

双方向性シナプスを有する網膜内網状層モデルに対する一検討

A Study on Model of Retina Inner Plexiform Layer with Reciprocal Synapses

○白江 健太郎¹, 佐々木芳樹², 佐伯勝敏²

*Kentarō Shirae¹, Yoshiki Sasaki², Katsutoshi Saeki²

The visual function of organism has superior image processing functions, many investigators attempt to model biological neural networks. In this paper, we construct a model of retina inner plexiform layer with reciprocal synapses that enables negative feedback. As a result, it is shown that proposed model is able to reproduce of the chevrel illusion and DOG function.

1 まえがき

近年, 自動運転など新たな技術開発が行われている. これらの技術は, カメラなどにより取り込んだ外界の情報をリアルタイムに処理し, 判断を行うことが求められる. 生体の視覚機能は優れた画像処理システムを有しており, これらを工学的に再現し応用する研究が行われている^[1]. 先の研究では, ネガティブフィードフォワードのみで側抑制を構築した. しかし, より生体の動きを再現するためには, ネガティブフィードバックを可能とする双方向性シナプス^[2]モデルを構築する必要がある.

本研究では, 双方向性シナプスモデルを有する網膜内網状層モデルを構築し, シュブルール錯視およびDOG関数を用いて動作検証を行ったので報告する.

2 本論

2.1 網膜内網状層モデル

図 1 に, 破線で示した双方向性シナプスを有する網膜内網状層モデルのブロック図を示す. 同図は, 近辺への情報伝達を行うアマクリン細胞 (Amacrine Cell : AC) モデル, 緩やかな電圧信号を発火波形に変換する神経節細胞 (Ganglion Cell : GC) モデルにより構成している. それぞれの細胞同士は結合されており, 双極細胞 (Bipolar Cell : BC) から GC へは一方性の興奮, AC から GC へは一方性の抑制, BC と AC は双方向性の興奮・抑制により結合を行っている.

2.2 スレッシュホールドシフト回路

図 2 に, 双方向性シナプス中のネガティブフィードバックを可能とする, 側抑制シナプスモデルの動作を再現するスレッシュホールドシフト (Threshold Shift : TS) 回路の構成を示す. 同図は可変負荷である M1~2, カレントミラーを構成する M3~9, 可変閾値である M10, バイアス負荷である Rb, 基準電流源 Iref により構成している.

図 3 に, 図 2 に示した回路の Vin-Iout 特性を示す. 図中に, 横軸は Vin, 縦軸は Iout を示している. なお, M9 のドレイン端子に, 負荷として 1kΩ の抵抗を接続し解析を行った. 同図において, Iout は Vin の増加とともに増加することを示している. また, Vt の値が大きくなるほど, Vin 軸の正方向へと Vin-Iout 特性がシフトすることを示している. 以上より, 図 2 の回路は, Vt により閾値を任意に変更することが可能であることがわかる. このことから, 同図を用いることで, 双方向性シナプスモデルを構成可能である.

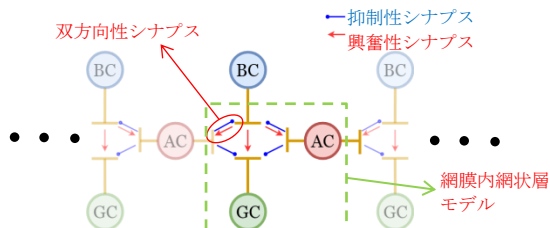


図 1 双方向性シナプスを有する網膜内網状層モデル

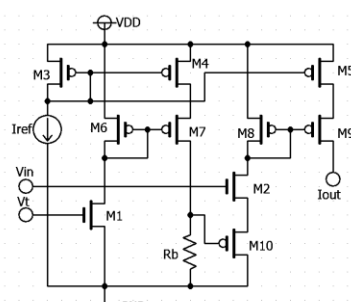


図 2 TS 回路

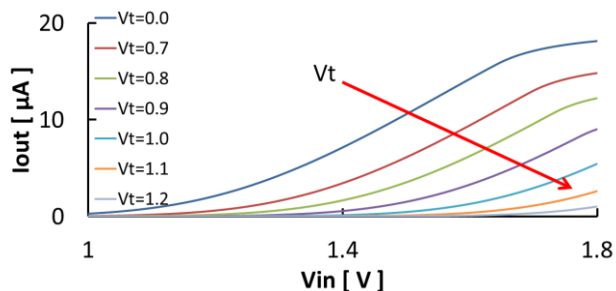


図 3 TS 回路の Vin-Iout 特性

2.3 神経節細胞モデル

図 4 に、GC モデルを示す。同図は、M1~5 および Cg, Cm により構成した細胞体モデル、M6~7 による可変負荷、M8~16 によるカレントミラー、基準電流源 Iref, 入力電圧 Vin により構成している。

