

# 自适应背景焦点显示技术在遥操作中的应用\*

潘运娴<sup>1</sup> 王琦君<sup>1</sup> 蒋婷<sup>2</sup> 葛列众<sup>3</sup> 王丽<sup>\*\*2</sup>

(<sup>1</sup> 浙江理工大学心理学系, 杭州, 310018)

(<sup>2</sup> 中国航天员科研训练中心人因工程实验室, 北京, 100094) (<sup>3</sup> 浙江大学心理科学研究中心, 杭州, 310007)

**摘要** 遥操作界面中可视信息的有效呈现是提高操作绩效的重要途径。本研究提出自适应背景焦点显示技术原型, 构建新型遥操作显示平台, 并通过比较不同显示条件下遥操作绩效, 考察其应用有效性及特点。结果显示: (1) 相比其他显示(单一纠正信息、单一指导信息、恒定背景信息和无背景信息), 自适应背景焦点显示可有效提高操作绩效; (2) 在降低主观负荷方面, 单一纠正信息显示显著优于其他显示。本研究结果为遥操作显示界面的优化提供了新思路。

**关键词** 遥操作 机械臂 背景焦点 自适应 操作绩效

## 1 前言

遥操作是指操作者通过远距离操纵在人难以接近或对人有害环境下的机械装置(如机械臂)完成较为复杂操作过程。在典型遥操作任务中, 操作者从远端执行器传回的图像中获取工作环境和执行器的信息, 从而操控执行器完成任务。由此可见, 可视信息的有效呈现和交互方式直接影响操作者获取信息效率。因此, 优化和整合信息显示界面能让操作者获取更好的情景意识, 完成遥操作任务。

以往遥操作的研究主要集中在提高操作者的临场感。临场感指将远地机器人和环境的相互信息(视觉、力觉等)实时反馈给操作者, 生成关于远地环境映射的虚拟现实, 使操作者产生身临其境的感受, 从而完成复杂作业任务(宋爱国, 2012)。视觉临场感主要与机器人活动环境的几何特征相联系, 对机器人非接触类操作显得尤为重要。胡海鹰, 李家伟, 王捷和刘宏(2006)结合遥操作任务和临场感要求, 设计了分路式和分时式立体视觉显示系统, 利用立体视觉临场感进行遥操作实验, 验证了其在遥操作中的作用。Lee和Kim(2008)研究了触觉反馈、立体观测和图像分辨率对远程导航作业的临场感影响, 结果发现它们均能提高操作者的临场感。以上

研究试图在仿真操作环境中提供大量信息, 帮助操作者控制机器设备完成操作。这些研究对于遥操作的有效性有着很大的促进作用。

目前, 遥操作的应用日益普遍, 仅从临场感角度来研究遥操作已经不能满足提高操作绩效的迫切需要。研究者们试图从视觉显示优化来提高操作者的信息加工效率, 进而促进遥操作绩效。Johnson, Adams和Kawamura(2003)发现, 相比传统界面, 使用两个参考显示下操作者心理负荷较低, 情景意识较高, 但绩效上未发现显著差异。Eliav, Lavie, Parmet, Stern和Edan(2011)通过实验比较远程控制中街区化显示、平视显示和雷达显示, 发现平视显示下操作绩效优于街区化显示, 在可用性上优于雷达显示。Chi, Chen, Kang和Hsieh(2012)对起重机械遥操作界面进行了改进, 首先在传统的操作画面上增加了全景、左侧、右侧以及俯视情景图, 其次是在该基础上采用增强现实技术增加指导信息, 结果表明优化后的界面均可以明显促进遥操作的工作效率, 降低操作者心理负荷。以上研究说明, 在界面中加入背景信息对提高遥操作绩效和改善体验具有重要作用。基于此, 本研究将引入背景焦点技术来构建遥操作中背景信息呈现的技术基础。

