

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 3
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

目次

图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镛(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 程金梅,叶永强,姜斌(393)

图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 冯永玖,韩震(441)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
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
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa. ac. cn
电话:010-68407995 010-82614429
网 址:www. cjig. cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图分类号: TP911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0349-08

论文引用格式: 孙凤杰, 杨镇濠, 李媛媛, 范杰清. 输电导线图像目标识别方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 349-356

输电导线图像目标识别方法

孙凤杰, 杨镇濠, 李媛媛, 范杰清

华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206

摘要: 为了准确识别出背景复杂、对比度低时的输电导线目标, 在对图像进行全变分模型去噪的基础上, 提出一种基于模拟退火微粒群算法的2维最大类间方差法进行图像分割, 然后采用改进的Freeman链码表示法进行输电导线目标提取, 并应用基于最小二乘法的直线拟合法复原输电导线的基本骨架中的缺失部分。实验结果表明: 基于模拟退火微粒群算法的2维最大类间方差法具有较好的分割效果, 且在最佳分割阈值的搜索中有着较好的收敛性和计算速度; 基于改进的Freeman链码表示法的输电导线提取算法可以很好地滤除背景并将输电导线完整地提取出来。

关键词: 输电导线; 图像去噪; 图像分割; 直线拟合

Methods of transmission line target recognition

Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing

School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China

Abstract: In order to identify transmission lines accurately from low-contrast images with complex backgrounds, we applied the total variation denoising model. A two-dimensional explain based on the Simulated Annealing and Particle Swarm Optimization Algorithm is proposed and used for image segmentation. Besides, the traditional Freeman Chain Code Representation Method is improved to extract the transmission line target, and a line fitting method based on the Least Square Method is used to recover missing parts of the basic skeleton of the transmission lines. The experimental results indicate that the two-dimensional OTSU based on the Simulated Annealing and Particle Swarm Optimization Algorithm has better segmentation effect with better convergence and higher computing speed in the search of the best segmentation threshold. The transmission lines extraction algorithm based on the improved traditional Freeman Chain Code Representation Method can remove the complex image background well and extract transmission lines completely.

Key words: transmission lines; image denoising; image segmentation; line fitting

0 引言

高压输电线路所处的地理环境、气候条件往往比较复杂, 所以, 由输电线路覆冰、舞动等引起的大面积停电事故时有发生^[1]。因此, 研究输电线路的监测、预警技术, 帮助电力企业预防和减少事故的发生是十分必要的。

早期的输电线路监测主要依靠人工巡线, 受地形环境、天气状况等因素的影响较大, 存在效率低、工作量大、复巡周期长等缺点^[2]。随着电网建设和通信技术的不断发展, 国内外先后研制、开发出了多种输电线路远程监测装置^[3]。现有监测技术可大致分为两种: 一种是基于数字图像处理的方法, 另一种是以输电线路状态方程为基础理论的方法。由于后者需要依赖各种传感器并借助数学方法处理, 而

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-08-12

第一作者简介: 孙凤杰(1961—), 男, 教授, 1992年于华北电力大学获电力系统及其自动化专业硕士学位, 主要研究方向为电力系统通信、图像处理与识别、视频图像与通信等。E-mail: sfj@ncepu.edu.cn

这种处理本身有可能引入不可忽略的误差,所以基于图像处理的监测方法更实用。直升飞机巡线技术、巡线机器人技术以及基于远程数字视频监控与识别系统的在线监测技术是目前新兴的输电线路监测方法^[4-5],虽然它们采集输电线路图像的方法不同,但最终都是利用采集到的输电线路图像作为系统自动监测识别依据,其和传统的人工巡检方法相比,更加简单、经济、实时、准确。

近几年,提出了很多处理输电线路图像的方法,例如采用基于小波变换的浮动阈值算法和基于数学形态学的最佳阈值分割算法^[6],或者基于模拟退火遗传算法的 2 维最大类间方差法进行图像分割^[7],能够简单快速地计算背景简单的输电导线覆冰厚度。但在处理背景复杂的输电线路图像时效果都不理想。利用基于亮度和空间信息的线对象检测方法可以较准确的检测出线路断股和异物缺陷,具有很好的抗背景干扰性,但会引入误判^[8],且实际中的输电线路都有一定弧度。

