

基于线状图形相似性的道路数据变化检测

唐炉亮^{1,2} 杨必胜^{1,2} 徐开明³

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2 武汉大学交通研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(3 国家测绘局黑龙江基础地理信息中心,哈尔滨市测绘路 2 号,150086)

摘 要:将相似性认知的距离观与特征集合观相结合,在获得相似性图形的差异距离的基础上,提出了线状地物的几何图形相似性度量模型;通过研究空间数据变化与相似度的关系,提出了基于线状地物相似度的空间数据变化检测算法,实现了基于线状图形相似性认知的道路数据变化发现与提取。
关键词:相似性认知;图形相似度;道路数据变化检测
中图法分类号:P208

空间数据变化检测是空间数据更新的首要环节^[1,2],是在不同时间对同一物体或现象观察识别其差异的过程,目的是通过调查、比较发现并确定变化^[3],因此,空间数据变化检测的本质就是识别变化前后地物的差异性和相似性。

相似性是人类对周边事物认知与加工的心理反映,是一种心理认知。人们通过相似性认知揭示出支配事物相似的本质,如魏格纳根据大西洋两岸大陆轮廓线的相似吻合特征,提出了著名的大陆漂移学说^[4]。本文针对交通道路数据的线状表达,将相似性认知的距离观与特征集合观相结合,获取变化前后道路数据的差异距离,提出了线状空间数据的几何图形相似性度量模型,实现了基于线状图形相似性认知的道路数据变化检测。

1 相似性的心理认知

相似性是心理认知与推理的核心之一,促进了记忆、推理、分类、判断等认知加工与经验的形成,成为后来迁移情景的判断和决策。相似性认知理论主要有距离观、特征集合观、结构组合观和特征结构综合观^[5-8]4 种,其中 Tversky 提出的特征集合观^[4]相似性认知理论认为,两对象 a 、 b 的相似由特征集合 $A \cap B$ 、 $A - B$ 和 $B - A$ 共同确

定,其比率模型为:

$$S(a,b) = \frac{f(A \cap B)}{f(A \cap B) + \alpha f(A - B) + \beta f(B - A)} \quad \alpha \geqslant 0, \beta \geqslant 0 \quad (1)$$

2 线状地物几何图形相似度模型

Knorr 等提出了利用差别线段链(difference curve)来评价两线段链的相似程度^[9],但该方法只能针对多折线表达的线状地物 A 、 B ,不适用于曲线表达的地物。本文提出了一种新的线状图形的描述方法,其中有线状地物 A 、 B ,获取地物 A 中的 $\min X_A$ 、 $\min Y_A$ 、 $\max X_A$ 、 $\max Y_A$,由 $(\min X_A, \min Y_A)$ 和 $(\max X_A, \max Y_A)$ 确定 A 地物的外接矩形,记为 Bound_A ;同样方法可得到 B 地物的外接矩形为 Bound_B , $A \cup B$ 的外接矩形为 $\text{Bound}_{A \cup B}$;沿 X 方向上,从 $\text{Bound}_{A \cup B}$ 最小处 $(\min X_{A \cup B}, \min Y_{A \cup B})$ 开始,作间隔为 Δx 的平行于 Y 轴的扫描线,交地物 A 、 B 和 $A \cup B$ 的外接矩形 $\text{Bound}_{A \cup B}$,第 i 条扫描线 $i * \Delta x$ 的扫描线与地物 A 、 B 相交,如图 1 所示。地物 A 、 B 的差异距离可以表示为: $\Delta L_i |L_{Bi} - L_{Ai}|$,则地物 A 、 B 在 $i * \Delta x$ 处的相似性度量 $S(\Delta x_i)$ 可表示为: $S(\Delta x_i) = 1 - \frac{|L_B(\Delta x_i) - L_A(\Delta x_i)|}{\max(L_B(\Delta x_i), L_A(\Delta x_i))}$ 。在各个扫描线方向上

的相似性度量的基础上,利用统计的方法,地物 A、B 的几何图形相似度可以表示为:

$$\text{SIMshape}(B,A) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M 1 - \frac{A(M) \mid L_B(\Delta x_i) - L_A(\Delta x_i) \mid}{\max(L_B(\Delta x_i), L_A(\Delta x_i))} \tag{2}$$

式中, M 表示扫描线的数量, $M = \mid \max X_{A \cup B} - \min X_{A \cup B} \mid / \Delta x$, Δx 是扫描线的间隔值,其大小取决于计算的复杂度, $A(M)$ 是一个与 M 有关的函数, $A(M) = 2e^{-1/M}$,其作用是调节差异距离的大小。

