

M-5

FPGA を用いた側抑制を有する網膜外網状層モデル構築に対する一検討

A Study on Construction of Retinal Outer Plexiform Layer Model with Lateral Inhibition Using an FPGA

○白江 健太郎¹, 佐々木芳樹², 佐伯勝敏²

*Kentaro Shirae¹, Yoshiki Sasaki², Katsutoshi Saeki²

Biological visual functions has superior image processing functions, many investigators are attempt to model of biological image processing mechanism. In this paper, we construct the retinal outer plexiform layer model with lateral inhibition using an FPGA. As a result, it is shown that proposed model can reproduce the Chevreul illusion.

1 まえがき

近年, 自動運転等新たな技術開発が行われ^[1], カメラなどで取り込んだ外界の情報をリアルタイムに処理し判断をすることを求められている^[1]. その要求に対し, 生体網膜の持つ優れた画像処理システムを工学的に再現し, 応用する研究が行われている^[2]. 先に我々は, 標準的な CMOS プロセスのみで構築可能なアナログ回路により, 側抑制シナプスモデルを構築し^[2], 網膜モデルの構築を試みた. しかし, アナログ CMOS 回路では 1 画素当たりの回路規模が大きくなり, ロバスト性を確保することが困難となる. その問題に対し, デジタル回路による専用の処理回路を構築することが有効である.

今回, デジタル回路として FPGA を用い, 側抑制シナプスモデルを作製し, 視細胞の信号を仮定し, シナプスモデルに入力することで網膜外網状層モデルを構築した. また, 構築したモデルを検証するため, シュブール錯視を用いた評価を行ったので報告する.

2 本論

2.1 網膜外網状層モデル

図 1 に, 近辺への情報伝達を行う水平細胞 (Horizontal Cell : HC) モデルで構成した点線で示した側抑制を有する網膜外網状層モデルのブロック図を示す. 同図は, 光強度に応じた信号を発生する視細胞 (Photoreceptor Cell : PC)モデル, PC と HC の信号を受け取る双極細胞 (Bipolar Cell : BC) モデルを接続している. それぞれの細胞同士は結合されており PC から BC への輝度信号 *inp*, および PC から HC への興奮性信号 *wei*, HC から BC への抑制性信号 *sup* が伝達される. 同中, 破線は, 側抑制シナプスモデルを示しており, これを複数接続することで網膜外網状層モデルを形成する.

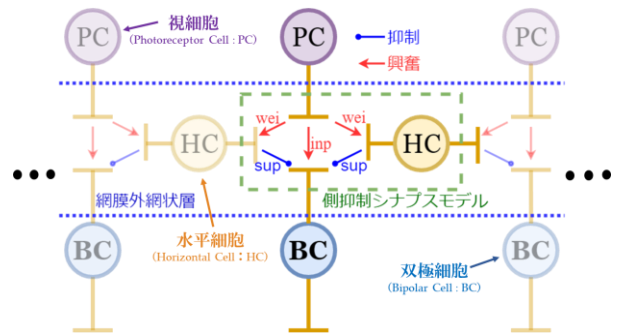


図 1 網膜外網状層モデル

2.2 側抑制シナプスモデル

図 2 に, 図 1 における破線で示した側抑制シナプスモデルの回路構成を示す. 同図において, 減算器は, 各画素における *inp* の強度を周辺の輝度に対応し生成した *sup* により, 減衰させる機能を持つ. また, 同図においてビットシフト回路は, 各画素の *inp* の影響量を *wei* に変換し, HC により周辺画素に伝達することで *sup* を生成する機能を持つ.

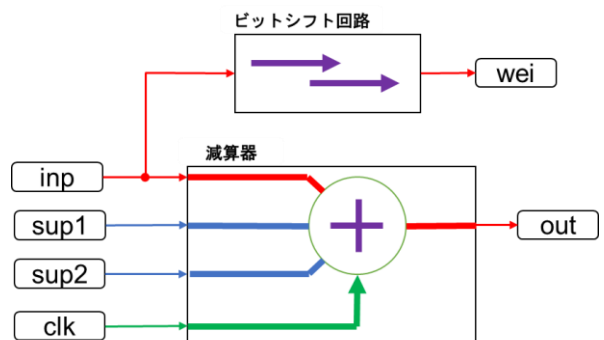


図 2 側抑制シナプスモデル

2.2.1 減算器

図 3 に, 図 2 における減算器のフローチャートを示す. 同図は *inp*, および抑制性信号 *sup1*, *sup2* の演算を行う. なお, 同図は *inp* および *sup1*, *sup2* による減算演算を行うが, 負の値を持つ *sup* 信号が *inp* より大