此外,很多效果不错的图像去噪、分割算法只在实验室环境中做过测试,未必适合现场运行的输电线路图像。基于图像处理技术的输电线路监测技术在实际应用中主要存在两方面的问题:1)在不良的天气条件下获取的输电线路图像一般较暗,目标与背景对比度低,且往往含有大量噪声,从而导致了图像质量的下降;2)从背景比较复杂的图像中正确地提取识别出输电导线也存在比较大的困难。

针对上述存在的问题,本文结合输电线路监测图像的实际特点,重点研究如何从含有复杂背景、对比度低的输电线路图像中正确地识别提取出输电导线。对实际现场图像通过全变分模型去噪后,采用本文提出的基于模拟退火微粒群算法的 2 维最大类间方差法对图像进行快速分割,使用改进的 Freeman 链码表示法提取输电导线的基本骨架,最后用最小二乘直线拟合法复原基本骨架中的缺失部分,从而最终将输电导线完整地提取出来。

1 基于全变分模型的输电导线图像去噪

在图像的采集和传输过程中,由于受到各种因素干扰,图像一般都被噪声污染。人们根据实际图

像的特点、噪声的统计特征和频谱分布的规律,研究了各种去噪方法。近年来,基于偏微分方程的去噪方法成为国内外研究的一个热点^[9],其中最具有代表性的就是各种基于全变分(TV)去噪模型^[10-11]。该方法实质上就是各向异性扩散,例如和小波阈值去噪^[12]等图像去噪方法相比,它能在去噪的同时,有效地保护图像边缘,因此引起了国内外学者广泛地关注。

基于 TV 的去噪模型为

$$\min_u \left\{ E(u) = \iint_{\Omega} |\nabla u| d\Omega + \frac{\lambda}{2} \iint_{\Omega} |u - u_0|^2 d\Omega \right\} \quad (1)$$

式中, u 为原始的干净图像, u_0 为被噪声污染的图像, Ω 代表图像有定义的区域, λ 是一个预先定义好的常量。

式(1)说明当能量泛函 $E(u)$ 取到最小值,即达到稳态解时便能得到最终的去噪结果。利用 Euler-Lagrange 方程得到所求解的偏微分方程:

$$\operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) + \lambda(u_0 - u) = 0 \quad (2)$$

再利用梯度下降流法对式(2)进行求解:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right) - \lambda(u - u_0) \quad (3)$$

从选定的初始函数 u_0 开始,根据式(3)做迭代计算,当 u 随时间 t 达到稳态解时便能得到式(2)的解,即最终的图像去噪结果。 $1/|\nabla u|$ 作为图像的扩散系数,在图像边缘处, $|\nabla u|$ 较大,扩散系数较小,因此沿边缘方向的扩散较弱,从而保留了边缘;在图像平滑区, $|\nabla u|$ 较小,扩散系数较大,因此在平滑区扩散能力较强,从而去除了噪声。这就是为什么 TV 模型在平滑图像噪声的同时可以很好地保护好图像边缘的原因。

为了对比和验证图像去噪算法的性能,本文向实际截取的输电线路视频图像分别添加均值为 0,方差分别为 30 和 40 的高斯白噪声,并使用文献^[13]中的小波模糊阈值函数去噪法和 TV 模型去噪法对含噪图像进行处理。处理结果如图 1 所示。图 1(a)为一种典型的输电线路图像,背景中有农田、山间道路,且输电线路有间隔棒,噪声种类较多。表 1 是小波模糊阈值函数去噪法、TV 模型去噪法关于图 1(b)的去噪性能的比较。对比图 1(c)(d),可以发现,对于含噪的输电线路视频图像,TV 模型去噪法无论是在噪声平滑还是边缘保护方面的效果都优于小波模糊阈值函数去噪法,而且经 TV 模型去

噪法处理后输电导线的轮廓也比较清晰,这对于输电导线后续的处理和识别来说十分重要。虽然图像中有一定的“分片常数”现象且纹理有一定的缺失,但是对后续的处理和识别效果影响不大。从表1对比结果发现,对于含噪的输电线路视频图像,在相同的噪声方差下,TV模型去噪法相比与小波模糊阈值函数去噪法,有着最小的均方误差和最大的峰值信噪比。