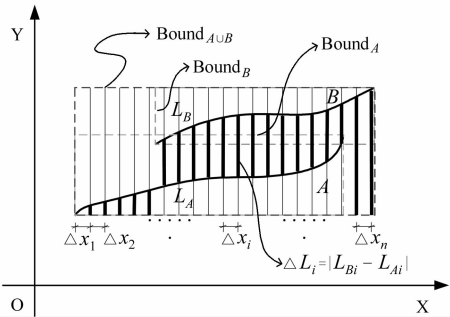


图 1 线状空间数据的几何图形描述
Fig. 1 Shape Description for Linear Spatial Data

3 空间数据的变化检测与提取算法

3.1 空间数据的变化分类

空间数据的变化分为地物增加、地物删除、地物修改 3 种类型。假设集合 Old 是变化前空间数据集合,记为 $\text{Old} = \{x \mid x \text{ 为变化前空间数据}\}$,集合 New 是变化后空间数据的集合,记为 $\text{New} = \{y \mid y \text{ 为变化后空间数据}\}$ 。地物增加是在变化前的空间数据 Old 中增加了新的地物,用集合表示为 $\text{Addition} = \{\alpha \mid \alpha \in \text{New}, \alpha \notin \text{Old}\}$ 。地物删除是

$$\text{Old} = \begin{cases} \text{Old}(i) & \text{Old}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物删除, } \text{Sim}(i) = 0 \\ \text{Old}(i) & \text{Old}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物修改, } 0 < \text{Sim}(i) \leq \text{Val} \\ \text{Old}(i) & \text{Old}(i) \text{ 没有地物变化, } \text{Val} < \text{Sim}(i) = 1 \end{cases}$$

变化后空间数据集合 New 中空间数据变化和变化类型可以表示为:

$$\text{New} = \begin{cases} \text{New}(i) & \text{New}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物增加, } \text{Sim}(j) = 0 \\ \text{New}(i) & \text{New}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物修改, } 0 < \text{Sim}(j) \leq \text{Val} \\ \text{New}(i) & \text{New}(i) \text{ 没有地物变化, } \text{Val} < \text{Sim}(j) = 1 \end{cases}$$

因此,空间数据变化可以提取为:

$$\text{Chg} = \begin{cases} \text{Chg}(i) & \text{Old}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物删除, } \text{Sim}(i) = 0 \\ \text{Chg}(i) & \text{Old}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物修改, } 0 < \text{Sim}(i) \leq \text{Val} \\ \text{Chg}(j) & \text{New}(j) \text{ 有地物变化,变化类型为地物增加, } \text{Sim}(j) = 0 \\ \text{Chg}(j) & \text{New}(j) \text{ 有地物变化,变化类型为地物修改, } 0 < \text{Sim}(j) \leq \text{Val} \end{cases}$$

由于地物修改类型可以转化为地物增加和地物删除,因此空间数据变化可以表示为:

$$\text{Chg} = \begin{cases} \text{Chg}(i) & \text{Old}(i) \text{ 有地物变化,变化类型为地物删除, } 0 \leq \text{Sim}(i) \leq \text{Val} \\ \text{Chg}(j) & \text{New}(j) \text{ 有地物变化,变化类型为地物增加, } 0 \leq \text{Sim}(j) \leq \text{Val} \end{cases}$$

指在变化前的空间数据集合 Old 中,删除了原有的地物,用集合表示为 $\text{Deletion} = \{d \mid d \in \text{Old}, d \notin \text{New}\}$ 。地物修改是指对变化前的空间数据 Old 进行修改,用集合表示为 $\text{Modification} = \{m \mid m \in \text{Old}, m \in \text{New}, \text{Old} \neq \text{New}\}$ 。地物修改过程比较复杂,对于空间数据的变化来说,本质上可以将地物修改的过程分解为地物删除和地物增加两个过程。

