



3 维 GIS 技术进展

朱 庆

(武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉 430079)

摘要: 从基本概念、应用需求和技术动态等方面就 3 维 GIS 技术的发展与演进进行了简要评述,强调了专业化与大众化两种应用对 3 维 GIS 提出的不同挑战。

关键词: 3 维 GIS;数据库管理;3 维可视化;3 维空间分析

Technical Progress of Three Dimensional GIS

ZHU Qing

(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: This paper briefly reviews the development and evolution of 3D GIS technology according to its conceptual meaning, application requirements and technical characteristics. The author also emphasizes that the 3D GIS for public users and professional users facing different challenges

Key words: 3D GIS; Database Management; 3D Visualization; 3D Spatial Analysis



朱庆,(1966-),男,四川仁寿人,长江学者特聘教授,博士,博士生导师,研究方向为数字摄影测量、3 维 GIS 与虚拟地理环境。
E-mail: zhug66@263.net
收稿日期: 2011-03-05

0 引 言

近年来,卫星定位技术、航空航天遥感技术和计算机网络技术的迅速发展促进了传统 GIS 技术及其应用发生革命性的变化。GIS 因为提供了日益强大的综合分析、解析分析、定量分析和可视化分析等功能,因此已成为人们在广泛的领域内理解时空要素和解决复杂问题的重要工具。特别是由于越来越美观逼真的多种分辨率多时相遥感影像数据和全球数字高程模型数据在网络环境下广泛可得,2 维矢量地图、遥感影像和 3 维地形表面模型的混合应用已成为普通百姓习以为常的基本导航定位方式。Google Earth 之类的“数字地球”让人们真正看到了一个计算机里“立体化”“逼真化”的世界,并从此改变了人们跟信息交互的方式(《Na-

ture》杂志 2006 年 2 月 16 日“The web-wide world”一文),3 维 GIS 概念成为当今业界最热门的话题。遗憾的是,这些在大众消费领域盛行的商业模式却被过度炒作,并蔓延到专业 GIS 领域。如果说 3 维 GIS 从 1998 年的“数字地球”概念炒作开始,2005 年相继出现 Google Earth 和 Virtual Earth 而到达热捧的顶峰,越来越多的行业和地方兴起建立“吸引眼球”的 3 维可视化系统,五花八门的 3 维可视化软件应运而生,甚至许多 GIS 业界的专业人士都认为这就是 3 维 GIS 的未来。由于人口与土地之间的矛盾,城市发展不得不“上下求索”,立体空间开发与日俱增,日益复杂的立体城市发展迫切需要对地上、地下 3 维空间的透彻感知,政府、企业和百姓等多样化的实际应用需求又要求更精确的整个 3 维地理环境信息

(包含地形、地物和地质等),而已有的各种 3 维 GIS 系统成本高利用率却很低。随着对 3 维 GIS 技术大量不切实际的期望破灭,人们不得不冷静下来认真思考 3 维 GIS 技术的优势和局限,以及其成熟度,并重新回到可持续的发展轨道。

1 3 维 GIS 的概念内涵

我们生活在日益复杂的 3 维立体空间,本文的 3 维 GIS 主要处理以 3 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,旨在强调地上、地下,室内、室外完整 3 维空间实体的集成表示,既有自然的地形地貌和地表的各种人工建筑物,还有地下的地质结构和各种工程设施与建筑物,突出整个 3 维实体空间一体化的高精度建模和准确度量分析。3 维意味着多维,3 维 GIS 技术框



架自然包含了传统 2 维和 2.5 维的 GIS 技术内涵,并能根据需要提供恰当的多维表示。显然,从现实世界到 3 维 GIS 的映射也就具有不同的模式:①3 维立体像素模型,可由激光扫描和摄影测量等技术自动化地快速建立,支持高性能的 3 维几何分析;②3 维特征模型,可由多源数据集成的(半)自动化方式建立,支持准确的语义拓扑分析和真实感可视化;③3 维数值模拟模型,可由观测数据结合物理模型和行为模型自动化地建立,支持复杂时空现象动态演变过程的模拟、预测与评估。

众所周知,2 维 GIS 主要针对 3 维空间实体在平面地图空间中符号化的 2 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 3 维城市空间变得极为复杂和充满风险,3 维的城市空间框架数据将是城市规划、建设管理、安全防范和综合竞争能力的重要依托。2 维 GIS 技术难以完整准确表示 3 维城市空间的局限越来越明显,迫切需要突破 3 维空间实体集成表示的瓶颈问题,而这种集成表示统一考虑了 3 维空间实体的几何、拓扑、外观和语义信息;由于多专业多源数据(包括既有的地图数据、现势的传感器数据和对未来的规划设计数据)的综合应用,要支持多源 3 维模型数据在语法和语义层面的无缝整合。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 3 维几何模型仍然是世界性难题,而详细的室内和地下 3 维自动建模更具挑战性。因此,现有大量的 3 维

