

三维景观 GIS 几何建模方法 ——以无锡唐城为例

姜永发^{1,2}, 闫国年¹, 彭世揆³

(1. 南京师范大学 地理信息科学江苏省重点实验室, 南京 210097; 2. 江苏省基础地理信息中心, 南京 210013;
3. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 南京 210037)

摘要: 本文实现了以 4D 测绘数据 (DEM、DOM、DLG、DRG) 为基本数据源的无锡唐城古建筑三维数字景观 GIS。同时, 在三维 GIS 传统三维空间数据模型的基础上, 提出面向对象的三维建模对象的划分不同与二维 GIS 中的点对象; 针对基于面状的三维 GIS, 提出有向曲线构建面状复杂单体的几何建模方法是较为简捷的途径。

关 键 词: 4D 测绘数据; 几何建模; 有向曲线

中图分类号: P208; P231.5 **文章编号:** 1000-0585(2004)02-0265-09

作为“数字城市”首先要解决的关键技术之一三维地理信息系统 (3D-GIS) 的研究方兴未艾。数字景观作为小区域范围的三维 GIS 有其典型特征, 所以研究数字景观的几何建模技术具有普遍性。可以说, 从数字地球到数字城市到数字景观, 在三维 GIS 技术层面上是一脉相承的。

3D-GIS 的研究、建立与应用是目前 GIS 学科的热点之一, 在自然资源管理、城市规划、作战模拟演练等应用领域显示出重要的价值和巨大的潜力^[1~8]。对于三维数据模型和数据结构的研究成果如雨后春笋。龚健雅提出的以矿山、地质为背景用面向对象的思想设计的矢量与栅格集成的三维数据模型^[9]; 常歌概括了物体三维模型可分为基于体表示和基于面表示两大类, 其中具有代表性的是结构实体表示和边界表示方法^[10], 提出了九类建筑物的几何结构以进行建模^[11], 这种建筑物 3D 模型建立的方法常常被 CAD 建模工作者采用; 李德仁提出三种三维空间数据模型集成: 其中用于城市三维建模采用 TIN (Triangulated Irregular Network) 和 CSG (Construction Solid Geometry) 的集成模型^[12,13], 尽管 TIN 能满足城市地形的充分表达, 但是 CSG 只能表达外形相对规则的城市建筑物, 面对日益人性化和大量的仿古城市建筑物 CSG 这种积木式的模型力不从心; 针对古建筑三维虚拟建模, 鲁东明等采用手工建模和基于 Morphing 的 IBR 方法以及多分辨率模型方法实现敦煌石窟虚拟重现与漫游^[14]; 意大利罗马大学的 Angela Antonicelli 等人正在进行的 Plinius 工程, 研究建立庞贝城的虚拟现实模型, 并实现三维漫游^[15]。

本文结合测绘的实际应用特点, 基于面状三维 GIS 建模, 探讨采用有向曲线构建三维地理实体的几何建模技术, 并以 4D 测绘数据 (DEM、DOM、DLG、DRG) 为基本数据源, 实现

收稿日期: 2003-07-20; 修订日期: 2004-01-31

基金项目: 国家高新技术发展规划 (863) 项目 (2001AA135130); 南京师范大学“211 工程”二期重点学科支持 (2002)。

作者简介: 姜永发 (1972-), 男, 浙江金华人, 工程师, 在读博士生。主要从事 GIS 应用与开发和虚拟现实技术研究, 已发表论文近 10 篇。E-mail: gis-nj @163.com

