

数字化城市

关键词：数字城市 第一人生

陈宝权

中国科学院深圳先进技术研究院

前言

一个城市的现代化程度与这个城市数字化、信息化水平密切相关。据2007年《中国城市发展报告》的数据显示，全国城镇人口达到5.94亿，城市总数为656个，城镇化水平已经达到45%。目前中国已有几十个大中城市提出或正在实施“数字城市”工程。但“数字城市”

的建设是一项综合性的、需要长远考虑的复杂巨系统工程。因此，首先要明确什么是“数字城市”^[1]？它与一个城市现代化程度有着怎样的关系？

“数字城市”的概念是从“数字地球”发展而来的，是数字地球在城市环境中的应用。关于数字城市的概念，虽然目前还没有一个规范的、统一的定义，但总体来讲，数字城市是现代城市的数字化、信息化的体现，反映了一个城市现代化水平的程度。

数字城市以数据为中心，强调数据的采集、分析与应用。区别于已有的一些以遥感数据和地理信息系统为核心的数字城市定义，我们强调数据的多源与多模态（如空间与非空间数据，二维与三维数据）以及数据的动态与实时性（从静态到动态到实时）。活化的数据（Live Data）促进活化的数字城市（Live City），从而在更深层次上推动数字城市在科学、技术和应用三方面的引导和推动作用。本文将主要针对三维动态的数字城市构建进行阐述。

数字城市发展现状

数字城市研究经过多年发展，在许多方面已经取得成果，比如数据采集、模拟仿真、数字城市信息平台等。

谷歌公司的“Google Earth 3D”（三维地球）^[2]（见图1），微软公司的“Virtual Earth 3D”（虚拟三维地球）、“Skyline”和“Worldwind”等（见图2）以及“美国费城虚拟城市”（见图3）都是典型的数字城市平

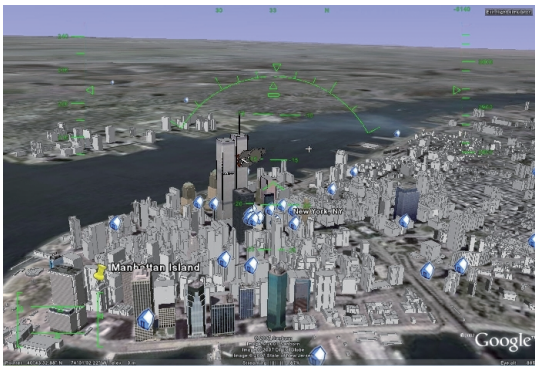


图1 谷歌三维地球

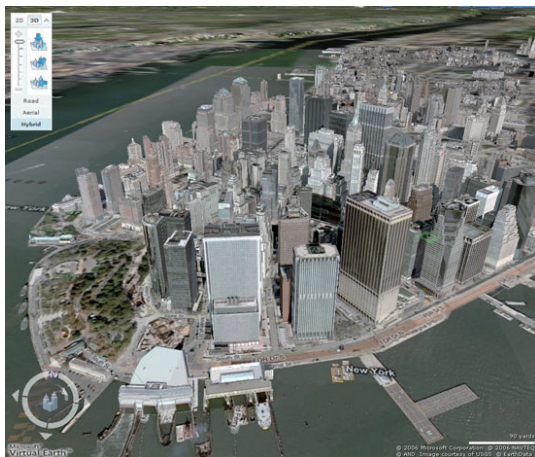


图2 微软虚拟地球



图3 美国费城虚拟城市及其室内浏览

台。其中,“美国费城虚拟城市”通过俯视、沉浸的方式,游客能够身临其境般地在城市内行走观光,不仅可以看到沿途的景点、商店和广告,还可以进入建筑内部观光,了解室内布局,或在固定视点环视室内场景(图2)^[3]。

