 DOI: https://doi.org/10.12349/ptc.v4i3.6834

Research on technical architecture of railway integration service platform

Shuang Ren[1] Jing Wang[1] Zhimin Niu[1] Bin Zhang[2]

1. China Railway Information Technology Group Co., Ltd., Beijing, 100038, China
2. China Railway Information Engineering Group Co., Ltd., Beijing, 100044, China

Abstract

In the wave of digital economy and intelligent transformation, the railway industry has an urgent need for diversified business collaboration. To implement the requirements of the Railway Integrated Service Platform (RISP) as outlined in the '14th Five-Year Plan for Railway Network Security and Informatization' (Tieke Xin [2022] No.16), the RISP is designed to standardize interconnectivity between business systems, share technical capabilities, enhance the value of business resources, improve application development efficiency and management levels, and serve as the core platform for achieving horizontal integration and vertical connectivity within the State Railway Group's business systems. This paper designs the RISP from the perspectives of communication infrastructure, data processing, system architecture integration, and business applications, systematically outlining the construction path of the RISP. It aims to provide theoretical and practical guidance for optimizing the RISP and the digital transformation of the railway industry, thereby supporting the industry's sustainable development in the era of intelligence.

Keywords

Railway Integrated Service Platform; ESB; IPaaS; API interface

铁路集成服务平台技术架构研究

任爽[1] 王静[1] 牛志敏[1] 张斌[2]

1. 中国铁路信息科技集团有限公司，中国·北京 100038
2. 中铁信息工程集团有限公司，中国·北京 100044

摘 要

在数字经济与智能化转型浪潮下，铁路行业多元业务协同需求迫切，为落实《“十四五”铁路网络安全和信息化规划》（铁科信〔2022〕16号）规划中铁路集成服务平台建设要求，铁路集成服务平台定位于规范业务系统间互联互通，共享技术能力、激发业务资源价值，提升应用开发效率和管控水平，是实现国铁集团业务系统“横向集成、纵向贯通”的核心载体。本文从通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层方面进行设计，系统解构铁路集成服务平台建设路径，为铁路集成服务平台优化建设、铁路行业数字化转型提供理论与实践指导，助力铁路行业在智能化浪潮中实现可持续发展。

关键词

铁路集成服务平台；ESB；IPaaS；API接口

1 引言

在数字经济浪潮与智能化转型的双重驱动下，铁路行业正经历前所未有的变革。作为国民经济的“大动脉”，铁路系统涵盖“战略决策、经营开发、运输生产、资源管理、建设管理、综合协同”六大业务领域等多元业务场景，系统及部门间数据交互频繁、业务协同需求复杂且重复。然而，信息孤岛、系统割裂等问题依然存在，制约行业效能提升，根据《“十四五”铁路网络安全和信息化规划》规划要求，铁路业务系统间互联互通应规范使用集成服务平台实现，与外部单位开展应用集成和数据交换统一通过国铁集团外部协作平台实现，集成服务平台是实现“横向集成、纵向贯通”的核心载体，而技术架构的科学性与先进性则是平台高效运行的核心支撑。铁路集成服务平台技术架构作为实现“横向集成、纵向贯通”的技术底座，其设计需兼顾业务需求适配性、技术组件扩展性与安全合规性，成为铁路行业数字化转型的关键突破点[1][2]。

目前，既有铁路集成服务平台已形成平台门户、企业

【论文项目】本文是中国铁路信息科技集团有限公司科技研究开发计划课题《铁路集成服务平台优化建设方案及关键技术研究》研究成果。课题合同编号 :WJZG-CKY-2023010（2023A04）。

【作者简介】任爽（1987-），女，中国北京人，本科，工程师，从事信息技术与项目管理研究。

服务总线平台（ESB）、业务流程引擎平台（BPM）、业务中台、技术中台和外部协作平台等六大模块功能，具备提供共性业务及技术类服务的能力，但平台核心组件国产化技术架构先进性不足（如 ESB 依赖 2017 年版本国外产品）、传统架构与云原生技术协同效率低、接口标准与国际铁路联盟（UIC）兼容性不足，制约跨国业务协同与技术自主可控。

为此，本文将从铁路集成服务平台国内外研究现状切入，聚焦铁路集成服务平台的技术架构体系，系统解构铁路集成服务平台，重点研究架构分层设计，创新铁路集成服务平台的通信基础设施、数据处理与管理、系统架构集成等关键技术，以“分层解耦、协同赋能”为设计原则，通过通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的纵向贯通，提供“技术自主、架构灵活、安全可控”的铁路集成服务平台技术架构解决方案，为国铁集团实现跨领域数据共享和业务集成提供强有力的技术支撑，助力铁路行业在智能化浪潮中构建具有国际竞争力的数字化基础设施。

2 国内外铁路集成服务平台研究现状

2.1 国外研究现状

国外在铁路集成服务平领域研究起步较早，经过长时间的市场验证和技术积累，在技术创新、应用实践等方面已取得了显著进展 [3]。通常具备先进的技术架构和丰富、稳定的功能模块，能够满足各种复杂的集成需求，能够针对不同行业和企业的特定需求，提供高度专业化和精细化的服务。并注重与各种技术提供商、服务提供商等深度合作，构建完善的生态系统，提高平台的整体竞争力和价值。

在技术架构层面，国外集成服务平台主流技术架构呈现多元化发展趋势：微服务架构通过将单体应用拆分为独立部署的细粒度服务，显著提升系统可伸缩性与可维护性；事件驱动架构（如 Amazon EventBridge）基于异步事件通信实现服务解耦，强化实时响应能力与系统弹性，适用于高并发场景；分布式架构（典型如 Google Cloud Platform）依托多节点部署实现负载均衡与高可用性，有效支撑海量数据处理；云原生架构则深度融合容器化、Kubernetes 编排及自动化运维能力，成为云计算时代快速弹性伸缩的核心范式。这四类架构常交叉应用，共同构成支撑现代集成平台高效运行的技术基石。

在应用实践方面，欧洲在铁路集成服务平台的研究方面处于领先地位，致力于推进跨国铁路集成服务平台建设，旨在打破各国铁路系统间的技术、管理壁垒，促进欧洲各国铁路系统互联互通，实现跨国铁路运输无缝衔接。欧洲的 TEN-T 项目致力于推动多式联运信息集成平台的建设，通过制定统一的数据交换标准，整合铁路、公路、水运等多式联运信息系统，实现跨区域运输资源的协同调度。德国铁路联合签署的“铁路数字化战略”以及法国国营铁路集团的“数字化法铁”项目，均将铁路集成服务平台作为重要组成部分，推动铁路系统向智能化运营转型，提升铁路系统的整体效能。美国铁路集成服务平台研究则聚焦于运输资源的智能优化，通过大数据分析与强化学习算法实现运输路径动态规划，在降低运营成本的同时提升用户服务体验。

2.2 国内研究现状

相对于国外，国内开展铁路集成服务平台研究相对较晚。在国家政策导向与产业升级需求的双重驱动下，国内铁路领域正围绕技术创新、应用实践与标准体系展开系统性探索，逐步形成兼具本土化特征与行业适配性的集成服务体系架构 [4]。

铁路集成服务平台作为一体化信息集成平台的重要组成部分，其功能定位涵盖三大维度：一是实现应用系统间的应用集成，优化资源分配，提升应用开发效率和管控水平，支撑铁路信息系统高效建设和平稳运行；二是支撑跨专业、跨业务应用作业场景的高效协同、流程闭环管理，通过标准化接口与服务组件提升业务联动效率；三是搭建内外部系统的数据交换通道，满足内部与政务平台、行业其他运输方式等外部系统间对接融合，实现数据访问和接口的统一管理，确保数据传输高效、安全。

目前，平台已依托主数据一期工程及 2022 年度国铁统建信息化项目完成阶段性建设，形成“平台门户—业务中台—技术中台—企业服务总线—业务流程引擎—外部协作平台”的立体化架构体系。在技术架构方面，铁路集成服务平台采用微服务分层架构实现“内外协同、安全可控”的技术体系：存储层复用既有数据库资源；服务层依托 SpringCloud 生态（注册中心 / 配置中心 /API Gateway）保障核心服务高可用，集成 OracleESB 实现传统系统服务化集成，并通过独立部署的外部协作平台提供统一对外服务接口—其消息适配模块支持发送 / 抽取、同步 / 异步等灵活交换模式，安全管控模块融合铁路信息安全体系实施传输层 / 管理控制层 / 访问安全三重防护，流量管控模块基于互联网 / 专线 /VPN 多通道实现带宽智能调度与断点续传；业务逻辑层采用流程引擎驱动复杂业务编排；访问层通过负载均衡与 Vue/JS/H5 技术支撑多终端交互。该架构以 SpringCloud 云原生能力为底座，通过 OracleESB 的异构整合、外部协作平台的安全交换机制，实现共性业务服务的标准化封装、应用入口的统一管理及数据可视化分析，支撑敏捷开发与集约化管控。

尽管国内铁路集成服务平台已取得阶段性成果，但其发展仍面临三重挑战：其一，核心技术自主化程度不足，部分关键组件如企业服务总线仍依赖国外产品，技术先进性与安全性不足；其二，平台深度融合存在壁垒，传统架构与新兴技术模块的协同效率有待提升，跨系统业务治理体系尚未完全打通；其三，国际标准对接存在空白，在接口协议、数据格式等领域与国际铁路联盟（UIC，International Union of Railways）标准的兼容性不足，制约跨国业务协同能力。未来，需聚焦技术自主创新、平台生态整合与标准体系国际化，

以适配铁路行业高质量发展与全球竞争的战略需求。

3 铁路集成服务平台关键技术

3.1 技术架构

铁路集成服务平台的技术架构以战略决策、经营开发、运输生产、资源管理、建设管理、综合协同六大领域需求为导向，以“分层解耦、协同赋能”为设计原则，如图 1 所示，通过通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的纵向贯通与横向组合，实现为国铁集团实现跨领域数据共享和业务集成提供强有力的技术支撑。

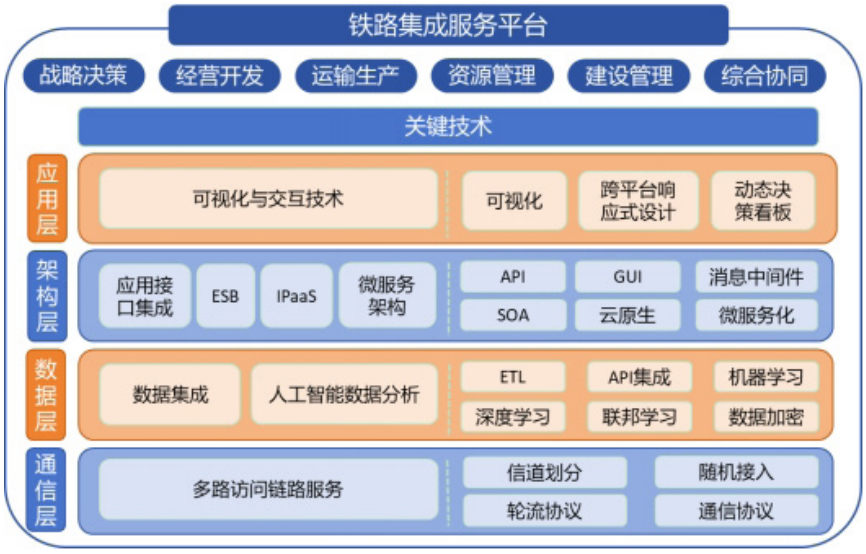

图 1 铁路集成服务平台技术架构图

3.1.1 通信基础设施层

通信基础设施层的核心功能是构建高可靠、低时延的通信网络体系，保障多系统间信息实时交互与业务协同运行。铁路集成服务平台中采用多路访问链路服务技术 [5]，解决多业务系统并发服务通信冲突问题，支撑运服务共享实时性需求。通过信道划分协议（如 TDMA、FDMA、CDMA）和随机接入协议（如 ALOHA、CSMA/CD）等技术，实现高效的数据传输和冲突避免。同时还支持多种通信协议（如 TCP/IP、HTTP、FTP 等），确保不同系统之间的无缝通信。

3.1.2 数据处理层

数据处理层的核心功能是全量数据的标准化治理、智能分析，为平台分析决策提供高质量信息资产。铁路集成服务平台通过数据集成技术打破信息孤岛，实现信息互通；基于人工智能数据分析技术通过模型与算法，优化资源调度，动态优化运力/计算/存储/网络资源的配置，提升用户体验、资源利用效率、服务可靠性和智能化水平。利用 ETL 工具整合全路用户和组织树数据，构建统一的数据分析模型，通过 API 接口封装，为业务系统提供服务，同时支持数据加密和访问控制，在提升铁路资源利用率的同时确保数据的安全性和隐私性。

3.1.3 系统架构集成层

系统架构集成层的核心功能在于打破异构系统壁垒，实现服务与流程的标准化集成，为跨领域业务协同运作提供基础支撑。铁路集成服务平台中通过应用接口集成技术 [6] 实现六大业务领域系统的集成，提升跨专业、跨部门业务与流程的集成效率和管控水平，增强系统的模块化与灵活性；利用企业服务总线（ESB[7]）作为核心消息中间件，高效路业务服务数据，规范接口开发标准，实现跨系统的资源共享和充分信息共享；基于集成平台即服务（IPaaS，Integration as a Service）[8] 的可视化编排能力，对资源管理流程进行建模与自动化执行，提升运维效率；采用微服务架构技术 [9] 对关键服务进行解耦与重构，结合容器化部署与弹性伸缩机制，有效保障货运高峰等高并发场景下的服务调度稳定性和系统韧性。同时实现服务的动态注册、发现与智能编排，并支持多种通信协议和适配器，确保整个平台具备高可用性、可扩展性与松耦合特性。

3.1.4 业务应用层

业务应用层的核心功能在于依托底层技术能力，开发面向战略决策、经营开发、运输生产、资源管理、建设管理、综合协同等六大业务领域的场景化应用模块，实现业务价值的直接输出。铁路集成服务平台通过数据可视化与交互技术 [10] 的前端框架构建铁路集成服务平台的可视化门户，结合响应式设计实现多终端自适应访问，显著降低业务系统使用复杂度；基于实时数据渲染技术与交互控制组件库，为用户提供图形化操作界面与动态决策看板，支持资源利用率分析、运输态势监控等关键功能，提升国铁集团资源优化配置能力与用户体验。同时，该层深度集成统一身份认证与细粒度权限控制机制，并采用服务端渲染优化门户性能，确保系统在复杂业务场景下的高响应性与访问安全性。

3.2 关键技术

3.2.1 基础通信层技术

多路访问链路服务技术通过构建高效的并发控制与负

载均衡策略，显著提升信道资源的利用效率；其核心机制（如轮询协议、令牌传递协议）实现了多个设备对同一物理信道的无冲突共享传输，有效避免数据帧传输过程中的冲突与干扰。在铁路集成服务平台中，该技术被应用于优化业务系统间的通信效能，保障关键数据的实时传输与处理。同时，该层支持包括 TCP/IP、HTTP、FTP 在内的多种通信协议，确保了异构系统间的无缝互联。其分类主要包括 [11]：

信道划分协议：通过将物理信道在时间、频率或编码维度进行预分割，为不同设备分配独立的传输资源，确保多设备数据在各自专属的信道上有序传输，典型技术包括时分多址（TDMA）、频分多址（FDMA）、码分多址（CDMA）。

随机接入协议：无需预分配信道资源，设备通过监听信道状态动态竞争传输权限，当检测到信道空闲时发起数据传输，冲突发生后通过退避机制重新尝试，具有灵活性高、部署简单的特点，典型技术包括 ALOHA、载波监听多路访问（CSMA）、带冲突检测的载波监听多路访问（CSMA/CD）。

轮流协议：通过节点间轮流获取传输权限的机制协调数据发送，避免冲突的同时保证每个节点均有机会使用信道，典型技术包括轮询协议、令牌传递协议。

3.2.2 数据处理层技术

1) 数据集成技术

数据集成技术通过逻辑或物理整合多源异构数据，构建标准化数据共享体系，旨在解决数据孤岛问题，提升数据一致性、完整性与可用性。其核心流程涵盖数据提取、数据转换、数据加载、数据仓库、数据清洗、数据匹配等技术实现高质量数据输出，为铁路集成服务平台分析决策提供支撑。在铁路集成服务平台中，该技术用于打破信息孤岛，实现不同业务系统间的数据共享和协同。通过从业务系统收集必要信息，包括统一身份认证平台集成用户、组织数据等信息，通过 ETL（Extract，Transform，Load）工具整合全路用户和组织树数据，通过 API 接口封装，为业务系统提供服务，提升铁路资源利用率。人工智能数据分析技术以机器学习、深度学习等算法为核心，构建智能化分析模型。在铁路集成服务平台中，通过人工智能数据分析技术，分析用户对集成服务平台的使用习惯，实现服务精准推送，优化资源调度，提升服务的智能化水平。此外，该层还支持数据加密和访问控制，确保数据的安全性和隐私性。

ETL 工具 [12]：自动化完成跨系统数据提取、转换和加载，提高数据处理的效率和准确性。铁路集成服务平台从业务系统收集必要信息，包括统一身份认证平台集成用户、组织数据信息；从网信系统集成系统台账数据信息等，通过自动化数据提取、转换和加载过程，提高平台自身数据处理的效率和准确性。

API（Application Programming Interface）集成 [13]：基于标准化接口实现不同软件系统间实时数据访问、共享，提高了系统的模块化和灵活性。例如通过 RESTful API 连接战略决策领域的分线成本核算系统与综合协同领域的精密统计系统，数据同步时延缩短至秒级。

2) 人工智能数据分析技术

人工智能数据分析技术以机器学习、深度学习、联邦学习等算法为核心，针对铁路集成服务平台中多源异构数据，构建智能化分析模型，实现数据特征提取、规律挖掘与趋势预测，为铁路运营决策提供科学依据。

机器学习技术：基于历史数据构建分类、回归等模型，实现分析用户使用习惯，实现服务精准推送，需求预测，优化资源调度。

深度学习技术：通过卷积神经网络（CNN，Convolutional Neural Network）、预训练语言模型（如 BERT）等，业务系统通过调用铁路集成服务平台的服务对建设管理过程中铁路影像、文本等非结构化数据进行特征提取与分析，实现轨道裂纹检测、文本智能解析等功能，提升复杂数据处理精度。

联邦学习技术：针对跨局数据协同需求，在保障隐私安全的前提下，业务系统调用铁路集成服务平台的服务通过分布式数据联合建模与参数聚合，优化全局分析能力，满足铁路行业数据合规与跨域协同决策需求。

3.2.3 架构集成层技术

1) 应用接口集成技术

应用接口集成技术通过标准化接口实现不同系统之间数据互通与功能集成。通过 Restful 接口、SOAP 接口等，打破各业务系统间信息壁垒，实现业务高效协同，为铁路智能化运营提供底层支撑。在铁路集成服务平台中，通过构建统一通信框架实现各业务系统的无缝对接，提升平台整体协同效率。接口作为系统间通信的桥梁，主要分为以下三类：

API 接口：作为应用接口集成技术的核心，具有高度灵活性与扩展性，可进一步细分为 HTTP 接口、Restful 接口、SOAP 接口等，每种接口类型都有其特定的应用场景和优势。在铁路集成服务平台中实现 HTTP 接口简单高效，用于轻量级的数据交互；Restful 接口以资源为导向，符合 REST 架构风格，便于扩展和维护；SOAP 接口则基于 XML，提供严格的消息格式和类型检查，用于对数据完整性和安全性要求较高的场景。

GUI 接口：以按钮、菜单等可视化元素构建图形交互界面，将后台功能转化为直观操作，广泛应用于铁路票务终端、调度平台，降低操作门槛，提升人机交互效率。

公共 API 接口：遵循统一标准开放服务，第三方开发者可基于接口规范调用列车时刻表、余票数据等资源，助力旅游平台、出行应用开发，推动铁路服务生态创新拓展。

2)ESB

ESB 是一种分布式架构的集成技术，旨在实现企业内部异构系统间的数据互通、服务整合与业务协同。在铁路集

成服务平台中，ESB 通过构建标准化通信总线，解决业务系统间的协议差异、数据孤岛问题，支撑跨部门、跨业务的流程自动化与智能化。集成服务平台基于消息中间件的 ESB 通过异步消息传递实现系统解耦，具备高并发场景下的流量削峰能力，实现不同业务系统间的通信和数据交换，确保系统的高效运行。依据技术架构，可分为以下三类 [14]：

基于消息中间件的 ESB：以 ApacheKafka、RabbitMQ 等消息队列为核心技术，通过异步消息传递实现系统解耦，具备高并发场景下的流量削峰能力，适用于非实时性业务。在铁路集成服务平台中，可用于异步收集各车站客运流量数据进行批量统计，以及将设备传感器数据通过消息队列实时推送至运维平台。

基于服务导向架构（SOA）的 ESB：基于 Web 服务（SOAP/RESTful API），强调服务标准化封装与发布，提供严格接口契约（WSDL/Swagger），支持跨部门、跨企业系统集成及复杂业务流程编排。可应用于铁路集成服务平台与第三方旅游平台的公共 API 对接，如开放余票查询服务。

微服务化 ESB（轻量级 ESB）：基于微服务架构（如 Spring Cloud、Apache Service Comb），将 ESB 功能拆解为路由、转换、监控等独立微服务，支持容器化（Docker/Kubernetes）部署，适配云原生环境，具备轻量化、弹性扩展特性。在铁路集成服务平台中，可实现新兴移动应用与传统 ERP 系统的混合架构集成，以及高铁 Wi-Fi 服务与旅客行为分析系统的实时数据交互。

3)IPaaS

IPaaS 是一种基于云计算的集成解决方案，通过云端平台提供标准化工具与服务，实现企业内部系统、云端应用、合作伙伴数据的无缝连接与协同。在铁路集成服务平台中，通过 IPaaS 轻量化、易扩展、低成本的特性，用于实现票务、调度、运维、货运等场景间的快速集成和协同，用户通过 Web 界面或 API 调用功能，无需介入底层基础设施管理，提升系统的灵活性和扩展性。依据部署模式可分为以下三类 [15]：

公有云 IPaaS：其特点是 IPaaS 基于阿里云、AWS 等第三方云平台提供服务，用户通过 Web 界面或 API 调用功能，无需介入底层基础设施管理，成本低、弹性扩展强，适合铁路非核心业务的快速集成。

私有云 IPaaS：其特点是部署于铁路企业自建数据中心或私有云，数据完全自主可控，安全性高，适用于处理旅客身份证信息、列车调度指令等敏感场景。

混合云 IPaaS：其特点是融合公有云与私有云特性，核心数据存储于私有云，非敏感业务通过公有云扩展，实现安全与灵活的平衡。在铁路应用中，客运票务系统核心数据留存私有云，支付接口与支付宝 / 微信支付等公有云服务对接，既保障交易安全又提升用户体验。

4) 微服务架构技术

微服务架构是一种将复杂业务拆分为独立可部署的小型服务单元的分布式设计模式，通过解耦传统单体系统，每个服务以轻量级协议（如 HTTP/2、gRPC）实现通信，具备独立开发、独立部署、弹性扩展的特性，解决业务复杂度高、迭代缓慢、扩展困难等问题。通过 Spring Cloud 等技术，实现新兴移动应用与传统 ERP 系统的混合架构集成。在铁路集成服务平台中，微服务架构技术用于提升系统的可维护性和可扩展性，确保系统的高效运行，同时提供服务的动态注册、发现和编排，支撑铁路数字化转型对敏捷性与弹性的需求，确保系统的高可用性和可扩展性。

