



测绘地理信息科技出版资金资助
CEHUI DILI XINXI KEJI CHUBAN ZIJIN ZIZHU

Technology and Practice of 3D City Modeling

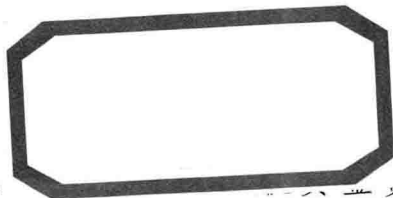
宁振伟 朱庆 夏玉平 编著

数字城市三维建模 技术与实践



测绘出版社

测绘地



助

数字城市三维建模技术与实践

Technology and Practice of 3D City Modeling

宁振伟 朱 庆 夏玉平 编著

测绘出版社

· 北京 ·

© 宁振伟 朱 庆 2013
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容简介

本书全面、系统总结了城市三维建模技术的最新研究成果,分别对三维城市建模技术规范、三维空间数据获取、三维建模与更新、三维建模资料准备、三维建模工艺与质量控制、三维城市模型集成处理、常用的城市三维建模辅助工具等主要内容进行了详细介绍。本书力求阐述城市三维建模技术的系统性与可操作性,图文并茂,理论与实践相结合,使具备一般计算机技术的工程技术人员都可以读懂本书。

本书的读者对象为从事城市规划、建设、管理与服务,以及测绘遥感和地理信息专业相关的工程技术人员、教师,以及专科生、本科生与研究生。同时,本书也可作为理工科大学地理信息专业或相关专业的教学或科研参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字城市三维建模技术与实践 / 宁振伟, 朱庆, 夏玉平
编著. — 北京 : 测绘出版社, 2013.12 (2014.3 重印)
ISBN 978-7-5030-3301-8

I. ①数… II. ①宁… ②朱… ③夏… III. ①数字技
术—应用—城市建设—系统建模 IV. ①TU984-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 281278 号

责任编辑	赵福生	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	三河市世纪兴源印刷有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	17			字 数	410 千字		
版 次	2013 年 12 月第 1 版			印 次	2014 年 3 月第 2 次印刷		
印 数	3001—4000			定 价	60.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3301-8/P · 690
本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

序

近年来,国家测绘地理信息局大力推动数字城市地理空间框架建设,截至目前,全国已有310多个城市开展了数字城市建设,其中150多个城市已建成并全面投入应用。数字城市已经成为我国一大批城市的靓丽名片。

数字城市建设极大地丰富了我国城市基础地理信息资源。通过数字城市这个平台,已经对200多个城市约20万平方千米范围进行了高精度、高质量、高分辨率的航空摄影;采集处理了城市多尺度、多类型、多时相的海量基础地理信息数据;建成了一大批规范、完善的基础地理信息数据库,从根本上解决了我国城市地理信息资源匮乏的局面,夯实了城市信息化的基础。

数字城市建设强劲拓展了测绘地理信息应用服务的深度与广度。数字城市应用于国土、规划、交通、房产、公安、消防、环保、卫生和公众服务等几十个领域,有力提升了政府决策管理的科学化、精细化程度,提高了工作效率,方便了群众的生产、生活,在城市的经济社会发展进程中发挥了重要作用。

数字城市建设有力提升了测绘地理信息科技水平。在建设过程中,研制了30余项国家标准和10余项行业标准,形成了数字城市建设完整的标准体系;实现了“分布式存储、多节点协同、一站式服务”的模式,形成了一批具有我国自主知识产权的软件产品;多项创新成果获得国家奖励。

数字城市建设极大地带动了地理信息产业的发展。几年来,各级财政投入的数字城市建设资金达到50亿元以上,带动基础地理信息数据生产、应用系统开发与建设、系统集成、软硬件设备等领域的众多企业积极参与,拉动地理信息产业服务产值300多亿元,极大地扩大了地理信息产业市场规模,推动了地理信息产业加快发展。

本书就是在数字城市建设的实践基础上产生的科技理论与应用成果。三维数字城市模型在数字城市地理空间框架建设中,既是新颖生动的亮点,更是技术升华的结晶,越来越为人们所重视,越来越多的城市开展了三维建模和应用。本书紧密结合近年来国际国内相关的标准规范,以实用的城市三维建模技术工艺和实践经验为中心内容,详尽介绍、系统梳理了城市三维建模的理论基础和相关技术要求,列举了目前的主流先进建模技术及外业和内业处理的具体方法、技术工艺,展望了今后的发展趋势,是一本现实性和操作性强的好读物。本书对于我们构建数字城市、开展三维建模生产和更新、提升数字城市建设水平、推动数字城市地理空间框架建设广泛应用都会起到积极的作用。

