

変電所設備の3次元物体認識

3D object detection for substation equipment

設備の3次元構造を自動認識

電力設備は3次元構造を有しており、設備保守の自動化に向けては3次元的位置把握が重要である。本研究では、変電所のラインスイッチを対象として最新のディープラーニング手法に基づく3次元物体認識技術の検討を行った。

執筆者
先端技術応用研究所
情報通信グループ
瀬川 修



1 背景と目的

将来の設備保守業務の自動化に向けては、物体認識などコンピュータビジョンによる設備状態の把握が重要な要素技術になると考えられる。変電設備は同型部品が3次元的に配置されていることが多く、従来の2次元的手法では、各オブジェクトの同定と位置関係の把握が困難である。3次元空間の把握にはリモートセンシングにより取得した点群などが用いられているが、測定装置のコストや測定作業の煩雑さから民生利用はなかなか進まないのが現状であった。近年、安価なレーザ測定装置 (Light Detection And Ranging :LiDAR) が普及しつつあり、大規模点群処理のアルゴリズム発展と相まって、設備産業においても高密度の3次元点群を用いた研究開発が活性化している。そこで本研究では、変電所構内の対象設備に対し3次元的な空間配置も加味した物体認識手法を検討し、実データを用いてその有効性を検証した。

2 問題設定

本研究では、変電所設備として第1図に示す77kVのラインスイッチ (LS) の構成部品 (碍子9個、ブレード3個) の認識を対象問題とし、下記の検討を行う。

- (1) LiDARで計測した点群を用い、対象設備の3次元的な位置特定と状態把握のための物体認識手法を検討する。
- (2) 従来の点群パターンマッチングによる手法と、ディープラーニング手法 (Transformer) に基づく手法を比較評価する。



第1図 77kVラインスイッチと認識対象

3 点群パターンマッチングによる3次元物体認識

点群パターンマッチングとは、入力点群とターゲット点群 (検索パターン) の位置合わせを行う問題である。ここでは、パターンマッチング手法としてRANSACとICPを用いた。処理手順を以下に示す。

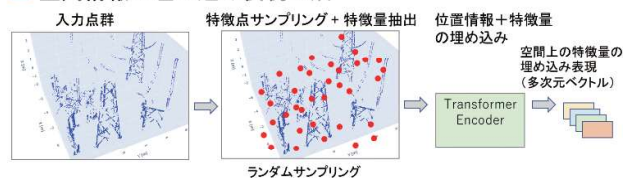
- (1) 人間系で切り出した対象物体の点群を検索パターン (クエリ点群) とする。
- (2) 入力点群と前記クエリ点群で、点群同士の対応関係のマッチングを行う。
- (3) 点群同士のマッチングのスコアが閾値を超えた点のペアを用いて変換行列を推定し、前記変換行列の適用によって入力点群中の対象物体の存在位置を同定する。

4 Transformerによる3次元物体認識

自然言語処理分野で考案されたTransformerは、この数年で音声処理や画像処理においても適用が進み、目覚ましい成果を上げている。本研究では文献[1]で提案されたTransformerに基づくEnd-to-Endの3次元物体認識手法である3DETRを用いた。その概要を第2図、第3図に示す。

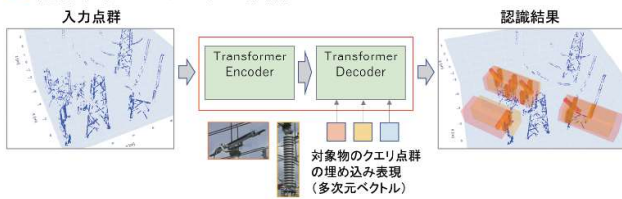
同手法では、まず学習時 (第2図) に入力点群をランダムサンプリングし、3次元畳み込みによる特徴量抽出アルゴリズムであるPointNet++を用いて固定長の特徴量系列に変換する。続いて、Transformerエンコーダを用いてSelf-Attentionにより点ごとの埋め込み表現へと変換する。そして、推論時 (第3図) にはTransformerデコーダが点ごとの埋め込み表現と、入力点群からサンプリングによって選択されたクエリ点群の埋め込み表現を入力として受け取り、各クエリに対応するバウンディングボックスを出力する。

□ 空間情報の埋め込み表現生成



第2図 3DETRの概要 (学習過程)

□ 物体位置とカテゴリの推論



第3図 3DETRの概要 (推論過程)

