

# 眼球運動下での視覚野細胞応答エミュレーションのためのロボットビジョン

## A robotic vision emulating responses of visual cortical neurons during eye movement

下ノ村 和弘 (PY)<sup>†</sup>, 八木 哲也<sup>‡</sup>

Kazuhiro Shimonomura (PY) and Tetsuya Yagi

<sup>†</sup> 大阪大学臨床医工学融合研究教育センター

<sup>‡</sup> 大阪大学大学院工学研究科電気電子情報工学専攻

kazu@eei.eng.osaka-u.ac.jp

**Abstract**—Many computational models have been developed to explain response properties and functions of the visual cortical neurons. To elucidate the functions of neurons using computational models, however, one needs to study how these models respond to realistic visual inputs, e.g., natural scenes, during eye movements. We describe a binocular robot vision system, which consists of two neuromorphic silicon retinas and field programmable gate array (FPGA), for emulating visual computational models in real-time. Using this system, we emulate the responses of the model for motion-in-depth sensitive neurons during vergence eye movement.

**Keywords**— Robotic vision, silicon retina, vergence eye movement, motion-in-depth

### 1 はじめに

脳視覚神経回路における情報処理のメカニズムを説明するために提案されてきた生理学モデルは、限られた種類の刺激に対する限られた数の神経細胞活動の解析を基に構築されている。これらのモデルは、その応答と実験により得られた神経細胞活動との整合性を論じることにより、脳の視覚計算の一面を説明する。しかしながら、実際に脳が処理する画像は、形状やコントラストが複雑に絡み合いかつ外界環境のみならず眼球運動などの自分自身の運動によっても時間的に変動する入力であり、その計算結果は細胞の集団的な活動によって表現される。従って、極めて限られた条件のもとで得られたデータから演繹されたモデルが、複雑な自然画像を処理する過程で、予測される機能を発揮するか否かは自明とは言えない。

そこで我々は、生理学実験から予想される脳視覚系の並列・階層型アーキテクチャを集積回路技術を用いてハードウェアとして構築し、その入出力特性を解析することによって、生理学モデルの検証を行うことを目指している。視覚神経回路の応答を集積回路システムを用いて実時間でシミュレーションする最近の研究として [1]

などがある。本研究では、眼球運動を考慮したより実際に近い状況で視覚細胞集団の応答を実時間シミュレーションするために、アナログ集積視覚センサとデジタルプロセッサを組み合わせた両眼ロボットビジョンシステムを構築した。このシステムに、奥行き運動検出細胞のモデルを実装し、輻輳眼球運動時の応答を検証する。

### 2 両眼ロボットビジョンシステム

眼球運動下での視覚細胞の応答を実時間で計算するためのプラットフォームに対して、眼球運動の制御に関わる経路には低レイテンシかつリアルタイム性が要求され、視覚細胞の応答を計算する経路には、所望のモデルを容易に実装できることが必要である。このために、構築した両眼ロボットビジョンにおける視覚情報処理には、シリコン網膜と field programmable gate array (FPGA) を用いた [2]。

シリコン網膜では、一次視覚野 (V1) 単純型細胞の受容野を模擬した垂直方向に伸びた受容野を生成する。FPGA には、視差選択性をもつ V1 複雑型細胞のモデル (視差エネルギーモデル) [3] を計算する回路が実装され、画像入力と同時に 5 つの異なる両眼視差に選択性をもった両眼視差エネルギー画像を生成する。また、これらの結果を用いて、後述する輻輳眼球運動を制御する信号が計算され、左右カメラを回転させるステッピングモータを制御する。同時に、FPGA の CPU コアあるいは LAN で接続された PC 上で動作するソフトウェア



図 1: 両眼ロボットビジョンシステムの外観写真。

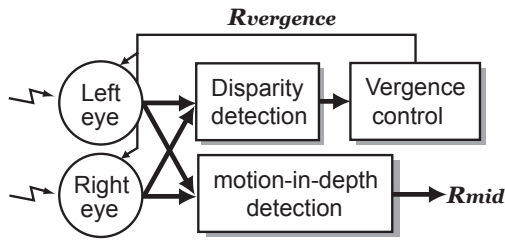


図 2: ロボットビジョンシステムに実装した計算モデル .