李维森

国家测绘地理信息局副局长

2013年3月

前言

城市是人类文明的结晶,城镇化是经济社会现代化的重要内容。城市信息化已经成为我国城市发展的创新契机,并被冠以“数字城市”和“智慧城市”建设的美誉。数字城市作为一个三维的城市信息模型,被认为是迄今为止人类掌握城市信息最好的方式。三维数字城市作为当代城市信息化的主要标志和城市建设管理的新手段,已成为全球关注和研究的热点。

三维城市模型是数字城市地理空间框架数据的核心内容之一,越来越多的城市纷纷开展了城市三维建模和应用工作,城市三维模型建设正从起步探索阶段向深度和广度发展。由于我国幅员辽阔,民族众多,各个城市的自然与人文景观千姿百态,准确、逼真、精细、高效的城市三维建模是一项十分复杂的系统工程,蓬勃开展的数字城市三维建模实践迫切需要能充分反映当前技术水平,并且系统性和可操作性均较强的三维建模技术参考书。而有关城市三维建模的专著《数码城市地理信息系统:虚拟城市环境中的三维城市模型初探》自2004年出版,至今已经8年多时间;针对测绘地理信息行业数字城市三维建模的专著《数字城市三维地理空间框架原理与方法》2008年出版至今也有5年时间。这期间,无论是三维空间数据获取,还是三维建模与三维地理信息系统(GIS),以及数字城市建设实践等,都发生了翻天覆地的变化。为此,紧密结合近年来国际国内相关的标准规范,以实用的城市三维建模技术工艺和实践经验为中心内容,组织相关知识与技术,编著本书。本书分为8章:第1章绪论,简要介绍了数字城市的概念内涵,特别是数字城市三维地理空间框架建设的意义和国内外进展,评述了有关三维GIS核心技术,并介绍了三维城市建模技术规范要点;第2章三维空间数据获取技术,主要介绍了有关的摄影测量、激光扫描测量、野外全站仪测量和地图数字化等主流技术;第3章城市三维建模与更新技术,系统介绍了基于地图、摄影测量和激光扫描点云数据的三维建模技术,以及三维城市模型数据更新技术与机制;第4章城市三维建模资料准备,介绍了有关的平面与高程控制及纹理等外业资料准备工作;第5章城市三维建模工艺与质量控制,详细介绍了内业工艺流程和主要技术环节,强调了其中的全面质量控制;第6章数字城市三维模型的可视化集成,介绍了多源三维模型数据无缝整合技术及利用不同三维可视化平台进行场景集成的具体方法;第7章常用的三维建模辅助工具,主要介绍了项目管理、自动建模、自动检查和改正、三维浏览等常用工具的功能与使用特点;第8章数字城市三维空间框架数据的典型应用,主要从城市规划、管理和应急响应等方面介绍了三维城市模型的典型应用。

本书集中反映了作者长期从事三维GIS、城市三维建模和数字城市的研究、开发与实践的主要成果和经验总结,针对读者对象为从事城市规划、建设、管理与服务工作,以及与测绘遥感和地理信息专业相关的工程技术人员、教师、专科生、本科生与研究生,力求阐述城市三维建模技术的系统性与可操作性,图文并茂,理论与实践相结合,使具备一般计算机技术的工程技术人员都可以读懂本书。同时,本书也可作为理工科大学地理信息专业或相关专业的教学或科研参考书。

