的虚拟施工计划。“的确如此，”建筑师说道，“那我们将操场稍微移动一点点，这可比改变建筑物的位置便宜得多。”当看到改变后的效果之后，大家都认为这个计划可行，于是会议终止。

这个场景和其他类似的场景都说明了3D环境与应用具有巨大的潜力。其实目前已经有了实现这一愿景的技术，但还需要继续完善。这个场景也遗漏了大量信息——让梦想成真的关键信息。建筑师如何加载公园模型，又如何操纵她的视角？用什么技术来移动那条小路？多个客户如何同时操控模型？参与者又如何出现在虚拟空间中？如何控制动画播放的速度和重播？客户如何命令系统实现真实场景和虚拟场景融合？

这些问题都与用户界面和3D应用的交互技术有关，这个领域现在只在科幻电影和书籍中一笔略过。场景也通常假定用户和系统之间的所有交互都是“自然”的——运用类似直觉的手势和语音等技术，或者是“自动的”——系统需要足够聪明才能推断出用户的意图。但是这样的交互是否真实，是否可取呢？

本书讨论了3D UI设计的关键领域——一个寻求详细回答上述问题的领域，这有助于创建出实用且高效的3D系统而不是导致用户受挫、犯错甚至身体不适的3D系统。本书为开发人员提供实用信息、最新的研究成果、UI设计师易于遵循的指导原则以及相关

的应用实例。尽管已经有一些有关通用 UI 或是专门针对 2D UI 的书籍，但 3D UI 受到的关注较少。这一领域的研究结果分散在许多会议记录、期刊文章、单独章节和网站中。而这个领域应该有一本整合了最佳实践和最先进研究的参考和教学课本，这就是我们写这本书的原因。

写作背景

本书的故事开始于 1998 年 4 月，当时 Ivan Poupyre 和 Doug Bowman 分别是广岛大学和佐治亚理工大学的博士生，都在研究虚拟环境（VE）下对象操纵的 3D 交互技术。我们开始通过邮件，对 3D 设计、可用性技术和 3D UI 进行热烈讨论。而当时在华盛顿大学作为访问研究生的 Ivan 建议，如果能让这个新领域的其他研究人员也参与讨论的话，那将会变得更有价值，于是 3D UI 邮件用户列表就这样产生了。从那时起，全球有 100 多名研究人员加入到这个列表中参与讨论（访问 <http://www.3dui.org> 可以查看所有用户列表的通讯归档或者加入此列表）。Joseph LaViola 和 Ernst Kruijff 就是加入该列表的第一批用户。

同年 8 月，Doug 邀请列表中的用户在即将到来的 IEEE Virtual Reality 大会上发表演讲。经过一番讨论，Joseph、Ivan 和 Ernst 都同意和 Doug 一起组织一次主题为“3D 交互的艺术与科学”的演讲，这一演讲在休斯敦会议上取得了巨大成功。四人随后分别在 ACM Virtual Reality Software and Technology 1999、IEEE VR 2000、ACM SIGGRAPH 2000 和 2001 的大会中也就这一主题发表了演讲。

在这些演讲稿有了大量的内容扩充之后，我们认为如果不将这些内容完善并扩展成书，这一切都是毫无意义的。此外，实在无法在一天的演讲中将 3D UI 的所有信息都包含在内。这就是你今天能将这本书拿在手上的原因——这是一本包含了在其他任何单一资料里都找不到的 3D UI 信息的书籍。

致 谢

如果没有这些团队成员的努力工作、支持和智慧，这本书将不可能出版。

首先，要感谢那些为保证本书质量而倾尽时间与精力的审校人。是他们宝贵的意见与建议使这本书变得更加完整、更加易读、更加实用。在此感谢 Ben Shneiderman、Harry Hersh、D. Jay Newman、Jeff Pierce、Dieter Schmalstieg 和 Bob Zeleznik，特别感谢 Jim Foley 的鼓励与支持。

其次要感谢 Addison-Wesley 出版公司我们最初的编辑 Peter Gordon，感谢他提供了宝贵意见并给予我们鼓励。感谢出版第 1 版时的其他工作人员，包括 Bernie Gaffney、Amy Fleischer、Julie Nahil、Heather Mullane 和 Curt Johnson 的鼎力帮助。同样也要感谢 Simone Payment 和 Carol Lallier 在生产阶段专业尽职的工作。

还要感谢 Laura Lewin、Olivia Basegio 和 Susan Zahn 在本版生产过程中所做的工作。要知道升级一本书与出版一本新书相比，任务同样重要与艰巨！

