

引用格式:Wang Hua,Han Zujie,Wang Zhimin. A Method of Railway Centerline Extraction from High Spatial Resolution Images[J]. Remote Sensing Technology and Application,2013,28(5):761-765. [王华,韩祖杰,王志敏. 一种高分辨率影像上铁路中心线提取的方法[J]. 遥感技术与应用,2013,28(5):761-765.]

一种高分辨率影像上铁路中心线提取的方法

王 华¹,韩祖杰¹,王志敏²

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司工程实验室,天津 300161;

2. 军事交通学院汽车指挥系,天津 300160)

摘要:从高分辨率影像中提取既有铁路中线,目前鲜有研究。铁路内部边缘丰富且具有良好的方向性,同时大量与线路近同向的铁轨阴影对中线提取造成干扰,使中线无法精确居中。提出一种两阶段的铁路中线提取方法,首先基于置信度方向直方图计算铁路中线的初始方向;然后根据轨间距与初始方向去除粗差点,以最小二乘法拟合铁路中线两侧最邻近铁轨线方程,通过近邻铁轨线方程内插实现铁路中线的精确定位。选取 LiDAR 影像中 1 000 m 双轨高铁进行实验,结果表明:采用该方法能够准确、快速地提取实验区中的铁路中线。

关 键 词:高分辨率影像;铁路中线提取;方向直方图;最小二乘拟合;置信度

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)05-0761-05

1 引 言

随着遥感技术的发展,高分辨率遥感影像以其获取速度快、能够提供丰富地表信息的优势得到了广泛应用。如何从高分辨率遥感影像中自动获取特征信息,是遥感影像应用的重要问题^[1]。

既有铁路中线提取是铁路要素(如铁路桥梁、路基等)三维建模、铁路虚拟环境建设、铁路 GIS 数据库建设等工作的前提和基础,具有十分重要的意义。近 20 a 来,遥感影像中道路解译成为一项研究热点,国内外学者提出了一些自动或半自动的方法^[2-5],从遥感影像中提取既有铁路却鲜有研究。高分辨率影像中,铁路特征如下:①从几何特征来看,具有一定宽度和长度,且在局部范围内宽度、曲率变化平缓;②从辐射特征来看,路面与内部铁轨与四周环境存在明显差异,易提取边缘;③从上下文环境来看,铁路中线提取易受沿线电力等附属设施及铁轨阴影干扰,前者与铁路方向基本垂直,后者与铁路近似平行。

综上,铁路具备良好的边缘特征,且在局部范

围内边缘点存在明显的方向性。同时,铁路内部边缘特征丰富,大量近同向干扰使得铁路中线易产生微小偏差,造成后段铁路中线无法精确居中。本文提出一种两阶段铁路中线提取方法,如图 1 所示,首先基于置信度方向直方图获取铁路中线的初始方向;然后根据轨间距与初始方向排除粗差边缘点,以最小二乘法拟合铁路中线两侧最邻近铁轨线方程,通过邻近铁轨线方程内插实现铁路中线的精确定位。

2 研究方法

2.1 预处理与边缘提取

2.1.1 预处理

受光源、成像系统性能等因素制约,图像局部对比度存在差异,低对比度区域内边缘提取困难;高对比度区域内,提取边缘包括铁路附属设备、树木和铁轨阴影等细节,将对中线提取造成极大干扰。为克服此类问题,本文采用局部自适应图像增强方法,计算每次迭代过程中滑动窗口内影像对比度,若低于给定阈值,则对影像进行增强。