无锡唐城古建筑三维数字景观。

1 三维几何建模的空间数据模型与 4D 测绘数据

三维空间数据模型是人们对客观世界的理解和抽象,是建立三维空间数据库的理论基础。三维空间数据结构是三维空间数据模型的具体实现,是客观对象在计算机中的底层表达,是对客观对象进行可视表现的基础^[16]。本文以点-线-面-体(空体)-组的三维建模思想为基础,根据实际应用情况作部分改进,认为在三维空间中尤其在三维空间几何建模时可以不定义纯粹的“点对象”和“球对象”。根据空间解析几何原理,单纯的点无大小,建模元素构架可以定义为:线-面-体(空体/框体),基元为线;如同在平面几何(2D-GIS 空间实体)中定义建模元素为:点-线-面,基元为点。理由有两条:三维空间几何建模时抽象的“点对象”无意义,甚至是无法表示的,只能存在于曲线中。如果有人认为点状地物如树木和界碑可以视为点对象,除非是针对属性数据管理而言它只有惟一的属性即惟一 ID 号,否则那是不确切的,因为一棵树的矢量数据量往往是一座简单建筑物的上千万倍,这也就是为什么树木是当前三维建模的难点之一的原因,通常只能采用 90 度交叉的双影像或 60 度交叉的三影像代替,瀑布也是同样的道理,往往采取多幅影像更替实现视觉上的动感错觉。“球对象”作为特殊的封闭体多采用多圆立体内插获得。

1.1 三维 GIS 几何建模的空间数据模型划分

所以,基于面向对象的建模思想,模型如下^[9,13]:

点对象:不作划分定义。点在三维几何建模中作为构建线、面基本数学数据存在。

线对象:三维线对象。描述三维空间的线状地物,但主要作用是建模时的基础线。

面对象:三维面对象。描述三维空间中的实体,如城市建筑物的墙面。

体对象:描述一些有形状的地理空间实体,如城市建筑物。

组对象:也称复杂对象,描述若干个不同对象组合成的实体对象,如城市建筑群。

注记对象:描述三维场景中的一些文字描述信息,例如道路名称等。

纹理对象:是三维场景中单个三维面状地物的纹理影像,如建筑物墙面纹理等。

数字地面模型(DEM)对象:描述场景的地形形态,一般有格网(Grid)模型、不规则三角网(TIN)模型或两者结合的模式。

数字地面影像(DOM)对象:描述三维场景的地面概况图像,如经过数字微分纠正的航空遥感影像。

很自然,三维几何建模空间对象的数据结构如下:

三维点对象:不作划分定义。点坐标 $\{X_1, Y_1, Z_1\}, \{X_2, Y_2, Z_2\}, \dots, \{X_n, Y_n, Z_n\}$ 作为一系列离散值存在。

三维线对象:其坐标也是一组点坐标串构成,不同的是点坐标是三维相关的,而且可以封闭,如果封闭则起始点重合但有两对坐标值,简单的举例如正方形有五个点组成,首尾两点记录两次。三维线对象其坐标串通常表示为 $\{\{X_1, Y_1, Z_1\}, \{X_2, Y_2, Z_2\}, \dots, \{X_n, Y_n, Z_n\}\}$ 。

三维面对象:有两条或两条以上的直线或曲线拟合内插形成的曲面对象。三维面对象其坐标串通常表示为 $\{\{X_{i1}, Y_{i1}, Z_{i1}\}, \{X_{i2}, Y_{i2}, Z_{i2}\}, \dots, \{X_{in}, Y_{in}, Z_{in}\}\} \dots \{ \{X_{i1}, Y_{i1}, Z_{i1}\}, \{X_{i2}, Y_{i2}, Z_{i2}\}, \dots, \{X_{in}, Y_{in}, Z_{in}\} \}$ 。(其中 $n \geq 2; i \geq 2$)

三维体对象: 描述的是三维坐标空间中的一个简单几何物体, 如单个房屋。体对象分为两种: 简单体对象和复杂体对象。简单对象如正(长)方体、柱体、锥体等; 复杂体对象一般由若干个子对象组合而成, 如简单的房屋可以由屋顶、若干个墙面和底面组成。

三维组对象: 描述的是具有某些相同特性的若干几何对象的集合, 它的空间数据由各个子对象的 ID 组成: {ObjectID1, ObjectID2, ..., ObjectIDn}。

三维注记对象: 描述的是空间标注信息, 如房屋名称、道路、河流的名称等, 它的坐标具有相对准确性, 同时定位坐标也是由 {X, Y, Z} 构成的。

纹理对象: 记录的是空间面对象的贴面, 其数据是抽样点的 RGB 值, 绝大部分来自野外采集。

数字地面模型对象: 定义两种基本的数字地面模型对象: 格网模型对象(Grid)和不规则三角网模型(TIN), 常用的不规则三角网模型是对于精度要求比较高的特殊地形如山体、公路网, 根据其特征点建立不规则三角网来模拟该物体的外表面形状。