1:日大理工・院生・電子 2:日大理工・教員・電子

きい場合、負の輝度を周辺に伝達することになる。これを防ぐため、inp より sup1, sup2 が大きい場合、出力値が 0 となるよう設定した。なお、図中のクロック信号 clk により常に計算を繰り返す。

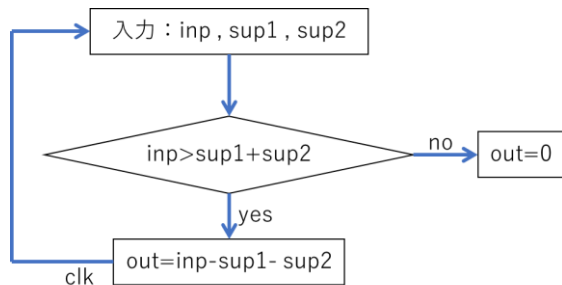


図3 減算器 フローチャート

2.2.2 ビットシフト回路

図4に、図2におけるビットシフト回路の構成を示す。同図は、入力信号のビット列に対し、右に n ビットのビットシフトを実施し、前方 n ビットに 0 を格納することで擬似的に信号を 2^n に減衰させる機能を持つ。なお、シフト量 n は小さいと過抑制となり減算器での演算結果が常にゼロになる。また、対象の平均輝度値にも依存し同じシフト量でも平均輝度値が低いと演算結果がゼロになる。さらに、シフト量の下限値は側抑制シナプスモデルにおける抑制結合の結合数に依存するため、本モデルにおいては $n=1$ が下限となる。これらの理由から、今回は余裕を持たせるため $n=3$ である抑制値 2^3 を採用した。

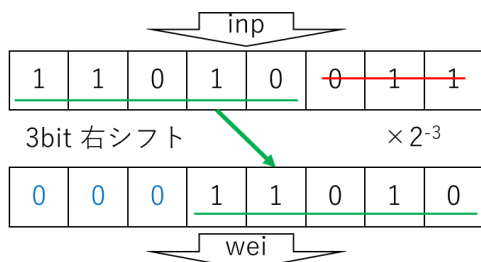


図4 ビットシフト回路 構成図

2.3 シュブルール錯視による動作検証

図5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結果を示す。動作環境として、図2の側抑制シナプスモデルを6つ並列接続し、図1に示した網膜外網状層モデルを構築した。輝度は0~255の256段階で表現し、画素位置0~2番目は輝度=85の低輝度を、画素位置3~5

番目は輝度=170の高輝度を入力する。また、同図において横軸は画素の位置、縦軸は輝度を示しており、ひし形プロットは入力 inp, 四角プロットは出力 out を示している。同図は、入力値の境界に位置する画素位置2, 3番において、低輝度側である2番目はダウンシュート、高輝度側である3番目はオーバーシュートしていることを示している。これは、輝度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おり、生体が持つシュブルール錯視と同様の反応を得ることが可能であることを示している。

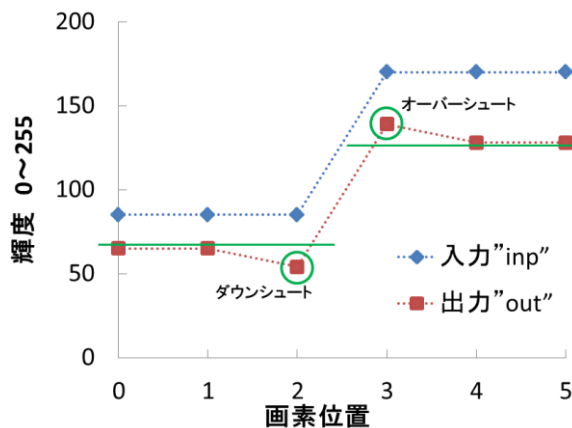


図5 検証パターンに対する出力結果

3 まとめ

今回、FPGA を用いて側抑制シナプスを作成し、側抑制を有する網膜外網状層モデルを構築した。また、構築したモデルを検証するため、シュブルール錯視を用いた評価を行った。その結果、入力パターンの輝度の境界において、コントラストが強調されることから、減算器およびビットシフト回路により構築する側抑制を有する網膜外網状層モデルがシュブルール錯視を再現可能であることを明らかにした。

今後は入力部に CMOS イメージセンサを実装し、モデルの有用性の検証を行う予定である。

4 参考文献

- [1] 下ノ村和弘, 井上恵介, 亀田成司, 八木哲也, “シリコン網膜と FPGA を用いた動物体の追跡”, 映像情報メディア学会誌, vol. 58, no. 1, pp.61-68, 2004.
- [2] 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.