除浏览漫游外,三维数字城市建模在城市规划、决策和应急指挥等方面具有重要指导作用和意义。具体来说,在应急方面,2006年联合国建立了“联合国灾害管理和应急空基信息平台”(UN-SPIDER),旨在普及各类与灾害管理有关的空间信息和服务;在文化遗产保护领域,既有希腊亚里士多德大学的古希腊波吕斐摩斯(Polyphemus)巨人岩洞的三维建模项目,也有我国龙门石窟研究院与北京大学等合作的龙门石窟三维数字图书馆^[4]、武汉大学的敦煌莫高窟数字化项目等;在社会行为分析决策方面,美国华盛顿大学在美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)支持下研发的城市仿真模型UrbanSim^[5](<http://www.urbansim.org/>),把人口、交通网络和土地状况融合经济趋势,以此为住房、商用土地、城市扩建等提供决策,该模型已在美国休斯顿和盐城等城市进行了应用。

在数字城市三维空间数据的

基础建设中,传统的遥感和测绘方法仍是获取数据的主要方式,信息交流平台主要由相对独立的地理信息应用系统构成,例如在平台上显示遥感影像、数字地图和社会信息等。

大部分应用是针对某个单

独领域的,交互方式也以机器为主体,没有整合为涉及城市方方面面应用的巨系统。未来数字城市应该是以生活在城市中的人为中心,融合建筑、交通、电气、通信等实体以及植物、气象、环境等自然要素的空间数据虚拟现实世界,也是社会经济等非空间信息的载体。基于空间、非空间信息建立的数字城市在此框架下能够跨越时间和空间进行复杂的自然和社会现象的模拟。

数字城市流程与框架

2008年10月,中国科学院深圳先进技术研究院先进计算与数字工程研究所(简称“数字所”)正式成立。数字所立足数字城市的研究与应用,力争构建包括城市空间信息载体、物理现象和人类活动演变空间,以及具有“三维、动态、实时”三大特点的“数字城市”。面向应用前景和目标,数字所规划了一套数字城市的研究开发技术流程框架,该框架由数字

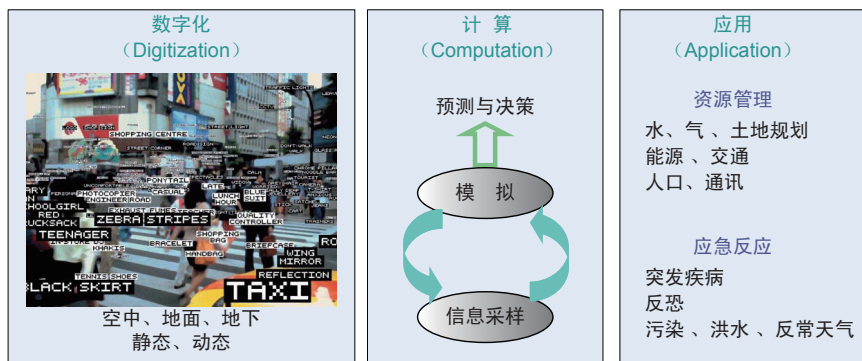


图4 “数字城市”研究技术流程与框架图

化 (Digitization)、计算 (Computation) 和应用 (Applications) 三部分组成 (图4)。

数字化 其任务是对城市实体进行几何、空间数据信息的测量和数据收集, 建立城市的三维模型。数字所的可视计算中心致力于以车载结合机载的激光扫描获取空中与地面的三维场景, 研究基于激光扫描点云的自顶向下的交互式三维建模技术。应用声学城市地质勘探实验室则研究通过新型声波探地技术进行地下管网的三维成像等。无线传感网络中心主要研究利用各种无线传感器网络采集城市的动态信息, 例如利用个人手机信号, 对城市人口流动情况进行采样建模, 对车辆的GPS (Global Position System, 全球定位系统) 信息进行跟踪分析, 对城市公共场所进行火警、污染气体扩散监测, 以及对家庭用水用电情况进行采集分析等。

计算 数字所的千万亿次超算中心为数字城市海量数据的计算提供了强大的支撑平台。以第一部分数字化得到的高精度城市三维模型、城市动态采样信息为输入数据, 通过建立物理演变模型和人物行为模拟等, 对城市中不同应用需求进行预测和决策。

应用 主要分为城市的资源管理和应急响应两大方面。资源管理是对水、气、土地和通信基础设施等进行规划, 对能源、交通和人口等进行管理调度; 应急响应则针对突发疾病、反恐、污染、洪水和反常天气等事件进行预测和决策, 最大限度地减少损失, 保护人们的生命财产安全。