数字地面正射影像: 是一种特殊的纹理对象, 一般是地面的遥感影像或者航空数字正射影像。

1.2 4D 数据的获取与处理

测绘学上把数字高程模型 DEM、数字正射影像图 DOM、数字线划地图 DLG、数字栅格地图 DRG 合称为 4D 测绘数据。

数字高程模型(DEM: Digital Elevation Model)是在某一投影平面(如高斯投影平面)上规则格网点的平面坐标(X, Y)及高程(Z)的数据集^[17]。对于城市地区一般采用基于正方形格网对 DEM 表面建模的一种方法, 即 Grid 建模, 由方格网 4 个交叉点高程构成一个双线性表面, 其数学表达式为: $Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$, 这种方法数据处理、储存较为方便, 特别适合大区域、地形连续、全局性的 DEM 表面建模。

全数字自动摄影测量法是当前国内各个测绘单位最普遍的方法, 也是本文使用的方法。地形的三维/2.5 维 DEM 数据的获取是整个城市三维集成的地形基础平台。在生产 DEM 数据时, 地形变化复杂的地区, 增加网格数量(提高分辨率), 而在地形起伏不大的地区, 则减少网格数量(降低分辨率), 这一点在 3D-GIS 的基础数据获取中极为重要, 数据冗余的多少直接影响着浏览的速度。

利用全数字摄影测量工作站, 可快速获得 DEM。如果与 GPS 自动空中三角测量系统集成, 则可以形成从外业控制到内业加密和 DEM 生产的高度自动化。根据欧洲实验摄影组织 OEEPE 关于“自动生产的 DTM 精度”的实验结果表明, DTM 的精度可以达到航高的 0.12%, 这与摄影胶片数字化扫描的分辨率 15~30 μm 的精度相一致。本论文的唐城景区四幅 101 \times 81 矩阵每个 Grid 为 20 米的 1:1000 的 DEM 基础数据就是采用武汉适普软件公司的全数字摄影测量系统 VirtuoZo 获得。

数字正射影像图(DOM: Digital Orthophoto Map)是利用数字高程模型(DEM)对经扫描处理的数字化航空像片, 经逐像元进行投影差改正(数字微分纠正)、镶嵌, 按国家基本比例尺地形图图幅范围剪裁生成的数字正射影像数据集。

DOM 的核心技术是微分纠正, 它分为光学微分纠正和数字微分纠正。前者是利用计算机控制的正射投影仪来进行; 后者是利用计算机对数字影像进行逐个像元(Pixel)的微分纠正, 将中心投影航摄像片转变为正射投影, 获得相当于航摄影机物镜主光轴在铅直位

置摄影的水平像片,同时改化规定的比例尺。经典的光学微分纠正在数学上受到很大的限制,在实现原理上做了不同程度的近似,而且纠正单元(缝隙)由于光学机械的限制不可能太小,从而影响精度,另外,随着遥感技术的发展,多光谱扫描仪、侧视雷达、线性阵列式传感器(CCD)的出现,多种遥感影像使光学微分纠正举步维艰。

DOM的制作方法一般采取如下步骤:

利用数字微分纠正,在已知影像的内定向参数和方位元素以及DEM的情况下,进行影像重采样,生成单模型DOM。DOM色调或色彩调整或影像假彩色合成。DOM镶嵌、拼接。DOM图幅数据裁切,形成标准DOM数字产品。

本论文的四幅5000×4000像素,即50×40cm,分辨率为254dpi,灰阶影像格式,文件大小:57.3M。

数字线划地图(DLG: Digital Line Graphic)是每幅经扫描、几何纠正后的影像图,对一种或多种地图要素进行矢量化形成的一种矢量化数据文件,是现有地形图要素的矢量数据集,保存各要素间的空间关系和相关的属性信息,全面地描述地表目标。是一种更为方便的放大、漫游、查询、检查、量测、叠加地图。其数据量小,便于分层,能快速地生成专题地图,所以也称作矢量专题信息DTI(Digital Thematic Information)。在城市三维中常常利用DLG叠加到三维环境中,对部分高度较低的平房和其它次要建筑物未实现建模的情况下,对地理信息的一种补充。

