

· 康复工程 ·

仿真假体视觉下眼手协调任务研究*

蒋广琪¹ 赵 瑛^{1,3} 耿秀琳¹ 李 琦¹ 谷 宇^{1,2}

摘要

目的:本文在现实场景中开展基于仿真假体视觉下积木摆放任务研究。

方法:实验设计三种维度模型共八种积木结构,并要求被试者在24×24、32×32、48×48等三种分辨率下完成任务,被试者通过头戴式显示器对摆放成型积木结构进行观察,并用面前散落积木进行对照摆放,记录积木摆放时间及分数。

结果:分辨率为48×48时的摆放时间最短且被试者差异较小,一维模型摆放时间用时较短,三种分辨率和三种维度模型用时的变化均具有显著性差异。得分情况中,高分辨率和低维度得分较高。三维结构三块数缺失扣分最多,一维结构二准确性摆放扣分最多。

结论:本研究结果可帮助视觉假体佩戴者在康复训练中提高其在假体视觉配合下手的精细动作的协调性。

关键词 视觉假体; 仿真假体视觉; 眼手协调; 积木摆放

中图分类号:R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2018)-10-1194-05

目前全球视觉假体正在不断的发展中^[1],视觉通路任何一部分病变或损坏都会致盲,而视网膜色素变性和老年黄斑变性导致的失明最为普遍^[2-3]。视觉假体是利用盲人残存的部分完整且结构和功能完好的视觉通路,通过人工进行电刺激诱发“光幻视”使盲人产生部分视觉感受。如何使用有限数量刺激点所形成的低分辨率的视觉信息来呈现可理解的视觉感受^[4],就成为假体设计者和心理物理学家们关注的重点。美国Second Sight公司的Argus II^[5-9]视网膜上假体已于2011年获得欧洲EMA授权及2013年美国FDA授权,德国Retina Implant AG公司的Alpha-IMS视网膜下假体也于2013年获得欧洲EMA授权,获准投入市场销售。Caspi等^[10]对Argus II进行映射校准实验,证明基于眼睛重新定位是可行的,并可增加视觉假体的稳定性。视觉假体临床结果和未来的需求仍在不断探索中^[11-12]。由于临床试验具有一定局限性,无法对患者进行大规模假体植入,因此,利用心理物理学方法研究视觉假体在日常生活中的最小信息需求是非常必要的。根据目前技术可达性并通过仿真视觉假体实验真实呈现佩戴视觉假体患者的视觉接收信息,模拟实验结果可为临床研究提供理论数据及经验指导。为此,Hu等^[13]通过仿真假体视觉实验完成对相似物品的识别,发现更高的空间分辨率、灰度视觉修复装置和图像处理方法。Lu等^[14]优化汉

字显示精度,提高了识别准确率,进而进行不规则光幻视图像的识别^[15],该实验研究了四个参数(分辨率、扭曲、缺失率和灰度)对物体识别的影响。结果表明,随着分辨率的提高,被试人员的识别准确度明显提高,实验采用不同的图像处理策略,被试人员的表现显著不同。Macé等^[16]研究了基于仿真视觉假体下的物体识别及定位任务。Wang等^[17]验证了显著性图像处理策略在模拟人工视觉中的应用。Xia等^[18]进行多目标识别任务表明,灰度增加、光幻视失真和增加缺失率都会导致识别性能显著下降。Chang等^[19]得出结论,人脸识别采用分辨率8×8时,对比度增强技术比边缘检测技术识别效果更佳。通过对前面实验研究的总结与思考,可以发现前面的研究大部分基于虚拟场景及不同图像处理策略下的目标识别任务,这些任务目前只能够满足视觉假体佩戴者的识别需要。本研究基于现实场景进行仿真假体视觉下的心理物理学实验,被试者需要肢体和视觉配合完成实验,这对于视觉假体佩戴者未来生活具有指导性意义。

本研究通过头戴式显示器上方的摄像头采集现实场景图像,该图像经一系列图像处理策略被处理成像素化图像,并显示在头戴式显示器中。被试者佩戴头戴式显示器来进行观察并完成积木摆放的手眼协调任务,通过积木分级摆放^[20],来完成实际空间任务的研究^[21],记录实验结果并研究不同分辨率

