



GIS+BIM 的高速公路巡查 覆盖度分析关键技术研究

文 ◆ 杭州杭千高速公路发展有限公司 徐建华 王世伟 倪华华 蔡钦之
中路高科交通检测检验认证有限公司 郭歌洋 王 晨

引言

为破解高速公路巡查“漏巡难知、低覆盖、高风险”的痛点，本文提出一种融合 GIS-BIM-IoT 的覆盖度智能分析框架。在 501.38km 杭千高速的示范中，研究通过“SuperMap+ArcMap”双引擎空间数据处理技术，整合 Turf.js 与 Java Topology Suite（JTS）构建了多维度空间分析服务矩阵以及 GB/T 28181 与 JT/T 808 视频融合架构技术，实现了蜂窝网格量化分析巡查轨迹覆盖度的可视化自动分析。首次将巡查覆盖度的



【作者简介】徐建华（1976—），男，浙江桐庐人，本科，助理经济师，研究方向：经济学与公路智慧运营管理交叉领域。

监控管理从“经验估算”转换为“时空量化”，成果可为智慧高速“感知—分析—补巡”闭环提供技术范式。

1 研究背景与现状

随着新型城镇化进程加速，我国公路里程突破 543.68 万公里^[1]，传统人工巡检模式已难以满足道路安全管理的实时性需求。当前主流监测系统存在三大瓶颈：（1）空间数据切割精度不足导致定位偏差；（2）多源监控设备协议互斥难以大规模建立空间协同能力；（3）高并发场景下系统响应延迟显著。本研究通过多维技术创新，构建了“感知—分析—决策”闭环的智能监测体系。重点针对巡查覆盖度自动分析应用场景，为实现对现有道路面、线数据的精细化分段处理与深度分析，本文拓展了多项关键技术。

2 空间数据处理技术

2.1 SuperMap 空间数据处理技术

SuperMap GIS 技术体系以 SDX+ 空间数据库引擎为核心，构建了多源数据一体化存储架构。这一架构的特点主要体现在多粒度数据模型、高性能计算和 2024 年新发布的 AI 增强处理能力。技术优势在于具备对多源数据无缝集成能力，可直接对接 JT/T 808 车载终端数据流，同时支持分布式架构，能够进行亿级空间面对象的实时叠加分析^[2]。不足之处在于面对复杂道路交叉口的三维拓扑关系仍然需要人工干预，预处理与存储优化过程中精度处理的工作量较大。

2.2 ArcMap 空间数据处理技术

ArcMap 采用制图分区（Cartographic Partitions）技术应对大规模道路数据处理^[3]，通过要素分区切割，将超百万级道路线要素分解为 5 万数量级的逻辑单元，避免单次处理时的内存溢出。在合并分隔道路工具中，设置 0.5m 合并阈值，自动消除平行车道的符号化冲突，使高速公路在 1:50000 比例尺下呈现单线表达。在道路要素融合阶段，采用制图综合算法保留重要道路特征点，确保压缩率 65% 时关键路口形态不变形。该引擎重点优势在于拥有成熟的制图综合工具链，支持精细化道路符号化，并且提供基于 Python 的 ArcPy 脚本库，便于定制化处理流程。而对于分布式计算技术的支持，主要依赖于外部第三方生态，延迟较高，不适用于移动或车载终端应用。

2.3 双引擎融合空间数据处理技术

本文利用 SuperMap 与 ArcMap 两款专业 GIS 引擎的优势能力，通过融合 ArcMap 精细化预处理与 SuperMap 高性能计算的双引擎融合方法，构建了一套高效的空間数据分割处理体系，实现对本示范项目应用的道路面、线数据进行统一规则、高效率以及高精度的精细化切割与结构化存储，为后续分析提供高质量数据支撑。本文采用 ArcMap 的“聚合多边形”工具对道路面数据进行拓扑校正，消除高速公路互通与枢纽区域的垂直空间面片重叠错误。通过设置坐标偏移阈值（如设置 10m 坐标容差），修复了 23% 的异常拓扑关系。

本文针对 SuperMap 与 ArcMap 的互补特性，构建双引擎协同处理流

水线（见图 1），分别在数据预处理、核心处理以及存储优化三个阶段具体解决大规模空间数据处理中精度、并发和异常三大问题。

（1）数据预处理阶段。首先，采用 ArcMap 的制图分区技术将原始道路面数据分割为 5km × 5km 的网格分块。其次，运用地理数据库版本控制（Versioning）实现多用户并发编辑。