GIS 应用还主要依靠人工建模手段,效率很低,成本极高加上 3 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。为此,“数字景观模型(3 维 DLG 数据)的采集和处理”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 2 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 3 维 GIS 的映射(或镜像表示)。特别地,地理实体模型主要应用于城市规划、建设、管理和信息化等专业应用,而越来越多地社会化应用与大众 3 维服务则要求更简单、灵活、高效,且成本低的 3 维地理环境表示。

2 3 维 GIS 的大众化应用与专业化应用

GIS 技术至少有两大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应用,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 3 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而有限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,3 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 2 维到 3 维的必然发展趋势正呈现一个加速态势,3 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 3 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)的无缝集成正带来整个工程设计与建设管理领域从 2 维图纸到 3 维协同设计与建造的革命性变化,并将极大地促进物联网技术的健康发展。

为了更好地引导和规范 3 维 GIS 技术的可持续发展与稳健应用,一种用来表现 3 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;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 3 维建模技术规范》已经于 2010 年 11 月 17 日正式发布并将自 2011 年 10 月 1 日起实施。这也是全国首个 3 维数字城市建设规范,涵盖了城市 3 维模型的生产、管理、应用和更新等方面内容,形成了一整



套完整的技术要求和 workflows,对规范全国 3 维数字城市建设具有重要意义。这些标准为统一城市 3 维模型制作技术要求,保证 3 维空间框架数据的准确性和权威性、以及 3 维 GIS 的大规模应用奠定了重要基础。

3 3 维GIS的技术发展趋势

地理信息系统(GIS)的出现为我们充分利用计算机来模拟现实世界打开了一扇大门,人类关于现实世界的认识和工作的方式因此发生了巨大的变化:GIS 让我们可更好地理解世界上的各种事物及其相互关系、存在模式和发展过程,并为我们的日常工作和生活提供了一条更加科学的途径。然而,GIS 至今仍然主要用于处理地形表面上的数据(如等高线、土地利用、道路网络等),地上(建筑物、立交桥、电力线、树木等)或地下(管线、构筑物等)的数据也通常要投影到地形表面上。由于 GIS 处理的空间数据源自传统的 2 维地图,主要是以 2 维平面坐标(X,Y)表示的地理位置与格局及其关联的各种属性,因此 GIS 长期以来也被认为是 2 维的。GIS 这种 2 维表示的局限(经过投影、抽象和综合,同一个地区需要多张图分层表示)已越来越难以满足人们对 3 维世界快速准确理解的需要。GIS 首先引入数字高程模型(DEM),突破了 2 维平面的限制,透视地表示 3 维地形起伏,加上数字正射影像(DOM)则有了更加直观的地形景观,各种地物被投影到一个有起伏的地形表面而不再是平面上,但各种地物仍然没有呈现出现实世界中同样的 3 维立体分布,这种 GIS 因此也被称为是 2.5 维的。

计算机 3 维图形技术的快速发展极大地推进了 3 维 GIS 的可视化

技术进步,乃至 World Wind 之类开源软件的应用大大降低了准入门槛,从而催生了大量所谓的“3 维可视化 GIS”软件。实际上,3 维可视化仅仅是 3 维 GIS 的基本功能之一,而且这些软件也主要分散在测绘遥感、地质矿产和规划设计与建筑等不同专业领域,仍然缺乏真正满足大规模 3 维空间数据集成管理、在线更新与分析应用的通用平台。由于 3 维 GIS 平台软件的能力所限(可视化分析的性能有限,需要全局优化和静态装载数据;在线更新和共享困难;多层次语义表达还很欠缺等),已有的大多数 3 维 GIS 系统均面向特定的应用(如城市形象宣传展示、规划管理、综合地下管线、地质调查等),这些系统的数据跟软件紧密绑定,昂贵的 3 维模型数据却难以在线更新和广泛共享,综合应用效能不高。另外,一种 3 维 GIS 软件平台还难以为复杂的空间决策问题如应急响应等提供完整的解决方案,而往往需要多套数据、多种软硬件系统的混合应用。为此,迫切需要系统性地突破 3 维 GIS 的技术瓶颈问题,加速推进综合能力更强的 3 维 GIS 软件平台的研发。作为世界 GIS 工业领袖的 ESRI 发布了具有增强 3 维数据管理、创作与编辑、3 维分析和可视化处理能力的 ArcGIS 10 (www.esri.com/software/arcgis/arcgis10); 中国政府在 863 计划重点项目中也专门立项开发 3 维 GIS 软件平台“地球透镜”(GeoScope),积极探索地上与地下、室内与室外 3 维城市空间信息集成应用的新模式;关于 3 维 GIS 空间数据模型,可扩展的高效可用的 3 维 GIS 软件体系架构,高效的 3 维空间数据库引擎,高性能 3 维可视化分析与 3 维空间探索等关键技术将取得重要突破。正是这些关键技术的突破

