

## 4 画像処理を応用したロボットビジョンシステムに関する研究

佐野 誠, 藤原義也, 田尾博幸, 吉野信行

### Research of Robot Vision System Applied Image Processing

SANO Makoto, FUJIWARA Yoshinari, TAO Hiroyuki, YOSHINO Nobuyuki

We developed the image processing system that inspects high voltage power lines by infrared rays images. High voltage power lines have some troubles, damages by thunderbolts, contacts of trees or artificial objects, and so on. There are some inspections of the power lines, for example using a high-vision camera. But as a high-vision camera needs a high level control on taking a picture, it is not suitable for a low cost or simple inspection.

So we used a infrared rays camera instead of a visible rays camera such as a high-vision camera. We can take some thermal informations of power lines from the infrared rays images of them, because the quantum of the infrared rays, that the wave length is more than  $8\mu\text{m}$ , radiated by the object in the earth is almost propotion to its temperature. This image processing system by the infrared rays images is useful to other monitoring systems, particurally when it is not able to use a visible ray camera in the dark.

キーワード：赤外線画像，画像処理，送電線点検

### 1 緒 言

高圧送電線は、雷等による損傷や、樹木等の接近・接触、人工物の接触、付着等により、電力運用に障害を及ぼす可能性があるため、事故を未然に防ぐ点検業務は重要である。主な点検項目は、電線路付近の樹木や構造物等の接近・接触状況の確認、送電線の素線切れ、アーク痕、キンク痕、笑い、損傷等がある。

送電線点検業務では、既に有人ヘリによるビデオ撮影が実施され、ハイビジョン撮影や高速・高解像度カメラの活用、ズーム制御等により、高精細な画像を取得することが可能となっているが、撮影者の負担が大きくコストもかかる。点検業務の自動化を図るため、無人ヘリによる撮影を考えた場合、高精細な画像を得るには、焦点、ズーム、露出等の制御が必須であり、これが適切でないと画像が劣化したり、目標物を捕らえられなかったりする。このため耐環境性があり、単純な制御で画像取得が可能な手法が望まれる。

そこで本研究では、人間には捕らえることができない赤外線領域の放射エネルギーを活用することにした。中～遠赤外線は、一般に温度分布の情報を得るために利用されており、先に挙げた送電線の障害を温度分布から検出しようとするものである。また可視光カメラ

では、送電線の背面の状況は確認できないが、赤外線カメラでは、熱の伝搬により背面の状況も確認できる可能性がある。さらに、陰日向により照度変化が激しい送電線点検においては、可視光カメラを用いるよりも、画像取得制御の負担軽減の可能性がある。無人ヘリによる送電線点検システムの概要図を図1に示す。

本研究では、赤外線画像から送電線の異常を検出する画像処理ソフトウェアを開発して、その実用性を確認する。

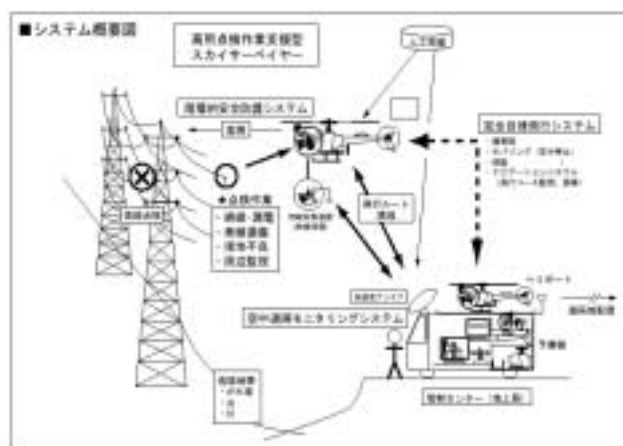


図1 システム概要図

## 2 赤外線画像処理

赤外線画像処理は、前処理部、送電線抽出部、点検処理部から構成される。各処理について説明する。

### 2.1 前処理

前処理では、エッジ検出と細線化を行う。エッジ検出には図2に示す Sobel フィルタ (3×3) を用いた。Sobel フィルタによる水平・垂直方向の微分値をそれぞれ  $gh(i, j)$ ,  $gv(i, j)$  とすると、エッジ検出フィルタ  $g(i, j)$  は、一般には式(1)～(3)等で定義される。

