

文章编号: 1005-8451 (2023) 06-0082-05



轨道交通“四网融合”数据治理关键技术研究

刘宇¹, 黎琳², 鲁放³, 王晨旭³, 汪丽玉³

(1. 中国铁路信息科技集团有限公司 网络技术研究院, 北京 100038;

2. 北京交通大学 计算机与信息技术学院, 北京 100044;

3. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044)

摘要:“四网融合”是打造轨道上的都市圈, 强化轨道交通网络效益, 实现资源共享, 提升旅客出行效率, 提高服务品质的必要举措。目前, 轨道交通“四网融合”存在体制机制制约多、多头规划统筹难、利益权益清分难、标准体系兼容难、数据管理利用难等方面的问题, 其中, 数据治理是“四网融合”的关键问题。文章对轨道交通“四网融合”数据治理关键技术展开研究, 包括“四网融合”中分布式存储、跨域多方身份认证、多粒度多维度加密访存、基于区块链的溯源等技术。该研究对于推进城市群和都市圈高质量发展, 提高轨道交通质量和效益具有重要意义。

关键词: 轨道交通; 四网融合; 数据融合; 数据安全存储; 多方身份认证; 数据智能共享; 区块链

中图分类号: U29 : U239.5 : TP39 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1005-8451.2023.06.15

Key technologies of data governance of "four-network integration" for rail transit

LIU Yu¹, LI Lin², LU Fang³, WANG Chenxu³, WANG Liyu³

(1. Network Technology Research Institute, China Railway Information Technology Group Co. Ltd., Beijing 100038, China; 2. School of Computer and Information Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 3. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The "four-network integration" is a necessary initiative to build a metropolitan area on the rail, strengthen the benefits of rail transportation network, realize the sharing of resources, improve the efficiency of passenger travel and improve service quality. At present, there are many problems in rail transit network integration, such as institutional constraints, multiple planning and coordination, clear division of interests and rights, standard system compatibility and data management. Among them, data governance is the key issue of "four-network integration". This paper studied the key technologies of data governance of rail transit "four-network integration", including distributed storage, cross domain multi-party identity authentication, multi granularity and multi-dimensional encryption memory access, blockchain based traceability and other technologies. This research is of great significance for promoting the high-quality development of urban agglomeration and metropolitan area, and improving the quality and efficiency of rail transit.

Keywords: rail transit; four-network integration; data fusion; secure storage of data; multi-party identity authentication; intelligent data sharing; blockchain

随着城市化进程的加速和人民生活水平的提高, 轨道交通已成为我国引导城市群空间形态布局的重要力量和促进城市群形成发展的基础条件。当前, 轨道交通呈多制式和网络化发展趋势, 建设功能架构完备的区域轨道交通网络系统是适应城市群发展

的必然要求^[1]。轨道交通系统的“四网”通常包括干线铁路网、城际铁路网、市域(郊)铁路网和城市轨道交通网。近年来, 城际铁路、市域(郊)铁路逐步进入大规模规划和新阶段, 国家也及时出台了《交通强国建设纲要》^[2]《国家综合立体交通网规划纲要》^[3]《关于进一步做好铁路规划建设工作意见的通知》^[4]等多个加强“四网融合”的指导意见, 轨道交通“四网融合”大势所趋^[5]。

收稿日期: 2023-01-10

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划实验室基础研究项目(L2021S001)

作者简介: 刘宇, 工程师; 黎琳, 副教授。

目前, 轨道交通系统“四网”的数据往往各自存储, 各自定义, 这些数据如同信息孤岛, 数据之间无法进行顺畅的连接互动。要想实现真正意义上的“四网融合”, 对数据的融合就是重中之重, 即打破轨道交通系统“四网”之间的壁垒, 实现数据跨主体间的流动。但是, 这种跨数据主体、责任主体和法律管辖主体的数据流动, 不仅会给企业内部带来数据安全问题, 还可能造成公民个人隐私甚至国家机密数据的泄露。现阶段, 数据融合技术在轨道交通领域的研究或应用主要集中在客流预测和列车测速等应用场景层面, 对于数据安全存储、多方身份认证、数据智能共享等方面的研究与应用较少。本文分析轨道交通“四网融合”难点, 研究面向“四网融合”、实现数据融合的数据治理关键技术。

1 轨道交通“四网融合”难点分析

1.1 体制机制制约多

面对轨道交通“四网融合”的复杂性, 目前的体制机制存在一些制约因素。由于行政区划不同和行政管理分割, 各地方思考问题的出发点不一样, 涉及城际铁路、市域(郊)铁路的线网规划与融合方面会存在分歧。地方政府、行业主管部门、相关企业等各方面没有形成有效的协同机制, 工作分割、政策矛盾等问题阻碍了轨道交通系统的整体协调和优化。此外, 轨道交通行业市场化程度不高, 存在市场竞争关系不明朗等问题^[6]。

