

素粒子・原子核実験および関連分野への深層学習の適用と発展

Application of deep learning to elementary particle and nuclear physics experiments

大阪市立大学 岩崎昌子

本研究は、加速器を用いた素粒子・原子核物理学実験およびその関連分野へ、情報分野における最新機械学習、深層学習を適用し、基盤データ処理技術の性能向上、効率化を図ることが目的である。大型加速器を用いた素粒子・原子核物理実験では、実験の巨大化や高度化に伴い、ビッグデータの収集・処理と解析技術が、重要な研究基盤となる。また、実験遂行費用が高額であるため、高精度で実験装置を制御し、実験の効率化を図ることが必須である。

本研究では、具体的なアプリケーションとして、データ解析における信号識別手法の開発、機械学習を用いた測定器校正の開発、および、機械学習を用いた加速器制御の開発を行った。

● 実験データ解析における信号識別手法の開発

高エネルギー電子陽電子衝突実験、Belle 実験における B 中間子稀崩壊過程の信号識別手法を開発した。これまでに素核実験分野で行われてきた機械学習と大きく異なり、本研究では、データの前処理を行わずに、低特徴データを直接用いて深層学習を行う手法を開発した。低特徴データを用いた深層学習の有効性については、海外の他の実験においても報告されているが、それらは画像認識用の機械学習手法を使用している[1]。本研究では、加速器実験の低特徴データを直接使用する手法を独自に開発し、適用することで、従来よりも高性能な識別精度、校正精度を得た。

● 機械学習を用いた測定器校正の開発

ILC 実験計画での SiD 測定器用電磁カロリメータのエネルギー校正手法の開発を行った。電磁カロリメータは、入射された粒子のエネルギーを測定する測定器である。測定器からの出力データを校正して、入射粒子のエネルギー値を得る。先行研究により、入射粒子の種類、入射位置での測定器の形状等により測定器の応答が非線形になることで、エネルギーの測定精度が悪化することが明らかになった。そこで、深層学習（回帰問題）によるエネルギー校正手法を開発して、エネルギー測定精度の向上を目指した。信号識別手法用に開発した、低特徴データを使用した深層学習手法を、測定器構成でも適用することで、エネルギー分解能が向上することを示した。

● 機械学習を用いた加速器制御の開発

高エネルギー加速器研究機構(KEK)で稼働中の、電子・陽電子入射器、Linac 加速器の入射効率向上を目標として、機械学習を用いた運転調整システムの開発（ビーム位置補正のためのステアリング電磁石の調整）を行った。加速器運転調整においては、1. 調整に必要なパラメータ数が多く(数百～数千程度)、複雑なシステムの調整が要求されていること、2. 加速器構成機器の温度変化や振動等、周囲の環境変化に応じた調整が必要であること、が問題点となる。本研究では、教師なし学習である変分オートエンコーダー[2]を導入することで、約 800 パラメータの加速器データの次元削減を行い、複雑なシステムを可視化した。また、周囲の環境変化に適応した加速器制御を行うためには、直近の加速器データによる学習更新が有効であることを示した。

本講演では、以上の研究成果について報告する。

【参考文献】

1. D. Guest, K. Cranmer, D. Whiteson, “Deep Learning and Its Application to LHC Physics”, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 68 1-22 (2018), arXiv:1806.11484 [hep-ex].
2. D. P. Kingma, and M. Welling, “Auto-Encoding Variational Bayes”, arXiv:1312.6114, 2014.