

ECDIS 人机界面的可用性研究

王太航, 郑彭军*

(宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 运用基于任务的 KLM 模型, 对 ECDIS 人机界面的 2 种常见设计方案(基于单文档和基于对话框)执行特定任务所需的操作用时进行了理论预测, 然后通过实际测试检验理论预测结果的准确性, 进而比较这 2 种设计方案执行相同特定任务的效率。

关键词: ECDIS; 人机界面; 可用性; KLM; 可用性评估

中图分类号: U666.159

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2015) 01-0052-06

电子海图显示与信息系统(Electronic Chart Display and Information System, ECDIS)是航海技术史上继航海雷达/ARPA 之后的又一项革命性成果。ECDIS 是一种典型的人机交互界面(Human-Machine Interface, HMI), 其设计采用图形界面和菜单系统。ECDIS 功能强大, 在船舶导航、避碰、AIS和 VTS 等方面均得到广泛应用, 目前已经发展成为船舶综合导航系统和决策辅助系统^[1]。

ECDIS 在现代导航信息领域发挥了重要作用。然而, 设计人员过多关注系统功能和技术水平, 对界面可用性评估的重视程度不够。在实际应用中, 用户对系统界面最关心的是如何快速、简便、有效地实现界面操作并及时得到准确的人机交互信息。对于 ECDIS 人机界面, 目前亟待解决的问题是系统功能日益复杂造成界面操作更加难以被熟练掌握^[2]。

国际海事组织(International Maritime Organization, IMO)密切关注 ECDIS 的发展和应用。e-Navigation 战略提出“航行更安全, 海洋更清洁, 导航更健康”的目标, 要求全面整合航海资源, 实现航行信息的广泛、有效、及时交互, 进一步提高航行安全、效率和保护海洋环境的能力^[3]。STCW 公约马尼拉修正案的前瞻性内容包含电子航海战略的实施, 对船载 ECDIS 的配备以及船员操作培训、考试和发证均做出明确规定^[4]。

基于上述背景, 为了全面改进 ECDIS 人机界面设计, 综合提升界面可用性, 需对 ECDIS 人机界面的可用性进行深入研究。笔者从 ECDIS 人机界面的特点出发, 根据可用性及其评估方法, 提出适于 ECDIS 人机界面的可用性测试与评估方法。

1 ECDIS 人机界面和可用性评估

1.1 ECDIS 人机界面

人机界面是用户与系统之间进行交互的媒介, 其任务是实现交互信息的内部形式与用户可接收形式之间的有效转换^[5]。人机界面应具有简单易学、灵活可用和准确可靠等特点, 设计应以友好的方式完成特定任务, 使交互结果与用户预期目标相符, 确保信息交互的及时性、准确性和可靠性。

ECDIS 作为一种典型的人机交互界面, 有 2 种常见的设计方案, 表 1 概括了这 2 种方案的设计理

表 1 ECDIS 人机界面的 2 种常见设计方案

设计 方案	设计 理念	界面操 作方式	界面操作特点
方案 1	基于单 文档	菜单 操作	用户执行特定任务时, 在界面上找到相应的菜单, 打开菜单并选择所需菜单项, 依次完成操作。
方案 2	基于对 话框	对话框 操作	用户执行特定任务时, 打开对话框, 按照对话框的引导和提示完成相应操作。

收稿日期: 2013-12-06.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家 863 项目 (2012AA112304) .

第一作者: 王太航 (1989—), 男, 云南玉溪人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 港航技术与管理工程. E-mail: 1193735884@qq.com

*通信作者: 郑彭军 (1965—), 男, 浙江慈溪人, 博导/研究员, 主要研究方向: 交通工程等. E-mail: zhengpengjun@nbu.edu.cn

念、界面操作方式和特点。

1.2 可用性和可用性评估

可用性概念由学者于 20 世纪 70 年代提出。Hartson (1998 年)认为可用性包含 2 方面内容^[6]: 有用性和易用性,但是其可用性定义缺少对可操作性的进一步分析。Nielsen (1993 年)认为可用性应包含界面的易学性、易记性、交互效率、出错率以及用户满意度等因素^[7]。国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)在 ISO 9241-11 标准^[8]中给出可用性的定义是:产品在特定使用环境中被特定用户用于特定用途时所具有的有效性、效率和用户主观满意度^[9]。由此可归纳出可用性的内涵为:(1)有用性和有效性;(2)交互效率;(3)用户满意度。

