

基于高分遥感影像的断裂道路连接方法

沈川, 贾渊, 杨珂珂

(西南科技大学 计算机科学与技术学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对高分遥感影像道路中心线提取过程中出现的“毛刺”与“断裂”道路问题, 提出一种去除“毛刺”和道路中心线连接的方法; 首先利用 SVM 得到初始分类图, 然后通过边缘滤波、纹理滤波和形状滤波去除非道路区域, 得到道路提取图; 接着利用细化算法得到初始道路中心线, 文章提出一种新的“交点”搜索规则, 使用基于交点的“毛刺”去除算法对道路中心线中的“毛刺”进行去除; 最后提出一种基于“待连接点”的连接方法对“断裂道路”进行连接, 得到光滑和完整的道路中心线提取图; 实验表明, “毛刺”现象去除效果明显, “断裂道路”连接完整, 可以有效地提取路网信息。

关键词: 毛刺去除; 断裂连接; 交点; 待连接点; 路网提取

Fracture Road Connection Method Based on High Score Remote Sensing Image

Shen Chuan, Jia Yuan, Yang Keke

(School of Computer Science and Technology, Southwest University of Science and Technology,

Mianyang 621010, China)

Abstract: Aiming at the problem of “burr” and “fracture” roads in the process of extracting road centerline of high score remote sensing image, a method to remove the connection between “burr” and road centerline is proposed. First use SVM to get the initial classification map, and then remove the non-road areas through edge filtering, texture filtering and shape filtering to get the road extraction map. Then use the refinement algorithm to get the initial road centerline. This paper proposes a new “intersection point” search rule, which uses the intersection-based “glitch” removal algorithm to remove the “burr” in the road centerline. Finally, a connection method based on the “point to be connected” is proposed to connect the “broken roads”, and a smooth and complete road center line extraction map is obtained. Experiments show that the “burr” phenomenon has obvious removal effect, and the “fracture road” is completely connected, which can effectively extract road network information.

Keywords: burr removal; fracture connection; intersection point; point to be connected; road network extraction

0 引言

高分遥感影像道路提取在各个领域发挥着重要的作用, 如汽车导航、城市规划、资源探测、智能交通、地理信息更新等。道路的提取精度对各类地物的识别效果、自然灾害预警、军事目标侦察与打击、无人驾驶路径规划等研究领域也有重要影响^[1]。针对遥感图像道路提取的问题, 国内外学者提出了各类算法与模型。目前, 道路的提取方法大致可分为基于像元和基于对象的提取方法。Zhao 等^[2]提出一种利用光谱特征与统计特征的监督分类方法, 该算法主要针对遥感区域面积较小情况下的道路提取。Shi 等^[3]使用自适应领域实现光谱特征空间分类, 对区分道路类与非道路类有较好效果, 对于圆形交叉入口等复杂场景具有局限性。Mu 等^[4]提出基于灰度特征的 Otsu 阈值法来分割图像, 该方法的精度还需要改进。Cheng 等^[5]根据图像的纹理

特征和几何特征提出了基于对象的图像分割方法, 该方法对农村和郊区等道路较少的区域有较好的提取效果, 但对城镇提取道路网提取效果还需要改进。

部分研究着力于从获取的道路条带中提取道路中心线^[6], 其中细化算法^[7]比较常用, 但该算法会产生“毛刺”现象, 不能得到平滑和精确的道路中心线。Cao 等^[8]利用均值漂移算法和卡尔曼滤波提取道路的中心线, 对车辆、树荫等遮挡区域具有较好的稳定性, 有待改进之处在于需要人工提供道路中心点模板, 自动化程度需要提高。Ozertem 等^[9]提出子空间约束的均值漂移算法来获取精确的道路中心线, 但该方法属于有偏估计, 影响了结果的精确性。Cao 等^[10]提出一种融合像元与对象特征的中心线提取方法, 有效的改善了传统方法中易产生“盐噪声”和非道路地物粘连的现象, 但需要借助于地表真实训练样本。中心线的提取结果中, 会因为障碍物等各种因素造成道路信息提取不完整, 出现“毛刺”和“断裂”现象。

针对“毛刺”与“断裂”的问题, 本文提出一种新的“交点”搜索规则, 使用基于交点的“毛刺”去除算法对道路中心线中的“毛刺”进行去除。提出一种基于“待连接点”的连接方法对“断裂道路”进行连接, 得到光滑和完整的道路中心线提取图。

