

引文格式:何广静,张新长,欧佳斌,等.基于直线段相交特征识别的线线空间关系计算方法[J].测绘学报,2015,44(S0):166-170. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2015. F001.
HE Guangjing, ZHANG Xinchang, OU Jiabin, et al. A Calculation Method of Space Lines' Relationship Based on Recognition of Linear Segment Intersection Feature[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(S0):166-170. DOI:10.11947/j. AGCS. 2015. F001.

基于直线段相交特征识别的线线空间关系计算方法

何广静,张新长,欧佳斌,何显锦,高金顶

中山大学地理科学与规划学院,广东 广州 510275

A Calculation Method of Space Lines' Relationship Based on Recognition of Linear Segment Intersection Feature

HE Guangjing, ZHANG Xinchang, OU Jiabin, HE Xianjin, GAO Jinding

School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Describing spatial relationship is a critical and basic theoretical of GIS. The exactitude of geographic analysis and cartographic result based on the accuracy, completeness and intuition of expression of spatial relationship. Currently, in the International and domestic fields, a lot of researchers have done abundant work about creating topological model and mining topological relationship. As their excellent job, a series basic theory and method have discovered. Based on the former job, this paper presents a local line-line topological recognition method based on the linear segment intersection feature. Integrate with Line-line topology chain model to describe the Line-line spatial relationship, and SVM to recognize linear segment intersection feature, the refined calculation of Line-line spatial relationship becomes simplify.

Key words: intersection model; linear segment intersection feature; feature extract; pattern recognition; Line-Line topology chain model

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (No. 41431178); The National High-tech Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2013AA122302)

摘 要:空间关系是 GIS 的重要信息和理论研究基础。空间关系描述的准确性、完备性、直观性直接影响到地理学分析和地图制图的效果。当前,国际国内在地理要素空间拓扑关系模型表达和拓扑关系挖掘与描述方面做了大量研究,解决了很多关键问题也发现了许多新问题。本文在前人研究的基础上,提出基于直线段相交特征的局部直线段拓扑关系识别方法,并结合拓扑链模型对线线空间关系进行细化描述。该方法不仅具有线要素集合划分的优点还有线线间空间关系细化描述的直观性,同时简化了线线空间关系的细化计算。

关键词:相交模型,直线段相交特征,特征提取,模式识别,线线拓扑链模型

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:1001-1595(2015)S0-0166-05

基金项目:国家自然科学基金重点项目(41431178);国家 863 计划(2013AA122302)

1 引 言

地理信息是关于现实世界空间实体及其相互关系描述和表达的学科^[1]。空间关系就是关于现实空间实体描述和表达的重要地理信息,它是指地理实体之间存在的一些具有空间特性的关系,是空间数据组织、查询、分析、推理的基础^[1-3]。空间关系主要分为拓扑关系、顺序关系和度量关系,

并从这三个方面定性、定量的描述了空间数据之间的约束^[2],其中拓扑关系和顺序关系是定性描述约束较弱,而度量关系是定量描述约束较强^[4],然而在空间数据描述时定性的关系和定量的关系并不完全绝对,而是可以相互转化^[5]。

在 GIS 图层中,等高线、河流、道路等空间实体对象数据是常见的线要素目标。它们具有延展性、方向性、非自交性等特征是线线关系复杂性之

所在,给数据分析应用带来困难。在地图制图时,由于地形要素位置精度和更新时间不一致,或者制图综合的数据二次处理,线要素常常会发生拓扑、顺序、度量等空间关系的变化,产生空间冲突。线要素空间关系的描述和表达是线要素制图、分析、应用的关键步骤。专家学者们针对要素的空间关系进行深入研究并提出了空间关系的四交^[6]、九交^[7]和 V9I^[8]等模型。针对线要素的细化描述有文献提出了完全矩阵集^[9]和拓扑链^[10]等方法。目前,在空间拓扑关系识别和描述时,线段的局部拓扑关系普遍采用决策树的方法进行分析识别,其流程比较复杂。当前 SVM 分类算法已经很成熟,并且有开源库可以调用,本文提出基于直线段拓扑关系特征,采用 SVM 分类器进行直线段局部拓扑识别以简化分析识别流程。

2 线线空间关系描述

2.1 拓扑链模型线线空间关系描述

空间关系不仅要进行定性描述还要定量表达,空间关系描述和计算的四交、九交、及 V9I 模型适于简单拓扑关系的描述和计算,难以表达目标间详细的空间关系^[6,9,12-16]。文献^[13]的线线拓扑不变量完备集中加入度量信息进一步细化描述线线复杂关系,其描述如表 1。然而,文献^[10]指出该方法描述的线线空间关系不够直观,不利于空间关系的判断和比较,进而提出了基于拓扑链模型的线线空间关系定性定量表达。描述模型如式(1)^[10]和式(2)。