采集DLG的方法有以下几种:基于地形图扫描矢量化(人工赋予部分建筑物的Z坐标);基于全数字摄影测量法;基于解析摄影测量。具体到三维数据的DLG基础数据在采集的过程中要注意两点,一是城市建筑物顶部没有复杂“配件”的情况下一定要保证顶点的Z高程坐标等值,具体作业过程中就是锁定Z坐标。本论文的DLG数据就是由于在采集时未注意这一点,而造成了部分建筑物的顶部倾斜,影响了三维场景的整体美观,致使后序修改工作量较大;另外是对复杂建筑物的数据采集除了常规的作业要求外,需要采集部分关键的轮廓线以备人工几何建模时做参考线使用。

数字栅格地图(DRG: Digital Raster Graphic)是现有纸质地形图经计算机处理后得到的栅格数据文件。每一幅地形图在扫描数字化后,经几何纠正,并进行内容更新和数据压缩处理,彩色地形图还应经色彩校正,使每幅图像的色彩基本一致。DRG数据在常规的城市三维建模中已很少用到,在两种情况下它有一定的利用价值,一是在基于地形图扫描矢量化,没有DOM影像的时候,DRG可以权且使用,丰富地表纹理的信息;另外是在城市三维建模中没有建模的部分如地下管线、通讯线、电力线,DRG作为附加信息叠加到DOM影像或DEM纹理上。

2 空间几何建模技术

2.1 有向曲线构建面状复杂几何单体的基本思想

基于面状的三维几何体(建筑物)建模可以采取以下两种方式:一是采用数字摄影测量方式获得规则几何形状的城市建筑物的三维坐标;另一种是对于不规则几何形状的建筑物,在测图时施测部分辅助线,整体模型采取有向曲线插值的方法实现。

规定曲线有方向,原则按照曲线上点的序号从小到大确定其曲线方向,每个点都有X, Y, Z三维坐标。复杂的模型都可以用插值运算获得“单面”、“环面”、“体面”等各

种形状的三维实体零件和整件（图 1）。采用有向曲线建模可以利用较少的曲线构建类型丰富形状复杂的三维实体。

基于此，我们对常规几何体做部分描述：简单直线可以由多于两个以上点构成。简单矩形至少由 5 个点构成，即起点和终点由两个点构成。空心无盖立方体至少由 10 个点构成。圆的几何形状定位不是根据圆心和半径来确定，普遍构成的点数较多。无真正意义上的球型。

采用有向曲线建模举例如下，假设三维空间有两条非异面有向曲线 AB 与 CD 作为基本线条构建简单平面（曲面），曲线 AB 与 CD 在平面坐标系 XOY 的投影为 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} ，（如图 1 - a）。第一种情况，两条直线同向内插三个点构建面对象图形，即 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} 或 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{AB} 两种组合的有向曲线对内插构建图形，在 $(X_A, Y_A, Z_A), (X_D, Y_D, Z_D)$ 坐标对之间内插三个点的坐标值，以及在 $(X_B, Y_B, Z_B), (X_C, Y_C, Z_C)$ 坐标对之间内插三个点的坐标值拟合构成一有界平面： $a_1X + b_1Y + c_1Z + d_1 = 0$ ，其中 $X \in [\min(X_A, X_C), \max(X_B, X_D)]$ ， $Y \in [\min(Y_C, Y_D), \max(Y_A, Y_B)]$ ， $Z \in [\min(Y_C, Y_D), \max(Y_A, Y_B)]$ （如图 1 - b）；第二种情况，两条直线异向内插三个点构建面对象图形，即 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} 或 \overrightarrow{AB} 与 \overrightarrow{CD} 两种组合的有向曲线对内插构建图形，在 $(X_A, Y_A, Z_A), (X_C, Y_C, Z_C)$ 坐标对之间内插三个点的坐标值，以及在 $(X_B, Y_B, Z_B), (X_C, Y_D, Z_D)$ 坐标对之间内插三个点的坐标值拟合构成一有界平面： $a_2X + b_2Y + c_2Z + d_2 = 0$ ，方程的定义域随有向曲线 AB 与 CD 线上点的数目变化而变化，在图形上表现为平面的片段。（如图 1 - c）。

