



船井情報科学振興財団 第7回報告書

カリフォルニア工科大学 (Caltech) 宇宙工学専攻 (GALCIT) 博士課程もうすぐ4年生の塚本紘康です。毎回最初にどこかに遊びに行った写真を掲載しているのですが、今回は COVID-19 のせいで選択肢があまりなくて悲しくなりました。LA はまだまだ外出自粛中なのでもう遠い昔の話ですが、ベガスで一睡もせずに年越しして新年早々大敗した時の写真と、2月くらいにまたカタリナ島に行った時の写真です。つくづく人生で大事なことってお金とか地位とか名誉ではないですね、早く世界が元通りになる事を祈るばかりです。



年越し in Las Vegas



またカタリナ島

1 研究

前回の報告書で、それまでやってきた制御理論研究を3月に完成させることを目標に掲げていましたが、とても順調に進んで、Neural Contraction Metric (NCM) という新しい制御理論のツールを提案し、IEEE L-CSS という制御理論のジャーナルに掲載することができました。去年の9月ぐらいに IEEE TAC に出した論文もやっと返って来て、Major Revision ではあったもののポジティブなコメントが多く何とかかなりそうで安心しました。これらの研究では、専門外の方々にはわからないように簡単に説明すると、線形システムの制御・推定の理論の完成形であるとされている、LQR とカルマンフィルターというツールの非線形システム版を深層学習の枠組みを用いて提案しました。指導教官の Soon-Jo Chung には嘘か本当か“うちのグループからでたアイデアの中で最も良い”とおっしゃっていただいたので、その言葉を一字一句鵜呑みにしてこれからも頑張ります。

元気が出たのでやっぱりもうちょっと頑張って説明してみます。毎回書いていますが、僕の専門は自律制御理論で、宇宙機やロボットなど様々なハードウェアが設計者の思い通り安定に、最適に、かつ知的に行動決定を下すための理論的な枠組みについて研究しています。

1.1 安定性・最適性

僕が扱っているのは一般の（確率）非線形運動方程式（ダイナミクス）なのですが、この種のシステムにはリアプノフ関数という、その存在自体がロボットや宇宙機等の目標状態への収束の十分条件になる関数が存在します。この理論をダイナミクスの変分をとってもう少し一般化すると、その存在自体が収束の必要十分条件となる Contraction Metric という便利なツールが出てきます。大域的に見つけることができれば安定な行動決定が実現できるのですが、問題は解析的にそれを見つける手法が存在しないという点にあります。そこで、宇宙機の状態とその目標状態との定常誤差でできるだけ小さくすることを目的関数とした凸最適化問題を解いて、数値的に Contraction Metric を見つけようというのがまず1つ目の試みです。

1.2 知性

上の手法には、計算能力に制限のあるロボットに最適化問題を解くことを強いるという問題と、目標状態が与えられているという意味で自律的でないという問題があります。そこで、最適化問題の解をサンプルして、LSTM というニューラルネットでその解を近似することで、未知の状態でも宇宙機自ら Contraction Metric を近似できるようにするのが2つ目のアイデア（Neural Contraction Metric）です。

1.3 行動決定

Contraction Metric の良い点は、変分を考えているので非線形システムでも線形システムのように扱えるというところにあります。例えば、線形システムで見られる状態推定と状態制御の双対性が、非線形でも使えたり、宇宙機の行動決定やプランニングに必要なツールが設計しやすくなります。

以上雰囲気だけでも何となく誰かに伝わっていると嬉しいですが、今後はこの Neural Contraction Metric を用いてハードウェアを動かして、ロボティクス系の学会やジャーナルに年内に少なくとも一つ、うまくいけばもう少し、研究成果を出版することを目指しています。

2 授業

今年の3月に最後の単位を取り終わりました。あとは研究するだけです。

2.1 Machine Learning and Data Mining (CS 155)

その名の通り機械学習の様々な手法を満遍なく教えてくれる授業です。一番面白かったのはプロジェクトの課題で、シェークスピアの有名な詩を大量に学習して、AIにシェークスピアっぽい詩を詠んでもらうというものです。このプロジェクトでは自由課題もあったので、日本ではほとんど興味がなかったにも関わらず、急に日本人面してAIに万葉集とか百人一首を学ばせてみました。[僕のブログ](#)にその様子を載せているのでよかったですら見てみてください。

