

# 公路三维模型建立与数据组织

左小清<sup>1</sup> 李清泉<sup>1</sup> 唐炉亮<sup>1</sup>

(1 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

**摘 要:**以公路设计数据为基础, 讨论了地形、公路及其构造物的三维模型的建立方法。针对公路呈线性分布的特点, 采用动态分段技术来组织管理路面三角形数据及道路属性数据, 并在三维环境下, 对经典的二维线性参照系统进行扩展, 使之能满足公路附属设施三维模型的定位及其位置查询, 并在具体项目 中得到验证。

**关键词:**公路三维模型; 道路设施; 动态分段

**中图法分类号:**P208; TP311. 12; U412

目前, 公路管理 GIS 系统(包括路面、桥梁、附属设施等)基本上是基于二维的, 因此, 真实的三维空间内的许多现象依靠现有的 2D GIS 得不到很好的解决<sup>[1]</sup>。公路三维模型的数据来源有多种, 如从影像中提取的道路特征数据、采用 GPS 或全站仪野外测量的离散点数据、公路设计数据等。本文主要从公路设计数据着手来讨论公路及其构造物等三维模型的建立方法。

## 1 公路三维模型的建立

公路三维模型的建立包括地形模型、路面及构造物模型和道路附属设施模型三部分。

### 1.1 地形模型的建立

地形的表达在三维公路景观模型中不可缺少。对于地形模型的数字描述, 国内外的学者进行了大量和广泛的研究, 其中比较有代表性的有基于格网结构(grid)和基于三角网结构(TIN)

两类。从可视化的角度考虑, TIN 具有更好的表达效果, DEM 是表达地形最常用的方法, 而 TIN 是目前表达 DEM 最理想的方法<sup>[2]</sup>。考虑到带状地形特征和路面的限制条件, 系统选择 TIN 来表达地形。对于三维公路表达, 除了点状地物(如路灯等)外, 所有地物模型只要是与地形模型相交的, 都应该被镶嵌在地形模型中, 成为地形模型中的一部分或一层, 这样才能在三维显示时取得正确的表达效果。因此, 路面及其构造物必须镶嵌在地形模型中, 应该用道路模型替换地形模型中属于此范围的三角形, 使得地面模型和道路模型无缝地集成在一起。具体思路是: 先建立地形模型, 然后将设计数据的外围轮廓线提出来, 一个外围轮廓线组成一个平面多边形。将该多边形按约束边对 TIN 进行插值处理, 并将该多边形内的三角形剔除, 步骤如图 1。图 2 是按上述操作步骤得到的地面模型表达, 路面三角形被剔除。

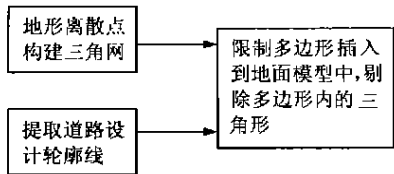


图 1 建立地面模型步骤  
Fig. 1 Steps of Building Terrain Model

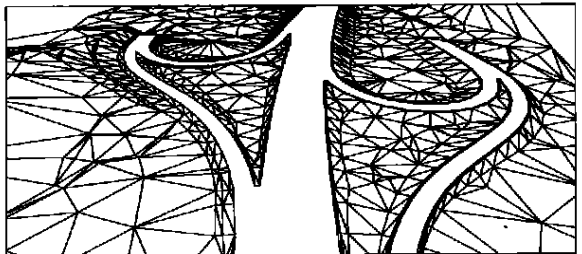


图 2 不包含路面的地形表达  
Fig. 2 Terrain Model Excluding Road Surface

### 1.2 路面及构造物模型

路面及其构造物模型是道路附属设施模型空间定位的载体,是三维公路GIS空间分析的主要工具。TIN面片是道路模型最好的表达方式。公路设计数据主要有纵、横断面数据,纵断面其实是道路中心线,一般以里程桩号表示,主要包括桩号、三维坐标( $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ )和方位角( $A$ );横断面设计数据包括桩号、偏距、高程和编码等。编码说明点的类型(如路边、水沟、边坡等),通过编码可以确定相邻断面之间点的连接关系,左边和右边用单双号区分。

