

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.02.041

# 基于WebGIS的公路二三维一体化系统设计与开发

车德福,周华君

(东北大学 资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**针对辽宁省公路养护定额工作中公路年度计划项目库确定过程中现场审核效率低下、周期长且人力、物力投入大的问题,设计开发一套基于WebGIS的公路二三维一体化系统。不仅能从宏观上展示公路的地理分布与总体特征状况,而且微观上能直观形象地表示公路的空间关系和路基路面破损状况。满足现代公路的需求,可为其他养护定额工作提供借鉴和参考。

**关键字:**公路;养护定额;WebGIS;全景;二三维一体化

**中图分类号:**U418.1      **文献标志码:**A

## 0 引言

截至2018年底,辽宁省公路总里程已达到122 974 km,全面完成了重大交通基础设施建设规划布局,形成了以高速公路为主骨架,国省干线公路为主通道,县乡村公路紧密衔接、功能完善、四通八达的路网格局。随着公路交通运输量的突飞猛进及养护管理和服务水平要求的提高<sup>[1]</sup>,公路管理思路逐渐从“由设施建设为主,向建设、养护、管理与服务协调发展”转变,高速公路的养护管理工作也因此变得极为重要。如何准确快速地了解公路养护的信息,把有限的养护资金分配到最需要养护的路段上,是亟待解决的问题<sup>[2]</sup>。

传统的公路养护定额方案主要是依靠专家经验来完成,但在方案的设计过程中由于涉及全省的道路,有关专家对现场的公路特征状况缺乏全面了解,容易造成定额方案不符合实际道路状况,带来人力、物力、财力损失。目前已经有许多研究将GIS/WebGIS技术应用到公路建设、养护与服务领域。在三维交通方面,郑伟皓等<sup>[3]</sup>以数字孪生五维模型为指导,以WebGIS为具体技术实现了交通基础设施的数字孪生系统;曹祎楠等<sup>[4]</sup>在数字地球上集成BIM及GIS领域的多源异构数据,提出了基于WebGIS的高速公路数字化方法;田琼等<sup>[5]</sup>基于BIM+GIS技术的

槐树坪隧道数字化建造信息库,推动了隧道信息化施工。在全景方面,张菊等<sup>[6]</sup>基于空中全景对桥梁施工进度进行可视化管理;路昊等<sup>[7]</sup>基于全景图研究了道路交通设施位置测量方法,可以满足智能驾驶领域车道级别精度的需求。在交通信息与决策方面,Al-Neami等<sup>[8]</sup>利用路面状况指数( $I_{PCI}$ )方法,基于GIS对伊拉克的道路恶化细节进行展示;Shankar等<sup>[9]</sup>基于WebGIS开发了实时道路交通信息系统,对道路的拥堵情况进行了可视化分析。

在前人研究的基础上,本文运用WebGIS的理论与方法,基于数据库存储技术、微服务技术、三维GIS技术,研究试验一种开源的公路二三维一体化的方法,集成公路路面使用性能单项评价指标数据、公路病害数据、公路结构面数据、影像数据、地图数据、公路实景三维模型数据、全景数据及双目数据,提供一种构建公路二三维一体化系统的方法。

## 1 技术选型与系统设计

选择B/S(Browser/Server)架构进行开发研究,B/S构架的适应范围更强、升级便捷、有更多的用户群体、更多样的表现形式,更重要的是开发成本低。基于面向服务、模块化、易于扩展等原则,系统整体分为3层:数据层、服务层和应用层,其架构图如图1所示。

收稿日期:2021-10-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:41871310)

