

文章编号: 1674—8247(2023)05—0018—05

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2023. 05. 004

# 基于多源数据的铁路选线与模型快速构建方法探讨

胥海燕

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**随着大数据时代的到来,铁路选线从传统的地形选线、地质选线、环保选线等方式转变为利用地形、地质、环保、拆迁等多源数据信息高度融合的三维地形选线以及快速构建模型的时代。为了满足基于多源地理和地质数据的铁路选线与模型快速构建的需求,提出了一种对海量数据管理以及海量瓦片化的三维模型进行简化抽稀的方法,实现了快速数据的加载和渲染调度,并快速进行网络分发。该研究成果可为铁路选线设计与模型快速构建提供技术支持。

**关键词:**多源数据;铁路选线;工程模型;数据抽稀

**中图分类号:** U212. 32

**文献标志码:** A

## A Study on Railway Route Selection and Rapid Modeling Based on Multi-source Data

XU Haiyan

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

**Abstract:** With the advent of the big data era, railway route selection has evolved from traditional methods such as topographic selection, geological selection, and environmental selection to a three-dimensional route selection that integrates multi-source data, including topography, geology, environment, and land acquisition. Furthermore, it is now possible to rapidly construct models. In order to meet the requirements of railway route selection and rapid modeling based on multi-source geographic and geological data, this paper proposes a method that involves managing massive data, simplifying and rarefying tile-based three-dimensional models, and achieving fast data loading, rendering scheduling, and network distribution. The results provide technical support for railway alignment design and rapid model construction.

**Key words:** multi-source data; railway route selection; engineering model; data rarefication

传统的铁路选线设计主要基于二维的 1:2 000、1:10 000、1:50 000 地形图,地形数据单一、数据量小,存储及管理方便,但却无法满足铁路选线对地形、地理、地质信息数据的需求。随着信息技术的不断发展,测绘地理信息相关技术也得到了快速发展,其获取手段、数据量格式、内容都发生了变化。在这种背景下,为发挥地形、地理、地质信息数据的作用,应尽快开展

地形、地理、地质信息的全面整合,加快建设多源地理信息数据生产体系,统筹各种地形、地理、地质信息的生产、管理<sup>[1]</sup>。基于此,实现多源数据融合建模,生成精细化三维模型,研究多源异构空间数据库构建方法,对多源数据成果统一存储、管理和应用研究,进一步开展多源数据的铁路选线与模型快速构建方法的技术路线研究<sup>[2]</sup>,并应用于铁路选线规划设计是十分

收稿日期:2022-08-08

作者简介:胥海燕(1984-),男,工程师。

引文格式:胥海燕. 基于多源数据的铁路选线与模型快速构建方法探讨[J]. 高速铁路技术,2023,14(5):18-22.

XU Haiyan. A Study on Railway Route Selection and Rapid Modeling Based on Multi-source Data [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(5):18-22.

必要的。

1 主要技术路线

1.1 多源测绘调查数据

通过梳理铁路选线设计的影响因素,测绘调查数据呈多样性,主要包括:数字地形数据、地质信息数据、环评信息数据、交通信息数据、城市规划信息数据、园林信息数据、重大建筑物拆迁信息、地质信息数据等<sup>[3]</sup>。通过对该多源数据的融合,形成铁路选线设计的基础数据。基于多源数据的铁路选线与模型快速构建方法的主要技术路线如图 1 所示。

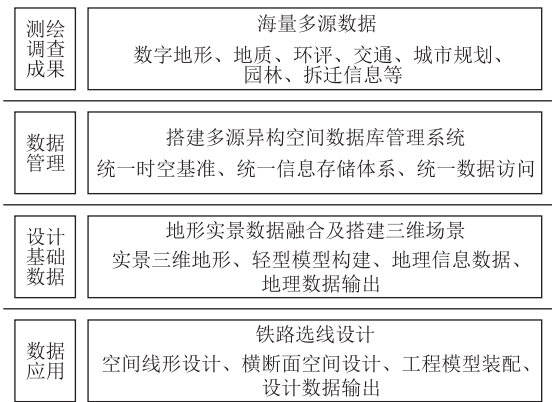


图 1 主要技术路线框架图

1.2 数据库管理

搭建多源异构空间数据库管理系统,负责管理海量的多源异构测绘调查数据,进行数据格式转换、投影转换、数据拼接、数据入库更新、成果输出等操作,输出功能选择网络发布的三维地形,可按项目和区域检索查询<sup>[4]</sup>。