（2）核心处理阶段。调用 SuperMap iObjects 的拓扑检查接口，检测悬挂点、伪节点等拓扑错误，再通过 ArcPy 脚本自动修复 SuperMap 标记的拓扑异常。

（3）存储优化阶段。利用 SuperMap SDX+ 的空间金字塔索引技术，将处理后的数据分层存储，同时建立 Oracle Spatial 与 ArcSDE 的双向同步通道，保障数据一致性^[4]。

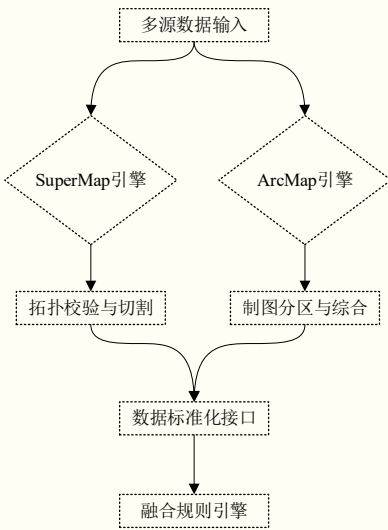


图 1 双引擎协同处理流水线路径图

3 空间分析技术增强

3.1 增强型空间分析矩阵

在 SuperMap iObject 原生分析算法的基础上，创新性地整合了 Turf.js 与 Java Topology Suite（JTS）两大开源工具库，构建了多维度空间分析服务矩阵，可显著提升空间分析效率^[5]。具体实

现功能如下。

（1）空间查询与缓冲区分析：支持基于几何关系的快速检索与影响范围模拟。

（2）叠加分析与数据抽稀：实现多图层数据融合与冗余信息智能过滤。

（3）邻近点识别与桩号生成：通过拓扑关系计算，精准定位道路关键节点并自动生成桩号坐标。

（4）三维高度计算：结合DEM数据，实现道路高程信息的动态推演与可视化呈现。

3.2 多协议视频融合架构

平台深度整合了视频功能体系，通过应用国标 GB/T 28181 协议与交通运输部 JT/T 808 部标协议的双协议融合架构，实现了道路固定监控设备与车载移动监控终端的无缝对接。这一技术打破了传统监控系统的数据孤岛，构建了全域覆盖、实时联动的可视化监控网络，用户可通过统一平台界面实时调取道路沿线以及车辆行驶中的高清监控画面。

3.3 性能优化策略

针对高数据量、多分析场景下请求缓慢的问题，平台采用“实时计算 + 边缘缓存 + 智能调度”三位一体架构应用的优化策略，通过实时计算对关键业务流执行毫秒级响应处理。运用 Redis 缓存对高频查询结果进行预热存储，从而提升热点数据加载的精准高速。结合 Quartz 动态任务调度系统实现非实时业务的错峰执行。

4 巡查覆盖度自动分析场景应用

本研究方法应用于一条高速公路运营管理项目，每日全线车辆巡查总里程长度双向共计 501.38km，其中隧道路段 147km（信号弱，车辆 GPS 坐标漂移量大），共划分为三个管理分中心分区管理。巡查管理中对覆盖度与覆盖频次要求如下。（1）日常车辆巡查单日 1 次 100% 覆盖度巡查；（2）特殊情况调整为每 4 小时 1 次 100% 覆盖度巡查。未巡查路段需要协同获取路侧视频监控，开展远程协同巡查工作。

4.1 模型细节处理

首先，对原始的 BIM 模型进行蜂窝网格划分处理。蜂窝网格法在 BIM+GIS 融合分析应用中被采用^[6]。本文处理方式分别选取了 Turf.js hexGrid 10m、100m 和 1000m 蜂窝网格，进行性能和结果数据两项指标验证，选取最优网格精度实施全线应用（见图 2）。

经验证表明，针对高速公路长里程巡查覆盖度的分析应用场景，三个不同网格精度最终呈现的覆盖度结果几乎一致，但运行性能指标 1000m 蜂窝网格的运行耗时为 10m 网格的 1/20。