本书的完成还得到了许多人直接或间接的无私贡献。国家测绘地理信息局副局长李维森高级工程师不顾繁忙的工作亲自审阅全书并欣然作序,给本书增色许多,令作者深受鼓舞。中

国测绘科学研究院李成名研究员、武汉大学朱欣焰教授和上海市测绘院郭容寰高级工程师在百忙中审阅了书稿,提出了宝贵的建议并给予了鼓励。该书的编著得到了广东南方数码科技有限公司董事长杨震澎和总经理谢刚生教授的鼓励 and 大力支持,该公司丰富的实践和大量的案例为本书提供了素材,徐景峰参与编写了部分章节,南方数码数据处理中心经理章小明对本书进行了修改。有关的研究与实践一直得到了武汉大学李德仁院士和龚健雅院士,以及中国科学院地理科学与资源研究所周成虎院士的关心与支持。要感谢测绘遥感信息工程国家重点实验室(武汉大学)、中国地质大学(武汉)、浙江大学、南京师范大学、武汉市国土资源和规划信息中心的朋友们,在共同承担完成国家“863”计划重点项目“地理空间的三维建模和分析软件及其应用示范”过程中给予的极大支持。

最后,作者要感谢测绘出版社责任编辑以及参与本书出版编辑工作的所有老师艰苦细致的审编工作,使该书顺利面世。

作 者

2013 年 12 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 数字城市的概念内涵	1
§ 1.2 数字城市三维建模技术	3
§ 1.3 三维 GIS 技术	7
§ 1.4 三维城市建模技术规范要点	15
第 2 章 三维空间数据获取技术	33
§ 2.1 概 述	33
§ 2.2 摄影测量技术	34
§ 2.3 激光扫描测量技术	39
§ 2.4 野外全站仪测量技术	44
§ 2.5 地图数字化技术	45
第 3 章 城市三维建模与更新技术	46
§ 3.1 概 述	46
§ 3.2 基于地图的三维建模技术	48
§ 3.3 基于摄影测量的三维建模技术	56
§ 3.4 基于激光扫描点云数据的三维建模	61
§ 3.5 多源数据无缝整合	64
§ 3.6 城市三维模型数据更新技术	72
第 4 章 城市三维建模资料准备	75
§ 4.1 平面控制资料准备	75
§ 4.2 高程控制资料准备	79
§ 4.3 外业纹理采集及属性调查	83
§ 4.4 其他数据准备	97
第 5 章 城市三维建模工艺与质量控制	98
§ 5.1 三维建模项目计划	98
§ 5.2 三维建模内业工作	99
§ 5.3 模型建立	101
§ 5.4 内业成果质检	137
§ 5.5 模型烘焙	156
§ 5.6 三维可视化检查与美化	171

§ 5.7 格式转换	176
第 6 章 数字城市三维模型的可视化集成	180
§ 6.1 三维模型可视化集成基本知识	180
§ 6.2 EAVR 平台的集成方法	183
§ 6.3 Skyline 平台的集成方法	203
§ 6.4 ArcGlobe 平台的集成方法	211
第 7 章 常用的三维建模辅助工具	224
§ 7.1 概 述	224
§ 7.2 基础辅助工具	225
§ 7.3 项目辅助工具	236
§ 7.4 自动建模工具	239
§ 7.5 其他批处理工具	242
第 8 章 数字城市三维空间框架数据的典型应用	244
§ 8.1 从数字城市到智慧城市	244
§ 8.2 三维立体化的城乡规划管理	245
§ 8.3 三维立体化的土地执法监察	246
§ 8.4 地质灾害三维模拟与应急响应	249
§ 8.5 驾驶员考试的三维可视化监控	253
§ 8.6 其他应用简述	257
§ 8.7 城市三维建模展望	259
参考文献	260

Contents

Chapter 1	Introduction	1
§ 1.1	The Connotation of the Digital City Concept	1
§ 1.2	The 3D Modeling Technology of the Digital City	3
§ 1.3	The 3D GIS Technology	7
§ 1.4	Important Specification of 3D City Modeling	15
Chapter 2	3D Spatial Data Acquisition Technology	33
§ 2.1	Introduction	33
§ 2.2	Photogrammetry	34
§ 2.3	Laser Scanning	39
§ 2.4	The Field Surveying by Total Station	44
§ 2.5	Map Digitalization	45
Chapter 3	3D City Modeling and Updating Technology	46
§ 3.1	Introduction	46
§ 3.2	Map-based 3D Modeling	48
§ 3.3	Image-based 3D Modeling	56
§ 3.4	Point Cloud-based 3D Modeling	61
§ 3.5	Seamless Integration of Multi-source Data	64
§ 3.6	Updating of 3D City Models	72
Chapter 4	3D City Modeling Data Preparation	75
§ 4.1	Horizontal Control Information Preparation	75
§ 4.2	Vertical Control Information Preparation	79
§ 4.3	Field Texture Acquisition and Attribute Collection	83
§ 4.4	Other Data Preparation	97
Chapter 5	3D City Modeling Process and Quality Control	98
§ 5.1	3D Modeling Project Plan	98
§ 5.2	3D Modeling Process	99
§ 5.3	3D Model Generation	101
§ 5.4	Quality Control	137
§ 5.5	Model Baking	156
§ 5.6	3D Visual Inspection and Beautification	171

