

图5 直线段交叠

3) 如图6所示, 存在误检的直线段, A_1B_1 是输电线, 而 A_2B_2 是误检的直线段。

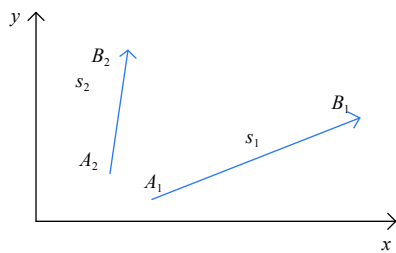


图6 存在误检直线段

2.4.2 线-线空间信息分析

定义直线段 s_1 、 s_2 的分离度 $r(s_1, s_2)$ 和方向相差度 $u(s_1, s_2)$,

$$r(s_1, s_2) = \frac{|\vec{B_1A_2}|}{|\vec{A_1B_1}| + |\vec{B_1A_2}| + |\vec{A_2B_2}|} \quad (26)$$

$$u(s_1, s_2) = \left| \arctan\left(\frac{y_{B_1} - y_{A_1}}{x_{B_1} - x_{A_1}}\right) - \arctan\left(\frac{y_{B_1} - y_{A_2}}{x_{B_1} - x_{A_2}}\right) \right| + \left| \arctan\left(\frac{y_{B_1} - y_{A_2}}{x_{B_1} - x_{A_2}}\right) - \arctan\left(\frac{y_{A_2} - y_{B_2}}{x_{A_2} - x_{B_2}}\right) \right| \quad (27)$$

针对 2.4.1 所述情况, 分离度和方向相差度的表现结果如表 1 所示,

表 1 各类情况下的分离度和方向相差度表现		
类别	分离度	方向相差度
图 3	很小	很小
图 4	较大	很小
图 5	大小不一定	很大

因此, 可以根据线-线空间信息分析: 把与多条直线的方向相差度都很大的直线段判定为误检直线段并将其剔除; 把方向相差度很小且分离度很小的直线段进行连接; 把方向相差度很小且分离度较大的直线段进行合并. 最终实现了直线段的筛选和拟合, 完成输

电线检测.

3 实验结果与分析

为验证本文算法在边缘检测阶段 Canny 阈值自适应的便利性, 分式查表法改进 Hough 变换的高效性和直线筛选拟合时的线线空间信息分析方法的良好性能, 以及对本文算法的整体效果评价. 在无人巡线图像上进行实验, 实验所用环境为 Win10 系统下, VS2015+ Opencv, 硬件设备 CPU 为 i7-7700K, 内存 16 G.

3.1 Canny 阈值自适应的便利性

本组实验, 选取 2 组无人巡线图像, 分别使用手动阈值和自适应阈值的 Canny 边缘检测方法对巡线图像进行边缘检测. 效果如图 7 所示.

