

宇宙利用システムのための ANN の耐環境性評価

Evaluation of Resistance to Environment of ANN for the Space Utilization System

○渡邊晋吾¹ 佐伯勝敏² 関根好文²*Shingo Watanabe¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine²

Abstract: Error of electronic circuits in the space environment is caused by total dose effects and the single event effects. In this paper, we focus on the robustness of biological neural network system, and apply to the process of information in the space environment.

Firstly, we show that changing the behavior of electronic circuits is due to the TDE and the SEE. Next, we show the circuit simulation is effective in an artificial neural network system in the space environment. As a result, it is shown that ANN does not work for the TDE. On the other hand, it is shown that associative memory system works for the SEE.

1. まえがき

半導体集積回路の軽量, 小型, 低消費電力という特徴は, 多くの制限がある宇宙開発において必要不可欠である. しかし, 近年の高集積化によって, 放射線環境下ではその影響をより受けやすいという問題がある. 集積回路は放射線によってトータルドーズ効果(以下 TDE と略す), シングルイベント効果(以下 SEE と略す)が発生し, 回路動作が影響を受けることが報告^[1]されており, 耐環境性に優れた電子回路技術が要求されている.

我々は, 宇宙環境下で, 非同期でパルス形のニューラルネットワークを信号処理回路として用いることを考えた.

今回, 宇宙環境下において発生する TDE と SEE の二つの効果に對目し, パルス形ハードウェアニューロンモデル(以下:P-HNM と略す)で構成したニューラルネットワークの基礎特性について検討を行ったので報告する.

2. 本論

Fig.1 に今回検討に用いた回路の一部を示す. 同図は, ニューラルネットワークを構成する細胞体回路である. 外部より I_{out} が入力されることにより, C_m に出力 V_{pre}/V_{post} を生成する.

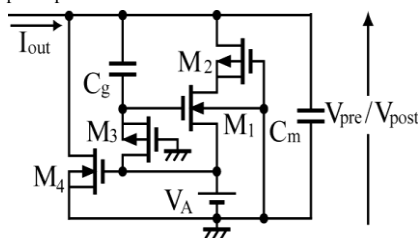


Fig.1 Cell body circuit

Fig.2 に, TDE によって MOSFET の閾値電圧が変化した場合の細胞体回路の出力特性を示す. 同図は, 横軸に閾値電圧を示し, 縦軸に(a)は出力電圧, (b)は発火周波数を示している. 閾値電圧が下がることで, 出力電圧, 発火周波数ともに上昇していることを示している. また, 閾値電圧の変動が+0.02~-0.26[V]の範囲において動作可能であることを示している.

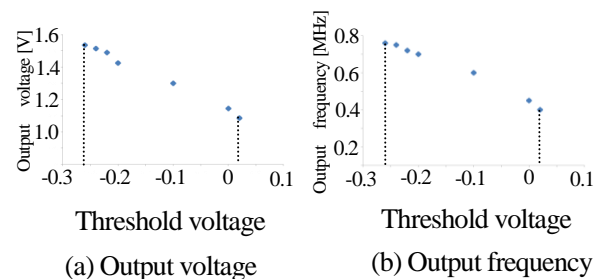


Fig.2 Characteristics of cell body circuit

Fig.3 に, TDE の影響を受けた P-HNM を用いたニューラルネットワークの記録モデル^[2]の応答特性を示す. 記録モデルは入力パターンに応じ細胞体回路が発火する. 今回, 3×3 のネットワークを構成し, (111000111) のパターンを入力した. 同図(a)は細胞体回路の閾値電圧を 0.26[V] 小さくした応答特性であり, (b)は 0.02[V] 大きくした応答特性である. (a)は入力パターンに関わらず, 全細胞体回路が発火していることを示し, (b)は全細胞体回路が発火していないことを示している. なお, 閾値電圧より変化した場合, 入力パターンを得ることができなかった. このことは TDE の影響を受け, ANN を構成する細胞体回路の閾値電圧が変化し, 細胞体回路同士をつなぐシナプス回路のシナプス結合荷重値が変化し, ANN の応答特性が変化したことを示している.

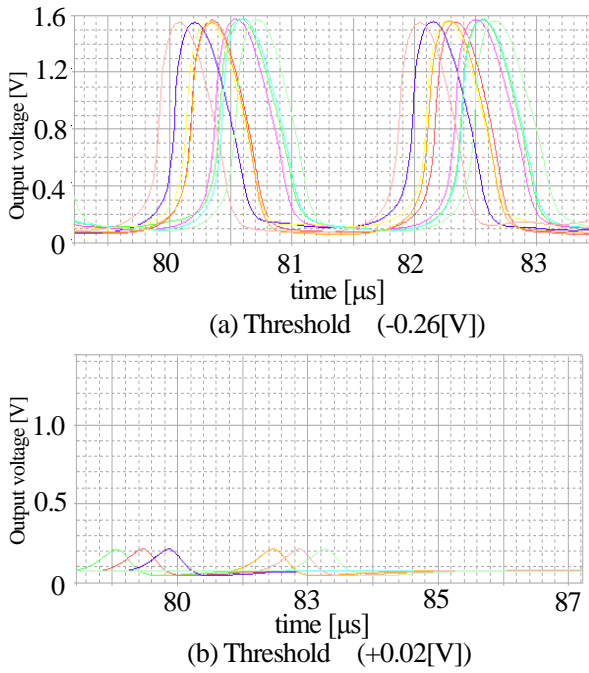


Fig.3 ANN output (TDE)

