

OpenStreetMap 辅助下的高分辨率遥感影像道路变化检测

文 / 赵君 峰城区自然资源局

摘要: 矢量数据和遥感数据结合一直是研究和应用的重点和热点。尝试利用众源开放街道数据 OSM (OpenStreetMap) 结合高分辨率遥感影像进行道路的提取和变化检测。首先阐述相位一致性算法提取遥感影像道路的基本原理, 并对提取的结果与 Canny 算子进行对比和分析; 其次, 利用 OSM 数据为基础, 赋予不同图层缓冲区不同颜色, 通过缓冲区颜色叠加可以快速判断道路是否发生变化。

关键词: 高分辨率遥感影像; 道路提取; 道路变化检测; 相位一致性原理; OSM 数据

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.066

引言

研究如何快速提取遥感影像中道路并进行自动的变化检测有着非常重要的现实意义。在本文中为解决高分辨率遥感影像道路提取和变化检测问题作为出发点, 以高分辨率遥感影像作为数据源, 通过相位一致性原理构造的 Log-Gabor 滤波器, 准确提取道路纹理信息, 并通过面积指数和狭长度指数提取道路信息。在 OSM 数据的辅助下, 利用加色法, 通过缓冲区叠加可以快速判断道路变化情况。

OSM 数据与官方数据库相比, 其更新速度更快^[1], 信息覆盖广, 获取成本低。将 OSM 数据与遥感数据以及地理信息系统相结合, 可以快速准确的获得遥感影像道路的变化信息。最后利用 ArcGIS 平台的插件, 可以方便的对 OSM 数据进行解析和处理。

一、实验方法概述

(一) 相位一致性提取纹理信息原理

当前对纹理特征提取的方法^[2]主要有灰度共生矩阵法^[3], 多尺度变换法^[4], Gabor 变换算法^[5,6]等。以上方法都是基于亮度阶梯提取纹理特征, 提取结果很大程度上依赖图像本身的成像质量的好坏, 基于 Log-Gabor 小波滤波器的相位一致性的重要特点是无需对波形进行任何假设, 只是在傅里叶变换域里简单地按相位一致来寻找特征点。Log-Gabor 小波滤波器作为 Gabor 滤波器的改进^[7], 无需对图像进行任何先验处理, 直接使用 Log-Gabor 小波滤波器特征滤波, 可以取得良好的识别结果^[8]。Log-Gabor 函数的公式为:

$$g(w) = \exp \left\{ \frac{- \left[\ln \left(\frac{w}{w_0} \right) \right]^2}{2 \left[\ln \left(\frac{\dot{o}_w}{w_0} \right) \right]^2} \right\} \quad (1.1)$$

式 1.1 中, w_0 表示的是 Log-Gabor 滤波器的中心频率, \dot{o}_w / \dot{u}_0 决定了滤波器的形状, 所以在中心频率 w_0 发生变化的情况下, 只要能令 \dot{o}_w / w_0 是一个定值, 滤波器的形状就不会发生变化。

Log-Gabor 小波滤波器在极坐标下的表示函数为:

$$G(w, \dot{e}) = \exp \left\{ \frac{- \left[\ln \left(\frac{w}{w_0} \right) \right]^2}{2 \left[\ln \left(\frac{\dot{o}_w}{w_0} \right) \right]^2} \right\} \times \exp \left[\frac{- (\dot{e} - \dot{e}_0)^2}{2 \dot{o}_e^2} \right] \quad (1.2)$$

式 1.2 中, \dot{o}_w 确定了 Log-Gabor 滤波器的径向带宽 B_w , $B_w = 2\sqrt{2 \ln 2} \left| \ln \dot{o}_w / w_0 \right|$; \dot{e}_0 表示了滤波器的方向, \dot{o}_e 控制了滤波器的角度带宽 B_e , $B_e = 2\dot{o}_e \sqrt{2 \ln 2}$ 。

本文采用 Log-Gabor 滤波器对高分辨率遥感影像做带通滤波, Log-Gabor 小波滤波器可以实现频测不准下限, 除了可以有多个方向的滤波选择外, 该滤波器函数始终是零 DC 分量, 并且在高频率区域末端存在一段延伸线, 这就说明了 Log-Gabor 函数可以具有很高的对自然图像处理的效率和准确性。

(二) 加色法原理

加色法又称为“加法混合定律”, 指的是两种以上不同色光共同作用于人类的眼睛, 会产生一个新的光色。大自然所有颜色都能经过三基色蓝、绿、红的不同配比来实现, 通过赋予不同线性图层不同颜色, 利用加色法可以快速的实现变化检测。