最需要感谢的是 3D UI 社区的同事们，感谢他们参与了富有成果的讨论与合作，感谢 Mark Mine、Robert Lindeman、Matthew Conway、Ken Hinckley、Shumin Zhai、Kiyoshi Kiyokawa、Chris Shaw、Mark Billinghurst、Rudy Darke、Pablo Figueroa、Bernd Fröhlich、Steve Feiner、Wolfgang Stürzlinger、Martin Hachet、Yoshifumi Kitamura、Eric Ragan、Tobias Höllerer 和 Ravin Balakrishnan 等。

本书的部分材料由美国国家科学基金会（National Science Foundation，NSF）提供，但材料中涉及的任何观点、发现、结论或建议均来自作者，不代表 NSF。还有一部分材料源自美国海军研究所（Office of Naval Research，ONR），但材料中涉及的任何观点、发现、结论或建议均来自作者，不代表 ONR。

Joseph LaViola：在撰写本书第 1 版时，我还只是一名博士生。在过去的这 10 年中，我已经成了教授。但关于 3D 用户界面的研究，佛罗里达中央大学学生所做出的努力甚至比我自己还要多。因此，要感谢在交互系统和用户体验实验室工作过的学

生，感谢 Paul Varcholik、Emiko Charbonneau、Jared Bott、Salman Cheema、Jeff Cashion、Brian Williamson、Tad Litwiller、Andrew Miller、Arun Kulshreshth、Sara Buchanan、Travis Cossairt、Eugene Taranta、Corey Pittman、Kevin Pfeil、Andres Vargas、Seng Lee Koh、Conner Brooks、Michael Hoffman、Jim Crowley 和 Juliet Norton。同时也要感谢 Chad Wingrave，他是我的博士后，在实验室中研究 3D 用户界面。

还要感谢 Andries van Dam，他既是我的博士论文导师，更是我的同事和朋友。感谢他多年来指导我，并且为我制定目标。还要感谢我的妻子 Michelle、我两个美丽的女儿 Juliana 和 Josephine、我的爸爸妈妈、我的兄弟 Jamie 和我的其他家庭成员，感谢你们对我的关爱与鼓励，没有你们，我无法完成这样伟大的杰作。

我还要感谢布朗大学我现在及以前的朋友与同事，感谢 John Hughes、David Laidlaw、Robert Zeleznik、Daniel Keefe、Daniel Acevedo Feliz、Andrew Forsberg、Loring Holden、Tim Miller、Steve Dollins、Lee Markosian、David Karelitz、Tim Rowley、Christine Waggoner，以及布朗大学计算机图形小组的所有成员，感谢他们在本书第 1 版出版时提供的帮助。

最后，我要感谢与我合作本书的 Doug、Ernst、Ivan 和 Ryan，感谢他们在写作本书第 2 版时付出的友谊与协作精神。我们花了十多年来修订内容，现在几乎已经完成，在我看来，本升级版书对社会是非常有价值的。感谢他们为本书所付出的努力。

Ernst Kruijff：首先，我要感谢 Joseph、Ryan、Doug 和 Ivan，感谢他们与我默契的合作、热情的帮助和深入的讨论。其次要感谢我的妻子和孩子、我的父母、我的兄弟和我的嫂嫂对我的支持，他们每一个人都在以自己的方式给予我支持。此外，还要感谢 igroup / Bauhaus University Weimar 的同事、Fraunhofer IMK 的虚拟环境小组、TU Graz 的增强现实小组、CURE 以及 BRSU 视觉计算研究所的同事们。特别感谢（按时间顺序）Holger Regenbrecht、Jakob Beetz、Hartmut Seichter、Martin Göbel、Bernd Fröhlich、Gerold Wesche、Gernot Heisenberg、Aeldrik Pander、Steffi Beckhaus、Dieter Schmalstieg、Eduardo Veas、Alexander Bornik、Erick Mendez、Manuela Waldner、Daniel Wagner、André Hinkenjann、Jens Maiero、Christina Trepkowski、Alexander Marquardt 和 Saugata Biswas 在各方面对我的帮助、支持和启发。感谢外部合作者 Bernhard Riecke、Wolfgang Stuerzlinger、Rob Lindeman、Ed Swan、Steve Feiner、Jason Orlosky 和 Kiyoshi Kiyokawa。

Ryan McMahan：首先，我要感谢 Doug、Joseph、Ernst 和 Ivan 让我参与这次小冒险，能与你们这些志同道合的好友合作是我莫大的荣幸。其次要特别感谢 Amanda，我的未婚妻，容忍我在周末写作，与我并肩和截止日期战斗，是她坚定不移的爱让我充满动力。还要感谢我的母亲 JoAnn McMahan，我的家人和我的朋友们，感谢你们不断的支持和鼓励。我也非常荣幸可以结识我在 UT Dallas 的同事和学生，特别是未来沉浸式虚拟环境（FIVE）实验室的成员们。最后，非常感谢我的父亲，已故的 Ralph McMahan。

