

虚拟高速铁路环境快速建模服务与案例

朱 军, 张 恒

(西南交通大学地球科学与环境工程学院, 成都 610031)

摘要:截至2012年底,我国高铁运营里程达到9356km,居世界第一位,是目前世界上高铁里程最长、规模最大的国家。而构建虚拟高速铁路地理环境,支持开展复杂性大系统的科学实验研究和工程管理分析,实现仿真数据的分析、重组与表示就具有重要意义。在顾及高速铁路环境的独特空间特征与关系属性基础上,本文提出了一套用于动态仿真情形下的建模方法,通过构建基元模型库、本体知识库和空间语义约束规则,研发虚拟高速铁路建模服务系统及相关插件,为虚拟高速铁路场景构建提供快速建模服务。案例试验结果表明,该方法能够有效地厘清各场景对象实体和实体之间的关系,可使得领域知识和建模操作得以分开,降低多领域协作建模的复杂度与难度,快速生成虚拟高速铁路场景。

关键词:虚拟地理环境;高速铁路;建模服务;空间语义

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00895

1 引言

截至2012年底,中国铁路营业里程达到9.8万km,居世界第二位,高速铁路运营里程达到9356km,居世界第一位。目前,中国已经是世界上高铁里程最长、规模最大的国家,我国的高速铁路时代已经到来。在高速铁路快速发展的同时,构建大系统动力学体系,研发高速铁路数字化仿真平台,完善我国高速铁路的科学基础、科学理念和分析工具,以便在某一速度目标下,为高速铁路勘测设计、基础工程、装备制造、通信信号、系统集成、运营管理6大系统提供技术标准与科学分析根据,为我国高铁核心技术的自主创新和高铁系统的运营安全发挥其重要作用^[1-2]。

在高速铁路大系统生命周期的各个阶段,涉及到多种专业因素及子系统,且各子系统内部与各子系统之间有着十分复杂的联系,如何有效支持高速铁路系统仿真分析和高效管理,就显得十分重要^[2]。在虚拟地理环境中开展复杂性大系统科学实验和管理分析,是当前及未来发展的一个重要趋势^[3-5]。因此,构建一个虚拟高速铁路环境,满足不同阶段的各专业仿真数据的分析、重组与表示,并进行知

识发现、模拟、预测和规划决策具有重要意义。

虚拟地理环境概念自提出以来,由于它多维、多感知的特点更加符合人类的空间认知特点,其已经被作为地学现象和动态过程的模拟、仿真和试验分析工具,并能有效地支持公众参与,达到一致性理解,辅助决策支持,在流域规划、数字城市、空气污染、应急响应、数字森林等诸多领域得到了广泛的应用^[6-10]。因此,本文将顾及高速铁路环境的独特空间特征与关系属性,重点研究如何构建虚拟高速铁路环境建模服务系统,才能快速、准确地为仿真实验和运营管理提供虚拟场景建模服务。

2 三维建模现状与趋势分析

由于现实世界的复杂多样性,以及不同应用领域需要重点表达的地理对象的差异性,导致了三维场景建模手段种类繁多,直至目前还没有一个完整通用的方法,既能满足所有领域用户的需求,又能准确描述所有地理对象的性质^[6]。国际标准化组织OGC对空间对象模型(Spatial Object Model, SOM)进行了深入研究,制定出一套空间对象体系的规范(OGC抽象规范)。但其本身仅仅把空间对象分为

收稿日期:2013-11-04; 修回日期:2013-12-02.

基金项目:国家自然科学基金项目(41271389、41001252);中央高校基本科研业务费专项资金科技创新研究项目(SWJTU11CX061、SWJTU11ZT13)资助。

作者简介:朱 军(1976-),男,博士,副教授,博士生导师,主要从事GIS与虚拟地理环境方面的研究。E-mail: vgezj@163.com

简单对象和集合对象,仅详细定义了二维GIS的空间对象模型,其简单要素规范 APIS (Application Programming Interfaces) 规定了对点、线、面,以及多点等简单要素的发布、存储、读取和简单操作^[12]。这些规范提供的接口可支持异地地理数据的集成和互操作访问^[13],但难以有效地厘清高速铁路众多专业领域的关系、快速构建高速铁路复杂的场景模型。

