

城市轨道交通安检集中判图人员配置研究*

付保明¹ 张 宁² 石琦玉³

(1. 苏州轨道交通建设有限公司, 215004, 苏州; 2. 东南大学智能运输系统研究中心轨道交通研究所, 210008, 南京;
3. 上海交通职业技术学院轨道交通学院, 200241, 上海)

摘 要 [目的]城市轨道交通安检集中判图业务模式可显著降低人力成本,提高安检效率,提升安检智慧化水平,但判图人员配置却缺乏相应的标准,需对此开展相应研究,为判图中心的建设提供可靠的指导依据。[方法]介绍了安检集中判图的含义、意义及影响因素;基于排队论,结合安检集中判图的业务流程及车站现场运营管理需求,构建乘客安检排队模型,从而确定集中判图中心坐席的配置需求;结合苏州地铁3号线车站安检点的配置情况,利用安检排队模型,计算出判图平台坐席配置规模。[结果及结论]采用基于排队论的安检集中判图人员配置模型,需在高峰期至少配置7名判图人员,判图坐席数量可降低30%;非高峰期至少配置3名判图人员,判图坐席数量可降低70%。车站安检点的服务时长为18 h时,判图坐席数量的综合降低率为58%,减员效果显著。

关键词 城市轨道交通; 安检; 集中判图; 人员配置

中图分类号 U231.92

DOI:10.16037/j.1007-869x.20230479

Staffing for Centralized Image Interpretation in Urban Rail Transit Security Inspection

FU Baoming¹, ZHANG Ning², SHI Qiyu³

(1. Suzhou Rail Transit Construction Co., Ltd., 215004, Suzhou, China; 2. ITS Rail Transit Research Institute, Southeast University, 210008, Nanjing, China; 3. School of Urban Railway Transportation, Shanghai Communications Polytechnic, 200241, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The centralized image interpretation mode in urban rail transit security inspection can significantly reduce labor costs, improve inspection efficiency, and enhance the inspection intelligence level. However, there is a lack of standards for image interpretation staffing, necessitating corresponding research to provide reliable guidance for the image interpretation center construction. [Method] The concept, significance, and influencing factors of centralized image interpretation in security inspection are introduced. Based on queuing theory and considering the business process of centralized im-

age interpretation as well as the on-site operational management requirements at stations, a passenger security inspection queuing model is constructed, thus determining the configuration requirements for centralized image interpretation center seats. With reference to the configuration of station security checkpoints on Suzhou Metro Line 3, and utilizing the inspection queuing model, the configuration scale of image interpretation platform is calculated. [Result & Conclusion] According to the queue theory-based staffing model for centralized image interpretation, at least 7 image interpreters are needed during peak hours, reducing the number of interpretation post by 30%. During off-peak periods, at least 3 interpreters are needed, achieving a 70% reduction in the number of interpretation post. The service duration of security inspection checkpoints at station is 18 hours, and the overall reduction rate of the interpretation post number is 58%, demonstrating a significant reduction in staffing requirements.

Key words urban rail transit; security inspection; centralized image inspection; staffing

城市轨道交通安检是规避个人极端犯罪,保障轨道交通安全运营,保护乘客人身安全的重要手段^[1]。X射线安检机是车站安检的核心设备,安检人员通过安检机呈现的包裹X射线图像,判断包裹是否含有疑似危险物,并进行放行或者开包查验。随着大数据、AI(人工智能)等技术的发展,信用安检^[2]、AI判图^[3]、智能引导^[4]等安检手段显著提高了现场安检效率。随着网络传输能力、可靠度,以及服务器计算能力的提升,集中判图^[5]已成为城市轨道交通安检的主流模式。当前,行业内对集中判图坐席数量的研究甚少,暂无坐席的配置标准,判图中心的建设规模缺乏可靠的指导依据。

因此,如何科学配置判图坐席数量成为安检系统建设亟须解决的难题。根据安检集中判图的业务逻辑及流程,构建乘客安检排队模型,并结合车

* 国家重点研发计划课题(2020YFB1600700)

站现场安检的实际情况,明确安检判图坐席的配置规模,为轨道交通行业安检系统集中判图中心的建设提供参考。

1 集中判图

1.1 集中判图的含义

集中判图是指在 AI 判图辅助的基础上,采用实时传输、负载均衡及人工智能等技术,改变本地判图模式,打破物理空间对安检判图任务的桎梏,动态调整系统内各安检点的判图任务与判图人员的匹配关系,赋予判图员处置安检点判图任务的能力,实现跨地域安检资源共享。

