

エントロピー最大化に基づいた順応型神経模倣視覚センサ

A neuromorphic vision sensor with adaptive response based on entropy maximization

奥野 弘嗣 (PY)[†], 下ノ村 和弘[‡], 八木 哲也[†]

Hirotsugu Okuno(PY), Kazuhiro Shimonomura, and Tetsuya Yagi

[†]大阪大学大学院工学研究科

[‡]大阪大学臨床医工学融合研究教育センター

h-okuno@neuron.eei.eng.osaka-u.ac.jp

Abstract— A vision sensor with adaptive response was implemented. To maximize the amount of information expressed in each image, the sensor exploited multiple logarithmic luminance-to-voltage transfer characteristics, and entropy based adaptation. By adjusting the logarithmic characteristics, the sensor adapts to the environmental illumination so that the output image data distributes across the available voltage range. The appropriate logarithmic property was determined based on entropy maximization. The quality of the output image was maintained irrespective of illumination changes.

Keywords— vision sensor, adaptive, wide dynamic range, entropy

1 はじめに

環境光の光強度は、月明かりから直射日光まで 8 オーダー以上ものレンジに渡って実に幅広く変化する。このため、視覚センサを利用する場合、捉えようとするシーンに応じて適切なダイナミックレンジを持ったセンサを利用しなくてはならない。捉えようとするシーンに対し、センサのダイナミックレンジが狭すぎる場合、所謂「白飛び」等、データ欠損部分を持ったイメージが捉えられることとなる。逆に、センサのダイナミックレンジが広すぎる場合、利用可能レンジの大半が無駄となり、コントラストの低いイメージが捉えられることとなる。

一方、生体の視覚系は広範な照明環境下で、非常に効率よく視覚情報を表現している。生体の視覚系が照明条件に対して強いロバスト性を備えているのは、神経活動レベルにおいては、以下の二点が大きな役割を担っているためと考えられている。即ち、対数変換と順応機構である [1]。まず、フロントエンドであるフォトレセプターでは、環境光の強度に適した対数特性で光強度-電圧変換を行う。後段の細胞では、フォトレセプターから受ける信号のレンジに適した情報表現を行う。例えば、ハエの LMC (large monopolar cell) と呼ばれる神経は、この神経が出力できる電圧レンジ全体に、出力電圧が均

等に分布するように視覚情報をコーディングしていると考えられている [2]。均一な頻度で情報が用いられる時にエントロピーは最大化されるため [3]、LMC は最大の情報量を伝えるように制御されているとみることができる。以上のような原理で、生体は照明環境に対するロバスト性を獲得している。

そこで本研究では、生体の視覚神経系が行っている視覚情報表現に学び、対数変換と、エントロピー最大化による順応機構を組み合わせる事で、照明環境に依存せず最大の情報量を持った画像を取得できるセンサの開発を行った。

2 APS の特性制御

本研究では、フロントエンドに APS (active pixel sensor) を用い (図 1(b)), APS のリセット端子へ加える電圧信号波形を時間的に変化させることにより、APS の光-電気信号変換特性を制御した [4]。光-電気信号変換特性としては、線形変換特性、及び 3 種類の対数変換特性を用意した。対数変換特性を得るために、以下の式 (1) に示す電圧波形を用いた。

$$b(t) = V_{max} + a \log \left(1 - \frac{t}{T} \right) \quad (1)$$

ここで、 T は蓄積時間であり、30 ms に設定した。また、 V_{max} はリセット信号の最大値、2.7 V である。本研究では、図 1(a) に示す 3 種類の a の値に対応する対数波形をリセット信号に用いた。

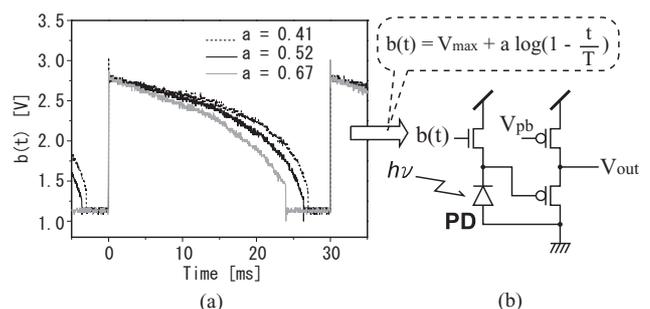


図 1: (a) リセット信号波形. (b) APS の回路図.