§ 5.7	Format Conversion	176
Chapter 6	Visual Integration of 3D City Models	180
§ 6.1	Basic Knowledge	180
§ 6.2	EAVR-based Integration	183
§ 6.3	Skyline-based Integration	203
§ 6.4	ArcGlobe-based Integration	211
Chapter 7	Common Auxiliary Tools for 3D City Modeling	224
§ 7.1	Introduction	224
§ 7.2	Basic Tools	225
§ 7.3	Project Tools	236
§ 7.4	Automatic Modeling Tools	239
§ 7.5	Batch Processing Tools	242
Chapter 8	Typical Applications of 3D City Models	244
§ 8.1	From Digital City to Smart City	244
§ 8.2	Full 3D Urban and Rural Planning and Management	245
§ 8.3	Full 3D Land Law Enforcement Inspection	246
§ 8.4	3D Modeling of Geological Disasters and Emergency Response	249
§ 8.5	3D Visual Monitoring of Driver Examination	253
§ 8.6	Other Applications	257
§ 8.7	3D City Modeling Technology Outlook	259
References		260

第1章 绪 论

数字城市作为城市发展的基础设施正受到越来越多的重视,数字城市作为未来城市建设管理的新手段,已成为全球关注和研究的热点。数字城市作为一个三维的城市信息模型,被认为是迄今为止人类掌握城市信息最好的方式。它的出现使人类在描述和分析城市空间事物的信息上获得了一次飞跃——从二维到三维的突破(图 1-1-1、图 1-1-2)。三维城市模型已经成为数字城市空间框架数据的核心内容之一,许多城市纷纷开展了城市三维建模和应用工作,城市三维模型建设正从起步探索阶段向深度和广度发展。为了更好地引导和规范三维城市模型的可持续发展与稳健应用,表达三维城市目标的通用信息模型 CityGML1.0 被作为开放地理信息联盟(OGC)的官方标准于 2008 年正式发布,并于 2012 年升级为 2.0;更具可操作性的中华人民共和国住房和城乡建设部发布的行业标准《城市三维建模技术规范》也自 2011 年 10 月 1 日起正式实施。《三维地理信息模型数据产品规范》、《三维地理信息模型生产规范》和《三维地理信息模型数据库规范》系列中华人民共和国测绘行业标准也于 2012 年正式发布。这些标准为统一城市三维模型制作技术要求,保证三维空间框架数据的准确性和权威性,为三维城市模型的大规模应用奠定了重要基础。

§ 1.1 数字城市的概念内涵

在信息时代,人们生活在两个世界里:物理的世界和数字的世界。通俗地讲,“数字城市”就是把物理城市数字化。我们生活在日益复杂的三维立体空间,三维城市模型主要处理以三维坐标(X,Y,Z)表示空间位置、格局与形态结构及其关联的各种属性,旨在强调城市范围地上、地下(图 1-1-3)、室内(图 1-1-4)、室外完整三维空间实体的集成表示,既有自然的地形地貌和地表的各種人工建筑物,还有地下的地质结构、工程设施(图 1-1-5)和建筑物(图 1-1-6),突出整个三维实体空间一体化的高精度建模和准确度量分析。本书主要针对地表及其以上目标的三维建模与实践。