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.10.013

*基金项目:国家自然科学基金项目(81460279);内蒙古自治区自然基金项目(2015MS0604);内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY145);包头市科技计划项目(2015C2006-14);内蒙古科技大学创新基金项目(2014QNGG08)

1 内蒙古科技大学信息工程学院,包头,014010; 2 上海大学计算机工程与科学学院; 3 通讯作者

作者简介:蒋广琪,女,硕士研究生; 收稿日期:2017-09-18

和维度分级对积木摆放时间与积木摆放分数的影响。

1 材料与方法

1.1 被试者及合规声明

被试者为来自内蒙古科技大学的学生志愿者,平均年龄为24岁,共20例且男女各半。所有的被试者正常视力或矫正后视力为20/20,且母语均为汉语。在进行实验前,所有被试者均已了解实验目的及过程,并承诺认真完成实验。所有实验过程满足赫尔辛基宣言以人作为受试对象的生物医学研究的伦理原则和限制条件。

1.2 实验所需设备

实验设备包括一台联想台式电脑(30AGA29BCN Tower),头戴式显示器(5DT HMD 800-40 3D),摄像头(罗技c920),积木(天然全实木,单颗尺寸为 $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$)。并使用Java,C#,Matlab 2014b,SPSS统计,屏幕录像专家V2016等软件进行图像处理、实验结果记录分析。

1.3 实验方法

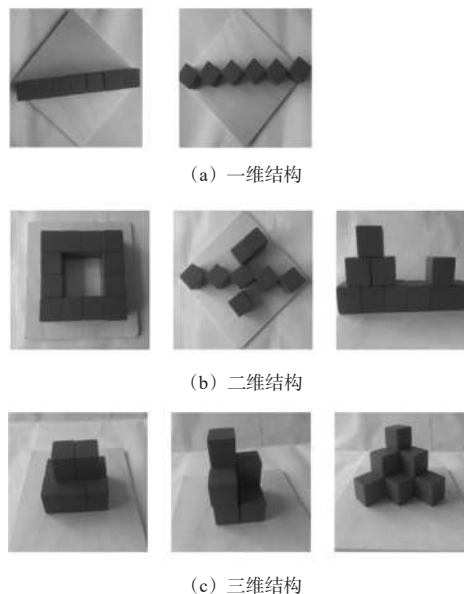
眼手协调是大脑协调视觉输入反馈的信息,从而控制、指挥手部完成既定任务的能力,是完成日常任务的一项重要方式。眼手协调这一活动包含了两个独立的神经机制,即目标的识别与目标的定位。通过摆放积木实验,被试者需要准确的识别积木位置,然后用手拾起积木且按模型将积木摆放到正确的位置。

本文主要研究在仿真假体视觉下的积木摆放准确度及摆放时间,考察被试者在仿真假体视觉下对积木摆放这一手眼协调任务的完成情况,分析在不同分辨率时,被试者完成实验任务的准确性及时间。实验共有三种分辨率 24×24 、 32×32 、 48×48 ,积木摆放模型共分为三个等级:一维、二维、三维。

积木模型共分为三种维度共八种结构,其维度分级及结构构造参考积木游戏的特点与指导等相关文献进行科学分级。如图1所示:一维结构为包括两种单层延长结构;二维结构共包含三种模型:模型一为平面围拢结构,模型二为平面结构,模型三为垒高结构;三维结构共包含三种模型:模型一为不具有内部结构的实心结构,模型二为部分镂空结构,模型三为镂空结构。

积木摆放评分标准^[22]:每块积木都有其固定位置,被试者如果将每块积木摆放在对应正确位置,则记为正确,若块数摆放缺失或多余,则扣除相应的分数,总分记为50分,包括25分多余或缺失块数得分,25分准确度得分。例:一维第一组图案为七块并列摆放的积木,如果被试者摆放积木块数为7块,则每块占分数为3.6分,第一部分考察缺失或多余,缺少或多余块数都将减去相应积木的分数,例缺少两块,则 $25 - 3.6 \times 2 = 17.8$,即第一部分成绩为17.8分。第二部分考察准确性,用准确性总分数减去相邻积木连接不整齐部分所占分