背景焦点技术在单一显示界面中结合呈现整体

\* 本研究得到国家自然科学基金项目(31671146)和2015年装备预先研究基金项目(9140C770202150C77317)的资助。

\*\* 通讯作者: 王丽。E-mail: wanglikunyu@126.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20180505

背景信息和局部焦点信息,缺少动态交互特点,因而背景焦点技术中背景信息的固定呈现也会负面影响操作绩效。Voshell, Woods 和 Phillips (2005) 提出一种多视角窗口显示技术,结果发现增加多个视角窗口会使操作者错觉当前操作速度过快,导致操作速度放慢,降低操作绩效。另外,Olmos, Wickens 和 Chudy (2000) 发现操作者整合以自我中心视角和外在中心视角的信息具有一定难度,若操作者没有适当整合多个显示信息,错误判断当前情况,会降低操作绩效。综合以上,单一的添加和固定静态的呈现背景信息,容易干扰操作者获取主要窗口信息,缺乏考虑操作者的特性需求。因而我们将引入动态的自适应技术,改善静态呈现的背景焦点技术。

在人机交互过程中自适应技术考虑到操作者需求特点,可以动态改变信息显示以适应操作者的操作要求,顺应视觉信息日益复杂化的现实需求。自适应技术已在多种领域得到了研究和应用,并验证了该技术的智能性和有效性。Kane, Wobbrock 和 Smith (2008) 发现当操作者受到外界因素限制时(如走路),显示界面自动调整字体尺寸,能有效减少使用设备的错误操作。有研究也表明,相比传统固定用户界面,用户在自适应界面完成绩效更优(Nakamura et al., 2014; Song & Cho, 2013)。基于研究,自适应技术可以通过提供实时上下文来增强复杂软件的可用性,具有个性化和动态化,能适应执行各种复杂任务,实时根据操作者特定需求提供不同协助。

背景焦点技术为操作者提供背景信息,通过显示特定细节信息,呈现对操作者理解全局上下文有用的局部信息。自适应技术考虑操作者需求及特点,动态改变信息显示以适应操作者要求。本研究结合背景焦点技术和自适应技术,构建自适应背景焦点显示平台,通过比较不同显示方式中遥操作的工作表现和负荷体验,从而探讨自适应背景焦点显示在遥操作领域中的有效性及其应用特点。

## 2 自适应背景焦点显示平台设计和实验验证

### 2.1 自适应背景焦点显示平台设计

本研究构建的自适应背景焦点显示技术原型,是基于 V-REP PRO (EDU 版本) 仿真机器人软件平台开发,使用 lua 脚本语言设置实验场景和数据采集。

实验场景包括两种窗口,一个机械臂,一个机

械臂尾部的十字型末端和两个立方体目标块(green 立方体和 blue 立方体),实验平台用 20 寸窗口呈现。两种显示窗口包括固定在场景内能观察全局的背景窗口(如图 1b)和随着机械臂运动而运动的末端窗口(如图 1a)。机械臂尾部有一个十字型末端(红色标记方向,如图 1a),在工作区域有两个立方体目标块,每个立方体上有三个目标面(如图 1b)。每次操作任务中,系统会选取一个目标面(红色标记)。被试通过控制左右两个操作手柄(莱仕达 PNX-2113 型),分别控制三个平移自由度(左手柄)和三个姿态自由度(右手柄),对机械臂进行仿真遥操作。如果在操作中出现机械臂关节达到限位,或与墙壁碰撞,系统会弹出警告,需调整机械臂到合理位置再继续操作。