3.2 空间数据变化检测与提取

空间数据的变化发现与提取的关键是分别针对变化前后的空间数据进行地物相似性度量,根据空间数据变化与地物相似度的关系,进行空间数据的变化检测与提取,如图 2 所示。

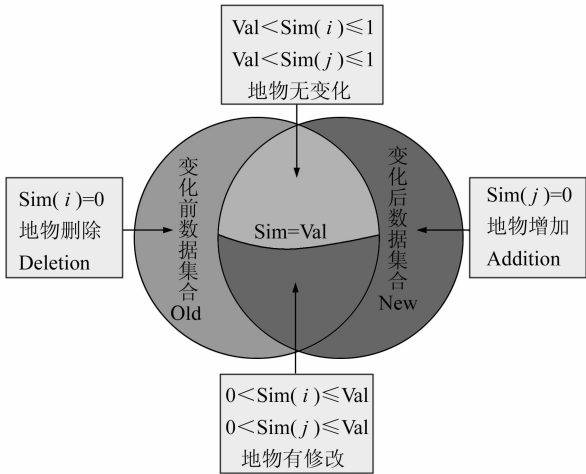


图 2 变化前后空间地物相似度与空间数据变化关系示意图
Fig. 2 Relationship Between the Similarity and Spatial Data Change

变化前空间数据集合 Old 中的空间数据变化和变化类型可以表示为:

上述结果表明,空间数据的变化检测与提取是分别对变化前后的空间数据进行相似性度量,对于变化前的地物相似度不大于变化阈值的空间数据,发生了地物删除的空间数据变化;对于变化后的地物相似度不大于变化阈值的空间数据,则发生了地物增加的空间数据变化。

4 实 验

以武汉市的交通道路数据(比例尺 1 : 1 000)作为实验数据,采用 ArcGIS 9.1 与 VS. Net 为开发平台,进行线状地物相似性度量的道路数据变

化检测实验。变化前的道路数据共有要素 2 467 个(图 3(a)),变化后的道路数据共有 2 621 个地物要素(图 3(b))。

利用线状地物几何图形相似度模型对变化前后道路数据 Old、New 分别进行相似性度量,并取 Val=0.85,利用空间数据的变化检测与提取算法,对交通道路数据进行道路变化检测与提取。在变化前道路数据中,有 157 条道路发生了地物删除的道路变化,在变化后的道路数据中,有 311 条道路发生了地物增加的道路变化,统计结果如表 1 所示,其中发生删除变化的 157 条道路如图 4(a)所示,发生增加变化的 311 条道路如图 4(b)所示。

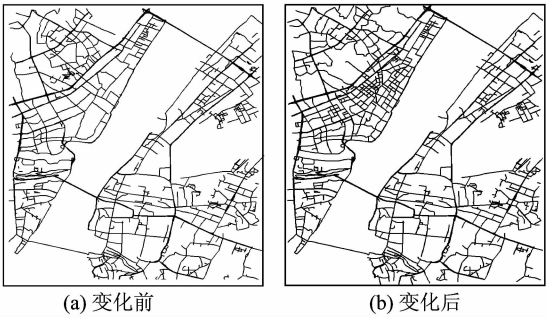


图 3 道路数据
Fig.3 Road Data

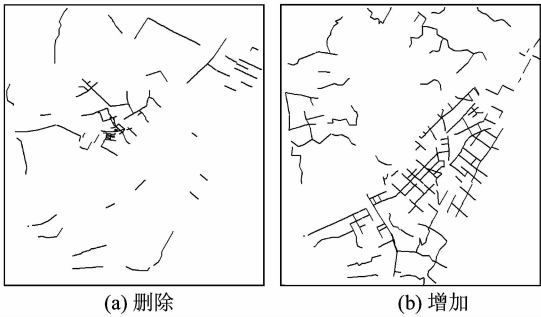


图 4 道路变化数据
Fig.4 Road Change Data

表 1 道路数据的图形相似度与变化发现结果统计表
Tab.1 Results of Road Shape Similarity and the Change Detection

序号	相似度(Sim)	变化前道路数据 Old			变化后道路数据 New		
		道路数	变化数	变化类型	道路数	变化数	变化类型
1	Sim=0	32	32	地物删除	186	186	地物增加
2	0<Sim≤Val	125	125	地物删除	125	125	地物增加
3	Val<Sim<1	5	0	没有变化	5	0	没有变化
4	Sim=1	2 305	0	没有变化	2 305	0	没有变化
道路数合计		2 467	157	地物删除	2 621	311	地物增加

空间数据变化检测算法关键在于地物相似度变化阈值的确定,直接影响到变化提取的结果。该阈值如果设置得过大,会导致一些变化很小或者没有变化的地物也被当作空间数据的变化进行提取,从而使得空间数据的变化增大;该阈值如果设置过小,会导致一些变化很大的地物没有达到变化阈值,不能被当作空间数据的变化进行提取,