根据安检判图员的业务范围,集中判图方案^[6]主要包括线网集中判图、线路集中判图和区域集中判图;根据安检判图员的分布位置,集中判图方案主要包括物理集中判图和逻辑集中判图两类。

1.2 集中判图的意义

判图任务实现了动态且均衡的分配,解决了判图员忙闲不均的问题,优化了人员配置,并推动了安检员的职业化进程。同时,通过现场及判图平台二次判图,进一步提高了安检精度。集中判图是利用 AI 判图等技术,对既有车站安检模式的突破。

随着 AI 判图准确率的提升,各种标准规范的完善,以及安检思维的转变,AI 判图最终将取代安检判图员,大幅降低车站安检人员配置。

1.3 集中判图的影响因素

传统安检点判图任务的轻重与否和该安检点的过包数量密切相关,而过包数量则与客流量及乘客属性有关。

在火车站等交通枢纽站点,客流量较大,乘客以差旅出行为主,大件行李较多,安检设备及人员长期处于高负荷运转状态。在通勤、通学客流为主的站点,客流具有明显的早晚高峰特征,且由于乘客所携包裹体积较小,安检人员在客流高峰期工作较为繁忙。在一些偏僻的站点,客流量较小,安检设备及人员则长期处于空闲状态。

2 安检排队模型

排队论是通过研究各种服务系统在排队等待中的概率特性,来解决系统的最优设计和最优控制。车站安检点作为乘客服务的瓶颈,排队现象时常发生,且集中判图模式下包裹图像必然存在排队,应用排队论来解决和优化该问题非常必要。

2.1 排队逻辑

乘客到达车站安检点时,将所携包裹送入安检机,安检机利用 X 射线成像依次生成包裹图像,然后将包裹图像发送给集中判图平台。集中判图平台对各车站现场上传的实时包裹图像进行动态分配,由各判图坐席随机判图,并将异常包裹信息返回车站安检现场。安检判图排队逻辑如图 1 所示。

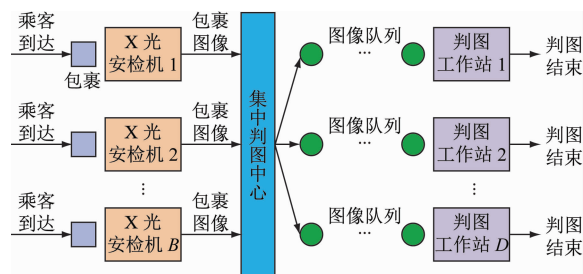


图1 安检判图排队逻辑

Fig. 1 Queuing logic of security inspection

由图1可知:集中判图模式下乘客包裹的检查需经历两次处理。第一次处理只对包裹进行X光扫描并生成图像,并未涉及图像的判定工作,且该过程的时间是固定的。因此,可忽略包裹在安检点的排队,只考虑包裹图像在集中判图中心的排队问题。此外,车站安检点和判图中心判图坐席均遵循“先来先服务”和“等待制”的排队规则。

2.2 模型构建

根据安检集中判图排队逻辑,判图排队符合 $M/M/n$ 模型,其中: M 表示包裹图像的相继到达时间及判图时间服从负指数分布; n 表示判图坐席的数量。根据泊松分布的定义,判图过程中,在计数间隔时间 t 内到达 k 个包裹图像的概率为:

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

式中:

$P(k)$ ——在计数间隔 t 内到达 k 个包裹图像的概率;

λ ——单位时间包裹图像的平均到达率。

集中判图平台的系统负荷水平为:

$$\rho = \frac{\lambda}{n\mu} \quad (2)$$

式中:

ρ ——集中判图平台的系统负荷水平;

μ ——单个判图坐席的平均服务率。

判图平台没有包裹图像到达,即系统空闲的概率为:

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{n-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n! \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)} \right]^{-1} \quad (3)$$

式中:

P_0 ——系统空闲的概率。

在统计平衡的条件下,包裹图像的平均逗留时间为:

$$W_1 = \frac{\mu(\lambda/\mu)^2 P_0}{(n-1)!(n\mu - \lambda)^2} + \frac{1}{\mu}, \rho < 1 \quad (4)$$

