

UAV による空撮画像からの送電線領域の抽出 Extraction of multiple power line regions from UAV images

大月 教史[†]
Norichika Otsuki

太田 寛志[†]
Hiroshi Ohta

1. はじめに

送電設備における送電線や架空地線の点検においては、作業の安全と効率化のために近年 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) による空撮が利用されてきている。この空撮画像から送電線等の表面にある異常箇所を自動検出することができれば、点検作業の更なる効率化を図ることができる。このためには、前処理としてこれら線の領域と背景領域との境界のエッジを直線として検出して、二つのエッジに挟まれた送電線等の領域を画像から正確に抽出する必要がある[1]。一般に、画像からの直線検出には、Canny 法によるエッジ抽出と Hough 変換による直線検出の組み合わせが広く利用されているが、必要な直線のみを画像から得るためには複数の閾値を適切に定めなければならない、この閾値を画像ごとに動的に決定することが難しい。本研究では、送電線と架空地線が複数含まれている画像に対して、直線検出手法に基づき送電線等のそれぞれの領域を抽出する方法を提案する。この方法では、Hough 変換のパラメータ空間において送電線等のエッジの直線を探索する。これにより、提案方法では直線検出における閾値の設定が不要であり、正確かつ安定した送電線等の領域の抽出が期待できる。

2. Hough 変換による直線検出

本研究では、送電設備点検用ドローンを用いて送電線や架空地線はその上方から撮影した画像を使用する。送電線と架空地線は画像に直線で写っているため、送電線等の領域を抽出するには、画像のエッジ検出を行った後に直線検出の Hough 変換を用いる方法が有効である。

一般に、Hough 変換を行う前に、Canny 法によって細線化されたエッジの抽出が行われる。この Canny 法では対象のエッジ強度に合わせて、二つの閾値 (弱いエッジと強いエッジ) の設定が必要になる。次に、直線検出の Hough 変換では、直線方程式 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ を用いて、 θ - ρ パラメータ空間に投票を行う。直線検出するには、投票値の閾値を定め、閾値以上の投票値数をもつ (θ, ρ) の組をすべて見つけることにより画像内の直線を複数検出する。その後、何かしらの処理によってこの直線群の中から必要な直線の選出を行う。送電線等の領域抽出においては、検出された直線群の中から各送電線と背景の境界の直線 2 本を正確に見つけることが必要になるが、上記の閾値の設定が不適切な場合、境界の片側しか取り出せなかったり、送電線上に多数の直線が検出されたりするなどの問題が生じる。そこで本方法では、Canny 法は用いず、画像微分値を Hough 変換の投票値として用い、さらにパラメータ空間から直接的に送電線等の直線の成分のみを見つけ出す。これ

[†] 岡山理科大学大学院 Okayama University of Science Graduate School

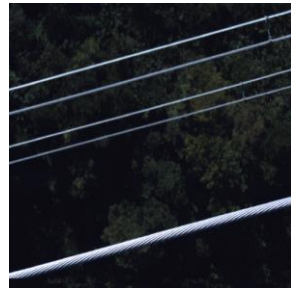


図 1 原画像

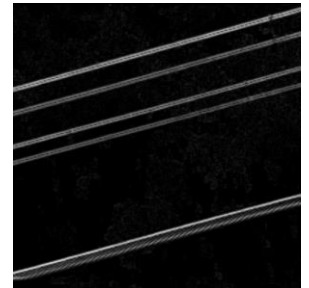


図 2 エッジ画像

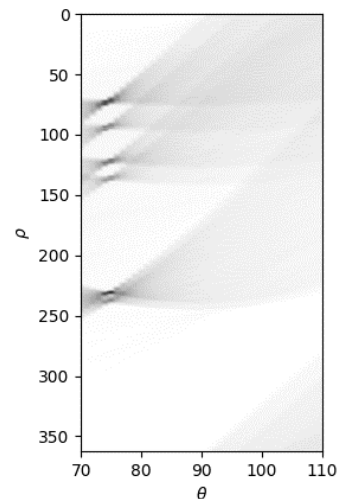


図 3 Hough 変換の θ - ρ パラメータ空間

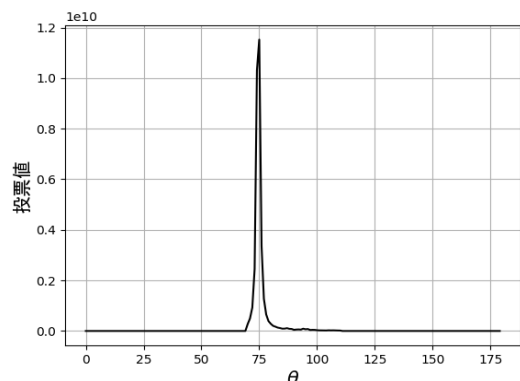


図 4 送電線の角度推定の結果

により、閾値を用いることなく線を抽出することが可能になる。

3. 送電線等の直線検出方法

提案方法では、以下に記す手順で Hough 変換のパラメータ空間内から直接送電線等の境界の直線検出を行う。例として図 1 に示す送電線 4 本と架空地線 1 本が写った画像を用いる。初めに Sobel フィルタでエッジ検出する。送電線等は画像にほぼ水平になるよう撮影されているため、y 軸方向についてのみ微分を行う。また、送電線等は背景より明るい色であるため、画像微分した結果は、送電線等の上側のエッジは微分値が正の値、下側のエッジは負の値となる。後の処理でエッジの上側と下側の組をつくる際にこの正負の符号を利用するため、微分値の絶対値はとらない。エッジ検出した画像を図 2 に示す。ただし、見やすくするためにこの図では微分値の絶対値を画素値にしている。エッジ画像から得られた Hough 変換の θ - ρ パラメータ空間を画像化したものを図 3 に示す。投票数が 0 であれば白く、投票数の絶対値が大きいほど黒く表している。本方法では Sobel フィルタによって得られた正負の符号のついた微分値を投票値に用いる。また、送電線等は画像にほぼ水平になるように撮影されていることから、 $70^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$ の範囲のみ投票を行う。