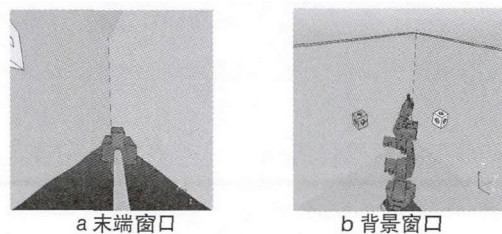


图 1 实验场景

适应背景焦点显示平台的基本原理:操作初始,程序基于末端与目标面的相对距离进行判断是否呈现背景信息窗口,当末端与目标面的相对距离缩小时,程序关闭背景窗口;当末端与目标面的相对距离变大时,程序在右上角呈现背景窗口。操作过程中,程序基于路径范围判定操作是否出错,当操作出现偏差时,程序将提供纠正信息协助被试完成操作,同时程序将基于路径范围对任务动态分析,提供相应指导信息直至操作任务完成。

程序弹出纠正信息条件:在平移维度上,当偏差值的绝对值超出固定范围并持续变大,程序弹出相应的纠正信息。在三个姿态维度上,当偏差值的绝对值超出固定范围并三个数值同时持续变大,弹出纠正信息。

程序弹出指导信息条件:当机械臂末端到达路径一个正确偏差范围时,弹出下一步操作指导信息。例如,在任务开始时,弹出第一个指导信息(如末端向左移动),到达下一个范围弹出第二个指导信息(如末端向后仰)。

其中平台的纠正和指导信息呈现时间参数是基于每位被试理解信息内容所需时间,该时间参数将在实验前由自编 E-Prime 程序测试获得。该部分实



验流程为，屏幕先呈现 800ms “+”，随后屏幕中央呈现一个文字信息，被试需理解信息内容，理解后按空格键（此时程序停止计时并记录时间），回答界面出现。被试需口头报告屏幕呈现信息，主试记录结果。报告完毕后，被试按空格键进入下一试次。其中，被试完成 10 个纠正信息试次，50 个指导信息试次。

## 2.2 自适应背景焦点显示平台实验验证

### 2.2.1 被试

被试共计 75 名（男性 35 名），视力或矫正视力正常，平均年龄为 20.6 岁（ $SD=2.05$  岁）。所有被试随机分配到 5 种实验条件下，自适应背景焦点组 15 名（男性 7 名），单一纠正信息组 15 名（男性 7 名），单一指导信息组 15 名（男性 7 名），恒定背景信息组 15 名（男性 7 名），无背景信息组 15 名（男性 7 名）。

### 2.2.2 实验仪器

详见自适应背景焦点显示平台设计。

### 2.2.3 实验设计

实验为单因素被试间设计，自变量为不同显示

方式，包括自适应背景焦点显示（有背景信息呈现、纠正信息和指导信息提示，如图 2a）、单一自适应背景焦点显示（单一纠正信息提示：只有纠正信息提示，如图 2b；单一指导信息提示：只有指导信息提示，如图 2c），恒定背景信息显示（只有背景信息，背景窗口固定在右下角，如图 2d），无背景信息显示（无信息呈现，如图 2e）。

因变量为正确完成的用时、平移操作效率（平移手柄总操作量与初始距离偏差比值）、姿态操作效率（姿态手柄总操作量与初始姿态偏差比值）和 NASA-TXL 量表评分。其中两个操作效率的值越低，说明弥补单位偏差的手柄操作量越少，绩效越高（薛书骥，王春慧，蒋婷，田志强，姜国华，2017）；主观疲劳度的测量采用 Mott 和 Wobbrock（2014）在实验中使用的美国宇航局作业负荷指数量表（NASA-TLX），该量表包括脑力需求、体力需求、时间需求、业绩水平、努力程度和受挫程度。

