

基于激光和视频融合感知的隧道安全管控系统

张君杰¹ 宋柱梅²

1.广东省路桥建设发展有限公司汕湛分公司 广东 广州 510000

2.深圳信息职业技术学院信息与通信学院 广东 深圳 518000

【摘要】：针对传统隧道管控智能化不足的问题，本文提出一种数字孪生隧道安全管控系统建设方法，基于激光雷达和视频等多源融合感知、车辆身份特征识别等技术实现隧道全域精细化感知，构建数字中台和可视化展示系统；利用三维高精地图、大数据、云计算、物联网等数字技术打造与实体隧道“重构”的数字孪生隧道，实现隧道的厘米级精准定位、全域态势感知、分钟级应急响应、隧道资产智慧运养和伴随式信息服务，满足出行者安全高效的出行需求和管理者精准全面的管理需求。

【关键词】：隧道安全防控；数字孪生隧道；全域监控；多源融合感知

DOI:10.12417/2811-0536.25.12.069

引言

隧道环境和光线条件特殊，内部路基宽度相对狭窄、空间密闭性强、视野范围小、能见度低，行车环境较复杂，加之存在安全隐患、管理困难等问题，极易发生交通事故，造成严重的人员伤亡和重大财产损失^[1,2]。

然而传统的隧道管控在智能化、精细化监控技术和一路多方联动机制等方面存在许多不足，主要体现在以下三方面：

(1) 感知手段单一，过度依赖人工。传统隧道监控手段一般采用摄像机、火灾报警，检测精度低、响应时间长、检测盲区多，隧道整体监控难度大，自动化程度低，主要依赖人工。隧道现有的视频事件系统检出正确率仅在 80% 左右，并且视频监控难以适应隧道光照暗、车流量大的复杂环境。

(2) 环境特殊，精细化管理要求高。隧道作为特殊构造物，具有空间有限、结构封闭、视线差等特点，对通风、照明、交通控制等监控系统的精细化管理要求高。

(3) 事故危害大，应急处置难度高。隧道事故主要特征表现为复杂多样、危害程度大、事后处理困难，而救援工作困难复杂，但当前隧道内各系统独立工作，无法实现对隧道内各子系统间的信息共享和联动机制，无法做到事件发生后快速响应和决策及时下发，容易诱发二次交通事故。

针对以上隧道在运营管理中的痛点问题，本文提出一种数字孪生隧道管控系统，基于激光雷达加视频多源融合感知技术，实现隧道内交通参与者、路况、交通流信息的精准、全面、实时感知，为隧道精细化监管提供有力的数据支撑。

1 建设目标

(1) 隧道全域全息感知。集成多种感知设备，构建全方位数据采集体系，建立交通、环境、设施状态分析与预警模型，为精细化管理提供数据支撑。

(2) 车辆全域跟踪监控。依托厘米级高精地图和多源感知设备，将隧道实景与事件信息进行数字化整合，搭建与真实场景时空坐标相一致的数字化场景，实现车辆在隧道中运行轨迹的全域跟踪。

(3) 主动预警和交通诱导。通过可变信息屏、广播系统等设施，基于车辆位置实时发布路口提醒、交通管控信息、天气等信息，提升安全预警的针对性和及时性。

(4) 隧道数字化管理。制定统一数据标准和接口规范，构建数字时空底座和数字中台，完善隧道“数据-业务”核心平台及相关业务开发的数据格式、接口规范、交换协议、通信标准等，打造隧道数字底座，形成数字隧道标准。