图1 积木三维结构及模型示意图



数。若准确度得分为20分,则被试者摆放积木总分数为 $17.8 + 20 = 37.8$ 分。

待被试者能够看清积木的位置则宣布计时开始,被试者开始拾起面前的积木进行摆放,被试者摆放完成后对实验员说“我摆放好了”则计时停止,被试者所用时间为本次积木摆放时间。被试者在进行实验的过程中不允许用手触碰积木模型,可以端起积木模型下方木板进行积木模型正视图、侧视图、俯视图的观察,观察完毕后用实验提供积木摆放与模型一致的结构,被试者面前共有15块积木,实验模型积木数量不超过12块。

1.4 实验步骤

实验员电脑与被试者头戴式显示器图像同步,由于实验员无法获取被试者头显屏幕中图像,因此可通过电脑中同步图像对被试者进行实验指导,避免被试者由于头显图像信息不全面而对实验数据及结果造成影响。实验过程中采用拍照及秒表记录数据。首先,被试者阅读实验说明,了解实验目的和过程及被试者的实验任务。在正式实验之前,被试者需参加训练实验。预实验分辨率为 24×24 ,摆放模型为四块积木组成的大写“L”。模型积木平铺在桌面,实验员提示被试者用面前放置散乱的积木模仿模型摆放,大部分被试者可以很好的完成预实验任务且能够掌握基本的识别技巧。

正式试验中,积木摆放过程中要求被试佩戴头戴式显示器,在三个维度内分别完成三种分辨率下的积木摆放任务。每组实验由低分辨率开始,严格按照分辨率由低到高进行实验,实验全程记录时间及被试者摆放积木准确性及缺失情况。

实验开始后,实验员将分辨率调至 24×24 作为第一组分

分辨率,实验分为三个维度共八种模型,实验员将模型分别放在被试者面前,待被试者可以判断模型位置则开始计时,被试者可以通过站起身子进行俯视观察或将拼好积木与面前模型进行比较。每一种模型摆放完成后,实验员停止计时并记录时间及拍照。三种分辨率所提供模型一致,严格控制实验变量。

2 结果

2.1 三种分辨率下三种维度八种结构的积木模型摆放时间

由表1可见,与低分辨率相比,随着分辨率提升,积木摆放任务所用时间减少,表明放置任务随分辨率的提升,被试者接受的视觉信息增加。通过SPSS分析软件对被试者的积木摆放得分进行了 8×3 的组内方差分析,不同结构(结构一—结构八)为组间因素,分辨率(24×24 、 32×32 、 48×48)为组内因素,结果显示,不同结构得分具有显著的主效应(主效应为单独一个自变量对因变量的变化效应), $P<0.05$,且分辨率

也具有显著的主效应, $F=153.76$, $P<0.05$ 。分辨率 $\times$ 结构具有显著的交互效应, $P<0.05$ 。在结构的每个水平上对分辨率进行了简单的效应分析,每个检验的 α 水平为0.016,简单效应检验的结果指出在分辨率为 24×24 的时间明显高于分辨率为 32×32 和分辨率为 48×48 的积木摆放时间,在进行了分辨率为 24×24 的实验后 $P<0.05$,分辨率提升后再进行分辨率为 32×32 和 48×48 的实验($P>0.05$),两者差异较小且无显著性差异。

三种维度中不同结构得分提示:不同结构的积木搭建得分具有显著性差异, $P<0.05$ 。Tukey的事后检验程序说明:一维模型中结构一(45.35 ± 2.99)比结构二(39.45 ± 4.71)得分高, $P<0.05$,说明即使是同一类型的积木摆放,由于摆放方式不同仍然有显著差异。二维模型中结构一(41.98 ± 4.22)、结构二(40.33 ± 5.29)、结构三(41.25 ± 5.17)间无显著差异 $P>0.05$ 。三维模型中结构一(38.7 ± 5.22)、结构二(39.65 ± 5.05)、结构三(36.43 ± 8.40)在分数间无显著性差异, $P>0.05$ 。

表1 三种分辨率积木模型摆放时间

(s)

