

利用課題名 深層強化学習を用いた超人間級 AI 運転技術の研究

英文 : Development of super human-grade AI driving technology using deep reinforcement learning

利用課題責任者 山口祐

Yu Yamaguchi

所属 Turing 株式会社

Turing Inc.

URL <https://tur.ing/>

邦文抄録

本課題では、深層強化学習を用いて人間を超える自動運転 AI 技術の実現を目指し、画像の可変品質圧縮を可能にする「One-D-Piece」手法と、世界モデルにおける指示追従性能を測る「Act-Bench」ベンチマークを開発しました。これらにより、膨大な映像データを効率良く扱いつつ、人間の指示に沿った柔軟な行動決定が可能な自動運転 AI の基盤が整い、安全で高度な自動運転の実現に寄与します。これらの成果を通じて、人間の判断を超える高度で安全な自動運転 AI の実現へ一歩近づき、将来的に交通事故の減少や移動の効率化など社会的課題の解決に寄与することが期待されます。

英文抄録

In this project, we aimed to realize an autonomous driving AI that surpasses human driving capabilities using deep reinforcement learning. As key outcomes, we developed “One-D-Piece,” a novel method for image tokenization enabling variable-quality compression, and “Act-Bench,” a benchmark for evaluating instruction following in world models. These achievements allow efficient handling of massive visual data and provide a foundation for AI agents to follow human instructions, bringing us closer to safer and more advanced autonomous driving. We expect that this progress will contribute to reducing traffic accidents and improving transportation efficiency in the future.

Keywords

- Autonomous Driving
- Image Compression
- Image Tokenizer
- World Models

背景と目的

自動運転技術は、交通事故の削減や移動の効率化に大きな期待が寄せられています。しかし現在の自動運転システムは、天候の変化や予測不能な歩行者の挙動など、人間ならではの柔軟な判断を要する状況で限界を露呈することがあります。人間ドライバーは経験と直感でこれらに対応しますが、注意力の低下や判断ミスによる事故も後を絶ちません。そこで、人間の能力を上回る高度な判断力と安全性を備えた「超人間級」の AI ドライバーを実現することが求められています。

近年、ディープラーニング（深層学習）の発展により、囲碁やビデオゲームにおいて人間のトッププロを凌駕する AI が誕生しました。特に、試行錯誤を通じて学習する深層強化学習は、人間が直面し得ないほど膨大な経験をシミュレーション上で積むことで、人間以上の判断能力を獲得できる可能性を示しています。この手法を自動運転に応用すれば、現実では危険すぎるシナリオも仮想環境で繰り返し学習させることで、安全かつ効果的に AI ドライバーの能力を向上させられると期待されます。

しかし、自動運転への深層強化学習の適用にはいくつかの課題があります。その一つが、カメラ映像など膨大なセンサーデータの扱いです。高精細な画像を逐次 AI に処理させるには計算資源を圧迫するため、効率的なデータ圧縮・表現方法が必要となります。またもう一つの課題は、AI に人間の与える指示や交通ルールを理解させ、それに従って行動させることです。現行の強化学習エージェントは与えられた報酬に基づき自律的に行動を学習しますが、「指示に従う」能力を評価・訓練する仕組みは十分ではありません。たとえば、「次の角を左折せよ」「このエリアには進入するな」といった指示を AI が正確に解釈し実行できることは、安全な自動運転に不可欠です。

そこで本研究では、深層強化学習を用いた超人間級 AI 運転技術の実現を目指し、上記課題の解決に取り組みました。具体的には、(1) センサーデータとしての画像情報を効率よく圧縮・利用するための新しい手法の開発、(2) AI が人間の与える指示に従う能力を評価・向上させるための基盤整備、この二点を主な目的としました。前者により限られた計算資源下でも高品質な視覚情報処理を可能にし、後者により AI エージェントがルールや指示を遵守できるようにすることを狙います。なお、本取り組みは外部の計算資源と TSUBAME4.0 を活用して進めました。

概要

本プロジェクトでは、上記の目的を達成するために東京科学大学のスーパーコンピュータ TSUBAME4.0 を活用しました。

センサーデータ処理の効率化に向けて、画像を効率よくデジタル化する新手法「One-D-Piece」¹を開発しました。これは、画像を小さな断片（ピース）の一行に変換し、必要に応じてその一部だけを使って画像を再構成できる技術です。重要な情報を持つピースを優先的に使用し、それ以外の細部は省略するといった柔軟な圧縮が可能のため、通信帯域や計算資源に応じて画像品質を調整できます。One-D-Piece の実現には、大規模な画像データセットを使った深層学習モデルの訓練が必要でしたが、TSUBAME4.0 上で多数の画像を並列処理することで、開発期間内にモデルの構築とチューニングを完了できました。