式中:

W_1 ——包裹图像的平均逗留时间,即包裹图像从到达判图平台至判图结束的平均时间。

假设包裹从进入安检机到扫描成像的时间为 t_0 ,在不考虑图像数据传输、网络延时及判图平台负载均衡处理时间的前提下,包裹从进入安检机到系统判图结束的整体时间,即包裹的平均逗留时间为:

$$W = W_1 + t_0 \quad (5)$$

式中:

W ——包裹的平均逗留时间。

为保证安检效率,降低安检人工成本,包裹图像的整体判定时间应小于包裹在安检机中的逗留时间;同时,判图坐席的数量应小于安检通道数量。由此,可建立关于判图坐席数量最优解的安检排队方程组:

$$\begin{aligned} \min n \\ \text{s. t. } W < T \\ n \leq N \\ \rho < 1 \end{aligned} \quad (6)$$

式中:

T ——包裹通过安检机的时间;

N ——车站安检通道数量。

3 实例分析

苏州地铁3号线(以下简称“3号线”)选择通园路南、墅浦路北等5个站点共计10个安检点进行集中判图智慧安检的建设工作。通过在金厍桥站建设统一的集中判图室,实现集中判图业务。基于安检排队模型,并考虑上述站点客流变化状况,精确计算确定集中判图室的规模。

3.1 数据调查

利用自动售检票系统采集3号线5个站点2023年3月14日(普通工作日)的客流数据,具体

如表1所示。

表1 3号线5个站点客流数据统计

Tab. 1 Statistics of passenger flow data at 5 stations on Line 3

时间段	属性	客流量/人次
07:00—09:00	早高峰时段	4 789
08:00—08:30	早高峰最高客流时段	1 765
17:00—18:30	晚高峰时段	4 278
17:30—18:00	晚高峰最高客流时段	1 703
18:30—19:00	非高峰期	684

由表1可知:早高峰最高客流时段客流量最大。因此,安检集中判图平台的规模应首先满足该时段的安检需求。同时,通过现场随机检查,乘客携包裹率约为乘客总数的80%。

各站点的安检机均为中型机,普通包裹从进入安检机到扫描成像的时间为2 s,通过安检机的时间为7 s。此外,借助AI判图技术,1名业务成熟的安检员判定1张X光图像的平均时间约为3 s,判图速率较传统人工模式已大幅提升。

3.2 数据分析

由表1可知:早高峰最高客流时段包裹图像的到达服从 $\lambda = 47$ 个/min 的泊松流;非高峰期包裹图像的到达服从 $\lambda = 18.24$ 个/min 的泊松流。单个判图坐席的平均服务率 $\mu = 20$ 个/min,包裹进入判图中心被分配到任何1个队列排队的概率是相等的。由式(4)一式(5)可计算出判图坐席不同配置数量条件下包裹的平均逗留时间以及包裹通过安检机的时间,如图2所示。

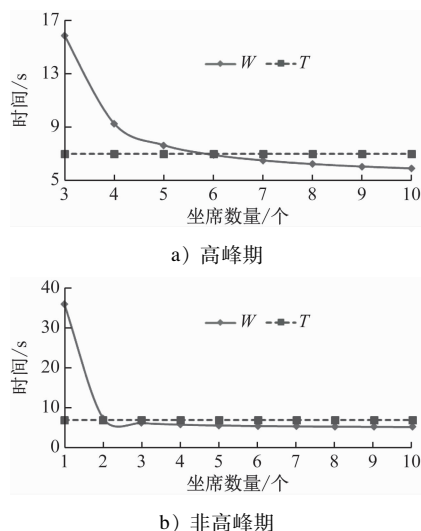


图2 坐席数量-时间关系曲线

Fig. 2 Curves of seat number and time relation

由图2及式(6)可知:为确保判图效率,集中判图中心需在高峰期至少配置7个判图坐席,非高峰期至少配置3个判图坐席。排队模型所确定的工作站数量与金库桥站设计配置的工作站数量一致,表明了模型的准确性及高可用性。

集中判图模式下高峰期判图坐席数量可降低30%,非高峰期判图坐席数量可降低70%。车站安检点的服务时长为18 h时,判图坐席数量的综合降低率为58%,减员效果显著。