人机界面设计是一个逐步逼近最优设计目标的迭代过程:界面设计→可用性测试与评估→改进设计。为了改进产品设计,需对其界面可用性进行评估。人机界面可用性评估的主要指标有:执行任务用时、用户体验评价和交互准确度等^[10]。可用性评估应遵循的原则为^[2]:(1)可用性评估的主要参与者是用户,参与者应具有代表性,应考虑其知识水平和技能素质等因素。(2)产品设计初期就开始进行可用性测试与评估。(3)应在用户执行特定任务的实际操作环境中进行可用性测试与评估。

国内外学者对人机界面可用性的研究主要关注电子产品,如 IBM 产品、手机界面,以及车载信息系统(In-Vehicle Information Systems, IVISs)等领域,提出了可用性评估理论和试验模型。具有代表性的有:马钧等^[11]建立的车载人机界面的可用性评价指标体系,运用问卷调查法进行研究;Harvey 等^[12]提出的适于车载信息系统(IVISs)的可用性评估方法,构建了可用性评估框架;Lin 等^[13]使用眼动参数在正常控制操作和故障检测情形下对人机界面框架进行评估;刘颖^[7]介绍了可用性测试、启发式评估、认知过程浏览和行为分析在可用性评估研究中的应用。

2 ECDIS 人机界面的可用性评估

可用性评估的常用方法主要包括启发式评估、用户模型法、认知性遍历、可用性测试、行为分析和问卷调查等^[2],需从评估对象、参与人员、评估

过程、结果分析和适用阶段等方面对可用性评估方法展开研究^[7]。用户模型法是一种常用的可用性评估方法,可以预测用户在特定环境中使用系统执行特定任务所需的操作时间,典型的用户模型为基于任务的击键模型(Keystroke-Level Model, KLM)。笔者结合宁波大学海运学院的航海模拟器和 ECDIS 实验室设备条件,运用基于任务的击键模型对 ECDIS 人机界面的可用性进行测试与评估。

2.1 基于任务的击键模型

交互效率是评价人机界面可用性的重要指标,可用性评估研究需重点关注用户与界面交互的效率。对于 ECDIS 人机界面的 2 种常见设计方案——基于单文档和基于对话框,用户的操作效率和体验是不同的。基于任务的击键模型可用于比较这 2 种方案执行相同特定任务的效率,进而分析评估 ECDIS 人机界面的可用性。

KLM 的限制条件为:用户按照既定方法使用系统无差错地进行各项操作。所需完成的特定任务必须事先给定,该任务可能包含许多子任务。运用 KLM 进行预测前,必须确定系统语言命令、用户运动技能和系统响应时间等参数。执行相同的特定任务,用户使用基于不同设计方案的界面时所需完成的操作流程是不同的,这种操作流程的差异也就决定了不同界面执行相同任务的效率是不同的。基于任务的 KLM 就是一种预测完成特定任务所需操作时间的可用性评估方法。KLM 由操作符、放置“思维(M)”操作符的启发规则和编码方法组成;其中操作符用于描述用户在交互过程中的通用操作。Card 等^[14]通过大量的数理统计分析,计算了进行典型操作所需的平均用时(表 2)。

表 2 中的“思维(M)”操作符用于描述用户在操作过程中可能发生的心理准备,运用基于任务的 KLM 对 ECDIS 人机界面进行可用性评估时可能用到的“思维(M)”操作符放置规则如下^[14]:

(1) 候选 M 的初始插入:在所有选择命令的 P 之前插入 M;若 P 为选择命令参数,其前面不需要插入 M;在所有 K 之前插入 M。

(2) 预期 M 的删除:若 M 前面的操作符能完全预期 M 后面的一个操作符,则将该 M 删除。

使用系统执行特定任务时,用户的实际操作流程就是表 2 中的操作符的排列组合,亦即操作序

表 3 用户使用基于方案 1 和方案 2 的 ECDIS 完成特定任务的操作流程

操作任务	设计方案 1		设计方案 2	
	操作流程	操作符	操作流程	操作符
选择海图	手移到鼠标	H	手移到鼠标	H
	光标指向“海图操作”菜单	P	光标指向“选择海图”按钮	P
	点击“海图操作”菜单	B	点击“选择海图”按钮	B
	光标指向“选择海图”菜单	P	光标指向“选择海图”对话框	P
	点击“选择海图”菜单	B	点击所需海图名	B
	光标指向“选择海图”对话框	P	点击“调用海图”按钮	B
	点击所需海图名	B		
	点击“显示海图”按钮	B		
放大海图	光标指向“海图操作”菜单	P	光标指向“放大海图”按钮	P
	点击“海图操作”菜单	B	点击“放大海图”按钮	B
	光标指向“放大海图”菜单	P	光标移到界面上	P
	点击“放大海图”菜单	B	点击左键放大海图	B
	光标移到界面上	P		
	点击左键放大海图	B		
海图信息查询	光标指向“海图操作”菜单	P	光标指向“海图查询”按钮	P
	点击“海图操作”菜单	B	点击“海图查询”按钮	B
	光标指向“海图查询”菜单	P	光标指向“海图查询”对话框	P
	点击“海图查询”菜单	B	点击所需查询内容	B
	光标移到界面上	P	光标移到界面上	P
	点击左键进行海图信息查询	B	点击左键查询海图信息	B
关闭界面	光标指向“关闭”按钮	P	光标指向“退出”按钮	P
	点击左键退出界面	B	点击左键退出界面	B

