

# 一种城市三维建模的集成处理方法

高云琼 徐建刚 黄照强 黄杏元

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

**摘要** 在对 AutoCAD 和 MapInfo 的数据结构进行分析比较的基础上, 首先提出了从 CAD 图形符号及注记中, 提取高程点、高程值以及相关属性信息的面积匹配与类型转换的方法; 然后创建了基于 CAD 线划建筑物的重现点-线拓扑关系生成多边形的方法; 最后实现了地形高程与建筑物空间及其属性特征值的自动获取。在此基础上进一步构建了城市 DEM 模型和实现了三维影象显示, 形成了由 CAD 数据→GIS 矢量数据→GIS 栅格数据→三维影象的一种城市三维建模的集成处理方法, 该方法较之工程化的航空摄影测量方法简单、快速, 具有较大的实用价值。另外, 还以苏州市 32 号街坊的地形数据为例进行了实验, 获得了较好的实验结果。

**关键词** 三维城市模型 地理信息系统(GIS) 计算机辅助设计(CAD) 数字高程模型(DEM)

中图法分类号: P208 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)03-0282-05

## A Integrated Processing Method of 3D Urban Modeling

GAO Yun-qiong, XU Jian-gang, HUANG Zhao-qiang, HUANG Xin-yuan

(Dept. of Urban and Resource Science, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract** In this paper, after an analysis and comparison of data structure between MapInfo and AutoCAD, first a method for distilling elevation points, elevation values and other correlative information from graphical symbols and labels in CAD by matching area and transforming types is put forward. Second a means is designed to create building polygons by the way of recurring topological relations between points and lines, on the basis of lines that represent buildings in CAD. Finally, automatically acquiring spatial and attributive features of terrain elevation and buildings is implemented. Making use of these processed data, an urban DEM model and a display usage of 3D images are constructed. Getting cross the procedure of data processing in which data transform from CAD format to GIS vector data then GIS raster data and 3D images, an integrated processing method of 3D urban modeling is formed. The method adopted in this paper is more simple and faster than the ways and means of engineering air photogrammetry, and it has a more practical value. Here, an example based on the terrain data of the 32th Jiefang in Suzhou is given by using the integrated method of 3D urban modeling and a fairly good result is attained.

**Keywords** 3D Urban model, GIS, CAD, DEM

## 0 引言

近年来,随着“数字城市”建设热潮的掀起,虽然三维城市模型作为城市 GIS 的重要组成部分,已开始应用于城市规划、建筑设计、无线通讯等领域<sup>[1]</sup>。然而,在三维城市建模过程中,数据采集与转换是制约其实用性的主要问题。

目前,三维城市模型主要是采用数字高程模型

的构建方法,即首先必须生成城市地面和建筑物顶面的高程栅格数据。人们通常采用航空摄影手段来获取城市立体象对,再运用自动空中测量技术逐一测量建筑物高程<sup>[2]</sup>来获得这些数据,而这一工程化方法要花费大量的人力、物力和财力,有无一种较好的方法来获取这些数据呢?我们在城市规划与管理信息系统开发实践中,发现我国城市地形图绝大多数采用 AutoCAD 数据格式建库,其中包含了建立城市三维模型的基本数据,如地面高程点、高程注

记、建筑物边界线划及其楼层数注记等。笔者通过对 AutoCAD 数据结构的深入了解,并运用 MapBasic 开发工具,以 AutoCAD 格式的城市全要素地形图数据库为数据源,在 MapInfo 环境下,建立了一种城市地面和建筑物高程数据自动采集模型,并在遥感图象信息系统软件 ER Mapper 中,生成了城市三维虚拟影像。

### 1 城市地形数据采集模型算法实现

本文采用将城市地形图中高程点注记转换成对应的高程点属性值,再将建筑物线划组织成多边形,并用由楼层数表示的对应建筑物多边形的属性值来进行城市三维建模的关键技术路线。实质上,这就是将地形图的 CAD 数据模型转化为 GIS 数据模型(图 1)的过程。

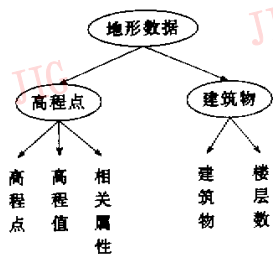


图1 城市地形数据采集模型

#### 1.1 CAD 和 GIS 数据结构比较

AutoCAD 是计算机辅助设计软件,其几何图形主要是点、线划和注记,它们不带属性数据,并且相互之间无空间实体关系。MapInfo 是 GIS 软件平台,几何图形主要有区域、多边形、折线、直线、点和文本注记,它以空间实体来组织数据,每个实体对应着属性数据库的一条记录<sup>[3]</sup>。