收稿日期: 2019-12-03; **修回日期:** 2019-12-20。

基金项目: 四川省对地观测高分数据中心委托项目 (19zh011201)。

作者简介: 沈川(1994-), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生, 主要从事图形处理方向的研究。

贾渊(1973-), 男, 四川绵阳人, 博士研究生, 教授, 主要从事图像处理、计算机视觉方向的研究。

1 中心线提取流程

1.1 基于 SVM 的高分遥感影像道路提取

本文采用文献 [11] 中的方法对遥感影像进行分类, 算法完整流程如下:

- 1) 利用支持向量数据描述 (SVDD) 对高分遥感影像进行处理, 得到初始道路与非道路样本数据。
- 2) 利用 SVM (支持向量机) 训练初始样本, 得到初始的道路图。结合形态学分割和直线匹配得到直线匹配图。
- 3) 根据样本点与超平面之间的距离选出候选道路与非道路样本数据。
- 4) 候选点在直线匹配图中依然是道路, 则保留该道路候选点, 否则删除该点, 对非道路候选点也采用同样的方式处理。
- 5) 将 4) 中选出的道路与非道路赋予一定的权重, 与初始样本集代入到 SVM 训练, 当迭代次数小于 30 次时, 返回第 3) 步, 否则进行第 6) 步。
- 6) 对训练模型进行筛选, 得到正确率最高的训练模型, 最后通过形态学处理获得道路提取图。

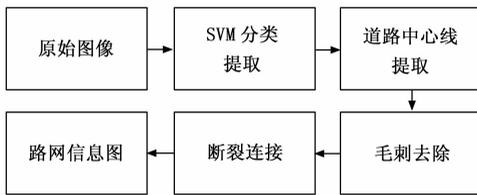


图 1 本文算法流程图

1.2 道路中心线提取

得到初始道路提取图之后, 需要对非道路区域进行去除, 本文采用文献 [12] 中的方法来去除干扰区域。

- 1) 使用边缘滤波将道路和非道路区域之间的连接断开。现实的道路区域交叉处是平滑和连通的, 因为道路与非道路区域的材质不同, 所以它们的连接处会存在边缘现象。根据这一特点, 利用 Canny 算子提取原始全色影像的边缘, 边缘存在的位置不应该存在道路, 因此可以将道路提取图中的边缘存在处设置为背景区域, 这样就可以将道路区域与非道路区域隔离开。
- 2) 使用纹理滤波对大面积非道路区域进行去除。选择一个略大于道路宽度的窗口对图像进行遍历, 并计算窗口内影像的方差。设道路区域像素点的值为 1, 背景点为 0, 当窗口遍历到大面积非道路区域内部时, 像素值都为 1, 方差较小, 设置一个阈值, 将方差小于阈值的区域判定为非道路区域进行去除。
- 3) 使用形状滤波对剩余小面积非道路区域进行去除。由于道路是狭长的连通区域, 因此都有较大的面积和长宽比, 利用线性特征指数, 对采用边缘滤波和纹理滤波之后的图像进行形状滤波, 去除剩余的一些小面积区域和长宽比较小的区域 (如房屋)。从而得到最终的道路提取图。

接着使用文献 [13] 的方法对提取的道路图进行中心

线提取。该方法是一种快速并行的细化算法。具体步骤为:

- 1) 首先, 用矩阵 T 来定义二值化后的影像, 其中每个像素 $T(i, j)$ 的值为 1 或者 0 (目标像素值为 1, 背景像素值为 0)。
- 2) 在并行影像处理中, 在第 n 次迭代中给予点的新值取决于其自身的值以及在第 $(n-1)$ 次迭代时其八邻域的值, 使得可以同时处理所有影像点。为了保持骨架的连通性, 将每次迭代分为两个子项。
- 3) 在第一个子过程中, 如果满足以下条件, 则轮廓点 P_1 将从数字模式中删除:
 - (1) $2 \leq B(P_1) \leq 6$
 - (2) $A(P_1) = 1$
 - (3) $P_2 * P_4 * P_6 = 0$
 - (4) $P_4 * P_6 * P_8 = 0$
 其中: $B(p_1)$ 表示中心像素 P_1 周围目标像素 (对应值为 1) 的数量。 $A(P_1)$ 表示按顺时针方向 $P_2 \rightarrow P_9$ 的过程中出现 01 模式的数量。
- 4) 第二个子过程中, (1) 和 (2) 条件不变, (3) 和 (4) 条件变为:
 - (3) $P_2 * P_4 * P_8 = 0$
 - (4) $P_2 * P_6 * P_8 = 0$

