



利用街区面块拓扑构建道路网络的算法

蔡先华¹ 刘凯丽¹ 胡卓良¹ 张远¹

¹ 东南大学交通学院,江苏 南京,211189

摘要:道路交通网络是进行各种道路网络分析与可视化的基础。构建道路网络的常用方法是运用已有道路面矢量数据提取道路中心线,并自动生成道路网络。提出了一种根据街区面块拓扑关系自动构建道路网络的算法,首先,根据道路面求反得到街区面块并计算街区面块间的拓扑关系;然后,根据街区面块之间的拓扑关系自动建立道路网络拓扑关系;最后,计算路段(网络弧段)中心线和道路交叉口(节点)的几何位置,完成数字道路网络的构建。与以往算法不同,该算法将拓扑关系构建与中心线提取分开,直接由道路面原始数据构建网络拓扑关系,保证拓扑结构的准确性,且为道路中心线提取提供路段交叉口判别依据。实验表明,所提出算法较好地解决了已有算法在自动计算道路中心线时数据预处理复杂和道路面分割难以处理等问题。

关键词:拓扑关系;街区面块;道路网络;道路中心线

中图分类号:P208

文献标志码:A

道路交通网络是交通系统能够存在并发挥作用的载体^[1],在地理信息系统(geographic information system, GIS)和交通地理信息系统(geographic information system for transportation, GIS-T)中起着重要作用^[2]。其应用范围广泛,除了作为地图综合的数据基础^[3]、道路可视化的基本数据外,更是路径规划等交通网络分析的基础^[4]。一些具有代表性的道路网络模型已经受到了广泛的认可并投入实际应用中,这些模型有线性数据模型^[5]、GIS-T数据模型^[6-7]、交通数据模型^[1]等。

道路网络模型构建的方法多种多样,传统道路网络模型常以道路中心线为基础生成网络拓扑关系来构建道路网络数字模型^[8]。首先,根据原始道路面数据提取道路中心线;然后,在中心线的基础上建立具有拓扑关系^[9]和空间位置的空间网络^[10]。由矢量道路面提取中心线构建路网的研究较多,具有代表性的方法有垂线族法^[11]、基于约束三角形的方法^[12-16]、矢量追踪法^[17]。

评价道路网络构建算法主要考虑运算结果的几何特征和拓扑特征保持能力^[18],几何特征的保持是指提取的道路中心线是否能准确描述道路中心,线上特征点选取是否适当,是否能正确

反映道路的自然形态特征,没有附加的分枝或尖锐的抖动等。

现有的3种具有代表性的方法采用了以下两个或其中一个策略:一是对道路边上点进行加密,这种处理对初始边线位置数据进行了改动,增加了数据量,降低了数据精度,且生成中心线会因抖动产生多余分枝或在交叉口处形成尖锐的抖动;二是需要对道路路段与交叉口进行分割,计算机不能自动进行处理,需要手动完成。

道路交通网络的构建实质是道路几何网络和拓扑关系的构建。现有道路网络模型构建方法都是在确定道路网络几何位置的基础上构建拓扑关系的。构建道路网络的初始道路面数据是一组多孔洞多边形,它们之间可能存在图形的拓扑错误,由于数据是人工采集,往往数字化边界出现抖动甚至回绕等现象,数据的规范性难以保证,无法直接构建道路网络拓扑,若将道路面转化成多个独立的多边形,由于是自动实现,可形成规范的数据集。根据生成的多个多边形间拓扑来构建路网拓扑,则构建难度将大大降低。基于此,本文提出一种基于街区面块拓扑的道路网络构建算法,首先,构建网络拓扑关系后提取道路中心线,将复杂的原始道路面通过求反运算

收稿日期:2019-12-27

项目资助:国家自然科学基金(41571375,51638004)。

第一作者:蔡先华,博士,教授,主要从事交通地理信息系统(GIS-T)应用与开发、空间信息可视化技术、计算机地图制图等。cai.x.h@seu.edu.cn

转化成简单的街区面块多边形,构建街区面块之间的拓扑关系,并将街区面块之间的拓扑关系转化为道路网络中路段——交叉口拓扑关系,从而建立网络拓扑;其次,选取合适的道路中心线提取算法进行弧段几何位置的提取;最后,实现道路网络构建。这种方法解决了传统方法存在的问题,不需要对边线上的点进行加密处理,也不需要手动进行路段与交叉口的分割。

