

# リカレントニューラルネットワークを用いた 自動車運転スキル学習の解析

## Analysis of Driving Skill Learning via Recurrent Neural Network

5116E011-1 張 耀宇 指導教員 尾形 哲也 教授  
ZHANG Yaoyu Prof. OGATA Tetsuya

概要：本研究では、ロボットを用いた仮説と検証の繰り返しによって人間の認知発達プロセスを探求する、認知発達ロボティクスのアプローチに基づき、人間の自動車運転スキルの発達プロセスを理解するために、ニューラルネットワークを用いた学習を行い、発達する運転スキルの解析を行うことを目的とする。時系列運転スキルデータの学習、運転スキルの特性の獲得、スキルの発達を模した追加学習が可能なモデルを提案し、シミュレーション上でパラメータを設定した運転スキルの学習、追加学習を行った。学習を通して、運転スキルの本質的な特性が自律的に獲得でき、その特性が設定したパラメータと同じ次元で表現できることが示唆された。追加学習ではコンソリデーション学習を用いることで、本質的な特性を維持しながら追加学習が可能であることを示した。獲得、維持された本質的な特性は、人間の学習においても重要な役割を果たすことが期待される。

Keywords: Driving Skill, Neural Network, Consolidation Learning

### 1. はじめに

人間の認知発達プロセスを、ロボットを用いた仮説と検証の繰り返しによって探求する、認知発達ロボティクスが注目されている。このアプローチに基づき、発達・学習する機能を有する車を用いた実験から、人間の車の運転スキルの発達プロセスの解析が可能ではないかと考えた。

人間は、車の運転の経験を積むたびに既存の運転スキルを習熟させていく。運転する環境や車体が変わった場合も、既存の運転スキルを転移することで運転が可能である。人間のスキル発達プロセス解明は、運転技能の制御因子の特定や自動運転技術の向上に寄与すると期待されている。

近年、運転行動の学習へのアプローチとして、ニューラルネットワーク(Neural Network, NN)に基づくモデルが採用されている。NN では、人間がモデルを作り込まずとも、学習を繰り返すことによって、自律的に運転スキルを記憶・再現することが可能である。しかし、NN において、スキルの転移を試みると、学習後のネットワークへの追加学習が課題となる。一度学習したネットワークに新たなスキルを追加学習させると、前のスキルの記憶が破滅的に壊れてしまうためである<sup>[1]</sup>。

そこで本研究では、過去の情報を考慮した時系列データの学習と予測が可能である、リカレントニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network, RNN)を基に、時系列運転スキルデータの学習、運転スキルの特性の獲得、スキルの転移を模した追加学習が可能なモデルを提案し、運転スキルの学習、追加学習を行い、発達する運転スキルの解析を行うことを目的とする。

### 2. 提案手法

#### 2.1. Parametric Bias 付き Long Short-Term Memory

本研究ではRNNの一種である、Long Short-Term Memory (LSTM)<sup>[2][3]</sup>を基に、学習を通して各学習データの潜在的パラメータを低次元ベクトルで表現することのできる、

Parametric Bias (PB)<sup>[4]</sup>を追加したモデル(LSTMPB)を用いて学習を行う。提案モデルの概要を Fig.1 に示す。

LSTMPB では、学習後のモデルを用いて、パターン生成と認識が可能である。学習で得られた PB を与え、入力から予測された出力を次の時間の入力とする閉ループを行うことで、学習済みのパターンを生成する。認識のためにパターンを与え、モデルによる予測出力と与えたパターンの誤差から PB の値のみを更新することで、パターンに対応した PB を求めること(PB の回帰)ができる。

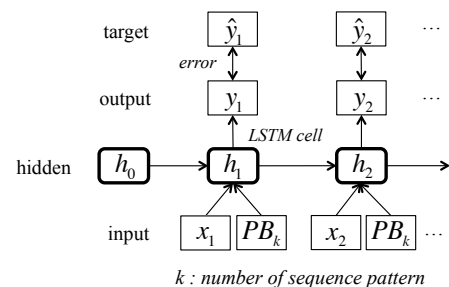


Fig.1 LSTMPB の概要

#### 2.2. コンソリデーション学習

追加学習には、人間の記憶の定着化をモデル化した、コンソリデーション学習<sup>[5]</sup>を用いる。学習後のモデルに、過去に学習したパターンを生成させ(リハーサル)、新たなデータを同時に学習させることで、以前のネットワーク構造を可能な限り留めつつ、追加学習が可能であると考えられている。

### 3. 実験と結果

本研究での実験は、(1)運転スキルの学習、(2)運転スキルの追加学習を行う。5次元に設定した PB は、データのばらつき(分散)が大きい次元を探索する手法である主成分分析によって評価し、学習したスキル A の記憶の有無は、テストデータによる PB の回帰時の誤差によって評価する。

### 3.1. 運転スキルデータ

学習に使用する運転スキルのデータは、運転シミュレーションソフトウェア“CarSim”上で、6つの運転と道路に関するパラメータを設定して走行した際の11次元のデータを使用する。それぞれFig.2, 3に示す。