图 1-1-1 传统二维地形图



图 1-1-2 真三维地图

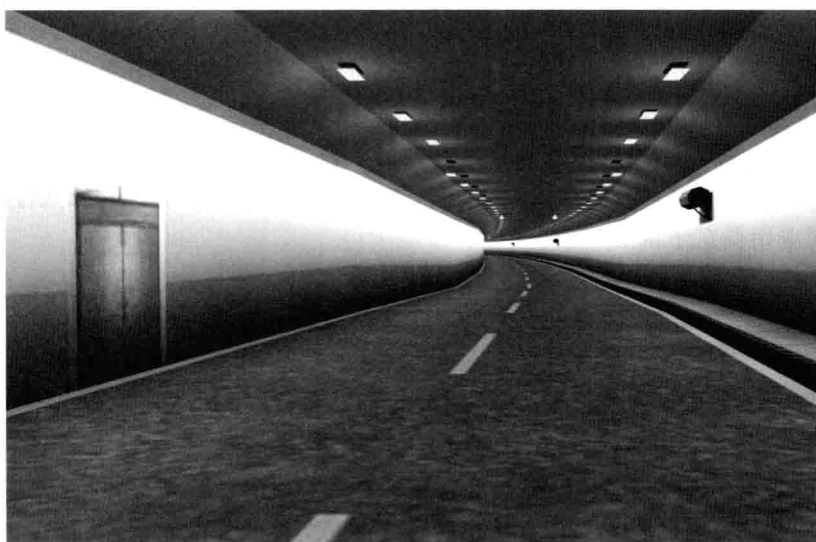


图 1-1-3 地下隧道三维模型



图 1-1-4 室内三维模型



图 1-1-5 高架铁路三维模型



图 1-1-6 建筑物精细三维模型

数字城市将各种自然和人文的信息集成起来,按照统一的时空基准建立完整的信息模型,基于该模型,城市规划具有更高的效率、更丰富的表现手法、更多的信息量,并提高城市建设的时效性、城市管理的有效性,促进城市的可持续发展。

§ 1.2 数字城市三维建模技术

随着城市信息化和地球空间信息技术的发展,国内外数字城市三维建模技术日新月异,标准化、自动化、高精度、精细化的城市三维建模正在我国数字城市地理空间框架建设过程中大规模地开展。

1.2.1 国内外发展概述

在国外,2005年Google Earth的问世极大地推动了三维数字地球(城市)的普及和发展,从此改变了人们与空间信息交互的方式。特别是2007年,OGC将CityGML1.0作为官方标准,为数字城市三维模型数据的国际标准制定开启了先河,促进了三维城市模型在城市规划建

设与管理等专业领域的深度应用。CityGML 是一种用于三维城市模型数据交换与存储的格式,用以表达三维数字城市的通用数据模型。它不仅定义了城市中最常见地物的类型及相互关系,并表达了地物的几何、拓扑、语义、外观等方面的属性,包括它们之间的层次与聚合关系以及空间属性等。这些信息不仅是一种图形表达,更可以用于各种应用领域中的高级分析,如三维模拟、城市数据挖掘、设施管理等。

CityGML 是一种开放数据模型,它基于 XML 来实现三维城市模型的数据存储与交换,它是 GML3 的一种应用模式。GML3 是由 OGC 和 ISO/TC 211 制定的可扩展的国际标准,可用于空间数据交换。CityGML 的目标是成为一个开放的标准,它的工作始于 2002 年,最早由德国北莱茵河威斯特伐利亚区的地理空间数据基础设施三维特别工作组(SDI 3D)开始制定。SDI 3D 最近又提出了 Web 3D Service(W3DS),用于三维模型服务。当前,为了更好地把三维城市模型应用到现实生活生产中,OGC 正在研究关于室内导航应用的空间信息标准 IndoorGML。

在国内,2001 年初,由建设部牵头的“城市规划、建设、管理与服务数字化工程”获得国家“十五”重点科技攻关立项。从标准规范与政策法规、技术研究与软件开发、应用示范工程等方面开展数字城市的研究与建设,同年建设部发文将数字城市列为建设领域两大重点之一。数字城市的核心技术——GIS 平台软件研制,列入国家“九五”和“十五”的“863”计划的重中之重项目;将“数字城市建设”列入国家“十一五”期间发展的战略重点;将地理信息系统软件产业发展作为我国软件产业发展的首要产业。众多城市的政府部门也非常重视数字城市建设。北京、上海、重庆、广州、武汉、深圳、苏州、厦门、杭州、南京等,都制定了数字城市的发展规划并开展数字城市建设,基础测绘成果日益完善,并建立了城市空间数据基础设施。在此基础上,一些城市开始以局部为试点建立城市三维模型及应用系统,辅助城市建设和管理,成为三维数字城市建设的先行者,“数字武汉”、“数字广州”、“数字深圳”等项目的建设在全国起到了积极的示范作用。

