

SC 型回路を用いたニューロンの実装検討

来嶋 祐音[†] 西宮 司^{††} 升井 義博[†]

[†] 広島工業大学電子情報工学科

^{††} 広島工業大学工学系研究科電気電子工学専攻

1. はじめに

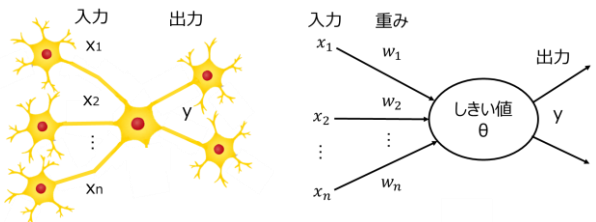
2012 年に発生した笹子トンネル天井落下事故から日本のインフラの老朽化時代が本格的に到来したと言える。問題となるインフラ老朽化の中でも本研究では、橋梁に注目した。地方自治体の橋梁点検では、委託点検において 42% が研修未受講かつ民間資格未保有者である。そこで、人が実施している点検を AI で実現することで安全性が増し、また低消費電力で実現することで、バッテリー交換や設置にかかるコストを削減できると考えた。本稿では AI をアナログ回路に実装するための検討を行った。

2. ニューロンのモデル化

人の脳の中には図 1(a)に示すようにニューロン(神経細胞)が多数存在し、互いに結びついてネットワークを形成している。これにより人は複雑な判断が可能となる。ニューロンには(i)隣接する複数のニューロンからの入力を重み付けし、加算する。(ii)加算結果がニューロンの閾値を超えると発火(出力)するという 2 つの大きな働きがある。この働きを単純化し、ニューロンの機能を表現する。モデル化すると、図 1(b)となり、数学的に表すと以下の式(1)、式(2)となる。

$$x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n - \theta = a \quad \dots \text{式(1)}$$

$$y(a) = \frac{1}{1+e^{-a}} \quad \dots \text{式(2)}$$



(a)ニューロン(神経細胞)

(b)人口ニューロン

図 1.ニューロンと人工モデル

3. ニューロンの回路モデル

本稿では重み付き加算演算を SC (Switched Capacitor) 型加算器で実現する。回路で実現する演算を式(3)に示す。

$$V_{out} = V_{th} + (V_{i1} - V_{COM}) + (V_{i2} - V_{COM}) \quad \dots \text{式(3)}$$

理論値は入力と V_{COM} の差分と $V_{th}(0.9V)$ を加算した値となる。しかし、オフセット電圧やチャネルチャージインジェクションの影響で演算誤差が発生する。そこで CK のスイッチのタイミングを工夫することにより、CK から発生するチャネルチャージインジェクションの影響を小さくした。具体的にはスイッチをオフするタイミングを $CK1_1 \rightarrow CK1_2$ となるよう

にずらした。これにより $CK1_1$ からスイッチを OFF したときに出る不要な電荷は C に溜まるが、 $CK1_2$ のスイッチを OFF にしたときに出る不要な電荷は溜まらない。オフセット電圧に関してはオートゼロ技術を使い低減した。

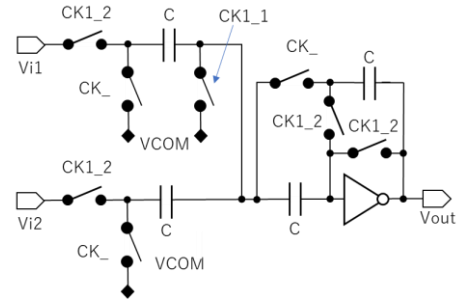


図1. SC 型加算器

4. シミュレーション結果

回路シミュレーションで提案回路の動作検証を行った。入力電圧 V_{i2} を固定、 V_{i1} をスイープし理論値とシミュレーション結果の誤差を比較した。結果を消費電力と共に表 1 に示す。入力 1.0V のとき CK のタイミング変更前に比べて誤差を 56%改善することができた。

表 1. CK を変更後のシミュレーション結果(電源電圧=1.8V)

入力 $V_{i1}[V]$	1.8	1.4	1.2	1.0	0.9
入力 $V_{i2}[V]$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
出力[V]	1.541	1.302	1.146	0.983	0.901
理想出力[V]	1.800	1.400	1.200	1.000	0.900
誤差[V]	0.259	0.098	0.054	0.017	-0.001
消費電力[μW]	43.38	47.57	48.28	48.70	48.86

5. まとめ

ニューロンの働きをモデル化し、重み付き加算演算をアナログ回路で実装した。演算誤差の要因となるチャネルチャージインジェクションを低減できる回路を設計し、0.9V 近辺の入力電圧に対する演算誤差を 56%改善した。この時 2 入力ニューロンにおける平均消費電力は 47.36 μW であった。今後はニューラルネットワークの実装を行っていく。

参考文献

[1]国土交通省, "老朽化対策の取組み", (2020 年 2 月 6 日)
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/torikumi.pdf>
 [2] 涌井良幸, 涌井貞美, "Excel でわかるディープラーニング超入門", 技術評論社出版, 2018