図 5 に、図 4 で示した回路の Vin-Fout 特性を示す。図中、横軸は Vin, 縦軸は出力周波数 Fout を示している。同図に示す通り、図 4 のモデルの Fout は、Vin の増加にともない、増加することを示している。このことは、図 4 に示したモデルの出力周波数を入力電圧により制御可能であることを示している。

2.4 シュブルール錯視

エラー! 参照元が見つかりません。に、図 1 で示したモデルに対し、シュブルール錯視が生じる入力パターンを印加した際の出力周波数特性を示す。同図は、図 1 の網膜内網状層モデルを 9 つ並列接続し、1~5 番は 1.7V, 6~9 番は 1.5V を印加し、GC モデルの出力周波数を示したものである。図中、横軸に Position, 右縦軸に Vin, 左縦軸に Fout を示している。同図において、Fout は異なる入力電圧の境界に位置する網膜内網状層モデル 5 番目にオーバーシュートが、6 番目にアンダーシュートが発生することを示している。このことは、入力パターンの境界において、明暗の強調を行うことが可能であることを示している。

2.5 DOG 関数

図 7 に、図 1 で示したモデルに対し、スポット入力を印加した際の出力周波数特性を示す。同図は前節 2.4 と同様の解析条件において入力パターンを 5 番目にのみ 1.7V を、それ以外に 1.5V を印加した。同図において、Fout は入力パターンの中央にピークが存在し、ピーク両端にアンダーシュートが発生することを示している。このことは、図 1 で示したモデルが、DOG 関数の持つ特徴を再現可能であることを示している。

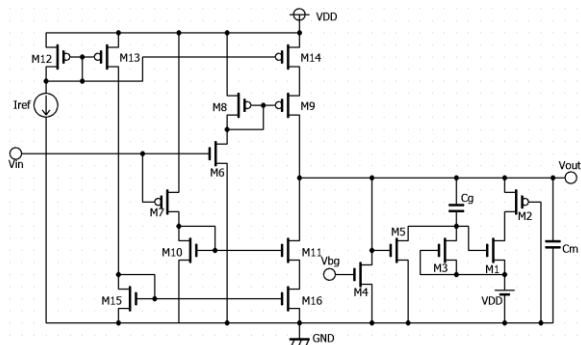


図 4 GC モデル

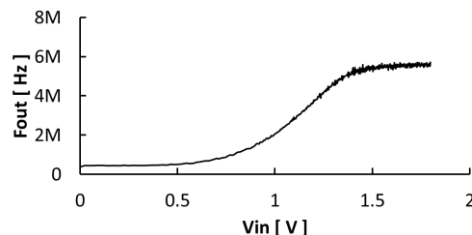


図 5 GC モデルの Vin-Fout 特性

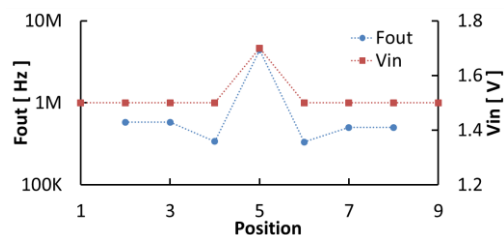


図 6 スポット入力に対する出力周波数特性

3 まとめ

今回、双方向性シナプスモデルを有する網膜内網状層モデルを構築し、シュブルール錯視および DOG 関数を用いて動作検証を行った。その結果、TS 回路を用いることで双方向性シナプスを構成可能であることを明らかにした。また、双方向性シナプスを有する網膜内網状層モデルに対し検証パターンを入力した結果、シュブルール錯視および DOG 関数が再現可能であることを明らかにした。

今後は、視細胞モデルおよび双極細胞モデルを構築し、今回提案したモデルに組み込む予定である。

4 参考文献

[1] 白江健太郎, 佐々木芳樹, 佐伯勝敏, “側抑制を有する水平細胞モデルの構築に対する一検討”, 電子情報通信学会総合大会, A-1-16, p.16, 2018.
 [2] Gordon M, Shepherd, “SYNAPTIC ORGANIZATION OF THE BRAIN”, OXFORD UNIVERSITY PRESS, pp.205-255, 1998.