引文格式：罗妮亚,秦川,朱军,等. 运用知识模板自动生成公路三维场景的方法[J]. 地理空间信息, 2025, 23(1): 25-28. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.01.006

运用知识模板自动生成公路三维场景的方法

罗妮亚[1]，秦　川[2*]，朱　军[1]，唐苒然[1]，郭煜坤[1]
（1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院，四川 成都 611756；2. 四川省交通勘察设计研究院有限公司，四川 成都 610014）

摘　要：公路三维场景的高效构建对公路基础设施的管理和养护具有重要意义。针对当前公路场景构建自动化程度低的问题，通过剖析公路三维场景的组成内容，重点研究公路信息参数化、知识模板配置解析、公路要素实体符号化映射以及基元模型库构建等内容，提出了一种基于知识模板的公路三维场景自动生成方法，并以重庆市万盛区某公路作为案例区域，进行实验分析。结果表明，该方法能够实现公路三维场景的自动化构建，在一定程度上降低了建模成本，提高了场景构建效率。

关键词：建模知识模板；场景配置模板；公路场景；自动化建模
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）01-0025-04

Highway 3D Scene Automatic Construction Method Based on Knowledge Template

LUO Niya[1], QIN Chuan[2], ZHU Jun[1], TANG Ranran[1], GUO Yukun[1]
(1. School of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China;
2. Sichuan Communication Surveying and Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610014, China)

Abstract: The efficient construction of highway 3D scene is of great significance for the management and maintenance of highway infrastructure. Addressing the low level of automation in highway scene construction, we proposed a highway 3D scene automatic construction method based on knowledge template by analyzing the components of highway 3D scene, and studying the highway information parameterization, knowledge template configuration analysis, highway element entity symbolization mapping and primitive model base construction. Then, taking a highway in Wansheng District of Chongqing as a case area, we carried out the experimental analysis. The result shows that this method can realize the automatic construction of highway 3D scene, thereby reduce modeling costs and improve scene construction efficiency to a certain extent.

Key words: modeling knowledge template, scene configuration template, highway scene, automatic modeling

随着公路规模和覆盖面的进一步扩大，保障公路设施的性能良好、延长使用寿命对于保证国民经济平稳运行意义重大[1]；而膨胀的路网和众多基础设施使得公路资源的管理难度越来越大，亟需建立公路资产信息化管理体系，以提高公路资产管理水平[2-5]。相较于二维地图，三维场景能准确映射公路基础设施的分布和运作情况，反映公路线路的真实信息，辅助管理人员更全面、准确地了解公路设施的运营状况，从而降低公路管理的人力成本和时间开销。然而，公路三维场景需要更精准的空间关系和更精细的模型展示，场景构建耗时耗力。因此，高效构建公路线路三维场景，是提升公路资产信息化管理水平的重要一环。近年来针对三维道路场景构建的研究在建模方法、建模软件方面都取得了较大进展。随着计算机硬件的发展，Autodesk 公司研发的 Civil 3D 软件能创建复杂的道路模型，编辑生成逼真的三维景观模型，有效提升了道路三维可视化设计的质量和速度，在提高模型真实感和美观度方面具有重要意义，使得手工建模结合 GIS 重现公路三维场景成为一种常用的技术手段[6-8]。BIM 作为一种先进的场景构建平台，在三维场景构建和公路管养方面得到了广泛应用[9-12]。然而，公路线路往往跨幅辽阔、线路较长，涉及的场景信息量大、空间关系复杂，在较长线路的实景构建中若采用上述手段，将导致前置处理较复杂、自动化程度较低、耗时耗力。借助 ContextCapture 软件建模可在一定程度上实现场景的自动化搭建，但容易模糊场景的主次信息，不便于公路资产的管理。针对公路线路场景生成自动化程度低的问题，本文提出了一种基于知识模板的公路三维场景自动生成方法。为检验该方法的可行性，本文以重庆市万盛区为例进行自动化实景建模实

项目来源：国家自然科学基金资助项目（42271424）；四川省交通运输科技资助项目（2021-B-02）；四川省交通勘察设计研究院有限公司科技资助项目（232022021）。
第一作者简介：罗妮亚（1999—），硕士，研究方向为虚拟地理环境，E-mail：luoniya@my.swjtu.edu.cn。
通信作者：秦川（1990—），硕士，工程师，研究方向为虚拟地理环境，E-mail：534605295@qq.com。

