

# 地铁调度界面的人因数据采集试验设计\*

王洁<sup>1</sup> 程颖<sup>2</sup> 郭隽<sup>1</sup> 郭晓宏<sup>1</sup>

(1. 首都经济贸易大学安全与环境工程学院, 100070, 北京; 2. 首钢集团有限公司培训中心, 100041, 北京//第一作者, 副教授)

**摘要** 为了获取地铁人因失误数据进而有效预防地铁人因事故, 提出使用模拟机采集地铁工作人员人因失误数据的方法, 并以地铁调度系统为例验证该方法的有效性。依据行车调度系统及其任务的特点, 采用 visual C# 软件设计某地铁线 ATS(列车自动监控)系统工作站主界面, 并选取 20 名经过训练的研究生作为试验对象, 设定 6 种不同的试验情景和具体操作步骤, 通过模拟操作获取人因失误数据。数据统计结果表明, 菜单栏操作的失误率低于右键点击操作的失误率, “查找停站超时列车”情景的人因失误率最高。此结论可为调度方案的优化提供参考。

**关键词** 城市轨道交通; 行车调度; 人因失误; 数据采集

**中图分类号** U292.14

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2019.04.003

## Experimental Design of Human Data Acquisition on Metro Dispatching Interface

WANG Jie, CHENG Ying, GUO Jun, GUO Xiaohong

**Abstract** In order to obtain the human error data in metro and prevent human error accidents effectively, a method to collect the error data of metro staff by using the simulator is proposed, and the metro train dispatching system is taken as an example to verify the effectiveness of the method. According to the characteristics of the traffic dispatching system and tasks, visual C# software is used to design the main interface of ATS system workstation for a certain line, twenty trained graduate students are selected as the experimental objects, for whom six different scenarios and specific operation steps are set up to obtain the human error data. The result of data statistics shows that the menu bar operation error rate is lower than that of the right click, while the "find the timeout stop train" scenario makes the most errors. The experimental results provide references for the optimization of scheduling plans.

**Key words** urban rail transit; traffic dispatching; human error; data collection

**First-author's address** School of Safety and Environmen-

tal Engineering, Capital University of Economics and Trade, 100070, Beijing, China

人误数据作为人因定量分析的基础, 主要从通用数据、历史记录数据及专家判断中获取。英国铁路安全与标准委员会通过相关统计数据和研究, 确定铁路常见任务类型的人因失误概率上下限<sup>[1]</sup>。文献[2]讨论了铁路领域人因失误概率的可转变性, 并选用工作系统模型证明铁路独特的工作场所和行为影响因素会影响人因失误概率。文献[3]参考核电领域通用方法, 对铁路列车调度员结构及生理、心理、环境、职业、管理和社会等导致人因失误的因素进行分析, 计算调度系统中常见事例的人因失误概率; 文献[1, 4]通过结合贝叶斯网络、SLIM方法和证据理论, 提出了一种优化的可量化人因失误率的方法, 用以计算高铁列车调度员的人误率。但是, 地铁领域的人因失误数据相对较少且难以搜集。

本文提出设计模拟机试验以获取地铁领域人因数据的方法。以采集行车调度员失误数据为例, 设计行车调度 ATS(列车自动监控)系统界面, 并模拟行车调度员在列车运营阶段的非高峰时期处理监视、操作型任务的表现, 从而近似得到调度员在监视和操作过程中的失误概率, 进而分析调度员人因失误原因, 以保障地铁安全运营。

## 1 试验设计

### 1.1 试验界面

ATS 系统主要为中央调度员提供人机交互界面。调度员通过界面来监督、控制信号设备及列车运行。通过对地铁调度中心的实地调研, 根据行车调度系统任务的特点及信息模块化等设计原则<sup>[5]</sup>, 采用 visual C# 软件设计某地铁线路 ATS 系统工作

\* 国家自然科学基金项目(71401110); 北京市教委科技一般项目(KM201610038002)

站主界面(如图1所示)。站场图主界面中,地铁线路可显示9座车站,各站之间的多段轨道名和轨道长度均可正常显示。轨道上下行沿线各放置8列车,每列列车的车次号可正常显示。

