

## どんな研究

信号機のない街を自動運転車が走行する時代を見据え、通信を介して各車が自律的に速度等の状態を制御すること(シグナルフリーモビリティ)がIOWNで提唱されています。その実現のための(a)基盤数理、(b)デジタルツイン(実世界と連動したシミュレーション系)を用いた制御モデルの学習、(c)実世界交通制御へのフィードバックについて紹介します。

## どこが凄い

車が衝突しない制約下で平均速度を最大化する学習法を考案しました。分散並列計算によりリアルタイム処理を実現できる交通流を常微分方程式によって表現しました。その離散化により、(i)近接車間の通信(衝突防止のためのトークン交換)と(ii)各車内の状態更新を交互に繰り返すニューラルネットワークを構築しました。

## めざす未来

デジタルツインを介して、IoT機器群が分散協調することにより、単一のIoT機器では成し得なかった高度な全体効率性や集合知モデルを手に入れることができるでしょう。リアルタイム性の高い分散計算を通じて巨大な系(例えば、交通網、エネルギー網、物流網)を最適制御することにより、社会に貢献することをめざします。

## 目的

自動運転車が無信号の街を自律的に走行するシグナルフリーモビリティのコンセプトが示されています[1]。その実現に向けて、車が衝突しない中で、移動・輸送時間を限界まで短縮するための分散学習問題に取り組んでいます[2]。

## 提案法: 制約付きダイナミクス学習

- 車が衝突しないように状態変数(速度等)に制約を課しながら各車が自律的に状態変数を更新する交通流を常微分方程式で表現

$$\frac{dx}{dt} = M_1(x, t, \theta, A, b) + M_2(x, t, A, b)$$

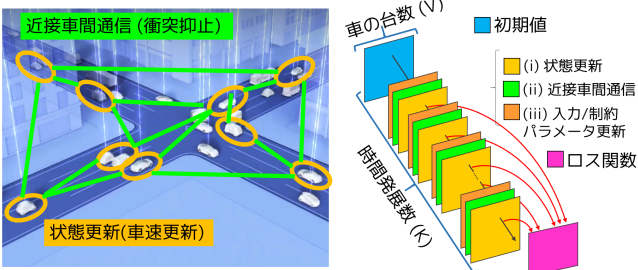
(左: 状態更新, 右: 近接車間通信)

- 上記の常微分方程式を離散化することで、V台の車の状態変数がK回時間発展するリカレントニューラルネットワーク(RNN)を構成。その結果、下図のように(i)各車の状態更新と(ii)衝突防止制約を満たすための近接車間通信(トークン交換)、(iii)入力/制約パラメータ更新を交互に繰り返す処理で構成

- この巨大なRNN(幅V×奥行K)は、分散並列性の高い演算セットで構成されるため、状態変数の時間発展をリアルタイムに実行可能  
- 平均速度を向上させるロス関数を小さくするように運転ダイナミクスモデルを最適化

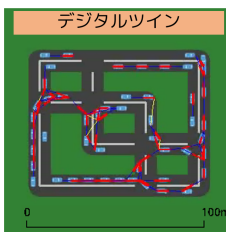
時刻tにおける処理のイメージ

時間発展した処理のイメージ



## デジタルツインを使ったモデルの学習

- 制約付きダイナミクスを効率的に学習するために実世界と連動した交通のデジタルツイン(車や道路で構成)を構築  
- 実世界にある道路だけではなく、仮想世界の道路で車を走行させることで、モデルを汎化させるために十分なデータを得ることが可能(下図)

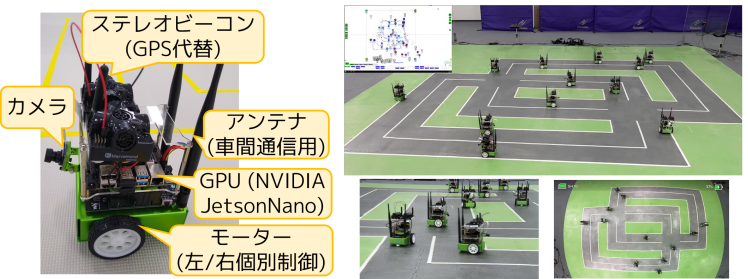


訓練用道路(10種類)

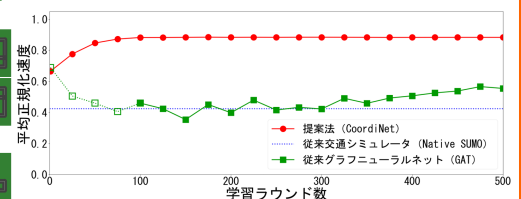


## 実世界へのフィードバック

- 12台の小型実車を使ってシグナルフリーモビリティの実世界系を構築し、学習後の運転ダイナミクスを実世界にフィードバックする実験を実施。各車が互いに譲り合いながら衝突することなく自律的に走行することを確認。



- 提案法(制約付きダイナミクス学習)は、初期(ランダム)と比較して30%程度の平均速度の向上を確認(赤線)。制約のないグラフニューラルネットワーク(緑線, GAT[3])や交通シミュレータ(青線, SUMO[4])を使った場合と比較しても平均速度が高く、優位性を確認。



## 関連文献

[1] IOWNコンセプトビデオ, "Mobility by IOWN," YouTube, 2019

[2] K. Niwa, N. Ueda, H. Sawada, A. Fujino, S. Takeda, B. Kleijn, G. Zhang, "CoordiNet: Constrained dynamics learning for state coordination over graph," in Proc. the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (KDD 2022), 2022 (under review).

[3] P. Veličković, G. Cucurull, A. Casanova, A. Romero, P. Lio, Y. Bengio, "Graph attention networks," arXiv preprint arXiv:1710.10903, 2017.

[4] Simulation of Urban MObility (SUMO), <https://www.eclipse.org/sumo/>

## 連絡先

丹羽 健太 (Kenta Niwa) 協創情報研究部 知能創発環境研究グループ

Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp