

智慧快速路综合服务管理平台技术研发与实践

陈明昊

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 为解决城市快速路在设施管养与交通管控中面临的数据集成困难、跨层级流转不畅及业务关注点差异等问题,梳理了现状并分析其不足,针对性设计并研发了智慧快速路综合服务管理平台。通过构建支持多源异构数据集成的基础架构,采用统一数据标准实现跨部门数据流转,结合RBAC权限模型建立分层分级管理体系,并运用对象存储与多种交互和预览组件实现结构化、半结构化和非结构化数据的融合处理。实际应用表明,综合服务管理平台有效打通了数据孤岛,实现业务层、管理层与决策层的差异化服务,为城市快速路的数字化运维和智能化管控提供可行的技术方案与实践案例。

关键词: 智慧快速路;综合服务管理平台;设施管养;交通管控;多源异构;分层分级

中图分类号: U495

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)03-0031-06

Technology Research and Practice of the Smart Expressway Integrated Service Management Platform

CHEN Minghao

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: To address the challenges of data integration difficulties, inefficient cross-level data flow, and divergent business focus in facility management and traffic control for urban expressways, the current landscape and its shortcomings are analyzed, subsequently an integrated service management platform for smart expressways is designed and developed. The platform establishes a foundational architecture supporting multi-source heterogeneous data integration, employs unified data standards to achieve cross-departmental data flow, incorporates a RBAC permission model to create a hierarchical management system, and utilizes object storage with various interactive and preview components for the integrated processing of structured, semi-structured, and unstructured data. Practical application demonstrates that the platform effectively breaks down data silos and enables differentiated services for operational, managerial, and decision-making levels, providing a viable technical solution and practical case for the digital operation and intelligent management of urban expressways.

Keywords: smart expressway; integrated service management platform; facility management and maintenance; traffic control and management; multi-source heterogeneous; hierarchical management

0 引言

随着城市基础设施建设的不断推进和完善,城市快速路系统日趋完善,对系统运行维护的要求不断提高。现阶段快速路管理的重点逐步从建设管理转变到路网、道路的综合运行管理,着力构建安全、畅通、智慧、高效、绿色的现代化快速路网络和服务体系。

随着国家数字化战略的推进实施,在城市建设、基础设施升级等方面开展了众多相关研究。袁胜强等^[1]分析了国内智慧道路建设存在的问题及建设需求,认为构建智慧道路交通城市级云平台是建设智慧道路的关键,并提出云平台的总体方案架构、软件功能模块和运营管理模式。众多研究聚焦于城市CIM平台,探讨基于城市信息模型的智慧城市、智慧交通建设及应用^[2-6],包括:建立包含桥梁地理信息展示、桥梁基本信息管理、桥梁检测评估管理、GIS+BIM三维模型及后台管理五个功能模块的城市桥梁信息管理系统,整合桥梁信息,建立数字化、信息化的桥梁档案,实现城市桥梁信息化管理,提升智能化管理水平。在高速公路智慧化应用场景中,吴银潭

收稿日期: 2025-10-23

基金项目: 上海市城市数字化转型专项资金项目(202201032);

上海市政总院2023年度上海市政总院启明星计划(K2023N008);

上海市政总院科研项目(K2024J008)

作者简介: 陈明昊(1991—),男,工学硕士,工程师,从事市政工程数字化设计、研发与应用工作。

等^[7]聚焦城市道路设施的智能化管养,提出“智能交通+结构监测+车路协同”一体化管理模式。文献^[8-10]侧重于数字孪生技术在智慧高速公路中的应用,通过开发基于数字孪生的高速公路管控系统,达到对高速公路重点路段、重点场景精准管控的目的,赋能高速公路智慧化、数字化升级。董诚等^[11]对数字孪生关键技术、总体思路及交管平台应用分别进行阐述,并从技术发展、应用场景构建上给出个人建议。在细分业务领域内,皮攀繁^[12]、汪艳霞^[13]、万茹等^[14]通过多流程分析及多种新技术综合应用,研究并构建智慧设施管养系统;张斌^[15]、江贺韬^[16]、陈禹^[17]分析、研究并构建了灵活、可扩展的交通管理平台。

综上,对数字孪生、大数据、物联网、GIS、BIM平台等技术在智慧城市、智能交通等领域的应用已开展了广泛研究,对理论应用、信息化平台建设、软件技术应用等有相关探索和应用。另一方面,聚焦城市快速路系统的研究相对较少,综合梳理城市快速路智慧化服务的需求、建设要点和应用的研究相对匮乏。本文通过梳理分析城市快速路现状及运维管控需求,依托现代信息技术进行智慧快速路综合服务管理平台的分析和设计,并基于实际试点进行案例应用实践。

1 现状、需求和不足

1.1 背景工程及其现状

本研究的背景试点路段位于上海市中环快速路(浦西梅川路—沪嘉立交段,约6 km),主要包括设施运维管养和交通运行管控两大领域板块。以设施运维管养板块为例,由城市管理部门履行城市快速路设施的运行维护管理工作,保障城市快速路设施的直接管理,协助编制设施等方面的专项规划、年度计划并组织实施。管理单位统一管理多家执行具体设施管养工作的业务单位,各业务单位根据养护工程标段划分制定工程实施计划,然后根据养护计划进行工单派发并安排人员到现场进行巡视、检查作业。若发现病害、异常情况,通知养护作业人员在规定的时间内进行处理并记录,处置完成后进行验收审核,最后结束流程并进行资料归档。

现状工作流程中,由管理单位、业务单位所形成的不同层级对应的工作内容、工作粒度、时间频率和关注重点均存在较大差异。在同一层级内部,现状各业务单位一般有各自的设施管养业务信息系统,

服务于各运维管养标段内的设施健康状况、病害情况、养护业务工单及执行和监督检查情况等;管理单位也有自己的设施管养管理信息系统,内含管理部门监督、季度年度验收等统计结果记录,以及相关的管理功能。各业务单位系统建设标准不统一,相互之间无互通;业务单位主要通过线下统计上报或手动填报等形式向管理单位上报总体成果,业务系统与管理系统之间缺少直接的自动化关联。

1.2 综合服务管理平台需求

1.2.1 多源异构数据集成与联动

基于现代数字化技术的城市快速路综合服务管理平台,需要能够采集、分析、展示、存储和共享来自于多种设备、多个系统、多种渠道的多源数据。在数据格式方面,除传统信息系统的结构化记录,还包括如网络接口数据、标记语言和大模型应用等产生的半结构化数据,以及快速路建设、运行、维护、管理等生命周期中产生的图档、单据、照片、视频、技术文件等非结构化数据。

1.2.2 跨部门跨层级的数据流转与汇聚

多源异构的数据集成入综合服务管理平台后,还需要按部门、层级进行数据分组和归类,以适配不同的应用场景。数据应按照规划好的领域逻辑和实际工作流程,跨部门、跨层级地进行流转;需要保持同源性,上层数据由下层数据经过统计、汇聚动态得到并保持关联,下层数据更新后主动触发上层统计数据自动更新。

1.2.3 不同应用场景的关注点差异

城市快速路综合服务管理平台的用户涵盖多个部门、多个层级,每一类用户的关注点、关注维度和思考粒度彼此不同。例如,在城市快速路高架设施管养场景中,业务单位关注每一处设施的健康状况,关注粒度从墩位、桥跨到设施管养标段;管理单位不直接管理每个墩位桥跨,而是按照管理路段作为管理单元,关注粒度从管理路段(一般是匝道出入口间区段,含多个桥跨甚至多个管养标段)到快速路区段;更上位的城市规划、财政预算拨款等部门从更加宏观的粒度出发,比如关注一整条快速路、多条快速路构成的路网、或是一个城市片区整体情况。

1.3 现状不足

1.3.1 数据形式单一,资产管理分散

目前对城市快速路进行管理的主流方式仍是传统的信息系统,系统内以结构化记录为主;线下单据、现场情况等非结构化数据或记录不全,或与结构

化记录缺少关联,不便于检索查询,甚至仅以附件形式“堆放”在系统中;半结构化数据的存储、展示和应用能力偏弱或缺失。以上情况造成整个系统数据集成应用能力不强,对城市快速路实际运行管理状况的描述表达能力受限,难以从多维度数据中进一步挖掘信息。

1.3.2 不同应用场景间形成数据孤岛

目前各应用场景经常各自维护独立系统,系统间形成数据孤岛,一部分数据在各系统中冗余存储、且因不能同步而可能产生数据不一致,从而不能准确反映城市快速路的实际情况。此外,各系统间数据不能流转,数据无法协同反映跨部门的信息,无法指导跨部门协同。上层系统的数据依赖下层系统手动填报或周期性汇总提交,数据的准确性、实时性均有所不足。

1.3.3 场景形式单一,关注点分离不清晰

针对城市快速路综合运维管控,更优方案是针对不同层级用户采用不同的业务展现、交互和管理模式,从而准确定位到用户关注的维度、粒度和位置,并以更恰当的表达方式进行展示。然而,目前大多系统采用传统信息化系统的表达方式,以结构化列表+表单为主,信息表现力不足,对各层级用户关注点的强调不突出。

2 方案设计与关键技术实现

2.1 多源异构数据集成流转

基于前述需求和不足分析,只有将多源异构数据按照业务场景、业务流程和业务逻辑统一联动起来,才能更全面细致地反映城市快速路实际状况和时空变化,服务于数字孪生背景下的综合管理服务。综合服务管理平台设计为分层架构,底层针对多源异构数据进行分类处理,经过数据清洗后分别存储在数据库和云文件服务器等支撑环境中。按业务逻辑建立多源异构数据的关联和映射,以应用场景为切面按需调取数据进行展示、交互和共享。这种设计方案从底层支持多源异构数据,以统一的顶层逻辑呈现给综合服务管理平台的用户,对用户屏蔽掉底层各种类、各来源数据的技术细节差异。

支持数据多源的方法包括对接第三方系统、允许数据管理员批量导入管理部门的周期性报表数据、支持平台用户的自主输入修改等。数据的异构主要体现在综合服务管理平台不仅支持传统信息系统的结构化数据,还原生支持并灵活运用半结构化

数据(如XML、JSON、Log日志等)和非结构化数据(文档、图纸、图片、音视频、流程扫描件等)。

在研发实践中,采用多种技术手段支持多源数据的接入。综合服务管理平台采用经典的数据库-后端-前端技术体系,结构化数据以数据库为数据源,并通过ORM框架及Web服务器以标准HTTP协议提供服务。具有数据库操作权限的数据管理员可从数据库层面对系统数据进行批量新增、批量修改等,数据库的变动实时反馈至系统中。对于普通用户,有两种方式:通过文件导入和通过界面列表表单批量操作。文件导入方式,通过后台程序对特定格式文件(Excel、CSV、txt等)支持导入和基于格式的解析,从而提供基于用户界面的文件导入和数据接入能力。界面操作是通过Web界面向用户直接提供表单输入功能,可满足用户自主输入数据形成记录,支持对多条记录的批量化修改。

在数据的异构方面,使用的关键技术如下:平台的信息框架按结构化数据进行组织从而方便理解和使用,半结构化数据以可折叠结构整体存储为结构化记录的专有字段值,非结构化数据则以文件服务形式集成在结构化记录专有字段的文件列表值中。

数据自动化流转依赖一套设计和实现机制:综合服务管理平台通过权限控制下的数据接口与其他系统进行数据交互,从而获取相关数据或提供数据服务。综合服务管理平台内部各层次间基于领域业务逻辑,通过后端程序函数进行数据汇聚、流转,并由触发器自动实时处理或通过定时任务周期性处理。

2.2 统一底层数据标准和差异化用例

早期由于缺少区域级统一标准,各系统的建设规范和数据格式存在差异导致无法互相兼容,且各层级、各部门的数据可能是相互独立的、冗余的,甚至因为信息不同步导致不一致,严重影响信息整合和综合评判。随着交通行业数字化转型的深入推进,各地区陆续建立了统一的数据标准,比如上海市交通委、道路运输管理局发布了《上海市公路设施管理数据字典(试行)》。统一的数据标准和数据接口格式规范,为各系统的底层数据提供了互通的保障和可行性。在综合服务管理平台的研发实践中,基于快速路管理部门发布的建设指南、接入指南、验收指南、设施管理数据字典等统一标准,对数据架构、数据流程、数据语义进行定义,从底层保证了与其他相关系统进行对接集成的能力。

在用例对象的设计和建立上,紧密结合各类用户的兴趣点进行设置,并支持用例的拆分、汇聚等。以快速路高架设施管养为例,在物理维度上,业务层面的粒度为高架桥梁的墩跨构件以及单桩号、单桥跨;多个桥跨连续起来形成管理路段则成为管理层的基本用例粒度;多个管理路段合并而成的快速路区段或片区路网则进一步成为决策层的用例粒度。在时间维度上,业务层面的时间精确到某个时间点;管理层面关注一定周期内的总体情况,时间周期按照实际管理需求确定,可能是日、周或月;决策层面主要关注较长一段时间内的宏观情况和趋势,如月、季度或年。通过这种层层递进、又在时空角度可以汇聚的粒度拆分,建立直观适配各层需求的信息映射。实施中按不同数据维度,综合使用数据库查找、分组、统计技术及OLAP技术进行分层分类和汇聚统计。

2.3 基于RBAC的差异化交互

RBAC(role-based access control,基于角色的访问控制)是目前应用最广泛的权限管理模型,核心逻辑是“通过‘角色’作为中间层,关联‘用户’与‘权限’”,从而简化权限管理、降低维护成本,是企业级系统权限设计的“标准方案”。综合服务管理平台在研发实践上采用RBAC模式,在用户界面及操作权限上隔离设施管养和交通管控两大领域板块,在各领域板块内部进一步区分业务层、管理层、决策层,并保持权限的单向兼容,以最合适的表达方式向不同用户直观展示其最关注的内容。经过RBAC权限模型与智慧快速路综合服务管理专业逻辑融合后形成的平台权限架构如图1所示,分层设计如图2所示。

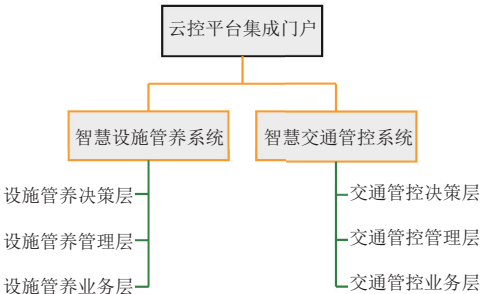


图1 综合服务管理平台矩阵式权限架构

2.4 差异化的数据粒度和呈现方式

相同的领域板块对于不同的用户层级,其关注点存在显著差异,方案设计为以恰当的呈现形式展现特定层级用户的兴趣点。基于前述的多源异构数据集成和统一标准下的数据流转,在后台进行数据

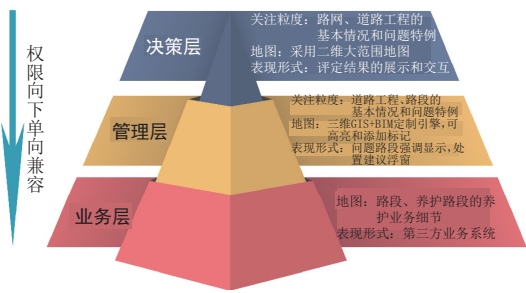


图2 综合服务管理平台分层设计

的分组、归类、统计、汇聚,按照实际需求将不同数据分发呈现给不同用户。对于关注具体业务的用户,设计采用精细化BIM模型+详细信息+台账方式进行记录和表达,提供细粒度的数据,包括各种业务记录及关联的表单、文件、多媒体资料等,并挂载在精细模型特定部位作为表达载体;对于管理层面的用户,关注项目管理要素,提供中等粒度的数据,这些数据往往是业务用户数据的统计和分组,以及管理计划和执行情况等,并以中等尺度范围的GIS或轻量化模型作为表达载体,采用统计图表、对比表和进度图等方式进行表达;对于决策层用户,关注宏观情况和趋势变化,提供更大地理尺度的地图、各分组数据的统计结果和趋势分析等,主要以统计图表达,并明确指出重点区位宏观情况、关键问题等,还要以直观的方式提出趋势研判后的辅助决策建议。

在研发实践中,采用多种技术和组件支持结构化、半结构化、非结构化数据的综合运用和集成。对于结构化数据,采用数据库、ORM框架、列表呈现、表单交互等经典信息系统方式,并进一步建立管理驾驶舱和决策层展板丰富数据展示和交互能力。在管理驾驶舱中,以轻量化模型为基础场景,引入复选节点树组件并添加右键辅助菜单、GIS高精度地图信息标注、BIM模型构件信息弹窗等。在决策层展板中,使用ECharts生态的柱状图、折线图、仪表板、评分板、富文本表格等组件从多个维度展示信息的对比、趋势和关键细节。对于半结构化数据,采用对应的格式化器进行展示和交互,如对于JSON数据采用vue-json-pretty组件进行展示和交互。对于照片、音视频、文档、图纸等非结构化数据资产,采用MinIO作为对象存储系统,对综合服务管理平台提供文件级服务,并将文件URL作为结构化记录的字段补充到关联的业务记录中;结合使用文件预览组件kkFileView,接收MinIO提供的云文件URL,按文件格式动态支持云文件在线预览,从而实现非结构化数据与结构化、半结构化数据的业务关联、上传、下载、

预览等操作闭环。

3 案例应用

基于上述分析、设计和关键技术,研发智慧快速路综合服务管理平台,并在实际的快速路运营管理中

中进行试点应用。
平台采用统一的门户登录页,为不同的用户分配不同权限。决策层用户登入系统后的首页是决策层展板,同时可通过菜单查看管理层内容以及业务层系统;管理层用户登入系统后的首页是管理层驾驶舱,同时可通过菜单查看业务层系统,但不能反向查看决策展板内容;细粒度的业务系统集成在综合服务管理平台中,但不能反向查看决策层、管理层内容。以上方式体现了系统的RBAC分层设计,且权限由决策层-管理层-业务层向下单向兼容。此外,设施管养和交通管控两大领域板块的各层用户,在平台中仅可见本领域的内容,设施管养和交通管控板块在界面和内容上严格分离。设施管养决策层展板和



图3 设施管养决策层界面



图4 设施管养管理层驾驶舱界面

图3至图6所示各页面综合运用了前述研发实践中的设计方案和关键技术以解决对应需求。图3所示设施管养决策展板上使用大范围地图、评分板、柱形图、饼图以及富文本表格等多种组件,各组件基于底层同源数据但展示不同维度,从而重点反映决策层关注的宏观情况和趋势。图4所示设施管理驾

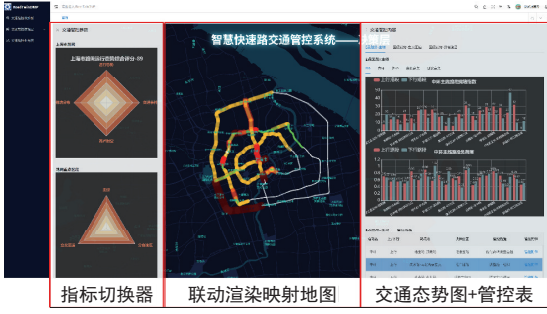


图5 交通管控决策层界面



图6 交通管控管理层驾驶舱

驶舱集成高精度地图和轻量化BIM模型,并与复选节点树相互映射,挂载管理动静态信息并同步动态展示管理对象评分统计。图5所示交通管控决策层展板使用大范围地图,以月、年等长周期进行统计并对应进行地图渲染,便于交通决策层快速获取交通总览状况和关键指标。图6所示交通管控驾驶舱使用精确地理点位标识、点位关联详细信息弹板、富文本表格并挂载非结构化数字资产,服务于交通管理流程。各决策层数据均为对管理层在时间、空间、分组等维度上进行汇聚统计得来,天然保证了各层之间数据的一致性、流转的实时性,从而准确全面地反映快速路实际情况。