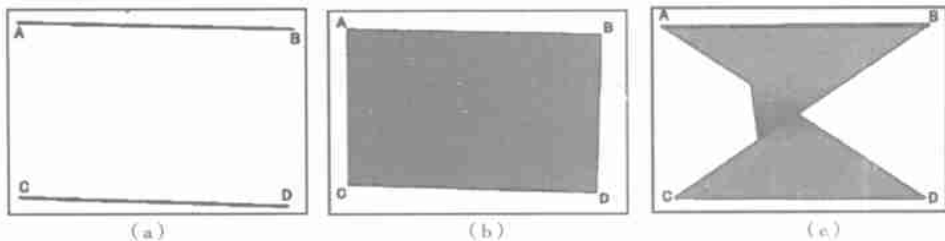


图 1 有向曲线线性内插建模

Fig. 1 Linear interpolation modeling of oriented curves

有向曲线构建复杂的曲面亦然，所不同的是曲线方程和拟合内插后的曲面方程更为复杂。假设有 K 条有向曲线 $\overrightarrow{L_1}, \overrightarrow{L_2}, \dots, \overrightarrow{L_K}$ 两两之间内插 N 个点（其中 $N \geq 1$ ），且拟合而成的曲面 S 包含 K 条基础曲线。

$$\begin{cases} F_{11}(x, y, z) = 0 \\ F_{21}(x, y, z) = 0 \dots\dots\dots \text{曲线 } L_1 \text{ 方程} \\ \dots\dots\dots \\ F_{1k}(x, y, z) = 0 \\ F_{2k}(x, y, z) = 0 \dots\dots\dots \text{曲线 } L_k \text{ 方程} \end{cases}$$

曲面 S 三元方程： $F(x, y, z) = 0$ ，根据排列组合公式很容易得到曲面数目为 $C_K^2 \times C_{K-1}^2 \times C_{K-2}^2 \times \dots \times C_3^2 \times C_2^2 \times 2^{K-1}$ ，（ $k \geq 2$ ，其中 k 为参加拟合内插的基础有向曲线数）。

2.1.1 火柴盒式建筑物三维建模 火柴盒式/平顶的城市建筑物通过数字摄影测量的方

法,利用航空像片、控制点得到建筑物的三维坐标,即按照正常的 DLG 数字产品生产方式作业即可,只是在作业过程中,切准房屋的一个顶角 Z 坐标后,务必锁定高程(JX4 和 VirtuoZo 数字摄影测量软件均有此功能),然后获得房屋其他顶角的 X、Y 坐标,而不是靠人眼在立体像对中获得建筑物建各个角的高程值。最后建筑物的各个侧面(无墙面纹理)和正射影像的顶部组成一个简单的三维建筑物模型。

2.1.2 仿古建筑等复杂造型三维建模 对于复杂造型的三维建模有人认为利用 3DMAX、CAD、Multi Gen 等商业软件的强大三维建模工具,并通过 .3ds、. dxf、. dwg 等文件实现数据交换^[18,19],采用三维数据互操作的方法在实际操作中有待商榷。理由是,不管数字城市还是数字景观都采用大地坐标系,系统中的每一对象都有具体的大地坐标值。而 3DMAX 的坐标系是笛卡儿坐标系,建模后难以与建筑物的实际坐标位置重合,需要坐标转换;即使通过 CAD 或 Multi Gen 得到精确的坐标和建立美观的三维模型,但是要做到三维数据的互操作,仍是当前 GIS 亟待解决的技术之一。我们曾测试过 3DMAX 和 CAD 的三维模型导入到吉奥的 CCGIS 和适普的 ImaGIS,其效果都不尽如人意,如 3DMAX 模型导入 ImaGIS 后的三维墙面发生“破碎”,分裂成大量无规则曲面,其数据量剧增,更谈不上后期的纹理映射,而且目标对象的属性数据管理也是一个问题。

