



Three Dimensional
Virtual Space
Learning Performance Evaluation

**三维虚拟空间
学习绩效评估**

左伍衡◎著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



三维虚拟空间 学习绩效评估

王 强 著

清华大学出版社

**Three Dimensional
Virtual Space
Learning Performance Evaluation**

**三维虚拟空间
学习绩效评估**

左伍衡◎著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

三维虚拟空间学习绩效评估 / 左伍衡著. —杭州:
浙江大学出版社, 2018. 1
ISBN 978-7-308-15555-7

I. ①三… II. ①左… III. ①计算机应用—学习效率
—评估 IV. ①G442-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 016077 号

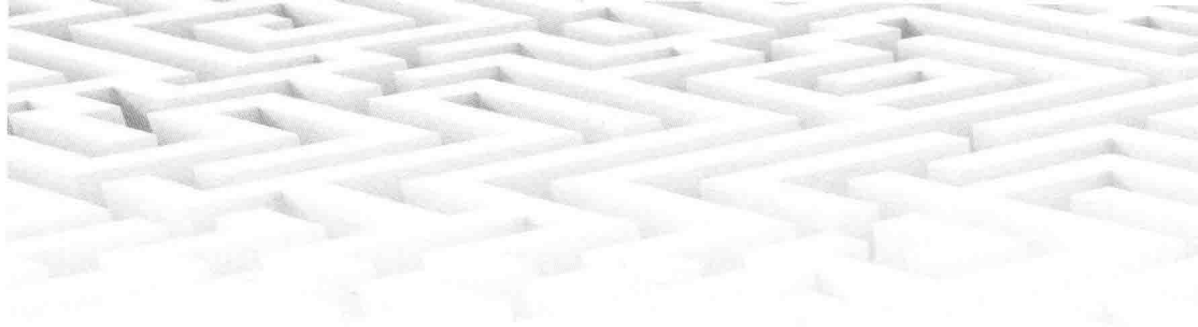
三维虚拟空间学习绩效评估

左伍衡 著

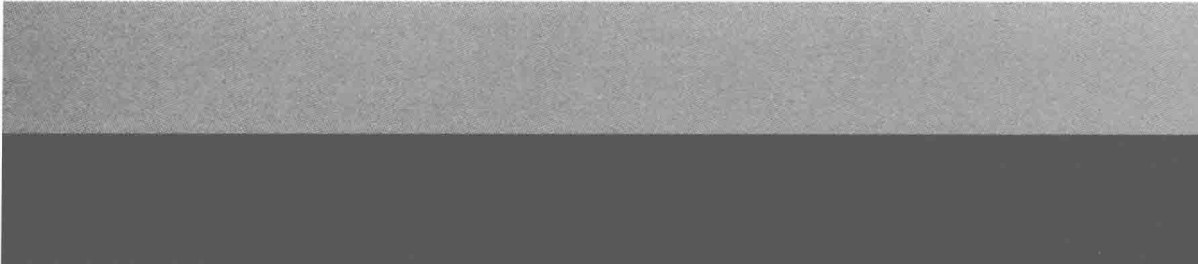
责任编辑 吴昌雷
责任校对 陈静毅 汪淑芳
封面设计 林智广告
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州好友排版工作室
印 刷 杭州钱江彩色印务有限公司
开 本 710mm×1000mm 1/16
印 张 8.5
字 数 162 千
版 印 次 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-15555-7
定 价 36.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>



本书先后得到浙江省科技厅公益性技术应用研究项目（2013C31048）、国家自然科学基金资助项目（61303140）、浙江省教育科学规划课题（2015SCG255）、浙江工业大学专著与研究生教材出版基金项目（2013106）、浙江工业大学2013年度人文社科预研基金项目和浙江工业大学2015年度人文社科后期资助项目以及国家留学基金的资助。



前言

由于在自然、科技、工程和数学学科(简称 STEM)中涉及较多的和空间位置、大小、距离、方位等相关的内容,故 STEM 课程和空间学习密切相关。空间学习汇聚了包括来自心理学、认知科学、神经科学、计算机科学、教育学、地理学和环境科学等各个领域的研究者与工程师们,各领域的研究者关注点各有侧重。例如,心理学领域的专家主要侧重空间学习的认知过程;计算机科学的研究者主要从技术促进学习的角度来探究空间学习;教育学家则从提升教学绩效的角度来研究实验室和真实情境中的空间学习,并利用技术来促进空间学习(焦丽珍,江丽君,2011)。