CAD 地形数据主要包括:

- ① 线划图形 如建筑物、道路、河流、防护堤、电线杆等。
- ② 点状图形 如测标高点、高程点、树木等。
- ③ 文本注记 如道路名、地名、建筑层数、高程值、与高程相关的属性信息以及一些说明性文本。

在 GIS 地形数据中,一般以封闭多边形或区域表示建筑物、河流、道路等;点表示高程点、测标高点等;直线与折线表示防护堤、部分道路、电线杆等;而对于 CAD 中的各种注记,以相应地理对象的属性形式表示。

#### 1.2 高程点和高程值的提取与匹配

将 AutoCAD 地形数据的 DXF 文件直接转换

成 MapInfo 的 Table 文件,其高程点在 MapInfo 中表现为区域对象和椭圆对象,而高程值和相关属性信息表现为文本对象。通过反复试验,本文设计出了一种基于面积匹配与类型转换的高程点、高程值以及相关属性信息的提取方法,其流程图如图 2 所示。由于代表高程点的区域对象和椭圆对象不但面积大小不一,而且同一类对象之间,面积也有轻微变化,为了能够全面地提取高程点,因此通过试验,建立了依据对象类型来设置面积容差的方法。即在判断对象类型的基础上,辅以面积参数作为过滤器的方法。这样,得到的高程点对象就较为准确。当提取高程值文本时,首先,判断对象的类型是否为文本类型;然后,依据高程值数值的特点来决定高程文本对象的长度,或者依据相关属性信息的特点,即依据第一个字是否为大写的英文字母来取舍。

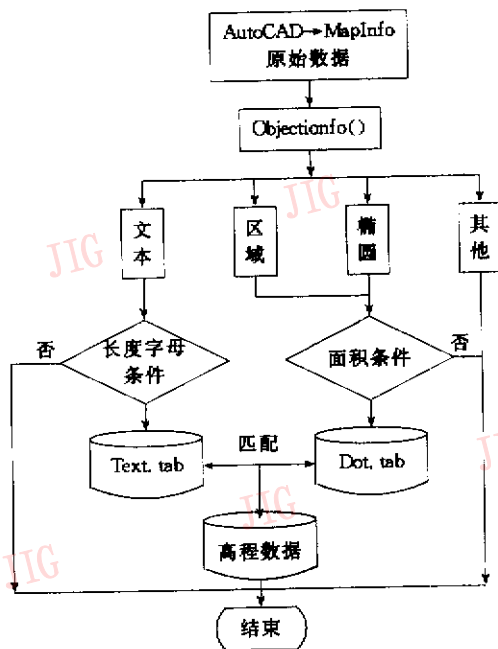


图2 高程数据采集算法流程图

将提取出来的高程坐标和高程值注记文本分别存到高程点表(Dot. tab)和文本表(Text. tab)中,然后,以下列步骤进行高程点与高程值的匹配:

- (1) 取图形表中每个对象的中心点坐标作为高程点的坐标,创建一个点对象,即为高程点;
- (2) 用自定义函数 BufWid() 依据对象的类型和 CAD 格式地形数据的特点来判定高程点对象与高程值文本之间的距离容限,以决定查找半径;
- (3) 以高程点为中心,首先搜索半径为BufWid()范围内的文本,并将之存于临时表中。同时考虑如下 3 种情况:①当临时表中的记录数 $\leq 0$ 时,说明此对象不代表高程点;②当记录数 $> 0$ ,且文本有值时,说明离高

程点最近的文本就是高程值文本;③对象是椭圆时,除了找高程值文本之外,还要考虑到高程点的相关属性信息,即离高程点最近的数值为 0 的字符串。

(4) 把新创建的点、点坐标、高程值、属性放到新表中,并保存,结果如图 3 所示。

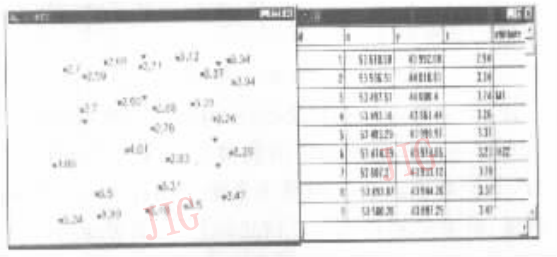


图 3 高程点空间和属性数据对照图

### 1.3 建筑物及建筑层数的提取与匹配

若转入 MapInfo 中的建筑物图形表现为零散的线段,则建筑层数表达为文本对象.由于 MapInfo 本身不具有拓扑数据结构,即这些建筑物线划不能自动生成多边形.为此,本文创建了一种重现点-线拓扑关系的方法.具体实现步骤如下:

(1) 提取组成建筑物的线段,建立线段集合表(表 1),表中有线段编码、线段两个端点的坐标值( $X_A, Y_A, X_B, Y_B$ )和端点被使用过与否的记录( $R_A, R_B$ ).