在现有铁路领域的三维建模研究中,侧重于单一领域场景的几何描述,各专业对象模型关系的定义不清晰,建模过程固化,建模操作需要较强的综合专业知识,这些可能会导致出现人工参与较多、成本高、周期长、逼真性差、缺乏交互性、不符合专业规范要求等问题^[14-18]。难以满足高速铁路系统各个阶段涉及的动态复杂、多变等多样性建模需求。

语义的三维场景快速建模的研究近几年取得了一些进展^[19-23],其共同特点是将语义信息整合到了虚拟场景中,同时都采用本体进行语义的表达。但是,现阶段高速铁路三维场景还集中在三维场景的几何描述,较少涉及到携带领域知识和现实意义的语义,因此,各专业对象模型关系的定义还不清晰。同时,高速铁路环境模型种类繁多,组合关系错综复杂,建模操作需要较强的专业领域知识,非专业人员很难参与到虚拟环境的建模过程中来。

构建地理信息服务,让使用者不用关心繁琐的信息采集、收集、整理、处理、分析等过程,花费较少的代价就能得到所需要的信息,是地理信息产业发展的一个重要方向^[24]。“系统建模与仿真”正在向复杂大系统的“协调化、智能化、集成化、网络化”建模与仿真的方向发展^[25]。因此,针对高速铁路环境特殊的空间特征和关系属性,研究动态复杂虚拟环境的多因素特征及相互制约关系,建立虚拟高速铁路环境快速建模方法,以使用户用较少的领域知识和较少的代价得到虚拟高速铁路场景建模服务。从而使领域知识和建模操作得以分开,降低多领域协作建模的复杂度与难度,实现虚拟高速铁路环境的快速建模,为虚拟地理场景建模提供一种新思路和新方法。

3 三维建模服务框架与关键技术

3.1 建模服务系统框架

虚拟高速铁路场景服务建模系统框架如图1所示,主要包括4个部分:基元模型库的建立、空间语义约束关系计算、地形处理,以及虚拟高速铁路场

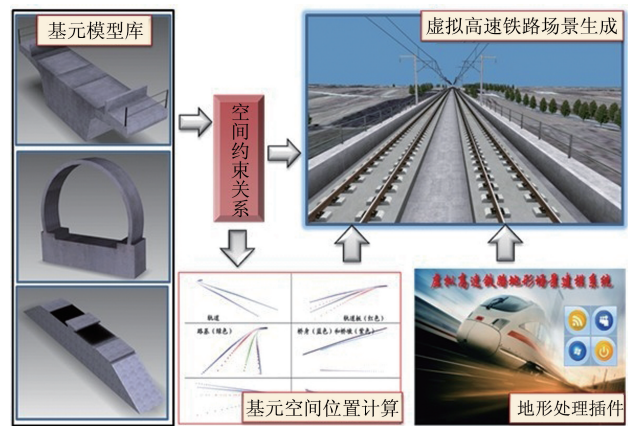


图1 虚拟高速铁路场景建模系统框图

Fig.1 System framework of virtual high-speed railway scene

景生成。其基本思路如下:

(1)基元模型库的构建。因为高速铁路领域中概念和结构相对比较固定,同时高速铁路设施的外观、尺寸基本都遵循一定的标准,并且其施工建设过程也是按照一定流程进行设施安装。因此,顾及高速铁路环境的独特空间特征与关系属性,通过对高速铁路环境对象进行抽象和简化,进行基元模型设计,描述其几何特征和属性特征,以提高基本基元模型的通用性和重用性。

(2)空间约束规则的建立。厘清各基元模型在地理场景中的几何特征和空间关联关系,通过剖析模型基元组合交互操作特征,从顺序组合、空间定位和空间姿态语义约束方面,在语义约束完备性上描述虚拟场景构建过程中模型基元之间的逻辑关系及运动关系,来限制和引导基元组合逻辑判断、定位和联接操作,以避免因建模人员领域知识局限等造成模型不合理的情况。

(3)虚拟地形模型的处理。依据高速铁路线路矢量数据,首先,对数字高程模型数据和遥感影像数据进行预处理,包括投影转换、配置、线路数据提取与分离、擦除与重构;然后,针对高速铁路基本组成部分,进行高速铁路线路路基部分的地形动态挖掘、桥梁部分地形异常检测与修正、隧道口地形的挖掘与透明化处理等;最后,叠加虚拟高速铁路地物模型进行验证分析。