1 道路网络构建算法

为方便描述,对所涉及的基本术语及规则定义如下。

街区面块:由道路边线构成的简单多边形。在城市中,街区面块是由道路围成的区域,本文以街区面块指代独立的、只与道路面相邻的非道路区域,如图 1 所示。

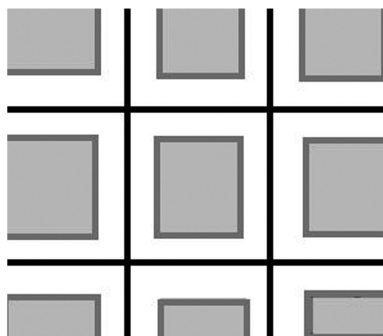


图 1 街区面块示意图

Fig.1 Illustration of Blocks

街区面块最近邻点:一街区面块边界上与另一街区面块边界上距离最近的点。用于计算两街区面块间的距离及近邻关系。

设街区面块 b_i 边界上的线段集合为 $L_i = \{l_{i1}, l_{i2} \cdots l_{im}\}$, 街区面块 b_j 边界上的线段集合为 $L_j = \{l_{j1}, l_{j2} \cdots l_{jn}\}$, 若 b_i 边界线段存在线段 l_{is} , 街区面块 b_j 边界上存在线段 l_{jt} , 使得:

$$\|p_i - p_j\| = \|l_{is} - l_{jt}\| = \min(\|L_i - L_j\|), l_{is} \in L_i, l_{jt} \in L_j \quad (1)$$

式中,点 p_i 为线段 l_{is} 上某一点;点 p_j 为线段 l_{jt} 上某一点; $p_i p_j$ 为街区面块 $b_i b_j$ 最近邻点对,点对 $p_i p_j$ 间连线长度即为 $b_i b_j$ 间的距离。

以下的近邻、共路段和共交叉口都是指街区面块之间的拓扑关系,本文简称近邻、共路段和共交叉口。

近邻:街区面块 b_i 与其他街区面块 b_j 之间的最短距离小于某一阈值 t (本文实验中取值为研究

区域内最大街道宽度的 3 倍),且满足其最近邻点间连线 l 不与其他街区面块 b_k 相交条件下的空间关系,即:

$$D(b_i, b_j) < t \text{ 且 } l \cap b_k = \emptyset \quad (2)$$

两个街区面块如果满足式(2),则称其关系为近邻。

共路段:街区面块 b_i 与 b_j 间的关系为近邻,且关联部分为路段,则称 b_i 与 b_j 间的关系为共路段。

共交叉口:街区面块 b_i 与 b_j 间关系为近邻,且关联部分为交叉口,则称 b_i 与 b_j 间的关系为共交叉口。

基于街区面块拓扑的道路网络构建算法的基本思想是将复杂道路面图形通过转换,分解为相互独立的简单多边形,再进行空间关系运算。首先,算法对区域内道路面求反,将复杂的带孔洞多边形转换为相互独立的街区面块;然后,根据街区面块之间的拓扑关系进行路段和交叉口判别,求得每条路段两侧的两个共路段街区面块、每个交叉口周围的所有共交叉口街区面块;根据共一条路段的两个街区面块,及它们共有的两个交叉口,采用中心线提取算法计算路段的中心线位置,并求出路段关联的两个节点;最后,完成道路网络数字模型的构建。

2 技术方法

本文算法分为 4 个阶段实现:第 1 阶段,根据初始道路面数据求反获取相互独立的街区面块;第 2 阶段,确定街区面块之间的拓扑关系;第 3 阶段,根据街区面块间拓扑关系建立道路网络拓扑关系;第 4 阶段,提取道路中心线并生成交叉口。其整体构建流程如图 2 所示。

2.1 街区面块获取

在对道路面进行相关自动预处理的基础上求反,获得独立街区面块。如图 3 所示,道路面形状为带孔的复杂多边形 b_0 , b_0 的最小外接矩形为 q ,道路面与最小外接矩形相交求反后的街区面块为 $b_1, b_2 \cdots b_n$ 。它们存在以下关系:

$$\begin{cases} \bigcup_{i=1}^n b_i = q - b_0 \\ b_i \cap b_j = \emptyset, i, j > 0, i \neq j \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\bigcup_{i=1}^n b_i$ 为街区面块的并集,街区面块间互不相交; $b_0 \subset q$, $q - b_0$ 为属于 q 而不属于 b_0 的部分,即在道路面最小外接矩形范围内由道路面求反得到的非道路面部分。