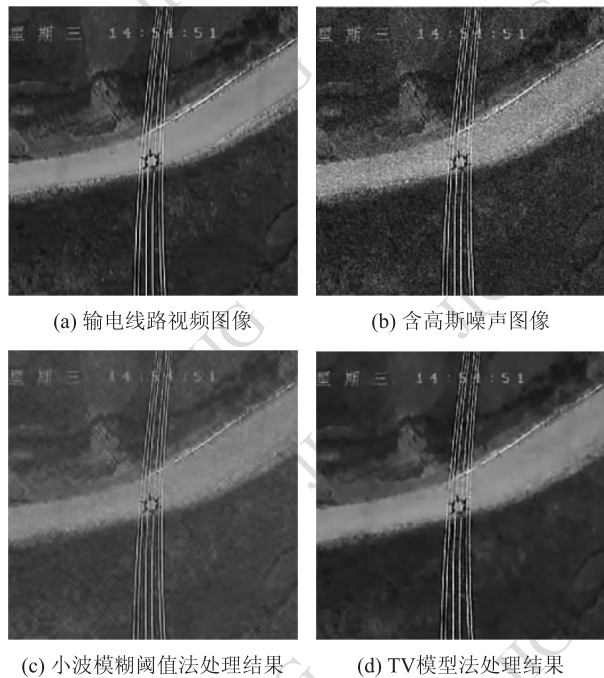


图1 输电线路视频图像的去噪结果

Fig. 1 The denoising results of transmission lines video image

表1 输电线路视频图像去噪性能对比

Table 1 The denoising performance comparison of transmission lines video image

	$\sigma = 30$		$\sigma = 40$	
	PSNR	MSE	PSNR	MSE
原始含噪图像	18.589	899.923	16.099	1596.413
小波模糊阈值函数法	23.166	313.692	20.150	628.234
TV模型法	29.609	71.152	28.450	92.910

为更充分地验证结果,还选取了另外两种典型复杂背景下的输电线路图像进行试验。图2(a)背景为无植被山体,山体表面有不规则凹陷和突起;图2(b)背景为树丛,呈噪声状分布。采用TV模型法处理后的结果分别如图2(c)-(d)所示。由此可见,该去噪方法的处理效果也是较佳的。

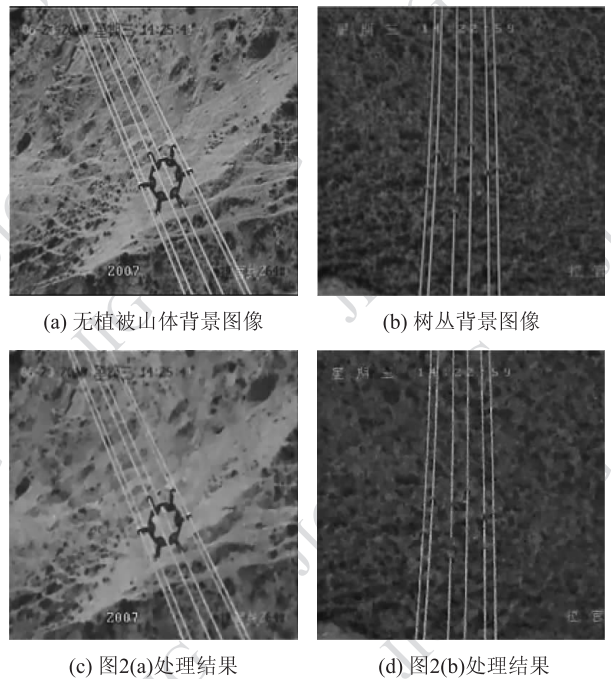


图2 输电线路原始图像及TV去噪结果

Fig. 2 Results of TV denoising algorithm

2 基于模拟退火微粒群算法的2维最大类间方差法

2.1 2维最大类间方差法

如何准确地求取图像目标和背景的最佳分割阈值非常关键。常用的阈值分割方法有最大类间方差法(OTSU)、最大熵法、共生矩阵法、模糊集法、四元树和矩不变法等^[14]。当图像的信噪比低,灰度差异不明显,目标面积较小的时候,这些方法就难以取得较好的分割效果。2维最大类间方差法(2D-OTSU)既利用了像素点的灰度分布信息,也利用了像素点领域空间相关信息,即使图像信噪比小、灰度分布不均,阈值选取也有较好效果^[15-16]。因此与基于1维直方图的分割算法相比,2D-OTSU算法具有更好的分割精度和鲁棒性。

