

バクテリオロドプシン多値化 DOG フィルターによる画像処理

Image processing using the bacteriorhodopsin-based DOG filter

1.電気通信大学基盤理工, 2.島根大学教育学部 [○](M2)船木 康平¹, 長谷川 裕之², 岡田 佳子¹

1. The Univ. of Electro-Commun., 2. Shimane Univ.

[○]Kohei Funaki¹, Hiroyuki Hasegawa², Yoshiko Okada-Shudo¹

E-mail: f1933116@edu.cc.uec.ac.jp

網膜神経節細胞受容野は、円形中心部とそれを取り囲む同心円の周辺部で構成され、光の明滅にそれぞれ応答する興奮領域と抑制領域からなる限られた視野である。このような中心周辺拮抗型受容野は、明暗コントラスト、すなわち物体の輪郭を検出している。この構造は DOG (Difference-Of-Gaussian) 関数で表され、画像工学分野では DOG フィルターとしてエッジ検出に用いられる。透明電極間に視物質類似のタンパク質バクテリオロドプシン (bR) と電解質溶液を封入した湿式セルは、bR の光駆動プロトンポンプ機能によって光照射/消灯時に極性反転した微分応答を示す。この応答は網膜神経節細胞の応答に類似しているため、bR セルは受容野を模倣したハードウェアに應用されており、受容野中心部/周辺部の形状にしたがって 2 枚の透明電極の中央部/両サイド部に bR をパターンニングした一次元エッジ検出器^[1]や、円形/ドーナツ型にパターンニングした二次元フィルター^[2]が提案された。これらは bR が膜厚一定となる方法で成膜されるため、興奮領域と抑制領域それぞれの感度をもつ 2 値化素子しか作製できない。現在は bR をインクジェット成膜する技術により、膜厚分布を制御したグレースケール (多値化) フィルターが作製されている^[3]。ここでは DOG 関数のなめらかな感度分布を模倣した bR 多値化 DOG フィルターを作製し、画像処理や網膜神経節細胞モデルで説明される錯視検出に適用する。

中心部の興奮領域の感度を 7 値、周辺部の抑制領域を 3 値に分割し、それぞれ直径 5 mm の円形、直径 15 mm のドーナツ型に設計した。この設計にしたがって 2 枚の透明電極に bR をインクジェット成膜し、電極間に電解質溶液 (電解質 KCl 500 mmol/L, 緩衝液 Tricine 0.2 mmol/L, pH 8.1) を封入後、抑制領域をグレーマスクで覆って全面照射時の出力を拮抗させる (Fig.1)。

液晶プロジェクターを用いて入力画像 (102.4 mm×25.6 mm) を bR フィルター上に投影し、画像の右下を受光面の中心に合わせる。固視微動の一種マイクロサッケードによる知覚を再現するため、これによる眼球の回転速度から算出した走査速度 40 mm/s で画像を右方向に走査する。画像全面を測定間隔 1 mm で繰り返し走査し、出力波形の最大値を白 (色調 255)、最小値を黒 (色調 0) として白黒画像に変換する。この手順で上下左右 4 方向に画像を走査したときの畳み込み画像を 4 種類作製し、各ピクセルでの色調を平均して錯視画像を作製する。はじめにフィルターの興奮領域幅と等しい白線幅になるように拡大した「ハーマン格子」(Fig.2.(a)) の錯視画像を作製したところ、格子の交差部分が黒く検出された (Fig.2.(b))。これは bR フィルターが交差部分に位置する際、抑制領域のみが白線と黒い背景の明暗差を出力するためである。また、45° 回転したハーマン格子 (Fig.3.(a)) の錯視画像を作製すると、Fig.2.(b)の結果よりも交差部分が薄く検出された (Fig.3.(b))。これは交差部分において各領域の反応が互いに打ち消しあうためであり、ヒトの知覚と一致した。bR フィルターは錯視を可視化できるため、視覚情報処理過程の解明に貢献できると考える。

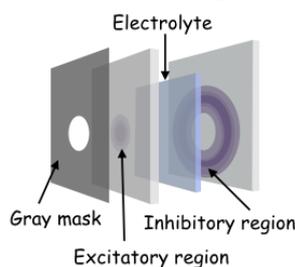


Fig. 1. Structure of a bR DOG filter.

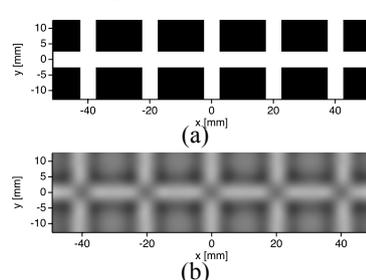


Fig. 2. (a) Classic Hermann grid and (b) the convoluted image with the bR DOG filter.

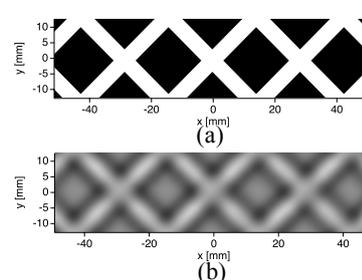


Fig. 3. (a) Rotated Hermann grid and (b) the convoluted image with the bR DOG filter.

[1] H. Takei, A. Lewis, Z. Chen, and I. Nebenzahl, *Appl. Opt.* **30**, 500 (1991).

[2] Y. Okada-Shudo, T. Tanabe, T. Mukai, T. Motoi, and K. Kasai, *SPIE Newsroom* doi:10.1117/2.1201509.006132 (2015), 深澤 光, 笠井 克幸, 岡田 佳子, *Optics & Photonics Japan* 2018, 2aB11 (2018).

[3] 長谷川 裕之 他, *応用物理学会* 第 64, 65, 67 回春季, 第 77, 78, 81 回秋季学術講演会 (2016~2020).