

第5章

3次元計算もカンタンになる
リー群とリー代数

LiDAR スキャン・マッチング…
自己位置指定の数学と実装

赤井 直紀 Naoki Akai

本稿で紹介すること…LiDARによる
自己位置推定でキモになる超強力な数学

自己位置推定(localization)とは、与えられた地図上で対象とする移動体の位置を認識する技術です。「位置を認識する」とだけ聞くと、自律移動においてあまり重要そうな技術とは思えないかもしれませんが、現状自動運転をはじめとした自律移動を達成するためには、自己位置推定は必須の技術であるといえます。

本稿では、まず自律移動における自己位置推定の重要性を述べます。一般的な話ですので、読み飛ばしても問題ありません。

次に、LiDAR(Light Detection And Ranging)をセンサとして用いた際の代表的な自己位置推定法である、スキャン・マッチングの定式化について述べます。またスキャン・マッチングを実装するにあたり、本稿の主役となるリー群(Lie group)とリー代数(Lie algebra)を導入する理由を述べます。

さらに、リー群とリー代数を用いることで、スキャン・マッチングを解く際に必要となるヤコビアン(Jacobian)が驚くほどシンプルに計算できたり、回転にまつわる問題が解決したりできます。

そのあとに、実際の代表的なスキャン・マッチングの方法として挙げられる、Iterative Closest Point(ICP)⁽¹⁾と、Normal Distributions Transform(NDT)⁽²⁾を紹介し、これらをガウス-ニュートン法を用いて実装する方法を示します。また、簡単なデータを用いてこれらの検証を行い、ICPとNDTの性能差について触れます。最後に、本稿をまとめ、関連する動向に関しても簡単にまとめます。

なお説明の簡略化のために、本稿では2次元のスキャン・マッチングを扱いますが、3次元への拡張はかなり容易なものになっています。リー群およびリー代数の利用は、2次元の自己位置推定問題ではあまり重要性を感じられないかもしれませんが、近年よく扱われる3次元の問題を解くに当たっては必須の知識となります。また、自己位置推定に必要な地図を作る技術

はSLAM(Simultaneous Localization And Mapping)と呼ばれますが、本稿ではこの詳細には触れません。ただし本稿で述べるスキャン・マッチングの技術は、SLAMにおいても極めて重要な役割を担います。

自動運転における
自己位置推定の役割

図1に、代表的な自律移動システムの構成を示します。自律移動を行うロボットは、おおよそ内界センサと外界センサを有します。内界センサとは、エンコーダやIMU(Inertial Measurement Unit)といった、ロボットの移動量を計測するためのセンサを指します。外界センサとは、LiDARやカメラといったロボットの外部の情報取得するものになります。

また図1に示す構成では、すでに自律走行を行う環境の地図が構築されており、ロボットはこの地図も有しているものとします。地図作成のためにはSLAMなどが用いられます。

筆者は、これまで自動運転をはじめとした自律移動の研究に携わってきたため、自律移動のデモンストレーションを一般向けに行うこともよくありました。一般向けのデモンストレーションでは、ロボットが障害物との衝突を回避できることに関心が集まる人が多いです。ロボットが自動で障害物を回避しながら移動するという動作に、多くの人は知能を感じると思いますので、これは当然のことかと思えます。

そういったことから、筆者自身は、環境認識や経路計画、制御といった部分を「自律移動の花形」として

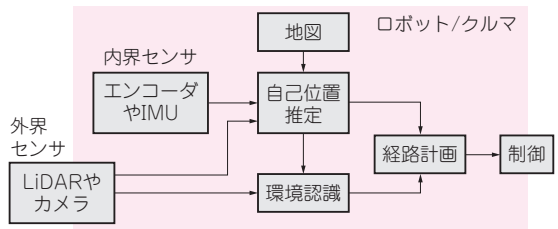


図1 代表的な自律移動システムの構成