$$g(i, j) = (gh(i, j)^2 + gv(i, j)^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$g(i, j) = |gh(i, j)| + |gv(i, j)| \quad (2)$$

$$g(i, j) = \max(|gh(i, j)|, |gv(i, j)|) \quad (3)$$

これらは、微分値の大きさ(絶対値)という観点から定義されたものである。本研究では、大きさだけでなく、正負の情報もエッジ検出に活かす目的で、次式で定義したフィルタを用いた。

$$g(i, j) = gh(i, j) + gv(i, j) \quad (4)$$

フィルタ係数は図3(a)のように表される。式(4)を用いることで、輝度の変化が暗から明では負の微分値、明から暗では正の微分値となり、明るさの勾配方向も解析に利用できる。反面、図4に示す方向に輝度変化がある場合はエッジ検出能力が低下する。この場合は、図3(b)の相補フィルタを併せて用いることで、エッジ検出が可能となる。

式(2)および式(4)のフィルタを用いた結果を図5に示す。(b), (c)は図中の垂線でプロファイルをとった結果であり、(b)は式(2)のフィルタ、(c)は式(4)のフィルタによるものである。

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a) 水平方向

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b) 垂直方向

図2 Sobel フィルタ

-2	-2	0
-2	0	2
0	2	2

(a) 微分フィルタ

0	-2	-2
2	0	-2
2	2	0

(b) 相補フィルタ

図3 本研究で用いるフィルタ

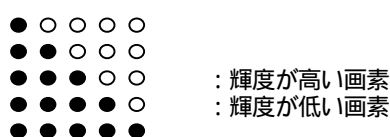
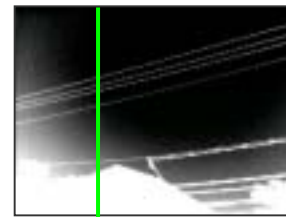
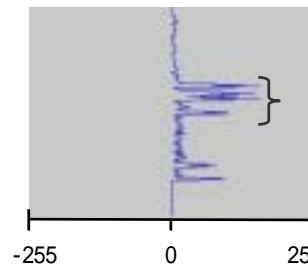


図4 検出しにくい画素勾配の例

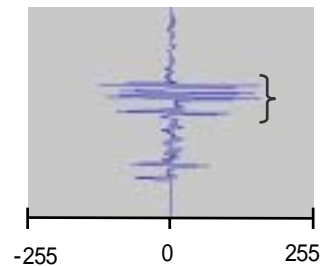
(b)では、一本の送電線の両側エッジに対して正のピークが現れるので、ピーク同士が重なり合いやすく、何本のピークが存在するか判断が難しくなる。実際、4本の送電線に対して8本の正のピークが現れるはずだが、図中の (b)ではピークの数が増えすぎて判別しにくい。また、画像解像度が小さい場合、隣り合う送電線のピーク同士が重なり合うこともある。(c)では、1つの送電線の両側エッジが暗から明の変化では負、明から暗へは正のピークと、一对の正負ピークが現れることになり、図中の (c)で4対の正負のピークが容易に確認できる。



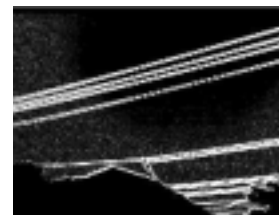
(a) 原画像



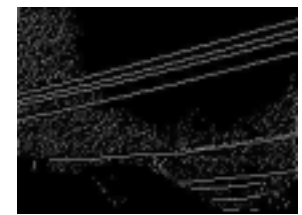
(b) 式(2)のフィルタによるプロファイル



(c) 式(4)のフィルタによるプロファイル



(d) 式(4)のフィルタによる微分画像



(e) (d)の細線化

図5 前処理

### 2.2 送電線抽出

送電線抽出は、線分の抽出処理と線分の結合処理から構成される。

#### 2.2.1 線分の抽出

図5(e)の微分画像を例にとってアルゴリズムを説明する。

画像をブロックに分割する。全体の画像サイズは  $320 \times 240$  pixel であり、分割するブロックサイズは任意でよいが、本研究では 1 ブロックを  $30 \times 30$  pixel に設定した。

ブロック内の総画素数がしきい値  $Th_s$  未満であれば、次のブロックに移動する。

ブロック内の総画素数がしきい値  $Th_s$  以上のとき、ブロック上の点と点をラインで結び、そのライン上に重なる画素があればそれをカウントする。ここではこの処理を線候補のサーチと称する。図6にサーチの様子を示す。