在 2010 年和 2012 年,国家住房与城乡建设部和国家测绘地理信息局分别颁布了城市三维建模的规范,统一了城市三维模型制作技术要求,为三维模型数据的获取、加工、处理、集成、建库提供了依据。标准对推进城市三维模型数据共享、共用,以及及时、准确地为城市规划、建设、运营、管理提供了技术支撑。“数字景观模型(三维 DLG 数据)的采集和处理”也被列为测绘科技发展“十二五”规划的重点关键技术,这将从概念上突破已有二维数字线划图(DLG)对现实世界的抽象表示,促进从现实世界直接到三维 GIS 的映射(或镜像表示)。通常情况下,精细化的地理实体模型主要应用于城市规划、建设、管理和信息化等方面,而越来越多的社会化和大众化三维应用及服务则需要数据更简单、成本更低的三维城市模型。因此,尽管基于星载或机载的干涉雷达测量、摄影测量和激光扫描等新一代对地观测技术使得全球范围的高精度地形表面模型快速获取成为现实,但快速获取大范围复杂目标的高精度多细节层次的三维几何模型仍然是世界性难题,而详细的室内和地下三维自动建模更具挑战性。所以,现有的大部分三维城市模型生产还主要依靠人工手段建模,效率很低,成本较高。同时,三维空间数据内容的局限性和片面性也制约了其应用的广度和深度。

近十多年来,国内越来越多的部门和单位针对数字城市开展了广泛的研究与实践。1997 年,清华大学成立中国第一个“虚拟制造中心”,进行异地协同仿真研究。1998 年,浙江大学建成国内第一套用于虚拟现实技术的 CAVE 系统。1999 年,武汉大学测绘遥感信息工程

国家重点实验室成功解决了构建数字城市的三维 GIS 关键技术,实现了城市三维模型快速重建,以及大范围海量数据动态装载和多种类型空间数据有效组织与集成管理等。2001 年,南京大学专门组建了以数字城市为方向的城市规划与区域开发模拟实验室,用于建立大型城市仿真与虚拟现实系统,形成了具有较强计算能力的数字仿真计算分析系统,拥有国内最先进的 Power Wall 立体仿真屏和虚拟现实环境。

国家测绘地理信息局国土测绘司在 2012 年 2 月发布了《关于加快数字城市建设推广应用工作的通知》,要求各测绘地理信息行政主管部门进一步提高对数字城市建设工作的认识,全面开展地级以上城市推广工作,加快推进已立项城市的建设工作,尽快解决已具建设规模但未立项的数字城市建设问题,做好困难地区数字城市建设,不断提高数字城市应用水平,努力提升技术水平,做好技术支撑,积极推进县级和各类开发区数字城市建设,加快与“天地图”对接,及时做好成果归档与数据共享,督促建立并落实长效机制,认真做好平台的运行服务,适时启动智慧城市试点工作。强化人才培养,加大宣传力度,进一步在强决策、精管理、惠民生、促发展等方面发挥应有的作用。

广东南方数码科技有限公司自 2009 年开始实施数字城市三维建模的工程项目,从单一的三维模型生产,逐步到各种建模新技术的开发,再到集成技术及三维 GIS 平台的研制,至今已形成了一套数字城市三维建模的完整解决方案,并在北京、上海、重庆、合肥、长沙等 20 多个城市的三维建模工程中得到了成功应用。

1.2.2 城市三维建模技术进展

城市三维建模技术经过多年的发展,已经逐步从人工交互式建模,发展为利用天空地多平台多传感器获取的三维空间数据、实现半自动或全自动建模,具体技术进展体现在软件和硬件两方面。