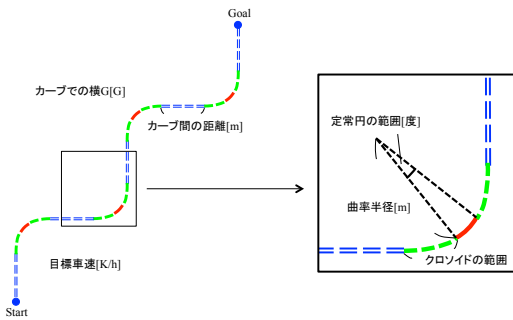


Fig.2 運転・道路に関するパラメータ

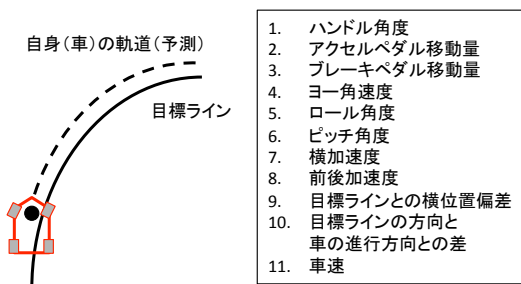


Fig.3 学習に用いる11次元のデータの詳細

スキルAは、カーブの曲率半径が異なる8本のデータであり、基本的な運転スキルのデータとみなす。また、スキルAの汎化・記憶を確認するために、スキルAの曲率半径の中間値を設定して走行させた7本のテストデータ(スキルA')を使用する。スキルBは、主にカーブ(曲率半径, 定常円の範囲, カーブ間の距離, クロソイドの範囲)が異なる8本のデータを使用する。

### 3.2. 運転スキルの学習

運転スキルA, スキルBのそれぞれ学習は成功し、スキルA学習時に得られたPBを主成分分析で2次元に圧縮した時、スキルAに対応するPBが連続性を持ち、第1主成分の寄与率が90%を超えることが確認された。これは、学習によってスキルAを自律的に、シミュレーション上で設定したパラメータと同じ1次元で表現したと捉えることができる。また、テストデータによるPBの回帰時の誤差も、十分に小さいことが確認された。スキル学習成功時のモデルによる予測出力と教示データの例(スキルA, 曲率半径:30m)をFig.4に、スキルA学習で得られたPBと、テストデータによって回帰されたPBの主成分分析の結果をFig.5に示す。

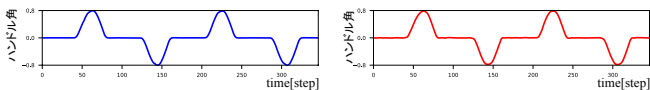


Fig.4 教示データ(左)と学習後のモデルによる出力(右)の一例

### 3.3. 運転スキルの追加学習

スキルA学習後のスキルBの追加学習では、スキルAの学習によって得られたPBからリハーサルデータを生成し、スキルBと統合してコンソリデーション学習を行うことで、スキルAの記憶を維持することができた。また、テストデータを用いたPBの回帰による記憶の有無においても、コンソリデーション学習による追加学習時の誤差が十分に小さいことから、スキルAを記憶していることが確認された。テストデータによって回帰されたPBを主成分分析すると、連続性を持ちながら追加学習が行われていることが示された。

単純にスキルBを追加学習した場合は、テストデータによるPBの回帰時の誤差が規定値よりも大きく、スキルAの記憶が忘却されていることが確認され、回帰されたPBも以前の連続性を失っていることがわかった。

コンソリデーション学習で得られたPBと、テストデータによって回帰されたPBの主成分分析の結果をFig.6に示す。

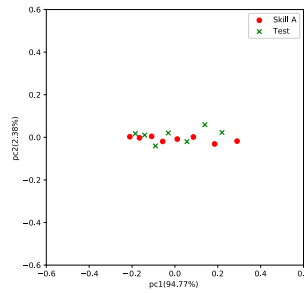


Fig.5 スキルA学習後のPBの主成分分析

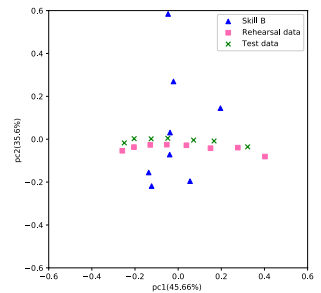


Fig.6 コンソリデーション学習後のPBの主成分分析

## 4. まとめ

NNに基づくモデルにおいて、運転スキルの学習、追加学習を行い、発達する運転スキルの解析を行うことを目的に、時系列運転スキルデータの学習、運転スキルの特性の獲得、スキルの転移を模した追加学習が可能なモデルを提案した。このモデルでの学習を通して、運転スキルの本質的な特性が得られ、シミュレーション上で設定したパラメータと同じ次元で表現できることが示唆された。追加学習ではコンソリデーション学習を用いることで、本質的な特性を維持しながら追加学習が可能であることを示した。

### 参考文献

- [1] French, Robert M. "Catastrophic forgetting in connectionist networks." Trends in cognitive sciences 3.4 (1999): 128-135.
- [2] Hochreiter, Sepp, and Jurgen Schmidhuber. "Long short-term memory." Neural computation 9.8 (1997): 1735-1780.
- [3] Gers, Felix A., Jurgen Schmidhuber, and Fred Cummins. "Learning to forget: Continual prediction with LSTM." (1999): 850-855.
- [4] Tani, Jun, Masato Ito, and Yuuya Sugita. "Self-organization of distributedly represented multiple behavior schemata in a mirror system: reviews of robot experiments using RNNPB." Neural Networks 17.8 (2004): 1273-1289.
- [5] Tani, Jun. "An interpretation of the 'self' from the dynamical systems perspective: A constructivist approach." Journal of Consciousness Studies 5.5-6 (1998): 516-542.