

Funai Overseas Scholarship 第10回留学報告書

2023年12月

平山千明

報告書も10回目となるといよいよ研究以外に報告する内容が思いつかなくなってきました。今回は私の研究テーマ（Neural Networks (NNs) ベースの自動制御と安全性）について触れようと思います。

昨今では自動運転技術の一つとしてもNNs, Deep NNs, Convolutional NNs が注目されています。今年の6月に参加した International Conference on Robotics and Automation (ICRA) でも採択論文、ワークショップともに大きく取り上げられる研究テーマの一つでした。私が所属している研究室で主に取り組んでいる内容が車に限らず、ドローンや四脚ロボットなども含めた機械システム、ロボットのNNsを用いた自動制御における安全性です。

NNsを用いてタスクに適した制御則を最適化する方法としてはModel-free またはModel-basedの強化学習手法を用いることが主流の手法です。この強化学習では 1)現在のタスクの状態(State)を取得する 2)現在学習途中のNNsが次に行う行動(Action)を現在のタスクの状態を元に決定する 3)その選択した行動を取ること（シミュレータ上が一般的）でタスクの状態が遷移する 4)状態遷移結果によって選択した行動が良い行動だったか悪い行動だったかを報酬 (Reward)という形で評価する 5)この報酬に基づいてNNsの制御則を更新する 6)1-5を終了条件を満たすまで繰り返すという流れが大まかな最適化の流れとなります。

ここでどの行動がよかったか悪かったかを判断する報酬の設計が想定した制御が実現できるかに大きく影響します。例えば自動運転車が地点Aから地点Bまで可能な限り短時間で移動させたい場合に報酬が移動時間のみで決定されるとします。すると、他の車の追い越し時に衝突ギリギリの距離でも関係なく追い越す行動や人間が運転する場合の危険運転、ヒヤリハットでも事故さえ起きなければ問題ないという制御則が最適となってしまふことでしょう。そのため、タスクの完遂に加えて安全な状態を維持することも条件に含める必要があります。先ほどの例で言えば他の車とは少なくとも n mは離れて走行することが安全な状態として定義できます。このような安全な状態を何かしらの関数で表現することができれば強化学習の報酬に取り入れやすくなります。その関数としてLyapunov Functionや Control Barrier Functionといったもともと制御理論分野の考え方を取り入れた手法を研究しています。この手法の課題点としてはまずシステムの状態方程式を知らないとそもそも解析的にこれらの関数を設計することができないという点です。この関数をNNsで近似しその関数を用いる場合、解析的に関数が設計できた場合と比較して安全な状態を必ずしも維持することを保証することはまだできていないのですが、それでもこの近似したLyapunov Function やControl Barrier Functionを強化学習の報酬設計に取り入れることで取り入れない場合に比べて安全性を考慮した最適化が可能となりました。今後この近似の精度をあげることや強化学習の学習速度を早めることができる関数設計などが今後の方向性になっていくと思います。

また、学習時に存在しなかった状態遷移が学習後の運用時に発生した場合、安全な行動の選択をすることができるかも一つの重要な課題です。これは制御のRobustnessやAdaptivenessに関係する内容となりますが、NNsが非線形関数であることがRobustnessやAdaptivenessの解析を複雑にさせています（もちろんこの非線形性こそが様々なタスクの最適化を可能にさせているのですが）。この非線形関数の一部を線形化させることで、NNs最適化の強みを保持しつつ、安全性の解析も同時に可能となるモデルを現在提案しており、こちらに関しては査読の結果待ちとなっております。

ChatGPTやAI Art Generator, 自動運転技術といった形で徐々に機械学習が生活の一部として取り入れられはじめていく中で、自分が関わっている分野がより社会に導入されていくことに期待に胸が膨らむと同時に、このシステムをどこまで信頼して利用してよいのだろうか、実は何か考慮すべき重要な課題が議論も実験結果も十分ではなく、それによって数年後に何か取り返しのつかないことを起こしてしまわないだろうか、という漠然とした不安も正直持ち始めました。今後この期待をより追い求めた研究を行うか、はたまた不安の種をつぶす方向の研究を行うか、どちらも間違いではないと思うので時間をかけて今後の方向性を考えようと思い始めた今日この頃です。