

基于位置切换判定行程的地铁智慧售 检票系统建设研究

杨俊义 贾子治 高 祥

(石家庄市轨道交通集团有限责任公司, 050035, 石家庄)

摘 要 [目的]发展智慧交通是践行“交通强国”战略的重要着力点,智慧地铁建设是其中重点内容之一。为提升票务管理和乘客服务的便捷化、智能化水平,需建设地铁智慧售检票系统。[方法]根据目前石家庄地铁运营线路现状,依托现有站点基站分布数据、手机信令数据获取能力及系统数据处理水平,在分析手机信令数据及地铁系统基站分布特点的基础上,提出了基于位置切换判定地铁乘车行程的方法,对乘客进站行为、出站行为、换乘行为及乘客出行路径等进行识别与判定;设计了乘客无换乘行为和有换乘行为两种情况下的乘车行程识别试验,验证了地铁乘车行程判定及票务计费的技术可行性;以试验结果为基础,探讨了基于位置切换判定行程的地铁智慧售检票系统建设的可行性与不足之处。[结果及结论]基于手机信令数据和位置切换原理,可以进行乘客行程判定及票务计费;建设智慧售检票系统,实现乘客无感过闸,具备其理论依据、试验基础及技术可行性。**关键词** 地铁;智慧售检票系统;位置切换;手机信令;行程判定

中图分类号 U293.22

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.03.056

Construction of Metro Smart Ticketing System Based on Location-switching Travel Determination

YANG Junyi, JIA Zizhi, GAO Xiang

(Shijiazhuang Rail Transit Group Co., Ltd., 050035, Shijiazhuang, China)

Abstract [Objective] Developing smart transportation is an important focus in advancing the strategy of 'strengthening the country by building transportation power'. To enhance the convenience and intelligence levels of ticketing management and passenger services, it is necessary to establish a smart metro ticketing system. [Method] Based on the current operational status of Shijiazhuang Metro, existing station base station distribution data, mobile signaling data acquisition capabilities, and system data processing capabilities are utilized. By analyzing mobile signaling data and the distribution characteristics of metro system base stations, a method for determining metro

travel routes based on location-switching is proposed. This method identifies and determines passenger entry, exit, interchange behaviors, and travel paths. Passenger travel recognition experiments are designed for both non-interchange and interchange scenarios to verify the technical feasibility of metro travel determination and fare calculation. Based on the experimental results, the feasibility and limitations of constructing a metro smart ticketing system based on location-switching travel determination are explored. [Result & Conclusion] Based on mobile signaling data and the location-switching principle, passenger travel determination and fare calculation are realized. A smart ticketing system is constructed, achieving seamless passenger gate-passing, having theoretical support, experimental validation, and technical feasibility.

Key words metro; smart ticketing system; position switching; mobile signaling data; travel determination

地铁智慧票务服务领域,在传统的通过购买IC卡刷卡过闸的基础上,已开展的智慧化改造包括二维码扫码过闸^[1]、人脸识别过闸^[2]、双目识别过闸^[3]等。本文基于手机信令数据,利用位置切换原理判定地铁行程,对实现取消车站进出站闸机、提供无感进出站的智慧票务服务方式进行探索研究。

1 基于手机信令数据的地铁行程判定原理

1.1 手机信令数据及其特点

手机信令数据是手机用户与通信运营商发射基站之间的通信数据,是通信系统中的一种控制指令,手机用户只要发生开关机、通话、短信、位置更新和切换基站等行为都会产生信令数据。手机用户在基站之间的信息交换可以确定用户的空间位置,能相对准确地记录位置点和时空轨迹。

手机信令数据具有覆盖范围广、匿名安全性高等特点,其采集与分析应用在轨道交通领域已有相关研究,包括枢纽客流监测^[4]、客流特征分析、出行

轨迹研究^[5]等,具备了一定的应用于轨道交通智慧售检票领域的理论和实践基础,但是目前市场上还未有成熟产品。

1.2 手机信令数据结构

手机信令数据包含控制信息、接口协议、管理信息、状态信息、过程监控等大量数据信息,本文根据研究需要,简化原始数据,选取其中与定位及切换有关的 5 项关键字段进行深入识别处理。