作者简介:车德福,男,博士,教授.E-mail:chedefuneu@163.com

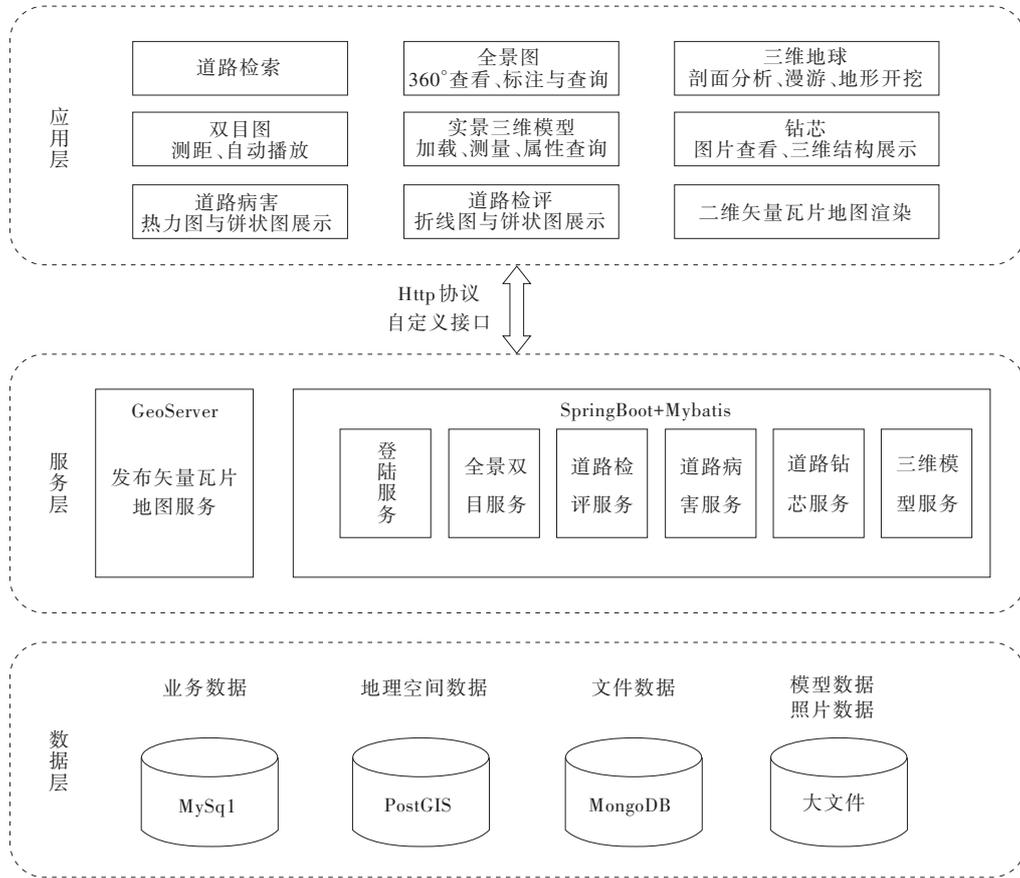


图 1 道路养护可视化系统架构图

目前常见的 3D GIS 软件有 GoogleEarth、Virtual3D 及 Skyline 等，2D GIS 软件有 ArcGIS、QGIS 以及 SuperMap 等，这些软件平台有各自的优势和应用领域<sup>[10]</sup>，全景图软件有 three.js、theta-viewer.js 以及 3deye.js 等开源 js 库。基于开发难度和软件开源程度的考虑，本系统以开源的 Mapbox 二维地图引擎、Cesium 三维引擎和 photo-sphere-viewer.js 库为基础分别构建自己的二维 GIS 模块、三维 GIS 模块和全景模块，通过 LayUI 框架集成，实现前端页面的搭建。

该系统服务端后台采用微服务架构，按照业务需求将功能分散到离散的服务中。微服务架构将单体应用的不同功能模块进行拆分重构，转换为多个独立的微服务，运行为多个独立的进程<sup>[11]</sup>，以实现松耦合和高内聚<sup>[12]</sup>。高内聚将相关联的业务逻辑包含在同一个服务中，便于代码管理；低耦合降低了服务间的依赖与通信开销，允许服务的独立修改和部署<sup>[13]</sup>。该系统采用 Spring Boot+Mybatis 技术发布用户服务、全景双目服务、三维模型服务、道路检评服务、道路病害服务和道路钻芯服务，采用开源地图