设图像尺寸为 $M \times N$,灰度范围为 $0 \sim L-1$,图像坐标 (x, y) 的像素点灰度值为 $f(x, y)$,其邻域平均灰度值为 $g(x, y)$ 。2维直方图定义在一个 $L \times L$ 大小的正方形区域,其横坐标表示图像像素点的灰度值,纵坐标表示像素点的邻域平均值。为简单起见,在此用 (i, j) 表示向量 $[f(x, y), g(x, y)]$ 。 p_{ij} 表示向量 (i, j) 发生的频率,其中 i 表示像素点灰度

值, j 表示像素点邻域灰度均值。利用 2 维直方图中的任意向量 (s, t) 对图像进行分割时, 图像目标和背景类间的方差为

$$B(s, t) = \omega_0(s, t) [(u_{0i} - u_{zi})^2 + (u_{0j} - u_{zj})^2] + \omega_1(s, t) [(u_{1i} - u_{zi})^2 + (u_{1j} - u_{zj})^2] \quad (4)$$

式中, $0 \leq s, t \leq L-1$, $\omega_0(s, t)$ 和 $\omega_1(s, t)$ 分别表示背景类和目标类所占整幅图像的比例, u_{0i} 和 u_{1i} 分别表示背景类和目标类对应的灰度均值, u_{0j} 和 u_{1j} 分别表示背景类和目标类像素点对应的邻域均值 j 的均值, u_{zj} 表示整幅图像的灰度均值, u_{zj} 表示整幅图像像素点邻域 j 的均值。

最佳分割阈值 (s_0, t_0) 取在 $B(s, t)$ 为最大时

$$B(s_0, t_0) = \max_{0 \leq s, t \leq L-1} \{B(s, t)\} \quad (5)$$

由于图 2(a) 的对比度在 3 幅图像中最低, 其分

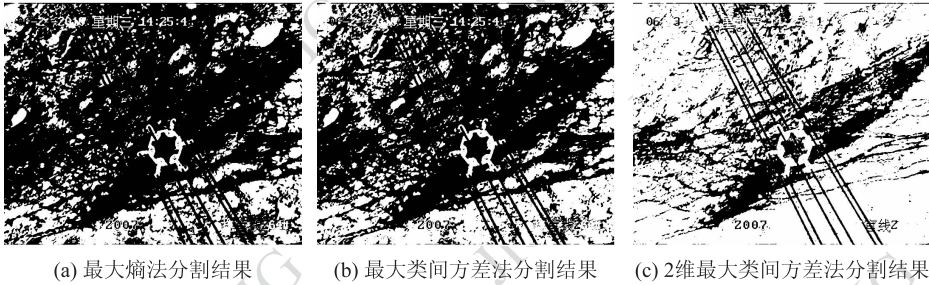


图 3 不同分割算法的分割结果

Fig. 3 The results of different segmentation algorithms

表 2 不同分割算法的分割阈值和平均耗时

Table 2 Segmentation thresholds and average time-consuming of different segmentation algorithms

分割算法	分割阈值	图 2(a) 耗时/s
最大熵法	118	1.52
OSTU	128	1.26
2D-OSTU	(161, 90)	189.28

2.2 模拟退火微粒群算法对 2 维最大类间方差法的改进

用 2D-OSTU 算法来求取图像最佳分割阈值的效果虽然很好, 但如果遍历全部 s 和 t 的话, 计算时间较长, 实用性差。传统的快速搜索算法有遗传算法 (GA)、模拟退火算法 (SA)、微粒群算法 (PSO) 等。遗传算法和微粒群算法都可以快速地搜索出最优解, 但是它们都无法保证收敛于最优解, 易陷入局部最优。模拟退火算法理论上是一种以概率 1 收敛于全局最优解的优化方法, 具有摆脱局部最优解的能力, 但是为了搜索出全局最优解需要花费较多时

间。针对这些问题, 本文在 2D-OSTU 算法的基础上, 采用文献 [19] 中的基于微粒群算法与模拟退火算法的协同进化方法, 将 2D-OSTU 算法、微粒群算法和模拟退火算法的优点相结合, 并有效地克服各自的缺点, 能够快速跳出局部最优, 获得全局最优解, 从而能迅速准确地求出最佳分割阈值。PSO 速度和位置的更新迭代如下式:

$$\begin{cases} V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1 \times r_1 (B_i^k - X_i^k) + c_2 \times r_2 (G^k - X_i^k) \\ X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \end{cases} \quad (6)$$