2 系统架构

数字隧道的系统架构如图 1 所示，包括设备层、通信层、数据层、平台层。

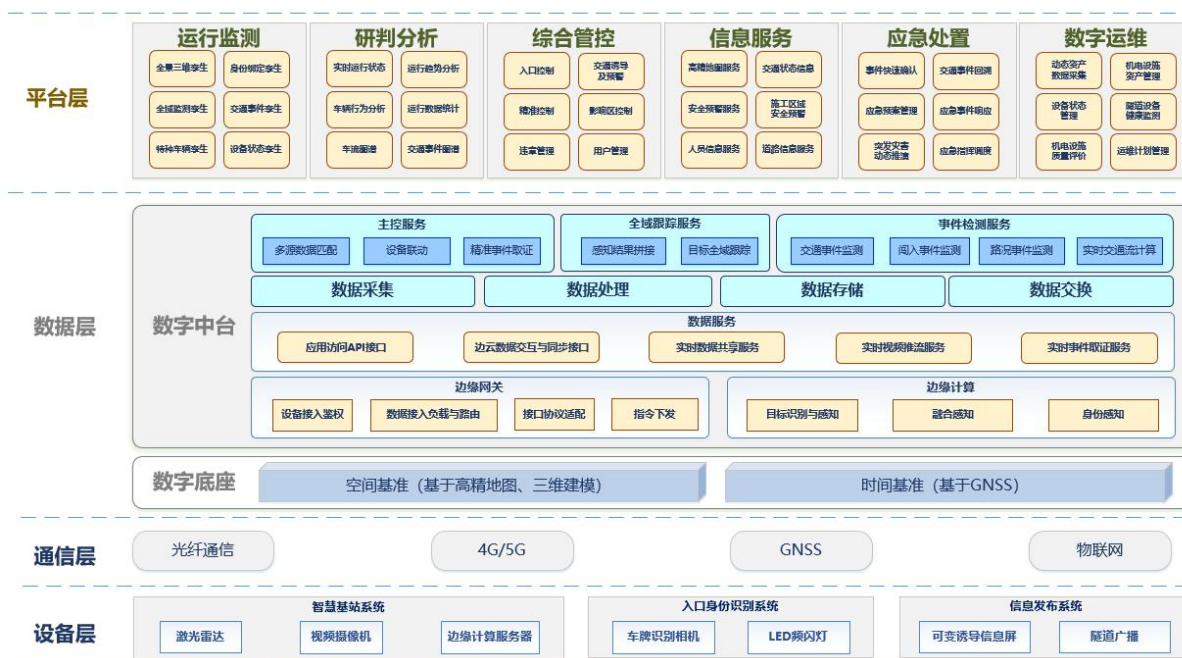


图1 数字孪生隧道系统架构

2.1 设备层

设备层指多源融合感知系统,基于多源数据融合、边缘计算、深度学习、人工智能等技术,实现隧道内交通全要素信息精确感知,为隧道综合管控提供高精度、全要素的数据支撑。多源融合感知系统由智慧基站子系统、入口身份识别子系统和信息发布子系统构成:(1)智慧基站子系统。包括路侧64线激光雷达、视频摄像机、边缘计算服务器,实现交通要素的识别,支持采集交通参与者类型、车牌号码、位置、速度、车辆特征信息(如两客一危、特种车辆等)等微观精准参数。(2)入口身份识别子系统。通过车牌识别相机和频闪灯,在隧道入口处实时抓拍车辆信息,形成唯一身份标识,为全域跟踪提供基础数据。

2.2 通信层

搭建“端-边-云”三层通信网络传输通道,实现前端感知、信息发布等设备的数据信息到边缘计算服务器的高效传输,边缘端轻量化处理后上传云端,减轻前端数据远距离传输带来的负担及损耗,提高数据传输至中心的及时性。

2.3 数据层

通过构建数字隧道时空基准和数字中台,集高精地图、三维建模、数字孪生和设备管理等功能于一体,实现隧道全域范围数字孪生,同步形成与实体隧道“重构”的数字隧道,并与隧道原有业务系统接口对接,实现数据共享交换。

(1)数字底座。基于时空同步技术形成与现实隧道空间和时间参考系一致的隧道数字时空底座,为数字隧道业务应用提供数据时空统一基础。数字底座提供高精度地图服务、高精时间同步服务和基于高精度地图的三维场景构建等服务。

(2)数字中台。隧道数字中台整合前端全域感知系统的边缘计算处理结果,将隧道的实时感知数据虚拟化处理,在此基础上实现对数字隧道业务应用场景的数字化支撑。系统支持C/S和B/S架构,具备灵活的集成与被集成能力。

3 系统功能

通过数字隧道系统的建设,提升隧道内车辆全域跟踪、隧道安全驾驶、信息交互以及应急事件的发现、响应、指挥调度等业务能力。

3.1 运行监测模块

通过高精地图和三维引擎实现全域数字重构,融合智慧基站感知数据,为多种业务提供可视化支撑。具体功能包括全域监测、智慧入口展示、点位呈现、突发事件预警、重点车辆跟踪、交通/环境状态感知和信息发布等:(1)全域监测模块通过上帝视角来展示整个隧道的运行状态,包括静态的道路和交通标识物、动态的车辆和人。(2)智慧入口模块通过智慧基站与车牌抓拍系统融合感知数据,对进入隧道车辆的全要素信息进行融合展示,包括车辆速度、所在位置、航向角、车牌号码、车身颜色、车辆轮廓等信息,并对

