

文章编号: 0494-0911(2011) 04-0014-03

中图分类号: P231.1

文献标识码: B

# 基于道路网矢量数据的遥感影像道路损毁检测

徐 阳, 李清泉, 唐炉亮

(武汉大学 遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079)

## Road Damage Detection from Remote Sensing Imagery Based on Road Network Vector Data

XU Yang LIQingquan TANG Luliang

摘要: 利用面向对象方法对地震后高分辨率遥感影像上的道路进行多尺度分割和分类。通过融合地震前道路网矢量数据与地震后遥感影像, 提出一种基于自适应模板的道路损毁检测方法。试验结果证明, 该方法能够快速、准确地对损毁信息进行提取。

关键词: 面向对象; 多尺度分割; 自适应模板; 数据融合

### 一、引言

近年来, 全球地震灾害频繁。2008年5月12日, 四川省汶川县发生里氏8.0级地震, 全国诸多区域有明显震感。2010年4月14日, 青海玉树发生里氏7.1级地震, 震源深度达33 km。地震产生的泥石流、滑坡以及次生灾害对震区的道路产生了极大的破坏, 使得交通系统产生不同程度的损毁, 甚至瘫痪。而道路交通是救援的生命线, 地震造成的道路损毁和阻断, 使得救援物资、人员和车辆无法及时进入, 救灾工作无法快速、有序地开展。

面对突如其来的地震灾害, 通常无法进行大范围的实地应急调查, 加上天气、地质条件恶劣, 无法依靠传统的方法及时、准确地获取道路受损情况。本文基于航空遥感具有覆盖周期短、获取速度快、分辨率高等特点<sup>[1]</sup>, 针对交通部门虽得到与地震区域吻合的震前航空遥感影像, 却无法有效地利用传统的变化检测方法对道路损毁情况进行快速评估的情况下, 提出一种融合道路网矢量数据的遥感影像道路损毁提取方法。利用地震后的遥感数据与地震前的矢量路网信息的融合, 快速提取道路损毁信息, 避免了利用单时相的震后影像对道路损毁进行提取所带来的困难和不准确性<sup>[2]</sup>, 为灾后道路损毁评估提供了一定的借鉴和依据。

### 二、面向对象的地震后道路影像自适应尺度分类

在高分辨率遥感影像中, 道路表现为具有一定

长度和宽度的面状地物, 传统方法多采用种子生长算法, 如基于最小二乘样条曲线的道路识别方法、边缘跟踪算法等。但这些方法大多基于灰度, 并没有考虑道路与背景的纹理差异和道路本身所具备的形状特质, 其分类效果和实用性在震区道路提取中的效果往往不太理想。

在高分辨率遥感影像上, 随着影像分辨率的提高, 影像细节特征越来越丰富, 道路目标也越来越多, 许多较窄的在低分辨率影像上难以辨别的道路也能分辨出来。可是, 随之而来的是影像上非目标噪声也越来越多<sup>[3]</sup>。传统的基于像元分类的方法仅考虑光谱特征, 难以满足分类的精度要求。面向对象的道路分类方法以像元为基本单元, 利用多尺度分割技术, 将像元划分为若干同质的像素集合, 利用道路对象的光谱、纹理以及结构特征和空间特征<sup>[4]</sup>, 对道路进行多尺度分割与面向对象的分类。

#### 1 影像的多尺度分割

在进行道路分类之前, 首先要对影像进行必要的预处理, 包括影像的几何纠正和重投影等。在道路影像的多尺度分割过程中, 尺度的选择非常重要, 尺度就是决定分割对象异质性最小的阈值。尺度过大, 分割就有可能将道路与背景划分为同一个对象; 尺度过小, 分割就会将道路分为若干细小、零碎的对象。图像分类结果不仅与分割尺度的选择有关, 还取决于光谱差异性与形状差异性, 不同光谱的对象一般不属于同一类地物, 然而形状因子有助于避免影像对象形状的不完整。

影像的分割尺度随着影像分辨率大小产生变

收稿日期: 2010-09-14

作者简介: 徐 阳(1987-), 男, 湖北武汉人, 硕士生, 主要研究方向为交通地理信息系统。

化,一般来说,分辨率越高,影像上地物细节越丰富,像元异质性也就越大,对于尺度变化敏感,因此初始分割尺度应设置较小,若分割情况不理想则将尺度慢慢增大;分辨率越低,影像越模糊,因此对尺度变化并不敏感,相应地可以将分割尺度设置偏大一些。当然,对于分割尺度的选择并没有绝对的准则,须根据不同的影像进行多次试验,方可得到满意的分割结果。