式中, X_i^k 为第 i 个粒子第 k 次迭代的位置; V_i^k 为第 i 个粒子第 k 次迭代的速度; B_i^k 为第 i 个粒子第 k 次迭代的个体极值; G^k 为第 k 次迭代的全局极值。 w 为惯性因子, 一般从大到小逐渐调节, 取值范围为 $0.2 \sim 1.2$; c_1, c_2 为加速常数, 通常在 $0 \sim 2$ 间取值; r_1, r_2 为服从 $U(0, 1)$ 的两个相互独立的随机变量。

模拟退火算法用 Metropolis 算法产生组合优化问题的解, 并由 Metropolis 准则对应的转移概率 P_i

确定是否接受从当前解 i 到新解 j 的转移。Metropolis 准则如下式:

$$P_i(i \rightarrow j) = \begin{cases} 1 & f(j) \geq f(i) \\ \exp\left(\frac{f(j) - f(i)}{t_k}\right) & f(j) < f(i) \end{cases} \quad (7)$$

式中, t_k 表示温度控制参数, f 为适应度函数。模拟退火算法起始时让 t_k 取较大的值, 在进行一定量的转移后, 缓慢减小 t_k 值, 如此重复, 直至算法终止。

基于模拟退火微粒群算法的 2 维 OTSU 法的具体步骤如下:

1) 设置模拟退火算法和微粒群算法的参数。令初始温度 $t_0 = T$, 温度衰减函数 $t_0 = \alpha \cdot t_k$ ($0 < \alpha < 1$), 种群规模为 M , $w_{\max} = 1.2$, $w_{\min} = 0.8$, $c_1 = c_2 = 1.6$ 。

2) 初始化种群。以式(4)为 PSO 的适应度函数 f , 并计算出每个微粒的个体极值 B_i^k , 取其中最大的

值作为全局极值 G^k 。

3) 令模拟退火算法的初始值 $Y = G^k$, 根据式(7)进行一步搜索得到一个新解 Y 。

4) 根据迭代公式(6)对每个微粒的速度和位置进行更新, 得到当前全局极值 G^k 。

5) 如果 $f(Y) = f(G^k)$, 且模拟退火算法和微粒群算法都已收敛, 则算法结束; 如果 $f(Y) > f(G^k)$, 则在微粒中随机选取一个微粒 i , 令其当前位置 X_i^k 与全局极值 G^k 均为 Y , 返回步骤 3); 如果 $f(Y) < f(G^k)$, 则令 $Y = G^k$, 返回步骤 3)。

分别对图 1(a)、图 2(a)(b) 使用经过 SA、PSO 以及 SA-PSO 算法优化后的 2D-OTSU 算法进行 30 次分割实验。分割结果如图 4 所示, 图像背景残余较少, 分割效果良好。表 3 为 3 种算法的优化性能对比, 可见采用本文算法和另外两种算法相比有着最佳的全局收敛性和最小的平均耗时。

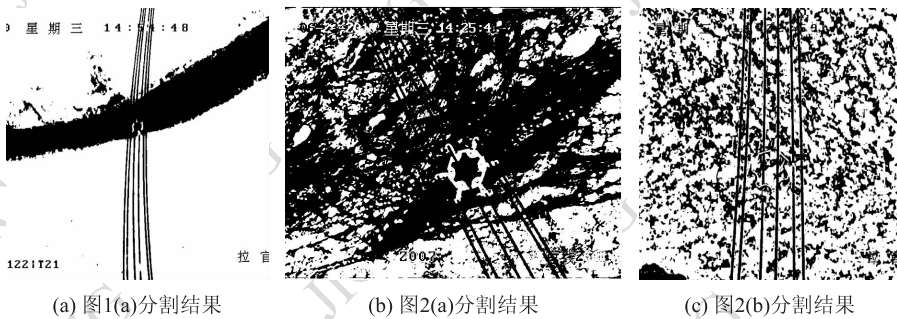


图 4 输电导线图像分割结果

Fig. 4 Segmentation results of the transmission line image

表 3 不同优化算法的收敛率和平均耗时

Table 3 The convergence rate and average time-consuming of different optimization algorithms