表 1 度量详细的拓扑关系描述方法^[9]

Tab.1 Detail description of topology

$S(L_2)$	CS	T	LO_{L_2}
0	0	(i_1, i_2, o_1, o_2) $(0.05, 0.05, 0.06, 0.2)$	-0.01
1	0	(i_1, o_2, o_1, i_2) $(0.06, 0.35, 0.35, 0.2)$	0.14
3	0	(i_1, i_2, o_1, o_2) $(0.08, 0.35, 0.42, 0.36)$	0.03
2	-0.04	(i_1, o_1, i_2) $(0.35, 0.08, 0.36)$	—

$$R(L_1, L_2) = k_0 T_0 \begin{bmatrix} D_1 \\ A_1 \\ pd_1 \\ sd_1 \\ P_1 \\ \alpha_{1_1}, \alpha_{1_2}, \dots, \alpha_{1_n} \end{bmatrix} \cdot$$

$$k_1 T_1 \begin{bmatrix} D_2 \\ A_2 \\ pd_2 \\ sd_2 \\ P_2 \\ \alpha_{2_1}, \alpha_{2_2}, \dots, \alpha_{2_n} \end{bmatrix} \cdots k_{m-1} T_{m-1} \begin{bmatrix} D_m \\ A_m \\ pd_m \\ sd_m \\ P_m \\ \alpha_{m_1}, \alpha_{m_2}, \dots, \alpha_{m_n} \end{bmatrix} \cdot \quad (1)$$

$$R(L, (L_1, L_2, \dots, L_i)) = \begin{bmatrix} R(L, L_1) \\ R(L, L_2) \\ \vdots \\ R(L, L_i) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中,有序数字 k_j 表示拓扑结顺序;字母 T_j 表示该拓扑结所表达的局部拓扑关系类型;矩阵表示两线目标间局部的序关系、度量关系,该矩阵 D 表示线目标局部方向关系; A 表示拓扑环的面积; pd 表示拓扑环的纵向长; sd 表示拓扑环的侧向长; P 表示拓扑环周长; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 表示相交角度。式(2)表示一根直线与多根直线的空间关系,河流和等高线之间空间关系就用这种模型。

2.2 空间直线段的基本拓扑关系

线线空间关系描述,首先建立两者的相互关系再确定它们之间的度量值。线线间的相互定性关系主要有拓扑关系和顺序关系。线线间拓扑关系可以分解为两两直线段之间的拓扑关系。两两直线段之间的拓扑关系主要有:相离、包含、相等、部分重叠、共线端点相接、非共线端点相接、内部相接、交叉等 8 类,如图 1 所示。

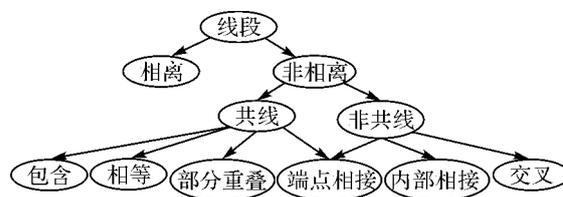


图 1 两直线段拓扑关系分类

Fig.1 Topology Classification of two line segment

在 GIS 图层中,等高线、河流、道路、管线等要素间的线线拓扑关系,可以分解为直线段拓扑关系再根据拓扑关系顺序关系进行线线关系的描述。

3 基于 SVM 的直线段拓扑关系识别

3.1 SVM 分类

SVM 是 Vapnik 等人在多年研究统计学习

理论上对线性分类器提出的一种设计最佳准则。SVM 既适用于线性可分的情况,也适用于线性不可分的情况。对于线性不可分的情况,SVM 通过非线性映射算法将低维空间线性不可分的输入样本转化到高维特征空间使其线性可分,从而实现线性不可分样本的分类识别。SVM 基于结构风险最小化理论,兼顾了经验风险与期望风险的最小化,在特征空间中建构最优分割超平面,使得分类器得到全局最优化,并且在整个样本空间的期望风险以某个概率满足一定上界。SVM 适用性比较强已经在图像识别、信号处理、数据挖掘等方面取得了广泛应用。本文采用 SVM 作为基本分类器,对直线段拓扑特征进行分类识别。

