



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办：中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015

11

VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



动作识别 P1462



第20卷第11期（总第235期）

2015年11月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

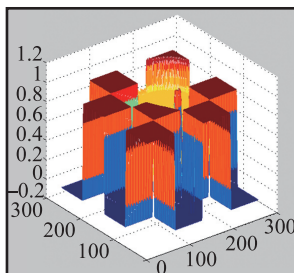
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

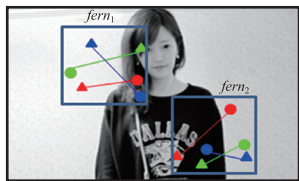
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

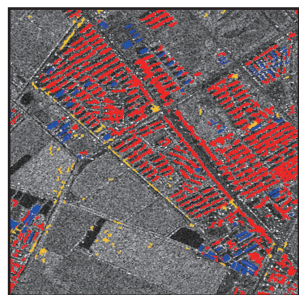
国内定价 50.00元



对偶算法在紧框架域TV-L₁
去模糊模型中的应用
(第1434页)



融合检测和跟踪的实时人脸
跟踪(第1473页)



高分辨率SAR影像形态学
层级分析的建筑物检测
(第1517页)

综述

多媒体技术研究: 2014——深度学习与媒体计算

吴飞, 朱文武, 于俊清 1423

图像处理和编码

对偶算法在紧框架域TV-L₁去模糊模型中的应用

李旭超, 马松岩, 边素轩 1434

融合梯度信息与HVS滤波器的无参考清晰度评价

应凌楷, 李子印, 张聪聪 1446

消除halo效应和色彩失真的去雾算法

刘兴云, 戴声奎 1453

图像分析和识别

融合多姿势估计特征的动作识别

罗会兰, 冯宇杰, 孔繁胜 1462

融合检测和跟踪的实时人脸跟踪

刘嘉敏, 梁莹, 孙洪兴, 段勇, 刘斌 1473

非凸加权核范数及其在运动目标检测中的应用

周宗伟, 金忠 1482

图像理解和计算机视觉

OPTICS聚类与目标区域概率模型的多运动目标跟踪

孙天宇, 孙炜, 薛敏 1492

具有仿反馈机制的图像模式分类认知

陈克琼, 王建平, 李帷韬, 赵丽欣 1500

计算机图形学

带形状控制的自由曲线曲面参数样条

彭丰富, 田良 1511

遥感图像处理

高分辨率SAR影像形态学层级分析的建筑物检测

张恒, 余涛, 柳鹏, 张周威 1517

利用邻域质心投票从分类后影像提取道路中心线

丁磊, 姚红, 郭海涛, 刘志青 1526

单形体体积最小化的差分进化光谱解混算法

覃事银, 罗文斐, 杨斌, 张锐豪 1535

地理信息技术

突破环境限制的导盲方法

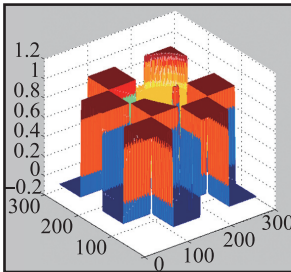
张探, 陈超 1545

MPI和OpenMP混合并行模型下的遥感编目信息检索

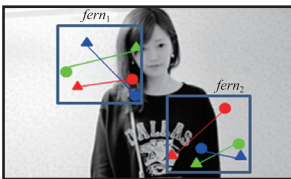
曲海成, 梁雪剑, 刘万军, 籍瑞庆 1552

CONTENTS

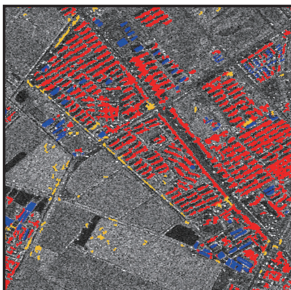
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Application of dual algorithm to TV-L₁ deblurring model of frame domain(第1434页)



Real-time face tracking based on detecting and tracking (第1473页)



Building detection of high-resolution SAR image based on morphological hierarchy analysis(第1517页)

Review

- Researches on multimedia technology 2014—deep learning and multimedia computing
Wu Fei, Zhu Wenwu, Yu Junqing 1423

Image Processing and Coding

- Application of dual algorithm to TV-L₁ deblurring model of frame domain
Li Xuchao, Ma Songyan, Bian Suxuan 1434
- No-reference sharpness assessment with fusion of gradient information and HVS filter
Ying Ling kai, Li Ziyin, Zhang Congcong 1446
- Halo-free and color-distortion-free algorithm for image dehazing
Liu Xingyun, Dai Shengkui 1453

Image Analysis and Recognition

- Fusing multiple pose estimations for still image action recognition
Luo Huilan, Feng Yujie, Kong Fansheng 1462
- Real-time face tracking based on detecting and tracking
Liu Jiamin, Liang Ying, Sun Hongxing, Duan Yong, Liu Xiao 1473
- Weighted nonconvex nuclear norm and its application in the moving target detection
Zhou Zongwei, Jin Zhong 1482

Image Understanding and Computer Vision

- Tracking multiple moving objects based on OPTICS and object probability model
Sun Tianyu, Sun Wei, Xun Min 1492
- Image pattern cognition with simulated feedback mechanism
Chen Keqiong, Wang Jianping, Li Weitao, Zhao Lixin 1500

Computer Graphics

- Shape parameter spline for free-form curve and surface
Peng Fengfu, Tian Liang 1511