软件的发展,包括建模软件和应用平台软件。数字城市三维建模在早期的项目实施中,基本上是采用诸如 Autodesk 公司的 3DMAX 之类的商业化三维动画渲染和制作软件进行模型的建立、贴图、烘焙及展示。至今,大多数三维精细场景和细部结构的建模仍然需要借助于 3DMAX 之类的计算机辅助设计(CAD)软件才能较好地完成。随着数字城市三维建模快速发展的需要,一些 GIS 软件企业也在推出快速建模的软件,如 ESRI 公司的 CityEngine, Skyline 公司的 TerraExplorer Pro,此类软件能快速地实施大面积有固定规则、结构细节要求统一的建筑模型生产,但在纹理的处理上只能批量贴赋通用纹理,整体仿真度不高。在三维激光扫描设备投入到三维数字城市模型生产后,相应点云批量生成白模型的软件也随之推出,如加拿大 Optech 公司的 PolyWorks 软件、芬兰的 TerraSolid 软件,以及由 MIT 的 Martin Isenburg 和加州大学伯克利分校的 Jonathan Richard Shewchuk 的 Lastools 软件,这些软件的开发,为三维激光扫描点云数据的处理提供了可行性。三维的可视化和应用平台软件,国际上十分普遍,目前国内用得比较多的有 Skyline、ArcGlobe、NewMap、Uniscope、CityMaker、EAVR 等,这些软件为数字城市三维展示提供了多种平台选择。在国内常用的三维展示平台中,呈现出百花齐放的特点, CityMaker 侧重效果仿真, Skyline 侧重二次开发接口, ArcGlobe 侧重数据库管理, Uniscope 侧重大数据量集成, EAVR 侧重实时定位应用。就数字城市三维平台的发展来看,大数据、多应用、高仿真、便管理、优性能、可计算等是其主要的发展方向。

卫星、无人机、传感器、数码航摄仪、POS、三维激光扫描仪、高性能轻便型计算机、高速宽

带网络等高精尖的 IT 硬件设备不断涌现,以及遥感、GIS、实时定位、虚拟环境等地球空间信息技术的迅速发展,共同促进了传统的城市三维建模技术及其应用的革命性变化。最初的城市三维建模技术主要采用 CAD,通过输入模型的尺寸数据,全手动建立三维模型。这个阶段的城市三维建模工作量非常大,建模速度极慢,并且需要非常专业的技术人员,空间位置和形状的几何精度难以保证。直到 20 世纪 90 年代,开始利用 GIS 丰富的空间信息,通过半自动化批量地生产大范围的城市体块模型。在 21 世纪初,摄影测量与遥感技术被广泛应用于城市三维建模,逐步实现自动化快速采集数字城市三维建模所需的空間数据、属性数据和纹理数据,并能实现简单规则模型的三维自动重建,这方面的典型代表是美国苹果公司收购的三维地图技术开发商 C3 Technologies,其三维地图模型并不需要人工创建,采用 5 台专业级单反数码相机,使用小型飞机或遥控无人机,沿特定角度采集城市照片,最终自动创建完全基于真实细节的地图模型。

随着三维城市建模技术的发展,三维城市模型至少有两个显著不同的主导应用。一个是专业化应用,另一个是大众化应用。专业化应用需求无疑是牵引 GIS 核心技术持续创新的源动力,而大众化应用主要基于成熟的 GIS 技术和商业运作。GIS 技术本来是为了土地规划管理专业应用需求而诞生的,随着 GIS 的不断成熟和网络化发展,普通百姓却日益成为最广大的用户群体。如果说专业化应用更依赖 GIS 提供精确可靠的度量分析(metric),那么普通百姓则需要更加灵活直观的可视导航(visual)。与这两种需求紧密相关的是 GIS 最核心的空间数据基础:精确度量分析的数据基础是图形(graphic),而逼真可视导航的数据基础则是图像(image)。由此就很容易理解为什么高分辨率遥感影像能促使 GIS 大众化应用迅速普及了(《Nature》杂志 2004 年 1 月 22 日“Mapping Opportunities”一文)。很显然,专业化应用的 GIS 精确建模与解析分析功能要比大众化应用的影像地图导航定位功能复杂得多,因为大众化的地图导航服务(如各种基于 DEM 和 DOM 的可量测虚拟地球服务,以及实景三维地图和视频 GIS 服务等)一般只需要非常简单的数据模型和简单少量的可视化查询与分析功能。随着中国特色的城市化发展加速推进,垂直城市作为一个复杂的巨系统迫切需要发展兼顾地上地下大立体空间环境的城市规划设计、工程适宜性评价与优化设计、地质灾害与风险评价、应急响应决策等新技术,三维 GIS 技术面向这样的专业化应用发挥着不可替代的作用。随着 GIS 应用从辅助宏观规划管理决策到支撑微观设计和建设工程的不断深入,从二维到三维的必然发展趋势正呈现一个加速态势,三维 GIS 的专业化应用将直接贯穿一个工程的全过程(生命周期),而三维 GIS 与计算机辅助设计(CAD)、建筑信息模型(BIM)和建筑工程与建设(AEC)的无缝集成正有力推动整个数字城市的建设与发展,并将极大地促进智慧城市的健康发展。