3.2 直线段拓扑关系特征提取

有直线段 $l(l_1, l_2)$ 和 $m(m_1, m_2)$, 其中 l_1, l_2 为直线段 l 的端点, m_1, m_2 为直线段 m 的端点。平面上有序 3 点 $P_1(X, Y), P_2(X, Y), P_3(X, Y)$ 的方向性判断

$$S(P_1, P_2, P_3) = \frac{1}{2} \times \begin{bmatrix} P_{1x} & P_{1y} & 1 \\ P_{2x} & P_{2y} & 1 \\ P_{3x} & P_{3y} & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \times (P_{1x}P_{2y} - P_{1y}P_{2x} + P_{1y}P_{3x} - P_{1x}P_{3y} + P_{2x}P_{3y} - P_{2y}P_{3x}) \quad (3)$$

如果 $S > 0$, 则 P_1, P_2, P_3 逆时针方向, 当 $S < 0$ 时, P_1, P_2, P_3 顺时针方向, 当 $S = 0$ 时, 3 点共线。取一条直线段上的两个端点分别与另一条直线段的两个端点组成有序的平面上三个点。若 $S_{m_1} = \text{sign}(S(l_1, l_2, m_1)), S_{m_2} = \text{sign}(S(l_1, l_2, m_2)), S_{m_1} \times S_{m_2} > 0$ 表示 m_1, m_2 在直线段 l 的同侧, 若 $S_{m_1} \times S_{m_2} < 0$ 则表示 m_1, m_2 在直线段 l 的异侧, 若 $S_{m_1} \times S_{m_2} = 0$, 则表示 m_1, m_2 至少有一个点与直线段 l 共线。若 $S_{m_1} = 0$, 且 m_1 不在直线段 l 延长线上, 则点 m_1 在直线段上。点是否在直线段上通过式(4)确定

$$F_{m_1} = (S_{m_1} = 0) \&\& (\min(l_{1x}, l_{2x}) \leq m_{1x} \leq \max(l_{1x}, l_{2x})) \&\& (\min(l_{1y}, l_{2y}) \leq m_{1y} \leq \max(l_{1y}, l_{2y})) ? 1 : 0 \quad (4)$$

当 $F_{m_1} = 1$ 时表示点 m_1 不在直线段 l 的延长线上。

两两直线段之间的拓扑关系与直线段端点的顺序及端点是否在两一条直线段的延长线上相关。因此, 本文设计了一个 8 维的直线段拓扑关系特征向量 $V = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_8]$, 其中, $v_1 = S_{l_1} +$

$S_{l_2} + S_{m_1} + S_{m_2}, v_2 = |S_{l_1}| + |S_{l_2}| + |S_{m_1}| + |S_{m_2}|, v_3 = F_{l_1} + F_{l_2} + F_{m_1} + F_{m_2}, v_4 = F_{l_1} + F_{l_2}, v_5 = F_{m_1} + F_{m_2}, v_6 = S_{l_1} \times S_{l_2}, v_7 = S_{m_1} \times S_{m_2}, v_8 = S_{l_1} \times S_{l_2} \times S_{m_1} \times S_{m_2}$ 。根据两两直线段拓扑关系的基本类型, 及特征向量特征维的提取定于, 直线段相交特征的完备集如表 2。

表 2 直线段相交完备特征集

Tab. 2 Complete feature set of two line segments

拓扑关系	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	Label
共线相离	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相等	0	0	4	2	2	0	0	0	1
部分重叠	0	0	2	1	1	0	0	0	2
共线端点相接	0	0	2	1	1	0	0	0	2
包含	0	0	2	0	2	0	0	0	3
	0	0	2	2	0	0	0	0	3
非共线端点相接	2	2	2	1	1	0	0	0	4
	0	2	2	1	1	0	0	0	4
	-2	2	2	1	1	0	0	0	4
	3	3	0	0	0	0	1	0	5
非共线相离, 一个端点在另一直线段延长线上	-1	3	0	0	0	0	1	0	5
	1	3	0	0	0	0	1	0	5
	-3	3	0	0	0	0	1	0	5
	3	3	0	0	0	1	0	0	5
	-1	3	0	0	0	1	0	0	5
	1	3	0	0	0	1	0	0	5
	-3	3	0	0	0	1	0	0	5
	1	3	1	0	1	0	-1	0	6
非共线内部相接	-1	3	1	0	1	0	-1	0	6
	1	3	1	0	1	0	-1	0	6
	1	3	1	1	0	-1	0	0	6
	-1	3	1	1	0	-1	0	0	6
非共线相离且没有任意三点共线	1	3	1	1	0	-1	0	0	6
	4	4	0	0	0	1	1	1	7
	0	4	0	0	0	1	1	1	7
	0	4	0	0	0	-1	-1	1	8
相交	0	4	0	0	0	-1	-1	1	8