Remote Sensing Image Processing

- Building detection of high-resolution SAR image based on morphological hierarchy analysis
Zhang Heng, Yu Tao, Liu Peng, Zhang Zhouwei 1517
- Using neighborhood centroid voting to extract road centerline from classified image
Ding Lei, Yao Hong, Guo Haitao, Liu Zhiqing 1526
- Simplex volume minimization based differential evolution algorithm for spectral unmixing
Qin Shiyin, Luo Wenfei, Yang Bin, Zhang Ruihao 1535

Geoinformatics

- Guiding the blind to overcome environment limitation
Zhang Tan, Chen Chao 1545
- Remote sensing resources parallel retrieval based on MPI and OpenMP
Qu Haicheng, Liang Xuejian, Liu Wanjuan, Ji Ruiqing 1552

中图法分类号: P407.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)11-1526-09

论文引用格式: Ding L, Yao H, Guo H T, Liu Z Q. Using neighborhood centroid voting to extract road centerline from high resolution image [J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(11): 1526-1534. [丁磊, 姚红, 郭海涛, 刘志青. 利用邻域质心投票从高分辨率影像提取道路中心线[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(11): 1526-1534.] [DOI: 10.11834/jig.20151112]

利用邻域质心投票从分类后影像 提取道路中心线

丁磊, 姚红, 郭海涛, 刘志青

信息工程大学, 郑州 450001

摘要: 目的 利用分类算法对高分辨率影像中的道路进行分割时,得到的二值图像往往混杂了许多非道路区域,且道路区域呈面状,无法直接应用于生产与研究。针对该问题,提出一种利用邻域质心投票提取道路中心线的算法。**方法** 首先检测像素在各方向上的连通距离以构建邻域多边形,随后进行质心投票来提取道路的中心线,与此同时估算道路宽度并判断出连通距离较长的方向数目,以排除非道路区域的干扰,最后经形态学处理得到细化的中心线。**结果** 选取测试图像及具有不同道路分布特征的高分辨率航空影像的分类结果进行实验,并将该算法与 Zhang 和 Couloigner 提出的算法进行了对比分析。结果显示,该算法的提取质量为 80.6% 和 79.0%,且计算效率较高,处理实际影像的用时小于参考算法的 20%,此外在稳定性及对不同路宽的适应性等多个方面均具有优势。**结论** 提出一种邻域质心投票算法,该算法能够同时实现传统方法中提纯与中心线提取两个步骤所对应的功能,从分类影像直接提取道路中心线。实验结果表明,该算法能够根据形状特征有效检测道路,且具备一定抗干扰能力,适用于对混杂了非道路区域的高分辨率影像的分类结果进行处理。

关键词: 道路提取;中心线提取;邻域质心投票;形状特征;连通距离

Using neighborhood centroid voting to extract road centerline from classified image

Ding Lei, Yao Hong, Guo Haitao, Liu Zhiqing

Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Objective When applying image classification algorithms on high-resolution images to extract roads, non-road areas do exist in the binary result. Meanwhile, the achieved roads are planar, which cannot be used directly for production and research purposes. In this case, a novel algorithm named neighborhood centroid voting is proposed to extract road centerlines. **Method** First, a neighborhood polygon for each road pixel is built by detecting the connective distance in each direction. Then, centroids of these polygons are voted for to extract road centerlines. At the same time, road width is estimated and the number of those directions, comparatively long connective distance is recorded to exclude non-road areas. Finally, morphological methods are applied to obtain thinned centerlines. **Result** A comparison is made between this algorithm and a reference method proposed by Zhang and Couloigner via experiments on a test image and two classified high-res-

收稿日期: 2015-04-20; 修回日期: 2015-06-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101396, 41001262)

第一作者简介: 丁磊(1991—), 男, 信息工程大学摄影测量与遥感专业硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、线状地物提取与变化检测。E-mail: robberjohn@live.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China(41101396, 41001262)

olution aerial images with different road distributions. Results suggest that the quality of this algorithm for the respective two images is 80.6% and 79.0%. Taking less than 20% of the time of the reference method for dealing with actual images, this algorithm has a strong advantage because of its effectiveness. Additionally, this algorithm is more stable and can adapt to roads with varying widths. **Conclusion** The proposed algorithm named neighborhood centroid voting is a centerline extraction algorithm capable of doing work corresponding to road refinement and centerline extraction in a conventional approach at the same time. Experimental findings suggest that this algorithm can detect roads effectively according to shape features, with resistance to disturbances, applicable to high-resolution classified images with roads and non-road areas mixed together.

Key words: road extraction; centerline extraction; neighborhood centroid voting; shape feature; connective distance

0 引言

高分辨率航空及卫星影像中,道路作为一种重要的地物目标,其提取问题多年来一直是摄影测量与遥感领域研究的一项热点。

对高分辨率影像上的道路进行提取时,一种常用的策略是先通过影像分类法将影像粗略分为道路与非道路两类,而后对分类得到的二值图像进行提纯,剔除其中的非道路部分,最后采用中心线提取算法获取道路中心线位置^[1]。目前利用图像分割算法获取二值图像的技术已经十分成熟,常用的算法有阈值分割法、聚类算法、决策树法、支持向量机法、数学形态学法以及基于边缘检测的方法等^[2]。在遥感影像上,道路与背景信息往往存在灰度或光谱、纹理特征上的差异,上述方法主要利用这种差异来区分道路与非道路地物。然而由于树木、汽车、阴影等因素干扰,加之同谱异物(或纹理特征接近)的现象存在^[3],分类后的影像往往留有大量干扰信息。如何在最大限度保留道路信息的同时剔除这些干扰信息,是此类方法中影响提取效果的关键。