从而使得空间数据的变化减小。实验中,变化前数据发生的真实道路变化为 162 条道路删除,变化后的道路数据发生的真实道路变化为 316 条道路增加。本文针对不同的变化阈值 Val 进行实验,其中 Val 的取值分别为 0.75、0.85 和 0.95,道路数据变化检测的结果如表 2 所示。

如图 5 所示,不同的阈值条件下,空间数据变

表 2 不同变化阈值条件下的道路数据变化发现的统计表

Tab.2 Results of Spatial Data Change Detection Under Different Change Thresholds

变化阈值	数据	相似度(Sim)	道路变化数	真实道路变化	变化类型	道路数据变化发现准确率/%
Val=0.75	变化前道路数据 Old	0≤Sim≤Val	152	162	道路删除	93.8
	变化后道路数据 New	0≤Sim≤Val	307	316	道路增加	97.2
Val=0.85	变化前道路数据 Old	0≤Sim≤Val	157	162	道路删除	97.0
	变化后道路数据 New	0≤Sim≤Val	311	316	道路增加	98.4
Val=0.95	变化前道路数据 Old	0≤Sim≤Val	160	162	道路删除	98.8
	变化后道路数据 New	0≤Sim≤Val	315	316	道路增加	99.7

化检测的准确性是不一样的,通常是随着变化阈值的增大,空间数据变化检测的准确性越高,越能发现和提取出细小空间数据的变化,因此,在利用地物相似性进行空间数据变化检测时,如何合理确定变化阈值,有待进一步研究。

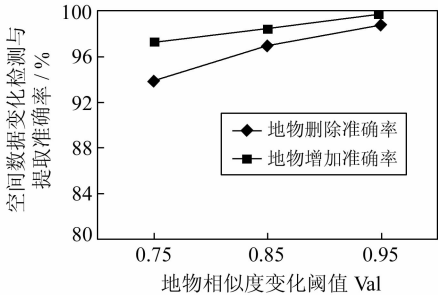


图 5 不同变化阈值条件下的空间数据变化检测准确率

Fig. 5 Accuracy of Spatial Data Change Detection Under Different Change Thresholds

参 考 文 献

[1] 李德仁. 利用遥感影像进行变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(特刊): 7-12

[2] 张剑清, 朱丽娜, 潘励. 基于遥感影像和矢量数据的水系变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版,

2007, 32(8): 663-666

[3] Singh A. Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10: 989-1 003

[4] Wegener A. The Origin of Continents and Oceans [J]. Journal of Geodynamics, 2001, 32: 31-63

[5] Shepard, R N. The Analysis of Proximities: Multi-dimensional Scaling with an Unknown Distance Function [J]. Psychometrika, 1962, 27(2): 125-140

[6] Tversky A. Features of Similarity [J]. Psychologica Review, 1977, 84: 327-352

[7] Gentner D, Medina J. Similarity and the Development of Rules [J]. Cognition, 1998, 65: 263-297

[8] Gentner D, Markman A B. Structure Mapping in Analogy and Similarity [J]. American Psychologist, 1997, 52(1): 45-56

[9] Knorr E M, Ng R T, Shilvock D L. Finding Boundary Shape Matching Relationships in Spatial Data[C]. The 5th International Symposium (SSD'97), Berlin, 1997

第一作者简介:唐炉亮,博士,副教授,主要研究方向为空间数据相似性与变化检测、GIS-T。
E-mail: tll@whu.edu.cn; tangluliang@hotmail.com

The Road Data Change Detection Based on Linear Shape Similarity

TANG Luliang^{1, 2} YANG Bisheng^{1, 2} XU Kaiming³

- (1 State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
- (2 Transportation Research Center, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)
- (3 Heilongjiang Geomatics Center, 2 Cehui Road, Harbin 150086, China)

Abstract: Similarity is a psychological cognition, this paper defines the different distance and puts forward the similarity measuring model for linear spatial data(SMM-L)based on the integration of the distance view and the feature set view which are the views for similarity cognition. After the study of the relationship between the spatial data change and the similarity, a spatial data change detection algorithm for linear spatial data is developed, and a test for road data change detection is realized.

Key words: similarity cognition; shape similarity; road data change detection

About the first author: TANG Luliang, Ph.D., associate professor, majors in spatial data similarity and change detection, GIS for transportation.
E-mail: tll@whu.edu.cn; tangluliang@hotmail.com