

虚拟建筑群三维建模与可视化实现

张正峰¹, 付金强², 张发瑜¹

(1. 天津大学建工学院, 天津 300072; 2. 天津经济开发区化学工业区总公司, 天津 300480)

[摘要] 论述了地形、城市建筑物以及其他附属设施的三维模型建立方法; 探讨了三维对象模型与地形模型的匹配问题; 分析了虚拟建筑群的三维可视化过程; 采用三维可视化技术, 实现了某建筑群的三维建模与可视化表达, 具有很好的实用性, 为进一步进行数字城市的三维建模及可视化设计提供了一种辅助手段。

[关键词] 虚拟建筑群; 三维模型; 可视化; 地形匹配

[中图分类号] TP 391 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742 (2007) 05-0053-04

1 引言

随着城市化进程的加快, 传统的城市规划和管理手段已不能适应城市的飞速发展, 取而代之出现了“数字城市”、“虚拟城市”^[1], 这无疑提供给人们一种全新的城市规划建设与管理和工作生活的理念与调控手段, 尤其是 GIS 的空间信息综合处理能力与直观表现能力, 在处理城市复杂系统问题时, 能帮助人们更好地建立起全局观念与模拟直观感。而三维模型在 3D GIS 中具有重要空间格局与视觉作用^[2], 是建立“数字城市”或“虚拟城市”的基础和前提条件^[3]。

近年来, 计算机硬件、CAD 以及 3D GIS 的迅速发展为复杂建筑群的三维建模与可视化创造了条件, 并建立了多种模型^[4~7], 李德仁等提出三种三维空间数据模型集成^[8, 9], 其中用于城市三维建模采用 TIN (triangulated irregular network) 和 CSG (constructive solid geometry) 的集成模型^[10], 尽管 TIN 能够满足城市地形的充分表达, 但 CSG 只能表达外形相对规则的建筑物, 面对造型日益复杂的城市建筑物单纯采用 CSG 这种积木式的模型就显得力不从心^[11]。

由于建筑物三维模型以及所处地形的复杂性,

对于各部分实体或实物的三维建模不能采用统一的方法。笔者将三维模型抽象为地形模型、建(构)筑物模型以及附属设施模型, 分别阐述其三维建模方法, 并对某住宅小区进行三维造型和可视化技术分析。

2 建模思路与可视化原理

在 GIS 中, 模型是在几何元素基础上加上属性编码和属性表构成的, 基于图形对象与其属性特征的内部关联, 获取图形对象的同时也就获得了其空间坐标、拓扑关系及其相关属性信息。并且 GIS 能够存储及处理分布于地理空间不同位置对象之间的空间拓扑关系, 可以在对各组成部分进行分别建模后, 再变换到统一的地理空间坐标系中。各子模型在同一地形环境中实现协调, 从而在宏观层次上构成一个有序的系统。

可视化即将抽象数据表示转换成图形或图像图元表示的过程, 如图 1 所示。

基于 GIS 的三维可视化过程为创建和组装三维场景, 创建三维图形。三维实体模型再经过纹理映射及光照、消隐、阴影等计算, 显示在三维场景中。本文主要以 GIS 为开发平台, 借助 3dsmax, 建立三维造型。

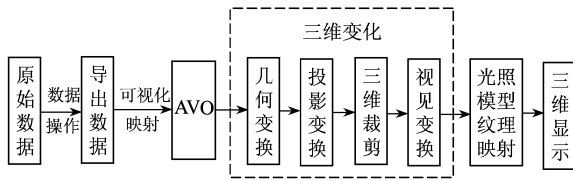


图 1 三维图形的可视化过程
Fig.1 Visualization of 3D graphic

3 虚拟建筑群三维模型的建立

在本建筑群三维模型的空间内，存在地形、建筑物、道路、水系等几类主要的对象，具有明显的几何特征，另外，由于地形和地物不同的几何特性，各部分实体或实物的三维建模不能采用统一的方法。根据数字化的要求和几何特征，将整个建筑群三维模型抽象为地形模型、建（构）筑物模型以及附属设施模型，三者有机结合，形成虚拟建筑群三维模型的完整表示如图 3。