表示参与人员个数. Nielson 等(1993 年)通过数理统计分析发现, λ 一般为 31%. 本研究选择 10 名用户(其中船长 2 名, 大副 2 名, 二副 2 名, 三副 2 名, 研究生 2 名)参加实际测试, 根据公式(2)计算得:

$$p=1-(1-31\%)^{10}\approx 97.55\%.$$

可见, 选择 10 名用户参加实际测试, 大约能发现 97.55%的可用性问题, 这说明参加测试的用户人数的选择是合理、可行的. 测试环境为宁波大学海运学院航海模拟器和 ECDIS 实验室设备. 测试前, 向这 10 名用户介绍测试流程和操作方法, 以便其熟悉测试操作需用到的 ECDIS 人机界面. 进行实际测试时, 每位用户分别使用基于方案 1 的 ECDIS 和基于方案 2 的 ECDIS, 按照表 3 所示的操作流程完成相同的特定任务. 通过测试设备采集每位用户分别运用基于方案 1 的 ECDIS 和基于方案 2 的 ECDIS 完成相同特定任务的操作用时. 实际

测试结果见表 4.

表 4 基于 KLM 的用户操作实际测试结果

参与测试的用户			实际操作	
编号	学历	职务	方案 1/s	方案 2/s
1	本科	二副	14.50	14.06
2	本科	二副	14.95	13.20
3	本科	三副	17.08	12.40
4	本科	大副	16.27	13.09
5	本科	船长	15.80	11.98
6	大专	船长	15.93	12.28
7	大专	大副	17.04	13.44
8	本科	三副	16.27	13.35
9	研究生	学生	14.70	13.88
10	研究生	学生	15.64	13.64
平均操作			15.818	13.132

根据这 10 名用户的实际测试结果数据, 计算用户分别运用基于方案 1 的 ECDIS 和基于方案 2 的 ECDIS 完成相同特定任务的平均操作用时, 计算结果为:

$$T_{(\text{设计方案 1, 实际预测})}=15.818 \text{ s.}$$

$$T_{(\text{设计方案 2, 实际预测})}=13.132 \text{ s.}$$

比较实际测试的平均操作用时得:

$$T_{(\text{设计方案 1, 实际预测})}>T_{(\text{设计方案 2, 实际预测})}.$$

3 研究结果分析

比较理论预测结果和实际测试结果, 用户分别使用基于设计方案 1 的 ECDIS 和基于设计方案 2 的 ECDIS 完成相同特定任务时, 2 种设计方案各自的理论预测操作用时均小于其实际测试平均操作用时, 即

$$T_{(\text{设计方案 1, 理论预测})}<T_{(\text{设计方案 1, 实际预测})},$$

$$T_{(\text{设计方案 2, 理论预测})}<T_{(\text{设计方案 2, 实际预测})}.$$

实际测试平均操作用时大于理论预测操作用时是合理的, 因为运用基于任务的 KLM 模型得到的理论预测结果是用户在理想状况下为了完成特定任务而无差错地进行 ECDIS 界面操作所需的操作时间; 而在实际测试环境中, 由于存在用户对界面操作不熟悉、操作出现错误等因素, 实际测试平均操作时间将大于理论预测值。

理论预测结果显示, 用户执行相同特定任务时, 基于设计方案 1 的 ECDIS 所需的操作时间理论预测值大于基于设计方案 2 的 ECDIS, 即

$$T_{(\text{设计方案 1, 理论预测})}>T_{(\text{设计方案 2, 理论预测})}.$$

这一理论预测结果的准确性可以由实际测试结果进行验证。实际测试结果显示, 用户执行相同特定任务时, 基于设计方案 1 的 ECDIS 所需的实际测试平均操作用时大于基于设计方案 2 的 ECDIS, 即

$$T_{(\text{设计方案 1, 实际预测})}>T_{(\text{设计方案 2, 实际预测})}.$$

由此可见, 用户为完成相同的特定任务而进行实际测试操作时, 基于方案 2 的 ECDIS 的交互效率高于基于方案 1 的 ECDIS。实际测试结果与理论预测结果是吻合的, 说明理论预测结果是准确的, 运用基于任务的 KLM 预测用户执行特定任务时所需的操作时间是可行的。