1.3 铁路选线设计基础数据

针对测绘数据中地理信息数据融合建模周期长、工程模型可视化表达不流畅等问题,本文研究了多源异构数据时空一致性自动融合建模方法,以实现航空摄影数据、遥感影像、激光点云等多源数据融合精细化三维建模<sup>[5]</sup>;对数字地形图、三维激光点云、正射影像、倾斜模型、各类数字化调查数据、地质信息数据等成果统一存储管理;叠加地质、环保等多专业数据,进行空间查询、缓冲区分析等,并与三维地形融合生成铁路选线设计所需的基础地理场景数据。

1.4 数据应用

(1)可判识地理细节和标绘,用于室内踏勘选线等,用于设计过程,可做填挖、空间查询分析统计等。

将高分辨率的局部实景三维模型与常规 DOM 与 DEM 生成的大范围地形模型融合,结合地形图比例

尺进行模型层级抽稀简化处理,能够快速全面多角度反映线路周边大范围地理环境,方便判释不良地质等对线路方案有重大影响的地理地质因素,结合局部高清实景三维模型,能够达到室内全方位综合研判的目的,比室外现场信息量更全面准确。

融合的综合地理场景还具备可量测的特点,可勾绘滑坡体、量测线位与重要绕避地物的距离等,可通过填挖高度设置,进行土方量的计算,在选线设计应用方面可发挥较大实用价值。

(2)在三维实景地形平台上,搭载实景三维铁路选线设计软件,进行空间线形设计、横断面空间设计、工程模型装配、设计数据输出等。

在多源多尺度的实景三维地形上进行铁路选线设计,将线位的平面设计和纵断面设计有机结合,在交互式平面线位设计的同时,自动根据线位平面位置进行地面线高程采样,依据纵断面地面线进行线路设计,得到铁路空间线形,以此为基础进行快速铁路工程模型构建以及设计成果输出,形成完整的实景三维铁路选线设计应用闭环。

2 三维地形模型的快速构建方法

2.1 实景三维模型数据抽稀简化方法

通过加权实景三维模型及算法,实现实景三维模型的层级简化抽稀,同时考虑比例尺的过渡,与测图比例尺接近,解决实景三维模型抽稀应用的关键问题,为实景模型用于一定比例地形制图提供技术支撑,实景三维模型抽稀技术流程如图 2 所示。

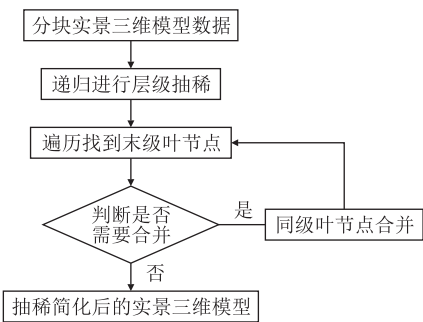


图 2 实景三维模型抽稀技术流程图

2.1.1 获取原始倾斜摄影三维模型数据,遍历所述三维实景模型数据中的所有节点,根据节点间的层级关系形成第一层级树。

通过构建节点访问器,将遍历模式设置为子节点全部遍历,构造模型树结构体,用于存储层级树,包含父节点 ID 和子节点 ID 几何以及几何对象 ID 的结构体 TreeNode;在节点访问器中针对 PagedLOD、LOD、

ProxyNode 3 种类型读取子节点或几何对象信息,并将这些信息存储于模型树结构体 T1。

2.1.2 抽取第一层级树上的中间节点,利用中间节点的子节点替换所述中间节点,形成第二层级树。

(1) 读取 Ti 对象的子节点信息 Children, 里面包含  $n$  个 TreeNode 对象,每个对象记为 Child,判断每个 Child 的子节点个数,如果子节点个数为 1,则用该子节点对象替换 Child。

(2) 再次读取 Child 对象,进行逻辑判断,如果子节点个数不为 1,遍历所有子节点,进行递归判断和替换处理,无子节点的情况下,则结束递归遍历,形成无单一子节点的模型树结构体 T2。

2.1.3 概略比例尺的推算

(1) 研究中通过读取模型树结构体 T2,递归遍历找到最末级叶节点  $N$ ; 构建了 Geode 节点访问器,读取叶节点的 Drawable 个数,遍历每个 Drawable 对象,得到顶点的三维坐标几何  $[X, Y, Z]$ ; 在 XOY 平面将顶点三维坐标几何投影为二维点集合  $[X, Y]$ ,采用凹多边形算法计算得到二维点集合的边界范围  $B$ ; 计算边界范围  $B$  的面积,并且初步计算 XOY 平面的概略顶点密度:

$$P = \frac{N}{S} \quad (1)$$

式中:  $P$ ——XOY 平面的概略顶点密度;