对于仿古建筑等复杂造型,可以采取在数字摄影测量常规作业的同时,对仿古建筑等地物加测其三维轮廓线,包括底座地基线和飞檐特征线,为采用有向曲线插值建模做准备,因为在三维空间人为勾画仿古建筑的基础线条是不容易实现的,它要求建模者有丰富的三维空间想象力和艺术细胞,而且精度难以保证。因此三维 GIS 对传统的数字摄影测量提出更高的要求,表现在它不同于常规测制 DLG 的要求,它需要获取有精度保证的 Z 坐标,需要加测的内容增多,并且图形需要封闭,以免三维建筑物模型有裂口等。

采用有向曲线插值构建无锡唐城景区的阙楼三维建模过程(见图 2):其建模基于有向曲线构建面状复杂几何单体的方法,(a) 图中的轮廓线在水平面的投影曲线方向是一致的,方向为: $A_k B_k C_k D_k A_k$, 其中 $(k=1, 2, 3, 4)$; (b) 图为依据图形形状,轮廓线组合内插构建的单色渲染图; (c) 图为照片纹理粘贴后的效果图,粘贴纹理过程中并非是各个立面分别粘贴,由于轮廓曲线含有方向,纹理粘贴时只要单色渲染图与实地照片纹理同名点一一对应,每个立方体或棱台纹理粘贴可以一次完成。

2.1.3 水体、植被、林木、道路三维表现 水体和植被在三维 GIS 建模过程中一般通过借用 DOM 的丰富信息来表达,在获得 DOM 影像后,在图像处理软件中对影像的水体和植被进行图像处理,包括色阶、饱和度、亮度、对比度等,水体的影像往往由于光反射等原



图 2 阙楼三维图形 (a 阙楼侧轮廓线、b 阙楼单色渲染侧视图、c 阙楼纹理渲染侧视图)

Fig. 2 3D Graphics of QUE Pavilion

因颜色效果不佳, 需要调节。对于绿地、花坛、绿岛等植被也需要人工处理, 以达到较好的视觉表现。

道路针对不同的类型区别对待, 对于高架桥和景观路采用单独建模, 消除影像上的“视觉垃圾”, 使得更美观, 而对于一般的路面不提倡重新建模, 可依靠 DOM 影像解决; 树木的建模一直不能取得良好的视觉效果, 尽管可以采用影像交叉或“种植”树叶稀少的阔叶(如芭蕉)、叶枝水平走向的树种, 可是效果失真, 而且数据量不小, 因此树木的三维建模总体视觉效果还有待进一步提高。

2.1.4 模型库的定义 路灯、路牌、邮箱、公交站牌、交通红绿灯等三维景观中的地物。为减少重复建模的工作, 可以建立三维模型库, 在各种场景中使用外貌一样的三维模型, 关键是三维空间中模型的大小和定位。由于 DOM 影像不能立体表达仿古建筑的视觉效果, 无锡唐城景观的仿古建筑的亭顶采用了模型建库, 通过缩放、旋转、变形获得同一类型的建筑物顶盖, 大大减少了建模的工作量, 缺点是景观效果感觉单调和失真。

2.2 材质纹理编辑与映射

3D-GIS 的建筑物纹理需要到实地采集大量地面近景摄影影像。建筑物屋顶和部分墙面可在航空影像上提取纹理, 但后者的基本信息量远远不够, 所以我们主张墙体的侧面不采用从航空影像上提取的方法, 除非实地拍摄有危险的侧面或无法取景的侧面。当前, 地面近景影像一般直接采用数码相机拍得数字照片后作纹理数据之用, 而摄像机获取的视频数据主要是提供每个单体城市建筑物的整体效果, 在进行纹理映射时不至于张冠李戴。

之后, 在图像编辑软件 Photoshop7 中对外业照片进行扫描或直接导入计算机, 对照片进行常规的调色、直方图拉伸等处理外, 还需对照片的多余部分裁切和墙面的缺损部分补齐, 最后压缩成 JPEG 的格式存盘, 供三维物体纹理纠正和粘贴使用。