4 结论

运用基于任务的 KLM 模型对 ECDIS 人机界面的可用性进行测试和评估, 所用到的研究方法包括理论预测和实际测试。理论预测研究中, 运用 KLM 预测用户分别使用基于 2 种常见设计方案的 ECDIS 执行相同特定任务所需的操作时间。理论预测结果显示, 基于方案 2 的 ECDIS 人机界面的交互效率高于基于方案 1 的 ECDIS, 说明从交互效率角度来看, 基于方案 2 的 ECDIS 人机界面具有更高的可用性。为了验证理论预测结果的准确性, 选择合适的用户参与实际测试。实际测试结果表明, 基于方案 2 的 ECDIS 人机界面所需的实际测试平均操作用时少于基于方案 1 的 ECDIS, 因此认为基于方案 2 的 ECDIS 人机界面具有更高的交互效率。这也可以说明 KLM 模型的预测结果是准确的, 运用基于任务的 KLM 评估 ECDIS 人机界面可用性的方法是可行的。

基于任务的 KLM 模型能精确地、有效地预测用户执行特定任务的操作用时, 进而对 ECDIS 人机界面的可用性进行评估。在 ECDIS 人机界面的设计研发过程中, 运用基于任务的 KLM 模型对界面可用性进行理论预测和实际测试, 能比较不同界面设计方案的交互效率并发现界面可用性设计可能存在的问题, 从而改进界面设计、提高界面可用性。运用基于任务的 KLM 模型对 ECDIS 人机界面进行可用性评估研究, 还需进一步解决操作错误、理想状况与实际状况的差异等问题。

参考文献:

- [1] 任松涛, 陈雪峰. ECDIS 的功能与应用[J]. 广州航海高等专科学校学报, 2005, 13(1):15-17.
- [2] 李锐. 电子海图系统人机界面的可用性评估研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [3] 张铁军, 朱勇强. E-Navigation 环境下 ECDIS 发展研究[J]. 中国海事, 2012, 21(1):46-49.
- [4] 金一丞, 尹勇. STCW 公约马尼拉修正案下的航海模拟器发展战略[J]. 中国航海, 2012, 35(3):5-10.
- [5] 李方园. 人机界面设计与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008:1-20.
- [6] Hartson H R. Human-computer interaction: Interdisciplinary roots and trend[J]. The Journal of System and Software, 1998, 43(2):103-118.

- [7] 刘颖. 人机交互界面的可用性评估及方法[J]. 人类工效学, 2002, 8(2):35-38.
- [8] International Organization for Standardization (ISO). ISO 9241. Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs) — Part 11[EB/OL]. [2013-10-05]. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=16883.
- [9] Jeng J. What is usability in the context of the digital library and how can it be measured[J]. Information Technology and Libraries, 2005, 24(2):47-56.
- [10] Babcock J, Lipps M, Pelz J. How people look at pictures before, during, and after image capture: Buswell revisited [C]// Proceedings of SPIE, Human Vision and Electronic Imaging. San Jose: SPIS Press, 2002:34-47.
- [11] 马钧, 吴盈盈. 可用性测试评估方法在车载人机界面评价上的应用研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2011, 49(3):1-5; 9.
- [12] Harvey C, Stanton N A, Pickering C A, et al. A usability evaluation toolkit for In-vehicle Information Systems (IVISs)[J]. Applied Ergonomics, 2011, 42(4):563-574.
- [13] Lin Y, Zhang W J, Watson L G. Using eye movement parameters for evaluating Human-machine interface frameworks under normal control operation and fault detection situations[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2003, 59(6):837-873.
- [14] Card S K, Moran T P, Newell A. The Keystroke-level model for user performance time with interaction systems [J]. Communications of the ACM, 1980, 23(7):396-410.

On Usability of ECDIS Human-machine Interface

WANG Tai-hang, ZHENG Peng-jun*

(Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Usability is a key indicator to evaluate Human-machine interface (HMI). ECDIS is a typical HMI for e-Navigation. In order to improve the usability of ECDIS HMI, it is necessary to conduct usability test and evaluation. The paper uses the method called Keystroke-level model (KLM) to investigate the time spent on executing typical navigation operations using two common design schemes, which are based on single document and dialog box. In this report, the accuracy of the theoretical prediction is tested against the actual test results, and the efficiency of the two design schemes is compared. The results are expected to provide technical insights for the usability of ECDIS and design of HMI.

Key words: ECDIS; HMI; usability; KLM; usability evaluation

(责任编辑 史小丽)