$S$ ——边界范围  $B$  的面积。

计算边界范围  $B$  的矩形格网边界最大值 MaxPt、最小值 MinPt、宽度和高度,根据概略密度初步划分格网,计算格网宽度和高度,表达为:

$$\begin{aligned} ew &= \frac{W}{\sqrt{P}} \\ eh &= \frac{H}{\sqrt{P}} \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $ew$ ——格网宽度;

$eh$ ——格网高度;

$W$ 、 $H$ ——边界范围  $B$  的矩形格网边界宽度和高度。

(2) 按 XOY 平面的最小值逐格网计算每个格网的顶点密度分布,表达为:

$$P_i = N_i / (ew \times eh) \quad (3)$$

式中:  $P_i$ ——每个格网的顶点密度。

(3) 判断格网是否需要细分,对每个格网进行  $2 \times 2$  划分,分别计算 4 个单元格的顶点密度  $P_1 \sim P_4$ ,计算 4 个密度值的平均密度,采用式(4)、式(5)计算最大、最小密度差,。

$$DP_{\max} = |P_i - P_A|_{\max} \quad (4)$$

$$DP_{\min} = |P_i - P_A|_{\min} \quad (5)$$

式中:  $P_A$ ——4 个密度值的平均密度;

$DP_{\max}$ ——最大密度;

$DP_{\min}$ ——最小密度。

如果  $DP_{\max} - DP_{\min} > P_A$ ,则继续对密度最大的格网进行划分,直到满足停止条件;求所有格网及细分格网的密度均值,得到确切的顶点密度,将该密度值与比例尺密度区间进行比较,得到确切的概略比例尺,并推算上层比例树的顶点密度。

2.1.4 模型的简化抽稀

对于比例小于某一数字的层级,采取顶点垂直采样的方式进行简化处理,形成该层级节点的几何对象,具体为:

(1) 根据当前层级边界范围及格网细分尺度,确定每个细分格网内顶点的最大高程点  $P_i$ ,得到点集合  $[P_i]$ ,以及纹理坐标集合  $[u, v]$ 。

(2) 根据点集合和纹理坐标构建规则格网的表面模型,形成模型几何对象,完成当前层级的抽稀简化,逐层向上递归推算简化,完成整颗多维度树结构的模型简化抽稀。

通过对各层级树进行分层级简化,得到简化后的三维模型数据,实现各层级比例关系对三维实景模型数据的分层级轻量化处理,便于数据快速加载和网络发布。

2.2 工程独立坐标系下多源实景三维模型的协调融合处理方法

针对将倾斜摄影的实景三维模型和 DEM、DOM 生成的三维地形一起进行工程应用的难点,提供了一种适应特定工程独立坐标系的实景三维模型和三维地形的融合方法,将分开的三维瓦片根据层级结构进行表面三角网融合重构,解决了现有三维软件无法统一对实景三维模型和三维地形进行求交、运算的问题,为实景三维模型与传统手段测绘数据的融合应用提供了技术支撑。

2.2.1 基于工程独立坐标系的瓦片格网金字塔构建

(1) 通过计算工程独立坐标系的坐标范围,取中央子午线两侧  $3^\circ$  或  $6^\circ$  作为经度范围,计算最大坐标,最大坐标对应的  $BL$  值为  $[6, 90]$ ,最小坐标对应的  $BL$  值为  $[-6, -90]$ 。根据工程独立投影坐标范围计算地形瓦片格网金字塔首级的数量和范围,级数从 1 开始,对应东西方向瓦片个数为 2,南北方向按规则正形格网划分个数为:



$$n = \text{ceil}(\frac{y_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}}) \quad (6)$$

式中: $n$ ——北(南)半球南北方向瓦片数量;

$y_{\max}$ ——前独立坐标系的最大纬度值;

$x_{\max}$ ——当前独立坐标系的最大经度;

$x_{\min}$ ——当前独立坐标系的最小经度。

瓦片格网南北方向最大值、最小值分别为:

$$x_{\max'} = n(x_{\max} - x_{\min}) \quad (7)$$

$$x_{\min'} = -n(x_{\max} - x_{\min}) \quad (8)$$

式中: $x_{\max'}$ ——瓦片最大纬度值;