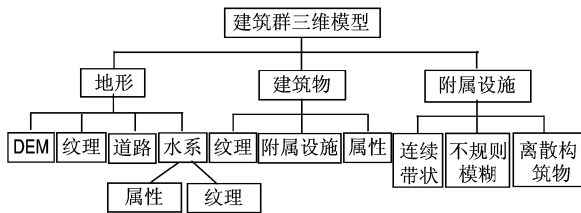


图 2 虚拟建筑群三维模型
Fig.2 3D urban models

3.1 地形三维模型的建立

数字城市的三维建模中，可采用数字高程模型（DEM）作为地形模型^[12]，而 TIN（不规则三角网）模型能够描述地形较为复杂的地区，是表达 DEM 最理想的方法。其生成可以由多种算法求得，如 Delaunay 三角形分治算法、逐点插入法等^[13,14]，但要有如下的生成原则：TIN 具有唯一性；力求最佳的三角形几何形状，使每个三角形尽可能接近等边形状；保证最邻近的点构成三角形，即三角形的边长之和最小。

要使形成的三角形网格更好地贴合地面，真实地反映实际地形，必须考虑地形线的影响，将它们作为三角形的边参。TIN 所描述的地形表面由地形点的密度决定，通过 GIS 开发平台，将带有高程属性的 CAD 地形图转化为数字高程模型（DEM），对地形进行填挖操作生成道路，再经纹理映射、光照等操作，便能形象地反映各种地貌特征。

DEM 包括平面位置和 高程数据两种信息，GIS 由等高线生成 DEM 的流程如图 3。

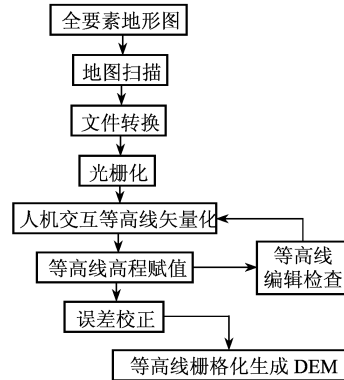


图 3 GIS 由等高线生成 DEM 的流程
Fig.3 Process of terrain to DEM in GIS

3.2 建筑物三维模型的建立

建筑物三维模型是城市三维模型的重要组成部分，这些实体模型属静态空间数据模型，包括空间位置、形状和空间拓扑关系等信息，静态空间实体之间的空间关系是通过 GIS 内建的拓扑结构来维护的。而目前对三维建筑物进行建模的两大策略均有不同程度的缺陷^[15]。采用 CSG 表示一个复杂的目标则比较简洁，便于描述规则的目标，且 CSG 模型具有可转换成其他表示的优点，但 CSG 模型通常不包括参数曲面，这就意味着由 CSG 转换产生的边界表示被进一步修正。因此，本文中假定建筑物的主体部分垂直三维空间面，对外形规则的建筑物利用 CSG 模型进行特征和参数化的实体建模，对造型相对复杂的建筑物屋顶或其他景观模型，如桥梁、凉亭、大门等，采用三维设计软件（3dsmax, multigen, microstation 等）建模，能够弥补几何建模上的不精细之处，这样既可减少数据的存储量，又可达到精确细致的建模目的。

由于建筑群三维模型所使用的数据量巨大，计算层次繁多，必然会产生构建速度慢、时间长、换图（包括飘动和更新）响应迟钝等现象，为加快三维图形的显示速度，利用“越近越清晰”的视觉规律采用细节层次模型方法即 LoD（level of detail）技术来提高系统显示效率，并采用雾化技术来增强效果。LoD 技术和雾化技术结合，能够较好地调节显示效果与显示速度的平衡，既可大幅度提高显示速度，又能提高景观模拟的真实感。

3.3 其他附属设施三维模型的建立

城市三维模型建立后，还应考虑照明、绿化、

美观等方面的影响，如公路附属设施，包括防护栏、路灯、标志线、隔离绿化带等，城市中的雕塑、树木、花草，以及云、雾等。这类模型的几何形状和表面材质与纹理特征具有一般性，可以重复使用，包括点状模型、线状模型、面状模型和纹理模型等。从三维可视化表现的真实感和建模方法上考虑，将这些附属实体模型分为以下几类。