### 2.2.4 实验任务

本实验采用对接操作任务。对接操作任务包括六条固定的对接路径（即每条路径的末端初始值和

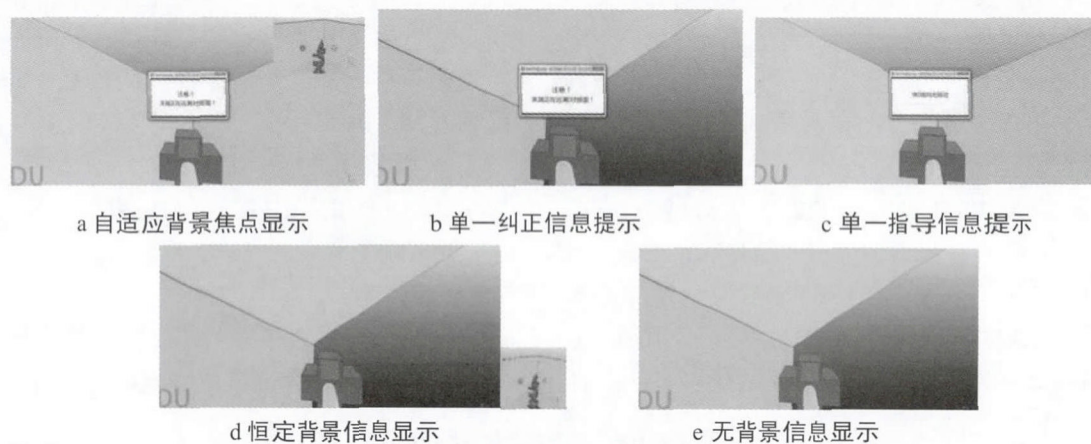


图 2 不同显示方式

表 1 六条任务路径基本信息

路径	目标面	末端初始状态	调整难度	整体难度
路径 1	blue 前表面	在两面墙交界处，靠近 blue	姿态调整难度低 寻找目标面难度低	低
路径 2	blue 右表面	在两面墙交界处，左 green 右 blue	姿态调整时需大幅度调整俯仰 寻找目标面难度低	中等
路径 3	blue 上表面	正对 blue 上表面	姿态调整时旋转方向与其他路劲相反 寻找目标面难度低	中等偏高
路径 4	green 前表面	在两面墙交界处，上 green 下 blue，靠近 blue	姿态调整难度低 寻找目标面时易出现角度极限	中等
路径 5	green 右表面	在两面墙交界处，上 green 下 blue，靠近 blue	姿态调整时需大幅度调整俯仰 寻找目标面时易出现角度极限	高
路径 6	green 上表面	正对 green 上表面	姿态调整难度中等 寻找目标面难度低	中等偏低

目标面都固定, 路径整体难度平均分布, 见表1)。被试需要在 900s 内操作机械臂, 使末端以颜色标记相对应的姿态插入选定的目标面 (成功条件是平移相对偏差小于 .004m, 姿态偏差小于  $4^{\circ}$ )。

## 2.2.5 实验流程

实验流程分为准备阶段和正式实验阶段。准备阶段包括培训和学习提示信息两部分。在培训部分, 由于每位被试在实验前均无机械臂遥操作的经验, 他们需要接受同样流程的标准培训。被试能独立完成两次对接任务时, 培训结束, 培训时长约一小时。在学习提示信息部分, 被试需正确辨别理解纠正信

息和指导信息, 学习时间约十分钟。正式实验阶段中每位被试在 900s 内完成六条路径的对接操作, 超过时间未成功视为失败。六条路径操作顺序随机呈现。完成对接任务后填写量表。正式实验时长约一小时。实验进行两天, 第一天进行准备阶段, 第二天进行正式实验阶段。

## 3 结果实验

数据采用 SPSS 17.0 进行统计分析。

### 3.1 绩效结果

所有指标下的数据无 3 个标准差之外的异常数

表 2 不同显示方式下的绩效结果 ( $M \pm SD$ )

显示方式	自适应背景焦点	单一纠正提示	单一指导提示	恒定背景信息	无背景信息
用时 (s)	349.9±90.4	352.6±87.8	355.8±95.2	404.3±95.6	418.1±88.1
平移操作效率	274572.5±38399.6	361844.5±99352.1	314463.3±83434.8	386216.4±114175.6	408249.7±98170.9
姿态操作效率	1248.9±353.9	1365.9±246.1	1576.8±618.1	1966.1±607.7	2065.8±526.6

