

数理・情報のフロンティア
2019 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

早瀬 友裕

(株)富士通研究所 人工知能研究所／お茶の水女子大学 情報科学科
研究員／非常勤講師

自由確率論による深層学習の研究

§ 1. 研究成果の概要

フィッシャー情報量行列(FIM)は、パラメータ空間の局所的な計量を記述するため、ディープニューラルネット(DNN)の学習可能性を理解する上で基本となる。本研究では、Dynamical Isometry を達成している Fully-connected Neural Network に着目して、1つのサンプルを与えられたときの FIM である条件付き FIM のスペクトル分布を調べた。その結果、Dynamical Isometry では特定の逆伝播信号が深さに依存しないことが知られているが、Dynamical Isometry の下でもパラメータ空間の局所計量が深さに線形に依存することを発見した。具体的には、条件付き FIM のスペクトルは最大値付近に集中し、その値は深度の増加に伴って線形に増加することを明らかにした。このスペクトルを調べるために、ランダムな初期化と幅無限極限を考慮して、自由確率論に基づく代数的な方法を導入した。副産物として、3層のケースにおける漸近スペクトル分布を陽に求めることができた。DNN のオンライン学習における適切な学習率は、条件付き FIM のスペクトルで決まる深さに反比例することを実験結果で検証した。さらに、理論的な重要な過程である層毎の Jacobian の漸近的自由性を証明した。関連研究を生成モデル・説明可能性へ応用した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Hayase, Ryo Karakida, "The Spectrum of Fisher Information of Deep Networks Achieving Dynamical Isometry", AISTATS2021
- 2) Benoit Collins, Tomohiro Hayase, "Asymptotic Freeness of Layerwise Jacobians Caused by Invariance of Multilayer Perceptron : The Haar Orthogonal Case", 2021, arxiv preprint, arXiv:2103.13466.
- 3) 久保田 祥平, 早志 英朗, 早瀬 友裕, 内田 誠一, "単位初期化による深層パーセプトロン学習: ヤコビ行列を用いた誤差逆伝播に関する考察", 第 23 回 画像の認識・理解シンポジウム, 2020
- 4) Kubota Shohei, Hideaki Hayashi, Tomohiro Hayase, Seiichi Uchida, "Layer-wise Interpretation of deep neural networks using identity initialization", ICASSP 2021
- 5) Takefumi Hiraki, Tomohiro Hayase, Yuichi Ike, Takashi Tsuboi, Michio Yoshiwaki, "Viewpoint Planning of Projector Placement for Spatial Augmented Reality using Star-Kernel Decomposition", IEEE VR 2021.