(4)虚拟高铁场景的生成。首先,针对高速铁路真实线路或仿真虚拟线路,对可能涉及到的线路场景对象类型进行分解;然后,对不同的对象场景类型进行线性分析,计算基元模型的空间位置和姿态关系,而后实现每类场景对象模型的分析与匹

配,形成虚拟高速铁路概念场景;最后,建立场景映射关系,借助三维驱动程序对场景关系实例化,生成虚拟高速铁路场景模型。

3.2 基元模型库构建与描述

根据高速铁路领域对象和三维建模方法,自上而下进行基元划分,对高速铁路环境对象进行抽象和简化,描述其几何特征和属性特征,注重基元的通用性和重用性。按照对象组成特征,可分为基本基元和组合基元,其中,基本基元是不可再分的单元,如扣件上的螺母;组合基元由基本基元构成,如扣件由弹条、锚固螺栓、螺母和轨下垫板等基元组成。三维模型库构建需要考虑模型的分类、模型优化、模型存储、模型压缩与模型加密等操作和功能。

同时,为了能够客观、准确地定义场景中的模型,避免领域知识局限造成的建模不规范等问题,以及提高模型的可重复性,需针对每一子系统,借助本体工具,厘清各类基元之间的空间约束或其他关联关系,将各个子专业领域基元本体进行结盟,并根据领域技术的发展不断地协调集成,保证基元本体资源的可重用性和开发协同性,最终建立基元本体知识库,以实现对基元模型清晰、形式化的描述。图2为基于OWL语言的各高速铁路模型组织逻辑关系图。

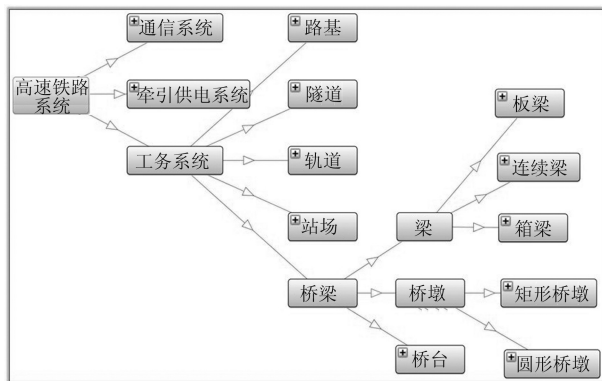


图2 基于OWL语言的高速铁路模型组织逻辑关系图

Fig.2 OWL language based logical relation of HSR objects model organization

3.3 空间语义的约束方法

在虚拟高速铁路场景中,包括地形建模与地物建模2个部分,其中,地形模型相关的数据处理、组织、优化显示方法为相对成熟的技术。在建立好基元模型库和相对应的本体知识库后,可根据输入的

仿真计算或真实在途线路数据进行虚拟高速铁路场景地物对象组合建模,其重点在于如何进行空间语义的约束,以实现种类繁多、关系复杂的高速铁路模型快速、准确的组合与映射;如何基于虚拟高速铁路各子系统场景对象要素关系,剖析模型基元组合交互操作特征,进而构建空间语义约束规则。其逻辑关系的构建如图3所示。