图像	SA	PSO	SA-PSO
收敛率			
图 1(a)	30/30	20/30	30/30
图 2(a)	30/30	19/30	30/30
图 2(b)	30/30	23/30	30/30
平均耗时/s			
图 1(a)	3.41	1.28	0.27
图 2(a)	4.52	1.68	0.67
图 2(b)	3.87	1.43	0.47

3 输电导线目标的识别算法

3.1 基于改进 Freeman 链码表示法的输电导线提取算法

Freeman 链码表示法是 Freeman 于 1961 年提出

的一种目标轮廓编码跟踪方法^[20]。Freeman 链码采用 8 个不同斜率方向的小直线段作为基元, 通过这 8 个方向的编码来描述图中的线条。

由于所采集到的输电导线呈明显的线形纵向分布的几何特征, 且图像中输电导线部分的像素点亦有较强的连通性。因此, 本文考虑采用链码搜索算法从分割后的图像中初步提取出输电导线。

当对图像中线条搜索时, 虽然传统 Freeman 链码表示法比较简单, 但是需要对图像中每个像素点的 8 个邻域像素点进行搜索, 所以需要花费较大的计算量和存储空间。然而, 经大量实验研究发现, 只对输电线路视频图像像素点的下、右下、右、左、左下方向的邻域像素点进行链码搜索便完全可以满足要求。因此, 本文在传统的 Freeman 链码表示法的基础上, 结合所研究的实际问题的特点, 对链码搜索的

方式进行了相应的改进。

改进的 Freeman 链码表示法具体如下：

将图像像素点的下、右下、右、左、左下方向分别编码为 6、7、0、4、5，并将编码分为左右两部分，左半部分由 4、5 组成，右半部分由 6、7、0 组成。当在右半部分搜索过程中未找到不为零并且未被标记的像素点，则继续进行左半部分搜索，否则将该点纳入链表，继续在其邻域内保持原有的搜索方向搜索下一个节点；同样如果在右半部分搜索未找到不为零并且未被标记的像素点，则继续进行左半部分搜索，如果 5 个像素点均不满足条件则链表结束。

由于在搜索完所得到的链表集合中，由输电导线像素点所组成链表长度一般比背景像素点组成的链表要大，所以可以通过设定一个阈值，剔除长度小于该阈值的链表，从而可以滤除掉输电线路视频图

像中的大部分复杂背景，将输电导线的基本骨架提取出来。经大量实验验证，阈值一般取图像高度的 0.25 倍即可满足要求。

从图 4 中可以发现分割后的图像中仍含有较多背景残余，无法用于后续的认识计算。因此，要采用本文提出的基于改进 Freeman 链码表示法的输电导线提取算法对其进行进一步处理，结果如图 5 所示。从图 5 中可以发现输电导线的基本骨架已经被提取出来，残余背景也得到很好地滤除，虽然提取出的输电导线产生了部分缺损，但是可以在后续的认识过程中采用一定的补偿算法对缺损的部分进行补偿。同时，由于改进后的 Freeman 链码表示法每次最多只需搜索 5 个领域像素点，相比于传统方法搜索效率至少可以提升 35% 左右，从而大幅提高了运算速度。



图 5 基于改进 Freeman 链码表示法的输电导线提取算法实验结果

Fig. 5 Experimental results of the transmission lines extraction algorithm based on the improved traditional Freeman chain code representation method

3.2 基于最小二乘直线拟合法的输电导线复原

最小二乘直线拟合的基本思想是，以离散分布且总体呈现直线轨迹的坐标点来求出直线参数，从而拟合出完整的直线^[21]。设拟合所需的直线方程为

$$y = kx + b \quad (8)$$

式中有两个待定参数斜率 k 和截距 b ，对于等精度测量所得到的 N 组数据 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, N$ 。由于认为 x_i 是准确的，所以拟合的误差都体现于 y_j 。

定义误差项为

$$Q = \sum_{i=1}^N (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - kx_i - b)^2 \quad (9)$$

用最小二乘法估计参数时，要求 Q 达到最小

值。 Q 最小的条件为： $\frac{\partial Q}{\partial k} = \frac{\partial Q}{\partial b} = 0$ ，即