1) 连续带状实体模型，如路面标志线、人行道等。对于连续带状实体的建模可在 3dsmax 采用放样完成，由于放样路径是按实际的设计坐标和高度生成，放样截面是按实际的截面尺寸绘制的，因此生成的三维放样实体自动按实际定位，避免了因为平、纵线形组合复杂而导致的难以定位问题。

2) 离散构筑物实体模型，如雕塑、栏杆等。城市中有大量的离散构筑物，其中有的构筑物沿线路呈规律分布（如栏杆、路灯等），有的位置不太固定（如雕塑等）。可由三维建模功能强大的 3ds max 软件来完成。通过缩放、扭曲、倾斜、倒角、适配及布尔运算，可方便地生成各种复杂的三维实体，再通过移动、旋转等定位方法，将这些离散实体准确定位到城市三维整体模型中。

3) 不规则模糊物体模型，如喷泉、树木、烟雾等。对不规则模糊物体，如云彩、树木和烟雾等，可采用随机的分形几何或粒子系统进行建模^[16]。

4 建筑群三维模型与地形的匹配

所有三维对象模型建立起来之后，地物模型与地形模型之间往往并不完全整合，可能有相互遮挡或分离的情况，不能真实反映实际情况。另外，为了满足真实感和用户视觉的要求，虚拟环境中的建筑物、车辆等三维对象不仅要能如实地表现其几何形状和基本特征，同时随着三维地形的无规律变化，也必须根据它与地面的接触点和邻近地形的局部特征进行姿态的变换，以避免出现部分陷于地下或悬于空中等违背自然规律的现象，这就需要将三维对象模型与地形模型进行完美的匹配。

1) 点状特征物与地形模型的匹配。采用改变地物模型的办法与地形模型进行整合。首先寻找出地物覆盖地形面中的最高点和最低点，然后将模型的水平基准面放在最高点，最后构造地物基准面之下的部分，使地物模型与地形模型无缝吻合。

2) 线状特征物与地形模型的匹配。采用将地形模型填挖处理的办法与地物模型相整合。如道路

应表现为道路中心纵轴线随地形起伏；道路表面横截面高程相同；周围地形经适当的填挖处理与道路无缝连接。

3) 面状特征物与地形模型的匹配。面状特征物与地形模型的匹配也采用改变地形模型的办法与地物模型相整合。可将地形多边形内的网格点高程置平，并将多边形经过的网格重新进行剖分，形成新的地形模型。

此外，实现三维模型与地形模型的匹配还需要考虑三维模型在地形坐标系中的投影定位、三维模型姿态与地形的匹配问题。进行这些匹配通常采用的方法有点匹配、线匹配、面匹配等^[17]，针对不同的三维对象具体选择。

5 可视化实现

在数字城市各部分三维模型建立起来之后，需对所有模型按一定方式综合组成整体三维模型，才能实现其三维可视化表达。

模型之间可能会有相互遮盖、色彩不真实等缺点，某些建筑物被地形所盖住，从表面看不到建筑物，这时可以对每一部分数据点赋予不同的透明度值，颜色值，光照强度值及光照方向等属性值，然后将虚拟环境中每一个数据点的属性值综合在一起，形成各层可视化数字模型。各层模型作为整体数据模型中的一分子，组成最终的整体三维模型。对城市三维整体模型的不同部分配上相应的材质，选择合理的灯光、摄像机路径及视角，然后逐帧渲染，生成动画文件，以一定的速率播放，可以实现三维视景漫游动画。三维可视化流程图见图 4。