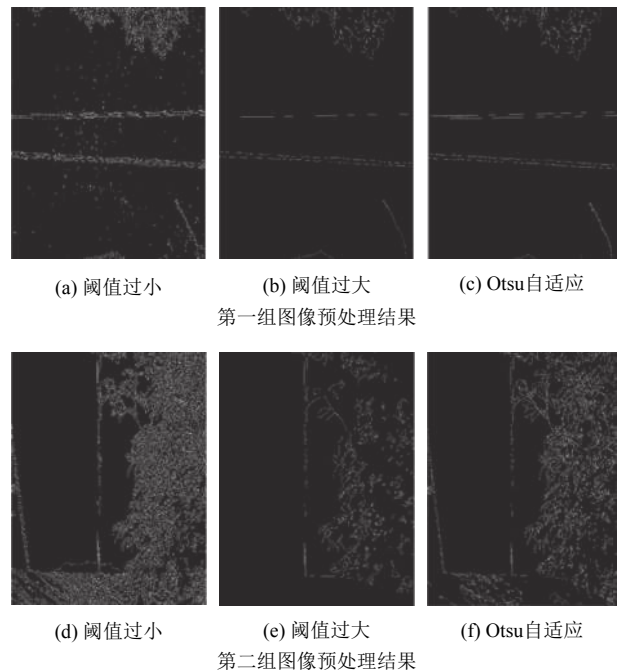


图7 手动阈值和 Otsu 自适应阈值处理结果

在使用经典 Canny 边缘检测方法时: 图 7(a) 和图 7(d) 由于阈值过小, 造成检测出来的边缘过多, 并且凸显了背景中树叶等物体边缘对输电线检测造成干扰的问题; 图 7(b) 和图 7(e) 由于阈值过大, 甚至造成了输电线边缘的丢失. 可见, 阈值对 Canny 边缘检测效果是至关重要的, 然而在使用经典 Canny 方法时, 针对不同图像, 阈值都需要一次次手动调整, 并且想要调整出合适的阈值, 是一项非常繁琐, 工作量巨大的任务. 本文提出了 Otsu 方法来自适应获取阈值, 其处理效果如图 7(c) 和 (f) 所示, 即实现了不错的处理效果, 同时又避

免了繁琐的人工调阈值。

3.2 分式查表法改进 Hough 变换的高效性

本组实验分别使用经典 Hough 变换直线检测和分式查表法改进的 Hough 变换在无人机巡线图像大小为 128×128 , 256×256 , 800×600 的图像上进行实验, 检测所需时间如表 2 所示。

从表 2 可以看到, 在图像为 128×128 时, 经典 Hough 变换所需时间为 3.7 s, 而分式查表法 Hough 变换几乎是忽略的时间。随着图像增大为 256×256 时, 分式查表法 Hough 变换所需时间仅是经典 Hough 变化的千分之一数量级。进一步增大图像到 800×600 , 所需时间达到万分之一数量级。可见, 随着图像的增大, 分式查表法 Hough 变换所体现出来的速度优势更大。

表 2 2 种 Hough 变换检测所需时间对比

图像尺寸	经典 Hough 变换 所需时间 (s)	分式查表法 Hough 变换 所需时间 (s)
128×128	3.7	0.004
256×256	225.2	0.01
800×600	3101.4	0.17

在图像采集设备性能越来越好的背景下, 由于后续需要进行输电线的破损等故障检测, 所采集的无人机巡线图像往往是高分辨率的大图, 分式查表法改进的 Hough 变换可以很好的解决 Hough 变换检测时所带来的计算量大, 耗时严重的问题。

3.3 线线空间信息分析方法的良好性能

本组实验, 选取 2 组无人机巡线图像进行实验。提取出 Hough 变换直线段检测的结果图和经过本文提出的线线空间信息分析方法对直线段筛选拟合的结果图, 将他们作对比。

实验结果如图 8 所示, 其中图 8(b) 和图 8(e) 为 Hough 变换直线段检测的结果, 可以看到, 同一条输电线上出现了多条相互交叠的直线段, 主要是由于无人机拍摄距离较近, 并且形态学处理中有膨胀运算, 造成输电线横截面方向占据的像素点较多。同一条输电线上还有少量的直线段之间会出现间断, 这是受到部分输电线的局部位置被腐蚀和边缘检测效果等因素的影响。在图 8(e) 中还出现了误检, 这是由于图像背景复杂, 受到边上连续茂密树叶的干扰。在通过本文提出的线线空间信息分析方法处理后, 结果如图 8(c) 和 8(f) 所示, 可以很好的将属于同一条输电线的大量交叠

直线段和少量间断直线段拟合成一条完整的直线, 并且还可以滤除误检出来的直线段。



图 8 实验结果对比

3.4 算法综合评价

本组实验, 共选取 134 张无人机巡线图像, 共含输电线 318 根, 使用本文算法进行实验。从检测率和误检率两个层面进行统计与评价。具体结果如表 3 所示。最终正确检测出 284 根输电线, 检测正确率高达 89.30%, 而误检根数只有 12 根, 误检率低至 3.77%。而对于未改进的原始 Canny+Hough 方法, 所得的检测正确率只有 64.79%, 误检率高达 20.44%。可见, 本文 Otsu 方法改进的 Canny 边缘检测的阈值恰当, 提出的线线空间信息分析方法可以很好的对 Hough 变换检测出来的直线段进行筛选拟合。通过本组实验, 验证了本文算法具有正确率高, 误检率低的优点。