验，并分析了实验结果。

1 研究方法

1.1 总体思路

知识模板本质上是从一组相似的实体中抽象出一个框架，从而建立一个统一的规则标准，用于约束对应事物[13-14]。公路场景构建主要包含公路线路及其沿线各类公路资产的建模过程，在此引入场景配置模板和建模知识模板，场景配置模板负责整体把控建模对象，实现建模信息的分类和组织，包括构成公路场景主体参考的公路线路信息、存储公路资产信息的建模知识库和匹配场景中实例化对象的基元模型库；建模知识模板则定义了各对象的空间和非空间信息，更细化地存储了基本建模单元的属性内容。首先对公路场景的组成对象进行分类分析，厘清各公路资产实体在公路场景中的三维存在形式，抽象出各公路资产的语义信息、尺寸信息、几何信息、位置信息、拓扑关系等具体内容；再基于知识模板进行数据组织和格式化存储，实现信息的数字化。在场景构建的过程中，通过解析场景配置模板获取场景对象的种类和建模方式，并调用对应元素的建模知识；通过解析实例化建模知识对象获取基元模型在场景中的空间位置、三维姿态信息以及模型间的相对位置关系，进而空间化、符号化生成三维公路场景。

1.2 建模知识模板

1.2.1 模板结构

公路场景主要由公路线路和一系列公路资产组成，根据二者在场景中的分布方式和空间关系，抽象出可以承载公路线路场景建模知识的知识模板文件。模板定义了各基元模型的建模方式、空间位置关系，每个公路资产对象都可以参数化的形式提取空间和非空间信息，从而作为一个实例化的知识模板文件存储，最终形成建模知识库。在集成构建公路三维场景的过程中，各要素间的组合规则性较弱，公路资产在公路沿线分布，数量多且相互间缺乏组合关系，排列方式趋于离散化。基于上述场景特点，构建基于树状结构的建模知识模板，从语义、几何、空间、拓扑4个维度对公路场景要素进行抽象性描述。

1.2.2 模板内容

公路三维场景构建是一个基本单元要素组合的过程，包括各要素的空间位置、三维形态、拓扑关系和模型样式等。实例化的建模知识对象存储了构建场景对象实体所需的语义、几何、空间、拓扑等信息，这些信息的组合共同影响整个三维场景的构建。

1）语义信息包括模型的分类信息和建模方式，主要存储模型输出时的语义表达，即该对象所描述的公路资产类别，其建模类型为点型或线型。通过解析知识模板的语义信息，建立与基元模型库的链接，并调用对应描述对象的基元模型，将场景对象从数字化信息转变为人眼可感知的模型化对象。

2）几何信息描述了模型实例化时的几何形态，包括模型尺寸和中心点位。模型尺寸可通过定义缩放比例或长宽高值进行描述。通过设定模型尺寸可平衡人眼可视能力与实际场景之间的比例关系，达到最好的显示效果。中心点位则是原点位在XYZ三个轴向的偏移比例。通过调整中心点位可有效避免模型由于初始中心点位造成的位置偏移。

3）空间信息描述了公路资产对象的空间位置和三维姿态。由于数据采集过程中参考系或采集标准不同，公路资产对象和公路线路的相对位置关系往往与实地场景差距较大，因此可通过线性参考系统修正空间位置。线性参照系统通过对比已知参照物的偏移量来度量其他要素的位置，也能将该模型系统的一维线性坐标转换为实际地理空间的三维坐标[15]。以该模型为过渡，基于公路线路的线性参照关系重新处理公路资产数据，使公路场景要素的空间位置关系符合真实场景。公路场景中的线性参照信息多描述为公路资产要素基于公路线路中心线在路面水平方向上的偏移关系，参数化表示为线性参照基准、空间方向、空间距离3个内容。线性参照基准即该资产要素所属的公路线路；空间方向即要素相对于公路里程累积方向的相对位置关系，包括左、右两个方向；空间距离即实际情况下该资产要素相对公路中心线的偏移量。由于通过要素的初始空间位置、公路线路的桩号信息和线路位置信息可得到该要素基于公路中心线的一维线性坐标，因此根据空间方向和空间距离可反算获取处理后的单位要素空间坐标。模型的三维姿态则通过矩阵进行描述，包括模型的朝向等信息，这对提升场景的真实性具有重要价值。

4）拓扑信息。公路场景中各公路资产的分布是离散的，因此拓扑信息即公路资产要素相对于公路线路的拓扑关系。针对公路场景构建的应用需求，本文选取相邻、相离和包含3种拓扑关系描述公路资产实体模型与公路线路之间的拓扑逻辑。相邻关系即资产要素与公路路面有接触，如路灯；相离关系即资产要

