

基于 TIN 的公路三维表面模型建立方法*

黄 雄^{1,2}, 刘学军²

(¹长沙理工大学 公路工程学院, 湖南 长沙 410076; ²南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘 要 公路三维表面模型是公路三维设计的基础,其关键是设计模型和地表模型的叠加运算。本文提出了一种基于 TIN 的地面模型和道路设计模型叠加算法,基本原理是把参考模型的边界多边形当作约束边界线插入操作模型,在保持参考模型拓扑关系不变的条件下对其进行局部 LOP 优化,然后删除位于参考模型边界线内的点和三角形。本文算法具有实现简单、速度快和运算稳定的特点,已成功应用在公路三维可视化设计中。

关键词 三角不规则网(TIN) 道路表面模型 叠加 三维可视化

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4097(2006)02-0006-03

1 引言

公路三维表面模型建立的实质是地形表面和道路设计表面的叠加计算,这是地理信息系统空间分析的基本技术之一。在目前的 GIS 系统中,叠加运算主要有两种^[1],即基于栅格数据叠加和基于矢量数据叠加,由于栅格数据叠加精度较低,因而公路三维表面模型建立更倾向于使用后者。与一般叠加分析不同的是,道路设计模型往往具有固定的拓扑结构,这要求在地形模型和道路设计模型的叠加过程中保持道路设计模型的这种固定关系。

2 地形模型与道路设计模型

数字环境下的地形模型称为数字高程模型,一般定义为描述地势起伏的有序高程数值阵列^[1],即 DEM 是通过离散分布的点来模拟连续分布的地形表面。DEM 目前主要有两种结构:规则格网 DEM 和不规则三角网 DEM,前者具有数据结构简单、容易操作、易于遥感数据结合等特点,但存储量较大,不适应地形的突然变化,在丘陵、山区地形变化大的地方精度低;后者使用互不相交、互不重合的连续三角形片面(面片)逼近地形表面,具有可变分辨率、能较好地协调各种地形特征、保持原始数据精度、适应不规则区域等特征,被广泛应用于各种线路设计系统之中。本文采用不规则三角网 TIN 模型作为地表模型,TIN 建立的关键技术是三角化准则、存储结构和算法设计三个环节。

道路设计模型(Road Surface Model, RSM)是由路线平、纵、横三方面形成的公路表面复合体,包括中央分割带、路缘带、行车道、路肩、边坡、排水沟

等用来描述路线基本构成的特征点和线。在路线 CAD 系统中,RSM 通常用曲面方法和格网方法两种表示,曲面方法有 Coons 曲面、NURBS 曲面等,格网则主要采用三角网、四边形格网等结构。格网结构简单易建,广泛用来模拟自然表面或人工表面,其实质是用平面近似表示曲面,但在格网单元的连接处,特别是曲线路段容易出现折皱。曲面模型是用数学曲面来严格描述曲面片,可保证道路设计表面的光顺性,但由于结构与地形模型不同,可视化效果虽然比较好,但不适合后续的各种分析和应用。鉴于此,本文对道路设计模型采用 TIN 结构,也就是说,把相邻两横断面之间的公路特征点按一定规律联结成互不交叉和重叠的三角形网,并且此 TIN 模型与地形模型具有相同的拓扑结构。对 RSM 模型不能采用一般离散点的三角剖分方法,主要是因为一般离散点三角剖分方法必须满足一定的三角剖分准则(如空外接圆准则),这会破坏 RSM 模型固有的结构。

3 数据预处理和数据结构

3.1 定义、约定和要求

为叙述方便,首先给出本文算法中用到的几个概念、约定和要求:

① 操作模型和参考模型:原始地表模型(TIN 结构),称为操作模型,记为 M_{origin} ;用于叠加的其他表面模型或设计模型(TIN 结构),称为参考模型并记为 M_{refer} ;

② 在 TIN 模型中,若不同的三角形的边按一定顺序组成一多边形为 P ,与 P 相关联的三角形为 T ,即 P 的边 P_{ij} 为 TIN 中三角形的一条边,则与 P_{ij} 相关联的三角形有两个,把在 P 内部相关联的所有三

* 基金项目:国家自然科学基金项目(40571120)