カウントした画素数がしきい値  $Th_c$  以上であれば（これをヒットと称する）、ブロック上の2点のうち、X座標が大きい方の点をトレース開始点とする。ヒットした画素は、以降のサーチ対象から外す。

トレース開始点から、ヒットしたラインの傾きと、ある一定の傾きの範囲内（本研究では約  $10^\circ$ ）でラインを設定して、重なる画素数をカウントする。ここではこの処理を線候補のトレースと称する。図7では、で示した範囲内でラインを引きヒットするラインを探索する。

トレースでヒットすれば、その端点をトレース開始点として、の処理を繰り返す。ヒットした画素は、以降のサーチとトレースの対象から外す。ヒットがない場合、またはトレースが画像領域端まで到達した場合は、次のサーチブロックへ移動し、へ戻って処理を繰り返す。

トレースでヒットする回数が連続してN回以上になった場合は、送電線の追跡に成功したとみなして、サーチ範囲を送電線とみなした傾きの一定範

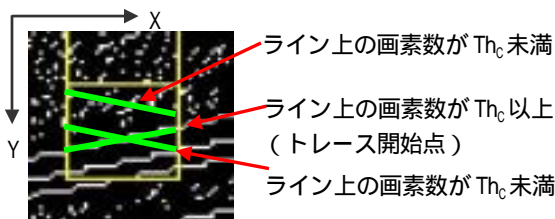


図6 サーチの様子

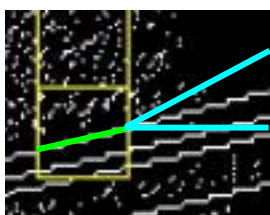


図7 トレースの様子



図8 線分抽出処理

範囲内の傾きのみ限定する。これにより探索範囲の削減を図ることができる。

線分抽出処理（サーチ及びトレース）の結果を図8に示す。

### 2.2.2 線分の結合

線分の結合は、抽出した線分を1本の送電線と認識して結合したり、重なった線分を削除する処理である。図9に線分の結合を示す。

(c)では8本の線分が抽出されているが、1本と認識したい線分が2本に分かれていたり（線分0と4、線分1と6、線分2と7）、また2本重なってたり（線分4と5）する。これら进行处理するアルゴリズムの概略は以下の通りである。

#### 結合処理 1

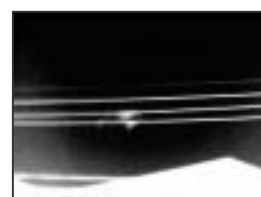
注目線分の端点の近傍を探索して、他の線分の端点があれば、その線分の傾きを調べ、傾きの差がしきい値  $Th_R$  以内であれば結合する。線分1と6、線分2と7はこの処理により結合される。

#### 結合処理 2

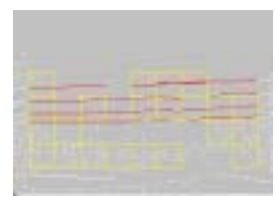
注目線分の端点を、傾きに沿って設定範囲内で延長し、その近傍を探索する。他の線分の端点があれば、その線分の傾きを調べ、傾きの差がしきい値  $Th_R$  以内であれば結合する。線分0と4はこの処理により結合される。

#### 包含処理

他の線分が注目線分の近傍にあり、これと注目線分の傾きの差がしきい値  $Th_R$  以内であって、かつ、他の線分の両端点が、注目線分の両端点よりも内側にある場合は、他の線分は注目線分に包含されているとみな