影像上最丰富的信息是光谱信息,因此在光谱和形状差异性的权值选择上,需要以光谱信息为主,形状信息为辅。通常情况下,光谱信息的权值范围设置在0.6~0.8之间,相应的形状信息的权值在0.2~0.4之间,如果分辨率低的影像形状信息不够丰富,需要设置较高的光谱权值。在道路影像分类的研究中,由于精度要求较高,试验数据的分辨率一般都在1m以内,影像上的地物细节较为丰富,因此本文加大了形状信息的权值,将光谱权值设置在0.6~0.7左右即可。

形状因子包括紧凑度和平滑度两个属性,平滑度用于完善具有光滑边界的对象,紧凑度用于根据较小的差别把紧凑的目标和不紧凑的目标区分开。经过多次试验,发现紧凑度权值设置在0.2~0.4之间时道路分割的效果较好,多尺度分割后的道路影像如图1所示。

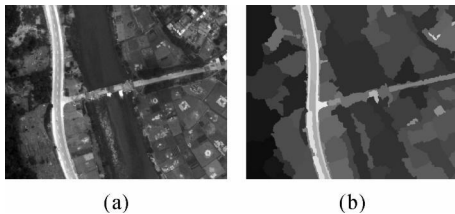


图1 高分辨率震后影像和多尺度分割结果

## 2 面向对象的道路分类

本文采用面向对象的分类法作为分类的基本思想,首先在多尺度分割影像上选取典型的道路样本,再通过最近邻分类器,将与道路具有相似灰度特征的区域提取出来。道路因其本身的灰度特征,在很多影像上难以和具有相似灰度的地物区分开来,如建筑物顶部、水井等。因此,单纯地利用灰度信息无法准确地提取出道路信息。

道路的辐射特征表现为内部辐射度比较均匀、与其相邻区域灰度反差较大。此外,还具有以下特征<sup>[5]</sup>:①几何特征,具有一定长宽比(长宽比较大),曲率有一定限制;②拓扑特征,不会突然中断,相互交叉,形成网络。利用上述特征,可以利用面向对

象的思想对分类结果加以修正。如在分类过程中对影像对象的长度、宽度、长宽比、矩形度等形状参数进行约束,就能够有效地将建筑物、水井等地物与道路区分开来,得到良好的分类结果。若分类结果中还有噪声存在,则可以利用道路网数据,根据相应道路的宽度生成缓冲区,缓冲区宽度可以根据道路等级设定。将空间操作获取的道路区域,与图像进行逻辑运算,保留实现道路区域图像分割<sup>[6]</sup>。

在某些次生灾害条件下,上述步骤还不能将完好道路、损毁道路和背景加以区分,如由于山体滑坡导致的碎石掩埋路面。因为碎石与完好道路的灰度比较相近,在多尺度分割的过程中,这些碎石掩埋的道路被当做好道路和其划分为同一个影像对象,在后续的最邻近分类过程中,依靠形状参数和缓冲区约束无法将这些损毁道路区分出来,因此还需要加入纹理参数的约束,因为碎石掩埋道路的纹理和灰度均一的完好道路具有很大差异。试验证明,加入纹理参数(Haralik算子)约束后,能够得到良好的分类效果,如图2所示。



图2 初分类结果和参数约束后的结果

## 三、基于道路网矢量数据的道路损毁提取

经过影像的多尺度分割和分类以后,在遥感影像上已经可以直观地看出道路的损毁情况,但是仅依靠分类结果,无法快速得到道路损毁的几何和属性信息,交通和政府部门也无法得到量化的数据。而且通过观察影像,还无法判断道路损毁的长度、宽度、道路损毁的比率以及损毁处的经纬度信息等。地震发生后,政府和救灾部门需要精确而完整的数据支持,利用道路网矢量数据辅助提取道路损毁信息,既能够解决地震发生后无法及时得到震前影像的问题,也能够得到比变化检测更为具体、准确的道路损毁信息。