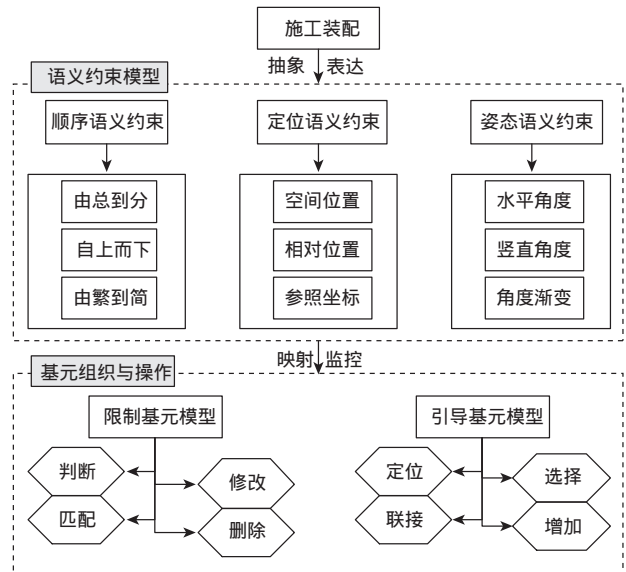


图3 基元模型组合的空间语义约束规则逻辑图

Fig.3 Spatial semantic constraint model of primitive model combination

虚拟高速铁路地物模型从概念角度可分成组合基元模型和基本基元模型两类。组合三维模型是出现在三维实体构造过程中的中间形态,该形态的实体虽然存在,但却是由两个或多个实体组合而成,从而表示一种功能。在空间位置上,组合模型往往保持一致性。基本基元模型本身就是一个完整的组合三维实体,具有三维实体所有的元素和属性,并且被实际存储和独立应用,同时其又可以作为基础元素与其他元素进行运算、组合等构成更高层次的组合实体。根据基元之间的关系可以将约束规则分为3种类别,即基元组合的顺序约束规则、空间位置的定位约束规则、相互装配的空间姿态约束规则。依据实际施工装配流程,对3种空间语义约束规则进行抽象和表达,以用来限制和引导基元组合的逻辑判断、定位和联接操作,从而实现基元组合建模的有效组织和操作,并避免由于建模人员领域知识局限等造成的模型不合理情况,有效地实现从概念建模到场景生成的映射监控。

3.4 场景映射与实例化

虚拟高速铁路环境建模过程中不仅面对层次繁多与结构复杂的各种对象,还要处理多用户需求带来的动态不确定性组合关系。因此,在达成统一的语义理解和空间语义约束基础上,针对环境变化采取相应的措施和方法,使得领域知识和建模操作

分开,降低虚拟高速铁路环境建模的复杂度和难度。图4为虚拟高速铁路场景建模、场景映射和实例化流程图,其包括了虚拟高速铁路场景的3个重要过程,即概念建模、映射建模和场景生成,实现从用户需求的自动解析到虚拟环境的自动构建。整个流程如下:

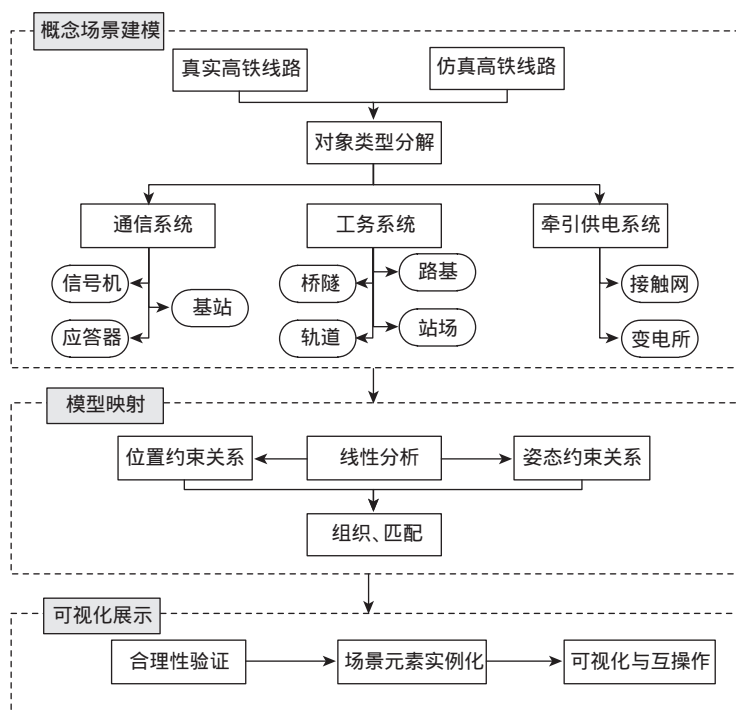


图4 虚拟高速铁路场景映射与实例化流程

Fig.4 Mapping and instantiation process of virtual high-speed railway scene

(1)针对真实高速铁路线路或仿真虚拟高速铁路线路,对可能涉及到的线路场景对象类型进行分解,得到不同的场景类型,如桥梁、隧道、路基、站台、接触网等,生成虚拟高速铁路概念场景模型;

