

移動計測による点群と画像を用いた線状物体検出 (第2報)

電気通信大学 ○田島 晃太, 森 悠真, 増田 宏

1. 緒言

移動計測装置(MMS, Mobile Mapping System)で取得した点群やカメラ画像などの道路周辺情報は、インフラ設備を維持管理する作業の効率化や、車両の自動運転に必要な3次元地図の作成等に有用である。MMSで取得された道路周辺情報には様々な地物が含まれているため、MMSデータを活用するためには、対象となる物体を点群から抽出する必要がある。

前報では、MMSで取得された点群とカメラ画像から線状物体の検出を行う手法を提案した。しかし、MMSによる計測では、図1に示すように、道路に沿った線状物体では比較的密な点群が得られる一方で、道路を跨ぐ線状物体については十分な点群が得られないという問題がある。この理由は、図2に示すように、道路を跨ぐ線状物体においては、線状物体とレーザのスキャン方向が平行に近いため、スキャンラインが線状物体を横切る回数が少なくなるためである。

実用上、電線の保全においては、電線と車両との干渉を避けることが必須であるため、道路を跨ぐ線状物体の軌跡を正確に把握することは非常に重要である。そこで本報では、道路を跨ぐ線状物体も検出できるように、手法の拡張を行う。



図1 欠落した線状物体

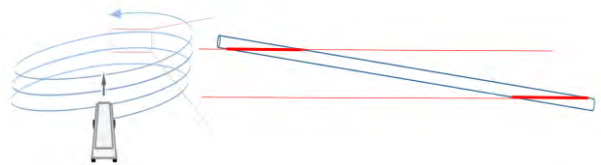


図2 道路を跨ぐ線状物体の計測

2. 手法の概要

本手法では、レーザスキャナとカメラを搭載したMMSによって計測されたデータを用いる。道路を跨ぐ線状物体においては、点群が大きく欠落する一方で、カメラでは正面から撮影するため比較的良好な画像が得られる。そこで、画像から検出された2次元の線状物体から3次元の線分を生成することで、道路を跨ぐ線状物体を検出することを考える。

図3に本手法の全体の流れを示す。まず、適応的閾値処理とHough変換を用いて、カメラ画像から細長い線状領域の検出を行う[1]。ここでの出力は、カメラ画像上の2次元線状物体である。また、点群からも、線状に連結した点群を3次元線状物体として検出する。検出した3次元線状物体は画像上に投影し、2次元線状物体と3次元線状物体を対応付ける。

次に、3次元線状物体を通る平面を算出し、画像から検出された2次元線状物体を平面上に投影する。それにより、2次元線状物体は、3次元座標を持つ3次元データに変換できる。最終的に、点群と画像から算出された3次元線状物体を融合して、線状物体の軌跡を算出する。

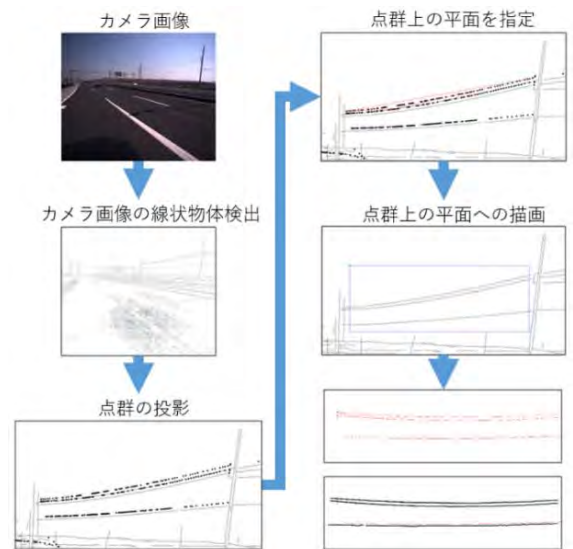
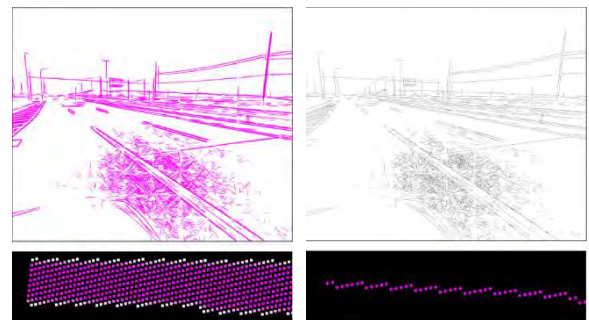


図3 線状物体の検出手順

3. 画像と点群からの線状物体の検出

画像から線状物体の候補となる領域の検出を行うため、カメラ画像を小領域ごとに分割し、各小領域に適応的閾値処理をすることにより2値化を行う。2値化した小領域ごとの画像にHough変換を適用することで、線状物体を線分の集合として検出することができる。検出された領域は、図4(a)のように、幅を持った帯状の領域となる。次に、帯状の領域に細線化処理を施す。それにより、図4(b)のように、細い幅の線状物体を得ることができる。

一方、点群からも線状物体の検出を行う。MMSで取得した点群は、レーザスキャナの回転周波数とパルス繰り返し周波数を用いて2次元格子状に写像できるので、2次元格子状の隣



(a) 線状物体の検出 (b)線状物体の細線化

図4 画像からの線状物体検出

接関係を用いて点群の近傍点を連結する．線状の連結領域が生成されたら，それを線状物体の候補とする．

カメラとレーザスキャナの相対位置，またカメラパラメータがわかっているならば，点群を画像上に投影することができる[1]．そこで，点群から検出された3次元線状物体を画像上に投影する．それにより，画像から検出された2次元線状物体と，点群から検出された3次元線状物体を対応付けることができる．