维度模型	一维		二维			三维		
	结构一	结构二	结构一	结构二	结构三	结构一	结构二	结构三
24×24	48.39	61.98	90.08	92.26	97.69	185.48	163.33	227.09
$24\rightarrow 32$	↓ 4.46	↓ 12.42	↓ 8.78	↓ 21.73	↓ 23.25	↓ 63.34	↓ 30.54	↓ 94.23
32×32	43.92	49.55	81.29	70.52	74.44	122.14	132.79	132.86
$32\rightarrow 48$	↓ 12.26	↓ 14.39	↓ 12.81	↓ 18.45	↓ 13.71	↓ 31.00	↓ 29.51	↓ 41.95
48×48	31.30	35.15	68.48	52.06	60.72	91.13	103.28	90.90

注:下降箭头表示维度改变后被试者的摆放时间减少,其后面数字代表减少的时间具体秒数。

2.2 不同分辨率下三种维度积木摆放分数

组间方差分析结果显示:分辨率的不同所造成的分数差异有显著的主效应, $F=61.17$, $P<0.05$,分辨率为48时(45.29 ± 3.14)摆放积木得分显著多于分辨率为32(41.18 ± 4.82)和分辨率为24(36.79 ± 5.95)的积木摆放得分。不同维度间相比较,其得分也有显著的主效应, $F=25.62$, $P<0.05$ 。一维模型(43.78 ± 3.68)的积木摆放得分最高且显著高于二维模型(41.21 ± 5.39)和三维模型(38.28 ± 6.88)的摆放分数,但分辨率和三种维度并无显著的交互效应。

根据被试者在搭建不同积木结构时造成积木缺失或多余统计分析可以发现,不同结构块数缺失或多余具有显著性差异 $P<0.05$ 。一维模型中结构一(0.28 ± 0.34)块数缺失或多余比结构二(0.13 ± 0.19)多, $P>0.05$,一维模型中的两种结构并无显著性差异。二维模型中结构一(0.5 ± 1.09)为围拢结构组成的正方形,其边长为四块正方体块,被试者根据观察可以发现结构为正方形,但对于边长的确定存在偏差,若边长判定为三块正方体块,则缺失块数为四块,因此结构一摆放块数缺失或多余的标准差较大;结构二(0.42 ± 0.44)的块数摆放缺失或多余较少,被试者表现稳定。结构三(0.77 ± 0.84)为

垂直垒高结构,对被试的三维空间想象力具有一定要求,因此被试者表现差异较大,块数缺失或多余达到最大值。由此可以看出,不同被试者的积木摆放块数上的差异随着维度的提升而具有显著性变化,也可以发现在同一维度下不同结构水平之间的差异性。

2.3 不同结构的积木摆放准确性扣分统计

一维模型中两种结构 $P<0.05$,结构二(9.43 ± 4.11)积木摆放准确性扣分与结构一差异较大,大部分被试者可以通过模型判断积木数量,但其模型摆放方式为正方体的对角相邻摆放,这对于摆放准确性要求较高,而结构一(2.61 ± 2.19)为正方体方块并列摆放,被试者表现较稳定。二维模型中三种结构摆放准确性差异性较小 $P>0.05$,结构二(7.17 ± 3.65)的摆放方式与一维结构二类似,其准确性相比结构一(6.01 ± 2.18)和结构三(4.58 ± 1.61)差。而对于三维模型,结构二(3.45 ± 2.02)和结构三(6.4 ± 4.8)准确性具有显著性差异 $P<0.05$,被试者在进行结构三的摆放扣分具有显著性差异。

2.4 不同维度准确性扣分情况

如表2所示,对一维模型中两种结构在三种分辨率下的准确度扣分进行了 2×3 组内方差分析,其中一维模型下的两

种结构为组间因素,三种分辨率为组内因素。根据分析可以得出:一维模型不同结构具有显著的主效应, $P<0.05$,分辨率也具有显著的主效应 $P<0.05$ 。分辨率 $\times$ 结构具有显著的交互效应 $F=8.59, P<0.05$,对于两种结构分别进行的三种分辨率简单的效应分析,每个检验的 α 水平为0.016,发现被试者在三种分辨率下对于一维模型的摆放准确性具有显著性差异,分辨率为24的实验 $t=-5.8, P<0.05$,分辨率为32的实验 $t=-5.45, P<0.05$,分辨率为48的实验 $t=-6.4, P<0.05$ 。分析表明分辨率的不同对于一维模型的两种结构的准确性摆放有明显的差异性。