根据纵横断面信息,可求出所有横断面上各点的三维坐标,按顺序存入顶点坐标数组。计算公式为:

$$x = x_0 + d \cdot \cos A, y = y_0 + d \cdot \sin A$$

式中, $x_0$ 、 $y_0$ 为中心线桩号点坐标; $A$ 为横断面方位角。

图3为公路横断面设计示意图。由于路面和构造物都是采用三角网来表达,其三角形部分方法基本一样。以路面为例,相邻横断面编号为1和99(或1和100)的点按逆时针顺序组成多边形,一般为四边形,如( $1_1, 99_1, 99_2, 1_2$ ),也有三角

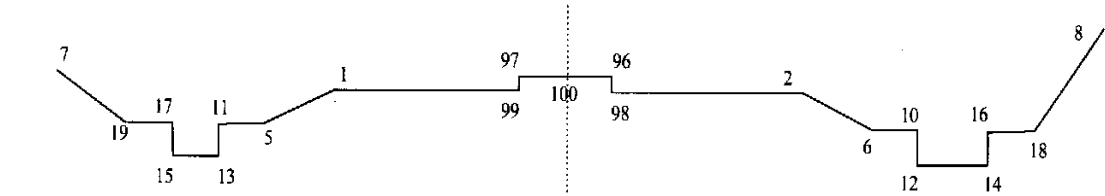


图3 横断面设计图  
Fig.3 Design Graph of Transect

形的(如两点重合);然后对多边形进行三角形剖分,如图4(a)。路面及各构造物具有各自的材质和纹理特征,同一构造物的不同侧面有时也具有各自的材质和纹理特征,如排水沟,两个侧面

17-15、11-13的材质、纹理特征与沟底面13-15不同,因此进行三角形剖分后,还需分开对三角形进行管理。路面模型构建好后,镶嵌到地面模型成为一个整体,如图4(b)。

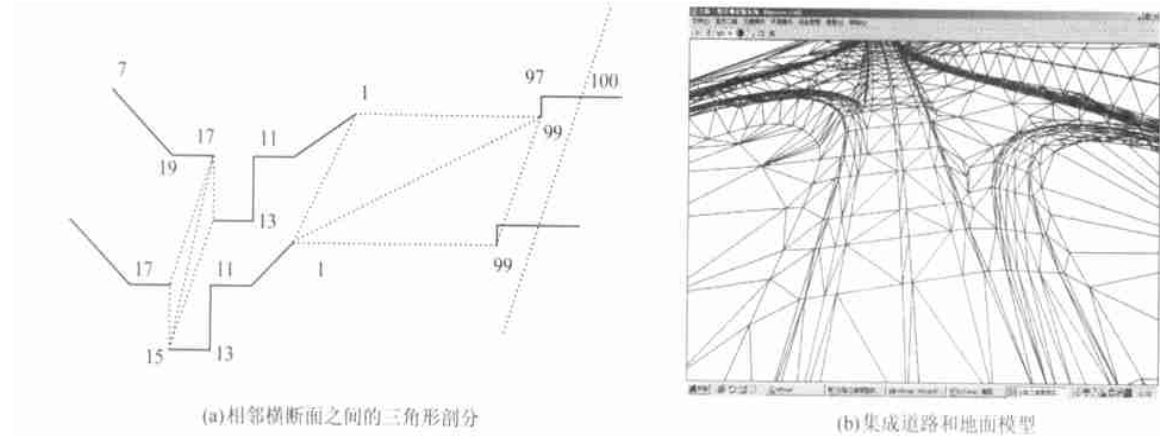


图4 路面三角形表达  
Fig.4 Triangle Expression of Road Surface

### 1.3 道路附属设施三维模型的建立

在三维应用中,有时需要在某些位置上叠加特定的模型,而这些模型在三维场景中被重复使用的频率很高,如路灯、电话亭等附属设施。公路附属设施的三维模型是公路三维表达很重要的组成部分,包括绿化设施(行道树、隔离绿化带等)、交通安全设施(防护栏、照明、隔离带、标志标线等)、公路沿线设施(服务区、养护房屋、收费站等)。这类模型的几何形状和表面材质与纹理特征具有一般性,并可以重复使用,包括点状模型、

