

移動計測による点群と画像を用いた線状物体検出 (第4報)

電気通信大学 ○田島 晃太, 増田 宏

1. 緒言

移動計測装置 (MMS)によって道路周辺地物の点群や画像を取得することができる。このデータは、3次元地図の作成や道路周辺物体の保全などに活用できる。

本研究では、MMS では計測が難しかった、道路を跨ぐ電線の検出について考える。道路を跨ぐ電線については、大型車両との接触を避けるため、最低地上高が定められている。最低地上高の検出のためには、電線の軌跡を算出することが求められる。しかし、道路を跨ぐ電線は、レーザの照射軌跡が電線と平行に近い場合、電線上の点群が大きく欠落することが多く、その場合、電線の軌跡の算出は困難である。

この問題を解決するために、これまで、点群と画像を併用することで、電線の軌跡を算出する方法を検討してきた[1]。しかし、画像から3次元点群を生成する際の誤差から、画像からの点群とレーザスキャナからの点群との間に大きなずれが発生するという問題があった。本報では、画像から検出した線分と点群との統合方法を検討し、検出精度を向上させる手法について考える。また、本手法を実際のMMSデータに適用することでその有効性を検証する。

2. 手法の概要

道路を跨ぐ電線の計測では、図1のように、電線がレーザを振る方向と平行になるため、電線上の点群に大きな欠落が発生するという問題がある。一方で、道路を跨ぐ電線は、車両の正面にあるため、カメラ画像には比較的明瞭に写っている。そこで、本手法では、MMSより取得した点群とカメラ画像の両方を用いて、カメラ画像から電線上の点群を生成し、MMSで得られた点群と統合する。

図2に手法の流れを示す。点群処理では、まず点群から地面、柱状物体、壁面を検出し、それらの点群を除去する。次に、地面からの高さが閾値以上の点を水平面に投影する。電線を水平面上に投影すると、直線上に点が並ぶ。そこで、水平面上での直線検出を行い、直線上に乗っている点群を電線候補点群とする。その結果、図3のように、電線候補点群と、それらが乗っている垂直平面が算出できる。

カメラ画像からの処理の流れを図4に示す。まず画像を分割し、それぞれの領域に電線が存在するかどうかを深層学習を用いて判定する。電線が存在すると判定された領域から、Hough変換を用いて直線を検出する。電線は水平に近い場合、角度の閾値を設けて、垂直に近い線分は除去する。ここでは、閾値を垂直から30度以内の線分を除去した。検出した線分は、連結成分ごとにグルーピングし、電線候補線分とする。

点群から抽出した電線候補点群と、画像から検出した電線候補線分は、図5に示すように、ピンホールカメラモデルを用いて相互に関連付けることができる。カメラ中心と3次元空間の点 (x_i, y_i, z_i) を通る直線が、画像平面と交わる点として、画像上での投影点 (\hat{u}_i, \hat{v}_i) が算出できる。ただし、この点はレンズの歪みなどのため実際の画像上の点からずれているので、以下の式でレンズ補正を行った (u_i, v_i) を算出する。

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \begin{pmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 2k_2 \hat{u} \hat{v} + k_4 (r^2 + 2\hat{u}^2) \\ k_5 (r^2 + 2\hat{v}^2) + 2k_4 \hat{u} \hat{v} \end{pmatrix}$$

ここで、 $r^2 = \hat{u}^2 + \hat{v}^2$ であり、 k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 はカメラのキャリブレーションによって決定される。