1) 移动台识别号 (Mobile Station ID, 简称 MS ID)。是国际移动用户识别码 (IMSI) 号加密后的用户唯一标识,可以实现不同手机用户的识别,并且属于匿名信息,安全性及可靠性高。

2) 位置区编码 (Location Code, 简称 LAC)。是指用户可以自由移动无需进行位置更新的区域。移动网络设置初期按规则分配唯一编码,且运营过程中很少变动。

3) 小区编号 (Cell ID)。蜂窝小区的专用识别码,是网络中的基本组成单位。一个位置区可以包含若干个小区。

4) 事件编号 (Event ID)。不同信令事件的编码,包括位置更新、小区切换、主被叫通话过程等。

5) 时间戳 (Timestamp)。信令数据生成的时间,精确到秒。

1.3 地铁系统基站分布特点

地铁系统的无线通信以地下为主且其基站分布具有独特特点,具备采集有效信号的可行性。

1) 地铁线路一般为隧道结构,限定地域、空间,与地面通信设施物理隔离性好,可以屏蔽地面基站信号,避免交叉干扰。

2) 地铁内部一般设置专用移动基站,每条地铁线路均设置独立位置区编码,且站内站外的位置区编码相异。

3) 地铁站内一般设专用基站及专属蜂窝小区,站内基站小区覆盖半径较小,地铁站内定位可以更为精准。

1.4 基于位置切换的行程判定原理

基于手机信令数据位置切换判定地铁用户行程的基本流程如图 1 所示。当用户进入地铁系统基站范围内,采集用户在地铁范围内的信令信息,根据一定算法判定用户进站、出站、站内停留等行为,并辨识乘客出行路径。

切换是一种信令事件,是指在通话过程中,为

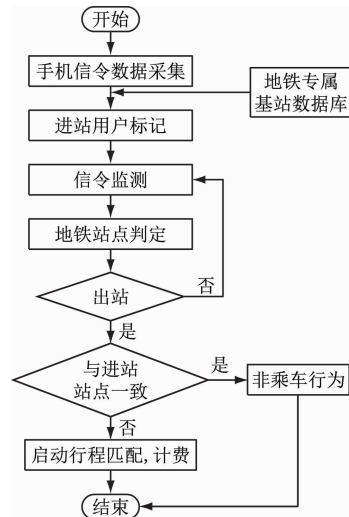


图 1 基于手机信令数据位置切换判定地铁用户行程的基本流程

Fig. 1 Basic procedure of metro passenger travel determination based on mobile signaling data position-switching

了保证通话质量,在当前服务基站信号强度衰减到规定阈值后,选择邻近的信号更强的基站作为当前服务基站的过程。用户从地面进入地铁地下站点或从地下站点进入地面时,由于地面与地下基站的位置区和小区设置不同,必定会产生位置切换信令数据和 Cell ID 数据变化。这一原理是判别用户地铁行程的基本依据。

2 基于位置切换判定地铁乘车行程方法

2.1 数据传输与处理

建立地铁智慧票务管理平台,用于基础信息管理,接收、存储和处理用户实时上传的信令信息,进行行程匹配和票务计费。

用户安装专用 APP 软件并注册账户,当用户出现在地铁专属基站或地铁邻区基站范围内时,专用 APP 将用户产生的信令数据实时上传至地铁智慧票务管理平台进行数据存储与处理。

2.2 行程判定

2.2.1 进站行程判定

用户进入地铁站内,会出现位置更新信令事件,并且位置更新前 LAC、Cell ID 属于地铁邻区基站,位置更新后 LAC、Cell ID 属于地铁专属基站。进站行程判定步骤如下:

1) 信令数据监测。以用户唯一 MSID 为基础,监测用户信令数据。

2) 站内信息识别。将用户信令数据中 LAC、

Cell ID 和地铁专属基站数据库进行匹配,当检测到 LAC、Cell ID 和地铁专属基站数据库一致时,判定用户出现至地铁站内。

3) 识别进站时间。检测用户出现位置更新信令事件时间,将该时间判定为用户进站时间。

4) 识别进站站点。将进站信令与地铁专属基站数据库匹配,记录进站站点信息。

2.2.2 出站行程判定

当用户出现出站行为时,会出现位置更新信令事件,并且位置更新前 LAC、Cell ID 属于地铁专属基站,位置更新后 LAC、Cell ID 属于地铁邻区基站。用户出站行程判定步骤如下:

1) 信令数据监测。以用户唯一 MSID 为基础,监测用户信令数据。

2) 站内信息识别。将用户信令数据中 LAC、Cell ID 和地铁专属基站数据库进行匹配,当检测到 LAC、Cell ID 和地铁专属基站数据库一致时,判定用户在地铁站内。

3) 出站信息识别。将用户信令数据中 LAC、Cell ID 与地铁专属基站数据库、地铁邻区基站数据库进行匹配,当检测到 LAC、Cell ID 和地铁邻区基站数据库一致或不属于地铁专属基站数据库时,判定用户出站。

4) 出站时间识别。检测用户信令是否出现位置更新信令事件,将出现位置更新信令事件判定为用户出站时间。

5) 识别出站站点。将出站信令与地铁专属基站数据库匹配,记录出站站点信息。

2.3 出行路径判定

2.3.1 非乘车行为判定

当进站行为标定后,对用户信令信息进行持续监测,并按时间顺序进行排序。将用户信令数据中 LAC、Cell ID 和地铁专属基站数据库进行匹配,若用户信令数据中 LAC、Cell ID 除进站点外,未出现地铁专属基站所属的其他站点,则判定乘客只进站未乘车。

2.3.2 出行路径判定

当进站行为标定后,对用户信令信息进行持续监测,并按时间顺序进行排序。将用户信令数据中 LAC、Cell ID 和地铁专属基站数据库进行匹配,识别中间站点并记录,不断迭代直至出现出站行为标定,这一过程可以判定并识别乘客出行路径。

此外,通过判定 LAC 及换乘站点所对应的 Cell

ID,可以识别用户的换乘行为;通过匹配进出站的信令数据与地铁邻区基站数据,可以判断用户进出站的出入口信息。用户出现换乘行为、进出不同出入口,不影响票务计费,但便于更精准地统计客流等运营信息。

2.4 票务计费

地铁智慧票务管理平台对接收到的信令数据进行分析处理,依据出站行程信息,结合进站信息,生成进出站行程匹配结果,按既定票务规则生成计费账单,支付管理系统依据计费账单完成收费。

3 基于位置切换判定地铁乘车行程实例分析

3.1 试验设计

志愿者携带 MSID 为“6334”的手机,安装专用软件,在石家庄地铁线网内完成不同出行路径的进站、出站及乘车等行为,模拟乘客行程。实时采集行程过程中的手机信令数据并进行本地保存,所采集到的数据作为样本数据进行验证分析。

1) 试验 1——无换乘出行路径。选择在 1 号线西王站进站,在和平医院站出站,完成一次无换乘出行。出行路线:西王交通枢纽站(出发)—西王站(A 口进站)—地铁 1 号线—和平医院站(B 口出站)—河北银行(结束)。

2) 试验 2——有换乘出行路径。选择在 1 号线西王进站,经新百广场站换乘,在 3 号线高柱站出站,完成一次有换乘的出行路径。出行路线:西王交通枢纽站(出发)—西王站(A 口进站)—地铁 1 号线—新百广场站(换乘)—地铁 3 号线—高柱站(C 口出站)—水上公园(结束)。

3.2 乘车行程识别

3.2.1 无换乘行程识别

预处理后的行程过程中手机信令数据如图 2 所示。

NO	MSID	TIMESTAMP	LAC	CELLID	EVENTID
22	6334	7:21:35	327685	83887424	001
23	6334	7:25:37	327682	83887421	000
24	6334	7:25:55	327682	83887421	001
25	6334	7:26:13	327682	83887421	001
26	6334	7:26:31	327682	83887421	001
27	6334	7:37:22	327690	83887425	000

图 2 预处理后的行程过程中部分手机信令数据

Fig. 2 Some mobile signaling data during travel after pre-processing

志愿者此次行程中采集到 62 条信令数据,对其

进行验证分析,详细步骤如下:

1) 数据准备。建立数据库,导入 UDB(用户信令数据库)、MDB(地铁专属基站数据库)、LDB(地铁邻区基站数据库)等基础数据库表,导入采集到的志愿者行程过程中的 QDB(信令数据库)。