服务器 GeoServer 发布矢量切片地图服务。

## 2 系统功能设计

基于 WebGIS 的公路二三维一体化系统主要设计了 8 个功能模块，具体如图 2 所示。各模块均以浮动窗口的形式存在，可自主控制模块的放大缩小关闭，根据用户需求自由组合，联动显示。

道路检索模块是整个系统的入口模块，用于定位所要查看的公路，限制其他模块数据展示范围，方便用户逐条对公路进行养护定额决策。

二维地图模块包括二维矢量地图和遥感地图，是公路视觉呈现的主要模块，用于查看浏览地图、分级显示图层、绘制全景轨迹、叠加显示公路路面使用状况，是地理信息与公路信息的直观表示，从宏观上展示公路的地理分布与路面总体特征状况。

道路检评模块和道路病害模块是用于展示公路路面状况，以折线图、饼状图和热力图的形式展示，方便用户查看公路路面使用状况、公路病害组成和病害分布，利于公路路面性能评价。

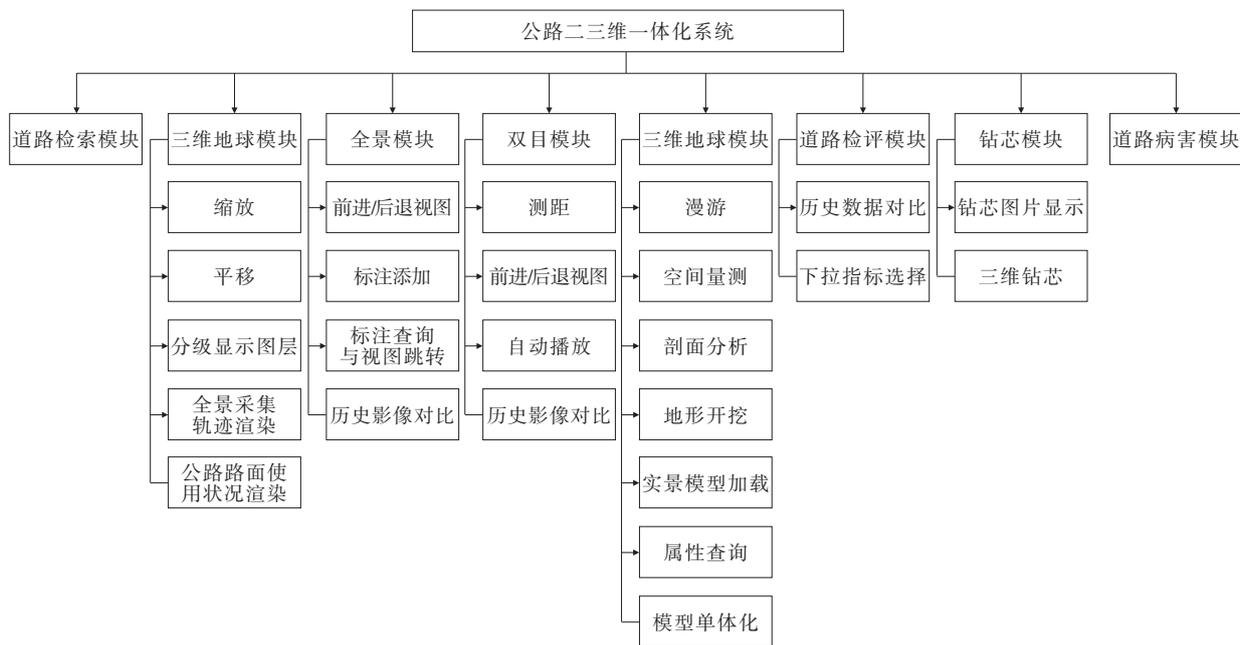


图2 功能设计

全景模块、双目模块、三维地球模块和钻芯模块从微观展示公路的空间关系和路基路面破损状况。全景模块实现360°公路路面状况的查看,并对路面兴趣点进行标注与查询。双目模块用于路面病害的测量,便于从数值上直观展示病害的范围。三维地球模块加载公路三维实景模型和数字高程模型(DEM),用于展示公路及公路附属设施的立体空间关系及属性信息,执行三维地图操作、属性查询、地形开挖、漫游、空间量距等操作,将抽象难懂的空间信息可视化和直观化。钻芯模块用于展示公路的结构与损坏状况,以钻芯图片和三维钻芯的形式,便于用户通过钻芯分析病害成因,为养护定额工作提供有力依据。