虚拟现实技术作为一门先进的人机交互技术,近几年已被广泛应用于视景仿真、军事模拟、虚拟设计与制造、虚拟学习环境和空间认知等领域。随着计算机软硬件技术的快速发展,桌面式虚拟环境在空间学习研究中被公认为是一种十分有效的研究手段(Wilson et al., 1996, 1997; Ruddle et al., 1997, 1998)。

本书在综述国内外已有相关研究的基础上,运用 OpenGL 技术和 Visual Studio 2008 开发平台设计与开发了一个桌面式虚拟环境——三维虚拟迷宫漫游系统。以寻路为学习任务,通过比较系统的心理学行为实验研究,考察了被试个体特征、环境特征和任务特征三方面因素对三维虚拟桌面系统中空间学习绩效的综合影响,并采用 Matlab 工具和人工神经网络建模方法构建了桌面式三维虚拟环境中空间学习绩效预测模型。

本书主要得出以下结论:

(1)本书所采用的三维虚拟迷宫漫游系统是一个具有较强交互性、扩充性并具有一定沉浸感的桌面式虚拟环境。用户能自由灵活设置三维虚拟迷宫的大小和内部结构布局,并能通过键盘、鼠标等交互设备在具有一定沉浸

感的三维虚拟迷宫中漫游,且计算机能自动记录寻路任务的完成时间、错误步数和移动轨迹等指标;同时系统还具有灵活设置系统参数以及与其他设备进行实时通信等扩充功能。该系统为定量研究空间学习问题提供了一个较通用的实验环境或平台。

(2)在桌面式三维虚拟环境中,用户特征、任务特征和环境特征均能影响空间学习绩效。实验结果显示:用户特征中的空间认知能力、任务特征中的任务难度和时间压力、环境特征中的导航方式因素均对空间学习绩效有显著影响;而用户性别、经验以及路标等因素对空间学习绩效的影响未达到显著水平;空间认知能力和任务难度之间以及导航方式和任务难度之间均有显著的交互作用;导航方式、时间压力和任务难度三者之间存在着显著交互作用。

(3)通过对拟合度、绝对误差和相对误差等神经网络模型构建指标的分析与比较,发现基于 GRNN 的桌面式三维虚拟环境中空间学习绩效预测模型在总体性能上略优于基于 BPNN 的桌面式三维虚拟环境中空间学习绩效预测模型。

(4)通过敏感度分析,任务难度、导航方式、空间认知能力和时间压力 4 个因素对空间学习绩效的影响程度存在差异,其从强到弱的排列顺序依次为任务难度、导航方式、空间认知能力和时间压力。

本书研究结果不仅有助于丰富空间学习理论,而且为优化虚拟漫游系统界面设计提供了科学依据。同时,本研究成果也对城市交通与应急逃生系统的规划、复杂人机系统交互界面的设计以及智能机器人自主导航系统的研发等具有参考价值。

在此,笔者要感谢浙江工业大学教育科学与技术学院以及之江学院的领导和同事的关心与支持,为本人工作和成长提供了良好的教学与科研平台;感谢浙江大学心理与行为科学系的老师们,为学习和研究供养了丰富的学术土壤,特别感谢导师许百华教授与胡凤培教授一直对笔者的研究和工作颇为关切。还要感谢笔者的家人、亲友和学生们多年的包容、鼓励与默默支持,谨以此书深表谢意。

本书先后得到浙江省科技厅公益性技术应用研究项目(2013C31048)、

国家自然科学基金资助项目(61303140)、浙江省教育科学规划课题(2015SCG255)、浙江工业大学专著与研究生教材出版基金项目(2013106)、和浙江工业大学2013年度人文社科预研基金项目和浙江工业大学2015年度人文社科后期资助项目以及国家留学基金的资助。浙江大学出版社吴昌雷编辑的热心与负责为本书增色不少。在此一并感谢!