与从 DOM 影像上裁切的部分建筑物顶部不同的是, 地面近景影像无法获得 3 个方位元素、6 个外方位元素和 6 个内定向参数, 无法象航空影像一样使用共线方程, 由于近距离和大视角影像存在较大的透视投影效应, 需作透视纠正^[20]。在系统的用户界面上, 先在数字近景影像窗口中用鼠标点出墙面各个端点所对应的位置, 而后用鼠标点取三维可视化窗口中建筑物对象的某个墙面的对应点, 进而提取纹理。

无锡唐城景观地面近景摄影, 使用富士通数码相机历时一周, 采集的纹理共 1300 张。大量的纹理需要分图编号, 在 DLG 线划图上同时编号, 作用与摄制视频一样, 避免回到内业后映射的纹理与实地不对应。

3 唐城景区三维景观重现

3.1 实验基础数据

本课题选择了太湖畔的唐城风景区和旅游度假区作为正式试验区, 航摄时间 1998 年, 黑白航片, 2001 年使用的为 1:4000 的彩色更新航片, 航测成像比例尺为 1:1000, 共四幅, 面积共 1.0 km²。

采用武汉适普公司的全数字摄影测量系统 VirtuoZo3.2 软件。利用航测外业控制测量和内业加密成果、八个像对的航片获得以下数据: 格网间距为 20 米的 DEM 数据四幅 876-225.dem、876-230.dem、872-225.dem、868-225.dem; 经过压缩的 DOM 影像数据四幅 876-225.jpg、876-230.jpg、872-225.jpg、868-225.jpg; 具有三维坐标的建筑物矢量线划图四幅

876-225. xyz、876-230. xyz、872-225. xyz、868-225. xyz。

3.2 系统框架和数据流程 (见图3)

3.3 三维景观虚拟场景

建立数字景观系统后，还涉及属性数据库的建立、环境光源的设置、视景简化等，采用交互数据语言 IDL (Interactive Data Language) 的多分辨率模型 MRM (Multi-resolution Model) 可以获得对地形较为理想的简化，有关利用 IDL 实现三维地形多分辨率模型简化和消隐，以及与属性数据库的链接将另文介绍。以下 4 幅场景是无锡唐城数字景观系统的捕捉影像。(见图版 3)

4 结论与展望

本文提出的基于 4D 测绘数据，采用有向曲线建立复杂几何单体模型的方法是有效的。概括为以下三点：1、三维 GIS 的建模，尤其以 4D 测绘数据为基础数据的三维景观系统，对常规数字摄影测图提出了更高的作业要求和作业内容。2、三维 GIS 以有向曲线为基础可以构建类型丰富形状复杂的面状对象（几何单体）、实现三维建模。3、针对三维 GIS 的地理空间三维坐标不同与二维 GIS 的二维坐标系，在基于面状的三维 GIS 建模过程中，三维 GIS 对零维对象甚至一维对象定义减弱。

总之，数字景观的几何建模是建立虚拟景观的核心技术和前提，在实际建模过程中视场的美观和建模的效率存在一定的矛盾，需要我们“抓大放小”，根据实际要求进行取舍和简化，采用快速高效并且符合精度要求的三维建模与显示，将是以后研究的重点。同时，我们有理由相信随着计算机硬件技术的发展和数字图形图象算法的改进，三维 GIS 完全可以符合“数字城市”海量数据的技术要求。

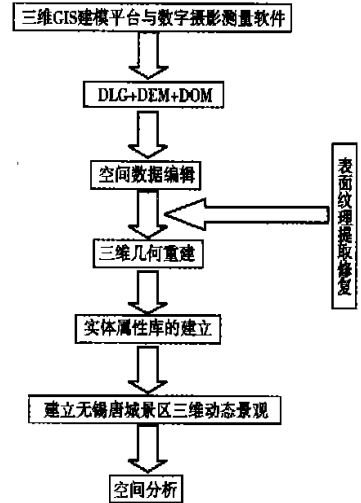


图3 系统框架与数据流程

Fig. 3 Framework of 3D- GIS

参考文献：

[1] Grayska B. Of minds and men. In: Advances in Psychology. Edited by Grayska B and Mey J L. North-Holland: Elsevier Science B. V. 1996. 1~23.

[2] 陈小钢. 虚拟地理环境和地学认知检验. 地理研究, 2003, 22(2): 245~252.