### 1 自适应模板匹配

在进行道路损毁提取之前,需要将道路网矢量数据与经过纠正的高分辨率影像进行精确的配准。在分辨率较高的图像中,道路通常表现为具有一定宽度且基本恒定不变的圆滑曲线<sup>[7]</sup>,而道路网矢量

数据则是由若干离散点串对道路进行的近似表达。如图 3 所示,折线  $ABCDE$  代表道路网矢量数据,平滑的粗线代表影像上的道路<sup>[8]</sup>。

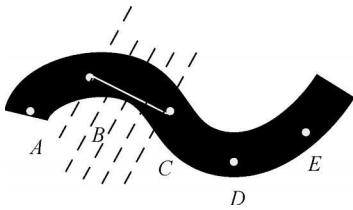


图 3 影像道路及矢量数据表达

影像经过道路分类后,对其结果进行二值化(道路设置为白色、背景为黑色),则影像中,道路将在损毁处呈现缺口或者中断的情况,也就是需要检测的部分。本文采取一种自适应模板的匹配方法,即沿着道路走向,在连续的两个离散的道路矢量点之间,利用两点间连线的法线,将两点之间的直线按照某一匹配步长  $A_1$  划分为若干小段。根据划分的小段,生成用于提取道路损毁信息的模板,模板的长、宽定义如下

$$S_{\text{length}} = A_1 \quad (1)$$

$$S_{\text{width}} = A_2 + A_3 \quad (2)$$

式(2)中,  $A_2$  代表模板所在道路的宽度;  $A_3$  代表影像和矢量数据匹配的误差(单位为像素)。利用生成的模板,沿道路走向计算模板与影像相应部分的相关系数  $P$ ,其计算公式如下

$$P = \frac{p_{\text{road}}}{S_{\text{length}} \times S_{\text{width}}} \quad (3)$$

式中,  $p_{\text{road}}$  代表二值图像中模板内道路像素(白色像素)的总和;分母则代表模板所包含的图像像素的个数。当模板内道路完全损毁时,即模板内没有道路像素时,则  $P = 0$ ;当模板内道路完好时,则  $P$  的值接近于 1。因而可以设置相应的阈值,来判断道路的损毁情况。

很多情况下,道路的损毁难以用一种固定的形式来描述,例如滑坡将道路掩埋了一半,或者道路塌陷了一部分。在这种情况下,道路并没有完全损毁,但是也存在一定的损毁,因而需要定义一种方法来判断这种情况下道路的破损情况。故设置阈值上限  $\mu_{\text{th}1}$  和阈值下限  $\mu_{\text{th}2}$ ,当  $P > \mu_{\text{th}1}$  时,道路为完好;当  $P < \mu_{\text{th}2}$  时,道路为完全损毁;当  $P$  介于二者之间时,道路为部分损毁。

## 2 道路损毁信息的提取

经过自适应模板匹配后,可以根据道路走向得到每一个模板的匹配系数,根据匹配系数可以得到

道路损毁的几何信息和属性信息,几何信息包括:

- ① 道路损毁的长度、宽度、面积;
- ② 道路的损毁比率。属性信息包括: ① 道路的损毁程度(完好、部分损毁、完全损毁); ② 损毁道路所在位置(影像坐标或者经纬度)。

## 四、试验

本文选择汶川地区的若干道路作为研究对象。道路损毁评估采用的遥感数据包括 SPOT 5、ADS4Q 无人机等高分辨率光学影像。损毁评估所需的矢量数据包括道路等级、道路宽度、经纬度等信息。分别对北川、映秀等 3 处不同地区的 7 条道路影像进行了分类提取和损毁信息的提取,以验证本文提出的检测方法的有效性。

图 4 为北川地区影像的道路损毁提取结果,匹配步长为 5 个像素,阈值上限和下限分别为 0.8 和 0.1。可以清晰地看出,该方法能够较好地提取出被滑坡、碎石掩埋的路面,也能够判断出道路的坍塌和破损。并且对于部分损毁,即依旧可以通行的路段,也作出了准确的判断。试验证明,利用面向对象、自适应模板匹配相结合的方法检测损毁道路具有较高的准确性和实用性,提取结果如表 1 所示。