### 3 开发关键技术的实现

#### 3.1 矢量瓦片地图数据整理与服务发布

公路二三维一体化系统的地图数据主要涵盖辽宁省的交通领域,涉及的数据包括点、线、面三类要素。点要素包括省级注记、市级注记、县级注记、高速注记、国道注记、省道注记、县道注记、乡道注记、高速入口、观测站、养护站、各级桥梁、隧道等,线要素包括国、省、市、县各级轮廓线、高速、国道、省道、县道、乡道、城市道路、各级铁路、各级河流等,面要素包括国、省、市、县区域、各级河流、建筑物、居民

地、行政村、自然屯等。

在发布地图服务时,将地图shp文件批量导入PostGIS数据库进行持久化存储,并设置相应的空间参考标识符。依次在开源地图服务器Geoserver中创建工作空间、增加PostGIS数据库数据源、发布图层、合成图层组并进行矢量切片,从而发布二维矢量地图服务。矢量瓦片地图服务返回的是含有属性信息的地理数据,数据量小且保留了属性数据,为个性化定制地图的实现打下了牢固的基础。基于矢量瓦片地图服务,前端网页可对地图进行式样的配置与图层的分级显示。

#### 3.2 二三维联动

二维矢量地图操作基于移动中心的经纬度和缩放比例,三维地球的操作基于相机的经纬度和高度,二维矢量地图和三维地球都是采用统一坐标系——WGS84,因此二者在二维平面上是能以经纬度进行联动的。但这种方式存在一定弊端,三维地球相机在同一个地理空间位置查看,不同视角获得的地理位置是不同的,二维矢量地图基于三维地球相机位置进行联动是不可取的。本文研究采取一种方法实现二维矢量地图与三维地球的准确联动操作。从三维地球相机射出一条射线,经过屏幕中心的平面直角坐标,与地球相交,通过交点的地理坐标与二维矢量地图进行联动。原理及效果如图3、4所示。

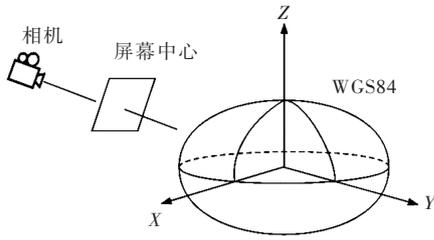


图 3 二三维联动方法原理图

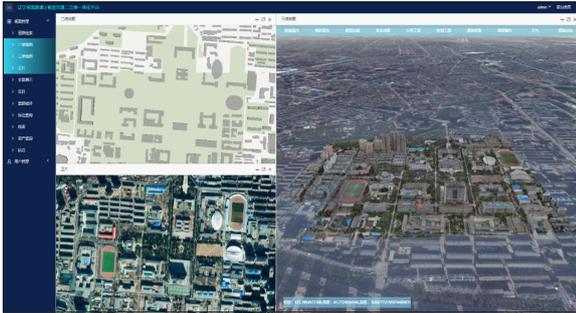


图 4 二三维联动效果图

在垂直平面上,二维矢量地图和三维地球地图缩放的方式不同,前者采用缩放比例,后者采用高程。现研究对比四参数方程、幂函数和 log-log 双对数标准曲线 3 种曲线拟合方法,建立缩放比例和高程之间的对应关系,如图 5 所示。