図1. 道路に跨る直線

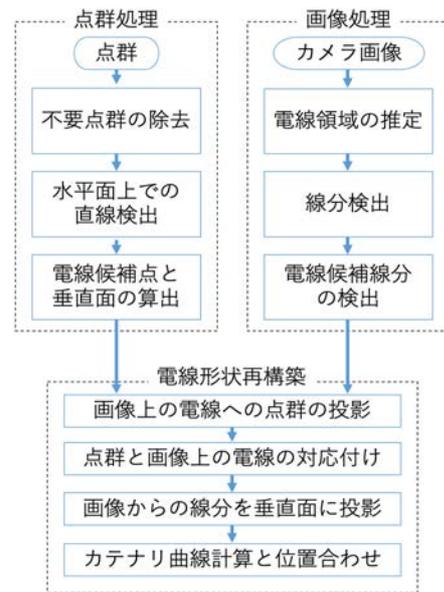


図2. 処理手順

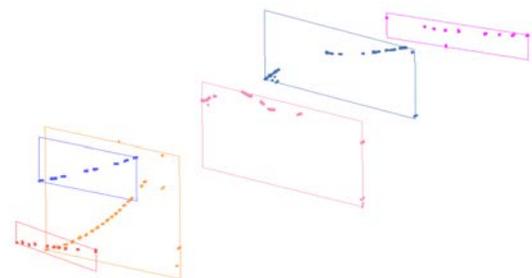


図3. 点群からの電線候補点と垂直平面の算出

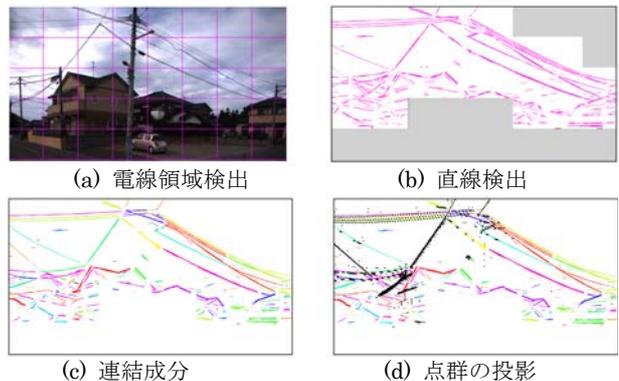
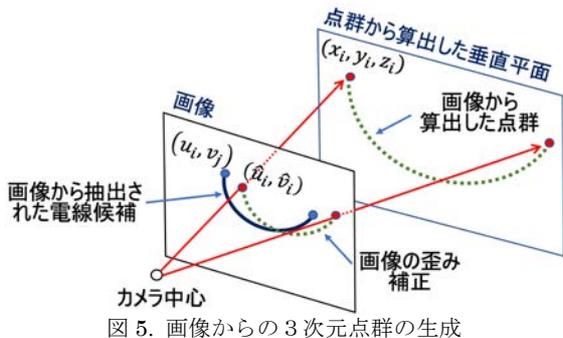


図4. 画像からの電線候補線分の抽出

一方、この逆計算により、画像上の点を、点群から算出された垂直平面上に投影することができる。この場合は、図5の画像上の点 (u_i, v_i) から、補正前の点 (\hat{u}_i, \hat{v}_i) を算出し、直線と平面との交点として (x_i, y_i, z_i) を算出する。

電線候補点群と電線候補線分との対応は、点群が電線候補線分の十分近くに投影されるかどうかによって決定する(図4(d))。対応すると見做された電線候補線分は、垂直平面上に投影され、電線候補点群と統合される。それによって、レーザスキャナで計測できなかった部分の電線の補完を行う。



3. 線状物体の形状再構成

画像から得られた点群を水平面に投影するとき、キャリブレーションやレンズ補正の誤差のために、画像の点が点群とずれる場合がしばしばある。そこで、画像から投影された点群が、レーザスキャナから取得された点群と一致するように、座標変換を行う。電線は水平に近いので、垂直方向の移動と回転のみを考える。

まず、画像から投影された点群を、次式で表現されるカテナリ曲線に近似する。曲線の計算には、Gauss-Newton法による最小2乗法を用いた。

$$f(x) = \frac{a}{2} \left\{ \exp \frac{x-b}{a} + \exp \frac{-(x-b)}{a} \right\} + c$$

この曲線に対して、Z方向の移動と回転を行い、レーザから取得された点が最も多く乗る移動量と回転角を求める。回転と移動は、指定された範囲内で微小量ずつ変化させて行き、最適な値を選択する。図6は、点群に対して、画像から算出されたカテナリ曲線を重ね合わせた図である。

4. 評価実験

本手法を評価するために、福岡と東京で取得したMMSデータを用いて、道路を跨ぐ電線の抽出を行った。点群に対応する画像は、点群のGPS時間から5秒以内に撮影された画像を用いた。

本評価では、MMSデータから、道路を横断する57本の電線を目視で確認し、それらの電線が検出できるかどうかを調べた。その結果、57本中40本の道路横断電線が正しく抽出できることを確認した。成功率は70%であった。

図7に検出例を示す。MMSによって取得された点群を黒で、検出された電線をマゼンタ色で表示している。ここでは、最低地上高の最も低い電線を矢印で示している。図7(a)では、レーザが電線と平行に近く当たったため、飛び飛びの点群となっているが、画像の点群と統合することで、連続的な電線として検出できている。また、図7(b)では、ほとんどの点が欠落しているが、画像から検出された電線候補線分により、電線が検出できている。

本手法では、車両に最も近い電線については、十分に検出することができたが、17本の道路を跨ぐ電線が検出できなかった。

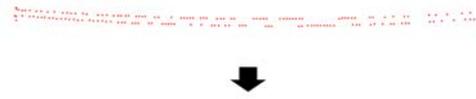


図6. 位置合わせされた曲線



(a) 欠落の大きい点群



(b) 電線上の点群のほとんどが欠落

図7. 検出された道路横断電線

た。その理由は、点群処理と画像処理のそれぞれに関して、以下のようにまとめられる。

- (1) 点群からの電線候補点群検出：
電線が道路から離れている場合や、電線が非常に細い場合、電線に乗る点の個数が小さくなる。その場合、電線候補点群が検出できず、画像上の点を投影する垂直面が生成できないケースがあった。
- (2) 画像からの電線候補線分検出：
画像のコントラストが低い場合や、画像上の電線が非常に細い場合、画像から電線候補線分が検出できない。また、検出できた場合でも、個数が少ない場合、信頼できるカテナリ曲線が算出できないケースがあった。

これらの実験結果から、既存の手法では再構成できない電線の再構成に有効であることが明らかになった。一方で、本手法の成功率をさらに向上させるためには、非常に疎な点群からの線状物体検出や、様々な条件で撮影された画像からの線状物体の抽出など、よりロバストな手法の開発が必要である。

5. 結論

道路を跨ぐ電線の検出は、車両と線状物体の干渉を避けるために重要であるが、MMSでは道路を横断する電線上の点が十分に取得できないという問題がある。本研究では、画像を用いて点群を補完する方法を示した。本手法では、点群から電線に乗る垂直平面を算出し、画像から得られた電線候補線分を投影することによって点群の補完を行う。評価実験の結果、本手法により、十分な点群が得られない場合でも、電線の経路計算が算出できることが示された。

一方で、成功率は70%であり、現状では検出できない電線も多く存在した。今後は、深層学習などの手法を用いて、より安定的な検出手法を検討する必要があると考えている。

参考文献

- [1] 田島晃太, 増田宏, 移動計測による点群と画像を用いた線状物体検出(第3報), 精密工学会春季講演会, 2020.