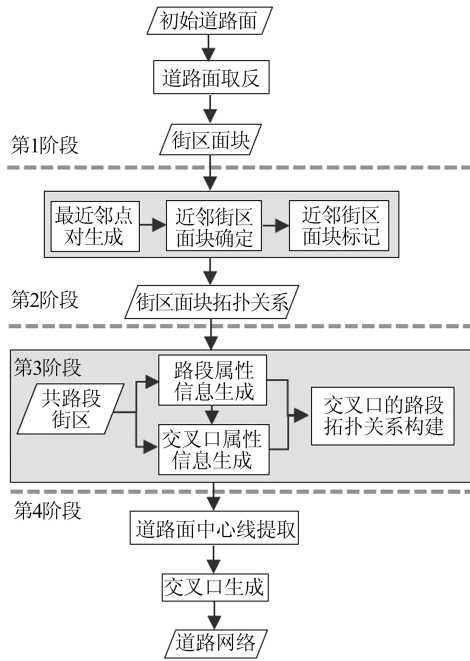


图2 路网构建流程图

Fig.2 Flowchart of Road Network Construction

运用多边形与多边形叠置分析^[19-20], 求出多边形 q 与 b_0 的差集, 获得形状为简单多边形的独立街区面块。街区面块数据获取步骤见图3。

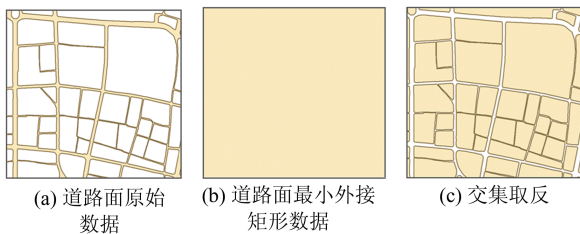


图3 街区面块数据获取步骤

Fig.3 Procedure of Obtaining Blocks

2.2 街区面块拓扑关系计算

近邻是进行街区面块拓扑关系判断的基础。通过对街区面块进行近邻分析, 可获得街区面块的近邻街区面块, 并确定近邻街区面块之间的关系为共路段还是共交叉口。

1)最近邻点生成及近邻街区面块确定。根据式(1)搜索两街区面块间边界线段, 比较线段之间距离并计算出线段间距离最小时的最近邻点。连接对应街区面块最近邻点, 判断连线与其他街区面块是否相交, 若相交, 则两街区面块不为近邻; 若不相交, 则两街区面块互为近邻街区面块。

如图4所示, 街区面块 b_0 与面块 b_1 的最近邻点连线为线段 p_0p_1 , 线段 p_0p_1 不与任何街区相交, 故街区面块 b_0 与面块 b_1 为近邻; 街区面块 b_1 与面

块 b_2 的最近邻点连线为线段 p_2p_3 , 由于线段 p_2p_3 与街区面块 b_0 相交, 所以面块 b_1 与面块 b_2 不为近邻。

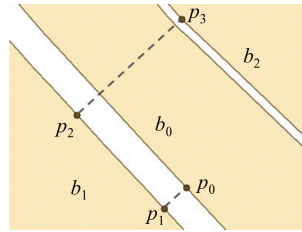


图4 近邻关系判断

Fig.4 Judgment of Neighborhood Relations

对于每个街区面块的近邻街区面块集合, 按照围绕该街区面块的逆时针方向进行排序。排序判断的依据是对应最近邻点在街区面块轮廓线上所属的线段顺序。此处默认多边形轮廓线上的线段均为逆时针顺序, 若最近邻点在同一条线段上, 则按最近邻点到线段起点的距离由小到大排序; 若最近邻点重合, 则以该最近邻点为极坐标极点, 连接近邻街区面块序列中的前一街区面块对应的最近邻点作为极轴, 计算重合的最近邻点与对应近邻街区面块上的最近邻点连线的极角, 按极角从小到大排序。如图5(a)所示, 重合最近邻点 O 的近邻街区面块按逆时针排序为面块 b_1 、面块 b_2 、面块 b_3 ; 如图5(b)所示, 街区面块 b_0 的近邻街区面块排序为面块 b_1 、面块 b_2 、面块 b_3 、面块 b_4 、面块 b_5 。

