

2024年度阪神高速研究助成(若手研究者助成) 研究概要書

申請者	所属	愛知工科大学	職名	准教授	フリガナ	キュウトク ハルヤ
	専攻	工学部 情報メディア学科		(申請時:助教)	氏名	久徳 遙矢
共同研究者	所属	立命館大学 (申請時:理化学研究所)	職名	教授	フリガナ	カワニシ ヤストモ
				(申請時:チームリーダー)	氏名	川西 康友
連絡先	所属	愛知工科大学	職名	准教授	フリガナ	キュウトク ハルヤ
	専攻	工学部 情報メディア学科		氏名	久徳 遙矢	
	住所	〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2				
	電話	(0533) 68 - 1135				

研究課題名	高精度位置推定システムのための異種センサ情報照合 AI の構築
-------	---------------------------------

自車位置推定は、先進運転支援システムや自動運転において安全な走行を実現するために必要不可欠な要素である。しかし、カーナビゲーションシステムなどで一般的に利用されている位置算出手法である GNSS では精度が不十分であり、特に高層ビルの多い都心部では著しく精度が低下し、トンネルなどでは測位自体が不可能となる。そのため、カメラや LiDAR といった車載外界センサと地図情報の照合に基づく手法の研究が進んでいる。特に高速道路は風景が単調で照合が難しい上、その走行環境の特性上、位置推定の失敗が重大な事故に直結し易い。さらに、阪神高速道路は多数の車線を跨ぐ車線変更を要する箇所もあるなど、より正確な位置情報を後段の先進運転支援システムや自動運転の車両制御モジュールへ渡す必要がある。一方で、このような多様な条件下において高精度な位置推定を実現するためには、高価なセンサや高コストな地図データが必要となる場合が多く、これが一般車両へのシステム搭載や自動運転サービス提供可能エリアの拡大を妨げる要因の一つとなっている。そこで本研究課題では、低コストかつ汎用性の高い自車位置推定システムの実現へ向けた、入力センサとして一般の乗用車への搭載が容易かつ安価なセンサである可視光カメラを、地図データとして比較的容易に構築可能な三次元点群地図を利用するための、異種センサ情報照合 AI モデルの構築を目的とした。

ここで、カメラ画像は可視光情報を持つ二次元情報であり、LiDAR 情報に基づく三次元点群地図は反射強度情報を持つ三次元情報であることから、これらの情報間には大きなモダリティギャップが存在する。そのため、これらのデータの直接的な照合は困難である。そこで、以下の 2 種類の粗密探索アプローチを試みた。

**研究結果**

1. 2 段階とも局所領域間の照合に基づくアプローチ  
粗探索では、カメラ画像と三次元点群地図の各局所領域を照合し、幾何的拘束により大まかな位置を推定する。密探索では、カメラ画像と、三次元点群地図に基づく鳥瞰反射強度画像の各局所領域の照合結果から詳細な位置を推定する。これらの処理の流れを図 1 に示す。

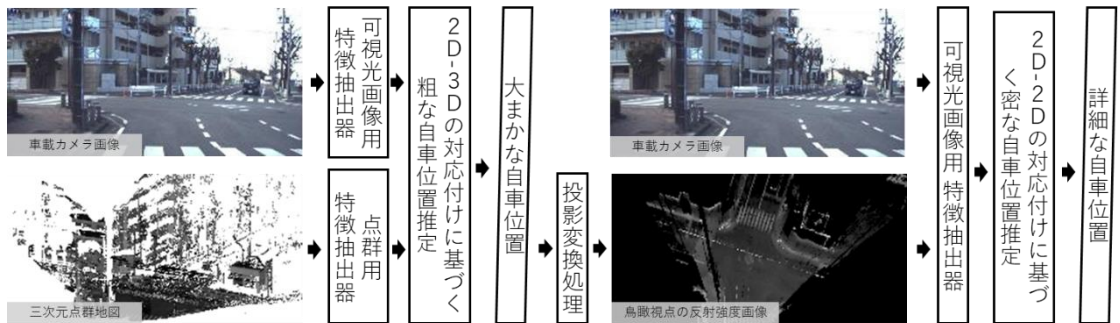


図 1. 2 段階とも局所領域間の照合に基づくアプローチの処理の流れ。

2. カメラ画像と正面向き反射強度画像の照合に基づくアプローチ  
まず、三次元点群地図を車両が走行し得るカメラ位置へ投影し、正面向き反射強度画像を生成しておく。そして、粗探索では Visual Place Recognition の手法により照合対象画像を同定し、密探索でカメラ画像と正面向き反射強度画像の各局所領域の照合結果から詳細な位置を推定する。これらの処理の流れを図 2 に示す。