(三) OSM 数据的评价要素及评价方法

OSM 在数据生产过程中会产生误差, 需要对 OSM 数据进行数量评价^[9]。论文主要从数据完整性、数据定位精度两个方面进行。

1. 长度完整性: 评价的模型是用 OSM 道路数据的总长度 L_{OSM} 占正规参考地图道路总长度 L_R 的比例, 如式 1.3 所示:

$$Q_L = L_{OSM}/L_R \quad (1.3)$$

2. 定位精度：本文的评价模型为现状要素缓冲区法，分析 OSM 数据落在缓冲区的长度，如式 1.4 所示，其中， Q_{LP} 为定位精度， L_{OSM}^P 为落在缓冲区中 OSM 道路长度。

$$Q_{LP} = L_{OSM}^P/L_{OSM} \quad (1.4)$$

二、实试验结果及分析

(一) 实验数据

为了验证本文提出的算法的有效性，实验数据影像图分别为 WorldView 卫星获取到空间分辨率为 1.0 米的经过几何正射纠正的高分辨率遥感影像，像素大小为 1016*623；Spot-6 卫星获取到的空间分辨率为 1.5 米的经过几何正射纠正的高分辨率遥感影像，像素大小为 1584*1084；所用的 OSM 主要利用线数据。

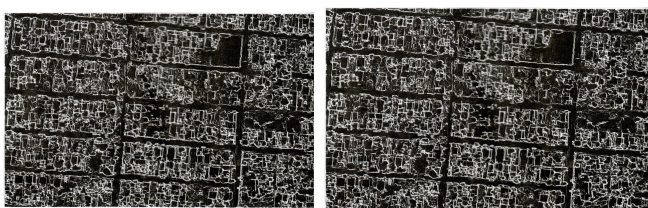


(a) 分辨率为 1.0m 的影像图 (b) 分辨率为 1.5m 的影像图

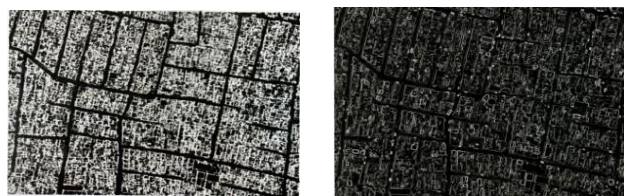
图 1 实验数据

(二) 实验过程及成果

1. Log-Gabor 滤波器提取纹理信息：获得的遥感影像，不需要进行任何预处理，直接利用构造好的 6 个方向的 Log-Gabor 滤波器进行滤波，获得相位一致性滤波图，如图 2(a)、图 2(c) 所示；同时用 Canny 算子对图像进行滤波，如图 2(b)、图 2(d) 所示。通过对比可以发现，Log-Gabor 滤波器滤波图边缘响应比较准确，Canny 算子的结果存在双边缘现象，存在响应过度的现象，印证了相位一致性算法的优点。



(a) Log-Gabor 滤波器滤波图 (b) Canny 算子滤波图



(c) Log-Gabor 滤波器滤波图 (d) Canny 算子滤波图

图 2 滤波图

2. 面积指数和狭长度指数提取道路主体信息：提取出的道路主体信息先进行滤波二值化反相，然后利用面积指数去除斑块信息，利用狭长度指数^[10]去除非道路信息，最后利用形态学腐蚀方法提取道路中心线。经过大量实验后发现，面积指数阈值选取 20，狭长度指数阈值为 5 时，结果最为理想。

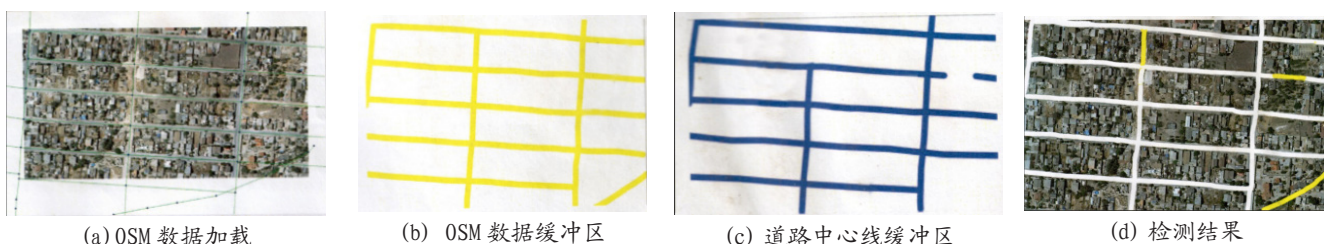
3. 道路变化检测：本文选取研究区域为美国的一个城市切萨皮克 (Chesapeake, Virginia)，面积为 908.8 平方公里，道路数据约为 1500 条，道路长度总长约 4000KM。本文按照公式 1.3 和 1.4 进行长度完整性和定位精度的计算，结果如表 1 所示：

表 1 OSM 数据质量评价表

质量要素	数据模型	结果
长度完整性	$Q_L = L_{OSM}/L_R$	93.6%
定位精度	$Q_{LP} = L_{OSM}^P/L_{OSM}$	95.3%

由结果可以看出，切萨皮克地区的两个评价指标均超过 90%，属于优秀级别，可以作为道路变化检测的参考数据。

加载遥感影像图和 OSM 数据配准后，如图 4(a)、图 4(e) 所示，按照道路宽度最大值做缓冲区，对 OSM 数据缓冲区赋予黄色，如图 4(b)、图 4(f) 所示，对提取的道路中心线缓冲区赋予黄色，如图 4(c)、图 4(g) 所示。由加色法颜色方程可知，白色部分道路为未发生变化部分，黄色为道路新增部分，蓝色为道路减少或者消失的部分。