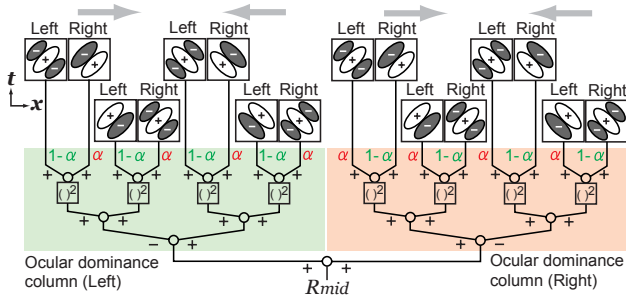


図 3: 奥行き運動検出モデル [4] .

により、さらに複雑な視覚モデルの計算を行うことができる。図 1 に、両眼ロボットビジョンシステムの外観を示す。また、図 2 に、このロボットビジョンに実装したモデルのブロック図を示す。

### 3 両眼視差を用いた輻輳眼球運動制御

輻輳眼球運動を引き起こす主要な手がかりは両眼視差であることが知られている。そこで、両眼視差を検出する視差エネルギーモデル [3] の出力を用いて輻輳眼球運動を制御することを考えた。視差エネルギーモデルにより得られた最適視差  $d_{pref}$  の複雑型細胞の出力  $R_{cx}^{d_{pref}}$  は、それぞれ空間的に pooling された後、交差視差、非交差視差に選択的な複雑型細胞出力にそれぞれ  $+1$ 、 $-1$  の重みを付けて加算する。

$$R_{vergence} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_y \sum_x R_{cx}^{d^+}(x, y) - \frac{1}{N_x N_y} \sum_y \sum_x R_{cx}^{d^-}(x, y)$$

$N_x$ 、 $N_y$  は、平均化する複雑型細胞の範囲を決める。結果的に得られる値は、入力刺激の視差の符号が正、負のときそれぞれ正、負の値となるので、その符号により輻輳眼球運動の方向を決めた。

### 4 奥行き運動検出細胞モデルのエミュレーション

対象物の奥行き方向の移動は、左右網膜上での速度の差あるいは両眼視差の時間的変化により検出できる。Sabatini らは、左右網膜上での速度差に基づいて奥行き運動を検出する細胞のモデルを提案した [4] (図 3)。ここでは、構築したロボットビジョンを用いて、輻輳眼球

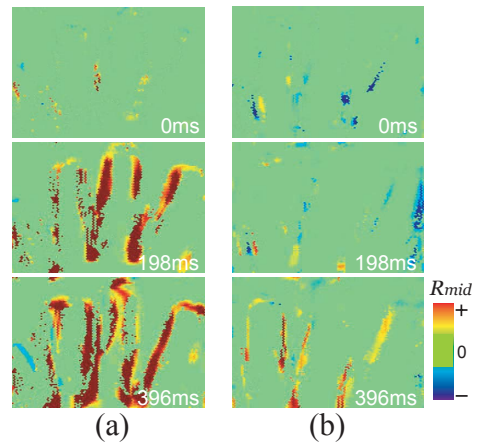


図 4: 奥行き運動検出モデルの応答。(a) 輻輳運動なし、(b) 輻輳運動ありの場合。

運動下でのこのモデルの応答をエミュレーションした。図 4 に、ロボットビジョンにより得られた出力画像を示す。注視点付近で手をカメラに近づけた。両眼を固定した場合、モデルは対象物の奥行き運動によく応答しているが、輻輳眼球運動がある場合、左右網膜上での速度は相対的にほぼ 0 になるため、ほとんど応答しない。

### 5 おわりに

本研究では、輻輳眼球運動下での視覚野細胞モデルの応答をエミュレーションする両眼ロボットビジョンを構築した。今後、様々な眼球運動下での視覚計算メカニズムについて本システムを用いて検討していく。

### 参考文献

- [1] E.Chicca, A.M.Whatley, P.Lichtsteiner, V.Dante, T.Delbruck, P.D.Giudice, R.J.Douglas, & G.Indiveri, "A multichip pulse-based neuromorphic infrastructure and its application to a model of orientation selectivity," *IEEE Trans. on Circuits and Systems I*, vol.54, pp.981-993, 2007.
- [2] K.Shimonomura, T.Kushima, & T.Yagi, "Binocular robot vision emulating disparity computation in the primary visual cortex," *Neural Networks*, vol.21, no.2-3, pp.331-340, 2008.
- [3] I.Ohzawa, G.DeAngelis, & R.Freeman, "Stereoscopic depth discrimination in the visual cortex: Neurons ideally suited as disparity detectors," *Science*, vol.249, pp.1037-1041, 1990.
- [4] S.Sabatini, F.Solari, G.Andreani, C.Bartolozzi, & G.M.Bisio, "A hierarchical model of complex cells in visual cortex for the binocular perception of motion in depth," In *Proc. of NIPS 2001*.