(2)对不同的场景对象模型进行线性分析,确定其组合的顺序关系,比如隧道与桥梁、接触网与路基的关系等,同时将每类对象都分解成一系列独立的单个场景模型,并求解这些点模型的空间位置和空间姿态约束关系,通过对每类场景对象模型进行分析与匹配,进而形成虚拟高速铁路场景的映射模型;

(3)在对概念场景进行合理性验证与冲突消解后,借助三维驱动程序对虚拟高速铁路场景的关系与模型进行实例化,并导入虚拟地理环境系统平台,进行可视化展示与交互操作。在此基础上,分

别对路基、桥梁、隧道等不同类型的路段进行分区,采用不同的空间线路表示。同时,其主要特点为基元模型种类齐全、基元模型可重用性高、场景建模自动化程度高、基元模型组合建模速度快。

4 建模服务原型系统与案例试验

本文选择的实验对象为某设计时速为350km/h的110km双线高速铁路场景,包含了高速铁路场景中的隧道、桥梁、车站等典型模型。针对虚拟高速铁路场景涉及到的接触网、接触网支柱、桥梁、桥墩、轨道板、轨枕、钢轨、扣件、隧道、路基、路堑、车站、站台、道岔等模型,进行场景基元构建,并分别进行多细节层次简化,形成模型基元库。在场景模型库基础上,选用了本体描述语言OWL,实现对各

场景模型所属关系进行描述,并在每类对象模型中描述了模型的高、宽、长、差、间距等空间几何属性。所有的模型按照一定层次结构进行分类,并经过压缩加密后存在 Oracle 数据库中,对模型进行解密及解压缩后方可使用。

在实现基元模型库构建和组合映射的语义关系准确描述基础上,基于虚拟高速铁路场景组合建模方法,选择 Microsoft Visual Studio 2008.Net 开发环境,采用 C#语言、ArcGIS 10.0 和 protégé 4.2 进行开发。本论文研制的虚拟高速铁路场景建模服务系统,其主要应用点为仿真计算虚拟高铁线路场景建模和在途专线实际高铁线路场景建模,建模系统界面如图 5 所示。系统运行的试验环境为惠普 Z600 图形工作站,CPU 为 4 核 2.40 GHz E5620 处理器,内存 12.0 GB,显卡为 NVIDIA Quadro 4000 显卡,显存 2G,操作环境为 Win 7 系统。

在原型系统平台上,可输入真实在途的虚拟场景数据或仿真运行的虚拟线路数据,服务系统将首先通过模型基元库、空间语言约束方法,利用 ArcGIS 中提供的空间分析方法接口,对线路数据进行自动解析,并对涉及到的各类型场景进行点位信息的提取、空间关系的计算和赋值、模型基元的替换加载,从而实现虚拟高速铁路概念场景模型的检验

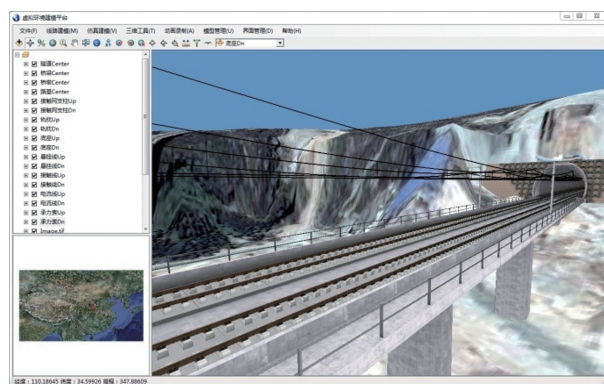


图5 虚拟高速铁路环境建模服务系统界面

Fig.5 Interface of virtual high-speed railway environment modeling service system

与实例化,完成了各类高速铁路场景模型的拼接组合建模工作,虚拟高速铁路场景的快速构建。本系统支持高速铁路运行模拟、三维模型的精细管理与查询分析等,如图 6 所示,建模结果可输出到 Arc-Globe、OpenSceneGraph、Microsoft Train Simulator 等平台环境下展示。在案例试验中,110km 线路建模可在 2 分钟内完成,整个建模过程对用户而言是透明的,由建模系统自动实现从线路数据到虚拟场景的快速、自动化建模。