3.2.4 业务应用层技术

可视化与交互技术通过图形化手段呈现复杂数据、模拟业务流程，并支持用户通过手势、语音、界面控件等方式实时干预。通过深度融入票务、调度、运维、客货运等核心系统公共服务，实现“数据可见、操作可控、决策可溯”，提升应用开发效率和管控水平。在铁路集成服务平台中，该技术用于提升用户体验，降低业务系统的使用复杂度，提升系统的整体效率。此外，该层还支持多终端访问（如 PC、移动设备等），确保用户随时随地访问平台。

4 总结

在数字经济与智能化转型的宏大背景下，铁路行业面临着业务协同需求激增的严峻挑战。铁路集成服务平台凭借其在整合资源、优化流程、赋能业务方面的核心价值，已成为突破铁路行业发展瓶颈、实现高质量发展的关键路径。本文系统性地探讨了该平台的技术架构与关键技术，构建了一套清晰的平台建设路径，为其实践优化奠定了坚实的理论基础。

在技术架构与关键技术方面，平台创新性地遵循“分层解耦、协同赋能”原则，构建了通信基础设施层、数据处理层、系统架构集成层、业务应用层的联动体系。通信基础设施层通过多路访问链路技术提升信道效率与异构互联能力，保障数据的实时传输与处理；数据处理层的 ETL 与 API 集成实现了多源异构数据的有效整合与共享；架构集成层综合运用应用接口集成、ESB、IPaaS 和微服务架构技术，打破异构系统壁垒，实现服务与流程的高效、标准化集成，提升系统的可维护性与可扩展性；业务应用层借助可视化交互技术降低系统使用复杂度，强化用户友好性与系统安全性。

通过本文的研究，铁路集成服务平台在技术架构和关键技术方面的创新与优化，不仅为铁路集成服务平台优化建设提供了理论支撑与实践指南，更为铁路行业加速数字化转型、拥抱智能化未来贡献了重要的参考价值。

参考文献

[1] 马建军,李平,马小宁,等.铁路一体化信息集成平台总体架构及关键技术研究[J].中国铁道科学,2020,41(05):153-161.

[2] 史元超,陈诚.铁路多式联运一体化信息集成平台设计研究[J].铁道货运,2020,38(07):6-10.

[3] Jayakrishnan M, Mohamad A K, Yusof M M. Journey of an Information System in Railway Industry development approach through an enterprise framework[J]. International Review of Applied Sciences and Engineering, 2023, 14(1): 35-44.

[4] 刘俊,史天运,李平,等.智能铁路大数据服务平台选型方法研究[J].铁路计算机应用,2016,25(09):67-71.

[5] Jajodia S, Samarati P, Sapino M L, et al. Flexible support for multiple access control policies[J]. ACM Transactions on Database Systems (TODS), 2001, 26(2): 214-260.

[6] Chanda A, Daly A M, Foley D A, et al. Industry perspectives on process analytical technology: tools and applications in API development[J]. Organic Process Research & Development, 2015, 19(1): 63-83.

[7] 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: 31180-31197.

[8] Cestari R H, Ducos S, Exposito E. IPaaS in agriculture 4.0: an industrial case[C]//2020 IEEE 29th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE). IEEE, 2020: 48-53.

[9] Blinowski G, Ojdowska A, Przybyłek A. Monolithic vs. microservice architecture: A performance and scalability evaluation[J]. IEEE access, 2022, 10: 20357-20374.

[10] Battle L, Scheidegger C. A structured review of data management technology for interactive visualization and analysis[J]. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2020, 27(2): 1128-1138.

[11] 崔佳琦.TDMA/CSMA混合网络的性能评估与调度优化[D].武汉大学,2018.

[12] Mukherjee R, Kar P. A comparative review of data warehousing ETL tools with new trends and industry insight[C]//2017 IEEE 7th International Advance Computing Conference (IACC). IEEE, 2017: 943-948.

[13] Aué J, Aniche M, Lobbezoo M, et al. An exploratory study on faults in web API integration in a large-scale payment company[C]//Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice. 2018: 13-22.

[14] 韩安.企业服务总线技术研究[J].工矿自动化,2013,39(11):50-53.

[15] 徐涛.iPaaS营销自动化系统研发与应用[D].上海交通大学,2019.