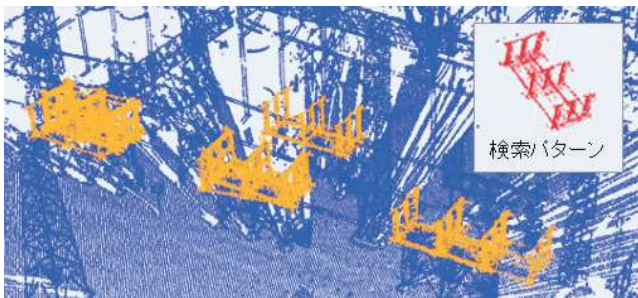
5 評価

学習及びテストデータとして、据え置き型LiDAR (Leica BLK360) で計測した高密度点群を用いた。

(1) 点群パターンマッチングによる手法

3節の手法を用い、1ショット点群 (LiDAR測定1回で得られた点群) に対しLS全体の点群を検索パターン (クエリ) としてマッチングを行った結果例を第4図に示す。このように、ある程度特徴的な形状を有し、サイズが大きなオブジェクトの認識は可能であるが、点群の密度が低く欠損が生じている箇所はうまく認識できなかった。また、位置合わせにも一部ずれが生じている。

さらに、サイズが小さなオブジェクトに対する認識性能を確認するため、碍子1個単位でのマッチングを試みたところ、点群の照合範囲を限定しても認識は困難であった。



第4図 点群パターンマッチングによる認識結果例

(2) Transformerによる手法

4節の手法の適用にあたり、学習と推論における計算負荷から入力点群を適切なサイズに分割した部分点群で処理を行った。

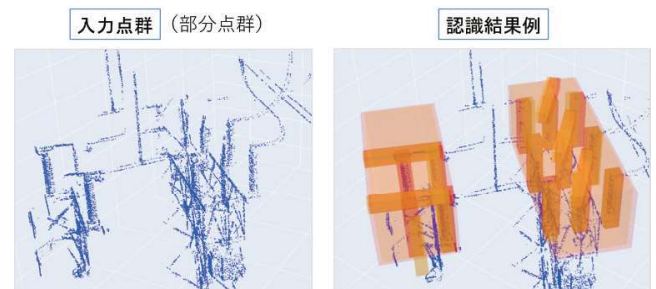
まず学習データの作成にあたり、ダウンサンプリングした1ショット点群を結合した変電所広域の合成点群のX-Y平面を100×100の格子に区切り、各格子点を中心とした直方体に含まれる点群の切り出しを行った。この際、直方体の長さおよび幅は各格子点につき3mから6mの範囲でランダムに決定した。このようにして切り出した部分点群を約1500個用意し、室内オブジェクトの点群セット (SUN RGB-D) から学習した事前学習モデルに対しファインチューニングを行った。なお、学習時にはデータ不足による過学習を防ぐため、回転、ミラー反転、解像度変更などのデータ拡張を、モデル学習時の各バッチに対してランダムに適用した。

テストデータ作成においては、ダウンサンプリングな

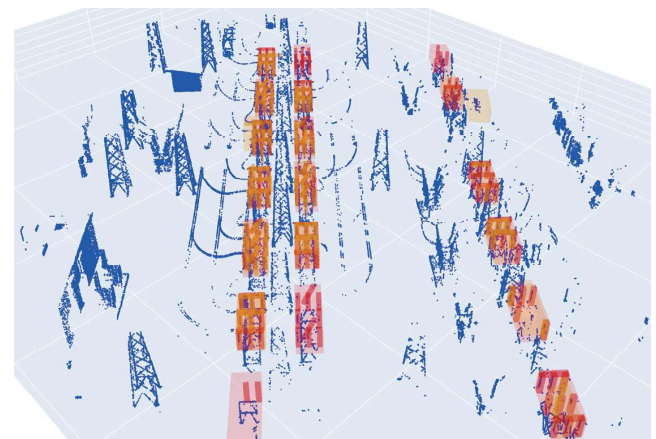
しの1ショット点群を用い、そのX-Y平面を20×20の格子に区切り、各格子点を中心とした直方体に含まれる点群の切り出しを行った。直方体の長さ及び幅は各直方体がオーバーラップしないように5mに設定した。

本手法による認識結果例を第5図に示す。バウンディングボックスは赤色が正解位置、橙色が推定位置を表す。この結果より、同手法により碍子やブレードのような細かい構成部品を正確に認識できていることが確認できる。また、点群の一部が欠けている場合でも、LS全体の存在位置の推定がある程度できていることがわかる。以上のことから、当該手法は適切な学習データを用意することができれば高精度な認識が可能であり、前述の点群マッチングよりも有望な手法であると考えられる。

参考として、第5図の複数の認識結果を結合し、変電所広域の点群に「自動アノテーション」を行った例を第6図に示す。



第5図 Transformerによる認識結果例 (部分点群)



第6図 Transformerによる認識結果例 (第5図の複数の認識結果を結合)

6 まとめ

本稿で検討した手法により変電所設備の3次元物体認識技術の実現性が確認された。今後はより広範な変電所設備を対象に、当該技術を活用した設備の3次元的位置特定や、ARにおける情報の重ね合わせなどの応用を検討していく。

参考文献

1. I.Misra et al., "An End-to-End Transformer Model for 3D Object Detection", arXiv:2109.08141, 2021.