我们拟构建的数字城市具备“三维、动态、实时”三大特点, 将引领数字生活到数字城市 (Digital Life to Digital City)、数字城市到数字生活 (Digital City to Digital Life) 的潮流。虽然目前建立城市的高精度三维模型是一件需要耗费大量物力财力的事, 但很多应用需求却促使我们必须向“二维到三维 (2D map to 3D world)”的特点迈进。例如, 对高层建筑

火灾情况的应急救援和人群疏散, 气体污染物的泄露扩散, 由城市三维模型生成“三维数字噪声地图”的城市噪音仿真模拟等应用是传统的二维数字城市系统无法实现的, 而这些应用却又是提高城市中人们安全保障和生活质量的有效途径。城市绝对不仅是拥有不变结构和设施的静态城市, 还包括生活在其中的人群所进行的各种各样的动态活动、各种设施的动态运转进程以及随时可能发生的各种险情和灾害。有哪些应用对于仅拥有高精度的三维数字城市模型是远远不够的, 还需要数字城市“从静态到动态” (Static to Dynamic) 来发展呢? 大楼火灾的各个阶段的发展状态和人群的流动分布等动态信息将更加高效地促进对火灾进行应急救援和疏散; 市民出行查询“最优”交通路线, 将不再是查找“最短”路径, 而是综合城市交通的静态道路和动态路况信息进行最优选择; 通过手机信号等采集城市人口流动情况, 将有效地识别不同时段的人流在工业区、住宅区的分布状况, 辅助政府部门和相关产业, 为其提供更好的区域规划设计。总之从本质上来说, 我们所处的真实城市本身就是一个充满动态的城市, 因此“数字城市”也必定是动态的。如果说前面列举的应急救援、动态交通路径等应用让人觉得仅是美妙的海市蜃楼, “从批处理到实时” (Batch to Real-Time) 则是让海市蜃楼落地生根变为现实的力量源泉。要实现大规模污染扩散、应急救援和动态交通等应用模拟和决策, 所需的信息采集量和模拟运算量将非常惊人。由于受到计算能力的制约, 通常只能在灾害事发过后对记录的数据进行分析和过程重建, 但这样仅能起到“事后诸葛”的作用, 不能真正发挥对应急救援等应用的支撑辅助决策功能。目前, 高性能计算机的迅速发展以及国家对超算中心 (例如数字所的千万亿次计算能力的超算中心) 建设的重视与投入为各种实时应用提供了有利的条件, 使得未来很多数字城市的大规模实时应用都能得以实现。

数字城市开发的技术要点

城市场景几何建模与可视化

目前在计算机视觉和计算机图形学领域,针对城市场景的三维建模出现了很多种不同的解决方法,其中一种典型的方法是程序式建模(Procedural Modeling)。该方法基于各种语法(Grammars)或规则(Rules),能够快速构

建大规模城市场景中各种复杂的建筑物、墙面及街道的三维模型,但是该方法主要用于生成虚拟的城市场景,很难重建真实城市场景中各种建筑物的复杂形状变化和结构模式。如果针对现实城市场景重建其逼真的三维模型,就必须先获取场景的三维空间数据,这又构成了城市场景建模的另一类方法——基于测量数据的城市场景三维建模。

近年来,随着三维激光扫描设备的发展,这些设备也被用于获取城市场景三维数据,通过激光扫描能够直接获取物体表面高精度的三维外形信息。作者针对激光扫描获取的三维点云数据开展了一些快速建模的研究^[6-7]。移动激光扫描是一种近年来迅速发展起来的新型空间立体数据获取的手段和工具,也是一种非接触式的激光测量方式。它是将激光扫描仪装载在汽车上,跟随车辆前进快速捕捉道路两旁目标物体表面的三维点云数据(包括位置、颜色和反射强度等信息),随带的高清摄像机还可获得点云数据对应场景的纹理图像。这种方式的数据采集速度可以达到每小时50公里以上,1天内就能够完成核心城区和街区场景的三维数据采集与建模工作,适用于大规模