$x_{\min'}$ ——瓦片最小纬度值。

(2) 根据瓦片格网的首级数量和范围,在 XOY 平面构建四叉树层级结构树,得到指定工程独立坐标系下的整体场景结构图,倾斜模型三角网如图 3 所示。

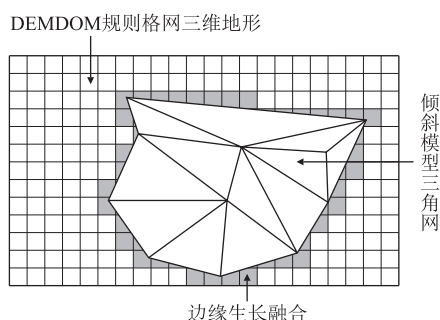


图3 倾斜模型三角网图

### 2.2.2 格网金字塔DEM、DOM层级瓦片的构建

(1) 通过读取 DEM 和 DOM 并构建影像金字塔,从初始层级开始自定向下遍历,按瓦片的坐标区域分别读取影像和高程数据,瓦片像素大小按  $256 \times 256$ ,存储为内存对象,记为  $\text{Img}$  和  $\text{Ele}$ ,计算工程坐标系下的每个格网像素分辨率  $D_x = (x_{\max} - x_{\min})/256$ ,  $D_y = (y_{\max} - y_{\min})/256$ ,得到规则格网的 XOY 平面顶点坐标,逐行遍历 DEM 瓦片数据  $\text{Ele}$  内存对象,赋予顶点坐标的高程。

(2) 将阵列式三维坐标构成规格三角网或四边形网,将  $\text{Img}$  创建为纹理对象,计算出纹理坐标。

(3) 通过创建几何对象,赋予顶点坐标、三角网片元组合索引、纹理坐标、法线。

### 2.2.3 倾斜模型的坐标转换

(1) 研究中通过读取权限模型的坐标系信息,构建权限模型坐标系和当前工程独立坐标系的仿射变换矩阵。

(2) 构建遍历器,传入仿射变换矩阵,并应用仿射变换矩阵计算新坐标。

### 2.2.4 层级瓦片的格网融合重构

(1) 通过读取倾斜模型,计算在 XOY 平面的矩形边界 AABB 和根节点对应的凹包记为 CH,计算倾斜模型对应的初始层级数  $n$  和瓦片序号,记为  $[n, i, j]$ 。

(2) 找到索引为  $[n, i, j]$  的 DEM、DOM 地形瓦片,应用凹包 CH 进行顶点叠置分析并去掉凹包里的顶点。

(3) 对初始层级的倾斜模型顶点边缘采用三角网生长算法,应用过滤后的顶点,进行倾斜模型的瓦片补齐,实现三角面的统一,将三维地形的纹理坐标以二重纹理方式赋予融合三角面后的倾斜模型,并设置渲染纹理状态,实现纹理的统一。

通过采用逐层级倾斜模型和三维地形的格网级融合,能够直接利用倾斜模型层级数据,减少构面的运算量,避免三角网的割裂以及因重构倾斜模型导致的几何形状及纹理精度损失和单独求交,降低了倾斜模型的利用难度,且方法与工程应用结合紧密、易实现自动化处理,提高了融合效率和成果质量。

## 3 数据的融合方法

### 3.1 多源数据融合

通过添加矢量瓦片数据的方法,实现多源数据的融合处理,如叠加正射影像、DEM 高程、地质、环保、规划数据等,以实现多源数据的融合。

### 3.2 地形三维与实景三维的无缝融合

(1) 大范围地形三维构建来自于局域网 DEM 服务以及本地 DEM 文件,通过读取并解析逐像素高程,结合逐像素解算的地理坐标,根据近临点构建三角形,组合形成规则格网,以实现大范围的地形场景构建。

(2) 在研究时发现重点区域实景三维模型的地形为不规则三角网,通常存在破洞、悬浮、格网重叠等问题。

为实现实景三维地形与大范围地形无缝融合,需要构建连续统一的地形网格。研究时采用实景地形高程重采样的思路,将实景地形按一定比例尺(分辨率)进行不同层级的高程重采样,得到不同精细度的 DEM 数据,并且在破洞的地方设置数据为 NoData 值,在部分重叠区域采样最低点地面高程,极大程度规避悬浮和破洞问题,然后与大范围地形 DEM 数据一起参与地形格网的构建。在构建三维格网地形时,优先调取实景 DEM 数据,在遇到 NoData 或无该区域实景地形时,才调取大范围 DEM 数据。通过逐级逐个构建,形成连续统一的地形表面,实现地形三维与重点区域实景三维的无缝融合。