Doug Bowman : 感谢 Joseph、Ivan、Ernst 和 Ryan 在写作本书时自始至终付出的友谊与协作精神。特别感谢 Ryan 可以在我时间有限时加入并为本书第 2 版做出如此巨大的贡献。同时我也非常感谢我最亲密的合作者 Tobias Höllerer 和 Chris North, 感谢你们两人将我推出“舒适区”, 不断挑战我的想法, 给我提供机会, 帮我收拾烂摊子, (最重要的是) 成为我的朋友。还感谢 Virginia Tech 的同事和学生, 感谢 Jake Socha、David Hicks、Todd Ogle、David Cline、Ben Knapp、Ron Kriz、Mehdi Setareh、Walid Thabet、Thomas Ollendick、David Cox、Debby Hix、John Kelso、Joe Gabbard、Chad Wingrave、Jian Chen、Nicholas Polys、Wendy Schafer、Marcio Pinho、Eric Ragan、Felipe Bacim、Regis Kopper、Tao Ni、Yi Wang、Bir̄eswar Laha、Andrew Ray、Bert Scerbo、Cheryl Stinson、Mahdi Nabiyouni、Panagiotis Apostolellis、Wallace Lages 和 Run Yu。感谢整个 HCI 社区中心给予的支持, 特别是 Andrea Kavanaugh 的支持。也感谢 Georgia Tech 以前的同事, 感谢 Larry Hodges、Drew Kessler、David Koller、Donald Johnson、Donald Allison、Brian Wills、Jean Wineman、Jay Bolter、Elizabeth Davis、Albert Badre 和 Ben Watson。感谢其他许多同事和朋友在事业上对我的帮助, 让我可以有此成就, 感谢你们伟大的付出。

最后, 我要感谢我的妻子 Dawn, 感谢她对我不离不弃的爱与支持。我的孩子 Drew、Caroline、Lucy、Laken 和 David, 是你们让我在这个项目进行过程中的生活充满了生机。还要感谢我其他的家人、朋友, 特别是 Grace Covenant Presbyterian 教会的朋友。

Ivan Poupyrev : 本书是我与诸位合著者多年的合作和友谊的成果, 如果没有他们, 这本书永远都不可能出版。最初认识时, 我还是一名博士生, 在日本广岛大学和西雅图的华盛顿大学的人机界面技术实验室 (HIT 实验室) 进行联合研究。因此, 我深深感谢在那时支持我的所有人, 不仅是指导我论文的 Tadao Ichikawa 教授, 接纳我进入 HIT 实验室大家族的 Masahito Hirakawa、Bryn Holmes、Suzanne Weghorst 和 Tom Furness III 教授, 感谢给我实验室以外生活的 Mark Billingham、Mark Phillips、Jennifer Feyma 和 Chris Airola。我也十分感谢日本政府在我读研究生时给我颁发 Monbusho 奖学金。

本书增强现实的部分内容是我在京都 ATR 媒体集成与通信研究实验室完成的, 是我博士后研究的一部分。非常感谢 ATR 社区的领导 Ryohei Nakatsu、Jun Ohya 和 Nobuji Tetsutani, 也感谢合作者 Jun Kurumisawa、Tatsumi Sakaguchi、Keiko Nakao、Lew Baldwin、Desney Tan、Sidney Fels、Michael Lyons、Tal Shalif 等。

本书的第 1 版是我在东京索尼计算机科学实验室担任研究员时写的, 感谢 Jun Rekimoto、Mario Tokoro、Hiroaki Kitano 和 Yuimko Kawashima 对我耐心的指导。

而对于本书的第 2 版, 我最深切地感谢我的合著者, 感谢他们全力以赴, 担负了大量的工作。升级本书开始时, 我进入 Google ATAP, 任务是建立和开发一个新的研究计划, 随后产品演变侵占了我大量时间, 严重限制了我对升级本书的付出。感谢他们对我在 Google ATAP 动荡不安的时段中给予我理解与帮助。

目 录

译者序
第2版序
第1版序
第2版前言
第1版前言
致谢

第一部分 3D 用户界面基础

第1章 3D 用户界面概述..... 2	第2章 3D 用户界面：历史与 发展历程..... 7
1.1 什么是3D 用户界面..... 2	2.1 3D UI 的历史..... 7
1.2 为什么需要3D 用户界面..... 3	2.2 3D UI 的发展历程..... 9
1.3 术语..... 4	2.3 本书的范围..... 20
1.4 应用领域..... 6	2.4 案例研究简介..... 21
1.5 小结..... 6	2.5 小结..... 23

第二部分 人体因素与人机交互基础

第3章 人体因素的基本原理..... 26	3.5 物理人体工程学..... 53
3.1 简介..... 26	3.6 指南..... 60
3.2 信息处理..... 27	3.7 小结..... 61
3.3 感知..... 32	推荐阅读..... 61
3.4 认知..... 47	