分类影像是复杂道路情形的简化。由于已剔除了辐射信息,对分类影像中道路信息的提炼主要依靠形状及纹理特征,将线状、连续的特征判定为道路区域。Shi 等人^[4]提出一种直线段检测算法,将影像上具有一定长度的直线段判定为道路的一部分。Song 等人^[5]在判别同质区域时引入了光滑度与密度作为相似性判别依据。贾承丽在研究线段的连接标准时,设计了邻近性、共向性、重叠性、长度等指标^[6]。唐伟在判别分水岭分割得到的轮廓与道路程度时,综合了道路段曲率总和及长宽比作为

判别依据^[7]。朱昌盛通过对 SAR 影像中道路的特征分析,构建了一种平行线对数学模型^[8-9]。Miao 提出一种线特征指数(LFI)用以衡量分类影像上的区域近似道路的程度^[10]。Zhang 等人^[11]对角度纹理特征(ATS)做了简化,使其适用于二值图像上的形状描述,并提出均值、密度、主方向以及偏心率等指标作为提炼道路信息的依据。该方法能有效剔除影像上团块状的非线形区域,但对于小面积区域的剔除能力不足,且道路在提纯过程中易受邻近像素干扰而出现信息丢失。

以 Zhang 等人^[11]研究的角度纹理特征方法作为参考,提出一种基于邻域质心投票的道路提取算法,该算法同时实现了传统方法中提纯与中心线提取两个步骤所对应的功能,能够排除非道路信息,从分类影像直接提取道路中心线。本文算法首先对分类影像上每个像点计算其邻域各个方向的连通距离,构成邻域多边形;然后计算多边形的质心位置进行投票,并统计连通距离较长的方向数目以排除非线形区域;最后对投票结果进行形态学处理,得到中心线结果。由于本文在组建邻域多边形时以某方向上的连通距离取代了该方向上模板区域内的像素均值统计,因而能够更有效地利用邻域信息,并提高了计算效率。

1 基于邻域质心投票的分类影像道路中心线提取原理

1.1 分类影像上的道路特征分析

在高分辨率分类影像上,道路呈现以下特征^[12-13]:1)道路的形状为具有一定宽度的厚线段或呈条带状;2)同一条道路的宽度大致相同,但在发生遮挡处会出现明显变化;3)道路的弯曲程度有

限,很少出现剧烈变化;4)视图像分割算法的效果好坏,道路可能在边缘处呈现层次不齐的锯齿状;5)同一影像上可能存在不同类型道路,道路的宽度可能有较大差异;6)由于停车场、院落及部分建筑物的光谱特征与道路接近,图像分割算法往往无法区分,因而分类影像上的道路往往穿插、环绕在这些干扰物之中。

以上情形中特征2)3)6)对算法的抗干扰能力提出了较高要求,而5)则要求算法能够同时适用于不同宽度的道路。

1.2 二值图像上的角度纹理特征

传统的角度纹理特征直接对灰度影像进行计算^[14-15]。其基本原理是先通过一个矩形模板区域绕像素点间隔一定角度进行旋转,即得到一连串模板位置,再计算每一个模板区域内的纹理特征。这种方法需要对每个像素点进行计算,其中纹理特征通过计算方差并加以统计得到,因此计算量庞大。将角度纹理特征用于二值图像时,假定目标类别值为1,背景类别值为0,一种简化方法是以模版内的像素均值取代方差,并且仅对值为1的像素进行计算^[11]。

如图1(a),对于二值图像上目标区域内的任意像素点 p ,以其为端点,在其邻域生成一个长宽固定的矩形模板,计算该模板内像素的均值(即模板内值为1的像素数目除以总数)就得到了该点在该方向上的一个值 $M(\alpha, p)$,其中 α 表示模板主方向与水平方向的夹角。将此模板以 p 为轴按一定步长旋转一周,即得到一组值 $\{M(\alpha_0, p), M(\alpha_1, p), \dots, M(\alpha_n, p)\}$ 。图1(b)中将这组值按方向依次编号进行了显示,可以看到 $M(\alpha_i, p)$ 值较小时对应的方向上邻域范围较小, $M(\alpha_i, p)$ 值较大时对应的方向上邻域范围较大。

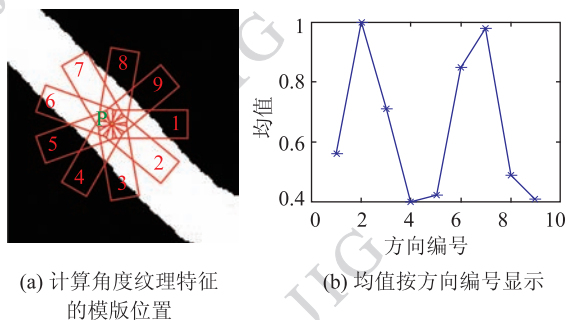


图1 二值图像上角度纹理特征的计算

Fig. 1 Computation of the ATS in a binary image

为进一步分析 p 点邻域的特性,将每个均值 $M(\alpha_i, p)$ 按其对应的角度 α_i 定位在 p 点朝该方向上 $M(\alpha_i, p)$ 个单位长度处,并顺次连接,即构成一个ATS多边形(Angular Texture Signature Polygon)。图2为3种不同情形下的像素点对应的ATS多边形示意图。为显示之便,将ATS多边形进行了放大。

