

学位論文内容の概要

自律型移動ロボット普及のためには、自動的な環境地図構築技術や大域的自己位置推定技術が必要不可欠である。大域的自己位置推定技術では、ロボットの初期の位置姿勢を与えずに、ロボットの地図内における位置姿勢を推定しなければならない。さらに、地図作成時と環境が変化した場合、意図せずに自分の位置を見失った場合や別の場所に移動された場合などに、正確に大域的自己位置推定できる能力を持つことが望まれる。2次元レーザスキャナを用いて大域的自己位置推定を実現するために、地図データ内の対応する箇所とスキャン(2次元レーザスキャナで取得した1時刻のデータ)の位置合わせを行うスキャンマッチング法がよく用いられる。スキャン内にノイズやオクルージョンがあっても頑健に位置合わせを行うために、特徴量を利用したスキャンマッチング法がこれまで数多くの提案されてきた。しかし、スキャンマッチング法には、位置合わせが困難になる以下のような2つの問題が存在する。

1. 2D レーザスキャナで取得できる点群データ内に形状特徴が十分に存在しない場合、自己位置推定が不安定になる問題

スキャンマッチングによる位置合わせが困難になる代表的な状況として、環境中に移動物体が存在する場合や、環境の形状特徴の不足する場合などがあり、これらは同時に発生する可能性もある。これらが発生した場合は、スキャンの位置合わせにおいて有用な形状特徴が不足し、結果として自己位置推定に失敗してしまう場合がある。

2. 走行環境によって取得できる形状特徴が異なる問題

スキャンマッチングを行う場合、スキャンから環境の形状を表す特徴量を抽出し、その特徴量同士を対応付けることでスキャン間の位置合わせを行う手法がある。このような特徴量は人手によって設計されており、適用できる環境に限られる場合が多い(会社のオフィスのような直線分で構成される環境や、人の往来のない静的な環境)。一方、ロボットの走行環境は様々である。そこで、ロボットの走行環境に合った特徴量を自動で構築することが望まれる。

本研究では、これらの問題に対してそれぞれ別のアプローチを行った。

選択的統合処理に基づくCIFベース大域的自己位置推定

スキャン内に位置合わせに有用な形状特徴が不足する問題に対して、スキャン内の形状特徴の過不足を判断し、不足する場合は過去のスキャンを用いて局所地図を生成することで、形状特徴の不足を補い、生成した局所地図と環境地図とでスキャンマッチングを行い、自己位置推定することを提案した。スキャン内の形状特徴の過不足を判断するためにスキャンの形状特徴を表す特徴量“地形複雑度(terrain complexity)”を提案し、この特徴量に基づいて局所地図を作成する方法“選択的統合処理”を提案した。“地形複雑度”は、スキ

ラン内の環境の形状特徴を表し、それが十分に含まれているか否か（環境の形状特徴の有無）を判断することを、2クラスの識別問題として捉え、何らかの識別器によってその判断を下す。“選択的統合処理”は、識別器の判断結果に基づき、用いるスキャンを適切に選択して局所地図を生成する手法である。この選択的統合処理により、用いるスキャンの数を予め決定することなく、形状特徴が十分に含まれた局所地図を生成できる。この局所地図を用いることで、我々の研究グループで提案した CIF-based スキャンマッチング法での大域的自己位置推定法がより頑健に行えるようになる。

提案手法の有効性を検証するために、実環境の地図を用いて大域的自己位置推定を行う実験を行った。地形複雑度に基づいてスキャンに含まれる形状特徴が十分か否かを判断できることを示し、位置合わせに用いるスキャンの数を限定せずに局所地図を生成できることを示した。また、その局所地図を用いて大域的自己位置を頑健に行えることを示した。そして、いわゆる「ロボット誘拐問題」の状況を想定した Monte Carlo Localization (MCL) 法を用いた大域的自己位置推定の結果と比較して、提案手法の有効性を示した。

LaserVAE による特徴量生成とその特徴量に基づいた大域自己位置推定

移動ロボットの走行環境における自己位置推定に適した特徴量を自動で生成するために、variational autoencoder (VAE)を独自に拡張した LaserVAE を提案する。また、LaserVAE によって生成した特徴量を利用した自己位置推定法を提案した。VAE は二つの機能 (encoder, decoder と呼ばれる)を持つニューラルネットワークである。encoder は入力データを圧縮する機能を持ち、decoder は圧縮されたデータから元の入力データを復元するという機能を持つ。ニューラルネットワークの学習後、encoder と decoder は別々に利用できる。VAE は潜在変数（入力データを圧縮したもの）をガウス分布で表現しており、学習後のネットワークを生成モデルとして活用できるため、近年、人物の顔画像のモンタージュや風景写真のスタイル変換などに応用され、注目を集めている。

我々の提案した LaserVAE は、通常の VAE にスキャン内のステップエッジ部分を検出する機能を有するネットワーク (step-edge classifier) を追加したもので、スキャンを圧縮して特徴量を生成する機能と、生成した特徴量からスキャンの再構成を行う機能を有するマルチタスクニューラルネットワークとなっている。LaserVAE によって生成した特徴量のみを環境地図として保持することで、生のスキャンを保持する必要がなく、地図のデータ量を削減できるという特徴を持つ。

本研究では、実際の屋内・屋外環境において 2 次元レーザスキャナを用いた大域的自己位置推定の実験を通して、提案する LaserVAE の有効性を示した。