2) 进站识别。对 QDB 中的信令数据(记为 Q_i)逐条迭代分析,若 Q_i 中 $LAC \in MDB$ 、 $Cell ID \in MDB$,且 $Event ID = 000$ (位置更新),则判定用户出现至地铁站内,记录进站站点与时间。

3) 中间站点监测。继续对 QDB 中的信令数据进行逐条迭代分析,若 Q_i 中 $LAC \in MDB$ 、 $Cell ID \in MDB$,且 $Event ID = 000$,识别并记录途径站点。

4) 出站识别。继续迭代分析,直至出现 Q_i 中 $LAC \in LDB$ 、 $Cell ID \in LDB$ 或 $LAC \notin MDB$ 、 $Cell ID \notin MDB$,且 $Event ID = 000$,判断为用户出站,记录出站站点与时间。

5) 非乘车行为识别。进站站点与出站站点一致且未监测到中间站点,判断为非乘车行为。

6) 行程匹配。生成行程匹配结果,记录进站时间、站点、出行路径,以及出站时间、站点。

综上,本次行程识别结束。最终匹配结果为,用户于 7:37 在西王站进站,乘坐地铁 1 号线,经时光街、长城桥,至 7:45 在和平医院站出站。

3.2.2 有换乘行程识别

志愿者在试验 2 行程中采集到 78 条信令数据,对其进行验证分析,详细步骤如下:

1) 数据准备、进站识别、中间站点监测、出站识别及非乘车行为识别。步骤与试验 1 一致。

2) 换乘站识别。识别中间站点的站点类型,记录换乘站点。

3) 行程匹配。生成行程匹配结果,记录进站时间、进站站点、出行路径,以及出站时间、出站站点。

综上,本次行程识别结束。最终匹配结果为,用户于 8:43 西王站进站,乘坐地铁 1 号线,8:59 在新百广场站换乘地铁 3 号线,至 9:14 在高柱站出站。

3.3 票务计费

按照石家庄地铁现行票务规则,模拟票务计费行为。匹配行程结果,得到进站站点、出站站点,生成计费账单,支付管理系统依据计费账单完成对用户的收费。

3.4 结果验证与分析

将行程识别结果与志愿者实际出行路径进行对比,结合现行票价政策,得到识别结果与试验设

定一致,行程识别正确,计费正确。整个过程中,进站、出站识别时间每次约为 1~2 s,路径监测仅耗费数据传输时间,行程匹配及计费可以在 1 s 内完成。

本次试验结果证明,基于位置切换判定地铁乘车行程并计费具备技术可行性。但是,本次试验限于运营商基础数据未完全公开以及时间与人员的不足,无法进行大规模大流量的模拟试验,对实际应用产生的大数据的处理能力和处理形式还需要进一步研究验证。

4 结语

本文基于手机信令数据及移动通信中的位置切换原理,提出了基于位置切换判定地铁行程的方法,设计并完成了实例试验,验证了基于位置切换判定地铁行程并计费、建设无感过闸的智慧售检票系统的技术可行性。本文的主要结论如下:

1) 地铁基站设备的设置与管理具有自身特点,并且手机信令数据覆盖范围广、实时性强,具备提取有效数据信息的基础。

2) 基于位置切换判定地铁乘车行程的方法可以实现用户乘车行程判定、路径识别与票务计费。

3) 建设基于位置切换判定行程的地铁智慧售检票系统,实现无感过闸,具备理论依据和试验基础。

本文的研究仍存在如下不足之处:

1) 根据目前石家庄地铁运营线路现状,本文基于地下站点进行研究与试验,但不排除后期会建设地面或高架线路的可能,后期需要进一步研究地面或高架线路站点的行程判定。

2) 除行程判定方法外,路径识别准确性还依赖于电信运营商基站基础信息,基站信息变动或管理方式改变均会造成影响,后续开展研究或应用均需同运营商深入协作。

3) 相较于当前刷卡或扫码的过闸方式,手机信令数据可以对乘客的详细出行路径进行识别,但数据量会随之产生指数级增长,建设智慧售检票系统需要结合大数据处理手段提高对海量数据的处理能力,对系统数据处理性能提出了更高要求。

参考文献

- [1] 张鹏,王健,吴娟,等.南京地铁移动支付关键技术的研究及应用[J].都市快轨交通,2020,33(6):146.