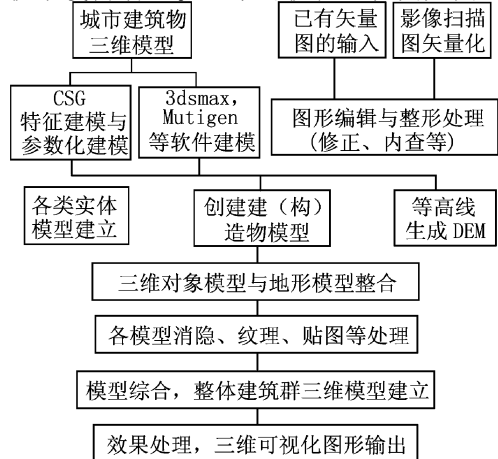


图 4 数字城市三维可视化流程图
Fig.4 Process of 3D urban visualization

按照本文方法,对某城市住宅小区进行了三维建模,并制作了相应的三维效果与场景漫游动画。所构建的三维模型可以形象、生动、逼真的表现小区面貌。

6 结语

数字城市三维模型中,涵盖各种类型的建筑物,对这些空间对象的三维建模是数字城市三维可视化的关键性工作。为保证模型效果的逼真性,将虚拟建筑模型所涉及的空间实体或实物进行分类,对不同的空间对象有针对性地采用不同的三维建模方法,建模过程中考虑了三维对象模型与地形的无缝匹配,实现了虚拟建筑群的可视化表达。对于进一步进行数字城市三维建模有重要的意义,有助于提高建模的效率和质量,为数字城市的进一步发展提供了可能,对于展示城市规划、宣传城市建设、提升城市形象具有重要的作用。

参考文献

- [1] Lin H T, Chiu M L. From urban landscape to information landscape Digital Tainan as an example[J]. *Automation in Construction*, 2003, 12: 473~480
- [2] 朱庆,高玉荣,危拥军,等. GIS中三维模型的设计[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2003, 28(3): 283~287
- [3] 龚俊,朱庆,睦海刚,等. 从CAD模型到数码城市GIS模型的若干问题[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2003, 36(3): 64~68
- [4] 王福建,吴国雄,孙勇. 三维实体模型在公路设计中的应用研究[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2002, 36(1): 7~11
- [5] 杨鹏,姚旺生. 基于PC的虚拟地形漫游系统的实现[J]. *计算机仿真*, 2003, 20(7): 78~80
- [6] 龚健雅,夏宗国. 矢量与栅格集成的三维数据模型[J]. *武汉测绘科技大学学报*, 1997, 22(1): 7~15
- [7] 常歌,黄野. 城市建筑物3D景观模型建立[J]. *中国图形图像学报*, 2001, 6(6): 590~593
- [8] 李德仁,李清泉. 三维空间数据模型集成的概念框架研究[J]. *测绘学报*, 1998, 27(4): 326~329
- [9] 李德仁,李清泉. 一种三维GIS的混合数据结构的的研究[J]. *测绘学报*, 1997, 26(2): 128~133
- [10] Haala, N. Brenner, C. Extraction of buildings and trees in urban environments[J]. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1999, 54: 130~137.
- [11] 姜永发,闾国年,彭世揆. 三维景观GIS几何建模方法——以无锡唐城为例[J]. *地理研究*, 2004, 23(2): 265~273
- [12] 蒋红斐,詹振炎. 顾及地形的铁路线路模型建立方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2002, 14(8): 778~780
- [13] Jay Lee. Comparison of existing methods for building triangular irregular network models of terrain from grid digital elevation models [J]. *International Journal of Geographical Information System*, 1991, 5(3): 267~285
- [14] Li Z L. Objective representation of DTM surfaces in scale dimension [J]. *Dynamic and Multi-Dimensional GIS*, 1999, 33(4): 23~27
- [15] 钟登华,宋洋. 基于GIS的水利水电工程三维可视化图形仿真方法与应用[J]. *工程图学学报*, 2004, 25(1): 52~58
- [16] 毛卫强,潘彦鹤. 植物三维建模方法综述[J]. *计算机科学*, 2000, 27(6): 35~37
- [17] 宋汉辰,魏迎梅,吴玲达. 三维对象模型与地形的匹配方法研究[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2003, 15(9): 1167~117.

3D Modeling and Visualization of Virtual Construction Group

Zhang Zhengfeng¹; Fu Jinqiang², Zhang Fayu¹

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. TEDA Chemical Industrial Park Corporation, Tianjin 300480, China)

[Abstract] 3D modeling methods of terrain, city structure, highway and other attached establishments are presented in detail. Taking into account the matching of 3D object with terrain model, the visualization processes of digital city are analyzed. 3D modeling and visualization of residential district are realized. Practical application shows that this approach has good adaptability and provides a new supplementary means for 3D visual design of digital city.

[Key words] virtual construction group; 3D modeling; visualization; terrain match