次に、送電線の直線の傾きをパラメータ空間から求める。送電線等は互いに平行な直線になるから、パラメータ空間では同じ θ の値の位置に多くの投票が集まる。つまり、投票が最も密集している θ を一つ見つければ、送電線等の直線が検出できる。そこで投票値の 2 乗を計算し、 θ ごとに総和をとり、投票値が最大となる θ を送電線等の角度とする。結果の例を図 4 に示す。この例では、 $\theta = 75^\circ$ に投票数の最大値が存在した。

続いて、検出した角度においてすべての送電線の上側と下側のエッジ位置の検出を行う。パラメータ空間において、上側のエッジ位置は投票値が正の値でピークとなる位置、下側のエッジは投票値が負の値のピークとなる位置に現れると考えられるため、 ρ の値が近いところで正と負のピーク差が極大となる ρ を検出する。この二つのピーク間の幅が送電線の幅となる。長さが極端に短い線を検出しないように、パラメータ空間内の最大ピーク値の 1/3 までを検出対象とする。図 4 に示した例において、 $\theta = 75^\circ$ の位置における投票値のグラフを図 5 に示す。図 1 からわかるように送電線等は全部で 5 本存在しているため、明瞭なピークが正と負にそれぞれ 5 つずつ現れている。これらピークの ρ の値より各送電線の上下の両端の位置が推定できる。

4. 送電線等の検出結果

実際にドローンで撮影した複数の送電線等や鉄塔などを含む画像を用いて検出を行った。図 1 に示した原画像の結果を図 6 (a) に示す。また送電線以外に直線が多く含まれる画像における検証として、背景に鉄塔が写っている画像についても検出を行い、その結果を図 6 (b) に示す。それぞれの画像で得られた θ と ρ の値を表 1 に示す。どちらの画像でも位置、本数が正しく検出できている。ただし直線の角度に 1° 未満の僅かな誤差が見られた。パラメータ空間の分解能を上げるなど、 θ の検出の改善が必要である。本方法では、送電線と架空地線が同時に写ることを想定している。送電線と架空地線の区別をしたい場合、架空地線の方がカメラに近く太く写ることから検出した ρ の間隔によって区別することができる。

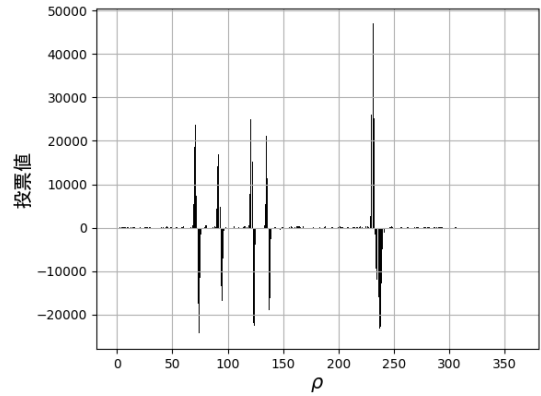
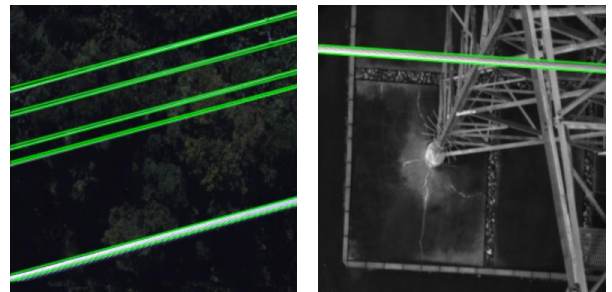


図 5 $\theta = 75^\circ$ における投票値



(a) 線が複数の画像 (b) 鉄塔が含まれた画像

図 6 送電線等の検出結果

表 1 検出結果の直線の θ と ρ の値

| | θ | ρ |
|---------|----------|--------------------------------------|
| 検出結果(a) | 75 | 71,74, 92,95,121,124,135,137,231,237 |
| 検出結果(b) | 94 | 35,42 |

5. まとめ

本研究では画像から架空地線と複数の送電線の領域を検出するために Hough 変換のパラメータ空間を利用する方法を提案した。本方法では、送電線等の上側と下側のエッジの直線を Hough 変換のパラメータ空間から直接検出する。このため、閾値設定を必要としない特長がある。今後の課題として、境界線の角度である θ の検出に誤差が生じる場合があるため θ 及び ρ の検出の高精度化について検討し、改善を行う。

参考文献

- [1] 大月教史, 太田寛志, "UAV による空撮画像からの架空地線の検出", 2023 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会, R23-22-09, (2023).