

量子磁束パラメトロンを用いた超伝導ニューラルネットワークによる 任意出力可能な論理ゲートの設計と評価

Design and Evaluation of Arbitrary Output Logic Gate by Superconducting Neural Network Using Quantum Flux Parametron

横国大理工¹, 横国大 IAS² ○(B) 山口 大貴¹, 山梨 裕希^{1,2}, 竹内 尚輝², 吉川 信行^{1,2}

Dept. of Electrical and Computer Eng., Yokohama Natl. Univ.¹, IAS, Yokohama Natl. Univ.²

○Daiki Yamaguchi¹, Yuki Yamanashi^{1,2}, Naoki Takeuchi², Nobuyuki Yoshikawa^{1,2}

E-mail: yamaguchi-daiki-ph@ynu.jp

人工ニューラルネットワーク (ANN: Artificial Neural Network) は人間の脳を模倣した回路であり、パターン認識やフィルタリングなどに有効である [1]。ANN は並列動作を伴うため、半導体集積回路での実装は消費電力の増大が問題として挙げられる。超伝導集積回路は高速動作かつ低消費電力での動作が可能であるため [2]、エネルギー効率の良い ANN が実現可能である。我々は、量子磁束パラメトロン (QFP: Quantum Flux Parametron) を用いた超伝導 ANN に関する研究を行っている。QFP は入力電流の合計の正負の判定が可能であるため、本研究において活性化関数として符号関数を持つニューロンとして用いている。超伝導 ANN の応用として、2 入力に対する任意出力可能な論理ゲートの設計を行った。2 入力に対する任意出力可能な論理ゲートのブロック図は図 1 のようになる。

ここで、 $X_1^{(0)}, X_2^{(0)}$ は入力で 1 または -1 の値をとる。ニューロンへの入力の重み付け (W_{mN}) と、ニューロンの閾値を調整するためのバイアス ($B_n^{(i)}$) の値を 1 または -1 に変化させることで、16 ($=2^4$) 通りの論理ゲートを実現できる。シナプスには dc-SQUID を用いた。dc-SQUID のループに $0.5\Phi_0$ の磁束が印加されると、超伝導位相差が生じ、インダクタンスの値が等価的に増加するため、出力に流れる電流が減少

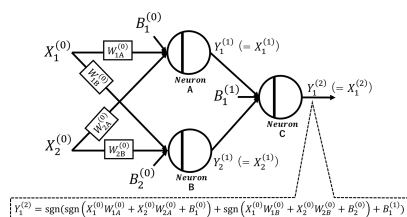


図 1: Block diagram of the ANN realizing arbitrary logic function.

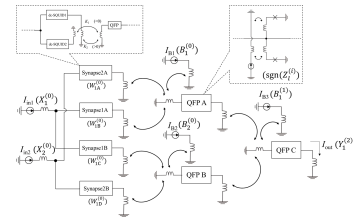


図 2: The equivalent circuit of the ANN that can perform the arbitrary logic operation for 2 inputs.

する [3]。このことを利用し、次段のニューロンへの磁気結合の正負が異なる 2 つの dc-SQUID を用いて、出力電流の総和の正負を制御する。2 入力に対する任意出力可能な論理ゲートの等価回路図は図 2 のようになる。詳しい内容は、発表当日に報告をする。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18K04280 の助成を受けたものである。本研究に使用された回路は、産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導クリーンルーム (CRAVITY) において、AIST-HSTP プロセスを用いて作製された。

参考文献

- [1] F. Rosenblatt, *Principles of Neurodynamics: Perceptrons and Theory of Brain Mechanisms* (Spartan Books, Washington, DC, 1962).
- [2] N. Takeuchi et al., *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 26, p. 035010, 2013.
- [3] Y. Yamanashi et al., in *10th Superconducting SFQ VLSI Workshop*, Nagoya, Feb. 2017.