此外,工作站较少时,随着判图中心工作站的数量增加,包裹在系统内的逗留时间迅速降低;当判图坐席数量满足现场需求后,判图坐席的增加对逗留时间的影响不明显,若再增加判图坐席会造成硬件配置冗余和人力资源的浪费,提高运营成本。

4 结语

基于排队论的安检坐席配置模型对集中判图中心的建设提供了理论依据,具有重要的行业参考意义。考虑到客流分布的不均匀性,集中判图中心坐席的数量应按照高峰期的业务需求进行配置,但坐席人员的配置应根据各时段的需求进行动态配置。因此,构建与集中判图业务模式相匹配的安检人员管理模式是下一步的研究重点,仍需行业内相关专业人员进行广泛、深入的探讨。

参考文献

- [1] 赵野,付保明,张宁.城市轨道交通安检集成系统研究[J].铁路通信信号工程技术,2021,18(4):71.
ZHAO Ye, FU Baoming, ZHANG Ning. Research on integrated security system for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2021, 18(4): 71.
- [2] 宋晓,张宁,马卫东,等.城市轨道交通差异化安检实施方案[J].铁路通信信号工程技术,2022,19(8):57.
SONG Xiao, ZHANG Ning, MA Weidong, et al. Implementation scheme of differentiated security check for urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(8): 57.
- [3] 常青青,陈嘉敏,李维姣.城市轨道交通安检中基于X射线图像的危险品识别技术研究[J].城市轨道交通研究,2022,25(4):205.
CHANG Qingqing, CHEN Jiamin, LI Weijiao. Dangerous goods detection technology based on X-ray images in urban rail transit security inspection [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(4): 205.
- [4] 付保明,梁君,张宁,等.城市轨道交通智慧安检发展趋势[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(10):57.
FU Baoming, LIANG Jun, ZHANG Ning, et al. Development trend of intelligent security check in urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2023, 20(10): 57.
- [5] 黄慧,李剑剑,甘建文.安检智能集中判图系统在南宁城市轨道交通全自动运行线路中的应用[J].城市轨道交通研究,2023,26(2):146.
HUANG Hui, LI Jianjian, GAN Jianwen. Application of security inspection intelligent centralized image judgment system in Nan-ning Urban Rail Transit FAO Line [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(2): 146.
- [6] 宋晓,马卫东,张宁,等.基于对数正态分布的城市轨道交通差异化安检效率评估[J].大连理工大学学报,2023,63(6):656.
SONG Xiao, MA Weidong, ZHANG Ning, et al. Evaluation of differentiated security check efficiency of urban rail transit based on lognormal distribution [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2023, 63(6): 656.
- [7] 傅源蕾.城市轨道交通公共安全防范系列国家标准分析[J].城市轨道交通研究,2023,26(5):8.
FU Yuanlei. Analysis of national standards for urban rail transit public security and protection [J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(5): 8.
- [8] 刘一杨,刘诗靓,田栋宇,等.城市轨道大型换乘站大客流拥堵缓解方法[J].交通科技与经济,2023,25(3):40.
LIU Yiyang, LIU Shiliang, TIAN Dongyu, et al. Congestion mitigation strategy for large hub of urban subway [J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2023, 25(3): 40.
- [9] 曹凯.城市轨道交通安检配置优化研究[D].南京:东南大学,2023.
CAO Kai. Research on optimization of security check configuration in urban rail transit [D]. Nanjing: Southeast University, 2023.
- [10] 申樟虹,申莉,刘宁.早高峰大客流车站安检系统布设方案[J].城市轨道交通研究,2022,25(增刊2):66.
SHEN Zhanghong, SHEN Li, LIU Ning. Layout scheme of security inspection system in morning rush hour and large passenger flow station [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(S2): 66.
- [11] 刘尔辉,谭明基,崔丽娜,等.基于Anylogic仿真和改进社会力模型的地铁站外安检区设计指标研究[J].交通与运输,2023,39(1):6.
LIU Erhui, TAN Mingji, CUI Lina, et al. Design index of security check area outside subway station based on anylogic simulation and improved social force model [J]. Traffic & Transportation, 2023, 39(1): 6.
- [12] 金涛斌,徐岩.基于递归特征金字塔和可切换空洞卷积的轨道交通智慧安检违禁品识别技术研究[J].智慧轨道交通,2022,59(6):86.
JIN Taobin, XU Yan. Research on contraband identification technology for rail transit intelligent security inspection based on recursive feature pyramid and switchable hole convolution [J].