1	绪 论	1
1.1	研究背景及意义	1
1.1.1	研究背景	1
1.1.2	研究意义	2
1.2	研究目标、内容和方法	3
1.2.1	研究目标和内容	3
1.2.2	研究思路和方法	4
1.3	论文结构	4
2	文献综述	6
2.1	空间及空间学习概述	6
2.1.1	空间和学习空间	6
2.1.2	空间认知与空间学习概述	8
2.2	三维虚拟空间情景中空间学习的相关研究	13
2.2.1	空间学习绩效评估	13
2.2.2	三维虚拟空间情景中学习绩效的主要影响因素	15
3	三维虚拟环境的建构	21
3.1	三维虚拟空间建构技术	21

3.1.1	环境建模技术	21
3.1.2	虚拟现实开发工具 OpenGL 简介	22
3.2	三维虚拟迷宫漫游系统的设计	22
3.2.1	迷宫概述	22
3.2.2	三维虚拟迷宫漫游系统的需求分析与功能设计	23
3.3	三维虚拟迷宫漫游系统的实现	25
3.3.1	迷宫地图编辑子系统	25
3.3.2	迷宫漫游子系统	26
4	三维虚拟空间学习绩效主要影响因素的实验研究	49
4.1	实验 1:三维虚拟环境中被试个体特征对学习绩效的影响	50
4.1.1	实验目的	50
4.1.2	实验方法	50
4.1.3	结果分析	53
4.1.4	实验结论	55
4.2	实验 2:三维虚拟环境中任务特征对学习绩效的影响	56
4.2.1	实验目的	56
4.2.2	实验方法	56
4.2.3	结果分析	59
4.2.4	实验结论	60
4.3	实验 3:桌面式三维虚拟环境特征对学习绩效的影响研究	60
4.3.1	实验目的	60
4.3.2	实验方法	61
4.3.3	结果分析	64
4.3.4	实验结论	66
4.4	实验 4:三维虚拟环境个体特征和任务特征对学习绩效的综合影响	67
4.4.1	实验目的	67
4.4.2	研究方法	67

4.4.3 结果分析	68
4.4.4 实验结论	70
4.5 实验 5:三维虚拟环境个体特征和环境特征对学习绩效的综合影响	70
4.5.1 研究目的	70
4.5.2 研究方法	71
4.5.3 结果分析	71
4.5.4 实验结论	72
4.6 实验 6:三维虚拟环境任务特征和环境特征对学习绩效的综合影响	73
4.6.1 研究目的	73
4.6.2 研究方法	73
4.6.3 结果分析	74
4.6.4 实验结论	76
4.7 实验 7:个体特征、任务特征和环境特征对学习绩效的综合影响	76
4.7.1 研究目的	76
4.7.2 研究方法	77
4.7.3 结果分析	78
4.7.4 实验结论	83
5 三维虚拟空间学习绩效预测模型构建	84
5.1 基于 BPNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型构建	84
5.1.1 BPNN 概述	84
5.1.2 BPNN 构建	85
5.1.3 BPNN 训练	87
5.1.4 基于 BPNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型拟合度分析	88

5.1.5	基于 BPNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型误差分析	90
5.1.6	基于 BPNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型敏感度分析	90
5.2	基于 GRNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型构建	93
5.2.1	GRNN 神经网络的结构及特点	93
5.2.2	GRNN 网络构建与训练	93
5.2.3	基于 GRNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型拟合度分析	94
5.2.4	基于 GRNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型误差分析	95
5.2.5	基于 GRNN 的三维虚拟空间学习绩效预测模型敏感度分析	96
5.3	三维虚拟空间学习绩效预测模型比较	98
5.3.1	两种模型的总体性能比较	98
5.3.2	神经网络模型的输入项敏感度比较	98
6	总结论与展望	100
6.1	总结论	100
6.2	本研究创新点	101
6.3	研究局限及未来研究方向	102
	参考文献	103
	索引	116
	附录:空间认知能力测验问卷	117

1 绪 论

本章概述本书的研究背景及意义、研究目标和研究内容以及采用的研究方法,最后简述本书的结构。

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

兴起于 20 世纪 80 年代末 90 年代初的学习科学,二十余年来以其不断涌现的有关学与教的创新研究,迅速成为当今教育革新的重要推动力,在教育领域的影响力与日俱增,令人瞩目。《剑桥学习科学手册》主编索耶(Sawyer, 2006)在该手册开篇中将学习科学称作研究学习的新科学。之所以称其为研究学习的新科学,其旨意在于超越传统学习理论的实验研究范式的局限,将认知神经科学、教育学、计算机科学、人类学等多个领域的研究者聚集在一起,建立一门跨学科的研究共同体。这个共同体首先需要建立在对基本的学习观点理解一致的基础之上,如强调深度的概念理解;聚焦学生的学习过程并关注教学技术;关注创建帮助学生获得深度理解的学习环境;强调基于学习者先前知识建构新知识以及学习绩效评估的重要性;等等。学习科学以研究和探索学习的本质与机制,创新和发展学习的理论与方法,创建高技术含量的学习环境,探索改进人类学习的绩效为己任。作为一个多学科交叉的研究领域,其研究视角涵盖对学习基本机制的揭示、学习环境的创建、学习技术的研发、学习的社会文化背景分析等方面。