对二维模型的三种结构在三种分辨率的准确性扣分进行了 3×3 的组内方差分析,组间因素为二维模型下的三种结

构,组内因素为三种分辨率。二维模型的不同结构具有显著的主体间效应, $P<0.05$,分辨率也具有显著的主体间效应 $F=40.28, P<0.05$ 。但是结构与分辨率无显著的交互效应。

根据三维模型中的三种结构在三种分辨率下的准确性扣分统计,对其进行了 3×3 的组内方差分析,三种结构为组间因素。三种分辨率组内因素。根据分析可以发现,三种结构具有显著的主体间效应, $P<0.05$,分辨率也具有显著的主效应Greenhouse-Geisser adjusted $P<0.05$ 。分辨率与结构不具有交互效应。对于三种分辨率进行简单的效应分析,每个检验的 α 水平为0.016,三种分辨率对于三维结构的积木摆放准确性扣分仍具有显著性差异。

表2 不同维度准确度扣分统计

($\bar{x}\pm s$)

维度结构	一维		二维			三维		
	结构一	结构二	结构一	结构二	结构三	结构一	结构二	结构三
24 $\times$ 24	3.35 $\pm$ 2.97	12.55 $\pm$ 6.23	7.55 $\pm$ 3.17	9.70 $\pm$ 5.77	6.15 $\pm$ 1.71	6.90 $\pm$ 1.95	4.75 $\pm$ 3.03	9.40 $\pm$ 7.37
32 $\times$ 32	2.80 $\pm$ 2.18	9.50 $\pm$ 4.89	6.35 $\pm$ 2.33	6.70 $\pm$ 4.14	4.85 $\pm$ 2.71	5.90 $\pm$ 2.77	3.25 $\pm$ 2.66	6.05 $\pm$ 5.42
48 $\times$ 48	1.70 $\pm$ 1.61	6.25 $\pm$ 2.64	4.15 $\pm$ 1.96	5.10 $\pm$ 2.30	2.75 $\pm$ 1.76	4.25 $\pm$ 2.38	2.35 $\pm$ 2.03	3.75 $\pm$ 3.52

3 讨论

由于受试者需要佩戴头戴式显示器进行积木摆放实验,头戴式显示器具有一定重量且其图像尺寸相当于视野范围2.5m外50寸屏幕大小,这对于被试者积木摆放具有一定难度,因此为克服这一困难,在预实验时指导被试者熟悉实验设备并能够掌握实验技巧。

实验采用三种维度模型由被试者进行积木模仿摆放,对于三维模型需要被试者进行三视图的观察并结合一定的空间想象能力进行积木摆放,因此,被试者对于三维模型的摆放时间及得分比其他两种模型差异较大。

本实验的研究意义主要在于能够使视觉假体佩戴者参照已进行的仿真假体视觉的实验数据及实验内容进行康复训练,由于目前的技术手段还不完善,无法大规模植入视觉假体且假体植入者会有不同程度的术后并发症及病变风险,而仿真假体实验能真实的模拟佩戴者的视觉环境及他们接收到的视觉信息,真实模拟假体植入者日常生活的眼手协调任务,这对于佩戴者的康复训练具有指导意义。

综上所述,本研究采用实际场景进行仿真假体视觉实验。被试者能够真实的感受植入者的视觉图像,这对于临床实验具有较强的指导性。实验过程中,受试者通过头戴式显示器呈现的实时图像判断积木位置,并根据给定模型进行积木摆放,此实验提供了视觉假体患者手眼协调任务的精确指导,佩戴者通过文中提供数据信息在生活中对看到的不同维度图像的识别和触摸提供指导。因此,本研究结果可为患者植入假体后的康复训练提供有效的理论和实际支持。

4 结论

分辨率与结构具有显著的交互效应,随着分辨率的提升和结构维度的降低,实验时间都可以减少,准确性得分均有增加。随着分辨率的增加或维度的降低,被试者得分均有显著提高。在摆放块数缺失及多余情况中,一维、二维结构的块数数量摆放较准确,而三维结构摆放块数数量差异较大。希望本研究结果可帮助视觉假体佩戴者在康复训练中提高其在假体视觉配合下手的精细动作的协调性。