才让 3 维 GIS 技术及其应用稳步走向成熟,有望实现“一套数据、一个平台、多种用途”的目标,从而蕴育更广阔的发展空间。

值得注意的是,上述 3 维 GIS 的技术内涵仍仅限于静态或时态空间实体的表示,而动态的时空现象如矿山开采和土木工程建设、大气、海洋等还未充分考虑。但首先必须建立起最基础的 3 维地理空间框架,才有助于更好地表示整个 4 维的环境(虚拟地理环境:VGE)。比如,近期刚验收的武汉市 3 维数字地图系统(市域 8 494 km² 的 3 维框架模型,中心城区 524 km³ 3 维城市精细模型)是国内首个建成并投入使用的大城市 3 维城市模型 (<http://www.digitalwuhan.gov.cn/pc-26931-110-0.html>)。基于这个详细准确的 3 维城市模型,将大大有利于武汉市冷桥系统(包括城市建成区外围的开敞空间如林地、农田和水域等、城市风道和城市内部的公园、绿地、水系等生态基础设施)的优化布局与规划建设,从而最大限度减少武汉市的热岛效应,大大有助于建设一个更加低碳、绿色和环保的城市环境。对这些动态时空现象的表示不仅要利用精度高现势性好的传感器数据,还要利用科学的数值模拟与预测数据,这就涉及要集成和耦合更多专业领域不同时空现象的物理模型与行为模型。显然,“智慧地球”的建设需要对整个地球空间环境更透彻的感知,自然也对 4 维虚拟地理环境技术提出了日益紧迫的需求,这才是 3 维 GIS 技术发展的未来。

参考文献

- [1] Butler D. Virtual globes: The web-wide world [J]. Nature, 2006, 439: 776-778.

(下转第 33 页)



化”“过程的一体化”“方法的智能化”“知识的综合化”,来提高变化检测的精度和效率,实现变化检测的自动化、实时化和在轨化运行。

参考文献

- [1] RICHARD, J., RADKE, SRINIVAS, A., O-MAR, A.K. and BADRINATH, R. Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey[J].IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(3): 294-307.
- [2] DEER, P. Digital Change Detection Techniques: Civilian and Military Application [M]. London: Taylor & Francis, 1999.
- [3] LU D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E. and MORAN, E. Change detection techniques [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2365-2407.
- [4] LI, D., SUI, H. and XIAO, P. Automatic Change Detection of Geo-spatial Data from Imagery [J].International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Xi'an, China, 2002, 34(2): 245-251.
- [5] COPPIN, P. and BAUER, M. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 13: 207-304.
- [6] ZHANG, L. Change Detection in Remotely Sensed Imagery Using Multivariate Statistical Analysis [D].PhD Dissertation, Wuhan University, China (in Chinese) , 2004.
- [7] SUI, H.G., ZHOU, Q.M., GONG, J.Y., MA, G.R. Processing of multitemporal data and change detection [M]. Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008 ISPRS Congress BOOK, 2008: 227-247.
- [8] COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K. and MUYS, B. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review [J]. International Journal of Remote Sensing, 2004,25 (9): 1565-1596.
- [9] JENSEN, J.R. Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective [M].Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [10] WEBER, K.T. A method to incorporate phenology into land cover change analysis [J].Journal of Range Management, 2001, 54: A1-A7.
- [11] WEBER, P. Initial performance validation for the multispectral thermal imager [C]// Proceedings of SPIE, 2000, 4030: 2-9.
- [12] ELVIDGE, C.D., YUAN, D., WEERACKOON, R.D. and LUNETTA, R.S. Relative radiometric normalization of Landsat Multispectral Scanner (MSS) data using an automatic scattergram-controlled regression [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995,61: 1255-1260.
- [13] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版,2003,28(3): 7-12.
- [14] SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data[J].International Journal of Remote Sensing, 1989,10(6): 989-1003.
- [15] COPPIN, P. and BAUER, M. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 13: 207-304.
- [16] 邵飞. 基于人工神经网络的遥感影像变化信息提取方法研究 [D]. 山东科技大学, 2006.

(上接第 27 页)

- [2]Gewin V. Mapping opportunities [J]. Nature, 2004, 427:376-377.
- [3] OGC 2010. OpenGIS? City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard version 1.0.0, 2010, 08-007r1[EB/OL].[2010-08-09], <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>
- [4] Zhu Q, Li D, Zhang Y, Zhong, Z., & Huang, D. CyberCity GIS (CCGIS): Integration of DEMs, images, and 3D models [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2002, 68(4), 361-367.
- [5] 李德仁. 论地球空间信息的 3 维可视化: 基于图形还是基于影像 [J]. 测绘学报, 2010,39(2): 111-114.
- [6] 李德仁, 龚健雅, 邵振峰. 从数字地球到智慧地球 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2010,35(2): 127-132.
- [7] 朱庆. 3 维地理信息系统技术综述[J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 8-12.
- [8] 朱庆, 林琿. 数码城市地理信息系统: 虚拟城市环境中的 3 维城市模型初探 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.