据, 以下是基于 75 名被试实验结果分析。

在实验中, 剔除失败试次后, 在单一纠正提示下, 纠正信息平均触发 9.7 次; 在单一指导提示下, 指导信息平均触发 4.1 次; 在自适应背景焦点显示下, 指导信息平均触发 4.2 次, 纠正信息平均触发 5.9 次。

表 2 为不同显示方式下六条路径综合操作绩效结果。相比其他四种方式, 自适应背景焦点显示下的操作效率更优。进一步对五种方式下的各指标进行单因素方差分析可知, 五种方式下用时不存在显著性差异 ( $F(4, 70)=1.886, p=.123$ )。五种方式下的平移操作效率存在显著性差异 ( $F(4, 70)=5.396, p < .01, \eta^2=.236$ ), 进一步 LSD 事后检验, 自适应背景焦点显示和单一指导信息提示下的平移操作效率均分别显著好于恒定背景信息和无背景信息下的

操作效率 ( $ps < .01$ ), 自适应背景焦点显示下的平移操作效率显著好于单一纠正信息提示下的操作效率 ( $p < .05$ )。五种方式下的姿态操作效率存在显著性差异 ( $F(4, 70)=8.0220, p < .001, \eta^2=.314$ ), 进一步 LSD 事后检验, 自适应背景焦点显示、单一纠正信息提示和单一指导信息提示下的姿态操作效率均分别显著好于恒定背景信息和无背景信息下的操作效率 ( $ps < .05$ ), 自适应背景焦点显示下的姿态操作效率 ( $M \pm SD=1248.9 \pm 353.9$ ) 与单一指导信息提示下的操作效率 ( $M \pm SD=1576.8 \pm 618.1$ ) 存在边缘显著性差异 ( $p=.073$ )。

### 3.2 主观结果

主观负荷评价结果无 3 个标准差之外的异常数据, 以下是基于 75 名被试实验结果分析。

表 3 不同显示方式下的主观负荷评价结果 ( $M \pm SD$ )

显示方式	脑力需求	体力需求	时间需求	业绩水平	努力程度	受挫程度	总分
自适应背景焦点	4.4±1.3	.3±.6	3.1±1.7	1.8±1.0	2.6±1.3	1.4±1.0	13.6±1.8
单一纠正提示	2.7±1.7	.8±1.2	2.6±1.6	1.8±1.5	2.6±1.5	1.3±1.5	11.9±2.1
单一指导提示	4.4±1.6	.8±1.3	3.0±1.4	1.4±.8	2.8±1.3	1.9±1.6	14.2±2.8
恒定背景信息	3.2±2.0	.8±1.1	2.0±2.1	1.8±1.4	2.4±.9	1.9±1.6	12.1±2.9
无背景信息	3.9±2.0	1.0±1.3	2.5±1.7	1.7±1.3	3.2±1.6	1.6±1.4	14.0±2.7

表 3 为不同显示方式下的主观负荷评价结果。基于表可知, 单一纠正信息提示的负荷总分最低。对五种方式下的主观负荷结果进行单因素方差分析可知, 五种方式下负荷总分之间达到显著性差异 ( $F(4, 70)=2.755, p < .05, \eta^2=.136$ ), 进一步 LSD 事后检验, 自适应背景焦点显示下的总分

( $M \pm SD=13.6 \pm 1.8$ ) 和单一纠正信息提示下的总分 ( $M \pm SD=11.9 \pm 2.1$ ) 存在边缘性显著差异 ( $p=.078$ ), 单一纠正信息提示和恒定背景信息显示下的总分均分别显著低于单一指导信息提示和无背景信息下的总分 ( $ps < .05$ ), 自适应背景焦点显示, 单一指导信息提示和无背景信息两两之间的总分无显著差异