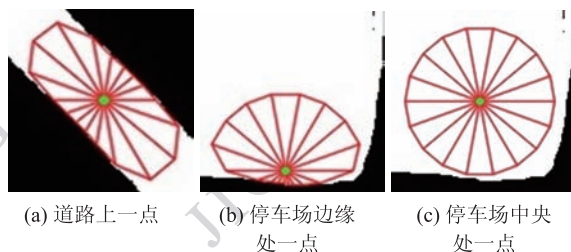


图2 ATS多边形的构建

Fig. 2 Building an ATS polygon

可以看出,ATS多边形的形状与该点处的邻域特征密切相关。对ATS多边形的形状进行考察,度量的指标包括^[11]:1)均值,定义为ATS多边形所有折点的距离的均值,可用来剔除邻域过小的孤立区域以及邻域过大的团块状区域;2)密实度,意义为ATS多边形与圆形的接近程度,因而在停车场、院落等团块状区域的内部该指标往往取得较高值;3)偏心率,定义为ATS多边形的质心 (x_c, y_c) 与原像素点 $p(x_0, y_0)$ 的距离,在团块状区域的边缘处该指标往往取得较高值,因此可用于剔除团块状区域的边缘像素。为综合以上各指标进行处理,需再次使用分类算法来进行道路判别。

图3(a)为一幅包含几种典型形状的测试图片,其中代表道路的厚直线、条带形区域宽度从2~20像素不等。对该图进行角度纹理特征计算,图3(b)~(d)为各指标计算值的灰度显示,图3(e)为3项指标的计算值所合成的假彩色图像,图3(f)为通过分类算法判别出的分类结果,其中红色表示判别为道路的区域,白色表示判别为非道路的区域。可看到,该方法对分类图像进行提纯时,能够剔除团块状区域,同时保留形状近似道路的厚直线及条带状区域;但一个明显的缺陷在于,紧挨着团块状区域的道路也容易受其邻域均值的影响而被去除,此外该方法对于不同路宽的适用性存在缺陷,预设宽度较大时容易保留直径不大的团块状区域,预设宽度过小时对宽道路的边缘部分无法保留。

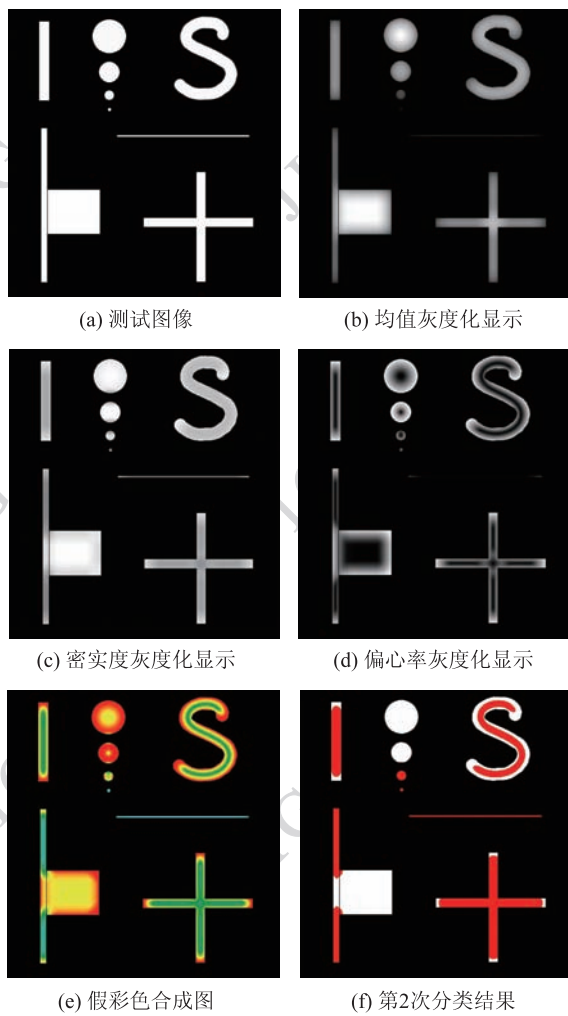


图3 对测试图像使用角度纹理特征进行提炼

Fig. 3 Apply ATS descriptors for refinement on the test image

1.3 邻域质心投票算法

本文算法同样需要构建类似 ATS 多边形的结构以进行邻域分析, 但将确定多边形每个折点位置的方法由模版内的均值变为像素点沿该方向的最大连通距离, 即像素点沿某个方向的射线在遇到非道路点前所经过的像素数目 (最大不超过某一检测阈值 K)。图 4(a)、图 4(c)、图 4(e)、图 4(f) 显示了本文算法在 4 种不同情形下所构建的邻域多边形, 其中绿色点表示像素点位置, 蓝色点表示邻域多边形的质心位置。

这种构建方法的优点是受紧挨但并不连通的区域影响较小, 能够检测穿插在团块状区域中的道路, 且使得需要检测的邻域像素数目大大减少, 但缺点是易受噪声影响, 可通过后续质心投票步骤增强稳定性。