系统基于管理部门统一发布的数据标准进行设计和实施,在语义上方便用户直接使用,在扩展性方面便于与其他系统进行数据共享和集成。结构化记录采用经典的列表+表单呈现形式,并支持模糊搜索、区间查询等功能。对于半结构化数据(如设施管理路段的层次化孪生基础静态信息),以表达JSON格式数据为例,系统应用案例如图7所示。

现场的照片、视频等非结构化数据,以可直接预览和下载的连接形式集成入结构化记录,可实现记录级别的关联、查看和上传下载,从而极大丰富结构化记录的表达能力,应用案例如图8所示。

4 结 语

新形势下的城市快速路管理服务,需要在设施



图7 半结构化数据JSON集成交互流程

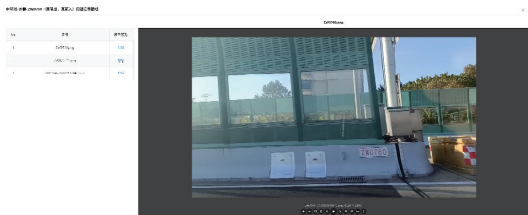


图8 非结构化照片云下载和预览界面

管养、交通管控、辅助决策等方面基于完整的数字孪生语境和数据流转汇聚,实现多维度、多层级、跨部门的信息整合与集成应用。本文基于当前政策形势和新型信息技术的发展,梳理分析当前城市快速路服务管理平台的需求和不足,针对性地建立智慧快速路综合服务管理平台设计方案,研发实现其中的关键技术,并在实践中进行试点应用。本研究提出的智慧快速路综合服务管理平台的关键技术和流程,可为类似城市基础设施数字化转型提供参考,也可不断升级完善并进一步推广应用至城市快速路和更多高等级道路。

参考文献:

[1] 袁胜强,黄俊炫.智慧道路交通城市级云平台构建[J].城市道桥与防洪,2023(3):1-4;19.

[2] 张红涛,孟玉文.数字孪生技术在智慧高速中的应用[J].中国交通信息化,2023(增刊1):291-292.

[3] 丁绪聪,叶志文,梁柱.基于GIS+BIM的城市桥梁信息管理系统设计与应用[J].中国建设信息化,2022(14):57-59.

[4] 赵海云.基于GIS+BIM交通基础设施智慧管养技术的应用研究[J].交通与运输,2022,35(增刊1):228-234.

[5] 徐乐西,栾玉婷,曹越,等.城市智慧交通管理大数据平台架构及设计探讨[J].邮电设计技术,2020(5):7-12.

[6] 张越,刘旻旻.浅谈城市信息模型(CIM)平台下智慧交通建设及应用[J].建设科技,2020(23):34-36.

[7] 吴银潭,唐晨龙,黄明正.城市道路设施一体化智慧管养模式[J].市政技术,2020,38(增刊1):15-17.

[8] 王优.云南高速公路智慧交通系统研究[J].工程技术研究,2022,7(16):215-219.

[9] 王森,王润民.数字孪生技术在智慧高速公路领域的应用展望[J].中国交通信息化,2022(增刊1):34-35;43.

[10] 刘利文,于婕.基于数字孪生技术的高速公路综合管控系统[J].中国交通信息化,2022(7):82-84;94.

[11] 董诚,杨学晨,陈志华.浅谈数字孪生技术在智慧交通管理中的应用[J].建筑施工,2023,45(1):163-167.

[12] 皮攀繁,彭达.交通基础设施数字化智慧管养平台研究及应用[J].交通科技与管理,2025,6(9):7-9.

[13] 汪艳霞.基于CIM的市政环卫园林设施智慧管养系统研究[J].测绘与空间地理信息,2025,48(4):1-3;6.

[14] 万茹,戴卿,王丽园.基于CIM的智慧市政运管养平台架构研究[J].智能城市,2025,11(8):7-10.

[15] 张斌.城市综合交通枢纽智慧管控体系探讨[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(8):109-113.

[16] 江贺韬,邓炯初,周树森,等.东莞市智慧交通系统:“1+1+N”架构范式创新实践[J].城市勘测,2025(增刊1):192-196.

[17] 陈禹.基于数字孪生的智慧交通建设[J].上海公路,2025(1):122-129;234.