(a) OSM 数据加载

(b) OSM 数据缓冲区

(c) 道路中心线缓冲区

(d) 检测结果

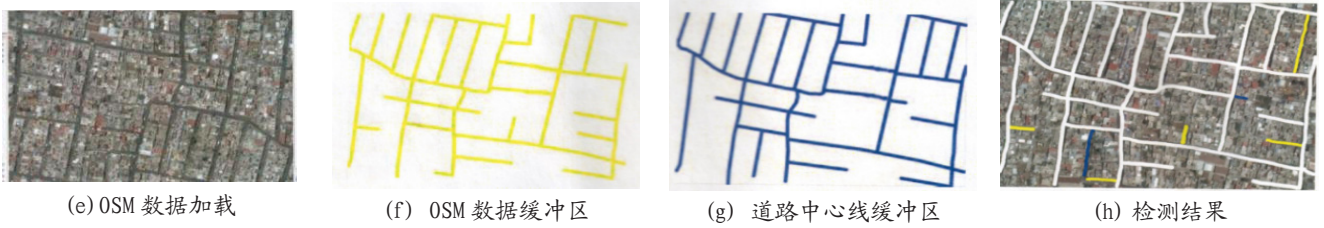


图3 变化检测结果

(三) 实验结果分析

针对高分辨率遥感影像的道路变化检测进行了两组实验,通过实验可以发现,利用本文提出的方法具有快速、直观的优点。变化检测准确度公式如式 1.5 所示:

$$A_c = (C_r + C_n) / C_t \quad (1.5)$$

表2 道路变化检测实验分析表

实验编号	总道路条数	新增道路条数	减少道路条数	未变化道路条数	错检条数	正确率 (%)
一	20	4	0	16	0	100
二	30	5	2	23	0	100

式中, A_c 为道路变化检测的精度, C_r 、 C_n 、 C_t 为正确检测的道路数、正确检测未发生变化道路条数、道路总条数。两组实验共检测道路 50 条, 正确率为 100%, 如表 2 所示。

结语

本文以相位一致性算法对高分辨率遥感影像道路进行提取, 对 OSM 数据结合加色法的原理, 能够快速、直观的进行检测, 减少人为干预, 实现自动检测的优点。实验证明, 本文的方法是可行的。

由于实际道路形态的多样性、背景的复杂性, 遥感影像载体的多样性, 所以本文不能适应全部的道路变化检测。随着社会的进步, 我国的 OSM 数据将会更加完善, 对 OSM 数据的研究可以为我国的地理信息更新提供一个新的方向和方法。

参考文献

[1] 单杰, 秦昆, 黄长青, 等. 众源地理数据处理与分析方法探讨 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2014, 4: 003.
 [2] 吴一全, 陶飞翔, 曹照清, 等. 基于 Log-Gabor 小波和 Krawtchouk 矩的遥感图像分类 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2016, 41 (7): 861-867.
 [3] Cao Qiong, Zheng Hong, Li Xingshan. A Method for Detection Cloud in Satelite Remote Sensing Image Based on Texture [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2007, 28 (3): 661-666 (曹琼, 郑红, 李行善. 一种基于文理特征的卫星遥感图像云探测方法 [J]. 航空学报, 2007, 28 (3): 661-666).
 [4] Han Ming, Lin Xiaofeng. Classification Algorithm of Remote Sensing Image Based on Wedgelet Transform [J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2008, 27 (4): 280-284 (韩敏, 林晓峰. 一种基于 Wedgelet 变换的遥感图像分类算法 [J]. 红外与毫米波学报, 2008, 27 (4): 280-284).

[5] Han Ming, Lin Xiaofeng. Classification Algorithm Based on Gabor Transform and Clonal Selection for Remote Sensing Image [J]. Laser & Infrared, 2008, 38 (7): 708-711 (韩敏, 林晓峰. 基于 Gabor 变换与克隆选择的遥感影像图像分类算法 [J]. 激光与红外, 2008, 38 (7): 708-711).
 [6] Shen L, Jia S. Three-Dimensional Gabor Wavelets for Pixel-Based Hyperspectral Imagery Classification [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49 (12): 5 039-5 046.
 [7] Jon A, Salgado L. Log-Gabor Filters for Image Based Vehicle Verification [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22 (6): 2 286-2 295.
 [8] Gao X, Sattar F, Venkateswarlu R. Multiscale Corner Detection of Gray Level Image Based on Log-Gabor Wavelet Transform [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2007, 17 (7): 868-875.
 [9] 王明, 李清泉, 胡庆武, 等. 面向众源开放街道地图空间数据的质量评价方法 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2013, 12: 023.
 [10] Li Xiaofeng, Zhang Shuqing, Han Fuwei, et al. Road extracting from high-resolution remote sensing image based on Multiple information fusion [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37 (2): 178-184. [李晓峰, 张树清, 韩富伟. 等. 基于多重信息融合的高分辨率遥感影像道路信息提取 [J]. 测绘学报, 2008, 37 (2): 178-184.].