3.3 直线段相交特征识别

从直线段拓扑关系分类和 3.2 节中定义的直线段相交特征向量的提取方法, 可知表 2 是一个完备的直线段拓扑关系特征集。在进行直线段相交特征识别 SVM 训练时, 只需按照表 2 复制足够多的训练样本和样本标签, 将训练样本和标签输入到 SVM 分类器, 进行训练得到直线段相交特征识别的 SVM 分类模型。通过该模型可以对提取到的直线段相交特征测试样本进行分类, 无需从图层中挑选样本, 且分类器经过完备的样本训练后, 其模型具有普适性, 适用于任何空间数据, 无需做有针对性的重复样本选取和分类器训练。从表 2 中, 还发现两直线重叠和共线端点相接的

特征重合,分类标签 Label=2。当 SVM 分类结果标签值为 2 时,需要用决策树比较 F_{l_1} 、 F_{l_2} 、 F_{m_1} 、 F_{m_2} 中值为 1 对应的两个点的 x 坐标是否相等,如果相等则为共线端点相接关系,否则是重叠关系。

4 线线空间关系细化描述

线要素形式多样而使线线空间关系复杂化,为了简化线线空间关系描述,需要对线目标进行分解和局部关系描述后的整合,形成线线空间关系既有整体概略描述也有局部关系的细化表示。本文线线空间关系描述首先对线要素线进行直线段间拓扑关系的识别,在根据局部直线段的拓扑关系计算相关的线线度量关系,并用拓扑链模型将所有信息整合实现线线空间关系细化计算结果的有效组织。

5 试验分析

5.1 试验数据

本文试验采用墨尔本地区某个局部的等高线和河系数据,如图 2。数据高程范围从 78~106 m,左上角的河道是下游,右下角的两条支流为上游河道。

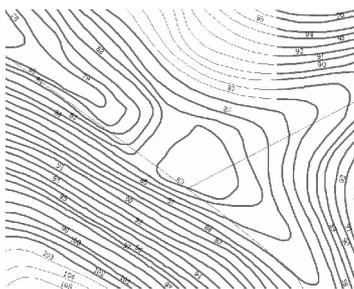


图 2 墨尔本地区局部数据
Fig. 2 Data from a local of Melbourne

5.2 试验结果及分析

在进行直线段拓扑关系识别之前,需要先进行直线段相交特征识别的训练。本文采用 SVM 分类器,从表 2 中选取 236 个样本进行训练,用训练所得分类器对样本进行分类测试。分类结果误差矩阵如图 3 所示。误差矩阵显示,该分类器能有效识别直线段相交特征,而训练用的样本特征是直线段相交特征的完备集,即通过本文直线段相交特征提取方法提取到的直线段相交特征均可以被该 SVM 分类器所识别,分类器可以永久使

用,不需再做有针对性的样本学习。

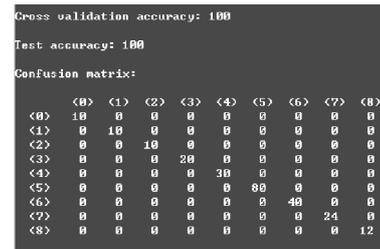


图 3 训练样本分类误差矩阵
Fig. 3 Error matrix of samples

采用该分类器对图 2 中的河道与等高线之间的直线段拓扑关系进行相交检测。图 4 为相交检测结果的局部放大图,图中高亮显示部分为检测到的两直线段之间的一次交叉。如果两条曲线目标间存在局部直线段的交叉关系,则这两条线目标也具有交叉关系。



图 4 直线段相交识别
Fig. 4 Result of intersect recognition

为了便于对河流与等高线之间的空间关系进行分析,在进行直线段拓扑关系识别的同时建立河流与等高线之间的空间关系拓扑链描述模型。本文采用链表形式建立拓扑链模型。如式(5),每一行节点记录一条河流与一条等高线的线目标空间关系。每一个括号节点记录线目标间在局部中的相交关系。括号内依次为局部线目标的相交类型,等高线高程值,以及局部两条直线段之间的相交角度,不想交则为零,不做记录。

$$R(r_1, (L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6)) = \begin{bmatrix} (C, 79, 11.6) \\ (C, 80, 10.5) \\ (C, 81, 11) \\ (C, 82, 36.3) \\ (C, 83, 84.2) \\ (C, 83, -57.8)(C, 83, 34.3) \end{bmatrix} \quad (5)$$