表 1 线段集合表

线段编码	$X_A$	$Y_A$	$X_B$	$Y_B$	$R_A$	$R_B$
1	53 208.394	43 847.978	53 215.237	43 850.170	1	1
2	53 211.060	43 837.135	53 213.593	43 840.821	1	1
...	...	...	...	...	...	...

(2) 指定线段一端点为中心,首先搜索指定半径范围内可能与之相连的线段端点,并取各端点坐标的平均值作为此结点的坐标;然后更新各端点的坐标值,建立结点集合表(表 2);最后修改线段集合表中用过的端点记录,如用过,则  $R_A$  或  $R_B$  为 0,否则为 1;接着再以线段的另一端点重复前面操作.由于建筑地形图中一个结点最多有 4 条线段相连,因此设计了 4 个字段表示四个线段码,没有线段的字段用 0 表示。

表 2 结点集合表

结点号	X	Y	线段 1	线段 2	线段 3	线段 4
1	53 208.394	43 847.978	1	8	3	7
2	53 211.060	43 837.135	7	5	0	0
...	...	...	...	...	...	...

(3) 以表 1 为基表,重复步骤(2),直到表 1 中所有的  $R_A$  和  $R_B$  都等于 0 时结束。

(4) 删除线段数为 1 的结点记录和线段记录,

并更新表 1 和表 2。

(5) 依据左转算法,指定逆时针方向为搜索方向.搜索时,首先由指定线段的一端点开始,计算该线段与其他同结点出发的各线段的方位角,其中方位角最大的为该线段的后续线段<sup>[4,5]</sup>;再由后续线段的另一端点开始,重复左转算法,直到端点的坐标值与起始线段的另一端点相同为止,记下左转算法经过的端点,并将其坐标存入临时表中。

(6) 用临时表的坐标值,创建建筑物多边形。

(7) 交换起结点、终结点的坐标,重复步骤(5)。

在地形图中,由于建筑物与建筑层数文本有着空间包含关系,因此,直接用 SQL 语句就可以读取建筑层数,并将其作为建筑物属性值来实现两者的匹配.结果如图 4 所示。



图 4 建筑物空间数据与属性数据对照图

## 2 城市 DEM 的建立及其三维虚拟影像的实现

由于高程点主要体现城市微地貌,建筑物则体现城市微地貌之上的空间格局,因此,城市综合高程信息应该是在微地貌信息的基础上,叠加建筑物高度的信息.也就是说,只要建立了微地貌 DEM 和建筑 DEM,就建立了城市 DEM,依据城市 DEM 就可以进行三维虚拟影像的显示.运用 GIS 与 RS 集成处理方法,本文建立了如图 5 所示城市 DEM 及其三维显示的技术路线。

### 2.1 构造城市 DEM

地学领域常用三角网(TIN)或格网(GRID)来模拟地形表面,但两种方法有各自的优点和缺点.其中 TIN 模型可以描述地形较为复杂的地区,具有较高的精度,但存储量较大;GRID 模型具有较小的存储量和简单的数据结构,便于存储和管理,适用于平坦地区<sup>[6]</sup>.经过比较,本文采用 GRID 模型来构建苏州市 32 街坊的微地貌和建筑物 DEM。

#### 2.1.1 构造微地貌 DEM



首先依据地形图边界的最大值和最小值以及自定义的格网宽度(Gridwidth)来确定格网的行数和列数,并建立格网;然后以要确定高程值的格网点为中心,以 Gridwidth 为半径来搜索高程点;搜索时,若搜索到的高程点少于 4 个,则搜索半径扩大一个 Gridwidth,以此类推,直到搜索到的高程点数大于等于 4 个为止.若搜索到的点数超出 4 个,则以各点到上述中心的距离进行排序,然后取最近的 4 个点为参考点,而高程值( $H$ )可以通过以下公式来确定.

$$H = \sum (W_i \times H_i) / \sum W_i$$

其中,  $H_i$  为搜索到的高程点的高程值;  $W_i = 1/D_i$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;  $D_i$  为搜索到的高程点到此格网点的距离.