4.2 应用场景实现

通过对高速公路全线双向车道的三维建模，提取网格划分分析模型图层 501.38km，接入三个管理分中心巡查车辆每日 GPS 轨迹坐标点数

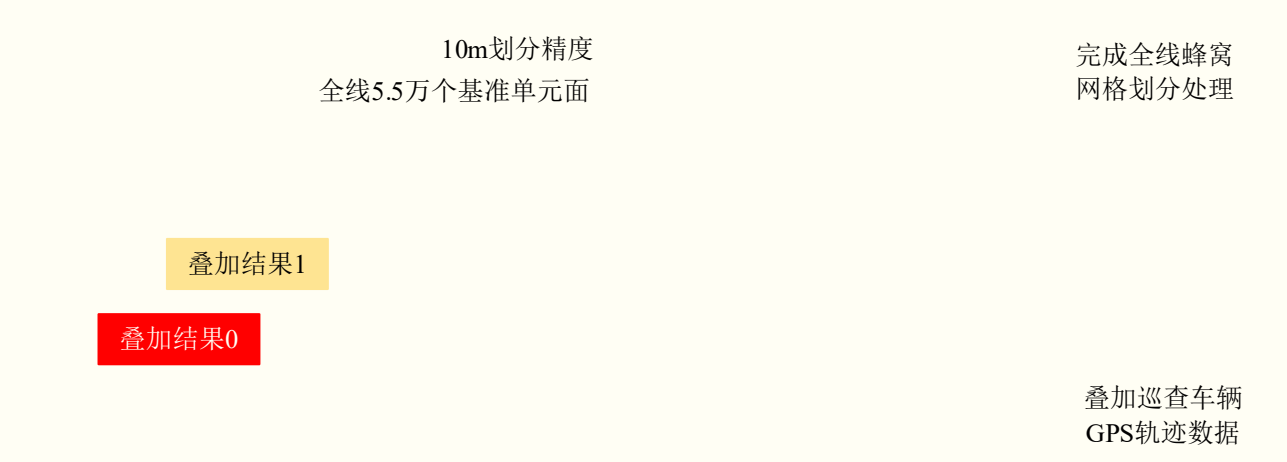


图 2 三维模型蜂窝网格划分→GPS 轨迹叠加→轨迹点落入网格状态分析计算流程

图 3 应用验证结果展示图

据。当轨迹点落入网格内分析结果值取 1，未落入网格内分析结果值取 0。取值为 0 的网格面连续里程小于 1km 的模型触发高亮（亮蓝色）渲染，显示并计入“未巡查路段”。输出每日累计巡查里程统计、未巡查里程统计以及未巡查率结果，分析结果通过空间分析、检索并标识出未巡查路段沿线视频监控点位，支持远程视频协同巡查。应用验证结果展示如图 3 所示。

结语

本研究构建的巡查覆盖度分析可视化应用平台，通过空间数据精细化处理、多协议设备融合接入、三维仿真可视化等技术创新，在“GIS-BIM-IoT”三维技术框架下，首次将巡查覆盖度从“经验估算”提升为“时空量化”。这一平台实现了对快速路况车辆巡查覆盖度的实时分析，能够精准定位未巡查路段，并辅助就近车辆调度实施补查或远程视频监控协同巡查等措施，从而高效落实高速公路巡查管理的完整性、及时性和规范性，有力保障道路运行的安全、畅通。

基于本文的研究成果，未来将进一步探索北斗高精度定位与车路协同技术的深度集成应用，无人机和人工智能生成内容（AIGC）技术结合推动“陆空一体”的高速运营管理的技术升级，同时构建数字孪生底座，将 BIM 构件病害信息与巡查轨迹实时耦合，形成“病害—巡查—养护”全生命周期闭环，为智慧高速 2.0 提供可复制、可推广的技术路径。

First-Tier Cities Based on Multi-Source Big Data[J].Land(2012), 2024,13(3).

[4] 聂沛.空间数据分布式存储与并行处理方法研究及其在林业领域的应用[D].哈尔滨:东北林业大学,2020.

[5] Turf.js Contributors.Turf.js:Advanced Geospatial Analysis for Browsers and Node.js[EB/OL].(2024-06-15)[2025-07-29].<https://turfjs.org>.

[6] Zhang,H.,Li,G.,Pu,M.BIM Data Model Based on Multi-Scale Grids in Civil Engineering Buildings.Remote Sens.2024,16, 690.

引用

[1] 交通运输部.2023年交通运输行业发展统计公报[EB/OL].(2024-06-18)[2025-07-29].https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202406/content_6957901.htm.
[2] Zhao L.,Chen L.,Ranjan R,et al.Geographical Information System Parallelization for Spatial Big Data Processing:A Review[J].Cluster Computing, 2016,19(1):139-152.
[3] Yang W,Ye Y,Fan B,et al.Identifying Land Use Functions in Five New