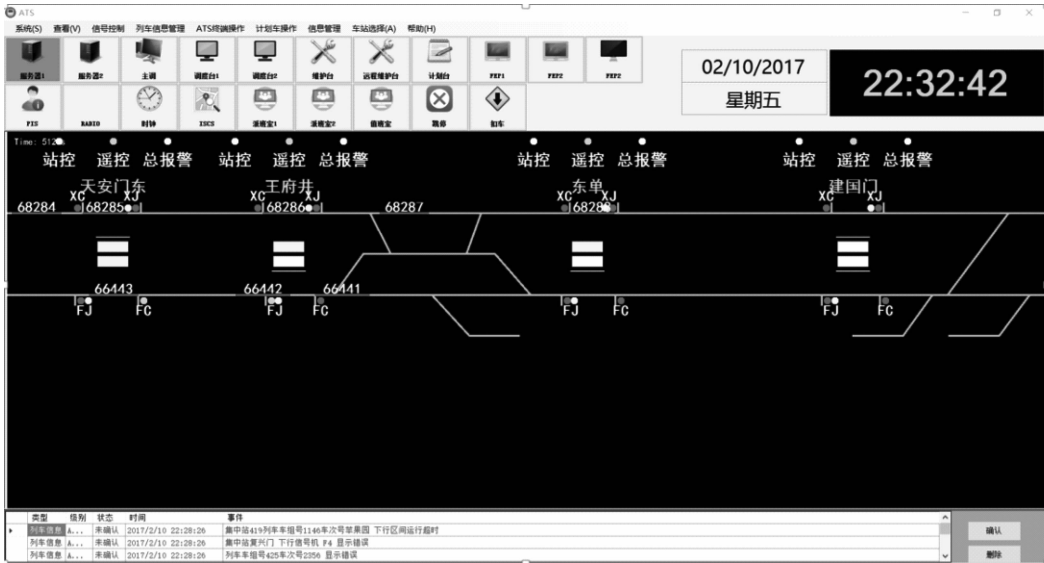


图1 ATS系统工作站主界面

1.2 试验情景设计

- (1)扣车:本次试验设置下行线路西单站为扣车车站。
- (2)人工排列进路:本次试验设置下行线路复兴门站为人工排列进路车站。
- (3)查找停站超时列车:本次试验设置上行线路天安门西站为停站超时车站。
- (4)浏览站场图:通过点击鼠标或者拖拉主界面,可浏览站场图和功能菜单等,以及时监控列车运行状态和控制列车运行。
- (5)设置站台跳停:本次试验设置下行线路天安门东站为跳停车站。
- (6)平移计划车:本次试验将设置在天安门西站停站超时的列车为平移计划车。

2 试验过程

选取被试者20名,均为在校研究生,年龄约为22~27岁。其熟悉计算机操作,接受过本次所设计的ATS系统界面训练,视力或矫正视力、颜色知觉均正常。

2.1 试验步骤

本次试验要求被试者端坐在屏幕前观察试验界面列车运行情况,并通过操作鼠标实现不同的情景要求。本次试验总共设计6种情景。除浏览站场图外,每种情景设置2种操作方式:通过菜单栏进行操作(方式1)和通过右键点击站台进行操作(方式

2)。现以扣车情景为例对两种操作方式进行试验,相关步骤如图2~3所示。

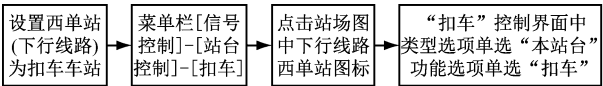


图2 通过菜单栏进行的操作步骤

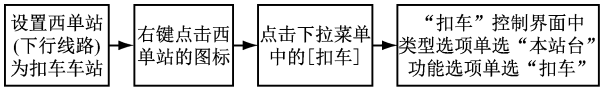


图3 通过右键点击进行的操作步骤

被试者由情景1至情景6依次开展1次操作为1轮测试。每个测试者测试5轮,记录为1组。试验共由20名测试者参与测试,一共测试20组,共计有100轮测试。

2.2 试验数据采集

本次试验通过拷屏软件来记录被试者进行试验操作的过程,获得的数据包括点错误和延时失误两大类。点错误可通过直接观察得出;延时失误先通过秒表记录操作时间,再将操作时间与基本反应时长作比较判断得出。