线状模型、面状模型和纹理模式等。文献[3]从三维可视化表现的真实感与计算效率考虑,将三维模型分为3类:①具有几何形态的不变性和表面材质、纹理的相似性,具有重要的形状和位置特征,如路灯等;②具有几何形态的随机性和表面材质、纹理的相似性,有大小和位置特征,通过纹理图像表现这些目标,如树木等;③具有几何形态与表面材质、纹理表示的随机性,可通过特定的随机函数模拟这些对象,如瀑布等。这类模型一般先在工具软件(如3DMAX)里建好,然后导出为

3DS 格式的文件。模型处于自己独立的坐标系中,建模完后要重新规划坐标原点,模型上所有点的坐标值都应以该坐标原点为基础。在应用过程中,模型在 TIN 上的位置就相当于模型的坐标原点在 TIN 上的位置。此外,模型在场景中的缩放及旋转也以该坐标原点为基础。

2 数据组织

为了便于模型数据的管理和进一步的空间分析、可视化的需要,必须合理地组织数据。三维数据组织较二维复杂得多,目前还没有得到广泛认可的数据组织方法。公路领域有着一般 GIS 的共性,但也有自己的特点,本文认为其数据组织必须考虑以下几个因素:①路面和其他道路构造物(如水沟等)需要设置不同的材质和纹理特征;②公路在几何上呈线性分布,附属设施是沿公路分布的,数据组织应能表达公路和附属设施之间的语义关系;③同类型的构造物对象也往往具有多样性的表现,如护坡,有砌石、自然岩石和植被等形式,这就需要对不同类型的护坡设置不同的材质和纹理特征。根据这些特点,采用动态分段技术来组织管理公路的属性数据(如纹理),并扩展经典的二维线性参照系统,使之能满足附属设施的三维模型定位,如图 5 所示。为满足①,必须对 TIN 面片进行分类,可分为路面、边坡、排水沟、护坡等。对于②、③,可采用动态分段技术。动态分段的实质是将以一维线性参照为基础的属性数据(在线性参照系统中称为事件)与以二维参照系统中的空间数据统一起来,从而将道路数据库对应的多个属性数据集与一维路线中任何部分相关联,而不必随每个属性集的分段不同来修改对应的二维空间中的坐标数据,达到对道路线性特征及其相关属性进行存储、动态显示、查询和分析<sup>[4]</sup>。利用动态分段技术,可以很好地为交通特征表达一对多的关系属性、描述移动事件点的位置信息和具有分段属性数据的线性特征,不仅能实现从道路几何数据和对应的各种属性数据间的双向查询,还可动态地描述道路各种属性数据之间的关系,大大提高了 GIS 中对线性数据的处理能力,解决了传统 GIS 中只能处理一个固定属性数据集的问题。许多 GIS 软件增加了对动态分段的支持,如 Arc/Info, Oracle 也在 8.16 版本以后增加了对动态分段的支持。这里的动态分段不仅对属性进行动态分段,还对 TIN 面片进行动态分段,这样,层中任意一段的三角形对象都具有不同的

标识码,构成道路的所有面对象也具有一定的标识码,而且面对象中保留了该面对象与纹理属性关联的标志,因此便于纹理的映射、更新,以及对象的查询与管理。对于附属设施,如路标、广告牌、收费站等,可用单独的层(3DS 模型层)来管理。整个数据组织如图 5 所示。