进入隧道的车辆进行身份标定。(3) 点位呈现模块根据机电设施(包括智慧基站、交通感知设备、环境感知设备等)点位列表,展示点位信息,让管理者更清晰的感知局部正在发生的事件信息。(4) 突发事件预警模块在隧道发生通事故、火灾、烟雾等突发事件时,自动发起事件预警,并对事件附近视频进行调用。

3.2 研判分析模块

研判分析系统建立交通流运行评价指标、应急处置评估体系、安全运营评价指标体系。基于实时大数据,对交通、环境、结构健康、机电设施等进行数据统计、研判及规律分析,科学评估应急预案、处置和安全运营。

3.3 综合管控模块

数字隧道管控平台通过对接研判分析平台,实时监测隧道交通状态、环境状态和基础设施状态,通过对接数字运维系统,通过隧道口和隧道内的控制与诱导设施,对隧道内交通流、隧道影响区交通流实现精准控制和诱导,保障隧道全天候通行,改善交通管理,提高隧道服务水平。具体功能如下:(1) 入口控制:当隧道上下游交通流饱和或发生重大交通事故、火灾、结构健康事故时,通过交通信号灯、车道指示标志、可变信息诱导屏对隧道进行封闭管制。(2) 精准控制:根据前端多源融合感知系统实时获取的隧道交通、环境和基础设施状态信息,系统实现通过边缘控制单元或后台系统控制隧道内外设置相关设备,并结合数字隧道可视化实时监测控制效果,合理地诱导和控制交通流,预防和减少交通事故。

3.4 信息服务模块

数字隧道信息服务系统通过对接分析研判系统,获得隧道交通状态、环境状态、基础设施健康状态以及突发事件信息,同时整合隧道监控信息资源、运营信息资源、养护信息资源、交警信息资源、路政信息资源、旅游信息资源、气象信息资源、隧道信息资源,利用各种先进的信息发布手段为出行者提供出行前、出行中的各类精准信息服务,同时为养护管理人员提供信息。

3.5 应急处置模块

数字孪生隧道应急处置系统通过部署前端高精度

检测设备以及低时延通信网络,结合隧道的动态数字化重构,实现交通状态实时呈现,当发生异常情况时,触发监控中心事件报警,同时基于事件位置启动重点位置展示界面,辅助管理人员确认应急事件等级,上报下发应急处置方案,并联动隧道内照明、通风、消防、交通控制以及信息发布系统,按照预案进行应急控制操作,同时向方案执行相关支持部门自动派发联动任务,实现应对突发事件时3D可视化全局指挥、快速下达应急指令,及时处置各类突发事件,提升应急工作效率。

4 应用案例

目前,基于激光雷达和视频融合感知的数字孪生隧道安全管控系统已在广贺高速公路的马头塘隧道落地运行,隧道洞长(1035m/952m),上下行分离,双向六车道。建设前隧道监控方式以摄像头+人工轮巡观测为主,缺乏智能化手段,员工工作量大,容易出现疲劳疏忽,同时也缺少生动直观的可视化管理界面,事故发现不及时。通过数字孪生隧道的改造建设,实现对隧道动态交通态势的全息感知,利用高精地图和数字建模的三维可视化呈现,为高速公路管理者提供一个可靠高效的隧道监控管理工具,管理者采用一张图式全域感知的方式,通过可靠的交通事件检测,交通设备综合管控,赋能隧道指挥调度,提高事件处理及时性和管理效率;打造易维护、更安全、更节能、更顺畅智慧隧道。

5 结语

针对传统隧道管控在智能化监控技术和一路多方协同机制等方面的不足,本文提出一种数字孪生隧道安全管控系统的建设方法,基于厘米级高精度地图、实景三维建模、全息感知的智慧基站、车辆特征识别技术,完成隧道全域数字孪生,实现隧道一张图全域监控、交通事件快速检测与精准识别、主动安全防控与应急管理等业务应用,保障隧道安全运行环境,提高隧道通行效率、提升司乘人员出行体验,为未来更加深入的应用提供了参考,推动隧道运营管理向更高阶段、更高质量发展,打造安全高效、智慧便捷的高速公路运行环境。

参考文献:

- [1] 徐志刚,李金龙,赵祥模,等.智能公路发展现状与关键技术[J].中国公路学报,2019,32(08):1-24.
- [2] 潘正中,郭洪波,廖军洪,等.高速公路隧道运营安全风险管控技术研究[J].公路,2017,62(01):141-146.