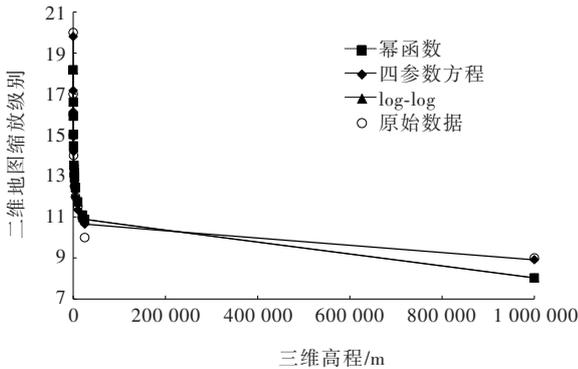


图 5 缩放比例与高程的曲线拟合

幂函数的相关系数为 0.94,四参数方程的相关系数为 0.99, log-log 双对数标准曲线的相关系数为 0.94,因此选取四参数方程来拟合二维矢量地图缩放级别与三维地球高程的关系,四参数方程拟合公式为:

$$Y = (A - D) / [1 + (X/C)^B] + D \quad (1)$$

式中:Y为三维地球高程;X为二维矢量地图缩放比例;A=7 147 290 544 496.68,B=0.219 988 385 232 625,C=1.654 052 185 760 14×10<sup>-52</sup>,

D=7.526 608 475 972 08。

## 4 系统实现

### 4.1 公路整体状况分析

公路整体状况分析适用于养护定额决策的开始阶段,在用户不熟悉公路整体状况的情况下,通过公路路面使用性能单项评价指标数据在二维矢量地图上的叠加渲染,使用户了解整条公路路面破损、行驶质量、路面弯沉、路面车辙的严重程度与分布状况,便于用户直接找到全路段需重点关注的路段。辅以病害的热力图和饼状图,利于用户分析整条公路的病害组成与分布和每公里公路的主要病害(图 6)。

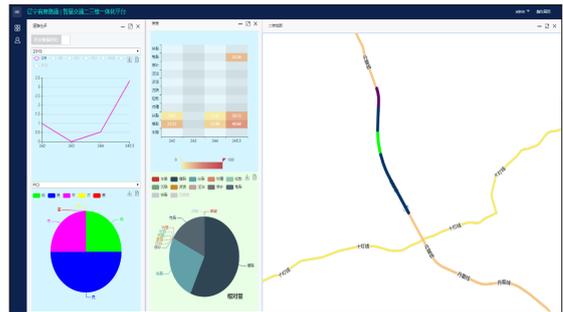


图 6 公路整体状况

### 4.2 公路局部状况分析

公路局部状况分析用于查看分析重点路段的现场状况,对养护类型细分和修复养护对策选择有指导意义。在用户对公路整体状况有一定的认知后,在二维矢量地图上选择感兴趣的公路位置,定位到位置最近的全景图,可使用户快捷查看公路路面的病害细节,从各个角度无缝浏览公路的 360°全景,如图 7 所示。对于病害路段的公路结构面,通过钻芯图片与三维钻芯结构的展示(图 8),可直观了解公路结构面状况,便于用户对公路进行病因诊断。

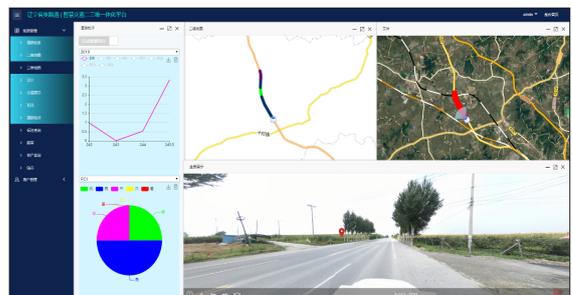
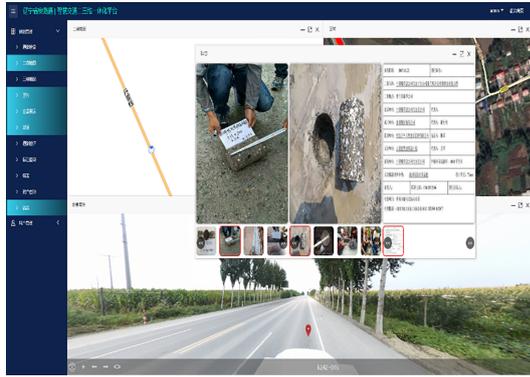
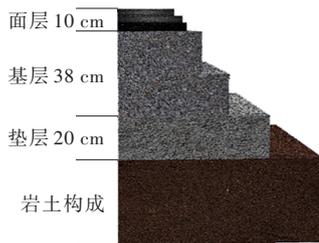