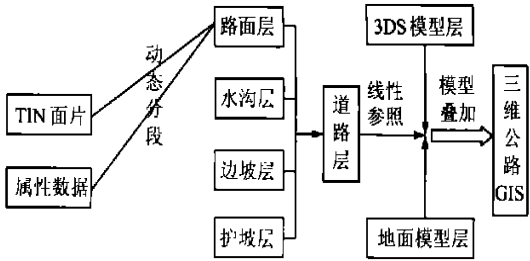


图 5 系统数据组织

Fig. 5 Data Organization of the System

3 附属设施的定位特点及方法

公路几何上呈线性,附属设施是沿线性特征分布的,线性参照系统(linear referencing systems, LRS)是目前解决这种线性特征定位问题的最好方法,在交通地理信息领域使用非常广泛。LRS 是一系列内业和外业的程序和方法的总和,至少包括线性参照方法及不同线性参照方法之间的转换方法,由交通网络、线性参照方法和基准三部分组成,其两个核心技术是线性参照基准的建立和动态分段技术<sup>[4]</sup>。应该注意,LRS 和 LRM (linear reference methods)是两个不同涵义的术语。线性参照方法是在线性特征上的任意未知点的位置,可以通过到已知点的距离和方向来确定的方法;LRM 解决了在交通网络上事件点的表达和位置的确定问题。在 GIS-T 中,LRM 起着很重要的作用,是事件位置信息传播的有效手段,如桥梁的位置,用经纬度描述就没有用相对于所属道路里程值更能说明问题。并且,用坐标描述的点在和路网匹配的时候,因精度问题通常出现偏离道路的情况,而用 LRM 描述的点能够很好地与道路匹配。最基本的线性参照方法是里程点法(mile point)和参照点法(reference point),其他基本上都是在这两种方法基础上扩展的。里程点法由标准的道路标识和一系列里程点组成,需要指定一个起始点作为起算点,一般选道路的起点。以线性参照方法表示的位置信息在进行图形表达时必须转换到图形坐标系,如对点状对象进行二维表达时,需要从里程值参数(RoadID, M)转换到地图坐标系中(X, Y),如图 6(a);同时,地图坐标系中

的点  $(X, Y)$  有时需要转换为里程格式, 如图 6(b), 其中 RoadID 为道路的 ID 号, 是惟一的,  $M$  为沿线路到起点的偏离值。对于模型的三维表达, 文献[3]从三维可视化表现的真实感与计算效率考虑, 将三维模型分为三类。这里从定位角度考虑, 把第一类模型再细分为无方向模型和方向模型, 无方向模型在进行线性定位时没有方向性, 定位参数为  $(X, Y, Z)$ , 如树木等, 而方向模型在进行线性定位时还需要有方向参数  $(\theta)$ , 如路

标、路灯等。与二维不同的是, 三维模型在实现里程与坐标系之间的相互转换时, 需要考虑高程和方向参数。如从里程值参数  $(\text{RoadID}, M, O)$  转换到地图坐标系中  $(X, Y, Z)$ , 如图 6(c); 同时, 地图坐标系中的点  $(X, Y, Z)$  有时需要转换为里程格式, 如图 6(d),  $O$  为横向偏离值。具体操作时, 高程可通过在路面 TIN 模型上内插获得, 方向参数由模型自身坐标系及其所在位置的道路中心线的切线方向决定。

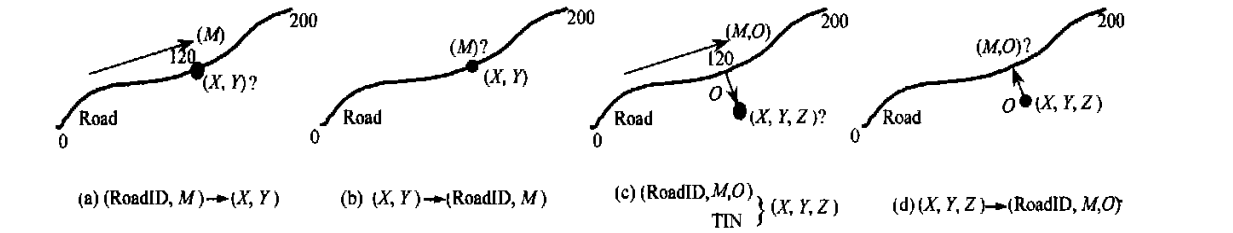


图 6 里程和直角坐标系之间的转换  
Fig. 6 Translation of Mileage and Cartesian Coordinates

## 4 空间查询与分析

空间查询和分析是依赖于空间数据结构的。公路的三维空间查询同样可以实现图形和属性的双向查询。由于道路在几何上呈线性分布, 而其他兴趣点也是沿线路分布的, 因此, 用户在进行查询和分析时, 一般是建立在线性参照(如里程)基础上的。如需要了解某公路上  $K+10.8$  到  $K+21.6$  路段上的加油站信息或其他设备信息, 按照常规的方式是先通过关键字段或建立缓冲区查询出某公路上所有的加油站, 然后确定加油站是否在  $K+10.8$  到  $K+21.6$  的路段上, 这一步实现比较麻烦。如采用动态分段技术, 加油站的位置信息就是按照里程来组织的, 附属设施本来就存储了所属道路的 ID 和里程数, 因此进行空间查询非常简单、方便。