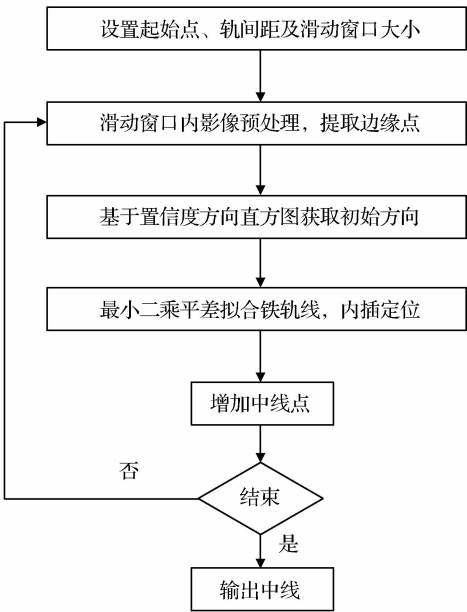


图 1 铁路中线提取流程图

Fig. 1 Flowchart of extracting railway centerline

2.1.2 边缘提取

常用的边缘检测方法有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplace 算子和 Canny 算子,其中 Canny 算子是具有滤波、增强和检测的多阶段优化算子,其检测效果优于其他几种算子,且 Canny 算子对图像进行高斯滤波后可在一定程度上减少噪声影响^[6]。因此,本文采用 Canny 算子提取边缘。

图 2 输入两个滑动窗口影像,其中左图较清晰、对比度高,右图较模糊、对比度低。虚线框为两幅影像的自适应边缘提取流程。首先,计算两幅图像的对比度,分别为187.05和83.12,然后依据给定阈值

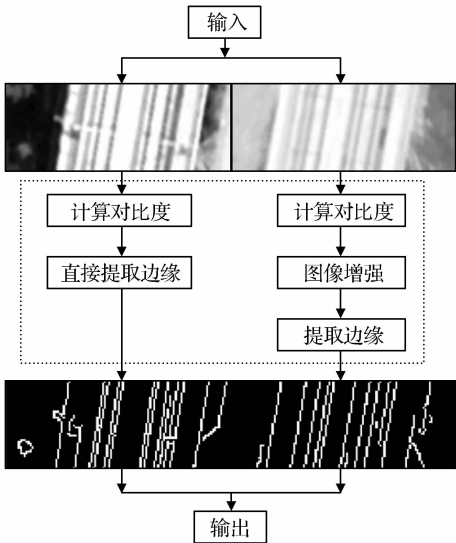


图 2 自适应边缘提取结果

Fig. 2 Results of adaptive edge extracting

(设为 100),判断左图可直接提取边缘,右图需经图像增强后再提取边缘。由输出的边缘提取结果可见,提取边缘密度适中、干扰较少,能够满足需求。

2.2 基于置信度方向直方图获取初始方向

2.2.1 边缘方向直方图

边缘方向直方图通过计算邻域内边缘点的方向,将计算结果离散化,统计落入每个离散区间的边缘点数来获取直方图,直方图峰值即为求解方向^[7-8]。离散间隔与邻域大小相关,设离散间隔为 θ ,邻域大小为 $m \times m$ 像素,有:

$$\theta \leq \alpha \tan(2/m) \quad (1)$$

本文滑动窗口高度为 35 像素,最大离散间隔为 3.27° ,无法满足精度需求,因此采取改进的直线方向直方图算法,具体步骤如下:

- (1)对边缘图像进行膨胀、细化、单纯细化处理。
- (2)跟踪边缘点获得跟踪线集合。
- (3)根据曲率阈值,断裂跟踪线,以获取直线段的集合。

(4)求解集合内各直线段方向角,定义方向角为与 Y 轴正方向夹角,取值为 $[1, 180^\circ)$,离散间隔为 1° ,统计落入每个离散区间的直线个数获得方向直方图,记为 Histogram。

(5)求解 Histogram 的峰值,将其作为铁路中线的初始方向。

其中:离散间隔 θ 越小,角度精度越高,而各离散区间的累计直线数越小,直方图峰值易受噪声干扰。针对以上问题,本文提出一种基于置信度的方向直方图算法。

2.2.2 基于置信度的方向直方图算法

面对复杂场景,人类认知总能快速聚焦在少数显著目标上,Gestalt 心理学认为这种认知能力来自于感知的邻近、相似、平行和连续性等^[9]。本文主要应用感知的邻近、平行和连续性,制定原则为:①离散方向与已有最邻近中线段方向一致性越高,置信度越高;②同方向直线段累计长度越长,该方向置信度越高。依据以上原则构造条件概率模型,计算各离散方向的后验概率,以 MAP 原则确定铁路中线的初始方向。条件概率模型为:

$$p(l_i | \alpha') = c_1 \exp(-|l_i - \alpha'^{-1}|) c_2 \frac{\text{length}_i}{\sum_{i=1}^n \text{length}_i} \quad (2)$$