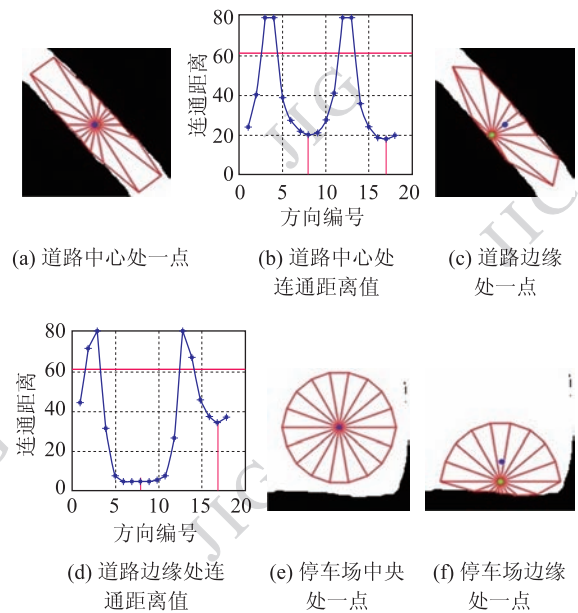


图4 邻域多边形的构建

Fig. 4 Building a neighborhood polygon

为使得算法对不同宽度的道路具备自适应能力, 在提取前首先对邻域的宽度进行估算。估值 $\hat{W}$ 取像素点到折点的距离 $Dis(\alpha, p)$ 在各方向上的局部极小值的均值的两倍, 即

$$\hat{W} = \frac{2 \sum_{i=1}^n \min_i [Dis(\alpha, p)]}{n} \quad (1)$$

这样计算可使道路中心处与边缘处估算的宽度一致且接近道路宽度。例如如图 4(b) 与图 4(d) 分别对应图 4(a) 与图 4(c) 中各方向上的连通距离, 其中折点的低谷处即对应着连通距离的局部极小值。例如由图 4(b) 可知局部极小值为 20 和 18, 因此道路宽度估值 $\hat{W}_1 = 38$; 由图 4(d) 可知局部极小值为 4 和 34, 因此估值 $\hat{W}_2 = 38$, 可见道路中心处的估值 $\hat{W}_1$ 与边缘处的估值 $\hat{W}_2$ 一致。

然后, 根据估算宽度 $\hat{W}$ 为距离 $Dis(\alpha, p)$ 确定一个阈值 $K(p)$, 距离大于此阈值的方向判定其为连通距离较长的方向, 即

$$\hat{L} = k_1 \cdot \hat{W}, k_1 \in (2, 4) \quad (2)$$

$$K(p) = \begin{cases} k_2 \frac{\hat{L}}{2} & k_2 \in (0, 1) \text{ 且 } \hat{L} \leq 2 \cdot W_{\text{limit}} \\ k_2 W_{\text{limit}} & k_2 \in (0, 1) \text{ 且 } \hat{L} > 2 \cdot W_{\text{limit}} \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\hat{L}$ 为估算的道路在其延伸方向的最小邻域长

度, $\hat{L}$ 达到 $\hat{W}$ 的 k_1 倍时可认为该邻域区域属于道路的一部分。实际邻域长度达到预计长度的 k_2 倍时即认为是较长的方向, 对其计数。 W_{limit} 为预设的图像上可能出现的最大道路宽度。对图像上的每个非零像素, 记录其连通距离较长的方向的数目 $T(p)$ 。例如, 由图 4(b) 与图 4(d) 得到两处的 $\hat{W}$ 相同, $k_1 = 4, k_2 = 0.8$, 预设 $W_{\text{limit}} = 80$, 则 $K(p) = 60.8$; 将该阈值要求在图中以红线标出, 满足要求的方向数目都是 4 个。

对测试图像(图 3(a))进行以上计算, 图 5(a) 显示的是连通距离较长的方向数目 T 的强度图 ($W_{\text{limit}} = 20$)。可见在团块状区域中央处 T 的值普遍较大, 而孤立的小区域中央处 T 的值普遍较低; 道路不论粗细在其中部分 T 的值均较为接近, 仅在靠近端点处略低。然而, 在团块状区域靠近四角处仍有像素 T 值与道路接近。

为进一步剔除这些边缘部分的干扰并实现中心线的提取, 在计算出的邻域多边形中进行质心投票, 即对每个多边形质心所在位置的像素点进行投票。例有像素 p , 算得其邻域多边形的质心坐

标为 (x_c, y_c) , 则向坐标 (x_c, y_c) 所对应的像素点 c 投出一票。如图 4(a)(c) 中, 由于在道路延伸方向的方法方向上像素点的邻域多边形相同或相近, 因此其质心位置都大致处于道路中心。使用这种投票方法, 道路中心处的获票数显著多于其他位置。

图 5(b) 为对测试图像使用质心投票算法的获票情况, 灰度高的像素表示获票较多。可看到团块状区域的内部获票数目相对较少, 并且在其边缘部分的像素没有获票。对获票数设置一个阈值, 小于此阈值的像素自动排除, 可起到抑制噪声干扰的作用; 同时对像素连通距离较长的方向的数目设置一个阈值, 排除数目过少或过多的像素, 满足条件的结果在图 5(c) 中以红色显示。

此时得到的结果已接近线状, 再利用形态学方法进行开运算及细化即得到中心线(图 5(d))。同时, 由于在计算连通距离较长的方向数目时已对道路宽度 $\hat{W}$ 进行估计, 对同一条中心线上像素的所有估计宽度 $\hat{W}$ 取中位数后亦可得到该条道路的宽度信息。本文算法的技术流程如图 6 所示。