3 试验数据分析

3.1 标准反应时长

文献[6]揭示了选择(或辨别)的数目与反应时长关系为:

t<sub>R</sub> = lg N (1)

式中：  
 $t_R$ ——反应时长；  
 $N$ ——辨别刺激的数目， $N \geq 2^{[6]}$ 。

由于本次试验的被试者均为高校学生，其专业水平未能达到地铁行车调度员的要求，因此将视觉简单反应时长定为 225 ms，即当  $N = 1$  时， $t_R = 225$  ms。本次试验不仅有选择反应时长，而且还包括键入数字反应时长。文献[7]提出敲击按键所需时长与键盘敲击数目的函数关系，即

$$t_{pk} = \sum_1^k t_i \tag{2}$$

式中：  
 $k$ ——键盘敲击数目；  
 $t_i$ ——敲击第  $i$  个按键所用的时间<sup>[7]</sup>。  
根据上述函数关系，结合各个情景实际操作情况，求得各情景操作标准时长反应见表 1。

表 1 不同情景的标准反应时长

情景		标准反应时长/ms	
		方式 1	方式 2
扣车	扣车	3 033	1 505
	取消扣车	3 033	1 505
人工排列进路	排列进路	3 732	1 982
	取消排列进路	3 732	1 982
设置站台跳停	设置跳停	4 413	2 885
	取消跳停	4 413	2 885
平移计划车	平移计划车	4 842	4 313
查找停站超时列车	停站时间	4 789	3 863
	（设置停站超时）		
	停站时间	4 789	3 863
	（取消停站超时）		
浏览站场图		954	

3.2 试验数据分析

将记录的时间与基本反应时长作比较判断。被试者操作若出现延时或点错，则记录为失误；若操作都延时或都符合标准反应时长要求，则取二者平均值。试验总共操作 1 100 次，失误次数统计见表 2。

表 2 失误次数统计表

情景	延时失误次数/次		点错失误次数/次	
	方式 1	方式 2	方式 1	方式 2
扣车	2	11	1	7
人工排列进路	3	4	3	0
设置站台跳停	1	5	5	4
平移计划车	7	4	4	3
查找停站超时列车	15	27	3	7
浏览站场图	0	0	0	0

为了便于分析，统计 6 种情景在 2 种操作方式

下的失误率（失误次数/试验次数）。为了直观了解人因失误率的趋势和离散程度，计算 6 种情景在 2 种操作方式下失误率的平均值和标准差值。计算结果如表 3 所示。

表 3 不同情景在 2 种操作方式下的失误率

情景	平均值和标准差值			
	失误率平均值/%		失误率标准差	
	方式 1	方式 2	方式 1	方式 2
扣车	0.030	0.170	0.073	0.073
人工排列进路	0.060	0.404	0.073	0.073
设置站台跳停	0.060	0.090	0.094	0.121
平移计划车	0.180	0.330	0.158	0.149
查找停站超时列车	0	0	0	0
浏览站场图	0.110	0.070	0.121	0.098

3.3 试验结果分析

（1）不同情景在两种方式下操作的失误率不同。被试者为不同的个体，其对试验操作的熟练程度不同，导致了不同的试验结果。

（2）方式 2 操作失误率要略高于方式 1。经分析，方式 1 通过菜单栏进行操作，且操作时的选择项目多；方式 2 通过右键点击站台进行操作，且操作时选择的项目少。因此，通过方式 1 进行操作的标准选择反应时长比方式 2 长。在实际操作过程中，虽然每次选择或键入操作时都不一定能按时完成，但 1 个完整的情景任务往往都能符合标准反应时长规定的时间要求，因此标准反应时长越长，各项操作反应时长之间的协调性越强。考虑到两种操作方式难度相当，可知，通过方式 1 操作延时失误率要低于方式 2。