格网中所有的高程值都确定之后,就得到城市微地貌的 DEM.

### 2.1.2 构造建筑物 DEM

由于建筑物的属性数据与高程点的属性数据有所不同,即建筑物的属性数据是建筑层数  $c$ ,而不是

高程值,因此不能直接使用.为了快速生成 DEM,本文将建筑物层高近似为一个定值,即取 3.5m 为层高.利用最初创建的格网和建筑物之间的空间包含关系,对包含在建筑物中的格网高程值赋以层数  $c \times 3.5$ ,从而得到了建筑物的 DEM.

将微地貌 DEM 和建筑物 DEM 的高程属性值进行相加运算,就得到城市 DEM.

### 2.2 三维虚拟影像的实现

本文以遥感图象处理软件 ER Mapper 作为三维城市模型的显示工具,生成了一幅三维城市虚拟影像图(图 6),影像图生成时,ER Mapper 采用 XYZ AscII Grid 数据格式作为基本的数字高程数据格式,此格式数据表达了点阵的位置与象元值(高程值).用上述方法建立的城市 DEM 数据虽有行列值和 高程值,但格式是 MapInfo 的 Table 格式,无法直接使用,必须进行数据格式转换,即把高程数据进行直方图拉伸,再变换成象元值.上述转化完成之后,导入 ER Mapper,再应用直方图拉伸的反函数把象元值还原成高程值,并通过 ER Mapper 的 3D Perspective 算法即可生成三维城市虚拟影像.

### 3 小 结

上述方法原理及其实例表明:以 CAD 格式的地形数据为基础,通过转换为 GIS 数据模型,使进一步创建的城市三维建模方法具有好、易、快、省的优点.本文的建模方法还实现了城市三维模型与 GIS 的有机结合,从而,可以直接应用于城市道路交通、供水、排水的规划和管理,以及城市暴雨汇水区域分析,甚至可以结合高斯模型进行大气环境污染

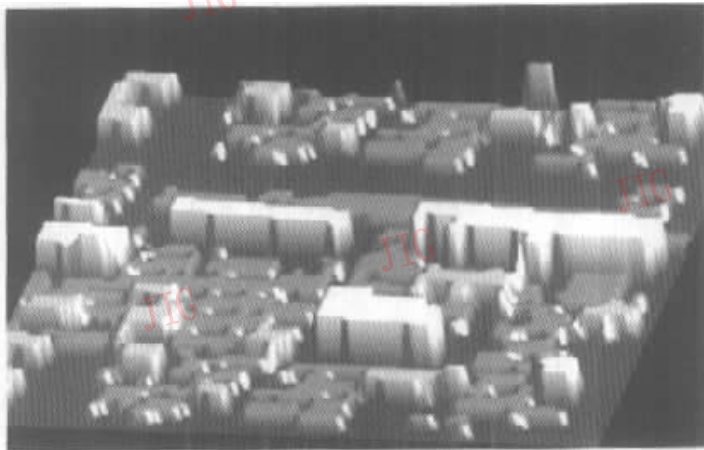


图 6 三维城市虚拟影像图

物浓度的相关分析.

致谢 本文的工作得到了苏州市规划局周建斌同志的大力支持与帮助,谨表谢忱

### 参 考 文 献

- 1 齐敏,郝重阳,佟明安. 三维地形生成及实时显示技术研究进展[J]. 中国图象图形学报,2000,5A(4):269~274.
- 2 柯正谊,何建邦,池天河. 数字地面模型[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993:1~14,112~123.
- 3 李德仁,关泽群. 空间地理信息系统集成与实现[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000:182~196.

- 4 杜清运. 地图数据库中多边形数据的自动组织[J]. 测绘学报,1989,18(8):204~212.
- 5 黄杏元,汤勤等. 地理信息系统概论[M]. 北京:高等教育出版社,1989:39~44.
- 6 武晓波,王世新,肖春生. Delaunay 三角网的生成算法研究[J]. 测绘学报,1999,28(2):28~35.

高云琼 1978年生,1999年毕业于华东师范大学地理系,目前为南京大学GIS硕士研究生. 研究方向为遥感与地理信息系统.

徐建刚 1960年生,南京大学教授,博士生导师. 目前从事城市地理信息系统的教学与研究工作.

黄照强 1973年生,南京大学GIS硕士研究生. 研究方向为遥感与地理信息系统.

黄杏元 1938年生,南京大学教授,博士生导师. 目前从事地理信息系统的教学与研究工作.