( $p > .05$ )。

## 4 讨论

### 4.1 背景焦点显示方式的有效性

本研究通过比较恒定背景信息和无背景信息显示的绩效发现,提供遥操作所需场景信息能有效降低主观负荷。结果表明,在主观评分上,恒定背景信息显示下被试的主观负荷评分显著低于无背景信息下评分。以往的研究发现,在操作界面中加入背景信息能有效提高任务绩效(葛列众,魏欢,郑燕,2012)。我们的研究结果与以往研究结果部分一致。根据背景焦点技术原理,该技术既突出末端窗口信息,又加入全局背景信息,被试在关注末端窗口信息的同时,能通过全局背景信息获取此时末端在整体空间的相对位置,有效预测了操作过程中末端动态移动方向和距离,提高了遥操作的视觉临场感,减少空间认知负荷。然而,在客观绩效上未发现恒定背景信息和无背景信息显示之间有显著差异,可能是在不需要全局背景信息时,固定在屏幕上的背景窗口会分散被试注意,影响操作绩效。这个假设由本研究提出的自适应背景焦点显示动态呈现背景信息的有效性进一步得到验证。

### 4.2 自适应背景焦点显示方式的有效性

本研究结合背景焦点技术和自适应技术,提出自适应背景焦点显示技术原型。实验中,自适应背景焦点显示、单一自适应背景焦点显示(纠正信息和指导信息)是跟随被试的操作需求,动态呈现操作信息。相对于自适应背景焦点显示的动态性,恒定背景信息显示是静态固定的。本研究发现,相比无背景信息和静态背景信息显示,不同动态呈现方式对遥操作的绩效和认知负荷有影响。

相比无背景信息显示,自适应技术能根据需求动态的改变背景信息显示,提高任务绩效,减少认知负荷。结果表明,在客观绩效上,单一指导信息提示下的平移操作效率显著好于无背景信息下效率,单一纠正信息提示和单一指导信息提示下的姿态操作效率均显著好于无背景信息下效率。在主观评分上,相比无背景信息显示,单一纠正信息提示下的被试主观负荷更少。以往研究也发现,自适应技术在一定程度上能提高被试操作绩效(郑璐,2011; Kiefer, Giannopoulos, Anagnostopoulos, Schöning, & Raubal, 2017)。本研究结果与以往研究结果相一致。由自适应技术原理可知,自适应界面包含三大部分,

分别是输入、推论和输出,其中输入记录被试操作行为反应,推论分析和推断被试操作行为,输出则根据推论自动改变界面信息呈现方式(葛列众,刘宏艳,2014)。本研究中,自适应界面根据被试操作机械臂的规律特点,分析被试此时需要的提示信息,界面自动呈现帮助信息。其中纠正信息能有效减少犯错机率,预防被试错误操作;指导信息能有效提前预告下一步操作内容,引导被试正确操作。因而,两种自适应提示信息的应用可以简化复杂操作,提高对接操作绩效。

相比恒定背景信息的静态显示,根据操作者特性需求的动态化呈现信息对操作绩效更有效。自适应背景焦点显示下的平移操作效率和姿态操作效率都要好于恒定背景信息下操作效率。Quintas, Almeida, Sousa 和 Menezes (2015) 也发现,一个上下文感知的沉浸式遥操作界面能有效提高操作者的沉浸感和任务绩效。可能是自适应背景焦点显示技术能自动适应并动态地在遥操作界面中显示背景信息,简化了遥操作界面显示信息的复杂性,突破了原有静态信息显示方式,实现以智能操作为基础的拟人化和个性化信息呈现(葛列众,刘宏艳,2014)。因此相比恒定背景信息的固定性,动态化呈现信息方式能根据被试此时操作的特点适当弹出需要信息,有效预测被试操作意图,简化与机械臂的交互过程,提高任务绩效。