1.2 多头规划统筹难

轨道交通“四网融合”要求规划、设计、施工、运营等多个环节协同推进, 需要各部门协调规划、统筹推进^[7]。目前, 缺乏轨道交通网的整体规划布局, 以及“一张网布局, 一张图管理”的统筹规划模式; 由于规划主管部门之间存在职能分割和工作重叠, 缺少跨部门协同的机制和平台, 因此, 统筹推进的难度较大。

1.3 利益权益清分难

铁路和城市轨道交通作为社会效益为主体的准公益行业, 不同网络运营商和投资方的经济利益及社会效益难以清分, 权力责任边界不易界定, 一定

程度上阻碍了彼此的合作与配合。轨道交通“四网融合”涉及多个部门和多个利益方, 包括运营商、建设单位、政府部门等, 每个参与方都有不同的利益需求和履行的责任。由于各方责任界定不明确, 利益难以清分, 不易协调^[8]。

1.4 标准体系兼容难

目前, 轨道交通系统“四网”之间无统一标准, 导致各系统(子系统)处于相对封闭的状态, 数据融合存在困难。轨道交通“四网融合”需要各系统(子系统)之间进行良好的协作, 例如, 轨道交通系统中电力、通信、信号等子系统之间的协作。但是, 各系统(子系统)之间的标准体系不同, 技术标准、设备标准等存在差异, 阻碍了不同设备和技术之间的互通和共享。

1.5 数据管理利用难

长期以来, 由于管理部门不同, 轨道交通系统“四网”之间差异显著, 数据融合面临各网数据管理差异性大、数据利用率低、信息追溯难、全生命周期管理难等问题。轨道交通“四网融合”涉及大量数据, 例如, 车站客流、线路运行、设备运行维护等数据。然而, 由于涉及多部门、多单位、多岗位的数据采集和处理, 导致数据收集的完整性不均、数据格式不一、数据质量不高等问题。此外, 缺乏数据共享、数据标准化、数据安全保障等机制, 也影响了数据的管理和利用。由此可知, 数据治理是实现“四网融合”的关键。

2 数据治理关键技术

2.1 分布式存储技术

随着信息化的迅速推进, 飞跃增长的数据存储需求给存储系统带来了全面挑战。“四网融合”的数据安全与轨道交通系统的稳定运行息息相关, 轨道交通系统中, 交易、出行预测、车辆调度等功能的安全性都取决于其所用数据的可靠性。

轨道交通“四网融合”的数据具有数据量大、数据类型多、数据源分散等特点, 分布式存储技术将数据分散存储在不同的节点上, 能够有效提高数据存储的效率和可靠性; 采用分布式计算框架, 利

用计算模型，将大规模的数据处理任务拆分成多个小规模的任务，进行并行计算，充分发挥分布式计算的优势^[9]；此外，将分布式文件系统与区块链、可搜索的加密技术相结合，可以保证数据完整性、安全性、可靠性和可用性，并降低数据处理过程中的风险和成本。

在“四网融合”项目中，共享数据分布式代理如图 1 所示。“四网”的数据集存储在各自的本地服务器，进行分布式存储；乘客或其他用户可以通过网络连接“四网”的代理，访问所需要的数据。

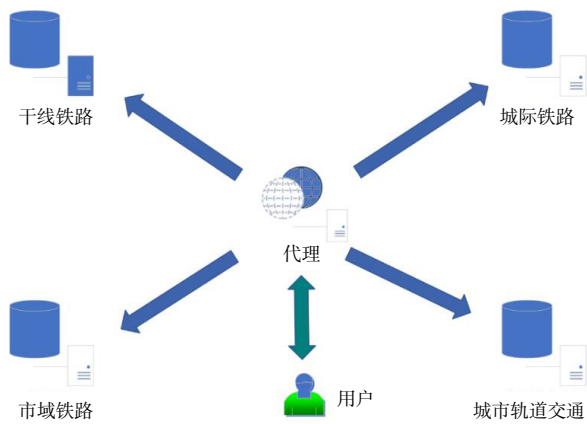


图1 共享数据分布式代理示意

2.2 跨域多方身份认证技术

现阶段，不同制式的轨道交通系统拥有独立的身份认证系统，轨道交通四网之间的身份认证没有互通，导致“四网融合”的用户身份互信难度大、合作困难、资源利用率低。

跨域身份认证技术在解决多个信任域之间的身份互信和交互方面发挥重要作用。根据轨道交通的管理体制，设计以权威监管组织与普通管理组织为域内联盟成员、权威监管组织为跨域联盟链节点的身份认证系统模式。根据无签名证书技术，由权威监管组织充当各域内的密钥生成中心（KGC，Key Generation Center），负责参数的初始化与部分密钥的生成与分发；当新的普通管理组织成立时，需要通过域内的权威监管组织进行注册；当新的用户需要获取服务时，需要通过已注册的普通管理组织进行注册，实现身份互认与密码协商；域内交互服务时，需要通过域内身份认证协议进行；跨域访问时，需要通过跨域身份认证协议进行；新用户的注册需要通过 KYC（Know Your Customer）实名认证，相关注册结果与认证结果上链，从而保证身份认证系统的安全。身份认证系统模型如图 2 所示。

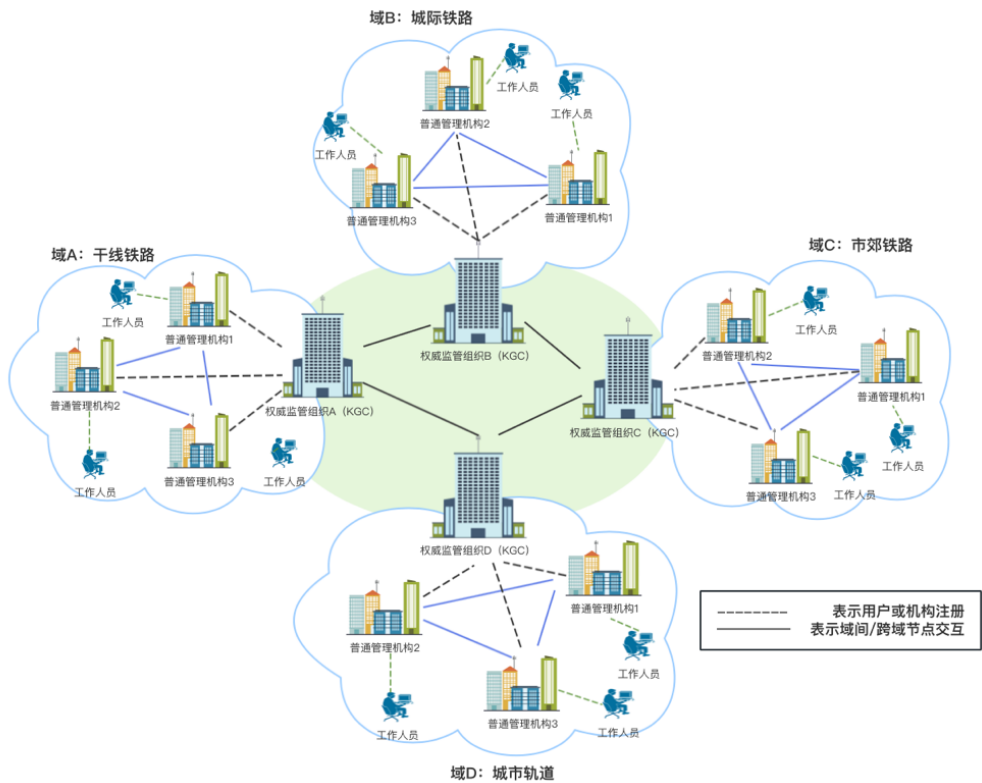


图2 身份认证系统模型

2.3 多粒度多维度加密访存技术

针对“四网融合”过程中的高敏感数据，如未来规划与建设类文件、网络安全管理数据、网络与系统资源数据、用户私密资料等，提出基于层级区块链的属性基可搜索加密数据共享方案。采用层级区块链设计，用私有链代替云服务器，承担数据存储功能；“四网”共同维护的联盟链存储关键词索引等信息并负责执行搜索算法；同时，负责对加密数据执行中间解密算法，降低用户的计算负担。此外，引入属性加密技术，以实现数据文件细粒度的访问控制。层级区块链架构如图 3 所示

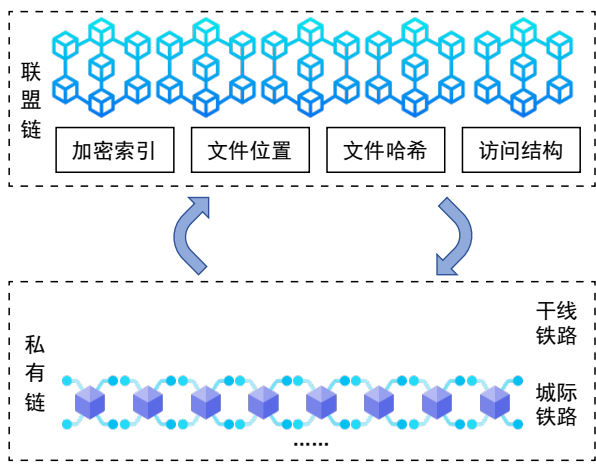


图3 层级区块链架构

2.4 基于区块链的溯源技术

在融合数据的传输过程中，数据在不同的主体之间流动，流动环节涉及的主体较多，主要包括数据的生产者、验证者、处理者、传输者、消费者。数据溯源的本质是对数据从产生、流转到消亡的过程记录，通过过程记录，重现数据的流动过程。例如，在对票务数据进行溯源的过程中，溯源信息主要包括当前数据状态的源头数据、数据在交易处理过程中生成的中间数据、票务数据演变为当前数据的具体操作、数据活动的发起者及接收者等。