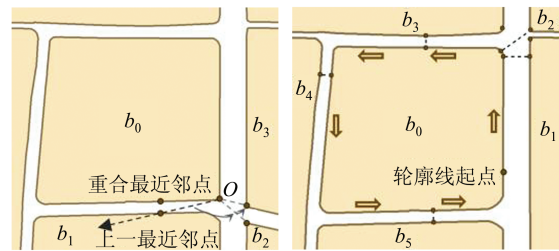


图5 近邻街区面块排序表生成

图5 Generation of Sequence List of Neighboring Blocks

2)近邻街区面块标记。在近邻街区面块排序表中, 与当前街区面块的近邻关系有共路段和共交叉口两种。提取路段信息需要明确当前街区面块与其近邻街区面块之间是何种近邻关系。

通常情况下, 共路段街区面块最近邻点对连线与前驱街区面块和后继街区面块间距离之和接近于路段长度, 远远大于最近邻点对连线长度, 而共交叉口街区面块间最近邻点对连线与前驱或后继街区面块间距离较近, 近似于最近邻点

对连线长度(道路宽度)。根据这一特性可进行共交叉口街区面块和共路段街区面块的判断。

如图 6 所示,街区面块 b_0 与面块 b_2 最近邻点连线为 l_1 , 近邻街区面块 b_0 的排序表中面块 b_2 的前驱街区面块 b_1 、后继街区面块 b_3 与线段 l_1 的距离 d_1 、 d_2 均小于 l_1 , 即 $d_1 + d_2 < 2l_1$, 因此, 判断面块 b_0 与面块 b_2 为共交叉口关系, 将近邻街区面块 b_0 的排序表中的面块 b_2 标记为共交叉口街区面块。

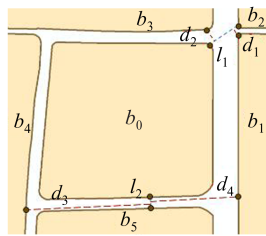


图 6 近邻街区面块标记

Fig.6 Marking of Neighboring Blocks

同理, 街区面块 b_0 与面块 b_5 最近邻点连线为 l_2 , 近邻街区面块 b_0 的排序表中面块 b_5 的前驱街区面块 b_4 、后继街区面块 b_1 与线段 l_2 的距离为 d_3 、 d_4 , 根据 $d_3 + d_4 > 2l_2$ 确定面块 b_0 与面块 b_5 为共路段关系, 将近邻街区面块 b_0 的排序表中面块 b_5 标记为共路段街区面块。

如表 1 所示, 对面块 b_0 的所有近邻街区面块进行标记, 以 0 代表共路段, 1 代表共交叉口, 则面块 b_0 的近邻街区面块标记顺序为: 面块 $b_1(0)$ 、面块 $b_2(1)$ 、面块 $b_3(0)$ 、面块 $b_4(0)$ 、面块 $b_5(0)$ 。通过该标记顺序表, 可确定面块 b_0 的共路段街区面块和共交叉口街区面块。

表 1 面块 b_0 的近邻街区标记顺序

Tab.1 Marking List of Neighboring Blocks of b_0

序号	近邻街区面块	标记
0	b_1	0
1	b_2	1
2	b_3	0
3	b_4	0
4	b_5	0

对所有街区面块进行标记操作, 得到各街区面块标记有共路段和共交叉口的近邻街区面块标记顺序表。

2.3 路网拓扑关系构建

确定近邻街区面块间的路段。如图 7 所示, 由街区面块之间的近邻街区面块标记顺序表 1 可知, 去除共交叉口街区面块 b_2 后, 街区面块 b_0 按逆

时针顺序的共路段街区面块为面块 b_1 、面块 b_3 、面块 b_4 、面块 b_5 , 共路段街区面块之间一定存在路段, 故围绕街区面块 b_0 的路段有 4 条, 定义为路段 l_1 、路段 l_4 、路段 l_5 、路段 l_6 。为每条路段添加左右多边形信息, 则街区面块的路段拓扑(关联)关系建立完成。

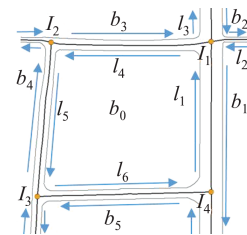


图 7 路网拓扑关系构建

Fig.7 Generating Network Topological Relations

建立交叉口的路段拓扑关系。在生成过程中, 对已生成的街区面块做标记。以图 7 中面块 b_0 为例, 面块 b_0 的近邻街区面块标记顺序为面块 $b_1(0)$ 、面块 $b_2(1)$ 、面块 $b_3(0)$ 、面块 $b_4(0)$ 、面块 $b_5(0)$ 。在顺序表 1 中, 按顺序相邻的两个共路段街区面块(它们之间可能存在一个或多个共交叉口街区面块)与当前街区面块 b_0 共一个交叉口, 如图 7 所示, 面块 $b_1(0)$ 、面块 $b_2(1)$ 、面块 $b_3(0)$ 、面块 $b_3(0)$ 、面块 $b_4(0)$ 、面块 $b_4(0)$ 、面块 $b_5(0)$ 、面块 $b_5(0)$ 、面块 $b_1(0)$ 分别与面块 b_0 共一个交叉口。根据这一特性, 构建面块 b_0 关联交叉口的路段拓扑关系, 其步骤如下:

1) 搜索与面块 b_0 关联的所有街区面块。从面块 b_0 近邻街区面块标记顺序表 1 中搜索第一个且为共路段关联的街区面块(本例中为面块 b_1), 按表 1 顺序依次搜索近邻街区面块, 如果近邻街区面块(本例中为面块 b_2)为共交叉口街区, 则继续搜索, 直至搜索到共路段街区面块(本例中为面块 b_3), 即当前街区面块 b_0 与面块 b_1 、面块 b_2 、面块 b_3 共一交叉口。

2) 判断搜索到的交叉口与路段的拓扑关系是否已生成, 未生成则进行处理。若面块 b_1 、面块 b_2 、面块 b_3 中存在已被标记的街区面块, 则该交叉口处关联关系已生成, 否则添加新交叉口 I_1 , 依次搜索出面块 b_0 与面块 b_1 之间路段 l_1 、面块 b_1 与面块 b_2 之间路段 l_2 、面块 b_2 与面块 b_3 之间路段 l_3 、面块 b_3 与面块 b_0 之间路段 l_4 , 将路段添加到交叉口 I_1 的邻接路段表中, 并根据路段方向, 将交叉口 I_1 添加为各个路段的起点或终点。

3) 如果当前街区面块的近邻街区面块标记顺序表搜索完成, 则当前街区面块相邻的所有交

叉口与路段的关联关系建立完成,否则,继续搜索下一交叉口关联的街区面块。本例中从面块 b_3 开始,直到搜索出下一共路段街区面块(本例中为面块 b_4),再重复步骤2)。

2.4 路段中心线提取及交叉口位置确定

1)路段中心线提取。根据§2.3所建立的拓扑关系,可以确定共路段街区面块,采用单位圆滚动追踪算法^[17]进行路段中心线提取,如图8所示。

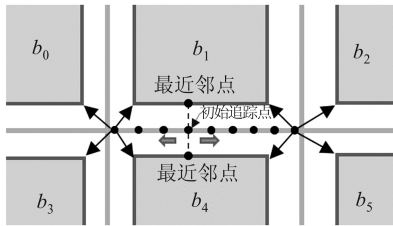


图8 道路中心线提取

Fig.8 Road Centerlines Extraction

首先,遍历路段表1,获得路段的左右街区面块信息,再以左右街区面块间的最近邻点对连线中点为圆心、连线长度的一半为半径作圆,通过二分法寻找圆上到两侧街区面块距离相等的两点,并作为两个方向上新的中心线追踪点;然后,以新追踪点为圆心分别作圆(滚动圆半径不变),并用同样的方法寻找该方向上的下一个追踪点,直到追踪点到左右街区面块距离与到关联交叉口所关联的其余街区面块的距离接近(距离之差绝对值小于滚动圆半径)时结束追踪;最后,连接追踪点生成线段,并对两个方向上线段进行合并。

2)路段交叉口位置确定。不同形状的路口生成交叉口的的方法略有不同,如图9所示。

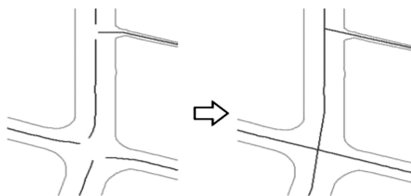


图9 交叉口处的修整

Fig.9 Trim at Intersections

由图9可知,对于十字路口或T型路口,根据路段的延长线交叉的角度判断交叉口关联路段集合中的连续路段并进行连接。对于T型路口,取不相连路段的延长线与相连路段的交点为交叉口中心;对于十字路口,取两对相连路段交点为交叉口中心;在路口的路段较多的情况下,取交叉口附近路段的端点构成的多边形的中心为交叉口中心,连接交叉口中心与各个路段端点,