研究进一步发现,自适应背景焦点显示和单一自适应背景焦点显示的不同动态性呈现对操作绩效有不同的影响。相比单一自适应背景焦点显示,自适应背景焦点显示既包含了两种自适应信息提示,还包含了动态的背景信息显示。自适应背景焦点显示下的平移操作效率优于单一纠正信息提示下的绩效,自适应背景焦点显示下的姿态操作效率优于单一指导信息提示下的绩效。根据自适应背景焦点显示原理,自适应背景焦点显示结合了背景焦点技术和自适应显示技术的优点,既运用了背景焦点技术提供更全面整体空间位置信息的优势,也应用了自适应技术简化操作界面复杂性和减少操作步骤的优点,增强视觉临场感,提高遥操作绩效。这说明,相比背景焦点技术和自适应显示技术,自适应背景焦点显示在遥操作界面中具有更高的有效性,更好地适应被试需求。

然而,单一纠正信息提示可显著降低被试主观负荷,自适应背景焦点显示下被试主观负荷则相对

更大。结合实验推测,自适应背景焦点显示包含了不能降低被试主观负荷的单一指导信息提示。因此,自适应背景焦点显示可能受到单一指导信息提示影响,未能有效减少主观负荷。同时,自适应背景焦点显示还包含了动态背景信息显示,而动态背景信息显示对遥操作主观负荷的影响在本研究中并未探讨。在后续研究中,我们可进一步探索自适应背景焦点显示所引发的视觉负荷相关问题,进一步优化算法。

## 5 结论

本研究通过比较自适应背景焦点显示与其他四种显示发现:(1)相比单一纠正信息提示、单一指导信息提示、恒定背景信息显示和无背景信息显示,自适应背景焦点显示能更有效提高被试操作绩效;(2)相比其他显示,单一纠正信息显示可有效降低操作认知负荷。

### 参考文献

- 胡海鹰,李家伟,王捷,刘宏.(2006). 立体视觉临场感系统的设计和实现. *光学技术*, 32(21), 1-3.
- 葛列众,刘宏艳.(2014). 自适应界面及其研究. 第十七届全国心理学学术会议论文摘要集. 北京.
- 葛列众,魏欢,郑燕.(2012). 焦点-背景技术对学习绩效的影响研究. *人类工效学*, 18(3), 45-48.
- 宋爱国.(2012). 力觉临场感遥操作机器人技术研究进展. *机械制造与自动化*, 41(1), 1-5, 22.
- 薛书骥,王春慧,蒋婷,田志强,姜国华.(2017). 面向空间机械臂遥操作任务的客观绩效指标分析. *载人航天*, 23(5), 697-703.
- 郑璐.(2011). 手机通讯录自适应与自定义的工效学研究. 浙江理工大学硕士学位论文.
- Chi, H. L., Chen, Y. C., Kang, S. C., & Hsieh, S. H. (2012). Development of user interface for tele-operated cranes. *Advanced Engineering Informatics*, 26(3), 641-652.
- Eliav, A., Lavie, T., Parmet, Y., Stern, H., & Edan, Y. (2011). Advanced methods for displays and remote control of robots. *Applied Ergonomics*, 42(6), 820-829.
- Johnson, C. A., Adams, J. A., & Kawamura, K. (2003). Evaluation of an enhanced human-robot interface. In *Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Washington, DC, USA: IEEE*.
- Kane, S. K., Wobbrock, J. O., & Smith, I. (2008). Getting off the treadmill: Evaluating walking user interfaces for mobile devices in public spaces. In *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, Amsterdam, Netherlands: ACM*.
- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Anagnostopoulos, V. A., Schöning, J., & Raubal, M. (2017). Controllability matters: The user experience of adaptive maps. *GeoInformatica*, 21(3), 619-641.
- Lee, S., & Kim, G. (2008). Effects of haptic feedback, stereoscopy, and image resolution on performance and presence in remote navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(10), 701-717.
- Mott, M. E., & Wobbrock, J. O. (2014). Beating the bubble: Using kinematic triggering in the bubble lens for acquiring small, dense targets. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Toronto, ON, Canada: ACM*.
- Nakamura, H., Gao, Y., Gao, H., Zhang, H., Kiyohiro, A., & Mine, T. (2014). Toward personalized public transportation recommendation system with adaptive user interface. In *Proceedings of 2014 IIAI 3rd International Conference on Advanced Applied Informatics (IIAIAI)*, Kitakyushu, Japan: IEEE.
- Olmos, O., Wickens, C. D., & Chudy, A. (2000). Tactical displays for combat awareness: An examination of dimensionality and frame of reference concepts and the application of cognitive engineering. *The International Journal of Aviation Psychology*, 10(3), 247-271.
- Song, I. J., & Cho, S. B. (2013). Bayesian and behavior networks for context-adaptive user interface in a ubiquitous home environment. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1827-1838.
- Voshell, M., Woods, D. D., & Phillips, F. (2005). Overcoming the keyhole in human-robot coordination: Simulation and evaluation. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Los Angeles, CA: Sage Publications*.