3 エントロピー最大化による順応

前節の機構によって得られる複数の対数変換特性、及び線形特性の中から、最大の情報量を持った画像が得られる特性を選択するため、出力画像のエントロピーを利用した。ある情報の発生確率を p とすると、エントロピーは以下の式で表される。

$$H = - \sum p_i \log p_i \quad (2)$$

本研究では、エントロピーを以下の方法で算出した。まず、A/D変換によって得られる256階調の情報を16階調ずつ16段階に分割する。次に、1フレーム内の画像において、各段階の値をとる画素数を計算し、各段階の発生確率を求める(図2中、中央のヒストグラム)。この確率を用いて、式(2)によってエントロピーを算出した。また本センサでは、用いる対数の特性を予め決めているため、現状と異なるリセット信号を用いた際の出力信号の値は予測できる。現状の特性によって得られた画像のエントロピーと、予測エントロピー(図2中、左右のヒストグラムから得られる)の比較を行い、常に最大のエントロピーが得られるようにリセット信号の制御を行った。

図3に、異なる照明環境下において、3種類の動作特性によって得られた画像と、その際のエントロピーを示す。線形動作によって得られた画像が、強い照明下で飽和しているのに対し(右上の画像)、対数動作によって得られたものは、強い照明下でも対象を適切に表現している。一方で、弱い照明下では、対数動作によって得られた画像が、全体的に暗くなっているのに対し、線形動作によって得られた画像は、利用可能なレンジをより有効に活用している。枠で囲まれた画像は、本センサに選択された特性によって取得された画像であり、どの画像

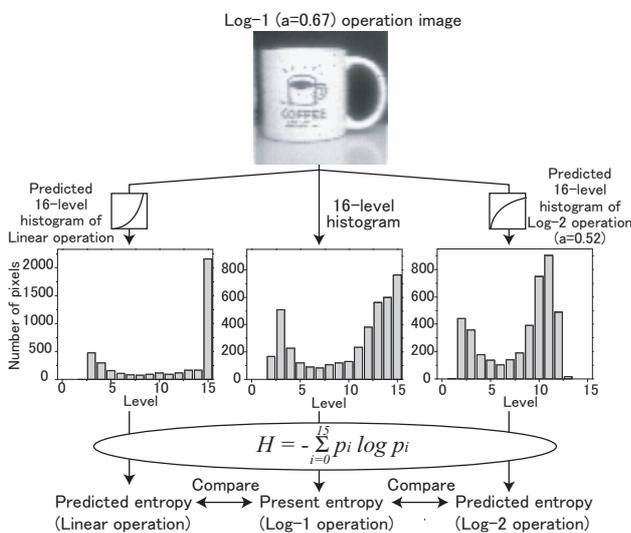


図2: エントロピー予測の流れ。

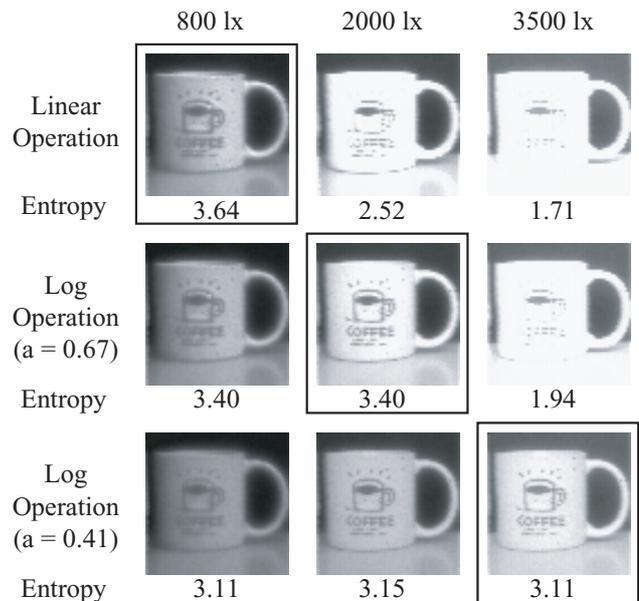


図3: 出力イメージとエントロピー。

も飽和等を起こしておらず、また、十分なコントラストを維持している事が確認できる。以上から、本システムが幅広い照明環境下で、適切な画像を取得できることが確認できた。

4 まとめ

本研究では、APSのリセット端子に対数的変化をする電圧を加える事により、対数変換特性を持つ広ダイナミックレンジ視覚センサを実現した。また、複数の変換特性を実装し、出力画像のエントロピーを最大にする特性を選択することで、照明条件によらず、限られた電圧レンジを最大限に利用した画像を取得することが出来た。

参考文献

- [1] S. B. Laughlin and R. C. Hardie (1978) "Common Strategies for Light Adaptation in the Peripheral Visual Systems of Fly and Dragonfly." *J. Comp. Physiol.*, **128**, 319-340.
- [2] S. Laughlin (1981) "A Simple Coding Procedure Enhances a Neuron's Information Capacity." *Z. Naturf.*, **C36**, 910-912.
- [3] C. E. Shannon, and W. Weaver (1949) "The Mathematical Theory of Communication." University of Illinois Press, Urbana.
- [4] 下ノ村和弘, 亀田成司, 八木哲也 (2008) "明るさ恒常性をもつ広ダイナミックレンジシリコン網膜." 第21回回路とシステム軽井沢ワークショップ, 長野, 23-27.