角形称为 P 的内连三角形,记为 P_{in} ,把在 P 外面相关联的所有三角形称为 P 的外连三角形,记为 P_{out} 。

③ M_{origin} 和 M_{refer} 具有相同的结构。若 M_{refer} 为离散的三角形,在保证 M_{refer} 每一个三角形的空间位置一定的前提下,建立三角形之间的拓扑关系,并使得 M_{origin} 和 M_{refer} 具有相同的结构;

④ TIN 具有编辑和修改功能,即能对 TIN 模型进行点、线的插入、删除、拖动等编辑和修改操作功能。

3.2 数据预处理

在基于 TIN 的多模型空间叠置过程中,经常涉及到点落在哪个三角形中的判断问题,特别是当数据量比较大时,这一过程是非常费时的。为提高查找速度,在模型叠加前,对操作模型和参考模型的三角形顶点和三角形(三角形取其重心坐标)设计了以格网为基础的数据索引机制,原理为将数据域(三角形顶点域、三角形重心域)划分成若干相等的小块,每个单元设置一头指针和链指针,头指针用来记录该单元的第一个数据点,链指针则记录落在该单元内的其它数据点,形成该单元的数据链(图 1),从而实现数据的快速检索。

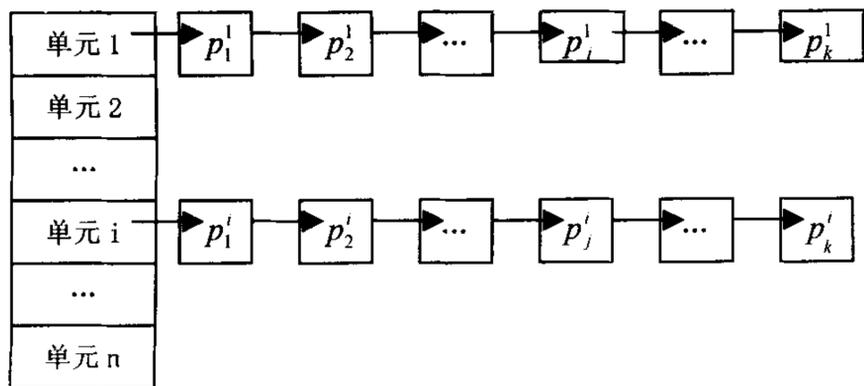


图 1 网格索引机制

格网单元大小的划分一般取决于两个因素,一是查询精度,一是运算效率,对 TIN 的多模型叠加而言,关心的是其执行效率,因此网格单元的大小采用平均值,即每个网格单元内的点数基本相等,计算公式为 $g = D / \sqrt{D}$,式中 g 为网格单元大小, D 是总点数或总三角形数。网格单元可按行、列编号(本文采用按行编号),以便采用一维数组 $B[]$ 存储。设网格划分为 $M \times N$,其中 M 为 x 方向的格网总数, N 为 y 方向的格网总数。设 x 方向的格网划分数为 $xres$, y 方向的格网划分数为 $yres$ 。为建立网格索引链表,对数据点进行遍历,并根据其坐标判断数据点落在哪一格网内。设数据点为 $p(x, y)$,则 p 所在的网格单元 k 可计算如下: $k = INT((y - y_0) / g) \times xres + INT((x - x_0) / g)$,式中 x_0, y_0 为 D 的西南角坐标。然后进行如下工作:

若 $B[k]$ 不空,则申请一节点,并把该点插入 $B[k]$ 的单项链表中;

若 $B[k]$ 为空,则 $B[k] = p$;

检索时,可首先计算出检索点所在的单元 k ,取出 $B[k]$ 中的点并以此为起始点,按该单元的单元链表顺序检索对应点或提取该单元的全部点。

3.3 数据结构

(1) 点结构:点结构由其 ID、属性、三维坐标和关联的下一个点的 ID 表示。

(2) 三角形结构:由三角形 ID、属性、三个顶点组成 $V[3]$ 、三条边的相邻三角形 $A[3]$ 组成。 $V[3]$ 表示三角形三顶点的编号,三角形顶点按逆时针排列,三角形三边的位置序号定义为 0、1、2,即 $V[0]V[1]$ 为第 0 号边, $V[1]V[2]$ 为第 1 号边, $V[2]V[3]$ 为第 2 号边,并且边号可循环,即当边号 $i = i - 1 \leq 0$ 时, $i = 2$,当 $i = i + 1 \geq 2$ 时 $i = 0$ 。 $A[0]$ 、 $A[1]$ 、 $A[2]$ 分别对应于 $V[0]V[1]$ 、 $V[1]V[2]$ 、 $V[2]V[3]$ 。