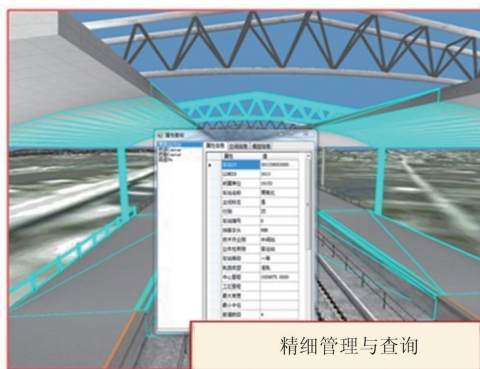
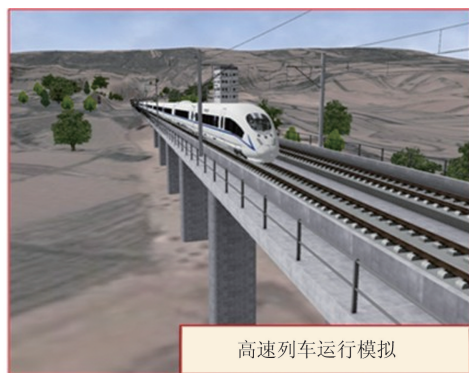


图6 虚拟高速列车运行模拟与管理分析

Fig.6 Running simulation and management analysis of virtual high-speed train

5 结论与展望

针对现有三维建模存在的对领域知识要求高、建模过程固化、人工参与较多、成本高、周期长及动态复杂多变的建模需求等问题,本文在顾及高速铁路环境的独特空间特征与关系属性基础上,提出了一套用于动态分析仿真情形下的快速建模方法,通

过构建基元模型库和本体知识库,对基元模型粒度划分、构建、组织、存贮、查询等进行系统分析,并建立空间语义约束规则,研发虚拟高速铁路建模服务系统及相关插件,开展案例试验。试验结果表明,本文的研究成果可使得领域知识和建模操作得以分开,降低多领域协作建模的复杂度与难度,能有效地厘清各场景对象实体和实体之间的关系,为虚拟高速铁路场景构建提供了快速建模服务,实现具

有符合实际标准和高度仿真感觉的虚拟高速铁路场景快速生成。

在下一步的工作中,需要继续开展以下几方面的研究:(1)加强高速铁路领域本体的推理、评估方面的研究;(2)完善高速铁路对象模型的构建及多层次语义约束规则库的建设;(3)引入多智能体和网络技术,提高自动化建模水平,向建模的智能化、网络化、服务化方面发展;(4)加入更多三维模型分析和操作功能等地学综合应用。通过持续深入地研究,逐步实现复杂虚拟高速铁路场景的智能化处理与分析,真正提高三维场景的自动化和智能化水平,促进虚拟地理环境建模理论和方法的发展。

参考文献:

- [1] 彭丽,沈志云.高铁面临标准化信息化两大任务[N].科学时报.2011,6,29(A1).
- [2] 金学松,凌亮,肖新标,等.复杂环境下高速列车动态行为数值仿真和运行安全域分析[J].计算机辅助工程,2011,20(3):29-41.
- [3] Lin H, Chen M, Lv G, *et al.* Virtual Geographic Environments (VGEs): A new generation of geographic analysis tool[J]. *Earth-Science Reviews*, 2013(126):74-84.
- [4] Bainbridge W S. The scientific research potential of virtual worlds[J]. *Science*, 2007,317(5837):472-476.
- [5] Bell G, Hey T, Szalay A. Beyond the data deluge[J]. *Science*, 2009,323(5919):1297-1298.
- [6] Lin H, Zhu J, Gong J H, *et al.* A grid-based collaborative virtual geographic environment for the planning of silt dam systems[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010,24(4):607-621.
- [7] Zhao J, Zhu Q, Du Z, *et al.* Mathematical morphology-based generalization of complex 3D building models incorporating semantic relationships[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012(68):95-111.
- [8] Xu B, Lin H, Chiu L, *et al.* Collaborative virtual geographic environments: A case study of air pollution simulation [J]. *Information Sciences*, 2011,181(11):2231-2246.
- [9] 朱军,胡亚,李毅,等.基于虚拟地理环境的堰塞湖溃决风险评估[J].高技术通讯,2012,22(3):276-281.
- [10] 林定,陈崇成,唐丽玉,等.基于颜色编码的虚拟树木交互式修剪技术及其实现[J].计算机辅助设计与图形学学报,2011,23(11):1799-1808.
- [11] 李成名,王继周,马照亭.数字城市三维地理空间框架原理与方法[M].北京:科学出版社,2008,70-92.
- [12] 钟静,王伟,熊汉江,等.基于COM的3DGIS空间对象模型组件库的设计与实现[J].测绘信息与工程,2006,31(2):34-36.
- [13] 尹芳,冯敏,刘磊,等.基于OGC规范和Open Source项目的WebGIS开发与应用[J].计算机工程与应用,2010,46(30):68-70.
- [14] 丁国富,张卫华,刘伯兴,等.列车运行动态仿真研究[J].系统仿真学报, 2004,16(8):1697-1700.
- [15] 张昊,蒲浩,胡光常,等.基于OSG的铁路三维实时交互式可视化技术研究[J].铁道勘察,2010(1):3-6.
- [16] Bruner M, Rizzetto L. Dynamic simulation of tram-train vehicles on railway track[J]. *WIT Transactions on the Built Environment*, 2008(101):491-501.
- [17] Yi S, Han C, Duan X. A geo-hypergraph model for railway location system in virtual environment[J]. *China Railway Science*, 2006,27(1):133-137.
- [18] 王雪霏.基于空间数据的高速铁路三维建模方法[D].北京:北京交通大学,2011.
- [19] 吴益尔,蔡鸿明,步丰林,等.基于语义的三维元素的概念关系建模的研究[J].计算机应用与软件,2011,28(3):8-12.
- [20] Zhao J, Zhu Q, Du Z, *et al.* Mathematical morphology-based generalization of complex 3D building models incorporating semantic relationships[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012(68):95-111.
- [21] Vanacken L, Raymaekers C, Coninx K. Introducing semantic information during conceptual modelling of interaction for virtual environments[C]. *Proceedings of the 2007 Workshop on Multimodal Interfaces in Semantic Interaction*, 2007:17-24.
- [22] 江澜,岳小莉,冯柏岚,等.基于实例和约束的三维场景概念设计和系统实现[J].计算机科学,2008, 35(1): 227-232, 249.
- [23] 纪连恩,张凤军,路游.场景语义约束的三维交互技术[J].计算机工程与应用,2008,44(33):28-31.
- [24] 李德仁,眭海刚,单杰.论地理国情监测的技术支撑[J].武汉大学学报·信息科学版,2012,37(5):505-512.
- [25] 涂序彦.协同智能建模与协同智能仿真[J].计算机仿真, 2011,28(9):181-185.

The Fast Modeling Service of Virtual High-speed Railway Scene

ZHU Jun* and ZHANG Heng

(Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The high-speed railway technology has been growing rapidly in China. At the end of December 2012, the mileage of the high-speed railway in China had been nearly 9356 kilometers. China has become the country which has the scale biggest of high-speed railway mileage in the world. Simulation of general coupling system of high-speed railway is a highly complex dynamic process. Different domain objects have complex and dynamic relations, which are uncertainty and randomness. Thus, it is very important that these simulation data are implemented analysis, reorganization and visualization in a virtual geographical environment. Based on the special spatial features and the relationship attributes of high speed railway environment, this paper proposed a modeling method to meet the higher requirements of the visualization and management of high-speed railways. Some key problems including the creating of the primitive model base, the design of the ontology knowledge base and spatial semantic constraint rules were addressed in detail to develop a modeling service system and related plug-ins, which can provide fast modeling service for virtual high speed railway. Finally, a prototype system was implemented for modeling experiments on a case study region. The experimental results show that the proposed method in this paper can efficiently clarify various relations of scenes object entities, separate the domain knowledge from the modeling operation, and reduce the complexity and difficulty of the multidisciplinary collaborative modeling. It can support fast organization and modeling of virtual high-speed railway scene.

Key words: virtual geographic environment; high-speed railway; modeling service; spatial semantic

*Corresponding author: ZHU Jun, E-mail: vgezj@163.com