执行完上面的两个步骤之后, 就完成了—次骨架算法, 多次迭代上述过程, 就可以得到始的路网提取图。

2 中心线去“毛刺”流程

使用传统的骨架细化算法得到的道路中心线会产生“毛刺”现象, “毛刺”现象会影响道路信息的准确性, 为了得到平滑的路网信息, 需要对“毛刺”现象进行去除。

2.1 寻找“交点”

本文中心线去“毛刺”算法的思想是: 首先找到图像中线段的“交点”, 然后通过“交点”来计算各条线段的长度, 最后设置阈值, 删除小于阈值的线段, 即可消除“毛刺”现象。本文中道路区域设置为黑色目标点, 其他区域为白色背景点, 算法流程如下:

- 1) 首先, 将目标点与其八邻域内的像素点用数字标记。
- 如图 2 所示, 中心的黑色区域为目标点, 数字代表中心点与其八邻域的标记。
- 2) “交点”至少为 2 条线段交汇处, 因此根据目标点与其八邻域内其他点的分布情况, 枚举出一个目标点成立为“交点”的所有条件, 如图 2 所示。通过图 2 中的规则, 搜索图像中的“交点”。

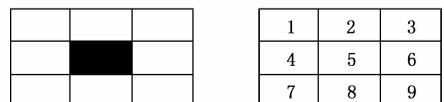


图 2 中心点与八邻域

如图 3 所示, 图中包括“交点”的成立条件和终止条

件，例如中心点为黑色目标点时，当目标点的八邻域内 1、3、7 位置也为目标点时，中心点成立为“交点”。但如果 2 或者 4 的位置也存在目标点时，则中心点 5 不是“交点”。终止条件为时空表示：当中心点周围有成立条件中的 3 个点为目标点时，中心点恒为“交点”。

成立		终止		成立		终止		成立		终止	
1	3	7	2、4	2	4	6		3	4	8	
1	3	8	2	2	4	8		3	4	9	6
1	3	9	2、6	2	4	9		3	7	9	6、8
1	6	7	4	2	6	7		4	6	8	
1	6	8		2	6	8					
1	7	9	4、8	2	7	9	8				

图 3 “交点”成立规则

如图 4 所示，左图表示 1、3、7 位置是目标点时，中心点成立为“交点”，右图表示 1、3、7 位置存在目标点，同时 2 位置也是目标点时，中心点不成立为“交点”。

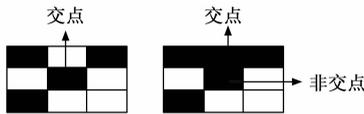


图 4 1、3、7 情况图解

2.2 设置阈值，去除“毛刺”

根据图 3 中的搜索规则，遍历图像，找出图中的所有“交点”，当图像中的“交点”搜索完成之后，以“交点”为起点，计算“交点”周围各条线段的长度，如果线段的长度小于设置的阈值时，则删除该线段。对图像中的所有“交点”进行操作之后，可以将图像中小于阈值的“毛刺”去除，得到平滑的道路中心线。

3 断裂道路连接流程

得到光滑的道路中心线之后，图像中还存在道路断裂的现象，为了得到完整的路网信息，本文提出一种新的断裂道路连接的方法。

3.1 寻找“待连接点”

算法的第一步是找到所有可能需要连接的点，将其称为“待连接点”，即出现断裂现象线段的“终点”。搜索“待连接点”分为以下几个步骤：

- 1) 以黑色目标点为中心的八邻域内只存在一个黑色点时，该目标点为“待连接点”。
- 2) 以黑色目标点为中心的八邻域内存在两个级以上的黑色点时，设黑色目标像素点的值为 1，白色背景像素点的值为 0，如果八邻域内只出现一次 0→1 模式，则该目标点为“待连接点”。