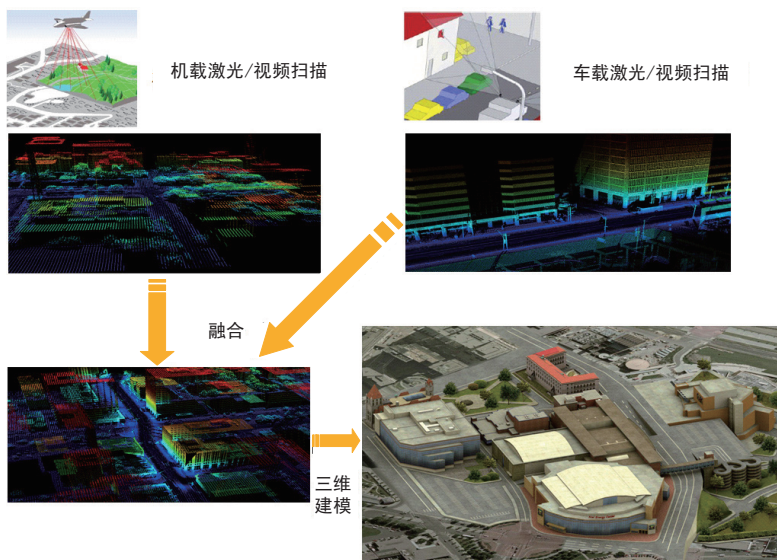


图5 车载激光扫描系统

城市场景的三维外形和表面纹理数据获取,而且场景中各种目标物体的测量与重建精度能达到测绘标准。目前,国外比较成熟的移动三维激光扫描系统有加拿大Optech公司的三维激光测量车Lynx^[8],英国3D Laser Mapping公司的StreetMapper^[9]。国内有北京大学视觉与听觉信息处理实验室研制的车载激光扫描系统^[10]。

为了重建大规模城市场景完整的高精度三维几何模型,我们综合利用多种数据来源,采用不同的方法重建城市场景几何模型(图5),实现了一个车载激光扫描系统。该系统主要通过车载激光扫描和机载激光扫描分别获取城市场景中各种物体(主要是建筑物、树木、道路等)的侧面和顶面三维信息,随带的高清摄像机同时获得对应的纹理信息,融合这些数据通过点云处理和重建算法获得高精度的城市三维模型。二维照片、卫星影像和定点激光扫描数据在城市重建中起辅助作用,满足不同的需求,例如对于重点或地标性建筑物,可以通过定点激光扫描/拍照获取更为全面完整的信息。

动态信息采集与数据处理

土地、人口、交通、气象和水质等动态



图6 动态数据实时采集与处理

信息对于城市环境监测与改善、土地利用与开发、公共实施管理等都具有重要的参考价值。利用无线传感网络低耗自组、异构互连、泛在协同的基本特征以及自动的射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）、数据获取和高性能数据处理等技术，可以实现在数字城市领域的动态信息采集的独特应用，达到动态数据的及时发现、实时采集和快速处理的目的。根据数字城市提供的资料和信息模型，最大限度地利用信息资源，从而促进生态系统与经济利益的平衡与协调，使得其耗损最少、效益最优，并能充分发挥整体优势，确保城市的可持续发展。图6是动态数据实时采集系统示意图。

城市模拟

城市模拟主要包括物理模拟、人口流动采样与建模、人群行为模拟等。物理模拟是基于城市场景模型对城市暴雨积水、危险物泄露、毒气扩散、火灾扑救以及气象预报等进行模拟。例如，应用计算流体力学的方法就是以高性能计算机为依托，使用数字城市提供的城市地理几何数据和气象部门提供的实时天气条件，快速模拟由突发性污染源产生的污染物在

城市楼群街区内的传输和扩散，在很短的时间内模拟出污染物的分布及其演化，并对公众提供相关的信息。城市人口流动采样与建模可广泛应用于城市规划、交通规划、环境评估、灾害研究、流行病监测、城市经济发展等，利用水、电、气的消耗数据以及手机通信的数据，可以对城市人口流动进行采样和建模，构建城

市人口时空动态分布的基础数据库。人群行为模拟是为城市公共安全事故、灾害事故等事件提供预防、预测、监控、预警和应急救援等方面的技术，是建立城市公共安全应急救援指挥系统和城市群综合防灾体系的关键支撑技术之一。

