

網膜ニューロンの最適刺激ファインダー

情報科学科 関伽井 千宙

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

網膜の出力ニューロンである網膜神経節細胞 (RGC) は、網膜内の神経回路による情報処理の結果を集約し視神経を通して脳の視覚中枢へと伝達する役割を担っている。

本研究では、こうした RGC がどのような刺激に対してよく発火するかをシミュレーションし、最適刺激を直観的に理解できるシステムを構築する。

従来の RGC モデルではイオンチャネル特性の計算量が膨大であったが、最近の研究によりモデルの高速化手法が確立された。そこで高速化手法をインプリメントしたモデルを構築し、入力刺激と RGC の発火に逆相関法を適用することで最適刺激を推定する。さらに自然画像入力によるシミュレーションをはじめ、様々な特性のニューロンの最適刺激を表示できるシミュレータを開発することで、RGC の情報処理の解析など、生体内の視覚情報処理の具体的な理解が一層進むことが期待される。

2 シミュレーション

使用するモデルは Fohlmeister ら [1] による RGC モデルに、Linaro ら [2] の高速化手法を導入した確率的 RGC 高速シミュレーションモデルである。モデルへの入力には自然画像をグレースケール化したものとする。これを受容野フィルタ (DOG 関数) に通すことで RGC への電流刺激に変換する。最後に RGC モデルで発生したスパイクを記録し、解析データとする。図 1 はこの流れを図式化したものである。

確率的 RGC モデルでは、シミュレーションするたびに同じ入力刺激に対してもスパイク発火パターンは異なる。こうした特性を持つニューロンの最適刺激は、逆相関法を用いて求めることができる。

逆相関法は、スパイク発火直前の一定時刻 (Δt [ms]) の入力を対象とし、発火するたびに入力刺激を時間毎に加算する。例えば、シミュレーション中 n 回の発火を確認したとき、各発火時刻から τ [ms] 前の入力をすべて加算し、その値を n で割る。こうすることで発火より Δt [ms] 前までの時間毎の入力平均刺激が得られる。これをスパイク誘発平均刺激 (STA) という。スパイク誘発平均刺激を求めることでニューロンの最適刺激を得ることができる。

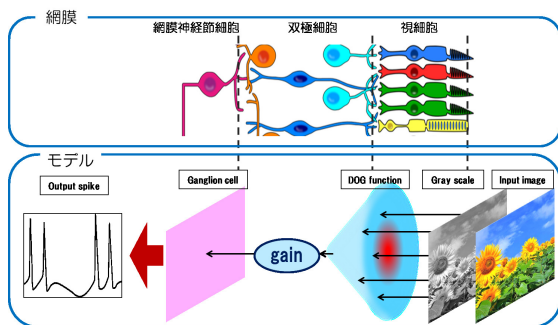


図 1 モデル概要図

3 ファインダー開発

RGC が実際の風景を見たとき、どのような刺激に対してよく反応するのかを、ファインダーを使って直観的に確かめる仕組みを実現する。ファインダーでは、カメラで撮影した動画を入力としてシミュレーションを行い、その結果と入力刺激から逆相関法を用いて最適刺激をディスプレイに表示させる。

ファインダーには、手軽に持ち運びができ、どこでもシミュレーションできるように Raspberry Pi を採用した。入力画像のグレースケール化には ffmpeg を、Raspberry Pi の OS には Rasbian を用いた。

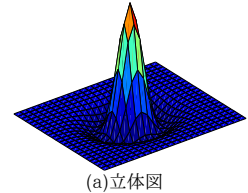
妥当性確認

$$DOG(x, y) = W_c(x, y) - W_s(x, y)$$

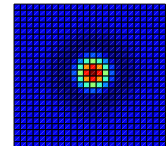
$$= \frac{k_c}{x_c^2 2\pi} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2x_c^2}\right) - \frac{k_s}{x_s^2 2\pi} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2x_s^2}\right)$$

このシミュレータでは受容野を上式で与えられる DOG 関数より求める (図 2)。したがって、求められた最適刺激からこの形状 (図 2(b)) を得ることができればよい。

妥当性を確認するための入力として、図 3 のように 1[px] ごとランダムな、25×25[px] の 2 次元白黒画像を生成した。フレームレートは 100[Hz] である。

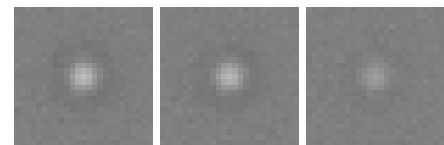


(a) 立体図

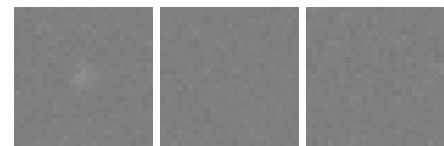


(b) 上から見た図

図 2 DOG 関数



(a) 1ms 前 (b) 5ms 前 (c) 10ms 前



(d) 20ms 前 (e) 50ms 前 (f) 100ms 前

図 3 入力刺激

図 4 スパイク誘発平均刺激 (最適刺激)

図 4 は、STA の対象時間を 100[ms]、シミュレーション時間を 500000[ms] とし、求められた各時刻の最適刺激である。発火から 1, 2[ms] 前の直前の方が、STA からはっきり受容野つまり最適刺激を求められることが確認できた。50, 100[ms] 前では STA から受容野を確認できなかった。したがって、約 20[ms] 前までの刺激が発火に強く関わっているといえる。

シミュレーション時間を長くするほどスパイク発火回数は増えるので、Raspberry Pi ではシミュレーション時間を 500000[ms]、STA の対象時間は 100[ms] としてファインダーを構築した。

4 まとめ

本研究では自然画像に対する網膜ニューロンの最適刺激を求めるファインダーを開発した。RGC モデルと逆相関法を Raspberry Pi にインプリメントした結果、入力した動画の RGC における最適刺激を求められることを確認した。

また、現在はあらかじめ撮影した動画を入力しているので、今はカメラから入力を行い、その場でリアルタイムに STA を求められるようにする必要がある。RGC モデルでは、シミュレーション時間 500000[ms] で 25×25[px] の画像を入力した場合、約 8 時間 50 分を要する結果となった。高速かつ高精度の STA を求めるために、モデルや計算手法の改良が必要であると考えられる。

参考文献

- [1] Fohlmeister, J.F. and Miller, R.F. (1997), J.Neurophysiol., 78, 1935-1947.
- [2] Linaro, D., Storace, M. and Giugliano, M. (2011), PLoS Computational Biology, 7, 1-17.