素与公路线路分离，不具有共同点，如滑坡；包含关系即资产要素正好构成公路路线的一部分，如桥梁等公路构造物。

1.2.3　建模知识模板实例化

建模知识是对公路资产信息的抽象化存储，每个建模知识文档就是基于模板的实例化对象，对应公路资产单元的空间与非空间信息。具体配置过程包括参数化、格式化两方面内容。由于所有公路资产共用一套建模知识模板，每组建模知识的独特性取决于其中存储的属性信息，对不同的资产对象进行参数赋值，即可实现知识模板的参数化配置。为管理建模知识，本文选取XML文档作为统一建模知识模板的载体，实现知识模板的格式化配置。

1.3　场景配置模板

场景配置模板负责三维场景建成知识的统筹，分类、组织与存储管理建模知识，主要内容包括线路数据、建模知识库和基元模型库。

1.4　模板解析与三维场景生成

模板解析主要包括场景配置模板解析和建模知识模板解析两个内容，具体分为5个步骤（图1）：①场景配置模板的解析，通过解析场景配置文件，获取公路三维场景中信息数据的分类与组织方式，以便提取线路信息、建模知识和基元模型3种信息；②空间信息的解析，通过线性参考系统对空间位置信息进行修正，通过公路资产对象的初始位置计算基于公路中心线的一维线性坐标，并根据该资产对象与公路中心线的位置关系重新计算该要素模型的绝对空间位置；③拓扑与几何信息的解析，拓扑关系记录了资产要素相对公路线路的位置，结合空间信息可确认模型在场景中的模型位置和三维姿态；④语义信息的解析，语义作为不同资产要素的名牌，使其在场景映射中能够准确为对应点位数据匹配相应的基元模型；⑤公路资产要素的实例化与三维场景构建，通过解析建模知识，使点位信息在场景渲染中得以匹配对应的要素模型，实现抽象信息的空间化、可视化展示，从而构建三维公路场景。

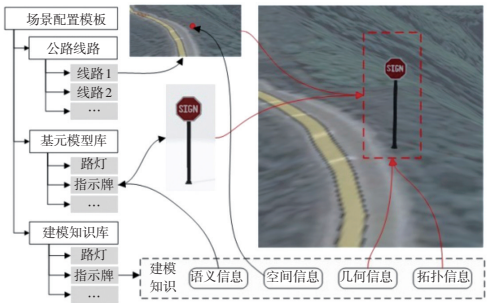


图1　模板解析过程

2　实验分析

2.1　原型系统

为测试本文方法，基于B/S结构搭建原型系统，通过读取建模知识文档中存储的数据信息建立公路资产要素与三维空间之间基于空间坐标的映射关系，以实现公路场景的自动化搭建。实验搭建平台的配置信息为：CPU Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @1.60 GHz 2.11 GHz，GPU Intel(R) UHD Graphics，内存16 GB，集成开发环境Visual Studio Code，运行环境Node.js，平台搭建框架Vue。原型系统界面见图2。

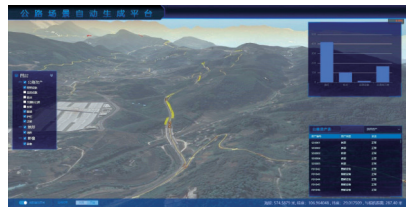


图2　原型系统界面展示

2.2　案例区域

为验证本文方法的可用性，以在重庆市万盛区实地采集的公路资产数据为例进行实验分析。该区域涵盖的公路资产类型丰富，具有代表性。实验在沿线采集了照明设施、监控设施、指示牌、桩点、边坡、护栏、桥梁和隧道8种公路资产数据，并以建模知识文档的形式存储采集的数据。

2.3　实验结果分析

基于案例区域获取的公路资产数据，首先将实地数据抽象为参数化表达，根据知识模板形成实例化建模知识进行存储，为三维场景的构建奠定数据基础；然后根据公路资产类别的空间形态制作三维符号，形成三维模型库；最后基于建模知识将公路资产要素映射到三维场景中，实现公路三维场景的构建。场景构建涉及的数据包括三维场景数据（遥感影像和数字地形，数据范围为28.806°~29.111° N、106.776°~107.177° E，覆盖面积为1 325.7 km^2）和公路设施资产数据（空间矢量数据，线路长度为15.17 km）。各类公路资产要素的数量为：照明设施329个、监控设施13个、桩点116个、交通标志牌168个、桥隧7个、护栏84个、边坡35个。利用知识模板自动搭建的公路场景效果见图3，可以看出，该方法能利用模板统一表达场景建模知识，解耦复杂的建模知识和建模过程，实现三维场景的自动建模操作。

1）知识模板与建模知识的可重用性。本文方法适用于不同公路线路的三维场景构建，基于通用原则



图3　公路场景构建效果图

和标准，充分考虑公路基础设施，从而保证知识模板的可重用性。此外，通过建立建模知识与三维场景的映射关联，使建模知识能够重用于不同的渲染引擎，实现了稳定显示，为用户提供了一致、无缝的场景生成服务。知识模板重用于UE5引擎的渲染效果见图4。