(下转第 308 页)

两部分试验的结果均表明,在数据访问方面,Hazelcast IMDG(无论是内嵌模式还是客户端/服务器模式)相较于 Redis 具有显著优势,更适合作为实时数据共享平台的中间件。在吞吐量测试中,Hazelcast 同样展现出相对于 Redis 的优势。

3 结语

本文研究了面向轨道交通管理系统的实时数据共享技术,重点评估了基于内存技术的中间件(特别是 Hazelcast IMDG)在实现轨道交通实时数据共享方面的可行性。通过定性和定量试验分析,验证了 Hazelcast IMDG 能够作为面向轨道交通管理系统的实时数据共享平台的有效解决方案,且相较于广泛应用的 Redis 具有明显优势。

参考文献

- [1] 毛保华. 城市轨道交通系统运营管理[M]. 北京:人民交通出版社,2006.
MAO Baohua. Operations and management for urban rail transit [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [2] 赵新勇. 基于多源异构数据的高速公路交通安全评估方法[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2013.
ZHAO Xinyong. Highway traffic safety assessment method based on multi-source heterogeneous data[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [3] 叶涛. 基于 Dubbo 服务的分布式轨道交通管理系统设计与实现[D]. 北京:中国科学院大学,2020.
YE Tao. Design and implementation of distributed rail transit man-

agement system based on Dubbo service[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2020.

- [4] 邵欢庆,康建初. 企业服务总线的应用[J]. 计算机工程,2007,33(2):220.
SHAO Huanqing, KANG Jianchu. Research and application of enterprise service bus [J]. Computer Engineering, 2007, 33(2): 220.
- [5] 郭瑜. 基于 ESB 构架的交通行业数据交换平台的应用研究[J]. 计算机系统应用,2008,17(9):83.
GUO Yu. Research on application of ESB-based transportation data exchange system[J]. Computer Systems & Applications, 2008, 17(9): 83.
- [6] AZIZ O, FAROOQ M S, ABID A, et al. Research trends in enterprise service bus (ESB) applications: a systematic mapping study[J]. IEEE Access, 2020, 8: 31180.
- [7] XU M, XU X, XU J, et al. A forensic analysis method for Redis database based on RDB and AOF file[J]. Journal of Computers, 2014, 9(11): 2538.
- [8] SALHI H, ODEH F, NASSER R, et al. Open source in-memory data grid systems: benchmarking Hazelcast and Infinispan[C]//Proceedings of the 8th ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering. L' Aquila Italy. New York: ACM, 2017: 163.

• 收稿日期:2022-12-08 修回日期:2023-03-14 出版日期:2025-03-10
Received:2022-12-08 Revised:2023-03-14 Published:2025-03-10
• 通信作者:刘超,高级工程师, chao.liu@bj-tet.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

(上接第 302 页)

- ZHANG Peng, WANG Jian, WU Juan, et al. Research and application of key mobile payment technologies in the Nanjing Metro [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(6): 146.
- [2] 陶克. 人脸识别技术在城市轨道交通自动售检票系统中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2022,25(10):198.
TAO Ke. Application of face recognition technology in urban rail transit AFC system [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 198.
 - [3] 杨静,韩丽东. 人工智能双目视觉闸机的可靠性分析[J]. 机械工业标准化与质量,2020(2):41.
YANG Jing, HAN Lidong. Reliability analysis of stereo vision based artificial intelligent access control gate[J]. Machinery Industry Standardization & Quality,2020(2):41.
 - [4] 钟尖. 基于手机信令的综合交通枢纽客流监测技术研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2017.

ZHONG Jian. Research on passenger flow monitoring technology of integrated transportation hub based on mobile phone signaling [D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.

- [5] 丁敬安,张欣海. 基于手机信令数据的地铁乘客路径识别研究[J]. 中国电子科学研究院学报,2019,14(11):1194.
DING Jing'an, ZHANG Xinhai. Research on subway passenger path identification based on mobile phone signaling data[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2019, 14(11): 1194.

• 收稿日期:2022-12-30 修回日期:2023-02-12 出版日期:2025-03-10
Received:2022-12-30 Revised:2023-02-12 Published:2025-03-10
• 通信作者:杨俊义,高级工程师,327979080@qq.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