

スピントルク発振器の勾配降下法による最適化

Gradient-based optimization of spin-torque oscillator

東大情理¹, 京大情報² 今井悠介¹, Shuhong Liu¹, 明石望洋², 中嶋浩平¹Univ. Tokyo¹, Kyoto Univ.², Yusuke Imai¹, Shuhong Liu¹, Nozomi Akashi², Kohei Nakajima¹

E-mail: imai@isi.imi.i.u-tokyo.ac.jp

スピントルク発振器は、ナノスケールにおいて高効率に動作する非線形発振素子として、レザパーコンピューティング[1]や画像認識[2]などへの応用が注目されている。その挙動はランダウ＝リフシッツ＝ギルバート（LLG）方程式により記述され、同方程式には外部磁場、電流、ダンピング定数など複数のパラメータが含まれる。これまで、これらのパラメータは主にグリッドサーチにより最適化されてきた。

本発表では、スピントルク発振器を記述するランダウ・リフシッツ・ギルバート方程式に adjoint method[3]を適用することで勾配降下法を用いて方程式のパラメータの最適値を求める[4, 5]。まず初めに、シミュレーションによって作られたダイナミクスを教師データとして、そのシミュレーションで用いられたパラメータ（外部磁場、電流、ダンピング定数）の値を推定するタスクを解いた。その結果、1パラメータ推定が高精度でできるという結果が得られた（Fig. 1）。2パラメータ推定についても学習率の設定を適切に調節することによって高い精度が得られた。次に、画像認識タスク（MNIST および CIFAR-10）において、入力層、スピントルク発振器の結合系のパラメータ（外部磁場、電流、ダンピング）、出力層のチューニングを行った。その結果、スピントルク発振器のパラメータのチューニングを行うことによってより高い精度が得られるという結果が得られた（Fig. 2）。

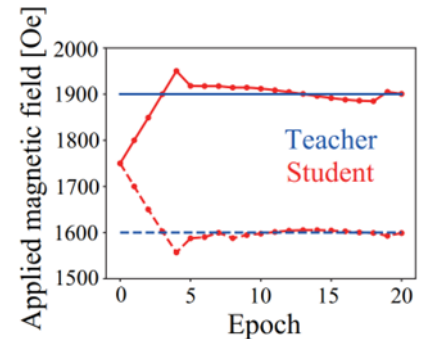


Fig. 1 Parameter prediction for applied magnetic field.

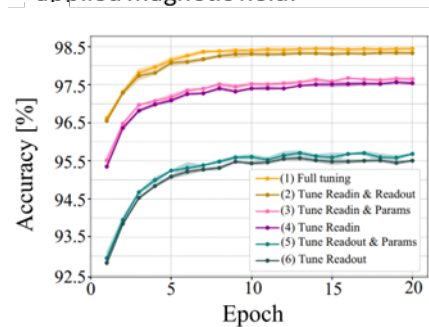


Fig. 2 Accuracies of MNIST task.

[1] Marrows, Christopher H., et al. "Neuromorphic computing with spintronics." *npj Spintronics* 2.1 (2024): 12.

[2] Liu, Shuhong, et al. "Exploiting Chaotic Dynamics as Deep Neural Networks." *arXiv preprint arXiv:2406.02580* (2024).

[3] Chen, Ricky TQ, et al. "Neural ordinary differential equations." *Advances in neural information processing systems* 31 (2018).

[4] Imai, Yusuke, et al. "Gradient-based optimization of spintronic devices." *Applied Physics Letters* 126.8 (2025).