## 4 铁路选线应用

### 4.1 三维选线设计

#### 4.1.1 三维地形准备

通过对多源地理数据(地理场景包括数字高程模型(DEM)、数字表面模型(DSM)、数字正射影像(DOM)、真正射影像(TDOM)、倾斜摄影三维模型、激光点云、外业调查资料等)的系统处理,形成统一空间时空系统的三维地形,实现在实景三维地形上进行铁路选线设计工作。

#### 4.1.2 线路中线绘制

根据项目需求,及线路中线需要经过的经济据点及地方政府需求,整体研究重要越岭垭口、河流等重要地理要素,结合中线需要经过地区的地质、交通、规划等要素,在三维地形上绘制平面线位交点、配置曲线半径及缓长等,并结合铁路等级对最小半径、最小夹直线长等设计参数进行判断,生成一条初步设计线<sup>[6]</sup>。

#### 4.1.3 纵断面设计

(1)根据生成的初步设计中线,在三维地形上自动提取中桩高程,生成纵断面地面线。

(2)根据项目设计技术标准,进行线路中线坡段的设计,生成轨面高程设计线。

(3)根据桥梁、隧道设置、路基设计原则,以数据库形式生成桥梁、隧道表、填挖高度表。

### 4.2 平、纵面设计的结合

#### 4.2.1 实景三维地形半透明化处理

通过调节三维地形透明度,实现三维地形透明程度的线性变化,使设计人员在地面以上就可以直接查看并操作地下的模型和矢量数据等;设计人员在漫游到隧道工程时也可以看到地上的物体,为设计人员提供一种更加直观、方便的决策方式。

#### 4.2.2 参数化建模

在纵断面设计完成后,首先在纵断面图上初步完成桥梁、隧道等工程的插旗,然后在实景三维地形图上进行参数化建模。

(1)隧道在山体中穿过,展现隧道进出口模型和洞身模型。

(2)桥梁墩台参数化建模。

(3)路基参数化建模等。

#### 4.2.3 线路平面、纵断面联动优化

在三维图上,可以对桥梁孔跨布置、隧道进出口里程等进行修改和刷新,以完成线路平、纵断面的联动修改。

## 5 结束语

本文研究了基于多源数据的铁路选线与模型快速构建的方法,该方法在提高计算机运行效率方面效果显著,得到主要结论如下:

(1)通过采用考虑比例尺的逐层级倾斜模型和三维地形的融合方法,能够直接利用倾斜模型层级数据,减少倾斜模型的层级数量且不影响数据可用性,还能避免模型重构运算量,实现三维模型数据抽稀简化及轻量化,从而提高融合效率和成果质量。

(2)实景三维地形应用于铁路选线设计是必然的发展趋势,该研究方法为铁路选线设计提供了丰富的数据源和管理基础,能有效减少计算量,缩短数据提取刷新所需要的时间,并实现设计数据的实时更新。

## 参考文献:

- [1] 张星宇,刘江涛,开源地理信息数据获取平台的应用研究[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(1): 66-69.  
ZHANG Xingyu, LIU Jiangtao. Research on Application of Open Source Geographic Information Data Acquisition Platform [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 66-69.
- [2] 朱颖,吕希奎,许佑顶. 铁路三维地质选线理论与方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2019.  
ZHU Ying, LV Xikui, XU Youding. Theory and Method of Railway Three-dimensional Geological Route Selection [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019.
- [3] 宋章,魏永幸,王朋,等. 复杂艰险山区地质灾害特征及减灾选线研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 8-12.  
SONG Zhang, WEI Yongxing, WANG Peng, et al. Research on Geological Disaster Characteristics and Location for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 8-12.
- [4] 刘铭巍,朱庆,朱军,等. 多模态时空数据多层次可视化任务模型[J]. 测绘学报, 2018, 47(8): 1098-1104.  
LIU Mingwei, ZHU Qing, ZHU Jun, et al. The Multi-level Visualization Task Model for Multi-modal Spatial-temporal Data [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47(8): 1098-1104.
- [5] 闫智,韩春华,卢玉韬. 基于BIM快速生成高精度三维模型的方法研究及其应用探索[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(4): 33-40.  
YAN Zhi, HAN Chunhua, LU Yutao. Research on BIM-based Rapid Generation Method of High-precision 3D Models and Its Application [J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2018, 10(4): 33-40.
- [6] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line [S].