并进行路段合并,最终得到完整的道路中心线。

3 实验与分析

3.1 实验数据

本文以某市1:1 000比例尺地形图中的城区道路路面为实验数据,图10为部分实验数据图形。



图10 道路面实验数据(局部)

Fig.10 Experimental Data of Road Surfaces (Part)

运用C#语言,基于ArcGIS Engine二次开发组件开发实验软件,实现了本文提出的算法。

3.2 实验结果

在生成道路中心线临时成果时,在极个别路段出现了临时中心线与街区面块相交情况,如图11所示,图12是图11中出现错误区域的放大图。



图11 道路中心线临时成果

Fig.11 Interim Result of Road Centerlines

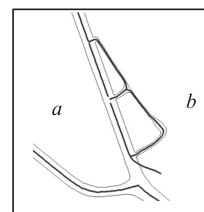


图12 道路中心线与街区面块相交

Fig.12 Intersection of Road Centerlines and Blocks

产生上述情况的原因是街区面块 a 和面块 b 之间实际共有两条不连续的路段,算法未能生成第2条路段。针这一特殊情况,采用线与多边形的叠置分析,可自动筛选出与中心线相交的街区面块 b 作为目标街区面块。添加第2条路段,确

定路段与街区面块间拓扑关系和路段交叉口拓扑关系,再进行交叉口处理,最后,生成结果如图13所示。生成路网的拓扑关系准确,没有出现多余中心线或中心线缺失情况,提取的道路中心线位置精确、形状平滑,与街区间的匹配关系正确,在密集街区的区域仍能取得很好的效果。

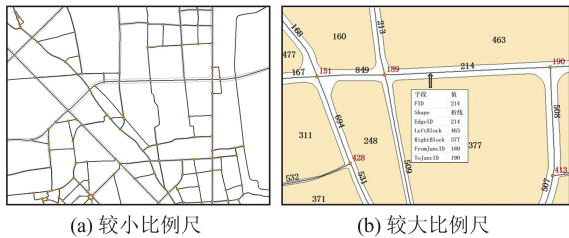


图 13 道路网络构建结果

Fig.13 Results of Road Network Construction

3.3 算法分析

传统算法需要手动进行路段分割或道路边线加密。手动路段分割需要人工处理,导致整个路网构建过程效率低,且容易出现错误。道路边线加密可以自动实现,但增加了数据处理量,提取的中心线可能产生多余的分枝。道路面求反可以自动实现,降低了图形的复杂度,能建立准确的图形关系。

根据手动路段分割、道路边线加密、道路面求反、几何特征和拓扑关系 5 个指标对本文算法与传统算法进行比较分析,结果如表 2 所示。

表 2 算法相关指标对比

Tab.2 Comparison of Algorithm-Related Indicators

算法	手动 路段 分割	道路 边线 加密	道路 面求 反	几何 特征	拓扑 关系
本文算法			✓	好	准确
垂线族法	✓	✓		会出现尖锐 拉动	可能歪曲连 通关系
基于约束三 角形法		✓		会出现多余 分枝	准确
矢量追踪法	✓			好	准确

垂线族法几何原理简单,但在应用上有不少困难,需要对道路边线作密集分段处理,而且不能自动处理;在交叉口附近,中轴线的连接可能歪曲连通关系,也可能出现尖锐抖动,对数据的处理提出了苛刻的要求。

基于约束 Delaunay 三角网提取法可以对道路进行自动分段处理,但算法要求初始数据为规范的街区多边形数据,需要对街区面块边线的特征点进行加密处理,提取的中心线还可能产生多

余的分枝。由于只基于两个固定的特征点,线形不能精确地表示道路自然形态特征。

矢量追踪法中典型算法为单位圆滚动算法^[17],顾及了道路一定范围的形态特征,不需要对道路边线进行规则加密处理,提取的中心线可以很好地保持道路几何形态。但需要先将路段与交叉口进行分割,形成简单带状路段,现有文献未见有该处理过程的自动化实现方法的研究。

利用街区面块拓扑构建道路网络的算法需要对道路面进行求反处理,在极个别地方(如两个街区面块之间共有两条不连续的路段时)需要特殊处理。但不需要手动进行路段分割和道路面边线加密,通过求反将复杂图形进行简化,运用多边形间拓扑关系获取路段信息,用单位圆滚动算法提取道路中心线,结果较好地保持了网络的几何特征,也保证了拓扑关系的准确性。