4. 2次元線状物体の3次元座標の算出

4.1. 垂直投影面の算出

一般に，電線などの線状物体は下に凸なカテナリー曲線となり，その曲線は垂直な平面上に存在する．そこで，点群から検出された3次元線状物体を含む垂直平面を算出する．道路を跨ぐ線状物体では，図1,2に示すように，多数の非連結な線分が生成されることがある．そこで，同一の垂直平面に乗っている線状物体をグループ化しておく．

4.2. 2次元線状物体の垂直投影面への投影

3次元空間における点Pを画像上に投影したときの位置は，図5(1)に示すピンホールカメラモデルによって，画像投影面と直線OPとの交点として計算することができる．ただし，カメラで撮影された画像には歪みが存在するため，計算された位置からずれている．本研究では，画像処理でよく知られている補正関数[3]を用い，交点 $\hat{p} = (\hat{u}, \hat{v})$ を実際の画素位置 $\hat{p}' = (\hat{u}', \hat{v}')$ に変換する．図5(2)に計算手順を示す．

本研究においては，この逆計算を行う必要がある[2]．図5(1)において，正規化画像上の座標 \hat{p}' が得られているとき，補正する前の画素位置 \hat{p} が算出できれば，対応する3次元の点は直線OP上に存在することがわかる．このとき，直線OPと4.1で算出した平面との交点として，対応する3次元座標を算出することができる．

画像上の座標 (\hat{u}', \hat{v}') を歪み補正された値， (\hat{u}, \hat{v}) を歪み補正をする前の座標とすると，図5(2)に示す関数による変換を $(\hat{u}', \hat{v}') = (f(\hat{u}, \hat{v}), g(\hat{u}, \hat{v}))$ と書くものとする．このとき，座標 (\hat{u}, \hat{v}) は以下の式を解くことによって得ることができる．

$$\{f(\hat{u}, \hat{v}) - \hat{u}'\}^2 + \{g(\hat{u}, \hat{v}) - \hat{v}'\}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

この計算には，準ニュートン法を用いた． (\hat{u}, \hat{v}) が求めれば，図5(1)の直線OPの方程式が算出できるので，3次元空間における座標を算出することができる．

5. 評価実験

図6に道路を跨ぐ線状物体の画像を示す．また，MMSによって取得された点群を図7(a)に示す．この図に示すように，道路を跨ぐ線状物体の多くが欠落しており，点群だけから線状物体を検出することはできない．

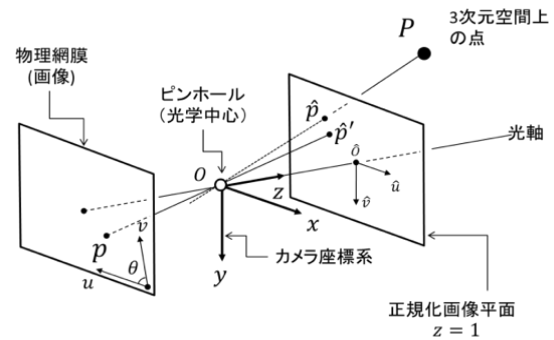
一方，図7(b)では，本手法で提案した手法を用いて，画像から検出された2次元線状物体の点群を3次元空間に追加した．この図に示すように，本手法では，線状物体の接続関係が検出できていることがわかる．

6. 結論

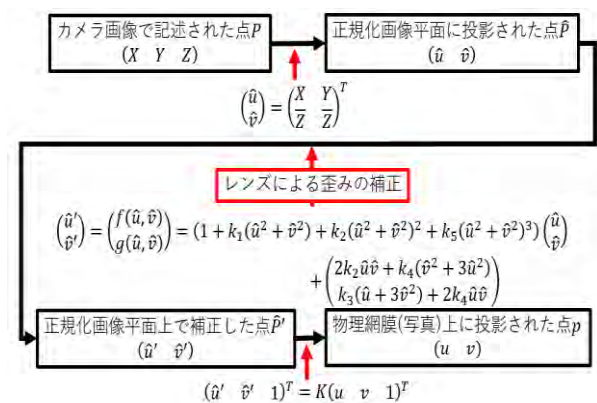
本報では，画像から検出された2次元の電線領域から3次元の線分を生成し，道路を跨ぐ線状物体も検出できるように，手法の拡張を検討した．

今後は，広域のMMSデータを用いて，検出率の検討を行っていきたい．また，本手法を線状物体以外の形状に対しても適用す

ることを検討していく．



(1) ピンホールカメラモデル

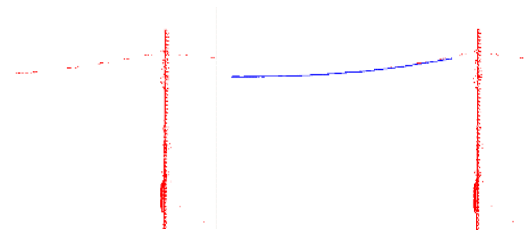


(2) 計算アルゴリズム

図5 ピンホールカメラモデルによる画像上への投影



図6 計測した線状物体のカメラ画像



(a) MMSで取得された点群 (b) 画像から生成された点群

図7 道路を跨ぐ線状物体の検出結果

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1報)，精密工学会秋季講演会(2018)
- [2] 小栗昇悟，増田宏，点群と画像の併用による移動計測データからの対話的な形状再構築，精密工学会秋季講演会(2012)
- [3] J. Weng, P. Cohen, M. Herniou: "Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1992, 14(10), p. 965-980.