Fig.4 に、SEE によって発生した電流が入力された記録モデルの応答特性を示す。同図は、入力された電流によって、入力パターンにはない、細胞体が大きく発火しているが、それ以降の発火波形には影響が出ていない。これは、SEE によって発火した細胞体によって、シナプス結合荷重値が変化しても、出力波形には影響を与えないことを示している。

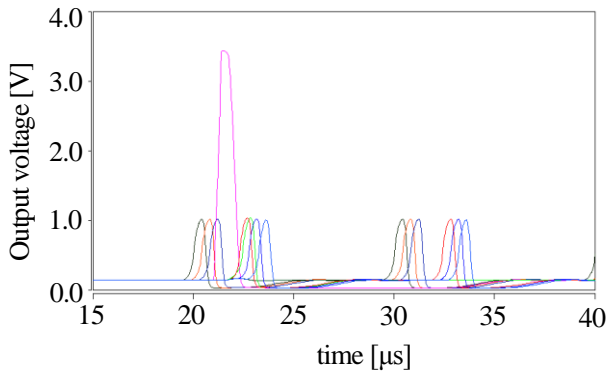


Fig.4 ANN output (SEE)

Fig.5 に、SEE の影響を受けた ANN で構成した想起モデル^[3]の出力波形を示す。同図(a)は入力電流によって記録を行った ANN の出力を示し、(b)はきっかけ刺激入力によって想起された ANN の出力波形である。きっかけ刺激入力時の SEE によって記録したパターンにはない細胞体回路が発火していることを示しているものの、その後の発火には影響がないことを示している。このことは、ANN において SEE の影響は、ある部分で受けるものの、パルスの時系列応答を情報としているため、耐環境性を有していることを示している。

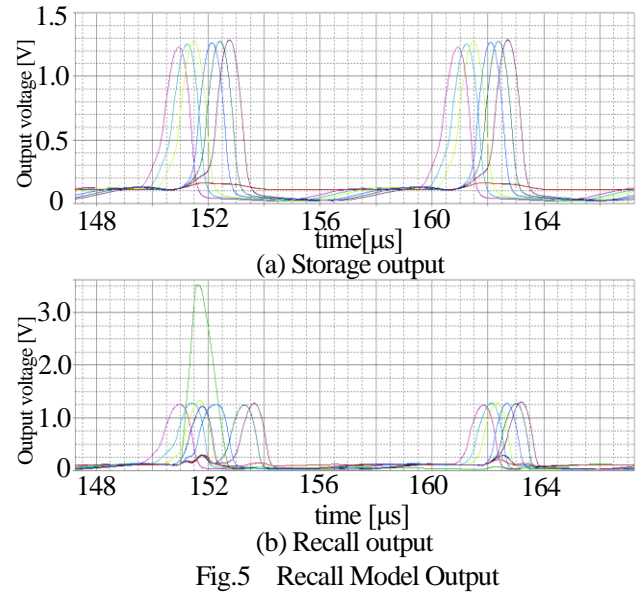


Fig.5 Recall Model Output

3. まとめ

今回、宇宙環境下において発生する TDE と SEE の二つの効果に着目し、P-HNM で構成したニューラルネットワークの基礎特性について検討を行った。その結果、TDE により ANN は応答しないことを明らかにした。また SEE により、記録モデルと想起モデルはある部分で受けるものの、パルスの時系列応答を情報としているため、耐環境性を有していることを明らかにした。

今後は、より SEE に耐性があると考えられる SOI(Silicon on Insulator)を使ってニューラルネットワークを構成し、宇宙環境下で動作可能な回路について検討を行う予定である。

4. 謝辞

本研究は、理工学部シンボリック・プロジェクト形成支援事業（宇宙利用システム）の研究の一環として行われたものである。

5. 参考文献

- [1] 大西一功, 松田純夫「半導体素子に対する放射線照射効果」信学論 Vol.85 No.9 pp.662-669,2002.
- [2] Katsutoshi Saeki, Shingo Watanabe, Toshiharu Morita, Yoshifumi Sekine "Pulse-Type Neuro Devices with Two Time Windows in STDP and Its Application to the Memory of Temporal Sequences Patterns" Proc. International Conference on Biomedical Electronics and Devices, pp.426-431, Rome, Italy, Jan. 2011.
- [3] 守田敏春, 佐伯勝敏, 関根好文:「STDP を有するパルス形ハードウェアニューロンモデルを用いた連想記憶に対する一検討」, 電気学会全国大会講演論文集, Vol.2011, No.3, pp17-18, 2011.