图 4 北川地区影像的道路损毁检测结果

表 1 损毁道路提取结果

试验区域	道路总长 /m	实际损毁长度 /m	损毁检测提取的损毁长度 /m	提取精度 /(% )
1	1388	249	258	96.3
2	1110	560	480	85.7
3	2309	1368	1264	92.4

从表 1 可以看出,在 3 个试验区域中,道路损毁检测的正确率都达到了 85% 以上,在检测过程中,误差主要来源于基于面向对象方法的道路分类提取: ① 在遥感影像上有部分被滑坡或碎石掩埋的道

(下转第 22 页)

表 2 第 2组试验结果

图像大小		512像素 × 512像素	1 536像素 × 1 536像素	3 072像素 × 3 072像素
真实参数	旋转角度 / (°)	8.7	8.7	8.7
	缩放倍数	0.82	0.82	0.82
原始方法	旋转角度 / (°)	8.4375	8.5	8.5
	旋转角度误差 / (°)	0.2625	0.2	0.2
	缩放倍数	0.8182	0.8182	0.8182
	缩放倍数误差	0.0018	0.0018	0.0018
	耗时 /s	21.265240	58.298226	120.444264
改进方法	旋转角度 / (°)	8.64	8.64	8.64
	旋转角度误差 / (°)	0.06	0.06	0.06
	缩放倍数	0.8313	0.8235	0.8255
	缩放倍数误差	0.0113	0.0035	0.0035
	耗时 /s	21.828195	25.236189	27.154365

## 参考文献:

- [1] KUGLN C D, H NES D C. The Phase Correlation Image Alignment Method [C]// IEEE International Conference on Cybernetics and Society. New York, USA: [ s n ], 1975. 163-165.
- [2] 陈治, 朱洪程, 胡晓东, 等. 基于相位相关技术的 MEMS 旋转角度高分辨力测量 [J]. 光学精密工程, 2009, 17(8): 1884-1889.
- [3] 赵琰. 基于对数极坐标变换的图像匹配算法 [J]. 信息技术, 2008(9): 24-27.
- [4] 王志民, 徐晓刚. 基于单象限 Fourier Mellin 域相位相关的快速稳像算法 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(9): 1790-1795.

(上接第 16页)

路在灰度和纹理特征上与完好道路非常相似; ②道路上行驶的车辆在多尺度分割过程中未与道路分为一个影像对象, 致使在最邻近分类时出现了错分。因此如果能够保证道路分类的正确性, 该方法就能快速而准确地判断道路损毁的几何信息和属性信息。

## 五、结束语

本文利用面向对象方法对地震后高分辨率遥感影像进行自适应模板的多尺度分割和分类, 提出一种融合地震前道路网矢量数据与地震后遥感影像的道路损毁检测方法。试验证明, 该方法能够快速、准确地对损毁信息进行提取。如何有效地减小具有相似纹理和灰度特征的地物对道路分类产生的影响, 并对造成道路损毁的灾害体类型(坍塌、掩埋等)进行判读, 是今后值得继续研究的问题。

## 参考文献:

- [1] 韩用顺, 崔鹏, 朱颖彦, 等. 汶川地震危害道路交通及其遥感监测评估: 以都汶公路为例 [J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2009(3): 273-283.
- [2] 刘亚岚, 张勇, 任玉环, 等. 汶川地震公路损毁遥感监测评估与信息集成 [J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 933-940.
- [3] 史文中, 朱长青, 王昱. 从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望 [J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 257-262.
- [4] 胡进刚, 张晓东, 沈欣, 等. 一种面向对象的高分辨率影像道路提取方法 [J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3): 184-188.
- [5] 李光耀, 胡阳. 高分辨率遥感影像道路提取技术与展望 [J]. 遥感信息, 2008(1): 91-95.
- [6] 陈世荣, 马海建, 范一大, 等. 基于高分辨率遥感影像的汶川地震道路损毁评估 [J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 949-954.
- [7] 肖志强, 鲍光淑, 黄继先. 融合 SAR 和 TM 图像更新 GIS 道路网络数据 [J]. 测绘学报, 2006, 35(1): 47-51.
- [8] 董明, 张海涛, 祝晓坤, 等. 基于遥感影像的地图道路网数据变化检测研究 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(2): 178-182.
- [1] 韩用顺, 崔鹏, 朱颖彦, 等. 汶川地震危害道路交通及其遥感监测评估: 以都汶公路为例 [J]. 四川大学学