从式(5)可以发现,河流穿过高程值为 83 m 的 5 号等高线,两次穿过高程值为 83 m 的 6 号等

高线。根据河流与等高线的一致性规则,河段多次穿越同一高程值的等高线是河流爬坡的非一致性现象,线目标间存在冲突。

6 结 论

线线空间关系细化描述是 GIS 应用中不可或缺的技术。本文研究当前空间关系描述的先进方法,吸收其优点,并针对直线段拓扑关系决策树流程繁琐的问题,提出直线段拓扑关系特征 SVM 识别方法。本文提出直线段拓扑关系 SVM 识别—拓扑链模型细化描述的整体流程方法保持了线线空间关系描述的直观性,提高了线线空间关系细化计算的便捷性,便于对线线空间关系进行编码为线线冲突检测、制图、查询、分析提供定性定量的信息帮助。

参考文献:

- [1] 陈军,赵仁亮. GIS 空间关系的基本问题与研究进展[J]. 测绘学报,1999,28(2):95-102.
CHEN Jun,ZHAO Renliang. Spatial Relations in GIS a Survey on Its Key Issues and Research Progress[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,1999,28(2):95-102.
- [2] EGENHOFER M. Pre-processing Queries with Spatial Constraints. PE&RS,1994, 60(6):783-970.
- [3] 郭薇,陈军. 基于点集拓扑学的三维拓扑空间关系形式化描述[J]. 测绘学报,1997,26(2):122-127.
GUO Wei,CHEN Jun. The Formal Description of Topological Spatial RelationShip in 3D Based on Point Set Topology [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,1997,26(2): 122-127.
- [4] SCHIEDER Christoph. Reasoning about Ordering. In: Lecture Notes in Computer Science 988. Pisa; Springer-Verlag,1995;341-349.
- [5] HONG Junhong, Egenhofer Mand Frank Andrew U. On the Robustness of Qualitative Distance and Direction-Reasoning. Annual Convention Exposition Technical Papers. A CSM/ASP RS'95. Autocarto, 1995, 12(4): 301-310.
- [6] EGENHOFER M,FRANZOSAR. Point-set Topological Spatial elations[J]. International Journal of Geographical Information Systems,1991,5(2):161-176 .
- [7] EGENHOFER M. A Model for Detailed Binary Topological Relations[J]. Geomatica, 1993,47(3-4):261-273.
- [8] CHEN Jun, LI Chengming, LI Zhilin, et al. A Voronoi-based 9-Intersection Model for Spatial Relation[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2001, 15(3):201-220.
- [9] KONSTANTINOS Nedas. Metric Details of Topological Line-Line Relations[J]. International Journal of Geographical Information Science,2007,21(1):21-48.
- [10] 刘万增,陈军,等. 线线空间关系描述的拓扑链模型[J]. 中国矿业大学学报,2010,39(1):75-79.
LIU Wanzeng,CHEN Jun, et al. A Topology Chain Model for Describing Line-Line Spatial Relations[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2010,39(1): 75-79.
- [11] 刘万增. GIS 数据库更新中空间冲突自动检测方法[M]. 北京:测绘出版社,2009.
LIU Wanzeng. Automatic Detection of Spatial Conflict in GIS Database Updating[M]. Beijing: Surveying and Mapping Press,2009.
- [12] 陈军, 刘万增. 线目标间拓扑关系的细化计算方法[J]. 测绘学报,2006,35(3):255-260.
CHEN Jun,LIU Wanzeng. The Refined Calculation Method of Topological Relationship between Line Objects[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2006,35(8):255-260.
- [13] CLEMENTINI E, FELICE P. Topological invariants for lines[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,1998,10(1):38-54.
- [14] EGENHOFER M. A Model for Detailed Binary Topological Relations[J]. Geomatica, 1993,47(3/4):261-273.
- [15] EgenhoferM. Definitions of Line-Line Relations for Geographic Databases [J]. Data Engineering, 1994, 16(11): 161-174.
- [16] CHEN Jun, LIU Wanzeng, LI Zhilin, et al. Detection of Spatial Conflicts Between Rivers and Contours in Digital Map Updating[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(6):1093-1114

(责任编辑:宋启凡)

收稿日期:2015-11-15

修回日期:2015-12-10

第一作者简介:何广静(1985—),男,博士生,研究方向为空间数据更新与融合。

First author: HE Guangjing(1985—), male, PhD candidate, majors in spatial data updating and fusion.

E-mail: heguangjin1234@126.com

通信作者:张新长

Corresponding author: ZHANG Xinchang

E-mail: eeszxc@mail.sysu.edu.cn