（3）“查找停站超时列车”的失误率最高，“浏览站场图”失误率为零。“查找停站超时列车”的操作过程既包括选择项目，又包括键入数字，而且其选择的项目数较多，键入数字也容易出错，因此在操作时容易出现延时和点错两种失误。“浏览站场图”主要通过横向拖拉页面，在规定的时间内找到指定车站，由于试验主界面能一次展示多个车站，因此基本都能在标准反应时长内找到目标车站。

4 结语

本文根据地铁运营实际情况，结合城市轨道交通人因失误数据采集方法，选择模拟机方法采集地铁人因失误数据。本试验以行车调度为例，验证了模拟机采集地铁人因失误数据方法的可行性。

（下转第 26 页）

势。3 个备选方案对比分析如表 1 所示。

综上所述,MMIS 方案较适合上海轨道交通移

动电视现阶段建设及未来运营故选择 MMIS 方案作为推荐方案。

表 1 备选移动电视应用方案对比分析

项目	TETRA 共缆方案	MMIS 方案	LTE 综合承载网方案
建设成本	较低	低	较高
工程实施	为保证 TETRA 信号覆盖质量,实施技术与工艺要求较高	实施简便,接口标准化程度高,可精简移动电视既有设备	实施较复杂,需结合行车安全业务统筹考虑,保证各情况下不影响行车安全业务
可扩展性	低	高	中
服务质量	标清,存在同频和系统间干扰,影响应用效果	高清及以上,视频延时较低,支持运营信息灵活加载和多样化呈现	高清,因 CBTC、行调等业务的优先传输,LTE 资源不足时移动电视业务中断

4 结 语

根据上海轨道交通移动电视应用方案和现状,既有移动电视因民用通信系统建设模式改变而存在成本增加、运营信息无法加载、播放质量不佳等问题。上海轨道交通的车地无线信号覆盖系统有移动互联网系统(MMIS)、专用无线 TETRA 系统以及正在推进的 LTE 综合承载系统,相应有 3 种移动电视方案。从系统定位、通信带宽、电磁干扰、业务扩展、实施难度与成本等方面,对移动电视方案进行了分析对比,MMIS 方案为最优。此方案具有带宽大、接口标准化、运营信息呈现多样化、设备通用性强、第三方应用开发难度低等优点,对增强运营

信息传播广度和深度、丰富业务应用、降低建设与运维成本等具有十分重要的作用,是目前移动电视建设和运营的最佳方案。

参考文献

[1] 郑祖辉,丁锐,郑岚,等. 数字集群移动通信系统[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社,2008.

[2] 张浩,邹劲柏,蒋伟民. 基于 TETRA 的地铁无线调度通信系统[J]. 移动通信,2005(6):90.

[3] ETSI Technical Committee TETRA and Critical Communications EvoLution (TCCE). Critical communications architecture reference model TR103 269-1 V1. 1. 1 [R]. Nice-France: ETSI,2014.

(收稿日期:2017-09-26)

(上接第 14 页)

根据行车调度系统和任务的特点,设计了某地铁线路 ATS 系统工作站主界面,以进行试验采集人因失误数据。数据统计结果结合反应时长与协调性可知:菜单栏操作的失误率低于右键点击操作的失误率,“查找停站超时列车”情景人因失误率最高。

参考文献

[1] 吴海涛.非正常条件下高铁列车调度指挥人因可靠性研究[D].成都:西南交通大学,2014.

[2] FELDMANN F, HAMMERL M, SCHWARTZ S. Questioning human error probabilities in railways[C]//IEEE. Iet International Conference on System Safety. New Yrok: IEEE, 2009:1-6.

[3] 魏新平. 铁路列车调度系统可靠性研究[D]. 成都:西南交通大学, 2010.

[4] 吴海涛, 罗霞. 高铁列车调度员人因失误概率量化方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(5):108.

[5] KIM W C, FOLEY J D. Providing high-level control and expert assistance in the user interface presentation design[C]// Interchi 93 Conference on Human Factors in Computing Systems. Geneva: IOS Press, 1993:430.

[6] 郭秀艳. 试验心理学[M]. 北京:人民教育出版社, 2012.

[7] LIZ C. Validation of a methodology for predicting performance and workload [R]. Toronto: Eurocontrol Experimental Centre, 1999.

(收稿日期:2017-07-23)