4 结 语

为准确地构建道路网络拓扑结构并提取道路中心线,本文提出一种基于街区面块拓扑的道路网络构建方法,将道路面转化为独立的街区面块,利用街区面块之间的拓扑关系进行路网拓扑构建并提取道路中心线。以某市城区部分道路面为实验数据进行验证,结果表明,该方法可构建拓扑完整、位置精确、形状平滑的道路网络,可适用于路网密度较大、街区密集的城市道路几何网络的构建。

该算法将复杂道路面(一种复杂多边形图形)通过空间逻辑运算进行转换,分解为独立的简单多边形,再进行简单多边形空间关系运算。与传统的道路网络构建算法相比,本文提出的算法可获得精度较好、拓扑关系准确的道路网络,且在构建路段的街区面块拓扑的过程中实现了路段与交叉口的自动区分,解决了复杂的路段分割问题,为道路中心线提取提供了帮助。

参 考 文 献

[1] Zhu Qing, Li Yuan. Review of Road Network Models [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007, 32(6): 471-476 (朱庆, 李渊. 道路网络模型研究综述[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2007, 32(6): 471-476)

[2] Li Qingquan, Yang Bisheng, Zheng Nianbo. An Integrated Spatio Temporal Data Model for GIS-Transportation and Related Applications [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2007,

- 32(11): 1 034-1 041 (李清泉, 杨必胜, 郑年波. 时空一体化 GIS-T 数据模型与应用方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(11): 1 034-1 041)
- [3] Cao Weiwei, Zhang Hong, He Jing, et al. Road Selection Considering Structural and Geometric Properties[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(4): 520-524(曹炜威, 张红, 何晶, 等. 顾及结构和几何特征的道路自动选取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(4): 520-524)
- [4] Cai Xianhua, Wang Wei, Qi Haoping. GIS-Based Road Geometric Net Data Model and Its Application [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005(12): 24-27 (蔡先华, 王伟, 戚浩平. 基于 GIS 的道路几何网络数据模型及其应用[J]. 测绘通报, 2005(12): 24-27)
- [5] Guo Bo. A Feature-Based Linear Data Model Supported by Temporal Dynamic Segmentation [D]. Kansa, USA: University of Kansa, 2001
- [6] Miller H J, Shaw S L. GIS-T Data Models, Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications [M]. Oxford: Oxford University Press, 2001
- [7] Wang Peng, Zheng Guisheng, Wang Yuan, et al. Road Spatial Network-Centered GIS-T Data Model [J]. *Journal of Military Transportation University*, 2017, 19(1): 86-90 (王鹏, 郑贵省, 王元, 等. 以道路空间网络为中心的 GIS-T 数据模型研究[J]. 军事交通学院学报, 2017, 19(1): 86-90)
- [8] Wang Huimin. Research and Implement of Automatic Block Generalization Based on Spatial Topology Constraints [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012 (王慧敏. 基于空间拓扑约束的街区自动综合研究与实现[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012)
- [9] Wu Huayi, Liu Bo, Li Dajun, et al. Topological Relations of Spatial Objects: A Review [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(11): 1 269-1 276 (吴华意, 刘波, 李大军, 等. 空间对象拓扑关系研究综述[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(11): 1 269-1 276)
- [10] Ai Tinghua, Guo Renzhong. Extracting Centerlines and Building Street Network Based on Constrained Delaunay Triangulation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2000, 29(4): 348-354 (艾廷华, 郭仁忠. 基于约束 Delaunay 结构的街道中轴线提取及网络模型建立[J]. 测绘学报, 2000, 29(4): 348-354)
- [11] Olson N. An Algorithm for Generating Road Centerlines from Road Right-of-Way [C]. The 12th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, Charlotte, USA, 1995
- [12] Li Gongquan, Cai Xiangyun. A Method for Extracting Road Centerline Based on Constrained Triangulation [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2013, 10(4): 47-50 (李功权, 蔡祥云. 一种基于约束三角网的道路中心线的提取方法[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(4): 47-50)
- [13] Ai Tinghua, Guo Renzhong. A Constrained Delaunay Partitioning of Areal Objects to Support Map Generalization [J]. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 2000, 25(1): 35-41 (艾廷华, 郭仁忠. 支持地图综合的面状目标约束 Delaunay 三角网剖分[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(1): 35-41)
- [14] Yang Wei, Ai Tinghua. Extracting Arterial Road Polygon from OpenStreetMap Data Based on Delaunay Triangulation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(11): 1 725-1 731 (杨伟, 艾廷华. 运用 Delaunay 三角网提取 OpenStreetMap 主干道多边形[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(11): 1 725-1 731)
- [15] Yang Wei, Ai Tinghua. Road Centerline Extraction from Crowd Sourcing Trajectory Data [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(3): 1-7 (杨伟, 艾廷华. 基于众源轨迹数据的路中心线提取[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(3): 1-7)
- [16] Zhu Zhuangsheng, Wang Qing, Wan Dejun. A Study on Automatic Generation Road Center-Lines Algorithm Based on Road Contour [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2003, 8(7): 792-797 (朱庄生, 王庆, 万德钧. 基于道路轮廓的自动生成道路路中心线算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 792-797)
- [17] Yang Dezhi, Wang Jiechen, Lü Guonian. An Algorithm of Central Line Automatically Creating [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2002(3): 58-60 (杨得志, 王杰臣, 闰国年. 一种自动生成曲线间中心线的算法[J]. 测绘通报, 2002(3): 58-60)
- [18] Federico T. Generating Street Centerlines from Vector City Maps [J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1998, 25(4): 221-230
- [19] Wang Yanli. Research on Overlay Algorithm of Spatial Vector Data [D]. Kaifeng: Henan University, 2010 (王艳丽. 空间矢量数据的叠置算法研究[D]. 开封: 河南大学, 2010)
- [20] Xie Zhong, Ye Zi, Wu Liang. Polygon Overlay Analysis Using the Simple Data Model [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2007, 23(3): 19-23 (谢忠, 叶梓, 吴亮. 简单要素模型下多边形叠置分析算法[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(3): 19-23)