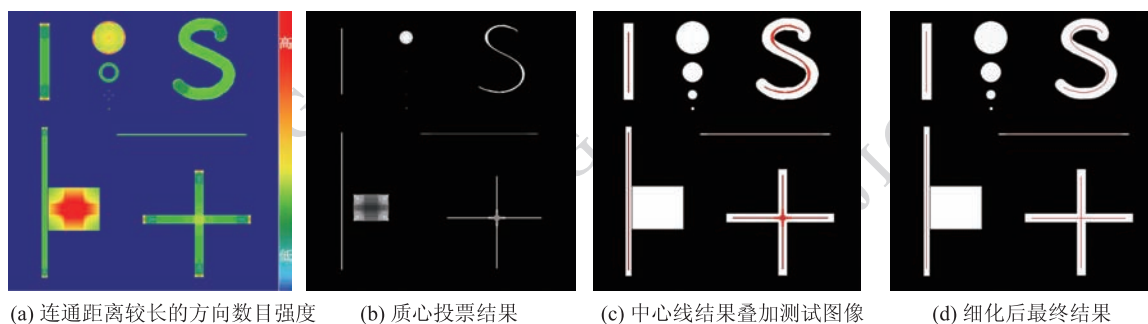


图 5 对测试图像使用邻域质心投票算法

Fig. 5 Apply neighborhood centroid voting algorithm on the test image

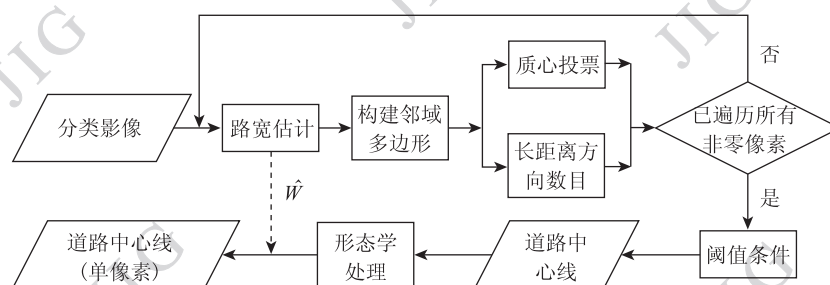


图 6 邻域质心投票法提取道路中心线

Fig. 6 Apply neighborhood centroid voting algorithm to extract road centerline

2 实验

在 Windows 7 下使用 Visual C++ 实现了本文提出的邻域质心投票算法。先通过前述测试图像验证本文算法的特性, 然后对高分辨率航空影像的分类结果进行测试, 并与 Zhang 等人^[11]提出的方法(以下简称参考算法)进行比较, 验证本文算法的有效性。

2.1 实验 1

使用新西兰奥塔哥(otago)的航空影像, 分辨率为 0.75 m, 从中截取 $3\,200 \times 3\,582$ 像素的部分影像, 通过 SVM 分类法进行分割并去除小面积区域, 结果

如图 7(a) 所示。可看到图中团块状区域被道路环绕。对该分类影像进行提纯, 以验证本文算法相比参考算法对团块状区域能力的剔除能力。实验结果如图 7 所示。

2.2 实验 2

使用美国夏洛特市(Charlotte)的航空影像, 分辨率为 0.3 m, 从中截取 $1\,764 \times 1\,598$ 像素的部分道路影像, 通过 SVM 分类法进行分割, 结果如图 8(a) 所示。由于分类算法的局限, 可看到分类结果中包含建筑物区域, 并存有部分噪声。对该分类影像进行提纯, 以验证本文算法相比参考算法的有效性及抗干扰能力。实验结果如图 8 所示。