第一人生

我们生活在一个三维世界里，然而在计算机与网络数字世界里真正三维的内容很少，主要还是二维的图像和文字。随着技术的进步，构建一个逼真的三维数字世界是社会发展的必然趋势。现在很多网络游戏已经逐步实现了从二维到2.5维再到三维的提升，具有很强的真实度与浸入感。例如，美国林登（Linden）实验室开发的“第二人生”（Second Life）^[1]游戏就可以由玩家构建一个全三维的虚拟世界。在这个世界中，玩家可以制造物品、买卖交易和旅行休闲等，可以选择不同的交通工具去任何想去的地方。玩家还可以换一种身份、性别和角色开展另外一种逼真的生活，经历不同的人生，体验不同的感受。例如，德国的一位钟安社女士（华裔）在“第二人生”经营了1年的

(数字)地产生意,赢得了110万美元资产,成为美国《商业周刊》的封面人物;IBM、索尼、戴尔、可口可乐、阿迪达斯、微软以及英特尔等跨国公司都在“第二人生”设立了虚拟总部来销售产品或做广告;路透社、英国广播公司、美国有线电视新闻网等国际知名媒体在“第二人生”开设分支机构,在现实社会与虚拟世界之间进行交叉报道;马尔代夫、瑞典、爱沙尼亚先后在“第二人生”中设立虚拟大使馆;美国弗吉尼亚州阿灵顿郡政府把办公室搬进了“第二人生”的一栋高楼,访问者可以在那里查看关于阿灵顿郡的介绍和收集当地的市场信息。所有这一切都来源于真实世界,与真实世界的区别仅在于游戏中的三维场景是虚构的。如果将这里的三维场景换成基于真实世界的数字城市,进行现实世界的一种数字化再现,人们就可以在这个数字化的世界中体验真实的人生,我们称之为“第一人生”。

“第一人生”表现的是一个高度模仿人类现实世界的虚拟世界。它复制了现实世界的场

景并具有各种信息属性,可被看作是现实世界的虚拟镜像,很多原来需要在现实世界中完成的工作都可以转化到这个虚拟世界中来实现,成为社会、经济、政治和军事等活动的试验场。传统的旅游、教育、电子商务、游戏娱乐和军事演习等都可以在这个虚拟世界中完成。随着“第一人生”与现实世界的分界越来越模糊,两个世界会融合在一起,形成一个新的生存空间,从而实现人类生活的飞跃。■

致谢 在该文的撰写中,胡春梅、程章林、彭蓉和文高进等同仁提供了大量的素材和编辑帮助,在此表示感谢。



陈宝权

中科院深圳先进技术研究院先进计算与数字工程研究所研究员,博士生导师。主要研究方向为计算机图形学、可视化和人机交互。
baoquan@computer.org

参考文献

- [1] 中国数字城市建设方案与推进战略构想. 王家耀, 徐青. 中国数字城市发展战略论坛论文集, 2005.9
- [2] Google's Geospatial Organizing Principle, by Michael Jones, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4267940>
- [3] <http://www.philadelphiausa.travel/virtual-philadelphia>
- [4] W. Ma, H. Zha, Surveying and Mapping Caves by Using 3D Digital Technologies, in Proc. 12th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia (VSMM'06), Xi'an China, October, 2006
- [5] <http://www.urbansim.org/>
- [6] Jie Chen and Baoquan Chen. Architectural Modeling from Sparsely Scanned Range Data, International Journal on Computer Vision, special issue on Modeling and Representations of Large-Scale 3D Scenes, 2007
- [7] Hui Xu, Nathan Gossett and Baoquan Chen. Knowledge and Heuristic Based Modeling of Laser-Scanned Trees, ACM Transaction on Graphics, Vol. 26, No. 4, Article 19, 2007
- [8] http://www.optech.ca/press_LYNX_Release.htm
- [9] <http://www.streetmapper.net/>
- [10] H.Zhao, L.Xiong, Z.Jiao, J.Cui, H.Zha, Sensor alignment towards an omni-directional measurement using an intelligent vehicle, Proc. IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 2009 : 292 ~ 298
- [11] <http://secondlife.com/>