(3) 多边形的内外关联三角形结构,由三角形对应边的起点点号 $m1$ 、终点点号 $m2$ 、关联的左或由三角形以及边界三角形所对应的边界编号组成。

4 TIN 的多模型叠置算法

基于 TIN 的多模型叠置算法的基本思想是:把参考模型的边界多边形当作约束边界插入操作模型,通过 LOP(Local Optimization Procedure)^[8-12] 算法进行边界外三角形的优化(为保持参考模型原有的关系,不能对参考模型内部的三角形进行优化),同时建立相应的拓扑关系,然后删除优化后的操作模型里位于参考模型边界多边形内的点和三角形,最后更新叠置后模型的拓扑关系,从而实现两模型的无缝拓扑叠置。

算法以图 2、图 3 所示操作模型和参考模型为例进行说明,操作模型记为 M_{origin} ,参考模型记为 M_{refer} ,它们之间的空间位置关系如图 4。

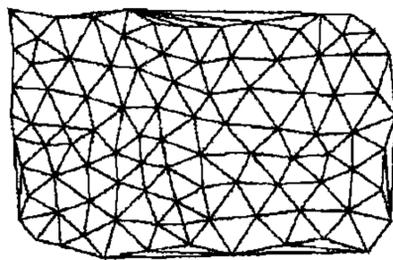


图 2 操作模型

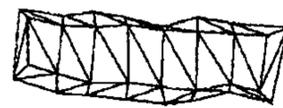


图 3 参考模型

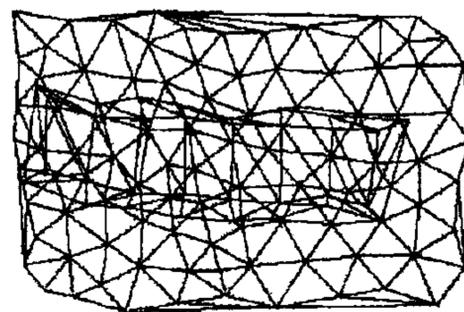


图 4 操作模型和参考模型关系

① 根据 TIN 模型已有的拓扑关系,搜索 M_{origin} 和 M_{refer} 边界,求得两模型的边界多边形,分别记为 P_{origin} 和 P_{refer} ,搜索时将 P_{origin} 和 P_{refer} 按一定结构进行存贮,同时记录对应的边界点号。

② 判断 P_{origin} 是否包含 P_{refer} :若 $P_{origin} \supset P_{refer}$,则转⑤;若 $P_{origin} \cap P_{refer} = \emptyset$,则转③;若 $P_{origin} \cap P_{refer} \neq \emptyset$,且 $P_{origin} \not\subset P_{refer}$,且 $P_{refer} \not\subset P_{origin}$,则转④;若 $P_{origin} \subset P_{refer}$,则退出。

③ 进行 P_{origin} 和 P_{refer} 的连接或拼接。

④ 把 P_{refer} 分解为落入 P_{origin} 内的多边形 P'_{refer} 和在 P_{origin} 外的多边形 P''_{refer} ,根据 P'_{refer} 和 P''_{refer} 把 M_{refer} 分解为相应的两个参考模型 M'_{refer} 和 M''_{refer} ,重构两参考模型的拓扑关系,转①进行模型的无缝拼接(公路设计中,由于参考模型通常是按照操作模型进行设计的,因此以上②中第二、三、四种情形很少出现)。