针对以上问题，构建基于 ProVOC 的融合数据溯源模型，将存储溯源信息的区块链称为数据链，数据链中不直接存储真实的数据，仅存储融合数据的溯源描述模型，用于对溯源信息的验证与查询，通过融合数据溯源模型中存储的真实数据的哈希值

与星际文件系统（IPFS，Inter Planetary File System）链接，获取真实数据。基于 ProVOC 融合数据溯源模型的执行实体、活动和数据之间的关系如图 4 所示。执行实体与活动属于相互关联关系，数据属于某个执行实体；执行实体通过活动使用先前数据，生成新的数据；同时，活动也可能触发其他活动，生成新的数据。

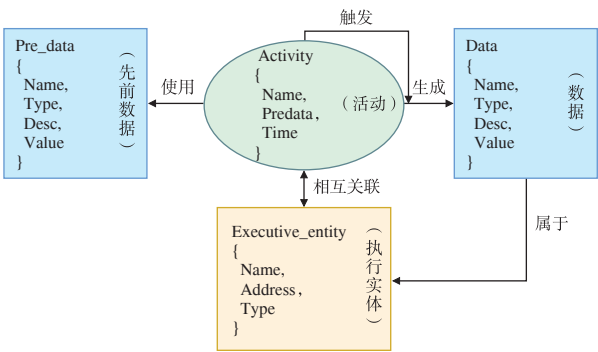


图4 基于 ProVOC 融合数据溯源模型的关系表达实例

基于上述关系表示，多个执行实体、活动和数据组成的溯源链如图 5 所示。一个活动使用一个或多个旧版本的数据，生成新版本的数据。在后续流程中，新版本数据作为旧版本数据被再次使用，最终生成一条长链并存储在区块链中。

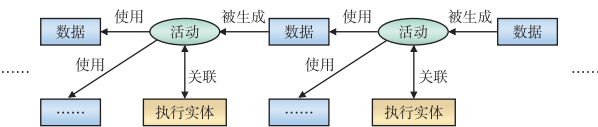


图5 基于 ProVOC 模型的溯源链

3 结束语

数据是数字智能化的基础，然而，由于管理部门不同，投资主体各异，轨道交通系统“四网”存在明显差异，在数据融合方面存在各网数据管理差异性大、数据量大、数据存储与访问方式不同、数据孤岛效应凸显等问题。本文针对以上问题，提出了提高数据存储效率和可靠性的分布式存储技术、保证数据共享活动中参与者身份的真实性与合法性的身份认证技术、实现数据文件密态安全存储与检索的多粒度多维度加密访存技术、实现融合数据溯源的基于区块链的溯源技术。以上轨道交通“四网

融合”相关技术研究, 贴合国家交通规划建设战略, 对于推进城市群和都市圈高质量发展、提高轨道交通质量和效益具有重要意义。

参考文献

- [1] 于鑫, 张凌云. 北京市轨道交通与铁路四网融合发展研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(1): 1-6.
- [2] 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院印发《交通强国建设纲要》[EB/OL]. (2019-09-19) [2023-01-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-09/19/content_5431432.htm.
- [3] 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》[EB/OL]. (2021-02-24) [2023-01-10]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/24/Content_5588654.htm
- [4] 国务院办公厅. 国务院办公厅转发国家发展改革委等单位关于进一步做好铁路规划建设工作的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2021(10): 29-32.
- [5] 何龙庆, 陈雷, 张磊. 轨道交通“四网融合”发展规划的思考[J]. 交通与运输, 2022, 35(S1): 153-158.
- [6] 周天星, 余潇, 薛锋, 等. 大都市区综合轨道交通一体化协同运输组织分析[J]. 综合运输, 2020, 42(12): 29-33.
- [7] 陈丽. 轨道交通四网融合探讨[J]. 铁道工程学报, 2022, 39(6): 1-3, 10.
- [8] 潘昭宇, 张天齐, 唐怀海, 等. 多层次轨道交通“四网融合”体系研究[J]. 交通工程, 2020, 20(4): 1-8.
- [9] 李泰增, 程歆玥, 李爱迪, 等. 基于分布式架构的多源交通大数据可视化系统设计与实现[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(10): 119-121.

责任编辑 王浩