エッジコンピューティングに向けたニューロモルフィック回路

Neuromorphic Circuits for Edge Computing

°武石滉大，上村公紀，能美奨，竹内健（中大理工）
°Kota TAKEISHI, Koki KAMIMURA, Susumu NOHMI, and Ken TAKEUCHI (Chuo Univ.)
E-mail: takeishi@takeuchi-lab.org

1. はじめに

近年、半導体の集積度の向上を表す、ムーアの法則は限界を迎えつつある。そのため、従来の逐次処理を行うフォン・ノイマン型コンピューティングに替わり、並列計算に特化した新しい手法が提案されている。その手法の一つとしてニューロモルフィックコンピューティングが注目されている。これは脳の神経の細胞を模倣したコンピューティングであり、大量の積和演算、閾値演算を高速かつ低電力で行うことができる。本論文では、ニューロモルフィックコンピューティングを行う回路システムの提案を行う。

2. ニューロンとパーセプトロンの動作

脳の神経細胞であるニューロンの基本単位を Fig. 1 に示す。ニューロンは樹状突起(Dendrite)、軸索(Axon)、細胞体(Soma)から構成される。ニューロン同士は樹状突起の先端に存在するシナプス(Synapse)により接続される。電気信号が軸索の末端部に到達すると化学物質がシナプスに放出され、次段ニューロンの膜電位を変化させる。多数の軸索から電気信号が到達する場合、シナプスで受ける電位はそれらの和となり、電位の和が閾値を超えるとニューロンが発火し、軸索小丘(Axon-Hillock)で活動電位を発生させ、他のニューロンに電気信号を伝達する[1]。Fig. 2 にパーセプトロンの図を示す。パーセプトロンは神経細胞の動作を模倣したものであり、入力(x_i)と重み(w_i)の積(w_ix_i)を繰り返し計算し、その和(Σw_ix_i)をとる。積和演算結果(Σw_ix_i)が閾値を超えた場合、パーセプトロンは発火し、出力を"1"とする。閾値を超えなかった場合は出力を"0"にする。

3. 従来手法について

従来の手法として、抵抗変化型メモリを用いた電流加算型のニューロモルフィック回路[2]が挙げられる。その回路図を Fig. 3 に示す。抵抗変化型メモリは負の抵抗値を持つことが出来ないため、正の重みと負の重みを持つ 2 列のセルが必要となる。動作の原理としては、まず Word Line(WL)に電圧を入力し、MOSFET をオン状態にすることで、Source Line(SL)の電位を抵抗変化型メモリに印加する。そして、オームの法則とキルヒホッフの電流則により、Bit Line(BL)上で電流加算し、正と負の演算結果をセンスアンプにて閾値処理を行うことでパーセプトロンの機能を実現している。この手法は、入力電圧を複数のセルに同時に印加できるため、積和演算を高速で行える事が利点であると考えられる。しかし、電流加算を行っているため、積和演算結果の値が大きくなるほど電力損失が大きくなってしまう点、正と負の重みを実装するために、メモリセルが 2 列必要になり、重みを保存するユニットが大規模になる点が問題となると考えられる。

4. まとめ

本論文では、推論処理に特化したニューロモルフィック集積回路を提案する。提案回路により高効率な積和演算及び閾値演算が可能である。

参考文献

[1] Warren S. McCulloch and Walter Pitts., *MIT Press*, 1988.
[2] Takumi Mikawa *et al., IMW,* 2019, pp. 56-59.

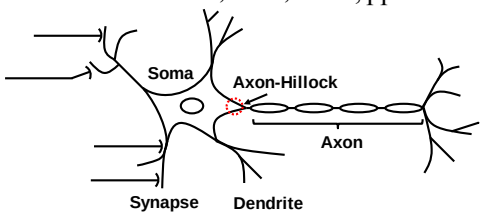

Fig. 1 Neuron model

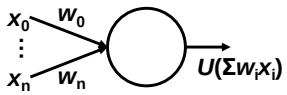

Fig. 2 Perceptron

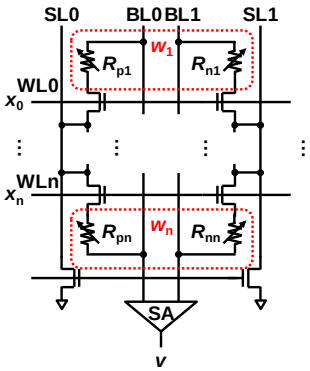

Fig. 3 Neuromorphic circuits using Kirchhoff's current law [2]