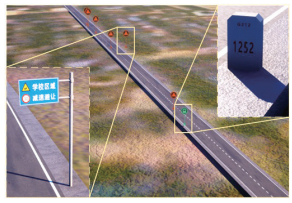


图4　知识模板在UE引擎中的重用

2）场景的高效自动化生成。本文考虑到浏览的便捷性，主要利用网页端进行显示交互，15 km公路的场景搭建时间稳定在6 s以内，保证用户能实时获取模型结果，提升了交互体验感，可为生成公路线路三维场景提供快速、自动化的支撑。不同公路资产的场景加载时间见图5，其中覆盖面积超过10 000 km^2的基础场景加载时间为2 s；资产要素总量较少的交通标志牌加载速度慢于总量较多的照明设施，这是由于前者的资产要素模型精度较高，产生了一定的渲染成本。实验证明，该方法能在一定程度上解决三维场景的自动化建模问题，较好地满足公路资产信息化管理需求，为决策者提供参考和技术支持。

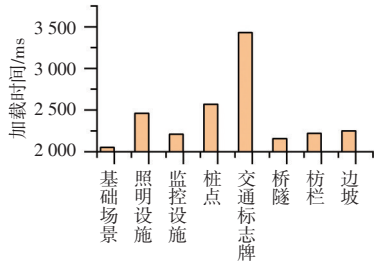


图5　不同公路资产类别的场景加载时间

3　结　语

本文以提高公路场景建模的自动化程度为出发点，提出了基于知识模板的公路三维场景自动生成方法；设计了用于公路资产数据组织的建模知识模板；根据不同公路资产设施的空间形态和工作模式，从实际采集数据中抽象出其空间和非空间信息，形成实例化建模知识，设计了场景映射与实例化方法，实现了建模知识到场景生成的高效映射。基于上述方法步骤开展案例实验与分析，结果表明本文方法能高效自动化生成公路线路三维场景，支持公路资产的信息化管理。此外，建模知识的可重用性能支持不同图形引擎下的公路场景渲染，知识模板的可重用性则保证了其他公路线路案例中的应用，为提高公路资产的信息化水平提供技术支撑。本文方法减缓了精细化建模的压力，提高了模型的重用性；但目前的知识模板和基础模型只考虑了基础公路资产分类，未来将考虑扩展知识模板库，以提高方法的适用性，更好地应对多样化场景的构建需求。

参考文献

[1]　郭立明,马赟乾,张嘉琪. 公路资产管理系统的现状及发展趋势探讨[J]. 山西建筑,2021,47(10):185-187

[2]　董萌,杨超,李兴华. 公路资产管理的发展之路[J]. 中国公路,2021(2):76-78

[3]　张雯靓,徐爱峰,史俊. 上海智慧高速公路建设与发展探讨[J]. 上海公路,2020(2):102-106

[4]　曲冠晨,朱霞. 公路资产数据库的设计与可视化研究[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(11):147-150

[5]　程婷,刘勇,樊文有,等. 基于MapGIS的高速公路养护决策系统研究[J]. 地理空间信息,2019,17(3):51-54

[6]　李俊超,李楼. AutoCAD Civil 3D和3ds Max Design在道路建模中的应用[J]. 测绘通报,2013(2):91-94

[7]　孙建诚,蒋浩鹏,朱双晗. 基于BIM技术的三维公路模型设计探讨[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(1):30-34

[8]　闻平,吴小东,桂林,等. 三维GIS与CAD集成的公路三维可视化方法[J]. 地理空间信息,2016,14(4):56-57

[9]　周豪. BIM在城市道路设计中的应用研究[D]. 南京:南京林业大学,2015

[10]　Tang F L, Ma T, Zhang J H, et al. Integrating 3D Road Design and Pavement Structure Analysis Based on BIM[J]. Automation in Construction,2020(113):103 152

[11]　黄鑫,王海涛. 基于BIM+3D GIS技术的公路三维信息应用研究[J]. 中国公路,2017(19):116-117

[12]　许强强,高建杰. 基于BIM公路三维实景模型的快速搭建方法研究[J]. 北方交通,2021(4):63-67

[13]　Zhang H, Zhu J, Zhu Q, et al. A Template-based Knowledge Reuse Method for Generating Multitype 3D Railway Scenes[J]. International Journal of Digital Earth, 2017,11(2):179-194

[14]　张恒. 多层次空间语义约束的高速铁路场景自动建模方法[D]. 成都:西南交通大学,2016

[15]　张正雄,霍亮,朱杰,等. 基于线性参照模型的线路三维场景快速构建方法研究[J]. 矿山测量,2020,48(2):54-58