如图 5 所示，图 5 中左图只存在一个 0→1 模式，中心黑色点为“待连接点”，图 4 中右图存在两个 0→1 模式，中心黑色点不为“待连接点”。

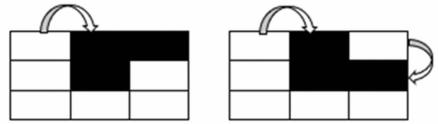


图 5 0→1 模式示意图

3.2 连接断裂道路

图像中的“待连接点”搜索完成之后，开始连接断裂道路。断裂道路的连接分为以下几个步骤：

3.2.1 “待连接点”的方向计算

首先对“待连接点”的方向进行计算。设“待连接点”为 P_1 ，与其相连的八邻域内的黑色目标点为 P ，则矢量 $P - P_1$ 的方向为“待连接点” P_1 的方向。图 6 显示了“待连接点”可能的 8 个方向。

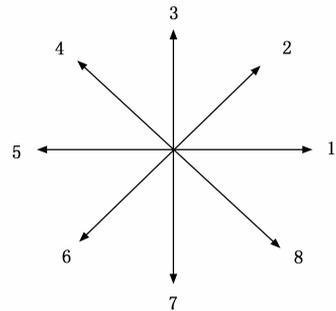


图 6 待连接点方向

3.2.2 断裂连接

计算出所有“待连接点”的方向之后，设置 2 个阈值：低阈值 r 与高阈值 R 。连接方式分为两种：

- 1) 直接连接两个“待连接点”。
- 2) 以“待连接点” O 为圆心，高阈值 R 为半径， O 的方向所处象限为搜索范围，搜索与 O 距离最近的黑色目标点，并与 O 相连。设“待连接点”的坐标为 (i, j) ，例如其方向属于第一象限，则搜索范围 S 为： $(X [j, j+R], Y [i-R, i])$ ，且目标点与“待连接点”的距离小于 R (如图 7 所示)。

当两个“待连接点”之间的距离小于低阈值 r 时，采用 1) 中连接方式。当以“待连接点”为圆心，低阈值为半径的圆内不存在其他“待连接点”时，采用 2) 中连接方法。

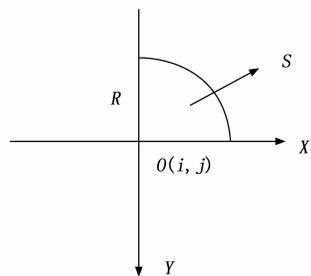


图 7 O 点搜索范围

4 实验与结论

4.1 实验结果

本文实验数据采用某城区空间分辨率为 1 m 的 GF-2 号可见光数据, 影像大小为 900×900 像素。影像中包含了道路、居民地、绿地、土地等主要城市用地类型。使用 SVM 分类得到的结果如图 8 (a) 所示, 通过形态学对分类图进行处理得到效果如图 8 (b) 所示, 利用细化算法对形态学处理之后的图像进行道路中心线提取, 并设置小阈值去除部分“毛刺”现象, 效果如图 8 (c) 所示。对图 8 (c) 进行“断裂”连接, 低阈值 r 设置为 30, 高阈值 R 设置为 50, 得到效果如图 8 (d) 所示。最后设置大阈值再次对图中较长的“毛刺”进行去除, 得到如图 8 (e) 所示的光滑和完整的路网, 图 8 (f) 为提取的路网与原始图像的叠加。

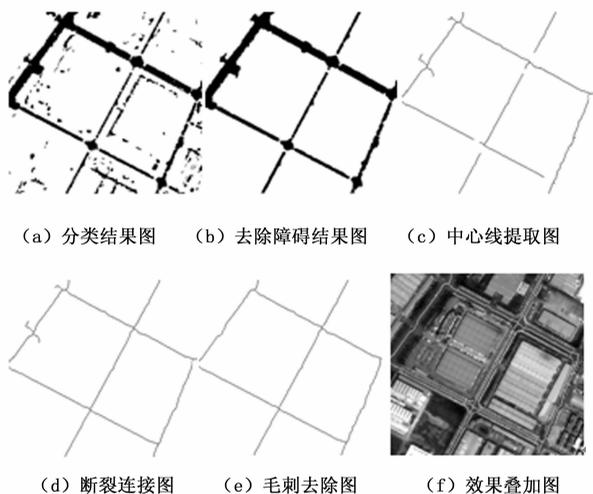


图 8 各阶段效果显示

4.2 精度评价

为了对结果进行量化评价, 采用完整性、正确率、提取质量 3 个指标对提取结果进行定量评价^[14]:

$$CP = \frac{TN}{TN + FN} \quad (1)$$

$$CR = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$QL = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (3)$$