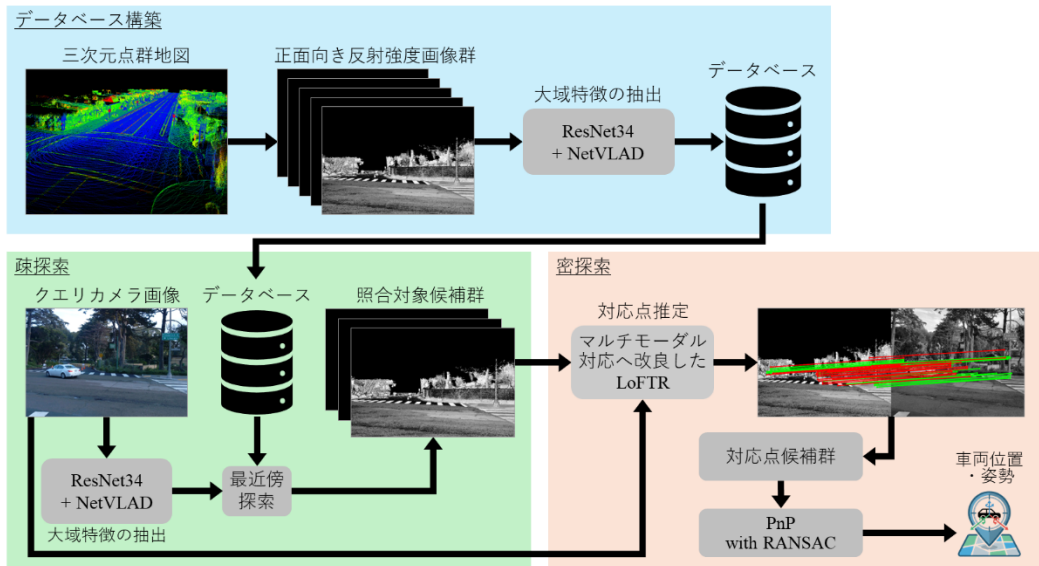


図 2. カメラ画像と正面向き反射強度画像の照合に基づくアプローチの処理の流れ.

1つ目の2段階とも局所領域間の照合に基づくアプローチでは、まず前段において、カメラ画像と三次元点群地図から、各モダリティ用の特徴抽出器でそれぞれ局所特徴量を抽出する。しかし、これらの異なるモダリティから抽出された特徴量は各モダリティ内での記述であり、存在する特徴空間自体が異なるため、これらを直接比較することはできない。そこで、各特徴量を共通の特徴空間へ埋め込み距離学習モデルを事前に構築する。位置推定時には、各データから抽出した局所特徴量を学習済み距離学習モデルに入力し、埋め込み空間内での距離に基づき対応候補を得る。最後に、得られた対応候補に対して RANSAC-PnP を適用することで、車両の位置および姿勢を算出し、粗な位置推定結果として出力する。次に後段では、カメラ画像および、三次元点群地図を上空から見る様に投影することで生成した鳥瞰視点の反射強度画像それぞれから、深層学習ベース局所特徴抽出器を用いて特徴を抽出し、本タスク用に学習した深層学習ベースの照合モデルを用いて局所領域間の対応付けを行う。そして、得られた対応関係から RANSAC-PnP により車両位置および姿勢を求める。本アプローチの有効性を確認するため、実験車両を実環境で走行させ取得したデータセットを用いて評価実験を行った。前段の粗探索であるカメラ画像と三次元点群地図間の局所特徴照合に基づく位置推定手法について実験を行った結果、一部のシーンにおいては 1m 未満の位置推定が可能であることを確認した。しかし幾何的拘束を解けた割合は、評価データ 897 シーンのうち 7% と非常に少ない結果であった。このことから、各モダリティの特徴量を適切に表現可能な距離学習モデルを十分に構築できなかったと考えられる。そのため、学習データの拡充や精練、モデル構造の改良などが必要である。さらに、後段の密探索であるカメラ画像と鳥瞰視点反射強度画像間の局所特徴照合に基づく密な位置推定手法について実験を行った結果、提案手法により位置誤差が 4.32m、方位誤差が 15.68°の精度(いずれも中央値)で位置推定できた。このことから、ある程度の精度で位置推定が可能であることを確認した。

2つ目のカメラ画像と正面向き反射強度画像の照合に基づくアプローチでは、まず走行する車両から撮影され得る視点へ三次元点群地図を投影して複数の正面向き反射強度画像を生成し、その投影位置・姿勢と共にデータベースとして保持する。そして前段では、Visual Place Recognitionなどに用いられるモデルを学習しておくことで、照合対象の候補となる正面向き反射強度画像を絞り込む。そして後段では、Transformer ベースの局所特徴照合モデルにより局所領域間の対応を算出し、RANSAC-PnP により車両位置および姿勢を求める。本アプローチの有効性を確認するため、公開データセットを用いて評価実験を行った。前段の粗探索である画像検索タスクを評価した結果、半径 2m 以内の反射強度画像を上位 K 件以内に検索できた割合は、上位 5 件以内の場合 86%、上位 10 件以内の場合 96%となった。このことから、大まかな位置を絞り込む粗探索という観点で良好な結果が得られたと考える。次に後段である密探索の位置推定精度を評価した結果、位置誤差は 1m 以内、方位誤差は 0.5°以内となった。このことから、高精度に位置・姿勢を推定できたと考える。

今後の課題としては、各モダリティの特徴を十分に表現可能なモデル構造や学習方法の検討や、学習データに含まれるノイズの除去・抑制、および高速道路を含むより多様な撮影データの追加などの実験データ拡充による高精度化および汎化性能の評価が挙げられる。