An Algorithm for Constructing Road Network Using Block Polygon Topology

CAI Xianhua¹ LIU Kaili¹ HU Zhuoliang¹ ZHANG Yuan¹

¹ School of Transportation, Southeast University, Nanjing 211189, China

Abstract: Objectives: Road network is the basis of various road traffic analysis and visualization. It is difficult to extract road centerlines automatically in analyzing the internal of complex polygonal road surface and difficult road surface segmentation. An algorithm of constructing road network is proposed to distinguish road sections and intersections, which can simplify data preprocessing based on the topological relationship among blocks. **Methods:** Firstly, through performing logical negation operation on road surface, complex polygons with holes are converted into independent and simple block polygons. Secondly, neighbor points among them are calculated, and neighboring blocks of each block can be obtained using the neighbor analysis. Consequently, the topological relationship among common road sections or common intersections is determined, and road sections and intersections are discriminated. Then, it is obtained that two common blocks on both sides of each section and all blocks which around each intersection, so the geometric positions of centerlines of road sections are calculated by means of applying the unit circle rolling tracking algorithm. Finally, according to the type of intersection, the positions of intersection associated with road sections are determined to complete the construction of the road network digital model. The algorithm is verified by developing experimental software which uses urban road surface data in a city topographic map with scale of 1 : 1 000 as experimental data. **Results:** The experimental result shows that the topological relationship of the final road traffic network is accurate and the matching relationship among blocks is correct. The positions of road centerlines are accurate and every line shape is smooth. There are no excess centerlines or missing centerlines. The proposed method works well in dense and sparse neighborhoods. Compared with traditional algorithms, the algorithm for constructing road network by using street topology relationship doesn't need to perform manual segmentation or road surface edge line encryption. It simplifies complex graphics by negating the road surface and obtains road sections information according to topological relationship among polygons. The road centerlines are calculated by using unit circle rolling algorithm, so the geometric characteristic of the road centerlines and the accuracy of the topological relationship can be guaranteed. The experimental result shows that the method construct a road network with complete topology, accurate location and smooth shape. **Conclusions:** In the process of constructing the road section-block topology using the method, the road sections and intersections are distinguished. It solves the problems of segmentation of the road sections and provides a good basis for the extraction of road centerlines. It is suitable for the construction of geometric road networks in dense road networks and dense blocks.

Key words: topological relationship; blocks; road network; road centerlines

First author: CAI Xianhua, PhD, professor, specializes in the geography information system for transportation application and development, spatial information visualization technology, computer aided cartography. E-mail: cai.x.h@seu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (41571375, 51638004).

引文格式: CAI Xianhua, LIU Kaili, HU Zhuoliang, et al. An Algorithm for Constructing Road Network Using Block Polygon Topology[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(8):1170-1177. DOI:10.13203/j.whugis20190348(蔡先华, 刘凯丽, 胡卓良, 等. 利用街区面块拓扑构建道路网络的算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(8):1170-1177. DOI:10.13203/j.whugis20190348)