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^N [y_i - (b + kx_i)]^2 &= \\ -2 \sum_{i=1}^N (y_i - b - kx_i) &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial k} \sum_{i=1}^N [y_i - (b + kx_i)]^2 &= \\ -2 \sum_{i=1}^N (y_i - b - kx_i)x_i &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

根据式(10)(11)整理后可得到方程组

$$\begin{cases} bN + k \sum_{i=1}^N x_i = \sum_{i=1}^N y_i \\ b \sum_{i=1}^N x_i + k \sum_{i=1}^N x_i^2 = \sum_{i=1}^N x_i y_i \end{cases} \quad (12)$$

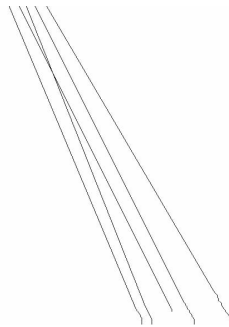
解方程组便可求得直线参数

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^N x_i^2)(\sum_{i=1}^N y_i) - (\sum_{i=1}^N x_i)(\sum_{i=1}^N x_i y_i)}{N(\sum_{i=1}^N x_i^2) - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (13)$$

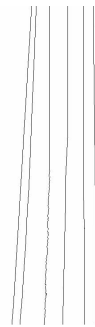
$$k = \frac{N(\sum_{i=1}^N x_i y_i) - (\sum_{i=1}^N x_i)(\sum_{i=1}^N y_i)}{N(\sum_{i=1}^N x_i^2) - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (14)$$



(a) 图5(a)复原结果



(b) 图5(b)复原结果



(c) 图5(c)复原结果

图6 基于最小二乘直线拟合法的输电导线复原

Fig. 6 Recovery results of transmission lines image processed by the line fitting method based on the least square method

4 结 论

实际应用中所获取的输电线路监测图像往往对比度低、含有大量噪声,且背景较复杂,这对于从图像中提取输电导线以及后续的认识计算十分不利。因此,本文针对这些问题,选取了3种具有典型背景的现场图像进行了实验分析并取得了以下研究成果:

1)将TV去噪模型引入输电线路图像去噪之中,该去噪方法在输电线路视频图像的噪声平滑和边缘信息保护上表现优异。

2)提出了一种基于模拟退火微粒群算法的2维最大类间方差法用于低对比度输电线路的图像分割。其不仅分割效果好,而且有最佳的全局收敛性和较短的处理时间。

3)提出了一种基于改进Freeman链码表示法的输电导线提取算法,该算法可以很好地滤除输电线路视频图像中的残余背景,并提取出输电导线的基本骨架。

4)利用最小二乘直线拟合法复原输电导线的缺损部分,最终将输电导线完整地提取出来。

针对图5中所出现的问题,利用最小二乘直线拟合法的的基本思想来复原输电导线缺损的部分,处理结果如图6所示。从图6可以看出,输电导线缺损的部分得到了很好的修复,从而将输电导线较为准确地提取出来,这对于输电导线的后续识别计算,例如舞动、覆冰的识别计算而言非常关键。

参考文献 (References)

- [1] Jiang X L, Zhou F R, Wang S H, et al. Mechanism of icing-caused conductor galloping and its prevention[J]. Electric Power Construction, 2008, 29(9):14-18. [蒋兴良,周舫荣,王少华,等. 输电导线覆冰舞动机理及防治措施[J]. 电力建设, 2008, 29(9):14-18.]
- [2] Cao Y X, Zhang C H, Huang Q, et al. Research status of on-line ice coating monitoring & forewarning technology of overhead transmission lines in China and abroad[J]. East China Electric Power, 2011, 39(1):96-99. [曹永兴,张昌华,黄琪,等. 输电线路覆冰在线监测及预警技术的国内外研究现状[J]. 华东电力, 2011, 39(1):96-99.]
- [3] Huang X B, Zhang G W. Status quo analysis of online monitoring techniques of transmission lines [J]. Guangdong Electric Power, 2009, 22(1):13-20. [黄新波,张国威. 输电线路在线监测技术现状分析[J]. 广东电力, 2009, 22(1):13-20.]
- [4] Zhou F Y, Li Y B, Feng G R, et al. A real-time online method for detecting and diagnosing broken strand of high-voltage transmission line with inspection robot[J]. Transactions of China Electro technical Society, 2010, 25(6):185-191. [周凤余,李贻斌,冯国瑞,等. 巡检机器人对输电线路断股实时在线监测与诊断的一种方法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(6):185-191.]
- [5] Chen H B, Wang C, Li J F, et al. Application of on-line monitoring technologies for UHV AC transmission lines [J].