[3] 龚建华, 林珏. 虚拟地理环境. 北京: 高等教育出版社, 2001.

[4] Bishop I D, Karadaglis C. Linking modelling and visualization for natural resources management. Environment and Planning B: Planning and Design, 1997, 24: 345~358.

[5] 顾朝林, 段学军, 于涛方, 等. 论“数字城市”及其三维再现关键技术. 地理研究, 2002, 21(1): 14~24.

[6] 高俊. 虚拟现实在地形环境仿真中的应用. 北京: 解放军出版社, 1999.

[7] 游雄. 基于虚拟现实技术的战场环境仿真. 测绘学报, 2002, 31(1): 7~11.

[8] Batty M and Howes D. Visualizing urban development. Geo Info Systems, 1996, 6(9): 28~29, 32.

[9] 龚健雅, 夏宗国. 矢量与栅格集成的三维数据模型. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(1): 7~15.

[10] Xiaoyong C, Ikeda K. Three-dimensional Modeling of GIS Based on Delaunay Tetrahedral Tessellations. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Munich, Germany, 1994, 30: 124~139.

[11] 常歌, 黄野. 城区建筑物 3D 景观模型建立. 中国图象图形学报, 2001, 6(6): 590~593.

[12] 李德仁, 李清泉. 三维空间数据模型集成的概念框架研究. 测绘学报, 1998, 27(4): 326~329.

- [13] 李德仁,李清泉. 一种三维 GIS 的混合数据结构的研究. 测绘学报,1997,26(2):128~133.
- [14] 鲁东明,潘云鹤,陈任. 敦煌石窟虚拟重现与壁画修复模拟. 测绘学报,2002,31(1):12~16.
- [15] Antonicellia, Scisciog, Rosicarellir, et al. Exploiting Pompei Cultural Heritage: The Plinius Project. [s. l.] : Eurographics Association, 1999.
- [16] 汤国安,赵牡丹. 地理信息系统. 北京:北京科学出版社,2001. 183~201.
- [17] 李志林,朱庆. 数字高程模型. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000. 203~251.
- [18] 朱庆,李德仁. 数码城市 GIS 的设计与实现. 武汉大学学报,2001,26(1):9~10.
- [19] 李德仁,朱庆. 数码城市:概念、技术支撑和典型应用. 武汉测绘科技大学学报,2000,25(4):283~288.
- [20] 张新长,曾广鸿,张青年. 城市地理信息系统. 北京:科学出版社,2001. 313~324.

Research on geometry modeling method of three-dimensions landscape GIS : a case study of Tangcheng in Wuxi

JIANG Yong-fa^{1,2}, LV Guo-nian¹, PENG Shi-kui³

(1. Key Lab of Jiangsu of Geographic Information Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 2. Jiangsu Fundamental Geographic Information Center, Nanjing 210013, China; 3. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract :Starting from the three dimensions and virtual reality, the hot spots of "digital Earth" and "digital city" of GIS, this paper analyses the development status of 3D visualization GIS at home and abroad, and discourse upon the key technologies of 3D- GIS. In view of the specialty of surveying and mapping, the 3D cyber-landscape GIS in Tangcheng of Wuxi was realized based on 4D surveying and mapping data (DEM, DOM, DLG, DRG).

In addition, some modifications on traditional 3D spatial data model of GIS were made. The authors think that the division of point object in 3D modeling of object-oriented is different from that of 2D GIS. The single tree of the generally defined point object is usually composed of bulk data storage and one of the difficult technologies of GIS modeling.

At the same time, the authors think that the way of using oriented curves for modeling complicated geometric objects is simple and direct. Based on oriented curves the paper makes several descriptions for common geometric objects, and puts forward the mathematical way which constructs simple surface object and complex 3D objects.

As a basic data stream, 4D of surveying and mapping data was modeled by automatic and manual ways through digital technology for editing textures of buildings and linking their attribute data, then the 3D landscape reappearance and virtual reality of Tangcheng scenic spot were completed.

Key words :4D surveying and mapping data; geometry modeling; oriented curves



图4 无锡唐城数字景观场景图

Fig.4 Scenic graphics of Wuxi Tangcheng digital landscape