

ストカスティック演算に基づくニューラルネットワークのための AQFP/RSFQ シグモイド関数生成器の設計と評価

Design and evaluation of an AQFP/RSFQ sigmoid-function generator for neural networks based on stochastic computing

横国大院理工¹, 横国大 IAS² °(M2) 羅文輝¹, 竹内尚輝², 陳オリビア², 吉川信行^{1,2}

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

°Wenhui Luo¹, Naoki Takeuchi², Olivia Chen², Nobuyuki Yoshikawa^{1,2}

E-mail: luo-wenhui-dv@ynu.jp

本研究では低電力なストカスティック演算 (SC) ベースのディープニューラルネットワーク (DNN) を構築するため、断熱量子磁束パラメトロン (AQFP) 回路 [1] と高速単一磁束量子 (RSFQ) 回路 [2] を用いたシグモイド関数生成器 (SFG) を提案する。

Fig. 1 に示すように、SFG は、AQFP/RSFQ インタフェースとカウンタとして機能する超伝導ループ L_{loop} で構成される。前段の AQFP 回路から入力されるランダムビット列の内、論理 1 に相当する磁束量子は J_1 を介して L_{loop} に蓄えられ、論理 0 に相当する磁束量子は J_0 を介して L_{loop} に蓄えられる。その結果、 L_{loop} は近似的に $\log_2 2N$ bit のカウンタとして機能し (N : 保持可能な磁束数)、 L_{loop} を流れる電流の向きが MSB を表す。SC では、カウンタの MSB を用いることでシグモイド ($\tanh$) 関数を表現できる。よって、最終段の AQFP バッファが磁気結合により L_{loop} の向きを読み出すことで、 $Y \approx \tanh(NX)$ を満たすようなランダムビット列が出力される ($X = 2P_{in} - 1$, $Y = 2P_{out} - 1$, P_{in} : 入力ビット列中の 1 の確率、 P_{out} : 出力ビット列中の 1 の確率)。さらに、 J_1, J_2 へのバイアス電流量を調整して N を増減することで、シグモイド関数の傾きを制御できる。AIST HSTP [3] を使用して SFG を設計および作製し (Fig. 2)、実験によりシグモイド関数の生成を実証した。

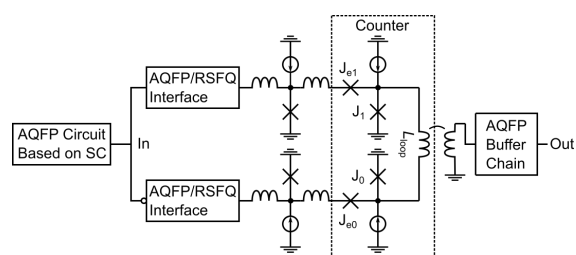


Fig. 1 シグモイド関数生成器の概略図

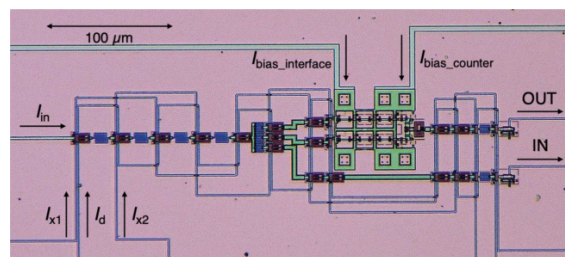


Fig. 2 チップ写真

謝辞

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 を用いて作製された。本研究は JSPS 科研費 (No.18H01493, No.19H05614 and No.19K15041) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] N. Takeuchi *et al.*, Supercond. Sci. Tech., vol. 26, no. 3, p. 035010, 2013.
- [2] K. K. Likharev *et al.*, IEEE Tran. Appl. Supercond., vol. 1, no. 1, pp. 3–28, Mar. 1991.
- [3] N. Takeuchi *et al.*, Supercond. Sci. Technol., vol. 30, no. 3, p. 035002, Mar. 2017.