其中: α' 为第 t 次迭代的初始方向, length_i 为离散方向 l_i 所对应的所有直线段的长度之和, c_1 和 c_2 为权重系数。

图 3(a)为某滑动窗口内直线段按照传统方法所得方向直方图,因大量短水平直线干扰,峰值出现在 0° ,图 3(c)为其对应的中线提取结果,由于存在粗差,最小二乘拟合错误,新增中线点严重偏移;图 3(b)为基于置信度的方向直方图,该方法很好地抑制了噪声,峰值出现在 9° ,图 3(d)为其对应的提取结果,中线方向正确。

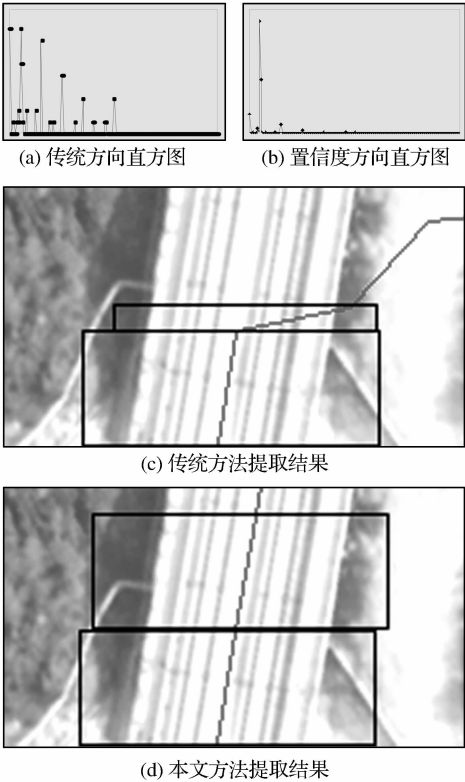


图 3 两种方向直方图对比

Fig. 3 Comparison of the two histograms of direction

2.3 基于最小二乘拟合与内插的精确定位

铁路内部存在大量与中线近同向直线段,一种简便的精确定位方法是使用近同向直线段的均值作为精确方向,这种方法计算简便,缺点在于没有考虑各直线段的优先级,易受轨道阴影干扰造成中线偏移。通常认为中线两侧最邻近的两条铁轨线在中线定位过程中优先级最高,因此本文采用基于最小二乘拟合与铁轨线内插的精确定位方法,步骤为:

(1)由铁轨间距 RD、影像分辨率 G 与初始方向 α' 可得中线两侧最邻近的两条铁轨线的初始方程为:

$$\begin{cases} Y_1 = \tan(90 - \alpha')X_1 + \frac{RD}{G\cos(90 - \alpha')} \\ Y_2 = \tan(90 - \alpha')X_2 - \frac{RD}{G\cos(90 - \alpha')} \end{cases} \quad (3)$$

(2)以左轨为例,确定角度容差区间为 $[-\Delta\alpha, \Delta\alpha]$,距离容差区间为 $[-\Delta RD, \Delta RD]$,所得缓冲区

如图 4 斜线填充区域所示。缓冲区以外的点为粗差边缘点,不参与最小二乘拟合解算。

(3)以最小二乘拟合的方法获取左、右铁轨线的精确直线方程。

(4)以左、右铁轨线精确方程内插中线方程。

(5)根据当前点坐标、中线方程和滑动窗口高度计算新增中线点坐标,更新当前点,进入下次迭代。

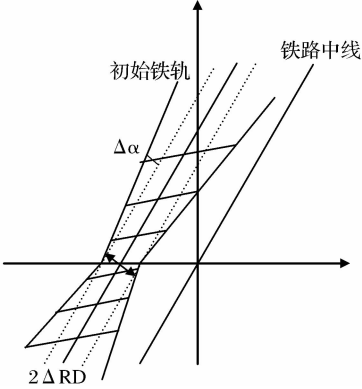


图 4 最小二乘缓冲区示意图

Fig. 4 Schematic diagram of LSF buffer

如图 5 所示,以近同向直线段的均值作为中线方向所提取的铁路中线存在一定偏差,该偏差随迭代过程逐渐累加,最终中线偏至左轨;基于最小二乘拟合与铁轨线内插的提取方法,以中线两侧最邻近的两条铁轨线为定位依据,可较大限度维持提取线的居中性,所提取铁路中线更为精准。