数字城市三维建模技术的可持续发展,首先要实现多源超大数据量无缝集成和快速流畅三维可视化平台的开发,并有强大的三维数据管理、编辑、分析、更新、集成等功能;再者是需要有多领域、多应用的专业分析应用模型,并有完备的专业科学的经验数据,支撑各项专业应用;然后是建立可操作的数据更新机制,以及与云服务、物联网、传感器等进行耦合,保证多时空、多专业的动态多元数据实时无缝的更新和集成,实现“一套数据、一个平台、多维时空、多种用途”。

1.2.3 数字城市三维建模的主要任务

数字城市建设已成为当前城市信息化建设的主要内容。在构建数字城市的过程中,城市景观三维建模是一个重要的组成部分,也是摄影测量与遥感、地理信息系统及计算机等学科的热点研究内容之一。三维模型通过更全面、更直观的空间三维表达,展示物理城市的真实形态,是数字城市的数据基础。三维城市建模在目前数字城市中的任务是把原来二维的基础地形数据三维化,以满足“数字城市”、“智慧城市”日益增强的三维立体化、精细化需要。三维城市模型在数字城市中的作用首先是作为基础地图数据,为数字城市的各个功能、应用、服务做支撑;再次是通过逼真的纹理表现现实中的形态,为民众定位提供直观的参考;然后是完备丰富的室内、室外、地上、地下等立体空间的三维表达,以及完备高精度的高程和高度信息,为专业部门和专业应用提供数据服务,为城市规划、环保、防灾等科研提供数据基础。

数字城市三维建模现阶段的主要任务概括来说就是快速、精确地把现状城市景观数字化,这其中包括三个方面的内容。首先是城市地物形状与结构的三维数字化,这主要是通过测绘和计算机技术,把实地地形、地物、地貌等对象,根据原物体的真实尺寸数字化。这方面的主要进展是提高数据获取的精度,实现三维建模的高效、自动化和智能化水平。在目前的数字城市三维建模实践中,地面三维激光扫描多用在考古,倾斜摄影测量多用在城市建模快速构建,DMI 实景三维测量多用在街景采集等。其次,数字城市三维建模的第二个任务是实景纹理采集。如何快速、准确、有效地采集实地纹理,是目前国内数字城市三维建模的主要工作之一。在当前的技术下,高精度且准确的纹理还是需要用手持式数码相机人工在现场拍照,这种方式效率较慢,在大面积的三维模型生产中成本较高。因此,倾斜摄影测量自动采集纹理的技术成为当前普遍关注的焦点,并已经在纹理要求不高的数字城市三维模型生产中得到应用,但用于数字城市精细三维模型的生产还需要进行大量的实验和改进。数字城市三维建模的第三个任务是提供海量多源数据的集成及多用途的三维可视化应用与服务。在实践中,大规模三维城市建模在技术上已不存在很大困难,只是在自动化、智能化和高效率建模技术上的研究需有新的进展和突破,但城市级海量三维模型数据的高性能可视化和共享应用技术还是当前面临的主要挑战。在目前常用三维可视化平台的加载极限测试中,大多数可视化平台在加载了超过 50 km² 的精细建筑和地形三维模型时,展示和浏览的速度均已不能满足正常的使用要求。另外,较深层次的行业应用也是当前数字城市三维模型数据的短板,大部分的数字城市三维模型生产出来后,只停留在看的层面,产生不了效益,还需要花更大力气进行更深入的研究三维城市该如何应用。

§ 1.3 三维 GIS 技术

三维城市模型深度应用的核心技术支撑是三维 GIS 技术。众所周知,二维 GIS 主要针对三维空间实体在平面地图空间中符号化的二维抽象表达,以摩天大楼和地铁等为代表的地上空间和地下空间的大规模开发利用,正使得垂直的三维城市空间变得极为复杂和充满风险。二维 GIS 技术难以完整准确表示三维城市空间的局限越来越明显,迫切需要突破三维空间实体集成表示(三维 GIS)的瓶颈问题,而三维 GIS 这种集成表示统一考虑了三维空间实体的几何、拓扑、外观和语义信息,支持多专业多源数据(包括既有的地图数据、现势的传感器数据和