- Smart Rail Transit, 2022, 59(6): 86.
- [13] 闵晶晶. 城市轨道交通安防集成平台与智慧安检结合建设方案研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(9): 169.
- MIN Jingjing. Research on construction scheme of security integration platform and intelligent security check of urban rail transit [J]. Intelligent Building & Smart City, 2022(9): 169.
- [14] 陆海亭, 付保明, 张宁, 等. 城市轨道交通车站智慧运营管理模式研究[J]. 现代城市轨道交通, 2023(5): 18.
- LU Haiting, FU Baoming, ZHANG Ning, et al. Research on intelligent operation and management mode of urban rail transit stations[J]. Modern Urban Transit, 2023(5): 18.
- [15] 赵书毅, 姬燕男, 杨林, 等. 市域(郊)铁路与其他轨道交通融合模式及选择决策方法研究[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 106.
- ZHAO Shuyi, JI Yannan, YANG Lin, et al. Integration mode and selection decision-making method of suburban railway and other rail transit [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 35(4): 106.
- [16] 吴蒙, 孟毅美, 荣文笋. 基于安全等级的铁路与城市轨道交通安检互认研究[J]. 大连交通大学学报, 2022, 43(1): 8.
- WU Meng, MENG Yimei, RONG Wenyu. Security check mutual recognition between railway and urban rail transit based on safety level [J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2022, 43(1): 8.
- [17] 陈晓红, 徐敏婕, 陈武华. 考虑成本、等待时间和安全水平的分类安检模式研究[J]. 运筹与管理, 2021, 30(7): 35.
- CHEN Xiaohong, XU Minjie, CHEN Wuhua. Research on classified security inspection mode considering cost, waiting time and security level [J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(7): 35.
- [18] 张宁. 基于安检互认下的京张高铁清河站设计[J]. 铁道勘察, 2022, 48(1): 105.
- ZHANG Ning. Design of Qinghe Station of Beijing Zhangjiakou High-speed Railway based on mutual recognition of security inspection [J]. Railway Investigation and Surveying, 2022, 48(1): 105.
- [19] 丁小兵, 史淦, 洪晨, 等. 地铁安检客流智能引导及组织优化方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2023, 23(1): 123.
- DING Xiaobing, SHI Gan, HONG Chen, et al. Intelligent guidance and organization optimization of subway security inspection passenger flow [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2023, 23(1): 123.
- [20] 赵华伟, 魏子越, 张炳森, 等. 排队论在地铁自动售检票系统中的应用[J]. 铁路通信信号工程技术, 2022, 19(1): 78.
- ZHAO Huawei, WEI Ziyue, ZHANG Bingsen, et al. Application of queuing theory in automatic fare collection system for subway [J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2022, 19(1): 78.
- 收稿日期:2023-09-23 修回日期:2023-11-17 出版日期:2025-06-10
Received:2023-09-23 Revised:2023-11-17 Published:2025-06-10
· 通信作者:付保明,工程师,baomingfu@126.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

Commentary

Springtime of AI Foundation Model Applications Approaching

LI Zhonghao

(Honorary Member of China Association of Metros Expert and Academic Committee, Former Deputy Director of the Department of Science and Technology, Ministry of Railways, Director of the Information Technology Center, Professor-level Senior Engineer)

The application of AI foundation models is currently a hot topic. Industries of all trades are promoting AI knowledge, seeking application scenarios, and hoping to leverage these technologies to enhance enterprise management efficiency, improve product forms, and even drive societal transformation. However, instances of blind adoption and superficial efforts also exist. It is therefore essential to define the connotation of AI foundation models, understand the environments in which they are applied, grasp the process by which AI foundation model agents are generated, comprehend the interplay among computing power, algorithms, and data, and become familiar with the development pathways for integrating AI agents into workflows. Only in this way can organizations avoid losing direction or taking detours amid the surge of AI foundation model applications.

The concept of AI emerged at the early stages of computer technology development, originally defined as programming computers that simulate human thought. During the era of digital transformation, AI acquired self-learning capabilities, in the sense of optimizing algorithms autonomously through training models, which is still a process mimicking human cognition. With the advent of large language models (LLMs), AI is evolving from a passive tool to an 'agent' with a degree of autonomous cognitive ability. At