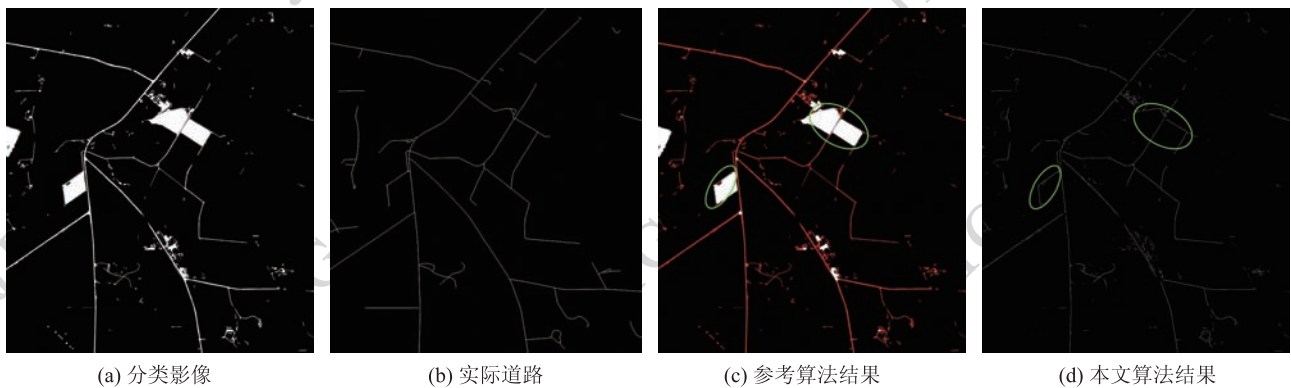


图 7 实验 1 结果

Fig. 7 Result of the experiment one

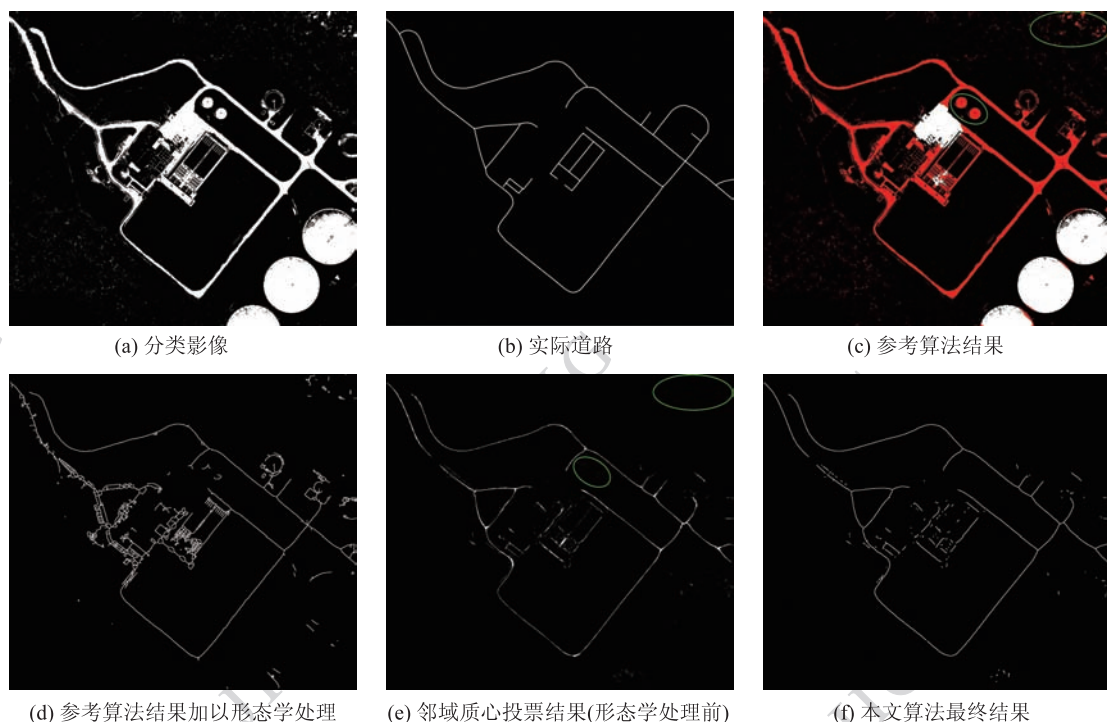


图 8 实验 2 结果

Fig. 8 Result of the experiment two

3 实验结果分析及有效性评价

通过以上两组实验以及第1节中对测试图像进行处理的实验加以分析,可以看出本文算法对于理想状况下的分类影像,可实现道路中心线的有效提取,且能够支持不同宽度的道路的同时提取(图5);参考算法的提取结果易受邻近像素的干扰而出现偏差,例如当分类图像上道路与团块状区域紧挨时无

法对道路进行保留,本文算法有效解决了这一问题(实验1);对于小面积区域的剔除效果,本文算法优于参考算法(图3(e)、图5(e)),因而在处理实际影像时表现出更强的抗噪能力(实验2)。

计算速度方面,各实验花费的时间如表1。本文算法在计算速度上具有明显优势,处理实际影像的用时小于参考算法用时的20%。此外,在待检测的道路宽度及像素总数增加以后,参考算法的耗时急剧增加,而本文算法的耗时增幅较小。

表1 计算时间对比
Table 1 Comparison on computing time

实验	参考算法			本文算法			
	检测宽度	检测方向数	计算时间/s	检测宽度	检测方向数	质心投票时间/s	形态学处理时间/s
测试图像实验(546×574)	10	36	2.2	20	36	0.3	0.5
实验1(3 200×3 582)	12	36	27.7	12	36	3.6	1.8
实验2(1 764×1 598)	35	18	131.5	35	36	3.8	2.3

提取的准确性方面,为了对结果进行量化评价,将本文算法结果与实际道路中心线进行比较,采用完整性(CP)、正确率(CR)、提取质量(QL) 3个指标对结果进行评价,其计算方法为^[16]

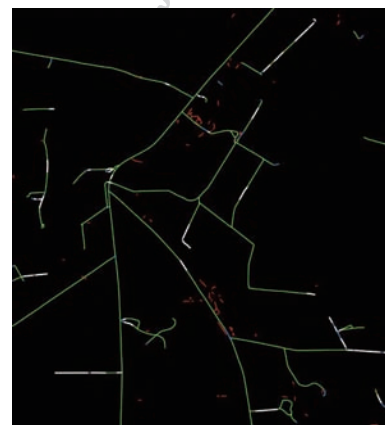
$$CP = \frac{TN}{TN + FN} \quad (4)$$

$$CR = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

$$QL = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (6)$$

式中, TP 表示匹配的提取道路长度, FP 表示未匹配的提取道路长度, 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。

考虑到原始影像在经过分类算法处理时已经历了一部分信息损耗,致使部分道路片段在本文算法处理前已经缺失,若直接进行统计,会导致完整性和提取质量偏低。为了准确评价本文算法的提取精度,对分类算法直接造成信息缺失的道路片段进行采集,结果如图9。图9中白色表示信息缺失的道路,绿色表示成功匹配的实际道路,蓝色表示未匹配的实际道路(漏检道路),红色表示未匹配的提取道路(错检道路)。将缺失部分的长度从实际道路总长度中扣减后,得到本文算法的实际精度评价如表2所示,可见本文算法的整体精度良好。



(a) 实验1



(b) 实验2

图9 提取结果判别示意

Fig. 9 Matches and errors of the extraction result

表 2 本文算法精度评价

Table 2 Performance of the proposed algorithm

实验	TP	TP + FP	TN	TN + FN	CP/%	CR/%	QL/%
实验 1	18 743	21 520	20 543	22 285	92. 2	87. 1	80. 6
实验 2	6 970	7 932	7 213	8 105	89. 0	87. 9	79. 0