空间学习是学习科学重要的分支,也是教育学、心理学、地图学、地理学、计算机科学和人工智能等学科的一个研究方向。迄今为止,人们已经从许多不同的角度对于自身是如何认识和理解空间的问题进行了研究。近年来,随着虚拟现实技术的应用,人们对空间学习的研究范围也从简单的实验室人工环境和较为复杂的自然环境(如校园、公园和城市等)逐步扩展到三维虚拟空间。利用虚拟现实技术可以让研究者构造出实验所要求的任意环境,甚至自然界不存在的实验场景。采用虚拟呈现系统,通过软件可以创造出实验研究所需的任意场景,大大节约时间、人力和财力。与此相对应,利用虚拟现实技术可以较好地解决实验控制和生态效度之间的冲突问题,它既能保证实验在良好的控制条件下进行,又使实验的生态效度达到最大化。

已有研究表明,人们在三维虚拟情景下的空间学习与真实环境中具有相似性,而且人们从虚拟环境中所获得的空间知识可以迁移到真实环境当中(Witmer et al., 1996; Stanton, et al., 1996)。由于以下三个原因人们常选择三维虚拟空间作为空间学习新手段:(1)虚拟环境是高仿真的并且场景是连续和动态的,与在真实的环境里一样;(2)计算机生产的三维虚拟环境具有灵活、易操作特点;(3)虚拟环境可以将用户空间学习过程中的全方位信息实时记录并加以反馈。随着计算机软硬件技术的快速发展,现在桌面式虚拟环境在空间学习研究中被公认为非常有效的一种研究手段(Peruch, Vercher & Gauthier, 1995; Tlauka & Wilson, 1994; Waller et al., 1998)。

1.1.2 研究意义

本研究拟在自行开发的三维虚拟系统(三维虚拟迷宫漫游系统)上,从用户特征、环境特征和任务特征三个方面,深入探讨影响空间学习绩效的主要因素及其交互作用,并采用神经网络模型构建空间学习绩效的预测模型。本研究意义主要体现在以下三个方面:

(1)有助于扩展以往空间学习研究的研究环境,丰富空间学习研究的应用范围。国内外以往关于空间学习绩效影响因素的研究大多使用的是真实环境或二维模拟系统。由于所采用的实验环境不统一,造成了研究得出的结

果有比较大的差异。

(2)深入了解用户特征、环境特征和任务特征三方面因素对三维虚拟环境中空间学习绩效的综合影响。尽管空间学习一直被建筑设计学、环境心理学、认知心理学、人工智能等众多学科所关注,但迄今为止人们尚未完全了解影响空间学习绩效各因素之间的关系及其内在机理(Carpman & Grant, 2002)。

(3)进一步完善空间学习的研究方法。本研究操纵用户特征、环境特征和任务特征三方面的因素,采用神经网络建模方法,构建在三维虚拟空间学习绩效的预测模型。相较于传统的单因素分析方法和线性建模方法,神经网络模型具有大规模并行、分布式存储和处理、自组织、自适应和自学习能力,特别适合处理需要同时考虑多个因素和条件的、不精确和模糊的信息处理问题。使用神经网络建模不仅可以同时获得多种因素对学习绩效的影响,也可以发现因素之间的相互作用,对于建构学习绩效预测模型和发展空间学习理论具有重要作用。

本研究将有助于丰富空间学习理论,并为改进与三维虚拟情景中空间学习绩效有关的界面设计和不同虚拟环境中各种信息的呈现方式提供科学依据。同时,本研究的成果在城市交通与应急逃生系统的规划、复杂人机系统交互界面的设计以及智能机器人自主导航系统的研发等方面也将具有应用价值。

1.2 研究目标、内容和方法

1.2.1 研究目标和内容

本书基于绩效评估视角,在综述国内外已有相关研究的基础上,通过系列寻路行为实验研究,探讨个体特征、用户特征及环境特征对三维虚拟情景中空间学习绩效的综合影响,并构建一个三维虚拟空间情景中学习绩效预测理论模型。具体研究内容分为以下三大部分:

第一部分:三维虚拟空间的构建。主要通过采用 OpenGL 技术和 Visual Studio 2008 开发平台设计与实现一个桌面式三维虚拟环境——三维虚拟迷宫漫游系统。该系统具有灵活设计迷宫的结构布局、提供不同的导航方式以及自动记录完成时间、错误步数和行走轨迹等功能。该虚拟环境为后续研究提供一个具有较强的扩充性、交互性的实验平台。

第二部分:三维虚拟情景中空间学习绩效的主要影响因素实验研究。以三维虚拟迷宫漫游系统为平台,通过系列寻路行为实验,探讨用户特征、任务特征和环境特征中的主要因素(如空间认知能力、任务难度、时间压力、导航方式等)对学习绩效的综合影响及交互作用。

第三部分:三维虚拟情景中空间学习绩效预测模型构建。采用神经网络建模方法构建三维虚拟环境中学习绩效预测模型。根据实验数据,分别基于 BPNN、GRNN 神经网络模型构建基于神经网络的空间学习关键绩效模型,并通过拟合度、绝对误差和相对误差指标对这两种神经网络模型进行比较,以找到最优模型。与此同时,通过对各影响因素的敏感度分析,考察被试的空间认知能力、任务难度、时间压力、导航方式主要影响因素对学习绩效的影响程度。

1.2.2 研究思路和方法

本书的研究思路和主要方法如图 1.1 所示。

1.3 论文结构

本书内容分为 6 章:第 1 章为绪论部分,主要介绍研究背景、意义、内容和方法;第 2 章为文献综述部分,主要综述国内外有关空间认知和空间学习及其绩效评估的相关文献;第 3 章为三维虚拟环境的建构部分,重点论述如何基于 OpenGL 技术设计与实现一个虚拟空间(三维虚拟迷宫漫游系统);第 4 章为三维虚拟空间学习绩效主要影响因素的实验研究部分,详细介绍在三维虚拟环境中影响学习绩效的主要因素的相关实验;第 5 章为三维虚拟空

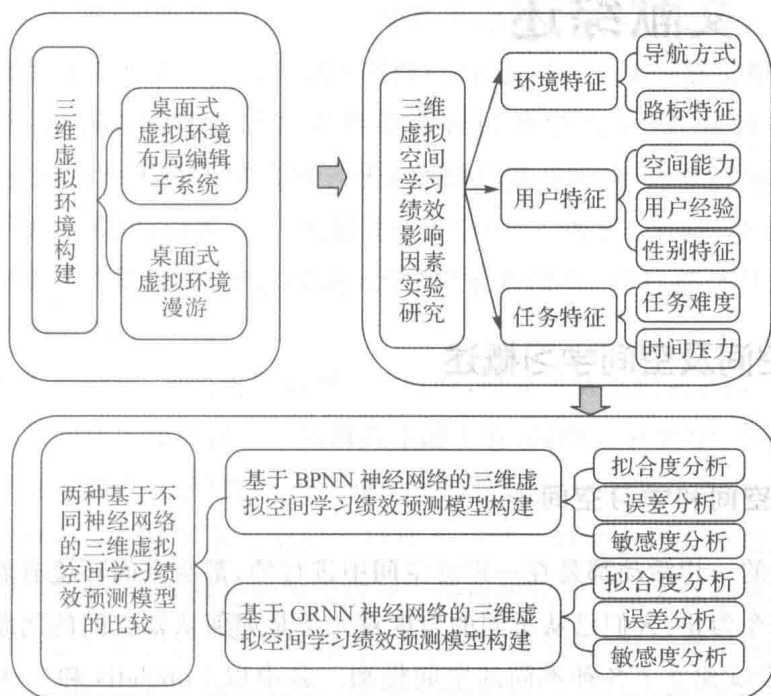


图 1.1 本书的研究思路及主要研究方法

间学习绩效预测模型构建部分,主要介绍基于 BPNN 和 GRNN 两种建模方法来构建三维虚拟空间学习绩效的预测模型,通过拟合度、绝对误差和相对误差等指标对模型进行比较,以找到相对较优的预测模型。此外,通过敏感度分析考察影响学习绩效的主要因素对学习绩效的影响程度;第 6 章为总结与展望部分,主要对研究结论以及研究的不足之处进行总结和分析,并对今后努力方向和未来研究进行展望。