⑤ 搜寻 M_{refer} 中 P_{refer} 的内连三角形,记为 P_{refer_in} ;记 M_{origin} 所包含点的总数为 $M_{origin_point_sum}$,记 M_{refer} 所包含点的总数为 $M_{refer_point_sum}$;将 M_{refer} 中的点分别加上 $M_{origin_point_sum}$,并将其加入到 M_{origin} 的点结构中,同时建立相应的点索引;将 P_{refer_in} 中的点加上 $M_{origin_point_sum}$ (说明:当参考模型边界多边形上的点和操作模型上的点有重合现象时,有两种处理办法,其一是将操作模型上的点稍作偏移,从而直接进行点索引的建立;其二是删除操作模型上的点,同时保留参考模型上的点,间接进行点索引的建立)。

⑥ 以参考模型的 P_{refer} 作为特征约束线插入 M_{origin} 中,根据 LOP 原理对其影响区域进行优化,记加入 P_{refer} 并进行 LOP 优化后的 M_{origin} 为 M'_{origin} ,记录 P_{refer} 对应于 M'_{origin} 中的点号;

⑦ 搜寻 M'_{origin} 中 P_{refer} 的内、外连三角形,并按一定结构进行存贮,分别记为 P'_{origin_in} 和 P'_{origin_out} ;删除 M'_{origin} 中位于 P_{refer} 内的点和三角形。

⑧ 将 M_{refer} 中的三角形按一定顺序依次放入 M'_{origin} 中,记 M'_{origin} 中三角形的总数为 $M'_{origin_triangle}$, M_{refer} 中三角形的总数为 $M_{refer_triangle}$,则模型叠加后的三角形总和为 $(M'_{origin_triangle} + M_{refer_triangle})$,为免编号重复,在此将 M_{refer} 内三角形结构的编号均加上 $M'_{origin_triangle}$ 。

⑨ 根据统一的 P_{refer} 连接 P_{refer_in} 和 P'_{origin_out} 对应三角形的拓扑关系,从而实现两模型的无缝拓扑叠置,如图 5 所示。

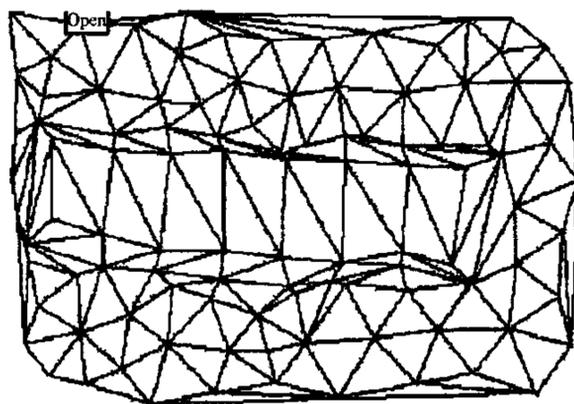


图 5 叠置后的操作模型和参考模型

5 应用与结论

为了验证所提出算法的有效性、稳定性,首先建立了某一区域数字高程模型,然后将该区域所规划设计的公路表面模型与之进行叠置,按所提出算法进行叠置后的模型。通过叠置后的三维景观效果图,可以比较直观地浏览所规划公路的具体位置、分布以及与周围地形地貌的协调情况,统计分析其所占用的土地情况、也可求其工程所需土方量等。

参考文献

- 1 龚健雅. 地理信息系统基础[M]. 北京:科学出版社,2000
- 2 刘学军,龚健雅. 约束数据域的 Deanulay 三角剖分与修改算法[J]. 测绘学报,2001,30(1):82—88

A Method of Building 3D Highway Surface Model Based on TIN

Huang Xiong^{1,2}, Liu Xuejun²

¹ Highway Engineering College of Changsha Technology and Science University, Changsha 710069, China;

² Geography Science College of Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract Road surface model is basis of highway three dimension design, the key is the overlaid compute of design model and terrain model. This paper presents an overlaid algorithm of road design model (referred as reference model) and digital elevation model (named as operation model) which are based on triangular irregular network (TIN). The principle of the algorithm is firstly extract the boundary of reference model and operation model, then insert boundary of reference model into operation model and thirdly optimize the operation model by Local Optimization Procedure (LOP) under the condition of keeping the topological relationship of reference model. The last step is to remove the triangles and terrain points which are fall into reference model. The advantage of the algorithm in this paper is simple, fast and steady.

Key words Triangular irregular network(TIN), Road surface model, Overlaid, Three dimensional visualization