式 (1) ~ (3) 中: CP 、 CR 、 QL 分别表示完整率、争取率、提取质量, 表示匹配的提取道路长度, FP 表示未匹配的道路长度, TN 表示匹配的参考实际道路长度, FN 表示未匹配的实际道路长度。经过计算, 本实验中完整率 (CP) 为 92.8%, 正确率 (CR) 为 93.6%, 提取质量为 87.2%, 提取精度良好, 具体数据如表 1 所示。

表 1 本文算法精度评价

TN/像素	FN/像素	TP/像素	FP/像素	CP/%	CR/%	QL/%
9 658	736	9 527	651	92.8	93.6	87.2

4.3 结论

本文提出一种解决高分遥感影像道路中心线提取过程中“毛刺”和“断裂”现象的方法。首先利用 SVM 对遥感影像进行分类, 得到初始的道路提取图。然后通过边缘滤波、纹理滤波和形状滤波去除非道路区域, 得到道路提取图, 接着利用细化算法得到道路中心线, 寻找影像中的“交点”, 并利用“交点”对其周围线段进行搜索, 设置小阈值去除部分“毛刺”。接着根据“待连接点”连接断裂的道路中心线, 最后设置大阈值对图中较长“毛刺”进行去除, 得到光滑和完整的道路中心线提取图。实验数据证明了该方法的有效性。

参考文献:

- [1] 张永宏, 何 静, 阚 希, 等. 遥感图像道路提取方法综述 [J]. 计算机工程与应用, 2018, 54 (13): 1-10.
- [2] 赵文智, 雒立群, 郭 舟, 等. 光谱特征分析的城市道路提取 [J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35 (10): 2814-2819.
- [3] Shi W, Miao Z, Debayle J. An integrated method for urban main-road centerline extraction from optical remotely sensed imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52 (6): 3359-3372.
- [4] Mu H, Zhang Y, Li H, et al. Road extraction base on Zernike algorithm on SAR image [A]. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) [C]. IEEE, 2016: 1274-1277.
- [5] Cheng G, Zhu F, Xiang S, et al. Road Centerline Extraction via Semisupervised Segmentation and Multidirection Nonmaximum Suppression. [J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2017, 13 (4): 545-549.
- [6] 周绍光, 向 晶, 邱 伟, 等. 基于高分辨率影像的道路中心线提取技术研究 [J]. 国土资源遥感, 2015, 27 (4): 21-26.
- [7] Soille, Pierre. Morphological image analysis: principles and applications [J]. Sensor Review, 1999, 28 (5): 800-801.
- [8] 曹帆之, 朱述龙, 朱宝山, 等. 均值漂移与卡尔曼滤波相结合的遥感影像道路中心线追踪算法 [J]. 测绘学报, 2016, 45 (2): 205-212.
- [9] Ozertem U, Erdogmus D. Locally defined principal curves and surfaces [J]. Journal of Machine Learning Research, 2011, 12 (4): 1249-1286.
- [10] 曹云刚, 王志盼, 慎 利, 等. 像元与对象特征融合的高分辨率遥感影像道路中心线提取 [J]. 测绘学报, 2016, 45 (10): 1231-1240.
- [11] 乔 阳, 周绍光, 刘文静, 等. 一种顾及形状特征的遥感图像道路提取方法 [J]. 地理空间信息, 2017 (4): 58-61, 10.
- [12] 韩 洁, 郭 擎, 李 安. 结合非监督分类和几何一纹理一光谱特征的高分影像道路提取 [J]. 中国图象图形学报, 2017, 22 (12): 1788-1797.
- [13] Soille, Pierre. Morphological image analysis: principles and applications [J]. Sensor Review, 1999, 28 (5): 800-801.
- [14] 丁 磊, 姚 红, 郭海涛, 等. 利用邻域质心投票从分类后影像提取道路中心线 [J]. 中国图象图形学报, 2015, 20 (11): 108-116.