图 7 公路局部状况



(a) 钻芯图片



(b) 三维钻芯结构

图8 公路钻芯

### 4.3 公路二三维可视化分析

三维公路是公路模型的立体呈现,能够应对具有复杂立体环境的城市地理现象(图9)。通过遥感底图、DEM和三维实景模型的加载,辅以二维矢量地图,能更好地反映地形地貌与公路的空间关系。此外,实现了漫游、剖面分析、公路附属建筑物的单体化、属性增添与查询、空间量测、地形开挖等功能,供用户自由选择,以便从三维的高度更好地支持养护定额决策。

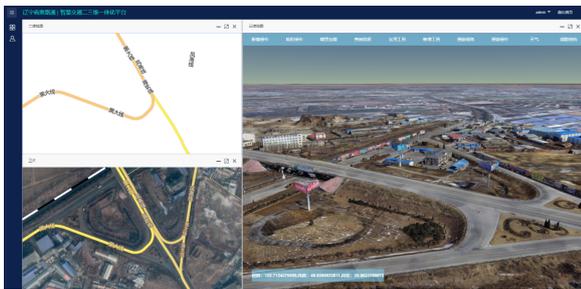


图9 二三维公路

## 5 结语

研究了公路二三维一体化构建方法,实现了二

三维一体化功能,提出二三维联动机制,高效准确地实现二三维联动操作,从多种角度展示公路使用状况,提高养护定额决策效率。本系统经过沈阳丹霍线数据的检验,系统效果反馈良好,为养护定额计划编制提供了依据。系统所用技术开源,为养护定额工作提供了可行的解决方案。

### 参考文献:

- [1] 田涛.北京市普通公路养护预算定额编制研究[J].公路,2019,64(8):146-153.
- [2] 杨永红,晋敏,白钰,等.公路养护资金分配方法优化研究[J].中外公路,2015,35(4):336-340.
- [3] 郑伟皓,周星宇,吴虹坪,等.基于三维GIS技术的公路交通数字孪生系统[J].计算机集成制造系统,2020,26(1):28-39.
- [4] 曹祎楠,王佳,顾大鹏.面向多源数据集成的高速公路数字化方法[J].科学技术与工程,2019,27(19):214-221.
- [5] 田琼,周基,芮勇勤,等.基于BIM+GIS的槐树坪隧道信息化施工研究[J].中外公路,2019,39(6):158-161.
- [6] 张菊,胡庆武.基于空中全景的桥梁施工进度可视化管理方法研究[J].公路,2018,63(11):127-131.
- [7] 路昊,杨明,王春香,等.基于全景图的道路交通设施位置测量方法[J].华中科技大学学报(自然科学版),2015,43(S1):237-240.
- [8] AL-NEAMI M, AL-RUBAEE R, KAREEM Z. Assessment of Al-amarah street within the Al-kut city using pavement condition index (PCI) and GIS technique[C]//The 3rd International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering,2018,162:01033.
- [9] SHANKAR H, SHARMA M, OBERAI K, et al. Development of WebGIS based real time road traffic information system [J]. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,2018,IV-5(IV-5):37-45.
- [10] 唐昊,刘建波,葛双全,等.一种二三维联动地理信息系统的实现[J].科学技术与工程,2019,19(32):37-42.
- [11] 贺宗平,张晓东,刘玉.基于Jupyter交互式分析平台的微服务架构[J].计算机系统应用,2019,28(8):63-70.
- [12] PAHL C, JAMSHIDI P. Microservices: A systematic mapping study[C]//In Proceeding of the 6th International Conference on Cloud Computing and Services Science,2016,1:137-146.
- [13] NEWMAN S. Building microservices: designing fine-grained systems[M]. Cambridge: O'Reilly Media,2015.