## 5 试验

根据上述公路建模和数据组织方法, 本文以 VC++ 6.0 和 OpenGL 作为开发工具, 为吉林省公路勘察设计院开发了一个公路三维景观可视化系统, 如图 7 所示。系统的公路数据是以设计数据为依据, 附属设施(如服务区)是自己模拟的。整个系统采用分层的方式组织数据, 而道路数据通过分段组织, 因此, 每一层都可以根据实际情况, 对不同的段设置不同的材质和纹理。附属设施事

先在 3DMAX 中建好, 并进行编号, 建立三维模型符号库, 以本文描述的扩展线性参照方法在三维场景中进行定位, 可实现按规定路线漫游或用户自定义漫游、属性和图形的双向查询、按里程统计查询、断面分析、附属设施管理等功能。



图 7 高速公路三维景观  
Fig. 7 3D Landscape of Highway

## 6 结 语

在本试验系统中, 以公路附属设施的三维模型定位及位置查询为例, 对扩展的线性参照方法的可行性进行了试验, 取得了较好的效果。然而, 不管是数据结构还是数据模型, 三维比二维都要复杂得多, 本文只是交通地理信息系统和三维可视化相结合的一个初步尝试, 论文仅对点事件的定位方法和简单的位置查询进行了讨论, 对线和面事件在三维环境下的定位及属性表达没有涉及, 这有待于进一步研究。

参 考 文 献

1 杨必胜. 数字城市的三维建模与可视化技术研究: [ 博士论文 ]. 武汉: 武汉大学, 2002

2 孙 敏 陈 军. 基于几何元素的三维景观实体建模研究. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(3): 233 ~ 237

3 朱 庆, 高玉荣, 危拥军, 等. GIS 中三维模型的设计. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(3): 283 ~ 287

4 童小华. GIS-T 的理论及其应用研究: [ 博士论文 ]. 上

海: 同济大学, 1999

5 Scarponcini P. Generalized Model for Linear Referencing in Transportation. Geoinformatica, 2002, 6(1): 35 ~ 55

6 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

7 李清泉, 严 勇, 杨必胜, 等. 地下管线的三维可视化研究. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(3): 277 ~ 282

第一作者简介: 左小清, 博士生. 现从事 GIS-T、3D GIS 研究.  
E-mail: zuoxiaoqing@sina.com

3D Modeling and Data Organization of Highway

ZUO Xiaoqing<sup>1</sup> LI Qingquan<sup>1</sup> TANG Luliang<sup>1</sup>

(1 Research Center of Spatial Information and Digital Engineering, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** On the basis of design data, this paper discusses the 3D modeling methods of terrain, highway and attached establishments, taking into account the linear distributing feature of road, organizing and managing road triangles and attribute data, by dynamic segmentation technology. To meet position and location of attached establishments 3D model in 3D landscape, the traditional LRS is extended. Finally, an experiment system is developed, and the methods described above are examined.

**Key words:** highway 3D model; road facility; dynamic segmentation

**About the first author:** ZUO Xiaoqing, Ph. D candidate, his major research orientations are GIS-T and 3D GIS.  
E-mail: zuoxiaoqing@sina.com

(责任编辑: 晓平)

(上接第 160 页)

Role-based Geographic Entities' Authorized Granularity Control in GIS

ZHU Xia<sup>1</sup> SUN Zhenbing<sup>1</sup>

(1 Research Center of Spatial Information and Digital Engineering, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper gives an analysis of several aspects which should be considered in controlling entities, and makes a thorough and careful design of entities' authorized granularity control based on the theory of RBAC. The practice has proved that the research of role-based geographic entities authorized granularity control in GIS is really practicable.

**Key words:** GIS; geographic entities; authorized granularity; control

**About the first author:** ZHU Xia, postgraduate, majors in GIS and Web GIS.  
E-mail: lifeiswonderful@163.com

(责任编辑: 晓平)