参考文献

- [1] 闫妍,柴新禹,陈垚,等. 视觉假体的研究进展[J]. 生理学报, 2016,(5):628—636.
- [2] Normann RA, Greger BA, House P, et al. Toward the development of a cortically based visual neuroprosthesis[J]. Journal of Neural Engineering, 2009,6(3):035001.
- [3] Kawashima Y, Oishi A, Tsujikawa A, et al. Effects of aflibercept for ranibizumab-resistant neovascular age-related macular degeneration and polypoidal choroidal vasculopathy [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2015,253(9):1471—1477.
- [4] 裴为华,赵珊珊,归强,等. 一种用于组装神经元微电极阵列的电极排针[J]. 光电子研究发展中心, 2014.
- [5] Caspi A, Roy A, Dorn JD, et al. Retinotopic to spatiotopic mapping in blind patients implanted with the argus ii retinal prosthesis[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2017,58(1):119.
- [6] da Cruz L, Coley BF, Dorn J, et al. The Argus II epiretinal

- prosthesis system allows letter and word reading and long-term function in patients with profound vision loss[J]. British Journal of Ophthalmology, 2013, 97(5): 632—636.
- [7] Rizzo S, Belting C, Cinelli L, et al. The Argus II retinal prosthesis: 12-month outcomes from a single-study center[J]. American Journal of Ophthalmology, 2014, 157(6): 1282—1290.
- [8] Stingl K, Bartzschmidt KU, Besch D, et al. Artificial vision with wirelessly powered subretinal electronic implant alpha-IMS[J]. Proceedings Biological Sciences, 2013, 280(1757): 20130077.
- [9] Rizzo Jf 3rd. Update on retinal prosthetic research: the Boston retinal implant project[J]. Journal of Neuro-Ophthalmology, 2011, 31(2): 160.
- [10] Caspi A, Roy A, Dorn JD, et al. Retinotopic to spatiotopic mapping in blind patients implanted with the Argus II retinal prosthesis[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2017, 58(1): 119.
- [11] Shepherd RK, Shivdasani MN, Nayagam DA, et al. Visual prostheses for the blind[J]. Trends in Biotechnology, 2013, 31(10): 562—571.
- [12] Weiland JD, Cho AK, Humayun MS. Retinal prostheses: current clinical results and future needs[J]. Ophthalmology, 2011, 118(11): 2227—2237.
- [13] Hu J, Xia P, Gu C, et al. Recognition of similar objects using simulated prosthetic vision[J]. Artificial Organs, 2014, 38(2): 159—167.
- [14] Lu Y, Kan H, Liu J, et al. Optimizing Chinese character displays improves recognition and reading performance of simulated irregular phosphene maps[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2013, 54(4): 2918—2926.
- [15] Lu Y, Wang J, Wu H, et al. Recognition of objects in simulated irregular phosphene maps for an epiretinal prosthesis[J]. Artificial Organs, 2014, 38(2): E10—E20.
- [16] Macé MJ, Guivarch V, Denis G, et al. Simulated prosthetic vision: the benefits of computer-based object recognition and localization[J]. Artificial Organs, 2015, 39(7): E102.
- [17] Wang J, Li H, Fu W, et al. Image processing strategies based on a visual saliency model for object recognition under simulated prosthetic vision[J]. Artificial Organs, 2016, 40(1): 94—100.
- [18] Xia P, Hu J, Peng Y. Adaptation to phosphene parameters based on multi-object recognition using simulated prosthetic vision[J]. Artificial Organs, 2015, 39(12): 1038—1045.
- [19] Chang MH, Kim HS, Park KS. The effect of contrast enhancement on familiar face recognition with simulating prosthetic vision[C]. Biomedical Engineering Conference, 2010: 223—226.
- [20] 刘峰峰. 积木游戏的特点与指导策略[J]. 山西教育: 幼教, 2015(3).
- [21] David LT. Training of spatial abilities through computer games—results on the relation between game's task and psychological measures that are used[J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2012, 33: 323—327.
- [22] 唐立宁. 幼儿积木游戏中模拟搭建行为的研究[D]. 华东师范大学, 2011.