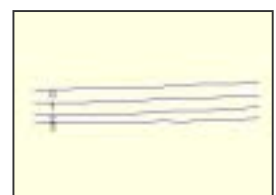
(a) 原画像



(b) サーチ&トレース



(c) 線分抽出



(d) 線分結合の結果

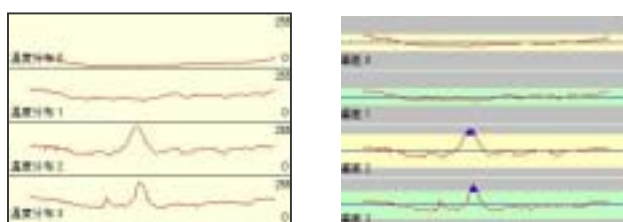
図9 線分の結合

して削除する。線分 4 と 5 が包含関係にあり、線分 5 が削除される。

線分の結合を行った結果が(d)である。

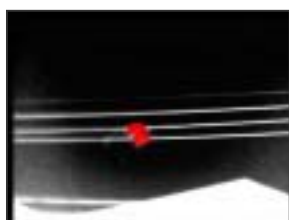
## 2.3 点検処理

異常検出は、温度のしきい値を設定し、これを越えた箇所を検出すればよいが、赤外線カメラの性能や撮影状況により、画質、解像度等が影響を受けることを考慮しなければならない。本研究では、無人ヘリ搭載が前提であり、重量等の制約から標準レンズを用いるため、解像度は高くない。そこで、これらを解決する一手法として、標準偏差を求め、著しく分布が外れている箇所を検出することにした。図 10 に点検処理の結果を示す。



(a) 温度分布

(b) ばらつきの分析



(c) 点検結果

図 10 点検処理

## 3 解析結果

解析例を図 11, 図 12 に示す。

図 11 は、送電線の手前を他の配電線が横切り、これを障害物としているが、想定した点検下では、配電線が横切るようなケースはなく、異常との判断は正しい認識となる。

図 12 は雲による背景放射の影響が強く、送電線の異常高温部として誤った認識をした例である。これは、撮影距離が長く、相対的に送電線幅が小さくなったことが原因であり、実際の撮影距離(約 10~20m)では、問題ないと考えられる。

## 4 結 言

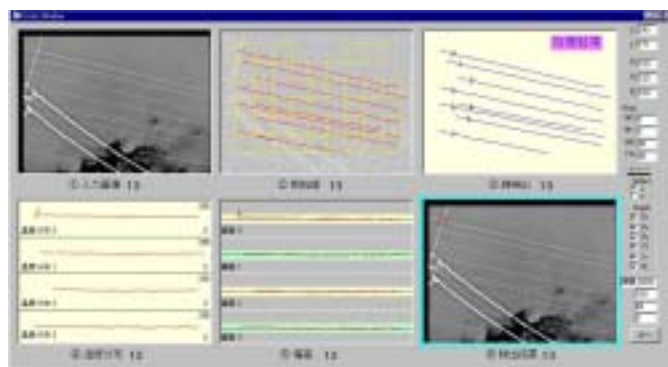


図 11 解析例 1

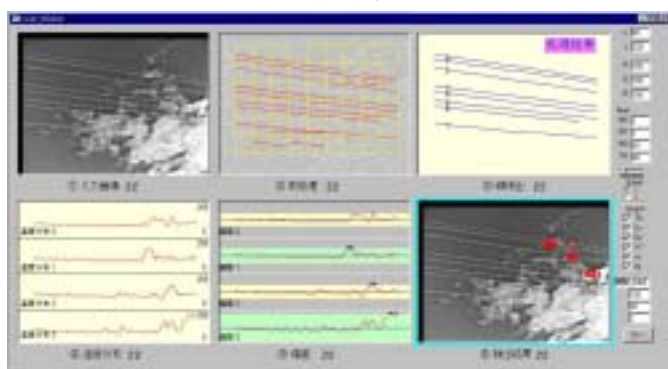


図 12 解析例 2

送電線を撮影した赤外線画像から、その温度分布を調べ、局所的な温度変化を示す部分を検出する画像処理ソフトウェアを開発した。

焦点や露出の制御なしで、標準レンズを装着した非冷却型赤外線カメラにより、送電線や配電線の赤外線画像を撮影し、画像解析を行った。その結果、樹木等の障害物の接近や接触、変色による局所的な温度分布の変位などを解析できることを確認した。

モニタリング用に、赤外線画像と可視画像をそれぞれ 10 フレーム/秒以上で同時に蓄積する画像処理蓄積装置を構築した。

## 文 献

- 1) 赤外線技術研究会 編：赤外線工学 オーム社
- 2) 久野治義：赤外線工学 (社)電子情報通信学会
- 3) 外岡他：三菱電機技報 Vol.66 No.11(1992), 52

## 付 記

本研究は、平成 13 年度補正による即効型地域新生コンソーシアム「完全自律制御による高所点検作業支援型スカイサーベイヤーの開発」の分担研究として実施した。