从提取效果来看,本文算法存在与参考算法相似的缺点,即对道路两端的检测欠佳,往往使得检测出的道路段小幅缩短。此外,在实际分类影像中,小部分交叉口处路宽陡增,接近团块状,这种情况下本文算法与参考算法对其检测均失效。对于弯曲的、宽度较高的道路段,由于质心与实际道路中心存在偏差,提取的结果偏向弯曲部分(图 5(d))。考虑到实际道路中该情况发生较少(见 1.1 节特性 5)),这种偏移产生的影响不大。

表 3 算法特点比较

Table 3 Comparison on algorithm characteristics

	参考算法	本文算法
计算速度	慢	较快
稳定性	一般	较高
对不同路宽的适应性	受限,检测宽度高时容易混淆道路与团块状区域	强
抗噪声性能	一般	较强
道路连续性	一般	一般
交叉路口连续性	一般	一般
宽度信息	检测宽度大于实际路宽时能够保留,否则有偏差	能够保留
道路两端的检测	差	差
弯曲的、较宽道路的检测	检测宽度小于实际路宽时存在偏移	存在偏移

4 结 论

本文对适用于二值图像的角度纹理特征算法进行改进,提出了一种基于邻域多边形分析的道路提取算法,并通过实验验证了算法的有效性。该方法适用于图像分割得到的二值图像,能够同时实现传统方法中提纯与中心线提取两个步骤所对应的功能,并在计算效率、稳定性及对不同路宽的适应性方面表现良好,但存在对于道路两端以及路宽增加的道路交叉口检测效果不佳等缺陷。此外,由于高分

辨率影像中常见的树木、阴影等因素干扰,道路的辐射信息容易出现中断,如何克服这种中断,增强提取结果的连续性,是下一步研究的重点。

参考文献 (References)

[1] Wang X M. The Research and application of road extraction from remote sensing images [D]. Beijing: Tsinghua University, 2011 [汪夕明. 遥感影像道路提取方法研究与实现 [D]. 北京:清华大学, 2011.]

[2] Ma W. Segmentation algorithm for road in high resolution remote sensing images [D]. Nanjing: HoHai University, 2006 [马文. 高分辨率遥感影像道路分割算法研究 [D]. 南京:河海大学, 2006.]

[3] Lei X Q, Wang W X, Lai J. A method of road extraction from High-resolution remote sensing images based on shape features [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 5: 457-465. [雷小奇, 王卫星, 赖均. 一种基于形状特征进行高分辨率遥感影像道路提取方法 [J]. 测绘学报, 2009, 5: 457-465.]

[4] Shi W, Zhu C. The line segment match method for extracting road network from high-resolution satellite images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40 (2) : 511-514.

[5] Song M, Civco D. Road extraction using SVM and image segmentation [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2004, 70 (12) : 1365-1371.

[6] Jia C L, Zhao L J, Wu Q C, et al. Automatic road extraction from SAR imagery based on genetic algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13 (6) : 1134-1142. [贾承丽, 赵凌君, 吴其昌, 等. 基于遗传算法的 SAR 图像自动道路提取 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13 (6) : 1134-1142.] [DOI: 10. 11834/jig20080617]

[7] Tang W, Zhao S H. Road extraction in quaternion space from high spatial resolution remotely sensed images basing on GVF Snake model [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15 (5) : 1040-1052. [唐伟, 赵书河. 基于 GVF 和 Snake 模型的高分辨率遥感图像四元数空间道路提取 [J]. 遥感学报, 2011, 15 (5) : 1040-1052.]

[8] Zhu C S, Zhou W, Guan J. Main roads extraction from SAR imagery based on parallel pairs detection [J]. Journal of Image and

- Graphics, 2011, 16(10): 1908-1917. [朱昌盛, 周伟, 关键. 基于平行线对检测的 SAR 图像主干道提取算法[J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(10): 1908-1917.][DOI: 10.11834/jig.20111016]
- [9] Cheng J H, Gao G, Ku X S, et al. Review of road network extraction from SAR images[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(1): 11-23. [程江华, 高贵, 库锡树, 等. SAR 图像道路网提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(1): 11-23.][DOI: 10.11834/jig.20130102]
- [10] Miao Z, Shi W, Zhang H, et al. Road centerline extraction from high-resolution imagery based on shape features and multivariate adaptive regression splines[J]. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, 2013, 10(3): 583-587.
- [11] Zhang Q, Couloigner I. Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(9): 937-946.
- [12] Zhang R, Zhang J X, Li H T. Semi-automatic extraction of ribbon roads from high resolution remotely sensed imagery based on Angular texture signature and profile match[J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(2): 224-232. [张睿, 张继贤, 李海涛. 基于角度纹理特征及剖面匹配的高分辨率遥感影像带状道路半自动提取[J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 224-232.]
- [13] Lin X G, Zhang J X, Li H T, et al. Semi-automatic extraction of ribbon road from high resolution remotely sensed imagery by a T-shaped template matching[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 03: 293-296. [林祥国, 张继贤, 李海涛, 等. 基于 T 型模板匹配半自动提取高分辨率遥感影像带状道路[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 03: 293-296.]
- [14] Haverkamp D. Extracting straight road structure in urban environments using IKONOS satellite imagery[J]. Optical Engineering, 2002, 41(9): 2107-2110.
- [15] Gibson L. Finding road networks in Ikonos satellite imagery [C]//Proceedings of the ASPRS Annual Conference. Anchorage, Alaska: ASPRS, 2003: 5-9.
- [16] Wiedemann C, Heipke C, Mayer H, et al. Empirical evaluation of automatically extracted road axes [C]//Proceedings of 9th Australasian Remote Sensing Photogrammetry Conference. Sydney: The University of New South Wales, 1998: 172-187.