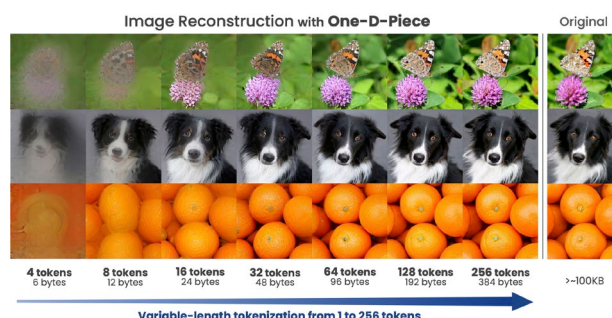


図1 「One-D-Piece 各トークン長で再構成イメージ」

また、自動運転開発に利用する世界モデル(弊社が開発した Terra 含む)における指示追従能力を評価・向上させるための基盤として「Act-Bench」ⁱⁱというベンチマークを策定しました。Act-Bench の設計と評価の多くは外部の計算資源を活用しましたが、本研究においてはその理論的枠組みや応用可能性についての検討を実施しました。

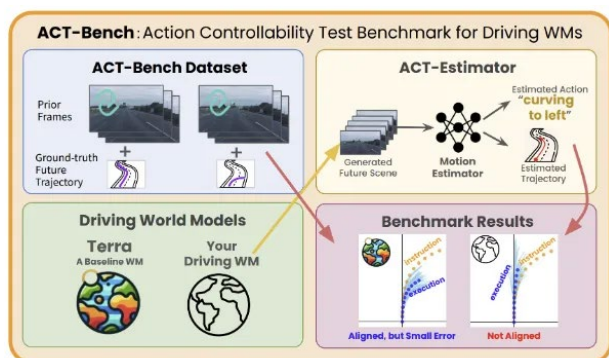


図2 「Act-Bench 構成イメージ」

まとめ・今後の課題

本報告書で述べた成果により、深層強化学習を用いた超人間級 AI 運転技術の実現に向けて大きな前進が得られました。しかし、目標とする「人間を超える自動運転」の実現には、まだ乗り越えるべき課題が残されています。

まず、One-D-Piece については、現在は静止画ベースでの圧縮手法ですが、実際の自動運転では連続する動画データをリアルタイムに処理する必要があります。今後は動画への適用や、車載システム上での実装・最適化に取り組むことでより低コストでの推論処理を可能にしていきます。また、圧縮率と画質のトレードオフをさらに改善し、安全に関わる重要な物体（歩行

者や標識など）は劣化させずに圧縮する工夫も課題です。

次に、Act-Bench に関しては、現実世界のあらゆる状況を網羅しているわけではありません。今後は、より多様で複雑な指示やシナリオをベンチマークに追加し、AI エージェントの包括的な理解力を評価できるように拡張していきます。例えば、自然言語で曖昧さを含む指示への対応や、複数の目標が同時に与えられる状況など、より現実に近い課題設定が考えられます。その上で、Act-Bench を活用して、指示に忠実かつ柔軟に対応できる新たなアルゴリズムの開発にも取り組んでいきます。

さらに、今回得られた技術を統合し、総合的な自動運転 AI システムへ発展させることが今後の目標です。具体的には、One-D-Piece によって効率化された視覚情報処理と、Act-Bench で鍛えられた指示遵守型の意思決定を組み合わせ、実車両や高度なシミュレーション環境で試験を検討しています。シミュレーションと実世界のギャップを埋める研究も重要であり、必要に応じて実証実験や他分野との協調も視野に入れています。最終的には、本研究の成果を産業応用につなげ、安全で快適な自動運転社会の実現に貢献することを目指します。

なお、本研究の遂行にあたり、東京科学大学のスーパーコンピュータ TSUBAME4.0 の計算資源提供を活用しました。外部の計算資源と合わせた利用ですが、計算リソースの支援なくして、これらの成果を短期間で得ることは困難でした。この場を借りて深謝いたします。

ⁱ Keita Miwa, Kento Sasaki, Hidehisa Arai, Tsubasa Takahashi, Yu Yamaguchi, “One-D-Piece: Image Tokenizer Meets Quality-Controllable Compression,” arXiv:2501.10064 [cs.CV], 2025. <https://arxiv.org/abs/2501.10064>

ⁱⁱ Hidehisa Arai, Keishi Ishihara, Tsubasa Takahashi, Yu Yamaguchi, “ACT-Bench: Towards Action Controllable World Models for Autonomous Driving,” arXiv:2412.05337 [cs.CV], 2024. <https://arxiv.org/abs/2412.05337>