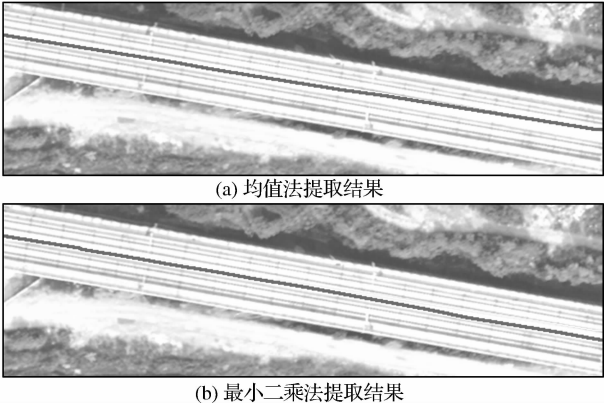


图 5 两种提取方法的效果对比

Fig. 5 Comparison of the two extraction methods

3 结果与分析

实验采用 LiDAR 影像数据,地面分辨率为 0.2 m。以双轨高铁为例,实验区内铁路长度 1 000 m,轨间距为 3.6 m。实验参数设置如下:滑动窗口大小为 115×35 像素,对比度阈值为 100,方向离散间隔为

1° ,最小二乘缓冲区角度容差为 0.5° 、距离容差为 3 像素,在铁路左端中心输入提取起点,即可自动完成铁路中线提取,结果如图 6(a)所示。图 6(b)、(c)为(a)的局部细节。由图 6(b)可见,尽管铁路发生明暗变化,一侧路基表现出与路面相似的光谱特征,且存在大量接触网、铁轨阴影的干扰,铁路中线仍被准确地提取出;图 6(c)方框中提取中线点出现微小偏差,该偏差方向将作为下次迭代的初始值,由图 6(c)可

见,通过两阶段的中线定位纠正,该偏差得到了很好的修正。依据文献[4]方法计算中线提取准确率为:

$$\text{准确率} = \frac{\text{正确提取的线性目标长度}}{\text{线性目标的总长}} \quad (4)$$

其中:评估以人工提取的铁路中线为依据,两侧各取一个像素(即 0.2 m)为缓冲区,若提取结果落入缓冲区内,则视为提取正确。图 6 实验中,铁路中线的提取准确率为 95.47%。

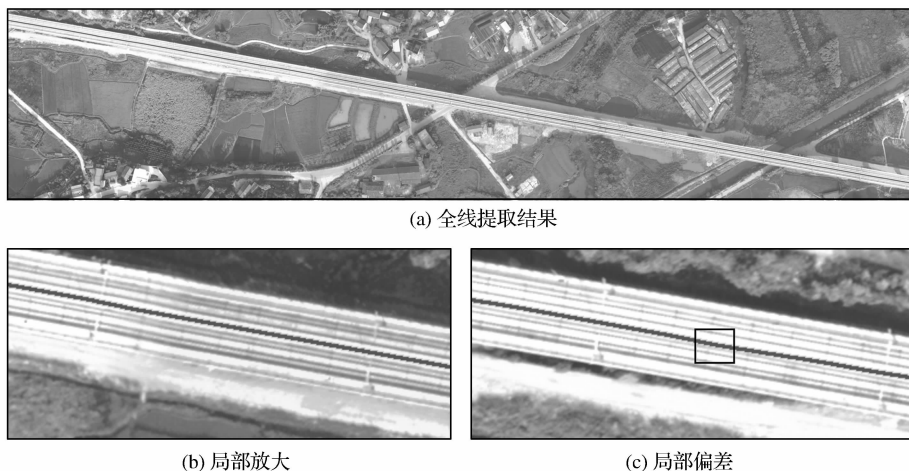


图 6 实验结果

Fig. 6 Result of experiment

4 结 语

目前高分辨率影像铁路中线提取鲜有研究。本文充分应用高分辨率影像中铁路边缘的方向特性,将道路提取中常用的方向直方图与最小二乘拟合方法应用于铁路中线提取,并针对铁路特性对算法进行了改进。实验证明,应用本文所提方法,只需指定初始点即可准确、快速地获取图中长度为 1 000 m 的既有铁路中线,具有一定的实用价值。

此外,本文运用折线段斜率的连续性作为离散方向置信度计算依据之一,对于大曲率铁路提取存在一定的局限性,如何从遥感影像中自动识别弯曲铁路及交汇铁路,仍待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] Hu Jin'gang, Zhang Xiaodong, Shen Xin, *et al.* A Method of Road Extraction in High-resolution Remote Sensing Imagery based on Object-orient Image Analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(3): 184-188. [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.]
- [2] Luo Qingzhou, Yin Qiu, Kuang Dingbo. Researchon Extracting Road based on Its Spectral Feature and Shape Feature[J]. Remote

- Sensing Technology and Application, 2007, 22(2): 339-334. [罗庆洲, 尹球, 匡定波. 光谱与形状特征相结合的道路提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 339-334.]
- [3] Peter R, Celle C, Ranchin T. Detection and Extraction of Road Networks from High Resolution Satellite Images[C]//IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain, 2003: 301-304.
- [4] Zhou Shaoguang, Xu Yong. To Extract Roads with No Clear and Continuous Boundaries in RS Images[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(3): 301-307. [周绍光, 徐勇. 在高分辨率遥感影像中提取无清晰连续边缘线的道路[J]. 测绘学报, 2008, 37(3): 301-307.]
- [5] Miriam A, Femando M, Margarita T. Road Extraction from Aerial Images Using a Region Competition Algorithm[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2006, 15(5): 1192-1201.
- [6] Wen Qiang, Wang Jin, Shi Wei. Monorail Transportation PC Rail Beam Edge Detection based on Image Processing[J]. Railway Computer Application, 2010, 19(9): 18-21. [文强, 王进, 师维. 基于图像处理的单轨交通 PC 轨道梁边缘检测[J]. 铁路计算机应用, 2010, 19(9): 18-21.]
- [7] Tang Liang, Xie Weixin, Huang Jianjun, *et al.* A New Method for Main Roads Description: Symmetrical Edge Orientation Histogram[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(1): 7-11. [唐亮, 谢维信, 黄建军, 等. 一种新的道路描述算子: 对称边缘方

- 向直方图[J]. 电子学报, 2005, 33(1): 7-11.]
- [8] Qin Zhen, Cao Jianzhong. New Mean-shift Tracking Algorithm based on Orientation Hisgram[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(12): 168-171. [秦臻, 曹剑中. 基于方向直方图的 Mean shift 目标跟踪新算法[J]. 电子设计工程, 2011, 19(12): 168-171.]
- [9] Yang Jun, Wang Runsheng. Scene Perception and Classified Detection for Roads in Remote Sensing Images[J]. Journal of Computer-aided Design & Computer Graphics, 2007, 19(3): 334-339. [杨俊, 王润生. 遥感道路的场景感知与分类检测[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(3): 334-339.]
- [10] Kang Chuanli, Yao Lianbi. Line Type Identification Method based on Least Trimmed Squares[J]. Computer Applications, 2007, 27(6): 1488-1492. [康传利, 姚连璧. 基于最小截取二乘法的道路线性识别算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(6): 1488-1492.]

A Method of Railway Centerline Extraction from High Spatial Resolution Images

Wang Hua¹, Han Zujie¹, Wang Zhimin²

(1. Engineering Laboratory, The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300161, China; 2. Automobile Transport Command Department, Military Transportation University, Tianjin 300161, China)

Abstract: Rare attention has been paid on railway extraction in high resolution images, which is important and necessary for railway exploration. Railway has rich edge feature and good directionality. Meanwhile, the disturbances of track-shade which has the approximate direction with the centerline create deviation in the extraction process so that make the centerline offset greatly. A two-stage method is proposed for railway extraction in this paper, firstly, the initial direction is computed based on confidence direction histogram, and then, gross errors are removed according to initial direction and the distance of tracks, LSF algorithm is applied to obtain the accurate equations of the two tracks which are mostly adjacent to the centerline, finally, the accurate direction of centerline is obtained by the interpolation of the two adjacent track-line equations. And 1 000 meter high-speed railway was chosen from the LiDAR image to do experiment. The experiment result shows that the approach can extract railway centerline accurately and effectively.

Key words: High resolution image; Railway centerline extraction; Direction histogram; LSF; Belief