表 3 本文算法综合评价表

算法	正确数目	正确率 (%)	误检数目	误检率 (%)
本文	284	89.30	12	3.77
未改进	206	64.79	65	20.44

4 总结

本文提出的方法: 通过基于 Otsu 的自适应阈值 Canny 边缘检测方法对无人机图像进行边缘检测得到二值图像, 然后经过数学形态学方法处理后, 用分时查

表法改进的 Hough 变换进行直线段检测,最后用线-线空间信息分析的方法进行直线段筛选和拟合,最终检测出输电线。

通过在无人机图像上实验,验证了这是一种性能良好的基于无人机图像的输电线检测方法。

参考文献

- 1 李建峰, 段宇涵, 王仓继, 等. 无人机在输电线路巡检中的应用. 电网与清洁能源, 2017, 33(8): 62–65, 70. [doi: 10.3969/j.issn.1674-3814.2017.08.011]
- 2 王亚先, 韩军, 赵庆喜, 等. 关于无人机自动巡检方法的研究. 计算机仿真, 2017, 34(3): 56–61, 160. [doi: 10.3969/j.issn.1006-9348.2017.03.013]
- 3 吴立远, 毕建刚, 常文治, 等. 配网架空输电线路无人机综合巡检技术. 中国电力, 2018, 51(1): 97–101, 138.
- 4 Menendez OA, Perez M, Cheein FAA. Vision based inspection of transmission lines using unmanned aerial vehicles. Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems. Baden-Baden, Germany. 2016. 412–417.
- 5 Liao JH, Zhang QY, Su YX, *et al.* Design of small four-rotor UAV transmission line inspection systems. Proceedings of the 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology. Chongqing, China. 2015. [doi: 10.2991/mmceeb-15.2016.130]
- 6 余明扬, 朱齐果, 王一军. 基于 Canny 算子和 Radon 变换的轨道图像校正方法. 计算机应用, 2017, 37(S2): 92–94, 133.
- 7 李亚娣, 黄海波, 李相鹏, 等. 基于 Canny 算子和 Hough 变换的夜间车道线检测. 科学技术与工程, 2016, 16(31): 234–237, 242. [doi: 10.3969/j.issn.1671-1815.2016.31.045]
- 8 Wang HJ. Edge detection of axis parts via combining canny operator with Hough transformation. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(9): 27–30, 47.
- 9 王英, 向碧群, 黄颖. 基于 Canny 理论的多方向角边缘检测算法. 计算机工程, 2007, 33(23): 211–212. [doi: 10.3321/j.issn.1002-8331.2007.23.065]
- 10 董晶, 杨夏, 于起峰. 基于边缘连接的快速直线段检测算法. 光学学报, 2013, 33(3): 0315003.
- 11 李芳, 董振华, 水宜水. 随机 Hough 变换在高压输电线检测中的应用. 软件导刊, 2014, (9): 155–157.
- 12 黄东芳. 基于一种改进的 Hough 变换的输电线路图像中导线识别研究[硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2016.
- 13 孙实超. 无人机航拍图像的输电线识别方法[硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2016.
- 14 Yan GJ, Li CY, Zhou GQ, *et al.* Automatic extraction of power lines from aerial images. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(3): 387–391. [doi: 10.1109/LGRS.2007.895714]
- 15 Baker L, Mills S, Langlotz T, *et al.* Power line detection using Hough transform and line tracing techniques. Proceedings of 2016 International Conference on Image and Vision Computing. Palmerston North, New Zealand. 2016. 1–6.