- Power System Technology, 2009, 33(10):55-58. [陈海波, 王成, 李俊峰, 等. 特高压输电线路在线监测技术应用[J]. 电网技术, 2009, 33(10):55-58.]
- [6] Wang X P, Hu J L, Wu B, et al. Study on edge extraction methods for image-based icing on-line monitoring on overhead transmission lines [J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(12): 2687-2693.
- [7] Wang H. Research on technologies of image processing and recognition of icing transmission lines [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2009. [王鹤. 输电线路覆冰图像处理与识别技术研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.]
- [8] Wang Y P, Han J, Chen F M, et al. Automatic method of defects of power line in visual image[J]. Computer Engineering and Application, 2011, 47(12):180-184. [王亚萍, 韩军, 陈舫明, 等. 可见光图像中的高压线缺陷自动诊断方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(12):180-184.]
- [9] Zhang T, Zhu H, Zhang R, et al. Based on the dual-tree complex wavelet with 6 directional wiener filter combine partial differential equation in image denoising[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5):848-850. [张瞳, 朱虹, 张然, 等. 复小波域维纳滤波与偏微分扩散相结合的图像去噪方法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5):848-850.]
- [10] Chopra A, Lian H. Total variation, adaptive total variation and nonconvex smoothly clipped absolute deviation penalty for denoising blocky images [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(8):2609-2619.
- [11] Birkholz H. A unifying approach to isotropic and anisotropic total variation denoising [J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2011, 235(8):2502-2514.
- [12] Xie J C, Zhang D L, Xu W L. Overview on wavelet image denoising[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(3):209-217. [谢杰成, 张大力, 徐文立. 小波图像去噪综述[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(3):209-217.]
- [13] Ouyang C J, Yang Q S, Ouyang Y C. Adaptive fuzzy threshold filter algorithms based on wavelet transform [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, (5):82-84. [欧阳春娟, 杨群生, 欧阳迎春. 基于小波变换的自适应模糊阈值去噪算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, (5):82-84.]
- [14] Jing X J, Cai A N, Sun J A. Image segmentation based on 2-D maximum between-cluster variance [J]. Journal of China Institute of Communication, 2001, 22(4): 71-76. [景晓军, 蔡安妮, 孙景鳌. 一种基于 2 维最大类间方差的图像分割算法[J]. 通信学报, 2001, 22(4):71-76.]
- [15] Nakib A, Oulhadj H, Siarry P. A thresholding method based on two-dimensional fractional differentiation [J]. Image and Vision Computing, 2009, 27(9):1343-1357.
- [16] Chen Q, Xiong B L, Lu J, et al. Improved two-dimensional otsu image segmentation method and fast recursive realization [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2010, 32(5): 1100-1104. [陈琪, 熊博莅, 陆军, 等. 改进的 2 维 Otsu 图像分割方法及其快速实现[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(5): 1100-1104.]
- [17] Wong A K C, Shock P K. A gray-level throd selection method based on maximum entropy principle [J]. IEEE Multi-conference on System and Control, 1989, 19(4): 866-871.
- [18] Ostu N. A threshold selection method from gray-level histogram [J]. IEEE Multi-conference on System and Control, 1979, 9(1):62-69.
- [19] Wang C G. The algorithm research of image de-noising based on wavelet transform and morphological [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. [王成刚. 基于小波变换和形态学的图像去噪方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.]
- [20] Wang P, Dong Y D, Luo Z S. Freeman encoding-based line-segments recognition [J]. Computer Engineering, 2005, 31(10):171-173. [王平, 董玉德, 罗喆帅. 基于 Freeman 链码的直线识别方法[J]. 计算机工程, 2005, 31(10): 171-173.]
- [21] Gao P, Guo G L. Fitting highway planar curve based on least square method [J]. Journal of Geomatics, 2011, 36(2):19-21. [高盼, 郭广礼. 基于最小二乘法道路平面曲线拟合[J]. 测绘信息与工程, 2011, 36(2):19-21.]