# The Application of Adaptive Focus-Context Displays on the Teleoperation

Pan Yunxian<sup>1</sup>, Wang Qijun<sup>1</sup>, Jiang Ting<sup>2</sup>, Ge Liezhong<sup>3</sup>, Wang Li

(<sup>1</sup>Department of Psychology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, 310018)

(<sup>2</sup>China Astronaut Research and Training Center, Laboratory of Human Factors Engineering, Beijing, 100094)

(<sup>3</sup>Center for Psychological Science, Zhejiang University, Hangzhou, 310007)

**Abstract** Space manipulator teleoperation system is a complex system of human-computer interaction. The presentation of visual information during the interaction affects the efficiency of the operator in the performance of the teleoperation. To improve the human performance of space teleoperation such as space station robotic arm operation task, it is an important technical method to improve the operators telepresence. In order to improve operating performance in the information display interface of telepresence, focus-context technology has been studied by many researchers. However, the presentation of focus-context technology is static, and lacks consideration of the operator's operating characteristics and needs. This study combines the focus-context technology and the adaptive technology. It applies the new technology to the teleoperation display interface, and examines the effectiveness of the adaptive focus-context display technology by comparing the teleoperation performance under different display conditions.

The current study consists of two parts. The first one describes the features of the adaptive focus-context display technology. The display of the adaptive focus-context display technology can be changed dynamically according to different adaptive algorithms, as shown in Fig. 2. The second part is an empirical experiment. Those tests were developed in V-REP PRO by Lua. All sessions were run on a 1280×768 20-inch resolution monitor. The operating handle used during the experiment was two PXN-2113 handles connected over USB. The experiment was a single factor between-subjects design with 5 levels (display type: adaptive focus-context display, single correction information display, single guidance information display, single constant background information display, and no background information display). The dependent variables were operation time, two types of operating efficiency and operator's evaluation of NASA-TXL. The NASA-TXL referred to six aspects of evaluation: mental demand, physical demand, temporal demand, performance, effort, and frustration. Seventy-five right-handed adults participated in the study (40 females and 35 males) who were randomly assigned to the 5 levels of experiment. For each group, participants were asked to finish 6 times of space station robotic arm operation tasks with different displays' conditions. After the space station robotic arm operation tasks, participants' subjective evaluation was performed.

All data were processed by SPSS 17.0. The mean and standard deviation of the five experiment types' performance and satisfaction evaluation were shown in Table 2 to 3. The ANOVA results showed: 1) compared with the other four display (single correction information display, single guidance information display, constant background information display, and no background information display), the adaptive focus-context display could more effectively improve the performance of participants ( $p < .05$ ). 2) Compared with the other four display, the adaptive focus-context display showed no significant advantage in reducing the operational cognitive load ( $p > .05$ ).

The Research shows that the adaptive focus-context display technology can optimize the information display in the teleoperation interface and improve work performance.

**Key words** teleoperation, robotic arm, focus-context display, adaptive display, operational performance